Kazalo

Kazalo **1**
2 Dostopovna omrežja **2**
2.1 Telefonsko omrežje 5
2.2 Omrežje kabelske televizije 8
2.3 Optično omrežje 12
2.4 Lokalno elektroenergetsko omrežje 14
2.5 Brezžična razdelilna omrežja 17
2.6 Mobilna omrežja 19
2.7 Lokalna brezžična omrežja 22
2.8 Satelitska omrežja 25
2.8.1 Sateliti za mobilno telefonijo 28
2.8.2 Sateliti za širokopasovne podatkovne komunikacije 29
2.8.3 Aeronavtične ploščadi 30

2 Dostopovna omrežja

Dostopovna omrežja smo določili kot omrežja, ki so vezni členi med širokopasovnimi internetnimi omrežji in posameznimi naročniki. Zveze dostopovnih omrežij so sorazmerno kratke in večinoma ne presegajo 5 kilometrov. Trenutno prevladujejo tehnološke rešitve dostopa na osnovi žičnih (fizičnih) vodov, v naslednjih letih pa pričakujemo nagel vzpon brezžičnega dostopa. Tehnološke rešitve dostopa so:

A) VRVIČNE ZVEZE

- **telefonsko omrežje (bakrene parice)**

  - klasične analogne telefonske zveze POTS (Plain Old Telephone Service)
  - digitalne telefonske zveze ISDN (Integrated Services Digital Network)
  - širokopasovne digitalne zveze po naročniški liniji DSL (Digital Subscriber Line)

- **po omrežju kabelske televizije CATV (Cable TV)**

  - po koaksialnih kablih
  - po hibridnih optičnih zvezah HFC (Hybrid Fiber-Coax)

- **optične zveze**

- **zveze po energetskih vodih**

in

B) BREZVRVIČNE ZVEZE

- **prizemne brezžične zveze**

  - razdelilna omrežja
  - mobilna omrežja
  - lokalna omrežja

- **satelitske zveze**

  - sateliti GEO (Geostationary Earth Orbit), MEO (Medium Earth Orbit), LEO (Low Earth Orbit)
  - aeronavtične ploščadi

Gornje tehnološke možnosti dostopa bomo sistematično obdelali v nadaljevanju.

Vrvični dostop

Zgodovinsko gledano so prve telekomunikacijske povezave temeljile na kovinskih vodih. Te vode so vgrajevali v kable, ki so jih večinoma zakopali v zemljo ali v mestih položili v kabelsko kanalizacijo. Kabelska omrežja so rasla, tako da imamo sedaj večino telefonskih naročnikov priključenih na omrežja kovinskih vodov. Omrežja predstavljajo ogromno vrednost in pretežen del te vrednosti je v polaganju kablov. Telefonski priključki vode zelo slabo izkoriščajo, večinoma le za prenos govornega signala širine le 3 kHz, čeprav so prenosne sposobnosti vodov znatno večje. S pomočjo ustrezne opreme sodobne tehnologije lahko vode lokalnih priključkov uporabimo za digitalni prenos podatkovnih signalov preko bistveno širšega frekvenčnega obsega. Na tej osnovi lahko ponudimo izredno velikemu številu domov dostop do interneta ob zmernih stroških in hitrostih, ki vedno ne omogočajo večine internetnih storitev.

Za dostop do interneta so primerna tudi omrežja kabelske televizije. V tem primeru moramo le nadgraditi sistem, da bo poleg signala televizijskih programov omogočil še dostop do interneta.

Do vsakega doma imamo vedno napeljano elektroenergetsko omrežje. Žal za telekomunikacijske prenose to ni zelo primerno predvsem zaradi nehomogenosti in visokega nivoja motenj. Z zelo izpopolnjeno tehnologijo pa lahko tudi energetsko omrežje nadgradimo za prenos internetnih signalov zmernih hitrosti.

Uvajanje svetlobnih vlaken kot vodnikov je omogočalo izredne prenosne hitrosti. Že z zelo preprosto in ceneno opremo k optičnem vlaknu bi hitro zadovoljili se tako visoke zahteve internetnih storitev. V začetku je bila cena vlakna visoka. Z razvojem tehnologije se je vlakno znatno pocenilo in večina stroškov je le se v vgradnji kablov. Pokrivanje večjih področij z optičnim omrežjem do domov zunaj mest predstavlja izredno velik vložek, kar je osnovni zadržek pri dostopu do interneta po optičnih poteh.

Za dostope prek žičnih omrežij lahko podamo naslednje osnovne ugotovitve:

- Omrežja s kovinskimi žičnimi vodi vodijo skoraj do vsakega doma in z dopolnjevanjem lastnosti prenosnih poti na osnovi sodobne tehnologije lahko omogočimo dostop do interneta ob sorazmerno nizkih stroških. Kakovosti dostopov ne zadoščajo za vse internetne storitve.

- Dostop do interneta preko optičnih vodov sicer izpolnjuje vse zahteve internetnih storitev, vendar so stroški izgradnje omrežij visoki. Gradnja optičnih dostopov do posameznih domov je izredno draga. Omrežja s celotnim pokrivanjem vsega prebivalstva določene regije so nekoliko cenejša, vendar ne poceni. Morebitno gradnjo optičnih omrežij morajo narekovati se druge potrebe, ki lahko opravičijo vložena sredstva.
- Visoki vložki v gradnjo novih omrežij z vodniki bodo vzrok, da bo pogosto prišlo do zamenjave z brezžičnimi omrežji. Pri teh je porazdelitev investicijskih stroškov zaradi postopne gradnje mnogo ugodnejša.

Brezvrvični dostop

Brezžični dostop se odlikuje po enostavni priključitvi uporabnika na omrežje, saj fizična povezava s kovinskim ali optičnim vodnikom ni potrebna. Povezava med uporabnikom in omrežjem je brezžična, običajno radijska.

To prinaša vsaj dve prednosti v primerjavi z žičnim dostopom:

- Uporabniki so praviloma lahko mobilni znotraj geografskega področja, ki ga pokriva določen brezžični sistem.
- Operater lahko zagotovi hitrejše in cenejše geografsko pokrivanje s storitvami, saj ni potrebna razpeljava fiksnega omrežja neposredno do uporabnika.

Seveda obstajajo tudi slabosti, med katerima sta najbolj očitni:

- večje omejitve glede prenosnih hitrosti, ki so posledica omejenosti in dragocenosti frekvenčnega spektra,
- večja izpostavljenost prenašanega signala motnjam in šumu na prenosni poti.

Premik tehnologije k vse višjim frekvencam, pri katerih so razpoložljive širine frekvenčnega spektra vse večje, in uspešne tehnike kodiranja zvez močno zmanjšujejo težo naštetih slabosti. V zadnjem času je v zadnjih kilometrih oziroma metrih do uporabnika opazna težnja prehajanja iz žičnega na brezžični prenos.

Poznamo več vrst sistemov z brezžičnim dostopom. Delimo jih lahko glede na lokacijo radijske postaje in pripadajoče antene, iz katere omrežje pošilja radijski signal do uporabnika. Po tem kriteriju delitve ločimo:

1. prizemne sisteme, ki imajo celotno infrastrukturo zgrajeno na zemlji. Ločimo **razdelilna omrežja**, kamor štejemo npr. LMDS, HIPERACCESS in WiMAX sisteme, **mobilne sisteme**, kamor spada npr. sistem GSM, in **lokalna brezžična omrežja**, kamor štejemo brezvrvične (cordless) sisteme, kot npr. DECT, ter sisteme za brezžičen dostop do lokalnih omrežij WLAN, kot npr. HIPERLAN in IEEE 802.11. Razdelilna in lokalna brezžična omrežja omogočajo pravilo ma višje prenosne hitrosti od mobilnih sistemov.

2. satelitske sisteme, ki sevajo radijske signale iz satelitov zunaj Zemljine atmosfere. Satelitske sisteme lahko nadalje ločujemo glede na višino in obliko tirnic, po katerih se gibljejo sateliti. Poznamo nizke (LEO), srednje (MEO) in geostacionarne (GEO) tirnice. V to skupino lahko štejemo tudi aeronavtične ploščadi, ki sevajo radijske signale iz zračnih plovil. Leteče ploščadi se gibljejo nekaj 10 km nad zemeljskim površjem.

Razumljiva je, da z večanjem oddaljenosti oddajnika od zemeljskega površja povečujemo geografsko področje, ki ga lahko pokriva oddajna postaja z določene lokacije. Z oddajnikom prizemnega sistema lahko pokrijemo teritorij velikosti nekaj 10 km, z letečimi ploščadmi velikosti 100 km, medtem ko s satelitom v geostacionarni orbiti pokrijemo tretjino zemeljske oble.

V nadaljevanju sledijo podrobnejši opisi posameznih rešitev.

2.1 Telefonsko omrežje

Ali bo v prvotni izvedbi skromna telefonska napeljava, ki je izredno vplivala na razvoj družbe v 20. stoletju, sposobna s posodobitvijo zadovoljiti komunikacijske potrebe ob začetku tretjega tisočletja? Pomembno je dejstvo, da je na vsem svetu preko 700 milijonov telefonskih priključkov. Telefonsko naročniško omrežje, ki je načrtovano za prenos g00ovornih signalov, želimo uporabiti za hitri prenos digitalnih signalov s hitrostjo vsaj 1 Mbit/s. Z izdatno podporo elektronike lahko s sorazmerno majhnimi vložki pri telefonskih operaterjih in naročnikih

izkoristimo obstoječa lokalna telefonska omrežja. Dobimo zasilno rešitev, ki pa je močno omejena pri nadaljnjem razvoju.

V začetku 70. let se je zaradi nastale potrebe prenosa podatkov med računalniki pričel razvoj modemov za podatkovni prenos v pasovni širini telefonskega kanala med 300 Hz in 3400 Hz. Prenosne hitrosti so se z izpopolnjevanjem elektronike v zadnjih tridesetih letih povečale več kot stokrat od 300 b/s (V.21) do 33.600 b/s (V.34bis). Z omenjenimi modemi lahko prenašamo digitalne signale preko javnega telefonskega omrežja med telefonskimi naročniki različnih lokacij. Zadnji dosežek izpred nekaj let je modem V.90, kjer lahko preko ene analogne linije znotraj telefonskega kanala 4 kHz dosežemo proti odjemalcu prenosno hitrost do 56 kb/s. Temelji na spremenjeni strukturi povezave, kjer je med odjemalcem in strežnikom samo ena A/D pretvorba. Večjo hitrost prenosa v primerjavi z V.34 modemi tako dosežemo z izločitvijo enega vira šuma.

Kakovost dostopa do spletnih aplikacij ocenimo na primeru brkljanja po spletu. Kot merilo za primerjavo vzemimo odzivne čase pri prenosu tipične spletne strani (približno 3kB). Razpredelnica 6 podaja odzivne čase za dostop z različnimi modemi preko javnega telefonskega omrežja. Zveza preko telefonskega modema ali ISDN nam daje pri brkljanju večje zakasnitve odziva od želene, ki smo jo postavili v uvodu (100 ms). Večina uporabnikov se bo zadovoljila z naštetimi dostopi za elektronsko pošto, brkljanje in videokonferenco po standardu H.263. Kakovost nekaterih storitev je pri modemskem dostopu po komutiranem govornem kanalu mnogo manjša od želene.

Dostop	maksimalna hitrost v kb/s	čas odziva za tipično stran
modem V.34	28,8	~ 1s
modem V.34bis	33,6	~ 0,7s
modem V.90 (56k)	~ 40 do 50	~ 0,5s
ISDN, B kanal	64	0,4s
ISDN, 2xB	128	0,2s

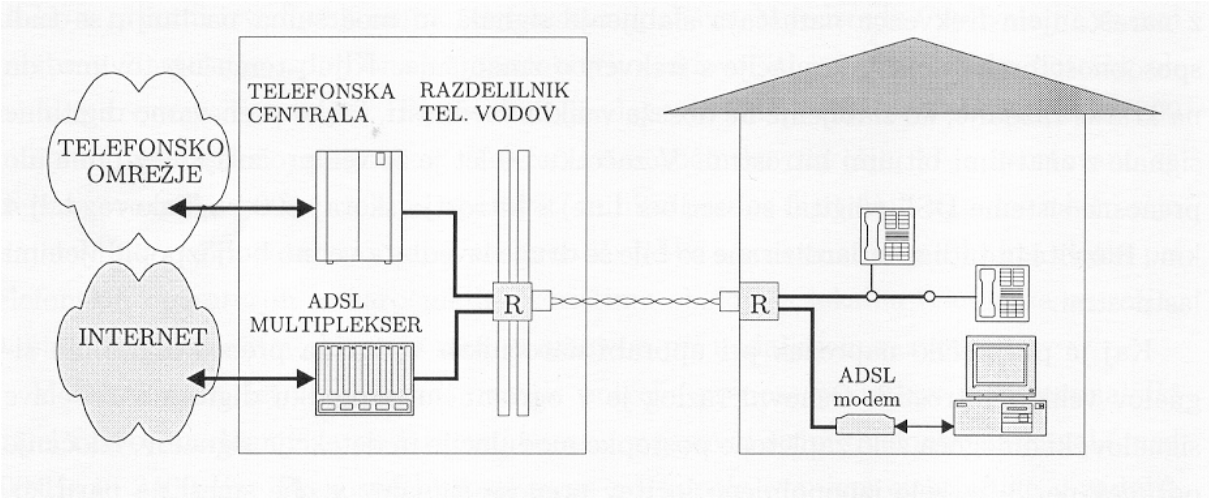
Tabela 6. Odzivni časi pri brkljanju pri različnih modemih in ISDN zvezi.

V 80. letih so začeli raziskovati uporabo naročniške linije za digitalni prenos. Ker z naraščanjem frekvence naraščata slabljenje signala in moč šuma na liniji, se tudi sposobnost prenašanja informacije s frekvenco zmanjšuje. Kljub temu ugotovimo, da na kratke razdalje, ko slabljenje ne doseže velikih vrednosti, lahko prenašamo digitalne signale z znatnimi bitnimi hitrostmi. V začetku 90 let je že več proizvajalcev ponujalo prenosne sisteme DSL (digital subscriber line) s hitrostjo skoraj 800 kb/s do razdalj 4 km. Razvite in tudi standardizirane so bile še druge izvedbe z vedno bolj izpopolnjenimi lastnostmi.

Kaj je povzročilo napredek pri uporabi naročnikih vodov za prenos digitalnih signalov velikih hitrosti? Osnovni razlog je v ogromnem napredku digitalne obdelave signalov, ki omogoča zelo zapletene postopke modulacije in detekcije signalov, izločanje odbojev na liniji, zelo izpopolnjeno ločitev prenosa signalov v obe smeri na paru kovinskih žic telefonske linije in izravnavo prenosne karakteristike telefonske linije.

Ker so naročniške linije vodene iz centrale prek kabla z do nekaj sto naročniskih linij, lahko pričakujemo medsebojne sklope med linijami. Ti sklopi povzročajo prehajanje signala z ene linije predvsem na sosednje, v načelu pa na vse linije znotraj kabla. Pri analognih govornih kanalih smo neželene signale iz sosednih vodov imenovali presluh, ime pa se je ohranilo tudi pri obravnavi digitalnega prenosa. Presluhi med linijami naraščajo s frekvenco in so pri govornih signalih nizkih frekvenc sorazmerno majhni. Pri prenosu digitalnih signalov velikih hitrosti je uporabljen bistveno širši pas frekvenc, zato so presluhi poleg slabljenja osnovni omejilni faktor. Presluhi iz sosednih linij znotraj istega kabla se med seboj seštevajo, zato se razmere za hitri digitalni prenos slabšajo s številom istorodnih oddajnikov.

Če bi uporabljali le nekaj linij znotraj kabla za digitalni prenos in še za vsako smer svojo linijo, bi lahko dosegli zelo hitre prenose reda 8 Mb/s na razdaljah do 1,6 km. Za dostop do stanovanja imamo na razpolago samo eno telefonsko linijo, zato so prenosne hitrosti manjše. Če uporabimo znotraj istega naročniskega kabla le nekaj odstotkov izbranih linij, je prenosna hitrost lahko večja, kot če načrtujemo množično uporabo linij za digitalni prenos. Za izkoristek prek 70% linij v kablih je primeren sistem ADSL (Asymetric Digital Subscriber Line) po priporočilu G.Lite (G.992.2) s hitrostjo 1,5 Mb/s k naročniku in 0,5 Mb/s k ponudniku. Slika 6 kaže načelno vezavo ADSL prenosnega sistema. Pri ADSL imamo poleg digitalnega prenosa ohranjeno tudi analogno zvezo za klasični oz. ISDN telefon. Ohranitev analognega kanala omogoča nadaljnjo uporabo klasičnih telefonskih aparatov, ki so trenutno še aktualni, vendar je pričakovati, da jih bodo slej kot prej izrinili IP telefoni, ki jih bo moč uporabiti na DSL podatkovni liniji. Sočasna priključitev modema ADSL in analognih telefonskih aparatov zahteva filtrske zapore v telefonski centrali in pri uporabniku.



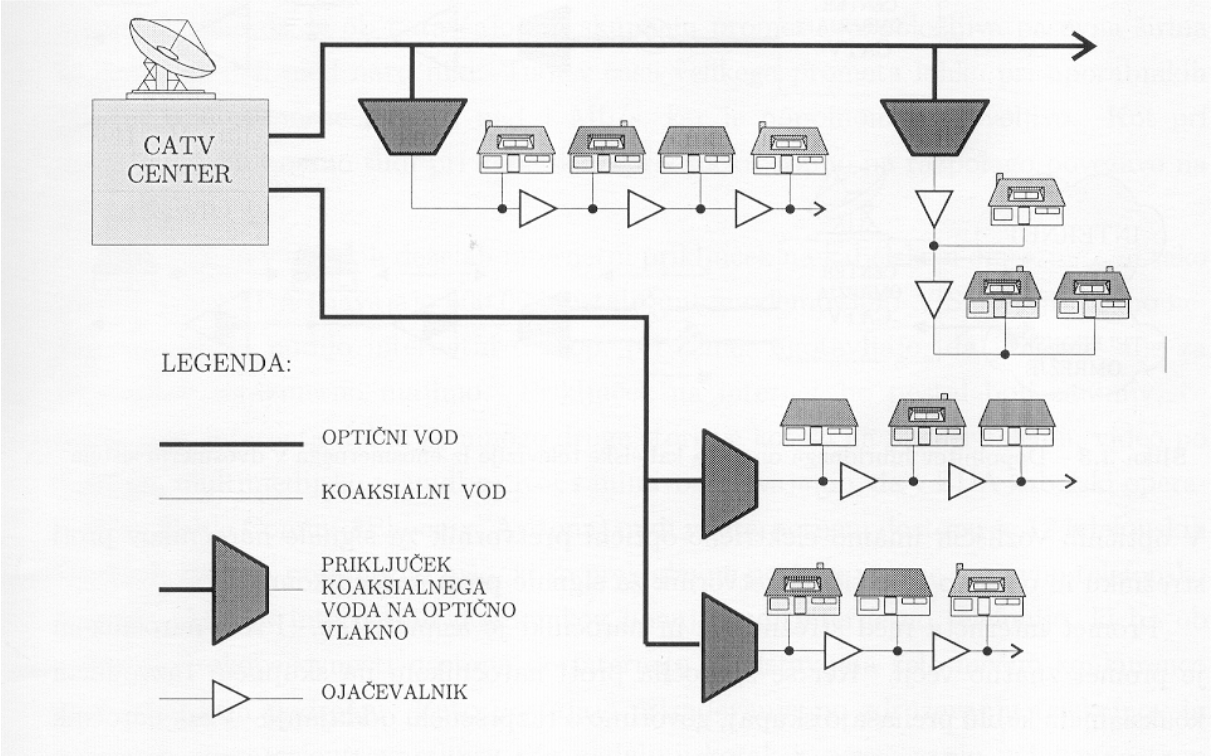
Slika 6. Ločitev digitalnega in analognega signala pri ADSL dostopu.

Če analiziramo kvaliteto dostopa do interneta preko modemov z izbiranjem in ADSL modemom, ugotovimo poleg povečanja prenosne hitrosti še nove prednosti. Uporabnik ADSL ima vedno na razpolago osnovni telefonski priključek in neprekinjeno zvezo s strežnikom interneta. Stalna povezava v paketno omrežje na primer omogoča uporabnikom sprotno sprejemanje elektronskih sporočil. Glede na kakovost linije je uporabna prenosna hitrost v širokem razponu od 1,5 do 8 Mb/s. Tudi v primeru nižje prenosne hitrosti imamo zagotovljeno ustrezno kakovost za večino internetnih storitev razen televizije visoke ločljivosti. Celo prenos obsežne datoteke 10 MB bi trajal le slabo minuto.

Pregled lastnosti telefonskega voda, načinov prenosa digitalnih signalov, telefonskih modemov in digitalnih naročniških linij je podan v naslednjem poglavju.

2.2 Omrežje kabelske televizije

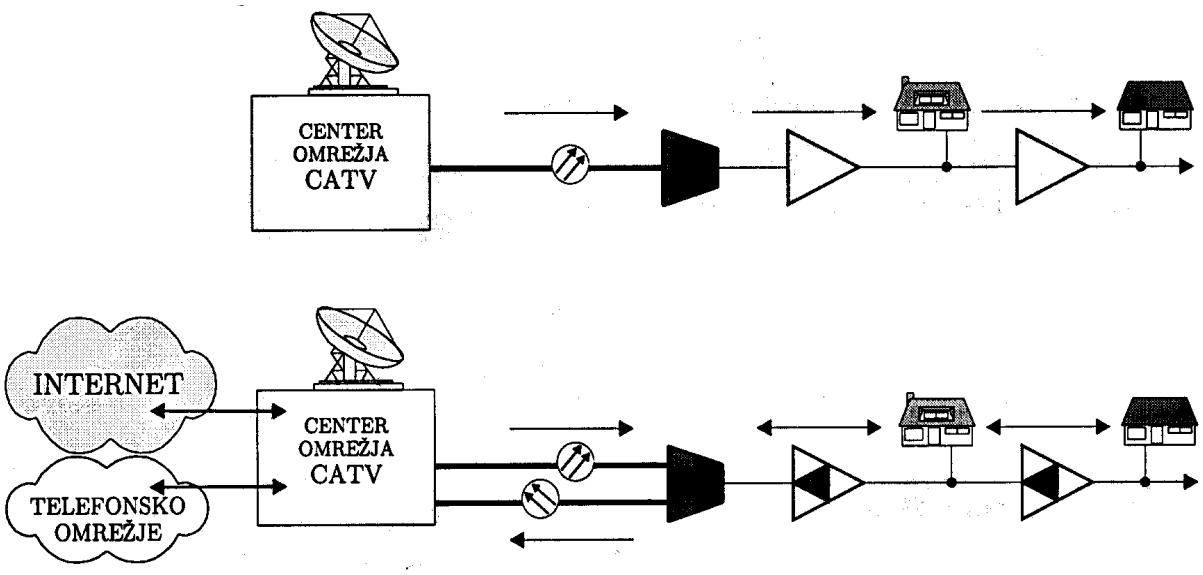
Hiter razvoj televizijskih kabelskih omrežij v 90 letih je spodbudila želja televizijskih gledalcev po širšem izboru programov TV, ki bi presegali lokalni in nacionalni značaj. Napredek v izboru so prinesli novi tematsko usmerjeni TV programi: športni, naravoznanstveni, otroški itn. K investicijam v televizijsko kabelsko omrežje so morali naročniki prispevati precejšen delež. Ta obsežna infrastruktura se je izkazala kot primerna osnova za širokopasovni dostop do interneta. Zagotavljala je dovolj pasovne širine, edina pomanjkljivost je bila le v enosmerni komunikaciji od ponudnikov programov proti naročnikom. Struktura omrežja je narisana na sliki 7 in vsebuje več napajalnih vodov, ki so bodisi optični ali koaksialni kabli.



Slika 7. Struktura omrežja kabelske televizije.

Ti vodi napajajo s signali televizijskih programov vozlišča, na katere so priključeni razvodni vodi. Na razvodne vode so preko odcepnih točk neposredno priključeni naročniki. Napajalni kakor tudi razvodni vodi morajo imeti na določenih razdaljah vključene ojačevalnike, ki kompenzirajo slabljenje vodov in zagotavljajo posameznim naročnikom predpisani nivo signalov. Oprema koaksialnih vodov z ojačevalniki preprečuje prenos signalov v povratni smeri, zato ni mogoča dvosmerna komunikacija brez dodajanja opreme. Zasilno rešitev, ki ponuja vzpostavitev povratnega kanala preko telefonske zveze, se ni uveljavila.

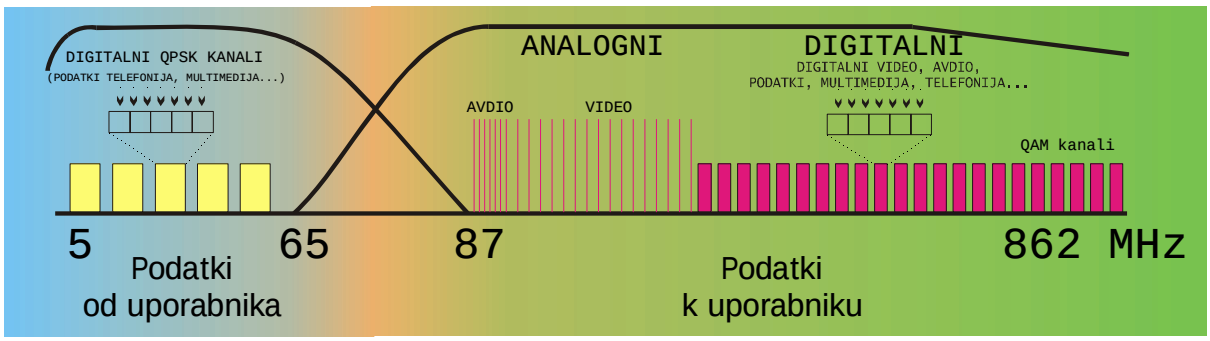
Za dostop do interneta potrebujemo dvosmerne povezave med strežnikom v glavni postaji in naročniki. Napajalnim vodom, ki so večinoma optični kabli, dodamo še en optični vodnik kot povratno pot za internet. Razvodne koaksialne vode moramo opremiti z dvosmernimi ojačevalniki, da se lahko razširjajo signali v obe smeri, seveda vsak v ločenem frekvenčnem področju. Omrežje, ki uporablja optične in koaksialne kable imenujemo hibridni sistem HFC (Hybrid-Fiber-Coax) HFB. Na sliki 8 je nakazana dopolnitev enosmernega omrežja kabelske televizije v dvosmerni sistem za priključitev naročnikov na internet. Koaksialne krake dopolnimo le z dvosmernimi ojačevalniki.



Slika 8. Dopolnitev hibridnega omrežja kabelske televizije iz enosmernega v dvosmerni sistem.

V optičnih vozliščih imamo električno-optični pretvornik za signale naročnikov proti strežniku in optično-električni pretvornik za signale proti naročnikom.

Promet interneta med strežnikom in naročniki je asimetričen. Proti naročnikom je promet znatno večji. Ker se sporočila proti naročnikom na skupnem razvodnem koaksialnem kablu prenašajo skupaj, govorimo o razpršenem oddajanju. Vsak naročnik dobi želeno sporočilo na osnovi svojega naslova, neželeno prisluškovanje pa preprečimo z ustreznim zaščitnim kodiranjem.



Slika 9. Frekvenčna delitev razpoložljive pasovne širine prenosnega sistema CATV.

V ZDA je priključek na internet prek televizijskega kabelskega omrežja zelo razširjen in trenutno naj bi imela več kot polovica vseh stanovanj priključek na kabelsko TV. Od približno 75 milijonov naročnikov kabelskih omrežij v ZDA je 12 milijonov naročnikov vključenih v sodobna dvosmerna

kabelska omrežja. Dopolnitev kabelskega omrežja s povratno potjo od naročnikov k ponudniku je finančno precej zahtevna, saj so ocenjeni normirani stroški prenovitve nad 200 USD na enega naročnika, omogoča pa širokopasovni prenos velikosti od 10 do 40 Mb/s do naročnikov in nazaj z nižjo hitrostjo približno med 1 in 10 Mb/s. Digitalni prenos poteka s frekvenčno ločitvijo smeri prenosa preko dveh rezerviranih TV kanalov (slika 9). Za prenos do uporabnikov (downlink) je izbran TV kanal v frekvenčnem območju 87 - 862MHz, za povratni kanal (uplink) pa je izbran po frekvenci nižje ležeči TV kanal (5-65MHz). V TV kanalu, ki je namenjen prenosu proti naročnikoma se uporabljata modulacijska postopka 64-QAM in 256-QAM. Za povratni kanal, kjer je dodeljena manjša pasovna širina (200-3200kHz), sta izbrana modulacijska postopka 4-PSK in 16-QAM. Zasebnost naročnikov je varovana z enkripcijo podatkov v obe smeri zveze (56 bitni DES, RSA upravljanje ključev). Omenjene hitrosti niso na razpolago le enemu naročniku temveč vsem naročnikom, ki so vezani na posamezen kabelski krak omrežja. To število obsega od 600 do 2000 naročnikov. Ker si delijo isto prenosno pot, bodo v času večjega prometa lahko posamezni naročniki razpolagali z zmanjšano hitrostjo prenosa. Zmanjševanje hitrosti naročniku mora biti nadzorovano, tako da se ob naraščajočem skupnem prometu razpoložljiva pasovna širina enakomerno deli med naročniki. Tudi v času velikega prometa lahko pri uporabnikih pričakujemo prenosne hitrosti nad 1 Mb/s, kar je popolnoma zadovoljivo. Kot pri dostopu ADSL imamo tudi pri kabelskem priključku stalno na razpolago povezavo na internet.

V Evropi in v azijskih deželah internetni priključek na kabelskem omrežju še ni tako pogost, kot v ZDA (navajajo 600.000 instaliranih modemov). V Sloveniji imamo nekaj omrežij, ki nudijo internetni dostop, pri čemer ugotavljajo, da je zanimanje za to storitev sorazmerno majhno. Priključek na internet bo postal bolj zanimiv, če bomo prek interneta dobili še mnoge druge storitve kot so na primer telefon, video po naročilu, multimedijsko ponudbo. Kot zanimivost navajamo, da v ZDA kabelski operater Cox Cable Comm. (Phoenix, Arizona) nudi v internetnem dostopu še 12 telefonskih klasičnih zvez na posamezno hišo, ki so prek glavne postaje vezane na javno telefonsko omrežje. Mnogo internetnih ponudnikov ponuja tudi internetno telefonijo, ki bo ob zadostni širokopasovnosti dostopa do interneta predstavljala zelo močno konkurenco na telefonskem področju. Zato postajajo prizadevanja po združevanju telekomov in kabelskih operaterjev razumljiva. Za nadaljnji korak k povečevanju učinkovitosti in dobičkonosnosti pa so potrebne še povezave s ponudniki internetnih vsebin. Več informacij lahko bralec najde v literaturi.

2.3 Optično omrežje

Z optičnimi vlakni so uspešno zamenjali kovinske zveze v hrbteničnih telekomunikacijskih omrežjih in ob tem izredno povečali kakovost in kapaciteto prenosnih poti. Optični kabli povezujejo tudi vse ponudnike kabelske televizije in interneta. Zakaj ne bi še podaljšali optičnih vodnikov neposredno do uporabnikov?

Optični priključki do domov bi omogočali pri najpreprostejši izvedbi prenos s hitrostjo vsaj 100 Mb/s, kar zadostuje za sočasen prenos vseh vrst komunikacijskih signalov: telefona, televizije, videokonferenc, filmov na zahtevo in interneta. Do nedavna je bil osnovni zadržek pri napeljavi vlakna do doma visoka cena vlakna in optične opreme, danes pa določajo večji del cene stroški gradbenih del pri polaganju kablov. Ob izboljšavi tehnologije cene padajo, še vedno pa optika predstavlja eno najdražjih rešitev za internet na domačem pragu glede na potrebne prenosne hitrosti posameznega uporabnika.

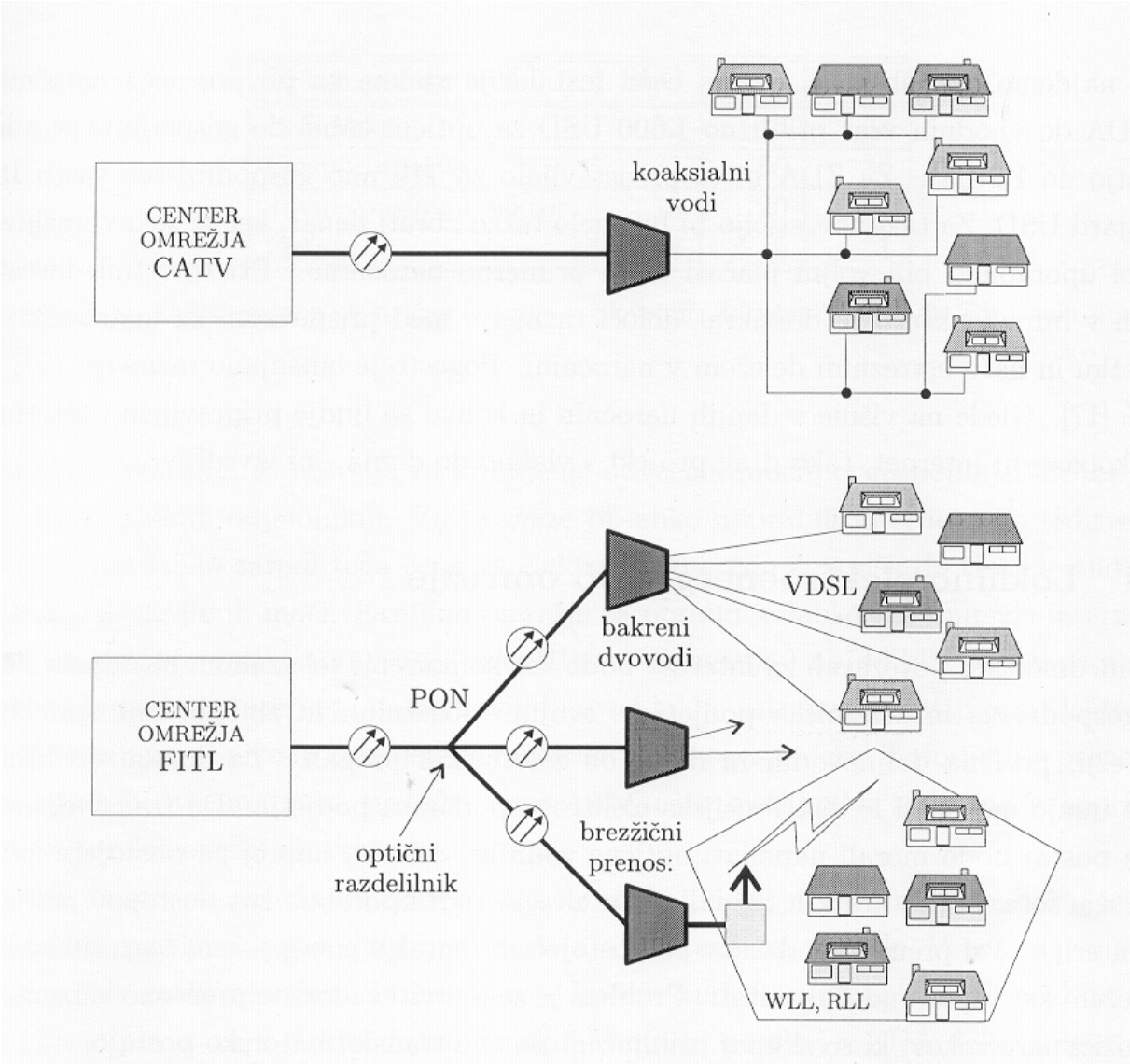
V svetu je bilo narejenih mnogo poskusnih omrežij z vlaknom do doma oziroma do njegove neposredne bližine. Bistvena značilnost teh omrežij je v tem, da so v zasnovi telekomunikacijska omrežja z izrazito širokopasovnimi signali s komutacijo. Če omrežja kabelske televizije temeljijo na razpršenem oddajanju in izbiri pri uporabniku, imajo sedaj obravnavana omrežja zvezdasto strukturo in dostavljajo sporočila le na naslovnika. S tem dosegamo bistveno večjo varnost pred neželenimi prisluhi sporočil nepooblaščenih oseb. Takšna optična omrežja uvrščamo pod oznako FITL (Fiber-In-The-Loop). Strukturi omrežja za kabelsko televizijo z razpršenem oddajanjem in za optično omrežje FITL sta narisani na sliki 10. Osnovni koncept FITL je izvajan v več različicah, ki se ločijo v tem, do katere točke pripeljemo optični vodnik. Naj jih nekaj naštejemo:

- FTTH - Fiber-To-The-Home (vlakno do hiše)
- FTTC - Fiber-To-The-Curb (vlakno do zadnjega razdelilnega jaška)
- FTTZ - Fiber-To-The-Zone (vlakno do področja)
- FTTO - Fiber-To-The-Office (vlakno do pisarne)

V vseh gornjih različicah razen FTTO potrebujemo še povezavo od konca optičnega vlakna do opreme uporabnika. Uporabljajo se lahko rešitve s prepletenim kovinskim dvovodom, koaksialnim kablom ali brezžično zvezo. Trenutno je optična povezava prav do domov za posameznega naročnika predraga. Za poslovne namene optični priključek v urad ne predstavlja kakega posebnega stroška.

Gospodarnost optičnih omrežij dosežemo na osnovi dveh zahtev:

- V omrežju so signali multipleksirani in komunikacijo podpira potrebna elektronika. Signal vodimo do bližine skupine domov.
- Iz točke v bližini skupine domov vodimo signal do posameznih domov na več načinov:



Slika 10. Struktura omrežja za kabelsko televizijo z razpršenem oddajanjem in za optično omrežje FITL.

1. Optični signal pasivno razcepimo po moči na več enakih delov. Razcepniki moči so ponavadi izdelani za ločevanje na 16 ali 32 delov. Razdeljene optične signale vodimo po vlaknu do posameznega doma brez vsake elektronike. Če ima uporabnik le enosmerno komunikacijo, potrebuje le optični detektor. Za internet potrebujemo asimetrično dvosmerno komunikacijo, zato dodamo poleg razcepnika še združevalnik.

2. Optični signal pretvorimo v električnega in ga preko žične ali brezžične zveze povežemo do naročnika. Dolžina teh zvez ne more biti daljša od nekaj sto metrov, če hočemo zagotoviti zares širokopasovni prenos nad 100 Mb/s.

Gradnja v celoti optičnih omrežij do naročnikov je za sedaj zelo vprašljiva. Četudi zmanjšamo stroške širokopasovne zveze za internet v hrbteničnem omrežju, preostanejo še zveze do domov. Za te moramo polagati lokalne kable v dolžini od sto metrov do nekaj kilometrov, kjer stroški polaganja pogosto presegajo vrednost kabla. V literaturi najdemo navedbo, da bi bila cena instalacije vlakna za povprečnega naročnika v ZDA do vhodnih vrat približno 1.500 USD za optični kabel do gospodinjstev s hitrostjo do 1Gb/s. Za ZDA bi to predstavljalo za 110 mio gospodinjstev vsoto 160 milijard USD. Za tako investicijo bi bilo zelo težko zbrati denar, ker je zelo vprašljivo, če bi uporabniki bili voljni plačati temu primerno naročnino. Pri tovrstnih investicijah v infrastrukturo se dostikrat določi razmerje med prispevkom za instalacijo ob začetku in nato ustreznim deležem v naročnini. Pogosto je omenjano razmerje 15% in 85%. Glede na višine sedanjih naročnin in koliko so ljudje pripravljeni odšteti za širokopasovni internet, tako drag projekt – vlakno do doma – ni izvedljiv.

2.4 Lokalno elektroenergetsko omrežje

Pri medmestnih povezavah za internet bodo kot konkurenti telekomom nastopala elektrogospodarska in železniška podjetja s svojimi obsežnimi in zmogljivimi optičnimi omrežji, prvi na daljnovodih in drugi ob železniških progah. Za dostop do hišnih vrat imajo možnosti le distribucijska elektrogospodarska podjetja. Do transformatorskih postaj bodo morali napeljati optične vodnike, od tam naprej pa obstoječe žično omrežje sorazmerno kratkih razdalj, ki je za silo tudi uporabno kot dostopno omrežje za internet. Pri prenosu podatkov po obstoječem energetskem omrežju so bili doseženi kar vzpodbudni rezultati. Problem je zagotoviti zadostno prenosno kapaciteto množici naročnikov, ki so skupaj priključeni na eno transformatorsko postajo.

Druga rešitev je napeljava optičnega kabla do vsakih vhodnih vrat, kar bi bilo sorazmerno drago, vendar ne neizvedljivo. Zavedati se moramo osnovnega problema sodobnega elektrogospodarstva, kako zagotoviti sprejemljivo oskrbo z električno močjo z minimalnimi investicijami v prenosno omrežje. Investicije v krmiljen odjem na omrežju pri potrošnikih lahko povečajo množino dobavljene energije za nekajkrat ob nespremenjenem prenosnem omrežju. Statistika iz ZDA kaže, da se je v zadnjih dvajsetih letih razmerje med dobavljeno energijo v GWh in kapaciteto generacije v MW povečalo za enkrat. Na to je vplivalo predvsem **krmiljenje odjema z ustrezno tarifno politiko pri velikih odjemalcih**. Nadaljnje izboljšave pri krmiljenju porabe tudi pri manjših odjemalcih bodo ta razmerja še nekaj časa izboljševale. Upoštevati

moramo, da imamo precejšen delež porabe pri gospodinjstvih in v javnih ter poslovnih prostorih. Ta dosega v Sloveniji slabo polovico. Pričakuje se, da bo ta delež v prihodnosti presegel 50%. To področje odvzema predstavlja izredno veliko število odjemnih mest z majhnim posameznim odvzemom energije. V razpredelnici 7 so podana razmerja med porabo različnih kategorij potrošnikov.

Deleži porabe v %	SLO	EU	ZDA
Industrija	52	45	35
Gospodinjstva	31	30	35
Javni/poslovni sektor	13	20	30
Ostalo	4	5	1

Tabela 7. Deleži porabe električne energije v Sloveniji, Združeni Evropi in Združenih državah Amerike.

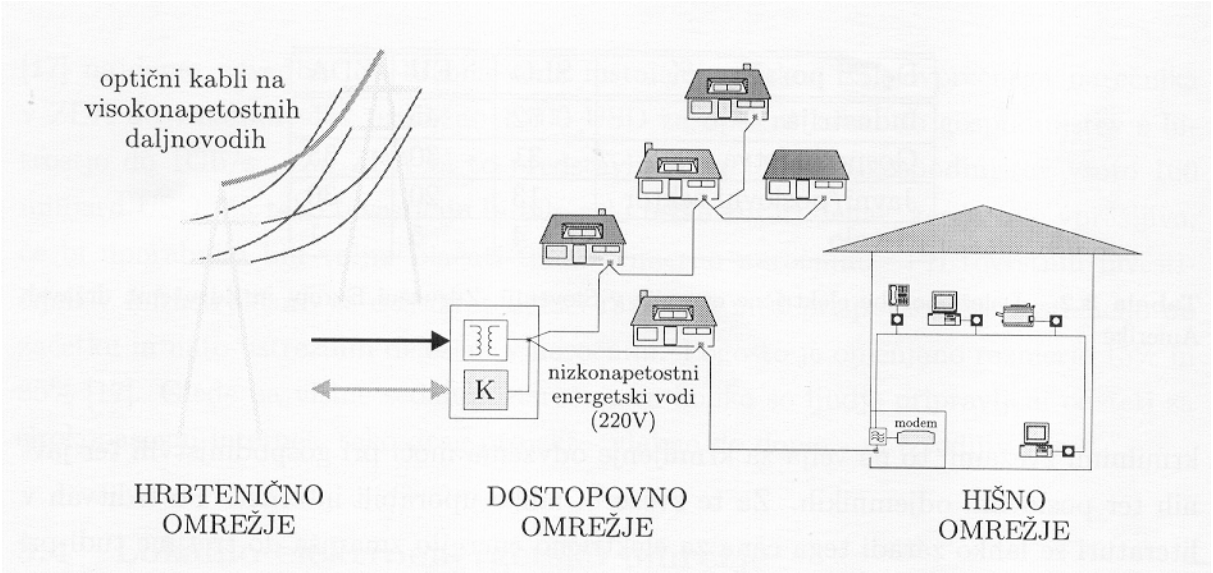
Če lahko trdimo, da je industrija z elektrogospodarstvom povezana z ustreznimi krmilnimi zvezami, to ne velja za krmiljenje odvzema moči pri gospodinjstvih ter javnih ter poslovnih odjemnikih. Za te zveze bi lahko uporabili internet. Po trditvah v literaturi se lahko zaradi tega cena za električno energijo zmanjša do tretjine tudi pri odjemalcih majhnih moči. Krmilno omrežje za porabo je lahko kar omrežje interneta. Tudi ostala avtomatika stanovanj (razsvetljava, ogrevanje,) naj bi bila povezana na internet. Instalacija interneta na domovih bi torej lahko prispevala k nižji ceni električne energije za uporabnike in zmanjšanju investicij elektrogospodarskih podjetij v prenosno omrežje. Ti dve prednosti sta lahko investitorju in uporabniku zadostna vzpodbuda celo za prodor optike do vrat stanovanja.

Teh dejstev se zavedajo nekatera distribucijska podjetja v tujini, ki že nekaj let ob električni napeljavi k novogradnjam dodajajo tudi optični vodnik. V prizadevanja za priključitev prebivalstva na internet so vključene tudi lokalne oblasti ali celo države. Za njih je povezava z elektrodistribucijskimi omrežji posebej v ZDA dokaj pogosta in izpeljanih je bilo več projektov. Ti projekti se kot kaže niso razmahnili do vsesplošnega uvajanja interneta po omenjeni poti.

Internet v povezavi z elektrogospodarstvom in krmiljenjem porabe zahteva tudi v domovih ustrezno računalniško in krmilno opremo. Najbolj primerno je, da se na osnovi elektroenergetske napeljave izgradi tudi hišno omrežje za povezavo vseh računalnikov na internet in za izmenjavo podatkov med računalniki in periferno opremo. V primeru uresničitve takega scenarija se bodo ustvarile močne povezave elektroenergetskih podjetij in ponudnikov interneta. Podoben odnos je trenutno aktualen med

telekomi, kabelskimi operaterji in ponudniki interneta. Glede na vsestransko uporabnost interneta ne moremo v celoti predvideti vseh akterjev, ki se bodo povezovali in iskali svoj delež zaslužka.

Možnosti, ki jih nudi omrežje elektrogospodarstva za dostop na internet, podaja slika 11. Transformatorske postaje naj bi bile za dvosmerni prenos internetnih signalov povezane s svetlobnimi vodniki, delno po že obstoječih zvezah daljnovodnega omrežja. V Evropi posamezni transformatorji napajajo z omrežno napetostjo 220 V približno 300-400 domov. Iz transformatorjev vodijo kovinski vodniki v vsak dom.



Slika 11. Omrežje elektrogospodarstva za dostop na internet.

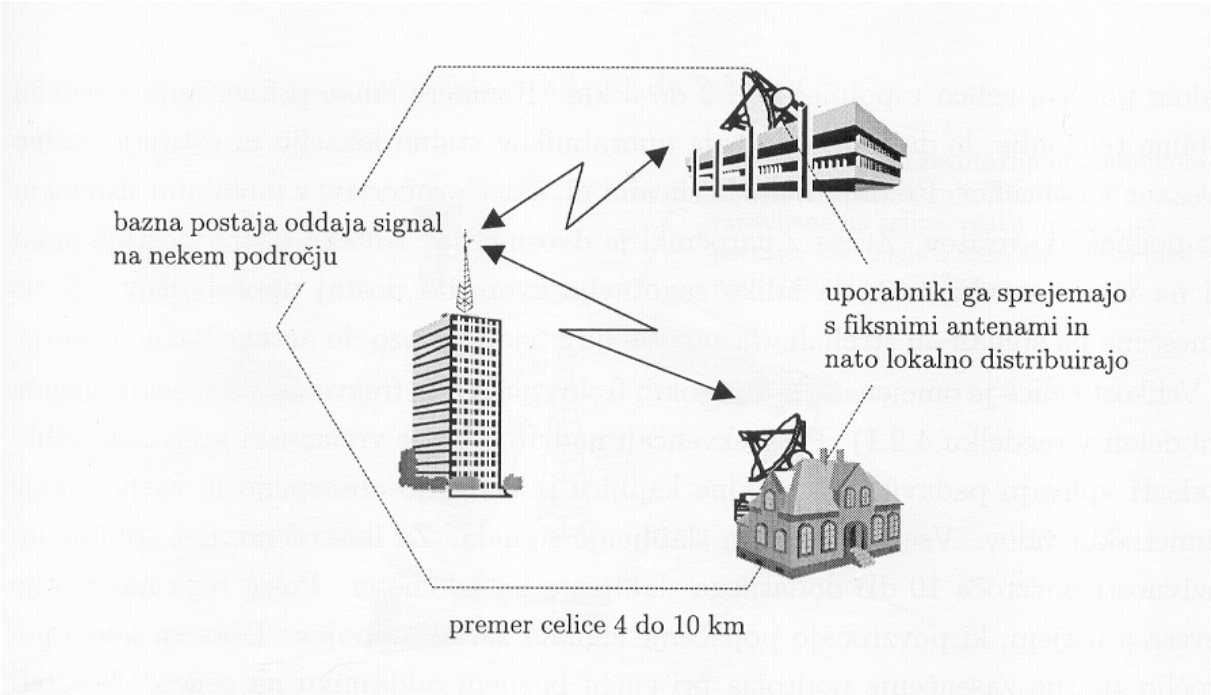
Preko teh povezav moremo z ustrezno tehnologijo na kratkih razdaljah zagotoviti širokopasovni prenos na osnovi razpršene oddaje s hitrostjo do 10 Mb/s proti naročniku. Obstajajo tudi že rešitve za prenos s hitrostjo 2 Mb/s. Kot prenosni način se bo verjetno uveljavil postopek z razširjenim spektrom. V smeri od uporabnika bo tudi potrebno zagotoviti prenos ustrezno manjše hitrosti.

Predvidevanja na področju prenosa po elektroenergetskih vodih so ta trenutek bolj v oblakih. Objave v literaturi in prizadevanja proizvajalcev integriranih vezij ter podjetij elektrogospodarstev pa vzbujajo upanje, da jih bo možno uspešno tehnično realizirati. V zadnjem času so izredno zanimiva hišna omrežja, ki so lokalna omrežja na osnovi energetske napeljave po stanovanju.

2.5 Brezžična razdelilna omrežja

To so omrežja, ki jih uporabljamo za brezžično premostitev razdalje do uporabnikov v zadnjih kilometrih. Takšen način je zanimiv zaradi hitrega in cenejšega pokrivanja terena z omrežjem brez polaganja žic ali optičnih vlaken. Značilnost teh omrežij je, da niso namenjena mobilnemu naročniku. Sprejemna antena uporabnika je fiksna, ponavadi montirana na strehi ali steni stavbe, do katere je speljan signal. Princip je prikazan na sliki 12.

Telefonska industrija že dolgo pozna takšne sisteme pod imenom brezžična lokalna zanka (WLL – Wireless Local Loop) ali radijska lokalna zanka (RLL – Radio Local Loop). Ti so služili za prenos telefonskih zvez. Sistemi WLL se predvsem v telekomunikacijsko manj razvitih državah še vedno intenzivno gradijo.



Slika 12. Princip brezžičnega razdelilnega omrežja do fiksnih naročnikov.

Na tem področju se je zelo uveljavil tudi DECT (Digital European Cordless Telephone), ki je bil sicer načrtovan za brezvrvično telefonijo bolj lokalnega značaja. Vendar pa telefonski sistemi praviloma ne nudijo večjih prenosnih hitrosti, zato jih ne bomo posebej obravnavali.

Bolj zanimiva za dostop uporabnikov do podatkovnih omrežij so širokopasovna brezžična razdelilna omrežja. V Ameriki se uveljavlja kratica LMDS (Local Multipoint Distribution System), v Evropi pa FWA (Fixed Wireless Access) in bolj splošna BWA (Broadband Wireless Access). Tovrstni sistemi temeljijo na radijski povezavi z digitalnim prenosom z različnimi hitrostmi do 155 Mb/s. Velike prenosne hitrosti so lažje dosegljive zato, ker naprave delujejo v sorazmerno širokih frekvenčnih področjih. To je mogoče, ker so jim dodelili zelo visoke frekvence, ki so primerne le za kratke dosege in za zveze neposredne vidljivosti med oddajnikom in sprejemnikom. Frekvenčna področja so določena z nacionalnimi predpisi in so v področju milimetrskih valov od 2 do 42 GHz. V ZDA imajo operaterji LMDS na primer na razpolago frekvenčen pas širine 1,3 GHz v področju okoli 28 GHz. Za primerjavo, sistem mobilne telefonije GSM ima na razpolago 50 MHz na frekvencah okrog 0,9 GHz, mobilni sistemi tretje generacije pa so imeli že na začetku okrog 150 MHz.

Za uveljavljanje širokopasovnih razdelilnih sistemov je pomemben napredek tehnologije v zadnjih letih, ki omogoča uporabo digitalnih signalnih procesorjev za izredno zmogljivo obdelavo ter integriranih vezij za ojačevanje signalov zelo visokih frekvenc na osnovi galijevega arzenida. Integrirana vezja na osnovi galijevega arzenida imajo znatno boljše lastnosti od vezij na osnovi silicija.

Sistem sestavljajo bazna postaja in postaje pri naročnikih. Bazna postaja s signalom pokriva celico v polmeru od 2 do 5 km. Razmere lahko primerjamo s sistemi mobilne telefonije, le da imajo postaje uporabnikov stalno lokacijo in ostajajo stalno povezane v isti celici. Prehajanj med celicami ni, kar v primerjavi z mobilnim sistemom zelo poenostavi rešitev. Zveza z naročniki je dvosmerna. Antena bazne postaje mora biti na visoki stavbi, tako da lahko zagotavlja zveze do postaj uporabnikov. Te so nameščene na stenah ali strehah, da zagotavljajo vidno zvezo do antene bazne postaje.

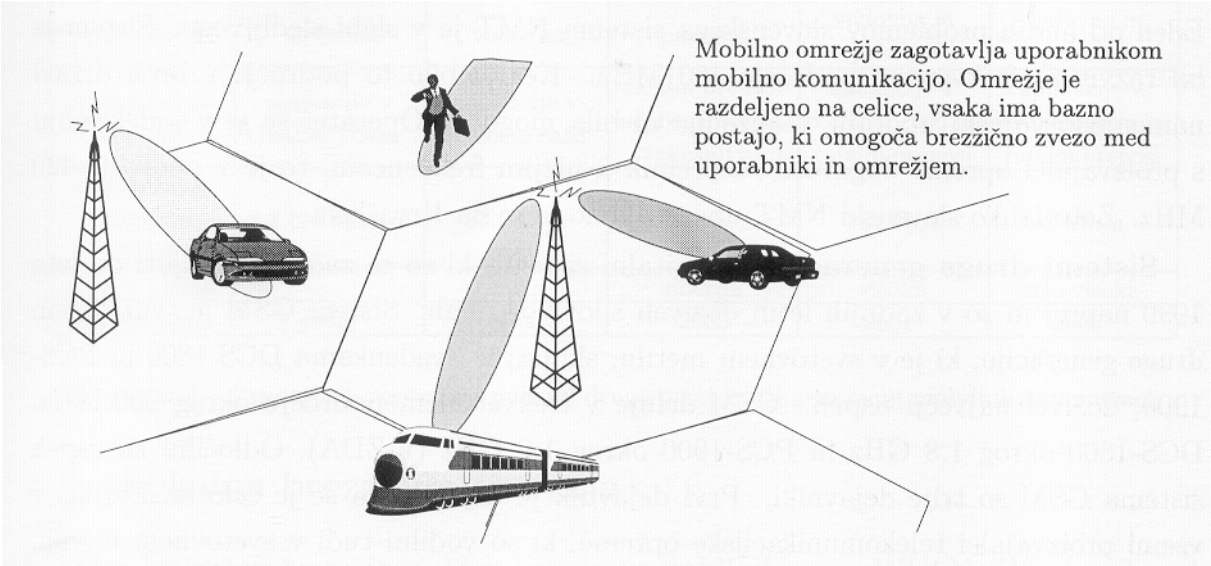
Velikost celice je omejena zaradi visokih frekvenc. Pri frekvencah nad 15 GHz je vremenski vpliv zelo velik. Še zlasti vplivajo padavine, saj vodne kapljice povzročajo absorpcijo in razprševanje milimetrskih valov. V se to povzroča slabljenje signala. Za ilustracijo, dež srednje intenzivnosti povzroča 10 dB dodatnega slabljenja na kilometer. Poleg tega nas motijo drevesa z listjem, ki povzročajo popačenje signala zaradi odbojev. Drevesa lahko povzročijo znatno zasenčenje področja pri enem baznem oddajniku na celico. Nekateri operaterji pokrivajo posamezne celice iz več lokacijsko razmeščenih oddajnikov, zato da dosegajo boljše pokrivanje področja. Slednje je dražja, toda kakovostnejša rešitev. Večina razdelilnih sistemov uporablja asinhroni prenosni način (ATM). Takšen prenos omogoča prepletanje več pritokov različnih podatkovnih signalov. Sočasno lahko prenašamo govorne in podatkovne signale z zagotovljeno kakovostjo storitev.

Zanimivo pa je, da na področju razdelilnih omrežij še ni standarda, ki bi to urejal. V Evropi je v pripravi sistem HIPERACCESS, ki nastaja v okviru ETSI. Ta bo omogočal uporabne podatkovne hitrosti okrog 25 Mb/s pri frekvencah 40 GHz. Standardizacija sistema je del širšega evropskega projekta BRAN (Broadband Radio Access Network.

Brezžična razdelilna omrežja predstavljajo zanesljivo in cenovno ugodno rešitev tako za ponudnike kot uporabnike širokopasovnih storitev. Odlikuje jih hitra postavitev z minimalno infrastrukturo. Ti sistemi bodo se posebno zanimivi za profesionalne naročnike z večjimi zahtevami.

2.6 Mobilna omrežja

Med vsemi brezžičnimi omrežji so danes v najširši uporabi mobilna telefonska omrežja. Osnovni namen teh omrežij je zagotavljanje komunikacij mobilnim uporabnikom (slika 13). Do nedavnega so bile to v glavnem govorne storitve, danes pa so razvojne aktivnosti močno usmerjene v smeri podatkovnih prenosov. Tako bodo mobilna omrežja nedvomno tudi eden od zelo pomembnih načinov dostopa uporabnikov do interneta. Seveda do takšnih storitev, ki jih bodo relativno nizke prenosne hitrosti omogočale. Trenutne podatkovne hitrosti so v praksi do 43,2 kb/s pri GSM s HSCSD nadgradnjo, pri tretji generaciji pa je predvidena hitrost do 2 Mb/s.



Slika 13. Dostop uporabnikov do storitev preko mobilnega omrežja.

Mobilna omrežja delimo na tri generacije, od katerih je tretja še vedno v razvojni fazi.

Sistemi prve generacije so analogni sistemi, ki jih časovno uvrščamo med leti 1980 in 1990. Načrtovani so bili izključno za prenos govornega signala, zato so za dostop do podatkovnih storitev neuporabni. Sistem te generacije, ki deluje v Sloveniji, je NMT. Deluje na frekvencah okrog 420 MHz. Ker se radijski signali nižjih frekvenc bolje razširjajo po prostoru (glej poglavje 3), sistem NMT v določenih predelih še danes izkazuje boljše pokrivanje od novejšega sistema GSM, ki deluje na višjih frekvencah. Eden od hudih problemov slovenskega sistema NMT je v slabi sledljivosti. Sistem je bil razvit za frekvenčno področje 450 MHz. Ker je bilo to področje v bivši državi namenjeno vojaški uporabi, realizacija ni bila mogoča. Operater se je v sodelovanju s proizvajalci opreme dogovoril za premik k nižjim frekvencam, to je v področje 420 MHz. Zato lahko slovenski NMT uporabljamo le še na Hrvaškem.

Sistemi druge generacije so digitalni sistemi, ki so se začeli pojavljati od leta 1990 naprej in so v zadnjih letih doživeli silovit razmah. Sistem GSM je tisti sistem druge generacije, ki je v svetovnem merilu, skupaj z izvedenkama DCS-1800 in PCS-1900, doživel največji uspeh. GSM deluje v frekvenčnem področju okrog 900 MHz, DCS-1800 okrog 1.8 GHz in PCS-1900 okrog 1.9 GHz (v ZDA). Odločilni za uspeh sistema GSM so trije dejavniki. Prvi dejavnik je dejstvo, da se je celotna Evropa z vsemi proizvajalci telekomunikacijske opreme, ki so vodilni tudi v svetovnem merilu, poenotila in sprejela en sam standard. Drugi dejavnik so tehnične značilnosti sistema, med katerimi je zelo pomembna zlasti možnost prehajanja uporabnika med omrežji različnih operaterjev. Tretji dejavnik je sprostitev monopolov na trgu telekomunikacij, kar je povzročilo padec cen storitev mobilnih komunikacij. Pregled pokaže, da je stopnja penetracije mobilnih komunikacij po državah močno povezana s cenami. Najnižje cene imajo denimo skandinavske države, zato je tudi penetracija največja. Velika Britanija, ZDA in Francija imajo precej višje cene in posledično tudi nižjo penetracijo.

Sistemi tretje generacije, poznamo jih pod kratico IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000), so v fazi razvoja. Odpravljajo marsikatero slabost sistemov prve in druge generacije. Sistem tretje generacije v Evropi je UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Omogočal bo višje podatkovne hitrosti 144 kb/s s satelitsko komponento za globalno mobilnost, 384 kb/s v urbanih okoljih in 2Mb/s lokalno. Sistem predvideva integracijo satelitske in prizemne komponente v navidez en sam sistem.

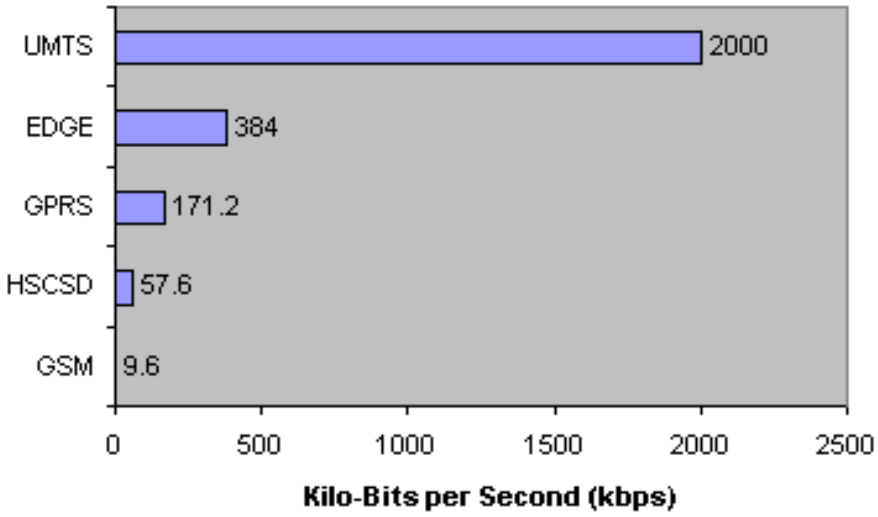
Trenutno smo v fazi prehoda med drugo in tretjo generacijo mobilnih komunikacij. Pregled osnovnih lastnosti sistemov na prehodu je podan v tabeli 8.

Sistemi mobilnih komunikacij so gotovo med bolj zanimivimi in obetajočimi dostopovnimi tehnologijami. časovni plani in hitra rast števila uporabnikov kažejo na izredno propulzivnost področja mobilnih

komunikacij. Prenosne hitrosti, ki jih bodo omogočali sistemi tretje generacije, obetajo hiter brezžičen dostop do interneta. Razvoj sistema UMTS z vsemi predvidenimi komponentami bo v Evropi v prihodnje nedvomno ena od glavnih smernic razvoja ne samo brezžičnih, temveč podatkovnih komunikacij nasploh.

	GSM	HSCSD	GPRS	EDGE	UMTS
komutacija	vodovna	vodovna	paketna	vodovna in paketna	vodovna in paketna
možne aplikacije	v realnem času	v realnem času	rafalni prenosi, zakasnitve	v realnem času in rafalni prenosi	v realnem času in rafalni prenosi
najvišja hitrost prenosa	9,6(14,4) kb/s	57,6 kb/s	115 kb/s	384 kb/s	2 Mb/s
cena uvajanja		nizka	zmerna	visoka	zelo visoka

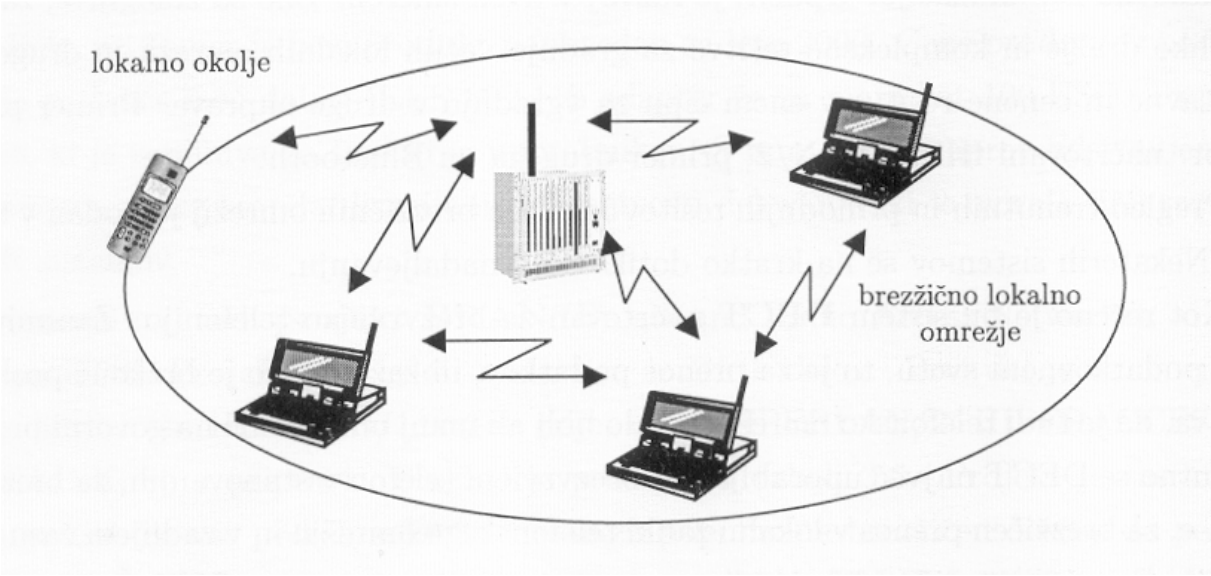
Tabela 8. Primerjava rešitev na poti od druge proti tretji generaciji mobilnih komunikacij.



Slika 14. Hitrosti prenosa podatkov pri različnih tehnologijah mobilnih komunikacij.

2.7 Lokalna brezžična omrežja

Lokalna brezžična omrežja, v literaturi se uporablja kratica WLAN (Wireless Local Area Network), bodo v prihodnosti postala pomemben način gradnje lokalnih omrežij. Gre za način brezžične povezave uporabnikov v lokalno omrežje, npr. znotraj poslovne zgradbe ali stanovanjske hiše. Rešitve so praviloma omejene na notranje prostore (angl. indoor). Pogosto se uporablja tudi ime domača omrežja (angl. home networks).



Slika 15. Princip lokalnega brezžičnega omrežja.

Omrežja WLAN odlikuje predvsem hitra postavitev, fleksibilnost in lokalna mobilnost uporabnika. To pomeni, da ni potrebno ob vsaki najmanjši spremembi v pisarni na novo vleči žic do novega priključnega mesta. Rešitve, ki so na voljo v tem trenutku, že nudijo prenosne hitrosti preko 10 Mb/s. V primerjavi s temi hitrostmi se hitrosti, ki jih nudijo sicer veliko bolj razširjeni mobilni sistemi (npr. GSM), zdijo zelo zasilne (podatkovna hitrost trenutno največ 57,6Kb/s). Hitrosti omrežij WLAN ne bodo dosegli niti mobilni sistemi tretje generacije, ki bodo nudili hitrosti do 2 Mb/s (npr. UMTS)

Zgodovinsko gledano je razvoj lokalnih brezžičnih omrežij potekal v dveh smereh, ki sta vezani na že preteklo delitev govornih in podatkovnih komunikacij.

- Uporabniki telefonskih omrežij so uporabljali **brezvrvične sisteme** (angl. cordless) kot brezžičen podaljšek telefonskih omrežij. Ti sistemi so bili sprva analogni in namenjeni le govorni komunikaciji (npr. sistemi CTO, CT1, CT1+), kasneje pa digitalni z možnostjo tudi podatkovne komunikacije (npr. CT2, DECT, japonski PHS).

Vendar so vsi ti sistemi praviloma ostali v domeni telefonskega omrežja.

- Po drugi strani so se na pobudo računalnikarjev razvijali sistemi za **brezžičen dostop do lokalnih podatkovnih omrežij**, ki so bili namenjeni izključno podatkovni komunikaciji. Prvi takšni produkti so se na tržišču pojavili že okrog leta 1990. Sistemi so delovali v brezlicenčnih frekvenčnih področjih ISM, kjer ni potrebno dovoljenje za obratovanje, bili so nestandardizirani, brez širše podpore industrije, nezanesljivi in dragi.

Z zlivanjem govornih in podatkovnih omrežij pa opisane delitve izginjajo. Večina novih sistemov, ki so že na trgu ali pa še v fazi načrtovanja, podpira tako govorno kot podatkovno komunikacijo. Opaziti je razvoj v dveh smereh. Eno so zmogljive, zato pa nekoliko dražje in kompleksne rešitve za gradnjo večjih lokalnih omrežij in drugo zelo enostavne in cenene rešitve v enem čipu za vgradnjo v druge naprave. Primer prvega je npr. načrtovani IEEE 802.11, primer drugega pa Bluetooth.

Pregled trenutnih in prihodnjih rešitev lokalnih brezžičnih omrežij je podan v tabeli 9. Nekaterih sistemov se na kratko dotikamo v nadaljevanju.

Kot rečeno je bil sistem **DECT** načrtovan za brezvrvično telefonijo. Zanimivo je, da v podatkovnem svetu, to je za prenos podatkov, ni zaživel. To je bržkone posledica dejstva, da je tudi telefonsko omrežje ostalo bolj ali manj omejeno le na govorni promet. Trenutno se DECT največ uporablja kot brezvrvični telefon v stanovanjih, za brezžične PBX-e, za brezžičen prenos v lokalni zanki telefonskega omrežja in v zadnjem času (npr. v Veliki Britaniji) tudi kot lokalna komponenta mobilnega sistema GSM. Še zlasti hitro se uveljavlja na področju brezžične lokalne zanke, to je za brezžična razdelilna omrežja v manj razvitih regijah. Pričakovati je, da se bo razvoj sistema DECT nadaljeval, še posebej ob dejstvu, da je bil frekvenčno-časovni sodostop v DECT sprejet kot ena od petih rešitev za prizemni radijski dostop sistemov tretje generacije.

Pomembna rešitev med omrežji majhnega dosega je postal **IEEE 802.11** (standardiziral IEEE leta 1997). Pred nekaj leti so bila pričakovanja v Evropi predvsem v smeri uveljavitve sistema **HIPERLAN/1** (standardiziral ETSI leta 1997), vendar je v praksi prevladal ameriški standard, tako da danes produktov, ki bazirajo na HIPERLAN tehnologijah skoraj ne najdemo. Produkti IEEE802.11b, ki nudijo prenosne hitrosti do 11 Mb/s so na trgu že precej razširjeni in s tem so posledično cene tako nizke, da je produkte možno dobiti že za manj kot 50 USD. S takšnimi cenami je bila odstranjena še zadnja ovira – poleg standardizacije in zanesljivosti delovanja – pri širši uveljavitvi WLAN sistemov.

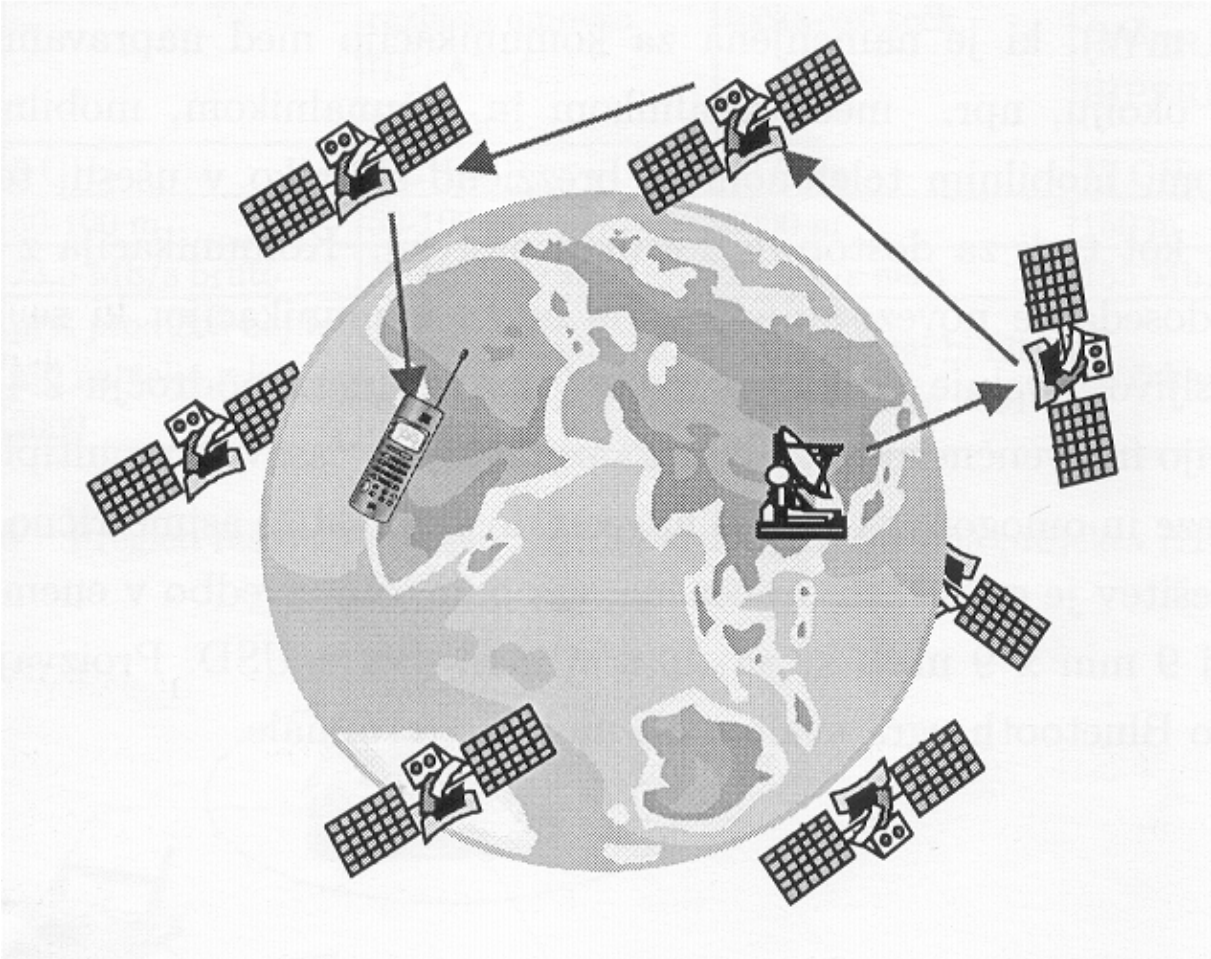
Bluetooth je radijska tehnologija kratkega dosega (reda 10 m) in zelo majhnih moči (do 100 mW), ki je namenjena za komunikacijo med napravami v domačem in poslovnem okolju, npr. med tiskalnikom in računalnikom, mobilnim telefonom in računalnikom, mobilnim telefonom in brezžično slušalko v ušesu, televizorjem in štedilnikom..., kot tudi za dostop do lokalnih omrežij. Komunikacija z Bluetooth bo nadomeščala dosedanje povezovanje s kabli in IR komunikacijo, ki se je izkazala za precej nezanesljivo. Deluje v nelicenciranem frekvenčnem področju 2.4 GHz, uporablja kombinacijo frekvenčnega in časovnega sodostopa s časovnim multipleksiranjem za dvosmerne zveze in omogoča prenosne hitrosti do 723.2 kb/s asimetrično in 433.9 kb/s simetrično. Rešitev je enostavna in cenena, saj omogoča izvedbo v enem integriranem vezju velikosti 9 mm x 9 mm, ki naj bi stal manj kot 5 USD. Proizvajalci mobilnih telefonov Bluetooth pospešeno vgrajujejo v mobilne terminale.

Rešitev	delovanje fizičnega sloja	sodostop	frekvenčno področje	maksimalna prenosna hitrost	razpoložljivost produktov
DECT	GMSK	TDD/TDMA	2 GHz	1152 kb/s (24x32 kb/s neto)	na voljo
Open Air	FHSS	CSMA/CA	2,4 GHz (ISM)	1,6 Mb/s	na voljo
HomeRF	FHSS	CSMA/CA	2,4 GHz (ISM)	1 Mb/s	na voljo
802.11	FHSS, DSSS, IR	CSMA/CA	2,4 GHz (ISM)	1 ali 2 Mb/s	na voljo
802.11b	CCK DSSS	CSMA/CA	2,4 GHz (ISM)	11 Mb/s	na voljo
802.11a	OFDM	CSMA/CA	5 GHz (ISM)	54 Mb/s	na voljo
HIPERLAN1	GMSK	EY-NPMA	5 GHz	23,5 Mb/s	ni uspel
HIPERLAN2	BPSK, QPSK ali 16-QAM na OFDM	TDD/TDMA	5 GHz	54 Mb/s	ni uspel
Bluetooth	FHSS	TDD/FH	2,4 GHz (ISM)	1 Mb/s	na voljo

Tabela 9. Pregled rešitev lokalnih brezžičnih omrežij majhnega dosega. Opomba: Pri navajanju hitrosti je potrebno upoštevati, da so to bruto prenosne hitrosti, ki si jih pri sodostopu z zaseganjem kanala deli več uporabnikov sistema. Uporabne podatkovne hitrosti znašajo v praksi med 50 in 70% prenosne hitrosti.

2.8 Satelitska omrežja

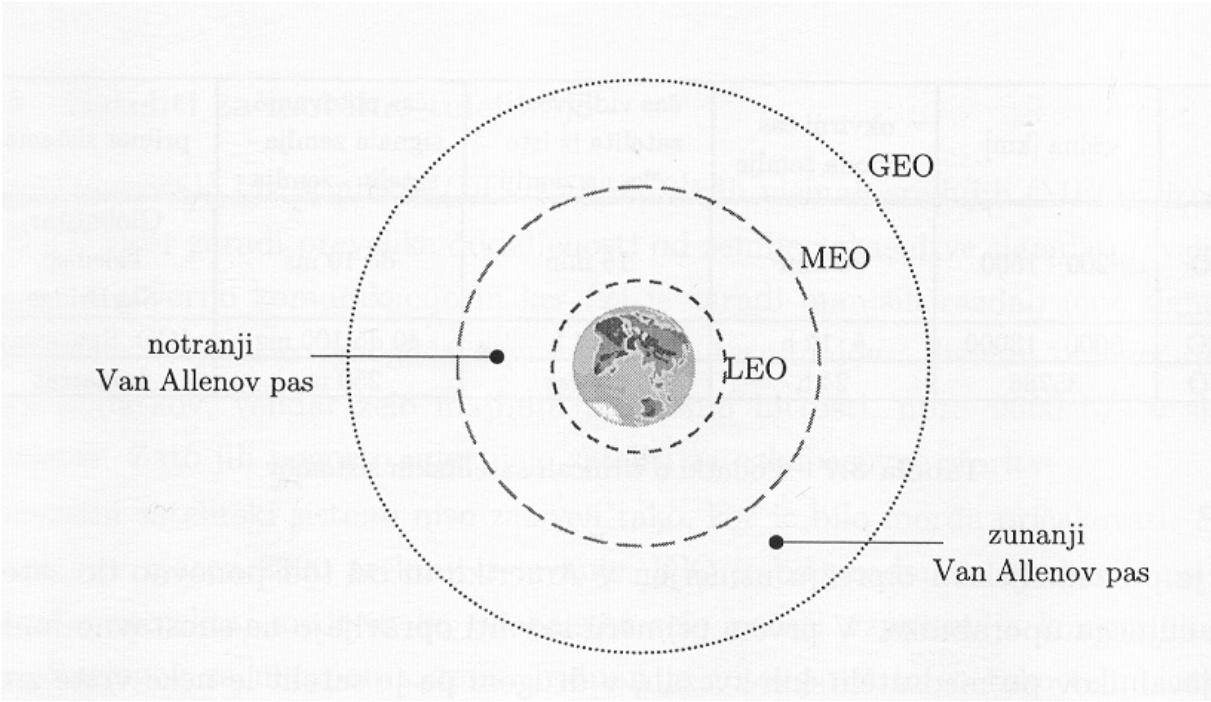
Prihodnosti komunikacij si ne moremo zamisliti brez satelitskih sistemov (slika 16). Satelitski sistemi nedvomno imajo kar nekaj prednosti pred prizemnimi sistemi. Najbolj očitni sta globalno pokrivanje ter enostavno doseganje nedostopnih in redko naseljenih predelov. V ZDA naj bi to bila edina rešitev za tretjino prebivalstva. Po oceni je okrog 80% zemeljske površine nepokrite s signali prizemnih sistemov. Vendar so v zadnjem času, predvsem zaradi neuspeha satelitskega sistema Iridium, ki je marca 2000 prekinil delovanje, napovedi bolj zadržane. Problem satelitskih sistemov je predvsem v velikih zagonskih stroških, saj satelitskega sistema ni moč graditi postopno. To predstavlja veliko začetno tveganje, ki ga še ne povsem zrela tehnologija (spomnimo se številnih neuspelih izstrelitev raket s sateliti) še dodatno povečuje.



Slika 16. Princip delovanja satelitskega omrežja.

Tirnice satelitov. Satelitski sistemi za javno uporabo uporabljajo tri vrste krožnih tirnic, ki jih prikazuje slika (slika 17):

- **nizke tirnice** (LEO - Low Earth Orbit) na višini od 200 do 1.500 km nad površjem zemlje,
- **srednje tirnice** (MEO - Medium Earth Orbit) od 5.000 do 13.000 km nad površjem zemlje in
- **geostacionarno tirnico** (GEO - Geostationary Orbit) na višini 35.786 km nad ekvatorjem.



Slika 17. Krožne tirnice LEO, MEO in GEO.

Geostacionarni sateliti krožijo v višini 35.786 km nad zemljo nad ekvatorjem z enako kotno hitrostjo, kot jo ima vrtenje zemlje. Zaradi tega sateliti GEO glede na površino zemlje navidez mirujejo. Komunikacija med sateliti in uporabniki poteka preko fiksnih usmerjenih anten. S tremi sateliti GEO lahko pokrijemo večino zemeljske površine, razen polarnih področij. Hibi geostacionarnih sistemov sta

(1) **v veliki zakasnitvi signala na prenosni poti**, saj prelet signala iz zemlje do satelita in nazaj traja približno 250 ms. To povzroča težave pri govornih in interaktivnih podatkovnih komunikacijah. Težava je tudi

(2) **v precejšnji velikosti sprejemnih anten**, ki jih potrebujemo na zemlji za sprejem signala.

Sateliti LEO in MEO potujejo okoli zemlje po nižjih tirnicah, zato za obhod okoli zemlje potrebujejo manj časa. Dobri strani nižjih tirnic sta majhna zakasnitev zaradi preleta signala in manjše antene, ki so potrebne za sprejem. Po drugi strani pa kratki obhodni časi predstavljajo oviro, saj je

vidljivost določenega satelita iz fiksne točke na zemlji relativno kratka. To pomeni, da mora biti komunikacija med trajanjem zveze preusmerjena na drug satelit. Zaradi manjših višin potrebujemo bistveno več satelitov za pokrivanje celotne zemeljske oble, npr. 48 pri sistemu Globalstar na višini približno 1400 km.

Okvirni podatki o tirnicah satelitov so podani v tabeli 10.

Usmerjanje na nebu ali usmerjanje na zemlji. Predstavljajmo si, da vzpostavljamo komunikacijo preko satelitskega sistema iz Evrope v Ameriko. Signal gre od uporabnikove postaje do satelita. Od tu dalje obstajata dve možnosti. Signal lahko nadaljuje pot po satelitskem omrežju do končnega satelita (primer na sliki 16), ki vidi ciljnega uporabnika, ali pa ga satelit le preusmeri nazaj do centra na zemlji, od koder je po zemeljskem omrežju usmerjen v Ameriko in od tod ponovno do satelita, ki vidi ciljnega uporabnika. V prvem primeru sateliti opravljajo ne enostavno funkcijo usmerjevalnikov po medsatelitskih zvezah, v drugem pa je satelit le neke vrste zrcalo, ki signal transparentno pošlje nazaj na zemljo. Seveda potrebujemo v drugem primeru več infrastrukture na zemlji. Primer sistema z usmerjanjem v satelitih sta npr. Iridium in Teledisc, z usmerjanjem na zemlji pa Globalstar in SkyBridge.

	Višina [km]	Okvirni čas obhoda zemlje	Čas vidljivosti satelita iz iste točke na zemlji	Čas potovanja signala zemlja–satelit- zemlja	Primer sistema
LEO	200–1500	90 min	15 min	Do 10 ms	Globalstar, Teledisc, SkyBridge
MEO	5000–13000	5 – 12 h	2 – 4 h	40 do 100 ms	ICO, Spaceway
GEO	35786	24 h	Ves čas	250 ms	Inmarsat

Tabela 10. Podatki o tirnicah satelitskih sistemov.

Oblikovanje ozkih snopov. Zaradi velike oddaljenosti satelitov od zemlje nastopa tudi problem oblikovanja dovolj ozkega snopa za pokrivanje sorazmerno majhnih površin s ciljno skupino uporabnikov. To je se posebno aktualno pri komunikaciji na osnovi frekvenčnega sodostopa. Če želimo uporabljati iste frekvenčne kanale v več celicah sočasno brez medsebojnih motenj, potrebujemo na satelitih zelo zahtevne in tudi mehansko velike antene v izvedbi antenskih skupin.

Delitev satelitskih sistemov. Na področju javnih satelitskih komunikacij ločimo dve vrsti sistemov:

- satelitski sistemi za mobilno telefonijo. Ti so načrtovani za zagotavljanje mobilnih govornih komunikacij na celi zemeljski obli. Sem spadajo npr. Iridium, Globalstar, ICO, Odyssey.

- satelitski sistemi za širokopasovne podatkovne komunikacije. Ti so načrtovani za podatkovne prenose velikih hitrosti in opravljajo funkcijo razdelilnega omrežja.

V nobeno od teh skupin pa ne spadajo aeronavtične ploščadi. Običajni sateliti se gibljejo okrog zemlje izven Zemljine atmosfere. Aeronavtične ploščadi pa so bistveno nižje, to je v Zemljini atmosferi. Gre za novo tehnologijo, ki se bo šele uveljavila. V nadaljevanju si bomo na kratko ogledali omenjene vrste sistemov.

2.8.1 Sateliti za mobilno telefonijo

Sateliti za mobilno telefonijo morajo biti v nizkih (LEO) ali na nižjih višinah srednjih (MEO) tirnic, ker bi bile sicer prvič zaradi prevelike oddaljenosti od zemlje zakasnitve signala prevelike ter moteče za govorno komunikacijo in drugič, ker je zaradi manjših razdalj moč signala na sprejemniku večja, kar omogoča žepne izvedbe terminalov. Sistemi omogočajo tudi prenos podatkov, vendar zelo majhnih prenosnih hitrosti, npr. 9600 b/s v sistemu Globalstar. Zato jih pogosto imenujejo sateliti za ozkopasovne storitve.

Tovrstni satelitski sistemi niso zaživeli tako, kot je bilo morda pričakovati. Sistem Iridium je v marcu 2000 prekinil delovanje, ICO je bil prodan še preden je prišlo do realizacije projekta, medtem ko Globalstar zelo počasi vzpostavlja komercialne storitve. Razlogov za neuspeh sistema Iridium je gotovo več in so tako tehnološke kot finančne narave. Omenimo naj le dva. Prvič, izgradnja globalnega satelitskega sistema je tehnološko še vedno zelo zahteven in drag projekt. Zato so tudi cene storitev visoke. Drugič, več kot 80% evropske populacije je pokrite z zemeljskimi mobilnimi sistemi. Podobno velja za ostali razviti svet. To pomeni, da uporabniki, ki bi si ekonomsko lahko privoščili uporabo, teh storitev skoraj ne potrebujejo. Za nerazviti svet pa so bile cene občutno previsoke.

Kljub temu satelitski sistemi za mobilno komunikacijo imajo prihodnost, saj je manj kot 20% zemeljske oble pokrite z prizemnimi mobilnimi sistemi. To pomeni, da bodo satelitski sistemi za globalno pokrivanje v prihodnosti nujni, saj bodo predstavljali edino možnost komunikacije v mnogih odročnih in nerazvitih predelih zemeljske oble. Pri tem bo cena storitev igrala zelo pomembno vlogo.

Skladno s tem tudi sistem tretje generacije IMT-2000 predvideva satelitsko komponento, ki bo delovala integrirano s prizemno komponento. Satelitska komponenta bo zagotavljala veliko mobilnost, globalno pokrivanje in podatkovne hitrosti do 144 kb/s. Glede na trenutne težave in prenosne hitrosti, ki jih nudijo satelitski mobilni sistemi, lahko pričakujemo precejšnje zakasnitve pri izpolnitvi teh obljub.

2.8.2 Sateliti za širokopasovne podatkovne komunikacije

Pravi širokopasovni satelitski sistemi so šele v načrtovanju. Po napovedih bodo zagotavljali uporabnikom interneta cenene zveze s hitrostmi od 2 do 155 Mb/s za fiksne uporabnike. Te hitrosti bodo primerljive s tistimi, ki jih bodo nudili prizemni sistemi. Ti sistemi lahko uporabljajo tudi geostacionarno orbito, kar pa bo zaradi zakasnitev pri interaktivnih podatkovnih komunikacijah že predstavljalo določeno oviro. Cena nove generacije satelitskih sistemov naj bila znatno manjša na enoto prenosne kapacitete v primerjavi s sedanjimi sateliti. Učinkovito bodo izrabljali digitalno tehnologijo, ki bo zagotavljala povečano kapaciteto, zanesljivost in varnost prenosa. Sateliti bodo delovali pri zelo visokih frekvencah, kjer je moč zagotoviti zadostno širino frekvenčnega spektra in tako zadostne kapacitete ter prenosne hitrosti. Pri višjih frekvencah imamo lahko manjše antene in ožje snope proti zemlji. Vendar se pri višjih frekvencah poveča tudi slabljenje signala, predvsem v primeru padavin, kar pa ponovno zahteva večje antene. Obe zahtevi je potrebno razumno uravnovesiti. Pri trenutnih projektih prevladuje uporaba frekvenčnega pasu Ka (frekvence okrog 30 GHz v smeri navzgor in okrog 20 GHz v smeri navzdol), analizirajo se tudi možnosti v pasu V (40-50 GHz) in na 60 GHz.

Pregled nekaterih projektov širokopasovnih satelitskih sistemov je podan v tabeli 11.

	SkyBridge	Teledisc	Spaceway	Astrolink
Št. Satelitov	80 LEO	288 LEO	16 GEO, 20 MEO	9 GEO
Višina [km]	1469	1375	35786, 10352	35786
Prenosne hitrosti [Mb/s]	0.016 do 60	Do 2 navzgor, do 64 navzdol	0.016 do 6	0.016 do 9.6
Frekvence	Ku: 14 GHz navzgor, 11 GHz navzdol	Ka: 30 GHz navzgor, 20 GHz navzdol	Ka: 30 GHz navzgor, 20 GHz navzdol	Ka: 30 GHz navzgor, 20 GHz navzdol
Medsatelitske zveze	Ne	da	da	Da
Plan	2001	2002	2002	2003
Okvirna cena	3.5 milijard USD	9 milijard USD	3.2 milijard USD	9 milijard USD

Tabela 11. Pregled nekaterih projektov širokopasovnih satelitskih sistemov.

Potrebno je dodati, da so bili načrti uvajanja sistemov že v preteklosti večkrat spremenjeni. Zadržanost je čutiti še zlasti po neuspehu sistema Iridium. Pri satelitih za internet si moramo zato še posebej pazljivo

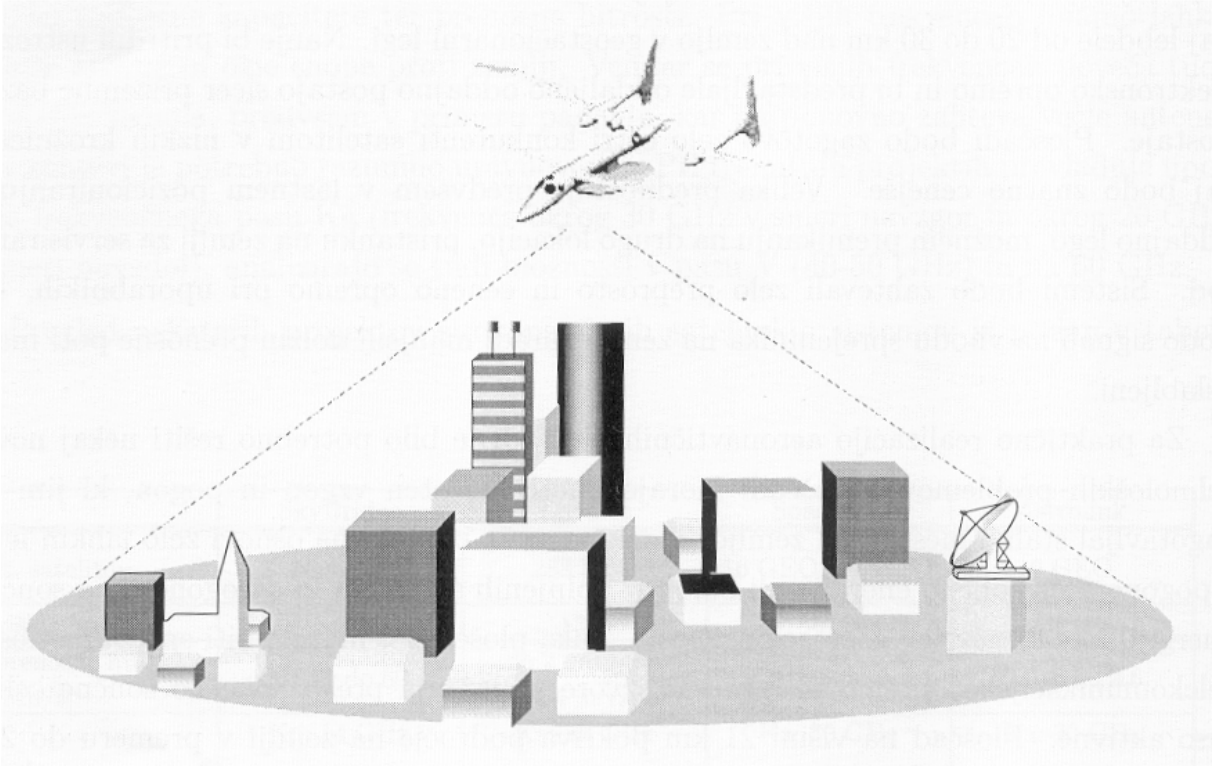
ogledati gospodarnost rešitev. Cene sistemov so zastrašujoče, saj so ocenjene za globalne sisteme med 3 in 10 milijardami USD. Velikost cen zbledi ob njihovih kapacitetah, saj naj bi združene kapacitete načrtovanih širokopasovnih satelitov zadoščale za nekajkratno množino vsega današnjega telefonskega prometa. Ne glede na to pa je pri uvajanju satelitskih sistemov potrebno zbrati ogromen kapital za vzpostavitev sistema. Tudi pri naročnikih bodo stroški nekoliko višji, saj je potrebna postavitev antene na strehi in ustrezne opreme. Stroški pri naročnikih naj bi znašali od 500 do 1000 USD. Investicije v sisteme si bodo lahko privoščila le največja telekomunikacijska podjetja.

2.8.3 Aeronavtične ploščadi

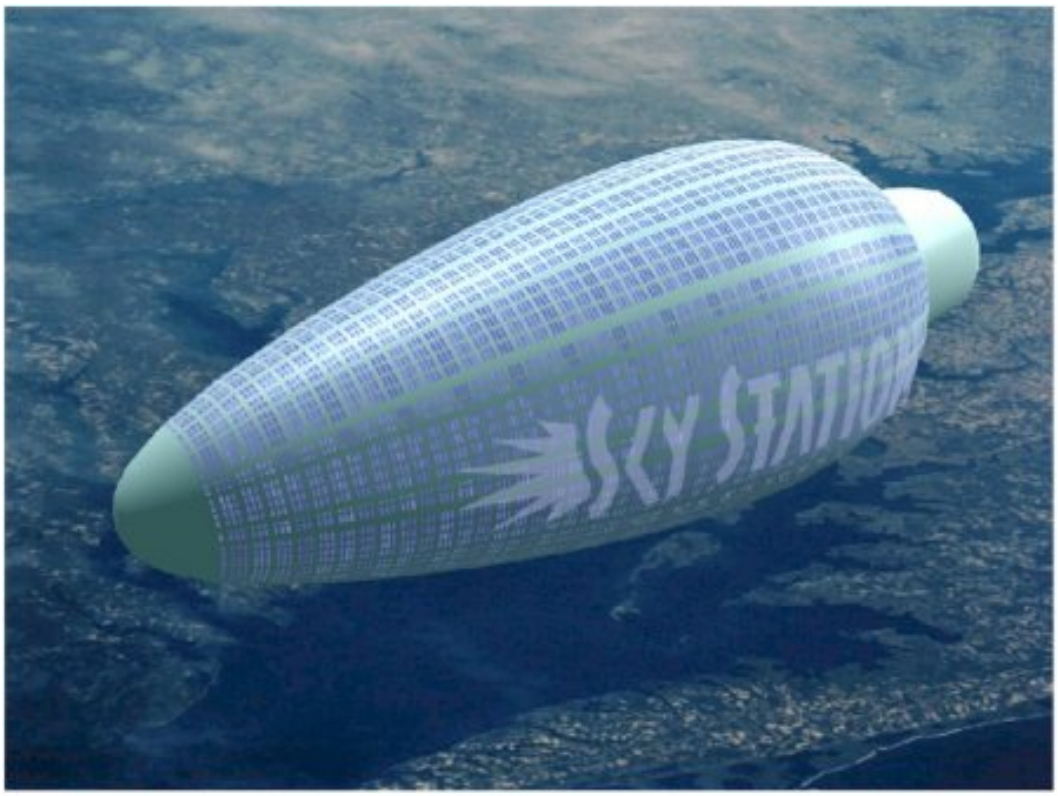
V zadnjih petih letih intenzivno razvijajo tudi stratosferske aeronavtične ploščadi, ki naj bi lebdele od 20 do 30 km nad zemljo v geostacionarni legi. Nanje bi pritrdili ustrezno elektronsko opremo in bi predstavljale oddaljeno oddajno postajo sicer prizemne bazne postaje. Ploščadi bodo zagotovo zelo ostri konkurenti satelitom v nizkih krožnicah, saj bodo znatno cenejše. Velika prednost je predvsem v lastnem pozicioniranju v oddajno lego, možnem premikanju na drugo lokacijo, pristanku na zemlji za servisiranje ipd. Sistemi bodo zahtevali zelo preprosto in ceneno opremo pri uporabnikih, saj bodo signali na vhodu sprejemnika na zemlji zaradi manjših dolžin prenosne poti manj oslabljeni.

Za praktično realizacijo aeronavtičnih ploščadi je bilo potrebno rešiti nekaj novih tehnoloških problemov. Ploščadi morajo imeti zadosten vzgon in pogon, ki jim bo zagotavljal stalno mesto nad zemljo. Izdelane so že izvedbe na osnovi zelo lahkih letal s pogonom na sončno energijo ali balonov polnjenih s helijem in s pogonom na sončno energijo za zagotovitev geostacionarnosti. Taka ploščad bi morala biti sposobna nositi telekomunikacijsko opremo in rezervne izvore napajanja preko noči, ko sončne celice niso aktivne. Ploščad na višini 21 km pokriva področje na zemlji v premeru do 200 km in z ustrezno antensko skupino lahko dosežemo prostorsko ločevanje na več kot 700 snopov.

Izvedba ploščadi na sliki 18 v obliki balona polnjenega s helijem cigaraste oblike (dolžine okoli 160 m in premera okoli 50 m) naj bi poskusno že lebdela nad Novo Mehiko v ZDA. Več o tem na internetu. Možnost pokrivanja Slovenije s signalom s ploščadi je tudi že bila nakazana. Pričakujejo, da bodo cene ploščadi okrog 60 milijonov dolarjev, kar je zagotovo ugodno v primerjavi s cenami satelitov.



Slika 17. Superlahko letalo kot ploščad v stratosferi.



Slika 18. Izvedba aeronavtične ploščadi v obliki balona.