

# Družicový přenos signálů

(Část první)

**P**říjem signálů z družic si nachází cestu k nejrůznějším vrstvám diváků, posluchačů. Při úvahách o pořízení, zařízení pro příjem signálů, hodnocení zařízení přijímací aparatury, např. parabol, konvertorů, ozařovačů, polarizátorů, vlastních družicových přijímačů, sdružovačů a zesilovačů, i dalších prvků příjmu, např. pro kabelové rozvody signálu, se setkáváme s celou řadou otázek, pojmů, výrazů, slovních zkratk. Pokud na ně známe odpovědi a pochopíme funkční význam, můžeme se v otázkách a problémech družicové televize mnohem lépe orientovat.

Jelikož pro praxi není nic tak potřebného, jako dobrá teorie, budeme se věnovat na stránkách ELEKTRONIKY seriálovým způsobem vybraným otázkám z oboru přenosu signálů z družic. Bude-li to pro výklad nutné, nebudeme váhat a uvedeme i některé zcela elementární výklady, které sice odborníkům z oblasti radiotechniky jsou známy, ale jelikož píšeme pro širší vrstvu čtenářů, kteří nemusí být vždy znalí základů, považujeme tento způsob za vhodný.

Přenos družicové informace, podobně jako další způsoby přenosu informací — např. pozemský rozhlas na dlouhých a středních vlnách, krátkovlnné spoje, přenos signálů radioreleovými prostředky, vysílání pozemské televize a řada dalších služeb bezdrátového přenosu — se v principu od sebe neliší. Každý přenos vyžaduje vysílač, přenosový trakt signálu od vysílače k vysílací anténě a vysílací anténu. Na straně příjmu je přijímací anténa, přenosový trakt přijímaného signálu anténou k přijímači a vhodná přijímací souprava.

Signály z vysílací antény se šíří prostředím k přijímací anténě. Nositelem signálů je elektromagnetické pole (elektromagnetická vlna), které je charakterizováno dvěma veličinami: intenzitou elektrického pole a intenzitou magnetického pole. Jejich prostorové uspořádání a časový průběh se řídí podle vztahů, které vystihují fyzikální podstatu elektromagnetického pole (podrobnosti později).

Každému je z dětství znám výsledek experimentu šíření vln na hladině rybníka po vyvolání vzruchu vhozením kamenu na hladinu. Vlny se od místa vzruchu vzdalují. Zcela obdobně platí představa o šíření elektromagnetické vlny, pouze s tím rozdílem, že šíření od bodového zdroje, který tvoří periodický zdroj vzruchu, probíhá prostorově a vlny jsou kulového charakteru, šíří se všemi směry v prostoru.

Rychlost šíření je shodná s rychlostí šíření světla, rovně 300 000 km/s. Mezi počtem změn vzruchu (cyklů za sekundu, tedy kmitočtem a rychlostí šíření světla, platí vztah pro určení délky vlny:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$\lambda$  (lambda) — vlnová délka v metrech

$c$  — rychlost šíření světla  $3 \cdot 10^8$  m/s

$f$  — kmitočet [Hz]

(Jednotka Hz [hertz] charakterizuje kmitočet periodického jevu, jehož perioda trvá jednu sekundu. Tak např. v domovní zásuvce střídavého proudu je proud o kmitočtu 50 Hz/s.)

Vlnová délka hraje pro přenos informací důležitou úlohu, neboť elektromagnetické vlny podle své délky, vykazují značné rozdílnosti v šíření. Tak např. vlny dlouhé (délky řádově km) se šíří na velké vzdálenosti kolem zemského povrchu, střední vlny (řádově 190—550 m) se přes den šíří podél zemského povrchu a po západu slunce navíc odrazem od ionosféry, krátké vlny (10—190 m) se šíří odrazem od ionosférických vrstev, jejich šíření je odvislé od řady dalších faktorů jako je roční období, den, noc, geografická poloha vysílače a přijímače, číslo slunečních skvrn a další. Vlny kratších délek, odvozené od vyšších kmitočtů (radioreleové spoje, televize, kosmické spoje), se šíří podle principů šíření na přímou viditelnost od vysílače k přijímači. Překážka na cestě mezi vysílačem a přijímačem omezí spojení, ne-li zneumožní. Poslední poznatek je zejména důležitý pro příjem signálů z družic. Pro nasměrování přijímací antény na družici nesmí stát v cestě překážka, např. výšková budova, hora, kopec, stromy. Pro dobrý příjem signálů z družic (v našich podmínkách družice 60° východ až 45° západ) musí být v rozsahu azimutálních úhlů a elevačních úhlů (podrobnosti budou uvedeny později) dosaženo dobré, nezacloněné viditelnosti.

Elektromagnetické pole (elektromagnetická vlna) je pouze nositelem signálu, podobně jako listonoš, který přináší zprávu, zprávu odevzdá a opět odejde. Zpráva, signál se elektromagnetické vlně vtiskne některým z mnoha praktických způsobů (později popsanych) modula-

ce. Na straně příjmu se zpráva, signál získá vhodnou demodulací.

Pro přenos informací užitim elektromagnetických vln lze užít nejrůznějších kmitočtů. V praxi jsou na základě mezinárodních dohod, zakotvených v dokumentech CCIR, pro určité spoje, služby přiděleny závazným způsobem určité kmitočtové rozsahy, pásma. Tak např. dlouhé vlny 150—285 kHz, střední vlny 520—1605 kHz, televizní pásma — pásmo I TV: 47—68 MHz, spodní speciální kanály S2-S10: 111—174 MHz, III TV pásmo, kanály 5—12: 174—230 MHz, horní speciální pásmo, kanály S11—S20: 230—300 MHz, rozšířené horní speciální pásmo S21-341: 302—470 MHz; IV/V TV pásmo, kanály K21—K69: 470—862 MHz.

Dlouhé vlny nejsou pro kosmické komunikace vhodné, totéž platí pro střední a krátké vlny. Při jejich užiti by bylo nutno instalovat rozměrné, pro kosmické spoje neuskutečnitelné antény. Kromě toho jsou tyto vlny silně tlumeny a ovlivňovány v ionosféře působením Země a magnetických polí. Nejnižší kmitočet, který se v současnosti používá pro družicové komunikace je 800 MHz. Nejvyšší kmitočet je 30 GHz. V rozsahu těchto kmitočtů je svět rozdělen do tří pásem, regionů, podle obr. 1. Ve vyznačených regionech jsou služby rozděleny do různých druhů.

Kmitočtová pásma jsou pojmenována písmenným označením:

Název pásma	kmitočtový rozsah (GHz)
L — pásmo (band)	1—2 $1 \frac{1}{2}$
S — pásmo (band)	2—3 $2 \frac{1}{4}$
C — pásmo (band)	4—6 $4 \frac{1}{8}$
X — pásmo (band)	7—8 $8 \frac{1}{2}$
Ku — pásmo (band)	11—18 $12 \frac{1}{4}$
Ka — pásmo (band)	20—30 $27 \frac{1}{4}$

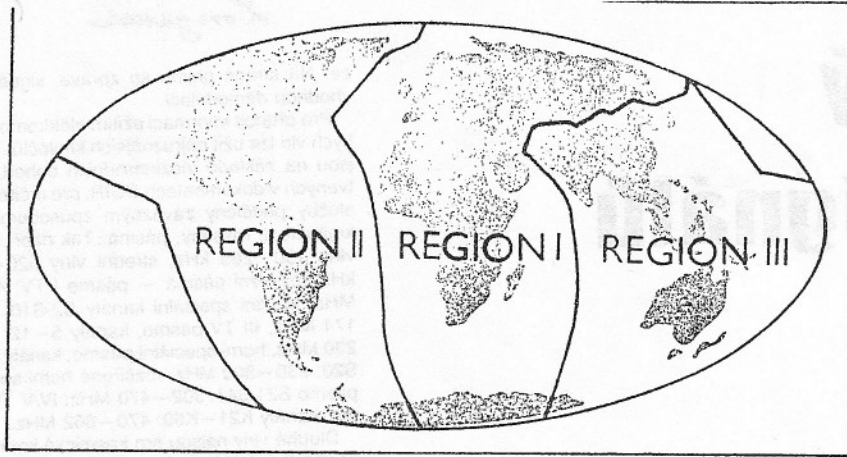
Za současných stavů přijímových možností v našich podmínkách bude pro nás nejzajímavějším pásmo Ku (11—18 GHz) a částečně, při pozdějším výkladu přenosu televizních signálů užitim družic v SSSR a USA pásmo C (4—6 GHz), eventuálně pásma nižší (přenosy v SSSR). V Ka pásmu na 20 GHz jsou v současnosti připravovány experimenty užitim družice Kopernikus, 23,5° východ, které má výhledově řešit problém přeplněného Ku pásma.

Vraťme se k rozdělení služeb. Rozeznáváme pevnou, rozhlasovou a mobilní službu. Pevná služba zahrnuje přenos zvukových signálů, dat a video signálů, mezi stanicemi s pevným, fix-

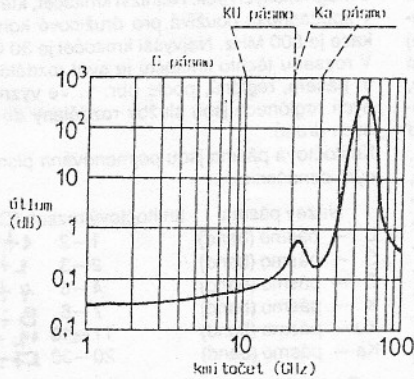
Tab. 1: Přidělení kmitočtů pro družicové komunikace v regionu.

Pásmo	Kmitočtový rozsah [GHz]	Způsob záření	Služba	Šířka pásma [MHz]
L	1,5—1,6	z družice na družici	pohyblivá	100
	1,6—1,7			pohyblivá
S	2,5—2,6	z družice	rozhlasová	100
C	3,4—4,2	z družice	pevná	800
	4,5—4,8	z družice	pevná	300
	5,9—7,0	na družici	pevná	1100
X	7,2—7,7	z družice	vojenská	500
	7,9—8,4	na družici	vojenská	500
Ku	10,7—11,7	z družice	pevná	1000
	11,7—12,5	z družice	rozhlasová	800
	12,5—12,75	z družice	pevná (x)	250
	12,75—13,25	na družici	pevná (x)	250
	14,0—14,8	na družici	pevná	800
Ka	17,3—18,3	na družici	pevná	1000
	17,7—20,2	z družice	pevná	2500
	20,2—21,2	z družice	pohyblivá	1000
	22,5—23,0	z družice	rozhlasová	500
	27,0—30,0	na družici	pevná	3000
	30,0—31,0	na družici	pohyblivá	1000

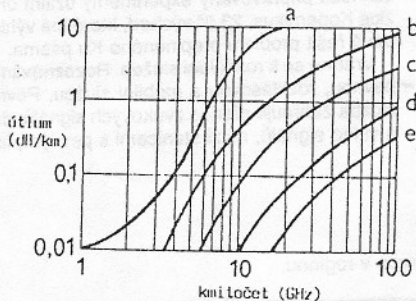
(x) přiděleno obchodním službám, antény jsou umístěny na obchodních budovách zákazníků.



Obr. 1: Rozdělení světa na regiony.



Tab. 2: Útlum zapříčiněný vlivem atmosférických rušení.



Tab. 3: Útlum způsobený vlivem deště. a - velmi silný déšť, (100 mm/h), b - silný déšť (16 mm/h), c - středně silný déšť (4 mm/h)

ním stanic. V Evropě (Region I) tyto stanice zpravidla vlastní poštovní, telegrafní a telefonní národní organizace podle určitých států (PTT).

Rozhlasová služba (pojem je nutno chápat širěji, nikoliv ve smyslu českého slova rozhlas), zahrnuje přenosy zvukových signálů, dat a videosignálů, které z jedné nebo více pevných stanic jsou vysílány na řadu přijímacích stanic. Tyto stanice se mohou vyskytnout libovolně v rozsahu zóny ozáření z družice (footprint). Pevné vysílací stanice mohou být státní (veřejné) nebo soukromé. Musí být registrovány. Stanice, určené pouze pro příjem, mohou být ve vlastnictví společenském nebo také soukromém. Tento druh služeb je primárně zaměřen

na přenos televizních signálů přímo na malé domovní antény. Sem patří též audio přenosy dobré jakosti a přenosy komerčních dat, např. přenosy burzovních údajů o posledním stavu, cenové údaje, údaje prodejní sítě a sítě služeb určených pro celou Evropu.

V každém pásmu je celková šířka pásma, která je k dispozici pro přenos z družice (down link), stejně široká jako pro přenos na družici (up link).

Ku pásmo je převážně využíváno u družic, jejichž programy jsou v našich podmínkách zcela dostupné. Jsou to družice určené pro pevnou službu (spojové), operující v 10,95 GHz až 11,7 GHz (Eutelsat, Intelsat). Patří sem i družice středního výkonu soukromé lucemburské společnosti SES ASTRA 1A i část transponderů družice Kopernikus. Dále do pásma Ku patří družice operující v 12,5 GHz až 12,75 GHz, původně uvažované pro komerční služby. Příkladem budiž francouzská, dobře programy vybavená družice Telecom a část německy mluvených programů družice Kopernikus.

V Ku pásmu pracují družice i na kmitočtech 11,7 GHz až 12,5 GHz, národní družice, určené pro přímý příjem DBS (Direct Broadcasting Satellites), označované v poslední době jako DTH (direct to home — signál přímo do bytu). Jsou to družice TDF 1 (Francie), která vysílá v normě D2-MAC/packet. Atraktivní program, s vysokou uměleckou úrovní, představuje volný, nezakódovaný kanál La sept, což neznámá kanál 7, jak by se někdo z označení mohl domnívat, ale zkratkou programu, vyjádřeného začátečními písmeny Société d'Édition de Programmes de Télévision (společnost pro vydávání televizních programů). La sept nabízí programy, které mají získat publikum převážně z řad náročné inteligence; má ji smířit s televizním vysíláním.

Dále jsou to družice Tele-x (Skandinávie) a Olympus. Posledně jmenovaná patří k družicím nové generace, vyzařující velkými výkony. Kromě italského programu RAI a anglického BBC je vysílání převážně zaměřeno na tzv. „Free University“ (dálkové univerzitní studium z oblohy). Vysílá se pět hodin ráno a pět hodin odpoledne pro širokou evropskou oblast posluchačů. Dále sem patří TV SAT 2 (NSR), vypuštěná na oběžnou dráhu Země v srpnu 1989 a řada plánovaných dalších atraktivních družic, ke kterým můžeme počítat i tu na 1° západně, na níž je rezervováno pět transponderů pro československou družicovou televizi (rok 1992).

Evropa pro družicové vysílání televize a rozhlasu využívá převážně Ku pásmo. C-pásmo se šířkou 1100 MHz využívají v Regionu I některé družice INTELSAT. Jinak je tomu v USA. Zde se dříve používal C-pásmo, které je ale v současnosti silně vytiženo, a proto i zde

je znát snaha o využití pásma Ku. To se ovšem v USA ve větší míře využívá pro služby mezinárodního charakteru.

Předností Ku pásma je, že pro určitý přenos dat je možno použít antén menších rozměrů. Tato přednost je ovšem pouze relativní, neboť při použití vyšších kmitočtů se projevuje více útlum rádiové vlny vlivem atmosférických poruch a vlivem deště. Názorně se o tom přesvědčíme z grafických zobrazení: útlum vlivem atmosférického rušení a útlum vlivem deště nestojí na kmitočtu.

Provoz v pásmech C a Ku podléhá interferenčním rušením pozemských mikrovlnných radioreleových systémů, i když kmitočty nejsou převážně zcela stejné. Rušení tohoto druhu nepříchází v úvahu při provozu v Ka pásmu, určeném výhradně pro použití v kosmu. Jak je patrné z tabulky přidělení kmitočtů, disponuje toto pásmo větší šířkou pásma — 4000 MHz v porovnání s 2050 MHz Ku pásma (získáno součtem 1000 plus 800 plus 250) a 1100 MHz C pásma.

Ka pásmo může tedy přenést větší počet datových informací v porovnání s možnostmi v Ku a C pásmu. Musí se ovšem provést taková opatření v konstrukci zařízení, která by počítala s vyššími ztrátami při přenosu informací z družice k překonání vyššího útlumu. V současnosti díky tedy možnosti většího přenosu dat, ale též díky již přeplněnému Ku a C pásmu je o Ka pásmo velký zájem a jsou vedena praktická ověřování přenosu informací (družice Kopernikus, Olympus). Tyto služby též přijímají provozatelé kabelové televize, kteří informace rozšiřují k uživatelům sítě.

Mobilní služba zahrnuje přenos zvukových signálů a dat mezi pevnými stanicemi a „mobilními“ uživateli: na lodích, nákladních autech nebo letadlech. Spojení je zajišťováno prostřednictvím pevných stanic (např. pobřežní stanice družicového systému INMARSAT). Satelity o velkých výkonech palubních vysílačů, které jsou projektovány pro blízkou budoucnost, umožní použití zařízení pro vysílání a přijímání signálů pro soukromý sektor (např. lovec nebo badatel v nitru Afriky bude mít možnost stálého spojení s domovem, lékařem, vědeckou institucí, či redakcí, které může okamžitě sdělovat reportážské záznamy).

Podrobnější rozdělení kmitočtů na jednotlivé služby v regionu I uvádí tab. 1.

Vyklad výrazů:

**footprint** — oblast pokrytá vyzařováním z družice.

**PTT** — Post, Telegraph, Telephone — označení pro správní orgán spravující poštovní, telegrafní a telefonní služby.

**CCIR** — Comité Consultatif de Radio (mezinárodní poradní orgán rozhlas) je podorganizací Mezinárodní Telekomunikační Unie (International Telecommunications Union (ITU)). ITU patří společnosti národů a má sídlo v Ženevě. CCIR vypracovává pro ITU mezinárodně platná doporučení pro rozhlasové a spojové služby, přiděluje kmitočty a registruje všechny rádiové kmitočty. Kromě toho shromažďuje údaje ze všech oborů telekomunikací, provádí průzkum a poradenskou činnost na tomto poli a zveřejňuje výsledky. CCIR přísluší též oblast družicového rozhlasu a televize.

**INMARSAT** — (International Maritime Organization) je mezinárodní námořní organizací využívajících geostacionárních družic pro poskytnutí spojových služeb. Zajišťuje i spoje pro bezpečnou plavbu a nouzová volání v případě ohrožení lodí a životů. INMARSAT byl založen 15. 7. 1979 a zahájil svou činnost 1. 2. 1982. Do INMARSATU je začleněno kolem 50 zemí, ČSSR je členem od roku 1988. V současnosti je do INMARSATU zapojeno kolem 7000 plavidel na celém světě. Československá námořní plavba se sídlem v Praze vlastní terminal.

Ing. Jindřich BRADÁČ, CSc. ■

# Družicový přenos signálů

**Kromě rozdělení družic podle druhu poskytovaných služeb a přiděleného pásma, jsou družice rozlišovány ještě podle velikosti vyzářeného výkonu, označovaného EIRP.**

Spojové družice pracují s malým výkonem vysílače: 10–20 W, EIRP je kolem 40–44 dBW. Příkladem je třeba Intelsat VA-F15, 44 dBW, Eutelsat1-F2, 42 dBW. K hranici středních velikostí výkonů EIRP se blíží svými výkony Telecom a Kopernikus, EIRP kolem 49 dBW. ASTRA 1A patří s 47 W k družicím středního výkonu o EIRP 52 dBW. Do množiny družic o velkých EIRP zahrnujeme družice DTH. Anglická BSB (přes 100 W) s EIRP 59 dBW a družice o výkonu vysílače kolem 230 W, TELE-X, TDF1, TDF2, OLYMPUS 1, TV SAT s EIRP 62–64 dBW. Výkony jsou uváděny pro transponder – vysílací kanál.

**Zkratka EIRP** vznikla z počátečních písmen anglického výrazu „Effective isotropic radiated power“ a znamená ekvivalentní isotropně vyzářený výkon družicového vysílače (kanálu). Udává se v jednotkách dBW. (decibelWat). EIRP je běžně užívaným pojmem v družicovém přenosu a představuje měřitelnou veličinu pro přenos energie z družice směrem k Zemi. Známé-li EIRP určité družice a příjem z ní je pro danou aparaturu (např. průměr paraboly a šumové číslo konvertoru) vyhovující, můžeme podle velikosti EIRP jiných družic usuzovat na možnosti příjmu z těchto družic, eventuálně u družic s výkonem vyšším o možnosti instalace méně rozměrné paraboly nebo v opačném případě, kdy EIRP je nižší, o nutnosti zvýšit průměr paraboly nebo snížit šumové číslo konvertoru.

**EIRP [W] = Výkon vysílače [W] krát zisk antény [krát]**

**EIRP [dBW] = 10.log výkon vysílače [W] plus zisk antény [dB]**

Velikost EIRP vyjde z požadavku vyjadřujícího jakého signálu, respektive jaké minimální velikosti hustoty výkonu na povrchu Země ve  $W/m^2$  respektive v  $dBW/m^2$  má být dosaženo v plánované oblasti pokrytí území z družice.

Při plánování pokrytí území družicovým signálem nelze volit velikost plošné hustoty výkonu zcela libovolně. Je přitom nutno dbát mezinárodních dohod, které tyto výkonové hustoty stanoví normativně. Tak např. Mezinárodní konference WARC-BS v roce 1977 stanovila pro družicové vysílání DTH v pásmu 12 GHz minimální velikosti plošné hustoty výkonu vysílaného z družice –103 dBW/m<sup>2</sup> pro individuální příjem. Průměr přijímací antény (paraboly) byl přitom uvažován 90 cm. Pro kolektivní příjem bylo určeno –111 dBW/m<sup>2</sup>. Průměr přijímací antény byl uvažován 240 cm. Tyto hodnoty nazemském povrchu mají být dodrženy nejméně po 99 % času. (K výkladu pojmu plošná hustota výkonu se ještě vrátíme.)

Dále se setkáme s pojmy, které nejdříve objasníme. **Svazek antény**, tvar vyzářované energie z antény (beam) je kužel obecného v družicové televizi kruhového nebo eliptického průřezu. Jeho vrchol je v místě antény na družici a na jeho plášti je signál poloviční, měřeno v dB, o 3 dB (10 log 0,5 = –3 dB) menší než v jeho ose. Osa svazku protíná povrch Země v bodu zaměření.

Svazek ozařuje na zemském povrchu uvažovanou **zónu pokrytí** (footprint, nebo německy Fußdruck).

**Plošná hustota výkonu na povrchu Země**

Plošná hustota výkonu je dána vztahem

$$P_v = \frac{EIRP}{4 \pi R^2} \text{ [W/m}^2\text{], respektive}$$

$$P_v \text{ [dBW/m}^2\text{]} = 10 \log P_v$$

R [m] je vzdálenost od místa příjmu k družici. K snadnějšímu nalezení vzdálenosti R udává literatura grafy, z kterých známe-li polohu družice a souřadnice místa příjmu přímo určíme výsledný vztah  $\frac{1}{4 \pi R^2}$  v [dB/m<sup>2</sup>].

Potom pro výpočet  $P_v$  dosadíme nalezenou hodnotu do vztahu

$$P_v \text{ [dBW/m}^2\text{]} = EIRP \text{ [dBW]} - 4 \pi R^2 \text{ [dB/m}^2\text{]}$$

Pro orientační, ale postačující výpočet, stačí dosadit za R 36 000 Km = 36.10<sup>6</sup> m. Potom  $4 \pi R^2$  je 162,12 dB/m<sup>2</sup> a je-li např. EIRP 48 dBW, bude  $P_v = 48 - 162,12 = -114,12$  dBW/m<sup>2</sup>

Hodnoty výrazu  $4 \pi R^2$  se podle pozice družic a geografické polohy přijímací antény na zemském povrchu pohybují v našich podmínkách v mezích 162 dBW/m<sup>2</sup> až 163,2 dBW/m<sup>2</sup>.

Výpočtem  $P_v$  je zjištěna plošná hustota výkonu na zemském povrchu v bodě zaměření. V údajích o pokrytí uvažovaných území družicovým signálem, uváděných společnostmi provozujícími družicovou televizi, najdeme však soustavy kružnic, elips i složitějších křivek (např. ASTRA 1A), vyznačujících pokles EIRP [dBW] s rostoucí vzdáleností od bodu zaměření. Jiné materiály znázorňují křivky plošné hustoty výkonu, jejichž velikosti mají opět klesající průběh od bodu zaměření. Setkáme se však i s prameny, které udávají pro určité šumové číslo konvertoru, minimální velikosti průměru přijímací paraboly k dosažení dobrého příjmu. Průměry se při vzdalování od bodu zaměření zvětšují.

**Jak jsou tyto křivky konstruovány?**

Před odpovědí na tuto otázku je nutno uvést ještě několik vysvětlení k vyzářovacím charakteristikám antén. Předně: pro antény vysílací a přijímací platí podle zá-

sad reciprocity stejné vztahy. Budou tedy vyzářovací charakteristiky stejného provedení antény shodné jak pro vysílání tak pro přijímání.

Ve výrazu EIRP se objevil pojem izotropní. Tím je míněn zářič (bodový, kulový) který vyzářuje do všech směrů prostoru stejně. Takový zářič ve skutečnosti neexistuje, je fiktivním zářičem, jehož je užito jako referenčního zářiče pro porovnávání vlastností různých antén či anténních soustav.

Jestliže některé uspořádání antény nebo anténního systému dokáže v určitých směrech koncentrovat vyzářovanou energii, mluvíme o směrové vyzářovací charakteristice. Porovnáme-li energii vyzářenou v maximálním směru záření k energii vyzářované na př. všesměrovým, izotropním zářičem ve stejném směru, dostáváme směrový zářič (směrovou vyzářovací soustavu). Stupeň směrovosti se udává činitelem směrovosti (ziskem) vzhledem k izotropnímu zářiči, zpravidla v dB, což bývá označováno jako dB. Činitel směrovosti, často označovaný G, je bezrozměrná veličina, která udává stupeň soustředění záření antény v žádaném směru. Směrová anténa, vyzářující výkon P, vytvoří v místě tudíž intenzitu pole jako izotropní anténa, vyzářující výkon PG. Používání směrových antén je rovnocenné G násobnému zvětšení výkonu záření nesměrové antény. Součin výkonu vysílače (kanálu) na družici a směrovosti (zisku) vysílací antény je nám již z dřívějšího výkladu známý EIRP. Údaj EIRP = 62 dBW neznamená, že vyzářený výkon anténou družice je 1,58 MW, ale že tento výkon by musel vyzářovat všesměrový zářič, aby vytvořil stejné pole jako je v ose svazku vysílací antény družice. (Důležité je si všimnout tvrzení „v ose svazku“, neboť v ostatních směrech vlivem směrové charakteristiky antény nastává pokles vyzářovaného výkonu.)

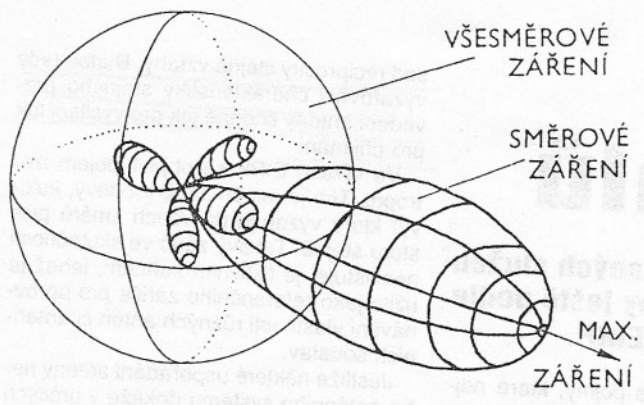
Většina antén praktického provedení je směrová. Elementární dipól, půlvlnný dipól, celovlnný dipól jsou vůči izotropním zářiči směrové. Směrovost (zisk) je ovšem v tomto případě malá. Tak např. elementární dipól, jehož délky ramen jsou ve srovnání s vlnovou délkou značně krátké, má zisk G = 1,5 krát (1,76 dB) a půlvlnný dipól, délka každého ramene dipólu je rovna čtvrtině vlny, má G = 1,64 krát (2,15 dB) vůči izotropnímu zářiči.

U antén pozemských služeb bývá zvykem udávat zisk anténního vysílacího nebo přijímacího systému k zisku půlvlnné antény.

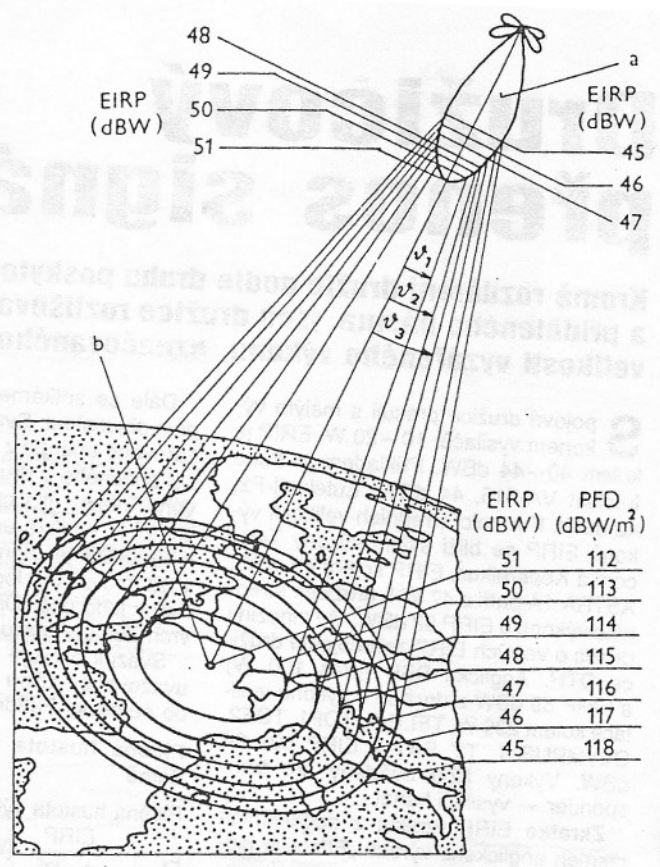
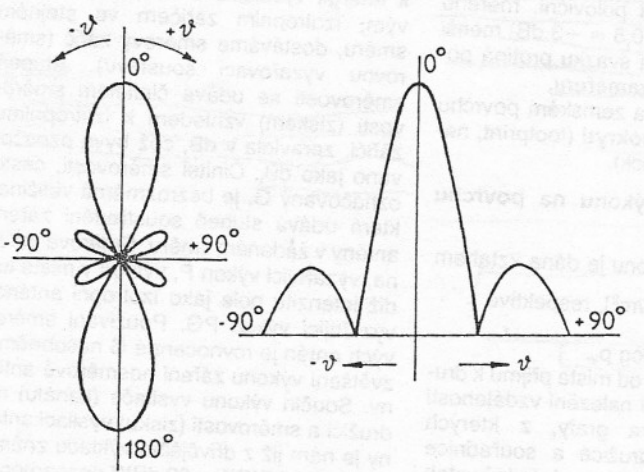
Klasických provedení antén vytvořením pouze jednoho dipólu v technice kmitočtů 4,11, 12 a více GHz se neuzívá. Vlny jsou průchodem prostředím od družice k zemské přijímací anténě značně tlumeny a proto se vyžaduje, aby zisky anténních systémů, jak vysílacích, tak přijímacích, byly pokud možno co největší. Zvýšení zisku antény se dá dosáhnout buď vytvořením anténního systému, sestávajícího z většího počtu zářičů v řadě nebo plošným uspořádáním, zpravidla půlvlnných nebo celovlnných dipólů, umístěných před odraznou stěnou (reflektorem) nebo některou speciální anténní kon-

EIRP, plošná hustota, svazek antény, zóna pokrytí  
bod zaměření

IF-d-



Obr. 2.1 Všesměrový vyzářovací diagram izotropního zářiče (koule) a příklad směrového vyzářovacího diagramu, hlavní lalok a postranní laloky.



Obr. 2.3 Schematické znázornění konstrukce křivek EIRP a PFD a — vyzářovací diagram vysílací antény na družici b — bod zaměření

◀ Obr. 2.2 Kreslení vyzářovacích diagramů v polární a pravouhlé souřadnicové soustavě

strukci, z nichž pro pásma družicových přenosů našlo vyhovující uplatnění řešení v provedení parabolické antény.

Při užití většího počtu zářičů jsou zářiče sestavovány do řad, např. televizní vysílací anténní systémy ve IV. a V. TV pásmu (vyzářený výkon kolem 1 000 kW) jsou řešeny umístěním tzv. anténních jednotek na čtyřboké příhradové konstrukci, a to na každé stěně čtyřboku v 16 patrech nad sebou. Každá anténní jednotka je tvořena čtyřmi dipóly před společnou odraznicí (reflektorem). Anténní řada na jedné stěně sestává ze 16: anténních jednotek, tedy ze 72 dipólových zářičů. Celková délka systému je kolem 20–22 m a systém včetně kabelů a rozváděčů je umístěn v nosném sklolaminátovém válci. Zisk takového systému vůči zisku půlvlnného zářiče je kolem 16 dB, vyzářovací diagram ve vertikální rovině má šířku (na úrovni -3dB) pod 2° a vykazuje řadu bočních laloků.

Vyzářovací diagramy antén se zakreslují v pravouhlé nebo polární soustavě souřadnic. Oba způsoby zakreslení jsou rovnocenné. U antén s vysokými zisky se vždy vyskytují postranní laloky, které se názorněji vyjádří při zakreslení v soustavě pravouhlých souřadnic.

Jako příklad plošného uspořádání zářičů je možno uvést planární, ploché, družicové přijímací antény, sestávající z velkého počtu (přes tisíc) malých dipólů. Tyto antény jsou zatím co do velikosti dosahovaného zisku v porovnání s parabolic-

kými anténami omezeny a je možno jich užít pro příjem z družic, pracujících s vyššími EIRP (družice DTH EIRP 62 až 64 dBW).

**Parabolická anténa**

Vyděme z principu rotační parabolické antény. Její činnost je možno názorně vysvětlit na reflektoru automobilu. Žárovka je umístěna v ohnisku paraboly. Paprsky vycházející ze žárovky se odrážejí od parabolického reflektoru a koncentrují energii, vyzářovanou žárovkou, v jednom směru, v úzkém svazku. Podobně pracuje vysílací a přijímací družicová anténa. Signály vysílané z družice se odrážejí od parabolického reflektoru a jsou soustředovány v ústí vlnovodu (ozařovač, feedhorn) a vedeny k dalšímu zpracování.

K vlastní anténě, jejímu provedení, poměru  $f/D$  (ohnisková vzdálenost — průměr paraboly), výpočtu zisku se ještě později vrátíme. V této části užijeme tvaru vyzářovacího diagramu vysílací parabolické antény na družici. Z průběhu diagramu zjistíme pokles EIRP při odklonění záření od maxima záření, směřujícího do bodu zaměření na zemském povrchu. Údajů o poklesu vyzářeného výkonu užijeme pro zakreslení křivek stejných velikostí EIRP. Pro jednoduchost výkladu uvažujeme rotační, klasickou parabolu, u které řezy vyzářovacího kuželovitého svazku kolmé na osu svazku jsou kružnice. Schematické znázornění vyzářovací charakteristiky v rozsahu několika stupňů

kolem maxima záření, získané řezem prostorové vyzářovací charakteristiky ve vertikální rovině, uvadí pokles vyzářené energie pod úhly odchylojícími se od maximálního směru záření. V něm je EIRP maximální. Zjistíme-li výpočtem z údajů vyzářovací charakteristiky úhly, pod kterými výkon skokově klesá, např. po 0,5 dB nebo po 1,0 dB, můžeme poté z údajů o úhlech (stupních) vypočítat křivky, které protínají zemský povrch. Popsáním křivek hodnotami EIRP v dBW získáme obraz o rozložení vyzářené energie, tj. poklesu EIRP od bodu zaměření, tedy křivky běžně užívané v literatuře, popisující vyzářování z družic.

Pro názornější představu o pokrytí území je vhodné vypočítat ještě podle dříve uvedeného vztahu plošné hustoty výkonu a vypočítané hodnoty připsat k příslušným křivkám EIRP.

Zkratky výrazů  
LFD (Leistungsflußdichte), PFD (power flux density) — plošná hustota výkonu na zemském povrchu. Měří se ve  $W/m^2$ . V praxi se více udává v dB vztažených na úroveň  $1W/m^2$  tedy  $dBW/m^2$ . Hodnoty PFD jsou mezinárodně předepsány s ohledem na možnost příjmu a koexistenci s ostatními spojovacími službami. DTH direct to home — družice pásma 12 GHz, národní družice, např. TDF, TELE-X, TV SAT 2, OLYMPUS, v překladu signál přímo domů. Jinak jsou označeny DBS (direct broadcast by satellite).

Ing. Jindřich BRADÁČ. CSc. ■

# Družicový přenos signálů

(část třetí)

## Složitější tvary vyzářovacích charakteristik

Vysílací družicová anténa patří k nejjednodušším druhům vysílacích antén, jejíž vyzářený výkon lze znázornit na zemském povrchu kružnicemi s klesající velikostí EIRP od bodu zaměření. Zájem pokrýt určitá tvarově složitá území na jedné straně a na druhé straně mezinárodní zájem u národních družic (DTH) pásma 12 GHz vyzářovat tak, aby se tvar vyzářovacího diagramu pokud možno přiblížil národnímu území, ohraničenému státní hranicí, vyžaduje vytvořit anténní systémy s charakteristikou respektující tyto zájmy. Nejběžnějším případem jsou charakteristiky, které v řezu kolmém na svazek antény vytvářejí elipsu. Tak např. pro družicový přenos československého programu ze stanovené orbitální pozice družice 1° západ, bude mít elipsa oblasti pokrytí rozměr 2,25° × 1,15°, přičemž velká osa elipsy bude svírat s rovinou zemského rovníku 168°.

Obdobně pro pokrytí území z družice TV SAT 2 (NSR), byla předepsána s ohledem na protáhlé území tohoto státu vyzářovací charakteristika družicové antény ve tvaru elipsy.

Daleko složitější jsou hlediska rozložení vyzářeného výkonu vyzářovací charakteristiky vysílací antény, které mají co do plošného pokrytí vyhovět určitému tvaru, který se nepodobá ani kruhu, ani elipse (např. území Střední Evropy). V těchto případech užíváme vysílací anténu, která má tvarovanou vyzářovací charakteristiku (shaped beam) podle schématu na obr. 3.1. Při užití jednoho ozařovače dostaneme klasický tvar vyzářovacího diagramu. Použijeme-li však několik ozařovačů, budou se jednotlivé diagramy skládat ve výsledný vyzářovací diagram. Jeho tvar bude závislý od fáze napájecích proudů jednotlivých ozařovačů. (Při souřadné kombinaci dostaneme např. tvar znázorněný na obr. 3.1 přerušovanou čarou). Příkladem tvarovaného vyzářovacího diagramu mohou být diagramy, respektive zóny pokrytí družicí ASTRA 1A, které jsou různé pro různé polarizace a kanály s ohledem na cílové oblasti. To vysvětluje, proč při příjmu s programů z ASTRA 1A s parabolou o průměru 60 cm při užití konvertoru s horším šumovým číslem (např. 1,8 dB), nejsou všechny programy v našich podmínkách přijímány ve stejné kvalitě. (Pokrytí viz obr. 3.2).

Nalezení křivek na zemském povrchu, udávající stejné velikosti EIRP a plošné hustoty výkonu při užití složitějších vyzářovacích diagramů, je shodné jako u jednoduchých rotačních systémů. Opět mu-

síme vyjít z vyzářovacího diagramu, tentokrát různého ve více vertikálních řezech a najít pro úbytky EIRP (-1,0 dB, -2,0 dB, -5,0 dB) příslušné úhly odklonu od hlavní osy záření a ze znalosti těchto úhlů vypočítat průsečíky se zemským povrchem. Spojením průsečíků, zjištěných pro úhly v různých vertikálních rovinách řezu prostorového vyzářovacího diagramu vysílacího anténního systému, dostaneme křivky pro stejné hodnoty EIRP a vypočteme odpovídající plošnou hustotu výkonu. Jak ale sestavíme křivky průměrů parabolických antén při užití konvertoru s určitým šumovým číslem, respektive stanoveném požadavku na kvalitu příjmu, vyjádřeného poměrem C/N?

## Výkon přijímací parabolické antény

Výkon, který přichází od družice na anténu, vypočteme z plošné hustoty výkonu. Pro reálný výpočet je nutno vzít v úvahu, že údaje plošných hustot (uváděné v literatuře), jsou vesměs stanoveny pro příjem z pěkného slunečního počasí. Je tedy nutno počítat s určitou rezervou na dodatečný útlum signálu způsobený deštěm, sněhem atd. Neuděláme chybu, když budeme uvažovat s rezervou -1 až -2 dB. Příklad: Bude-li výsledná plošná hustota výkonu na povrchu Země -103 dBW/m<sup>2</sup>, to znamená, že plochou 1m<sup>2</sup> projde výkon -103 dBW/m<sup>2</sup>, což pro anténu, jejíž efektivní plocha je 1m<sup>2</sup>, představuje užitečný signál o výkonu 50 pW. Efektivní plochu parabolické antény vypočteme z projekce plochy antény vynásobené koeficientem využití (pohybuje se od 55 % do 70 %). Vezmeme-li pro další úvahy koeficient využití 60 %, bude na anténu o průměru 40 cm dopadat výkon 3,8 pW, při průměru 1,2 m výkon 34 pW. To jsou nepatrné hodnoty (1pW = 10<sup>-12</sup> W). Musíme vzít v úvahu, že plošná hustota výkonu -103 dBW/m<sup>2</sup> se dosáhne u družic DTH 12 GHz pásma s EIRP 62-64 dBW. U družic pevné služby Intelsat, Eutelsat, mající EIRP kolem 42 až 44 dBW, budou výkony dopadající na anténu o průměru 1,2 m podstatně menší.

K ohodnocení toho, zda určitý výkon přijatý anténou (daný průměrem antény pro určitou plošnou hustotu výkonu), je dostatečný a zda daná anténa je pro příjem signálů z určité družice vhodná, je nutno provést ještě další objasnění: zisk antény, celkový útlum družice-Zem, tepelný šum, poměr G/T, poměr C/N, klasifikaci kvality příjmu, prahovou citlivost přijímače, vliv přenášeného (šířky) pásma a poměru S/N.

Poznamenejme ještě, že v literatuře, uvádějící plošné hustoty výkonu v dBW/m<sup>2</sup>, najdeme někdy místo rozměru dBW

rozměr v dBm, tedy výkon není vztažen k W, ale mW (1W je 1000 mW). Uvedme příklad přepočtu. Necht' je plošná hustota výkonu -112,67 dBW/m<sup>2</sup>. Ta odpovídá hodnotě 5,40.10<sup>-12</sup> W, což se rovná 5,40.10<sup>-9</sup> mW. Při vyjádření v logaritmické míře dostaneme -82,67 dBm/m<sup>2</sup>. Jiný postup je, že k údajům v dBW přičteme 30 dB (10 log 1000 je 30 dB) -112,67 dBW plus 30 dB je -82,67 dBm.

## Zisk parabolické antény

Při umístění ozařovače v ose rotace (v ohnisku paraboly), označované v literatuře PFA (prime focus antene), vypočítáme zisk antény ze vztahu:

$$G_{[\text{krát}]} = u \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

kde „u“ je účinnost, plynoucí z konstrukčního řešení antény (pohybuje se od 55 % do 70 %).

$$\pi = 3,14$$

D ... průměr paraboly [m]

λ ... vlnová délka [m]

Pro 11 GHz je vlnová délka 0,0273 m a pro 12 GHz 0,025 m.

Zisk vyjádřený v logaritmické míře bude  $G_{[\text{dB}]} = 10 \log G$

Pro zjednodušení vztahu pro G vypočítáme konstantu (π)<sup>2</sup> pro 55 %. Ta je 5,428 a vztah upravíme:

$$G_{[\text{krát}]} = 5,428 \left( \frac{D}{\lambda} \right)^2$$

Tab. 3.1 uvádí pro orientaci několik vypočítaných hodnot zisku parabolických antén, které se běžně u nás používají. Výpočet je proveden pro 11 GHz a 12 GHz. Se vzrůstajícím průměrem paraboly zisk antény vzrůstá.

Tab. 3.1 Zisk parabolických antén

Průměr paraboly	Zisk (dB) <sub>11 GHz</sub>	Zisk (dB) <sub>12 GHz</sub>
0,60 m	33,19	35
0,90 m	37,71	38,47
1,00 m	38,62	39,39
1,20 m	40,21	41,00
1,50 m	42,14	42,90

## Poměr G/T

I v případě, kdy anténa vykazuje vysoký zisk, může být její celkový výkon nepříznivě ovlivněn tepelným šumem. Do poměru zisku (G) a šumové teploty (T), většinou výrobci antén zahrnují i šumovou teplotu LNC (konvertoru). Čím vyšší hodnotu bude mít G/T, tím vyšší výkon bude anténa dodávat.

Šumová teplota vlastní antény je odvislá od řady činitelů např. výkonu přijímaného postranními laloky vyzářovacího diagramu antény, elevačního úhlu přijímací antény při příjmu zcela konkrétní družice, poměru ohniskové vzdálenosti (f) k průměru antény (D) tedy f/D.

Čím menší je elevační úhel nasměrování přijímací antény vzhledem k družici, tím více se projevuje na anténě tepelný šum způsobený vyzářováním zemského povrchu a přijímaného postranními laloky vyzářovacího diagramu antény. Tak např. při příjmu v našich geografických

podmínkách bude za předpokladu užití stejné antény, poměr G/T vyšší při příjmu signálů z družice na pozici 13° východ, než z družice na pozici 60° východ, pro kterou je nutno anténu nasměrovat při nižším elevačním úhlu.

G/T může vyjadřovat poměr zisku a šumové teploty vlastní antény. Podle tohoto

poměru lze hodnotit jakost antény. Výrobci antén však většinou vyjadřují poměrem G/T vztah provozního zisku k šumové teplotě, zahrnující i vliv šumového čísla konvertoru. V těchto případech dosazujeme za G provozní zisk  $G_p$ , který získáme ze vztahu

$$G_p = a \cdot b \cdot G \quad \text{Přev. úč. družic. zisk}$$

Koeficient „a“ zahrnuje ztráty přenosové cesty od ozařovače ke konvertoru (pro orientační výpočty  $a = 0,95$ ), „b“ zahrnuje snížení zisku antény vlivem nepřesného zaměření a polarizačních chyb. (Orientačně  $b = 0,9$ )

K šumové teplotě antény a konvertoru dodejme: Rušení nebo šum vzniká pohybem molekul, který působí vznik elektrických proudů a elektromagnetických vln. Část tohoto vyzařování se odehrává v kmitočtovém pásmu shodném s kmitočty používanými pro družicový přenos. Ohodnocení rušení je založeno na poznatku, podle kterého každý pohyb molekul a tím tedy i tepelný šum, přestává při teplotě  $-273,16$  stupňů Celsia (absolutní nula stupnice Kelvina). Při nárůstu teploty nad absolutní nulu narůstá tepelný šum.

Pro šumovou teplotu při výpočtu poměru G/T platí:

$$T = T_a \cdot a + (1 - a) T_0 + (F - 1) T_0$$

$T_a$  ... šumová teplota anténního systému v Kelvinech (K),

$a = 0,95$ ,

$T_0$  ... referenční teplota okolí rovna 290 K

$F$  ... šumové číslo LNC (konvertoru)

Známe-li šumové číslo LNC, udané v (dB), vypočteme šumovou teplotu LNC užitím vztahu:

$$T_{(K)} = \left[ \left[ \text{antilog} \frac{F_{(dB)}}{10} \right] - 1 \right] 290$$

Uvedme několik vypočítaných výsledků

$F_{(dB)}$	$T_{(K)}$
0,9	66,78
1,3	101,2
1,9	159,16

Např. pro výpočet G/T u antény o průměru 55 cm, uvažované pro příjem na kmitočtech 10,95 GHz až 12,75 GHz. Zisk na středním kmitočtu 12,1 GHz je udán výrobcem 34,75 dB. Kontrolním výpočtem byla ověřena účinnost antény kolem 60%. Výrobce udává šumovou teplotu antény  $T_a = 30$  K a šumové číslo konvertoru  $F = 1,3$  dB.

$$\frac{G}{T} = \frac{G_{(krát)} \cdot a \cdot b}{T_a a + (1 - a) T_0 + T_e} = \frac{2552,5 \cdot 0,95 \cdot 0,9}{30,095 + 0,05 \cdot 290 + 101,2} = 17,7$$

$$\frac{G}{T} \text{ [dB]} = 10 \log 17,7 = 12,48 \text{ dB/K}$$

Při volbě antény pro příjem družicových signálů bychom měli pečlivě prostudovat údaje výrobce antén a dbát na to, aby poměr G/T byl velký.

Vysvětlivky:

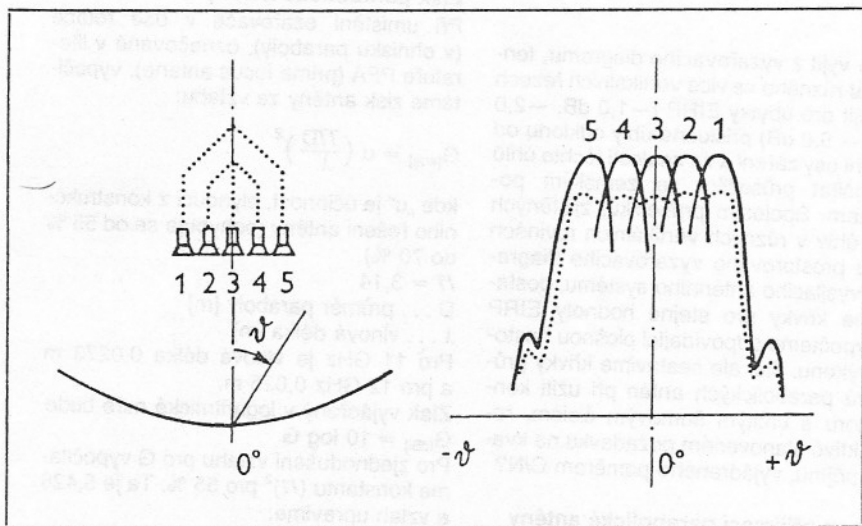
PFA — prime focus antene — rotační parabolická anténa, ozařovač v ohnisku v ose rotace.

LNC — low noise converter — nízkošumový konvertor

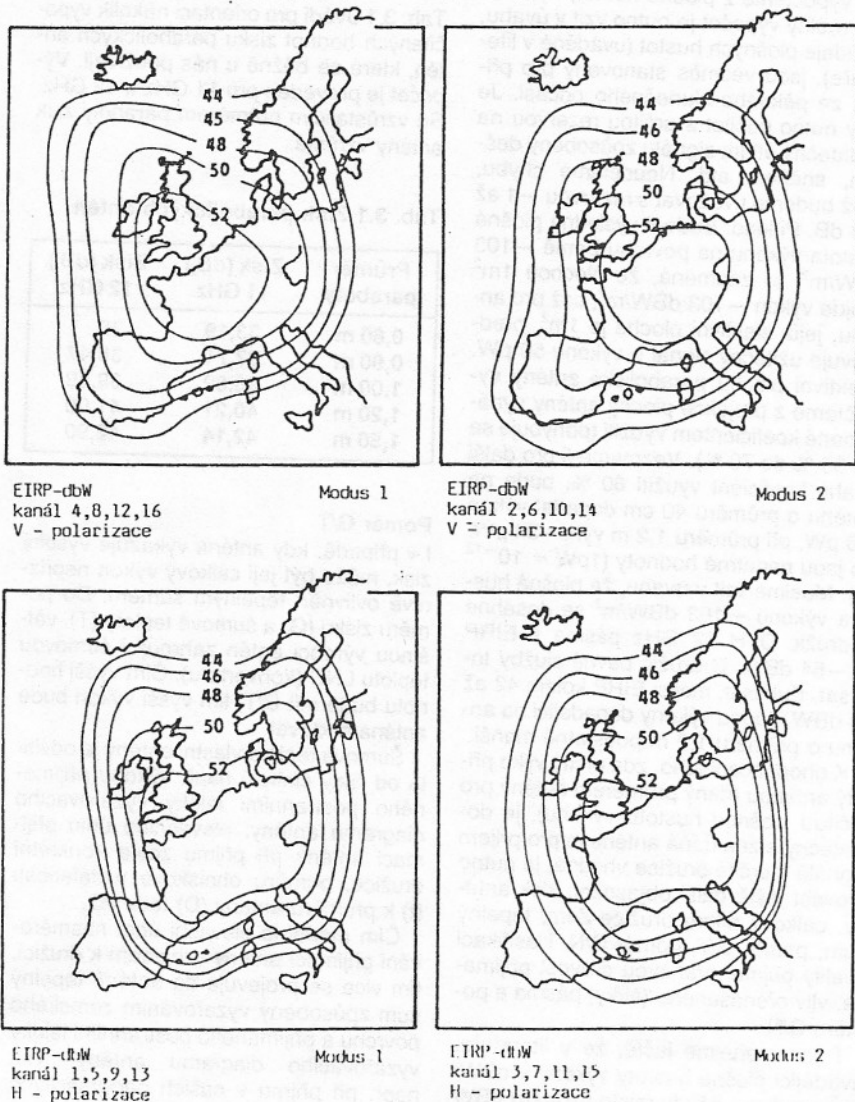
Rauschma  $\beta$ , (figure of merit) šumové číslo konvertoru

Rauschma (low noise) nízkošumový.

Obr. 3.1 Tvorba tvarovaného vyzařovacího diagramu antény



Obr. 3.2 ASTRA 1A EIRP křivky, doplněné údaji EIRP (dBW)



Ing. Jindřich BRADÁČ, CSc. ■

# Družicový přenos signálů

(Část čtvrtá)

## Přehled parametrů parabolických antén

K získání přehledu bylo užito údajů západoněmeckých výrobců FUBA, Kathrein, Hirschmann, Technisat. Kromě antén klasických PFA (prime focus antenna — klasická rotační parabolická anténa), jsou nabízeny antény v provedení offset. Na obr. 4.1, levá část, je znázorněna anténa, u které je ozařovač umístěn v ose rotace; anténu v provedení offset, u které ozařovač leží mimo osu rotace, představuje pravá část obr. 4.1. Offset anténa vytváří výřez z větší plochy rotační paraboly. Z obrázku 4.2 je patrné, jak z PFA získáme výřez. Ozařovač (feed) zůstává na ose PFA a signály (vlny), přicházející na plochu výřezu, se od plochy výřezu odrážejí a směřují do ozařovače.

Na obrázku je čelní pohled na PFA a znázornění výřezu v parabolickém reflektoru. Z této části obr. je patrné, že je možno volit rozmanité tvary offset antény, které mohou být z PFA vyříznuty. Offset anténa bývá buď ve tvaru elipsy, nebo pravoúhelníka. Rozdíl mezi nimi je pouze v konstrukčním provedení uchyacení ozařovače a dalších dílů tzv. vnější jednotky (polarizátor, konvertor).

U středově napájených antén, zejména malých průměrů, zastihuje držák ozařovače, polarizátor a konvertor odraznou parabolickou plochu, což může u malých antén nepříznivě ovlivnit účinnost antény. U offset antény tento problém není, je též mělčí, takže se na ní tolik nezachycuje sněh.

Údaje výrobců antén o parametrech antén jsou velmi podrobné. Jako příklad uvedme tab. 4.1, charakterizující dvě provedení přijímacích antén firmy Kathrein, a to o průměrech 120 cm a 150 cm.

Tab. 4.1

Parametry antény	typ GAS 012 průměr 120 cm	typ GAS 015 průměr 150 cm
Kmitočtový rozsah příjmu [GHz]	10,95–12,75	
Zisk antén [dB] ve středu pásma		
10,95–11,70 GHz	41,2	43,1
11,70–12,50 GHz	41,8	43,7
12,50–12,75 GHz	42,2	44,1
Šířka svazku antény (kužel na jehož plášti je signál poloviční, o 3 dB menší než v jeho ose [°])	1,55	1,24
Poměr G/T [dB/K] při užití konvertoru šum. číslo 1,3 dB	19,00	21,1

Reflektor obou antén je vyroben z hliníkového plechu. (Údaje pocházejí z katalogu z roku 1989.) Většina výrobců udává pro posouzení poměru G/T úhel elevace (nasměrování na družici) 30°. V údajích uvedené firmy nebyl tento údaj uveden, předpokládáme, že je též 30°.

Z porovnání parametrů antén, uváděných citovanými výrobci, plynou tyto závěry

Zisk antény průměr	kolem
0,55 až 0,60 m	35 dB <sub>i</sub>
0,85 až 1,00 m	38 dB <sub>i</sub>
1,2 m	41 dB <sub>i</sub>
1,5 m	43 dB <sub>i</sub>

Šířka svazku antény podle průměru antény je od 3° u malých průměrů do 1° u průměru antény 1,5 m. Poměr f/D se u výrobců liší a pohybuje v mezích 0,35 až 0,7. Šumová teplota vlastní antény T = 30 K až 45 K. Poměr G/T při užití konvertoru se šumovým číslem F = 1,3 dB je uváděn v mezích od 12 dB/K do 23 dB/K.

Údaje budou postupně v dalším výkladu objasněny. Údaje je nutno brát jako orientační pro získání hrubého přehledu o některých důležitých parametrech antén a též jako kontrolní pro případ, že se budeme zabývat jejich volbou či výpočtem.

Na obr. 4.1 je běžné provedení rotační antény (PFA). V její ose, v ohnisku, jsou umístěny prvky přijímacího traktu venkovní jednotky ozařovač (feed, feedhorn), polarizátor a konvertor.

V tabulkách parametrů výrobců antén se udává šířka svazku ve stupních. Připomeňme, že šířkou svazku (pokles o 3 dB) a ziskem antény je přímá souvislost, která se v literatuře uvádí vztahem  $\psi [^\circ] = 70 \sqrt{\frac{\lambda}{D}}$ , kde  $\lambda$  [m] — vlnová délka; D [m] — průměr paraboly a  $\psi [^\circ]$  pokles přijímaného signálu na polovinu (o -3dB).

Pro kontrolu uvedme srovnání údajů z katalogu FUBA pro kmitočet 11,33 GHz.

OAP 120, průměr 1,2 m,  $\psi = 1,55^\circ$  výpočtem 1,55°

OAP 150, průměr 1,5 m,  $\psi = 1,22^\circ$  výpočtem 1,235°

OAP 175, průměr 1,75 m  $\psi = 1,00^\circ$  výpočtem 1,059°.

Výpočet poskytuje dosti přesné hodnoty.

Literatura o družicové televizi uvádí často empirický tvar pro teoretický zisk parabolické antény v tomto vyjádření

$$G_{dB_i} = 10 \log \frac{41\,250}{H \times V}$$

kde H je úhel svazku antény v horizontální rovině a V ve vertikální rovině. K získá-

ní reálných hodnot zisku se odpočítávají ztráty, a to pro různé účinnosti antény. Při 50% účinnosti se odpočítávají 3 dB. při 60% 2,2 dB a při 70% 1,4 dB.

Vrátíme-li se k příkladu přepočtu parametrů u antén FUBA a budeme-li uvažovat účinnost 60 %, dostaneme pro  $H=V$ , tedy  $H \cdot V = H^2$ , protože se jedná o klasickou rotační parabolou, mající v rovině H i V stejný úhel svazku antény, tyto hodnoty

Průměr 1,2 m  $G_{dB_i} = 42,48 - 2,2 = 40,48$  dB<sub>i</sub> (FUBA 41,4 dB<sub>i</sub>)

Průměr 1,5 m  $G_{dB_i} = 44,56 - 2,2 = 42,56$  dB<sub>i</sub> (FUBA 43,6 dB<sub>i</sub>)

Průměr 1,75 m  $G_{dB_i} = 46,28 - 2,2 = 44,28$  dB<sub>i</sub> (FUBA 45,0 dB<sub>i</sub>)

Empirický vztah pro výpočet zisku ze znalosti úhlů svazku antény dává dobré přiblížení pro orientační výpočty v praxi.

Aby nedošlo k mylným interpretacím údaje úhlu svazku antény pro pokles signálu na polovinu (-3 dB), je na obr. 4.4 znázorněn hlavní lalok vyzařovacího diagramu parabolické antény a pokles signálu při úhlu svazku ( $\psi = 2^\circ$ ).

## Kvalita příjmu, poměr C/N.

Kvalita příjmu družicových signálů je udávána poměrem výkonů signálu a šumu na vstupu pozemního přijímače. Poměr se označuje C/N (carrier (noise- nosná) šum). V logaritmické míře se uvádí jako

$$C/N [dB] = 10 \log \frac{C}{N}$$

Pro výpočet poměru C/N najdeme v literatuře různé postupy (odlišné seskupení vztahů), které ovšem musí dát stejný výsledek. Uvedme některé

$C/N = P_v \cdot G_v \cdot G_p \cdot b \cdot (k \cdot T \cdot B)^{-1}$   
 $P_v$  [W] výkon vysílače na družici  
 $G_v, G_p$  zisk vysílače, přijímače antény  
 $k$  Boltzmannova konstanta  $1,38 \cdot 10^{-23}$  [Wsk<sup>-1</sup>] = -228,6 dB

T [K] ekvivalentní šumová teplota, objasněna v předcházejících výkladech  
 $B$  [Hz] šířka kmitočtového pásma (např. 27 MHz)

$b$  útlum signálu, procházejícího volným prostorem na dráze od družice k přijímací anténě ( $R = 36\,000$  km)

$$b = \left( \frac{\lambda}{4 \pi R} \right)^2 \lambda [m]; R [m],$$

Zapišeme-li do uvedeného vztahu výraz za útlum dostaneme pro C/N následující výraz

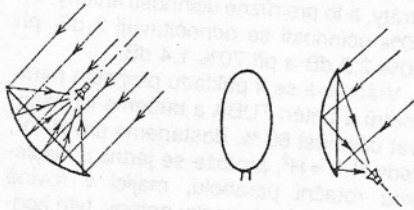
$$C/N = P_v \cdot G_v \cdot G_p \left( \frac{\lambda}{4 \pi R} \right)^2 \cdot (k \cdot T \cdot B)^{-1}$$

Útlum  $b$  ve volném prostoru po dosažení za  $\lambda$  a R je kolem -206 dB pro kmitočet 11 GHz.

Útlum „b“ bývá někdy uváděn v rozepsaném tvaru na dvě složky. V tomto případě vzorec pro C/N bude

$$C/N = \frac{P_v \cdot G_v}{4 \pi R^2} \cdot \frac{G_p}{T} \cdot \frac{\lambda^2}{4 \pi} (k \cdot B)^{-1}$$

$P_v, G_v$  je v předcházejících pojednáních vysvětlený EIRP



Obr. 4.1 Rotační parabola, parabola offset

$$C/N = \frac{EIRP}{4 \pi R^2} \cdot \frac{G}{T} \cdot \frac{.l^2}{4 \pi} (k \cdot B)^{-1}$$

$$\frac{1}{4 \pi R^2} = -163 \text{ dB/m}^2$$

$$\frac{.l^2}{4 \pi} = -43 \text{ dB m}^2$$

Sečtením obou dílčích výsledků dostaneme útlum ve volném prostoru rovný přibližně -206 dB.

Výraz  $\frac{EIRP}{4 \pi R^2}$  je nám dobře známá

plošná hustota výkonu (PFD).

Je to právě toto matematické rozdělení vztahu pro výpočet útlumu v prostoru na dráze družice — přijímací parabola, které při studiu může vyvolat nesnáze. Útlum je dělen na dvě složky. Jedna je charakterizovaná vzdáleností družice — přijímací anténa a druhá složka je závislá od kmitočtu (délky vlny).

Vraťme se k původnímu nerozdělenému vyjádření prostorového útlumu (kolem -206 dB) a zapišme vztah pro výpočet poměru C/N [dB].

$$C/N \text{ [dB]} = EIRP \text{ [dB]} + G/T \text{ [dB]} - \text{prostorový útlum [dB]} + 228,6 \text{ [dB]} - [\text{dB}] - \text{další ztráty [dB]}$$

Konstanta „k“ (-228,6 dB).

Tato konstanta je odvozena z Maxwell-Boltzmannova fyzikálního zákona, kterého se používá pro určení tepelné energie částic a elektronů. Podle této teorie je vztah mezi energií částice a jejího pohybu v úzké závislosti na absolutní teplotě, což se vyjádří násobením Boltzmannovou konstantou  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Joule/K nebo v logaritmické míře -228,6 dB. Jelikož v původním zápisu výrazu pro C/N touto konstantou provádíme dělení. Konstanta má záporný exponent, bude při jejím zápisu v čitateli znaménko konstanty kladné, tedy plus 228,6 dB.

B, šířka přenášeného pásma. Šířku vyjadřujeme též v dB. B se rovná  $10 \log B$ . B dosazujeme v Hz. Pro 27 MHz je  $B = 74,3 \text{ dB}$ .

**Ostatní ztráty**

To jsou např. ztráty vlivem nejrůznějších atmosférických jevů, např. dešťů různé inenzity. Tyto ztráty při výpočtech uvažujeme v mezích 0,6 dB až 2 dB.

Uvedme praktický příklad výpočtu poměru C/N

EIRP	52,0 dBW
plus G/T	+8,5 dB/K
minus útlum v prostoru	-205,2 dB
plus Boltzmannova konstanta	+228,6 dB
minus šířka pásma (27 MHz)	-74,3 dB
minus ostatní ztráty	-0,6 dB
<b>C/N</b>	<b>9,0 dB</b>

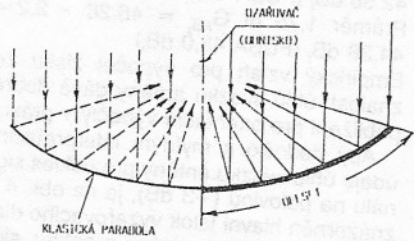
při dobrých povětrnostních podmínkách.

V případě rozdělení výrazu pro prostorový útlum na dvě složky použijeme dříve odvozený výraz a pro C/N zapišeme

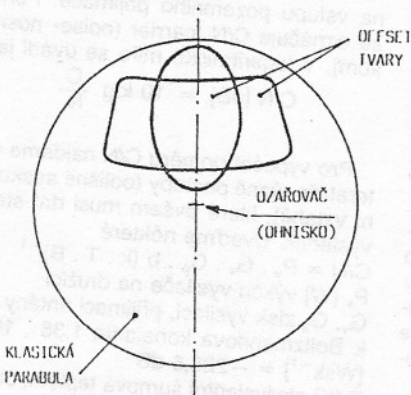
$$C/N = G/T \text{ [dB]} + PFD \text{ [dB]} + \frac{.l^2}{4 \pi} \text{ [dB]} + 228,6 \text{ [dB]} - B \text{ [dB]} - \text{ostatní ztráty [dB]}$$

$$[PFD \doteq -163 \text{ dB}, \frac{.l^2}{4 \pi} \doteq -43 \text{ dB}]$$

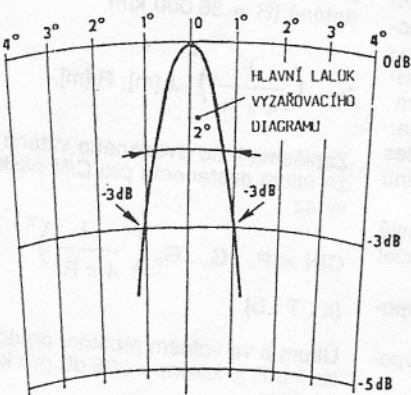
Výsledný výpočet musí dát shodný výsledek jako výpočet předcházející.



Obr. 4.2 Jak vznikne anténa offset (řez)



Obr. 4.3 Jak vznikne anténa offset (pohled zepředu)



Obr. 4.4 Pokles o 3 dB (hlavní lalok)

$\frac{G_p}{T}$  je též dříve vysvětlený poměr  $\frac{G}{T}$  přijímací antény včetně konvertoru, potom

**Slovníček**

**Antena efficiency — Antenneffizienz** — účinnost antény — vyjadřuje, kolik procent z odpadajících signálů na reflektor skutečně anténa přijme.

**Antenna illumination — Antennenausleuchtung** — ozáření plochy parabolického reflektoru. Výraz vyjadřuje, jak ozařovač ozáří, respektive jak vidí plochu reflektoru paraboly.

**Apererture — Apertur** — projekce plochy vysílací nebo přijímací antény.

**Carrier — Träger** — nosná vlna, která pro přenos informace je modulovaná.

**Channel — Kanal** — díl ze šířky pásma, který je užít pro spojovou komunikaci.

**Channel capacity** — počet kanálů v pásmu, např. v kabelové síti.

**C/N nebo CNR — Carrier to noise** — poměr mezi výkonem nosné a šumu.

**Converter — Konverter** — elektronické zařízení, které převádí signály z jednoho kmitočtu do druhého.

**Dish** — anglické označení pro parabolickou anténu. Tento výraz je často v anglosaské literatuře užíván pro celou vnější jednotku.

**Down Konverter** — konvertor, který mění kmitočty směrem dolů, na nižší kmitočty. Je to hlavní díl LNB (Low noise block) — nízkošumové jednotky.

**Down link** — spoj směrem dolů z družice na Zem.

**FSS — Fixed satellite service** — družice pevné služby, spojové družice, např. Eutel-, Intelsat.

**Focal point — Brennpunkt** — ohnisko paraboly.

**Focal length — Brennweite** — vzdálenost ohniska od reflektoru paraboly

**Threshold, FM-Schwelle** — šumový práh přijímače.

**Free space loss — Freiramverlust** — ztráty ve volném prostoru, útlum signálů na cestě od transponderu k přijímací anténě na zemském povrchu.

**GTO — Geostationären nebo Geosynchroner Transferorbit** — Geostacionární dráha.

Ing. Jindřich BRADÁČ, CSc.



# Družicový přenos signálů

(část pátá)

V předcházející části byly uvedeny vztahy pro výpočet poměru C/N. Zabývájme se nyní otázkou minimální velikosti tohoto poměru pro kvalitní příjem. Ze znalosti minimální velikosti C/N budete umět odpovědět též na otázku jak velký průměr parabolické antény je nutno volit pro příjem signálů určité družice, např. ASTRA 1A nebo TV SAT 2. Známe-li ovšem křivky pokrytí území na zemském povrchu, vyjádřené hodnotami EIRP, či PFD (plošnými hustotami výkonu).

## KVALITA PŘÍJMU A MINIMÁLNÍ ROZMĚRY PŘIJÍMACÍ PARABOLY.

Poměr C/N při příjmu družicové televize je dán do jisté míry subjektivně. Rušení se projevuje jako bílé nebo černé body nebo proužky na obrazovce. Pro tyto jevy je uváděn výraz „drop out“ (výpadek), dosti často se užívá také pojmenování „ryby“.

Při sledování programů z družic pevné služby (Eutel- Intelstat) a středně výkonných družic ASTRA 1A, Kopernikus, budou na přijímací zařízení kladeny vyšší nároky než v případech příjmu z družic DTH (12 GHz např. TDF 1, TV-SAT 2, Olympus, TELE-X . . . , u nichž je k dispozici velký vyžádaný výkon (EIRP 62 dBW — 64 dBW).

Při hodnocení kvality příjmu televizních signálů vycházíme ze základního doporučení CCIR 500-2 (Volume XI-Part 1, XV Plenary Assembly, Ženeva 1982) subjektivního ohodnocení televizního obrazu v pěti stupních kvality, tab. 5.1.

Pro hrubou orientaci uvedme, že obraz výborné jakosti (Q = 5) vyžaduje poměr C/N minimálně 18 dB. Většina diváků se však spokojí s C/N 14 dB. Při tomto poměru se objeví čas od času skoro neznatelné „ryby“, respektive bílé body. C/N větší než 12 dB představuje ještě dobrou kvalitu. Pro C/N kolem 6 dB nastávají již výpadky příjmu. Pro ty, kterým údaje C/N v dB dávají menší představu o poměru dvou čísel, uvedme vztahy C/N v lineární míře.

C/N = 18 dB, poměr 63,1 : 1

C/N = 14 dB, poměr 25,12 : 1

C/N = 12 dB, poměr 15,85 : 1

C/N = 6 dB, poměr 3,98 : 1

Přirovnání C/N a Q uvádí tab. 5.2

**Určení průměru parabolické antény.**

Pro určení průměru přijímací parabolické antény vyjdeme z požadované kvality příjmu Q, např. Q = 14 dB, a vypočítáme poměr G/T. K tomu použijeme dříve odvozeného vztahu: C/N [dB] = EIRP [dBW] + G/T [dB/K] — prostorový útlum [dB] + 228,6 dB — B [dB] — další ztráty [dB].

Po úpravě obdržíme výraz pro G/T  $G/T \text{ [dB/K]} = C/N \text{ [dB]} - EIRP \text{ [dBW]} + \text{prostorový útlum [dB]} - 228,6 \text{ dB} + B \text{ [dB]} + \text{další ztráty [dB]}$ .

Prostorový útlum je pro kmitočty 11 GHz pásma kolem — 205 dB B, šířka pásma 27 MHz [—74,3 dB]

Další ztráty 0,6 dB.

Nechť křivky EIRP jsou udány hodnotami 52,51, . . . , 46,45, dBW, respektive —111, —112, . . . , —117, —118 dBW/m<sup>2</sup>. Z uvedeného vztahu vypočítáme pro dané velikosti EIRP odpovídající velikosti G/T [dB/K].

Připomeňme, že vztah G/T představuje

$$G/T = \frac{G_{\text{krát}} \cdot a \cdot b}{T_0 \cdot a + (a-1) T_0 + (F-1) T_0}$$

Výklad symbolů tohoto vztahu byl uveden v předcházejících částech. Známe-li tedy velikost G/T a velikost T (celý výraz ve jmenovateli) pro určité šumové číslo konvertoru, umíme

již vypočítat zisk G a ze znalosti zisku a vlnové délky vypočítáme minimální velikost průměru parabol. Pro výpočet průměru přijímací parabolijeme dříve uvedeného vztahu

$$G_{\text{krát}} = 5,428 \left(\frac{D}{\lambda}\right)^2$$

V tab. 5.3 jsou uvedeny vypočítané průměry parabol pro EIRP 52 dBW až 45 dBW, pro kmitočty 11 GHz a požadovaný poměr C/N = 14 dB, odpovídající dobré kvalitě příjmu, Q vyšší než 4, užití konvertoru se šumovým číslem F = 1,3 dB.

Pro srovnání vypočítaných průměrů s údaji uváděnými jako doporučení výrobci uvedme tab. 5.4. Doporučené průměry parabolických přijímacích antén při užití konvertorů s různými velikostmi šumového čísla, časopis Infosat č. 17/89, SRN (anténa z hliníkového plechu, provedení antény odpovídající 1. jakosti).

K tab. 5.4: Při velmi nízkých elevačních úhlech je nutno užit vyššího průměru parabol než je udáno. Údaje tabulky platí pro parabolické antény pevně nasměrované na družici. V případě užití polarmountu, pro nastavení polohy antény na libovolnou družici, se doporučuje též užit vyššího průměru parabol.

Ze srovnání vypočítaných a doporučených průměrů parabol plyne, že ve vypočítaných průměrech parabol je dobrá rezerva.

Pokud jde o velikosti poměru G/T je nutno říci, že v pásmu 12 GHz, družic DTH se uvažují dva druhy přijímacích stanic; skupinový přijímač, určený pro připojení k systémům pro společný příjem televizních a rozhlasových signálů s G/T = 14 dB/K a individuální přijímač, určený pro přímé napojení na TV přijímač s G/T = 6 dB/K.

**Šumový práh družicového přijímače, poměr S/N.**

Šumový práh družicového přijímače určuje, jak slabý může být vstupní signál, který je měřen poměrem C/N [nosná/šum], než přijímaný obraz ohodnotíme jako nepřijatelný. Koncept, který je vyjádřen poměrem signál/šum — [S/N] můžeme lehce pochopit, představíme-li si posluchače v místnosti, v které je velké množství lidí. Kdyby z nich každý hovořil a tím způsobil, že hladina šumu je vysoká, je třeba křičet k dosažení dorozumění. Signál musí být silnější.

Tab. 5.2: Stupeň jakosti „Q“ příslušný poměru C/N

Q	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
C/N	5	6,5	8	10	13	15	18

Tab. 5.3: Odvozené průměry přijímacích parabol od EIRP

EIRP [dBW]	G/T [dB/K]	průměr parabol [m]
52	13,3	0,70
51	14,3	0,79
50	15,3	0,88
49	16,3	0,99
48	17,3	1,12
47	18,3	1,25
46	19,3	1,40
45	20,3	1,57

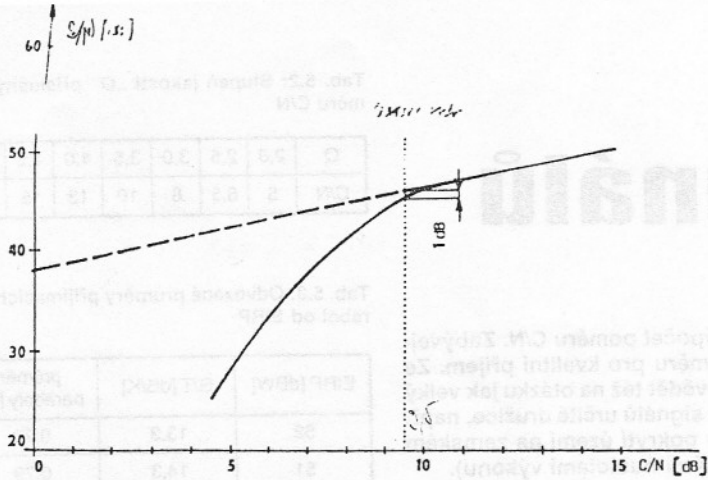
Tab. 5.4: Doporučené průměry parabol při užití konvertorů s různými šumovými čísly.

EIRP (dBW)	LNB Superhemit typ. 0,9 dB max. 1,0 dB	LNB Hemit typ. 1,2 dB max. 1,3 dB	LNB typ. 1,4-1,5 dB max. 1,6 dB
63	0,30	0,35	0,40
61	0,40	0,45	0,50
53	0,50	0,55	0,60
52	0,55	0,55	0,60
51	0,60	0,60	0,65
50	0,60	0,65	0,75
49	0,60	0,65	0,75
48	0,75	0,99	0,99
47	0,90	0,99	0,99
46	0,90	0,99	1,20
45	0,99	0,99	1,20
44	0,99	1,20	1,35
43	1,20	1,20	1,50
42	1,20	1,35	1,50
41	1,20	1,50	1,80
40	1,35	1,50	1,80
39	1,50	1,80	1,80—2,40
35	1,80	1,80—2,40	2,40

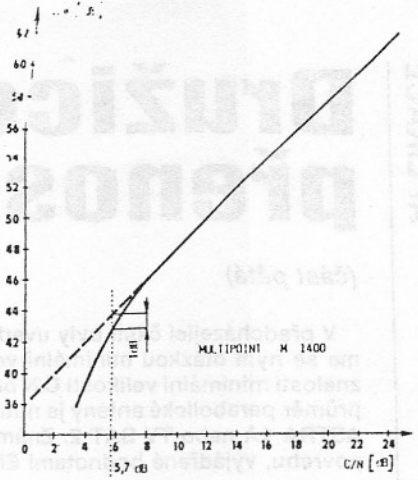
Určení průměru parabolické antény je jednou ze základních úvah při pořizování satelitního příjmu.

Tab. 5.1: Subjektivní hodnocení televizního obrazu

„Q“ označení stupně jakosti	Kvalita obrazu	Zhoršení kvality
5	výborná	nepozorovatelné
4	dobrá	pozorovatelné, ale nerušící
3	vyhovující	slabě rušené
2	nevyhovující	rušené
1	nepoužitelná	silně rušené



Obr. 5.2: Naměřené hodnoty S/N v závislosti na C/N, prahová citlivost extrémně nízká (5,7 dB)



Obr. 5.1: průběh závislosti S/N na C/N

C/N. U komerčních přijímačů je v současnosti šumový práh uváděn hodnotou 8 dB. Na trhu jsou však přijímače, které mají šumový práh 6,5 dB. Ty jsou pochopitelně dražší. Výrobci se ovšem snaží snížit i tuto hranici. Jako příklad uvedme supernízkošumový demodulátor M 1400 britské firmy MULTIPOINT. Výrobce uvádí typickou hodnotu šumového prahu 5,5 dB C/N. Při měření konkrétního přístroje ze sériové výroby (časopis TELE-satelit 1/89) byla naměřena hodnota 5,7 dB C/N. Výsledek měření závislosti S/N na C/N je znázorněn na obr. 5.2. Cena demodulátoru je 15 000 DM. Demodulátor je proveden jako samostatná jednotka, ke které je nutno ještě přikoupit tuner za 7 500 DM.

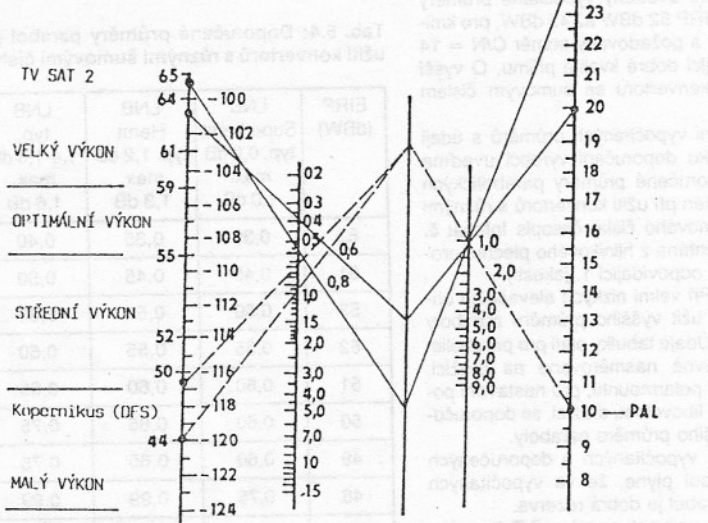
Uvedme ještě na závěr výkladů o vztazích EIRP, průměrech parabolických antén, šumových číslech LNB a poměrech C/N, respektive S/N, několik údajů týkajících se družic TV SAT 2 a Kopernikus. K tomu užijeme nomogramu (Deutsche Post-NSR) na obr. 5.3. Kontrolní měření při přenosch televizních signálů z francouzské družice TDF 1 ukázala, že pro kvalitní příjem D2-MAC/packet je nutno dosáhnout poměru C/N 19 dB až 20 dB. Tyto hodnoty u TV SAT 2 získáme při užití nízkošumového konvertoru s anténou o průměru pouhých 40 cm! Výhledově plánovaný přenosový formát HD MAC, odvozený z D2-MAC, vyžaduje C/N kolem 25 dB. K tomu je nutno užít antén, viz nomogram na obr. 5.3 o průměru 60 cm až 70 cm. (Plošné hustoty v porovnání s dříve uvedenými hodnotami, např. na obr. 2.3, jsou na obr. 5.3 nižší o 3 dB, neboť je do nich ještě započítána ztráta, statistická velikost, odvislá od klimatu. Pro Střední Evropu pro 99 % času nejnepříznivějšího měsíce to činí 1,1 dB až 1,3 dB a podle modelu mezinárodní konference WARC-77, 1,5–2 dB. Pro 99,9 % času nejpříznivějšího měsíce se udávají 4 dB.)

Pro určení velikosti průměru parabol pro příjem z družice Kopernikus použijeme přerušovaných čar na obr. 5.3. Horní platí pro 7 výkonově silnějších transponderů 12 GHz rozsahu. K příjmu stačí parabola o průměru 60 cm. Při použití levnějšího konvertoru se šumovým číslem 2 dB (zde je ovšem miněno šumové číslo systému, tj. šumové číslo LNB plus 0,5 dB), je nutno počítat s anténou o průměru 80 cm.

Spodní křivku užijeme pro určení průměru parabolických antén pro příjem signálů z transponderů rozsahu 11 GHz, pracujícími s menšími výkony.

Ing. Jindřich BRADÁČ, CSc

DRUŽICE		JAKOST	
EIRP (dBW)	DFD (dBW/m <sup>2</sup> )	C/N (dB)	ŠUMOVÉ ČÍSLO (dB)



Obr. 5.3: Nomogram závislosti EIRP, průměru parabol, šumového čísla a C/N.

V případě, že by v místnosti bylo takové ticho, že by bylo možno slyšet hluk padající jehly, byla by hladina šumu nízká. V tomto případě stačí pro dorozumění šepot s daleko nižší hladinou signálu.

Vyneseme-li poměr S/N ve vztahu k poměru C/N, dostaneme lineární závislost, pokud C/N neklesne pod určitou hranici, např. 8 dB. Tato závislost znamená, že určité změny na vstupu přijímače odpovídá přímoúměrná změna na výstupu. Poměr S/N je závislý od řady faktorů, odvislých od způsobu přenosu při užití kmitočtové modulace. Jsou to např. velikost zdvihu modulačního kmitočtu, šířka vř pásma, šířka zvukového kanálu. Proto pro posouzení kvality příjmu byl volen poměr C/N, který není od těchto činitelů závislý. Závislost S/N na C/N je uváděna tímto vztahem: (údaje jsou v dB)  
 $S/N = C/N + G_{it} + P_{it}$   
 $G_{it}$  je modulační zisk získaný ze vztahu

$$G_{it} = 10 \log \left( 1.5 \frac{zdv_{th_{max}}}{f(zvuk)} \right)$$

VF (šířka pásma)  
 f (zvuk)

Zdvih je míněn špička, špička. Pro názorný příklad uvedme zdvih 13,5 MHz, f [zvuk] 8 MHz, VF [šířka pásma] 27 MHz.

Po dosažení je  $G_{it}$  rovno 16,5 dB  
 $P_{it}$  je tzv. fyziologický faktor hodnotící obraz, udává se velikostí 13,2 dB. Po dosažení do výrazu pro S/N dostaneme  
 $S/N = 14 \text{ dB} + 16,5 \text{ dB} + 13,2 \text{ dB} = 43,7 \text{ dB}$   
 Pro jiné zdvihy a jiné šířky pásma vyjdou odlišné hodnoty S/N. Obraz je posuzován jako kvalitní, když S/N je větší než 40 dB.  
 Poznámka: při užití formátu D2-MAC/packet je poměr S/N zvýhodněn o 3 dB.

Skutečný průběh závislosti S/N na C/N na obr. 5.1 se pro nízké hodnoty C/N od lineárního průběhu odlišuje. Na obrazovce se objevují „ryby“. Hodnota C/N při které S/N poklesne o 1 dB proti vypočítané hodnotě  $S/N = C/N + G_{it}$  se označuje jako šumový práh. Poklesne-li C/N pod tuto hranici, je na obrazovce patrné silné zhoršení kvality obrazu.

Šumový práh je tedy kromě nízkého šumového čísla konvertoru (nebo velkého průměru přijímací paraboly (dalším faktorem, ovlivňujícím kvalitu přijímaného obrazu). Při nižším šumovém prahu lze ještě přijímat signály s nižším

# Družicový přenos signálů

(část šestá)

Tato část bude věnována otázkám nasměrování přijímací antény na družici. Uvedeme postup pro nasměrování jak přijímací paraboly v provedení rotačním, s ozařovačem a konvertorem umístěnými v ohnisku antény, tak antény v provedení offset, u které ozařovač, konvertor, leží mimo osu paraboly.

Nejprve uvedeme popis pro nastavení antény rotační. K nastavení antény, lépe řečeno jejímu nasměrování na družici, je nutno znát následující údaje. Předně musíme vědět na jaké pozici na oběžné dráze Země je družice, jejíž program hodláme sledovat, umístěna. Při tom nerozhoduje zda družice vysílá v pásmu, 11 GHz, 12,5 GHz nebo 12 GHz. Důležitá je znalost pozice družice na oběžné dráze Země.

Družice jsou nosnou raketou uvedeny na oběžnou dráhu Země ve vzdálenosti přibližně 36 000 km. Oběžná dráha je nad rovníkem a družice se pohybují stejnou úhlovou rychlostí jako je rychlost otáčení Země. Pozorovateli na zemském povrchu se tyto družice jeví jako stálíce. Nemusi tomu však být vždy tak. Některé družice, např. v SSSR, se pohybují po eliptické dráze i v odlišných výškách od 36 000 km. Tyto družice se již nejeví jako stálíce. Družice nad obzorem vychází a zapadá. Přijímací zařízení musí být vybaveno možnostmi sledovat pohyb družice. Družice se zpravidla pohybuje několik za sebou. Eliptické dráhy jsou vhodné pro určitá území, jakými jsou např. severní oblasti SSSR. V našem příspěvku zůstaneme u družic nad rovníkem, které se pohybují po kruhové dráze ve výšce 36 000 km.

Poloha družic na oběžné dráze Země je udávána ve stupních východně nebo západně od nulového poledníku procházejícího Anglií (Greenwech). Uvedme příklad Kopernikus 23,5° východně, ASTRA 19,2° východně nebo Intelsat VA-F11 27,5° západně, PAS (Pan American Satellite) 45° západně. V praxi se dá v našich podmínkách nasměrovat přijímací anténa na družice, které leží v rozmezí úhlů od přibližně 66° východně do 55° západně. Příklad dráhy, po které se pohybují družice a příklad jejich umístění na dráze uvádí obr. 1. Vzdálenost mezi družicemi na oběžné dráze, separace, je uváděna též ve stupních. Pro družice pro přímý příjem pásma 12 GHz, které pracují s vyššími výkony, je mezinárodní stanovena separace 6°. Jsou to např. družice TDF 1, TV-SAT 2, TELE-X, Olympus. U nižších pásem, 11 GHz, se setkáváme se separací menší, kolem 2°. Tyto družice pracují s poměrně malým výkonem.

Pro nastavení přijímací antény na zvolenou družici musí být zajištěna **přímá viditelnost na družici**. To znamená, že v cestě přijímací anténa—družice nesmí stál překážka. Např. dům, stromy, hora, kopec. Na obr. 2 je znázorněn příklad, kdy příjem signálu není možný, ani kdybychom použili paraboly o extrémně velkém průměru. Dům stojí prostě v cestě a brání příjmu signálů z družice. Na obr. 2 je též vyznačen úhel který svírá paprsek nasměrovaný na družici s rovinou paralelní se zemským povrchem v místě instance antény. Tento úhel se nazývá **úhlem elevace** a označuje se v odborné literatuře EL. Úhel EL je odvislý od zeměpisných souřadnic místa instance přijímací antény.

V našich zeměpisných souřadnicích (Československo) se tento úhel pohybuje v rozmezí, podle polohy družice, kolem 31° až 35° (severní výběžky Čech a jižní cíp Slovenska). EL je nejvyšší při nasměrování na družice ležící z místa pozorování na jih. Směrem k západu, tj. při nasměrování na družice, ležící od nulové pozice západně, totéž platí pro družice východně, je tento úhel, čím více západně (východně) nižší až konečně splyne zcela s horizontem. Názorně bychom to mohli přirovnat k dráze slunce. Slunce vychází, je nízké, v poledne je nejvyšší v jižním směru a v odpoledních hodinách klesá, až konečně zmizí za obzorem. Kdybychom slunce v určitých okamžicích

zastavili dostali bychom představu pozice družice a jejího úhlu EL. Promítneme-li paprsek vedený na družici na paralelní rovinu, vedenou se zemským povrchem v místě instalace přijímací antény, dostaneme další úhel, který charakterizuje nasměrování přijímací antény na družici. Tento úhel se nazývá **azimut**, označuje se AZ'. Čtení azimutu uvádí obr. 3. Sever je nula, východ 90°, jih 180°. Pro praxi se lépe osvědčuje čtení od jižního směru ve stupních vyznačených ve směru nebo v protisměru pohybu hodinových ručiček. Na obr. 3 je to vyznačeno AZ'.

Tedy pro zaměření přijímací antény na družici je nutno umět vypočítat nebo najít z tabulek nebo grafů EL a AZ. Pro výpočet je nutno znát zeměpisné souřadnice místa, v kterém je instalována přijímací anténa, to je zeměpisnou délku a zeměpisnou šířku. Při užití tabulek, které jsou orientovány podle důležitějších měst a které jsou sestaveny pro nasměrování na vyjmenované družice znalost souřadnic není nutná. Tabulka 1 uvádí příklad zpracování AZ a EL pro několik vybraných družic v Spolkové republice Německo a několik hlavních měst v Evropě. Tabulky, které obsahují údaje pro 680 měst v Spolkové republice Německo a NDR sestavila firma Mediatech & Printron Verlag GmbH, Daun, Eifel. Z této brožury je též převzat názorný obrázek prostorové představy úhlů elevace a azimutu (obr. 4).

Výhodnější je zpracování EL a AZ grafické, které pro nasměrování přijímací antény na družici je zcela postačující. Na obr. 5 je uvedeno nasměrování na družici ASTRA, pozice 19,2° východně, pro místa ležící na našem území.

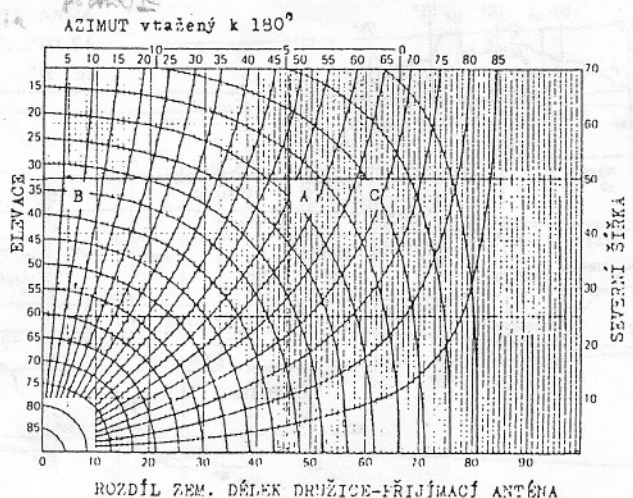
Pro nastavení antény na družici stačí znát, že AZ je např. mezi 176° a 176,5° a elevace je např. slabě větší než 31°. Anténu nastavíme na tyto hodnoty a přesné dostavení provedeme buď podle obrazu na televizoru nebo jsme-li vybaveni měřičem intenzity pole, podle údajů ručičky měřiče, kdy sledujeme maximální výchylku. Některé přijímače mají již tento vhodný indikátor vestavěn. Otáčíme antenou vlevo a vpravo a sledujeme obraz nebo ručičku měřiče. Poté slabě změníme elevační úhel a pohyby s anténou opakujeme. U družic typu ASTRA, Kopernikus, které pracují s poměrně velkými výkony, je nastavení optimální polohy přijímací antény opravdu velmi jednoduchou záležitostí. Pro výpočet azimutu a elevaci platí jednoduché vztahy (1), (2), (3).

$$EL = \arctg \frac{\cos h - 0,15105}{\sin h} \quad (1)$$

$$h = \arccos [\cos (S - L) \cos B] \quad (2)$$

Obr. 6. Univerzální graf pro určení AZ a EL

1. výpočet
2. tabulka
3. graf



$$AZ = 180 + \arctg \frac{\lg (S - L)}{\sin B} \quad (3)$$

S je pozice družice na orbitální dráze ve stupních. Leží-li družice východně, dá se před údaj ve stupních znaménko minus. Jako příklad uvedme Kopernikus -23,5° nebo ASTRA -19,2°, neboť obě družice jsou situovány východně.  
L je zeměpisná délka stanoviště přijímací antény. Údaj je opět ve stupních. Pokud je zeměpisná délka východně, vloží se před L opět znaménko minus. Pro naše území jsou zeměpisné délky 12,5°-22,5° východně, tedy budeme dosazovat vždy znaménko minus před L. B je zeměpisná šířka stanoviště přijímací antény.

Pro názornost, zejména když se počítá s různými znaménky, je vhodné uvést početní příklad. Vypočítáme pro ilustraci užití vzorců AZ a EL pro místo ležící u Zlína, jehož zeměpisné souřadnice jsou zeměpisná délka 17,7° východně a zeměpisná šířka 49,25° severně. Hledáme AZ a EL pro nasměrování přijímací antény na družici ASTRA na poloze 19,2° východně. Nejprve vypočítáme pomocný parametr h podle (2)  
 $h = \arccos [\cos (S - L) \cos B] = \arccos [\cos (-19,2 - (-17,7)) \cos 49,25] = \arccos [\cos (-1,5) \cos 49,25] = 49,2669$   
k výpočtu EL, známe-li h použijeme (1)

$$EL = \frac{\cos h - 0,15105}{\sin h} = 33,50^\circ$$

Azimut AZ vypočítáme podle (3)

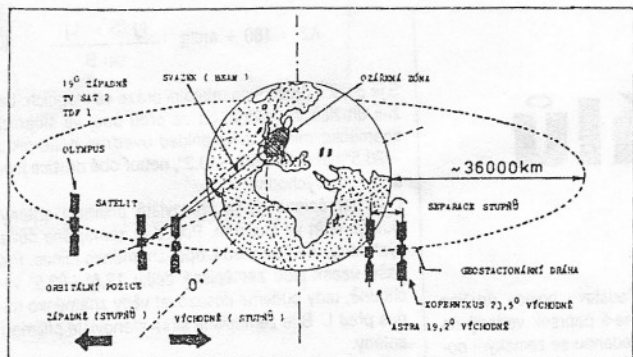
$$AZ = 180 + \arctg \frac{\lg [-19,2 - (-17,7)]}{\sin 49,25} = 178,02^\circ$$

Tab. 1. Příklad — tabelární zpracování AZ a EL  
Praha: severní šířka 500600  
východní délka 141700

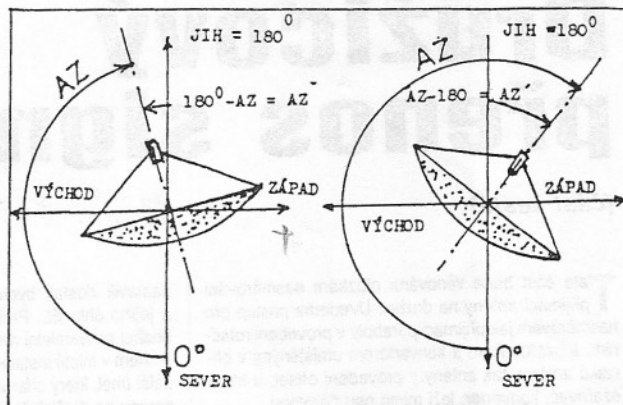
Družice	pozice	AZ [°]	EL [°]
	východ		
Intelsat VA-F15	60°	126,81	18,36
DFS			
Kopernikus	23,5°	168,08	31,92
ASTRA	10,2°	173,63	32,40
Eutelsat I-F1	16°	177,81	32,57
Eutelsat I-F4	13°	181,61	32,58
Eutelsat I-F5	10°	185,55	32,44
Eutelsat I-F2	7°	189,44	32,17
	západ		
Intelsat VA-F2	1°	199,59	30,77
Telecom 1 C	5°	204,50	29,73
Telecom 1A	8°	208,10	28,80
Horizont	14°	215,03	26,63
Intelsat VA-F6	18,1°	220,00	24,75
TDF			
TV-SAT2	19,0°	220,54	24,53
Intelsat VA-F11	27,5°	229,34	20,44
PAS	45°	245,49	10,59

separace => separační (6°) (2)

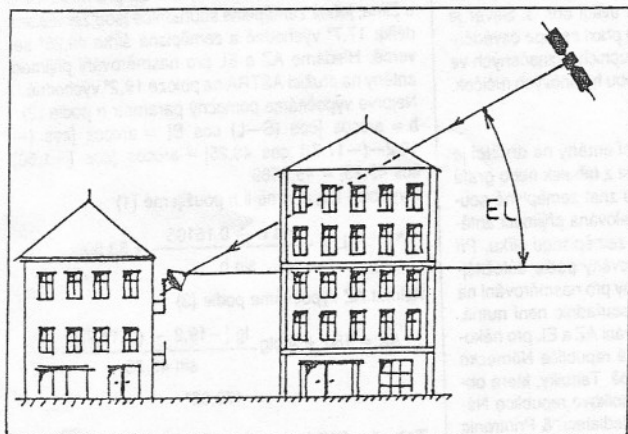
$$EL = 39^\circ - 55^\circ$$



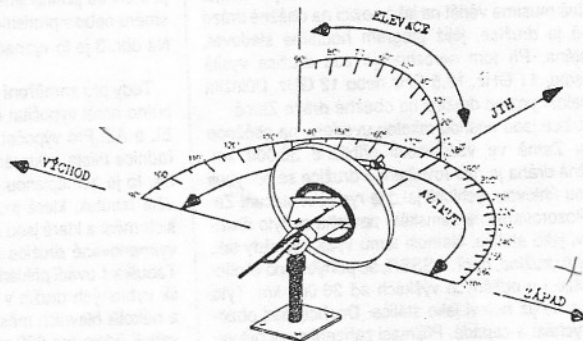
Obr. 1. Oběžná dráha družic a jejich pozice



Obr. 3. Příklad azimutů



Obr. 2. Viditelnost na družici, elevace



Obr. 4. Prostorová představa azimutů a elevace

Pohledem na obr. 5 se přesvědčíme, že vypočítané AL a EZ souhlasí. Výpočet, jak je vidno z příkladu, je jednoduchý, zejména použijeme-li k výpočtu programovatelný kapesní kalkulačtor. Přes všechnu tuto jednoduchost je ale v praxi výhodnější užít grafického znázornění AZ a EL, neboť se nemusíme obtěžovat hledáním souřadnic místa instalace antény a hlavně nemusíme nic počítat, neboť i při jednoduchém výpočtu se můžeme dopustit chyby a poté při nastavení antény na družici, je-li výpočet AZ a EL nesprávný, nedosáhneme správného nastavení a můžeme hledat chybu, že nemáme příjem, jinde, třeba i v přijimači.

Vztahy (1) až (3) platí pro nastavení antény na jednu družici. Chceme-li nastavit anténu na jinou družici, musíme vyjít z její orbitální pozice a výpočet provádět znovu nebo použít příslušného jiného grafu.

V praxi je proto výhodnější použít otočného držáku, tzv. polárního závěsu (polarmount), který umožní otáčet anténou tak, aby paprsek antény kopíroval oběžnou dráhu Země, na které jsou umístěny družice. Polarmount je možno otáčet buď ručně, což lze opravdu jen v případech, kdy přijímací anténa je na

dosah ruky, např. na snadno dostupném balkoně, nebo se užívá motoricky poháněného polarmountu s dálkovým ovládním. U luxusnějších družicových přijímačů se dá poloha polarmountu, odpovídající příslušným pozicím družic, zapsat do paměti a poté stačí pouze stisknout příslušné tlačítko dálkové volby a anténa se sama nastaví na žádanou družici. O polárním závěsu se podrobněji zmíníme v některém z příštích pokračování.

Dnes zůstaneme ještě u určení azimutů a elevace. Doposud uvedené způsoby určení AZ a EL mají dosti nedostatků. Při užití matematických vztahů je nutno provést početní operace. Při hledání v tabulkách jsou i při velkém množství údajů AZ a EL udávány pouze pro vybraná místa, např. větší města a vybrané družice. Objeví-li se na oběžné dráze nová družice jsou tabulky k ničemu, je nutno provést výpočet. U grafických zpracování AZ a EL pro určitá území jsme opět omezeni na zpracování grafů pouze pro vybrané družice, např. ASTRA, Kopernikus, některá provedení Intelsat nebo Eutelsat. Tyto nedostatky vedly na hledání cesty, jak vypracovat jeden graf, z kterého by bylo možno, řekněme univerzálně určit AZ a EL pro libo-

volné družice, charakterizované jejich pozicí na oběžné dráze Země pro libovolné místo přijímací antény, charakterizované zeměpisnou délkou a šířkou. Takové univerzální pomůcky skutečně existují v nejrůznějších variantách. Příklad jedné z nich je uveden na obr. 6.

Postup hledání v grafu: najdeme rozdíl zeměpisných délek pozice družice a místa instalace přijímací antény. Východní délky mají před údajem znaménko minus. Příklad. Družice Intelsat VA-F15, 60° východně a Praha 14,28° východně. Rozdíl je  $-60 - (-14,28) = -45,72^\circ$ . Družice PAS 45° západně, rozdíl je  $45 - (-14,28) = 59,28^\circ$ .

V grafu najdeme průsečík rozdílu zeměpisných délek a zeměpisné šířky místa instalace přijímací antény. Tento průsečík udá EL přímo. AZ je brán od 180°. Je-li rozdíl zeměpisných délek kladný, přičteme údaj horní vodorovné stupnice k 180°. Je-li rozdíl záporný, nalezený údaj od 180° odečteme.

Příklady: Stanoviště Praha, zeměpisná šířka 50° severně, zeměpisná délka 14,28° východně.

A — družice Intelsat VA-F15, 60° východ. AZ = 126,81°, EL = 18,36°

rozdíl délek je záporný  $-45,72^\circ$ , proto se odečítalo od 180°

B — ASTRA 19,2° východně, AZ = 173,63°, EL = 32,40°

rozdíl délek je záporný  $-4,92$ , proto se opět odečítalo

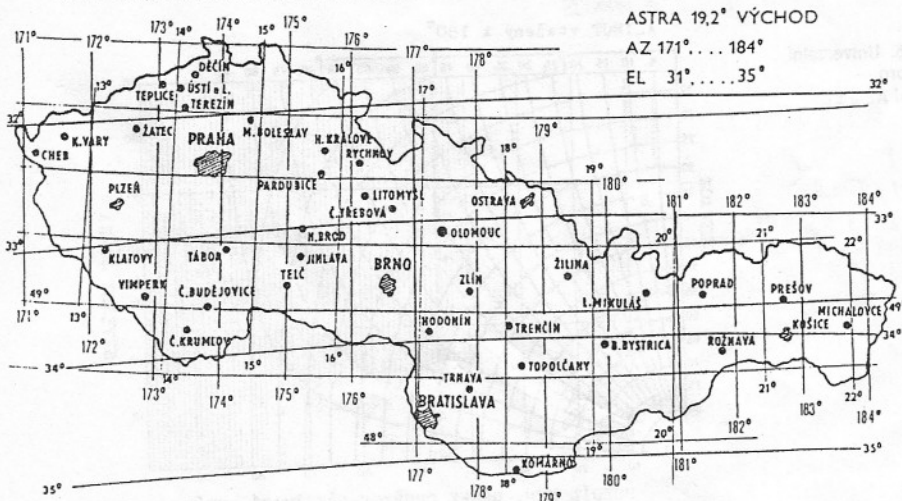
C — PAS 45° západně, AZ = 245,49°, EL = 10,59°

rozdíl je  $45 - (-14,28) = 59,28^\circ$ , tedy kladný, proto se přičítá.

Průsečíky A, B, C uvedených příkladů jsou vyznačeny v grafu obr. 6. Pro nastavení přijímací antény je nutno ještě upozornit, že je nutno vzít v úvahu, že sever (nebo jih) zjištěný kompasem vlivem magnetické odchylky nesouhlasí se skutečným severem (jihem), což znamená, že je nutno údaje azimutů korigovat při nastavování antény, a to zkusmo. Magnetické odchylky jsou na našem území (přibližně od 1° Čechy) do 2–3° (Slovensko).

O vlastním nastavení antény středově i offset, ale i též o magnetických odchylkách a polarmountu budou podrobnosti příště.

Obr. 5. Graf pro určení AZ, a EL, družice ASTRA



# Družicový přenos signálů

(část sedmá)

V předcházející části jsme uvedli jak nalézt výpočtem z tabulky nebo grafu azimut a elevaci. Dejme nyní příklad pevného nastavení parabolické přijímací antény na jednu družici, a to pro parabolu rotační, středově ozářenou (ozářovač leží v ose rotace paraboly). Schematické znázornění parabolické antény, nasměrované na družici, podává obr. 1. Z obrázku je patrný elevační úhel, označený EL.

Před nastavením úhlu EL se nejprve přesvědčíme o kolmosti nosného stožárku (trubky). K nastavení elevačního úhlu (EL) se dá užít továrně vyrobených sklonoměrů. Práce se sklonoměrem je velmi pohodlná a přesná, leč cena sklonoměru se blíží ceně konvertoru a proto se v naší praxi používá jednodušších, i když méně přesných metod. Jednou z nich je užítí dřevěné laťky nebo tyčky z umělé hmoty, kterou přiložíme na talíř antény. (Laťka je na obr. 1 vyznačena šrafováním.) Dále použijeme pravoúhlého trojúhelníku, vystříženého např. z tvrdého papíru, jehož jeden z úhlů je elevační. Při správném nastavení EL musí být hrana trojúhelníku rovnoběžná s přiloženou laťkou. Není-li tomu tak, upravujeme elevaci tak dlouho, než dosáhneme tohoto stavu. Kolmost zajistíme provázkem, zakončeným závažím (olovnicí). Pomůcky jsou na první pohled velmi primitivní, ale v praxi poskytují vyhovující přesnost pro první nastavení paraboly.

Kromě EL je nutno nastavit azimut (AZ). Před nastavením azimutu je nutno zjistit jižní směr. Jih můžeme hrubě určit podle polohy slunce v poledne. Existují další způsoby určení jihu (severu) podle polohy nebeských těles (slunce, hvězdy, měsíc). Jedním z nich (obr. 2) je použití hodinek. Způsob je sice méně přesný, ale praxe ukázala, že není-li při ruce nic lepšího, lze ho pro nastavení azimutu použít:

Držíme před sebou hodinky a otáčíme jimi ve vodorovné poloze tak, aby malá ručička směřovala ke slunci. Přímkou dělicí na polovinu úhel mezi hodinovou ručičkou a číslicí 12 ukazuje k jihu. Slunce totiž proběhne svou každodenní cestu kolem Země ve 24 hodinách a hodinová ručička obejde za tuto dobu kruh ciferníku dvakrát. Jestliže v poledne, kdy ukazuje 12 hodin, označuje směr k jihu, při dalším pohybu ručička hodin dvakrát předhoni Slunce. Proto je nutno dělit úhel na ciferníku na polovinu. Směřuje-li hodinová ručička ke Slunci, ukazuje půlící čára s „dvanáctkou“ vždy směr, ve kterém se nebeské těleso bude nacházet v poledne, tedy směr na jih.

Vhodnější způsob určení jihu je podle kompasu (busoly). Je nutno ovšem mít na zřeteli, že skutečný jih (sever), vykazovaný kompasem, se odlišuje od skutečného jihu (severu) vlivem magnetické deklinace. Magnetický a zeměpisný poledník se totiž spolu přesně neztotožňují, ale svírají spolu úhel, nazývaný magnetická deklinace (je proměnlivá s místem a časem).

Místní změny magnetické deklinace jsou znázorněny vždy pro určité časové období. Znázornění se provádí na mapách prostřednictvím izogon. Izogony jsou křivky, spojující místa stejné deklinace. Protože izogony probíhají převážně ve směru sever-jih, projevují se největší změny deklinace s místem ve směru východ-západ. Na mapách izogon jsou patrné i oblasti magnetických anomálií, v nichž magnetka ukazuje na malém prostoru vždy jinak. V těchto oblastech se nelze podle kompasu orientovat.

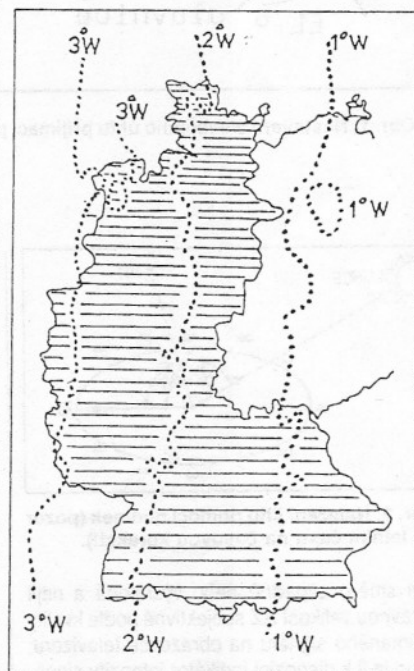
Časové změny magnetické deklinace souvisejí s rotací Země (změny denní) a oběhy Země kolem slunce (změny roční). Pro orientaci podle busoly mají největší význam změny roční, které jsou pravidelné a činí v současnosti v našich šířkách asi 2' ročně. Přitom znaménko změny je po dlouhou dobu stejné a závisí na dlouhodobé změně polohy magnetického pólu vůči zemskému pólu. Na přesnost orientace mají vliv i magnetické poruchy a atmosféra, magnetické bouře, místní magnetické anomálie a samozřejmě při měření v místech, kde je instalována přijímací parabola (balkon, střecha,...), nejrůznější kovové předměty, jako zábradlí, kovový plot, oplechovaná střecha, okap a pod.

Některé kompasy určené pro instalatéry družicových zařízení (např. kompas dodávaný firmou FUBA), uvádějí údaje na území Spolkové republiky Německo již korigované o deklinaci. Velikost magnetické deklinace se dá teoreticky zjistit dotazem na letiště. Říkám

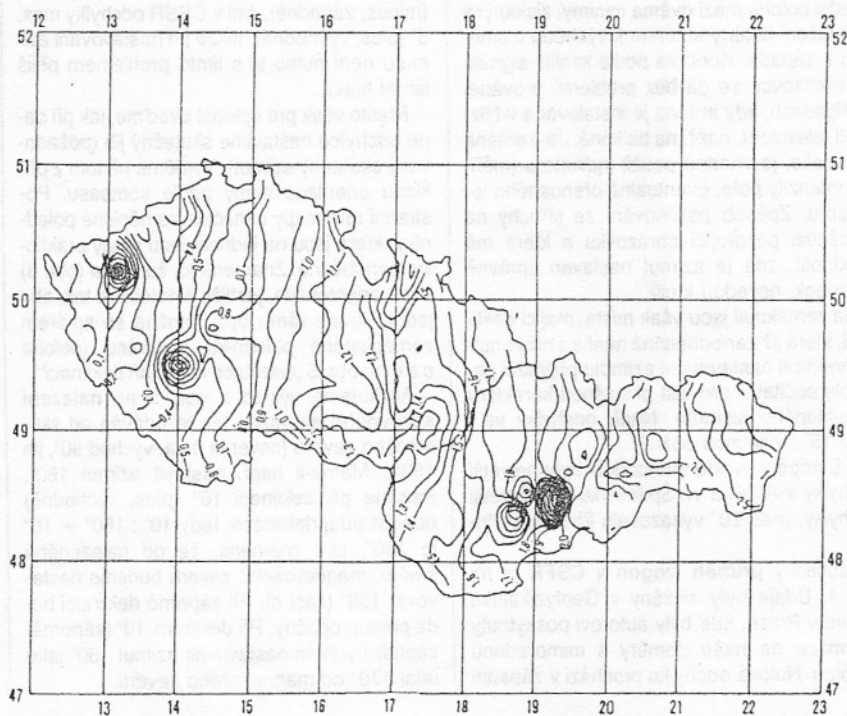
teoreticky, neboť v praxi se mi to nepodařilo ani u nás (letiště Ruzyně), ani na letišti ve Frankfurtu (SRN).

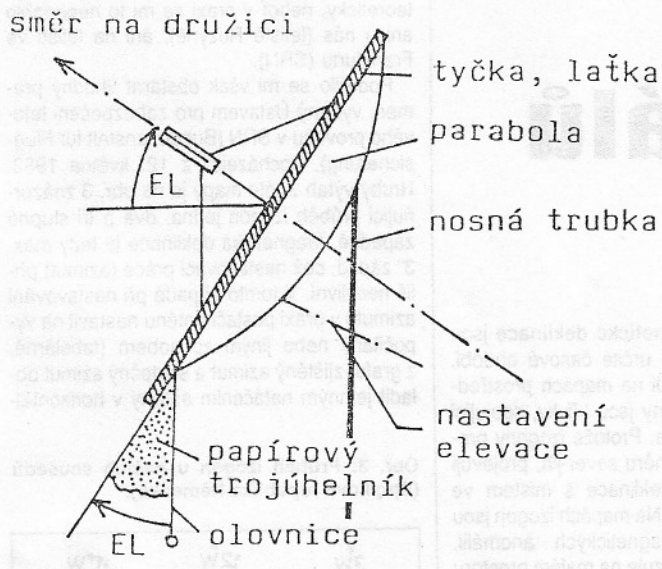
Podařilo se mi však obstarat vhodný pramen, vydaný Ústavem pro zabezpečení letového provozu v SRN (Bundesanstalt für Flugsicherung), pocházející z 12. května 1983. Hrubý výtah z této mapy je na obr. 3 znázorňující průběh izogon jedna, dva a tři stupně západně. Magnetická deklinace je tedy max. 3° západ, což nastavovací práce (azimut) příliš neovlivní. V tomto případě při nastavování azimutu v praxi postačí anténu nastavit na vypočítaný nebo jiným způsobem (tabelárně, z grafu) zjištěný azimut a skutečný azimut doladit jemným natáčením antény v horizontál-

Obr. 3: Průběh izogon u našich sousedů (Spolková republika Německo).

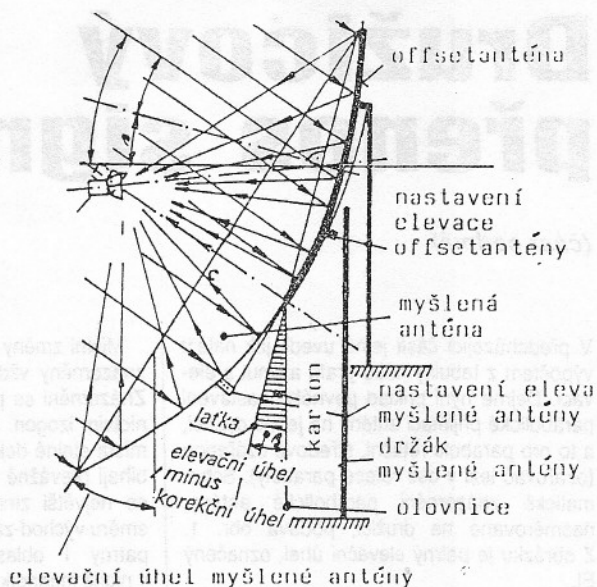


Obr. 4: Současný průběh izogon v ČSFR.

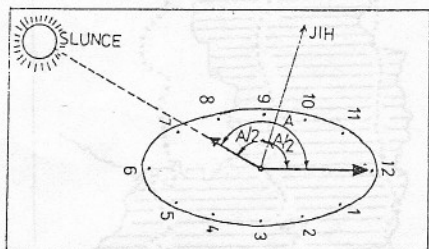




▲ Obr. 1: Nastavení elevačního úhlu přijímací parabolické antény.



Obr. 6: Nastavená elevace offset antény



Obr. 2: Nalezení jihu pomocí hodinek (pozor při letním času na časovou korekci!).

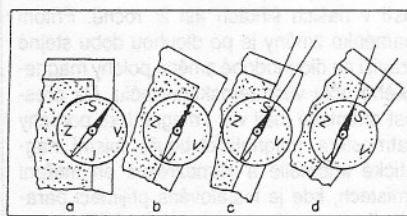
ním směru západně nebo východně a najít správnou velikost AZ subjektivně podle kvality přijímaného signálu na obrazovce televizoru, nebo je-li k dispozici indikátor intenzity signálu, podle maximální výchylky tohoto indikátoru.

Při subjektivním hodnocení je nutno hledat střední polohu mezi dvěma minimy, získanými při otáčení antény směrem k východu a směrem k západu. Kontrola podle kvality signálu na obrazovce se dá bez problémů provádět v případech, kdy anténa je instalována v blízkosti televizoru, např. na balkóně. Je-li anténa na střeše, je vhodné použít indikátor (měřič) intenzity pole, eventuálně přenosného televizoru. Způsob pokřikování ze střešy na manželku pozorující obrazovku a která má odhodnotit, zda je azimut nastaven správně a naopak, nevedou k cíli.

Na zeměkouli jsou však místa, mající deklinaci, která již zanedbatelná není a s níž je nutno hned při nastavování azimutu přijímací paraboly počítat a provést příslušnou korekturu vypočítaného azimutu. Např. odchylky velikosti 15° i více jsou běžné.

V Evropě v uvedeném období byly největší odchylky v Anglii a ve Španělsku. Ještě větší odchylky, přes 20° vykazovala jižní část Afriky.

Současný průběh izogon v ČSFR je na obr. 4. Údaje byly získány v Geofyzikálním ústavu v Praze, kde byly autorovi poskytnuty informace na naše poměry s mimořádnou ochotou. Nulová odchylka prochází v západní



Obr. 5: Orientace mapy, deklinace, nalezení azimutu od magnetického severu: a — mapa není orientována, b — mapa je orientována, deklinace 0°, c — mapa je orientována, deklinace plus 10° (západ), d — mapa je orientována, deklinace minus 10° (východ).

části republiky poblíž Chebu, odchylka plus jeden stupeň je mezi poledníky 15° a 16°. Nejvyšší odchylky, kolem plus 3 stupně, jsou ve východním cípu Slovenska. Je tak patrné, že podobně jako v SRN, kde jsou odchylky do 3° (minus, západně), činí v ČSSR odchylky max. 3° (plus, východně), takže při nastavování azimutu není nutno si s tímto problémem příliš lámat hlavu.

Přesto však pro úplnost uvedme, jak při dané odchylce nastavíme skutečný jih (požadovaný skutečný azimut). Vyjděme při tom z příkladu orientace mapy podle kompasu. Postranní rám mapy označuje zeměpisné poledníky, které jsou na jednom listu mapy prakticky rovnoběžné. Znamená to, že mapa (obr. 5) bude orientována, jestliže ji natočíme tak, aby jedna strana rámu byla totožná se směrem zeměpisného poledníku v terénu (poloha c a d na obr. 5 „orientace mapy při deklinaci“).

Aplikujeme výtvar z obr. 5 na nalezení správného azimutu: ten je udáván od skutečného severu (sever je nula, východ 90°, jih 180°). Máme-li např. nastavit azimut 160°, musíme při deklinaci 10° (plus, východně) odečíst údaj deklinace, tedy 10° : 160° - 10° je 150°, což znamená, že od nalezeného směru, magnetického severu budeme nastavovat 150° (část c). Při záporné deklinaci bude postup opačný. Při deklinaci 10° (záporně, západ) bychom nastavovali azimut 160° jako údaj 170° od magnetického severu.

Zatím jsme uvažovali v našem pojednání parabolickou anténu středově napájenou. V praxi se však setkáváme velmi často s provedením antény offset. Nastavení AZ offset antény je shodné s nastavením AZ u antény středově napájené. Nastavení elevace je však poněkud složitější. Elektricky není rozdíl mezi anténou klasickou rotační a anténou offset, ta je však svým náklonem pro instalaci vhodnější než anténa rotační. Udrzuje se na ní méně sněh, vyžaduje méně místa pro montáž.

Anténa offset vznikne z klasické antény středově, rotační, tak, že z větší, myšlené paraboly se užije pouze výřez, obyčejně eliptického tvaru, který ovšem viděn z družice je kruhový. Na obr. 6 je naznačen postup získání i instalace parabolické offset antény. Původní myšlená rotační parabola má ve svém ohnisku umístěn ozařovač. Na obr. nakresleno přerušovanou čarou. Klasická anténa je charakterizována poměrem f/D — ohnisková vzdálenost k průměru paraboly, např. 0,4. Na obr. 6 je konstrukce antény nastavené na družici Kopernikus z Prahy (elevace 31,93°). Vyřiznutá offset parabola z velké myšlené paraboly je na obr. 6 vyznačena silně. Paprsky přicházející od družice se na reflektoru paraboly odraží a jsou koncentrovány do původního ohniska, v němž se ovšem ozařovač nasměruje na střed offset antény.

Elevační úhel klasické rotační paraboly, nastavené v našem případě na družici Kopernikus, je nutno u offset paraboly snížit o úhel korekce. Úhly korekce poskytne výrobce antény. Např. u antén FUBA průměr 120 cm (OAP 120) je korekce 21,8°, u antény OAP 150 (150 cm) je korekční úhel 25,4°.

Pokud nejsou úhly korekce vyznačeny přímo na držáku antén, použijeme k nastavení postupu podle obr. 6. Od zjištěného elevačního úhlu odečteme úhel korekce. Pro takto vypočítaný úhel vystříháme z kartonu pravouhelný úhelník a nastavení provedeme při použití dřevěné latky a olovnice.

Ing. Jindřich BRADÁČ, CSc. ■

*olovnicová korekce  
H/D - pravidlo antény*