

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ

HÁLOVA 16, 851 01 BRATISLAVA

## **Arduino radar**

Komplexná odborná maturitná práca

Č. odboru: <číslo a názov súťažného odboru>

Alex Szabó

Bratislava

2026

Ročník štúdia: IV.D

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ

HÁLOVA 16, 851 01 BRATISLAVA

## **Arduino radar**

Komplexná odborná maturitná práca

Č. odboru: <číslo a názov súťažného odboru>

Alex Szabó

Bratislava

2026

Ročník štúdia: IV.D

Ing. Dominik Zatkalík, PhD.

## **Čestné vyhlásenie**

Vyhlasujem, že prácu stredoškolskej odbornej činnosti na tému Arduino radar som vypracoval samostatne, s použitím uvedených literárnych zdrojov. Prácu som neprihlásil a ani neprezentoval v žiadnej inej súťaži, ktorá je pod gestorstvom MŠVVaM SR. Som si vedomý dôsledkov, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

.....

V Bratislave, <dd. mm. rrrr>

Alex Szabó

## **Pod'akovanie**

Rád by som sa touto cestou poďakoval svojmu konzultantovi Ing. Dominikovi Zatkalíkovi, PhD. za prístup a odborné rady.

## Obsah

0	ÚVOD .....	6
1	PROBLEMATIKA A PREHLAD LITERATÚRY .. <b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>	
1.1	PODNADPIS .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
1.1.1	PODNADPIS PODNADPISU.....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
2	CIELE PRÁCE .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
3	MATERIÁL A METODIKA .....	13
3.1	PODNADPIS .....	13
4	DISKUSIA.....	14
5	ZÁVERY PRÁCE.....	15
6	ZHRNUTIE .....	16
7	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	17
8	PRÍLOHY .....	7

## **Zoznam skratiek, značiek a symbolov**

<skratky zoradené v abecednom poradí>

## **Zoznam tabuliek, grafov a ilustrácií**

<Zoznam skratiek, značiek a symbolov>

## 0 ÚVOD

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna.

Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci.

Aenean nec lorem. In porttitor. Donec laoreet nonummy augue.

Suspendisse dui purus, scelerisque at, vulputate vitae, pretium mattis, nunc. Mauris eget neque at sem venenatis eleifend. Ut nonummy.



# 1 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY RADAROVÝCH SYSTÉMOV

**Radar** (z angl. **radio detection and ranging**), alebo rádiolokátor je systém, ktorý využíva rádiové vlny na určenie vzdialenosti, smeru (azimutálneho a elevačného uhla) a radiálnej rýchlosti objektov vzhľadom na miesto polozenia konkrétného radaru. [1], [2], [3]

## 1.1 FYZIKÁLNE ZÁKLADY RADAROV

Princíp fungovania radarového systému je jednoduchý na pochopenie, aj keď jeho teoretický základ je pomerne zložitý. Avšak pochopenie teórie je základom pre efektívne používanie a obsluhu radarového zariadenia. Opiera sa o tri základné fyzikálne zákony, ktoré sa týkajú šírenia a interakcie elektromagnetických vln (zvyčajne v mikrovlnnej oblasti spektra). [4]

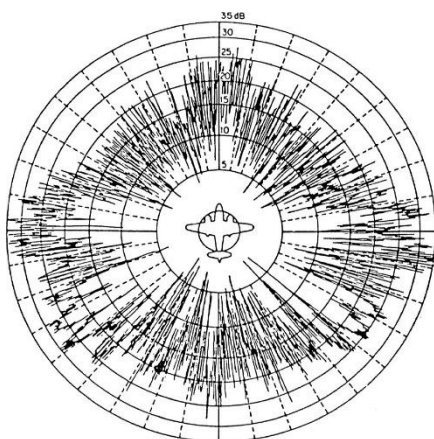
### 1.1.1 ODRAZ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN

Ak elektromagnetická vlna narazí na elektricky vodivé teleso (napríklad lietadlo, loď alebo dokonca kvapky dažďa), jej energia sa odrazí. Radar je konštruovaný tak, aby zaznamenal túto odrazenú vlnu, nazývanú aj **ozvena** (echo). Prítomnosť ozveny signalizuje prekážku v smere šírenia vlnenia. [4]

Intenzita odrazeného signálu sa vyjadruje veličinou nazývanou **efektívna odrazová plocha (RCS – Radar Cross Section)**. Jej hodnota je ovplyvnená mnohými faktormi, z ktorých hlavné sú:

- **Veľkosť a geometrický tvar cieľa,**
- **Uhol pohľadu na cieľ,** ktorý určuje, ktorá časť povrchu cieľa je ožarovaná elektromagnetickou vlnou,
- **Pracovná frekvencia radaru,** presnejšie pomer medzi vlnovou dĺžkou lokátora a charakteristickými rozmermi cieľa,
- Elektrické vlastnosti materiálu, z ktorého je cieľová štruktúra vyrobená.

Vplyv týchto faktorov je komplexný, a preto je potrebné ich posudzovať spoločne. [5]



Obr. 1 – Efektívna odrazová plocha lietadla typu B-26

(Zdroj: [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu), rok: 2024)

Existuje mnoho vzorcov na výpočet efektívnej odrazovej plochy jednoduchých telies (napr. guľa, valec), ale keďže v praxi má väčšina radarových cieľov zložitý geometrický povrch, na určenie ich efektívnej odrazovej plochy sa používa vzorec:

$$\sigma = \frac{4\pi \cdot r^2 \cdot S_r}{S_t} \quad \text{kde} \quad r — \text{polomer ekvivalentného odrazníka,}$$

$S_r$  — hustota výkonového toku dopadajúcej vlny v polohe cieľa,

$S_t$  — hustota výkonového toku rozptýlenej vlny na radarovej anténe.

[5]

### 1.1.2 KONŠTANTNÁ RÝCHLOSŤ ŠÍRENIA

Elektromagnetické vlny sa vo vákuu šíria približne rýchlosťou svetla. V reálnom prostredí je ale jedno, či sa tu počíta s rýchlosťou  $3 \cdot 10^8$  m/s alebo s 300 000 km/s, alebo či je rýchlosť svetla udávaná veľmi presne 299 792 458 m/s. Pri výpočte ale musíme vždy používať rovnakú veľkosť. Vďaka tejto konštantnej rýchlosti šírenia je možné presne určiť **vzdialenosť** cieľa (lietadiel, lodí, vozidiel) meraním času  $t$  medzi vyslaním signálu a prijatím jeho ozveny. Vzťah pre výpočet vzdialenosti  $R$  je daný:

$$R = \frac{c \cdot t}{2} \quad \text{kde} \quad c = \text{rýchlosť svetla}$$

$t = \text{nameraná doba prejazdu}$

Faktor 2 v menovateli zohľadňuje skutočnosť, že signál musí prejsť vzdialenosť  $R$  dvakrát (cesta k cieľu a späť). [4], [6]

### 1.1.3 PRIAMOČIARE ŠÍRENIE A SMEROVANIE

Predpokladá sa, že šírenie elektromagnetických vln vo frekvenčnom rozsahu radarov je priamočiare. Pomocou špeciálnych smerových antén je možné elektromagnetické vlny zväzovať v určitom smere. Sledovaním smeru, z ktorého prichádza ozvena, je možné určiť **uhlové súradnice** cieľa, t. j. azimutu (uhol v horizontálnej rovine) a elevačného uhla (uhol vo vertikálnej rovine). [4]

## 2 RADAROVÉ KOMPONENTY A PRINCÍP ICH ČINNOSTI

Typický impulzný radarový systém je aktívne elektronické zariadenie, ktoré je navrhnuté na presné a rýchle meranie parametrov cieľa v priestore. Skladá sa z viacerých kľúčových funkčných blokov a modulov, ktoré pracujú v synchronizovanom cykle.

### 2.1 VYSIELAČ

Radarový vysielateľ generuje krátky vysokofrekvenčný impulz energie s vysokým výkonom. Tieto impulzy majú veľmi krátke trvanie (typicky v mikrosekundách), aby sa dosiahla dobrá rozlišovacia schopnosť v diaľke. Vysielateľ musí mať nasledujúce technické a prevádzkové vlastnosti:

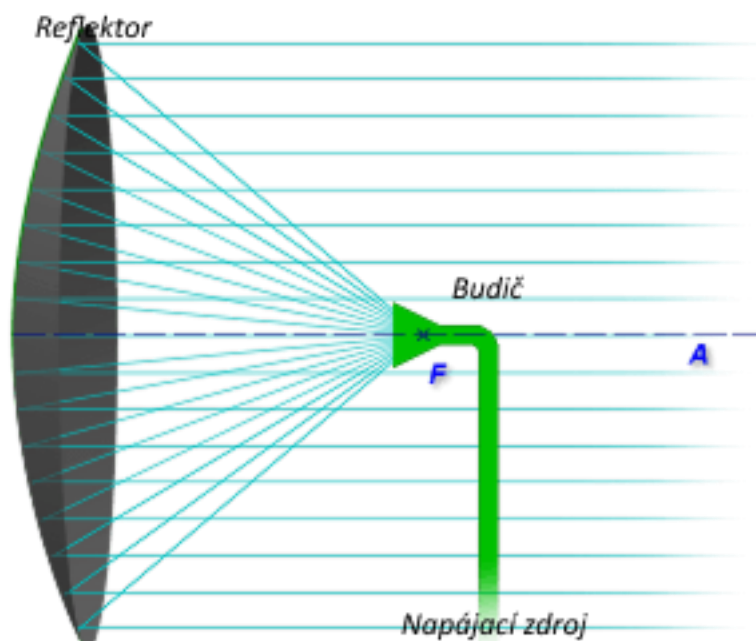
- Musí byť schopný generovať požadovaný stredný rádiový výkon a požadovaný špičkový výkon,
- Musí mať vhodnú rádiovú šírku pásma,
- Musí mať vysokú rádiovú stabilitu, aby spĺňal požiadavky na spracovanie signálu,
- Musí byť ľahko modulovateľný, aby spĺňal požiadavky na návrh tvaru vlny,
- Musí byť efektívny, spoľahlivý a ľahko udržiavateľný. Životnosť a náklady na výstupné zariadenie musia byť prijateľné.

Kľúčovými komponentmi sú vysokovýkonné elektrónky ako **magnetrón** (používaný v starších/jednoduchších radaroch, lacný, ale s obmedzenou frekvenčnou stabilitou) alebo **klystrón** a **TWT** (Travelling Wave Tube – elektrónka s putujúcou vlnou), ktoré ponúkajú vyšší výkon a lepšiu koherenciu (frekvenčnú stabilitu), čo je kľúčové pre Dopplerovské merania rýchlosti. [7]

### 2.2 ANTÉNA

Anténa plní duálnu úlohu. Je to konštrukcia, ktorá zaistuje premenu voľne sa šíriaceho elektromagnetického vlnenia na kmitajúci prúd v obvode, ku ktorému je pripojená. Taktiež môže prijímať energiu elektromagnetického poľa a vysielateľ elektromagnetické vlny, ktoré sú vytvárané oscilátorom. Anténa sa zvyčajne otáča alebo skenuje priestor, čím zabezpečuje pokrytie celého sledovaného objemu. [8]

Najbežnejším typom antény je **parabolická anténa**. Je to anténa so špeciálne ohnutým reflektorom, ktorého tvar ohybu je určený parabolou.

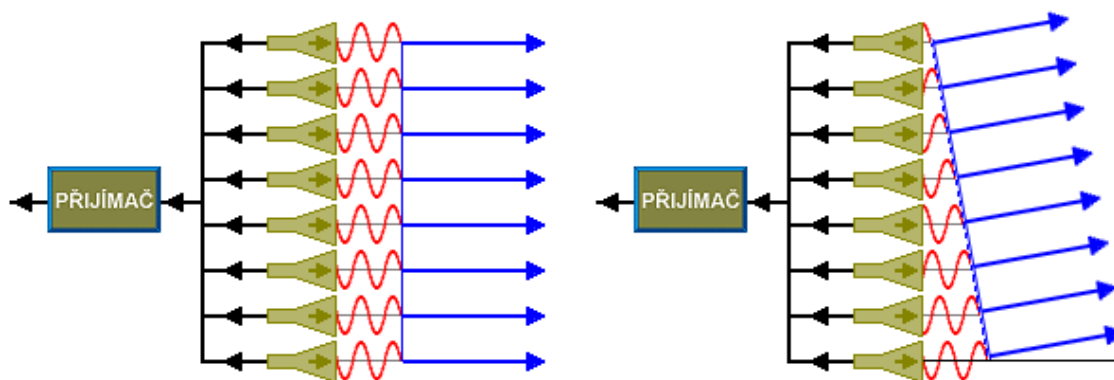


Obr. 2 - Princíp antény s parabolickým reflektorom

(Zdroj: [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu), rok: 2024)

Obrázok ukazuje štruktúru „normálnej“ (symetrickej) parabolickej antény. Bodový zdroj osvetľuje symetrický reflektor. [9]

Druhý najbežnejší typ antén je **fázovaná anténa** (ang. Phased array), ktorá sa nachádza v modernejších radarových systémoch. Umožňuje elektronické a veľmi rýchle riadenie smeru lúča bez fyzického pohybu antény.



Obr. 3 – Princíp fázovanej antény

(Zdroj: [www.mo.gov.cz](http://www.mo.gov.cz), rok: 2008)

Takáto anténa má plochý tvar a je tvorená veľkým počtom (niekedy aj desiatok tisíc) malých modulov. Každý modul obsahuje miniatúrny polovodičový vysokofrekvenčný

generátor, tzv. T/R modul (z ang. transmitter/receiver) s malým výkonom (iba niekoľko Wattov). Jeho vysokofrekvenčná energia je vyžarovaná do určitého smeru. [9], [10]

### **3 MATERIÁL A METODIKA**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna. Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci. Aenean nec lorem.

#### **3.1 PODNADPIS**

In porttitor. Donec laoreet nonummy augue. Suspendisse dui purus, scelerisque at, vulputate vitae, pretium mattis, nunc. Mauris eget neque at sem venenatis eleifend. Ut nonummy. Fusce aliquet pede non pede. Suspendisse dapibus lorem pellentesque magna. Integer nulla. Donec blandit feugiat ligula. Donec hendrerit, felis et imperdiet euismod, purus ipsum pretium metus, in lacinia nulla nisl eget sapien.

Donec ut est in lectus consequat consequat. Etiam eget dui. Aliquam erat volutpat. Sed at lorem in nunc porta tristique. Proin nec augue. Quisque aliquam tempor magna. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Nunc ac magna. Maecenas odio dolor, vulputate vel, auctor ac, accumsan id, felis. Pellentesque cursus sagittis felis.

## 4 DISKUSIA

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna. Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci. Aenean nec lorem.

In porttitor. Donec laoreet nonummy augue. Suspendisse dui purus, scelerisque at, vulputate vitae, pretium mattis, nunc. Mauris eget neque at sem venenatis eleifend. Ut nonummy. Fusce aliquet pede non pede. Suspendisse dapibus lorem pellentesque magna. Integer nulla. Donec blandit feugiat ligula. Donec hendrerit, felis et imperdiet euismod, purus ipsum pretium metus, in lacinia nulla nisl eget sapien.

Donec ut est in lectus consequat consequat. Etiam eget dui. Aliquam erat volutpat. Sed at lorem in nunc porta tristique. Proin nec augue. Quisque aliquam tempor magna. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Nunc ac magna. Maecenas odio dolor, vulputate vel, auctor ac, accumsan id, felis. Pellentesque cursus sagittis felis.



## 5 ZÁVERY PRÁCE

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna. Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est. Vivamus a tellus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci. Aenean nec lorem.

In porttitor. Donec laoreet nonummy augue. Suspendisse dui purus, scelerisque at, vulputate vitae, pretium mattis, nunc. Mauris eget neque at sem venenatis eleifend. Ut nonummy. Fusce aliquet pede non pede. Suspendisse dapibus lorem pellentesque magna. Integer nulla. Donec blandit feugiat ligula. Donec hendrerit, felis et imperdiet euismod, purus ipsum pretium metus, in lacinia nulla nisl eget sapien.

Donec ut est in lectus consequat consequat. Etiam eget dui. Aliquam erat volutpat. Sed at lorem in nunc porta tristique. Proin nec augue. Quisque aliquam tempor magna. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Nunc ac magna. Maecenas odio dolor, vulputate vel, auctor ac, accumsan id, felis. Pellentesque cursus sagittis felis.

## 6 ZHRNUTIE

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna. Nunc viverra imperdiet enim. Fusce est.

Vivamus a tellus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Proin pharetra nonummy pede. Mauris et orci. Aenean nec lorem.

In porttitor. Donec laoreet nonummy augue. Suspendisse dui purus, scelerisque at, vulputate vitae, pretium mattis, nunc. Mauris eget neque at sem venenatis eleifend. Ut nonummy.

## 7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] RADAR. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2025. [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: <https://en.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [2] RADAR. Wikipédia, slobodná encyklopédia. [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023. [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: <https://sk.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [3] LUCAS-NÜLLE GmbH. Vzdelávací systém pre modernú radarovú techniku. Ref.-Nr.: P3160. [Online]. Lucas-Nülle GmbH, [s. a.]. [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: [https://admin2771.webygroup.sk/Data/2771/UserFiles/2018/ln/radarova\\_technika\\_sk.pdf](https://admin2771.webygroup.sk/Data/2771/UserFiles/2018/ln/radarova_technika_sk.pdf)
- [4] BÖTTCHER, R. Základy radiolokace. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeier, 2025. [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/rb04.cz.html>
- [5] BÖTTCHER, R. Radar Cross Section. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeier, 2025. [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/Radar%20Cross%20Section.en.html>
- [6] BÖTTCHER, R. Přesnost měření a rozlišovací schopnost. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeier, 2025. [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/rb07.cz.html>
- [7] BÖTTCHER, R. Radar Transmitter. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeier, 2025. [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/08.transmitters/Radar%20Transmitter.en.html>
- [8] BÖTTCHER, R. Typy antén. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeier, 2025. [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an05.cz.html>
- [9] BÖTTCHER, R. Radarová soustava pro řízení letového provozu (Air Traffic Control). Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeier, 2025 [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/an21.cz.html>
- [10] Kvalita zobrazenia – faktory, ktoré ovplyvňujú kvalitu zobrazenia. [online]. Praha: Ministerstvo obrany ČR, 2008 [cit. 2025-12-12]. Dostupné na internete: [https://www.mo.gov.cz/images/id\\_8001\\_9000/8753/radar/k25.html](https://www.mo.gov.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k25.html)

## **8 PRÍLOHY**

## **PRÍLOHA A – ZDROJOVÝ KÓD**

## **PRÍLOHA B - FOTODOKUMENTÁCIA**