

# **Elektromagnetické prostředky pro zastavování vozidel**

Patrik Kocian

---

Bakalářská práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Patrik Kocian  
Osobní číslo: A13036  
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika  
Studijní obor: Bezpečnostní technologie, systémy a management  
Forma studia: prezenční

Téma práce: Elektromagnetické prostředky pro zastavování vozidel  
Téma anglicky: Electromagnetic Devices for Stopping Vehicles

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizujte impulsy elektromagnetických polí.
  2. Popište principy činnosti elektromagnetických prostředků a zbraní využívající impulsní elektromagnetické pole.
  3. Analyzujte požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu vozidel.
  4. Pojednejte o současném stavu prostředků k zastavování vozidel.
  5. Navrhněte možnosti aplikace prostředků k zastavování vozidel v národních podmínkách.
-

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské 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. MYSLÍK, Jiří. Elektromagnetické pole- základy teorie. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 80-86056-43-0.
3. KAŇUCH, Jan, KOVÁČ, Dobroslav, KOVÁČOVÁ Irena. EMC z hlediska teorie a praxe. 1. vydání. Praha: BEN- technická literatura, 2006. 216 s. ISBN 80-7300-202-7.
4. Směrnice komise 2004/104/ES o přizpůsobení technickému postupu směrnice Rady 72/245/EHS o sblížování právních předpisů členských států týkajících se potlačení vysokofrekvenčního rušení způsobovaného zážehovými motory. In Ústředí věstník Evropské unie L 337. Luxembourg: The Publications Office of the European Union, 2004. 46 s.
5. ČSN EN 55012 ed. 2 Vozidla, čluny a spalovací motory - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření pro ochranu přijímačů, které jsou mimo tato zařízení. Praha: ČNI: 2008. 52 s. Třídící znak 33 4227.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jan Valouch, Ph.D.**

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**23. února 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**30. května 2016**

Ve Zlíně dne 16. února 2016

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



Ing. Jan Valouch, Ph.D.  
*ředitel ústavu*


### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské 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/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské 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/bakalářskou 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/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské 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 diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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/bakalářské 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, dne 27. 5. 2016

  
.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Bakalárska práca rieši problematiku aplikácie elektromagnetických prostriedkov pre zastavovanie vozidiel. Úvodná časť predstavuje pojednanie o elektromagnetických impulzoch a popis princípu činnosti elektromagnetických prostriedkov a zbraní využívajúcich impulzné elektromagnetické pole. Uvedené informácie sú doplnené analýzou požiadaviek na elektromagnetickú odolnosť vozidiel. Výstup práce tvorí prezentácia analýzy súčasného stavu elektromagnetických prostriedkov pre zastavovanie vozidiel, ktorá je doplnená o návrh možností ich aplikácie.

**Kľúčové slová:** impulzy elektromagnetických polí, elektromagnetická odolnosť, zastavovanie vozidiel

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis solves issues related to application of electromagnetic devices for stopping of vehicles. Initial part deals with electromagnetic pulses and working principles of electromagnetic devices and weapons based on pulsed electromagnetic field. These information are augmented by an analysis of requirements for electromagnetic susceptibility of vehicles. The output of the thesis is analysis of the current state electromagnetic devices for stopping of vehicles, which is complemented on the possibilities of their application.

**Keywords:** electromagnetic pulses, electromagnetic susceptibility, stopping of vehicles

V prvom rade by som sa chcel poďakovať môjmu vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Janovi Valouchovi, Ph.D. za poskytnuté cenné rady a odborné vedenie pri tvorbe práce. Ďalej chcem poďakovať mojej rodine a priateľke za podporu počas celej doby štúdia.

*„Radosť z uvažovania a z chápania je najkrajším darom prírody.“*

Albert Einstein

# OBSAH

ÚVOD.....	9
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 IMPULZY ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ .....</b>	<b>12</b>
1.1 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE .....	12
1.1.1 Maxwelllove rovnice.....	12
1.1.2 Elektrické pole .....	14
1.1.3 Magnetické pole .....	14
1.1.4 Kvazistacionárne elektromagnetické pole.....	15
1.2 IMPULZY ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ.....	15
1.3 NUKLEÁRNY IMPULZ ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA .....	16
1.3.1 E1 komponent .....	16
1.3.2 E2 komponent .....	17
1.3.3 E3 komponent .....	17
1.3.4 Výbuch blízko povrchu .....	17
1.3.5 Výbuch v strednej nadmorskej výške .....	17
1.3.6 Výbuch vo vysokej nadmorskej výške.....	17
1.4 NENUKLEÁRNY IMPULZ ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA.....	18
1.5 DOPAD NA ELEKTRICKÉ ZARIADENIA .....	18
1.6 ELEKTROMAGNETICKÉ POLIA A ZDRAVIE ČLOVEKA .....	19
1.6.1 Nízko-frekvenčné elektrické polia.....	19
1.6.2 Nízko-frekvenčné magnetické polia.....	19
<b>2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZBRANE .....</b>	<b>21</b>
2.1 ZBRANE PRACUJÚCE V PÁSME RÁDIOVÝCH VĽN .....	21
2.2 ZBRANE PRACUJÚCE V PÁSME MIKROVĽN .....	21
2.3 HIGH POWER MICROWAVE.....	22
2.4 ULTRA-WIDE BAND .....	22
2.5 LASEROVÉ ZBRANE .....	23
2.6 ČASTICOVÉ ZBRANE .....	23
2.7 VPLYV ZBRANÍ PRACUJÚCICH V PÁSME RÁDIOVÝCH VĽN A MIKROVĽN NA ELEKTRONIKU.....	24
2.8 SPÔSOBY VÄZBY ELEKTROMAGNETICKEJ ENERGIE.....	25
2.8.1 Väzba prednými dverami .....	25
2.8.2 Väzba zadnými dverami.....	25
<b>3 KONŠTRUKCIA ZBRANÍ PRACUJÚCICH V PÁSME RÁDIOVÝCH VĽN A MIKROVĽN.....</b>	<b>27</b>
3.1 AKUMULÁCIA ENERGIE .....	27
3.1.1 Marxov generátor .....	28
3.1.2 Výbušný generátor indukčného toku .....	29
3.1.3 Výbušný magnetohydrodynamický generátor .....	30
3.1.4 Virtuálny katódový oscilátor.....	30

3.2	VÝKONOVÉ PRVKY V ŠIROKOPÁSMOVÝCH DEWRF A DEWM.....	31
3.3	VÝKONOVÉ PRVKY V ÚZKOPÁSMOVÝCH DEWRF A DEWM.....	32
3.3.1	Čerenkovovo alebo Smith-Purcellovo žiarenie.....	33
3.3.2	Tranzitné žiarenie.....	33
3.3.3	Brzdené žiarenie.....	34
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA VOZIDIEL .....</b>	<b>36</b>
4.1	TECHNICKÉ NORMY .....	37
4.2	TESTOVANIE EMC .....	39
4.2.1	Testovanie rušivého vyžarovania.....	40
4.2.2	Testovanie rušivých signálov na vedení .....	40
4.2.3	Testovanie odolnosti voči elektromagnetickým poliam .....	41
4.2.4	Testovanie odolnosti voči rušivým signálom na vedení .....	42
4.2.5	Testovanie odolnosti voči elektrostatickým výbojom.....	42
4.3	PODNIKOVÉ NORMY .....	43
4.3.1	Značka pre ES typové schválenie .....	46
<b>5</b>	<b>SÚČASNÝ STAV ELEKTROMAGNETICKÝCH PROSTRIEDKOV NA ZASTAVOVANIE VOZIDIEL.....</b>	<b>48</b>
5.1	DIEHL BGT DEFENCE GMBH & Co. KG.....	48
5.2	E2V.....	52
5.3	EUREKA AEROSPACE.....	53
5.4	JOINT NON-LETHAL WEAPONS DIRECTORATE .....	53
5.5	FIORE INDUSTRIES, INC. ....	54
5.6	PROJEKT SAVELEC .....	55
<b>6</b>	<b>NÁVRH APLIKÁCIE ELEKTROMAGNETICKÝCH PROSTRIEDKOV NA ZASTAVOVANIE VOZIDIEL .....</b>	<b>57</b>
6.1	POLICAJNÝ ZBOR.....	57
6.2	OZBROJENÉ SILY .....	58
6.3	SÚKROMNÉ BEZPEČNOSTNÉ SLUŽBY .....	59
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>72</b>



## ÚVOD

V dnešnej dobe plnej motorových vozidiel dochádza často k protiprávneho jednaniu vodičov, ktorí odmietajú poslúchať príkazy príslušníkov Policajného zboru. Tento jav, bežný v Spojených štátoch amerických, kde často dochádza k automobilovým naháňackám, sa objavuje čoraz častejšie aj v našich podmienkach. V takých situáciách nemajú príslušníci Policajného zboru inú možnosť ako použiť streľbu. V súvislosti s momentálne pretrvávajúcou utečeneckou krízou sa odohral incident, kedy šofér prevážajúci migrantov z Maďarska na Slovensko odmietal zastaviť vozidlo a príslušníci Policajného zboru boli nútení použiť streľbu, čím došlo k poraneniu jednej migrantky. Oblúbené sú aj tzv. car bombs, využívané hlavne pri teroristických útokoch. Výbušnina je umiestnená v aute, s ktorým sa teroristi snažia dostať do objektu alebo do blízkosti objektu, kde ju chcú aktivovať. Práve pri takýchto situáciách je vhodné použiť elektromagnetické prostriedky na zastavovanie vozidiel.

Elektromagnetické prostriedky na zastavovanie vozidiel sú zariadenia využívajúce intenzívne impulzy elektromagnetických polí. Takmer všetky motorové vozidlá majú riadiacu elektroniku, ktorá predstavuje zraniteľnosť voči týmto poliam. Pomocou nich sa naindukujú napätie vyššie ako bežná hodnota, na ktorej pracuje elektronika a dôjde k zastaveniu motora. Vysoké napätie môže spôsobiť len dočasné prerušenie, ktoré prestane po vypnutí elektromagnetického prostriedku alebo až vyhorenie.

Elektromagnetické polia sa nachádzajú skoro všade, kde sa vozidlá pohybujú a tiež vznikajú činnosťou samotných vozidiel, preto je dôležité zabezpečiť ochranu voči nim. Touto problematikou sa zaoberá elektromagnetická kompatibilita. Aj napriek tejto ochrane sú vozidlá zraniteľné elektromagnetickými prostriedkami a zbraňami, pretože sú schopné vygenerovať polia o vysokej intenzite.

Hlavné výhody elektromagnetických prostriedkov sú neletálnosť (nie sú smrteľné), nie sú ovplyvňované počasím, rýchlo sa aktivujú a žiarenie je možné smerovať. Na zdravie človeka nemajú negatívny vplyv, no pri vysokých výkonoch spôsobujú pálenie kože, čo je využiteľné na potláčanie davov ľudí.

Zatiaľ sa tieto zariadenia veľmi nevyužívajú, skôr vyvíjajú, preto nie je dostatok informácií o efektívnosti a spoľahlivosti v praxi. Problém môže nastať pri zastavovaní vozidla, v ktorého blízkosti sa nachádza ďalšie vozidlo. Tiež sú pomerne ťažké a veľké. V budúcnosti, keď dôjde k zníženiu hmotnosti a zmenšeniu rozmerov budú ľahšie aplikovateľné do praxe.

Cieľom práce je vytvoriť ucelený prehľad spôsobu fungovania a konštrukcie elektromagnetických prostriedkov, analýza požiadavkou na elektromagnetickú kompatibilitu, prehľad reálnych zariadení a návrh možností aplikácie týchto zariadení pre jednotné bezpečnostné zložky.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 IMPULZY ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ

V prvej kapitole sú popísané impulzy elektromagnetických polí prírodného pôvodu, umelo vytvorené a tiež elektromagnetické pole, ktoré spôsobuje alebo naopak nespôsobuje nežiadúce účinky. Sú popísané dôsledky dopadu týchto impulzov či už na elektrické zariadenia alebo na zdravie človeka.

### 1.1 Elektromagnetické pole

Každý látke je potrebné priradiť energiu, hybnosť a zotrvačnosť. Elektromagnetické pole nie je výnimkou, a preto je považované za formu hmoty.

Elektromagnetické pole je fyzikálne pole tvorené spojeným elektrickým a magnetickým poľom, ktoré sú výsledkom pohybu elektrického náboja a obsahuje určité množstvo elektromagnetickej energie. Tieto dve polia sa berú oddelene len pri malých frekvenciách.

Elektromagnetické polia môžu byť opísané ako séria vln, ktoré kmitajú o určitej frekvencii s určitou vlnovou dĺžkou. [1] [2]

#### 1.1.1 Maxwellove rovnice

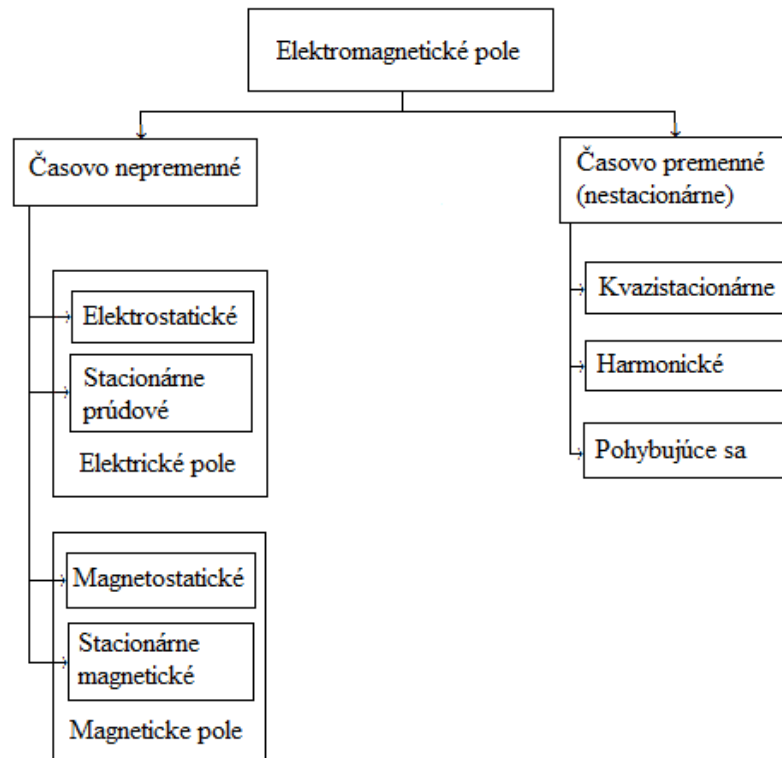
Každá veda má formulované zákony. V tomto prípade sú to Maxwellove rovnice, ktoré predstavujú základné axiómy elektromagnetického poľa. Môžu byť formulované v dvoch tvaroch:

- Integrálny tvar – elektromagnetické pole je popisované v priestorovej oblasti
- Diferenciálny tvar – elektromagnetické pole je popisované v určitom bode [1].

Tab. 1. Maxwellove rovnice [1]

	Integrálny tvar	Diferenciálny tvar	
1.	$\oint_c \mathbf{H} \, d\mathbf{l} = I + \frac{d\Psi}{dt}$	$rot \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	zovšeobecnený Ampérov zákon
2.	$\oint_c \mathbf{E} \, d\mathbf{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$	$rot \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	Faradayov indukčný zákon
3.	$\oint_s \mathbf{D} \, d\mathbf{S} = Q$	$div \mathbf{D} = \rho$	Gaussova veta
4.	$\oint_s \mathbf{B} \, d\mathbf{S} = 0$	$div \mathbf{B} = 0$	zákon kontinuity magnetického indukčného toku

Podľa časového priebehu môžeme elektromagnetické pole rozdeliť nasledovne:



Obr. 1. Rozdelenie elektromagnetického poľa podľa časového priebehu [1], upravil Kocian, 2016

V prípade, že sú náboje v pokoji, pole je statické. V prípade, že sú náboje v konštantnom pohybe, pole je stacionárne. Pri časovo nepremennom elektromagnetickom poli rozlišujeme elektrické a magnetické pole oddelene a u časovo premenného ich vyšetrujeme spolu [1].

### 1.1.2 Elektrické pole

Každé pole má charakteristické vlastnosti. U elektrického poľa sú to elektrické sily, ktoré majú mechanické účinky na nehybné elektrické náboje umiestnené v tomto poli [3].

#### Elektrostatické pole

Elektrostatické pole vytvárajú náboje, ktoré sa nepohybujú, nevytvárajú elektrický prúd, a preto nevzniká magnetické pole. Na vyjadrenie pôsobenia síl v elektrostatickom poli sa používajú bodové náboje. Sily medzi dvomi bodovými nábojmi popisuje Coulombov zákon, ktorý hovorí, že dva bodové náboje  $Q_1$  a  $Q_2$  na seba pôsobia silou  $F$ , ktorá je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti medzi bodovými nábojmi a priamo úmerná súčinu ich veľkostí [1] [6].

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1)$$

#### Stacionárne prúdové pole

Na rozdiel od stacionárneho poľa, náboje v tomto poli sú v pohybe. Voľné elektróny potrebujú vodivé prostredie. Majú usporiadaný pohyb a konštantnú rýchlosť, tým pádom veličiny poľa nie sú závislé na čase. Hustota prúdu je priamo úmerná intenzite elektrického poľa a môžeme ju vyjadriť ako [4] [5]

$$J = \gamma E \quad (2)$$

### 1.1.3 Magnetické pole

Zmagnetizované telesá alebo elektrické prúdy môžu vytvárať magnetické pole, ktoré pôsobí silovými účinkami na vodiče, ktorými preteká prúd, na nosiče elektrického náboja ale aj na

všetky druhy látok v pokoji. Tieto silové účinky sa dajú popísať pomocou veličiny  $B$  (magnetická indukcia), ktorá je charakteristická pre magnetické pole a to Lorentzovým vzťahom [6]

$$\mathbf{F} = q[\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}] \quad (3)$$

### Stacionárne magnetické pole

Vzniká stacionárnym pretekajúcim prúdom vo vodiči a je časovo nepremenné [6].

### Magnetostatické pole

Vzniká v okolí permanentných magnetov. Nachádza sa v oblasti, kde je magnetické pole potenciálne [2].

#### 1.1.4 Kvazistacionárne elektromagnetické pole

Kvazistacionárne elektromagnetické pole je časovo premenné ako vyplýva z Obr. 1. ale je tu podmienka, že časové zmeny priestorového rozloženia nábojov musia byť dostatočne pomalé, aby bolo možné zanedbať jeden člen pravej strany 1. Maxwellovej rovnice. Teda musí platiť  $I \gg \frac{d\psi}{dt}$ , resp.  $\mathbf{J} \gg \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$ . Javy tohto poľa sa vyskytujú napríklad na silnoprúdových vedeniach o frekvencii 50 Hz. Musí tu platiť podmienka, že oblasť, v ktorej toto pole pôsobí musí byť podstatne menšia ako je vlnová dĺžka [2] [4] [5] [6].

## 1.2 Impulzy elektromagnetických polí

EMP (ElectroMagnetic Pulse – elektromagnetický impulz) je náhly výbuch široko pásmového a vysoko intenzívneho elektromagnetického žiarenia s ničivými účinkami využívajúci elektromagnetickú interferenciu. Po extrémne rýchlom dosiahnutí maxima, čo môže byť menej ako nanosekunda, sila elektromagnetického poľa klesne v niekoľkých mikrosekun-

dách. Avšak aj napriek krátkemu trvaniu, impulz nesie značné množstvo energie. Doba trvania a veľkosť frekvencie impulzu závisí od jeho zdroja a elektrické pole môže nadobudnúť intenzitu až 10 kV/m [7] [8].

V širšom slova zmysle je EMP podobné rádiovým vlnám, no sú tu dôležité rozdiely. Rádiové vysielacie sú určené na vytváranie elektromagnetických vln určitej frekvencie, pričom vlny EMP majú širšiu oblasť frekvencií a amplitúd. Navyše elektromagnetické polia spájané s EMP môžu byť miliónkrát väčšie než obyčajné rádiové vlny [7].

EMP môže mať rôzny pôvod:

- Nezámerný (prírodný) – blesk, elektrostatický výboj, výron koronálnej hmoty pri slnečnej erupcii
- Zámerný (vytvorený človekom) – nukleárny a nenukleárny impulz elektromagnetického poľa

### 1.3 Nukleárny impulz elektromagnetického poľa

Nuclear EMP (NEMP – nukleárny elektromagnetický impulz) je v čase premenlivé elektromagnetické žiarenie, ktoré veľmi rýchlo nadobudne svoj vrchol a následne pomalšie klesá. Obsahuje široké spektrum frekvencií, ktoré siahajú od veľmi malých hodnôt až po niekoľko stoviek megahertzov [7].

Gama lúče emitované pri jadrovej explózií interagujú s molekulami a atómami vzduchu, Comptonovým efektom, a vytvárajú ionizovanú oblasť okolo výbuchu. Gama lúče obsahujú v priemere okolo 0,3% energie z explózie. Záporne nabité elektróny sa pohybujú smerom od výbuchu rýchlejšie ako ťažšie pozitívne nabité ióny a tým dochádza k separácii. Tým, že bližšie ku miestu výbuchu je sieť pozitívne nabitých častíc a ďalej je sieť negatívne nabitých častíc dochádza ku vzniku elektrického poľa [7].

Nukleárny EMP je v podstate elektromagnetický multi-impulz a býva zvyčajne popisovaný z hľadiska troch komponentov: E1, E2, E3 [9].

#### 1.3.1 E1 komponent

Tento komponent je veľmi rýchly a krátky ale intenzívne elektromagnetické pole môže rýchlo indukovať vysoké napätia v elektrických zariadeniach. Jeho škodlivé účinky sa prejavujú v podstate súčasne vo veľkej zasiahnutej oblasti [9] [10].



### 1.3.2 E2 komponent

E2 komponent zasahuje zhruba rovnakú oblasť ako E1 a je podobný blesku z časového hľadiska. Oproti blesku zasahuje väčšiu oblasť a je trochu rozdielny v amplitúdach. Vo všeobecnosti by nemal predstavovať hrozbu pre kritickú infraštruktúru, keďže existuje ochrana proti bleskom. Hlavný potenciálny problém je to, že E2 hneď nasleduje E1, ktorý môže zničiť ochranu, ktorá by bola inak účinná proti E2 [9] [10].

### 1.3.3 E3 komponent

Posledný komponent E3 je od prvých dvoch rozdielny, pretože je pomalší a dlhšie trvajúci. Trvá desiatky až stovky sekúnd. Vytvára rušivé prúdy na dlhých elektrických vodičoch. Je tiež podobný geomagnetickým búrkam spôsobeným slnečnými erupciami [9] [10].

Z hľadiska miesta výbuchu sú tri typy: blízko povrchu, v strednej nadmorskej výške a vo vysokej nadmorskej výške

### 1.3.4 Výbuch blízko povrchu

Radia sa sem výbuchy približne do výšky 2 km. Gama lúče z explózie, ktoré letia smerom dole sú absorbované vrchnými vrstvami zemského povrchu a tým pádom nedochádza k separácii nábojov. Gama lúče letiace iným smerom spôsobujú vo vzduchu separáciu nábojov a tým vytvárajú prúd elektrónov. Tieto elektróny sa vracajú cez zem, ktorá je viac vodivá ako vzduch, ku miestu výbuchu a vznikajú prúdové slučky. Tieto slučky vytvárajú veľké magnetické polia. Elektrické a magnetické polia tak napomáhajú vzniku EMP [7].

### 1.3.5 Výbuch v strednej nadmorskej výške

Výbuchy vo výške od 2 km do 30 km. Frekvencia Comptonových zrážok a ionizácia vzduchu sa mení rovnakým spôsobom ako hustota vzduchu. Čím vyššie, tým menšia hustota vzduchu. V dôsledku tejto asymetrie vzniká elektrónový prúd, ktorý spôsobuje oscilácie v ionizovanom vzduchu a energia je emitovaná ako impulz elektromagnetického žiarenia [7].

### 1.3.6 Výbuch vo vysokej nadmorskej výške

Výška nad 30 km. Gama lúče vyžiarené z explózie, letiace smerom dole narážajú na vzduch o väčšej hustote a interagujú s atómami vzduchu. Vytvárajú sa Comptonove elektróny, ktoré

sú odklonené magnetickým poľom Zeme, čo ich núti otočiť sa. Týmto pohybom vznikne EMP, ktorý sa šíri smerom dole. Napríklad pri výbuchu vo výške 80 km EMP zasiahne oblasť na povrchu o polomere 960 km. Pri výške 160 km to bude oblasť o polomere 1440 km [7].

#### 1.4 Nenukleárny impulz elektromagnetického poľa

Non-Nuclear EMP (NNEMP – nenukleárny elektromagnetický impulz) sú všeobecne intenzívne elektromagnetické polia generované opakovateľnými vysokovýkonnými a neexplozívnymi generátormi, ktoré sú smerované na cieľ anténou. Dosah impulzu je oproti nukleárnemu impulzu veľmi obmedzený. Môže nadobudnúť frekvencie v rozmedzí 100 MHz až 300 GHz. Ďalej sa NNEMP delí na širokopásmové a úzkopásmové [7] [11].

Viac o generovaní a zložení zariadení na nenukleárne impulzy bude popísané v kapitole 2 a 3.

#### 1.5 Dopad na elektrické zariadenia

EMP sa rovnako ako všetky elektromagnetické vlny šíri rýchlosťou svetla. Toto žiarenie môže byť zachytávané kovovými ale aj inými vodičmi rovnako ako sú rádiové vlny zachytávané anténami. Energia zo žiarenia môže byť premenená indukciou na silné elektrické prúdy a vysoké napätia. Mikročipy a integrované obvody sú stavané aby zvládali jednotky voltov a napr. súčiastky automobilov by mali zvládať  $30 \text{ V.m}^{-1} - 200 \text{ V.m}^{-1}$ , no pomocou elektromagnetických zbraní so smerovanou energiou je možné vygenerovať pole s intenzitou až  $300 \text{ kV.m}^{-1}$  [7] [12] [13].

Sú tri spôsoby viazania EMP na vodivý systém. Elektrická indukcia, magnetická indukcia a odporová väzba [7].

- Pri elektrickej indukcii je prúd indukovaný na vodiči pomocou zložky elektrického poľa v smere dĺžky vodiča.
- Magnetická indukcia sa objavuje v uzavretých slučkách.
- Odporová väzba vznikne vtedy, keď je vodič umiestnený vo vodivom prostredí ako napr. ionizovaný vzduch, slaná voda alebo zem.

Rozdiel v dopade EMP na elektrické zariadenia medzi NEMP a NNEMP je pri veľkosti ožarovaného subjektu. S NNEMP sa dajú ožiarit' menšie budovy až časti veľkých budov intenzívnym EMP, pričom pomocou NEMP je možné ožiarit' až celé kontinenty. Kvôli zmenám polí vznikajúcim s narastajúcou vzdialenosťou sa efektívne viaže EMP z NNEMP len na vodiče o dĺžke do 10 metrov, čo napríklad znižuje hrozbu týchto zariadení voči elektrickým vedeniam [11].

## **1.6 Elektromagnetické polia a zdravie človeka**

EMP nie je rádioaktívne ani ionizujúce. Tiež nemá škodlivý účinok na biologické materiály ako napríklad röntgenové žiarenie, ktoré porušuje pevnosť chemických väzieb v molekulách [14] [15].

### **1.6.1 Nízkočfrekvenčné elektrické polia**

Vytvárajú na povrchu tela náboj a v dôsledku toho z povrchu kože preteká prúd cez tkanivá do zeme. V striedavom elektrickom poli sa mení polarita nábojov a tým pádom sa mení aj smer prúdu, čo môže spôsobovať napríklad pod vedením vysokého napätia zježenie ochlpenia. Zdraviu to ale neškodí [15].

### **1.6.2 Nízkočfrekvenčné magnetické polia**

Vytvárajú v tkanivách tela cirkulujúce prúdy, v dôsledku ktorých môže dôjsť k ovplyvneniu biologických procesov. Pri dostatočnej sile týchto prúdov sa môže zdať, že vidíme blikajúce body, čo je spôsobené stimuláciou sietnice. V prípade intenzívnejších polí, s ktorými sa môžeme dostať do kontaktu, napríklad magnetická rezonancia, vznikajú také silné prúdy, že dochádza k vzniku kmitov alebo kontrakcií svalov [15].

Pri vysokofrekvenčných elektromagnetických poliach je hlavným efektom nárast teploty (používané u mikrovlnných rúrach). Väčšina ľudí sa dostáva len do miest s nízkou úrovňou polí, a preto nepôsobia na nich škodlivé účinky zahriatia tkanív alebo zvýšenia telesnej teploty [15].

### Záver kapitoly

Elektromagnetické zbrane ako výstup využívajú impulzy elektromagnetických polí, čo predstavuje náhly výbuch intenzívneho elektromagnetického poľa, ktoré je tvorené navzájom spojeným elektrickým a magnetickým poľom. Elektromagnetické pole je popísané Maxwellovými rovnicami v integrálnom a diferenciálnom tvare. Impulzy prírodného pôvodu sa šíria všetkými smermi a skladajú sa z troch komponentov. Ďalej sa rozlišujú podľa vzdialenosti vzniku od Zemskeho povrchu. Impulzy vytvorené človekom sa šíria určitým smerom a na ich vznik sa používajú rôzne prostriedky. Elektromagnetické polia indukciou vytvárajú na vodivé materiály elektrické prúdy a napätia, čím spôsobujú dočasné alebo trvalé poškodenie elektrických zariadení. Škodlivé účinky elektromagnetických polí na ľudské telo nie sú zatiaľ potvrdené.

## 2 ELEKTROMAGNETICKÉ ZBRANE

Elektromagnetické zbrane sa zaraďujú medzi neletálne (nesmrtiace) zbrane. Boli vytvorené za účelom znemožniť boj protivníkovi, tak aby nedošlo k usmrteniu alebo trvalej ujme ako napríklad v prípadoch operácií na udržanie mieru alebo na boj proti terorizmu. Na rozdiel od konvenčných zbraní, ktoré využívajú chemickú energiu, elektromagnetické zbrane využívajú subatómové častice, elektromagnetické vlny a nenukleárne impulzy elektromagnetických polí. V anglosaskej literatúre sa elektromagnetické zbrane označujú ako Directed Energy Weapons (DEW – zbrane so smerovanou energiou) [16] [17].

Elektromagnetické zbrane môžeme rozdeliť do štyroch skupín [17]:

- zbrane pracujúce v pásme rádiových vln,
- zbrane pracujúce v pásme mikrovln,
- laserové zbrane,
- časticové zbrane.

### 2.1 Zbrane pracujúce v pásme rádiových vln

DEWRF (DEW Radio Frequency – zbrane so smerovanou energiou pracujúce v pásme rádiových vln) ako vyplýva z názvu, pracujú vo frekvenčnom pásme rádiových vln, od stoviek kHz až do jedného GHz.

### 2.2 Zbrane pracujúce v pásme mikrovln

DEWM (DEW Microwave – zbrane so smerovanou energiou pracujúce v pásme mikrovln) pracujú vo frekvenčnom pásme prislúchajúcom mikrovlnnému žiareniu, od jednotiek GHz až po 300 GHz [17].

Tieto dva druhy elektromagnetických zbraní využívajú veľmi intenzívne, zvyčajne impulzivne elektromagnetické polia. Z hľadiska šírky pásma generovaných impulzov elektromagnetických polí sa delia na [17]:

- HPM (High Power Microwave – vysokovýkonné mikrovlny) – úzkopásmové
- UWB (Ultra-Wide Band – veľmi široké pásmo) – širokopásmové

### 2.3 High Power Microwave

HPM pracujú vo frekvenčnom pásme od stoviek MHz až do jednotiek GHz s intenzitou približne  $100 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , ktorá závisí od vzdialenosti a doba nábehu predstavuje menej ako 10 ns. Frekvenčný rozsah bol zvolený hlavne kvôli dobrej priepustnosti týchto vln vzduchom a tiež kvôli väčšej zraniteľnosti elektrických zariadení. [16] [18].

### 2.4 Ultra-Wide Band

UWB má veľmi krátku dobu nábehu, približne 100 ps a intenzita poľa dosahuje  $50 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ , ktorá závisí od vzdialenosti. Šírka pásma siaha od stoviek MHz do niekoľko GHz. Generátory, u ktorých doba impulzu viac ako 1 ns môžeme považovať za DEWRF a naopak pri dobe trvania impulzu menej ako 1 ns môžeme považovať generátory za DEWM [17] [19].

Pri použití proti ľudskej sile a s nižšími frekvenciami spôsobujú zahrievanie tkanív. Najcitlivejší na zahrievanie je mozog, kedy dochádza k halucináciám, výkyvom emócií, strate vedomia alebo až strate pamäti. Pri vyšších frekvenciách sa objavujú povrchové bolesti. Jedným zo zástupcov týchto zbraní je Active Denial System (ADS – aktívny obranný systém), ktorý pracuje na frekvencii 95 GHz s dosahom až 700m. Spôsobuje pálenie pokožky a bolesť sa dá prirovnať dotyku rozpálenej žiarovky. Využíva sa napríklad na rozháňanie demonštrácií [20].



Obr. 2. Active Denial System (ADS) [21]

## 2.5 Laserové zbrane

Podstatou laserových zbraní je LASER ( Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesilovač světla stimulovanou emisí záření), což je optický kvantový generátor, který vytváří intenzivný svazek záření s velmi nízkým rozptylem a vysokou hustotou energie. Vyžarováním v impulzech dosahují vysoké výkony až v MW. Tyto vlastnosti se využívají v zbraních na oslepení živé síly a k ničení navigačních systémů řízených raket. Jedním zástupcem těchto zbraní je PHaSR (Personnel Halting and Stimulation Response – laserová impulzní oslepující puška). Využívá krátký impulz trvající  $10^{-9}$  s o výkonu 1 kW, čím způsobí oslepení na několik minut. Při větším výkonu je možné způsobit trvalé poškození oka a slepotu [22].



Obr. 3. PHaSR [22]

## 2.6 Časticové zbrane

Particle Beam Weapons (PBW – časticové zbrane) se od ostatních zbraní liší směrovou energií šíření energie. Tyto zařízení generují svou sílu zrychlením dostatečného množství subatomových částic nebo atomů na rychlost podobnou rychlosti světla. Lúč částic je obdobný jako blesk a ničivé účinky způsobuje uložením své energie do ničeného objektu. Když lúč částic narazí na atomy, elektrony nebo protony ničeného objektu, energie se přenesí a dojde k velkému zohřátí, což je efekt podobný tomu, který se vyskytuje při výbuchu. Jsou dva typy časticových zbraní [23]:

- zbrane s nabitými částicami – endoatmosferické využití,
- zbrane s neutrálními částicami – exoatmosferické využití.

## 2.7 Vplyv zbraní pracujúcich v pásme rádiových vln a mikrovln na elektroniku

Pri pôsobení výkonových elektromagnetický polí na elektronické systémy môže dôjsť k štyrom úrovniam ovplyvnenia. Od dočasného narušenia funkcie až k trvalému poškodeniu, čo závisí od [24]:

- vzdialenosti cieľa,
- zraniteľnosti cieľa,
- frekvencie zbrane,
- výkonovej úrovne,
- šírky pásma,
- doby trvania impulzu,
- doby pôsobenia impulzu na cieľ,
- módu väzby alebo vstupných miest.

Štyri potenciálne efekty elektromagnetických zbraní môžu byť zoradené podľa hierarchie stupňa poškodenia.

1. Strata funkcie je dočasná alebo je zhoršená prevádzka a po zastavení rušenia sa funkcia obnoví. Príkladom tohto stavu sú rušiacie zariadenia alebo blýskanie.
2. Dočasná strata funkcia podobne ako v prvej možnosti, lenže po skončení rušenia je potrebné systém odpojiť od zdroju napätia alebo ho vypnúť a reštartovať.
3. Spôsob prerušenia funkcie systému, pri ktorom dochádza k trvalému zničeniu alebo prerušeniu prívodu napätia, čo prekazí činnosť cieľa. Príkladom tohto stavu sú nereagujúce polovodičové súčiastky alebo zlyhávajúce tranzistory v dôsledku preťaženia.
4. Pôsobením vysokovýkonnej mikrovlnnej energie sa tavia kondenzátory, rezistory alebo vodiče. Väčšinou sa objavuje v miestach, kde sa schádza viac drôtov. Efekt spôsobujúci na elektrické zariadenia úderom blesku je príklad tejto možnosti [24].



## 2.8 Spôsoby väzby elektromagnetickej energie

Pri určovaní viazania elektromagnetickej energie na ciele sa uvádzajú dva módy:

- väzba prednými dverami (Front Door Coupling),
- väzba zadnými dverami (Back Door Coupling).

### 2.8.1 Väzba prednými dverami

Väzba prednými dverami sa objavuje vtedy, keď sa vyžiarené elektromagnetické pole viaže na prvky, ktoré sú určené na komunikáciu alebo interakciu s externými elektromagnetickými zariadeniami. To sú napríklad antény, senzory alebo Bluetooth.

Môže byť dvoch rádov.

Väzba prednými dverami prvého rádu sa nazýva vtedy, keď sa frekvencia impulzu zhoduje alebo aspoň prevažne zhoduje s priepustným pásmom napadnutého zariadenia. Väčšina zariadení je prirodzene viac náchylná na frekvencie vnútri priepustného pásma.

Väzba prednými dverami druhého rádu sa nazýva vtedy, keď sa frekvencia impulzu zhoduje veľmi málo alebo vôbec s priepustným pásmom napadnutého zariadenia, no impulz aj napriek tomu čiastočne prenikne [19].

### 2.8.2 Väzba zadnými dverami

Väzba zadnými dverami sa objavuje vtedy, keď sa vyžiarené elektromagnetické pole viaže a prenikne cez miesto, ktoré nie je určené na interakciu s elektromagnetickým poľom. To môžu byť káblové príklady, vetracie otvory, štrbiny medzi panelmi alebo slabé tienenie [19].

### **Záver kapitoly**

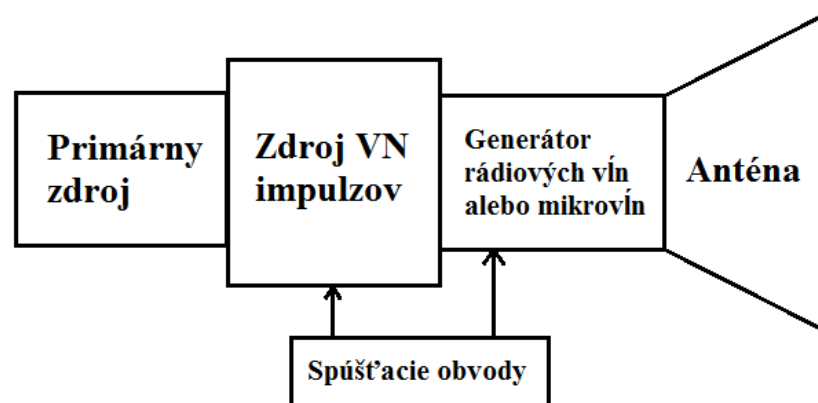
Elektromagnetické zbrane sú neletálne, nesmrtiace, zbrane, ktoré boli vyvinuté za účelom znemožniť boj protivníkovi. Fungujú na základe elektromagnetických vln, subatómových častíc a impulzov elektromagnetických zbraní. Delia sa na laserové zbrane, časticové zbrane a na zbrane pracujúce v pásme rádiových vln a mikrovln, ktoré sa ďalej delia na úzkopásmové a širokopásmové. Môžu spôsobiť dočasné prerušenie funkcie elektrických zariadení alebo až trvalé zničenie vyhorením. Na elektrické zariadenia sa táto elektromagnetická energia viaže dvomi spôsobmi, prednými dverami a zadnými dverami.

### 3 KONŠTRUKCIA ZBRANÍ PRACUJÍCICH V PÁSME RÁDIOVÝCH VĚLN A MIKROVĚLN

Ďalšia kapitola sa zaoberá konštrukciou elektromagnetických zbraní pracujúcich v pásme rádiových vln a mikrovln, ktoré boli popísané v predchádzajúcej kapitole. Sú opísané jednotlivé časti týchto zbraní a princíp ich fungovania.

Elektromagnetické zbrane pracujúce v pásme rádiových vln a mikrovln sa vo všeobecnosti skladajú zo štyroch hlavných častí [25]:

- primárny zdroj napätia,
- zdroj vysokonapäťových impulzov,
- generátor rádiových vln alebo mikrovln,
- anténa.



Obr. 4. Všeobecná funkčná schéma elektromagnetickej zbrane [25], upravil Kocian, 2016

#### 3.1 Akumulácia energie

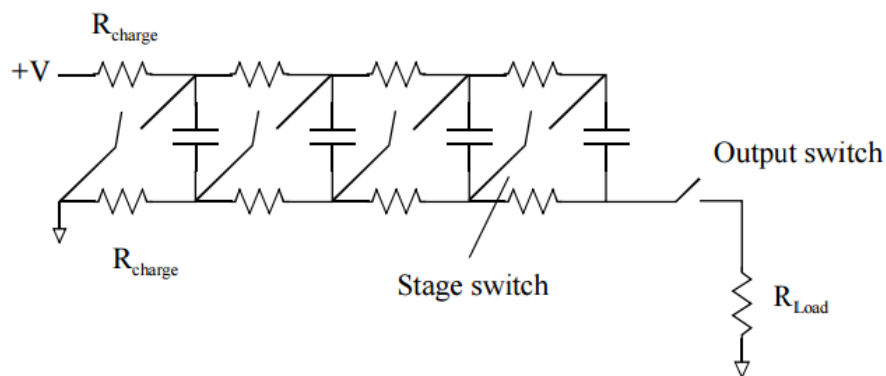
Pre generovanie impulzov elektromagnetických polí je potrebné mať k dispozícii zdroj energie, ktorý zvládne dodať dostatočné množstvo energie do záťaže vo veľmi krátkom čase. Najčastejšie sa v tomto prípade využíva na získanie energie vybíjanie kondenzátorových bánk alebo chemická energia z explózie výbušniny, ktorá komprimuje indukčný tok vytváraný indukčnou cievkou. Okrem týchto dvoch existujú ešte ďalšie spôsoby. Na generovanie impulzov sa používajú [17]:

- Marxov generátor,
- výbušný generátor indukčného toku (FCG – Flux Compression Generator),
- výbušný magnetohydrodynamický generátor (MHD – MagnetoHydroDynamic generator),
- virtuálny katódový oscilátor – virkátor.

### 3.1.1 Marxov generátor

Marxov generátor dokáže vyprodukovať impulzy vysokého napätia pomocou krokov, na ktoré je potrebný len zlomok výstupného napätia. Navyše nie je potrebný transformátor, ktorý obmedzuje rýchlosť vzniku impulzu vysokého napätia a znižuje efektívnosť celého systému. Obsahuje kondenzátory a vysokonapäťové prepínače. Tieto prepínače sú zvyčajne iskrištia.

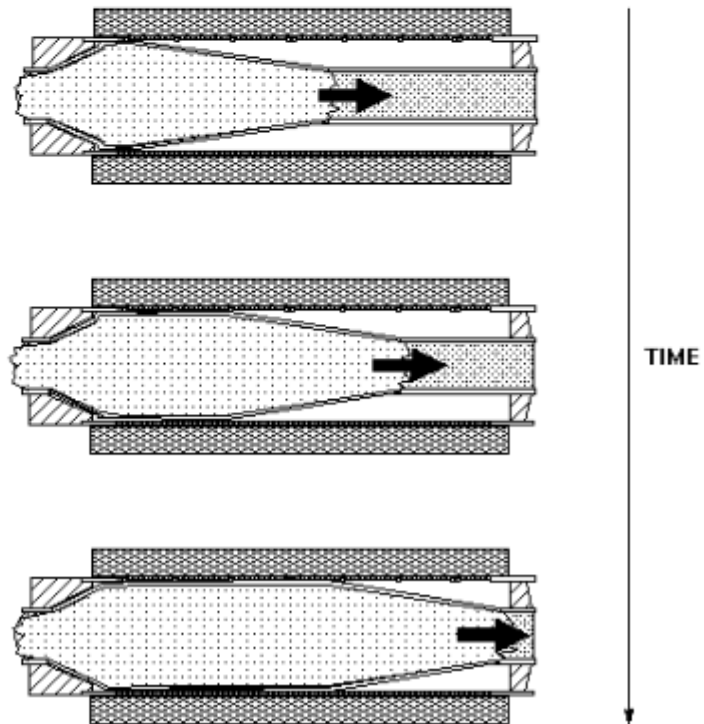
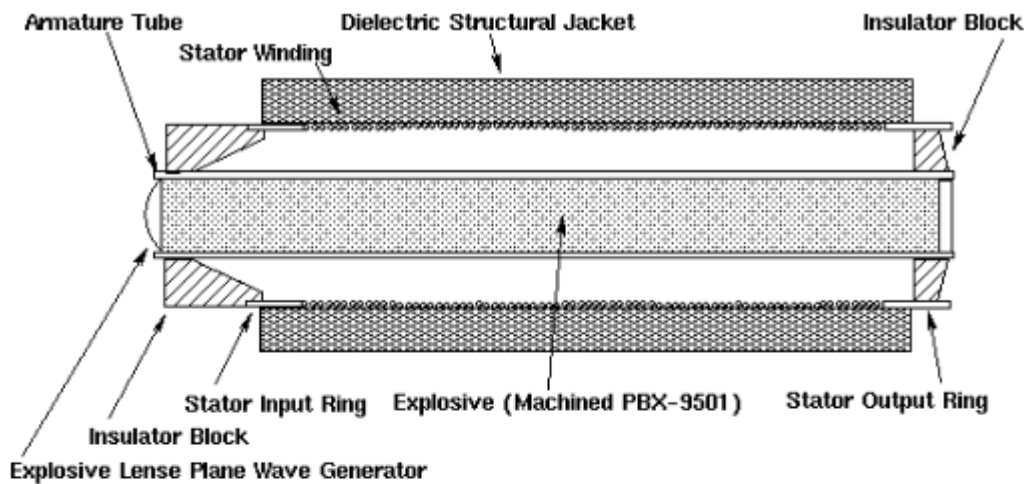
Marxov generátor je kondenzátorový obvod, ktorý sa nabije na danú úroveň napätia a následne sa vybíja a energiu rýchlo prenáša ďalej. Na nabitie paralelne zapojených kondenzátorov sa používajú rezistory. Keď sa kondenzátory nabijú dôjde k spusteniu prvého iskrišťa, tým sa zvýši napätie na susednom kondenzátore a spustí sa ďalšie iskrište. Takto sa spustí reťazová reakcia sériového spúšťania [26][27].



Obr. 5. Schéma zapojenia Marxovho generátoru [27]

### 3.1.2 Výbušný generátor indukčného toku

Výbušný generátor indukčného toku (FCG – Flux Compression Generator, tiež označovaný ako EPFCG – Explosively Pumped FCG alebo MCG – MagnetoCumulative Generator) je zariadenie schopné generovať elektrickú energiu v desiatkach megajoulov v čase desiatok až stoviek mikrosekúnd. V špičkách výkonu dosahuje až desiatky terawattov. Pri veľkých FCG môže byť vytvorený prúd až tisíckrát väčší než ten, ktorý vzniká pri údere bleskom.



Obr. 6. Konštrukcia a priebeh FCG [28]

V klasickom FCG je umiestnená kovová trubka vyplnená výbušnou zmesou, okolo ktorej je ovinutá medená cievka. Do cievky je privádzaný prúd zo zdroja a tým vzniká magnetické pole. Po explózií výbušniny vznikne rázová vlna, tým sa pritlačí trubka ku cievke a vznikne skrat, ktorým sa odvedie prúd do ďalších častí cievky. Postupom explózie sa znižuje objem magnetického poľa a dochádza k obrovskému nárastu prúdu na cievke, čo spôsobí prúdový impulz, ktorý má hodnotu vo vrcholoch až desiatky megaampérov [13][28].

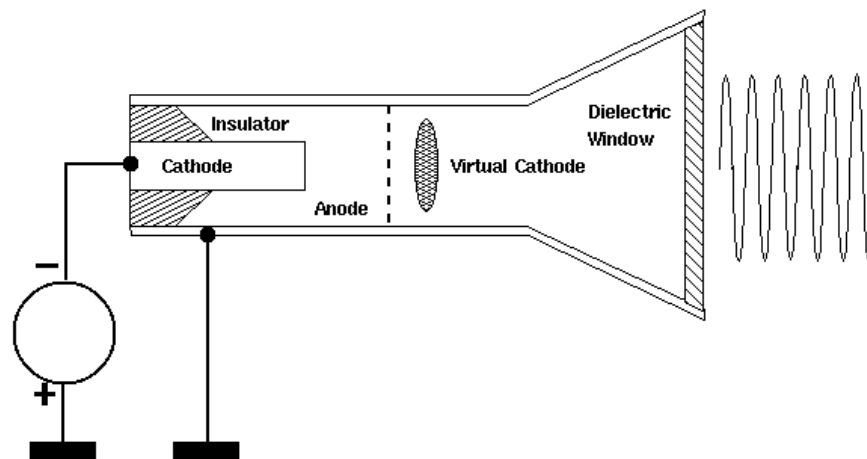
### 3.1.3 Výbušný magnetohydrodynamický generátor

Základný princíp MHD (Magnetohydrodynamic generator) spočíva v tom, že v pohybujúcom sa vodiči v magnetickom poli vzniká elektrický prúd. V tomto prípade vodič nie je drôt ale plazma ionizovaného výbušného plynu. Plazma sa pohybuje v magnetickom poli tvorenom cievkou a indukovaný prúd je zachytávaný elektródami, ktoré sú v spojení s prúdom plazmy.

Z dôvodu väčších rozmerov a váhy sa používajú menej a skôr ako generátory prúdu pre FCG [28].

### 3.1.4 Virtuálny katódový oscilátor

Virtuálny katódový oscilátor alebo virkátor je zariadenie schopné vyprodukovať veľmi silný impulz žiarenia a je mechanicky jednoduchý, malý, robustný a je dokáže pracovať so širokým frekvenčným pásmom mikrovlnného žiarenia. Základom virkátoru je v zrýchľovaní lúču elektrónov oproti sieťovej alebo fóliovej anóde. Mnoho elektrónov prejde cez anódu a vytvorí za ňou bubliny priestorových nábojov. Vo vhodných podmienkach bude táto oblasť priestorových nábojov oscilovať na mikrovlnných frekvenciách. Ak bude oblasť týchto nábojov umiestnená v rezonančnej dutine, ktorá je vhodne vyladená, môžu byť dosiahnuté veľmi vysoké výkony. Na získanie mikrovlnnej energie z rezonančnej dutiny sa využívajú bežné mikrovlnné techniky. Dosahované úrovne výkonu sa u virkátoru pohybujú od 170 kW do 40 GW [28].



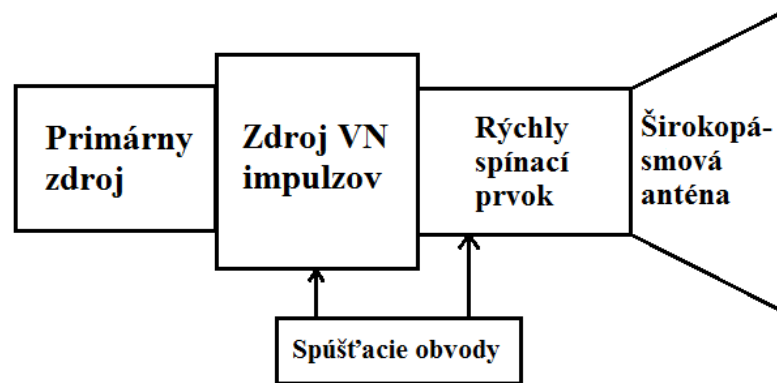
Obr. 7. Virtuálny katódový oscilátor [28]

### 3.2 Výkonové prvky v širokopásmových DEWRF a DEWM

Ako výkonové prvky sa používajú rýchle spínače alebo vypínače, ktoré umožňujú v krátkom čase preniesť energiu vo forme videoimpulzu z akumuláčného prvku do zátáže, ktorú predstavuje širokopásmová anténa. V tejto kategórii sa používajú následné tri druhy spínačov a vypínačov [17][25]:

- plynové iskrište,
- kvapalinové iskrište,
- polovodičové spínače.

Primárny zdroj slúži k nabíjaniu paralelne zapojených kondenzátorov (v prípade použitia Marxovho generátoru). Spínané iskrištia sú tiež súčasťou rázového generátoru. V momente, keď prichádza spúšťací impulz zapojí kondenzátory do série čím vznikne impulz vysokého napätia. Vysoké napätie je pripojené rýchlym spínačom na širokopásmovú anténu a vyžiarené do priestoru [17].



Obr. 8. Všeobecná funkčná schéma širokopásmovej elektromagnetickej zbrane [25], upravil Kocian, 2016

Ďalšie dôležité prvky širokopásmových DEWRF a DEWM sú antény:

- reflektorové antény – napr. IRA (Impulse Radiating Antenna),
- lieviky s priečnou elektromagnetickou vlnou,
- špirálové antény,
- antény monopol,
- bikónická anténa.

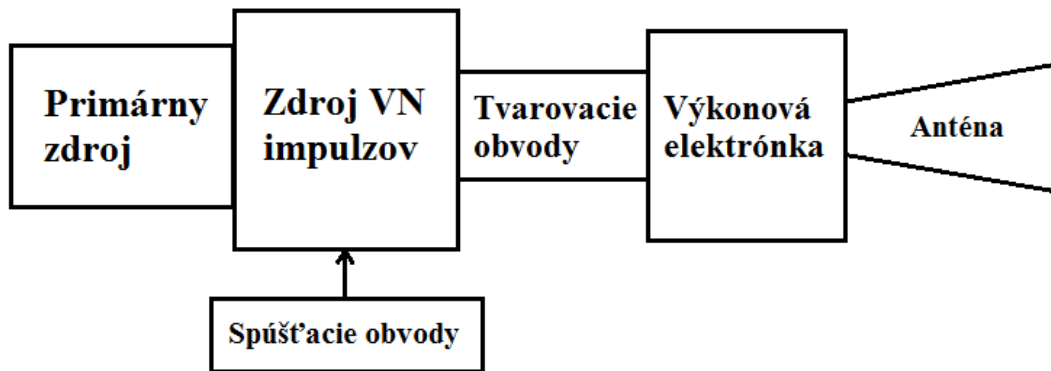
### 3.3 Výkonové prvky v úzkopásmových DEWRF a DEWM

Na generovanie rádiových vln a mikrovln sa využívajú výkonové elektrónky. Elektrónky využívajú tri typy mikrovlnného žiarenia, ktoré vznikajú pri interakcii elektrónov s elektromagnetickým poľom [17].

- Čerenkovovo alebo Smith-Purcellovo žiarenie
- Tranzitné žiarenie
- Brzdené žiarenie

Vysokonapäťový impulz je po vygenerovaní vedený do tvarovacích obvodov, ktoré vygenerujú napätie potrebné na fungovanie výkonovej elektrónky. Výkonová elektrónka následne vygeneruje elektromagnetické vlny, ktoré sú vyžiarené do priestoru pomocou antény [17].





Obr. 9. Všeobecná funkčná schéma úzkopásmovej elektromagnetickej zbrane [25], upravil Kocian, 2016

### 3.3.1 Čerenkovovo alebo Smith-Purcellovo žiarenie

Vzniká v prípade, keď je rýchlosť pohybu elektrónov v prostredí väčšia ako fázová rýchlosť elektromagnetickej vlny. Medzi generátory, ktoré fungujú na tomto princípe patria [17]:

- generátor s postupnou vlnou – permaktron (TWT – Travelling-Wave Tube),
- generátor so spätnou vlnou – karcinotron (BWO – Backward-Wave Oscilator),
- orotron,
- magnetrón,
- relativistické difrakčné generátory.

### 3.3.2 Tranzitné žiarenie

Podobné Čerenkovovmu žiareniu ale namiesto priechodu periodickými štruktúrami alebo v ich blízkosti, interaguje zväzok s poľom vodivých mriežok, dosiek alebo medzier medzi vodivými plochami. Medzi tieto generátory patria [17]:

- klystrony,
- twystrony,

### 3.3.3 Brzdené žiarenie

Vzniká, keď má pohyb elektrónov v externých elektromagnetických poliach oscilačný charakter. Frekvencia vln obsahujúca Dopplerov posun sa rovná frekvencii osciláciám elektrónov. Patria sem generátory [17]:

- maser s cyklotrónovou rezonanciou (CRM – Cyclotron Resonance Mass),
- laser s voľnými elektrónmi (FEL – Free Electrons Laser),
- virkátor,
- orbitrón.

### Záver kapitoly

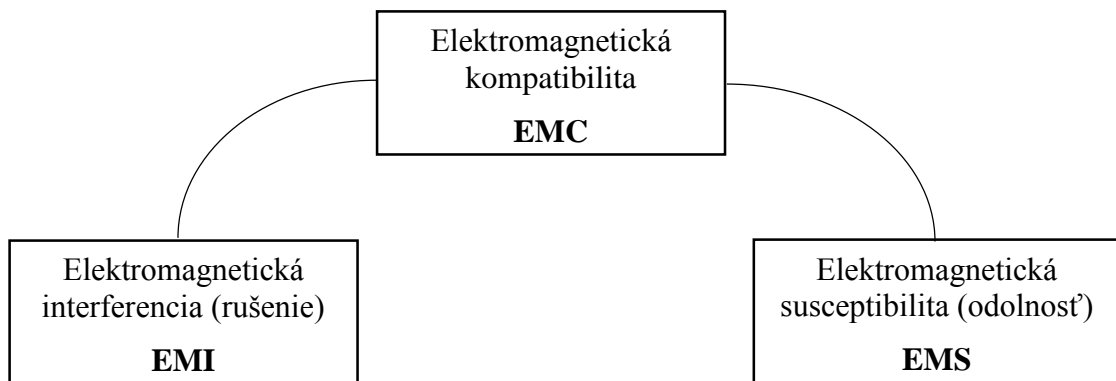
Elektromagnetické zbrane pracujúce v pásme rádiových vln a mikrovln sa vo všeobecnosti skladajú zo štyroch hlavných častí. Z primárneho zdroja napätia, zdroja vysokonapäťových impulzov, generátora rádiových vln alebo mikrovln a antény. Zdroj vysokonapäťových impulzov musí byť schopný dodať dostatočné množstvo energie vo veľmi krátkom čase do záťaže. Najčastejšie sa využíva vybíjanie kondenzátorov alebo chemická energia z explózie výbušniny. Takéto zdroje sú Marxov generátor, výbušný generátor indukčného toku, magnetohydrodynamický generátor a virtuálny katódový oscilátor. Ďalej sú rozdiely v širokopásmových a úzkopásmových zbraniach. Širokopásmové používajú ako výkonové prvky rýchle spínače alebo vypínače a to plynové iskrište, kvapalinové iskrište a polovodičové spínače. Týmito spínačmi je vysoké napätie prepojené na širokopásmovú anténu a vyžiarené do prostredia. U úzkopásmových sa napätie upravuje v tvarovacích obvodoch a ďalej sa rádiové vlny a mikrovlny generujú pomocou výkonových elektróniek, ktoré sú založené na troch typoch žiarenia: Čerenkovovo alebo Smith-Purcellovo, tranzitné a brzdené žiarenie.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA VOZIDIEL

S rozvojom elektroniky všeobecne nastal aj rozvoj elektroniky v automobiloch či iných dopravných prostriedkoch. Elektronické komponenty predstavujú časti riadiaceho, ovládacieho, pohonného ale aj komunikačného, bezpečnostného alebo navigačného systému. Z toho dôvodu je pravdepodobné, že dôjde k vzájomnému aj vonkajšiemu ovplyvňovaniu týchto systémov, a preto je potrebné zaistiť ich dostatočnú elektromagnetickú kompatibilitu (EMC).

Pod pojmom **elektromagnetická kompatibilita (EMC)** rozumieme schopnosť súčasnej funkčnej koexistencie elektrických resp. biologických zariadení alebo systémov, nachádzajúcich sa v spoločnom elektromagnetickom prostredí, bez závažného ovplyvňovania ich normálnych funkcií. Zariadenia môžu mať vzájomnú súvislosť, ale aj nemusia. Na jednej strane musia byť elektrické systémy odolné proti pôsobeniu ostatných systémov a na druhej strane nemôžu pri svojej činnosti nepriaznivo ovplyvňovať normálne fungovanie iných zariadení [29].



Obr. 10. Delenie elektromagnetickej kompatibility [30], upravil Kocian, 2016

Ako môžeme vidieť na obrázku Obr. 10. EMC sa delí na dve základné skupiny.

### **Elektromagnetická interferencia (EMI)**

EMI (Electromagnetic Interference – Elektromagnetická interferencia) alebo elektromagnetické rušenie je proces, pri ktorom sa signál generovaný zdrojom rušenia prenáša prostredníctvom elektromagnetickej väzby do rušených systémov. Zaoberá sa predovšetkým identifikáciou zdrojov rušenia, popisom a meraním rušivých signálov a identifikáciou parazitných

prenosových ciest. Elektromagnetická kompatibilita celého systému sa dosahuje predovšetkým technickými opatreniami na strane zdrojov rušenia a obmedzením ich prenosových ciest. EMI sa teda týka hlavne príčin rušenia a ich odstraňovania [30].

### **Elektromagnetická susceptibilita (EMS)**

EMS (Electromagnetic susceptibility – Elektromagnetická susceptibilita), citlivosť alebo odolnosť vyjadruje schopnosť zariadenia či systému pracovať bez porúch alebo s presne definovaným prípustným vplyvom v prostredí, v ktorom sa nachádza elektromagnetické rušenie. Zaoberá sa predovšetkým technickými opatreniami, ktoré zvyšujú u objektu (prijímača rušenia) jeho elektromagnetickú odolnosť proti vplyvom rušivých signálov. EMS sa týka skôr odstraňovania dôsledkov rušenia než príčin rušenia [30].

## **4.1 Technické normy**

Prvou európskou smernicou, ktorá sa zaoberala motorovými vozidlami bola Smernica 70/156/EEC, avšak neobsahovala problematiku EMC. Po nej nasledovala Smernica 72/245/EEC, ktorá sa už zaoberala potláčaním elektromagnetického rušenia od zážihových motorov. Až v roku 1995 bola vydaná Smernica Európskej únie 95/54/EC, kde bola zahrnutá problematika EMC pre väčšinu elektrického a elektronického príslušenstva a vozidla ako celku. V roku 2004 bola vydaná nová Smernica Európskej únie 2004/104/EC, ktorá bola neskôr doplnená a rozšírená Smernicami 2005/49/EC, 2005/83/EC a 2006/28/EC.

Od 1.7.2006 nie je možné testovať podľa starej neplatnej Smernice 95/54/EC a od 1.1.2009 musia všetky, aj staré, automobilové výrobky spĺňať Smernicu 2006/28/EC [30].

Problematiku EMC motorových vozidiel môžeme rozdeliť na dve časti:

- **WV** (Whole Vehicle – celé vozidlo) – EMC celého vozidla vrátane nutných zabudovaných elektrických pohonných, ovládacích a riadiacich komponentov.
- **ESA** (Electronic Sub-Assembly – elektronické komponenty) – EMC voliteľných komponentov a subsystémov [30].

V tabuľke 2 je uvedený stručný prehľad štandardov zaoberajúcich sa testovaním a požiadavkami na EMC. V Európskej únii sa merania a testovania vykonávajú podľa Smernice

2006/28/EC (2004/104/EC), ktorá zahŕňa meranie vyžiarového a vedeného rušenia a aj testovanie odolnosti. V prípade testov rušivého vyžarovania sa táto Smernica odvoláva na normy CISPR 25 a CISPR 12. Smernica 2006/28/EC sa odvoláva na medzinárodný štandard ISO 7637 v prípade testovania odolnosti rušivých signálov na vedení a v prípade testovania odolnosti vyžiarovým rušením na ISO 11451 a ISO 11452. Testy na odolnosť voči elektrostatickým výbojom sa vykonávajú podľa ISO 10605. V Severnej Amerike, najmä v USA sú štandardy vydávané spoločnosťou SAE (Society of Automotive Engineers – Spoločnosť automobilových inžinierov) [30].

Tab. 2. EMC štandardy a normy motorových vozidiel [30], upravil Kocian, 2016

Smernica, norma	Rok vydania		Región platnosti	Typ testu EMC	Použiteľné pre	
	Kedy	Kto			WV	ESA
95/54/EC	1995	EC	EU	rušenie, odolnosť	✓	✓
2006/28/EC	2006	EC	EU	rušenie, odolnosť	✓	✓
CISPR 12 ČSN EN 55012 ed. 2	2001 2008	IEC ČNI	globálne	vyžiarové rušenie, test odolnosti	✓	✓
CISPR 25 ČSN EN 55025 ed. 2	2002 2009	IEC ČNI	globálne	vyžiarové rušenie, test odolnosti	✓	✓
ISO 7637 ČSN ISO 7637	2002 1998	ISO ČNI	globálne	odolnosť na vedení		✓
ISO 10605	2001	ISO	globálne	ESD odolnosť	✓	✓
ISO 11451	2001	ISO	globálne	vyžiarové rušenie	✓	
ISO 11452	2002	ISO	globálne	vyžiarové rušenie		✓
SAE J551	1995	SAE	USA	rušenie, odolnosť	✓	
SAE J1113	1995	SAE	USA	rušenie, odolnosť		✓

ESD (Electrostatic Discharge – elektrostatický výboj)

### Názvy smerníc a noriem spomenutých v Tab. 2.

**95/54/EC** – Smernica komisie o prispôsobení technickému postupu Smernice rady 72/245/EHS o zblížovaní právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa potlačenia vysokofrekvenčného rušenia spôsobovaného zážihovými motormi.

**2006/28/EC** – Smernica komisie ktorou sa mení a dopĺňa na účely prispôsobenia sa technickému pokroku smernica Rady 72/245/EHS týkajúca sa rádiového odrušenia (elektromagnetickej kompatibility) vozidiel a smernica 70/156/EHS o aproximácii právnych predpisov členských štátov o typovom schvaľovaní motorových vozidiel a ich prípojných vozidiel.

**CISPR 12** – Vozidlá, člny a spaľovacie motory - Charakteristiky vysokofrekvenčného rušenia - Medze a metódy merania pre ochranu prijímačov, ktoré sú mimo tieto zariadenia.

**CISPR 25** – Vozidlá, člny a zážihové motory - Charakteristiky vysokofrekvenčného rušenia - Medze a metódy merania pre ochranu palubných prijímačov.

**ISO 7637** – Cestné vozidlá - Elektrické rušenie vedením a väzbou.

**ISO 10605** – Cestné vozidlá – Metódy testovania elektrického rušenia z elektrostatických výbojov.

**ISO 11451** – Cestné vozidlá – Metódy testovania elektrického rušenia z úzkopásmového elektromagnetického vyžarovania celých vozidiel.

**ISO 11452** – Cestné vozidlá – Metódy testovania elektrického rušenia z úzkopásmového elektromagnetického vyžarovania komponentov.

**SAE J551** – Úrovně výkonnosti a metódy merania elektromagnetickej kompatibility vozidiel, člnov (do 15m) a strojov.

**SAE J1113** – Postupy merania elektromagnetickej kompatibility a limity pre komponenty vozidiel.

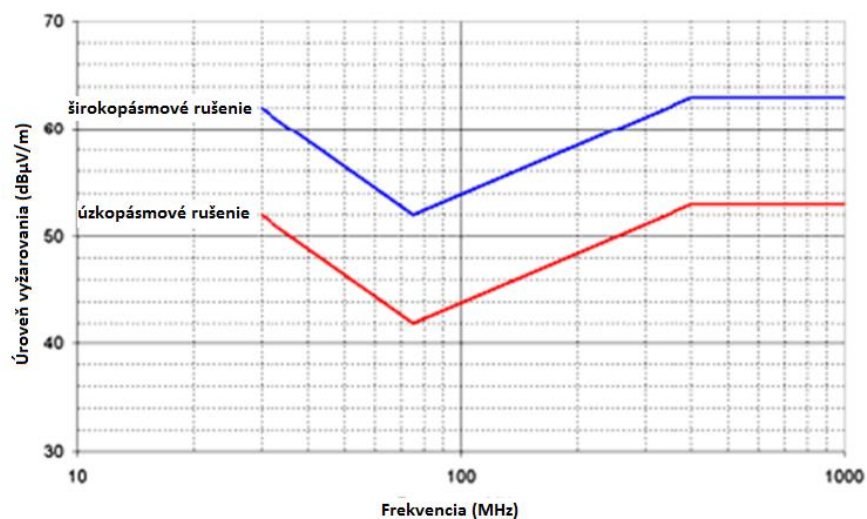
## 4.2 Testovanie EMC

V dnešnej dobe môžeme rozdeliť testy elektromagnetickej kompatibility, či už celých vozidiel, alebo len komponentov a subsystémov do piatich skupín [31]:

- testy rušivého vyžarovania (radiated emissions),
- testy rušivých signálov na vedení (conducted emissions),
- testy odolnosti voči elektromagnetickým poliam (radiated immunity),
- testy odolnosti voči rušivým signálom na vedení (conducted immunity),
- testy odolnosti voči elektrostatickým výbojom (ESD immunity).

#### 4.2.1 Testovanie rušivého vyžarovania

V oblasti rušivého vyžarovania je Smernica 2006/28/EC založená na norme CISPR 12 a CISPR 25. CISPR 12 sa zaoberá vyžarovaním celých vozidiel (WV) vo frekvenčnom pásme 30 MHz až 1 GHz. Norma CISPR 25 sa zaoberá vyžarovaním komponentov a sub-systémov (ESA) vo frekvenčnom pásme 150 kHz až 960 MHz. V týchto normách sa líšia medze povoleného vyžarovania pre WV a ESA a navyše sa rozlišuje úzkopásmové a širokopásmové rušenie. Úzkopásmové rušenie vzniká v dôsledku mikroprocesorových riadiacich systémov a širokopásmové vzniká v zážihovom systéme motoru. Medze pre úzkopásmové rušenie sú prísnejšie, konkrétne o 10 dB než širokopásmové rušenie, čo môžeme vidieť na Obr. 11. [31].



Obr. 11. Medze úzkopásmového a širokopásmového rušivého vyžarovania ESA podľa Smernice 2004/104/EC [30]

#### 4.2.2 Testovanie rušivých signálov na vedení

Zaoberajú sa testovaním, aby nevznikali nežiadúce interferencie medzi elektrickými a elektronickými zariadeniami pôsobením ESA. Medze a testy vychádzajú opäť z normy CISPR 25, no v tomto prípade aj z normy ISO 7637, ktorá sa zaoberá rušivými signálmi na prívodných vedeniach a ďalších spojoch ESA pripojených k napájaniu vozidla. Aj tu sa rozlišujú medze pre úzkopásmové a širokopásmové rušenie, merané vo frekvenčnom pásme 150 KHz až 108 MHz (zvyčajne až 200 MHz). V Tab. 3. sú znázornené maximálne prípustné hodnoty impulzov [31].



Tab. 3. Maximálne prípustné hodnoty impulzov [32], upravil Kocian, 2016

Polarita impulzovej amplitúdy	Maximálna povolená amplitúda rušivých impulzov	
	Vozidlá s 12 V systémami	Vozidlá s 24 V systémami
Kladná	+75	+150
Záporná	-100	-450

#### 4.2.3 Testovanie odolnosti voči elektromagnetickým poliam

Tieto testy patria medzi najdôležitejšie testy EMC v automobilovej technike, pretože neustále dochádza k nárastu vonkajších zdrojov elektromagnetických polí a je potrebné zaistiť dostatočnú odolnosť, aby nedošlo k narušeniu bezpečnej prevádzky.

Využívajú sa dve triedy odolnosti podľa tzv. aplikačných skupín:

- **aplikačná skupina I** – patria sem komponenty, ktoré z hľadiska bezpečnosti musia fungovať správne pri akomkoľvek druhu a úrovni elektromagnetického rušenia. Sú to napr. riadiaca pohonná jednotka, ABS, imobilizér, chladiaci systém, vonkajšie osvetlenie atď.,
- **aplikačná skupina II** – sem patria komponenty, ktoré poskytujú komfort a pohodlie a ich chybná činnosť neohrozí bezpečný chod vozidla. Sú to napr. zabudovaná zábavná elektronika, navigácia, kúrenie, klimatizácia atď. [31].

V oblasti automobilovej EMC sú len dve triedy odolnosti A a C. Zariadenia a systémy patriace do aplikačnej skupiny I musia podliehať triede odolnosti A. Zariadenia a systémy patriace do aplikačnej skupiny II môžu vykazovať nižšiu úroveň odolnosti a spadať do triedy C.

Základné normy využívané pri týchto testoch sú **ISO 11451** pre WV a **ISO 11452** pre ESA. Pri meraniach sa používa frekvenčné pásmo od 20 MHz až **2 GHz**, avšak väčšina výrobcov automobilov používa vyššie frekvencie, až **10 GHz**. Testovacia úroveň pre testy WV je **30 V.m<sup>-1</sup>** v 90% frekvenčného pásma (minimálna úroveň je 25 V.m<sup>-1</sup>) a pre ESA **200 V.m<sup>-1</sup>** ale u rôznych výrobcov automobilov môžu byť tieto úrovne vyššie. ISO 11452 uprednostňuje dve základné metódy. Je to metóda prúdovej injekcie (BCI – Bulk Current Injection) pomocou kapacitnej klieštiny, kapacitného väzbového obvodu alebo prúdového transformátoru vo frekvenčnom pásme 1 až 400 MHz a metóda priameho ožarovania v bezodrazovej

komore (ALSE – Absorber-Lined Shielded Enclosure) vo frekvenčnom pásme 20 MHz až 2 GHz [31].

Tab. 4. Odolnosť ESA voči elektromagnetickým poliám podľa aplikačných skupín [31]

Frekvenčné pásmo [MHz]	Testovacia metóda	Aplikačná skupina I		Aplikačná skupina II	
		Hranica odolnosti	Trieda odolnosti	Hranica odolnosti	Trieda odolnosti
1 – 400	BCI	200 mA	A	100 mA	C
20 - 2000	ALSE	<b>200 V.m<sup>-1</sup></b>	A	<b>100 V.m<sup>-1</sup></b>	C

#### 4.2.4 Testovanie odolnosti voči rušivým signálom na vedení

Cieľom je zaistiť správnu činnosť komponentov a subsystémov vnútri elektrického prostredia automobilu. Jedná sa o odolnosť voči impulzom, ktoré vznikajú počas chodu vozidla. Tieto impulzy vznikajú v napájacej kabeláži pri poruchách indukovaných z motoru, výpadkoch pri spustení motoru, pri odpojení batérie, pri parazitných prenosoch... Testy sa vykonávajú na napájacích kábloch a rovnako aj na signálových kábloch. Testy vychádzajú z normy ISO 7637 [31].

#### 4.2.5 Testovanie odolnosti voči elektrostatickým výbojom

Pre testy ESD u automobilov boli vyvinuté iné modely vybíjania elektrostatických výbojov ako u bežných elektrických či elektronických zariadení, pretože automobil je izolovaný od zeme. Vybíjanie neprebíha z nabitého kondenzátoru (človek) do zeme ale z nabitého kondenzátoru (človek) do iného kondenzátoru (vozidlo resp. ESA). Za účelom testovania ESD odolnosti je využívaná norma ISO 10605, v ktorej sú špecifikované dva druhy testovania. Buď sa vybíja ESD z človeka sediaceho vnútri automobilu, alebo z človeka mimo automobilu pri jeho priblížení sa. Výboje sa umiestňujú do všetkých častí vnútri automobilu, ktoré sú dosiahnuteľné posádkou [31].

### 4.3 Podnikové normy

Okrem európskych, amerických a globálnych automobilových štandardov EMC si zavádza každý výrobca svoje štandardy. Existujú preto normy EMC vytvorené výrobcami vozidiel a rovnako aj výrobcami subsystémov. Tieto normy sú určené pre WV a taktiež pre ESA, avšak bývajú väčšinou obchodným tajomstvom a tým pádom nie sú prístupné pre verejnosť. Je pravidlom, že požiadavky a medze EMC stanovené podnikovými normami sú prísnejšie než požiadavky stanovené v oficiálnych, nadradených, normách [31].

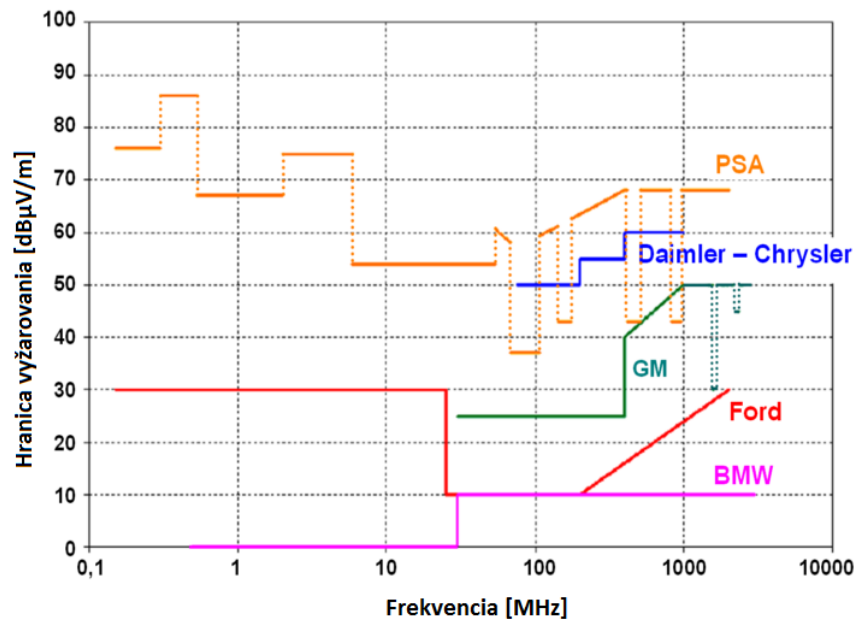
V nasledujúcej tabuľke je predstavených niekoľko štandardov vybraných výrobcov.

Tab. 5. EMC štandardy niektorých výrobcov automobilov [30][33]

Výrobca	Štandard	Popis
BMW	GS 95002	Electromagnetic Compatibility (EMC) Requirements and Tests
Daimler-Chrysler	DC 10613	Vehicles EMC
	DC 10614	EMC Performance Requirements - Components
	DC 10615	Electrical System Performance Requirements for Electrical and Electronic Components
Ford	FMC 1278	Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems
General Motors	GMW 3091	General Specification for Vehicles, Electromagnetic Compatibility (EMC)
	GMW 3097	General Specification for Electrical/Electronic Components and Subsystems, Electromagnetic Compatibility
Hyundai	ES 39110-00	EMC Requirements
Iveco	16-2103	EMC Requirements
Jaguar, Land-Rover	EMC-CS-2010JLR	Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems
Lotus	17.39.01	Lotus Engineering Standard: Electromagnetic Compatibility
MAN	3285	EMC Requirements
Mercedes-Benz	MBN 10284-2	EMC Requirements and Tests of Electrical/Electronic systems
Nissan	28401 NDS02	EMC Requirements
Porsche	AV EMC AN	EMC Requirements

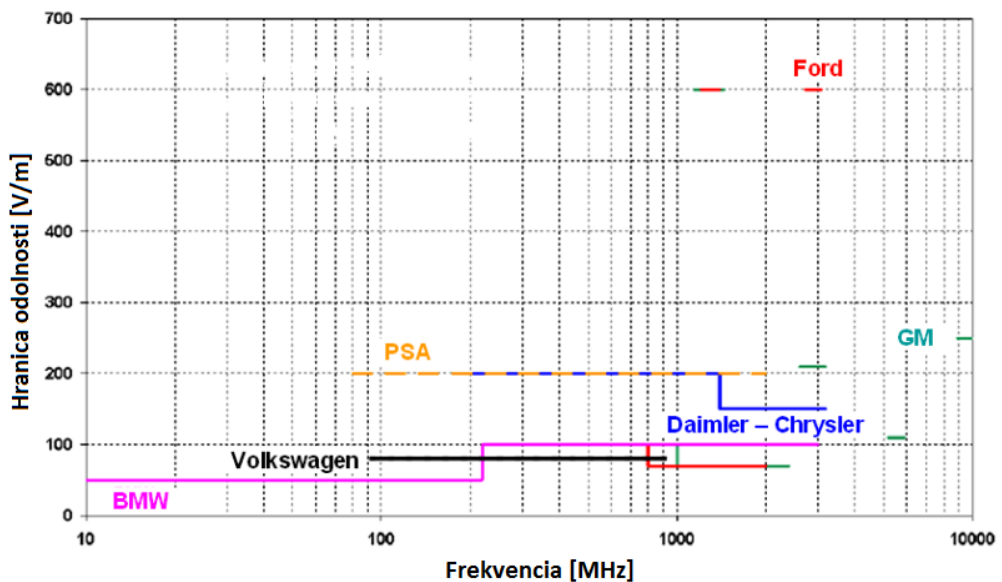
Výrobca	Štandard	Popis
PSA Peugeot Citroen	B21 7110	General Technical Specifications Concerning the Environment of Electrical and Electronic Equipment Electrical Characteristics
Renault	36-00-808/-D	Resistance to electrical disturbances and electromagnetic compatibility instructions concerning vehicle and electrical, electronic and pyrotechnic equipment
SCANIA	TB1400	EMC Requirements
Smart	DE 10005B	EMC Requirements
Toyota	TSC7001G	Engineering Standard (electric noise of electronic devices)
	TXC7315G	Electrostatic Discharge
Volkswagen	TL 965	Short-Distance Interference Suppression
	TL 82066	Conducted Interference
	TL 82166	Radiated Interference
	TL 82366	Coupled Interference on Sensor Cables
	TL 82466	Immunity Against Electrostatic Discharge

Ako už bolo spomenuté, hraničné hodnoty a požiadavky stanovené výrobcami automobilov sa často líšia od tých, ktoré sú uvedené v normách CISPR 12 a CISPR 25. Na Obr. 12 je vidieť že hraničné hodnoty rôznych výrobcov sú rozdielne. Napríklad hranice vyžarovania spoločnosti BMW sú podstatne odlišné od ostatných a je zrejmé, že nevychádzajú z normy CISPR 25.



Obr. 12. Hranice rušivého vyžarovania niektorých výrobcov automobilov [30]

Na Obr. 13 sú znázornené hranice odolnosti ESA vybraných výrobcov automobilov voči elektromagnetickým poliam. Z obrázku je zrejmé, že **najvyššie hranice odolnosti** má spoločnosť **Ford** a podľa Tab. 6, **Jaguar, Land-Rover** je na tom rovnako.



Obr. 13. Hranice odolnosti ESA niektorých výrobcov automobilov voči elektromagnetickým poliam [31]

Spoločnosť PSA disponuje odolnosťou  $200 \text{ V.m}^{-1}$ , Daimler-Chrysler  $150$  až  $200 \text{ V.m}^{-1}$ , GM v oblasti  $10 \text{ GHz}$   $250 \text{ V.m}^{-1}$ , Volkswagen  $80 \text{ V.m}^{-1}$  a BMW od  $50$  do  $100 \text{ V.m}^{-1}$ .

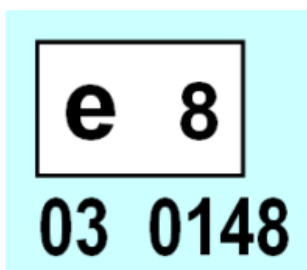
Tab. 6. Odolnosť voči elektromagnetickým poliam [34][35]

Frekvenčné pásmo (MHz)	Miera odolnosti voči elektromagnetickým poliam ( $\text{V.m}^{-1}$ )			
	400 – 800	800 – 2000	1200 – 1400	2700 – 3100
Jaguar, Land-Rover – EMC-CS-2010JLR	100	70	300 600 <sup>(1)</sup>	300 600 <sup>(1)</sup>
Ford – FMC 1278	100	n/a	300 600 <sup>(1)</sup>	300 600 <sup>(1)</sup>

(1) – vzťahuje sa len na komponenty spojené s doplnkovým záchytným systémom (napr. airbagy)

#### 4.3.1 Značka pre ES typové schválenie

Všetky vozidlá a ESA určené pre trhy Európskej únie musia byť označené touto značkou, ktorá potvrdzuje ES typové schválenie podľa Smernice 2004/104/EC. Číslo za písmenom e predstavuje kódové označenie krajiny Európskej únie, ktorá vydala dané typové schválenie (pre ČR = 8, pre SR = 27). Ako je znázornené aj na Obr. 14, pod obdĺžnikom je umiestnené šesťmiestne číslo. Prvé dve číslice predstavujú poradové číslo poslednej významnejšej smernice. Nasleduje jednomiestna medzera a za ňou štvorčíslicie, ktoré predstavuje registračné číslo produktu [31].



Obr. 14. značka ES typového schválenia [30]

Rozdiel medzi e – značkou pre typové schválenie a značkou CE (Conformité Européenne) pre elektrotechnické je postup získania [31].

### Záver kapitoly

Elektromagnetická kompatibilita je schopnosť zariadení alebo systémov fungovať v elektromagnetickom prostredí tak, aby do istej miery nespôsobovali rušenie a neboli rušené. Delí sa na elektromagnetické rušenie a odolnosť. Momentálne aktuálna smernica zaoberajúca sa EMC automobilov je Smernica 2006/28/EC, ktorú musia spĺňať všetky automobilové výrobky. Problematiku EMC motorových vozidiel rozdeľujeme na EMC celého vozidla a EMC komponentov. Pri testovaní EMC sa vykonávajú testy rušivého vyžarovania, rušivých signálov na vedení, testy odolnosti voči elektromagnetickým poliam, voči rušivým signálom na vedení a voči elektrostatickým výbojom. Z hľadiska elektromagnetických zbraní je najdôležitejšia oblasť odolnosti voči elektromagnetickým poliam. Pri motorových vozidlách sa využívajú dve triedy odolnosti podľa aplikačných skupín. Do aplikačnej skupiny I patria komponenty, ktoré musia z hľadiska bezpečnosti fungovať správne pri akomkoľvek druhu a úrovni elektromagnetického poľa. Do aplikačnej skupiny II patria komponenty, ktorých chybná činnosť neohrozí bezpečnosť. Testovaním odolnosti voči elektromagnetickým poliam sa zaoberajú normy ISO 11451 a ISO 11452. Testovacia úroveň pre celé vozidlo je **30** V.m<sup>-1</sup> a pre elektronické komponenty **200** V.m<sup>-1</sup>. Avšak rôzni výrobcovia majú rozličné úrovne, napr. Ford a Jaguar, Land Rover má úroveň **300** V.m<sup>-1</sup> a vybrané komponenty až 600 V.m<sup>-1</sup>. Napríklad spoločnosť PSA disponuje odolnosťou **200** V.m<sup>-1</sup>, Daimler-Chrysler **150** až **200** V.m<sup>-1</sup>, GM v oblasti 10 GHz **250** V.m<sup>-1</sup>, Volkswagen **80** V.m<sup>-1</sup> a BMW od **50** do **100** V.m<sup>-1</sup>. Všetky vozidlá a ESA určené pre trhy Európskej únie musia byť označené e- značkou, ktorá potvrdzuje ES typové schválenie.

## 5 SÚČASNÝ STAV ELEKTROMAGNETICKÝCH PROSTRIEDKOV NA ZASTAVOVANIE VOZIDIEL

Ďalšia kapitola pojednáva o vybraných výrobcoch a ich zariadeniach buď určených, alebo možných pre použitie na zastavovanie vozidiel. Medzi popredných predstaviteľov patria spoločnosti Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG so sídlom v Röthenbach an der Pegnitz, Nemecko; e2v so sídlom v Chelmsford, Spojené kráľovstvo a Eureka Aerospace so sídlom v Pasadena, California, USA.

### 5.1 Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG

Táto spoločnosť v spolupráci s nemeckou vládou vytvorila jedinečnú technológiu na dopravu HPEM (High Power Electromagnetic Pulse - vysokovýkonný impulz elektromagnetických polí) na cieľ, za účelom rušenia alebo zničenia elektronických zariadení, napr. elektroniku motorov vo vozidlách, počítače, riadiace systémy atď. V dnešnej dobe je Diehl BGT Defence svetový líder v oblasti zariadení pracujúcich s HPEM pre obranné a bezpečnostné aplikácie.

Na tejto technológii sú založené nasledujúce zariadenia:

- HPEMcarStop
- HPEMcase
- HPEMcheckPoint
- HPEM C-IED
- HPEMboatStop

#### **HPEMcarStop**

Systém pozostáva zo silného a optimalizovaného zdroja HPEM, integrovaného na špeciálnej nosnej plošine v zadnej časti vozidla, určeného na zastavovanie vozidiel v dynamických situáciách. Pre prepravu bol zvolený Jeep Grand Cherokee SRT8, pretože má výborné jazdné vlastnosti, zrýchlenie z 0 na 100 km.h<sup>-1</sup> za 4,8 s, výkon 345 kW (470 hp) a nebudí vysokú pozornosť [36].





Obr. 15. HPEMcarStop [36]

Na rozdiel od konvenčných mechanických spôsobov zastavovania vozidiel, HPEM ruší len elektroniku, čím nespôsobuje mechanické poškodenie a nemá vplyv ani na zdravie ľudí. HPEMcarStop bol úspešne testovaný na viac ako 60 rôznych typoch automobilov od rôznych výrobcov.

Na dosiahnutie najlepšieho výsledku musí byť cieľové auto ožiarené spredu, a preto je HPEMcarStop umiestnený v zadnej časti nosného vozidla, čo umožňuje zastaviť predbiehajúce alebo približujúce sa vozidlá. Samotné spustenie zastavovania je ovládané pomocou ovládača s jednoduchým užívateľským rozhraním.

Toto zariadenie predstavuje nové možnosti bez akýchkoľvek príprav na danú situáciu. Po spustení prestane fungovať motor a servo riadenia. Brzdový systém bude fungovať, čo umožňuje bezpečné zastavenie. Vozidlo je možné reštartovať až po vypnutí žiarenia z HPEM zdroja, no niekedy sa musí batéria na pol minúty odpojiť. Ďalšou výhodou je možnosť zneškodnenia car bomby, ktorá má elektronické odpaľovanie.

Operačná vzdialenosť predstavuje 3 až 15 m, čo závisí od typu zastavovaného vozidla a maximálna doba súvislého použitia sú 3 minúty [36][37].

### **HPEMcase**

Je kompaktný a efektívny HPEM zdroj umiestnený v kufríku, ktorý bol navrhnutý pre potreby špeciálnych jednotiek a je používaný na rušenie elektroniky v dátových centrách, počítačoch, zabezpečovacích systémov a samozrejme je možné ho použiť na zastavovanie vozidiel. Vďaka malej veľkosti (500 x 410 x 200 mm), nízkej hmotnosti (približne 28 kg, čo

záleží od typu HPEMcase), robustnej konštrukcii a vysokému výkonu (až 365 MW v špičke) je vhodný pre mnoho aplikácií.

Užívateľské rozhranie umožňuje nastaviť čas oneskorenia, operačný čas a počet impulzov [36].



Obr. 16. HPEMcase [38]

HPEMcase môže byť taktiež použitý na stanovištiach kontroly osôb ako ochrana proti sebevražednými útočníkmi a inteligentnému vybaveniu [36].

V ponuke je viac druhov HPEMcase [38]:

- HPEMcase Standard F – štandardne má 360° vyžarovanie s pevným frekvenčným pásmom, no dá sa použiť reflektor, ktorý umožní smerované vyžarovanie v 45°.
- HPEMcase Standard T – tiež má 360° vyžarovanie, ale frekvenčné pásmo je nastavitel'né.
- HPEMcase Plus F, HPEMcase Plus T – majú rovnaké vlastnosti ako štandardné modely ale navyše ponúkajú o polovicu vyššiu intenzitu poľa.
- HPEMcase Lab F, HPEMcase Lab T – boli vyvinuté pre laboratórne použitie, na testovanie odolnosti EMC. Zdroj napájania sa nachádza mimo hlavného kufrika.

- HPEMcase SWAT – je rovnaký ako Plus F, určený pre špeciálne jednotky SWAT a navyše je vybavený rádiovým ovládaním [38].

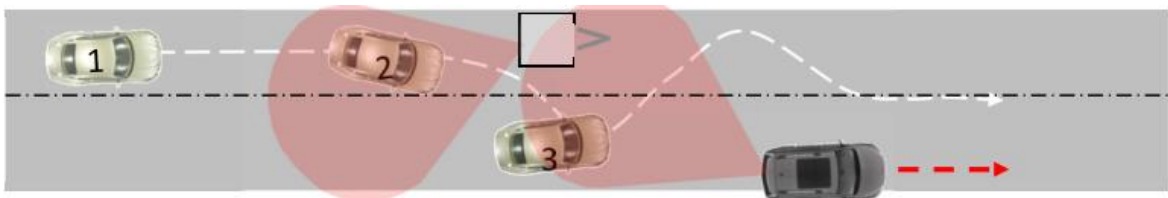
### HPEMcheckPoint

HPEMcheckPoint pozostáva z už predstaveného HPEMcarStop a HPEMtrailer, ktorý bol vytvorený na zastavovanie vozidiel na kontrolných stanovištiach alebo pred významnými objektmi.



Obr. 17. HPEMcheckPoint [36]

Na Obr. 18 je znázornená možný spôsob použitia HPEMcheckPoint, kedy vozidlá musia prejsť okolo HPEM zdroja umiestneného na prívese, ktorý predstavuje kontrolne stanovište. Pri obchádzaní prívesu sa vozidlá dostávajú do oblasti, kde sú vyžarované EMP, čo spôsobí zastavenie motora. Rovnako prestane fungovať posilňovač riadenia a vodič je nútený zabrzdiť. HPEMcarStop slúži v tomto prípade ako posila alebo podpora [36].



Obr. 18. Spôsob použitia HPEMcheckPoint [36]

## 5.2 e2v

e2v je akreditovaná spoločnosť s bohatými skúsenosťami z oblasti návrhu, vývoja, zostavovania a testovania vysokovýkonných rádiových a mikrovlnných zariadení na zastavovanie motorov. Produkt ponúkaný touto spoločnosťou nesie názov RF Safe-Stop.

### RF Safe-Stop

Toto zariadenie je schopné prerušiť chod motora až na vzdialenosť 50m a vo veľmi krátkom čase do troch sekúnd. S váhou približne 350 kg bol integrovaný na vozidlá Nissan Navara (Obr. 19) a Toyota Land Cruiser. Jeho cieľom je dočasne narušiť elektroniku v motore a tým spôsobiť zastavenie cestného vozidla alebo aj člnu. Ich umiestnenie nemusí byť len na automobiloch ale aj na zemi, lodiach a vrtuľníkoch [39].



Obr. 19. RF Safe-Stop [40]

Obsluha tohto zariadenia nebu potrebovať žiadne školenie, pretože e2v sa snaží o jednoduchý spúšťací mechanizmus, pri ktorom bude stačiť len stlačenie červeného tlačidla. Po stlačení červeného tlačidla sa spustí 5 sekundový impulz, aj napriek tomu, že na zastavenie vozidla stačí trojsekundový impulz [39].

### 5.3 Eureka Aerospace

Zaoberá sa moderným technologickým výskumom a vývojom a poskytuje riešenia týkajúce sa aktuálnych problémov, spojených s mikrovlnnými a rádiovými technológiami v záujme zlepšiť národnú bezpečnosť a obranu. Cieľom je poskytnúť moderné, avšak praktické technológie, ktoré budú mať priamy vplyv na národnú bezpečnosť. Zariadenie vytvorené touto spoločnosťou za účelom efektívneho zastavovania vozidiel sa nazýva HPEM (High-Power Electroamgnetic System – Vysokoenergetický elektromagnetický systém).

#### HPEMS

Eureka vyvinula zariadenie na zastavovanie vozidiel, ktoré využíva mikrovlnné žiarenie na dočasné narušenie riadiacej elektroniky motora. HPEMS pozostáva z rýchlo nabíjacieho zdroja napätia, ktorý je schopný dodať až 100 impulzov za sekundu do 16-stupňového Marxovho generátora a dokáže vytvoriť impulzy jednosmerného prúdu trvajúce 50 ns o veľkosti 640 kV. Tieto impulzy sú mikrovlnným oscilátorom premieňané na rádiové vlny s frekvenciou 350 až 1350 MHz. Intenzita vyžiareného elektromagnetického poľa je  $60 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$  vo vzdialenosti približne 9 metrov.

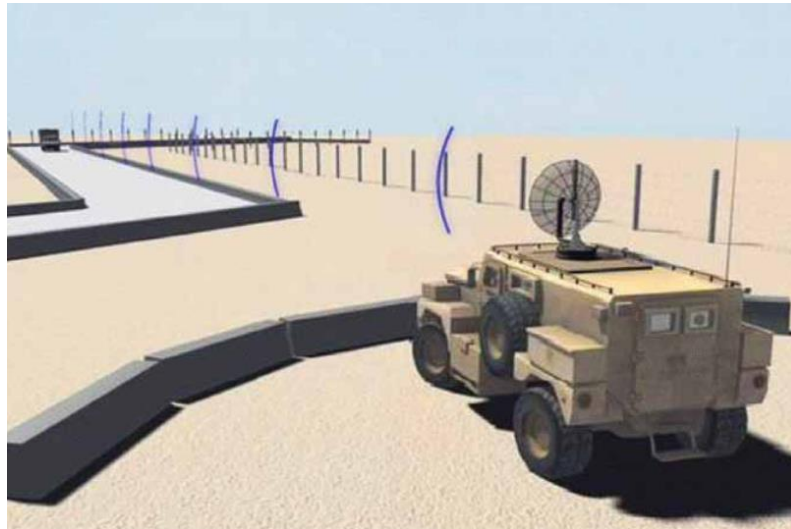
HPEMS sa využíva na zastavovanie vozidiel, ochranu veľvyslanectiev, kasární, komunikácií, ropných plošín, zneškodňovanie improvizovaných výbušných zariadení atď. [41].

### 5.4 Joint Non-Lethal Weapons Directorate

S rozšírením použitia výbušných zariadení umiestnených na vozidlách v Iraku a Afganistane viedlo k veľkému počtu zranených a zabitých vojakov alebo civilov. V dôsledku toho bolo prioritou Joint Non-Lethal Weapons Directorate (JNLWD) vyvinúť a vyrobiť zariadenia, ktoré sú schopné zastaviť vozidlá a člny na určitú vzdialenosť, tak aby nedošlo k ich zničeniu. S týmto cieľom boli vyvinuté zariadenia Radio-Frequency Vehicle Stopper a Radio-Frequency Vessel Stopper.

### Radio-Frequency Vehicle Stopper

Tento systém využíva vysokovýkonné magnetronové trubky na generovanie silných rádiových impulzov, ktoré majú rušivé účinky na elektroniku vozidla a robia ich dočasne nepoužiteľné. Motor nie je možné reštartovať pokým je toto zariadenie zapnuté. Pri testovaniach sa ukázala viac ako 80% úspešnosť voči osobným automobily a tiež voči veľkým vozidlám.



Obr. 20. Radio-Frequency Vehicle Stopper [42]

Toto zariadenie je určené najmä pre armádne využitie pri kontrole vstupu, kontrolných stanovištiach atď. [42].

### 5.5 Fiore Industries, Inc.

Fiore Industries vyvinulo zdroj rádiového žiarenia Engine Stopper a testovali ho s cieľom zaistiť efektívnosť zastavovania vozidiel v simulovaných prípadoch. Účelom testovania bolo ukázať použiteľnosť zdroja rádiového žiarenia ako neletálnu zbraň na zastavovanie vozidiel.

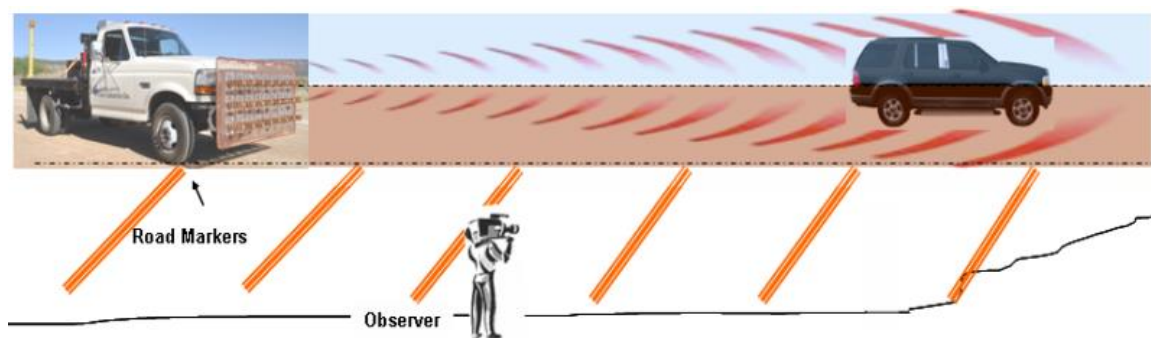
#### Engine Stopper

Zdroj Engine Stopper pozostáva z viacerých zosilňovačov impulzov, ktoré sú vedené jednotlivo k ich príslušným častiam antény. Systém je schopný vygenerovať impulzy o veľkosti 2,4 kW s dobou 30  $\mu$ s. Impulzy sú vyžiarené pomocou antény pozostávajúcej z 24 častí s celkovým ziskom 23 dB. Systém je diaľkovo ovládaný a je napájaný z dvoch olovnatých

akumulátorov. Umiestnený bol na automobile Ford F350 ako je možné vidieť na Obr. 21 a Obr. 22 [43].



Obr. 21. Engine Stopper umiestnený na automobile Ford F350 [43]



Obr. 22. Testovanie zastavovania vozidla pomocou zariadenia Engine Stopper [43]

## 5.6 Projekt SAVELEC

Tento projekt sa zameriava na poskytnutie riešenia pre bezpečné zastavenie vozidla, ktoré odmieta spolupracovať, bez poškodenia zdravia ľudí vnútri alebo v blízkosti vozidla. Využíva sa EMP a HPM na rušenie riadiacej elektroniky vozidla. Tiež sa zameriava na získanie optimálneho riešenia ohľadom intenzity elektromagnetického poľa. Kvôli tomu sa vykonávajú testy EMC kľúčových komponentov. Rovnako budú vykonané aj testy účinkov expozície týchto polí na zdravie ľudí.

Projekt SAVELEC bol zadaný Európskym spoločenstvom za účelom vyvinúť systém na efektívne ovládanie nespolupracujúcich vozidiel pomocou elektromagnetických zariadení.

Na projekte sa podieľa deväť partnerov z európskych inštitúcií a organizácií vrátane univerzít, medzi ktoré patrí aj Akadémia ozbrojených síl generála Milana Rastislava Štefánika v Liptovskom Mikuláši [44].

Tab. 7. Prehľad výrobcov, zariadení a dôležitých parametrov

Výrobca	Zariadenie	Maximálny výkon	Intenzita poľa
Diehl BGT Defence	HPEMcarStop	4 GW	n/a
	HPEMcase	365 MW	160 / 300 kV.m <sup>-1</sup>
	HPEMcheckPoint	4 GW / n/a	n/a
e2v	RF Safe-Stop	n/a	n/a
Eureka Aerospace	HPEMS	n/a	60 kV.m <sup>-1</sup> (vzdialenosť 9 m)
Joint Non-Lethal Weapons Directorate	Radio Frequency Vehicle Stopper	n/a	n/a
Fiore Industries	Engine Stopper	2,4 kW	n/a

### Záver kapitoly

Medzi najvýznamnejších výrobcov elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel patrí nemecká spoločnosť Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG s ponukou týchto zariadení: HPEMcarStop, HPEMcase, HPEMcheckPoint, HPEM C-IED, HPEMboatStop. Za zmienku stojí aj britská spoločnosť s produktom RF Safe-Stop, ktorý je rovnako ako HPEMcarStop umiestnený v zadnej časti vozidla. Ďalšie spoločnosti zaoberajúce sa týmito zariadeniami sú kalifornská spoločnosť Eureka Aerospace s produktom HPEM, Joint Non-Lethal Weapons Directorate s produktmi Radio-Frequency Vehicle Stopper a Radio-Frequency Vessel Stopper a novo mexická spoločnosť Fiore Industries s produktom Engine Stopper. V dnešnej dobe je rozbehnutý projekt za účelom vývoja elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel s názvom SAVELEC, na ktorom sa podieľa aj slovenská Akadémia ozbrojených síl Milana Rastislava Štefánika.



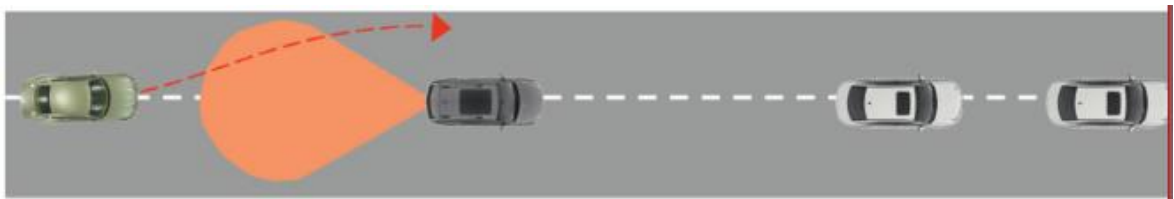
## 6 NÁVRH APLIKÁCIE ELEKTROMAGNETICKÝCH PROSTRIEDKOV NA ZASTAVOVANIE VOZIDIEL

Elektromagnetické prostriedky na zastavovanie vozidiel sú dnes využiteľné rôznymi bezpečnostnými zložkami, či už armádou, políciou alebo súkromnými bezpečnostnými službami. V dobe s veľkým počtom automobilov, zneužívaných na protizákonné jednanie je potrebné mať prostriedky, ktoré budú schopné efektívneho zastavovania. Výhodou je rýchlosť zastavenia, nie sú ovplyvňované počasím, nie sú smrtiace a tie mobilné nie je potreba vopred umiestňovať.

### 6.1 Policajný zbor

Policajný zbor má široké pole pôsobnosti a jedna činnosť, ktorú môžeme vidieť najčastejšie je dohliadanie na bezpečnosť a plynulosť cestnej premávky. Práve tu je vysoký potenciál využitia elektromagnetických prostriedkov na **zastavovanie unikajúcich vozidiel**. Či už sa jedná o unikajúce vozidlo, ktoré porušilo predpisy a odmieta dobrovoľne zastaviť alebo došlo k trestnej činnosti rôzneho charakteru. Taktiež nezáleží, či ide o osobný automobil, nákladný automobil alebo motocykel. V takýchto prípadoch dochádza k streľbe za účelom zastavenia vozidla, kedy môže dôjsť ku zraneniu alebo dokonca usmrteniu. Tu sa naskytá výhoda, neletálnosť a bezpečnosť, elektromagnetických prostriedkov.

Ďalšou činnosťou policajného zboru je zaistenie bezpečnosti ústavných činiteľov a diplomatických misií. V prípadoch **zaistenia bezpečnosti pri prevoze** týchto osôb je možné použiť elektromagnetické prostriedky na zastavovanie vozidiel. Ako je vidieť na Obr. 21 **ochrana konvoja** je zabezpečená elektromagnetickým prostriedkom umiestnenom v zadnej časti posledného vozidla, ktoré pri podozrivom správaní vozidla idúcim za ním alebo predbiehajúcim aktivuje toto zariadenie a dôjde k zastaveniu.



Obr. 23. Využitie elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel pri ochrane konvojov [37]

**Ochrana štátnej hranice** je tiež zabezpečovaná policajným zborom. Tu je možné použiť mobilné aj stabilné elektromagnetické prostriedky. Stabilné sú vhodné pre použitie na hraničných priechodoch, kde sa vyžaduje zastavenie vozidla za účelom preukázania totožnosti. Keď vodič vozidla odmietne zastaviť aktivuje sa toto zariadenie a dôjde k zastaveniu a následným úkonom vyplývajúcich z právomocí a povinností policajného zboru. Dnes v dobe otvorených štátnych hraníc je vhodnejšie využiť mobilné prostriedky, aj keď otázka o uzavretí štátnych hraníc v blízkej budúcnosti, kvôli migračnej kríze je otvorená. Mobilné zariadenia sú využiteľné rovnako ako bolo spomenuté v prvom odstavci tejto podkapitoly.

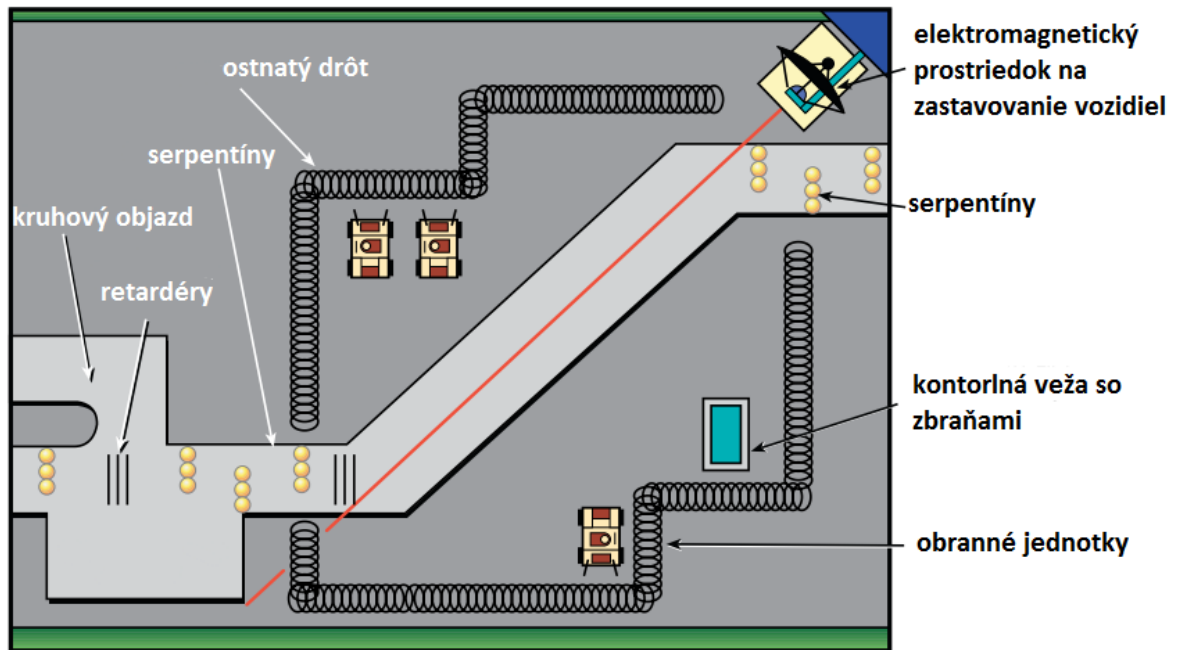
V súvislosti s migračnou krízou, v máji roku 2016 vozidlo prevážajúce migrantov z Maďarska na Slovensko po výzve colníkov nezastavilo a jednotky policajného zboru boli nútené použiť streľbu. Pri streľbe došlo k poraneniu jednej prevážanej ženy. Tejto situácii sa dalo bezpečne predísť použitím elektromagnetických prostriedkov.

Policajný zbor pôsobí aj pri fyzickej **ochrane jadrových zariadení**, ktoré môžu byť lákavým cieľom teroristických útokov, a preto je tu kontrola vstupu veľmi dôležitá. Najmä kontrola vozidiel, ktoré sú často využívané ako car bomby a predstavujú veľkú hrozbu. Týmto hrozbám sa dá predchádzať umiestnením elektromagnetických prostriedkov na kontrolné stanovištia, kde sa vyžaduje od vozidiel zastavenie. Ak dobrovoľne vodič nezastaví vozidlo na rad príde použitie elektromagnetického zariadenia.

Takto je možné využiť elektromagnetické prostriedky pri **ochrane rôznych významných objektov** alebo aj **športových štadiónov** pri veľkých **športových** či **kultúrnych podujatiach**.

## 6.2 Ozbrojené sily

Ozbrojené sily Slovenskej republiky počas mierového stavu nemajú také široké pole pôsobnosti v národných podmienkach ako Policajný zbor. Elektromagnetické prostriedky sú využiteľné na **ochranu a obranu stavieb a budov**, ktoré boli označené ako **objekty osobitej dôležitosti**. V týchto prípadoch sa dajú využiť na kontrolných stanovištiach pri vstupe, príklad využitia je znázornený na Obr. 22.



Obr. 24. Využitie elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel na kontrolných stanovištiach [42]

Elektromagnetické prostriedky na zastavovanie vozidiel sú taktiež využiteľné v prípade **ochrany konvojov** Ozbrojených síl pri predpoklade hrozby prepadnutia. Vhodné je umiestniť tieto prostriedky na prvé a posledné vozidlo konvoja, aby nedošlo k ohrozeniu spredu ani zozadu.

Ozbrojené sily môžu byť použité aj na **ochranu štátnej hranice**, kde je aplikácia elektromagnetických prostriedkov rovnaká ako bolo spomenuté v prípade Policajného zboru.

### 6.3 Súkromné bezpečnostné služby

Súkromné bezpečnostné služby (SBS) vznikli, pretože Policajný zbor nezvládal zaistiť ochranu a bezpečnosť občanov. Dnes sú populárne, je ich mnoho a zaisťujú rôzne služby. Samozrejme aj tu sa nájde veľké využitie elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel.

Jedna z možností aplikácie týchto zariadení pre SBS je **ochrana vozidla pri prevoze peňazí, cenín alebo nebezpečných látok**. Hlavné vozidlo, ktoré preváža hodnotné alebo nebezpečné prostriedky môže byť chránené vozidlom idúcim za ním, pred ním alebo aj pred aj za

ním, v ktorom je umiestnené elektromagnetické zariadenie na zastavovanie vozidiel. Toto zariadenie môže byť prípadne umiestnené v prevážajúcom vozidle.

Ďalšie využitie u SBS je v prípade **ochrany vstupov do objektov súkromných spoločností** alebo do **objektov kritickej infraštruktúry**. Aplikovanie elektromagnetických prostriedkov je rovnakým spôsobom ako bolo spomínané vyššie.

Elektromagnetické prostriedky môže využiť SBS pri **zaistovaní bezpečnosti** na veľkých **športových alebo kultúrnych podujatiach**, keď to nemá za úlohu Policajný zbor.

### Záver kapitoly

Pre aplikáciu elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel je mnoho možností. Najširšie pole pôsobnosti má Policajný zbor, ktorý môže využívať tieto prostriedky pri rôznych činnostiach, napr. pri zastavovaní unikajúcich vozidiel, keď došlo k protiprávnej činnosti, k zaisteniu bezpečnosti pri prevoze významných osobností v zmysle ochrany konvoja, pri ochrane štátnej hranice statickým alebo mobilným zariadením, pri ochrane vstupov do jadrových zariadení a pri ochrane významných objektov a športových či kultúrnych podujatí. Ozbrojené sily majú menšie pole pôsobnosti v mierovom stave ako Policajný zbor, no sú nimi využiteľné pri ochrane vstupov do objektov osobitej dôležitosti, pri ochrane konvojov a pri povolaní na ochranu štátnej hranice. Policajný zbor a Ozbrojené sily nemôžu zaistiť bezpečnosť všade, preto sú populárne SBS. Pri ich činnosti je možné použiť elektromagnetické prostriedky na zastavovanie vozidiel ako ochrana pri prevoze peňazí, cenín a nebezpečných látok, pri ochrane vstupov súkromných spoločností alebo ochrane kritickej infraštruktúry a pri zaistovaní bezpečnosti v okolí športových či kultúrnych podujatí.

## ZÁVER

Hlavným cieľom bakalárskej práce bolo analyzovať požiadavky na elektromagnetickú kompatibilitu s dôrazom na odolnosť, vytvoriť prehľad reálnych elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel a návrh aplikácie týchto prostriedkov pre bezpečnostné zložky.

V teoretickej časti sú popísané základy problematiky elektromagnetických prostriedkov, ich spôsob fungovania, konštrukcia a impulzy elektromagnetických polí, ktoré sú ich výstupom. Tieto impulzy predstavujú náhly výbuch elektromagnetického poľa, tvoreného navzájom prepojeným elektrickým a magnetickým poľom. Impulzy vytvorené človek sa od tých prírodných líšia smerovaným šírením a menšou intenzitou. Indukcia spôsobuje, že z elektromagnetických polí sa vytvárajú na vodičoch napätia a prúdy. Elektromagnetické zbrane alebo zbrane so smerovanou energiou sa delia do viacerých kategórii, ale nás zaujímajú zbrane pracujúce v pásme rádiových vln a mikrovln. Ďalej sa delia na širokopásmové a úzkopásmové. Rozdiel je zrejmy aj z názvu. Elektromagnetická energia sa na elektrické zariadenia a systémy viaže prednými (front door coupling) alebo zadnými (back door coupling) dverami a spôsobuje len dočasnú stratu funkcie alebo až zničenie vyhorením. Elektromagnetické zbrane pracujúce v pásme rádiových vln a mikrovln sa vo všeobecnosti skladajú z primárneho zdroja napätia, zdroja vysokonapäťových impulzov, generátoru rádiových vln alebo mikrovln a antény. Zdroj vysokonapäťových impulzov je u širokopásmových a úzkopásmových zbraní väčšinou rovnaký a využíva sa vybíjanie kondenzátorov a chemická energia z explózie výbušniny. U širokopásmových sú výkonové prvky rýchle spínače a vypínače, anténa je širokopásmová a u úzkopásmových sú tvarovacie obvody, vlny sa generujú vo výkonových elektrónkach a anténa je úzkopásmová.

Praktická časť sa venuje zo začiatku analýze elektromagnetickej kompatibility automobilov, neskôr súčasným prostriedkom a nakoniec návrhu aplikácie elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel pre bezpečnostné zložky. Aktuálna smernica zaoberajúca sa EMC automobilov je Smernica 2006/28/EC, ktorú musia spĺňať všetky súčasné automobily. Z hľadiska elektromagnetických prostriedkov je najdôležitejšia odolnosť voči elektromagnetickým poliam. Za týmto účelom sú používané dve triedy odolnosti podľa aplikačných skupín I a II. Na komponenty patriace do aplikačnej skupiny I sú kladené vyššie požiadavky, pretože bez ich správneho fungovania by nebola možná bezpečná jazda. Testovaním odolnosti voči elektromagnetickým poliam sa zaoberajú normy ISO 11451 (celé vozidlo) a ISO 11452 (elektronické komponenty). Pri testovaní sa používa pásmo od 20 MHz do 2

GHz, no niektoré automobilky používajú pásmo až do 10 GHz. Požadovaná odolnosť je stanovená pre celé vozidlo na  $30 \text{ V.m}^{-1}$  a na vybrané komponenty  $200 \text{ V.m}^{-1}$ , u niektorých výrobcov je zas táto hranica vyššia, napr. až do  $600 \text{ V.m}^{-1}$  na komponenty zaisťujúce bezpečnosť (systém airbagov). Aj tá najvyššia úroveň  $600 \text{ V.m}^{-1}$  je stále málo, pretože elektromagnetické prostriedky sú schopné vygenerovať pole o intenzite viac ako  $300 \text{ kV.m}^{-1}$ .

Ďalej sú predstavené súčasné elektromagnetické prostriedky na zastavovanie vozidiel, kde popredným výrobcom je nemecká spoločnosť Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG. V súčasnosti je rozbehnutý projekt SAVELEC na vývoj elektromagnetických prostriedkov, na ktorom sa podieľa aj slovenská Akadémia ozbrojených síl generála M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši.

Posledná kapitola praktickej časti je venovaná návrhu aplikácie elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel pre Policajný zbor, Ozbrojené sily a Súkromné bezpečnostné služby, najmä na zastavovanie unikajúcich vozidiel, ochranu konvojov, ochranu významných objektov a prepravu peňazí, cenín a nebezpečných látok.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] MAYER, Daniel. *Aplikovaný elektromagnetismus: úvod do makroskopické teorie elektromagnetického pole pro elektrotechnické inženýry*. 2. vyd. České Budějovice: Kopp, 2012. ISBN 978-80-7232-436-1.
- [2] COMMISSION, European. *Health and electromagnetic fields: EU-funded research into the impact of electromagnetic fields and mobile telephones on health*. Luxembourg: Office for Official publ. of the Europ. Communities, 2005. ISBN 9279001876.
- [3] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. *Elektrina a magnetismus*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1965. 674 s.
- [4] MYSLÍK, Jiří. *Elektromagnetické pole: základy teorie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-43-0.
- [5] HAŇKA, Ladislav. *Teorie elektromagnetického pole*. 2. vydání. Praha/Bratislava: SNTL/ALFA, 1982.
- [6] SEDLÁK, Bedřich a Ivan ŠTOLL. *Elektrina a magnetismus*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1004-1.
- [7] GLASSTONE, Samuel a Philip J. DOLAN. *The Effects of Nuclear Weapons* [online]. 3. United States Department of Defense and Energy Research and Development Administration, 1977 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.fourmilab.ch/etexts/www/effects/>
- [8] AKSES, Aysam. ElectroMagnetic Pulse ( EMP ). In: *Aysamakses: Akademik, teknolojik ve profesyonel paylaşımlar*[online]. 2016 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.aysamakses.com/en/bilgi-bankasi/elektromanyetik-darbe-emp/>
- [9] EMANUELSON, Jerry. An introduction to nuclear electromagnetic pulse: E1, E2 and E3. In: *Futurescience* [online]. Futurescience, LLC [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.futurescience.com/emp/E1-E2-E3.html>
- [10] *Report of the Commission to Assess the Threat to the United States from Electromagnetic Pulse (EMP) Attack*. Volume 1: Executive Report. 2004 [cit. 2016-03-3]. Dostupné z: [http://www.empcommission.org/docs/empc\\_exec\\_rpt.pdf](http://www.empcommission.org/docs/empc_exec_rpt.pdf)

- [11] RADASKY, William a Edward SAVAGE. *Intentional Electromagnetic Interference (IEMI) and Its Impact on the U.S. Power Grid*. Goleta, CA, 2010. Dostupné také z: [http://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/reliability/cybersecurity/ferc\\_meta-r-323.pdf](http://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/reliability/cybersecurity/ferc_meta-r-323.pdf)
- [12] URBANCOKOVA, Hana, Jan VALOUCH a Stanislav KOVAR. Stopping of transport vehicles using the power electromagnetic pulses. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*[online]. 2015-8-5, **1**(8), 103-106 [cit. 2016-02-18]. DOI: 10.15199/48.2015.08.25. ISSN 0033-2097. Dostupné z: <http://sigma-not.pl/publikacja-92795-2015-8.html>
- [13] VISINGR, Lukáš. *Tajná zbraň USA: Elektromagnetické pulzní bomby*. Armádní technický magazín. 2003, **2003**(3).
- [14] *Electromagnetic Pulse (EMP)*. Washington state department of health: Office of Radiation Protection, 2013, (Fact Sheet 320-090).
- [15] *Enviromagazín*. Zvolen: EM DESIGN, 2006, **11**(MČ2), [cit. 2016-03-03]. ISSN 1335-1877. Dostupné také z: <http://www.enviromagazin.sk/enviro2006/enviromc2/mc22006.pdf>
- [16] VÁŇA, Vladimír. *Úvod do problematiky výkonových elektromagnetických polí: Definice hlavních požadavků na vojenskou a civilní techniku*. VTÚPV Vyškov.
- [17] DRAŽAN, Libor. Elektromagnetické zbraně, hrozba pro industriální společnost. In: *Trilobit* [online]. 1.12.2013. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2013 [cit. 2016-04-01]. ISSN 1804-1795. Dostupné z: <http://trilobit.fai.utb.cz/>
- [18] AKSES, Aysam. High Power MicroWave ( HPMW ). In: *Aysamakses: Akademik, teknolojik ve profesyonel paylaşımlar* [online]. 2016 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.aysamakses.com/en/bilgi-bankasi/yukse-guclu-mikrodalga-sistemleri-hpmw/>
- [19] NILSSON, Tony. *Investigation of Limiters For HPM and UWB Front-door Protection*. Linköping, 2006. Závěrečná práce. Linköpings Universitet. Vedoucí práce Dr. Mats Bäckström.
- [20] VISINGR, Lukáš. Energetické zbraně. *Střelecká revue*. 2010, **42**(7/2010).



- [21] HILL, Brandon. USAF ADS Weapon Certified for Use in Iraq. In: *Dailytech* [online]. 2006 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.dailytech.com/USAF+ADS+Weapon+Certified+for+Use+in+Iraq/article5239.htm>
- [22] JURÍČEK, Ludvík a Petr ROŽŇÁK. *Bezpečnost, hrozby a rizika v 21. století*. Vyd. 1. Ostrava: Key Publishing, 2014. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-201-3.
- [23] ROBERDS, Richard. Introducing the Particle-Beam Weapon. In: *Air & space power journal* [online]. Air Force Research Institute, 1984 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.airpower.maxwell.af.mil/airchronicles/aureview/1984/jul-aug/roberds.html>
- [24] DEVECI, Bayram. *Directed-Energy Weapons: Invisible and Invincible?*. Monterey, California, 2007. Postgraduate Thesis. Naval Postgraduate School. Vedoucí práce Edward Fisher.
- [25] DRAŽAN, Libor. *Ochrana komunikačních systémů proti výkonovým elektromagnetickým polím*. Fakulta vojenských technologií, Univerzita obrany, 2013 [cit. 2016-04-27].
- [26] GLIDDEN, Steven a Howard SANDERS. *Solid State Marx Generator* [online]. Freeville, NY 13068 USA [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.appliedpulsedpower.com/wp-content/uploads/2008/11/pmc2006-solid-state-marx-generator.pdf>
- [27] CAREY, W.J. a J.R. MAYES. *Marx Generator Design and Performance* [online]. Austin, Texas: Applied Physical Electronics, L.C. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://kaizerpowerelectronics.dk/files/application\\_notes/pulse\\_power/marx\\_generator\\_design\\_and\\_performance.pdf](http://kaizerpowerelectronics.dk/files/application_notes/pulse_power/marx_generator_design_and_performance.pdf)
- [28] KOPP, Carlo. The Electromagnetic Bomb - A Weapon of Electrical Mass Destruction. In: *US Air Force Air & Space Power Journal* [online]. Melbourne, 1996 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ausairpower.net/ASPC-E-Bomb-Mirror.html>
- [29] KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-202-7.

- [30] DŘÍNOVSKÝ, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: přednášky*. Vyd. 1. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2010, 229 s. ISBN 978-80-214-4202-3
- [31] DŘÍNOVSKÝ, Jiří, Jiří SVAČINA, Václav RŮŽEK a Jiří ZACHAR. Elektromagnetická kompatibilita v automobilové technice. In: *Elektrorevue: časopis pro elektrotechniku*. 40. Brno: International Society for Science and Engineering, 2012. ISSN 1213-1539.
- [32] Směrnice komise 2004/104/ES o přizpůsobení technickému postupu směrnice Rady 72/245/EHS o sblížení právních předpisů členských států týkajících se potlačení vysokofrekvenčního rušení způsobovaného zážehovými motory. In *Ústředí věstník Evropské unie* L 337. Luxembourg: The Publications Office of the European Union, 2004. 46 s.
- [33] Automotive Electromagnetic Compatibility (EMC) Standards. *CVEL: Automotive Electronics* [online]. Clemson: The Clemson Vehicular Electronics Laboratory [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: [http://www.cvel.clemson.edu/auto/auto\\_emc\\_standards.html](http://www.cvel.clemson.edu/auto/auto_emc_standards.html)
- [34] EMC-CS-2010JLR V1.2. *Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems*. 3. Jaguar Land Rover, 2012.
- [35] FMC1278. *Electromagnetic Compatibility Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems*. Ford Motor Company, 2015.
- [36] DIEHL BGT DEFENCE. *White Paper on HPEM Technology* [online]. Röthenbach an der Pegnitz, Germany, 2013, 14 s. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: [https://www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/redakteur/bvs/bv\\_hamburg\\_dateien/AK\\_SBT/White\\_Paper\\_HPEM\\_062013.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/bvs/bv_hamburg_dateien/AK_SBT/White_Paper_HPEM_062013.pdf)
- [37] DIEHL BGT DEFENCE. *HPEMcarStop: Non-violent system for selective stopping of vehicles in dynamic scenarios* [online]. Röthenbach an der Pegnitz, Germany, 2013, 4 s. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.diehl.com/en/diehl-defence/products/sensor-and-security-systems/protection-systems/convoy-protection.html>

- [38] DIEHL BGT DEFENCE. *HPEMcase: Non-Lethal Effector Systems for the Protection of Persons and Buildings* [online]. Röthenbach an der Pegnitz, Germany, 2013, 3 s. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.diehl.com/en/diehl-defence/products/sensor-and-security-systems/protection-systems/convoy-protection.html>
- [39] FORD, Jason. Radio-beam device can disable car and boat engines from 50m. In: *Theengineer* [online]. London: Centaur Communications, 2013 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.theengineer.co.uk/issues/october-digital-edition-2/radio-beam-device-can-disable-car-and-boat-engines-from-50m/>
- [40] E2V. *RF Safe-Stop™ System: Vehicle stopping technology* [online]. Chelmsford, England, 2013, 2 s. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.e2v.com/resources/account/download-literature/81>
- [41] EUREKA AEROSPACE. *High-Power Compact Microwave Source for Vehicle Immobilization: Final Report* [online]. 2006, : 3-44 [cit. 2015-12-16]. Dostupné z: <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/236756.pdf>
- [42] MERRYMEN, Stephen. *Multifrequency Radio-Frequency Vehicle Stopper* [online]. Dahlgren (Virginia), 2012, s. 86-91 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: [www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA559055](http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA559055)
- [43] SMITH, Dion, Hank TRUJILLO a Hector AGUILA. *Effects Research Test Report for the National Institute of Justice (NIJ) Engine Stopper Program: Final Report* [online]. Albuquerque, New Mexico, 2010, , 7 s. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/236755.pdf>
- [44] *SAVELEC: Safe control of non cooperative vehicles through electromagnetic means* [online]. Athens, Greece: TEI of Piraeus, 2012 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://savelec-project.eu/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$B$	Magnetická indukcia [T]
$D$	Elektrická indukcia [ $C \cdot m^{-2}$ ]
$E$	Intenzita elektrického poľa [ $V \cdot m^{-1}$ ]
$H$	Intenzita magnetického poľa [ $A \cdot m^{-1}$ ]
$I$	Elektrický prúd [A]
$J$	Prúdová hustota [ $A \cdot m^{-2}$ ]
$Q$	Elektrický náboj [C]
$\Phi$	Magnetický indukčný tok [Wb]
$\Psi$	Elektrický indukčný tok [C]
$l$	Dĺžka [m]
$t$	Čas [s]
$v$	Rýchlosť [ $m \cdot s^{-1}$ ]
$\gamma$	Merná vodivosť [ $S \cdot m^{-1}$ ]
$\rho$	Objemová hustota voľného náboja [ $C \cdot m^{-3}$ ]
<i>ADS</i>	Active Denial System (Aktívny potláčací systém)
<i>ALSE</i>	Absorber-Lined Shielded Enclosure (Priame ožarovanie v bezodrazovej komore)
<i>BCI</i>	Bulk Current Injection (Objemná prúdová injekcia)
<i>BWO</i>	Backward-Wave Oscillator (Generátor so spätnou vlnou)
<i>CISPR</i>	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (Medzinárodný výbor pre rádiovú interferenciu v rámci EMC)
<i>CRM</i>	Cyclotron Resonance Mass (Maser s cyklotrónovou rezonanciou)
<i>ČNI</i>	Český normalizační institut
<i>ČSN</i>	Česká norma
<i>DEW</i>	Directed Energy Weapons (Zbrane so smerovanou energiou)

---

<i>DEWM</i>	Directed Energy Weapons Microwave (Zbrane so smerovanou energiou pracujúce v oblasti mikrovĺn)
<i>DEWRF</i>	Directed Energy Weapons Radio Frequency (Zbrane so smerovanou energiou pracujúce v pásme rádiových vĺn)
<i>EC</i>	European Community (Európske spoločenstvo)
<i>EMC</i>	Electromagnetic Compatibility (Elektromagnetická kompatibilita)
<i>EMI</i>	Electromagnetic Interference (Elektromagnetická interferencia)
<i>EMP</i>	Electromagnetic Pulse (Impulz elektromagnetických polí)
<i>EMS</i>	Electromagnetic Susceptibility (Elektromagnetická odolnosť)
<i>EN</i>	European Norm (Európska norma)
<i>EPFCG</i>	Explosively Pumped Flux Compression Generator (Explozívne pumpovaný generátor indukčného toku)
<i>ESA</i>	Electronic Sub-Assembly (Elektronické subsystemy a komponenty)
<i>ESD</i>	Electrostatic Discharge (Elektrostatický výboj)
<i>FCG</i>	Flux Compression Generator (Výbušný generátor indukčného toku)
<i>FEL</i>	Free Electrons Laser (Laser s voľnými elektrónmi)
<i>HPEM</i>	High Power Electromagnetic (Vysokovýkonný elektromagnetický impulz)
<i>HPM</i>	High Power Microwave (Vysokovýkonné mikrovlny)
<i>IEC</i>	International Electrotechnical Commission (Medzinárodná elektrotechnická komisia)
<i>IRA</i>	Impulse Radiating Antenna (Impulzne vyžarujúca anténa)
<i>ISO</i>	International Standard Organization (Medzinárodná organizácia pre normalizáciu)
<i>JNLWD</i>	Joint Non-Lethal Weapons Directorate (Riaditeľstvo pre nesmrtiace zbrane)
<i>LASER</i>	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Zosilňovač svetla stimulovanou emisiou žiarenia)
<i>MCG</i>	MagnetoCumulative Generator (Magneto-kumulatívny generátor)
<i>MHD</i>	MagnetoHydroDynamic generator (Výbušný magnetohydrodynamický generátor)

---

<i>NEMP</i>	Nuclear Electromagnetic Pulse (nukleární impulz elektromagnetických polí)
<i>NNEMP</i>	Non-Nuclear Electromagnetic Pulse (nenukleární impulz elektromagnetických polí)
<i>PBW</i>	Particle Beam Weapon (časticová zbraň)
<i>PHASR</i>	Personnel Halting and Stimulation Response (Laserová impulzná oslepující puška)
<i>SAE</i>	Society of Automotive Engineers (Společnost automobilových inženýrů)
<i>SBS</i>	Súkromná bezpečnostná služba
<i>TWT</i>	Travelling-Wave Tube (Generátor s postupnou vlnou)
<i>UWB</i>	Ultra-Wide Band (Velmi široké pásmo)
<i>WV</i>	Whole Vehicle (Celé vozidlo)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Rozdelenie elektromagnetického poľa podľa časového priebehu [1], upravil Kocian, 2016 .....	13
Obr. 2. Active Denial System (ADS) [21].....	22
Obr. 3. PHaSR [22].....	23
Obr. 4. Všeobecná funkčná schéma elektromagnetickej zbrane [25], upravil Kocian, 2016.....	27
Obr. 5. Schéma zapojenia Marxovho generátoru [27].....	28
Obr. 6. Konštrukcia a priebeh FCG [28] .....	29
Obr. 7. Virtuálny katódový oscilátor [28].....	31
Obr. 8. Všeobecná funkčná schéma širokopásmovej elektromagnetickej zbrane [25], upravil Kocian, 2016 .....	32
Obr. 9. Všeobecná funkčná schéma úzkopásmovej elektromagnetickej zbrane [25], upravil Kocian, 2016 .....	33
Obr. 10. Delenie elektromagnetickej kompatibility [30], upravil Kocian, 2016 .....	36
Obr. 11. Medze úzkopásmového a širokopásmového rušivého vyžarovania ESA podľa Smernice 2004/104/EC [30].....	40
Obr. 12. Hranice rušivého vyžarovania niektorých výrobcov automobilov [30] .....	45
Obr. 13. Hranice odolnosti ESA niektorých výrobcov automobilov voči elektromagnetickým poliam [31] .....	45
Obr. 14. značka ES typového schválenia [30] .....	46
Obr. 15. HPEMcarStop [36] .....	49
Obr. 16. HPEMcase [38].....	50
Obr. 17. HPEMcheckPoint [36].....	51
Obr. 18. Spôsob použitia HPEMcheckPoint [36].....	51
Obr. 19. RF Safe-Stop [40].....	52
Obr. 20. Radio-Frequency Vehicle Stopper [42].....	54
Obr. 21. Engine Stopper umiestnený na automobile Ford F350 [43].....	55
Obr. 22. Testovanie zastavovania vozidla pomocou zariadenia Engine Stopper [43].....	55
Obr. 23. Využitie elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel pri ochrane konvojov [37].....	57
Obr. 24. Využitie elektromagnetických prostriedkov na zastavovanie vozidiel na kontrolných stanovištiach [42] .....	59

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Maxwellove rovnice [1].....	13
Tab. 2. EMC štandardy a normy motorových vozidiel [30], upravil Kocian, 2016 ...	38
Tab. 3. Maximálne prípustné hodnoty impulzov [32], upravil Kocian, 2016 .....	41
Tab. 4. Odolnosť ESA voči elektromagnetickým poliam podľa aplikačných skupín [31] .....	42
Tab. 5. EMC štandardy niektorých výrobcov automobilov [30][33] .....	43
Tab. 6. Odolnosť voči elektromagnetickým poliam [34][35].....	46
Tab. 7. Prehľad výrobcov, zariadení a dôležitých parametrov .....	56