

# Počítačové sítě

Jan Outrata



KATEDRA INFORMATIKY  
UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

přednášky

Tyto slajdy byly jako výukové a studijní materiály vytvořeny za podpory grantu FRVŠ 1358/2010/F1a.



# Technologie fyzické vrstvy

- u protokolů nižších vrstev (fyzické, linkové, síťové) rozlišujeme typ přenosu, synchronizaci přenosu, použití virtuálních okruhů aj.

## Sériový přenos

- bity dat přenášeny v čase za sebou = sériově
- u metalických médií dvojice vodičů, signálový a zem
  - symetrický signál – zvláště dvojice vodičů, např. pro příjem a vysílání dat, př. kroucená dvojlinka
  - asymetrický signál – více signálových vodičů oproti společné zemi, př. sériová linka

## Paralelní přenos

- skupina bitů dat (např. 8) přenášeny v čase zároveň = paralelně
- skupina vodičů, u metalických médií signálové a zem
- typické použití u vnitřních sběrnic v počítači nebo starší připojení periferních zařízení (tiskárna, modem)

## Synchronní přenos

- konstantní rychlostí, garantovaná šířka přenosového pásma
- bloky bitů dat (**fyzické rámce**) konstantní délky rozložené do **slotů**, pro daný přenos vyhrazeny sloty se stejným pořadovým číslem, synchronizační bity pro synchronizaci přijímače s vysílačem na začátku bloku
- kromě dat ještě **synchronizační signál** („hodiny“), zdrojem jedno zařízení, ostatní se přizpůsobí
- použití v technologiích fyzické vrstvy (např. Ethernet) a telekomunikačních sítích, NE síťová vrstva (Internet)

## Paketový přenos

- proměnlivou rychlostí, negarantovaná šířka přenosového pásma, ale efektivnější (dynamické) využití
- bloky dat (**linkové rámce, pakety**) obecně různé délky
- použití v linkových a síťových protokolech, např. v Internetu



## Asynchronní přenos

- kombinace předchozích, garance šířky přenosového pásma
- pakety stejné délky přenášeny proměnlivou rychlostí (start a stop bity), jednotlivé bity přenášeny synchronně
- např. sériová linka, síť ATM (pakety = **buňky**)

## Virtuální okruh

- vytvářený v síti některými protokoly (na nižších vrstvách, ale i síťové), např. PPP, ISDN, Frame Relay, X.25
- nejprve sestaven (pomocí **signalizace**), pak přenos dat (s identifikací okruhu) po okruhu, v případě přerušení přenosu se vytvoří okruh nový
- spíše telekomunikační sítě, NE u Internetu – přerušení okruhu znamená přerušení spojení, IP pakety přenášeny samostatně
- typy:
  - **pevný (permanent)** – sestavené v síti napevno správcem
  - **komutovaný (switched)** – dynamicky vznikající dle potřeby přenosů

- síťové (a telefonní) rozvody: zásuvky, propojovací kabely, propojovací (patch) panel, optická vlákna, distribuční box optiky („kazeta“) aj., ve skříni (**rack**) šířky 19" = 48.26 cm nebo 23" = 58.42 cm s pozicemi výšky **U** = 1.75" = 4.445 cm

## Koaxiální kabel

- dnes se již nepoužívá (jako strukturovaná kabeláž), použití např. u antén bezdrátových sítí (vysokofrekvenční)
- **tlustý**:  $\varnothing$  1 cm, např. Belden 9880, max. 500 m, zakončený **terminátory** 50  $\Omega$ , připojení uzlu přes **transceiver** napíchnutý svorkou **vampír**, redukce i na tenký a dvojlinku
- **tenký**:  $\varnothing$  3,5 mm, např. RG 58, max. 185 m (u stejných síťových karet uzlů až 400 m), zakončený terminátory 50  $\Omega$ , připojení přes **BNC konektor** (existují i transceivery)

## Kroucená dvojlinka (Twisted Pair)

- max. 100 m (závisí na kvalitě kabelu), přenos signálu kódováním Manchester II (log. 1 =  $-2V$ )
- 4 páry měděných vodičů, drát nebo lanko (licna, svazek drátků), vodiče v páru i páry kroucené kolem sebe – pro vzájemné vyrušení elmag. indukce
- nestíněná (**UTP**): každý vodič v umělohmotném obalu a všechny páry vodičů v bužírce, kategorie EIA/TIA 3 (do 16 MHz), 5(E) (do 100 MHz), 6 (do 250 MHz), 6A (do 500 MHz)
- stíněná (**FTP**, **STP**): navíc kovová fólie nebo síť na vnitřní strana bužírky nebo i kolem páru vodičů, proti elmag. rušení, různé varianty stínění, kategorie 5(E), 6, 6A, 7 (do 600 MHz), 7A (do 1 GHz), 8 (do 2 GHz)

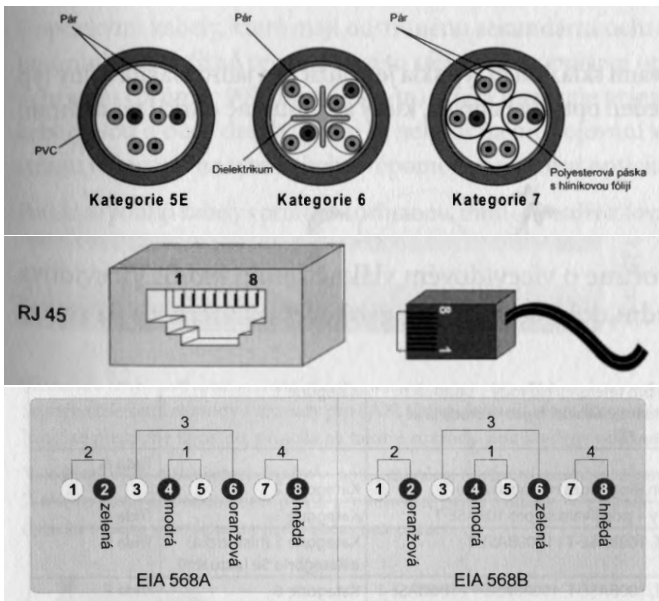
Obrázek: Obrázek průvodce 61

- **konektor RJ45**: nejčastěji zapojení vodičů podle normy EIA/TIA 568B s 1. párem (modrý) pro telefon a 2. a 3. párem (oranžový a zelený) pro datovou síť

Obrázek: Obrázek průvodce 61,62



# Strukturovaná kabeláž [LAN]



## Optická vlákna (Fiber optic)

- dvě vrstvy „skla“ (křemík, umělá hmota): obal ( $\varnothing$  125  $\mu\text{m}$ ) a jádro
  - **vícevidové**:  $\varnothing$  50/62.5  $\mu\text{m}$ , paprsky se odráží od rozhraní skel, buzení LED diodou 850 nm
  - **jednovidové**: 9  $\mu\text{m}$ , minimum odrazů, buzení laserem 1300, 1500 nm
- primární ( $\varnothing$  250  $\mu\text{m}$ ) a sekundární ( $\varnothing$  0.9 mm) ochrana – různé materiály (kevlar)
- **více optických konektorů**: SC, FC, LC, ST
- svazky mnoha (desítek a stovek) vláken s další ochranou v optických kabelech
- vlákno původně simplexní, pro duplex dvojice vláken, dnes i („multifrekvenční“) duplexní vlákna
- dosah 2–3 km (vícevidové) nebo až 70 km (jednovidové), použití optických opakovačů a rozbočovačů pro páteřní síť

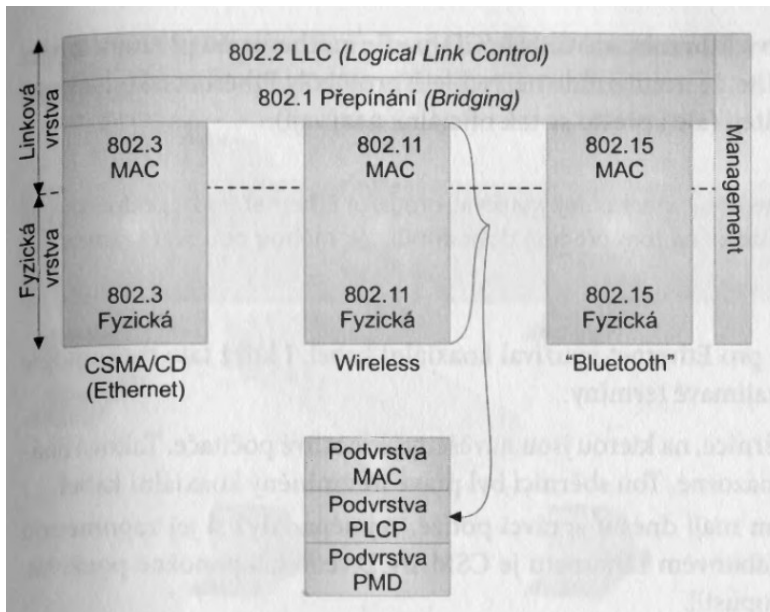
# Strukturovaná kabeláž [LAN]



- v minulosti vyvinuta řada technologií pro LAN: Ethernet, FDDI, Token Ring a Token Bus, Arcnet aj., dnes jen Ethernet (a FDDI)
- IEEE: počátkem 80. let sjednocení a **normy IEEE 802.xx**, později i jako normy ISO 8802-xx

Obrázek: Obrázek průvodce 65

- fyzická vrstva **PHY** – přenos signálu po médiu, kabeláž, antény atd., řešena HW
- linková (a částečně i fyzická) vrstva rozdělena do podvrstev:
  - **MAC (Medium Access Control)** – přístup na přenosové médium, zasahuje i do fyzické vrstvy, řešená HW, závislost na topologii sítě, normy IEEE 802.3 – 802.15
  - **LLC (Logical Link Control)** – správa logických spojení, řešená HW i SW (ovladač HW), nezávislá na HW, IEEE 802.2
- připojení pomocí **síťové karty** – zčásti realizuje linkové protokoly



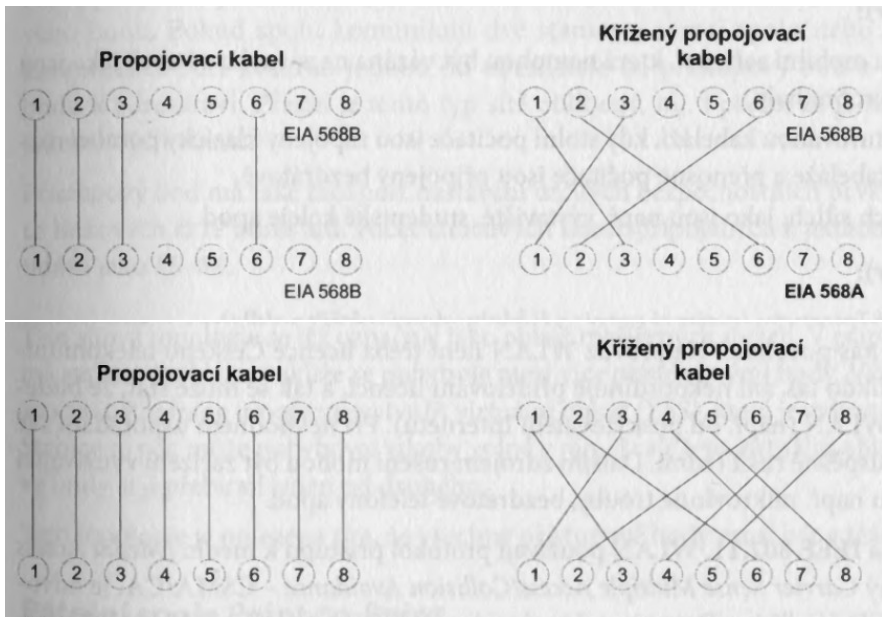
- (časově) sdílené přenosové médium, v daném okamžiku využívá jeden uzel
- uzly samostatné, rovnocenné

## Ethernet (II)

- počátky koncem 70. let Xerox, 1982 DEC, Intel a Xerox jako DIX Ethernet (Ethernet II), 1985 **IEEE 802.3**
- 10 Mb/s, signál 8.5 MHz
- **segment** = počítače připojené na médium (kabel)
- **tlustý** (10BASE-5, DIX): tlustý koaxiální kabel, topologie sběrnice, konektor AUI (CANNON 15) na síťové kartě, max. 100 stanic
- **tenký** (10BASE-2, IEEE 802.3a): tenký koaxiální kabel, topologie sběrnice, připojení přes **konektor BNC-T** a BNC na síťové kartě, max. 30 stanic

Obrázek: Obrázek průvodce 69

- **s kroucenou dvojlinkou** (10BASE-T, IEEE 802.3i):
  - konektor RJ45 na síťové kartě, kontrola integrity připojení pomocí signálu LinkBeat
  - připojení k **opakovači (linkový segment)**, hvězdicová topologie, max. 100 m mezi počítačem a opakovačem
  - (polo)duplexní přenos (**Half Duplex**) – na uzlu 2. pár (oranžový) pro vysílání, 3. (zelený) pro příjem
  - při propojení dvou počítačů „překřížení“ kabelu – plně duplexní přenos (**Full Duplex**), teoreticky max. rychlost
- **s vícevidovými optickými vlákny** (10BASE-FX, IEEE 802.3j): různé konektory na síťové kartě (LC, SC, FC), původně jen propojení optických opakovačů (FO-HUB), max. 2 km





## Opakovač (Repeater)

- HW zařízení pro propojení segmentů
- **rozbočovač** = více než dvě rozhraní (**porty**)
- data jsou zopakována na všechny ostatní porty, tj. do všech (linkových) segmentů
- **HUB** = opakovač pro kroucenou dvojlinku, propojení dvou HUBů „překříženým“ kabelem (nebo jeden port HUBu s přepínačem)
- možnost centralizované správy segmentu

## Vícesegmentové síť

= síť propojené více opakovači

- omezující metody Model I a II pro max. dosah a konfiguraci sítě – omezení na počty opakovačů a vzdálenosti mezi nimi (Model I) nebo pomocí maximálního zpoždění přenosové cesty (Model II)

## Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

- 1993 konkurenční sítě Fast Ethernet (100BASE-T) a 100VG-AnyLAN, z důvodu zpětné kompatibility u metody přístupu k médiu (viz linková vrstva) vybrán Fast Ethernet
- 100 Mb/s, 125 MHz
- jen hvězdicová topologie s opakovači dvou tříd: **Class I** (retranslace signálu z linkového segmentu umožňující použití různých linkových segmentů, max. jeden na segmentu) a **Class II** (jen opakování signálu, jen stejné linkové segmenty, max. 2)
- fyzikální vrstva podle FDDI: přenos čtveřic bitů (nibble) kódovaných do 5 bitů
- kroucená dvojlinka (100BASE-TX kategorie 5, 100BASE-T4 kategorie 3 dva páry vodičů navíc) – max. 200 m
- optická vlákna (100BASE-FX) – max. 300 m (Full Duplex 2 km)
- volitelná duální rychlost 10/100 Mb/s a Half/Full Duplex: pomocný **Auto-Negotiation Protocol** využívající rozšířený signál integrity sítě

## Gigabitový Ethernet (IEEE 802.3z, 802.3ab)

- 1988 pro optické linky (IEEE 802.3z), pak pro kroucenou dvojlinku kategorie 5E a 6 (IEEE 802.3ab), vytlačil FDDI a ATM
- 1 Gb/s, 1062.5 MHz (optika)
- jen hvězdicová topologie s opakovači
- optická vlákna (jednovidová 1000BASE-LX, vícevidová 1000BASE-SX): fyzická vrstva podle Fibre Channel: přenos 8 bitů kódovaných do 10 bitů, max. 550 m (vícevidové, 850 nm) nebo 10 km (jednovidové, 1300 nm)
- kroucená dvojlinka (1000BASE-T): (polo)duplexní přenos na všech 4 párech u kategorie 5E, plně duplexní přenos u kategorie 6, max. 100 m

## 10Gigabitový Ethernet (IEEE 802.3ae)

- 10 Gb/s
- jen režim Full Duplex, ne sdílené médium
- různá fyzická rozhraní pro LAN a WAN (propojení s DWDM)
- optická vlákna (vícevidová 10GBASE-S 400 m, jednovidová 10GBASE-L/E 10/40 km)
- kroucená dvojlinka (10GBASE-T 55 m kabel kategorie 6, 100 m 6A nebo 7)



- Fiber Distributed Data Interface – optická vlákna, 1989 ANSI X3T12, 1990 ISO 9314
- CDDI (Copper DDI) – kroucená dvojlinka
- vysokorychlostní páteřní síť počátku 90. let, univerzitní síť (campus)
- 100 Mb/s, max. 2 km (vícevidová vlákna), 60 km (jednovidová)
- zdvojená kruhová topologie: protisměrné páteřní kruhy, jeden primární, druhý záložní, v daném čase aktivní jen jeden
- zařízení: koncové stanice – porty pro oba kruhy (DAS) nebo jen jeden (SAS), **koncentrátory** – více portů pro připojení více konc. stanic, mosty



- důvody pro WLAN: mobilita, snadná použitelnost, dostupnost, nižší náklady, rozšiřitelnost, roaming („přechod“ klienta od vysílače k vysílači) atd., polovina 90. let
- použití pro vnitřní (původně, popř. v kombinaci s kabeláží) i vnější prostory (např. připojení k Internetu), propojení s drátovými LAN/MAN
- norma **IEEE 802.11** (1997), 2 Mb/s, mnoho rozšíření, např. 802.11b = **Wi-Fi (Wireless Fidelity)** 1 – 11 Mb/s (běžně aplikační vrstva cca 5 Mb/s), 802.11a/g (Wi-Fi 2/3) – 54 Mb/s (20 Mb/s), 802.11n (Wi-Fi 4) – až 600 Mb/s (300 Mb/s), 802.11ac (Wi-Fi 5) – až ~7000 Mb/s (400–800 Mb/s), 802.ax (Wi-Fi 6) – až 9600 Mb/s (? Mb/s)

## Konfigurace (topologie)

- peer-to-peer/**ad-hoc**: přímá komunikace mezi stanicemi v rámci **Basic Service Set (BSS)** = skupina stanic sdílejících stejné médium ( $\sim$  ethernetový segment), do 10-ti stanic
- **infrastrukturní**/s **přístupovým bodem (access point, AP)**: stanice komunikují v rámci BSS jen prostřednictvím AP (nejdříve autentizace a asociace), bezpečnostní prvky (filtrace, šifrování, atd.), propojení s jinou LAN/MAN (drátovou, např. Ethernet, i Wi-Fi), až 40 stanic
- s více přístupovými body (**roaming**): AP propojeny vlastní sítí (tzv. **distribuční systém (DS)**, s **jedním AP triviální**, drátovou i Wi-Fi), klient se přepojuje k AP s nejlepším poměrem signálu k šumu, když tento klesne pod nějakou mez (nové asociace), v rámci **Extended Services Set (ESS)** skládající se z více BSS
- point-to-point: propojení dvou sítí pomocí AP, typické pro venkovní použití na více km

## Přenosové médium

- rádiové vlny 2.4 (**802.11b/g/n**), 5 GHz (**802.11a/n/ac**) – veřejné, není třeba licence, u 2.4 GHz vzájemné rušení (také např. Bluetooth, bezdrátové telefony, RFID čipy, RC modely na dálkové ovládání a další)
- šíření signálu metodou rozptýleného spektra (v pásmu frekvencí):
  - přeskokování frekvencí (FHSS): 2.4 GHz pásmo dělené na 75 kanálů, při vysílání se periodicky přeskakuje mezi frekvencemi, př. původní Wi-Fi (802.11), Bluetooth
  - přímá sekvence (DSSS): 2.4 GHz pásmo dělené na 14 kanálů po 22 MHz, které se částečně překrývají, př. Wi-Fi 802.11b
  - ortogonální frekvenční multiplex (OFDM): 2.4 a 5 GHz, 802.11a/g, 802.11n/ac technologie MIMO (více antén příjmu a vysílání)
- (polo)duplexní spoj, pro plně duplexní dva páry antén
- **antény**: horizontální, vertikální a kruhové polarizace signálu, všesměrové, sektorové, směrové, provedením síťové, paraboly, šroubovice, Yagi, omezení na výkon vyzářený anténou normou ČTÚ (100 mW), pro venkovní použití tzv. Fresnelova zóna bez překážek





- projekt „Blue Tooth“, Ericsson, 1994, bezdrátová komunikace mezi různorodými zařízeními (počítače, mobilní telefony, PDA, dig. fotoaparáty, kamery aj.)
- rádiové vlny 2.4 GHz, přenosová rychlost 1 (verze 1), 3 (2), 24 (3 a 4) až stovky Mb/s (verze 5), do 100 m
- norma **IEEE 802.15**
- komunikace po kanálech (tzv. piconetech) s pseudo-náhodnými skoky (FHSS)
- **Master** a **Slave** uzly (max. 7, další zaparkované)



- odlišná protokolová architektura: fyzická → Bluetooth radio, podvrstvy Radio a Baseband, linková → identifikace a možnosti zařízení, podpora služeb, protokoly SDP, RFCOMM, TCS-BIN, WAE/WAP
- **profily zařízení** – definice parametrů protokolů služeb, GAP a SDAP pro vyhledávání (SDP), TCS-BIN pro telefonii, SPP pro emulace sériového propojení (RFCOMM, modem, PPP do LAN), GOEP pro souborové přenosy aj.
- podvrstva **Baseband**: tvorba sítí Piconet (uzly ve stavech a režimech), zřizování linek, řízení toku dat, zabezpečení přenosu

- velké vzdálenosti → odlišné technologie přenosu dat než v LAN/MAN
- dvoubodové spoje nebo virtuální okruhy
- optické systémy:
  - **SONET/SDH**: dříve, rychlosti 50 Mb/s až 10 Gb/s, použití v síti ATM
  - **DWDM**: multiplex na různých vlnových délkách, desítky virtuálních optických vláken v existujících fyzických, rychlosti řádově až Tb/s, full duplex po jednom vláknu
- rádiové sítě:
  - dvojbodové: přímá viditelnost, až 20 km, 2.4, 3.5, 10 GHz, až 90 Mb/s, licencovaná pásma
  - **WiMAX (IEEE 802.16)**: „Wi-Fi pro venkovní použití“, tzv. „last mile“ pro připojení koncového uživatele
- využití **telekomunikačních sítí** = **broadband**



- propojení koncového zařízení, např. počítač, s propojovacím prvkem, např. modem, nebo (nouzově) dvou propojovacích prvků
- **ITU V.24 (ANSI RS232)**: sériový asynchronní přenos, rychlost desítky kb/s (64, 115 max), full duplex, konektory CANNON 9 a 25 (porty COM), propojení dvou počítačů pomocí „překřížení“ vodičů (tzv. **nulový modem**)
- ! dnes nahrazena **bezdrátovými PAN** (Bluetooth, infra) nebo sběrnicí USB
- řízení komunikace: signály DTR, DSR (signalizace), RTS, CTS (řízení toku) nebo znaky XON, XOFF, signály TD, RD (data, AT-příkazy modemu)

- pro připojení k datové síti pomocí analogové telefonní sítě – modulace a demodulace dat na/ze zvuku
- **modulátor/demodulátor = modem** – připojen sériovou linkou/bezdrátovou sítí k počítači nebo směrovači (asynchronní) nebo vestavěný (synchronní) a telefonní linkou (telefonní kroucená dvojlinka, konektor RJ-11) k telefonní síti
- vytvoření okruhu v telefonní síti, dohoda stran na parametrech komunikace (nejvyšší rychlost, zabezpečení apod., protokol PPP) a přepnutí na data, poté koncová zařízení propojena transparentně

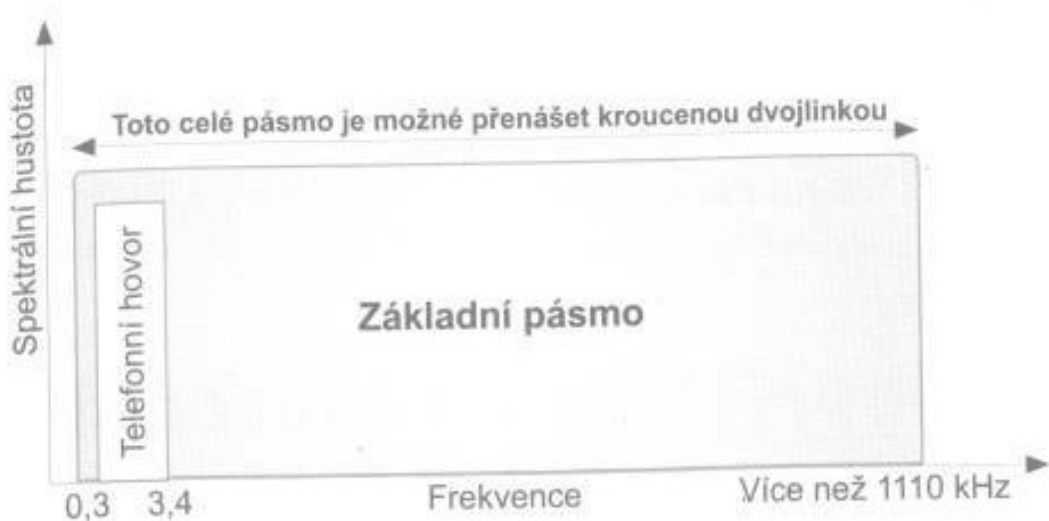
## AT-příkazy (Hayes)

- znakové ovládání modemu počítačem a zprávy od modemu, např. AT-OK, ATDTčíslo-CONNECT, +++

- přenosové rychlosti na telefonní drátové lince (doporučení ITU):
  - **přeložené/telefonní pásmo** (Voice Band) = modulace dat na zvuk v hlasové části pásma 0.3 až 3.4 kHz na komutovaných linkách: nominální 9.6 (V.32), 14.4 (V.32bis), 28.8 (V.34), 33.6 (V.34+), 56/33.6 kb/s (downstream/upstream, **V.90**, digitální ústředny a linky mezi nimi)
  - **základní pásmo** (Base Band) = tzv. „širokopásmové modemy“ v celém pásmu nad hlasovou částí až do několika MHz, dříve jen na pevných linkách: stovky kb/s až jednotky Mb/s (plný duplex), rozhraní V.35

Obrázek: Obrázek průvodce 57

- možná komprese dat (protokol MNP 5, ITU **V.42bis**) – rychlosti až stovky kb/s (v přeloženém pásmu), potřeba vyšší rychlosti na lince k počítači
- detekce chyb přenosu (V.42)
- ! dnes (digitální) bezdrátová síť GSM



= Digital Subscriber Line

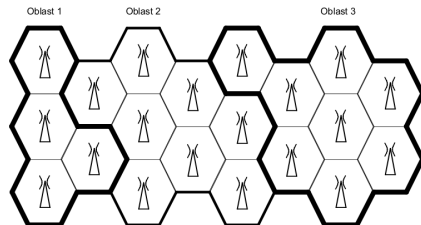
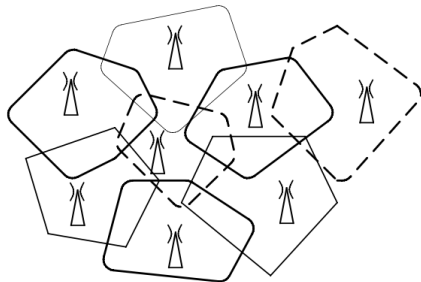
- připojení k datové síti pomocí digitální telefonní sítě – přenos dat v základním pásmu, metody FDM a EC
- „DSL modem“ připojen kroucenou dvojlinkou (LAN/Ethernet, integrovaný přepínač) k počítači a telefonní linkou k telefonní síti
- oddělení od telefonního pásma pomocí **splitteru** u/v „modemu“ a zařízení DSLAM v ústředně – připojen k přístupovému serveru v datové WAN (Internetu)
- asymetrické: různá rychlost pro downstream (větší) a upstream (menší, nižší frekvence), např. ADSL (Assymetric) 8/1 Mb/s, **ADSL2** 24/1,4 Mb/s, VDSL (Very-high-bit-rate) 52/16 Mb/s, VDSL2 dohromady až 200 Mb/s, G.fast dohromady až 1 Gb/s
- symetrické: stejná rychlost pro oba směry, např. SDSL (Symmetrical), HDSL(2,4) (High bit rate),



- bezdrátová, původně analogová, síť jen pro hlas, dnes digitální, normy ETSI
- pokryté území rozdělené do oblastí s (překrývajícími se) **buňkami** obsluhovanými jednou **BTS (Base Transceiver Station)**

Obrázek: Obrázky průvodce 48,49(2)

- koncové/propojovací zařízení (mobilní telefon) komunikuje s BTS, roaming (síť si udržuje informaci, ve které oblasti buněk se zařízení nachází a hledá jej ve všech buňkách oblasti)
- dvě frekvence: primární (900 MHz, rozsah 25 MHz po 200 kHz), sekundární (1800 MHz, rozsah 75 MHz), každá konkrétní frekvence rozdělena do 8 **slotů**





- další zařízení: BSC (řídí BTS), NSS („centrum“, přepíná okruhy, obsahuje databáze uživatelů), TRAU (převody rychlostí) aj.
- komunikace mezi zařízením a BTS (ve slotech): datový kanál TCH (9.6 kb/s, přeložené pásmo), kombinované služební kanály synchronizace, signalizace, atd. („špehovací“ – telefon odesílá asi 80 bytů každé 2 minuty)
- pro připojení počítače zařízením emulován modem (RA-0), NSS připojeno ke směrovači v datové WAN (Internetu), se kterým počítač vytvoří virtuální okruh
- **GPRS/EDGE**: paketový přenos v základním pásmu, teoreticky až ve všech 8 slotech (GPRS až 171.2 kb/s, EDGE až 500 kb/s), prakticky 4 sloty
- **UMTS/HSPA**: GSM síť 3. generace, až 14 Mb/s, multimediální služby, 3.5 generace HSDPA, HSPA+ aj.
- **LTE**: GSM síť 4. generace, až 300 Mb/s (?)



- útoky:
  - přerušení (drátové) linky → záložní linka, fyzická ochrana
  - rušení (bezdrátové) komunikace – cílené, ale i např. vadná média a konektory, vlivy okolního nebo i přenosového prostředí ⇒ vadné linkové rámce
  - odposlech → fyzická ochrana linek a šifrování, omezení šíření bezdrátového signálu, ale užitečné pro správce
  - modifikace přenášených dat – neúměrně nákladná, spíše na vyšších vrstvách
- protokoly řeší ochranu a detekci chyb jen z technických příčin
- „inteligentní útočník“ – **fyzická ochrana** linek a omezení vysílačů + šifrování