

Satelitná komunikácia

História satelitnej komunikácie

Keďže by bolo veľmi nákladné globálne pokryť Zem káblami alebo základňovými stanicami, (na niektorých miestach by to bolo dokonca aj veľmi obtiažne, 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.

Satelitná komunikácia

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 vzdialenej od Zemského 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 zemského 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.

Satelitná komunikácia

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.

Satelitná komunikácia

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 značenej vzdialenosti od Zeme - približne 36 000km), komunikačný prenos vyžadoval značné množstvo energie, veľké antény a komunikácia bola charakteristická veľkým oneskorením.

V r. **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 prevozná (transportable). Z celého radu ponúkaných služieb je pre bežného pozemného užívateľa najvýhodnejšia skupina označovaná **Inmarsat mini-M**. Podobne ako pri štandarde GSM je i tu použitá karta SIM na identifikáciu a zabezpečenie.

Satelitná komunikácia

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, spojenie 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 780km nad Zemou. Doba obehu je 101minút. Každá družica váži **89kg**.

Satelitná komunikácia

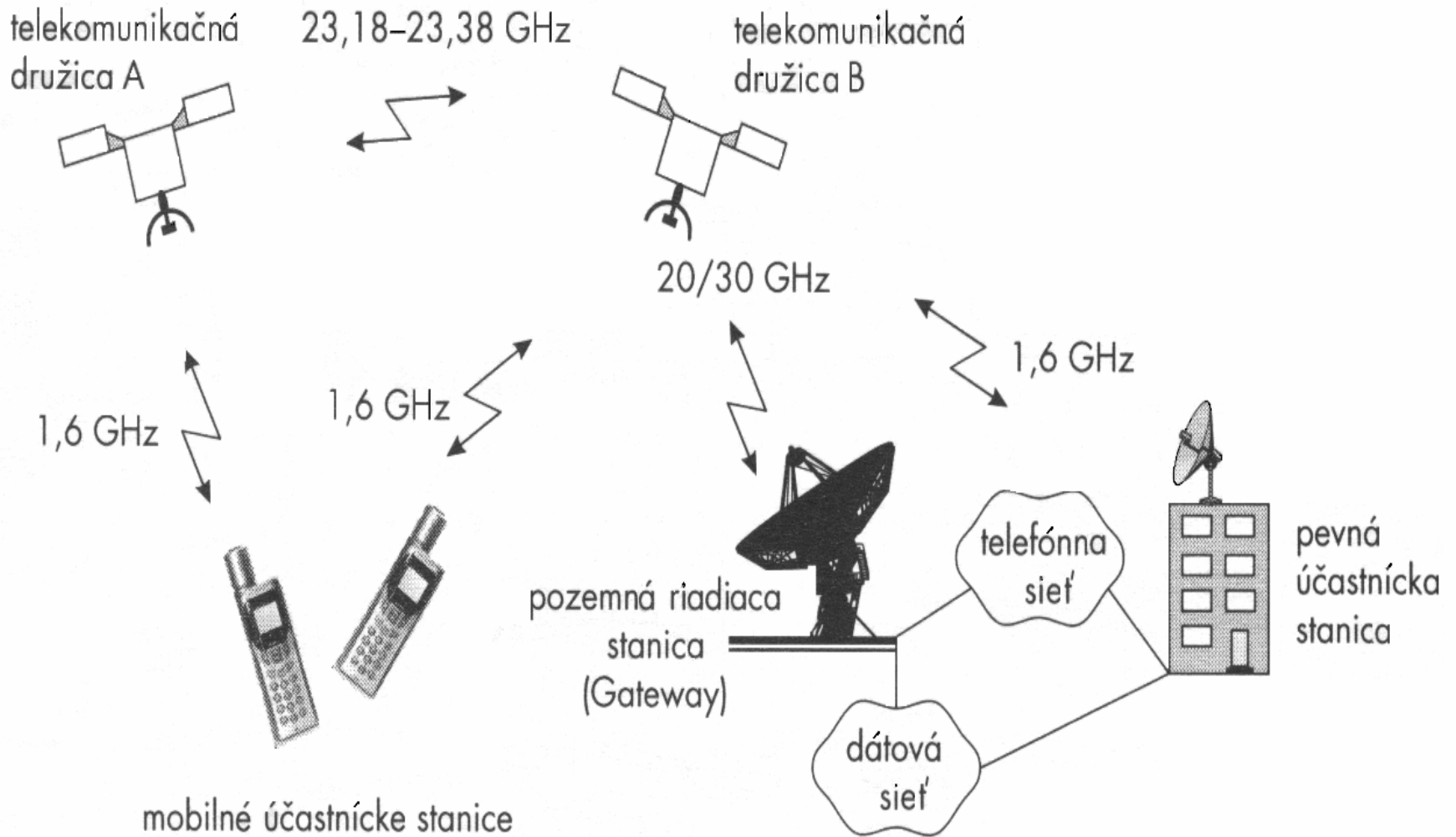
Základná komunikačná štruktúra systému je zobrazená na obr. 1. Prevádzka siete je podobná prevádzke v pozemných bunkových sieťach, rozdiel je v tom, že **základňové stanice** (pozemné riadiace stanice - Gateway) nekomunikujú s mobilnými stanicami priamo, ale cez telekomunikačné družice. Úlohou týchto 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.

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

Satelitná komunikácia



Obr. Komunikačné siete satelitného systému Irídium

Satelitná komunikácia

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 počiatočnom 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**.

Satelitná komunikácia

Klasifikácia satelitných systémov:

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

Výskumné: - geodetické

- geofyzikálne
- astronomické: výskum planét, hviezd (Slnka),
- diaľkový prieskum Zeme: pohyb pevnín, geologicko-geografické prieskumy,

Meteorologické: - sledovanie hurikánov,
- predpoveď počasia,

Telekomunikačné: - prenos televízneho signálu

- globálne prepojenie telefónov - nahradzované optickými vláknami
- hlavné uzly pre globálne siete - nahradzované optickými vláknami
- komunik. prepojenie pre vzdialené alebo menej rozvinuté lokality
- systémy pre rozšírenie pokrytia bunkových telefónnych systémov (GSM)

Navigačné: - navigácia (lietadiel, lodí,...)

- určovanie polohy (lokalizácia), smeru pohybu, rýchlosti,...

Vojenské: - komunikačné

- navigačné
- výzvedné
- výstražné

Satelitná komunikácia

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**) - Medziasatelitné služby.

Satelitná komunikácia

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.

Satelitná komunikácia

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:

- systavy pre duplexné spojenie základňovej pozemskej stanice s pohyblivými objektmi cez satelit,
- systavy 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 zemského 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 satelitov a pozemných staníc.
- U geostacionárnych satelitov sú dlhé doby prenosu signálu, až 1/4 sekundy. Vysoké sú aj počiatkové náklady.

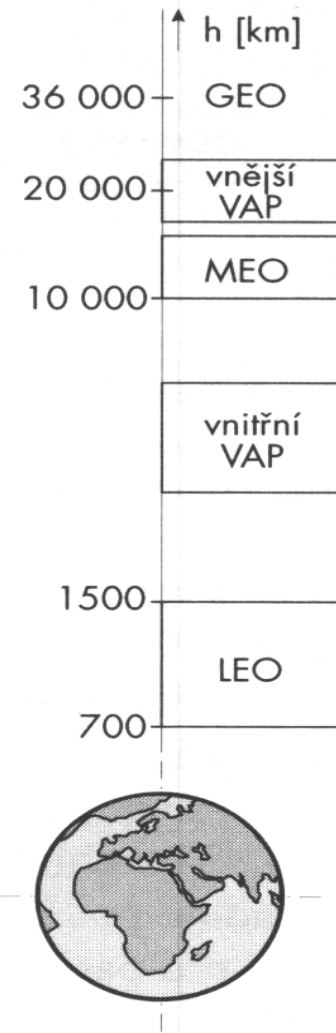
Klasifikácia obežných dráh satelitov:

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 orbita (equatorial) je presne nad rovníkom Zeme. Polárna (polar) orbita 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 orbita, najbližší bod min. 500km a najvzdialenejší bod približne 50 000km.

Satelitná komunikácia

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.

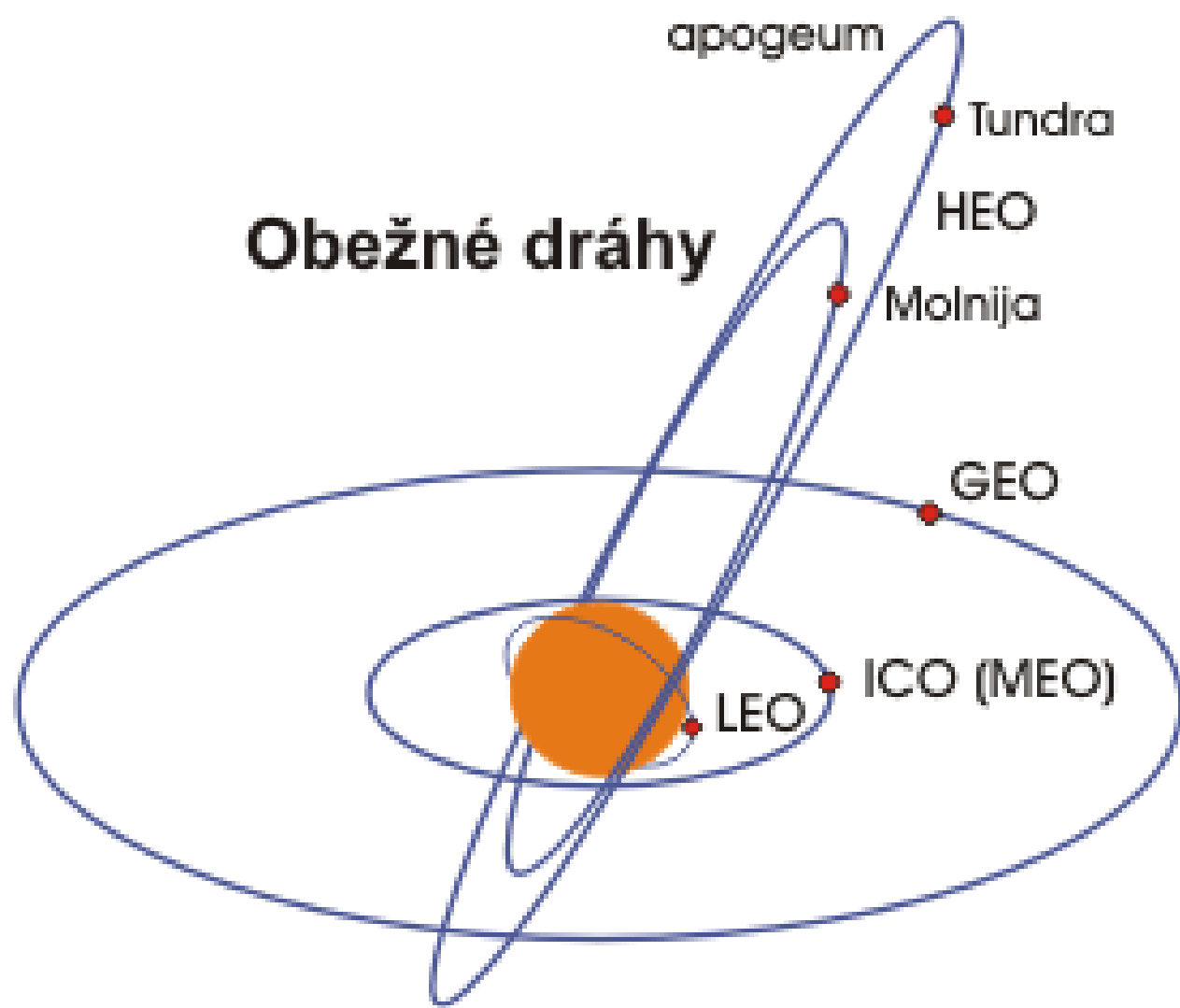
Obr. 2 zjednodušene ukazuje polohu pásov okolo Zeme použiteľných na umiestnenie telekomunikačných družíc i Van Allenove pásy (VAP).



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

Satelitná komunikácia

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 nasledovná tabuľka. Časť projektov slúži na úzko špecializované účely, iné sú určené na obecné použitie s náväznosťou na pozemné telekomunikačné siete.

Satelitná komunikácia

Tab. 1 Prehľad projektov pre kozmické telekomunikácie

názov projektu	sústava	počet družíc	realizácia
Inmarsat	GEO	9	1979
Irídium	LEO	66+6	1998
Orbcomm	LEO	24	1999
Globalstar	LEO	56	1999
ECCO	LEO	12	2000
Ellipso	LEO+GO	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+LO	9+63	2003

Satelitná komunikácia

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 slniečny vietor.

Základné pojmy v satelitnej komunikácii

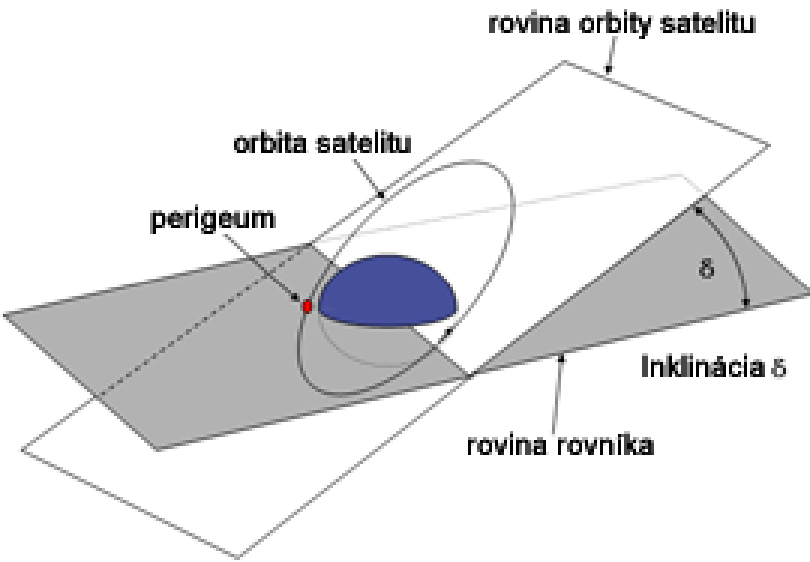
Dôležitým pojmom v satelitnej komunikácii je **satelitná stopa** diktujúca oblasť pokrytia signálom. Ďalším pojmom je **elevačný uhol** (elevation - pozdvihnutie, obr. 5), čo je uhol medzi orbitou satelitu a tangentou (dotyčnica so zemským povrchom v bode umiestnenia antény). Maximálne satelitné pokrytie je možné dosiahnuť na elevačnom uhle 0° .

Satelitná komunikácia

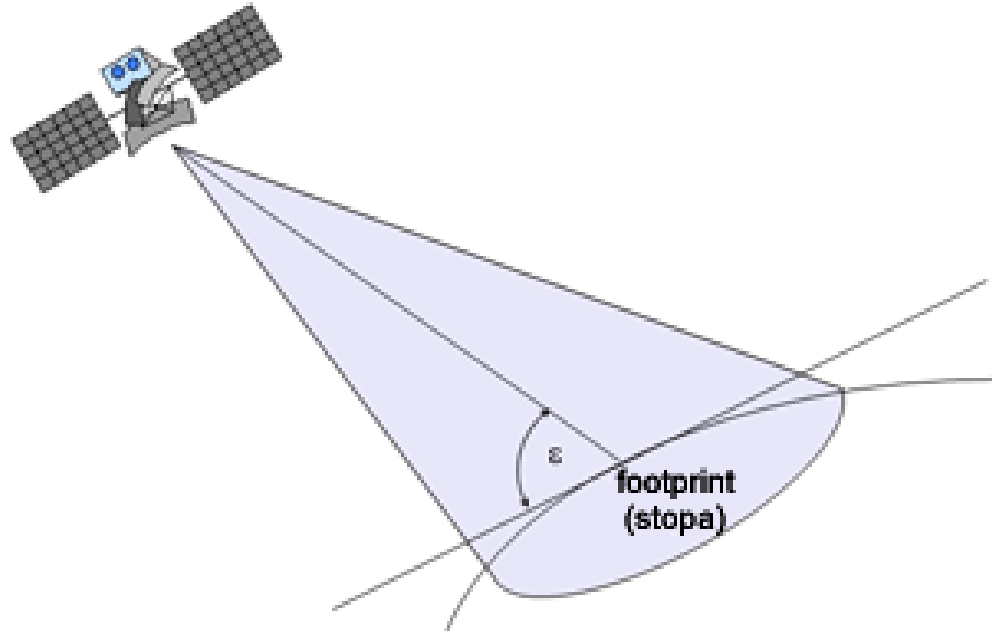
Tento uhol by síce rozšíril satelitné pokrytie k optickému horizontu do všetkých smerov, avšak existujú aspoň 3 dôvody, prečo má byť ***minimálny elevačný uhol*** väčší ako 0° :

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. atmosferické 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.

Satelitná komunikácia



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°) a downlink ($5^\circ - 20^\circ$).

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

Satelitná komunikácia

Satelity na cirkulárnej orbite - výpočet:

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

Výpočet gravitačnej sily:

$$F_g = m \cdot g \left(\frac{R}{r} \right)^2$$

Výpočet odstredivej sily:

$$F_c = m \cdot r \cdot \omega^2$$

pričom:

m: hmotnosť satelitu

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

r: vzdialenosť satelitu od stredu Zeme

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

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

Satelit zotrúva na orbite ak: $F_g = F_c$.

potom polomer:

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

Satelitná komunikácia

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

$R: 6\,370\,000\text{m}; g: 9,81\text{ m/s}^2; f = (1 / T),$

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

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

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

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

Poznámka: 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.

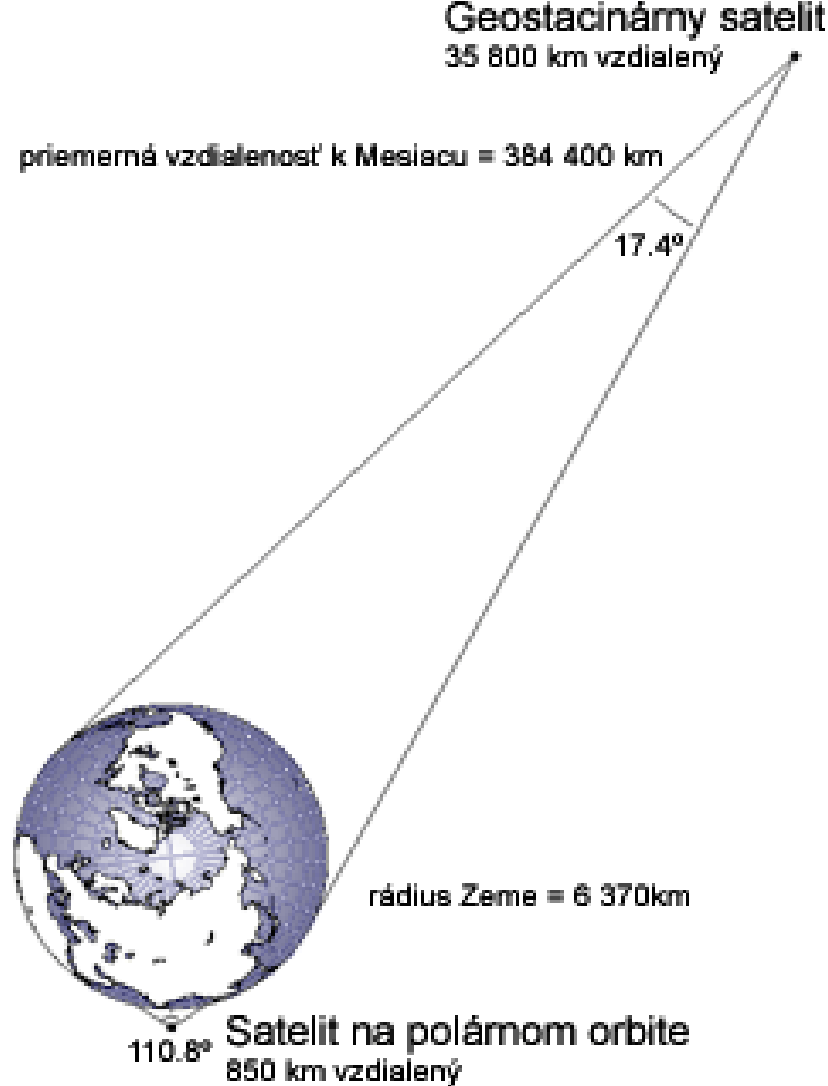
Satelitná komunikácia

V princípe najjednoduchšie satelity sú satelity umiestnené na geostacionárnej obežnej dráhe 35 786 km nad zemským povrchom, rotujúce na úrovni rovníka (inklinácia 0° - 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 $17,4^\circ$.

Satelitná komunikácia



Obr. 6 GEO vzdialenosť

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).

Satelitná komunikácia

V princípe najjednoduchšie satelity sú satelity umiestnené na geostacionárnej obežnej dráhe 35 786 km nad zemským povrchom, rotujúce na úrovni rovníka (inklinácia 0° - 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°**.

Satelitná komunikácia

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 elektronic-ké 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 786km nad Zemou môže satelit komunikovať približne zo $\frac{1}{4}$ Zeme. Takto je možné tromi satelitmi oddelenými po 120° pokryť väčšinu obývaných častí Zeme.

Problémy GEO satelitov:

- Kvôli pevnej polohe nad rovníkom zostávajú oblasti blízko pólom nepokryté a nad zemepisnou šírkou 60° je zlá elevácia.
- Signál po prekročení vyše 35 tis. km môže byť pomerne slabý, a preto je potrebná vysoká vysielačiacia energia.
- Doba prenosu je značná dokonca aj pri rýchlosti približne 300 000 km/s.

Satelitná komunikácia

Komunikácia medzi dvoma miestami na Zemi priamo pod satelitom, je v skutočnosti $(2 \times 35786) / 300\,000 \approx 0.24\text{s}$. 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 lúčov signálu. Niektoré z menovaných problémov rieši použitie LEO a MEO satelitov.

Vynesenie satelitu na GEO obežnú dráhu

Množstvo GEO satelitov 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 článkov. 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.

Satelitná komunikácia

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.

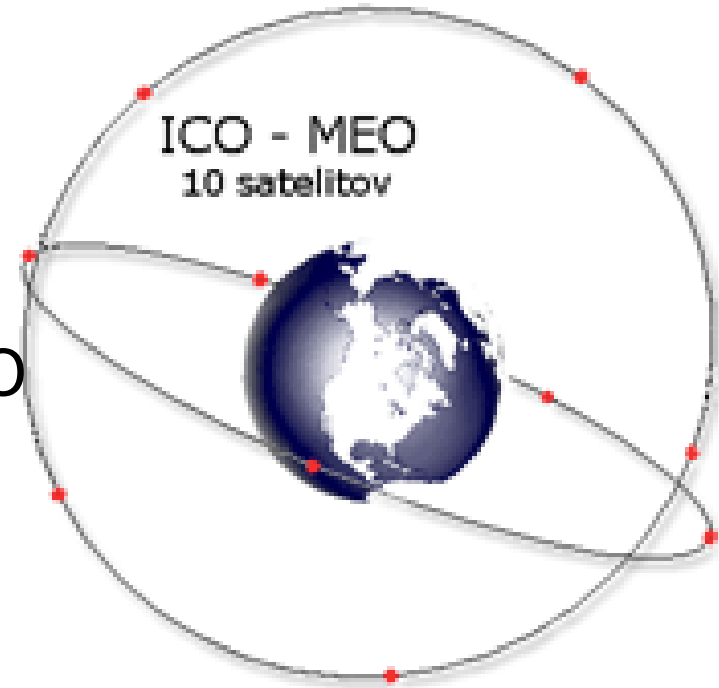
Behom prevádzky musí satelit korigovať svoju výšku a správny smer, k čomu mu dopomáha interný gyroskop a malé pomocné raketové trysky.

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**.

MEO satelity vyžadujú omnoho menej predávaní (handover 4), 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.



Obr. 7 MEO Satelity

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 (námornou) dopravou, štátnou správou, ťažobnými a ďalšími spoločnosťami.

Satelitná komunikácia

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: 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.

Satelitná komunikácia

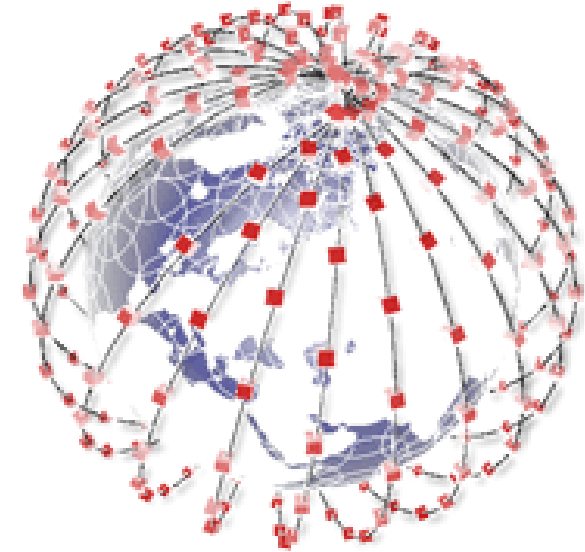
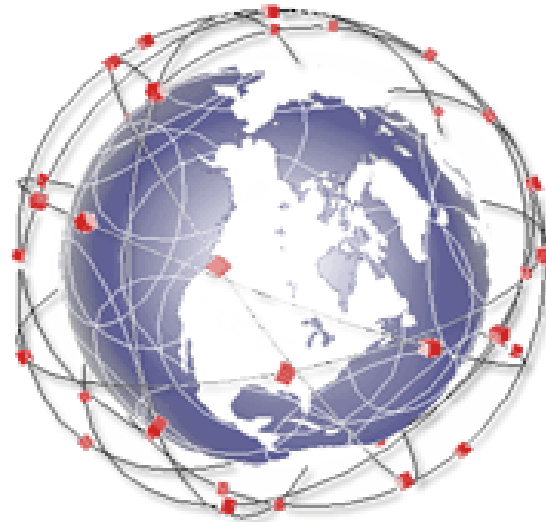
LEO satelity (Low Earth Orbit)

Sú satelity na nízke 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 **atmosférického ťahu** sa orbita satelitu kazí.

POZNÁMKA: *Vplyv atmosférického ťahu na satelit: V nízkych orbitách sú satelity ovplyvňované atmosférickým ťahom (atmospheric drag), čo je trenie spôsobené kolíziou s atómami 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 atmosférického ťahu je závažný do výšky aspoň **1000 km** a nie je zanedbateľný až do výšky **3000 km**. Atmosférický 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.]*

Satelitná komunikácia



Orbcomm (malé LEO) 35 satelitov

Globalstar Teledesic (velké LEO) 288 satelitov

Obr. 8 *Globalstar* (velké LEO) 48 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 znovupoužitia 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*.

Satelitná komunikácia