

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ

HÁLOVA 16, 851 01 BRATISLAVA

Arduino radar

Komplexná odborná maturitná práca

Č. odboru: <číslo a názov súčažného 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 súčažného 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 pod'akoval svojmu konzultantovi Ing. Dominikovi Zatkalíkovi, PhD. za prístup a odborné rady.

Obsah

0	ÚVOD	6
1	PROBLEMATIKA A PREHĽAD LITERATÚRY ... CHYBA! ZÁLOŽKA NIE JE DEFINOVANÁ.	
1.1	PODNADPIS CHYBA! ZÁLOŽKA NIE JE DEFINOVANÁ.	
1.1.1	PODNADPIS PODNADPISU. CHYBA! ZÁLOŽKA NIE JE DEFINOVANÁ.	
2	CIELE PRÁCE CHYBA! ZÁLOŽKA NIE JE DEFINOVANÁ.	
3	MATERIÁL A METODIKA CHYBA! ZÁLOŽKA NIE JE DEFINOVANÁ.	
3.1	PODNADPIS CHYBA! ZÁLOŽKA NIE JE DEFINOVANÁ.	
4	DISKUSIA..... CHYBA! ZÁLOŽKA NIE JE DEFINOVANÁ.	
5	ZÁVERY PRÁCE.....	25
6	ZHRNUTIE	26
7	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	27
8	PRÍLOHY	7

Zoznam skratiek, značiek a symbolov

Obr. - Obrázok

GUI – Graphical User Interface

UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

IDE – Integrated Developer Environment

ADC – Analog-to-digital Converter

PWM – Pulse-width Modulation

Zoznam tabuliek, grafov a ilustrácií

<Zoznam skratiek, značiek a symbolov>

0 ÚVOD

Loreum ipsum dolor sit amet, consectetuer 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 ZÁKLDNÉ PRINCÍPY RADAROVÝCH SYSTÉMOV

Radar (z angl. **radio detection and ranging**), alebo rádiolokátor je systém, ktorý využíva rádiové vlny na určenie vzdialenosťi, smeru (azimutálneho a elevačného uhla) a radiálnej rýchlosťi objektov vzhľadom na miesto položenia konkrétneho 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 vĺn (zvyčajne v mikrovlnnej oblasti spektra). [4]

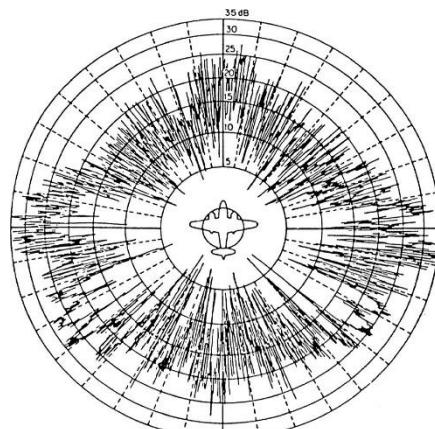
1.1.1 ODRAZ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN

Ak elektromagnetická vlna narazi 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, 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:

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

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 rýchlosťi šírenia je možné presne určiť **vzdialenosť** cieľa (lietadiel, lodí, vozidiel) meraním času t medzi vyslaním signálu a prijatím jeho ozveny. Vztah pre výpočet vzdialenosťi 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 vĺn 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 vysielač generuje krátke vysokofrekvenčný impulz energie s vysokým výkonom. Tieto impulzy majú veľmi krátke trvanie (typicky v mikrosekundách), aby sa dosiahla dobrá rozlišovacia schopnosť v diaľke. Vysielač musí mať nasledujúce technické a prevádzkové vlastnosti:

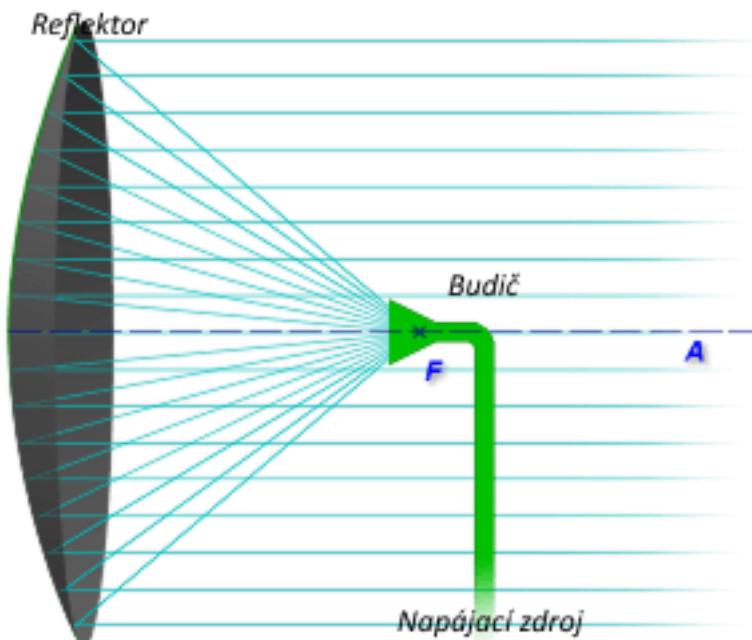
- Musí byť schopný generovať požadovaný stredný rádiovreckvenčný výkon a požadovaný špičkový výkon,
- Musí mať vhodnú rádiovreckvenčnú šírku pásma,
- Musí mať vysokú rádiovreckvenčnú stabilitu, aby splňal požiadavky na spracovanie signálu,
- Musí byť ľahko modulovateľný, aby splňal požiadavky na návrh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

Kľúčovými komponentmi sú vysokovýkonné elektrónky ako **magnetron** (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 meranie rýchlosťi. [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 vysielať 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 reflektorem, ktorého tvar ohybu je určený parabolou.

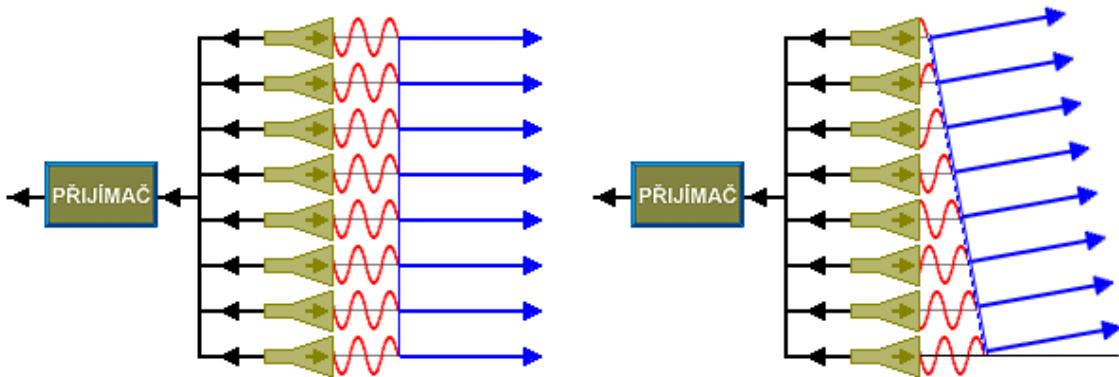


Obr. 2 - Princíp antény s parabolickým reflektorem

(Zdroj: 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 fázovej antény

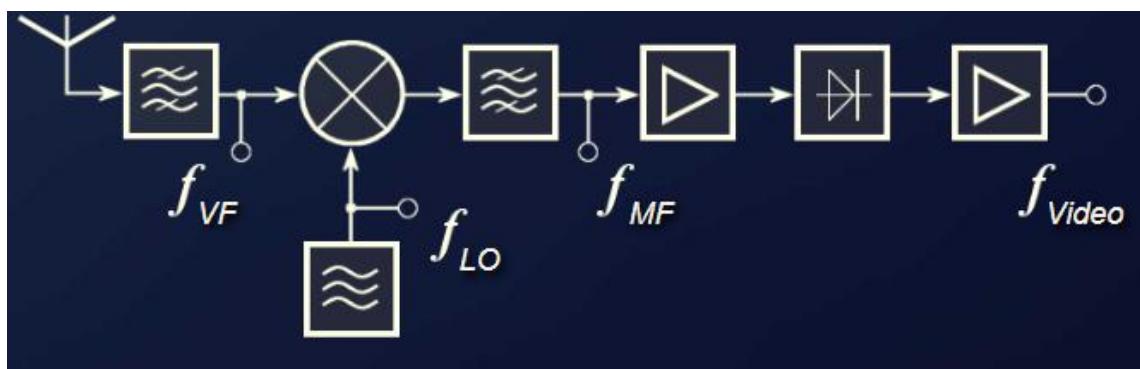
(Zdroj: www.mo.gov.cz, rok: 2008)

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]

2.3 PRIJÍMAČ

Funkciou prijímača je prijímať slabé ozveny z anténneho systému, dostatočne ich zosilniť, detektovať impulzy, zosilniť ich a priviesť ich do indikátora. Prijímače používané v radaroch sú schopné prijímať slabé ozveny a zvyšovať ich amplitúdy faktorom 20 alebo 30 miliónov. Prijaté rádiové signály sa najprv musia zosilniť a následne transformovať na videosignál, aby sa z ozvien získali požadované informácie. Túto transformáciu vykonáva **superheterodynový prijímač** (prijímač s nepriamym zosilnením, skrátene **superhet**). Superhet mení vysokofrekvenčný signál (RF) na ľahšie spracovateľnú nižšiu medzifrekvenciu (MF). Táto MF frekvencia sa zosilní a demoduluje, aby sa získal videosignál. Hlavné komponenty typického superheterodynového prijímača sú znázornené na nasledujúcom obrázku:



Obr. 4 – Štruktúrna schéma superheterodynového prijímača

(Zdroj: www.radartutorial.eu, rok: 2007)

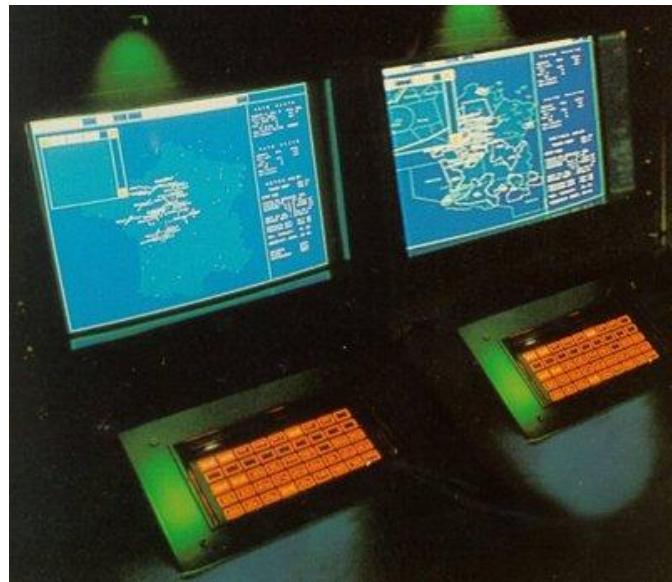
Obrázok znázorňuje blokovú schému typického superheterodynového prijímača. RF nosná frekvencia prichádza z antény a je privádzaná do filtra (f_{RF}). Výstupom filtra sú iba frekvencie požadovaného frekvenčného pásma. Tieto frekvencie sa privádzajú do zmiešavacieho stupňa. Zmiešavač tiež prijíma vstup z lokálneho oscilátora (f_{LO}). Tieto dva signály sú spoločne bité, aby sa získala MF prostredníctvom procesu heterodynovania. Ladením lokálneho oscilátora je vždy fixný rozdiel frekvencií medzi lokálnym oscilátorom a RF signálom. Tento rozdiel frekvencií sa nazýva MF. Tento fixný rozdiel a skupinové ladenie zabezpečuje konštantnú MF v celom frekvenčnom rozsahu prijímača. MF nosná frekvencia sa privádzza do MF zosilňovača (f_{MF}). Zosilnená MF

frekvencia sa potom posiela do detektora. Výstupom detektora je video zložka vstupného signálu (f_{video}). [11], [12]

2.4 INDIKÁTOR

Existuje mnoho spôsobov vizuálneho zobrazenia radarových dát. Moderné radarové jednotky na tento účel obvykle používajú ploché obrazovky osobného počítača. Informácie z radarového prijímača môžu obsahovať až niekoľko miliónov samostatných dátových bitov za sekundu. Z týchto a ďalších údajov, ako je orientácia antény, by mal indikátor pozorovateľovi poskytnúť súvislý, ľahko zrozumiteľný grafický obraz relatívnej polohy radarových cielov. Mal by poskytovať informácie o veľkosti, tvare a pokiaľ je to možné, aj o type cielov. Základnými geometrickými veličinami v radarových zobrazeniach sú vzdialenosť, azimutálny uhol, elevačný uhol a iné (napr. kurz ciela). Tieto zobrazenia vzťahujú polohu radarového ciela k východiskovej polohe antény. [13]

Ked'že existuje mnoho typov radarových indikátorov a pokrytie všetkých by bolo v tejto práci zbytočné, budeme sa venovať tomu najrelevantnejšiemu typu, ktorý sa v dnešnej dobe používa najviac. Tento typ sa nazýva **indikátor rastrového snímania**, ktorý môžeme vidieť na obrázku nižšie.



Obr. 5 – Indikátor rastrového snímania vzdušného priestoru Paríža
(Zdroj: radartutorial.eu, rok: 2007)

Väčšina zastaraných radarových indikátorov dokáže zobraziť iba dve z geometrických veličín spomínaných v predchádzajúcom odseku. Indikátor rastrového snímania ale dokáže zobraziť všetky informácie, čo v praxi znamená, že tento indikátor

poskytuje najviac priehľadný obraz s mnohými dodatočnými informáciami. Súradnice cieľových znakov sú prevedené na obrazové čiary a pixely a zobrazené na obrazovke počítača alebo televízora. Celá obrazovka je rozdelená do sústavy riadkov a bodov. Tieto indikátory majú najvyššie možné rozlíšenie. Značku cieľa je možné označiť kurzorom myši a potom sa zobrazia ďalšie informácie. Je možné zvoliť aj priebežné zobrazenie doplnkových informácií. V prípade radaru používaneho pri riadení letovej prevádzky môžu symboly vyzerat' ako na obrázku 6. Štvorec je symbolom pre polohu lietadla. Bodky sú polohy lietadiel v predchádzajúcich otáčkach, ktoré symbolizujú kurz a rýchlosť. Horný reťazec znakov je identifikácia lietadla, dolný reťazec znakov udáva nadmorskú výšku buď ako letovú hladinu, alebo v malých výškach ako barometrickú



výšku. [14]

Obr. 6 – Zväčšené zobrazenie na indikátore radaru riadenia letovej prevádzky
(Zdroj: radartutorial.eu, rok: 2017)

3 HISTÓRIA RADAROVÝCH SYSTÉMOV

Radarová technika, ako ju poznáme dnes, prešla mnohými desiatkami rokov vývoja. Objav a vývoj radarovej technológie neboli výsledkom práce jedného vynálezcu ani národa. Poznatky o radare treba vnímať ako súhrn mnohých objavov a vývojov v oblasti elektromagnetizmu a rádiovéj techniky, na ktorých sa paralelne podieľali vedci z viacerých krajín.

3.1 TEORETICKÉ ZÁKLADY A RANÉ EXPERIMENTY

Základná myšlienka radaru mala svoj pôvod v klasických experimentoch s elektromagnetickým žiareniom, ktoré vykonal nemecký fyzik Heinrich Hertz koncom 80. rokov 19. storočia. Hertz sa rozhodol experimentálne overiť skoršiu teoretickú prácu škótskeho fyzika Jamesa Clerka Maxwella. Maxwell sformuloval všeobecné rovnice elektromagnetického poľa a určil, že svetelné aj rádiové vlny sú príkladmi elektromagnetických vĺn, ktoré sa riadia rovnakými základnými zákonmi, ale majú veľmi odlišné frekvencie. Maxwellova práca viedla k záveru, že rádiové vlny sa môžu odrážať od kovových predmetov a lámať dielektrickým médiom, rovnako ako svetelné vlny. Hertz tieto vlastnosti demonštroval v roku 1888 pomocou rádiových vĺn s vlnovou dĺžkou 66 cm (čo zodpovedá frekvencii približne 455 MHz). [15]

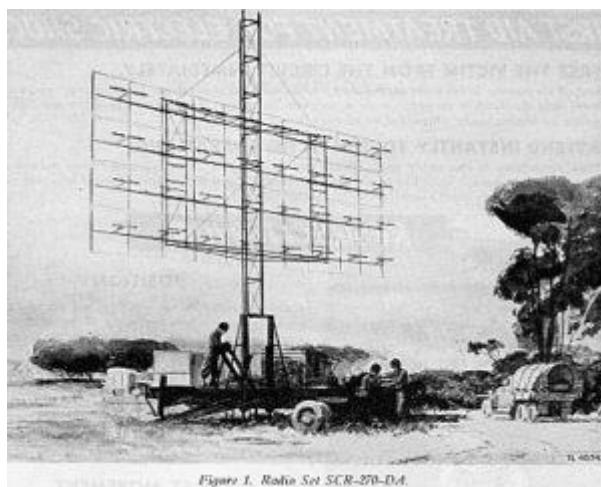
Hertzova práca a jej potenciál ako základ pre detekciu cieľov praktického záujmu v tom čase nezostala bez povšimnutia. V roku 1904 bol nemeckému inžinierovi Christianovi Hülsmeyeovi v niekoľkých krajinách udelený patent na „detektor prekážok a navigačné zariadenie pre lode“, založený na princípoch, ktoré Hertz demonštroval. Hülsmeyer svoj vynález zstrojil a predviedol nemeckému námorníctvu, ktoré ale nemalo žiadny vážny záujem. Až do začiatku 30. rokov 20. storočia jednoducho neexistovala žiadna ekonomická, spoločenská ani vojenská potreba radaru, až kým neboli vyvinuté vojenské bombardéry s dlhým doletom. Toto podnietilo hlavné krajiny sveta hľadať prostriedky na detekciu priblíženia nepriateľských lietadiel. [15]

3.2 MEDZIVOJNOVÉ OBDOBIE A PRELOM V 30. ROKOCH

Počas 30. rokov 20. storočia sa v ôsmich krajinách (USA, Veľká Británia, Nemecko, Francúzsko, Sovietsky zväz, Taliansko, Holandsko a Japonsko

), ktoré sa obávali prevládajúcej vojenskej situácie a už mali praktické skúsenosti s rádiovou technológiou, nezávisle a takmer súčasne začali snahy o využitie rádiových ozvien na detekciu lietadiel. [15]

Prvé pozorovanie radarového efektu v **Americkom** námornom výskumnom laboratóriu (NRL) vo Washingtone, D.C., sa uskutočnilo v roku 1922. Výskumníci z NRL umiestnili rádiový vysielač na jeden breh rieky Potomac a prijímač na druhý. Lod' plaviaca sa po rieke nečakane spôsobila kolísanie intenzity prijímaných signálov, keď prechádzala medzi vysielačom a prijímačom. Princíp radaru bol „znovuobjavený“ v roku 1930, keď L.A. Hyland pozoroval, že lietadlo letiace cez lúč vysielacej antény spôsobuje kolísanie prijímaného signálu. Hoci Hyland a jeho spolupracovníci v NRL boli nadšení z možnosti detekcie cieľov rádiovými prostriedkami a dychtivo sa venovali jej vývoju, vyššie orgány v námorníctve prejavili malý záujem. Až keď sa zistilo, ako používať jednu anténu na vysielanie aj príjem (dnes nazývané monostatický radar), hodnota radaru na detekciu a sledovanie lietadiel a lodí bola plne uznaná. Takýto systém bol demonštrovaný na mori na bojovej lodi USS New York začiatkom roku 1939. Prvými radarmi vyvinutými americkou armádou boli SCR-268 na riadenie protiletadlovej palby a SCR-270 na detekciu lietadiel. Práve SCR-270, ktorý 7. decembra 1941 detekoval približovanie japonských vojnových lietadiel k Pearl Harboru. [15]



Obr. 7. – Radarová jednotka SCR-270 v Pearl Harbor

(Zdroj: infoage.org, rok: 2023)

Nemecko na začiatku druhej svetovej vojny pokročilo vo vývoji radaru ďalej ako ktorákoľvek iná krajina. Nemci používali radar na zemi aj vo vzduchu na obranu proti spojeneckým bombardérom. Radar bol nainštalovaný na nemeckej bojovej lodi už v roku

1936. Vývoj radaru Nemci zastavili koncom roka 1940, pretože verili, že vojna sa takmer skončila. Spojené štáty a Británia však svoje úsilie zrýchlili. Keď si Nemci uvedomili svoju chybu, bolo už neskoro na to, aby dobehli zameškané. Skoro všetky úspešné radarové systémy vyvinuté pred začiatkom druhej svetovej vojny pracovali v pásme VHF. Používanie VHF predstavovalo niekoľko problémov. Šírka lúča VHF je široká, a tá má menšiu presnosť, horšie rozlíšenie a viac nežiadúcich ozvien od zeme alebo iného rušenia ako úzka šírka lúča. Ďalej, časť elektromagnetického spektra VHF neumožňuje široké pásma potrebné pre krátke impulzy, ktoré umožňujú väčšiu presnosť pri určovaní vzdialenosťi. VHF je taktiež náchylné na atmosférický šum, ktorý obmedzuje citlivosť prijímača. Napriek týmto nevýhodám bolo v tej dobe VHF skutočným priekopníckym úspechom. Prví vývojári radarov si dobre uvedomovali, že prevádzka na ešte vyšších frekvenciách je nutná, najmä preto, že úzka šírka lúča sa dá dosiahnuť bez nadmerne veľkých antén. [15]

Spojené kráľovstvo začalo s výskumom radarov na detekciu lietadiel v roku 1935. Britská vláda povzbudzovala inžinierov, aby postupovali rýchlo, pretože sa dosť obávala rastúcej možnosti vojny. Do septembra 1938 bol prvý britský radarový systém, Chain Home, uvedený do 24-hodinovej prevádzky a zostal v prevádzke počas celej vojny. Radary Chain Home umožnili Británii úspešne nasadiť svoju obmedzenú protivzdušnú obranu proti silným nemeckým leteckým útokom, ktoré sa uskutočnili počas prvej fázy vojny. [15]

Aj **Sovietsky zväz** začal pracovať na radare v 30. rokoch 20. storočia. V čase nemeckého útoku na ich krajinu v júni 1941 Sovietsi vyvinuli niekoľko rôznych typov radarov a vyrábali radar na detekciu lietadiel, ktorý pracoval na frekvencii 75 MHz (v pásme VHF). Ich vývoj a výrobu radarových zariadení narušila nemecká invázia a práce sa museli premiestniť. [15]

3.3 POVOJNOVÝ VÝVOJ A CIVILNÉ VYUŽITIE

Po druhej svetovej vojne sa výskum značne spomalil a zameral sa na vyššiu presnosť a nové metódy spracovania. Počas 50. rokov boli publikované dôležité teoretické koncepty, ktoré pomohli postaviť návrh radarov na kvantitatívnejší základ. Medzi ne patrili napríklad základné metódy Dopplerovho filtrovania v radaroch, ktoré sa neskôr stali dôležitými, keď digitálna technológia umožnila, aby sa teoretické koncepty stali praktickou realitou. V 60. rokoch boli do prevádzky uvedené prvé veľké radary s elektronicky riadeným fázovaným polom. Tiež bol vyvinutý systém „Airborne MTI“ na

detekciu lietadiel z paluby iných strojov. 70. roky priniesli obrovský pokrok v digitálnych technológiách, ktoré umožnili praktické spracovanie signálov a dát, čo je nevyhnutné pre moderné systémy. [15]

Radarová technológia sa tiež začala používať v civilnom sektore. Radary sa stali základným pilierom bezpečnosti v civilnom letectve a riadení letovej prevádzky. Keďže lietadiel v dnešnej dobe lieta nakoľko mnoho, pre zachovanie bezpečnosti a plynulosť letovej prevádzky je potrebné mať neustály prehľad o aktuálnej situácii vo vzdušnom priestore. Taktiež sa začali používať aj pri meteorologických pozorovaniach. Podľa použitej frekvencie je totiž možné detektovať ľubovoľne veľké objekty vo vzdušnom priestore, a toto zahŕňa aj zrážky. Takéto radary sú umiestňované nielen na zemskom povrchu, ale aj na palubách moderných lietadiel. [16]



Obr. 8: Radar na letisku M. R. Štefánika v Bratislave

(Zdroj: facebook.com/letiskobratislava, rok: 2018)

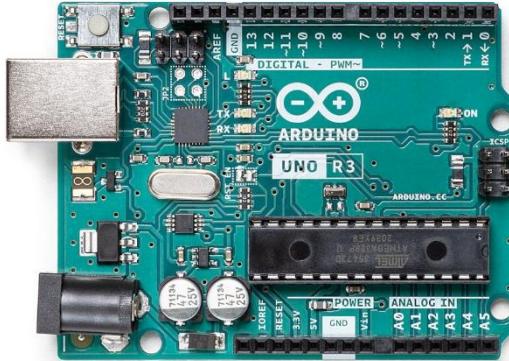
4 ANALÝZA TECHNOLÓGIÍ NA TVORBU PRODUKTU

V tejto časti sa venujeme technickému opodstatneniu výberu hardvérovej a softvérovej platformy. Pri návrhu interaktívneho systému musíme zvoliť technológie, ktoré sú navzájom kompatibilné a umožňujú efektívny prenos dát v reálnom čase.

4.1 HARDVÉROVÁ PLATFORMA: ARDUINO UNO R3

Platforma Arduino je open-source ekosystém založený na mikrokontroléroch. Jeho výber pre môj produkt je podmienený niekoľkými faktormi:

- **Abstrakcia hardvéru** - Arduino poskytuje knižnice, ktoré zjednodušujú prácu s perifériami (I/O piny, ADC prevodníky, časovače...).
- **Spracovanie v reálnom čase** - Mikrokontrolér pracuje na nízkej úrovni bez rézie operačného systému, čo zaručuje predurčené správanie pri čítaní hodnôt zo senzorov (napr. vzorkovanie analógového signálu).
- **Sériová komunikácia** - Arduino disponuje integrovaným USB-to-Serial prevodníkom, ktorý umožňuje okamžitú komunikáciu s PC bez potreby dodatočného hardvéru.



Obr. 9: Vývojová doska Arduino Uno R3

(Zdroj: store.arduino.cc, rok: 2026)

4.2 SOFTVÉROVÉ PLATFORMY: ARDUINO IDE A PROCESSING

Arduino IDE je oficiálne softvérové prostredie určené na písanie, kompliaciu a nahrávanie kódu do mikrokontrolérov Arduino. V rámci analýzy technológií ho posudzujeme ako primárny nástroj na správu firmvéru zariadenia. Je priamo založené na vývojovom prostredí Processing, čo znamená, že bol vytvorený s použitím zdrojového kódu Processingu a zdedil jeho vzhľad, dojem a štruktúru vývojového prostredia, aby

bolo programovanie prístupné, najmä pre vizuálne a interaktívne projekty. Používa programovací jazyk Wiring, ktorý je založený na C/C++, avšak s výrazným zjednodušením.[17]

Processing je grafické programovacie prostredie postavené na jazyku Java. Bol navrhnutý pre vizuálnych umelcov a dizajnérov, čo ho robí ideálnym pre tvorbu GUI (Graphical User Interface) pre Arduino projekty. Processing a Arduino IDE zdieľajú rovnakú funkciu „skicovania“ (sketches). Ich syntax je veľmi podobná, čo uľahčuje paralelný vývoj na oboch stranách. Natívne podporuje 2D aj 3D grafiku (cez OpenGL/P3D), prácu s obrazom a videom, čo by bolo v čistom C++ alebo Pythone náročnejšie na implementáciu. Klúčovým prvkom analýzy je knižnica *processing.serial*, ktorá umožňuje aplikácii pristupovať k systémovým COM portom a asynchronne čítať dátu z Arduina.

4.3 SIMULÁCIA OBVODU - CIRKIT DESIGNER

Cirkit Designer je moderné „all-in-one“ vývojové prostredie určené na návrh, simuláciu a dokumentáciu elektronických obvodov, najmä tých s mikrokontrolérmi ako Arduino. Medzi hlavné funkcie Cirkit-u patrí:

1. **Vizuálny návrh obvodov** - Obsahuje knižnicu reálnych komponentov (senzory, LED, displeje, servomotory, relé...), ktoré môžeme jednoducho prepájať na virtuálnom nepájivom poli (breadboarde).
2. **Interaktívna simulácia** - Môžeme v reálnom čase simulovať obvod a vidieť, ako funguje. Podporuje aj simuláciu kódu pre Arduino, čo pomáha pri vizualizácii a pochopení, ako program ovláda hardvér
3. **Editor kódu (IDE)** - Umožňuje priamo v prehliadači písat kód, kompilovať ho a spúšťať v simulácii.

4.4 KOMUNIKAČNÝ PROTOKOL: SÉRIOVÁ LINKA

Prepojenie týchto dvoch svetov prebieha prostredníctvom protokolu UART. V analýze musíme zvážiť spôsob kódovania dát:

1. **Binárny prenos** - Efektívny na prenosovú rýchlosť, ale náročnejší na synchronizáciu (potreba definovať začiatok a koniec paketu).
2. **ASCII (textový) prenos** - Hodnoty sa posielajú ako čitateľné znaky. Výhodou je jednoduché ladenie a automatická synchronizácia pomocou

oddelovača nového riadku (Line Feed). Pre našu aplikáciu volíme ASCII prenos kvôli spoľahlivosti.

4.5 POROVNANIE S ALTERNATÍVAMI

V rámci analýzy je potrebné zdôvodniť, prečo neboli použité iné technológie:

- **Python (PySerial + Pygame/Tkinter)** - Python je silný konkurent, ale Processing ponúka priamočiarejšiu cestu k rýchlej vizualizácii bez nutnosti riešiť správu okien a externé závislosti.
- **C# (.NET/Unity)** - Ponúka profesionálne rozhranie, ale je výrazne komplexnejší na konfiguráciu sériového portu a náročnejší na systémové zdroje.
- **ESP32 namiesto Arduina** - Ak by aplikácia vyžadovala bezdrôtový prenos (Wi-Fi/Bluetooth), ESP32 by bol vhodnejšou voľbou. Pre kálové (USB) riešenie však Arduino ostáva stabilnejším štandardom.
- **Tinkercad** - Je ideálny na rýchle vzdelávacie simulácie a blokové programovanie, avšak v porovnaní s Cirkit Designerom poskytuje obmedzenú knižnicu reálnych komponentov a menej profesionálne technické výstupy.

5 ELEKTRICKÝ OBVOD PROTOTYPU

V tejto kapitole si podrobne popíšeme obvod môjho radarového prototypu, použité komponenty a funkcie.

5.1 POUŽITÉ KOMPONENTY

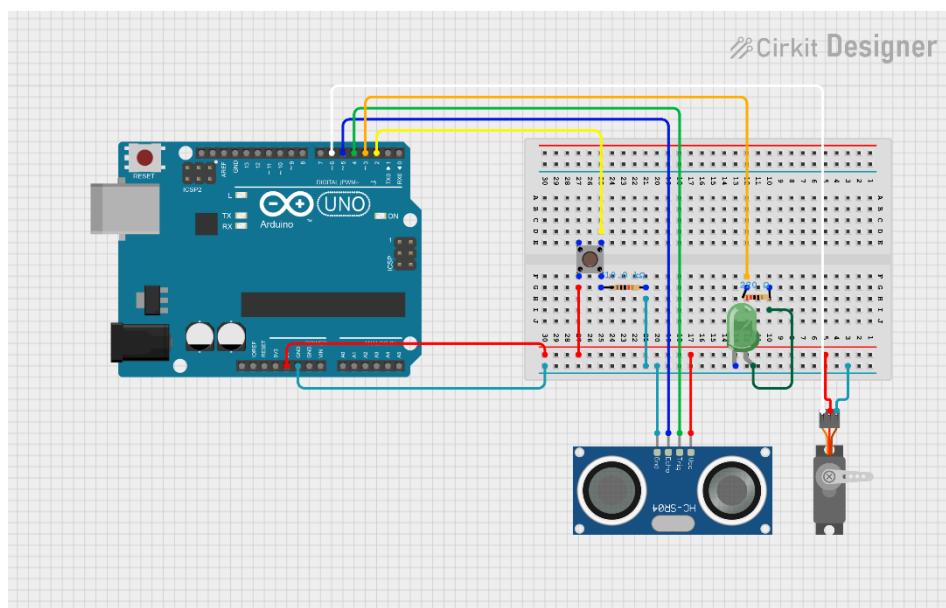
- **Arduino Uno R3** - Ako bolo spomenuté v predošej kapitole, je to mikrokontrolér ideálny pre tento obvod. Je založený na 8-bitovom procesore ATmega328P. Verzia R3 je treťou revíziou tejto vývojovej dosky a stala sa priemyselným štandardom pre výučbu mechatroniky. Poskytuje 14 digitálnych „pinov“, ktoré je možné použiť ako na vstupy, tak aj na výstupy. Z nich je 6 PWM, ktoré pomocou digitálneho signálu (striedanie zapnutia/vypnutia) efektívne riadia zariadenia ako LED diódy alebo servomotory.
- **Ultrazvukový senzor HC-SR04** - Cenovo dostupný a ľahko použiteľný senzor merania vzdialenosť s rozsahom od 2 cm do 400 cm. Skladá sa z dvoch ultrazvukových prevodníkov. Jeden je vysielač, ktorý vysielá ultrazvukové zvukové impulzy, a druhý je prijímač, ktorý počúva odrazené vlny. V podstate ide o SONAR, ktorý sa používa v ponorkách a v princípe sa veľmi podobá radarovým systémom. Senzor má 4 piny:
 - VCC - týmto pinom senzor napájame z 5V pinu
 - GND - pripojený k GND pinu na uzemnenie systému
 - TRIG - vysiela ultrazvukovú vlnu z vysielača
 - ECHO - pomocou neho prijímame odrazený signál [18]
- **Servo motor SG90** - Malé a ľahké servo s vysokým výstupným výkonom. Môže sa otáčať o 180 stupňov (90 v každom smere). Riadime ho pomocou PWM signálov. Má 3 piny:
 - VCC – napájanie z 5V
 - GND – uzemnenie
 - PWM – vstupný pin, ktorý prijíma impulzy z mikrokontroléra. Šírka týchto impulzov určuje presný uhol natočenia hriadeľa motora (napr. 1 ms = 0° , 2 ms = 180°). [19]
- **Tlačidlo** - Po stlačení vodivo prepojí dva body v obvode. Má 4 piny (nožičky), ktoré sú interne spojené v pároch. Pri stlačení sa spoja všetky štyri piny, čím sa

uzavrie elektrický obvod. Piny sú univerzálne, na Arduino vývojovej doske môžu byť pripojené na piny GND, 5V na napájanie a niektorý zo 14 digitálnych pinov.

- **LED dióda** - Má dve nožičky. Kratšia z nich (katóda) musí byť pripojená na uzemňovací pin GND. Dlhšia nožička (anóda) môže byť napojená na ktorýkoľvek digitálny alebo analógový pin.
- **Rezistory** – Funguje na základe premeny energie získanej z prúdiacich elektrónov na teplo. Rezistory je možné použiť na znižovanie napäťa alebo riadenie prúdu. Ich odpor sa meria v ohmoch. Odpor 1 ohm vzniká vtedy, keď cez rezistor preteká prúd 1A a na jeho vývodoch je napätie 1V.

5.2 POPIS OBVODU

Obvod prototypu je znázornený na nasledujúcom obrázku.



Obr. 10 – Elektrický obvod prototypu Arduino radar
(Zdroj: Vlastné spracovanie, rok: 2026)

1. **Riadiaca jednotka (Arduino Uno R3)** - slúži ako "mozog" celého obvodu. Je napájané cez USB kábel, ktorý vedie do PC. Napätie 5V a uzemnenie GND sú vyvedené na napájacie lišty nepájivého poľa.
2. **Ultrazvukový senzor** - bude merať a vraciať vzdialenosť pomocou zvukových vĺn. Piny VCC a GND sú pripojené na nepájivé pole v príslušných riadkoch. Pin Echo (tmavomodrý vodič), ktorý bude odosielat' impulz je pripojený k digitálnemu pinu 5. Pin Trig (zelený vodič), ktorý bude prijímať odrazy impulzov je pripojený k digitálnemu pinu 4.

3. **Servomotor** - malý motorček na obrázku vpravo dole, ktorý sa bude otáčať podľa zaslaného signálu. Piny VCC a GND sú opäť napojené na nepájivé pole pre maximálnu prehľadnosť. Pin PWM (biely vodič), ktorý prijíma signál je priamo napojený na digitálny pin 6. Na Arduine je vedľa tohto pinu znak „~“, čo znázorňuje, že to je PWM pin. Signál pre servomotor je kľúčové zapojiť do takéhoto pinu, pretože nefunguje na princípe zmeny napäťia (napr. 2V pre jeden uhol a 4V pre druhý). Namiesto toho očakáva digitálny signál v podobe pravouhlých kmitov.
4. **LED dióda (zelená)** - slúži ako vizuálna signalizácia, že obvod je aktívny. Ak je Arduino zapojené pomocou USB kábla, dióda bude staticky svietiť. Ak je radar aktívny, bude blikat. Katóda diódy je pripojená GND lištu nepájivého pola. Anóda je pripojená oranžovým vodičom k digitálnemu PWM pinu 3 a chránená $220\ \Omega$ rezistorom, aby nevyhorela.
5. **Tlačidlo** - funguje ako vstupný prvok pre používateľa. Pri jeho stlačení sa zapne servomotor a ultrasonický radar začne snímať. Taktiež začne blikat LED dióda. Ak tlačidlo stlačíme znova, servomotor zastaví, radar prestane snímať a LED dióda prestane blikat. Tlačidlo je zapojené pomocou tzv. pull-down rezistora (s hodnotou $10\ k\Omega$), ktorý je kritický pre stabilitu. Ak je tlačidlo rozpojené, rezistor „stahuje“ napätie na pine k nule, takže Arduino číta čistú logickú 0. Ak je tlačidlo stlačené, vytvorí sa priama cesta medzi 5 V a pinom 4. Kedže odpor rezistora je oveľa vyšší než odpor zopnutého tlačidla, na pine prevládne napätie 5 V a Arduino číta logickú 1. Ak by sme rezistor vynechali a pin 4 by nebol nikam pripojený (stav „v lufte“ alebo floating), pin by fungoval ako malá anténa. Zachytával by elektromagnetický šum z okolia, čo by spôsobovalo náhodné spínanie serva alebo LED diódy, aj keď sa nikto tlačidla nedotkol.

Komponent	Pin na Arduine	Farba vodiča
Tlačidlo	D2	Žltá
LED dióda (anóda)	D3	Oranžová
HC-SR04 (Trig)	D4	Zelená
HC-SR04 (Echo)	D5	Tmavomodrá
Servomotor (signál)	D6	Biela

Tabuľka 1. - Zhrnutie pinov

6 ZÁVERY PRÁCE

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer 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.

7 ZHRNUTIE

 Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer 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.

8 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
- [4] BÖTTCHER, R. Základy radiolokace. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeyer, 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 Hülsmeyer, 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 Hülsmeyer, 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 Hülsmeyer, 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 Hülsmeyer, 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 Hülsmeyer, 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

- [11] BÖTTCHER, R. Přijímač radarového systému. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeyer, 2021. [cit. 2026-01-02]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/09.receivers/rx05.cz.html>
- [12] BÖTTCHER, R. Radar Receiver. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeyer, 2007. [cit. 2026-01-02]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/09.receivers/rx05.en.html>
- [13] BÖTTCHER, R. A-Scope. Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeyer, 2007. [cit. 2026-01-02]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/12.scopes/sc04.en.html>
- [14] BÖTTCHER, R. Plan Position Indicator (PPI). Radar Tutorial. [online]. Nemecko: Christian Hülsmeyer, 2007. [cit. 2026-01-02]. Dostupné na internete: <https://www.radartutorial.eu/12.scopes/sc13.en.html>
- [15] HISTORY OF RADAR. Encyclopedia Britannica. [online]. Chicago (IL): Encyclopædia Britannica, Inc., 1998, 2015. [cit. 2026-01-05]. Dostupné na internete: <https://www.britannica.com/technology/radar/History-of-radar>
- [16] TECHNIKY PREHLÁDOVEJ RADIOLOKÁCIE LIETADIEL VO VZDUŠNOM PRIESTORE I. Airliners.sk. [online]. Bratislava: Airliners.sk, 2017. [cit. 2026-01-05]. Dostupné na internete: <https://www.airliners.sk/techniky-prehladovej-radiolokacie-lietadiel-vo-vzdusnom-priestore-i/>
- [17] ARDUINO, PROCESSING, WIRING - HOW DO THEY RELATE? Arduino Forum. [online]. Arduino Cloud, 2008. [cit. 2026-01-09]. Dostupné na internete: <https://forum.arduino.cc/t/arduino-processing-wiring-how-do-they-relate/2466>
- [18] NEDELKOVSKI, Dejan. Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino Tutorial. HowToMechatronics. [online]. 2022 [cit. 2026-02-06]. Dostupné na internete: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>
- [19] SG90 Micro Servo Datasheet. [online]. London: Imperial College London, 2026 [cit. 2026-02-06]. Dostupné na internete: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf
- [20] Čo treba vedieť o rezistoroch – typy rezistorov, ich zapojenie a výpočet odporu. TME: Transfer Multisort Elektronik. [online]. Łódź: TME, 2022 [cit. 2026-02-06]. Dostupné na internete: <https://www.tme.eu/sk/news/library-articles/page/45818/co-treba-vediet-o-rezistoroch-typy-rezistorov-ich-zapojenie-a-vypocet-odporu/>

9 PRÍLOHY

PRÍLOHA A – ZDROJOVÝ KÓD

PRÍLOHA B - FOTODOKUMENTÁCIA