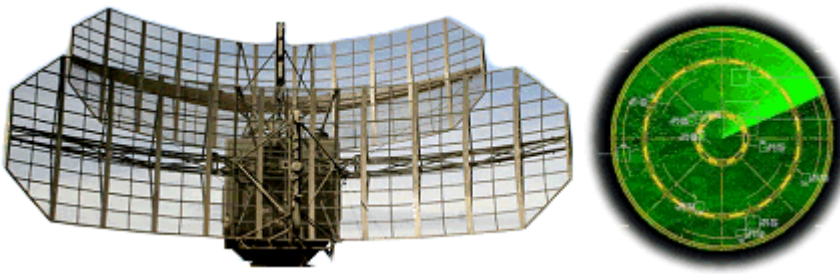


O VLNĚNÍ



V této kapitole se budeme věnovat především zvukovému vlnění, které nás provází doslova na každém kroku. Poznáme

základní vlastnosti vlnění a uvidíme, že radar má mnoho společného s orientací netopýra.

1. Jak vzniká vlnění

V článku jsou vysvětleny základní pojmy, bez kterých se neobejdeme při vysvětlení funkce radaru.

2. Zvukové vlnění

Zvuk vzniká rychlým kmitáním různých těles. Různě vysoké a různě hlasité zvuky vnímáme sluchem. Infrazvuk nebo ultrazvuk je však pro naše ucho neslyšitelný.

3. Aplikace ultrazvuku

Článek je věnován pestrému využití neslyšitelného ultrazvuku ve vědě, technice, medicíně a dalších oborech. Například ultrazvukovou variantou radaru je sonar.

4. Dopplerův jev

Asi víte, že zvuk houkačky projíždějícího auta mění svou výšku. Christian Doppler vysvětlil příčinu tohoto jevu už v roce 1842. Dopplerův jev má dnes velmi důležité uplatnění i v radiolokační technice.

5. Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické vlnění má mnoho podob - od rádiových vln přes viditelné světlo až po radioaktivní záření. V této encyklopedii se věnujeme hlavně mikrovlnám.

Jak vzniká vlnění

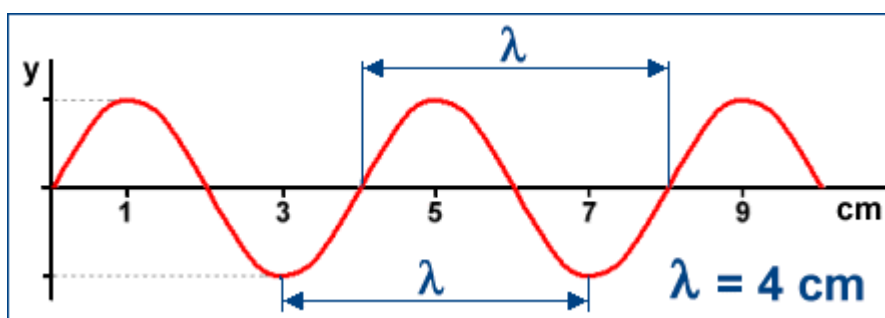
Vhodíme-li do vody kámen, rozkmitají se v místě dopadu částice vody a po hladině se šíří kruhové vlny. Pozorujeme zvláštní druh pohybu, kterému říkáme **vlnění**.

Každé vlnění je charakterizováno třemi důležitými veličinami – frekvencí, rychlostí šíření a vlnovou délkou.



- **Frekvence f** – počet kmitů, které vykoná zdroj vlnění za jednu sekundu. Jednotkou je hertz (Hz), kHz, MHz apod.
- **Rychlost vlnění c** – rychlost, jakou se šíří rozruch od zdroje k dalším bodům prostředí. Jednotkou rychlosti je m/s, km/h, km/s apod.
- **Vlnová délka λ** – je to vzdálenost dvou sousedních maxim (vrchů), nebo dvou sousedních minim (dolů). Jednotkou vlnové délky je m, cm, mm apod.

Graf vlnění má tvar sinusoidy a zobrazuje, jaké jsou výchylky jednotlivých bodů prostředí v určitém okamžiku. Na vodorovné ose grafu je vzdálenost od zdroje, na svislé ose je okamžitá výchylka částic. Ze sinusoidy, znázorňující vlnění, snadno určíme vlnovou délku.



Mezi vlnovou délkou, frekvencí a rychlostí platí základní vztah:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

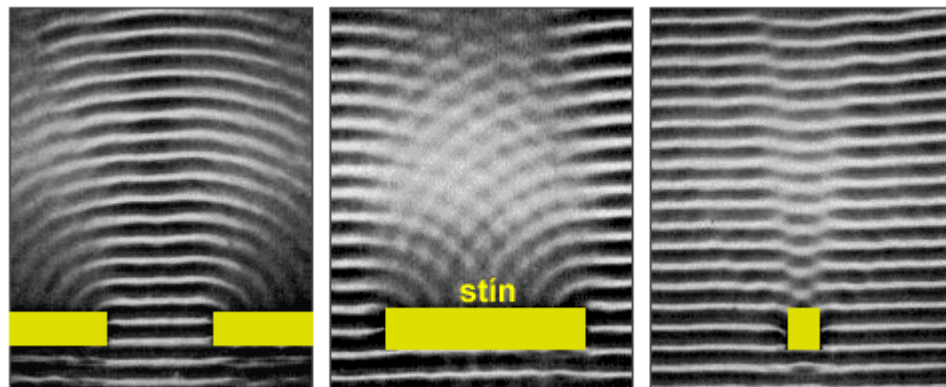
Nejběžnější jsou dva druhy vlnění:

- **Mechanické** – například zvuk, ultrazvuk, vlnění na vodní hladině, vlnění na rozkmitané gumové hadici nebo struně, seismické vlny při zemětřesení apod. Mechanické vlnění se šíří jen v pružném hmotném prostředí, nešíří se ve vakuu.
- **Elektromagnetické** – například rádiové vlny, mikrovlny, světlo, rentgenové záření aj. Může se šířit nejen v hmotném prostředí, ale i ve vakuu. Rychlost

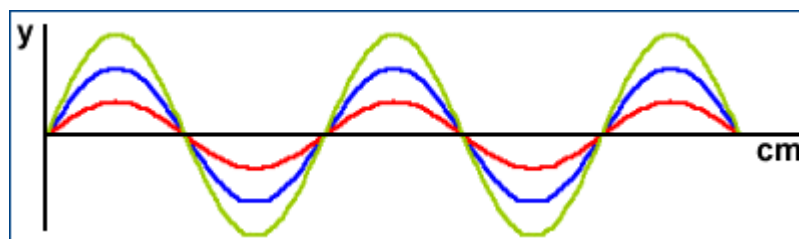
elektromagnetického vlnění ve vakuu ($c = 300\,000\text{ km/s}$) je podle Einsteinovy teorie relativity nejvyšší dosažitelnou rychlostí ve vesmíru.

Všechny druhy vlnění, mechanické i elektromagnetické, mají některé **společné vlastnosti**. K nejdůležitějším patří absorpce, odraz, lom, ohyb a interference. Funkce radaru je založena na odrazu vlnění, konstruktéři však musí brát v úvahu i další jevy:

- **Odraz** – když se dostane vlnění k překážce, odráží se od ní a změní svůj směr podle zákona odrazu. Takto se odráží světlo od plochy zrcadla, zvuk od velké stěny, mikrovlny od letícího letadla apod.
- **Absorpce** neboli pohlcování – část energie vlnění se mění na jiné formy (např. teplo), tím vznikají ztráty a vlnění se zeslabí. V některých prostředích je pohlcování větší, v jiných se téměř neprojevuje.
- **Ohyb** – prochází-li vlnění (třeba zvuk) kolem překážek, dostává se částečně i do prostoru za nimi. Ohybové jevy se projevují hlavně u malých překážek a větších vlnových délek (na pravém obrázku). Mikrovlny nebo viditelné světlo mají malou vlnovou délku a šíří se prakticky přímočaře.



- **Interference** neboli skládání – dospějí-li do určitého bodu dvě vlnění, skládají se a vytvoří jediné výsledné vlnění. Interferencí se mohou taková vlnění zesilovat (na obrázku), zeslabovat, nebo dokonce úplně rušit. Interference rádiových vln může způsobit i poruchy při jejich příjmu.



Zvukové vlnění

Zvuk nás provází celý život a je pro nás jedním z nejdůležitějších zdrojů informací o okolním světě. Zvukové vlnění vzniká tak, že nějaké těleso (struna, deska, membrána reproduktoru, křídlo mouchy, sloupec vzduchu apod.) kmitá s frekvencí v intervalu přibližně **od 20 Hz do 16 000 Hz**. Od kmitajícího tělesa (zdroje) se rozkmitají sousední molekuly a rozruch se postupně rozšiřuje do okolního prostředí. Zvuk se může šířit jen v hmotném prostředí - v plynech, kapalinách nebo pevných látkách. Ve vakuu se nešíří, protože tam nejsou žádné částice, které by mohly kmitat.



Ucho je velmi **citlivý přijímač zvuku**. Dovede reagovat na velmi slabé i velmi silné zvuky a přizpůsobit se jim. Ucho také umí „oddělit“ od sebe různé zvuky, takže můžeme například rozeznat zvuk jednotlivých hudebních nástrojů v orchestru nebo poznat různé lidi podle jejich hlasu.

Při pravidelném kmitání zdroje slyšíme hudební zvuky neboli tóny, nepravidelnými kmity zdroje vzniká hluk, hřmění, šum, praskot apod. Tóny mohou mít různou výšku: tóny s velkou frekvencí nazýváme „vysoké“, tóny s nízkou frekvencí jsou „hluboké“.



Rychlost šíření zvuku

Ve vzduchu je rychlost zvuku přibližně **340 m/s**, tato hodnota mírně roste s teplotou. V kapalinách je rychlost zvuku větší, největší je v pevných látkách.

Vlnová délka zvuku

Ze vztahu pro vlnovou délku $\lambda = c/f$ můžeme vypočítat vlnové délky zvuku v různých prostředích. Zjistíme tak, že ve vzduchu má zvuk při rychlosti 340 m/s vlnovou délku v rozmezí od 2,1 centimetrů (při 16 kHz) do 17 metrů (při 20 Hz). Ve vodě, kde je rychlost zvuku 1500 m/s, leží vlnové délky zvuku v širokém rozmezí od 9,7 cm do 75 m.

Ozvěna

Sluchem rozeznáme dva za sebou následující zvuky, mezi kterými uplyne **aspoň 0,1 sekundy**. Během této doby urazí zvuk vzdálenost 34 metrů. Abychom vnímali ozvěnu, musí být stěna nebo jiná velká překážka ve vzdálenosti aspoň 17 m od nás. V tom případě urazí zvuk celkovou dráhu právě 34 m a ucho rozezná původní a odražený zvuk. Je-li vzdálenost překážky ještě větší, je rozdíl mezi původním a odraženým zvukem ještě zřetelnější. Jestliže je vzdálenost překážky menší než 17 metrů, splývá odražený zvuk se zvukem původním a slyšíme jen nepříjemný dozvuk. Určitě jste se s ním už setkali – vzniká např. při odrazu zvuku od stěn v prázdných místnostech.

$$\text{doba návratu} = \frac{2 \times \text{vzdál. překážky}}{\text{rychlost zvuku}}$$



Na principu ozvěny funguje také radar – jen místo odrazu zvukového vlnění se v něm využívá odraz mikrovln.

Infrazvuk a ultrazvuk

Mechanické vlnění s frekvencí menší než 20 Hz je pro člověka neslyšitelné a nazývá se **infrazvuk**. Vlnění s frekvencí vyšší než přibližně 16 000 Hz člověk rovněž neslyší. Takové vlnění se nazývá **ultrazvuk** a jeho existence byla potvrzena teprve v roce 1845. Sluch člověka nepatří v přírodě k těm nejdokonalejším. „Neslyšitelný“ infrazvuk vnímají například sloni nebo koně, ultrazvukové vlny zase využívá [netopýr či delfín k orientaci](#). Také kočky, psi a jiná zvířata slyší mnohem vyšší frekvence než člověk.

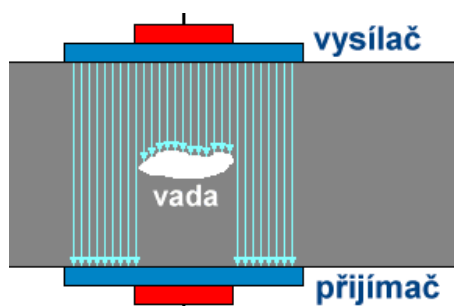
Aplikace ultrazvuku

Ultrazvuk má velký význam ve vědě, v technické praxi, medicíně a v dalších oborech. Ve většině ultrazvukových zařízení se využívá jeho odrazu od různých překážek. Současné výkonné generátory mohou vytvářet ultrazvuk s frekvencí i stovky MHz. Takové vlnění má ve vzduchu vlnovou délku pouhé zlomky milimetru!

Z mnoha praktických aplikací připomínáme jenom ty přístroje, které pracují na podobném principu jako radar. Jen jsou v nich mikrovlny nahrazeny vlnami ultrazvukovými:

Ultrazvuková defektoskopie

V průmyslu se využívá ke kontrole kvality - zjišťuje se jím nestejnoroďost materiálu, bubliny, praskliny a jiné vady kovových výrobků. Zkoušeným výrobkem se nechá procházet ultrazvukový signál, který se na nestejnoroďých oblastech (vadách) odráží nebo pohlcuje. Za vadou vznikne „stín“ a ten se převede indikátorem do obrazové podoby.



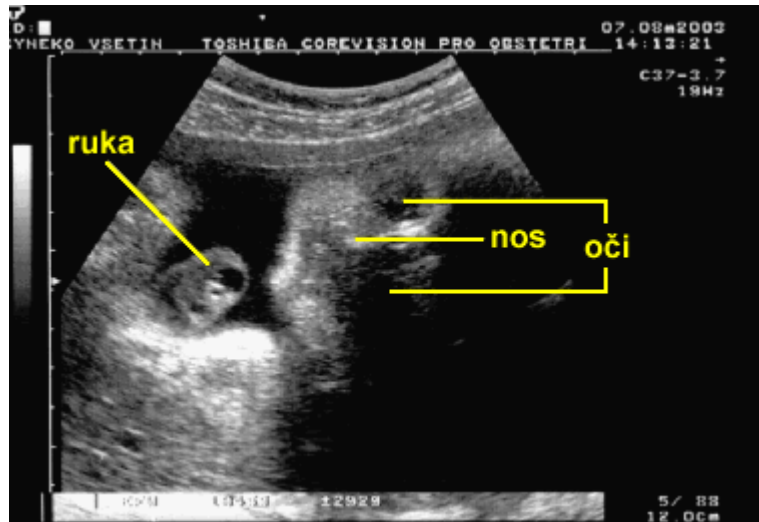
Sonar neboli echolot

Zařízení, které pomocí odrazu ultrazvukových vln umožňuje měřit hloubku moře a reliéf mořského dna, pátrat po vracích potopených lodí nebo sledovat hejna ryb. Princip je obdobný jako u radaru: měří se doba, za kterou se vrátí ultrazvukový signál po odrazu od předmětu ve vodě. Výsledky se zobrazí na displeji (vpravo). Název **SONAR** je zkratkou anglických slov „**SO**und **N**avigation **A**nd **R**anging“, neboli „navigace a měření vzdáleností zvukem“.



Ultrazvuková sonografie

Důležitá lékařská metoda pro zobrazení a vyšetřování vnitřních orgánů. Ultrazvukový signál vysílaný generátorem se po odrazu od různých tkání zachycuje mikrofonom a zpracovává se počítačem jako sonografický obraz. Takto se vyšetřují například ledviny, žlučník nebo srdce. Běžně se ultrazvukem vyšetřují budoucí maminky, kdy lékař na monitoru získá ultrazvukový obraz lidského plodu.



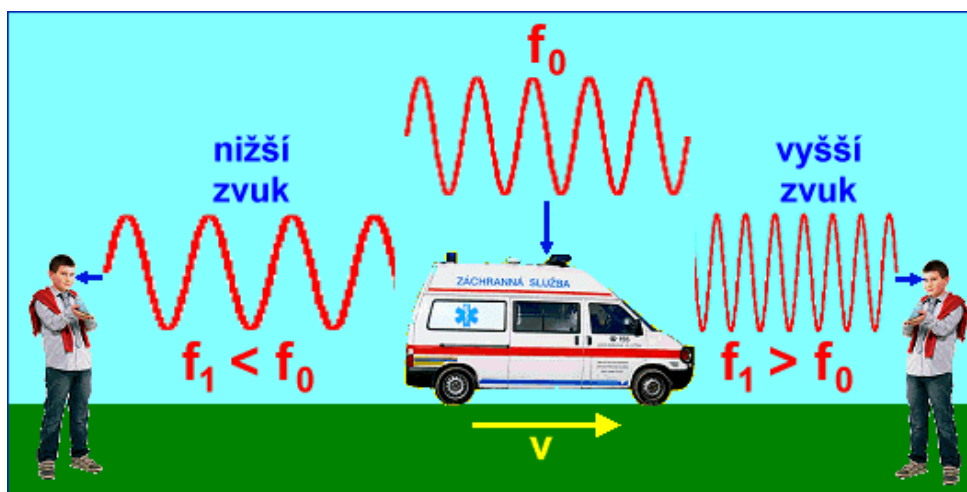
Parkovací senzory

Do zadního nárazníku automobilu je zabudováno několik čidel pro vysílání a příjem ultrazvuku. Při couvání vysílají ultrazvukové vlny, které se odrážejí od případných překážek za vozem. Přístroj průběžně vyhodnocuje změřenou vzdálenost a při přílišném přiblížení k překážce se spustí zvuková a světelná signalizace.



Dopplerův jev

25. května 1842 se konalo zasedání pražské Královské české společnosti nauk. Mladý profesor pražského Polytechnického institutu [Christian Doppler](#) na něm přednesl referát, který zahájil tímto příkladem: „Ze všeobecné zkušenosti víme, že loď pohybující se proti mořským vlnám se musí při plavbě setkat s větším počtem vln než loď, která se pohybuje ve směru šíření vln“. Těmito slovy chtěl přiblížit účastníkům přednášky podstatu svého objevu – frekvence vlnění (například zvuku) vysílaného zdrojem, závisí na rychlosti vzájemného pohybu zdroje a pozorovatele.



Poměrně jednoduchým postupem se dá pro změnu frekvence odvodit vztah:

$$f_1 = f_0 \left(1 + \frac{c}{v}\right) \quad \text{nebo} \quad f_1 = f_0 \left(1 - \frac{c}{v}\right)$$

f_0 – frekvence, kterou zjistí pozorovatel, vůči kterému je zdroj v klidu

f_1 - frekvence, kterou zjistí pozorovatel, vůči kterému se zdroj pohybuje

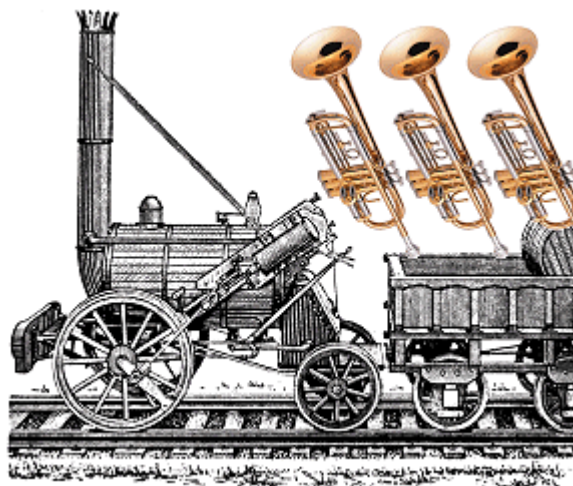
v – rychlost zdroje vůči pozorovateli

c – rychlost, jakou se šíří vlnění

Pohybuje-li se zdroj směrem k pozorovateli, platí vzorec se znaménkem $+$. V tomto případě zaregistruje pozorovatel zvýšení frekvence vlnění. Jestliže se zdroj od pozorovatele vzdaluje, platí vzorec se znaménkem $-$ a zaregistrovaná frekvence je nižší. Dopplerův jev se projevuje **u každého vlnění**. Běžně se s ním setkáme u vlnění zvukového. Vztah však platí i pro libovolné elektromagnetické vlnění – pro světlo, rádiové vlny, mikrovlny apod.

První experimentální důkaz existence Dopplerova jevu podal roku 1845 Holanďan Buys Ballot: na otevřeném vagónu taženém lokomotivou stálo několik trubačů. Pozorovatelé na nástupišti nádraží registrovali zvyšování a snižování tónů při přibližování a vzdalování vagónu. O změně výšky tónu se můžete snadno přesvědčit i vy, až kolem vás bude projíždět houkající sanitka, policejní nebo hasičské auto.

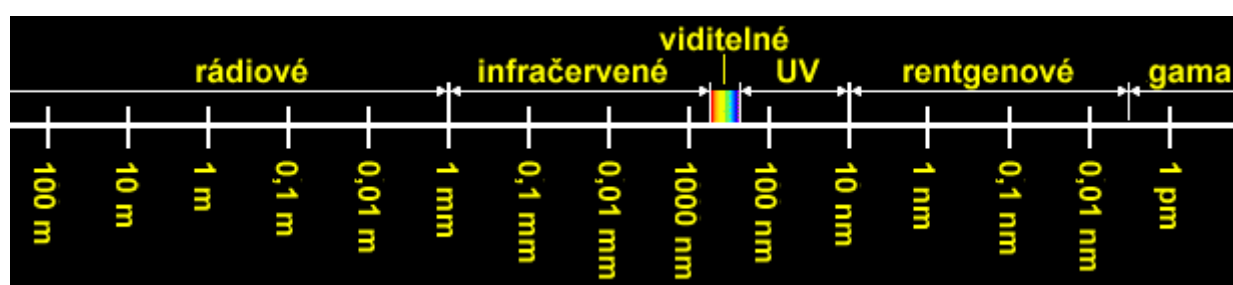
Radary, využívající pro měření rychlosti



Dopplerův jev, se označují jako **dopplerovské radary**. Měření je založeno na skutečnosti, že rozdíl mezi frekvencí vysílaného a odraženého mikrovlnného signálu je přímo úměrný rychlosti jedoucího auta.

Elektromagnetické spektrum

V následujícím přehledu stručně charakterizujeme jednotlivé druhy elektromagnetického záření. Podle vlnových délek (od nejdelších po nejkratší) se spektrum elektromagnetického vlnění dělí na:



1. Rádiové vlny

Tento druh elektromagnetického vlnění může mít vlnovou délku v rozmezí přibližně **2000 m - 1 mm**. Dovedeme ho vytvořit pomocí elektronických zařízení - vysílačů s anténou. Rádiové vlny slouží především k přenosu zvukových, obrazových a dalších informací.

Využívají se od konce 19. století při radiotelegrafickém a od 20. let minulého století i při rozhlasovém vysílání. Rozhlas využívá čtyř vlnových délek rádiových vln - dlouhé, střední, krátké a velmi krátké (FM). Rádiové vlny slouží i k televiznímu přenosu; používají se kratší vlnové délky než u rozhlasu. V nejbližších letech budou mít všechny televizní signály digitální podobu. Rádiové vlny s nejkratší vlnovou délkou (0,1 m - 1 mm) využívají radary, satelitní televize, mobilní telefony, přístroje GPS, mikrovlnné trouby a další zařízení.



2. Infračervené záření

Je vyzařováno rozžhavenými tělesy. Záření je pro nás neviditelné a vnímáme ho jako tepelné záření (sálání) tepelných zdrojů. Infračervené záření je i součástí slunečního záření.

Vlnová délka: 0,1 mm - 790 nm



3. Viditelné světlo

Jediný druh elektromagnetického záření, který přímo vnímáme zrakem. Bílé světlo je možno skleněným hranolem nebo optickou mřížkou rozložit podle vlnových délek na jednotlivé spektrální barvy. Viditelné světlo je významnou složkou slunečního záření, dopadajícího na zemský povrch.

Vlnová délka: 790 nm - 390 nm



4. Ultrafialové záření

Slunce je přírodním zdrojem ultrafialového záření, většina je ho však zadržena zemskou atmosférou. Zdrojem jsou i výbojové trubice, ve kterých vzniká záření průchodem elektrického proudu rtuťovými parami.

Vlnová délka: 390 nm - 10 nm



5. Rentgenové záření

Fotony rentgenového záření mají velkou energii, a proto má toto záření značnou pronikavost. Zemská atmosféra rentgenové záření přicházející z vesmíru nepropouští a chrání nás před jeho účinky.

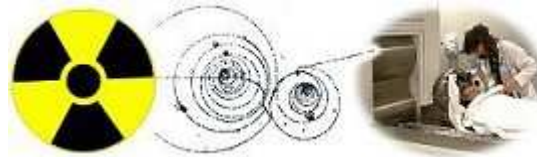
Vlnová délka: 10 nm - 1 pm



6. Záření gama

Radioaktivní záření, které vzniká při jaderných reakcích v jádrech izotopů některých prvků. Vyznačuje se velkou pronikavostí a ionizačními účinky.

Vlnová délka: menší než 1 pm



I když mají jednotlivá elektromagnetická vlnění různé vlastnosti, jedno mají společné: ve vakuu (a přibližně i ve vzduchu) se všechna šíří rychlostí **$c = 300\,000\text{ km/s}$** . V jiných prostředích je jejich rychlost menší.

RADARY

V této kapitole si objasníme základní principy, na kterých je založena funkce radaru neboli radiolokátoru. Podstata je stejná jako u ultrazvukového sonaru - jen místo odrazu ultrazvuku se využívá odrazu elektromagnetického vlnění.

1. Z historie radaru

V tomto článku uvádíme základní mezníky v radarové historii. I když původně sloužily radary k válečným účelům, brzy se rozšířily do mnoha dalších oborů.

2. Princip radaru

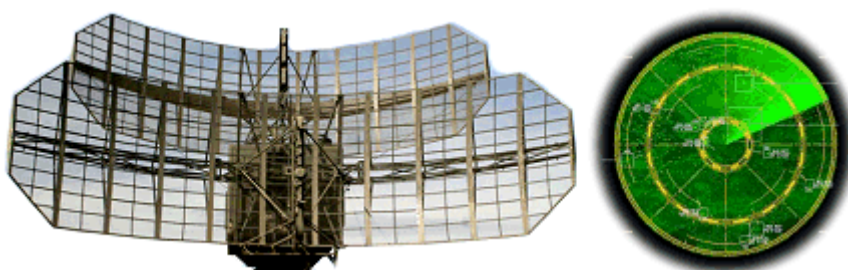
Článek vysvětluje funkci základního typu radaru a popisuje způsob, jak se s jeho pomocí zjišťuje poloha a vzdálenost cíle.

3. Vysokofrekvenční generátory

Základem radiolokátoru je vysokofrekvenční generátor. Podobný generátor však běžně využíváme i v našich domácnostech - je zdrojem elektromagnetických vln, ohřívajících potraviny v mikrovlnné troubě.

4. Radarové antény

Anténa radiolokátoru vysílá elektromagnetické impulzy a po odrazu od cíle je zase přijímá. Kvalitní anténa je proto důležitým prvkem radaru.



Z historie radaru

- **1872** Anglický fyzik J. C. Maxwell vytvořil teorii elektromagnetického pole, ve které předpověděl existenci elektromagnetického vlnění, šířícího se prostorem rychlostí světla.
- **1887** Německý fyzik H. Hertz začal provádět pokusy s jiskrovým výbojem, při nichž objevil elektromagnetické vlnění, předpovězené Maxwellovou teorií.
- **1895** Ruský fyzik A. S. Popov a italský vynálezce G. Marconi začali využívat elektromagnetické vlnění k přenosu signálu od vysílače k přijímači.
- **1896** Německý fyzik K. Braun zkonstruoval katodovou trubici, která se později stala základem televizních obrazovek a radarových monitorů.
- **1904** Německý fyzik Ch. Huelsmeyer prováděl pokusy s odrazem rádiových vln od lodí na Rýnu. Na svou aparaturu s názvem „[Telemobiloskop](#)“ – předchůdce radaru - získal německý patent č. 165546.
- **1920** Německý fyzik H. Barkhausen zkonstruoval elektronku, která umožnila sestavení prvního generátoru mikrovln.
- **20. léta** K navigaci letadel se začaly používat rádiové vysílače, tzv. radiomajáky.
- **1927** Německý fyzik H. Hollmann při pokusech s odrazem rádiových vln od lodí a letadel poprvé použil mikrovlny. Během 2. světové války se podílel na konstrukci německých radarů.
- **1935** Skotský elektrotechnik [sir R. Watson-Watt](#) zkonstruoval první prakticky použitelný přístroj pro rádiovou detekci letadel pomocí mikrovln. Stal se tak skutečným vynálezce radaru. Originál jeho přístroje je exponátem londýnského Science Museum.
- **konec 30. let** Pokusy s radary se prováděly ve Velké Británii, Německu, USA, Sovětském svazu, Francii a Holandsku.
- **1939** Po vypuknutí 2. světové války byly na jižním a východním pobřeží Velké Británie instalovány radary. Jejich úkolem bylo varovat před nebezpečím německých náletů při Bitvě o Británii.
- **1940** Prakticky současně zkonstruovali H. Boot a J. Randall ve Velké Británii a H. Hollmann v Německu magnetron - speciální elektronku, která se brzy stala nejrozšířenějším zdrojem mikrovln pro radary.
- **1940** V USA byl zařazen do výzbroje první vojenský radar SRC-270. Během 2. světové války investovaly Spojené státy do vývoje radarové techniky 2,1 miliardy dolarů. Tato suma byla srovnatelná s náklady na vývoj atomové pumpy.
- **1941** Radary se začaly v široké míře používat k navigaci lodí a letadel, k pátrání po nepřátelských lodích a letadlech, k řízení palby dělostřelectva, jako všestranné palubní radary stíhaček a bombardérů.
Prohlédněte si fotografie několika radarů, používaných během druhé světové války ([pro zvětšení klikněte](#)):



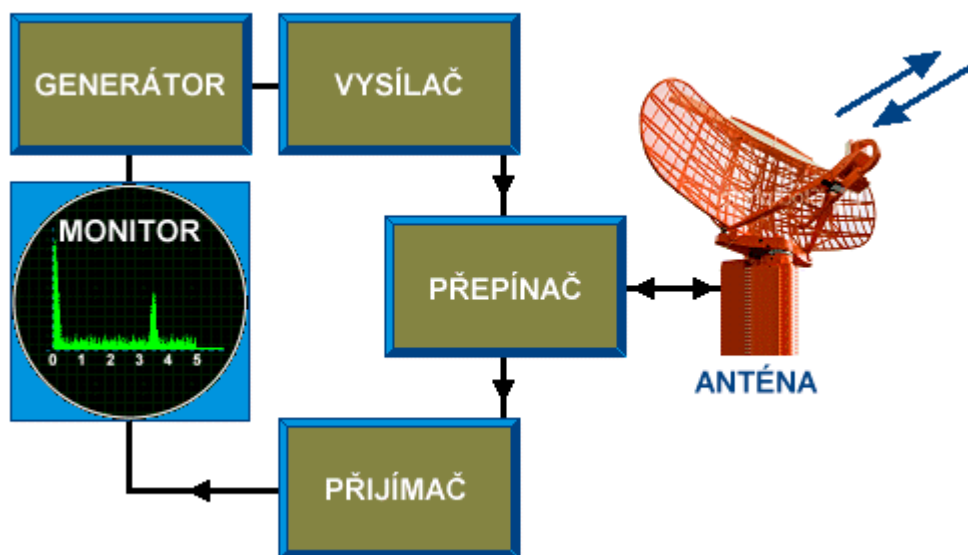
- **1946** První experiment s odrazem radarových paprsků [od povrchu Měsíce](#). Tímto pokusem bylo zahájeno zkoumání planet a jejich měsíců pomocí radarového mapování.
- **1961** Podařilo se zachytit radarový signál odražený od Venuše, která byla v té době vzdálená 40 miliónů km od Země. V roce 1963 se podařil stejný experiment s odrazem od Marsu, vzdáleného 100 miliónů km.
- **1969** Instalace našeho prvního meteorologického radaru (Český hydrometeorologický ústav).
- **2000** Celé naše území sledují dva meteorologické radary: na kopci Praha v Brdech (střední Čechy) a na vrcholu Skalky u Protivanova (střední Morava).

Princip radaru

Konstruktéři prvních radarů měli k dispozici jen velmi omezené možnosti, zejména v oblasti elektronických součástek. Původní radary měly jen malou rozlišovací schopnost a také jejich dosah byl jen několik desítek kilometrů. Během druhé světové války se radiolokační technika výrazně zdokonalila a po válce začalo všestranné využívání radarů nejen ve vojenství, ale i v mnoha civilních oborech. Dnešní radary už mají s původními typy společný jen princip – ten spočívá ve vysílání a odrazu mikrovln od různých objektů. Technické parametry původních a současných radarů jsou však naprosto nesrovnatelné!

Prvním prakticky používaným typem radaru byl tzv. pulzní radar. Jeho funkce je poměrně jednoduchá a porozumí jí i technicky neškolený laik. Stačí důkladně si prohlédnout blokové schéma a animaci činnosti radiolokátoru. Na blokovém schématu vidíme základní prvky přístroje:

- **Generátor** – je zdrojem vysokofrekvenčních signálů.
- **Vysílač** – zpracovává signály z generátoru a přivádí je na anténu.
- **Anténa** – vysílá a přijímá vysokofrekvenční elektromagnetické vlnění.
- **Přijímač** - zpracovává signály, odražené od překážky a zachycené anténou.
- **Přepínač** - připojuje podle potřeby anténu buď k vysílači, nebo k přijímači.
- **Monitor** – je zobrazovací zařízení, připojené současně ke generátoru a k přijímači.



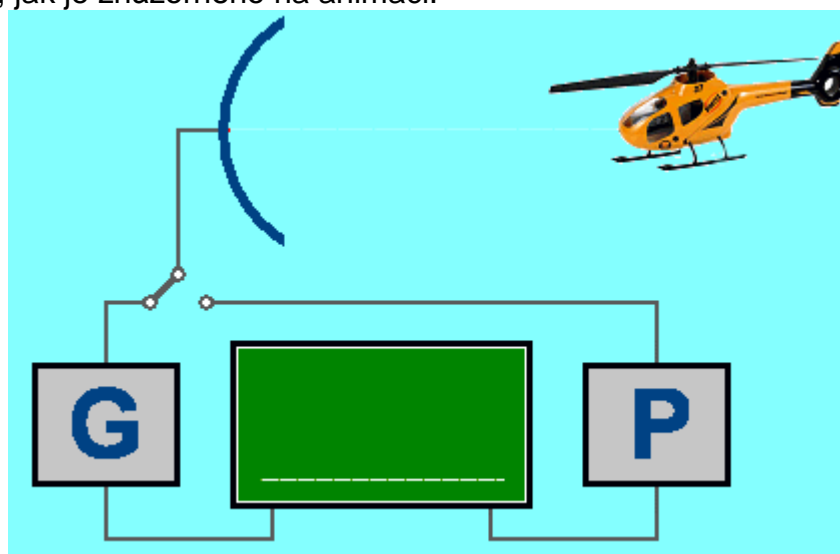
Popíšeme si činnost radaru, jehož anténa je zaměřena směrem k letícímu letadlu:

- Generátor vytvoří velmi krátký elektrický signál (např. o délce 0,001 sekundy), který přes přepínač přichází na anténu. Současně se signál z generátoru dostane také na vstup monitoru.
- Z antény se signál šíří jako elektromagnetické vlnění rychlostí 300 000 km/s směrem k letadlu. Část vlnění se od letadla odrazí zpět k anténě. Mezitím

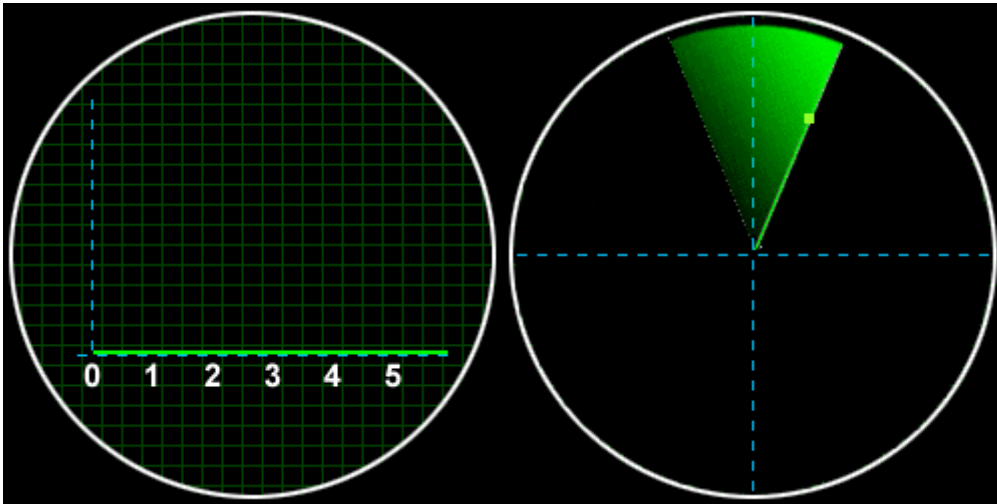
přepínač připojí anténu k přijímači. Přijatý signál se v přijímači zesílí a přivede na monitor.

- Monitor je upraven tak, že současně se signálem z generátoru se na obrazovce dá do pohybu vodorovná světelná stopa. Na začátku stopy vytvoří impulz z generátoru výraznou počáteční výchylku. Po návratu odraženého signálu se na vodorovné stopě vytvoří další výchylka, ovšem méně výrazná.
- Vzdálenost obou výchylek na vodorovné stopě je přímo úměrná vzdálenosti, z jaké se vrací odražený impulz. Tak je možno na stupnici určit okamžitou vzdálenost letadla od antény.

Ve skutečnosti radar vysílá celou sérii signálů, oddělených od sebe krátkými přestávkami, jak je znázorněno na animaci:



Monitorem prvních radarů byla osciloskopická obrazovka. Ze vzdálenosti výchylek způsobených původním a odraženým signálem, se dala na stupnici poměrně přesně zjistit vzdálenost cíle (na levé animaci je to asi 3,5 kilometru). Pro řízení letového provozu je vhodnější jiný způsob zobrazení, který ukazuje nejen vzdálenost, ale i směr, kterým se letadlo pohybuje. V tom případě se anténa pravidelně otáčí a mikrovlnnými impulzy postupně „ohmatává“ prostor kolem sebe. Světelná stopa na kruhovém stínítku vychází vždy z jeho středu směrem k obvodu. Směr stopy na stínítku je shodný se směrem, kterým je právě natočena anténa. Odražené impulzy se na monitoru nezobrazují jako výchylky, ale jako zářivé body. Monitor s rotující stopou (pravá animace) zobrazuje vzdálenost a polohu tří letadel:

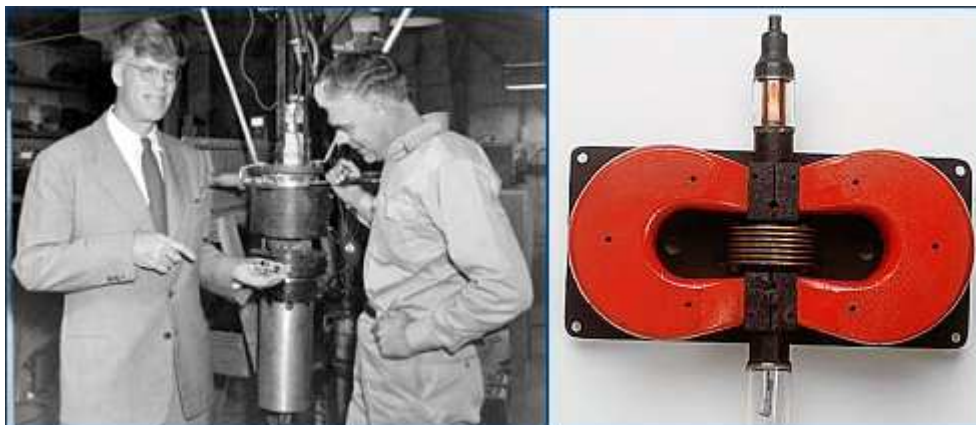


Vysokofrekvenční generátory

Pro první pokusy s radilokací se používaly rádiové vlny s vlnovou délkou několik metrů. Výsledky však nesplnily očekávání vědců a techniků. Úspěch se dostavil až po vynálezu zdrojů elektromagnetického vlnění s vlnovou délkou několika decimetrů nebo centimetrů:

Klystron

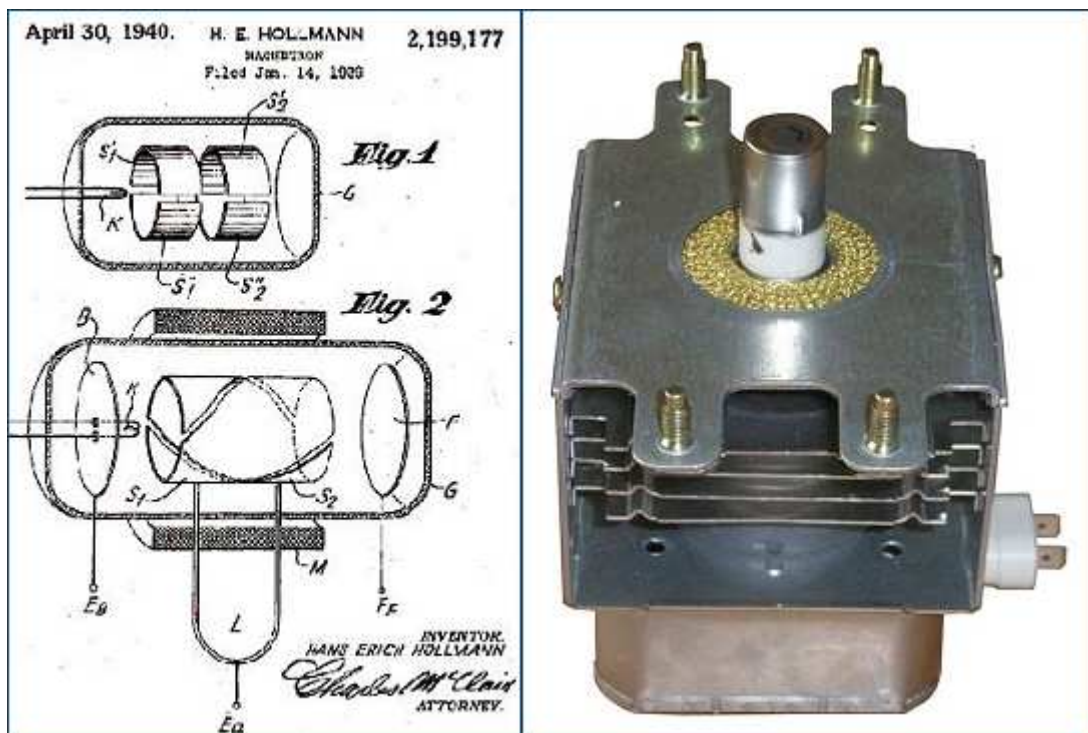
Speciální elektronka, která je generátorem a zesilovačem mikrovln pro radary. Elektrony, vystupující z rozžhavené katody, vytvářejí po průchodu rezonátory shluky částic a jejich energie se mění na energii mikrovln. Klystron vynalezli roku 1937 bratři Russel a Sigurd Varianovi (na levém obrázku).



Magnetron

Nejběžnější zdroj mikrovln, jehož prototyp byl zkonstruován v roce 1940 (na levém obr. je jeho patentový spis). Elektrony, vyletující z rozžhavené katody, jsou urychlovány vysokým napětím a vychylovány magnetickým polem k anodám. Jednotlivé komory anodového bloku představují miniaturní oscilátory - rezonátory o

vysoké frekvenci (několik GHz). Vznikající elektromagnetické vlnění se vlnovodem přivádí na anténu radaru. Magnetron je zdrojem mikrovln i v běžné kuchyňské [mikrovlnce](#) (pravý obrázek).



Elektronka s postupnou vlnou (permaktron)

V této elektronce se pohybují elektrony v elektromagnetické vlně a předávají jí část své energie. Přitom dochází ke vzniku a výraznému zesílení signálů. Permaktron slouží nejen jako vysokofrekvenční generátor v radaru, ale i jako zesilovač signálu např. při televizním přenosu pomocí satelitů.

Polovodičový generátor

Moderní radary všech velikostí a výkonů používají jako zdroj mikrovln vysokofrekvenční tranzistory. Antény takových radarů jsou sestaveny z velkého počtu (i několika desítek tisíc) malých mikrovlnných zářičů. Intenzita výsledného signálu vyzařovaného anténou je součtem intenzit záření z jednotlivých dílčích zářičů. Antény s polovodičovými generátory mají například tvar plochých desek a říká se jim fázované antény. Vyzařování signálů z takových antén se ovládá elektronicky.

Radarové antény

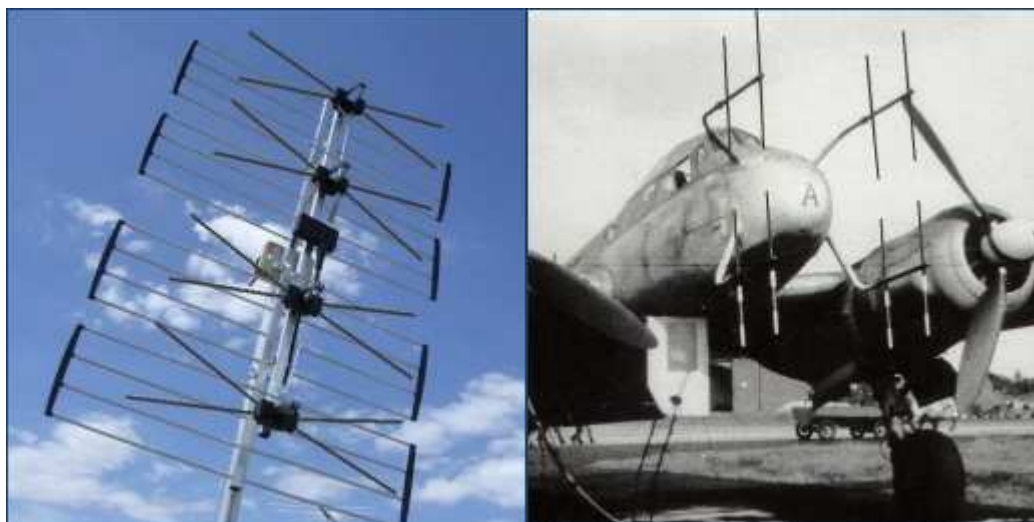
Kvalitní anténa je jedním z nejdůležitějších prvků každého radaru. Může fungovat ve dvou režimech – jako anténa vysílací, nebo přijímací:

- **Vysílací anténa** – vyzařuje energii elektrických kmitů generátoru do okolního prostoru ve formě elektromagnetického vlnění. U rozhlasových a televizních vysílačů je důležité, aby se signál z antény šířil na všechny strany. Signál radaru však musí mířit jen do jednoho, přesně definovaného směru. Radarová anténa proto musí mít takové rozměry, tvar a uspořádání prvků, aby její vyzařování bylo co nejúčinnější a splňovalo všechny náročné požadavky.
- **Přijímací anténa** – přeměňuje energii dopadajícího elektromagnetického vlnění na elektrické kmity, které se pak přivádějí do obvodů přijímače. Také její konstrukce závisí na účelu, kterému má sloužit. Anténa radaru musí spolehlivě zachytit signál odražený od objektu a současně vyloučit signály přicházející z jiných směrů.

ZÁKLADNÍ TYPY ANTÉN

Dipól

Jedná se o nejjednodušší typ antény ve tvaru dvojice tyčí, nebo smyčky. Pro dosažení dobré účinnosti musí být délka dipólu rovna polovině vlnové délky vysílaného nebo přijímaného vlnění. Proto se tato anténa označuje jako půlvlnný dipól. Jednoduchý dipól je obvykle doplněn dalšími prvky, případně se dipóly propojují do soustav.

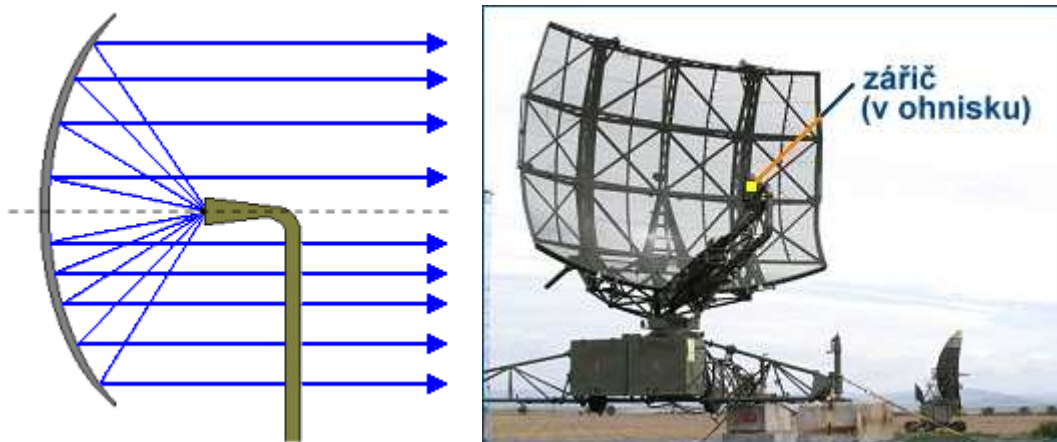


Anténní soustava se 4 dipóly (vlevo) a dipólová anténa radaru letadla ze 2. světové války (vpravo)

Parabolická anténa

Tento typ je při práci s mikrovlnami nejpoužívanější. Má tvar rotačního paraboloidu a slouží nejen k radiolokaci, ale např. i k příjmu satelitního televizního vysílání. Parabolický tvar přijímací antény zajišťuje, že přicházející signály z určitého směru se po odrazu od paraboly soustřeďují do jednoho bodu - **ohniska**. Z něho se výsledný

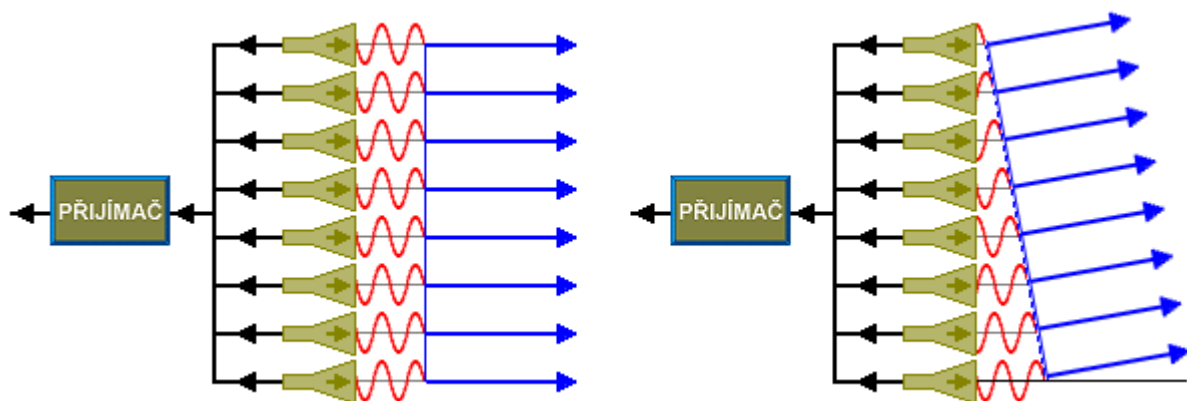
signál přivádí do přijímače. Pokud je naopak v ohnisku umístěn výstup z vysokofrekvenčního generátoru (zářič), funguje anténa jako vysílací. Energie ze zářiče se po odrazu od paraboly soustředí do úzkého svazku mikrovln.



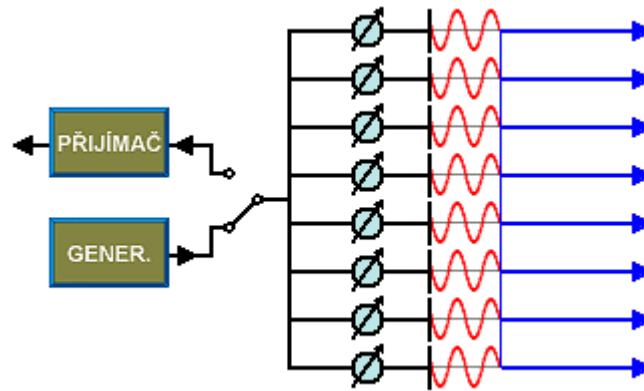
Fázovaná (plochá) anténa

Antény některých typů moderních radarů nejsou parabolické, ale mají tvar plochých desek. Rozdělují se na aktivní a pasivní.

Aktivní fázovaná anténa je tvořena velkým počtem (i několik desítek tisíc!) malých modulů. Každý modul obsahuje miniaturní polovodičový vysokofrekvenční generátor, tzv. vysílací a přijímací modul (T/R modul – transmitter/receiver) o malém výkonu, např. několik wattů. Jeho vysokofrekvenční energie je vyzářena do určitého směru. Výkon a způsob vysílání každého modulu je možno elektronicky ovládat a tím vytvořit výsledný svazek mikrovln požadovaných vlastností. Směr vyzařování svazku se dá elektronicky plynule měnit (obr. vpravo), a proto může být konstrukce antény nepohyblivá.



Pasivní fázovaná anténa je také tvořena velkým počtem zářičů. Tyto zářiče však – na rozdíl od aktivní antény – neobsahují polovodičové vysokofrekvenční generátory. Jsou napájeny jediným společným vysokofrekvenčním generátorem o velkém výkonu, jehož signál se přivádí na anténu a teprve zde se rozděljuje k jednotlivým zářičům prostřednictvím fázovačů (phased shifter). I u pasivní antény se může výsledný svazek mikrovln elektronicky ovládat a upravovat.



Pasivní anténní soustava protiletadlového raketového systému PATRIOT (vlevo)
a aktivní fázovaná anténa palubního radaru letadla Gripen (vpravo)

Prohlédněte si fotografie vysílacích a přijímacích antén pro různá pásma rádiových vln. S těmito a podobnými anténami se běžně setkáváte i ve vašem nejbližším okolí na střechách a stožárech ([pro zvětšení klikněte](#)):



APLIKACE RADARŮ

Tato kapitola je nejrozsáhlejší, protože rozsáhlé je také využití radaru. Dnes už nejde jen o vojenské aplikace. S radary se setkáváme i v mnoha civilních oborech od letecké nebo námořní navigace přes měření rychlosti až po astronomická měření.

1. Hlavní oblasti aplikací

Z mnoha oblastí, kde se používají radary, jsme vybrali jen ty nejdůležitější. Možná budete překvapeni, jak důležité služby moderní radiolokační technika poskytuje.

2. Rozdělení radarů

Víte, čím se liší primární radar od sekundárního? A víte, čemu se často nesprávně říká radar pasivní? Pokud ne, dozvíte se o nich v tomto článku.

3. Policejní radary

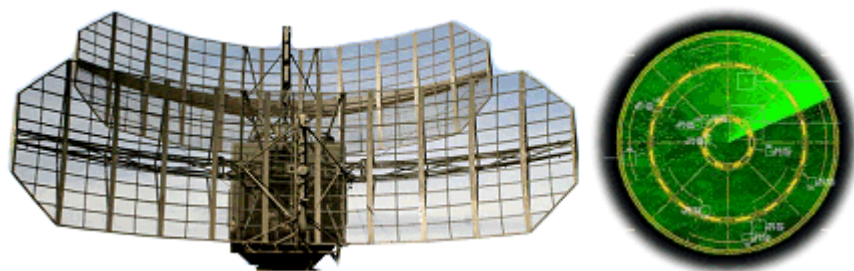
Radarové měření rychlosti automobilů zná asi každý. Při něm se uplatní i Dopplerův jev, který známe z kapitoly o zvukovém vlnění.

4. Radary a počasí

Radarové meteorologické snímky známe například z televizních předpovědí počasí. Poskytují odborníkům i laikům dobrou představu o stavu a vývoji oblačnosti.

5. Armádní radary

Radary jsou pro moderní armádu nepostradatelné. V tomto článku se seznámíme s několika radarovými systémy, které používají naši vojáci k různým účelům. A také Vás seznámíme s radarem, se kterým se počítá v



protiraketové obraně území České republiky.

Hlavní oblasti aplikací

První radary z období 2. světové války měly výhradně vojenské použití. Moderní radary se dnes běžně uplatňují jak v armádě, tak i v nejrůznějších civilních oborech. Hlavní oblasti nasazení radarů **společné pro civilní i vojenský sektor** jsou:



**navigace a řízení provozu
vyhledávání a sledování cílů
meteorologie
mapování a zobrazování
geologická a jiná měření**



Letecká, lodní a pozemní doprava

Pomocí primárních a sekundárních radiolokátorů se kontroluje a řídí provoz na letištní ploše i ve vzdušném prostoru. Zvláště důležitá je možnost navigace letadel i při nepříznivém počasí a v noci. Stejně potřebné jsou radary pro zajištění bezpečné plavby a navigace námořních i říčních lodí.

Meteorologie

Meteorologické radary zachycují a zpracovávají signály, odražené od mraků s dešťovými kapkami nebo sněhovými vločkami. Pro spolehlivé předpovídání počasí jsou výsledky radarových měření velmi důležité, celé naše území monitorují dva velké meteorologické radary.

Geodézie a kartografie

Radarová měření slouží zeměměřičům k přesnému měření polohy objektů v terénu a vzdáleností mezi nimi. Radary pracující v milimetrovém pásmu slouží k trojrozměrnému radarovému mapování zemského povrchu.

Měření rychlosti

Všichni známe nejrozšířenější „civilní“ využití radaru při policejním měření rychlosti vozidel. Údaje o rychlosti však nemusí sloužit jen k udělování pokut. Mohou se uplatnit například při ovládání světelných semaforů tak, aby se zvýšila plynulost jízdy aut v hustém městském provozu.

Kromě společných oblastí využití plní radary i specifické vědecké, technologické nebo vojenské funkce, například:

Kosmický výzkum a astronomie

Radarová měření se používají k navigaci při spojování družic a kosmických lodí (např. na mezinárodní stanici ISS). Kosmické sondy, směřující k planetám sluneční soustavy, jsou vybaveny radarovými dálkoměry a výškoměry. Radarové snímkování povrchu planet je důležitým zdrojem informací o těchto tělesech, vzdálených od nás i stamilióny kilometrů.

Radarový snímač hladiny

Využívá se k měření výšky hladiny ve velkých uzavřených nádržích, například v podzemních zásobnících pohonných hmot. V horní části nádrže je nainstalována radarová anténa, která vysílá impulzy směrem k hladině kapaliny. Z časového rozdílu mezi vyslaným a přijatým impulzem se určí výška hladiny, objem kapaliny v nádrži, rychlost změny hladiny a další údaje.

Vojenské aplikace

V této oblasti našly své místo už první radary. Dnes slouží například k řízení letového provozu a navigaci, k detekci a sledování pozemních, námořních i vzdušných cílů, jako palubní střelecké radiolokátory. Bez nich by nebyla možná včasná výstraha na vzdálenost stovek i tisíců kilometrů v rámci protivzdušné obrany, jsou i nezbytnou součástí globálního systému protiraketové obrany atd.

Některé z uvedených aplikací jsou tak zajímavé, že jim v naší encyklopedii věnujeme zvláštní články.

Rozdělení radarů

Dnešní civilní i vojenské radary se navzájem liší svou konstrukcí, rozměry, výkonem, přesností, způsobem zobrazení výsledků a mnoha dalšími parametry. **Podle funkce** se dělí na dvě hlavní skupiny, na radary primární a sekundární:

Primární radar

Vysílá elektromagnetické vlnění, které se odráží od cíle a část se ho vrací zpět k přijímací anténě. Takto pracovaly již první typy radarů. Primární radary poskytují informace o poloze, případně rychlosti cíle. Jejich funkce nevyžaduje žádnou spolupráci s objektem, od kterého se elektromagnetické vlny odrážejí.

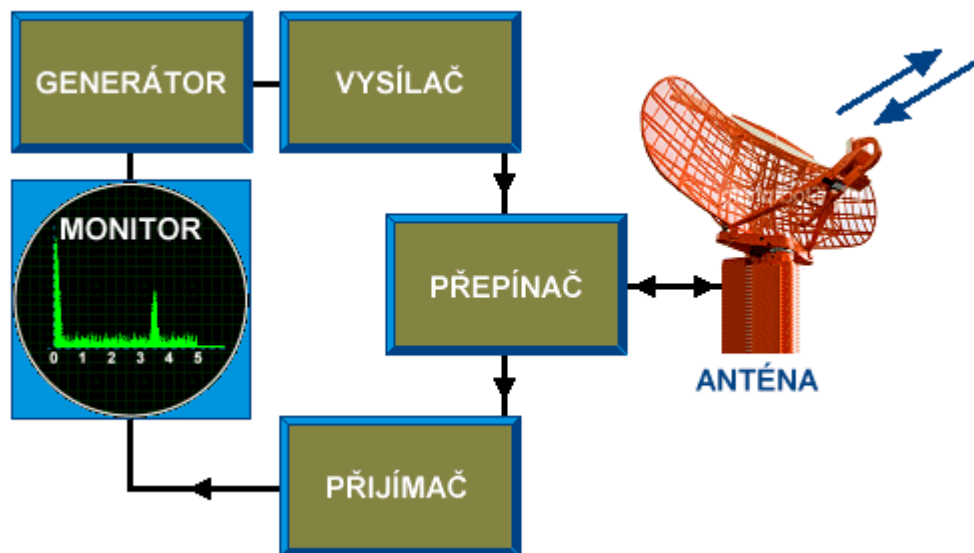
Sekundární radar

Ke své činnosti vyžaduje aktivní spolupráci sledovaného cíle, např. letadla. Vysílací anténa radaru vyšle k letadlu elektromagnetický signál (dotaz) a čeká, až letadlo na tento dotaz zareaguje. Sekundární radary patří k základnímu vybavení pracoviště, které řídí letový provoz na letišti a v jeho okolí. Na letišti je umístěno vysílací zařízení - tzv. dotazovač, který pravidelně vysílá směrem k letadlům elektromagnetické „dotazy“. Na palubách letadel jsou speciální vysílače - tzv. odpovídače, které na dotazy „odpovídají“ svým vlastním kódem, přiděleným pro daný let střediskem řízení letového provozu. Odpovědi z letadel jsou zachyceny přijímací anténou sekundárního radaru, dekódují se a na jejich základě se jednotlivá letadla identifikují. Na obrázku je dvojice antén sekundárního radaru naší výroby.

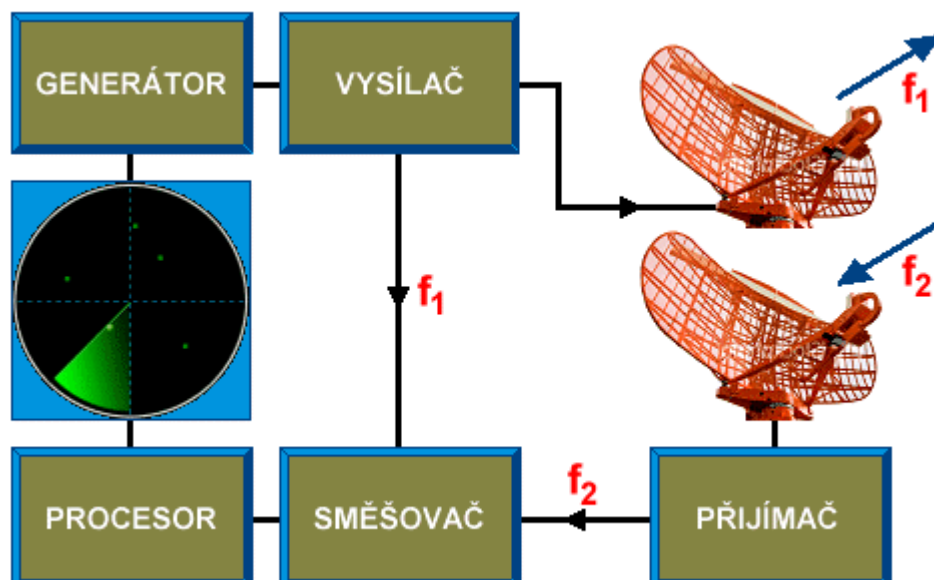


Radary však můžeme rozdělit i jinak - **podle režimu**, ve kterém vysílají elektromagnetické vlny. Z tohoto hlediska se radary dělí na pulzní (vysílají jednotlivé impulzy) a radary s kontinuální vlnou (jejich vysílání je spojitě):

- **Pulzní radar** - má jedinou anténu, která se střídavě připojuje k vysílači a k přijímači. Nejprve se z ní vyšle krátký elektromagnetický impulz a po přepnutí se přijímá signál odražený. Tímto radarem se dá určit směr, vzdálenost a výška letadla.



- **Radary s kontinuální vlnou** - vysílá nepřerušovaný signál a nepřerušovaný je také přijímaný signál, odražený od objektu. Proto musí mít tento radar dvě antény – vysílači a přijímači. Tyto typy radarů používá např. policie k měření rychlosti vozidel.



Pasivní sledovací systém

Kromě primárních a sekundárních radarů se v armádě používají také tzv. pasivní radary. Ve skutečnosti se však nejedná o radary, ale složitý elektronický systém, který nepátrá po letadlech pomocí odrazu mikrovlnných signálů. Polohu letadel vyhodnocuje na základě příjmu elektromagnetických vln, které letouny samy vysílají (např. komunikace s letištěm, signály palubních radarů a jiné zdroje záření) – a tím se prozradí. Naši konstruktéři dosáhli ve vývoji pasivních radarů výborných výsledků. Na obrázcích je instalace jedné z antén pasivního sledovacího systému VĚRA.

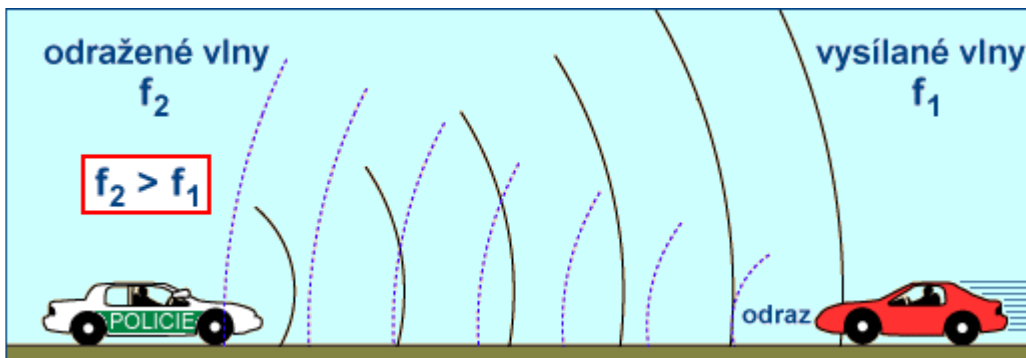


Policejní radary

Radar je neocenitelným pomocníkem policie: dokáže nejen změřit okamžitou rychlost jedoucího vozidla, ale současně zajistí i nezbytnou dokumentaci o měření. Měření rychlosti probíhá s využitím Dopplerova jevu – porovnávají se frekvence vysílaného a odraženého signálu. Čím rychleji auto jede, tím větší je **rozdíl obou frekvencí**.



Radar pro měření rychlosti má nepatrný výkon kolem 1 mW a vysílá signály na frekvenci 34 GHz (jejich vlnová délka je 8,8 mm). Z vysílací antény směřuje signál k měřenému vozidlu, odráží se od něho a přijímací anténa zachycuje odražený signál. Elektronika radaru z rozdílu frekvencí původního a odraženého signálu vypočítá rychlost auta, porovná s maximální povolenou rychlostí a také zhotoví fotografii. Je-li výsledek pro řidiče nepříznivý, přichází na řadu sankce ...



Stále častěji se v obcích setkáváme s tabulemi, informujícími řidiče o jejich aktuální rychlosti. Opět se jedná o radar, pracující s Dopplerovým jevem, výsledky měření se průběžně zobrazují na světelné tabuli.

Dopplerovský radar

Naše policie je vybavena radary RAMER-7, které pracují v mikrovlnném pásmu 34,0 a 34,3 GHz. Úzký radarový paprsek má velmi malý vysílací výkon, rychlost se měří na vzdálenost kolem 35 metrů. Radar je obvykle zabudován v policejním autě, měření se může provádět ze stojícího i jedoucího auta. Průběh a výsledky kontroly jsou zdokumentovány digitální kamerou a přeneseny do počítače. Pro noční měření je radar s kamerou doplněn bleskem.



Laserový měřič rychlosti

Princip měření je obdobný jako u klasického radaru, místo mikrovln se používá světelný laserový paprsek. Zařízení je schopno změřit rychlost a přestupek i fotograficky zdokumentovat, včetně detailního snímku státní poznávací značky a obličeje řidiče. Snímky se ukládají na paměťovou kartu pro další zpracování.



Radary a počasí

Meteorologické radary pracují na klasickém principu odrazu mikrovln od vzdálených objektů. Pro letecký nebo policejní radar jsou odrazejícím objektem letadla, nebo automobily. Antény meteorologických radiolokátorů zaměřují své paprsky s vlnovou délkou 5,3 cm směrem k mrakům a čekají na jejich odraz od drobných vodních kapek, ledových krvinek či sněhových vloček. Takovým způsobem se získávají okamžité a přehledné informace o dešťových nebo sněhových srážkách na velkém území. Intenzita odraženého signálu závisí především na vzdálenosti mraků a na velikosti odrazejících srážkových částic. Z výsledků radarového měření je možno určit druh částic, intenzitu srážek, prostorové rozložení oblačnosti i její pohyb.

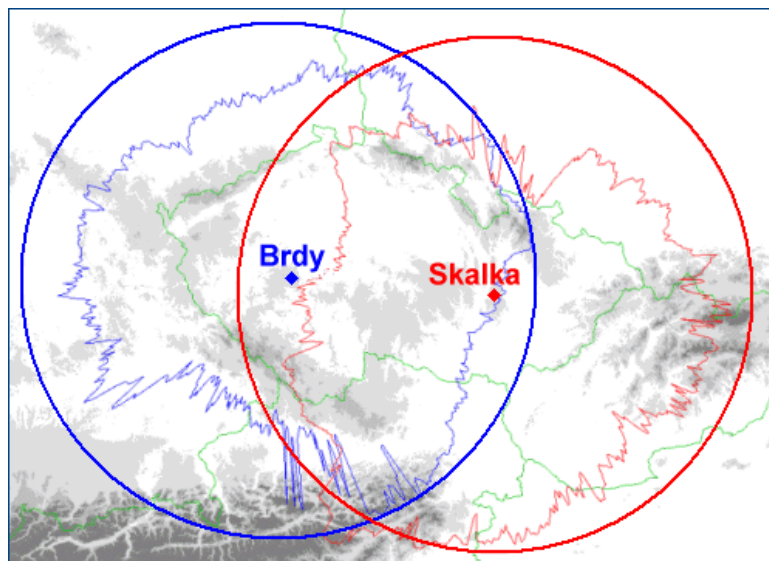
Pro správné vyhodnocení získaných údajů se radarové odrazy zobrazují na počítačovém monitoru v barevné stupnici podle intenzity srážek. Radarový obraz má ve vodorovné rovině rozlišení 2 x 2 km. Na animaci je **série radarových snímků**, které zobrazují vývoj srážkové oblačnosti nad naší republikou ve dnech 14. a 15. září 2008.

Radarové snímky oblačnosti (14. a 15.9.2008)

Radarová měření, doplněná údaji z pozemních meteorologických stanic a z meteorologických družic, přispívají k větší přesnosti a spolehlivosti krátkodobých i střednědobých předpovědí počasí. Přesné předpovědi uvítáme nejenom před plánovaným odjezdem na dovolenou. Mnohem důležitější jsou pro zajištění bezpečného leteckého provozu, pro lodní i pozemní dopravu, zemědělství, stavbaře a další obory.

Vzhledem k zakřivení zemského povrchu jsou radarová data spolehlivá jen do vzdálenosti 100 až 200 km od radarové antény. Proto se kombinují údaje z několika radarů sítě, pokrývající dnes celé evropské území. V naší republice do této sítě patří dva meteorologické radary Českého hydrometeorologického ústavu: na kopci Praha v pohoří Brdy (střední Čechy) a na vrchu Skalka u Protivanova (střední Morava). Tyto dopplerovské radary mají impulzní výkon 250 - 300 kW, pracují na frekvenci 5,6 GHz a jejich antény mají průměr 4,2 m. Maximální dosah obou přístrojů je kolem 260 kilometrů.

Mapka ukazuje maximální dosahy obou našich meteorologických radarů.



Armádní radary

Radarová technika se začala intenzivně rozvíjet v době hrozícího válečného konfliktu koncem 30. let minulého století. V období druhé světové války se staly radary běžnou součástí protivzdušné obrany a hrály stále důležitější roli i v leteckých a námořních bojích. V moderní armádě se uplatní radiolokátory nejrůznějších typů v mnoha oblastech. Řada aplikací se shoduje i s civilním použitím. K hlavním oblastem patří zejména:

- [Vyhledávání](#) nepřátelských letadel, lodí i pozemních cílů.
- [Včasná výstraha](#) před nebezpečím vzdušného napadení.
- Detekce a určování polohy letadel a lodí pro řízení jejich provozu.
- [Přehledové a přibližovací](#) radary pro navigaci letadel, lodí a pozemních vozidel.
- Měření letové výšky nad terénem (radarový výškoměr).
- [Řízení palby](#) - dělostřelecko, zbraňové systémy.
- Navádění raketových řízených střel.
- Mapování a měření vzdáleností na zemském povrchu.
- Zabezpečení lodní a letecké dopravy [palubními radiolokátory](#).
- Meteorologická měření, předpověď počasí.
- [Radarové stanice](#) systémů obrany před balistickými řízenými střelami.

I z tohoto neúplného přehledu je vidět, že armádní radiolokátory hrají opravdu důležitou roli. Jako konkrétní ukázky radiolokátorů, sloužících naší armádě, jsme vybrali následující typy:

- Mobilní radiolokátor jednotek pozemní protivzdušné obrany P-19.
- Přehledové radiolokátory RL-4 a RL-5
- Mobilní dělostřelecký radar ARTHUR.
- Páteří radar NATO.

A připojili jsme i radar ze systému protiraketové obrany, který v ČR ještě nemáme, ale o kterém se uvažuje v souvislosti s rozšířením protiraketové obrany do ČR a Polska.

- Radiolokátor EBR (European Based Radar) systému protiraketové obrany.

Prohlédněte si fotografie několika radarů, používaných v současné době naší armádou ([pro zvětšení klikněte](#)):



Prohlédněte si fotografie radarové stanice systému protiraketové obrany, která je dosud umístěna na Kwajaleinu na Marshallových ostrovech v Tichém oceánu a která

by mohla být v budoucnu umístěna v ČR ve vojenském újezdu v Brdech ([pro zvětšení klikněte](#)):



Radiolokátor P-19

Tento přehledový radar je určen k radiolokačnímu průzkumu vzdušného prostoru republiky. Zjišťuje polohu a vzdálenost vzdušných cílů a pomocí dotazovače je schopen rozpoznat také jejich příslušnost. Radiolokátor prošel důkladnou modernizací, při které bylo původní analogové zpracování signálů převedeno na zpracování digitální. Po této modernizaci splňuje radar současné požadavky na identifikaci vzdušných cílů.

Přehledové radiolokátory RL-4 a RL-5

Tyto radiolokátory jsou určeny k zabezpečení letového provozu na letištích, k průzkumu vzdušných cílů a k zabezpečení aktivních prostředků protivzdušné obrany. Zachycují vzdušné cíle a identifikují jejich souřadnice (azimut a šikmou vzdálenost). Slouží ke sledování cílů nad terénem (se silnými odrazy od pozemních předmětů), za nepříznivých povětrnostních podmínek (mraky, sněžení, déšť) i při úmyslném rušení.

Dělostřelecký radiolokátor ARTHUR

Moderní dopplerovský radar, určený k vyhledávání palebných stanovišť protivníka a řízení palby vlastního dělostřelectva. Pracuje na 24 frekvencích v rozsahu 5,4 – 5,9 GHz s pulzním vysílacím výkonem až 25 kW. Radar zachytí vystřelený dělostřelecký granát, zpracuje získané údaje a z nich určí bod dopadu granátu i přesnou polohu střílejícího děla. Radar je schopen současně sledovat pohyb až osmi vystřelených granátů. Díky rychlému zpracování údajů může takto vyhodnotit až 100 cílů za minutu.

Páteřní radar NATO

Jedním z úkolů ozbrojených sil zemí NATO je ochrana společného vzdušného prostoru, která se neobejde bez kvalitní sítě radiolokátorů. V naší republice byly nedávno vybudovány dva tzv. páteřní radary, začleněné do Integrovaného systému protivzdušné ochrany NATO. Jeden stojí u obce Nepochy nad Chlumcem nad Cidlinou, druhý poblíž jihomoravské obce Sokolnice. Tyto radary mají střední vyzářený výkon 2,5 kW, dosah až 500 km a slouží k nepřetržitému radiolokačnímu průzkumu a navádění bojových letounů. Mohou být využity i pro potřeby civilního letectví.

Radarová stanice EBR

V rámci systému protiraketové obrany má [radarová stanice EBR](#) za úkol sledovat dráhu letící balistické střely a dráhy z ní již oddělených částí. To znamená odlišit bojovou hlavici střely od klamných cílů, a velmi přesně určovat souřadnice tohoto cíle.

Na základě informací z radarové stanice EBR dochází v rámci systému protiraketové obrany k nasměrování letu protiraketové řízené střely – tzv. [interceptoru](#) (hovorově

"antirakety"), do prostoru předpokládaného zničení balistické střely nebo její bojové hlavice. Tím ale činnost radarové stanice EBR nekončí. Radar má také sledovat a následně vyhodnocovat, zda protiraketová řízená střela svým nevýbušným zásahovým prostředkem bojovou hlavici svým nárazem, kinetickou energií také zničila.

Vzhledem ke škále zmíněných úkolů musí mít radarová stanice EBR dostatečný dosah (okolo 2000 km). Od předchozích radarů se odlišuje i tím, že se neotáčí, ale pracuje jen ve vymezeném sektoru. V tomto sektoru se radar soustřeďuje navíc pouze na směr předpokládaného prostoru zjištění balistické řízené střely. Na tento směr se zaměří a začne jej prohledávat extrémně úzkým paprskem ($0,18^\circ$) až na základě informací z družic a jiných radiolokátorů, např. předsunutých radiolokátorů nebo radiolokátorů včasné výstrahy.

S ohledem na své specifické poslání rovněž není potřeba, aby radar pracoval nepřetržitě. Je zapnut, neboli aktivován, pouze v případě skutečného odpálení balistické řízené střely. Hlavní každodenní činností radaru stanice EBR je jeho pravidelná údržba a kontrola, které se říká kalibrace.

VZOREČKY A ČÍSLA

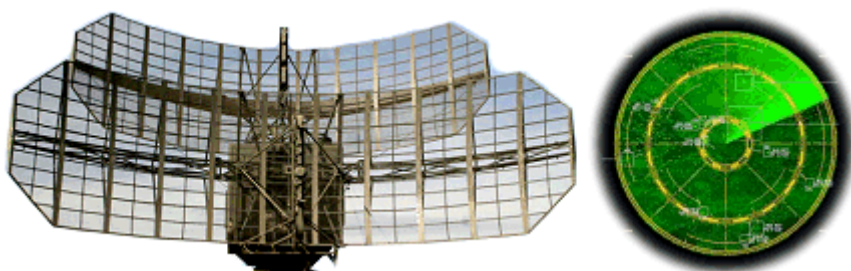
Pro zvědavé čtenáře naší Radarové encyklopedie jsme připravili přehled hlavních fyzikálních vzorců a také několik tabulek a dalších užitečných informací. Věříme, že vám pomohou snadněji proniknout do zdánlivě nepochopitelného světa matematiky, fyziky a techniky.

1. Základní vztahy

Vzhledem k zaměření Radarové encyklopedie uvádíme jen vztahy, které se týkají vlnění: rovnice pro výpočet vlnové délky, vzorec pro výpočet vzdálenosti pomocí odrazu vlnění a změnu frekvence vlnění při pohybu zdroje (Dopplerův jev).

2. Pár tabulek

Připomeneme si různé užitečné údaje: předpony pro násobky a díly veličin, převody mezi různými jednotkami, tabulky s hygienickými normami pro neionizující záření.



Základní fyzikální vztahy

V naší **Radarové encyklopedii** jsme omezili matematickou stránku na minimum. Pro důkladnější seznámení s funkcí radaru je nutné umět používat aspoň několik základních vztahů. K nejdůležitějším patří:

Vlnová délka

Vlnová délka λ je vzdálenost, do které se rozšíří vlnění během jedné doby kmitu. Na grafu vlnění je to vzdálenost dvou sousedních maxim (vrchů), nebo dvou sousedních minim (dolů). Mezi vlnovou délkou, frekvencí a rychlostí platí tyto základní vztahy:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{nebo} \quad f = \frac{c}{\lambda} \quad \text{nebo} \quad c = \lambda f$$

Určení vzdálenosti

Zvuková ozvěna, nebo odraz radarového signálu od letícího letadla se dá popsat jednoduchým vzorcem. V něm je vyjádřen vztah mezi vzdáleností překážky s , doby mezi vysláním a návratem signálu t a rychlostí šíření vlnění c (zvuku, mikrovln, světla apod.).

$$t = \frac{2s}{c} \quad \text{nebo} \quad s = \frac{tc}{2}$$

Pro zvukovou ozvěnu dosadíme rychlost zvuku ($c = 340 \text{ m/s}$), pro radarový odraz je rychlost $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Dopplerův jev

Jestliže je zdroj zvuku o frekvenci f_0 vůči pozorovateli v klidu, zaznamená pozorovatel stejnou frekvenci f_0 .

Jestliže se zdroj k pozorovateli přibližuje, zaznamená pozorovatel vyšší frekvenci:

$$f_1 = f_0 \left(1 + \frac{c}{v}\right)$$

Při vzdalování zdroje zaznamená pozorovatel nižší frekvenci:

$$f_1 = f_0 \left(1 - \frac{c}{v}\right)$$

V těchto vztazích znamená

f_0 – frekvence, kterou zjistí pozorovatel, vůči kterému je zdroj v klidu

f_1 - frekvence, kterou zjistí pozorovatel, vůči kterému se zdroj pohybuje

v – rychlost zdroje vůči pozorovateli

c – rychlost, jakou se šíří vlnění

Uvedené vztahy platí nejen pro zvuk, ale pro jakékoli vlnění. Tedy i pro elektromagnetické vlnění – pro světlo, infračervené záření, rádiové vlny apod.

Pár tabulek

Fyzikální veličiny a jejich jednotky

Veličina	Jednotka	Značka
hmotnost (m)	kilogram	kg
délka (l)	metr	m
čas (t)	sekunda	s
rychlost (v)	metr za sekundu	m/s
síla (F)	newton	N
energie, práce (E, W)	joule	J
výkon (P)	watt	W
frekvence (f)	hertz	Hz

Násobky a díly jednotek

Předpona	Název	Znamená násobek
tera	T	1 000 000 000 000 = 10^{12}
giga	G	1 000 000 000 = 10^9
mega	M	1 000 000 = 10^6
kilo	k	1 000 = 10^3
mili	m	0,001 = 10^{-3}
mikro	μ	0,000 001 = 10^{-6}
nano	n	0,000 000 001 = 10^{-9}
piko	p	0,000 000 000 001 = 10^{-12}

Převody jednotek času

1 hodina = 60 minut 1 hodina = 3600 sekund 1 sekunda = 0,00028 hodiny	1 minuta = 60 sekund 1 minuta = 0,0167 hodiny 1 sekunda = 0,0167 minuty
---	---

Převody jednotek rychlosti

1 m/s = 60 m/min = 3,6 km/h 1 m/min = 60 m/h = 0,06 km/h	1 km/h = 16,7 m/min = 0,28 m/s 1 km/s = 60 km/min = 3600 km/h
---	--

Neionizující záření - hygienická norma

Neionizujícím zářením se rozumí elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou větší než 200 nanometrů. Problematikou ochrany před nežádoucími vlivy neionizujícího záření se zabývá "Zákon o ochraně veřejného zdraví" č. 258/2000 Sb. a nařízení vlády "O ochraně zdraví před neionizujícím zářením" č. 1/2008 Sb. Jednou z příloh je i následující tabulka:

REFERENČNÍ ÚROVNĚ PRO HUSTOTU ZÁŘIVÉHO TOKU S

Zaměstnanci

Ostatní osoby

frekvence (Hz)	S (W/m ²)	frekvence (Hz)	S (W/m ²)
$10^7 - 4 \cdot 10^8$	10	$10^7 - 4 \cdot 10^8$	2
$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	20	$4 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^9$	5
$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	50	$2 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	10

Christian Doppler

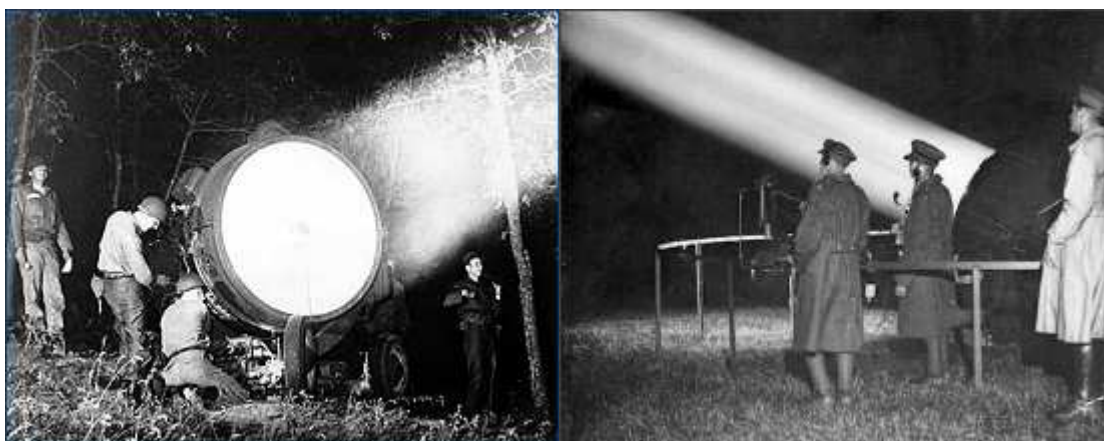
Rakouský matematik, fyzik, astronom a výborný experimentátor Christian Doppler (1803 – 1853) působil v letech 1835 – 47 v Praze. Oženil se zde a s manželkou Mathildou měli pět dětí. První dva roky vyučoval Doppler na střední Technické škole, od roku 1841 jako profesor matematiky a geometrie na Polytechnickém institutu. Kromě pedagogické činnosti se věnoval intenzivně i vědecké práci. V roce 1840 byl přijat za člena Královské české společnosti nauk, později se stal tajemníkem její matematické sekce. Význam jeho vědeckého díla ocenila pražská univerzita čestným doktorátem a vídeňská Říšská akademie svým členstvím. Z Prahy odešel Doppler na rok do slovenské Banské Štiavnice a pak se na vídeňské univerzitě stal ředitelem nově zřízeného Institutu fyziky. Jeho zdraví se však náhle zhoršilo a v roce 1853 ve věku 50 let zemřel při ozdravném pobytu v Benátkách.

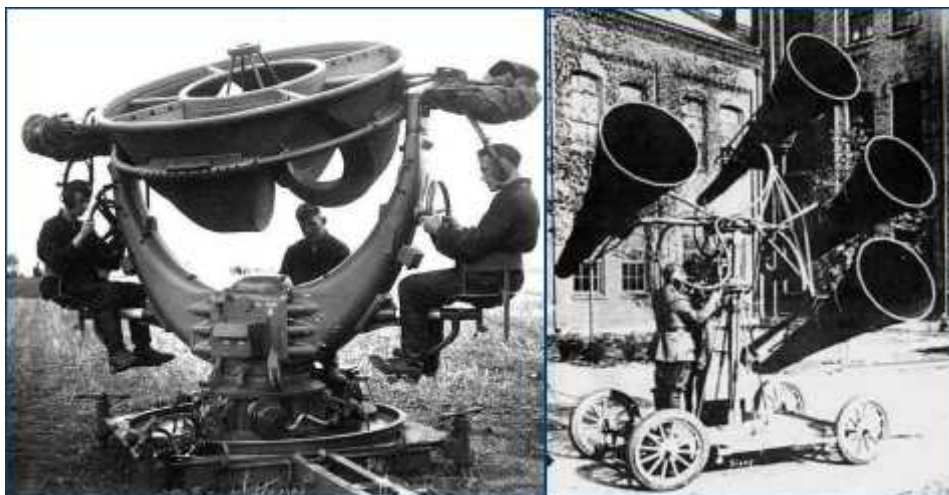


Nejznámější Dopplerův objev pochází z roku 1842. Tehdy publikoval článek **Ueber das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels** (*O barevném světle dvojhvězd a určitých jiných hvězdách na nebesích*). V něm formuloval zákon, popisující změnu vlnové délky vlnění při pohybu zdroje nebo pozorovatele. Dopplerův jev našel velmi široké uplatnění v mnoha vědeckých a technických oborech. Výjimkou není ani radiolokace – např. policejní radary na jeho základě měří rychlost vozidel.

Obří naslouchátka

K detekci letadel, lodí a jiných objektů dnes slouží radar. Před jeho vynálezem si museli vojáci při pátrání po letadlech pomoci jinak – zvuk motorů se snažili zachytit rozměrnými troubami naslouchacích přístrojů, v noci se pokoušeli objevit nepřátelský letoun nebo vzducholod' pomocí výkonných světlometů.



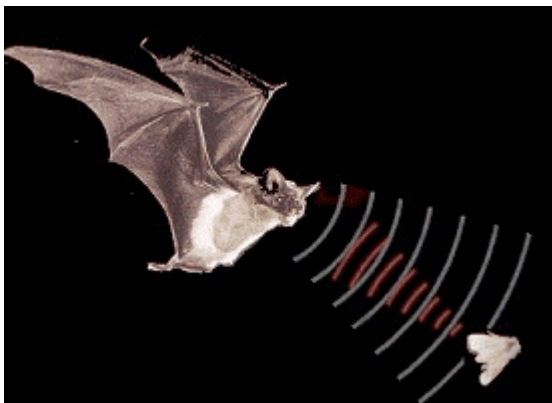


Zajímavou metodu pátrání po nepřátelských letadlech zvolili za první světové války Britové. Na jižním pobřeží Anglie vybudovali soustavu betonových „zvukových zrcadel“ parabolického tvaru. Zvuk motoru letícího letadla se soustřeďoval v ohnisku paraboly a pozorovatel uslyšel letadlo mnohem dříve, než kdyby se spoléhal jen na „neozbrojené“ ucho. Některá „zrcadla“ jsou na anglickém pobřeží k vidění dodnes.



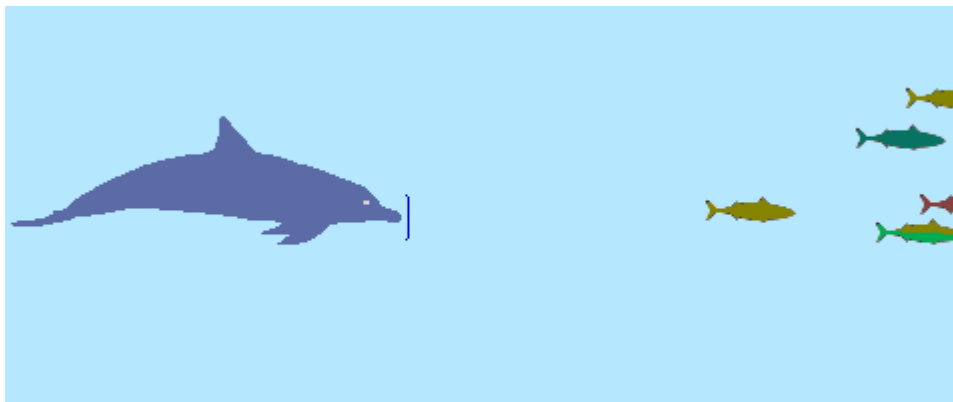
Netopýr "vidí" ušima

Netopýři jsou jediní létající savci. V němčině se jim proto docela výstižně říká „létající myš“ (Fledermaus). U nás žije 22 druhů netopýrů, většinou jsou masožraví a živí se drobným hmyzem. Netopýři jsou aktivní pouze v noci, za soumraku nebo za svítání. Ve dne se ukrývají v jeskyních, na půdách a v jiných temných prostorách. Tam nehybně visí hlavou dolů a odpočívají. Tato poloha je pro ně výhodná při vzletu: prostě se pustí, roztáhnou křídla a odletí. Přímo ze země by vzlétnout nemohli, protože jejich blanitá křídla jim k tomu nevytvářejí dostatečný vztlak. Při letu však dovedou výborně manévrovat - změnou tvaru křídel mohou bleskurychle měnit směr, kličkovat a spolehlivě uloví i hbitý létající hmyz.



Princip noční orientace netopýrů je v podstatě shodný s principem radaru. Při svých nočních lovech se orientují pomocí odrazu ultrazvuku od různých překážek. Tomuto způsobu orientace se říká echolokace (**echo** = ozvěna, **lokace** = zjišťování polohy). Netopýři v noci „vidí“ a vyhledávají kořist tak, že vydávají rychle za sebou intenzivní ultrazvukové – tedy pro nás neslyšitelné - „výkřiky“ a citlivým sluchem přijímají odražené signály. Jsou schopni vyhodnotit dobu, která uplyne mezi vyslaným a přijatým signálem a určit vzdálenost a tvar překážek. Dovedou dokonce určit rychlost a směr pohybu případné kořisti: signál, odražený od přibližujícího se hmyzu, má vyšší frekvenci než původní a naopak od vzdalujícího se má frekvenci nižší. Dosah echolokátoru netopýrů je až stovky metrů.

Podobně se orientují i některá další zvířata, nejznámější je delfín. Vysílá ve vodě krátké ultrazvukové "výkřiky" a z jejich odrazu rozezná například hejno ryb ve své blízkosti.



Na závěr dvě zajímavosti:

- způsob noční orientace netopýra byl dlouho záhadou a podařilo se ho fyzikálně objasnit teprve v roce 1930
- podobnou metodu (jen s použitím mikrovln místo ultrazvuku) používají při měření rychlosti i dnešní policejní radary!

70 let staré obavy

V jednom populárně – vědeckém časopise z roku 1940 byl otištěn dlouhý článek, jehož autor rozebírá problém škodlivého působení rádiových vln na lidský mozek. Hned v titulku si pokládá autor zásadní otázku:

UDĚLAJÍ RÁDIOVÉ VLNY LIDSTVO SLABOMYSLNÝM?

... Je dokázáno, že rádiové vlny snadno ochromí slepičí mozek i mozek jiných zvířat a také lidský – nehrozí snad z toho lidstvu nebezpečí? Žijeme trvale v moři rádiových vln všech délek a přicházejících ze všech končin; přijímačem jich zachycujeme jen nepatrnou část. Stanice nepřetržitě vysílají vlny dlouhé, prostřední a krátké. Neohrožuje snad tento pobyt v moři rádiových vln tělesný a zejména duševní stav člověka?

Někteří vědci soudí, že opravdu jsme ohrožováni rádiovými vlnami, kdežto jiní dokazují pokusem, že lidský mozek je sice jimi poškozován, ale jen nepatrně. Zatímco první si představují příštího člověka s mozkem vážícím 3 kg, jakýmsi nadmozkem, který dovede rozřešit složitější problémy a zplodit mnohem geniálnější myšlenky než dnešní lidé, soudí druzí, že příští člověk, jsa ustavičně vystaven vlivu rádiových vln, vysílaných stále



četnějšími a silnějšími stanicemi, se může stát třebaš idiotem. Dokonce snad takovým idiotem, že už nebude rozumět zařízením a nástrojům užívaným nyní, a nezbude mu než odstranit příčinu svého neštěstí zrušením vysílacích stanic! Následuje podrobný rozbor různých důkazů PRO a PROTI, žádný z nich však není natolik jednoznačný, aby dal definitivní odpověď na úvodní otázku. Proto autor uzavírá článek slovy:

Zatím nemůžeme kategoricky tvrdit, že rádiové vlny mají škodlivý vliv na lidský mozek. Máme důvodnou domněnku, že mozek dovede jejich vliv neutralizovat. Je možné, že lidský mozek si na tyto vlny zvykne a nijak mu neuškodí. Tyto závažné problémy budou snad rozřešeny dalšími zkoumánými ...

Je zajímavé, že jednoznačnou odpověď neznáme ani dnes, po sedmdesáti letech, kdy jsme zdroji elektromagnetických vln obklopeni doslova ze všech stran.

elemobilskop - předchůdce radaru

11. května 1904 krátce před polednem představil v Kolíně nad Rýnem německý inženýr **Christian Huelsmeyer** odborníkům svůj nový vynález. V blízkosti mostu přes řeku byly nedaleko od sebe zakotveny dvě lodi. Na jedné vynálezce umístil vysílač a přijímač rádiových vln, na druhé postavil velkou kovovou tabuli. Jednoduchou anténu vysílače zamířil k druhé lodi a prokázal, že přijímač zachytil vlny odražené od kovové desky. Zrodil se předchůdce dnešního radaru, který jeho vynálezce nazval podivným jménem **telemobilskop**. V září 1904 získal pro svůj přístroj německý a za dva roky i britský patent.

Na prvním obrázku je most přes řeku Rýn, u kterého byly zakotveny obě lodi, v rohu je portrét vynálezce. Na druhém obrázku je část patentového spisu telemobilskopu. Je na něm znázorněna podstata přístroje - odraz elektromagnetických vln od velké kovové překážky. Dole je konstrukce vysílací a přijímací antény.

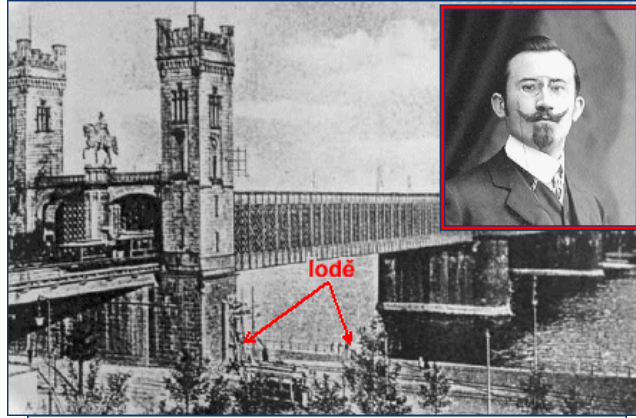
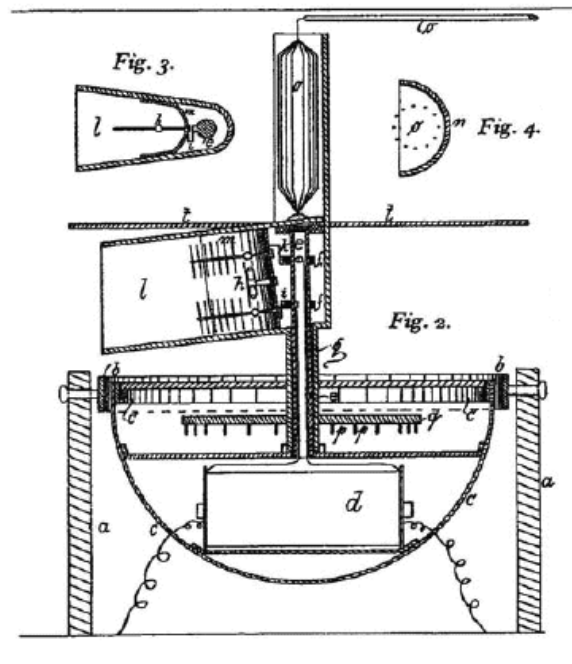
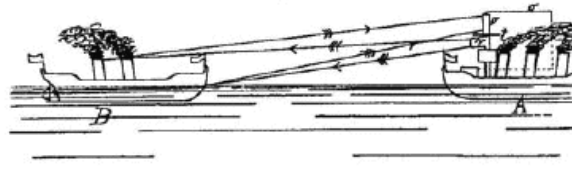
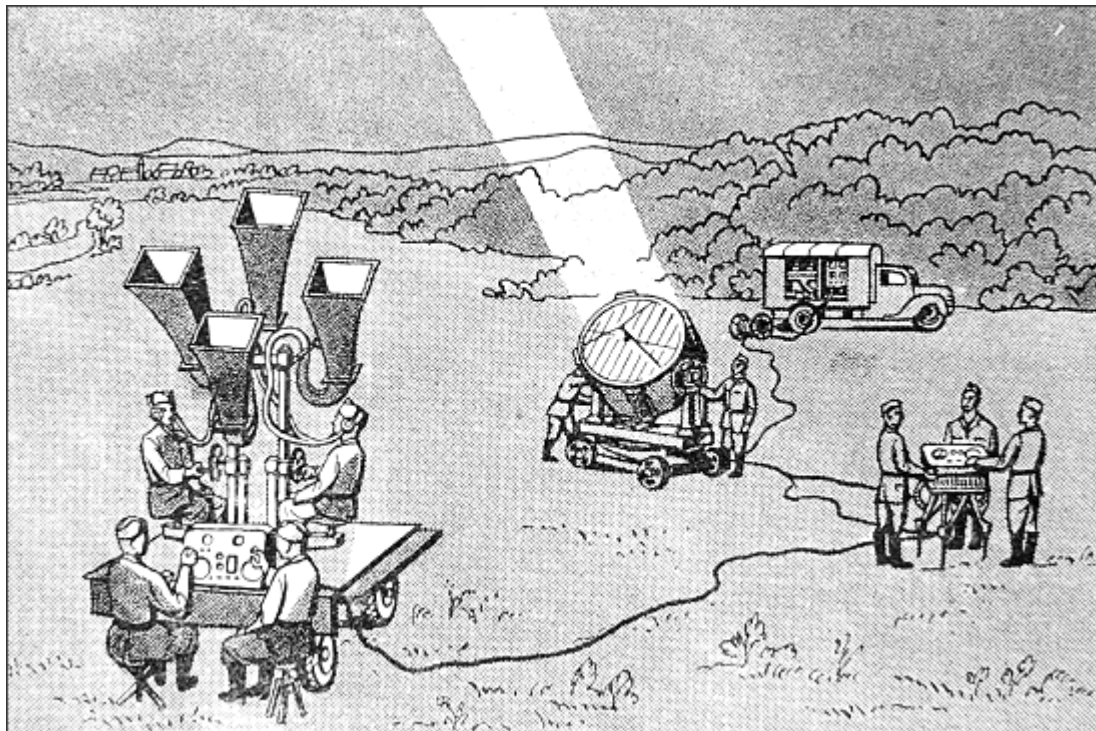


Fig. 1.



R. Watson-Watt - vynálezce radaru

Až do vynálezu radaru se vyhledávala nepřátelská letadla velmi primitivně - pomocí rozměrných naslouchacích přístrojů. V noci se pátralo také výkonnými světlomety.



17. září 1935 podal Robert Watson-Watt patentovou přihlášku (na obrázku) přístroje, který se za krátkou dobu stal nepostradatelným pomocníkem nejen vojáků, ale i civilních letců a námořníků. Zrodil se **radar**.

3rd. Edition **PATENT SPECIFICATION** **593.017**

Application Date: Sept. 17, 1935. No: 25770/35.
Complete Specification Left: Sept. 16, 1936.
Complete Specification Accepted: May 31, 1937, [but withheld from publication under Section 30 of the Patents and Designs Act, 1907 to 1932].
Date of Publication: July 17, 1947.

PROVISIONAL SPECIFICATION

Improvements in or relating to Wireless Systems

I, ROBERT ALEXANDER WATSON WATT, of National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, British Subject, do hereby declare the nature of this invention to be as follows:—

This invention relates to improved methods or means for the detection and location of objects wholly or in part metallic or otherwise of high electrical conductivity by means of secondary elec-

be located. If the object be a metal-framed aircraft, the wavelength chosen will be approximately twice the wing-span or twice the fuselage length of the craft.

The waves from the sender induce radio frequency currents in the object, and these currents in turn radiate waves which may be detected and measured at the receiving installation. The invention depends

55
60

V roce 1991 připomenula britská pošta výročí vynálezu radaru známkou s motivem kruhového radarového monitoru.



Antény kolem nás



Malá pokojová anténa



Parabolická satelitní anténa



Parabolická anténa pro Wi-Fi



Různé antény na střeše panelového domu



Mikrovlnné antény pro mobilní telefony



Soustava antén telekomunikačního střediska

Mikrovlnná trouba

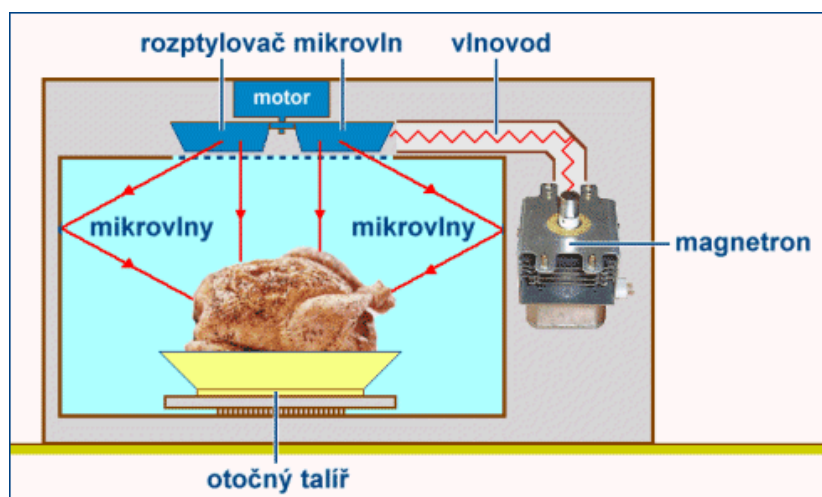
V mnoha domácnostech se k vaření a ohřívání potravin používá mikrovlnná trouba. Jejím základním prvkem je magnetron, zdroj mikrovlnného záření. Mikrovlny se vedou vlnovodem do prostoru trouby a v něm se rozptýlí. Uvnitř mohou nastat tři případy:

- Na některé látky (sklo, plasty) mikrovlny vůbec nepůsobí a prochází jimi. Z těchto materiálů je nádobí.
- Od kovových stěn trouby a kovové mřížky ve dvířkách se mikrovlny odráží podobně jako světlo.
- V některých látkách (např. voda) se mikrovlny pohlcují a jejich energie se mění na teplo.

Právě pohlcování mikrovln je podstatou vaření v mikrovlnce. Většina potravin obsahuje velké množství vody, která pohlcuje mikrovlnné záření a potravina se rychle zahřívá. Oproti klasickému vaření je zde jeden podstatný rozdíl. V tlakovém hrnci nebo v elektrické troubě se jídlo zahřívá postupně směrem od povrchu dovnitř. V mikrovlnné troubě se potravina prohřívá současně v celém svém objemu.

Co se děje s molekulami?

Molekuly vody H_2O tvoří dva atomy vodíku a jeden atom kyslíku. Jejich zvláštností je nesymetrické rozmístění elektrických nábojů – záporný náboj je poblíž atomu kyslíku a kladný na straně vodíkových atomů. Říkáme, že molekuly vody jsou polární. Působením silného elektromagnetického pole (jeho elektrické složky) se začnou molekuly „vrtět“ sem a tam v rytmu změn elektrického pole. Vlnění v mikrovlnné troubě má obrovskou frekvenci 2 450 000 000 Hz (2,45 GHz) a se stejnou frekvencí se rozkmitají i molekuly vody. Přitom na sebe vzájemně naráží a jejich energie se třením mění na teplo.



Pomohla náhoda

Říká se, že náhoda přeje připraveným. První mikrovlnná trouba vznikla v roce 1946 víceméně náhodně: americký technik P. Spencer si při pokusu s magnetronem radaru všiml, že se mu v kapse zahřály bonbony. Začal se o tento jev blíže zajímat, zkoumal působení mikrovln na potraviny a výsledkem jeho pokusů byl patent na vynález mikrovlnné trouby. První mikrovlnka se objevila na americkém trhu už v roce 1947.

Mikrovlny nemusí jen vařit

Mikrovlny se dají použít nejen k vaření, ale i k vysušování vlhkých materiálů v průmyslu (textil, kůže, dřevo, chemikálie) a vlhkého zdiva ve stavebnictví. Hlavní podmínkou je, podobně jako při vaření v mikrovlnné troubě, aby vysušované materiály neobsahovaly kovové součásti. Ty by se působením mikrovln zahřály a mohly by poškodit vysušovaný předmět. Při sušením běžným zahříváním teplo zvolna postupuje z povrchu dovnitř a vlhkost naopak zevnitř na povrch. Mikrovlny působí současně v celém objemu a proto je uvolňování vlhkosti rychlejší. Na fotografii je sušicí mikrovlnná komora pro průmyslové použití.



V roce 2002 postihly naši zemi velké záplavy, při nichž byly zaplaveny i archivy a knihovny. K sušení tak velkého množství knih a dokumentů se začaly používat i mikrovlny. Problém však nastal u knih, které měly například kovové sponky – ty by se běžným postupem rozžhavyly a poškodily by papír. Řešení našli vědci z pražského Ústavu chemických procesů: vytvořili zvláštní filtry, které propustily ke knihám jen nezbytně nutné množství mikrovln. V jejich sušicí komoře byly mikrovlnami zachráněny tisíce knih.

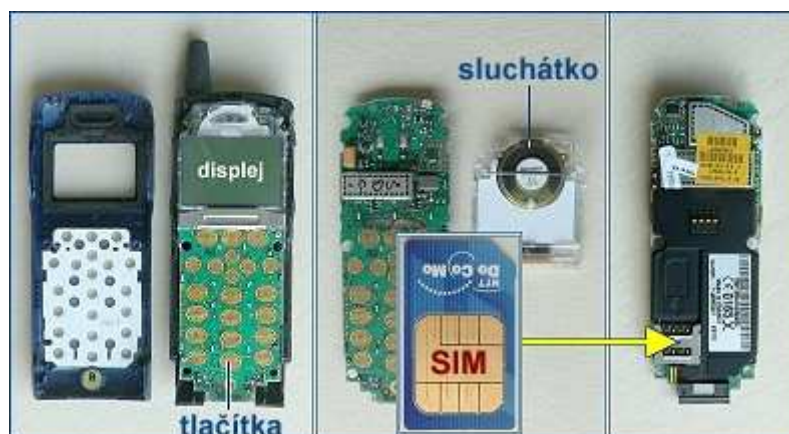
Mikrovlnami se může zahřát i živý organismus a tak se vysokou teplotou dají likvidovat plísně, dřevokazné houby, červotoče nebo desinfikovat. Tato metoda úspěšně slouží například restaurátorům a archivářům.

Jiná aplikace mikrovln vznikla pro potřeby uměleckých sklářů, kteří potřebovali pec pro tavení malého množství skloviny. Pražští chemici vynalezli způsob, jak mikrovlnami tavit sklo, i když v běžné mikrovlnce se skleněné nádoby vůbec neohřívají. Problém vyřešili tak, že se nejprve mikrovlnná energie soustředí do jednoho bodu, kde dojde k lokálnímu zahřátí. Horké sklo už mikrovlny pohlcuje, takže další tavení se rychle rozšíří do celého objemu.

Mobil – mikrovlnný telefon

Skoro každý dnes používá mobilní telefon. Tento chytrý přístroj už dávno neslouží jen telefonování nebo posílání textových zpráv SMS. Například „hity“ léta 2008 s barevným displejem nabízely svému majiteli tyto hlavní služby: telefonování, textové i obrazové zprávy, adresář, hodiny, kalendář, internetový prohlížeč, posílání e-mailů, fotoaparát a videokamera, videohry, hudební přehrávač, rádio FM a spoustu dalších.

Jak je možné, že toho mobilní telefon tolik dovede? Umožnila to digitalizace telefonního provozu a využití mikroelektroniky. Mobil je dnes v podstatě docela výkonný počítač a jeho vlastnosti se dají snadno měnit a rozšiřovat pouhou změnou naprogramovaných pamětí. Mobil oživíte vložením SIM karty s mikroprocesorem a pamětí. Tato karta obsahuje všechny potřebné údaje o telefonu i jeho majiteli a do paměti si můžete ukládat také své vlastní informace (adresář, texty zpráv, poznámky atd.). Na fotografiích si prohlédněte "útroby" mobilního telefonu.



Mobilní telefonní spojení probíhá pomocí mikrovln, tj. elektromagnetického vlnění o frekvenci 900 MHz nebo 1800 MHz. Digitální mobilní síť s označením GSM je tvořena „buňkami“ o průměru několika kilometrů. V jejich centru, obvykle na vysokých budovách nebo na vrcholech kopců, jsou umístěny tzv. základnové stanice s anténami, směřujícími do všech stran.

Buňková struktura mobilní sítě zajišťuje, že téměř v každém místě jste se svým mobilním telefonem v dosahu přijímače a vysílače nejméně jedné základnové stanice. Po vyřukání telefonního čísla vysílá váš mobil signál na anténu základny, v jejímž okruhu se právě nacházíte. Z antény pak signál putuje od jedné buňky k druhé, až se dostane k anténě mobilu vašeho kamaráda. Spojení je navázáno a můžete s ním hovořit nebo mu poslat SMS.

Cestování bez bloudění

GPS (neboli dží-pí-es) je americký systém navigace pomocí umělých družic Země. Tento systém – původně vojenský - se vyvíjel v USA od roku 1973 a plně fungčí se stal začátkem 90. let. Jeho označení GPS je zkratkou slov Global Positioning System. Kdysi přísně utajované zařízení se dnes stalo v podstatě běžným navigačním prostředkem nejen na zemském povrchu, ale i na moři nebo v letadlech. Dnes už si může přístroj GPS pořídit prakticky kdokoli. Družicová navigace je stále populárnější například mezi řidiči všech druhů vozidel.



System GPS se skládá ze tří segmentů:

- **Družicový segment** – je tvořen skupinou 24 družic. K jejich základnímu vybavení patří přijímač, vysílač, přesné atomové hodiny, napájecí solární panely aj.
- **Monitorovací segment** – v pěti monitorovacích stanicích rozmístěných po světě se sledují, kontrolují a případně opravují funkce všech družic systému GPS.
- **Uživatelský segment** – to jsou navigační přístroje jednotlivých uživatelů. Jejich přijímače přijímají signály z družic, dekodují je a získávají z nich přesné údaje o čase, poloze a rychlosti vlastního pohybu.

Popsat stručně a srozumitelně činnost systému GPS není snadné. Každý, i ten nejjednodušší přijímač GPS, je vybaven mikropočítačem, který zpracovává všechny údaje, získané ze signálů družic. Nejprve se porovnávají doby šíření mikrovlnných signálů minimálně ze tří družic směrem k přijímači a z nich se určí vzdálenosti družic od přijímače. Tyto výpočty jsou založeny na známé rychlosti šíření signálů (300 000 km/s) a změřeném časovém rozdílu.



Následují další výpočty, při kterých se ze zjištěných vzdáleností určí poloha přijímače GPS. K určení zeměpisných souřadnic stačí příjem signálu ze tří družic, ke stanovení nadmořské výšky je třeba zpracovat signály aspoň ze čtyř družic. O výkonnosti mikropočítače v přijímači GPS svědčí to, že kromě všech výše uvedených výpočtů je schopen výsledky nejen zobrazit na displeji, ale průběžně je ukládat do paměti, zakreslovat trasu, určovat vzdálenosti ke zvoleným cílům aj.

Vznik a neustálé zdokonalování nejpřesnějšího orientačního prostředku současnosti je založeno na kombinaci moderní mikroelektroniky, počítačové techniky a kosmonautiky.

Radary ve druhé světové válce

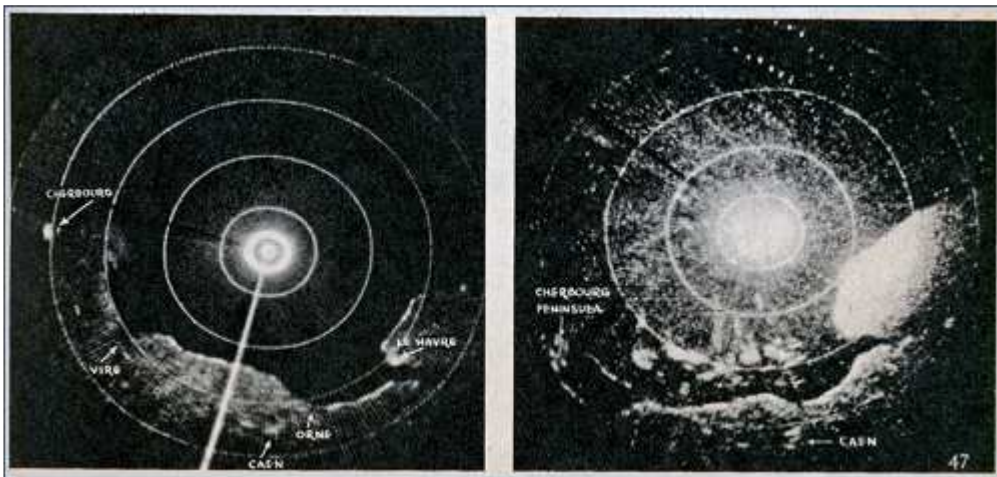
Prohlédněte si fotografie několika vojenských radarů z období 2. světové války: na prvním snímku je americký radar, na druhém parabolická anténa radaru německého.



Na dalším snímku jsou zachyceny antény palubního radiolokátoru německého letounu Heinkel He 219.



Zajímavé fotografie monitoru leteckého radaru: levý radarový snímek zachycuje pobřeží severní Normandie těsně před spojeneckou invazí. Vpravo je radarový snímek stejného pobřeží v době invaze - množství světlých bodů představuje invazní plavidla u pobřeží.



O to se nestarejte!

Havajský přístav Pearl Harbor byl na začátku 2. světové války hlavní základnou amerického tichomořského válečného loďstva. USA v té době zachovávaly neutralitu a domnívaly se, že tomu tak bude i nadále. V ranních hodinách dne 7. prosince 1941 na Pearl Harbor zcela nečekaně zaútočila ve dvou vlnách letadla z japonských letadlových lodí. Následky jejich útoku byly katastrofální – zahynulo téměř 2400 lidí, bylo zničeno 188 letadel, potopeny 4 velké bitevní lodě a mnoho plavidel. Spojené státy toho dne vstoupily do války.

Překvapivý japonský útok však mohl dopadnout jinak, blížící se letadla byla odhalena s téměř hodinovým předstihem! Na Havajských ostrovech totiž měli Američané ve zkušebním provozu pět nových mobilních radarových stanic SCR-270. Jedna z nich byla na severním cípu ostrova Oahu a ráno 7. prosince ji obsluhovali vojáci J. Lockhard a G. Elliot. V sedm hodin měli radar vypnout a vrátit se na základnu, ale vojáci neměli naspěch a ještě chvíli pokračovali v pozorování. Pět minut po sedmé se



náhle na obrazovce radaru objevil signál, který svědčil o neobvykle velké skupině blížících se letadel. Ihned podali telefonické hlášení operačnímu středisku. Všichni operátoři střediska však byli na snídani a službu zajišťoval jen poručík K. Tyler. Právě on přijal hlášení z Oahu a slovy „O to se nestarejte!“ ujistil obsluhu radaru, že se neděje nic mimořádného. V té době se totiž na Havaj přemisťovala skupina bombardérů B-17 a Tyler se domníval, že radar zachytil právě tato letadla.

V 7:39 se cíl z obrazovky ztratil, protože letadla se dostala do „radarového stínu“. Lockhard s Elliotem s klidným svědomím odjeli na snídani. Mezitím japonská letadla nerušeně pronikla až do přístavu a zahájila dílo zkázy.



Odraz od Měsíce

Už v roce 1935 přišel dr. A. H. Taylor z washingtonské Research Laboratory s návrhem na rádiový „průzkum“ Měsíce. Měl v plánu vyslat k němu soustředěný úzký kužel rozhlasových vln, které by po odrazu zachytil citlivým přijímačem. Pokusy s krátkovlnným vysíláním však nebyly úspěšné kvůli vrstvě ionosféry, obklopující naši Zemi ve výškách mezi 60 až 500 km. Krátkovlnné signály ionosférou téměř neprocházejí a většina se jich odráží zpět. Proto nemohly být Taylorovy pokusy úspěšné. Na obrázku je článek z technického časopisu, uveřejněný v roce 1935.

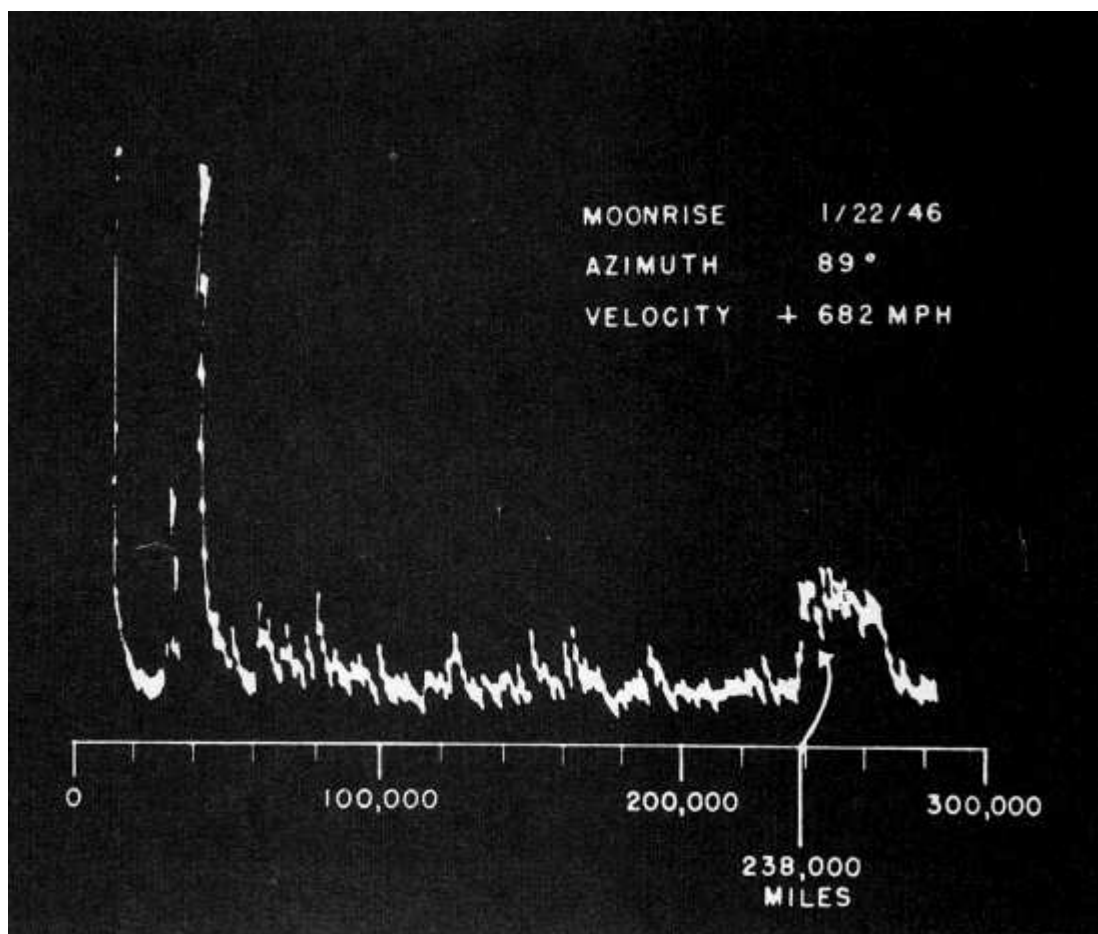


Taylorova neuskutečněná myšlenka však zaujala plukovníka Johna H. DeWitta, šéfkonstruktéra Radio Station WSM v Nashville, který si už v roce 1940 napsal: *“Pokud vím, zatím se nikomu nepodařilo odeslat přes celou atmosféru rádiový signál a zachytit jeho návrat zpět. Kvůli vlivu ionosféry se budou asi muset používat vyšší frekvence než dosud. Je pravděpodobné, že s frekvencemi nad 40 megahertzů by to mohlo fungovat. Zdá se mi, že by se dalo využít odrazu ultrakrátkých vln od Měsíce. Pokud by se to podařilo, otevřely by se široké možnosti studia horních vrstev atmosféry. Odraz signálů od Měsíce by také mohl umožnit nový způsob komunikace ...”*

Během války se výzkum zastavil, ale ihned po jejím skončení, v září 1945 začal DeWitt organizovat práce na „Projektu Diana“. Jeho výzkumná základna byla umístěna na pobřeží Atlantického oceánu ve státě New Jersey. Teoretické výpočty ukazovaly, že s využitím dostatečně výkonného radaru by se mohl odraz rádiových vln od Měsíce podařit. Průměrná vzdálenost Měsíce je asi 380.000 km, takže odražený rádiový signál by se měl vrátit přibližně za 2,5 sekundy.

Experimentátoři DeWittova týmu sestavili z různých součástí armádních radarů vysílač o frekvenci 111,5 MHz. Čtvercová vysílací a přijímací anténa byla v podstatě jen upravená verze radarové antény, používané už začátkem války např. v Pearl Harboru. Byla umístěna na stožáru ve výšce 30 metrů a mohla se otáčet jen ve vodorovné rovině. Pokusy proto probíhaly pouze v době, kdy byl Měsíc těsně nad obzorem, tedy při jeho východu a nebo západu. Po vyslání signálu se anténa připojila na vstup přijímače, který „čekal“ na jeho návrat.

Úspěch se dostavil až po několikátýdenních marných pokusech. Poprvé se podařilo zachytit a na radarové obrazovce zaznamenat odraz radarového impulzu 10. ledna 1946 při východu Měsíce. „Projekt Diana“ znamenal začátek radarového průzkumu sluneční soustavy. Na obrázku je monitor se zachyceným odrazem radarového signálu (dne 22. ledna 1946).

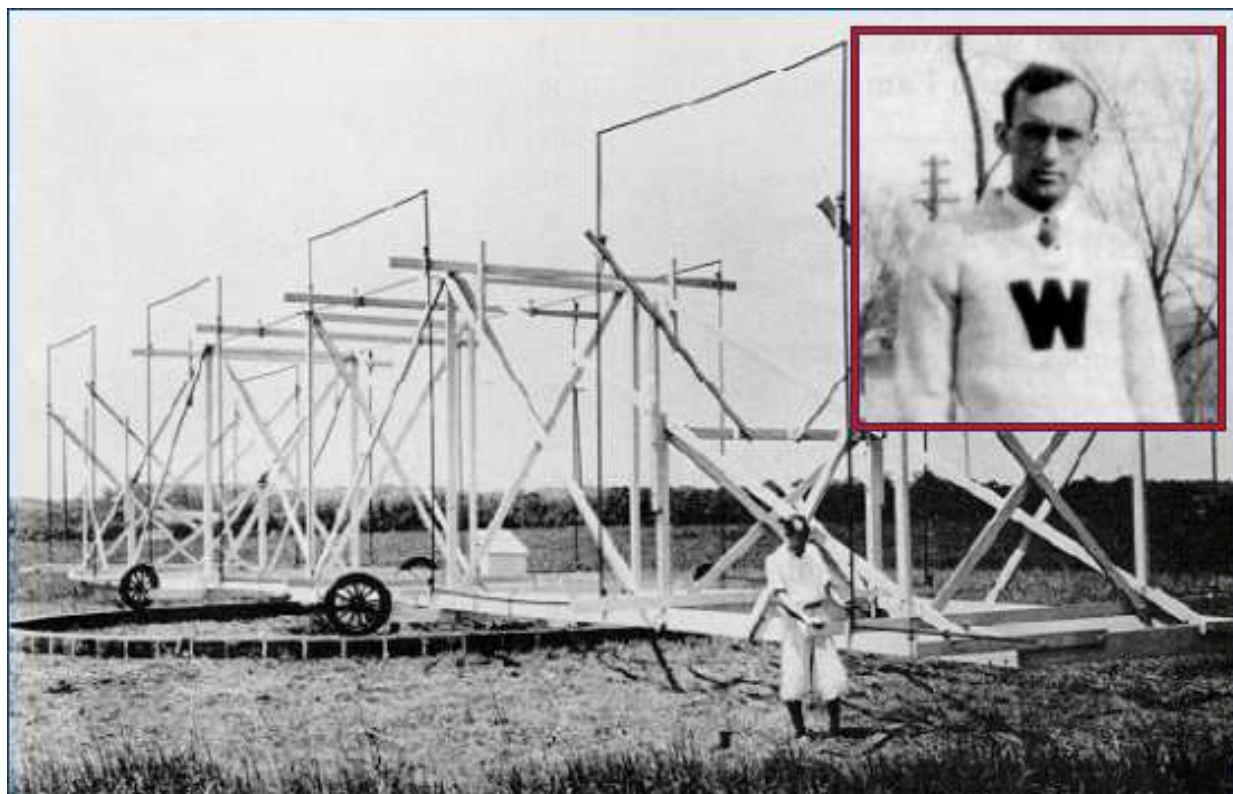


Mikrovlny z vesmíru

Ani se nechce věřit, že až do poloviny 20. století hvězdáři získávali informace o naší sluneční soustavě a hvězdném vesmíru pouze pozorováním v oboru viditelného světla, tedy jen optickými dalekohledy. Současní astronomové zkoumají vesmír všemi dostupnými způsoby a ve všech oborech elektromagnetického vlnění.

Proč astronomové nepozorovali oblohu také v oboru ultrafialovém, infračerveném nebo rentgenovém už koncem 19. století? Vždyť v té době už byly přece známy všechny uvedené druhy elektromagnetického záření! Důvodem jsou vlastnosti zemské atmosféry: z vesmíru skrz ni mohou proniknout jen rádiové vlny a viditelné světlo. Záření ostatních vlnových délek je více či méně pohlcováno atmosférou. Až na zemský povrch se proto nedostane vůbec, nebo jen velmi zeslabené. V celém spektru od nejkratších až po nejdelší vlnové délky se začalo záření studovat teprve s rozvojem kosmonautiky. Umělé družice a kosmické sondy se pohybují nad hranicí atmosféry a jejich přístroje mohou zaregistrovat veškeré záření, které k nám přichází z vesmíru.

V roce 1931 objevil mladý americký inženýr s českými předky Karl Jansky rádiové záření s velmi krátkou vlnovou délkou, pocházející z mimozemských zdrojů. Díky jeho objevu vznikl koncem 40. let nový vědecký obor – radioastronomie. Radioastronomové dnes mají k dispozici radioteleskopy, schopné zachytit a zaměřit i ty nejslabší mikrovlnné rádiové signály z hlubin vesmíru. K jejich nejvýznamnějším úspěchům patří objev pulsarů (neutronové hvězdy), kvasarů (nejsvítlivější vesmírné objekty) a objev tzv. reliktového záření, potvrzující teorii o vzniku vesmíru v období Velkého třesku. Na obrázku je Janského primitivní anténa, se kterou učinil svůj objev.



Největší nepohyblivý radioteleskop o průměru 305 m byl uveden do provozu v roce 1963 v horském údolí u města Arecibo na Portoriku. Největší pohyblivý radioteleskop

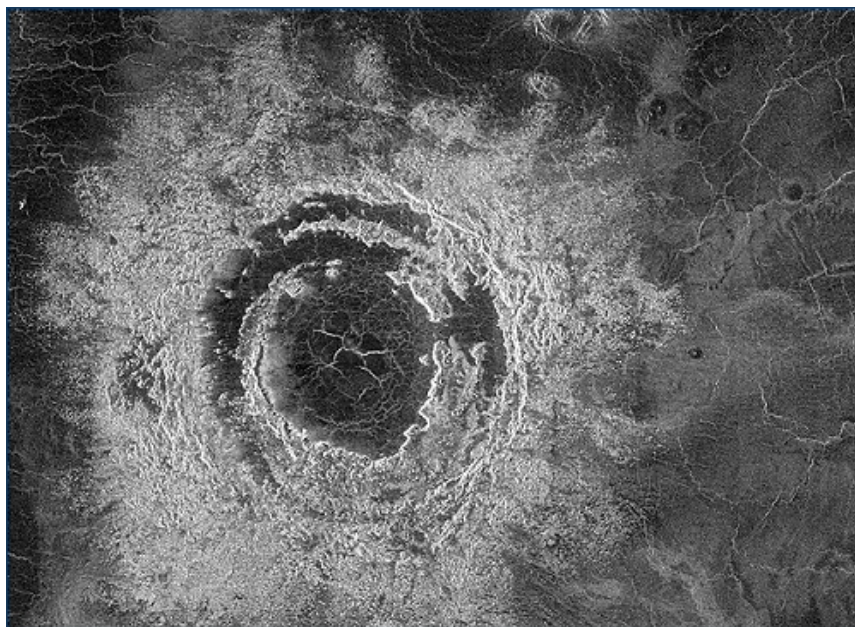
Green Bank o ploše 7850 m² pracuje od roku 2000 v Západní Virginii (USA). V České republice jsou dvě radioastronomická pracoviště – na observatoři v Ondřejově u Prahy a na hvězdárně v Úpici u Náchoda.



Odhalená Venuše

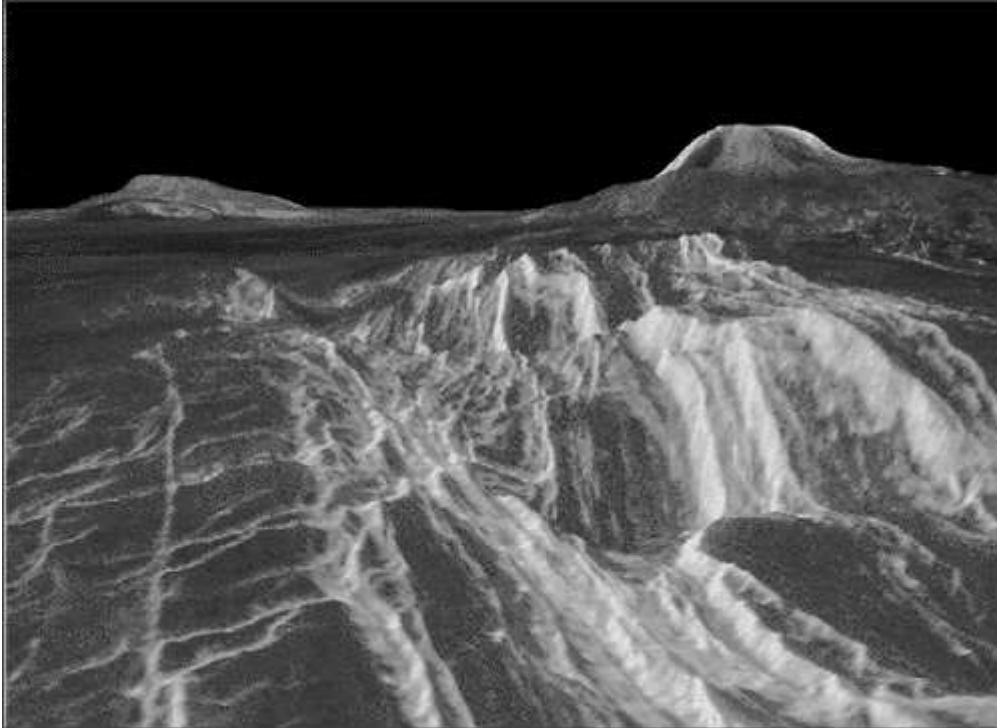
Planeta Venuše má podobné rozměry jako naše Země, ale její povrch nemůžeme – na rozdíl třeba od Marsu – pozorovat ani těmi nejvýkonnějšími dalekohledy. Atmosféra planety je tvořena velmi hustými mračky, které trvale zakrývají povrch. Pod mraky vzniká výrazný skleníkový efekt a na planetě proto panuje doslova vražedná teplota přes 400 °C.

Oblačnou pokrývkou však mohou proniknout například mikrovlny. Už od začátku 80. let minulého století směřovaly k Venuši sovětské a americké kosmické sondy, vybavené mj. zařízeními pro radarové mapování jejího povrchu. Měření spočívalo v tom, že sonda, obíhající kolem planety, průběžně vysílala k jejímu povrchu úzký radarový paprsek a zaznamenávala jeho odraz. Od vysokých hor se vrátil signál dříve, od hlubokých údolí později. Po mnoha obězích se podařilo z těchto časových rozdílů vytvořit radarový obraz terénu s rozlišením až stometrových detailů.



Venuše, kráter Mona Lisa (radarový snímek ze sondy Magellan)

První radarové snímky Venuše vyslaly na Zemi sovětské kosmické sondy Veněra 15 a 16 už v listopadu roku 1983. Během následujících sedmi měsíců se jim podařilo vytvořit radarovou mapu třetiny povrchu planety. Na detailní radarové zmapování prakticky celého povrchu (kolem 98 %) jsme si museli počkat až do roku 1990, kdy se na oběžnou dráhu kolem Venuše dostala americká sonda Magellan. Na radarových snímcích je ve velkém rozlišení zobrazen terén se všemi výraznými útvary. A nejen to – protože při každém obletu byl povrch zabírán z poněkud odlišného úhlu, podařilo se kombinací záběrů vytvořit i první trojrozměrné snímky vybraných oblastí.



Venuše, trojrozměrný pohled vznikl zpracováním radarových snímků sondy Magellan

Venuše není jedinou planetou, u které byla využita metoda radarového mapování. Například v září 2005 odeslala mezinárodní kosmická sonda Cassini-Huygens k Zemi kvalitní radarové snímky Titanu, jednoho z měsíců planety Saturn. Také jeho povrch je stále zahalen do hustých mraků, ale pomocí radarových mikrovln s frekvencí 13,8 GHz se podařilo „nahlédnout“ pod jejich příkrov.

Radary naší armády



Přehledový radiolokátor P-19



Přehledový radiolokátor P-19



Přehledový radiolokátor RL-4



Přehledový radiolokátor RL-5



Dělostřelecký radar ARTHUR



Dělostřelecký radar ARTHUR



Páteří radar NATO u Nepolis



Letecký snímek areálu radaru u Nepolis

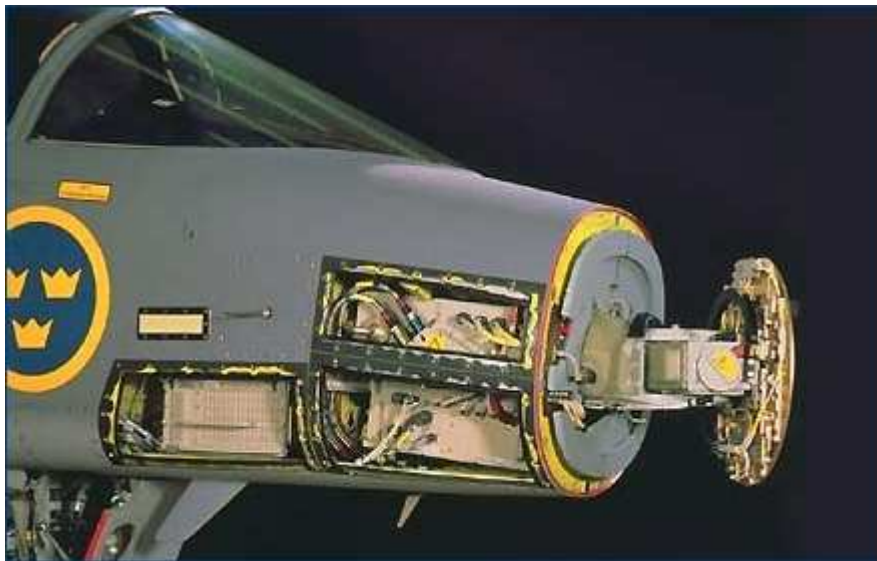
Palubní radar Gripenu

O roku 2005 létají naši vojenští piloti se švédskými víceúčelovými bojovými letouny JAS-39 Gripen. Hlavní roli v moderních letadlech hraje jejich radioelektronické vybavení. Bez něho by nemohl vést letoun úspěšnou bojovou činnost za všech povětrnostních podmínek, ve dne i v noci. Základem je pochopitelně výkonný počítačový systém, tvořený několika desítkami počítačů. Jejich úkolem je kontrola, vyhodnocování a řízení všech prvků stroje.

Podívejme se, vzhledem k zaměření naší encyklopedie, na víceúčelový palubní radar letadla Gripen. Podle potřeby pracuje buď v režimu průzkumu, nebo v režimu vzdušného boje:

- **Režim průzkumu** - mapování terénu s volitelnou rozlišovací schopností, podpora navigace za snížené viditelnosti, výstraha před terénními překážkami, přesné měření vzdáleností.

- **Režim vzdušného boje** - vyhledávání, identifikace a automatické sledování vzdušných a pozemních cílů, přesné zaměřování a řízení palby palubním kanónem, automatické navádění řízených střel s radiolokačním naváděním.



Firemní materiál ukazuje instalaci palubního radaru Gripenu, vpravo je plochá fázovaná anténa (na snímku chybí její aerodynamický kryt)

Palubní dopplerovský radar PS-05/A společně vyvinuly firmy Ericsson a GES – Marconi. Jedná se o tzv. aktivní a naváděcí systém, který je schopen zachytit cíl ve vzdálenosti až 120 km. Pracuje na frekvenci 8 – 10 GHz, vyzařované mikrovlny tedy mají vlnovou délku 3 - 3,75 cm. Plošná fázovaná vysílací a přijímací anténa má průměr 60 cm a vyzařuje signály se středním výkonem kolem 1 kW. Konstrukce antény dovoluje nastavit podle potřeby různé vyzařovací úhly. Pilot si tak může na displeji zvolit velikost zobrazené plochy od 5 x 5 km až do 40 x 40 km.

Letoun je vyzbrojen kanónem ráže 27 mm, automatické řízení palby palubním radarem jednak zvyšuje přesnost střelby, jednak snižuje spotřebu munice. Pro boj na větší vzdálenost může nést letoun několik řízených střel. Podle systému navádění se dělí na střely s aktivním radarovým naváděním (opatřené vlastním radarem), s poloaktivním radarovým naváděním (při letu spolupracují s palubním radarem) a s infračerveným naváděním (automaticky se zaměřuje na tepelný zdroj).

„Neviditelné“ letouny

Radar představuje pro vojenské letouny velké nebezpečí odhalení, a proto konstruktéři hledali a stále hledají účinné způsoby, jak před ním letadla „ukrýt“. V roce 1988 se v tisku objevily první fotografie americké stíhačky F-117 Nighthawk, která byla označována jako letoun typu **stealth**. Pohled na ni byl opravdu šokující: její tvar byl hrozivý, vypadala jako černá nestvůra ze sci-fi filmu nebo záhadné UFO. Technologií stealth se vyznačuje také nejdražší letadlo světa, americký bombardér B-2 Spirit.

Anglický výraz „stealth“ můžeme přeložit jako tajný, tajně jednající, nepozorovaný, neviditelný. Konstrukce letadel a lodí typu stealth má především výrazně zmenšit

možnost jejich odhalení radarem. Na rozdíl od aerodynamických tvarů běžných letadel se její povrch skládá ze zdánlivě změti rovných ploch, panelů, trojúhelníků a mnohoúhelníků. Jejich zvláštní uspořádání a tvar má odrážet radarový signál tak, aby se rozptyloval do stran a nevracel se zpět k anténě radaru. Další ochranou před odhalením je speciální nátěr, který snižuje odrazivost a naopak zvyšuje pohlcování radarových vln.



Stealth bombardér B-2 Spirit



Stealth stíhačka F-117 Nighthawk



Experimentální loď, využívající technologii „stealth“

Chránit letadla před radarovým odhalením se snažili konstruktéři už během 2. světové války. Například v Německu se uvažovalo o stíhačkách vyrobených převážně ze dřeva, od kterého by se radarové vlny téměř neodrážely. Spojenecká letadla při hromadných náletech na Německo zase shazovala obrovské množství malých hliníkových proužků. Radarové vlny se od nich odrážely a obsluha německých radarů nemohla přesně určit, jestli se jedná o skutečná letadla, nebo jen o klamné cíle.

Včas varuje AWACS

Letecká základna v německém Geilenkirchenu hraje už více než 25 let významnou roli při ochraně vzdušného prostoru zemí NATO. Je domovským letištěm pro 17 obřích letadel AWACS, které na svém „hřbetě“ nesou zvláštní nástavbu talířového tvaru. V ní je ukryta otočná radarová anténa, pokrývající svým signálem celý prostor kolem letadla do vzdálenosti až 520 kilometrů. Označení **AWACS** je zkratkou anglických slov Airborne Warning and Control System, což můžeme přeložit jako letecký výstražný a řídicí systém nebo systém včasného varování.



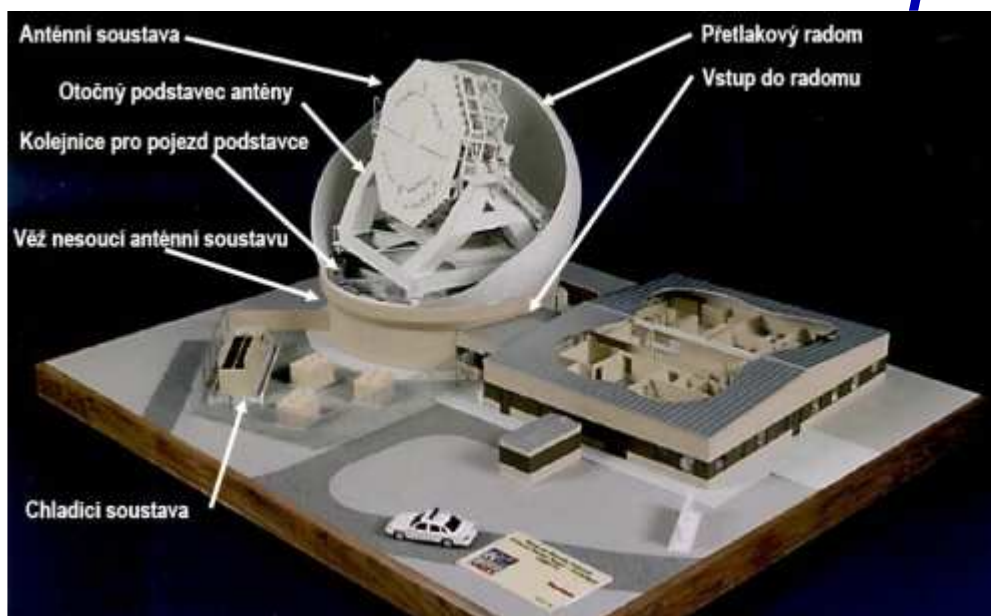
Rozsáhlá radioelektronická a počítačová výbava letounů umožňuje nepřetržitě zachycovat a sledovat nepřátelské cíle, předávat informace pozemním střediskům i jiným letadlům, navádět řízené střely, řídit letecké souboje i odposlouchávat nepřátelské spoje. Radarová anténa, ukrytá v obřím kruhovém disku, má obdélníkový tvar o rozměrech 7,3 x 1,5 m. Při průzkumu vzdušného prostoru vykoná jednu otočku za 10 sekund.



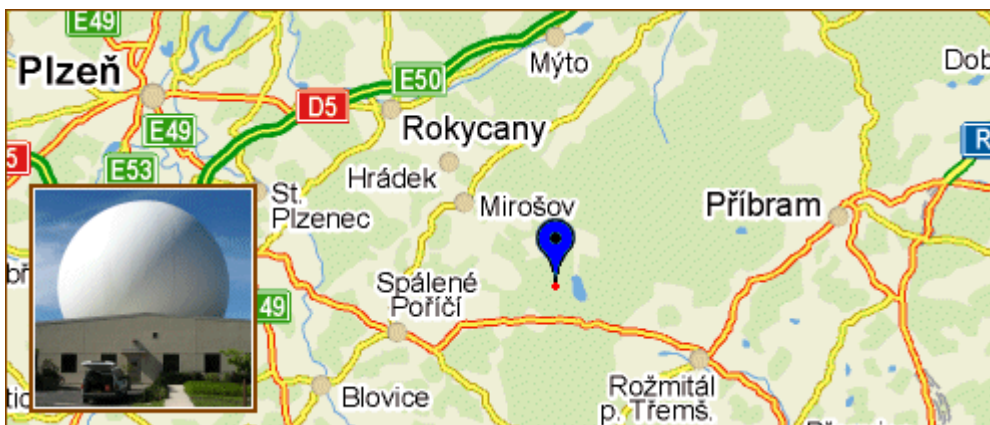
Letoun systému AWACS - pracoviště operátorů, obsluhujících radar

Letouny AWACS vykonávají nejen rutinní hlídkovou činnost, ale zajišťují vzdušný prostor také v průběhu různých vojenských operací a jiných událostí (olympijské hry, fotbalový šampionát apod.). Účastnily se operace Pouštní bouře v Perském zálivu, sedm let střežily vzdušný prostor v období válečného konfliktu v bývalé Jugoslávii, chránily i vzdušný prostor USA po teroristických útocích 11. 9. 2001. Zapojily se také do různých humanitárních operací, např. po zemětřesení v Pákistánu.

Radarová stanice EBR a interceptory



Řez uvažovanou radarovou stanicí EBR ve vojenském újezdu Brdy



Mapka středočeského [pohoří Brdy](#)
s vyznačením polohy uvažované stanice EBR

Základní technická data radiolokátoru stanice EBR

Pracovní kmitočet	8 – 12 GHz
Maximální dálkový dosah	cca 2000 km
Maximální výkon	170 kW
Šířka paprsku	0,18 stupňů
Sektor snímání	± 12,5 stupňů
Počet vysílačích/přijímacích modulů	16 896
Plocha aktivní části anténní soustavy	105 m ²
Rozměr antény (šířka – výška, tvar osmiúhelník)	13,97 m x 13,65 m
Celková výška radiolokátoru	cca 26 m
Předpokládaný příkon radiolokační stanice	3 – 4 MW
Zdroje energie: napájení z veřejné rozvodné sítě, jako záložní 2 – 3 dieselové generátory o výkonu cca 1,5 MW	

Protiraketové řízené střely - interceptory



Protiraketová řízená střela

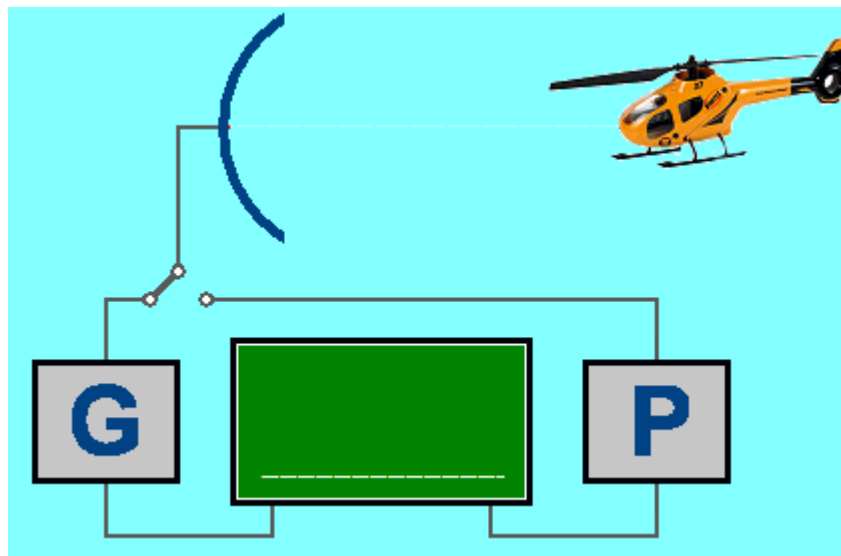


Nevýbušná "kinetická" hlavice interceptoru

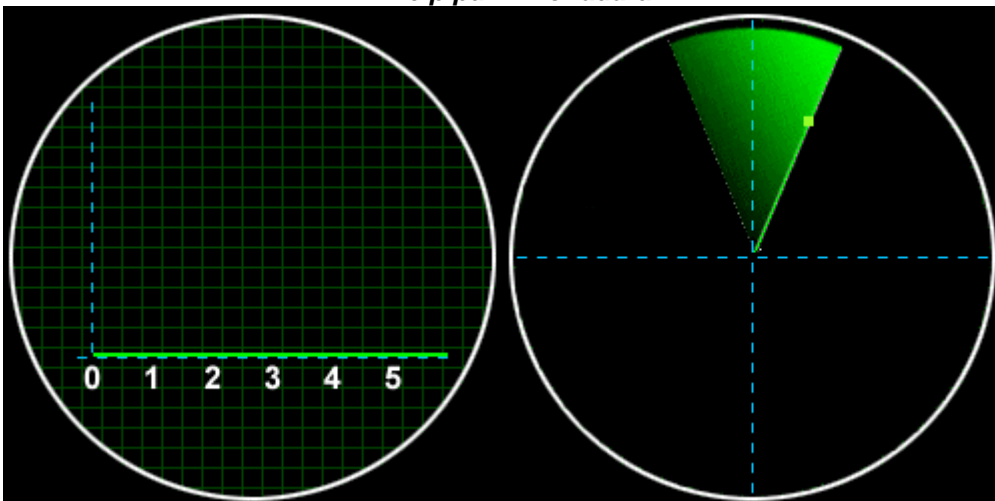


Umístění plánované základny protiraketových střel v [severním Polsku](#)

Přehled animací



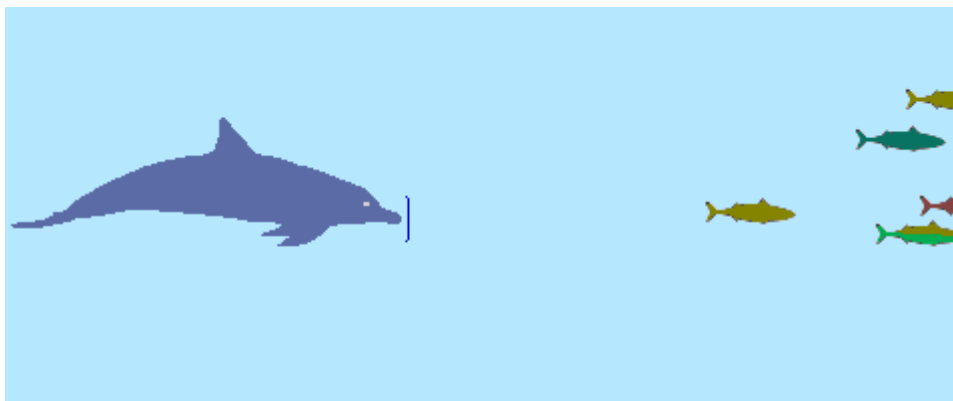
Princip pulzního radaru



Dva typy klasických radarových monitorů



Princip ultrazvukového sonaru - vyhledávání objektů pod vodou



Delfín se orientuje pod vodou pomocí odrazu ultrazvukových impulzů

Radarové snímky oblačnosti (14. a 15.9.2008)

Radarový záznam povětrnostní situace během 24 hodin