

# Satelitná komunikácia

## História satelitnej komunikácie

Keďže by bolo veľmi nákladné globálne pokryť Zem kábelmi alebo základňovými stanicami, (na niektorých miestach by to bolo dokonca aj veľmi obtiažné, až nemožné - more, póly, púšte), sa tak hľadala iná cesta. Zrodila sa idea satelitnej komunikácie, ktorá spočívala vo využití už umiestnených satelitov. Komunikačný systém by za pomoci družíc by mal umožňovať pokrytie celého povrchu Zeme, pričom by náklady na montáž tohto systému nemali radikálne nepresiahnuť náklady na samotnú technológiu.

Úspešný rozvoj kozmickej techniky urýchlil aj rozvoj kozmických spojov. Nejde iba o družicové vysielanie rozhlasu a televízie, ale tiež o využitie telekomunikačných družíc na diaľkový prenos širokopásmových signálov i na realizáciu spojení medzi mobilnými účastníkmi. Jedným z hlavných cieľov satelitných projektov je vytvorenie podmienok na realizáciu účastníckych spojení medzi ľubovoľnými miestami na Zemi pomocou mobilných staníc konštruovaných s minimálnymi rozmermi, hmotnosťami a výkonmi napájacích zdrojov.

O prvý verejne publikovaný koncept komunikačných satelitov sa zaslúžil v októbri roku **1945** vedec a spisovateľ vedecko-fantastickej literatúry **Arthur C. Clarke**, ktorý publikoval v odbornom magazíne *Wireless World* článok "**Extra-Terrestrial Relays**" (Mimozemské spojenia). V tomto článku využil svoje vedecké vzdelanie a popísal komunikačný satelitný systém, podobný tomu dnešnému. V tejto dobe boli jeho myšlienky len fantáziou. Clarke bol prvým človekom, ktorý navrhol umiestnenie satelitov na rovníkovej dráhe, 36 tisíc kilometrov vzdalenej od Zemskeho povrchu, aby slúžili na vytvorenie globálnej komunikačnej siete. Clarkov článok vyšiel už 12 rokov pred vypustením prvej umelej družice Zeme - *Sputnik*.

Prvý systém využívajúci umelú družicu (satelit) na prenos signálov bol **ECHO 1** a pracoval na princípe odrazu signálu. ECHO 1 vypustila NASA v roku **1960**. Bol to balón, ktorý mal povrch z hliníkovej fólie a táto odrážala rádiové signály vysielané zo zemskeho povrchu.

Testy s Echom 1 boli úspešné, a preto bol spoločnosťami Bell Labs, AT&T, NASA, British Post Office a French National PPT založený projekt **Telstar**, za účelom vytvoriť satelit, ktorý by dokázal prenášať komunikačné kanály. **11. júla 1962** sa uskutočnil prvý prenos komunikačného signálu prostredníctvom družice **Telstar**. Prenos bol experimentom televízneho vysielania medzi Amerikou a Európou a rovnako bol v tento den uskutočnený aj prvý diaľkový telefónny hovor cez satelit.

Úspech Telstar 1 inšpiroval vedcov a už o rok neskôr sa objavil prvý geostacionárny satelit **Syncom 2** (Pri Syncom 1 [**obr.**] zlyhalo spojenie tesne pred tým ako sa dostal na cieľovú obežnú dráhu. Oba boli vypustené v roku 1963. Syncom 2 s 5 mesačným odstupom od Syncom 1 [14. február 1963]). V roku **1965** odštartoval prvý komerčný satelit **Early Bird**, ktorý spojil USA s Európou a bol schopný preniesť 240 duplexných telefónnych kanálov alebo 1 TV kanál.

V priebehu roka **1976** boli vypustené tri satelity **MARISAT 1-3**. Slúžili pre námornú komunikáciu medzi loďami a pobrežím, ktorá bola predtým zabezpečovaná z 90% manuálne operovanou telegrafiou. Marisat zabezpečoval prenos hlasu a faxové služby.

V roku **1979** bola založená medzinárodná spoločnosť **Inmarsat**, ktorá mala za úlohu zabezpečiť spojenie pre námorné lode po celom svete. Z pôvodného rozsahu služieb zameraného na námornú oblasť (pomoc pri ohrození lodi, riadenie námornej dopravy) sa pole

pôsobnosti značne rozšírilo a teraz pokrýva aj pozemné (mobilné) a letecké komunikácie. Pôvodné analógové systémy sú od roku 1997 doplnené o systémy digitálne.

Spoločnosť postupne sprevádzkovala niekoľko komunikačných satelitov a poskytuje svoje služby dodnes. Prvý satelitný systém pre mobilnú telefónnu komunikáciu bol **INMARSAT-A**. Pretože Inmarsat bol GEO satelit (GEO satelit je satelit umiestnený v značnej vzdialenosti od Zeme - približne 36 000km), komunikačný prenos vyžadoval značné množstvo energie, veľké antény a komunikácia bola charakteristická veľkým oneskorením. V roku **1988** bol vypustený prvý satelitný systém **INMARSAT-C** s hlasovou aj dátovou komunikáciou (600 bitov za sekundu). Jeho aplikácie sú v pozemnej doprave (cestný transport, železnice), námorníctve (jachty, rybárske lode, komerčná preprava), v letectve (vrtuľníky, vojenské a súkromné letectvo) a dokonca aj emailovej službe. Prvým digitálnym satelitným komunikačným systémom je **INMARSAT - M**, vypustený v roku **1993**, ktorý umožňuje rovnako, ako jeho predchodca, prenos hlasu, dát, faxové služby - všetko s max. rýchlosťou 2400 bit/s.

V súčasnosti **Inmarsat** využíva 4 družice na geostacionárnych dráhach a ponúka mobilné družicové komunikácie pre hovor a prenos dát strednej kvality pri pomerne malých rozmeroch pozemných staníc označovaných skratkou MES (Mobile Earth Station - mobilné pozemné stanice). MES sú vyrábané vo dvoch variantoch - prenosné (portable) a prevozné (transportable). Z celého radu ponúkaných služieb je pre bežného pozemného užívateľa najvýhodnejšia skupina označovaná **Inmarsat mi-ni-M**. Podobne ako pri štandarde GSM je i tu použitá karta SIM na identifikáciu a zabezpečenie. Na prenos medzi MES a telekomunikačnou družicou sa používa pásmo 1,5/1,6 GHz. Na komunikáciu medzi družicou a pozemnou základňovou stanicou LES (Land Earth Station - pevná pozemná stanica) sa potom používajú pásma 6,4 GHz a 3,6 GHz. Systém nepoužíva spojenie medzi jednotlivými družicami, spojenej mobilnej stanice sa uskutočňuje vždy cez niektorú LES v danej zóne, ktorá buď umožňuje spojenie cez družicu alebo vstup do niektorej z pozemných telekomunikačných sietí.

V roku **1997** bola založená spoločnosť **Iridium**, ako konzorcium veľkých firiem (Motorola, Sprint, Kyocera a ďalšie) v oblasti mobilných telekomunikácií. Ide o projekt, ktorý sa začal využívať v roku 1999. Iridium je prvá spoločnosť, ktorá chcela priblížiť satelitné telefonovanie koncovým zákazníkom. Zámerom spoločnosti Iridium bolo vytvorenie medzinárodnej bezdrôtovej komunikačnej siete mobilných telefónov a pagerov.

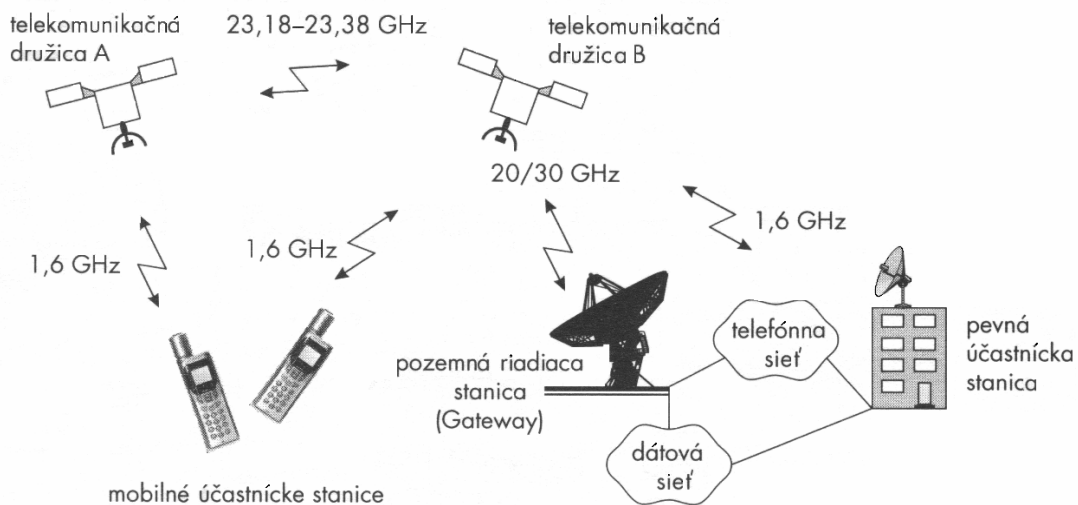
Iridium patrí k projektom LEO, jeho názov bol odvodený od skutočnosti, že prvok irídium obsahuje 77 valenčných elektrónov, a to bol práve počet pôvodne plánovaných družíc. V priebehu vývoja sa ukázalo, že na zabezpečenie prevádzky postačí 66 družíc + 6 družíc záložných, ale pôvodný názov už zostal v platnosti. Družice sa pohybujú v 6 obežných rovinách vo výške 780 km nad Zemou. Doba obehu je 101 minút. Každá družica váži 689 kg.

Základná komunikačná štruktúra systému je zobrazená na obr. 1. Prevádzka siete je podobná prevádzke v pozemných bunkových sieťach, rozdiel je v tom, že základňové stanice (pozemné riadiace stanice - Gateway) nekomunikujú s mobilnými stanicami priamo, ale cez telekomunikačné družice. Úlohou týchto základňových staníc je hlavne sledovať pohyb účastníka, riadiť jeho komunikáciu a zaisťovať prechod do iných komunikačných sietí.

Komunikácia družíc sa deje na obežnej dráhe, každá družica zaisťuje spojenie s dvoma družicami na rovnakej obežnej dráhe a ďalšími štyrmi družicami v pásme 23,18-23,38 GHz, spojenie so základňovou pozemnou stanicou prebieha v pásme 20/30 GHz.

Koncové účastnícke zariadenia sú rôzneho typu (napr. vozidlové alebo prenosné stanice). Na spojenie MS - satelit a pevná účastnícka stanica - satelit je využívané pásmo 1,6 GHz. Z hľadiska užívateľa je dôležité, že konštrukcia anténnych systémov umožňuje používanie telefónu bez nutnosti presného zamerania na družicu.

System Iridium je napojený na rôzne druhy pozemných telekomunikačných sietí a zabezpečuje tak globálne telekomunikačné pokrytie vrátane celosvetového roamingu.



Obr. 1 Komunikačné siete satelitného systému Iridium

### História českej a slovenskej satelitnej komunikácie

História Českej a Slovenskej satelitnej komunikácie sa začala písať v roku **1974**, kedy zahájilo svoju činnosť prvé stredisko družicových spojov v Československu - Sedlec. Toto stredisko bolo určené na zaisťovanie TV prenosov a medzinárodného telefónneho spojenia a uviedla ho do prevádzky vtedajšia Správa rádiokomunikácií Praha, dnešné **České radiokomunikace**. V počiatkovom období bolo navrhnuté a vybavené pre prevádzku v systéme Intersputnik. Prevádzka bola vedená cez satelity Molnija. Dnes stredisko s parabolickými anténami o priemere 18 m poskytuje služby satelitného spojenia aj naďalej a to hlavne s **Intelsatom** a **Eutelsatom**.

### Satelitné systémy a ich rozdelenie

Základom satelitných systémov je družica (satelit), nachádzajúca sa na stabilnej orbite Zeme. Satelitný systém je vlastne anténny systém, ktorý sa pohybuje, resp. krúži nad Zemou a komunikuje s jednou alebo viacerými pozemnými stanicami. Pri komunikačných satelitných systémoch komunikuje satelit minimálne s dvoma alebo viacerými pozemnými stanicami. Pozemná stanica je rovnako anténny systém umiestnený na (alebo takmer na) Zemi. Prenos dát z pozemnej stanice smerom ku družici je definovaný ako **uplink** (vzostupné spojenie) a prenos dát z družice smerom k pozemnej stanici je definovaný ako **downlink** (zostupné spojenie). Elektronika, ktorá v satelite konvertuje signál z uplink na downlink sa nazýva **transpondér**. Ak transpondér prijímaný signál iba presúva na uplink frekvenciu, ide o **transparentný transpondér**, ak vykonáva aj dodatočnú regeneráciu signálu, ide o **regeneratívny transpondér**.

### Klasifikácia satelitných systémov:

**Podľa úlohy**, ktorú satelity plnia, ich možno rozdeliť do 5-tich skupín:

- a. **Výskumné:**
  - o geodetické
  - o geofyzikálne
  - o astronomické: výskum planét, hviezd (Slnka),
  - o diaľkový prieskum Zeme: pohyb pevnín, geologicko-geografické prieskumy,

- b. Meteorologické:
  - o sledovanie hurikánov, predpoved počasia,
- c. Telekomunikačné:
  - o prenos televízneho signálu
  - o globálne prepojenie telefónov - nahradzované optickými vláknami
  - o hlavné uzly pre globálne siete - nahradzované optickými vláknami
  - o komunikačné prepojenie pre vzdialené alebo menej rozvinuté lokality
  - o systémy pre rozšírenie pokrytia bunkových telefónnych systémov (GSM)
- d. Navigačné:
  - o navigácia (lietadiel, lodí,...)
  - o určovanie polohy (lokalizácia), smeru pohybu, rýchlosti,...
- e. Vojenské:
  - o komunikačné
  - o navigačné
  - o výzvedné
  - o výstražné

Rozdelenie *podľa všeobecného použitia* :

- komerčné
- armádne
- amatérske
- experimentálne

Rozdelenie typu služieb *podľa Medzinárodnej telekomunikačnej únie* (ITU):

- Fixed service satellite (**FSS**) - Fixné satelitné služby,
- Broadcasting Satellite Services (**BSS**) - Vysielacie satelitné služby
- Direct Broadcasting Service (**DBS**) - Priame vysielacie služby
- Mobile Satellite Services (**MSS**) - Mobilné satelitné služby
- Radio Determination Satellite Service (**RDSS**) - Rádiodeterminačné satelitné služby
- Radio Navigation Satellite Service (**RNSS**) - Rádionavigačné satelitné služby
- Inter Satellite Services (**ISS**) - Medzisatelitné služby.

### *Fixné satelitné služby*

**FSS** je spojenie medzi pevne umiestnenými pozemskými stanicami. Prenášané informácie teda nie sú určené pre príjem širokou verejnosťou, ale sú prijímané profesionálnou pozemnou stanicou a ďalej sú distribuované prostredníctvom pozemnej siete. FSS je svojím spôsobom rozšírením káblových spojov s podstatne väčšími spojovými možnosťami.

### *Vysielacie satelitné služby*

**BSS** je služba, ktorá zabezpečuje vysielanie rozhlasu a televízie. Dáta sú distribuované len jednosmerne z vysielacích štúdií do užívateľských prijímačov. Táto služba realizuje plošné pokrytie Zemskeho povrchu signálom s takou výkonovou hustotou, aby bol možný príjem širokou verejnosťou. Od satelitov používaných v FSS sa líšia vyšším vysielacím výkonom. Služby BSS sú navrhované pre verejný príjem pevných terminálov s veľkými anténami. Ak má ale satelit dostatok energie na vysielanie signálu, ktorý by umožňoval individuálny príjem malými anténami, tak sa táto služba nazýva priama vysielacia služba (**DBS**). S DBS môžu prijímať signál aj mobilné terminály, ako lode, vlaky, autobusy a ďalšie.

### ***Mobilné satelitné služby***

Služby **MSS** umožňujú vytvorenie spojenia medzi pohyblivými stanicami na povrchu Zeme, resp. v hlavnej časti zemskej atmosféry. MSS sa delia na dve kategórie:

- sústavy pre duplexné spojenie základňovej pozemskej stanice s pohyblivými objektmi cez satelit,
- sústavy pre duplexné spojenie medzi pohyblivými stanicami pomocou satelitu bez účasti základňovej stanice.

### ***Rádiodeterminačné a rádionavigačné služby***

Rádiodeterminancia je všeobecnejšia ako navigácia. Rádiodeterminačný systém (**RDSS**) pozná polohu identifikovaného prijímača/vysielača a môže ju na požiadanie poskytnúť. Systém je teda obojsmerný a rovnako, ako poskytuje informáciu o polohe samotnej mobilnej stanici, môže ju poskytnúť aj iným subjektom. Na druhej strane v rádionavigačnom systéme (**RNSS**) môže svoju polohu zistiť len mobilná stanica. Rádionavigačný systém je teda len jednosmerný. Jeho výhodou je bezpečnosť "utajenia" pozície.

### ***Medzidružicové satelitné služby***

**ISS** zabezpečuje komunikáciu medzi družicami (GEO - GEO, GEO - LEO,...). Tu sa využíva laserová komunikácia s vysoko pokrokovými technológiami.

### **Porovnanie satelitnej a pozemnej bezdrôtovej komunikácie**

Existuje niekoľko rozdielov medzi satelitnou komunikáciou a pozemnou bezdrôtovou komunikáciou, ktorá je ovplyvnená návrhom a prevedením. Porovnaním týchto dvoch typov komunikácií môžeme urobiť nasledujúce závery.

#### **Výhody satelitnej komunikácie:**

- Oblasť pokrytia (dosahu) signálom, ktorá ďaleko prekračuje dosah pozemných systémov. Pri použití geostacionárneho satelitu je možné signálom pokryť až 1/4 zemskeho povrchu.
- Keďže podmienky pri komunikácii satelitu s pozemnou stanicou sú podobné, ako tie pri komunikácii satelitu so satelitom, je možné dosť precízne navrhnuť a zrealizovať komunikačný spoj medzi dvoma satelitmi. Tento potom dáva možnosť smerovať signál medzi satelitmi, čím sa znižuje doba prenosu na minimum a výrazne sa zredukuje počet pozemných smerovacích brán.
- Cena prenosu je nezávislá na vzdialenosti vo vnútri oblasti satelitného pokrytia.
- Je možné využívať dvojbodové, skupinové aj plošné spojenie.
- Aj keď sú satelitné spoje náchylné na jednorázové výpadky alebo pokles kvality prenosu, všeobecne je kvalita prenosu extrémne vysoká.
- Dostupnosť veľkých širok pásma umožňuje používať vysoké rýchlosti prenosu dát. Satelity nie sú vystavené prírodným katastrofám.

#### **Nedostatky satelitnej komunikácie:**

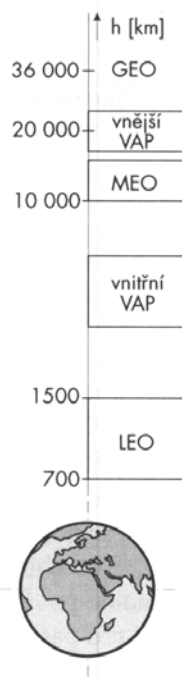
- Schopnosť, nosnosť kozmických lodí ako i pridelené šírky pásma sú limitmi, ktoré vyžadujú kompromisy pri návrhu parametrov satelitov a pozemných staníc.
- U geostacionárnych satelitov sú dlhé doby prenosu signálu, až 1/4 sekundy. Vysoké sú aj počiatočné náklady.

## Obežné dráhy - orbity

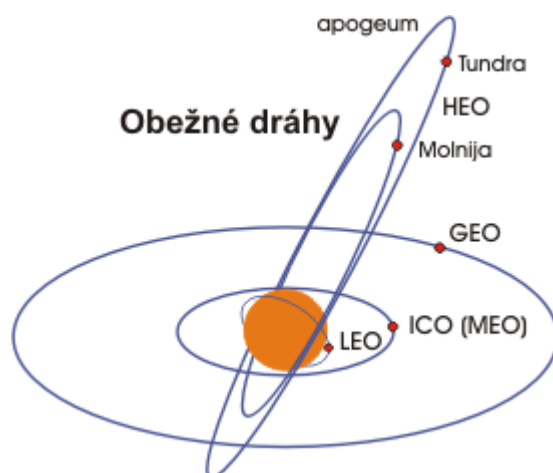
### Klasifikácia obežných dráh satelitov:

1. Dráha môže byť kruhová, so stredom kruhu v strede Zeme alebo eliptická, so zemským stredom na jednom z dvoch ohnísk elipsy.
2. Satelity môžu krúžiť okolo Zeme v rozličných rovinách. Rovníková orbíta (equatorial) je presne nad rovníkom Zeme. Polárna (polar) orbíta prechádza nad oboma pólmi. Ďalšie obežné dráhy sú uvedené ako naklonené, či šikmé (inclined) obežné dráhy.
3. Klasifikácia podľa tvaru a polomeru obežnej dráhy:
  - Geostationary Earth Orbit (**GEO**) - geostacionárne družice, ktorých obežná dráha je vo výške 36000 km, doba obehu je zhodná s rýchlosťou otáčania Zeme, pre pozemského pozorovateľa sú teda nehybné,
  - Medium Earth Orbit (**MEO**) - družice so strednou kruhovou dráhou, výška 6 000 – 20 000 km, doba obehu okolo 5 hodín,
  - Low Earth Orbit (**LEO**) - družice s nízkou kruhovou dráhou, obežná dráha týchto družíc sa nachádza vo výške zhruba 700-1 500 km, doba obehu je 80-130 minút,
    - [Sun-Synchronous Orbit (**SSO**)]
  - Highly Elliptical Orbit (**HEO**) - eliptická orbíta, najbližší bod min. 500km a najvzdialenejší bod približne 50 000km.

Umiestnenie družíc na obežných dráhach nemôže byť ľubovoľné, lebo magnetické pole Zeme zachycuje elektróny a ionizované častice vyžarované Slnkom a vytvára pásma s vysokou energiou (tzv. Van Allenove pásy). Magnetické pole Zeme tak chráni život na Zemi, ale súčasne vytvára technické obmedzenia pre umiestnenia družicových segmentov. Obr. 2 zjednodušene ukazuje polohu pásov okolo Zeme použiteľných na umiestnenie telekomunikačných družíc i Van Allenove pásy (VAP).



Obr. 2 Výškové pásma na umiestnenie telekomunikačných družíc LEO (Low Earth Orbit) - nízka obežná dráha, VAP - vonkajšie a vnútorné Van Allenove pásy, MEO (Medium Earth Orbit) - stredná obežná dráha, GEO (Geostationary Earth Orbit) - geostacionárna dráha



Obr. 3 Typy orbít

Telekomunikačné družice umožňujú vytvárať bunkové siete. Jedna bunka (satelit) má polomer rádovo niekoľko stoviek kilometrov (LEO, MEO), resp. niekoľko tisíc km (GEO).

Prehľad niektorých realizovaných i plánovaných projektu zachycuje tab. 1. Časť projektov slúži na úzko špecializované účely, iné sú určené na obecné použitie s návaznosťou na pozemné telekomunikačné siete.

**Tab. 1 Prehľad projektov pre kozmické telekomunikácie**

názov projektu	sústava	počet družíc	realizácia
Inmarsat	GEO	9	1979
Iridium	LEO	66+6	1998
Orbcomm	LEO	24	1999
Globstar	LEO	56	1999
ECCO	LEO	12	2000
Ellipso	LEO+GE	10+7	2000
Teledesic	LEO	288	2002
ICO	MEO	12	2000
Odysseus	MEO	18	2001
Cyberstar	GEO	3	1999
Sky Bridge	LEO	32	2001
Astrolink	GEO	9	2000
Spaceway	GEO	8	2000
Celestri	GEO+LE	9+63	2003

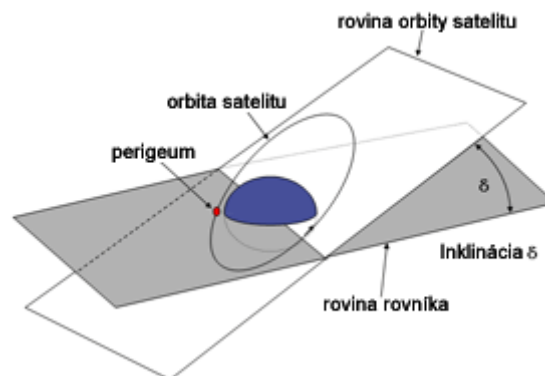
Satelit obieha okolo Zeme, ktorá má podstatne väčšiu hmotnosť, po dráhe nazývanej obežná dráha alebo *orbita* (obr. 3). Na tvar obežnej dráhy, resp. na odchýlky od jej ideálneho tvaru majú vplyv prírodné sily. Z týchto vplyvov, ktoré sa označujú ako perturbačné efekty, má najväčší podiel na odchýlkach gravitačné pole Zeme (ale aj Mesiaca, Slnka a iných planét), nehomogenita magnetického poľa Zeme, atmosféra, ktorá spôsobuje brzdenie družice v atmosfére, ale aj taký jav, akým je slnečný vietor.

### Základné pojmy v satelitnej komunikácii

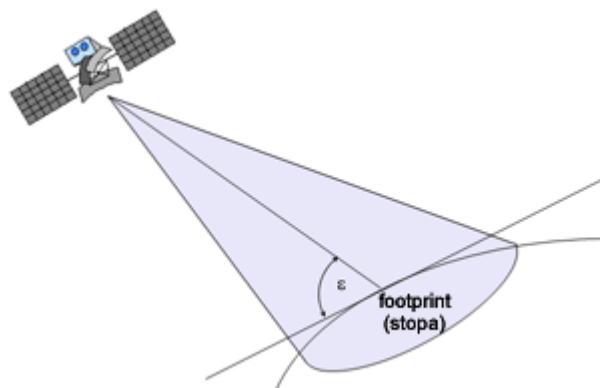
Dôležitým pojmom v satelitnej komunikácii je *satelitná stopa* diktujúca oblasť pokrytia signálom. Ďalším pojmom je *elevačný uhol* (elevation - pozdvihnutie, obr. 5), čo je uhol medzi orbitou satelitu a tangentou (dotyčnica so zemským povrchom v bode umiestnenia

antény). Maximálne satelitné pokrytie je možné dosiahnuť na elevačnom uhle  $0^\circ$ . Tento uhol by síce rozšíril satelitné pokrytie k optickému horizontu do všetkých smerov, avšak existujú aspoň 3 dôvody, prečo má byť **minimálny elevačný uhol** väčší ako  $0^\circ$ :

1. budovy a ďalšie pozemné objekty by blokovali priamu viditeľnosť (line of sight). Tieto prekážky by absorbovali, odrážali alebo lámali signál, čím by dochádzalo k jeho oslabeniu a/alebo skresleniu.
2. atmosférické oslabenie je väčšie na malom elevačnom uhle, pretože signál prekonáva atmosférou dlhšiu vzdialenosť.
3. elektronický šum generovaný v blízkosti zemského povrchu by nepriaznivo ovplyvňoval príjem.



Obr. 4 Inklinácia



Obr. 5 Elevácia a satelitná stopa

Minimálny elevačný uhol je závislý od frekvencie, na ktorej sa komunikuje a je rozdielny pre uplink (podľa FCC  $5^\circ$ ) a downlink ( $5^\circ - 20^\circ$ ).

Ďalším základným pojmom je **inklinácia**, čo je uhol medzi orbitou a rovníkom - obr. 4.

### Satelitey na cirkulárnej orbite - výpočet:

Pre výpočet polomeru umiestnenia satelitu na obežnej dráhe je možné použiť dva nasledovné vzorce:

Výpočet gravitačnej sily:  $F_g = m \cdot g \left( R / r \right)^2$

Výpočet odstredivej sily:  $G_c = m \cdot r \cdot \omega^2$



pričom:

**m:** hmotnosť satelitu

**R:** polomer Zeme ( $R = 6370 \text{ km}$ )

**r:** vzdialenosť satelitu od stredu Zeme

**g:** gravitačné zrýchlenie ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )

**$\omega$ :** uhlová rýchlosť ( $\omega = (2\pi f)$ ), kde  $f$  je frekvencia rotácie

Satelit zotrúva na orbite ak

$$F_g = F_c.$$

potom polomer

$$r = \sqrt[3]{\frac{gR^2}{(2\pi f)^2}}$$

Ak chceme vypočítať vzdialenosť GEO satelitu od Zeme ( $H$ ), môžeme doplniť nasledujúce hodnoty:

**R:** 6 370 000m; **g:** 9,81 m/s<sup>2</sup>; **f = ( 1 / T ),**

kde

$$T = 24\text{h} = 86\,400\text{s}$$

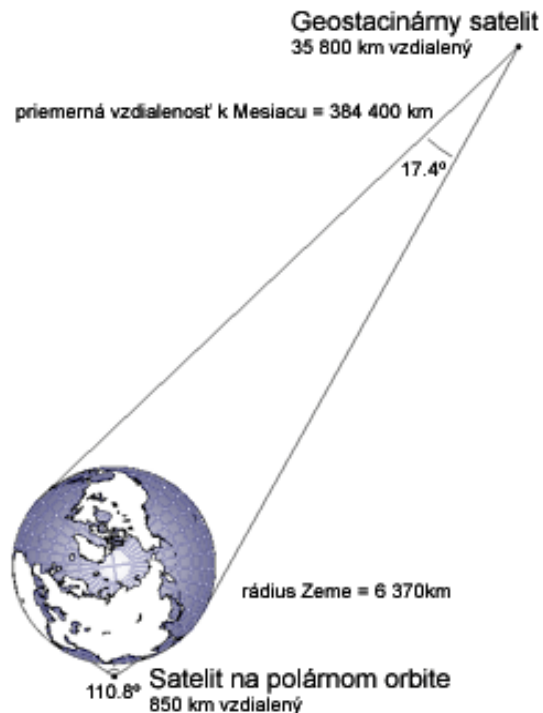
potom

$$r = 42\,221 \text{ km};$$

$$H = r - R = 35\,851 \text{ km.}^3$$

**H** sa blíži k skutočnej hodnote vzdialenosti GEO satelitu od Zeme, ktorá je 35 786 km.

**poznámka** <sup>3</sup>[*H* nevychádza presne aj preto, že výpočet nezohľadňuje reálne parametre. Skutočná perióda obletu Zeme GEO satelitom je 23 hod. 56 min 4.1 sek (prechodný rok). Navyše Zem nemá presný tvar gule, jej priemerný rovníkový rádius je 6378km a priemerný polárny rádius je 6356 km.]



Obr. 6 GEO vzdialenosť

V princípe najjednoduchšie satelity sú satelity umiestnené na geostacionárnej obežnej dráhe 35 786 km nad zemským povrchom, rotujúce na úrovni rovníka (inklinácia  $0^\circ$  - obr. 4) s rovnakou uhlovou rýchlosťou ako Zem. Veľká výhoda tohto systému spočíva v tom, že satelit obehne Zem za rovnakú dobu, za akú sa Zem otočí – to znamená, že satelit v podstate "visí" nad jedným miestom planéty. Tým odpadajú zložité sústavy vzájomne sa križujúcich satelitných dráh a prepínacích stredísk, ktoré synchronizujú prechody satelitu z pásiem do pásiem. Výhodou i nevýhodou je pomerne veľká plocha Zeme, ktorú tento satelit pokrýva. Je síce potrebný menší počet satelitov na pokrytie planéty, ale mobilné stanice musia byť omnoho vyššie. Zo vzdialenosti, v ktorej sa GEO satelity nachádzajú, leží celý zemský "disk" na úrovni rovníka pod uhlom  $17,4^\circ$ . Obr. 6 zobrazuje geostacionárnu orbitu v pomere vzdialeností a veľkosti Zeme. Na geostacionárnej dráhe sú umiestnené napríklad družice určené na prenos televízneho signálu. i *VSAT (Very Small Aperture Terminals)*. Toto riešenie sa zatiaľ používa najviac pre dátové prenosy (typicky internetové satelitné linky).

Drobný problém predstavujú už zmienené van Allenovy pásy - ide o zhluky častíc, ktoré majú relatívne vysoký náboj a poškodzujú nielen elektronické zariadenia, ale rozrušujú aj samotnú štruktúru materiálu - životnosť družíc v týchto dvoch van Allenových pásoch (vonkajší a vnútorný) by bola minimálna.

#### Výhody GEO satelitov:

- Sledovanie satelitu jeho pozemnou stanicou je pre rovnakú uhlovú rýchlosť so Zemou zjednodušené, preto upevnenie antén môže byť pevné a netreba ich doladovať.
- Vo výške 35 786 km nad Zemou môže satelit komunikovať približne zo  $\frac{1}{4}$  Zeme. Takto je možné tromi satelitmi oddelenými po  $120^\circ$  pokryť väčšinu obývaných častí Zeme.

#### Problémy GEO satelitov:

- Kvôli pevnej polohe nad rovníkom zostávajú oblasti blízko pólů nepokryté a nad zemepisnou šírkou  $60^\circ$  je zlá elevácia.
- Signál po prekročení vyše 35 tis. km môže byť pomerne slabý, a preto je potrebná vysoká vysielacia energia.
- Doba prenosu je značná dokonca aj pri rýchlosti približne 300 000 km/s. Komunikácia medzi dvoma miestami na Zemi priamo pod satelitom, je v skutočnosti  $(2 \times 35786) / 300\,000 \approx 0.24$ s. Pre ostatné oblasti nie priamo pod satelitom sa táto doba zvyšuje.

Ďalším rysom geostacionárnych satelitov je, že pridelenou frekvenciou pokrývajú veľmi veľké územia, čím sa znemožňuje ich opätovné použitie. Pri point-to-multipoint aplikáciách, ako je TV vysielanie s potrebou rozsiahleho pokrytia rovnakou kolekciou TV programov, to nemožno považovať za nedostatok, avšak pri point-to-point komunikácii je to plytvaním frekvenčného spektra. Čiastočným riešením môže byť využitie vysoko-smerových antén pre kontrolu stopy, teda vysielanie užších lúčů signálu. Niektoré z menovaných problémů rieši použitie LEO a MEO satelitů.

### **Vynesenie satelitu na GEO obežnú dráhu**

Množstvo GEO satelitů je vynášaných na obežnú dráhu z oblastí, ktoré neležia nad rovníkom, a preto musí byť rovníková rovina dosiahnutá počas vypúšťacej sekvencie. V Prvej etape je satelit vynesený z atmosféry a je mu daná značná rýchlosť. Toto realizuje "obetný" prostriedok - prvý raketový článok (Boost Stage), ktorý sa po vyhorení odpája od satelitu a zvyšných článků. Odpojený článok padá k Zemi, pričom je zničený pri prelete atmosférou. Ďalšiu etapu realizuje druhý článok, ktorý vynáša satelit na nízko-zemskú orbitu vo výške 150 až 300 km. Po odhodení druhého článku zostáva satelit určitú dobu v nízko-zemskej orbite. Vo vhodnom čase je ďalším článkom (Peering Stage) satelit katapultovaný do eliptického

"presunového" orbitu tak, aby dosiahol geostacionárnu výšku. Ak sa satelit po eliptickej dráhe dostane na potrebnú vzdialenosť od Zeme, odpaľuje motor, ktorý je už zvyčajne zabudovaný do tela satelitu a smeruje satelit na cirkulárnu orbitu v rovine rovníka. Ak je satelit na GEO orbite, anténa a solárne panely môžu byť vysunuté (rozložené) a satelit sa stavia do finálnej fyzickej konfigurácie.

Behom prevádzky musí satelit korigovať svoju výšku a správny smer, k čomu mu dopomáha interný gyroskop a malé pomocné raketové trysky.

### MEO satelity (Medium Earth Orbit)

MEO satelity sú satelity na strednej obežnej dráhe vo výškach asi 6000 - 20 000 km nad zemským povrchom s nasledujúcimi charakteristikami:

- doba obletu Zeme je približne 6 až 8 hodín,
- priemer pokrytia je od 10 000 do 15 000 km,
- oneskorenie signálu približne 70 – 80 ms.



Obr. 7 MEO Satelity

MEO satelity vyžadujú omnoho menej predávaní (**handover**<sup>4</sup>), ako LEO satelity. Doba šírenia signálu na Zem, ako aj energia potrebná na vysielanie, sú síce väčšie, ako pri LEO, avšak stále podstatne menšie ako pri GEO satelitoch. Príklad MEO satelitného systému je ICO - Intermediate Circular Orbit, ktorý bol založený v roku 1995 a vypustený do roku 2001. ICO satelitná konštelácia pozostáva z 10+2 satelitov, pre prevádzku na 12 rokov. Satelity sú vo výške 10 390 kilometrov a krúžia v dvoch obežných dráhach s inklináciou 45° od rovníka. Na každej obežnej dráhe operuje 5 satelitov, plus jeden náhradník. ICO bol navrhnutý na prenos digitálneho hlasu, dát, pre faxové a odkazové služby a je využívaný (národnou) dopravou, štátnou správou, ťažobnými a ďalšími spoločnosťami.

Stredná obežná dráha leží medzi oboma van Allenovými pásmi, nízka obežná dráha je pod nimi. Pri takýchto obežných dráhach je možné veľkosť územia pokrytého jednou prevádzacou bunkou obmedziť na rádovo stovky kilometrov. Výsledkom takéhoto riešenia je potom miniaturizácia mobilných staníc, predĺženie výdrže batérií potrebných na prevádzku, navyše je však nutný vyšší počet satelitov, vyššie sú aj zriaďovacie náklady, ale takéto riešenie komunikácie poskytuje väčšiu kapacitu siete a vyššiu kvalitu i rýchlosť.

**poznámka**<sup>4</sup>[**Handover**: Termín handover sa používa v terminológii mobilnej komunikácie. Pri prevádzke mobilnej bezdrôtovej komunikácie môže nastať prípad, že mobilný účastník sa počas komunikácie presunie z oblasti, ktorú pokrýva jeden vysielateľ, do dosahu iného vysielateľa. Môže ísť o satelity, základňové stanice v bunkových sieťach, kombinované siete, ktoré využívajú na mobilnú komunikáciu pozemné vysielateľe a satelity, ako aj iné systémy umožňujúce mobilitu. Aby komunikácia mohla pokračovať, systém poskytujúci mobilnú komunikáciu musí vykonať zmenu a predať komunikáciu na nový vysielateľ bez straty aktívneho spojenia. Takéto predanie sa nazýva handover.

V technickej literatúre je možné nájsť termín handover, rovnako aj termín **handoff**. Handoff sa nachádza v dokumentoch U.S. celulárnych štandardov a handover v dokumentoch ITU. Oba znamenajú to isté.

### LEO satelity (Low Earth Orbit)

Sú satelity na nízkej obežnej dráhe vo výške 500 do 1500km s kruhovým alebo mierne elipsovým tvarom. Majú nasledovné charakteristiky:

- perióda obežnej dráhy je 90 až 120 minút,

- viditeľnosť satelitu je 10 až 40 minút,
- priemer pokrytia je približne 8000 km,
- doba oneskorenia je blízka oneskoreniu na dlhých pozemných spojoch 5 – 10 ms,
- rýchly pohyb satelitov robí systémy zložité (častý **handover** a problémy so zmenou frekvencie kvôli Dopplerovým posunom),
- vplyvom **atmosferického ťahu**<sup>5</sup> sa orbita satelitu kazi.

*poznámka<sup>5</sup>. [Vplyv atmosferického ťahu na satelit: V nízkych orbitách sú satelity ovplyvňované atmosferickým tahom (atmospheric drag), čo je trenie spôsobené kolíziou s atómmi iónov v atmosfére Zeme. Satelity týmto trením strácajú výšku a následne orbitu. Vo výškach okolo 180 km je efekt trenia taký veľký, že nadmerné teplo spôsobí spálenie satelitu. Efekt atmosferického ťahu je závažný do výšky aspoň 1000 km a nie je zanedbateľný až do výšky 3000 km. Atmosferický ťah redukuje životnosť satelitu na orbite, tvar jeho orbity a počiatočnú výšku. Typicky malý satelit vo veľmi nízkej orbite – bližšie k zemskému povrchu (okolo 400 km) môže vydržať na orbite iba niekoľko mesiacov a satelit tej istej veľkosti na kruhovej orbite 800 km môže zotrvať niekoľko desaťročí, teda omnoho viac, ako je jeho očakávaná operačná doba 10 - 15 rokov.]*



Obr. 8 **Globalstar** (veľké LEO) 48 satelitov  
**Orbcomm** (malé LEO) 35 satelitov **Globalstar Teledesic** (veľké LEO) 288 satelitov

Praktické nasadenie tohoto systému vyžaduje použitie viacnásobných orbít s viacerými satelitmi na každej orbite. Počet satelitov pre rovnakú oblasť pokrytia je väčší ako pri MEO. LEO systémy sú často navrhované pre satelitnú mobilnú komunikáciu pre jej niektoré výhody. Prijímaný signál je silnejší ako z GEO a MEO satelitov (pri rovnakej sile vysielania), čo je dôležité, pretože mobilné terminály a osobné terminály potrebujú silnejšie signály pre svoju činnosť. Menšie oneskorenie a možnosť znovu-použitia frekvenčného pásma dôsledkom menších oblastí pokrytia, dovoľuje na pridelenej šírke pásma spojiť viac účastníkov (nie v jednej stope). Na druhej strane prevádzkovanie rozsiahleho pokrytia 24 hodín denne je potrebné väčšie množstvo satelitov. Na prevádzku LEO satelitov bolo vytvorených množstvo návrhov, ktoré možno rozdeliť do dvoch kategórií. Príkladom systému určeného pre nízku obežnú dráhu LEO je už spomínaný systém satelitov **Iridium**.

**Malé LEO:** Sú určené pracovať na komunikačných frekvenciách pod 1GHz s nie viac, ako 5 MHz šírkou pásma a podporou rýchlosti prenosu dát do 10 kbit/s. Tieto systémy sú zamerané na pagery, stopovanie a nízko rýchlostnú výmenu správ. Príkladom takéhoto satelitného systému je **Orbcomm**, ktorý bol prvý malý LEO v prevádzke. Jeho prvé dva satelity boli vypustené v roku 1995. Je navrhnutý pre dvojcestný paging, email a je optimalizovaný pre prenos malého zhluku dát. Využíva sa na riadenie kamiónovej dopravy, železničných vozňov, ťažkej techniky a iných vzdialených mobilných prostriedkov. Systém

využíva frekvencie 137-138 MHz a 400 MHz pre downlink na mobilné zariadenia alebo pevné dátové komunikačné zariadenia a frekvencie 148-150 MHz pre vysielanie ku satelitu. Tieto frekvencie, používané LEO satelitnými systémami, boli alokované organizáciou **FCC (Federal Communications Commission)** pre malé LEO mobilné satelitné služby v roku 1993. Satelitné systémy s nízkou orbitou môžu byť tiež využité na prenos dát z monitorovacích meračov nádrží, potrubí alebo ropných a plynových zásobných rezervoárov. Orbicom má viac ako 35 satelitov na nízkej obežnej dráhe Zeme (825 km) s podporou rýchlosti prenosu 2,4kb upload a 4.8 download.

**Veľké LEO:** Pracujú na frekvenciách nad 1GHz a podporujú rýchlosti až do niekoľko málo Mb/s. Tieto systémy inklinujú k rovnakej ponuke služieb, ako systémy malého LEO, s pridaním hlasu a lokalizačných služieb. Príkladmi takého satelitného systému sú **Globalstar** a **Teledesic**.

**Globalstar** je už od roku 1991 súčasťou konkurenčného prostredia v oblasti satelitnej komunikácie ako, konzorcium významných spoločností (napr. France Telecom, Alcatel, Loral a ďalšie). Prevádzku Globalstar realizuje 48 satelitov vo výške 1413km, ktoré pokrývajú iba niektoré časti Zeme (od 70° severnej do 70° južnej zemepisnej šírky). Ich úlohou je zabezpečenie hlasovej komunikácie.

Ďalšia sieť **Teledesic**, používa 288 LEO satelitov, ktoré sú vzájomne prepojené a slúžia na poskytovanie prístupu k zvukovým, dátovým alebo video - komunikačným službám. Pomocou týchto satelitov zabezpečuje systém prepínané digitálne spojenia (cez ústredňu) medzi používateľmi rôznych sietí. Teledesic má všetkých 288 satelitov rozdelených do 12 rovín, každá s 24 satelitmi. Družice obiehajú okolo Zeme vo výške 700 km. Každý satelit je uzlom prepínacej siete a je prepojený pomocou medzisatelitných komunikačných liniek s ôsmimi susednými družicami. Každý jeden satelit je prepojený so 4 satelitmi v rovnakej rovine (2 vpredu a 2 vzadu) a so štyrmi v oboch susedných rovinách na oboch stranách (vpredu aj vzadu). Toto vzájomné prepojenie formuje viaccestnú sieť a poskytuje robustnú sieťovú konfiguráciu, ktorá je odolná voči poruchám a miestnym preťaženiam. Teledesic pracuje v Ka pásme na frekvenciách 28,6 - 29,1 GHz pre uplink a 18,8 - 19,3 GHz pre downlink.

## HEO satelity

Satelitné systémy s vysoko eliptickou orbitou boli spočiatku využívané Rusmi na prevádzku komunikácie so severnými regiónmi, ktoré nepokrývali ich GEO satelitné systémy. HEO systémy majú typicky orbitu s najbližším bodom k zemskému povrchu (apogeum) okolo 500 km a najvzdialenejším bodom od Zeme (perigeum) približne 50 000km. Pre prevádzkovanie komunikačných služieb v severných zemepisných šírkach je inklinácia orbity 63.4°. Perióda obehu Zeme je od 8 do 24 hod. V dobre navrhnutom HEO systéme sú satelity umiestnené tak, aby ich apogeum bolo nad oblasťou záujmu pokrytia. Doba prenosu a strata signálu vo voľnom priestore sú porovnateľné s GEO satelitmi. Kvôli relatívne rýchlemu pohybu musia byť satelity schopné sa vyrovnáť s veľkými Dopplerovými posunmi. Príkladom HEO je napr. ruský satelitný systém **Molnija**, ktorý bol navrhnutý na pokrytie Sibíru. Tento využíval 3 satelity s 12 hodinovou orbitou, oddelenou okolo Zeme po 120°. Apogeum Molnoy je 1 000 km a perigeum 39 354 km. Ďalším príkladom je rovnako ruský systém Tundra, ktorý zamestnáva 2 satelity s 24 hodinovou obežnou dráhou, oddelenou po 180°.

## SSO satelity

**SSO satelity** - je ďalší typ obežnej dráhy satelitov, a to **slnečne-synchronná orbita (Sun-Synchronous Orbit)**. SS Orbita je špeciálny prípad koordinovaného polárneho LEO orbity. V takejto orbite sa satelit pohybuje synchronizovane so Slnkom, čo znamená, že sa každý deň nachádza nad rovnakou časťou Zeme, v tom istom lokálnom čase. Satelit krúžiaci

na SS orbite môže byť výhodne umiestnený tak, aby na jeho solárne kolektory dopadalo slnečné svetlo nepretržite, a je teda značne nezávislý na zásobách energie z batérií. Využitie týchto satelitov je zväčša pri rôznych meraniach alebo snímaníach Zemskeho povrchu v hydrológii, geológii, kartografii, lesníctve a ďalších, avšak SSO satelitné systémy majú aj humanitné uplatnenie (**Cospas-Sarsat Network System**) na detekciu a lokalizáciu nehôd (lodné, letecké katastrofy alebo individuálne). Na prípadné volanie o pomoc možno využiť "svetlice" - tzv. pozičné záchranné rádio indikátory s manuálnou alebo vodnou aktiváciou.

### **Konfigurácie, predávanie a smerovanie v satelitných systémoch**

Pre satelitné siete sú bežné dva typy konfigurácie na komunikáciu. Prvou je **point-to-point** spojenie medzi dvoma vzdialenými anténami a druhou je vysielanie **point-to-multipoint**, na komunikáciu medzi jedným pozemným vysielateľom a niekoľkými pozemnými prijímačmi.

Ak sa komunikujúce strany nenachádzajú v satelitnej stope (resp. lúčoch) jedného satelitu, komunikácia bude smerovaná **medzisatelitnými linkami** (ISL, Inter-Satellite Link), alebo v bránach po Zemi. Smerovanie pozemnými bránami využíva napr. satelitný systém Globalstar a ISL systém Iridium. Výhodou ISL je značná redukcia počtu brán, skrátenie doby spojenia a prenosu paketov na minimum. V mobilnej satelitnej komunikácii je na spojenie dvoch mobilných účastníkov nutný len jeden uplink a jeden downlink. Problémy sú v zložitejšom zameraní antén medzi satelitmi. Systém sa stáva zložitejším pre pohyb satelitov a vyžaduje si väčšiu spotrebu energie, čo skracuje dobu životnosti.

Ak satelitný systém prevádzkuje mobilnú komunikáciu (čo je aj prípad oboch vyššie spomenutých Globalstar a Iridium) a účastník mobilnej satelitnej komunikácie prechádza medzi stopami, je systém nútený urobiť predanie - **handover**. Ak účastník prechádza medzi lúčmi toho istého satelitu, ide o vnútrosatelitné predanie. Pri prechode účastníka zo stopy jedného satelitu na stopu iného satelitu, ide o medzisatelitné predanie. V tomto je satelitný systém podobný pozemným bunkovým sieťam. Odlišnosť satelitných sietí je pri využití stredných a nízko orbitálnych satelitov (**MEO** a **LEO**, pohybujú sa rýchlejšie ako Zem) spolu so smerovaním pozemnými bránami. Vtedy je nutné vykonať predanie, aj keď mobilný účastník zostáva v stope, ale brána príčinou pohybu satelitu stopu opúšťa.

Špecifický prípad nastáva, ak sú satelity využívané len ako doplnkové, resp. pomocné vykrývače pre pozemné bunkové siete. Vtedy je nutné urobiť predanie, ak mobilná stanica prechádza zo satelitnej stopy do oblasti pokrytia bunkovou sieťou alebo naopak. Ak sa mobilná stanica nachádza v prieniku týchto dvoch oblastí, je výhodnejšie ju prepojiť na pozemný systém, kvôli lacnejšej prevádzke a skráteniu oneskorenia.

## **Satelitný signál a frekvenčné pásma**

### **Kvalita prijímaného signálu**

Satelitné vysielanie, ktoré sa uskutočňuje na mikrovlnných frekvenciách, je realizované pomocou vysoko-smerových antén. Signál teda nieje vysielaný izotropne, ale je cielený na špecifický bod Zeme, závislý na požadovanom pokrytí oblasti. V strede tejto oblasti bude prijímaný najvyšší signál a jeho intenzita klesá s pohybom zo stredového bodu do všetkých smerov. Tento efekt je zobrazený do satelitnej stopy - obr. 9.

Zoslabovanie signálu na väčšom elevačnom uhle je dôsledkom zvyšovania vzdialenosti, ktorú musí signál prekonať. Stratu signálu vplyvom prekonania vzdialenosti vo voľnom priestore (free space loss) možno vyjadriť nasledovne:

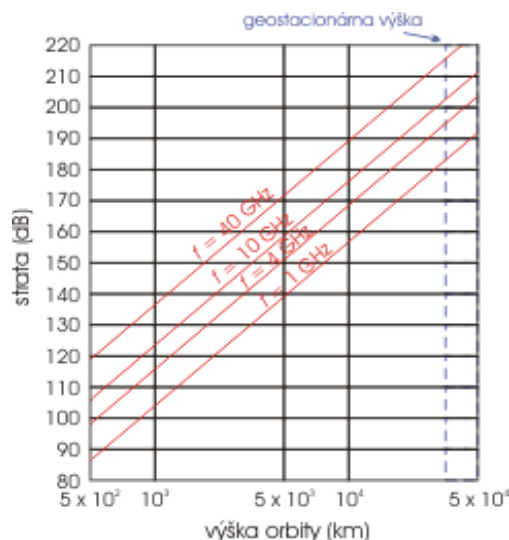
$$L_{dB} = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

Kde  $L_{dB}$  (Loss) je strata signálu v decibeloch,  
 $\lambda$  je vlnová dĺžka nosnej frekvencie,  
 $d$  vzdialenosť ( $d$  a  $\lambda$  musia byť v rovnakých jednotkách).



Obr. 9 Satelitná stopa

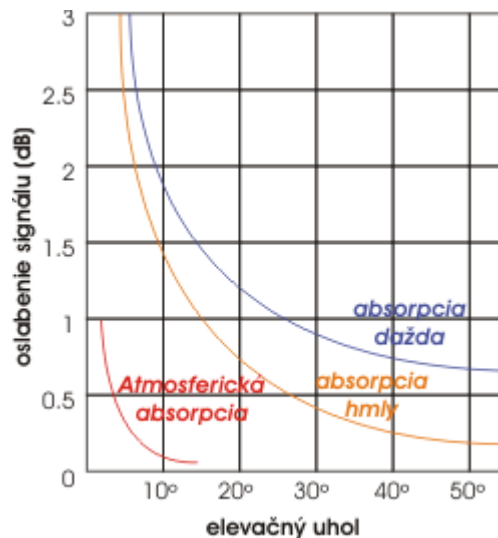
Ako zo vzorca vidno, vplyv na silu signálu má okrem vzdialenosti aj frekvencia. Obr. 10 zobrazuje minimálnu stratu signálu vo voľnom priestore, ako funkciu vzdialenosti orbity. Ďalšími faktormi, ktoré vplyvajú na kvalitu prijímaného signálu, je okrem satelitom vysielanej energie aj ziskovosť antény (schopnosť zachytávať elektromagnetické vlny). Všetky doteraz menované vplyvy tvoria minimálne teoretické kritérium na určenie intenzity signálu a berú do úvahy len priamu viditeľnú vzdialenosť s priamo šíreným signálom bez atmosféry a poveternostných vplyvov. Ako už predchádzajúca veta naznačuje, tienenie prenosovej cesty prekážkami, viaccestné šírenie signálu a atmosférické oslabovanie majú ďalší nepriaznivý vplyv na signál.



Obr. 10 Strata signálu

Základnými príčinami oslabovania signálu atmosférou sú kyslík (ktorý je samozrejme všadeprítomný) a voda. Oslabenie spôsobené dôsledkom vody, ktorá je prítomná vo vlhkom

vzduchu, je viac výrazné s hmlou a daždom. Pri týchto elementoch hrá opäť rolu elevačný uhol a frekvencia, ktoré určujú vzdialenosť, akou cez atmosféru signál prechádza a danosť frekvencie byť atmosférou (hmlou, daždom) oslabená. Vo všeobecnosti platí, že čím je frekvencia vyššia, tým je efekt oslabenia atmosférou väčší. Obr. 11 ukazuje typický rozsah oslabenia, ako funkciu elevačného uhla pre frekvencie v pásme C. Možnými riešeniami týchto problémov je buď skrátenie odstupov spojov alebo diverzita satelitov. Diverzita je použitie viacerých viditeľných satelitov naraz, čo umožňuje používať menší vysielač výkon



Obr. 11 Atmosferické oslabenie

## Frekvenčné pásma

Tab. 2 Frekvenčné pásma

Pásmo	Frekvenčný rozsah	Šírka pásma	Hlavné aplikácie
<b>L</b>	1 až 2 GHz	1 GHz	Mobilné satelitné služby ( <b>MSS</b> )
<b>S</b>	2 až 4 GHz	2 GHz	<b>MSS</b> , NASA, vesmírny výskum
<b>C</b>	4 až 8 GHz	4 GHz	Fixné satelitné služby ( <b>FSS</b> )
<b>X</b>	8 až 12,5 GHz	4,5 GHz	<b>FSS</b> armáda, prieskum povrchu Zeme a meteorologické satelity
<b>Ku</b>	12,5 až 18 GHz	5,5 GHz	<b>FSS</b> , vysielačie satelitný služby ( <b>BSS</b> )
<b>K</b>	18 až 26,5 GHz	8,5GHz	<b>BSS</b> , <b>FSS</b>
<b>Ka</b>	26,5 až 40GHz	13,5 GHz	<b>FSS</b>

V tabuľke 2 sú vymenované frekvenčné pásma dostupné pre satelitnú komunikáciu aj s ich hlavnými aplikáciami. Je možné si všimnúť, že na vyšších frekvenciách je dostupná väčšia šírka pásma. Avšak v podstate vyššia frekvencia väčšmi "trpí" poškodeniami prenosu. Mobilná satelitná služba (**MSS**) má pridelené frekvencie v S a L pásmach. Tieto sú v porovnaní z vyššími pásmami vhodné najmä pre lepšie prenikanie fyzickými predmetmi s nekovovou štruktúrou. Toto je výhodné hlavne pre mobilné služby. L a S pásma sú rovnako výhodné pre pozemné oblastné aplikácie, preto existuje silné súperenie medzi rôznymi mikrovlnnými službami pre tieto pásma.

Ďalšie delenie frekvencií pre satelitné služby je vydelenie pásiem pre uplink a downlink. Uplink pásmo má vždy vyššiu frekvenciu ako downlink. Vyššie frekvencie majú väčší rozptyl a rovnako "trpia" väčšou stratou vo voľnom priestore, ako frekvencie nižšie.



Vďaka energetickej dostatočnosti je pozemná stanica schopná kompenzovať túto vlastnosť vyšších frekvencií vyššou vysielačou silou.

### **Satelitné ATM siete**

Rastúci záujem o satelitné spojenia viedol k prepojeniu družicových sietí a ATM sietí. Uvedené prepojenie možno charakterizovať nasledovne:

- použitím družíc sa môžu komunikačné služby zabezpečovať pokrytím veľkých geografických oblastí vrátane vzdialených vidieckych, mestských a neprístupných oblastí,
- družicové komunikačné systémy majú globálny dosah so všetkými flexibilnými schopnosťami požiadaviek pre vlnovú dĺžku. Táto vynikajúca pružnosť družicových komunikácii ideálne súhlasí s hlavnými charakteristikami ATM sietí, ktoré zabezpečujú požiadavku vlnového pásma a multimediálnych služieb,
- družice ponúkajú flexibilitu v podmienkach sieťovej konfigurácie a pridelenie kapacity,
- družice zabezpečujú vysielanie a schopnosť prepojenia bod - bod,
- alternatívne kanály sú zabezpečené pre spojenia z požiadavky vlnového pásma a z charakteristiky prevádzky a môžu mať za následok maximálne zdrojové využitie,
- noví používatelia môžu byť ľahko zaradení do systému inštalovaním ATM staníc v objektoch zákazníka,
- družice sa môžu správať ako záchytný bod pre optické vlákno ATM siete. Nedostatok optického vlákna, alebo nahromadené sieťové problémy môžu byť ľahko obídene družicovým kanálom so základnými požiadavkami.

Družicové ATM siete môžu slúžiť ako efektívna pracovná sieť prepojenia sietí LAN/MAN s využitím výhod sietí ATM a družicovej technológie. Existujú však určité obmedzenia pre LAN/MAN prepojenia:

- významné výkonové parametre pre LAN/MAN aplikácie obsahujú oneskorenie a zákmity oneskorenia z LAN/MAN paketov. Dlhé prenosové oneskorenia prirodzené pre družicové komunikačné systémy môžu narušovať priepustnosť LAN/MAN protokolov. Zákmit oneskorenia môže rušivo pôsobiť najmä na hlasové, video a multimediálne prenosy LAN/MAN užívateľov. Preto je nutný nový mechanizmus pre optimalizovanie výkonu zákmitu a oneskorovacej charakteristiky.
- jednou z najdôležitejších funkcií používaných v družicových ATM je prekladanie rámcov. Predpokladá sa využitie aj inej dátovej štruktúry pre všetky LAN/MAN, každá z nich je nekompatibilná s ATM bunkami. Preto sa vyžaduje účinný konverzný protokol bez oneskorenia procesu mapovania týchto štruktúr a ATM bunkového formátu.

So súčasným vývojom technológie kompresie digitálnych dát môžu byť širokopásmové video dáta redukované na pár megabitov za sekundu a prenášané v kombinácii s rozdielnymi signálmi vo forme multimediálnych dát.

V blízkej budúcnosti sa očakáva od družicových ATM sietí promptná a pritom nie drahá ponuka týchto služieb v širokej oblasti, pretože družicové siete sú lepšie ako terestriálne siete v pokrytí účastníkov a budú stále dôležitejšie v multimediálnej ére. Preto družicové telekomunikačné systémy budú jednými z prvých telekomunikačných infraštruktúr pre ponúknutie multimediálnych služieb širokej verejnosti.

Nakoniec, aj keď družice majú množstvo výhod oproti terestriálnemu systému, ako je mnohonásobný prístup, široké pokrytie, mnohonásobná distribúcia, rýchle a pružné sieťové úpravy, má terestriálny systém vyššiu kapacitu ako družicový. Na uspokojenie rôznych širokopásmových požiadaviek a ponuky uspokojivého zdieľania obmedzenej kapacity množstvom účastníkov sa vyžaduje vysoký výkon družicových transpondérov.

## Štandardy pre satelitné služby

Vydávanie medzinárodných štandardov pre telekomunikačný sektor má v kompetencii medzinárodná telekomunikačná únia **ITU**, v rámci ktorej sa vydávajú aj štandardy pre satelitnú komunikáciu. Tieto (nie všetky) spadajú pod **ITU-R**, čo je rádiokomunikačný sektor v rámci organizačnej štruktúry únie. Množstvo vydávaných štandardov práve pre satelitné služby majú pod ITU-R na starosť študijné skupiny:

- **SG 4** - Fixné satelitné služby
- **SG 6** - Vysielacie služby
- **SG 8** - Mobilné, rádiodeterminačné, amatérske a s nimi spojené satelitné služby

Avšak nie sú to len tieto skupiny, oblasť satelitnej komunikácie zasahuje aj do zameraní iných skupín. (napr. SG - 3 šírenie rádiových vln). Nie je možné vymenovať všetky štandardy vydané ITU uveďme aspon preto niekoľko príkladov:

- **ITU-R BO.1211** (SG 6, 1995/10): Digitálny multiprogramový vysielací systém pre televízne, zvukové a dátové služby pre satelity operujúce vo frekvenčnom pásme 11/12 GHz
- **ITU-R M.1182-1** (SG 8, 2003/06): Integrácia oblastnej a satelitnej mobilnej komunikácie
- **ITU-R M.818** (SG 8, 2003/06): Satelitná prevádzka v MIT-2000
- **ITU-R BT.1126** (SG 6, 1994/07): Protokol prenosu dát a schéma riadenia prenosu pre vysielacie systémy s využitím dátového kanálu v satelitnom TV vysielaní
- **ITU-R S.1066** (SG 4, 1994/09): Spôsoby zníženia interferencie zo satelitnej vysielacej služby z jednej oblasti do fixnej satelitnej služby v ďalšej oblasti, v okolí 12GHz

ITU - R rozdeľuje normy do sérií nielen podľa študijných skupín, ale aj podľa **témy**, ktoré pokrývajú a v súlade s nimi sú alfabeticky označené.

ITU nie je jediný orgán vydávajúci štandardy. Európske štandardy vydávajú napr. **EBU** (European Broadcasting Union) alebo **ETSI / SES** (The European Telecommunications Standards Institute / Satellite Earth Stations and systems).

K európskym štandardom patrí napr.:

- ETS 300421 (UBU): digitálne vysielajúce systémy pre televíziu, zvuk a dátové služby; rámcové štruktúry, kanálové kódovanie a moduláciu pre 11/12 GHz satelitné služby
- prETS 300 802 (UBU): digitálne vysielajúce systémy pre televíziu, zvuk a dátové služby; sieťovo nezávislé protokoly pre DVB interaktívne služby