

Zbraně s řízenou energií jako potenciální hrozba elektronických systémů

Directed Energy Weapons as a potential Threat to Electronic
Systems

Bc. Václav Urbančík

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav Urbančík**
Osobní číslo: **A11533**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Zbraně s řízenou energií jako potencionální hrozba elektronických systémů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Pojednejte o principech činnosti zbraní s řízenou energií využívajících technologii High Power Microwave.**
- 2. Specifikujte negativní důsledky působení High Power Microwave prostředků na elektronické systémy.**
- 3. Analyzujte současný stav v oblasti vývoje a aplikace zbraní s řízenou energií.**
- 4. Pojednejte o vývojových trendech v oblasti zbraní s řízenou energií.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **VACULÍKOVÁ, Polina, VACULÍK, Emil. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: Praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 1998. 487 s. ISBN 80-7169-568-8.**
2. **VALOUCH, Jan. Elektromagnetické zbraně s řízenou energií jako prostředek k eliminaci elektronických systémů. Obrana a strategie, 2003, č.1, s.109-113. ISSN 1214-6463.**
3. **VALOUCH, Jan. Elektromagnetická kompatibilita ? vojenský význam a legislativa. Obrana a strategie, 2004, č.1, s. 109-113. ISSN 1214-6463.**
4. **VALOUCH, Jan. Elektromagnetické zbraně ? současný stav a perspektivy jejich použití. In Sborník referátů konference Geoinformační systémy ve vojenství 2003. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2003, CD.**
5. **KOOP, Carlo. E-Bombs vs. Pervasive Infrastructure Vulnerability. Air Power Australia.Icit. 2013-01-21. Dostupné z <http://www.ousairpower.net>.**
6. **Report of the Commission to Assess the Threat to the United States from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack- Critical National Infrastructures. McLean, VA, USA: EMP Commission, 2008. 181 p. ISBN 9780160809279.**
7. **MYSLÍK, Jiří. Elektromagnetické pole- základy teorie. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 80-86056-43-0.**
8. **KÖNIG, H., ERLACHER, P. Neviditelná hrozba. Ostrava: HEL, 2001. 120 s. ISBN 8086167151.**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Valouch, Ph.D.

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

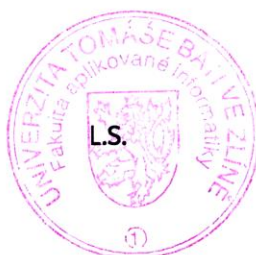
8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

3. června 2013

Ve Zlíně dne 8. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce pojednává o principech „neletálních“ zbraní, kdy úvodní část práce je zaměřena hlavně na rozdělení, popis principů a činností zbraní s řízenou energií, například zbraní využívajících technologii High Power Microwave (HPM). Dále diplomová práce specifikuje negativní důsledky působení těchto zbraní a prostředků na elektronické systémy. Stěžejní výstup práce představuje analýza současného stavu v oblasti výzkumu, rozvoje a aplikace zbraní s řízenou energií včetně vývojových trendů v oblasti použití těchto zbraní.

Klíčová slova: neletální zbraň, elektromagnetická zbraň, laser, mikrovlna

ABSTRACT

This thesis discusses the principles of "non-lethal" weapons, when initial part of the work is focused mainly on the distribution, description of the principles and activities of Directed Energy Weapons, weapons using technology such as High Power Microwave (HPM). Furthermore thesis specifies the negative consequences of these weapons, means of electronic systems. The key output paper presents an analysis of the current state of research, development and application of Directed Energy Weapons including trends in the use of these weapons.

Keywords: non-lethal weapon, electromagnetic weapon, laser, microwave

Rád bych poděkoval mému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Valouchovi, Ph.D. za pomoc a podporu při zpracování této diplomové práce. Zároveň chci poděkovat své rodině a blízkým za jejich podporu po celou dobu mého studia.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
1 CHARAKTERISTIKA NELETÁLNÍCH ZBRANÍ A SYSTÉMŮ	11
1.1 OPTICKÉ NELETÁLNÍ ZBRANĚ	13
1.1.1 Světelné zbraně	14
1.1.2 Laserové zbraně.....	14
1.2 VYSOKOFREKVENČNÍ NELETÁLNÍ ZBRANĚ.....	16
1.3 AKUSTICKÉ NELETÁLNÍ ZBRANĚ	20
1.4 BIOLOGICKÉ NELETÁLNÍ ZBRANĚ.....	22
1.5 CHEMICKÉ NELETÁLNÍ ZBRANĚ	22
1.6 PLASMOVÉ A ČÁSTICOVÉ ZBRANĚ	24
2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZBRANĚ – JEJICH KLASIFIKACE	26
2.1 URČENÍ A REŽIM ČINNOSTI	26
2.2 ZPŮSOB AKUMULACE ENERGIE	27
2.2.1 Kapacitní	27
2.2.2 Explosivně pumpované kompresní generátory magnetického toku (FCG)	28
2.2.3 Magneto-Hydrodynamický generátor.....	29
2.2.4 Zdroje mikrovln vysokého výkonu – virkátor.....	30
2.3 PODLE ŠÍŘKY PÁSMO GENEROVANÉHO SIGNÁLU	31
2.3.1 Úzkopásmová třída generátorů.....	32
2.3.2 Širokopásmová třída generátorů.....	33
3 NEGATIVNÍ DŮSLEDKY PŮSOBENÍ HPM PROSTŘEDKŮ NA ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY	36
4 SOUČASNÝ STAV V OBLASTI VÝZKUMU, ROZVOJE, APLIKACE ZBRANÍ S ŘÍZENOU ENERGIÍ A VÝVOJOVÉ TRENDY V OBLASTI POUŽITÍ TĚCHTO ZBRANÍ	41
4.1 SOUČASNÝ STAV	41
4.1.1 Výzkum	42
4.1.2 Rozvoj	47
4.1.3 Aplikace	49
4.2 VÝVOJOVÉ TRENDY	52
4.2.1 Projekt Tungsten shield.....	52
4.2.2 Projekt CHAMP	53
4.2.3 Bezpilotní prostředky	54
ZÁVĚR	59
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
SEZNAM POUŽITÝCH VÝRAZŮ A ZKRATEK	66

SEZNAM OBRÁZKŮ	68
SEZNAM TABULEK.....	69

ÚVOD

Historie lidstva je protkána násilím a válkami. Jejich charakteristickým a společným prvkem jsou zbraně. Zbraně vždy byly nedílnou součástí historie lidstva. Když vzal pravěký člověk poprvé do ruky první zbraň – klacek nebo kámen, byla to nejspíš instinktivní reakce, která mu umožnila zachránit si život a přežít. Nicméně od této chvíle se člověk se zbraní v ruce cítil bezpečnější, silnější a mocnější. Velmi často neváhal použít zbraň ani proti jinému člověku. Současná moderní společnost hledá způsoby, jak „humánně“ čelit násilí páchanému na jednotlivci i společnosti, a přitom pachatele při jeho pacifikování neusmrtit. [1]

Pomalou a jistě se součástí výzbroje armád nejvyspělejších zemí světa jako jsou armády USA, Ruska, Číny a dalších stávají zbraně, jejichž princip se zásadně liší od dosud známých principů a mechanismů s prachovou náplní a pevným projektilem. Do popředí se dostávají čím dál tím více zbraně, které jsou označovány jako zbraně s řízenou energií Directed Energy Weapons (DEW), nebo taky jako nesmrtící zbraně. Tyto zbraně využívají přímého fyzikálního působení energie na cíl. To znamená, že ke svému dosažení cíle nevyužívá pevných střel. Tyto nesmrtící zbraně mají za úkol po nějakou dobu vyřadit z činnosti vymezenou skupinu lidí, aniž by při tom ohrozily jejich životy, nebo zneschopnit určité druhy vojenské techniky, respektive znemožnit jim vést bojovou činnost. Energetických zbraní existuje velmi široké spektrum a jejich principy jsou vesměs známy už relativně dlouho. Zavádění těchto zbraní do výzbroje postupuje poměrně pomalu, neboť energetické zbraně se vyznačují kromě mnoha velkých výhod, také některými specifickými nedostatky nebo slabiny. Hlavní nevýhodou energetických zbraní stále zůstává jejich mimořádná energetická náročnost, kvůli níž jsou obvykle odkázány na velké platformy, jež mohou zajistit dostatečný příkon. Laserové, mikrovlnné nebo akustické pušky mají dosud jen nesmrtící efekt, protože pro vyšší výkony zkrátka nejsou k dispozici přenosné energetické zdroje. Je však patrně už jen otázkou krátkého času, než se zapojí do boje. [2]

Vývoj tzv. bezpečných zbraní, které člověka nemají zabít, ale jen paralyzovat, prošel mnoha stádii od dřevěných projektilů, přes elektrické obušky, lasery a chemické prostředky

až po např. mikrovlnné zařízení ADS¹ – mikrovlnné zařízení, které vyvolává nepříjemné tepelné pocity až palčivou bolest, nebo parabolické talíře LRAD² – akustické zařízení s dlouhým dosahem, které začali používat Američané v Iráku k zahánání méně nebezpečných osob. Toto akustické zařízení vysílá úzce směřované vysoké tóny s intenzitou kolem 150 dB. Tyto tóny v závislosti na vzdálenosti od vysílače mohou být nepříjemné až fatálně nesnesitelné. [1]

První bojové nasazení energetických zbraní proběhlo patrně v roce 1982 ve válce o Falklandy. Další pokusy s použitím energetických zbraní zřejmě provedlo i vojsko tehdejšího SSSR v Afghánistánu. V roce 2007 měly americké vzdušné síly k dispozici neletální zbraň v ozbrojeném konfliktu v Iráku. Jednalo se o zdokonalený a odolnější mikrovlnný aktivní obranný systém, postavený na bázi předchozího typu ADS, který byl od ledna 2007 v Iráku testován.

Zásadní podnět pro bojové využití energetických zbraní ovšem přinesla válka proti terorismu, která způsobila, že se stále více zbraní dostává na bojiště už v rámci pokusů či vojenských testů. Není proto nijak překvapivé, že ozbrojené síly USA již několik let využívají lasery, mikrovlnné zářiče a akustické zbraně. Zatím jde převážně o nesmrtící systémy, které slouží pro rozhánění demonstrací a ničení výbušných nástrah. [3]

Tato práce bude mimo jiné právě popisovat jednotlivé druhy nesmrtících zbraní a zároveň analyzovat současný stav v oblasti vývoje a aplikace zbraní s řízenou energií včetně vývojových trendů v této oblasti.

¹ ADS – Active Denial System, systém aktivního odporu

² LRAD - Long Range Audio Device

1 CHARAKTERISTIKA NELETÁLNÍCH ZBRANÍ A SYSTÉMŮ

První kapitola pojednává o zbraních, které využívají k dosažení svého cíle jiných prostředků než pevných střel. K hlavním vlastnostem těchto zbraní patří to, že nemají za úkol protivníka usmrtit, ale mají za úkol jej vyřadit z boje. **V níže uvedené tabulce jsou barevně zvýrazněny zbraně patřící mezi zbraně s řízenou energií.**

Tab. 1. Neletální zbraňové technologie

KATEGORIE	DRUH	POPIS	CÍL
Akustické	1. Infrazvukové	nízká frekvence, vysoká amplituda akustického vlnění (modifikovaná k poškození kostry hlavy); v oblasti slyšitelných kmitočtů založené na kombinaci nelibozvukových tónů a akordů s různými šumy a zázněji	osoby i materiál
	2. Zvukové		
	3. Ultrazvukové		
	4. Šokové	sofistikovanější systém zasahující cíl fyzickou silou jednoho kmitu	osoby
Biologické	5. Biologické zničení	biologická agens, která degradují materiály	materiál
	6. Zneschopnění (kalmativní látky)	chemické látky, které ovlivňují lidské chování	osoby
Chemické	7. Adhezivní látky (lepidla)	rychle a pevně lepící materiály	materiál
	8. Agresivní látky (silné alkálie, kyseliny, oxidační činidla)	degradují materiály	materiál
	9. Látky způsobující křehkost	snižují pevnost materiálů	materiál
	10. Viskózní a adhezivní pěny	lepkavé viskózní látky k imobilizování osob	osoby
	11. Mazadla	způsobují kluzkost povrchů	osoby i materiál
	12. Modifikátory motorů vozidel	ovlivňují spalování paliva, zastavení motorů	materiál
Elektrotechnické	13. Vodivé materiály	dlouhé pásy, které zkratují elektrické systémy	materiál
	14. Omráčení vysokým napětím	škála systémů vyřazujících na osoby (např. „taser“ a „dazzler“)	osoby

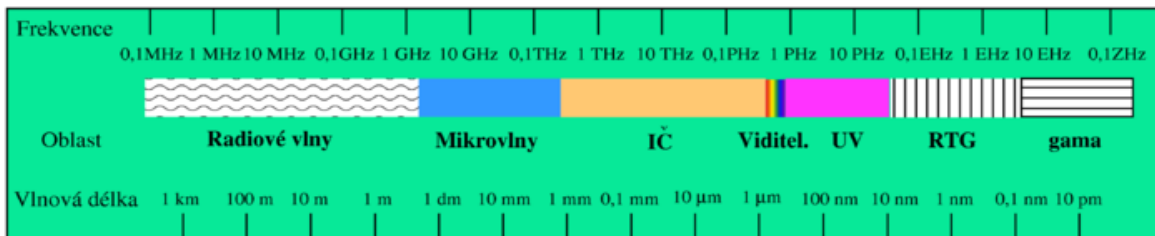
Elektromagnetické	15. Lasery		
	a) nízkoenergetický systém	přenosná laserová puška pro dočasné oslepení osob	osoby
	b) impulsní chemický laser	prostředky vytvářející vysokotlakou šokovou vlnu v cíli zasažení	materiál
	16. Světlo		
a) munice	optická munice vyvolávající všesměrový záblesk jasného světla optická munice vyvolávající jednosměrný záblesk jasného světla	osoby osoby	
b) impuls	impulsní světlo vysoké intenzity k dezorientaci osob, jednoduchý impuls mikrovlnné energie vysoké energie (ne jaderný elektromagnetický impuls)	osoby i materiál	
	17. Mikrovlny	opakované mikrovlny vysoké energie k tvorbě impulsního paprsku	Materiál
Informační	18. Počítačové viry	selhání počítačových systémů působením virů	materiál
Kinetické	19. „Projektily“	snížení nebezpečí zranění při zasažení osoby	osoby
	20. Zamotávači	sítě, oka atd., které mohou držet jednotlivce (nebo vozidlo)	osoby i materiál

Následující podkapitoly obsahují popis základních charakteristik některých vybraných druhů neletálních zbraní:

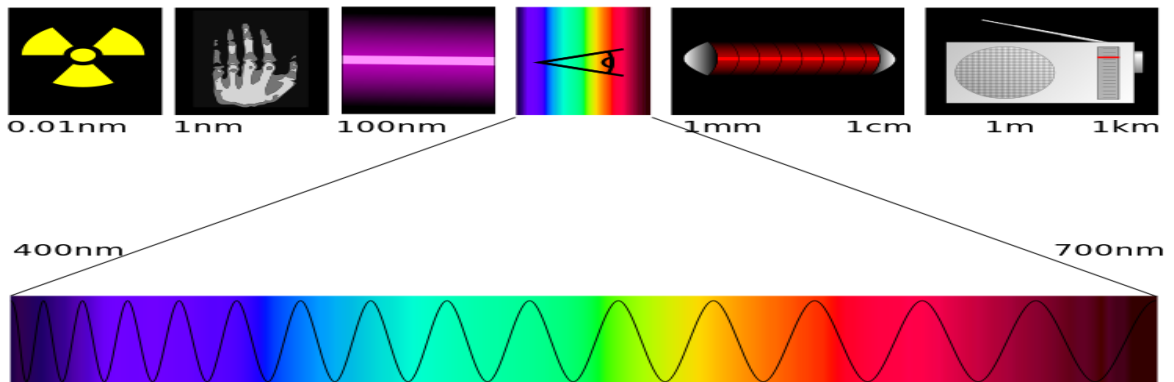
- optické neletální zbraně,
- vysokofrekvenční neletální zbraně,
- elektromagnetického impulzu,
- akustické neletální zbraně,
- biologické neletální zbraně,
- chemické neletální zbraně,
- plasmové a částicové zbraně.

1.1 Optické neletální zbraně

Do kategorie optických zbraní zahrnujeme zbraně, které vyzařují elektromagnetickou energii v optické části elektromagnetického spektra.



Obr. 1. Elektromagnetické spektrum [4]



Obr. 2. Spektrum vlnových délek [4]

Rozlišení na laserové nebo světelné zbraně použijeme podle toho, zda využívají koherentní nebo nekoherentní vlny.

Koherentní světlo jsou elektromagnetické vlny shodné, resp. téměř shodné vlnové délky, které mají konstantní fázový rozdíl mezi různými body pole. Toto umožňuje dosahovat jevu interference a vysoce výkonových špiček. Mezi zdroje vysoce koherentního světla patří kvantové generátory záření, nazývané Lasery³.

³ Laser - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

1.1.1 Světelné zbraně

Světelné zbraně patří k nejjednodušším neletálním zbraním. Nejedním z nás jistě zažil pocit krátkodobého přímého osvětlení očí svítilnou v noci. Jiný případ nastává v momentě, kdy taková svítilna má asi 1000krát větší výkon a navíc v impulzech volitelné délky i prodlevy mezi impulzy. Intenzivní záblesky nekoherentního světla mohou vyvolat dočasné oslepnutí, ztížit zaměřování cílů a pohyb v terénu. Při některých frekvencích a tvarech impulzů lze dosáhnout krátkodobého oslepnutí, ztráty orientace až po stavy předcházející epileptickým záchvatům. Efektivnost světelných zbraní je možné zvýšit kombinovaným působením s laserovými zbraněmi a současným působením dalších neletálních prostředků. V USA jsou vyvíjena zařízení vytvářející silné směrové i nesměrové impulzní toky nekoherentního optického záření na principu zapálení inertních plynů výbuchem. Výkonové reflektory nejsou jediným druhem těchto zbraní. Existuje například dělostřelecká záblesková munice ráže 40 nebo 155 mm a letecké klouzavé pumy, které mohou po výbuchu ve výšce nad určeným prostorem vyřadit z činnosti jak optické soustavy a čidla, tak živou sílu protivníka. K těmto účelům se uvažuje rovněž o miniaturních bezpilotních prostředcích. [5]

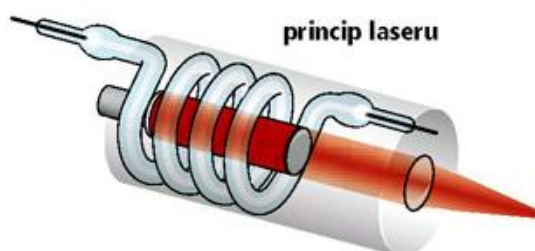
1.1.2 Laserové zbraně

Laserové zbraně se využívají k oslepení živé síly nebo k ničení optických soustav a senzorů sloužících k vyhledávání a zaměřování cílů nebo k navádění přesných zbraní na vybrané cíle. Laserové prostředky k vyřazení zraku lidí již sice byly vyvinuty, ale do výzbroje zatím nemohou být zařazeny. Objevil se problém s tím, že mohou vyvolat nevratné poškození ve zrakových orgánech zasažených osob. Lidský zrak je charakteristický značným rozsahem energie záření absorbovaným okem, která například závisí na vzdálenosti od laserové zbraně, úhlu dopadu, stupni adaptace zraku na ozáření, znečištění prostředí a na ochraně zrakových orgánů. Při stejně velké energii vyzářené laserem může docházet nejen k vratným, ale bohužel i k nevratným změnám v závislosti na konkrétních podmínkách.

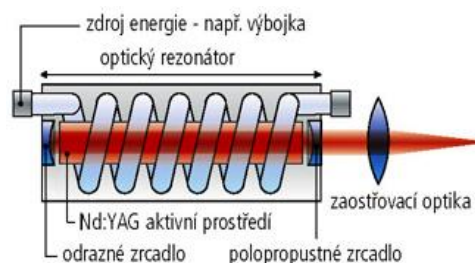
Laser je citlivý kvantový generátor, který pracuje ve viditelné a infračervené oblasti elektromagnetického spektra. Funguje na principu vynucené emise předem vybuzených elektronů na vnějších dráhách atomů. Laserové záření je monochromatické, koherentní, má

nepatrnou úroveň vlastního šumu, malou rozbíhavost paprsku a zejména schopnost soustředit značnou spektrální hustotou energie záření. Pro tyto výše vyjmenované vlastnosti nachází rozsáhlé použití v civilní i vojenské sféře, především v oborech s velmi vysokými požadavky na přesnost a vysokou směrovost. Laser se skládá ze tří hlavních částí, a to z aktivního prostředí, optického rezonátoru a budicího zařízení. Původním zdrojem záření jsou fotony odpovídající frekvence, vyzářené aktivním prostředím spontánně ve směru optické osy rezonátoru. Čím více dochází k odrazům na zrcadlech rezonátoru, tím více se zvyšuje stupeň jeho koherence. Lasery mohou pracovat buď v impulzním, nebo spojitém režimu, a to s různými druhy modulace. Podle použitého druhu aktivního prostředí rozlišujeme kapalinové, plynové, chemické a další. Mezi nejvýkonnější lasery patří lasery kapalinové. [5]

Podstatou laseru je mnohonásobný odraz a zesílení světla uvnitř tzv. aktivního prostředí, které je na obou stranách zpravidla ohraničeno zrcadly. Jedno ze zrcadel je polopropustné a světlo jím za určitých podmínek může vycházet ven.



Obr. 3. Princip laseru [6]



Obr. 4. Řez laserem [6]

Ve druhé polovině devadesátých let 20. století již bylo testováno několik zbraní této kategorie. Například mobilní nízkoenergetický laser vážící přibližně jeden kilogram může vyzařovanými záblesky oslepnout nejen lidi, ale i vyřazovat z činnosti optické a infračervené vyhledávací, pozorovací a zaměřovací soustavy, které jsou téměř vždy součástí systémů průzkumu a řízení palby různých zbraní na vzdálenosti více než 10 kilometrů.



Obr. 5. PHaSR - Personnel Halting and Stimulation Response [7]

Nadmíru účinnou se projevila jakási obdoba stroboskopu – lidar, jde o tak zvané letecké laserové skenování povrchu. V USA a v dalších zemích vyvíjejí i velmi výkonné letecké, námořní a pozemní laserová zařízení, která mají vylučovat z činnosti hlavní součástky většiny moderních zbraňových systémů - optoelektronická zařízení řízení palby na ještě větší vzdálenosti. Tvůrci optoelektronických přístrojů velmi rychle reagovali a nyní opatřují termokamery a nízkoúrovňové televizní kamery speciálními filtry, zabraňujícími průniku energie laseru k citlivému detektoru. Existují také ochranné brýle pro piloty, řidiče tanků. Tyto zbraňové systémy nejsou však zaváděny masově.

1.2 Vysokofrekvenční neletální zbraně

Mezi velkou kategorií energetických zbraní patří zbraně vysokofrekvenční. V angličtině se zpravidla používá zkratka DEW⁴, Direct Energy Weapons, které ještě můžeme dělit na zbraně s řízenou energií pracující v pásmu rádiových vln pod zkratkou DEWRF⁵, Direct Energy Weapons radio-Frequency a zbraně s řízenou energií pracující v pásmu mikrovln se zkratkou DEWM⁶, Directed Energy Weapons-Microwave. Jak už napovídají názvy, tyto zbraně pracují v odlišné části elektromagnetického spektra než lasery, tedy v úrovni rádiových vln a mikrovln. Systémy se principem fungování vlastně podobají radarovým vysílačům či mikrovlnným troubám. Pomocí prvků, jako jsou magnetrony či klystrony, generují rádiové vlny, které se poté přes anténu zaměřují na cíl. Na rozdíl od optických zbraní nejde účinek vysokofrekvenčních zbraní zpozorovat přímo lidským zrakem. Tyto zbraně vyzařují elektromagnetickou energii v části elektromagnetického spektra rádiových

⁴ DEW - Direct Energy Weapons, zbraně s řízenou energií

⁵ DEWRF - Direct Energy Weapons, zbraně s řízenou energií pracující v pásmu rádiových vln

⁶ DEWM - Direct Energy Weapons, zbraně s řízenou energií pracující v pásmu mikrovln

vln. Mechanismus vlivu vysokofrekvenčních zbraní na lidský organismus je možné rozčlenit na energetický a informační. Z největší části je prozkoumáno tepelné působení silných toků vysokofrekvenční energie. Vysokofrekvenční elektromagnetické záření, v závislosti na nosném kmitočtu a výkonu, narušuje činnost mozku a centrální nervové soustavy a dočasně vyřazuje člověka z činnosti. Může způsobovat poruchy vnímání, únavu a ospalost nebo naopak neklid a stres, pocit hladu, žízně, teploty, chladu, bolesti, svědění a někdy i další vedlejší vjemy. Účinek je jedincem vnímán současně jako nesnesitelný bolestivý pocit intenzivních šumů a pískání, doprovázený úzkostí a nevolností v závislosti na konkrétních podmínkách a parametrech signálu. Na rozdíl od optických zbraní, které mají vliv na přímou rádiovou viditelnost, vysokofrekvenční zbraně v závislosti na kmitočtu prostupují i některými přírodními překážkami. [5]

Zatím se neví o všech přímých i nepřímých účincích působení vysokofrekvenčních zbraní na lidský organismus. O jejich naprosté neškodnosti nejsou všichni lékaři jednoznačně přesvědčeni. Pochybnosti byly posíleny především v souvislosti s válkou v Perském zálivu. Jednou z možných příčin onemocnění vojáků mohlo být jejich vystavení účinkům vysokofrekvenčního záření při průletech bojových letounů s aktivovanými rádiovými/radiolokačními rušiči nad vlastními vojsky. Někdy se hovoří o efektu tzv. slyšitelnosti rádiového vysílání zasaženou osobou, který spočívá v tom, že lidé nacházející se v silném poli rozhlasového vysílače slyší tzv. "vnitřní hlasy a hudbu". Odborníci v oboru vysvětlují podstatu tohoto jevu tím, že někteří jedinci dokáží detekovat nosnou modulovanou frekvenci nelineárním vnitřním prostředím lidského organismu s následnou transformací na signály vnímatelné sluchovým nervem. Druhotným následkem může být zcela zřetelné pískání v uších, doprovázené poruchami spánku, nechutenstvím a nadměrnou únavou, přetrvávající i několik dní. Vysokofrekvenční záření lze použít rovněž k působení na technická zařízení protivníka na principu využití vysoké výkonové hustoty k překonání běžných ochranných vstupu. Tento způsob již byl prakticky ověřen jako součást elektronického boje. Používá se jen taková úroveň, která nezničí elektronická zařízení protivníka, ale způsobí v nich silné poruchy, které obsluha není schopná eliminovat. Do zařízení má toto záření proniknout přes filtry, parazitními vstupními kanály a přes nestíněné části. Obtížné je dosažení potřebných energetických výkonů při požadovaných rozměrech a hmotnosti zbraně. Vysokofrekvenční zbraň je relativně

složitým zařízením, proto je problémem i přijatelná pořizovací cena a provozní náklady. Dalším limitem je i efektivní dosah, jelikož účinek vysokofrekvenčního záření prudce klesá se vzdáleností od zdroje. [8]

Mezi vysokofrekvenční zbraně elektromagnetického impulsu jsou začleněny zbraně založené na vyzařování energie vysoké hustoty ve formě velmi krátkého impulsu elektromagnetických vln v široké oblasti spektra. Jedná se o spektrum optické až po rádiové. Intenzivní impulzy systémů, které generují toto záření, mohou přímo ničit elektrická a elektronická zařízení. Prakticky byly podrobeny zkoušce kanónové střely, pumy i speciální impulzní generátory, snášející se na padáku. Nejvíce zranitelné jsou polovodičové prvky od diod a tranzistorů až po složité integrované obvody. Zahraniční teoretické práce a uskutečněné pokusy prokazují, že k účinnému vyřazení výpočetní techniky, elektronického a elektrotechnického zařízení a k vymazání informací, např. databází dat, je možné využít i nejaderné generátory elektromagnetického impulsu. V pokročilém stádiu vývoje jsou generátory uvolňující gigawaty energie, které by mohly být použity k vyvolání exploze, srovnatelné s výbuchem muničního skladu, k vyřazení nechráněných provozovaných klíčových elektronických systémů, včetně počítačových a anténních systémů. K dalším lehce poškoditelným systémům patří především všechny motory s elektrickými (elektronickými) zapalovacími systémy, radary, spojovací, datové a navigační prostředky, osvětlení a nechráněné elektronické roznětky a jaderná zařízení. Jednou z výhod těchto zbraní je, že jsou dostatečně selektivní. Lze úplně přesně vymezit oblast a dobu jejich působení. Technologická dostupnost prvků nejaderných generátorů elektromagnetických impulsů umožňuje zkonstruovat dostatečně kompaktní generátory impulsu, vhodné pro dopravu na cíl klasickými i vysoce přesnými nosiči. Vybavení těchto nosičů terminály družicového navigačního systému GPS⁷ podstatně zvyšuje výběr cíle a účinek v cíli. Čím větší přesnost navedení, tím menší výkon generátoru postačuje k dosažení stejného účinku. [8]

Americké ministerstvo obrany nedávno zveřejnilo stručnou informaci o nové neletální zbraní, která způsobuje pocit popálení zasažených osob, ohrožujících příslušníky mírových sil. Jedná se o velmi úzký paprsek, ve kterém jsou vyzařovány impulzy milimetrové vlnové

⁷ GPS - Global Positioning System

délky. Výsledným efektem je, že se podobá dotyku lidských částí těla s rozpálenou baňkou elektrické žárovky bez poškození pokožky, avšak s velmi krátkým pocitem intenzivní bolesti. Člověk pociťuje bolest zásahu po dobu několika sekund, respektive až do doby, než obsluha neletální elektronické zbraně vypne vysílač, nebo než se zasažená osoba dostane mimo velice tenký paprsek mikrovlnné energie. Předpokládá se, že v běžných podmínkách ozbrojeného konfliktu, či rizikových oblastí se útočník nebude chtít opakovaně a dobrovolně vystavovat šokům a raději zvolí snadnější řešení. Jednoduše nebezpečné místo opustí. Z hlediska účinnosti není tak podstatné, zda jsou zasaženy nechráněné, či chráněné části těla oděvem. Dá se předpokládat, že své provede nejen šok z bolesti, ale i moment překvapení, kdy si zasažená osoba nestačí ani uvědomit, co se vlastně děje. [5]

Američané zkouší nainstalovat základnu s vysílačem paprsku mikrovlnné energie na lehký terénní automobil, například na vysoce mobilní víceúčelové kolové vozidlo tzv. HMWWV⁸, který lze snadno přepravovat letounem, vrtulníkem nebo lodí. Snadná a dostupná přeprava nové neletální zbraně umožní velitelům její operativní a snadné použití v rámci operací mírových sil a humanitárních akcí kdekoliv na světě. Podle oficiálního sdělení Pentagonu, Americké ředitelství pro neletální zbraně všech složek ozbrojených sil (US Joint Non Lethal Weapons Directorate) vyvíjelo tuto paprskovou zbraň 10 let a na vývojový projekt vynaložilo částku 40 milionů amerických dolarů.



Obr. 6. ADS – Mikrovlnné zařízení [9]

⁸ HMWWV - High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle

Vysokofrekvenční zbraně nejsou jen americkou specialitou, ale jsou i ruskou specialitou. V minulosti byly představeny veřejnosti dva typy neletálních vysokofrekvenčních zbraní Ranets-E a Rosa-E, jejichž výstupní výkon přesahuje 500 megawattů. Vysokofrekvenční kanón Ranets-E je určen k ochraně pozemních cílů a objektů před přesnými zbraněmi. Vyzařováním vysokofrekvenční energie ničí elektronické a elektrické obvody naváděcích soustav do vzdálenosti 10 kilometrů v sektoru 60°. Pracuje v centimetrovém pásmu a vyzařuje impulzy o délce 10-20 ns. Letounové zařízení Rosa-E o hmotnosti 600 - 1500 kg dokáže ničit vstupní elektronické obvody a přijímače radarů protivníka na vzdálenost do 500 kilometrů. [5]



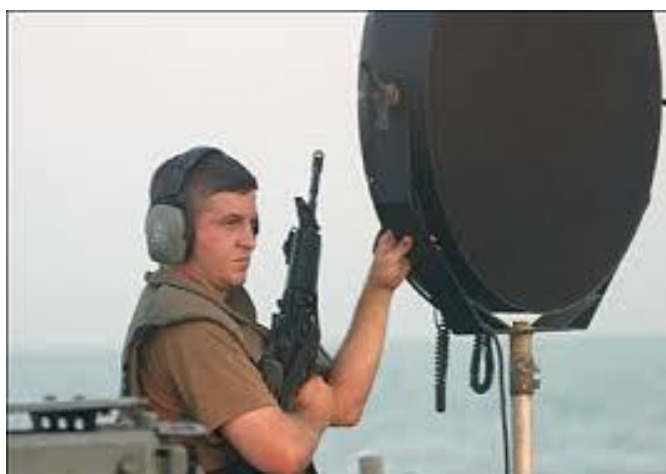
Obr. 7. Ranets-E – vysokofrekvenční zbraň [10]

1.3 Akustické neletální zbraně

Kategorie akustických zbraní obsahuje zbraně založené na vyzařování energie v celé oblasti slyšitelných kmitočtů (zvukové) a v navazujících oblastech nižších i vyšších, lidským sluchem neslyšitelných kmitočtů. Generátory zvuku velmi nízkého kmitočtu s dostatečným výkonem vyzařují kombinace nelibozvučných tónů a akordů s různými šumy a zázněji o velmi intenzivní hlasitosti. Lidem způsobují vyřazení z jakékoliv činnosti, jejich dezorientaci, nevolnost, zvracení a křeče vnitřních orgánů. Vliv infrazvuku na organismus a lidskou psychiku se v USA intenzivně zkoumal již v 60. a 70. letech, a to jak pro využití policií, tak jako zbraně. Zjistilo se, že již nízké úrovně signálu mohou vyvolat hluboký pocit strachu a davovou paniku. Při vysoké úrovni je možné narušení

psychomotorických funkcí a navození stavu, jaký obvykle předchází epileptickému záchvatu. Doposud však není prakticky ověřeno, při jak velké výkonové hustotě může dojít až ke smrtelnému poškození organismu. Předpokládá se, že akustické paprsky se budou vytvářet tradičními prostředky se směrovým účinkem. Použití infrazvukové zbraně bude účinné i proti živé síle v krytech a uvnitř bojové techniky. Infrazvuk může být také použit k ničení konstrukcí, například i k demolici zdiva.

Příkladem v této oblasti je vyvinutá v USA armádě nesmrtící akustická zbraň, která se označuje názvem LRAD. Tato zbraň o hmotnosti cca 20 kg, umí prostřednictvím svého 84cm diskovitého vysílače nasměrovat vlnu ostrého 150 decibelů silného pronikavého zvuku, aniž by tímto paprskem zvuku byl zasažen kdokoliv v blízkosti zbraně. Tento hlasitý „megafon“ s cenou více jak půl milionu korun soustředí zvukové vlny na zvolený cíl a pak na něj vyšle zvuk o 30 dB nad hranicí bolesti (150 dB), což způsobuje zvracení, nevolnost a spolehlivě zabrání agresorům pokračovat v útoku. Protivníka ochromuje, dezorientuje a lze jím napodobovat střelbu ze střelných zbraní a další zvuky. Trvalé ohluchnutí dokáže způsobit ve vzdálenosti menší než 300 m od zbraně. Vzhledem k tomu, že za ústím zbraně dosahuje hluk jen 60 dB, mohou lidé, kteří zvukovou pušku používají, spolu normálně komunikovat.



Obr. 8. LRAD - akustická zbraň [11]

1.4 Biologické neletální zbraně

Pozornost vývoje v oblasti biologických zbraní se soustřeďuje i na nejnovější biotechnologie, zejména genové a buněčné inženýrství. V průběhu výzkumů zaměřených na získání nových biomateriálů pro účely ochrany životního prostředí biologickými metodami a ekologicky čisté používání zbraní a vojenské techniky v posledních letech byly získány teoretické i praktické poznatky o využití mikroorganismů a produktů jejich látkové výměny. Získané poznatky jsou nyní základem efektivních neletálních zbraní.

Například při odstraňování ropných havárií s negativními ekologickými dopady byly vypěstovány a experimentálně ověřeny kmeny bakterií a jiné mikroorganismy, které efektivně rozkládají naftové produkty. Naftové uhlovodíky převádějí na mastné kyseliny, které dále přírodní mikroorganismy rozkládají na neškodné látky. Tohoto systému lze v principu využít k vojenským účelům, přesněji ke znehodnocení skladovaných pohonných hmot protivníka natolik, že se během několika dní stanou nepotřebnými. Bakterie napadající mazadla mohou způsobit takovou změnu vlastností, která může způsobit zadření motorů a hydraulických mechanismů. [5]

Novinkami jsou i mikrobiologické technologie, které způsobují odstranění maskovacího nátěru. V kategorii biologických zbraní jsou používány i mikroorganismy a hmyz, které ničí různé prvky elektronických izolací, desky plošných spojů, těsnicí a umělohmotné materiály, kovy a slitiny i pryž, konzervační přípravky a tepelné izolace. K vývoji neletálních zbraní jsou využívány poznatky z civilního výzkumu. Na likvidaci zmetkových a vysloužilých integrovaných obvodů se například využívají kmeny bakterií, které rozkládají arzenid galia. Galium se hromadí v biomase. Arzen se okysličuje a slouží bakteriím jako zdroj energie. Spoustu takových řídicích procesů lze skrytě použít k vyřazení zbraní a vojenské techniky z provozu. [5]

1.5 Chemické neletální zbraně

Neméně zajímavou oblastí neletálních zbraní jsou chemické prostředky, které mohou elegantně a s minimálními náklady dočasně vyřadit z činnosti jak živou sílu, tak bojovou techniku a zbraně. Oblast možných aplikací jako neletální zbraně je v porovnání s ostatními druhy snad nejšířší a také je již dnes mnoho prostředků schopné okamžitého

rozsáhlého použití. Hlavně se poukazuje na možnost vytvoření vysoce účinných psychotropních preparátů s ovlivnitelnou dobou jejich působení, látek znehybňujících člověka, a tak dále. Nebo naopak, látek způsobujících různé psychické stavy - od rozkoše, přes pocity nesnesitelného hladu, únavy a ospalosti, bezmezná "bodrosti a štědrosti" až po pocity úzkosti, strachu a hlubokých depresí. Utišující, uspávací či omamné látky ve spojení s látkami rychle dopravující chemikálie přes povrch těla do krevního oběhu mohou být využity bez rizika ztrát lidských životů, například při nepokojích, proti teroristům, únoscům, vzbouřencům nebo při akcích na záchranu rukojmích. Do požadovaného prostoru mohou být dopraveny třeba granátem, vystřelením z pušky. [5]

Jsou známé i technologie výroby chemických prostředků, které selektivně a účinně působí na vybranou bojovou techniku. K tomu mohou být použity například aerosolové pumy, které v prostoru soustředění bojové techniky protivníka nebo na kolonu za přesunu rozptylují chemické látky, které poškodí nebo vyřadí z činnosti motory bojové techniky, elektrocentrály apod. tím, že způsobí zahuštění paliva a ztrátu mazací schopnosti maziv a naruší strukturu některých materiálů použitých v důležitých částech zařízení, případně zničí pryžové části techniky (pneumatiky, hadice, těsnění, přívody paliva, stěrače, apod.). V praxi byly ověřeny látky, které snižují kvalitu paliva a tím i výkony motorů nebo naopak prudce zvyšují oktanové číslo paliva a tím způsobují trvalé následky - přepálení motoru. Současně s tím mohou být použity látky způsobující zahuštění, až ztvrdnutí mazadel způsobující zadření motorů a převodovek. Dále se zvažují i možnosti, jak lze pomocí změny molekulární struktury vyvolat změny mechanických vlastností kovů. Látky s tímto účinkem je možné použít např. ve formě spreje nebo větší tlakové nádoby. Při jejich aplikaci na důležité kovové konstrukční části vojenské techniky, mostních podpěr, kolejnic a výhybek mohou způsobit značné škody a mít velký psychologický účinek. Jako neletální zbraně je možné použít i chemické prostředky, které mají extrémně nízký koeficient tření. Po použití takových "lepidel" na terénu velké rozlohy se znemožní pohyb lidí, kolové i pásové techniky i pohyb a funkčnost protiletadlových raketových systémů v palebném postavení. Dále pak nabízejí možnost, jak velmi rychle a účinně na určitou dobu znemožnit přesuny vojsk, zabránit výjezdu techniky z vojenských posádek do předem určených prostorů, vzletům a přistáním bojových letounů a vrtulníků nebo činnost zásobování jednotek apod. Doba aplikace takových prostředků se pohybuje od 5 do 60 minut a doba jejich účinku od 2

hodin až po několik dnů. Opakem jsou aerosoly tvrdých keramických materiálů, které jsou mnohem horší než písek. Po nasání způsobují zadření spalovacích motorů a při použití proti rychle letícím vzdušným cílům též narušení povrchu včetně "zviditelnění" prostředků s povrchovou úpravou technologie stealth⁹. Přílnavé polymery mohou téměř okamžitě připoutat libovolnou bojovou techniku na jednom místě jako mouchu na mucholapce a vyřadit ji tak z činnosti. [5]

1.6 Plasmové a částicové zbraně

Stále poněkud nejasně specifikovanou kategorií představují plasmové zbraně. Je všeobecně známé, že plasma je čtvrté skupenství hmoty, v němž jsou od atomových jader odděleny elektrony, takže takové uspořádání může uvolňovat velkou energii. Ale pro vytváření či ovládání plasmy se zpravidla užívají laserové, nebo mikrovlnné zářiče, a proto se plasmové zbraně občas dají jen těžko odlišit od laserových a mikrovlnných. Zjednodušeně lze říci, že v plasmových zbraních neslouží světelné či rádiové vlny přímo pro zásah cíle, ale jako prostředky pro vyvolání plasmového efektu. Příkladem je tzv. elektrolaser, což je zařízení, které pomocí slabého laserového paprsku vytvoří vodivý plasmový kanál, jímž následně proběhne silný elektrický výboj. Ten dokáže např. ochromit člověka podobně jako taser, nebo spustit nástražný výbušný systém. Další možnost tvoří využití laserových paprsků pro vytvoření „umělého kulového blesku“, resp. plasmové „bublíny“, její rozložení nato vyvolá ochromující světelný a zvukový efekt a tlakovou vlnu. Takhle funguje např. nesmrtící plasmová zbraň PASS¹⁰. Předpokládá se, že pravděpodobně nejvyšší úroveň plasmových zbraní by měly představovat systémy, které by na velkou vzdálenost vystřelovaly plasmové „projektily“ zejména proti vzdušným cílům. V této souvislosti lze zmínit vývojové programy jako MARAUDER¹¹ nebo Shiva Star. K energetickým zbraním patří také zbraně částicové (particle beam weapons), respektive zbraňové aplikace urychlovačů elementárních částic (elektronů či neutronů). USA a SSSR vyvíjely taková zařízení už od

⁹ Stealth – obtížná zjistitelnost, neviditelnost

¹⁰ PASS - Plasma Acoustic Shield System

¹¹ MARAUDER - Magnetically Accelerated Ring to Achieve Ultra-high Directed Energy and Radiation

konce 50. let; příkladem je americký program BEAR¹², jehož součástí se stal výkonný vrhač neutronů do hlavice balistické rakety.

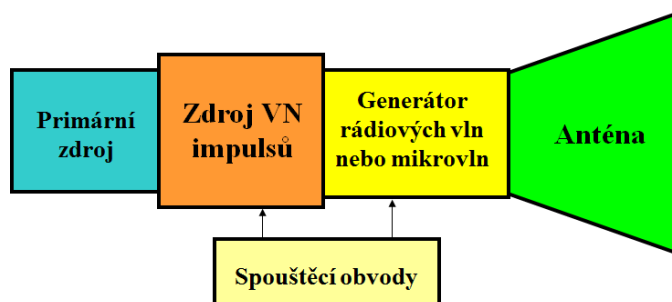
Dílčí závěr

Předchozí kapitola popisuje jen některé z vybraných zbraní využívajících mimo jiné k dosažení svého cíle řízenou energii. Systémy použití takzvaných neletálních zbraní je velmi různorodý a jak je popsáno výše, zakládá se na různých technologiích.

¹² BEAR - Beam Experiments Aboard a Rocket

2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZBRANĚ – JEJICH KLASIFIKACE

Oblast elektromagnetických zbraní se směrovou energií DEW je velmi rozsáhlá, a proto bude v dalším textu této práce věnována pozornost především elektromagnetickým zbraním pracujícím v pásmu rádiových vln a mikrovln, tedy elektromagnetickým zbraním se směrovanou energií DEW využívající k transformaci energie určené k destrukci vybraného cíle subatomové částice nebo elektromagnetické vlny. Elektromagnetické zbraně pracující v pásmu rádiových vln a v pásmu mikrovln (DEWM, pracovní kmitočty se mohou vyskytovat v pásmu 1GHz až 300 GHz a DEWRF, pracovní kmitočty se mohou vyskytovat v pásmu stovek kHz až 1 GHz) ke své činnosti používají velmi intenzivního elektromagnetického pole, obvykle impulsního, schopného dočasně nebo trvale poškodit objekt nebo cíl, na nějž nebo v němž působí. Tomuto jevu se říká elektromagnetický impuls EMP¹³. Bojové použití elektromagnetických zbraní závisí hlavně na způsobu akumulace energie, šířce pásma generovaného signálu, výkonu generovaného signálu, režimu činnosti zbraní, charakteru nosiče a samozřejmě také na charakteru cíle.



Obr. 9 Obecné funkční schéma elektromagnetické zbraně [12]

2.1 Určení a režim činnosti

Režim činnosti elektromagnetických zbraní je úzce spojen s jejich určením. Z tohoto hlediska pracuje elektromagnetická munice jednorázově a zbraně pro ochranu objektů obvykle opakovaně. Opakovací kmitočet DEWM a DEWRF s opakovanou činností dosahuje hodnoty až 10000 imp/s a existuje tendence jeho zvyšování. Co se vlastně pod pojmem určení zbraní nachází? Jedná se o další hledisko klasifikace elektromagnetických

¹³ EMP – ElectroMagnetic Pulse

zbraní. Takto lze tyto zbraně klasifikovat za první jako zbraně pro ochranu objektů proti zbraňovým systémům, které jsou vybaveny elektronickým naváděcím, řídicím nebo iniciačním systémem a za druhé jako elektromagnetickou munici ve formě leteckých pum, raket, křídlatých raket, min a dělostřelecké munice.

2.2 Způsob akumulace energie

Pro generování elektromagnetického impulsu je zapotřebí mít k dispozici zdroj energie, který dovede za velmi krátkou dobu předat dostatečné množství energie do zátěže. V elektromagnetických zbraních je energie pro generování elektromagnetického impulsu zejména vždy získávána vybíjením kapacitorových bank nebo z chemické energie explodující výbušniny, která komprimuje magnetický tok vytvářený indukční cívkou. Těmito dvěma způsoby je možné nejlépe ze všech generovat impulsy s dostatečnou energií během okamžiku. Klíčovými technologiemi, které existují v oboru, jsou explozivně pumpované generátory, explozivně či stimulačně řízené magneto-hydrodynamické generátory MHD¹⁴ a řada HPM zařízení z nichž většina je oscilátor s virtuální katodou nebo-li virkátor.

Při nasazování elektromagnetických zbraní jsou využívány následující zdroje energie:

- kapacitní,
- explozivně pumpované kompresní generátory magnetického toku,
- magneto-hydrodynamický generátor,
- zdroje mikrovln vysokého výkonu – virkátor.

2.2.1 Kapacitní

Marxův rázový generátor

Marxův generátor je zařízení vytvářející impulzy velmi vysokého napětí s obrovským proudem. Roku 1924 ho vynalezl Erwin Marx. Skládá se z velkého množství kondenzátorů, které se nabíjejí paralelně a vybíjí sériově. Po připojení napájecího napětí se

¹⁴ MHD - Magneto-Hydrodynamic generators

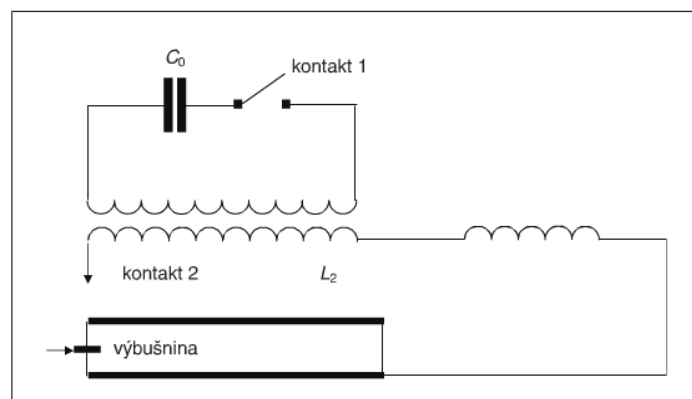
kondenzátory nabíjí až do chvíle, než dojde k přeskoku v nejnižším jiskřišti. Tím se zvýší napětí na dalším jiskřišti, které se také zapálí a tak dále, až se zapálí všechny. Tím se kondenzátory spojí do série a na výstupu se objeví impulz velmi vysokého napětí. Odpory musí odolávat vysokému napětí. Proud je impulzně tisíce ampér a výboje jsou proto velmi hlučné. Při provozu generátoru vznikají elektromagnetické impulzy.

2.2.2 Explosivně pumpované kompresní generátory magnetického toku (FCG¹⁵)

Explosivně pumpovaný generátor je nejznámější technologií aplikovatelnou na návrhy bomby. Je to zařízení v relativně kompaktním obalu, které dokáže vyrobit elektrickou energii řádově desítky megajoulů v době desítek až stovek mikrosekund v relativně kompaktním bloku. Při špičkovém výkonu řádově jednotek až desítek terawattů může být FCG použit přímo nebo jako zdroj jednoho výstřelu pulzu pro mikrovlnné elektronky. Pro srovnání, proud vyráběný velkými FCG je asi desetkrát až tisíckrát větší než proud vyráběný klasickými údery blesku. Centrální ideou pro konstrukci explosivně pumpovaného generátoru je použití rychlé třaskaviny a využití jejího výbuchu k rychlému stlačení magnetického pole transformací velké energie z třaskaviny do magnetického pole. Počáteční magnetické pole v tomto generátoru před inicializací exploze je produkováno počátečním proudem. Tento počáteční proud je dodáván vnějším zdrojem, jako je například vysokonapěťová kapacitorová banka (Marx bank), menší explosivně pumpovaný generátor nebo magneto-hydrodynamický generátor. V podstatě lze použít každé zařízení, které je schopno dodat pulz elektrického proudu řádově desítky kiloampérů až megaampéry. V aplikacích pro munici, kde jsou prostor a hmotnost prvořadé, je vyžadován co nejmenší zdroj počátečního proudu. Tyto aplikace mohou využít kaskádovité uspořádání těchto FCG, kde je malý FCG použit jako primární pro větší FCG. Bylo publikováno mnoho různých geometrických konfigurací FCG. Přitom nejčastěji používaná sestava je koaxiální FCG. U typického koaxiálního FCG formuje tvar celé sestavy válcová měděná trubice. Tato trubice je naplněna výbušninou s velkou energií. Sestava je omotána spirálovitou cívkou s velkým závitem, běžně se používá měď, která tvoří stator FCG. Vinutí statoru je u některých provedení rozděleno do částí vodiči,

¹⁵ FCG - Flux Compression Generators

rozvětvenými na hranicích těchto částí. Tím je optimalizována elektromagnetická indukčnost cívky. Výbušnina je běžně iniciována v okamžiku, kdy počáteční proud dosáhne špičkové hodnoty. To je zpravidla zajištěno explozivním vlnovým generátorem, který v prostředí s výbušninou vytvoří čelo vlny pro zapálení (nebo odpálení) výbušniny. Jakmile je toto čelo iniciováno, šíří se přes výbušninu do armatury a zakříví ji do kuželovitého tvaru (12 až 14 stupňů). V místě, kde se armatura roztáhne na plný průměr statoru, se vytvoří zkrat mezi konci statorové cívky, tím se vyzkratuje, a tedy izoluje zdroj počátečního proudu a zachytí se proud v zařízení. Rozšiřující se zkrat má ten účinek, že stlačuje magnetické pole, zatímco je omezována indukčnost statorového vinutí. Takový generátor generuje proudový impulz, který dosáhne špičkové hodnoty před konečným rozkladem zařízení. Zveřejněné výsledky uvádějí dobu náběhu od desítek do stovek mikrosekund, špičkový proud desítky ampérů až megaampéry a špičkovou energii desítky joulů až megajouly.



Obr. 10 Schéma generátoru FCG [13]

2.2.3 Magneto-Hydrodynamický generátor

Návrh a výroba magneto-hydrodynamických generátorů poháněných výbušně nebo pohonnými hmotami jsou mnohem méně obvyklé a méně propracované než výroba explozivně pumpovaných generátorů. Technické aspekty, jako jsou velikost a hmotnost zařízení pro generaci magnetického pole požadovaných pro magneto-hydrodynamické generátory, způsobily, že v blízké době nebudou zařízení na principu magneto-hydrodynamických generátorů příliš důležitá. V souvislosti s touto prací spočívá jejich možnost použití v oboru generování počátečního proudu pro zařízení FCG.

Základním principem činnosti zařízení MHD je ten, že vodič, který se pohybuje v magnetickém poli, bude vyrábět elektrický proud, jehož směr je kolmý ke směru pole a pohybu vodiče. V zařízeních MHD poháněných explozivně nebo pohonnými hmotami představuje vodič plazma z ionizovaného plynu výbušniny nebo pohonné hmoty, který se pohybuje magnetickým polem. Proud je odebírán na elektrodách, které jsou spojeny s tryskami plazmy.

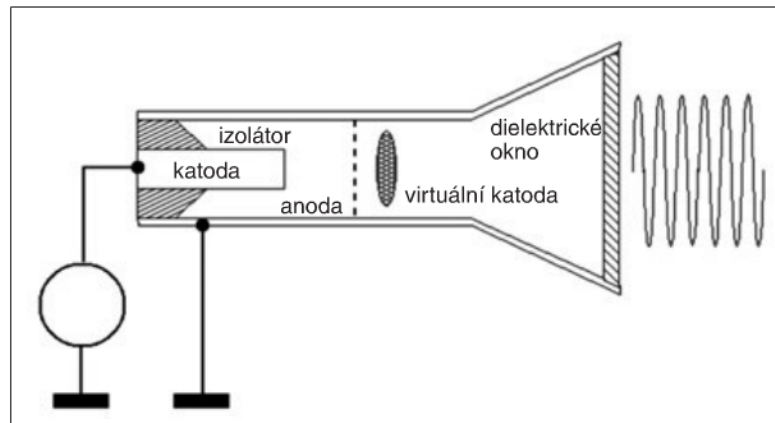
2.2.4 Zdroje mikrovln vysokého výkonu – virkátor

Explosivně pumpované generátory jsou možným zdrojem pro generování velkých výkonových elektrických pulzů, jejich výstup je však z technických důvodů omezen pouze na frekvenční pásmo do 1 MHz. Mnoho cílových soustav však může být těžce zranitelných jen při vyšších frekvencích a zvýšení frekvence těmito generátory představuje těžko řešitelné problémy. Zařízení pro generaci mikrovln vysokého výkonu HPM jednak splňuje požadavky na odpovídající velikost výstupního výkonu, jednak má i velmi dobrou schopnost vazby na mnoho typů cílů.

Existuje široké spektrum zdrojů HPM. Jsou to zejména relativistické klystrony, magnetrony, reflexní triody, zařízení s jiskřišti a virkátory. Perspektivní pro nejbližší období vývoje se jeví virkátory nebo také zdroje s jiskřišti. Virkátor je zajímavý z toho důvodu, že je to zařízení schopné generovat velmi výkonný samostatný pulz, a přitom je mechanicky jednoduchý, malý a může pracovat v relativně širokém pásmu mikrovlnných frekvencí až 10 GHz s výkonem do 10 GW.

Základní princip činnosti virkátoru spočívá v urychlení paprsku elektronů proti síťové nebo fóliové anodě. Mnoho elektronů projde touto anodou a přitom za anodou vytvoří bublinky prostorových nábojů. Za vhodných podmínek bude tato oblast prostorových nábojů oscilovat na mikrovlnných frekvencích. Jestliže bude tato oblast prostorových nábojů umístěna do rezonanční dutiny, která je vhodně laděna, může být dosaženo velmi velkého špičkového výkonu. Pro jeho odebrání z rezonanční dutiny mohou být využity postupy běžné mikrovlnné techniky. Protože frekvence oscilace je závislá na parametrech paprsku elektronů, mohou být virkátory laděny na frekvencích, na kterých bude mikrovlnná dutina podporovat vhodné režimy.

Nejčastěji jsou popisovány dva typy konstrukce virkátoru – axiální a příčný. Axiální virkátor je jednodušší a při zkouškách obecně dával nejlepší výstupní výkon. Běžně je zabudován do válcového vlnovodu. Výkon je nejčastěji získáván při přechodu vlnovodu z válcového tvaru na kuželovitý, přičemž kužel pracuje jako anténa. Axiální virkátor osciluje v příčném magnetickém TM^{16} módu. Příčný virkátor injektuje proud katody ze strany dutinky a zpravidla osciluje v příčném elektrickém TE^{17} módu.



Obr. 11 Principiální schéma axiálního virkátoru [13]

2.3 Podle šířky pásma generovaného signálu

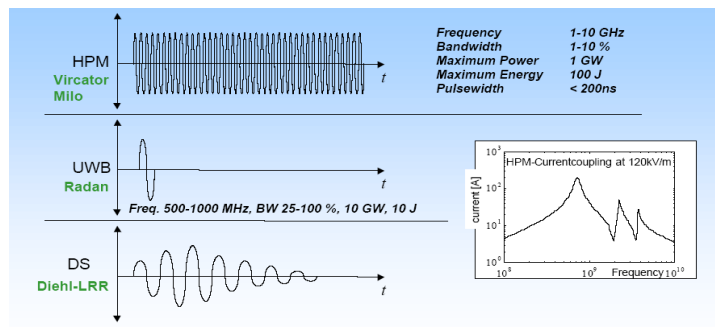
Pro generování výkonem postačujícího elektromagnetického pole se z hlediska šířky pásma generovaného signálu při návrhu a konstrukci DEWM a DEWRF používají níže uvedené třídy generátorů:

- úzkopásmové HPM - impulsy na nosném kmitočtu,
- širokopásmové UWB¹⁸ - videoimpulsy B-10dB > 500 MHz,
- tlumené kmity - tlumené sinusové kmity v pásmu do 1 GHz.

¹⁶ TM - Transverse Magnetic

¹⁷ TE - Transverse Electric

¹⁸ UWB - Ultra Wide Bandwidth



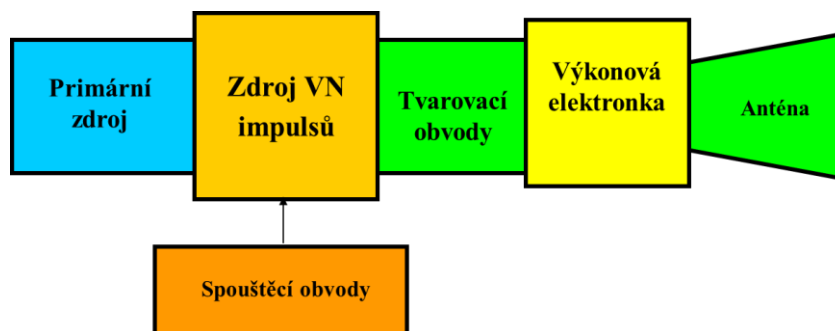
Obr. 12 Klasifikace podle šířky pásma generovaného signálu [12]

2.3.1 Úzkopásmová třída generátorů

Úzkopásmové generátory jsou podobné koncepcce jako vysílače radiolokátorů vytvářejících harmonický signál obvykle amplitudově impulsně modulovaný.

Maximální dosahované hodnoty generovaného výkonu:

- úzkopásmové generátory:
 - maximálně 20 GW,
 - běžně jednotky GW.



Obr. 13 Obecné funkční schéma elektromagnetické úzkopásmové zbraně [12]

- MILO (Magnetically Izolated Line Oscillator),
- kónický MILO (Tapered Magnetically Izolated Line Oscillator),
- relativistický magnetron,
- relativistický klystronový zesilovač (Relativistic Klystron Amplifier – RKA),
- relativistický klystronový oscilátor (Relativistic Klystron Oscillator – RKO),

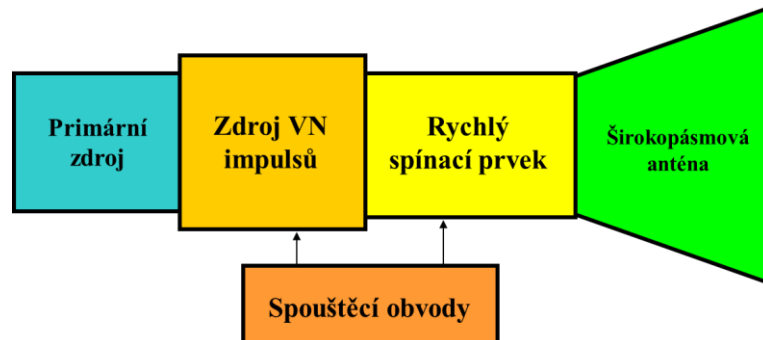
- reltron,
- gyrotron,
- elektronka s postupnou vlnou (Traveling Wave Tube – TWT),
- oscilátor se zpětnou vlnou (Back Wave Oscilator – BWO),
- vircator (Virtual Cathode Oscillator).

2.3.2 Širokopásmová třída generátorů

Širokopásmové generátory vytvářejí videoimpuls velkého výkonu. Generátory s dobou trvání impulsu větší než 1 ns lze považovat za DEWRF a generátory s dobou trvání impulsu menší než 1 ns za DEWM.

Maximální dosahované hodnoty generovaného výkonu:

- širokopásmové generátory,
– maximálně 100 GW.

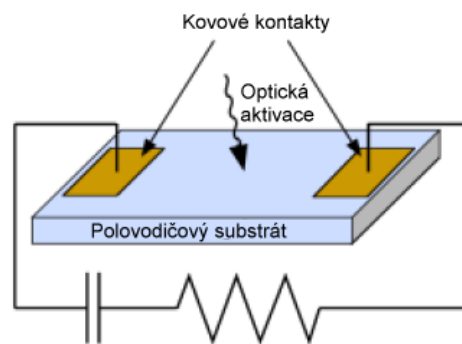


Obr. 14 Obecné funkční schéma elektromagnetické širokopásmové zbraně [12]

Mezi zásadní prvky širokopásmového systému patří spínače a antény.

Spínače:

- plynová jiskřiště,
- kapalinová jiskřiště,
- polovodičové spínače.



Obr. 15 Schéma fotovoltaiického polovodičového spínače - PCSS¹⁹[12]

Antény:

- speciální antény: například IRA-3M²⁰, která má pásmo vyzařování v rozmezí 250 MHz až 20 GHz a intenzitu elektrického pole 5,3 MV,
- trychtýře s transverzálně elektromagnetickou vlnou,
- spirálové antény,
- anténní monopól,
- bikónická anténa.



Obr. 16 IRA-3M [13]

¹⁹ PCSS - Photoconductive Semiconductor Switch

²⁰ IRA-3M - Impulse Radiated Antenna

Dílčí závěr

V této kapitole byly popsány elektromagnetické zbraně pracující v pásmu rádiových vln a v pásmu mikrovln podle daných hledisek, jako je například rozdělení podle určení a režimu činnosti. Byla zde znázorněna obecná funkční schémata těchto zařízení. Dále byly definovány jednotlivé nejdůležitější součásti těchto zbraňových systémů. Z předchozích kapitol vyplývá, že mezi tyto nejdůležitější součásti patří:

- primární zdroj energie,
- zdroj vysokonapětových impulzů,
- generátor rádiových vln nebo mikrovln,
- anténa.

Pro získání počáteční energie (zdroj energie) je nejčastěji využíváno kapacitorových bank následováno explozivně pumpovanými generátory. Tyto zdroje energie mají za následek vytvoření podmínek pro generaci mikrovln vysokého výkonu. Perspektivní pro vývoj se v současné době nabízí virkatory nebo také zdroje s jiskřišti.

3 NEGATIVNÍ DŮSLEDKY PŮSOBENÍ HPM PROSTŘEDKŮ NA ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY

Představme si zbraň, letící nad nepřátelským městem, či vojenským objektem, účinně paralyzující veškerou elektroniku a přitom nezpůsobující žádné fyzické poškození. Vojenští stratégové snili o takové zvláštní zbraní dlouhou řadu let. Zbraň má generovat elektromagnetické pulsy, způsobující "uvaření" elektronických prostředků či celých systémů. Tyto zbraně dokáží chvilkově přetížit či zcela zkratovat zasaženou elektroniku, nehledě na sílu pancéřování. Moderní zbraně určené pro elektronický boj dokážou vyřadit počítačovou techniku a způsobit těžké škody. Kromě ztráty cenných počítačových dat mohou při zásahu ochromit například navigační systémy letadla, a tím způsobit jeho pád.

Výkonová elektromagnetická pole mohou být generována výkonovými technologiemi a směřována k příslušnému cíli. V této problematice se používají termíny jako např. výkonové mikrovlny HPM, ultraširokopásmové signály UWB. Dále pak výkonový elektromagnetismus HPEM²¹ a záměrně generované rušení IEMI²².

Vliv HPM a UWB na elektroniku

Elektronické systémy mohou být narušeny výkonovým elektromagnetickým polem, které může způsobit dočasné narušení funkce nebo i trvalé poruchy. V souladu s příslušnými standardy elektromagnetické kompatibility EMC²³, jsou pro hodnocení většinou používána následující kritéria:

A – normální funkce v mezích stanovených výrobcem, žadatelem o zkoušku nebo zákazníkem,

B – dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které přestane po zastavení rušení a normální funkce zkoušeného zařízení se obnovuje sama bez zásahu operátora,

C – dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, vyžadující zásah operátora nebo opětné nastavení,

²¹ HPEM - High Power Electromagnetics

²² IEMI - Intentional Electromagnetic Interference

²³ EMC - Electromagnetic compatibility

D – ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které není obnovitelné, což je způsobeno poškozením technického vybavení nebo programového vybavení nebo ztrátou dat.

V rámci řešení několika prakticky realizovaných projektů v minulých letech proběhla řada experimentů týkajících se zranitelnosti elektronických zařízení ve stanovených operačních prostředích.

V minulosti bylo ověřeno, že signál HPM může být použit k zastavení vozidla i pro účinné narušení výpočetní techniky, případně datových přenosů. Z provedených experimentů bylo zřejmé, že intenzita elektromagnetického pole řádu jednotek kV/m může být dostatečná k účinnému narušení elektroniky.

U některých poruch dočasného charakteru byl pozorován vliv opakovacího kmitočtu signálu HPM a UWB na účinnost narušení. Pro signál UWB bylo spíše typické vyvolání dočasné poruchy než trvalého zničení. Výsledky experimentů ukázaly, že nejzranitelnější částí současných systémů je výpočetní technika včetně datových přenosů.

Příklad použití elektromagnetických vln v armádě

Jedním z tzv. systémů neletálních zbraní je již jednou v této práci zmíněný americký obranný systém ADS., který má primárně sloužit k rozhánění demonstrací a ke kontrole davu. Jde o výkonný generátor mikrovln s několikanásobně vyšší frekvencí než mikrovlnka, který záření pomocí antény směřuje do davu. ADS pracuje ze silnými elektromagnetickými impulsy v podobě vysokofrekvenčních milimetrových vln soustředěných do relativně úzkého paprsku. Ten operátor pomocí otočného emitoru řízeného joystickem nasměřuje na dav lidí a ti se pak díky způsobené bolesti rozprchnou na všechny strany. Pro představu, ADS používá vlny o frekvenci 95 GHz, běžná mikrovlnná trouba jen 2,45 GHz. Díky vysoké frekvenci je hloubka vniku záření jen asi 0,3mm pod pokožku. Vyvolává pocit intenzivního pálení a nutí člověka co nejrychleji opustit oblast, aniž by trvale poškodilo jeho zdraví. Princip je takový, že vlny zahřívají molekuly vody v kůži, a tím způsobují zasažené osobě nesnesitelnou bolest, ovšem bez trvalých následků, jak tvrdí armáda i výrobce. Nicméně jen v případě, pokud ozáření trvá přibližně asi tři sekundy. Oči by měly být ochráněny mrkacím reflexem. Od roku 2007 byl ADS testován na asi 11 tisících dobrovolnících, osm lidí při tom bylo zraněno, vyskytly se i případy popálenin druhého stupně.

Další zbraň, zaměřená tentokrát proti elektronice protivníka, je EMP bomba. Již při jaderných výbuších byl pozorován vznik silného, velmi krátkého elektromagnetického pulsu, který zničil elektroniku v okolí. Impuls trvá řádově nanosekundy a dosahuje obrovských intenzit. Ve všech vodivých předmětech okolo se indukuje vysoké napětí, které může prorazit choulostivé polovodičové přechody, zejména u vysoce integrovaných struktur CMOS²⁴. V tomto ohledu jsou velmi odolná stará dobrá elektronková zařízení, jimž krátkodobé přepětí neuškodí. Dnes, kdy elektronika a počítače hrají v našem běžném životě stále větší roli, je strategické mít k dispozici zbraň, která by byla schopna pomocí EMP vyřadit elektronické systémy protivníka aniž by došlo ke ztrátám na životech.

Další velkou kategorií energetických zbraní tvoří zbraně mikrovlnné HPM. Tyto zbraně pracují v odlišné části elektromagnetického spektra než lasery, tedy v úrovni rádiových vln. Principem fungování se vlastně podobají radarovým vysílačům či mikrovlnným troubám. Pomocí prvků, jako jsou magnetrony či klystrony, generují rádiové vlny, které se poté pomocí antény zaměřují na cíl. Fungují ve frekvenčním pásmu od jednotek do miliard hertzů a mohou se účinně využít proti živé síle i proti technice. Nejnižší frekvence totiž mají potenciál působit přímo na mozek člověka a vyvolávat nekontrolovatelné emoce či halucinace. Vyšší frekvence pak mohou způsobovat povrchové bolesti, ale bez trvalých následků. Příkladem takové zbraně je již v této práci jednou uvedený americký komplex ADS, který je instalován na vozidle HMMWV a pracuje na frekvenci 95 GHz. Přezdívá se mu „paprsek bolesti“ a uvádí se, že na vzdálenost až 700 m vyvolává pocit podobající se uchopení rozpálené žárovky. ADS je perfektní prostředek mimo jiné pro již zmíněné rozhánění demonstrací, ale při vyšším výkonu by taková zbraň samozřejmě mohla být i smrtící. Další již známé mikrovlnné zbraně jsou určeny primárně proti technice. Příkladem mohou být mimo jiné opět již v této práci zmínované ruské systémy Ranets-E a Rosa-E, propagované jako „vysokofrekvenční kanony“. První z nich je umístěn na nákladním vozidle, kdežto druhý je určen pro montáž na letouny. Svým zářením dokážou vyřazovat nepřátelskou elektroniku jako jsou například vstupní obvody radarů a naváděcích systémů zbraní na vzdálenost desítek až stovek kilometrů. Podobnou zbraň by měl vyprodukovat také americký projekt Vigilant Eagle. Výsledkem tohoto projektu má být mikrovlnné

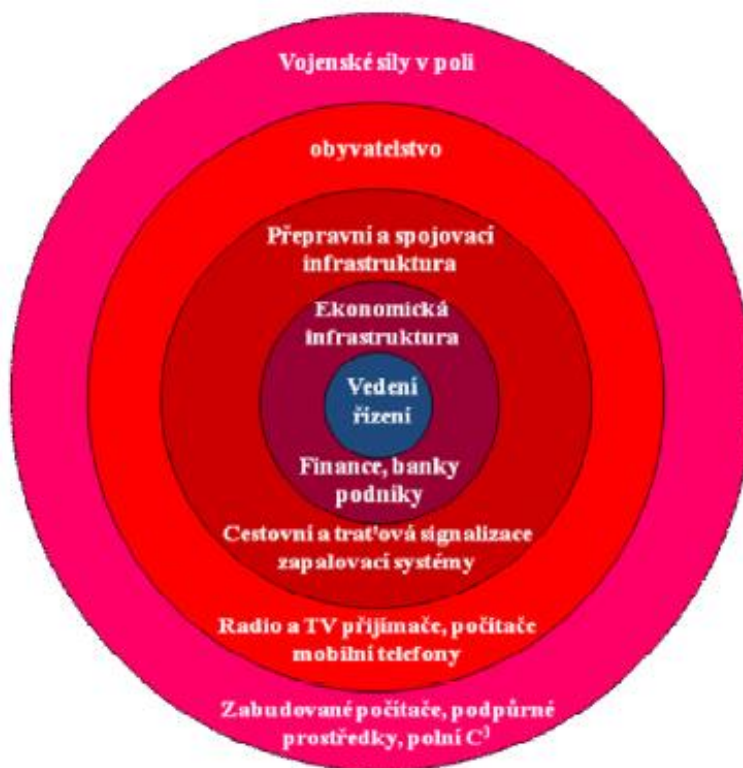
²⁴ CMOS - Complementary Metal–Oxide–Semiconductor

zařízení, jež bude ničit rakety vypálené na civilní dopravní letouny v prostorech letišť.

Dílčí závěr

V této kapitole bylo definováno elektromagnetické ohrožení technických zařízení a systémů impulsy HPM a UWB jako nezbytná součást problematiky DEW. Dále zde byly popsány možné účinky elektromagnetických zbraní jak na osoby, tak na elektroniku.

Obecně lze konstatovat, že nasazení elektromagnetických zbraní pracujících v pásmu rádiových vln a mikrovln je velmi účinné proti industriálně vyspělým společnostem a státům. Pro dosažení vysoké účinnosti těchto zbraní je nezbytné volit cíle z kategorií znázorněných v kruhovém diagramu na obr. 17. Největší škody na infrastruktuře lze očekávat při aplikaci DEWM a DEWRF na cíle nacházející se blízko středu kruhového diagramu. Největší účinnost lze tedy očekávat při útoku na komunikační a informační systémy vládních institucí, bank a klíčových podniků.



Obr. 17 Wardenův diagram [12]

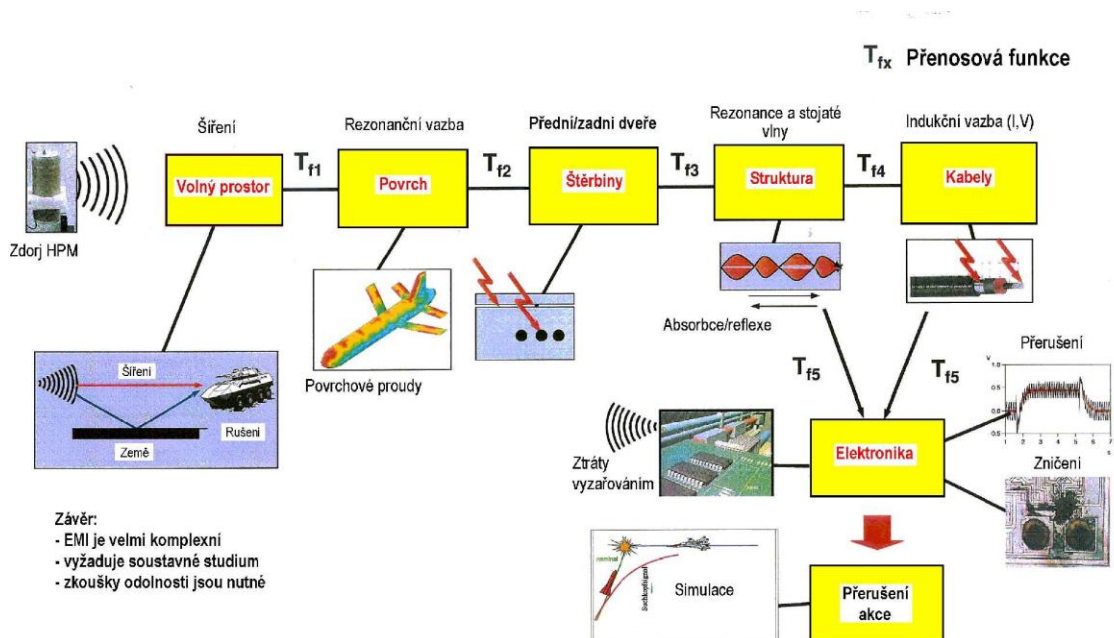
Účinky můžeme shrnout do následujících oblastí poškození:

z hlediska působení na techniku:

- reset systému,
- změna funkce zařízení,
- zobrazování falešných cílů,
- snížení kvality obrazu CCTV,
- snížení kvality přenosu rádiového vysílání,
- trvalé poškození elektroniky,
- přerušení dodávky elektrické energie.

z hlediska působení na živou sílu:

- vyvolání nekontrolovatelných emocí či halucinací,
- povrchové bolesti bez trvalých následků.



Obr. 18 Znárodnění cest průniku elektromagnetického pole a jeho interakce s elektronikou

4 SOUČASNÝ STAV V OBLASTI VÝZKUMU, ROZVOJE, APLIKACE ZBRANÍ S ŘÍZENOU ENERGIÍ A VÝVOJOVÉ TRENDY V OBLASTI POUŽITÍ TĚCHTO ZBRANÍ

Další kapitola pojednává o současné problematice v oblasti výzkumu, rozvoje a aplikaci zbraní s řízenou energií. Dále se práce zabývá vývojovými trendy v oblasti použití těchto zbraní.

4.1 Současný stav

Zbraně s řízenou energií různých principů se v posledních letech jeví jako atraktivní pro použití na budoucím bojišti. Jsou vyvíjeny speciální optické technologie (lasery), zvukové technologie a také mikrovlnné technologie, které mohou být použity ve speciálních zbraňových systémech k narušení činnosti elektronických systémů nebo k přímému působení na člověka.

Podle oficiálního sdělení Pentagonu, Americké ředitelství pro neletální zbraně všech složek ozbrojených sil pracuje na koncepci příští možné války s maximálním využitím zbraní soustředěné impulzní vysokofrekvenční energie. Zjednodušeně se dá říci, že se jedná o zbraně, které vyzařují elektromagnetickou energii ve vymezené části elektromagnetického spektra mikrovln nebo rádiových vln. Principy činnosti a účinky této kategorie neletálních zbraní na živou sílu a elektronická zařízení jsou známé a byly i ověřeny v posledních ozbrojených konfliktech. O jejich efektivnosti a vysoké účinnosti tedy není pochyby. Současný vývoj je soustředěn zejména na nové způsoby jejich praktického využití. Hlavně využití v situacích, kdy hrozí vysoké riziko ztráty životů obsluh bojové techniky a zbraní. Současné vyvíjené vojenské systémy se sestávají ze zařízení, která jsou stále více sofistikovaná a více závislá na spolehlivé funkci elektroniky. Důležitost elektronických zařízení vojenských systémů je patrná z vývoje nově deklarovaných schopností, známých pod zkratkou NEC²⁵, které se staly prioritou dalšího rozvoje Armády České republiky i v rámci zemí NATO²⁶. [8]

²⁵ NEC - Network Enabled Capability

²⁶ NATO - North Atlantic Treaty Organization

Výsledky získané v minulých letech u zkušebny EMC Odboru zkoušení techniky – Akreditované zkušební laboratoře č. 1103 ve Vyškově vedly k zahájení projektu pro Ministerstvo obrany ČR (OSPROZ-DEW1) zaměřeného na stanovení zranitelnosti zbraňových systémů a částí komunikačních a informačních systémů integrovaných v NEC, které jsou v současné době instalovány do výzbroje Armády České republiky. Stanovení zranitelnosti bylo provedeno na základě příslušných analýz a experimentálních měření.

4.1.1 Výzkum

Pozorovatelnými trendy ve vojenství je mimo jiné výrazná elektronizace a digitalizace zbraňových systémů a v nynější době i vývoj a zavádění neletálních elektromagnetických zbraní. V současnosti se výzkumem v této oblasti zabývá většina vyspělých států, mezi které patří i Česká republika zejména v oblasti zkoumání ochrany proti jejich účinkům.

NATO

Významnou organizací ovlivňující výzkum v rámci Severoatlantické aliance je organizace s názvem NATO RTO²⁷. Tato organizace NATO pro výzkum a vývoj obranných technologií zajišťuje především tyto úkoly:

- provádět a podporovat společný obranný výzkum a výměnu informací v této oblasti mezi zeměmi NATO a zeměmi účastnicími se programu PfP²⁸,
- sponzorovat společné studie a výzkumné projekty v oblasti vojenských technologií pro dosažení průlomu nebo významného pokroku v dané problematice a jejímu hlubšímu porozumění,
- plnit výzkumná a technologická zadání v oblasti vojenských potřeb NATO,
- trvale poskytovat účinné konzultace v oblasti obranného výzkumu národním orgánům odpovědným za přijímání kompetentních rozhodnutí.

²⁷ RTO - Research & Technology Organisation

²⁸ PfP - Partnership for Peace North

Jako příklad můžeme uvést končící projekt **SCI-249 s názvem Radio Frequency Directed Energy Weapons** a **SCI-250 s názvem Radio Frequency Directed Energy Weapons in Tactical Scenarios**, kterým se v současné době organizace NATO RTO věnuje.

Projekt SCI-249

Mezi zkoumaná témata tohoto projektu patří:

- zdroje EM polí a detekční techniky,
- elektromagnetický puls - jaderný a nejaderný,
- testovací zařízení a metodiky,
- modelování a simulace EM pole a jeho interakce s cíli,
- aplikace RF a HPM technologií v neletálních zbraních,
- působení RF na taktické systémy C4I a další kritickou infrastrukturu,
- příklady scénářů a související analýzy hrozeb.

Souvislosti

Již více než dvě desetiletí technické týmy v rámci bývalé obranné výzkumné skupiny (DRG) a stávající výzkumné a technologické organizace (RTO) provádí studie týkající se dopadů a hrozeb výkonových mikrovln (HPM) na vojenskou i civilní infrastrukturu a elektronická zařízení. Vzhledem k rostoucí hrozbě nových technologií, je potřeba zvýšit povědomí o důsledcích jejich použití a znalosti o tom, jak se proti tomuto druhu elektronických útoků bránit.

Cíle

Pracovní skupiny se budou snažit přenášet zkušenosti a znalosti z předchozích aktivit do vzdělávání na toto téma s cílem podporovat šíření znalosti a povědomí v rámci NATO.

Projekt SCI-250

Mezi zkoumaná témata projektu patří:

- účinek RF na taktický systém C4I a další kritickou vojenskou infrastrukturu,
- vojenské hodnoty a taktické důsledky RF,
- koncepty pro použití a omezení týkající se pro využití a ochranu proti RF,
- RF techniky detekci útoků,
- taktické demonstrace použití RF,
- RF a možností NLW,
- technická podpora a doporučení NATO pro standardizaci skupiny.

Příspěvky do pracovního programu pokrývající výše uvedená témata budou obsahovat komponenty a podsystémy testování, modelování a simulace RF záření na elektronické obvody a další využití dříve nashromážděných údajů. K dosažení tohoto cíle budou zúčastněné státy vyvíjet vhodné zkušební zařízení, zdroje napájení, měření a příslušné zkušební objekty a nebo modelování a simulace schopností.

Cíle

Provádění laboratorních zkoušek a provádění analýzy z výsledků předchozích pracovních skupin do realistických scénářů. Činnost se zaměří na řešení využití vysoce výkonné HPM zbraně, RF zbraně a DEW zbraně proti vojenské infrastruktuře a elektronickým zařízením. Budou brány v úvahu taky otázky týkající se obrany proti terorismu. Zejména budou provedeny testy, které povedou k vytvoření přehledných grafů, diagramů a scénářů typických hrozeb pro různé vzdálenosti a různé kategorie DEW zbraní.

Spojené státy americké

Základnímu vývoji se věnuje ve Spojených státech amerických Los Alamos National Laboratory, Sandia National Laboratory a Lockheed Martin na vojenské letecké základně Kirtland. Například ve výzkumném ústavu v Los Alamos, na letecké základně v Kirtlandu a ve výzkumném ústavu pozemního vojska v Adelphi proíhá již několik let vývoj mikrovlnných bojových hlavic.

Evropa

Evropská obranná agentura EDA²⁹ má jako jeden z hlavních úkolů podporovat spolupráci na vývoji obranných zařízení a tím přispívat k dosažení požadovaných obranných schopností jako katalyzátor při další restrukturalizaci Evropského obranného průmyslu a podporovat potřebný výzkum a vývoj v oblasti obranných technologií.

Strategický rámec EDA se skládá ze čtyř dokumentů přijatých Řídícím výborem EDA v letech 2007 – 2008. Prvním z nich je CDP³⁰ - plán rozvoje schopností. Z věcného hlediska CDP identifikuje trendy v oblasti rozvoje obranných schopností do roku 2025.

Mimo vesmírný a vzdušný segment se EDA intenzivně věnuje i námořní oblasti, kde probíhá projekt kategorie B s názvem **Budoucí bezpilotní letecké systémy** (Future Unmanned Aerial System - FUAS), kterého se účastní sedm členských států EDA (Německo, Španělsko, Finsko, Francie, Polsko, Portugalsko a Švédsko), a projekt kategorie B s názvem **Opatření proti námořním minám** (Maritime Mine Counter Measures - MMCM), na kterém participuje 11 členských států EDA (Belgie, Německo, Estonsko, Španělsko, Finsko, Francie, Nizozemí, Polsko, Portugalsko, Rumunsko, Švédsko a Norsko. Cílem obou projektů je vytvoření technického řešení pro relevantní systémy nové generace využitelné v rozmezí let 2022 – 2025. Mimo výše uvedené projekty a iniciativy agentura rozvíjí celou škálu činností v oblasti rozvoje obranných schopností v návaznosti na CDP, které zahrnují mimo jiné formulaci konceptu námořního sledování, NEC a vojáka 21. století, problematiku lékařské podpory, **neletálních zbraní**, komunikačních a informačních systémů a dalších oblastí souvisejících s rozvojem obranných schopností Evropské unie.

Z hlediska účasti České republiky na projektech Strategie evropského obranného výzkumu a technologií byla velmi úspěšná česká investice do programu kategorie A s názvem **Ochrana vojsk** (Force Protection – FP). Tento projekt běží od roku 2006 a jeho hlavním cílem je vývoj technologií, které poskytnou lepší a důkladnější ochranu vojsk. Projektu se účastnilo celkem 19 členských zemí a celkový rozpočet činil 55 milionů euro (vklad ČR – 600 tisíc euro). Následně proběhly čtyři výzvy pro řešitelská konsorcia a na základě

²⁹ EDA - European Defence Agency

³⁰ CDP - Capability Development Plan

výběrového řízení bylo s vítězi postupně podepsáno 18 kontraktů k jednotlivým projektům.

Z českého hlediska je do práce zapojena:

- Asociace obranného a bezpečnostního průmyslu ČR,
- Asociace leteckých výrobců,
- Asociace výrobců bezpilotních prostředků,
- Česká obchodní komora.

Nejaktivnějšími podniky:

- VOP CZ, s.p.,
- Explosia, a.s.,
- ELDIS Pardubice, Ltd.,
- SVOS Přelouč, spol. s r.o..

Zapojení podniků probíhá buď na základě přímého zapojení do výzkumu, tvorbou požadavků v pracovních skupinách, nebo tvorbou standardů (např. **neletální zbraně**, munice, testovací a zkušební základny, vzdělávací modul, výcvik pilotů vrtulníků nebo tvorba právních nástrojů pro společné projekty).

Česká republika

Jako příklad organizace provádějící výzkum v České republice můžeme uvést bývalý Vojenský technický ústav pozemního vojska ve Vyškově, který byl později připojen k VOP026 Šternberk, s. p., po té s názvem VOP CZ, s. p., se sídlem v Šenově u Nového Jičína **a nyní je to Vojenský technický ústav, s.p.** v Praze se třemi odštěpnými výzkumnými závody – Vyškov, Praha a Slavičín. Tato organizace se mimo jiné zabývá projektem pod názvem **AUTONOM** - Autonomní inteligentní senzor poskytující okamžité informace o použití neletálních zbraní na principu EM polí.

PROJEKT AUTONOM

Tento projekt má v návaznosti na projekt INTEL (*řešený v roce 2008 – 2010 a zabývající se analýzou možnosti technické realizace pasivního inteligentního senzoru schopného informovat „on-line“ o situaci na bojišti po stránce nebezpečí použití neletálních zbraní*

pracujících na principu generování výkonových EM polí, včetně vyhodnocení jejich charakteristik, lokalizace prostoru jejich použití a zabezpečení utajeného rádiového předávání získaných dat k jejich následnému operačnímu využití. Dále provést dílčí ověření praktické realizovatelnosti. Jedná se o součást zabezpečení výzkumu technologií, metod a organizačních postupů podmiňujících udržení alianční převahy, návrh a realizace opatření která je uvádějí do praxe s důrazem na rozvoj technologie získávání informací od pasivních senzorů. Analyzovat možnost realizace spolehlivého a bezpečného přenosu informací mezi senzory a místy velení a zpravodajskými orgány s cílem umožnit následná odvetná opatření a dosáhnout informační nadvlády) za úkol rozšířit poznatky výzkumu v oblasti monitorování, přesnosti identifikace a lokalizace. Výsledkem projektu AUTONOM bude konstrukční dokumentace funkčního vzoru Pasivního inteligentního senzoru určeného k detekci výkonových elektromagnetických polí. Tato dokumentace bude ověřená na realizovaném funkčním vzoru pasivního senzoru, který na základě zjištění použití neletálních zbraní pracujících na principu generace EM polí a vyhodnocení tohoto zjištění (vyhodnocení charakteristik použité neletální zbraně na principu HPM a UWB) zabezpečí přenos informací nadřízenému pracovišti, tedy koordinačnímu centru velení.

Mezi další významné organizace působící na území České republiky a zabývající se výzkumem v oblasti DEW patří Univerzita obrany - Fakulta vojenských technologií Brno. Jako příklad její činnosti můžeme uvést projekt s názvem „Rozvoj prostředí NEC se zaměřením na sofistikované průzkumné senzory kooperující s netradičními prostředky působení na protivníka“ s přidělenou dotační částkou v celkové výši 1 245 000 Kč,-. Tato univerzita spolupracuje v rámci projektů NATO RTO.

4.1.2 Rozvoj

Pro rozvoj a následné nasazení elektromagnetických zbraní do jednotlivých armád je důležité co nejefektivněji vyřešit problémy spojené s aplikací těchto zbraní do válečných konfliktů.

Řešené problémy

- **Zdroj počáteční energie**

Zdroj energie patří k nejsložitějším problémům pro reálné použití mikrovlnné zbraně. Požadavkem na tento zdroj je dodání obrovského množství elektrické energie během velmi krátké doby. Například s explozivním energetickým generátorem se počítá pro použití v jednorázových impulzních zbraních. Výsledkem exploze v komoře generátoru jsou plyny, které jsou usměrňovány a při průchodu silným magnetickým polem a poté tryskou v jeho ústí vytvoří mohutný vysokofrekvenční impuls. Pokud by se podařilo využít vyšších teplot pro tvorbu plazmy, výsledkem by byl široký impuls s proměnnými parametry. Na krátké vzdálenosti by se uplatnil i přímý ničivý účinek vysoké teploty a tlakové vlny. Vyvíjena je i speciální tryska, která sama o sobě má mít požadovanou směrovost. Tím má odpadnout konstrukce složité antény pro dosažení soustředění energie požadovaným směrem. [8]

- **Nízká rychlost střelby**

Pro vysoké přehřívání zbraně a namáhání pláště kanónu extrémními podmínkami při výstřelu se použití těchto zbraní potýká s řešením problematiky rychlosti střelby, tedy v možnosti opakování střelby.

- **Závislost účinnosti zbraně mezi vzdáleností zdroje vyzařování od cíle a tím nutnost řešit dopravní dostupnost zbraně k cíli**

Nasazení vysokofrekvenčních zbraní je složitější, než se na první pohled zdá. Čím je zdroj vyzařování vzdálenější od cíle, tím účinnost těchto neletálních zbraní výrazně klesá. Z toho vyplývá, že je potřeba dopravit zdroj co nejbliže k cíli, aby pak bylo možné použít konstrukčně mnohem jednodušší zbraň nižšího výkonu.

- **Dosažení směrovosti**

Dosažení co největší směrovosti je dalším požadavkem. V úzkém proudu nasměřovaném jen na určený cíl lze dosáhnout mnohonásobně vyšší výkonové hustoty, přičemž okolí cíle nemusí být vysokofrekvenční energií vůbec zasaženo. V bojovém nasazení to představuje schopnost provádět selektivní úder na jednotlivé bodové cíle.

4.1.3 Aplikace

Jak již bylo v této práci jednou uvedeno, zřejmě první bojové nasazení energetických zbraní proběhlo v roce 1982 během války o Falklandy. V této době byl na palubě britské fregaty instalován přístroj, který měl mířeným a kmitajícím laserovým paprskem oslňovat piloty útočících argentinských letadel. Výsledek použití však nebyl oficiálně oznámen.

Spojené státy americké

Traduje se, že v prvních hodinách operace Pouštní bouře ve válce v Perském zálivu použily ozbrojené síly USA mikrovlnné bojové hlavice. Mikrovlnné bojové hlavice byly údajně instalovány na několika ze 116 námořních řízených střel s plochou dráhou letu Tomahawk. Není známo, které z řízených střel tyto hlavice nesly ani proti jakým cílům byly použity. Jejich použití nebylo ministerstvem obrany USA oficiálně potvrzeno.

V-MADS³¹ - v roce 2007 měly americké vzdušné síly k dispozici neletální zbraň v ozbrojeném konfliktu v Iráku. Jednalo se o zdokonalený a zodolněný mikrovlnný aktivní obranný systém, postavený na bázi předchozího typu ADS, který byl od ledna 2007 v Iráku testován.

CHAMP³² - revoluční střela s plochou drahou letu, která uvnitř těla nenese výbušninu, ale silný zdroj mikrovln. V roce 2012 střela CHAMP podnikla v utazské poušti svůj ostrý test, když poprvé zaútočila proti reálnému cíli. Střela pomocí silného proudu mikrovln zasáhla určenou budovu a kompletně zničila veškeré elektronické systémy obsažené v ní.

Rusko

Ruská armáda (tehdejšího SSSR) zřejmě provedla první pokusy s použitím elektromagnetických zbraní ve válce v Afghánistánu.

Mezi ruské systémy propagované jako „vysokofrekvenční kanony“ patří systémy označované jako Ranets-E a Rosa-E. Ranets-E a Rosa-E představují neletální zbraňové systémy, které byly vyvinuty podle ruských vědců od konce devadesátých let.

³¹ V-MADS - Vehicle-Mounted Active Denial System

³² CHAMP - Counter-electronics High-powered Microwave Advanced Missile Project

Státní vývozce zbraní Rosoboronexport zahájila exportně orientovaný výzkum vzniku vysokofrekvenční zbraně, založené na nových fyzikálních principech a ruské know-how. Spolupráce mezi státním vývozcem zbraní a vojenských vědců vyústila v přípravu dvou komerčně orientovaných projektů, Ranets-E a Rosa-E, které mohou být nabízeny k odkoupení potenciálním klientům.

Ranets-E

Systém Ranets-E je systémem radiofrekvenční mobilní obrany proti zbraním s vysokou přesností. Ranets E je vysoce výkonný HPM zbraňový systém určený k poškození nebo narušení a dysfunkci nepřátelských naváděcích či palubních systémů, ať už letadla nebo řízené munice za letu. Zbraň používá pulsní 500 megawatt HPM zdroje. Generuje impulzy o délce 10 až 20 nanosekund, s průměrným výstupním výkonem 2,5-5 kW. Ranets-E dosahuje celkovou hmotnost 5 tun a lze jej nainstalovat na stacionární nebo mobilní základnu.

Rosa-E

Velkokapacitní stanice Rosa-E je navržena tak, aby ničila protivníkově radarové systémy. A to až do vzdálenosti 500 kilometrů. Systém Rosa-E lze nainstalovat do letadla, když se vyrobí v upravené verzi o celkové hmotnosti 600-1500 kilogramů. Vstupní kapacita systému Rosa-E je 50-100 kW, jeho výstupní kapacita je 5-10 kW. Rosa-E pracuje také v centimetrovém pásmu.

Izrael

Odborníci dokázali, že radar, původně určený ke zjišťování a určování poloh cílů, se za určitých okolností může stát velmi účinnou mikrovlnnou zbraní. Přitom běžná funkce radaru tím nemá být nijak snížena. Svědčí o tom některé kroky ve vývoji moderních pozemních i letounových radarů. Tímto směrem se vydal i Izrael. Hodlá například zdvojnásobit efektivní vyzařovaný výkon radaru Green Pine, který je využíván v protiraketovém systému Arrow. Radiolokační anténa AESA³³ využívá pokročilou technologii aktivních prvků s elektronickým formováním svazků a snímáním. Je tvořena

³³ AESA - Active Electronically Scanned Array

tisíci malými radary, které mohou nezávisle na sobě vyzařovat elektromagnetickou energii do různých směrů. Radaru Green Pine to umožňuje soustřeďovat dostatečnou energii do velmi úzkého svazku k tomu, aby zničil elektroniku letounu nebo rakety. Radar Green Pine s maximálním dosahem 500 km je schopen sledovat cíl až do rychlosti 3000 m/s. Technologické vymoženosti radarů typu AESA jsou v současné době velmi populární zejména vzhledem k jejich schopnosti současně ozařovat několik cílů. Ale jejich další schopnost využívat koncentrovanou elektromagnetickou energii k vyřazování zejména polovodičových komponentů vzdálených elektronických systémů a soustav protivníka z provozu, byla dlouho utajována. Takový způsob elektronického úderu se svým charakterem a následky velmi podobá elektromagnetickému impulzu. Radary typu AESA již několikrát pokusně předvedly svou schopnost vyřadit řízené střely a letouny z provozu. Izrael je přesvědčen, že opatření na zvýšení výkonu radaru Green Pine umožní sestřelovat přesně naváděné dělostřelecké rakety, granáty, vrtulníky a letouny.



Obr. 19 Radar Green Pine [15]

4.2 Vývojové trendy

S rostoucími znalostmi z vývoje a testování elektromagnetických zbraní se objevují další a další nápady, kde lze tyto vysoce výkonné zbraně použít.

4.2.1 Projekt Tungsten shield

Příkladem může být systém protiraketové a protiletadlové obrany Tungsten shield (Wolframový štít) od firmy General Atomics, který využívá elektromagnetické dělo Blitzer a programovatelnou municí. Teoreticky lze mimořádné výkony elektromagnetického děla použít i proti mezikontinentálním nukleárním raketám, resp. proti nukleárním hlavicím, které se v závěrečné fázi oddělují od nosné rakety. V případě pravdivosti prezentovaných výkonů, lze odolné nukleární hlavice ničit ještě před vstupem do nejspodnějších vrstev atmosféry. General Atomic nyní pracuje na vylepšené verzi své protivzdušné zbraně označované jako Blitzer 2M. Má se vyznačovat kompaktnějšími rozměry, nižší vahou a především schopností rychlejší kadence. Právě nízká rychlost střelby zaviněná vysokým přehříváním zbraně a namáhání pláště kanónu extrémními podmínkami při výstřelu, jsou hlavní překážkou v rychlejší zavádění elektromagnetických zbraní do operačního použití. Koncept Tungsten shield se poprvé objevil v roce 2012 na výstavě AUSA 2012 (Association of the United States Army) ve Washingtonu, kde ho veřejnosti představil americký gigant General Atomics, resp. jeho divize Electromagnetics System Group (GA-EMS). Podle Američanů má přinést novou dimenzi ochrany proti křížujícím střelám, balistickým raketám a všem rychlým a manévrujícím letícím objektům. General Atomics není v oblasti elektromagnetických zbraní žádným nováčkem. Společně s britskou firmou BAE Systems bojuje o získání zakázky na první operačně použitelné elektromagnetické dělo pro americké námořnictvo. Stejně důležitou součástí systému je programovatelná munice s wolframovou sub-municí. Ta je schopná v předem určené vzdálenosti explodovat a vytvořit mrak rychle letících wolframových projektilů. Kombinace extrémní rychlosti výstřelného projektilu (reálně 9 000 km/h – hypersonická rychlost) a hustého mraku velice tvrdých wolframových kuliček bude znamenat pro jakýkoliv letící cíl naprostou zkázu. Mimořádná je také rychlost reakce systému Tungsten shield. Pokud bude cíl desítky

kilometrů daleko, mrak wolframových kuliček letících hypersonickou rychlostí ho zasáhne již po několika málo sekundách.



Obr. 20 Protiletadlové elektromagnetické dělo Blitzer [16]

4.2.2 Projekt CHAMP

Dále není žádným tajemstvím, že americká armáda pracuje na zbrani, která může vyřadit elektroniku nepřítele, aniž by došlo k jejímu fyzickému zničení, či trvalému poškození. Americké vzdušné síly jsou nyní o krok blíže k tomu, aby se taková zbraň stala zcela reálnou. V rámci projektu s názvem CHAMP již byly provedeny úspěšné zkušební testy zdokonalené vysoce výkonné mikrovlnné zbraně, když v říjnu roku 2012 podnikla v utahské poušti svůj ostrý test, kdy poprvé zaútočila proti reálnému cíli. Střela pomocí silného výtrysku mikrovln zasáhla budovu a kompletně zničila její elektronické systémy. CHAMP je v podstatě upravená řízená střela, obsahující místo výbušniny mikrovlnné vysílače, které jsou dostatečně výkonné k tomu, aby zničily citlivé prvky elektronických prostředků, na které zaměří vysílání velmi krátkých impulsů své mikrovlnné energie. Hlavním cílem programu je otestovat funkční prototyp, jeho provozní možnosti a posoudit proveditelnost mikrovlnného zbraňového systému, který by programově vysílal úzce směrované paprsky mikrovlnné energie různé intenzity na konkrétní cíle podle jejich důležitosti. Obecně má připravit půdu pro novou generaci vysoce účinných zbraňových systémů bez smrtících účinků. CHAMP je jakousi neletální alternativou klasické zbraně -

protiradioelektronické řízené střely, která však elektronické cíle fyzicky ničí. Umožnila by zaměřit se na klíčové vojenské cíle při minimálním vyloučení vedlejších škod. Střela CHAMP, v testu nasměrovaná na sestavu simulovaných cílů potvrdila, že nesený mikrovlnný systém by mohl být řízen počítačem tak, aby svazky vysoce výkonného mikrovlnného systému HPM, byly postupně během průletu směřovány na několik cílů v různých místech. Firma Boeing, jako hlavní dodavatel, obdržela kontrakt v roce 2009. Tříletý vývojový program, si vyžádal náklady ve výši 38 miliónů dolarů. Impulsní výkonový vysílač vyvíjejí laboratoře Sandia National Laboratories na základě samostatného kontraktu výzkumných laboratoří amerických vzdušných sil.



Obr. 21 CHAMP střela [17]

4.2.3 Bezpilotní prostředky

Mezi další a důležitý cíl vývoje a výzkumu patří vyřešit odpověď na otázku: **Jak dopravit zbraň soustředěné impulsní vysokofrekvenční energie do blízkosti cíle bez účasti lidské posádky?** Uvažuje se o instalaci do řízené střely s plochou dráhou letu, která má vzhledem k charakteru svého letu umožnit spolehlivou dopravu k cíli. Nejvhodnějším nosičem se však nabízí bezpilotní prostředek, který zejména v posledních letech zaznamenal mohutný technologický pokrok ve všech dílčích oblastech od aerodynamiky letu až po prostředky utajeného přenosu dat a družicové navigace. Tak se zrodila myšlenka k sestrojení jednorázové vysokofrekvenční zbraně na miniaturním bezpilotním prostředku.

Bezpilotní prostředek je menší, létá pomaleji, má lepší manévrovatelnost, resp. říditelnost v různých podmínkách a hlavně je podstatně lacinější než řízená střela s plochou dráhou letu. K tomu byl sestaven tým špičkových amerických a britských specialistů, který usilovně pracuje na vývoji této nové zbraně. Cílem činnosti týmu amerických a britských specialistů je jasný. Vyvinout takový zdroj vysokofrekvenční energie, který by vyzařováním extrémně krátkých impulzů mimořádně vysokého výkonu spolehlivě zničil obvody ochran, citlivé vstupní elektronické obvody, paměti typu RAM³⁴ řídicích počítačů a další kritické části různých elektronických zařízení. Vývojoví specialisté britské firmy BAE Systems se přitom soustřeďují na vývoj velmi levného bezpilotního prostředku o rozpětí řádově několika desítek centimetrů až jednoho metru, do kterého hodlají zabudovat vysoce výkonný zdroj vysokofrekvenční energie rádiových vln HPRF³⁵ se směrovou anténou pro zajištění vyzařování soustředěné řízené energie a vysoce výkonný mikrovlnný zdroj HPM o celkové hmotnosti 0,5 až 1 kg. Cílem vývoje je miniaturní univerzální a co nejlevnější elektronický blok, který by bylo možné instalovat na různých základnách. Britská koncepce počítá s vypouštěním miniaturních bojových bezpilotních prostředků z většího bezpilotního prostředku, řekněme nosiče, nebo z řízených letounů. Do prostoru cílů by mohly buď klouzat, nebo na větší vzdálenosti poháněny elektrickým motorem. Po té budou zkoumány možnosti použití bezpilotních prostředků, vypouštěných z ruky nebo z odpalovací rampy, které mají určité "taktické výhody". Tyto prostředky by bylo možné nasadit kdykoli a kdekoli tam, kde by to vyžadovala situace. [18]

Integrované prvky umělé inteligence se mají údajně postarat o to, že nebudou ozařovány žádné civilní objekty jako obytné domy, školy, hotely, nemocnice, apod. Efektivní dosah této neletální zbraně má být velmi malý. Efektivní účinnosti zbraně se má doshnout tak, že bezpilotní prostředek se má nejdříve relativně pomalu přiblížit, daný cíl si senzory takzvaně osahat ze všech stran, vyhodnotit nejvhodnější směr elektronického úderu, a až poté ze vzdálenosti několika desítek metrů zahájit vyzařování. Předpokladem je vysoká účinnost bez sebemenšího poškození elektronických prvků v těsné blízkosti bezpilotního prostředku. Pokud budeme chtít napadnout protiletadlový raketový systém, nebudeme jej

³⁴ RAM - Random-Access Memory

³⁵ HPRF - High-power radio Frequency

hledat na veřejných místech. Nepředpokládá se použití bezpilotních prostředků naslepo, ale přesná poloha elektronického cíle. Tato poloha cíle bude získána z jiných zdrojů elektronického průzkumu. Následně bude vložena do paměti řídicího počítače před vzletem nebo bude případně vyslána rádiem během letu.

Jednorázová vysokofrekvenční zbraň na miniaturním bezpilotním prostředku není v pravém smyslu slova zbraní, a to protože daný cíl útoku fyzicky nezničí. Zničí jen jeho některé části a tím způsobí jeho dočasnou bojovou neschopnost. Celková doba dočasné bojové neschopnosti závisí na schopnostech protivníka poškozené prvky opravit. Tedy na pružnosti logistického zabezpečení, znalostech a schopnostech obsluh a techniků lokalizovat závadu a vadné díly vyměnit. Toto však představuje jeden problém. I kdyby se všechno dařilo tak jak má, nikdy nejde předvídat, kdy proběhnou další elektronické útoky relativně laciných bezpilotních prostředků. Útoky mohou být vedeny opakovaně, až do vyčerpání všech dostupných zásob náhradních dílů. Tímto způsobem může být dosaženo situace, kdy soupeř bude prakticky zbaven schopnosti kontrolovat zbraně a velet vojskům. Ale stanovit počet bojových bezpilotních prostředků, dostačujících ke spolehlivému umlčení protivzdušné obrany protivníka, však není vůbec jednoduchý úkol. Tuto skutečnost může prokázat až další vojenský konflikt, kde toto bude možné skutečně prakticky ověřit.



Obr. 22 LOCAAS³⁶ bezpilotní prostředek [19]

³⁶ LOCAAS - Low Cost Autonomous Attack System

Američtí specialisté veřejně tvrdí, že prosazují co nejmenší bezpilotní prostředek, tzv. miniprostředek o velikosti asi 15 až 20 cm. Odůvodňují to tím, že bezpilotní prostředek takových rozměrů by mohl například relativně dlouhou dobu létat doslova "uvnitř" anténní soustavy např. radaru, tzn. ve vzdálenosti jen několika metrů od zářiče. Do doby, než by spotřeboval energii nutnou k letu. Po celou tuto dobu by mohl rušit užitečný signál přímo na vstupu, vnášet klamné signály do přijímače a tím způsobovat zobrazování falešných cílů a nakonec narazit přímo do tělesa zářiče a poškodit jej. Samozřejmě, že pohyb v tak silném elektromagnetickém poli přináší značné problémy a vyžádá si rozvoj dalších technologií, které by to v blízké budoucnosti umožnily. Jisté však je, že pro působení z tak malých vzdáleností k dosažení potřebného efektu je potřeba jen velmi malého výkonu, který vyzáří malinký lehký zdroj naprosto zanedbatelné ceny. Určitě se jedná o velmi odvážnou myšlenku, která má řadu příznivců i odpůrců. Použití miniaturních bezpilotních prostředků s vysokofrekvenční zbraní nebude možné bez detailní analýzy radioelektronického průzkumu prostoru bojiště. Prvky vložené umělé inteligence spolu s účinností těchto zbraní představují jen jeden z článků budovaného digitálního bojiště. Neobejdou se bez kvalitních výsledků komplexní analýzy a využívání aktuálních informací veliteli na všech stupních.

Zde ale představy na reálné použití vysokofrekvenční zbraně na bezpilotním prostředku zdaleka nekončí. Počáteční impuls totiž vyvolal zahájení následných studií. Jedna z nich je zaměřena na vícenásobné použití vysokofrekvenční zbraně HPM firmy BAE Systems v americkém bojovém bezpilotním prostředku **X-47Block**. **X-47B** je bezpilotní nadzvukový stealth bombardér typu křídlo. Vedle technologie stealth je schopen programového letu v přízemní výšce v tzv. režimu "kopírování terénu" a proto je nesnadné jej odhalit. Stroj unese náklad o hmotnosti až 2 000 kilogramů do vzdálenosti 3219 kilometrů. Ve vzduchu dokáže letoun zůstat přes 6 hodin. [8]



Obr. 23 Bezpilotní bombardér X-47B [20]

Uvažuje se rovněž o jednoduchém zdroji se schopností širokého rozsahu různých tvarů impulzů s proměnnými parametry pro účely speciálních operací, například v boji proti terorismu. Specialisté amerických vzdušných sil soustřeďují svou pozornost při vývoji rovněž na jednorázový, tzv. výmetný aktivní rádiový rušič se schopností naladit se na různé kmitočty v závislosti na konkrétní situaci. Nejprve má být vyzářen jeden mohutný impulz proměnného nosného kmitočtu, který by způsobil zničení mnoha obvodů různých elektronických zařízení v širokém kmitočtovém pásmu. Poté by následovalo impulzní vyzařování se směrovým účinkem pro úder na konkrétní bodové cíle. Takový zdroj nemůže být miniaturního provedení, ale přibližné délky několika desítek centimetrů a hmotnosti okolo 100 kg. Současně s tím je vyvíjen miniaturní bojový bezpilotní prostředek o rozpětí asi 60 cm s miniaturní mikrovlnnou zbraní, který by mohl být nasazen jako podpůrný v různých bojových misích k napadení konkrétních elektronických prostředků, například střeleckého, naváděcího radaru protiletadlového raketového systému. Oba tyto bezpilotní prostředky by se mohly vzájemně doplňovat a koordinovat konkrétní elektronický úder. [8]

ZÁVĚR

Z poznatků probíhajících výzkumů a významných konferencí je zřejmé, že problematika HPM a UWB je vysoce aktuální. Stále se zvyšují generované výkony, vyvíjí se nové antény schopné vyzářit velmi vysoké výkony, zvyšuje se opakovací kmitočet impulzů a dochází ke zmenšování rozměrů a hmotnosti těchto technologií, vznikají „kompaktní“ zdroje HPM i UWB. V souvislosti s rozvojem technologií HPM a UWB a s jejich stále větší dostupností a kompaktností začíná nabývat na významu požadavek na odolnost techniky a její testování proti účinkům těchto výkonových elektromagnetických polí. Technologie HPM je vhodná **pro ofenzivní i defenzivní nasazení a je využitelná i ve speciálních operacích**. Lze je použít k ničení širokého spektra cílů, jak strategických tak taktických. Masová aplikace těchto zbraní způsobí podstatnou paralýzu komunikačních a informačních systémů. To znamená, že zajistí rozhodující výhodu ve vedení boje. HPM zbraně mohou způsobit zničení elektronických zařízení na větších plochách než konvenční výbušné zbraně stejné hmotnosti.

V reálném ozbrojeném konfliktu by použití HPM zbraní mohlo například paralyzovat protivzdušnou obranu protivníka bez toho, aniž by byla fyzicky zničena. Zatím tyto zbraně nebyly vyzkoušeny, ale jestliže se naplní předpoklady výzkumníků o jejich efektivnosti, pak budou znamenat významný revoluční přelom v taktice vzdušného boje a elektronického boje v různých etapách boje. Zvláště při překonávání protivzdušné obrany protivníka, která byla až doposud soustředěována výhradně na fyzické ničení hlavních elektronických prvků, jako jsou například radary, prostředky velení a podobně. Mohlo by se tedy zdát, že snad s nástupem těchto zbraní v budoucnu dojde ke konci protiradiolokačních řízených střel. Až první budoucí ozbrojený konflikt odpoví na tento předpoklad, kde s největší pravděpodobností budou vývojoví specialisté tyto nové zbraně testovat v první linii. Jedině reálný konflikt ukáže, zda je efektivnější použití vysoce výkonových rušičů ze vzdáleností mimo dosah prostředků protivzdušné obrany, či zbraních soustředěné impulzní vysokofrekvenční energie z bezprostřední blízkosti. Zatím je možné tyto situace jen modelovat na počítačích, ale reálná válka pak vypadá poněkud jinak. [18]

V současné době se objevuje nová hrozba, a to hrozba pod názvem „Elektromagnetický terorismus“. Lze jej definovat jako záměrné generování elektromagnetické energie, která

následně proniká do elektrických a elektronických systémů, čímž tyto systémy cíleně poškozuje a narušuje. Současný zásah teroristů proti infrastruktuře státu na řadě kritických míst může takový stát zcela paralyzovat, a to i v případě, když ne všechny útoky budou účinné. Je nepochybné, že počet případů EM terorismu bude v budoucnu narůstat.

Elektromagnetické zbraně patří do kategorie neletálních zbraní, tzn. zbraní bez smrtících účinků na živou sílu. Tato kategorizace je staví do role méně politicky škodlivých zbraní na rozdíl od běžných konvenčních zbraní. Tyto zbraně jsou často nazývány „nesmrtícími“ neboli „lidskými“ zbraněmi. Řada nevládních organizací na podobných zbraních nic lidského nevidí. Thomas Gebauer to ve Spiegelu komentoval slovy “S neletálními zbraněmi chtějí generálové pouze vzbudit dojem, že mohou vést humánní válku.“ Ale žádná válka není humánní.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The knowledge of ongoing research and important conferences is evident that problems HPM and UWB is a high current. The ever increasing output volumes, develops new antennas radiate capable of very high performance, increased pulse repetition frequency leads to a reduction in size and weight of these technologies are "compact" sources HPM and UWB. In connection with the development of HPM and UWB technologies and their increasing accessibility and compactness begins to take on the importance of the requirement for immunity techniques and testing the effects of electromagnetic field. HPM technology is suitable for offensive and defensive use and may also be used in special operations. They can be used to destroy a wide range of targets, both strategic and tactical. Mass application of these weapons causes substantial paralysis of communication and information systems. This means that ensure a decisive advantage in warfare. HPM weapons can destroy electronic equipment over larger areas than conventional explosive weapons of the same weight.

In real armed conflict, the use of HPM weapons could paralyze such as air defense enemy without, without physically destroyed. So far, these weapons have not been tested, but if the researchers are filled with assumptions about their effectiveness, they will make an important revolutionary breakthrough in air combat tactics and electronic warfare at various stages of the conflict. Particularly to overcome enemy air defenses, which had until then been channeled exclusively to the physical destruction of key electronic components, such as radars, command means apodobně. It would seem that perhaps with the advent of such weapons in the future will end against radar missiles. When the first future armed conflict replies to this assumption, which will most likely developmental specialists to test these new weapons in the first line. Only real conflict shows that the effective use of high-power spoilers from distances beyond the reach of means of air defense, weapons or concentrated pulse of RF energy from the immediate vicinity. Yet it is possible to model these situations only on computers, but the real war looks somewhat different. Currently, there is a new threat, and a threat called "electromagnetic terrorism." It is defined as the deliberate generation of electromagnetic energy, which then penetrates into the electrical and electronic systems, so these systems are deliberately damaging and

distorting. The current action against terrorist infrastructure of a state on a number of critical areas such may become totally paralyzed, and even if not all attacks are effective. There is no doubt that the number of cases of EM terrorism will increase in the future.

Electromagnetic weapons fall into the category of non-lethal weapons, ie. nonlethal weapons to manpower, which puts them in a role less politically damaging weapons, unlike conventional conventional weapons. They are often called "non-lethal" or "human" weapons. Series of the NGOs on similar weapons nothing human can not see. Thomas Gebauer it in Der Spiegel commented, "With non-lethal weapons generals only want to give the impression that they can lead humane war." But no war is not humane.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [2] BLUMA, Aleš, KOTRBA, Štěpán; *Britské listy – Zbraně s lidskou tváří*. Praha, 2009. 232 s. ISSN 1213 – 1792
- [3] TOFFLER, Alvin, TOFFLEROVÁ, Heidi; *Válka a antiválka – Jak porozumět dnešnímu globálnímu chaosu*. 1. vyd. Praha, 2002. 304 s. ISBN 80 – 7203 – 445 – 6
- [6] VISINGR, Lukáš, KOTRBA, Štěpán; *Britské listy – Laserové zbraně: paprsky smrti ve službách velmocí*. Praha, 2008. 232 s. ISSN 1213 – 1792
- [13] Ing. BEZDĚK, Milan; *OBZOR – Mikrovlny vysokého výkonu*. Kavka Print, a.s., Klecany, 2012. 64 s. ISSN 1210 – 0889

Internetové zdroje:

- [1] *Elektrický výboj ve službách zákona* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36732>
- [4] *Věda a technika* [online]. 2013 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z WWW: <<http://vedaatechnika.webnode.cz/news/elektromagneticke-spektrum/>>.
- [5] *Neletální zbraně* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=2212>>
- [7] *VTM Věda a technika* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://vtm.e15.cz/clanek/dar-pritele-lasera>>.
- [8] *Vysokofrekvenční zbraně pro umlčení PVO* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=2034>>.
- [9] *ADS:mikrovlnná zbraň, která vás nepříjemně ohřeje* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://fanda.nova.cz/clanek/hi-tech/ads-mikrovlnna-zbran-ktera-vas-neprijemnezohreje.html>>.
- [10] *HPM a jejich válečná budoucnost:Důsledky pro americkou obranu* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.ausairpower.net/PDF-A/Capozzella_awc_10.pdf>.
- [11] *Long Range Acoustic Device* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Long_Range_Acoustic_Device>.
- [12] *Elektromagnetické zbraně, mýtus nebo fungující realita.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2011/10/drazan.ppt>>.
- [13] *Testování odolnosti techniky proti účinkům výkonových elektromagnetických polí.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.testcom.cz/pdf/emc2005/Vykonova%20pole%20-%20Testovani%20odolnosti.pdf>>.

- [14] *Úvod do problematiky výkonových EM polí řešených u divize VTÚPV Vyškov.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.testcom.cz/pdf/emc2005/Generovani%20vykonovych%20poli.pdf>>.
- [15] *Green Pine Radar* [online]. 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z WWW: <radartutorial.eu/19.kartei/karte405.en.html>.
- [16] *Elektromagnetický protiletadlový a protiraketový systém* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.armadninoviny.cz/elektromagneticky-protiletadlovy-a-protiraketovy-system.html>>.
- [17] *Mikrovlnka jako zbraň* [online]. 2013 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z WWW: <<http://fanda.nova.cz/clanek/hi-tech/mikrovlnka-ktera-vam-upece-cokoliv-elektrického-na-skvarek.html>>.
- [18] *Zastavování motorů aut* [online]. 2013 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.humanart.cz/literatura-77483-zastavovani-motoru-aut.html>>.
- [19] *Low-Cost Autonomous Attack System (LOCASS) successfully flight tested* [online]. 2013 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.gizmag.com/go/4812/>>.
- [20] *Program bezpilotního letounu X-47B úspěšně pokračuje* [online]. 2013 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.armadninoviny.cz/program-bezpilotniho-letounu-x-47b-uspesne-pokracuje.html>>.

SEZNAM POUŽITÝCH VÝRAZŮ A ZKRATEK

AČR	Armáda České republiky
ADS	Systém aktivního odporu
AESA	Aktivní elektronické skenování
BEAR	Částicová zbraň
CDP	Plán rozvoje schopností
CMOS	Polovodičové struktury
DEW	Zbraně s řízenou energi
DEWM	Zbraně s řízenou energi pracující v pásmu mikrovln
DEWRF	Zbraně s řízenou energi pracující v pásmu rádiových vln
EDA	Evropská obranná agentura
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMP	Elektromagnetický impuls
FCG	Explozivně pumpovaný kompresní generátor magnetického toku
GPS	Družicový navigační systém
HMWWV	Mobilní víceúčelové kolové vozidlo
HPEM	Výkonový elektromagnetismus
HPM	Mikrovlny vysokého výkonu
HPRF	Rádiové vlny vysokého výkonu
CHAMP	Projekt pokročilé protielektronické vysokovýkonné mikrovlnné střely
IEMI	Záměrně generované rušení
IRA-3M	Speciální impulsní anténa
LASER	Zdroj vysoce koherentního světla

LOCAAS	Nízkonákladový bezpilotní útočný systém
LRAD	Akustické zařízení s dlouhým dosahem
MARAUDER	Plasmová zbraň
MHD	Magneto-hydrodynamický generátor
NATO	Severoatlantická aliance
NEC	Integrované prostředí sítí
PASS	Nesmrtící plasmová zbraň
PCSS	Fotovoltaický polovodičový spínač
PfP	Partnerství pro mír
RAM	Paměť s přímým přístupem
RTO	Organizace NATO pro výzkum a vývoj obraných technologií
STEALTH	Technologie obtížné zjizitelnosti, neviditelnost
TE	Příčný elektrický mód
TM	Příčný magnetický mód
UWB	Ultra-širokopásmové systémy
V-MADS	Lafetovaný systém aktivního odporu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Elektromagnetické spektrum [4]</i>	13
<i>Obr. 2. Spektrum vlnových délek [4]</i>	13
<i>Obr. 3. Princip laseru [6]</i>	15
<i>Obr. 4. Řez laserem [6]</i>	15
<i>Obr. 5. PHaSR - Personnel Halting and Stimulation Response [7]</i>	16
<i>Obr. 6. ADS – Mikrovlnné zařízení [9]</i>	19
<i>Obr. 7. Ranets-E – vysokofrekvenční zbraň [10]</i>	20
<i>Obr. 8. LRAD - akustická zbraň [11]</i>	21
<i>Obr. 9 Obecné funkční schéma elektromagnetické zbraně [12]</i>	26
<i>Obr. 10 Schéma generátoru FCG [13]</i>	29
<i>Obr. 11 Principiální schéma axiálního virkátoru [13]</i>	31
<i>Obr. 12 Klasifikace podle šířky pásma generovaného signálu [12]</i>	32
<i>Obr. 13 Obecné funkční schéma elektromagnetické úzkopásmové zbraně [12]</i>	32
<i>Obr. 14 Obecné funkční schéma elektromagnetické širokopásmové zbraně [12]</i>	33
<i>Obr. 15 Schéma fotovoltaického polovodičového spínače - PCSS[12]</i>	34
<i>Obr. 16 IRA-3M [13]</i>	34
<i>Obr. 17 Wardenův diagram [12]</i>	39
<i>Obr. 18 Znárodnění cest průniku elektromagnetického pole a jeho interakce s elektronikou [14]</i>	40
<i>Obr. 19 Radar Green Pine [15]</i>	51
<i>Obr. 20 Protiletadlové elektromagnetické dělo Blitzer [16]</i>	53
<i>Obr. 21 CHAMP střela [17]</i>	54
<i>Obr. 22 LOCAAS bezpilotní prostředek [18]</i>	56
<i>Obr. 23 Bepilotní bombardér X-47B [19]</i>	58

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Neletální zbraňové technologie</i>	<i>11</i>
---	-----------