

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



Ve druhé kapitole se seznámíme s jevy, které se týkají šíření rádiových vln, jejich útlumu, odrazu, a praktickými dosahy rádiových spojení v závislosti na kmitočtu.

2.1 FYZIKÁLNÍ PODSTATA ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN

Elektromagnetické vlny existovaly v přírodě, i když si člověk jejich existenci ještě neuvědomoval. Byly tu před tím, než člověk objevil elektrický proud. Nejvýraznějším příkladem elektromagnetické vlny je totiž světlo. Elektromagnetismus je společný pojem popisující magnetické a elektrické jevy, protože se v přírodě vyskytují společně. Vysokofrekvenční proud protékající vodičem kolem něj vytváří elektrické pole rovnoběžné s vodičem a magnetické pole, kolmé k vodiči.

Elektromagnetické vlny s různými kmitočty byly kategorizovány a podle svého použití pojmenovány.

- rádiové vlny cca 10^4 – 10^{10} Hz,
- světelné vlny cca 10^{14} Hz,
- záření X cca 10^{17} Hz,
- záření γ cca 10^{19} Hz.

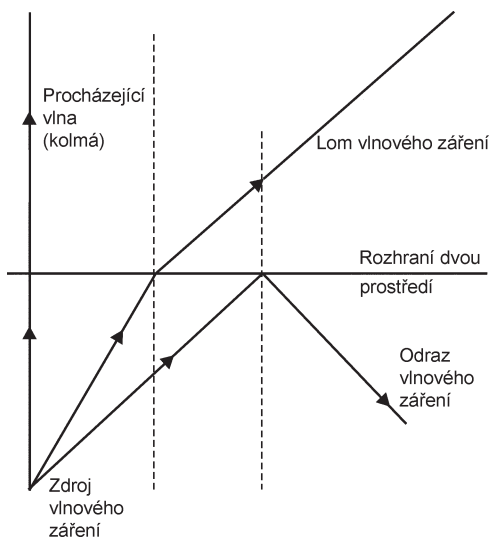
Rychlost šíření elektromagnetických vln ve volném prostoru prakticky činí 300 000 km/s. Pro názornou představu o rychlosti šíření elmag. vln se uvádějí tyto dva příklady. Během 1 sekundy oběhne elektromagnetická vlna zeměkouli více než 7×. Vzdálenost mezi Sluncem a Zemí urazí přibližně za 8 minut.

Síločáry elektrického pole jsou kolmé k siločárám magnetického pole, při čemž platí, že polarizaci elektromagnetického pole určuje orientace siločar elektrického pole vzhledem k zemskému povrchu.

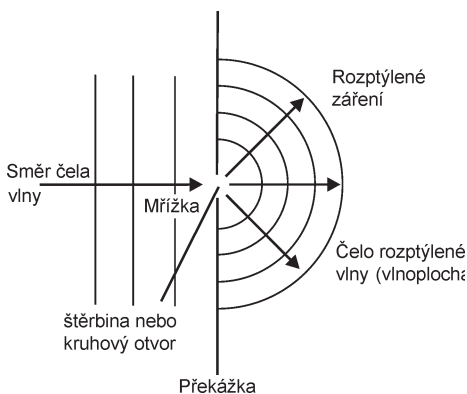
Elektromagnetické vlny se šíří přímým směrem. V přírodních podmínkách je však směr a charakter šíření ovlivněn jevy jako odraz, lom, difrakce nebo interference.

Vlna „letící“ éterem se při setkání s jiným (odrazným) prostředím, např. půdou, vodou apod., odráží v souladu s pravidlem: úhel dopadu se rovná úhlu odrazu (*obr. 2.1*). Podle charakteru odrazného prostředí mezi oběma prostředími, může také dojít pouze

k lomu dopadající vlny. Zda dojde k odrazu, či lomu závisí též na úhlu dopadu elektromagnetické vlny na rozhraní obou prostředí (vzduch-půda, vzduch-voda atd.) a jejich kvalitě (dielektrická konstanta) ϵ .



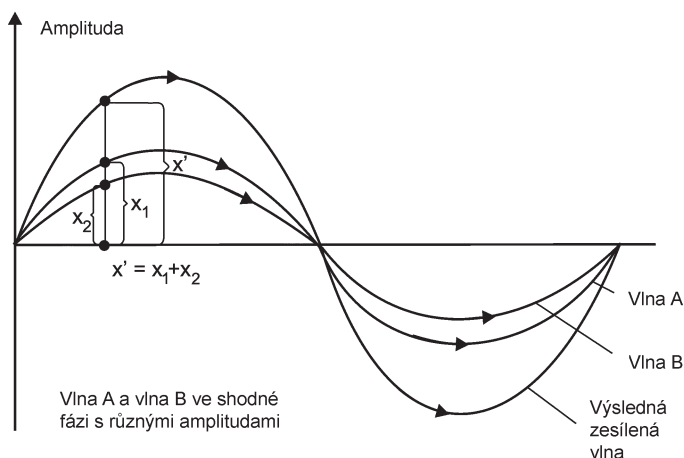
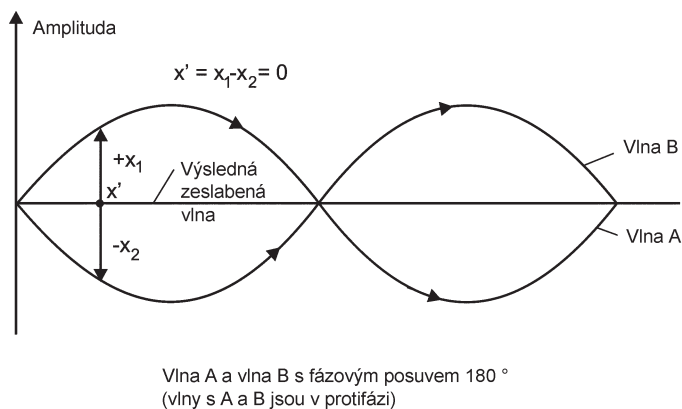
Obr. 2.1 Lom a odráz vlnového záření



Obr. 2.2 Difrakce vlnového záření

K difrakci dochází v případě, když vlna narazí na otvor v překážce (obr. 2.2). Po průchodu otvorem vznikne sekundární záření. Otvor se stane středem vzniklé kulové vlnoplochy. Difrakce nastává i při průchodu vlny velmi úzkou štěrbinou, ale také přechodem přes ostré hrany. Díky difrakci lze na VHF a UHF pásmech realizovat spojení i mezi stanicemi s nepřímou viditelností, např. v hornatém prostředí, mezi stanicemi v údolích, oddělených hornatými hřebeny, na nichž k této difrakci někdy dochází.

Významným fyzikálním jevem je interference vlnového záření. V principu se jedná o skládání dvou elektromagnetických vln. Obě vlny se mohou navzájem zesilovat, zeslabovat nebo se dokonce vzájemně vyrušit, a to podle jejich vzájemné fáze. Na *obr. 2.3* jsou znázorněny sinusové průběhy dvou vln ve shodné a opačné fázi. Složením obou křivek vzniká buď výsledná vlna zesílená nebo naopak zcela utlumená.



Obr. 2.3 Ztlumení a zesílení sinusové vlny

2.2 TYPY ŠÍŘENÍ RÁDIOVÝCH VLN

Rádiové záření se podle popsaných fyzikálních jevů šíří přímočaře, a to buď podél zemského povrchu nebo prostřednictvím odrazů od troposféry či ionosféry. Existují však ještě jiné zvláštní případy šíření elektromagnetických vln, kterým se budeme věnovat v této kapitole.

2.2.1 Šíření přízemních vln

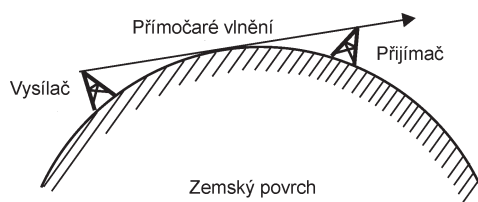
Přízemní vlny se šíří podél zemského povrchu a sledují jeho zakřivení. Na *obr. 2.4* jsou znázorněny přízemní vlny. Dosah tohoto způsobu šíření je značný. Je ovlivněn terénem, kterým prochází (reliéfem zemského povrchu), elektrickými parametry prostředí (půda, voda atd.), kmitočtem a výkonem vysílače. Přízemní vlnou se šíří zejména nízké kmitočty, náchylné na poruchy všech druhů.

Přízemní vlna je do značné míry absorbována zemským povrchem a proto se pro spolehlivé zabezpečení větších dosahů musí používat výkonné vysílače. Přízemní vlnou se šíří vysílání rozhlasových stanic na středních a dlouhých vlnách i na vzdálenosti přesahující 1000 km, a to bez retranslačních stanic nebo družicových převaděčů. Tyto rozhlasové stanice pracují s výkony řádově MW!

Rádiové vlny v pásmech VHF a UHF se šíří podél zemského povrchu přímočaře, takže jejich dosah je ohraničen přímou viditelností, tzn. obzorem přibližně ve vzdálenosti 50 km, prakticky však závisí na výšce antén ale i výkonu použitých vysílačů. Považovat šíření elmag vln na těchto pásmech za šíření přízemní vlnou je v podstatě nesprávné, přesto, že se tento děj odehrává těsně nad zemí, resp. podél zemského povrchu.



Obr. 2.4 Šíření přízemní vlny



Obr. 2.5 Přímý dosah

2.2.2 Šíření troposférických a ionosférických vln

Troposféra je atmosférická vrstva dosahující výše cca 10 km. Je složena z plynů a vodních par. V horních vrstvách troposféry klesá atmosférický tlak a panují tam již poměrně nízké teploty (do $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Elektrická „propustnost“ troposféry se s výškou mění, takže se liší od propustnosti nižších vrstev. V závislosti na teplotě, atmosférickém tlaku a vlhkosti (množství vodních par) se s výškou mění elektrické vlastnosti, resp. index lomu, který ovlivňuje šíření elektromagnetických vln v pásmech VHF a UHF tak, že se elektromagnetické vlny mohou lomit (ohýbat) zpět směrem k zemskému povrchu nebo naopak ven do volného prostoru mimozemského (*obr. 2.6*). V prvním případě příznivě ovlivňují dosah radiokomunikace, často daleko za optický obzor.

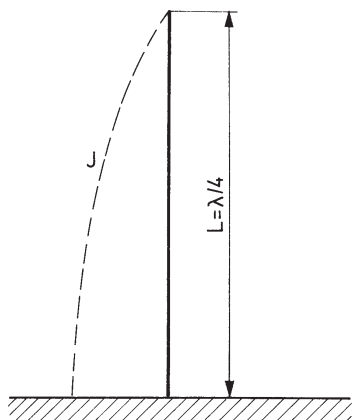
Časté změny atmosférických podmínek v troposféře mění sílu vysílaných signálů. Vzniká fluktuace, jejíž důsledkem jsou střídající se krátká i delší období slyšitelnosti a zániku signálů.

Antény lze rozdělit do mnoha kategorií podle různých kritérií. Obvykle se antény rozdělují podle charakteristiky vyzařování (diagramu záření) a způsobu použití antény.

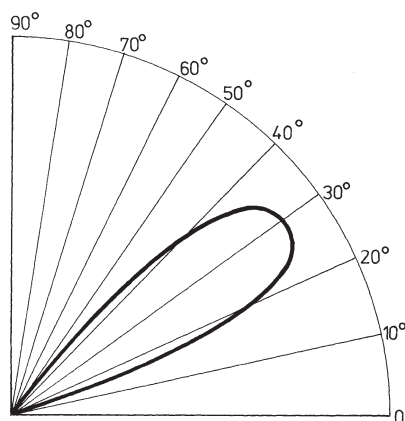
Podle diagramu záření se antény dělí na všesměrové a směrové. U všesměrových antén převládají antény s vertikální polarizací. Ke směrovým anténám patří antény typu YAGI, antény smyčkové (Cubical Quad), logaritmicko-periodické antény (LPDA) a další, většinou horizontálně polarizované.

3.1 VŠESMĚROVÉ ANTÉNY

Nejjednodušší všesměrovou anténou je anténa typu ground plane – GP s délkou zářiče $\lambda/4$ (obr. 1.4). Nedílnou a funkčně nezbytnou částí běžně užívané antény GP je několikaprvková protiváha se čtvrtvlnnou délkou prvků [1]. Diagram záření ve vertikální rovině je schematicky znázorněn na obr. 3.2.



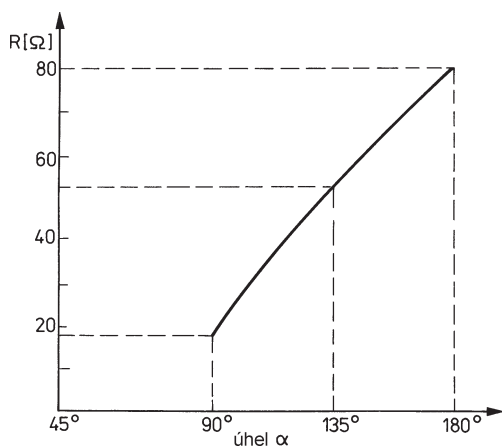
Obr. 3.1
Anténa typu GP
s protiváhou – zemí



Obr. 3.2
Diagram záření
antény GP ve vertikální rovině

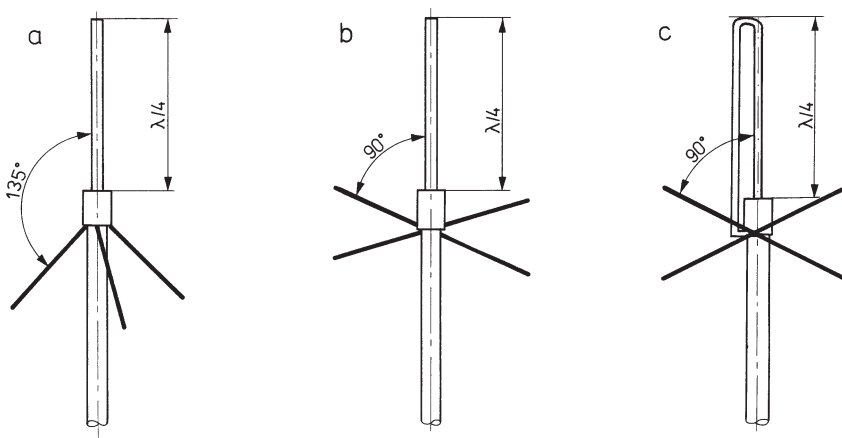
V horizontální rovině je charakteristika vyzařování prakticky kruhová, pokud je anténa opatřena alespoň 4prvkovou protiváhou. Zisk antény GP vzhledem k dipólu $\lambda/2$ (v rovině horizontu) $G_d = -1$ dB. Impedance antény GP závisí na úhlu, který svírá zářič

s prvky protiváhy (obr. 3.3). Při úhlu cca 135° je impedance $50\ \Omega$, což při nesouměrném napájení umožňuje použití běžného koaxiálního kabelu se shodnou impedancí $50\ \Omega$. Při úhlu 90° činí impedance antény GP cca 30 až $35\ \Omega$. Tuto anténu lze přizpůsobit k impedanci $50\ \Omega$ paralelní kapacitou v patě zářiče, nebo na konektoru antény.



Obr. 3.3 Závislost impedance antény GP na úhlu mezi zářičem a prvky protiváhy

Stacionární antény GP používají 3prvkové protiváhy (obr. 3.4) – „trojnožka“ s vnitřními úhly 120° nebo 4prvkové „křížové“ protiváhy s vnitřními úhly 90° [15]. Místo jednoduchého lineárního zářiče se používá také skládaný unipól, jehož impedance s protiváhami svírajícími úhel 90° činí cca $120\ \Omega$. Výhodou tohoto řešení je galvanické spojení unipólu se zemí, kdy je případný elektrostatický náboj odváděn k zemi prostřednictvím druhého uzemněného konce unipólu. Antény se skládaným unipólem pracují v širším kmitočtovém pásmu. Fyzická délka zářiče neodpovídá přesně $\lambda/4$, ale závisí na činiteli zkrácení antény K , který zpravidla činí $0,85$ až $0,98$.



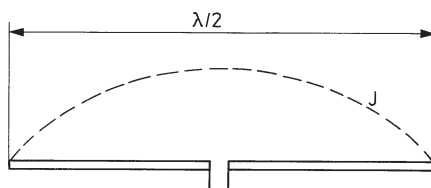
Obr. 3.4 Druhy antén GP a – „trojnožka“, b – „křížová“ GP, c – skládaný unipól GP

Příklady praktických řešení antén GP pro KV a VKV uvedeme v dalších kapitolách.

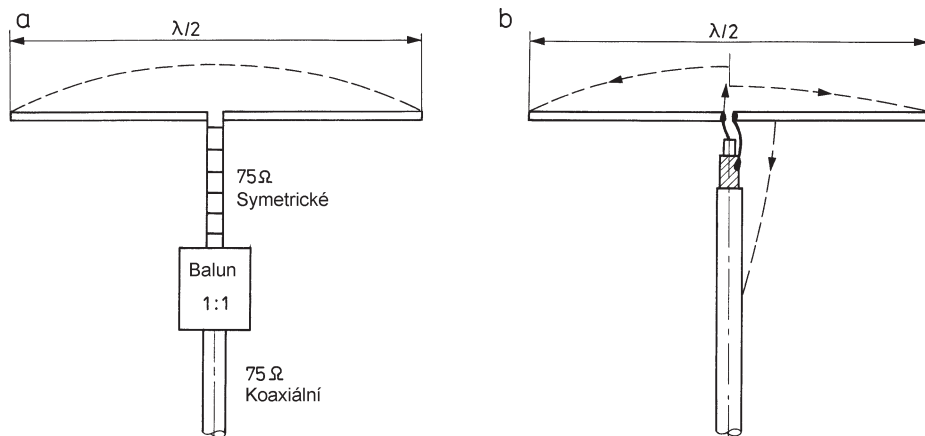
Druhou nejpobulárnější anténou je půlvlnný dipól (obr. 3.5). Anténu tvoří dva stejné dlouhé vodiče o celkové délce $\lambda/2$. Svislý (vertikální) dipól má ve vodorovné (horizontální) rovině všesměrovou charakteristikou (kruhový diagram záření). Vodorovný (horizontální) dipól má ve vodorovné rovině diagram záření ve tvaru „osmičky“, kolmé k podélné ose dipólu [7]. Tvar „osmičky“ závisí také na výšce dipólu nad zemí.

Půlvlnný dipól je (jak bylo uvedeno v kapitole 1) referenční anténou při měření zisku antén. Jeho zisk je tedy 0 dB_a resp. 2,14 dB_i vzhledem k tzv. izotropickému zářiči. Impedance dipólu ve výšce $H \geq \lambda/2$ nad zemí je 70 až 50 Ω . Čím je dipól štíhlejší, tím více se jeho impedance přibližuje 70 Ω .

Dipól, jako symetrickou anténu, je třeba napájet symetrickým vedením, nebo nesymetrickým koaxiálním kabelem přes balun 1:1 (obr. 3.6). Mnoho uživatelů podceňuje nutnost symetrizace. Je však třeba vzít v úvahu, že nesymetrické napájení symetrické antény (bez balunu) často vede k nežádoucímu vyzařování vysokofrekvenční energie povrchem (stíněním) koaxiálního napáječe. Důsledkem tohoto záření bývá rušení blížkových televizních a rádiových přijímačů (TVI, RVI – obr. 3.6b).

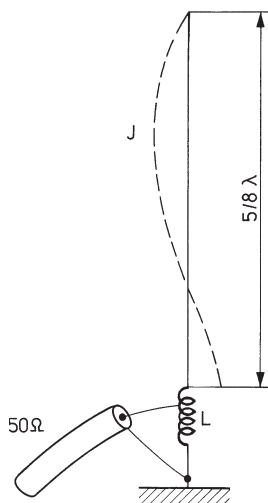


Obr. 3.5 Půlvlnný dipól

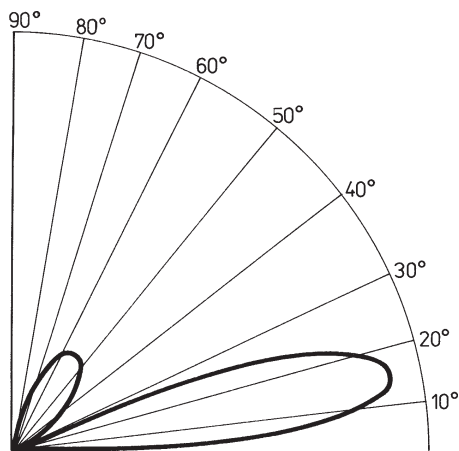


Obr. 3.6 Napájení půlvlnného dipólu
a – souměrné (symetrické), b – nesouměrné (nesymetrické)

Další oblíbenou všesměrovou mobilní anténou, užívanou často jako stacionární anténa pro pásmo CB, je vertikální anténa (unipól) o délce $5/8 \lambda$ s protiváhou (obr. 3.7). Jde v podstatě o zkrácenou anténu $3/4 \lambda$. Prodlužujícím a zároveň přizpůsobovacím prvkem je zde cívka (indukčnost) v patě zářiče. V horizontální rovině je diagram záření všesměrový. Ve vertikální rovině je maximum vyzařování (elevační úhel) závislé na výšce antény nad zemí (obr. 3.8). Teoretický zisk je 3,5 dB_i. Délka prvků protiváhy, umístěných pod cívkou je $\lambda/4$.



Obr. 3.7
Anténa $5/8 \lambda$



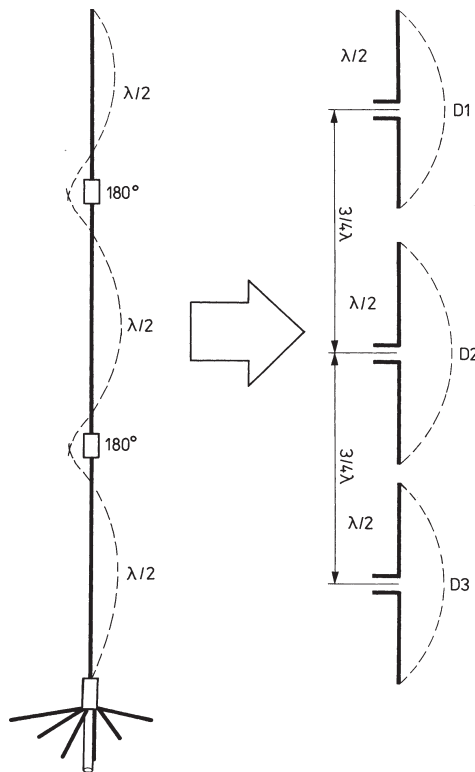
Obr. 3.8
Diagram záření antény $5/8 \lambda$
ve vertikální rovině

Prodloužením zářiče nad $3/4 \lambda$ vznikají velké postranní laloky, takže anténa vyzařuje pod velkými elevačními úhly a její vyzařování v rovině horizontu je minimální. Proto je tato prodloužená anténa nevhodná pro radiokomunikaci přízemní vlnou, tzn. na pásmech VHF a CB. Navíc pak prodloužení zářiče antény nad $3/4 \lambda$ nezvyšuje její zisk.

Zvýšení zisku lze dosáhnout použitím několika souose uspořádaných půlvlnných dipólů, tzv. kolineární anténou obr. 3.9 [18]. Praktická řešení tohoto typu antén uvedeme při popisu antén pro pásma VKV. Kolineární antény jsou moderním řešením, umožňujícím dosažení zisku až 10 dB_d!!

3.2 SMĚROVÉ ANTÉNY

Směrové antény byly navrženy pro dosažení vyššího zisku a potlačení poruch přicházejících z nežádoucích směrů. Nejoblíbenější a nejrozšířenější směrovou anténou je anténa typu Yagi (obr. 3.10). Tyto antény se běžně používají na KV, VKV a TV pásmech. Používají je radioamatéři i profesionální služby včetně spojovacích služeb vojenských.

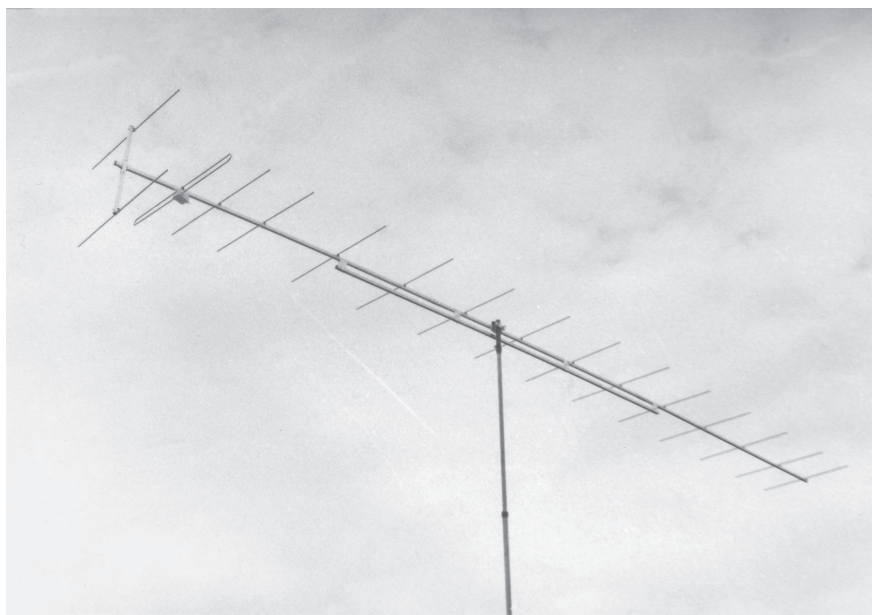


Obr. 3.9 Kolineární anténa

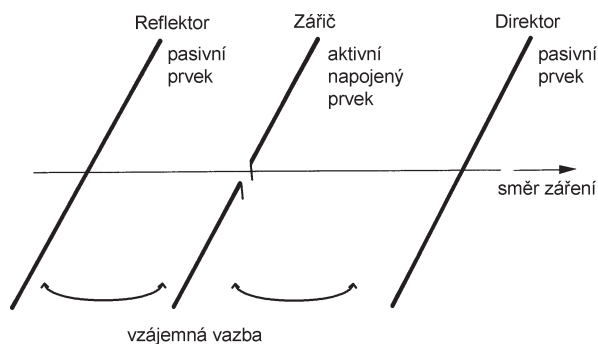
Anténa Yagi se skládá z aktivního napájeného prvku – zářiče (dipólu) – a nenapájených prvků pasivních direktorů a reflektorů (*obr. 3.11*).

Principiálně je činnost antény Yagi založena na vzájemné vazbě mezi prvky, která ovlivňuje intenzitu a fázi indukovaných proudů a tím vyzařovací a napájecí vlastnosti (diagram záření a impedanci) antény. Primárním zdrojem je aktivní prvek, zpravidla půlvlnný dipól, umístěný mezi reflektorem a prvním direktorem. Tato skupina prvků pak svým uspořádáním (délkou prvků a vzájemnou roztečí) ovlivňuje vyzařování podél dalších direktorů. S jejich narůstajícím počtem, se zvyšuje zisk antény. Impedanci antény Yagi ovlivňují – rozměry a konstrukce zářiče, a jeho vzdálenost od sousedních prvků, zejména od prvního direktoru. Zisk antény tedy závisí na počtu prvků – direktorů, resp. délce antény. Orientačně platí:

- 3prvková anténa Yagi – 4,0 dB_d,
- 6prvková anténa Yagi – 9,0 dB_d,
- 9prvková anténa Yagi – 12,0 dB_d,
- 15prvková anténa Yagi – 15,0 dB_d,
- 28prvková anténa Yagi – 19,0 dB_d.



Obr. 3.10 Anténa Yagi



Obr. 3.11 Princip činnosti antény Yagi

Zisk delších antén Yagi nestoupá přímo úměrně s počtem prvků, resp. lineárně s její délkou. Proto nemá smysl prodlužovat celkovou délku antény nad 8λ , kdy je již přírůstek zisku prakticky zanedbatelný. Účinnějším řešením je realizace vícečlenných anténových soustav, sestavených z několika soufázově napájených základních antén. Každým zdvojením sestavy antén se celkový zisk soustavy teoreticky zvyšuje až o 3 dB. Praktický přírůstek zisku je o něco menší vlivem ztrát na spojovacích vedeních.