



Katedra softwarového inženýrství,  
Matematicko-fyzikální fakulta,  
Univerzita Karlova, Praha



## Lekce 4: Ethernet - II

*J. Peterka, 2011*

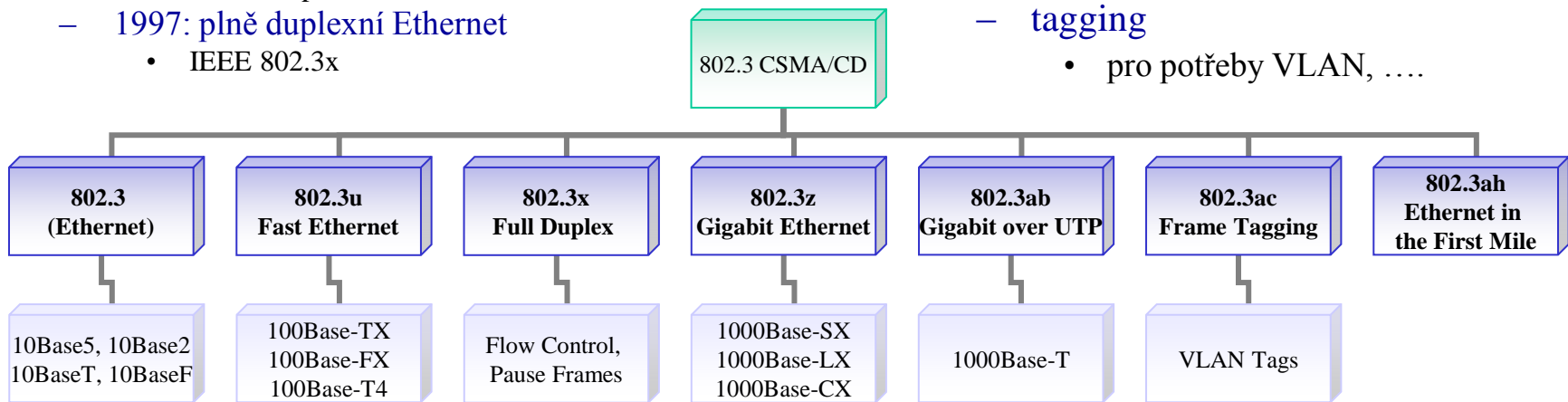
# vývoj Ethernetu

- možnost použití jiných přenosových médií
  - viz předchozí přednáška
  - 1980/83: tlustý koax. kabel
    - 10Base5
  - 1985: tenký koax. kabel
    - 10Base2
  - 1990: kroucená dvoulinka
    - 10BaseT
  - 1992: optická vlákna
    - 10BaseF
- jiný způsob fungování
  - 1984: první transparentní most
    - firma DEC
  - 1991: první přepínač
    - firma Kalpana
  - 1997: plně duplexní Ethernet
    - IEEE 802.3x

- zvýšení rychlosti

10 Mbps	1976/80
100 Mbps	1995
1 Gbps	1998
10 Gbit/s	2002
100 Gbit/s	?? 2010 ??
1 Tbit/s	
10 Tbit/S	

- další
  - řízení toku
    - rámce PAUSE
  - tagging
    - pro potřeby VLAN, ....



# stomegabitový Ethernet

- je výsledkem snahy zrychlit Ethernet 10x
- prosadily se 2 odlišné přístupy:
  - ponechat vše tak jak je, a pouze vše 10x zrychlit
  - ponechat jen takové vlastnosti, které se ukázaly jako výhodné, ostatní změnit (a 10x zrychlit)
- IEEE 802.3 dostala v roce 1992 na stůl dva návrhy
  - na 100 Mbps Ethernet „beze změn“
    - od firem Grand Junction, 3Com, SynOptics, Intel ...
  - na 100 Mbps Ethernet „se změnami“
    - od firem Hewlett Packard, IBM, ....
- návrh 100 Mbps Ethernetu „beze změn“ předpokládal:
  - že je třeba v maximální možné míře zachovat všechny vlastnosti Ethernetu
    - kvůli návaznosti na 10Mbps řešení
  - včetně zachování přístupové metody CSMA/CD
- návrh 100 Mbps Ethernetu „se změnami“ předpokládal:
  - že je vhodné zachovat to, co se ukázalo jako šikovné, a pozměnit to ostatní
    - za „nepříliš šikovný“ byl považován především nedeterministický charakter Ethernetu
  - návrh předpokládal změnu přístupové metody

v roce 1993 vzniká sdružení Fast Ethernet Alliance, s cílem prosadit jednotný standard Fast Ethernetu

# filosofie stomegabitového Ethernetu

- návrh 100 Mbps Ethernetu „beze změn“ předpokládal:
  - že není nutné reagovat na principiální změnu danou kabeláží na bázi kroucené dvoulinky
    - že původně sdílené přenosové médium už je v zásadě dedikované
  - návrh se snaží nadále přistupovat k přenosovému médiu spíše jako ke sdílenému
    - a vyšší efektivity se snaží dosáhnout switchováním
- oba návrhy se sešly v komisi IEEE 802.3
  - ta rozhodla, že návrh „Ethernetu se změnami“ již není Ethernetem
    - kvůli tomu, že nepoužívá metodu CSMA/CD
  - standardizovala návrh „Ethernetu beze změn“
    - jako tzv. Fast Ethernet, neboli 100BaseT
    - skrze standard [IEEE 802.3u](#), schválený [v červnu 1995](#)
- návrh 100 Mbps Ethernetu „se změnami“ předpokládal:
  - že je vhodné reflektovat na principiální změnu vlastností kabeláže
    - že každý uzel má svou vlastní dedikovanou přípojku
  - a využít ji k dosažení celkového determinismu a vyšší efektivity
- návrh „Ethernetu se změnami“ ale nebyl zcela smeten ze stolu
  - IEEE 802 pro něj vytvořila samostatnou pracovní skupinu
    - IEEE 802.12
  - a ta přijala návrh jako svůj standard
    - [v červnu 1995](#)
    - nikoli pod názvem „Ethernet“
    - ale jako **100VG Any-LAN**

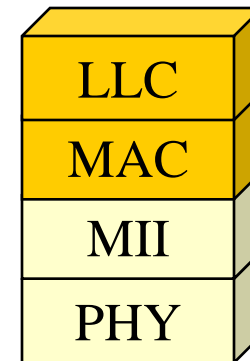
# 100BaseT, 802.3u

- 10x násobné zrychlení se dosáhlo:
    - 10x násobným zkrácením bitového intervalu
    - zkrácením maximálního dosahu kabelových segmentů
    - efektivnějším kódováním
      - 10 Mbps: kódování Manchester
        - 2 změny na 1 bit
      - 100 Mbps: kódování 4B/5B a NRZI/MLT-3
        - 5 změn na 4 bity
  - další změny oproti 10Mbps verzi:
    - zavedení mechanismu pro detekci rychlosti (auto-negotiation of media speed)
      - umožňuje to vyrábět síťové karty pro 10/100 Mbps, které samy rozpoznají rychlost a přizpůsobí se
    - nejkratší možný odstup mezi rámci (IPG, Inter Packet GAP) se zmenšil desetkrát
      - z 9,6  $\mu$ sec. na 0,96  $\mu$ sec.
  - beze změny naopak zůstal:
    - formát linkových rámců
      - používají se přesně stejné rámce
    - linkové adresy
      - 48-bitové ethernetové adresy
    - přístupová metoda
      - CSMA/CD – zůstala, ačkoli nemusela
        - varianta "beze změn"
    - ...
  - důsledek:
    - migrace z 10 Mbit/s na 100 Mbit/s je snadná, stejně jako koexistence obou rychlostních verzí
    - mohou existovat přepínače s porty 10/100 Mbit/s
      - nebo rozhraní, která se přizpůsobí svou rychlostí
-

# fyzická vrstva 100BaseT

- „fyzická vrstva“ 100 Mbps Ethernetu se rozdělila na dvě podvrstvy
  - Medium Independent Interface (MII)
  - Physical Layer Device (PHY)
- zavedla se možnost používání různých druhů kabeláže
  - dvoulinky (UTP) kategorie 5
  - UTP kategorie 3
  - optických vláken
- konkrétní řešení (standarty) pro UTP kat. 5 a optická vlákna převzaty z FDDI
  - jde o standardy ANSI X3T9.5
    - TP-PMD, resp. CDDI (pro TX)
    - SMF-PMD (pro FX)

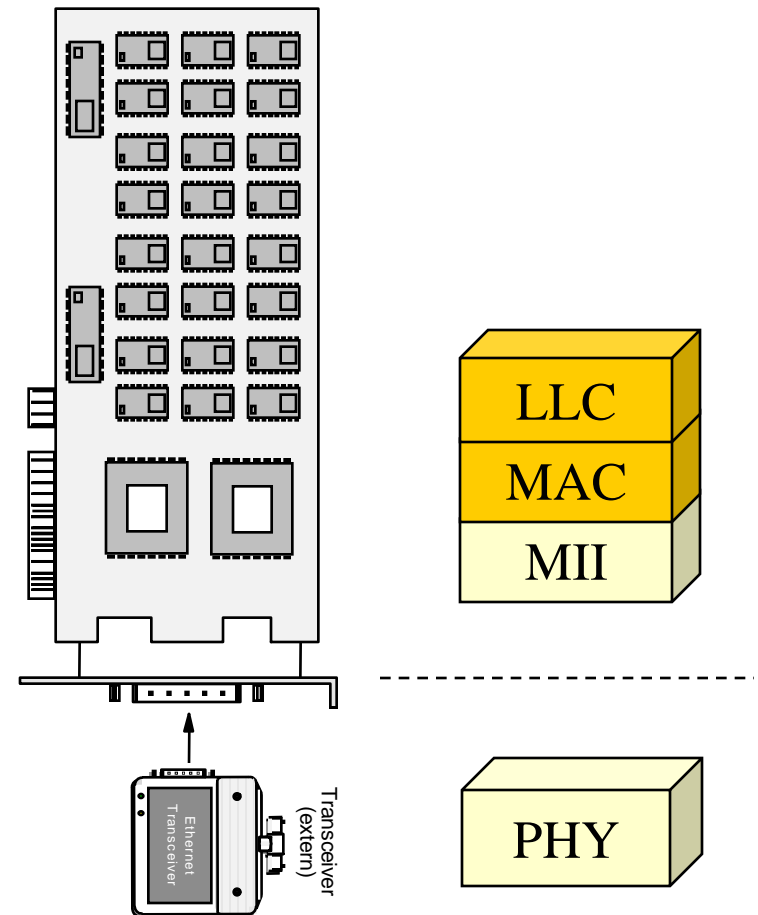
souhrnně označováno  
jako 100BaseX



- **100 Base TX**
  - říká jak provozovat 100Mbps Ethernet nad 2 páry dvoulinky kategorie 5
- **100 Base FX**
  - dtto, pro optická vlákna
- **100 Base T4**
  - říká jak provozovat 100 Mbps Ethernet nad 4 páry dvoulinky kategorie 3 („telefonní“)
- existuje též varianta 100BaseT2
  - pro 2 páry dvoulinky kat. 3

# vrstva MII (Medium Independent Interface)

- díky rozdělení fyzické vrstvy je opět možné "osamostatnění" transceiveru
  - a jeho propojení se síťovou kartou pomocí drop kabelu
    - max. 0,5 metru
  - častěji je ale transceiver integrován na kartě
- důvod:
  - podvrstva PHY je z velké části analogová
    - podvrstva MAC je již digitální
- podvrstva PHY je implementována v transceiveru
  - liší se pro TX, T4 a FX
- vrstva MII zajišťuje přizpůsobení mezi PHY a řídicími obvody Ethernetu
  - které mj. implementují přístupovou metodu CSMA/CD
  - MII lze chápat jako náhradu AUI



# kódování bitů

## 10Base5&2

přenosová rychlost: 10 Mbit/s

vezme se

1bit

vytvoří se

1bit

zakódují se pomocí

kódování Manchester  
(2 úrovně signálu: +,-)

frekvence přenášeného signálu:  
10 MHz

## 100BaseTX

přenosová rychlost: 100 Mbit/s

4bity

kódování 4B/5B

$2^5=32$  možností, vybírají se pětice bitů alespoň se 2 jedničkami

5bitů

modulační rychlost: 125 MBaud

kódování MLT-3  
3-úrovně signálu  
(-,0,+)

frekvence signálu: 31,25 MHz

## 100BaseT4

přenosová rychlost: 100 Mbit/s

8bitů

kódování 8B/6T

$3^6 = 729$  možností, vybírají se šestice ternárních stavů signálů (-, 0, +), v každé šestici musí být alespoň dvě změny napětí

6 změn signálu  
(-,0,+) na 8 bitů

frekvence signálu: 37,5 MHz

rozkládá se do 3 vodičů,  
každý s  $f=12,5$  MHz  
indikace kolize



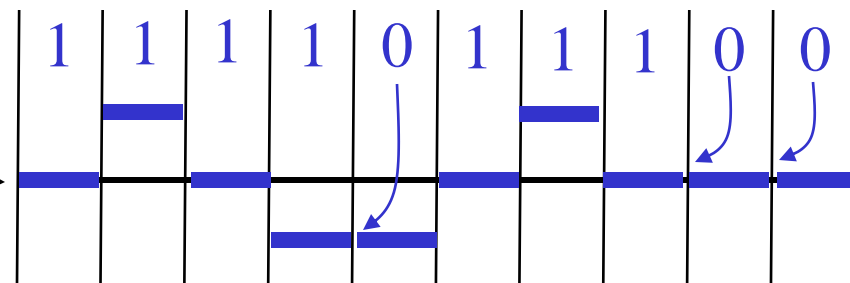
# dosah 100BaseT

- důsledek zachování metody CSMA/CD:
  - minimální velikost linkového rámce zůstává stejná
    - 512 bitů (64B)
  - doba pro detekci kolize (ne)zůstává stejná
    - stále: 64B, resp. 512 x 1 bitový interval
      - ale doba přenosu 1 bitu se 10x zkrátila !!!
- důsledek pro maximální dosah (velikost kolizní domény):
  - zmenšuje se !!!
  - nikoli 10x !!!
- důsledek různého kódování u 100BaseTX, FX a T4:
  - existují dva druhy opakovačů
- obecné zásady:
  - žádný segment z kroucené dvoulinky nesmí být delší než 100 metrů
  - žádný optický segment nesmí být delší než 412 metrů
  - drop kabely (MII kabely, mezi transceiverem a kartou) nesmí být delší než 0,5 m
- další omezení se uplatňují při použití opakovačů
  - nelze mechanicky sčítat délky segmentů
  - existují konkrétní pravidla pro spojování různých segmentů pomocí různých opakovačů

# 100BaseTX - kódování

- v praxi dnes nejčastěji
- používá 2 páry kroucené dvoulinky kategorie 5
  - souběžný přenos po obou párech představuje kolizi
- představa:
  - místo každé čtveřice bitů se přenáší pětice bitů
    - 4B/5B
    - volí se tak, aby v pěti bylo nejméně 2 jedničky
    - pak nastupuje kódování MLT-3 (Multi-Level Transition)
      - 0 nechává signál beze změny
      - 1 znamená změnu signálu
        - změna není mezi 0 a 1, ale na další prvek v posloupnosti 0, -, 0, + atd.

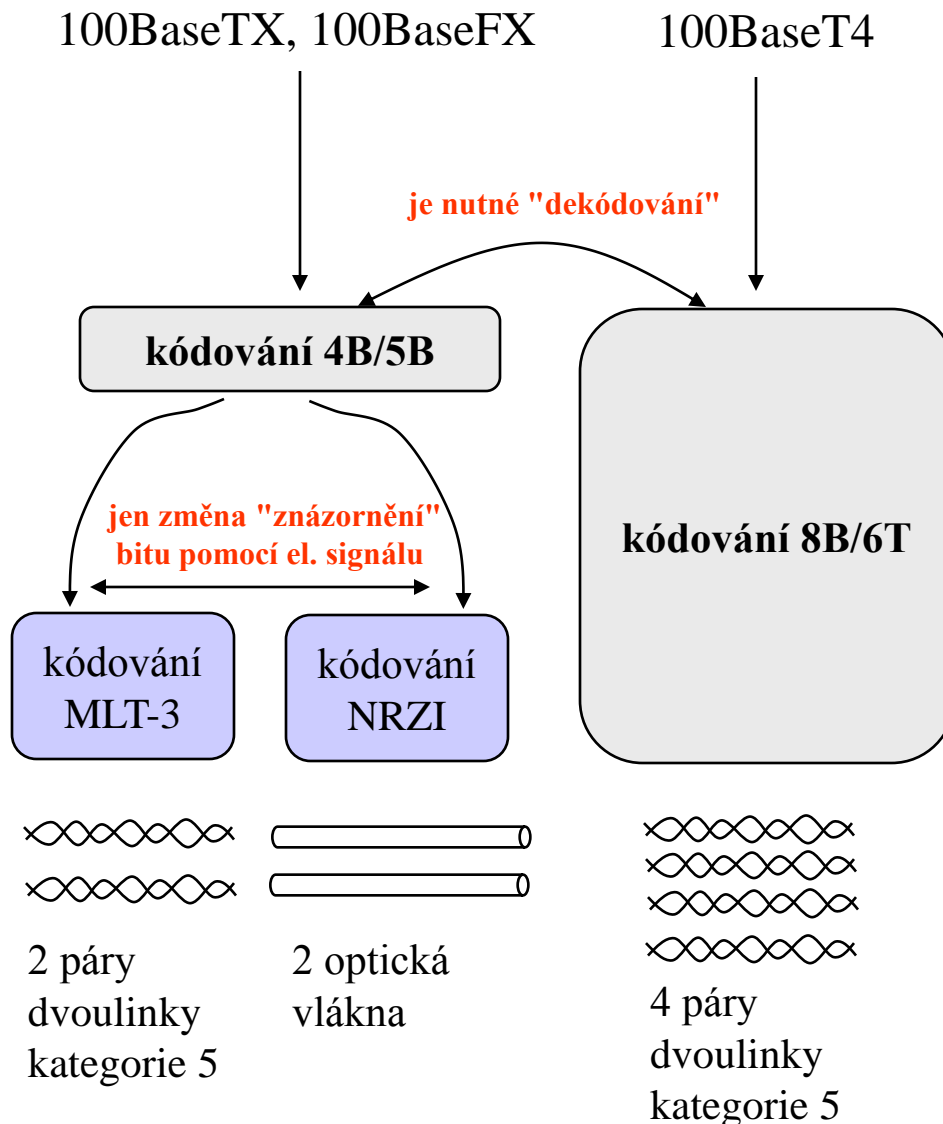
Příklad:  $0000 \xrightarrow{4B/5B} 11110$   
 $1110 \xrightarrow{4B/5B} 11100$



- jiná představa: jde o sinusovku o  $\frac{1}{4}$  frekvenci
  - 1 ji "nechává běžet"
  - 0 ji zastavuje
- výsledkem je efektivní zpomalení frekvence přenášeného signálu
  - na  $\frac{1}{4}$
  - 125 Mbit/s dat se přenáší pomocí signálu o frekvenci 31,25 MHz

důležité kvůli vyzařování !!!

# rozdíly v kódování



- 100BaseTX a 100BaseFX používají velmi podobné kódování
  - stejné 4B/5B
  - jiné "fyzické" kódování
    - MLT-3 vs. NRZI
  - přechod mezi TX a FX je jednoduchý a rychlý
    - jen na úrovni "fyzického kódování"
- 100BaseT4 používá úplně jiné kódování
  - 8B/6T místo 4B/5B+MLT-3/NRZI
- přechod mezi 100BaseT4 a TX/FX je složitější
  - vyžaduje "dekódování" – převod různých velikých sekvencí bitů
  - zabere to mnohem více času

# 2 druhy opakovačů 100BaseT

- Class I

- tzv. "**Translational Repeater**"
- „dekóduje“ jednotlivé bity
  - překládá mezi různými druhy kódování (různými médii)
- umožňuje přechod mezi různými přenosovými médii
  - např. 100BaseTX a FX
- generuje zpoždění v délce 140 bitů
  - bitových intervalů
- v kolizní doméně smí být jen 1x
  - protože je pomalý ...

- Class II

- tzv. "**Transparent Repeater**"
- „nedekóduje“ jednotlivé bity
  - pouze „vyhlazuje“ signál, nesnaží se jej interpretovat ani na úrovni bitů
- dokáže propojit jen segmenty se stejným způsobem (logického) kódování
  - TX a TX, nebo TF a TF, nebo T4 a T4, nebo TX a TF
  - nikoli "křížem,, mezi TX/FX a T4
- v kolizní doméně smí být až 2 tyto opakovače
  - ale max. 5 metrů mezi nimi

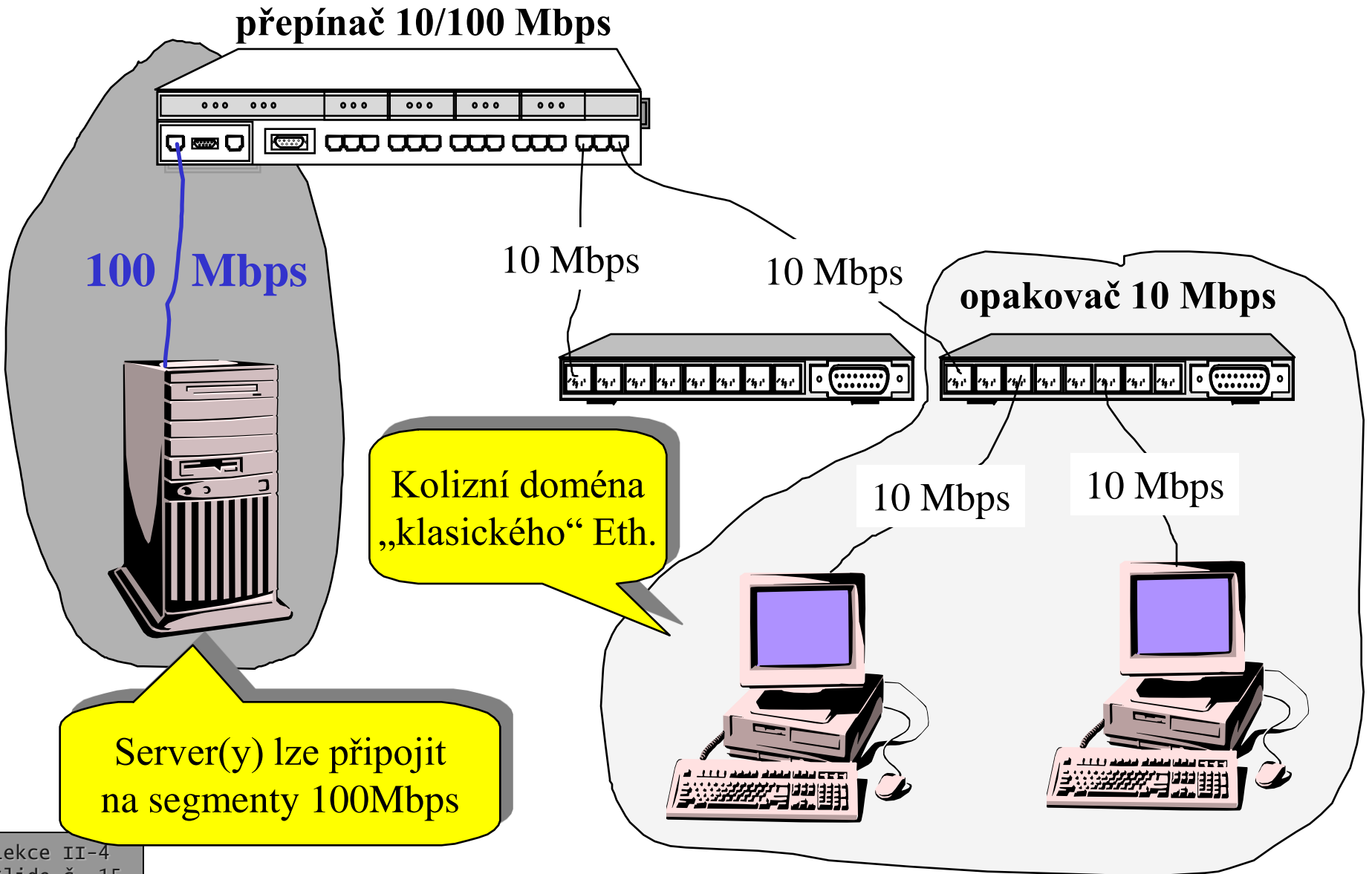
# max. velikost kolizní domény

<b>POUŽITÝ OPAKOVAČ</b>	<b>TWIST</b>	<b>OPTICKÉ VLÁKNO</b>	<b>T4 + FX</b>	<b>TX+FX</b>
<b>Žádný</b>	<i>100m</i>	<i>412m</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
<b>1x Class I</b>	<i>200m</i>	<i>272m</i>	<i>231m</i>	<i>260m</i>
<b>1x Class II</b>	<i>200m</i>	<i>320m</i>	<i>N/A</i>	<i>308m</i>
<b>2x Class II</b>	<i>205m</i>	<i>228m</i>	<i>N/A</i>	<i>216m</i>

# migrace z 10BaseT na 100BaseT

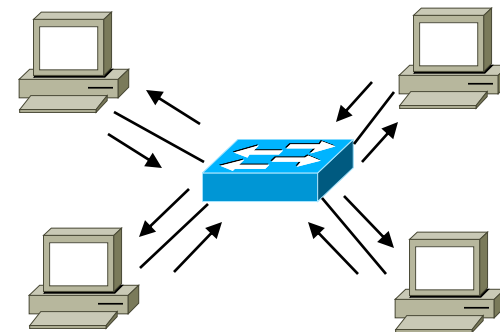
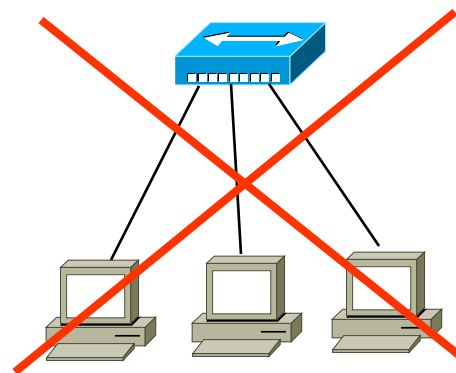
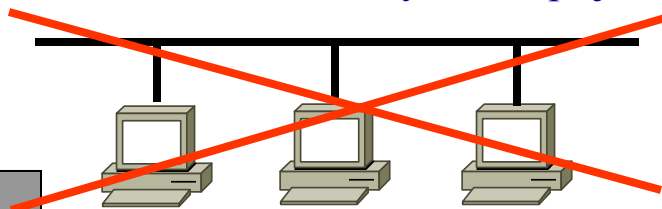
- přechod v zásadě znamená:
  - výměnu síťových karet (NIC)
  - výměnu aktivních síťových prvků (opakovačů, přepínačů)
- kabeláž může zůstat (často) beze změny
  - dvoulinka kat. 5 je zcela beze změny
  - dvoulinka kat. 3 „spotřebuje“ dvojnásobek párů
- díky vlastnostem 100BaseT je možná koexistence 10Mbps a 100Mbps segmentů
  - k propojení nestačí opakovače, jsou nutné alespoň přepínače
- migraci lze dělat postupně
- je relativně snadná a běžná
  - od začátku se s ní počítá jako s možností
  - nebo koexistence segmentů různých rychlostí může být záměrná!!!
    - může být cílovým stavem
- existují (vyrábí se) kombinované (10/100Mbps) ethernetové přepínače
  - všechny porty 10/100 Mbps
    - rychlost poznají samy, pomocí autodetekce
    - dnes nejčastější
  - některé porty 10 Mbps, jiné 100Mbps
  - porty 10Mbps, tzv. uplink 100Mbps
    - uplink je spoj k vyššímu uzlu ve smyslu stromovitého uspořádání
- existují (vyrábí se) kombinované síťové karty
  - samy poznají, jakou rychlostí mají komunikovat
    - nebo se ručně nastaví
- možná strategie:
  - servery se připojí na 100Mbps segmenty, stanice na 10Mbps segmenty
  - karty se kupují a instalují už jen kombinované
    - nejsou o moc dražší než normální pro 10Mbps

# příklad – koexistence 10BaseT a 100BaseT



# plně duplexní Ethernet

- „běžný“ Ethernet je poloduplexní
    - dokáže přenášet data v obou „směrech“, ale ne současně
      - je to dáno vlastnostmi původní koaxiální kabeláže
    - na poloduplexním charakteru komunikace je postavena i celá přístupová metoda CSMA/CD
  - dnes používaná kabeláž umožňuje plně duplexní provoz
    - dva páry kroucené dvoulinky (optických vláken) mohou sloužit pro příjem i vysílání současně
      - u poloduplexního Ethernetu souběh signalizuje kolizi
  - myšlenka plně duplexního Ethernetu:
    - umožní se současné vysílání i příjem
- podmínky pro plný duplex:
    - žádné sdílené segmenty
      - žádné koaxiální kabely s odbočkami
      - žádné opakovače, jen přepínače
    - mikrosegmentace (jen vyhrazená přenosová kapacita)
      - v každém segmentu jen 1 uzel
    - každý uzel musí být schopen současně vysílat i přijímat
      - bez interference (vzájemného ovlivňování)
    - všechna síťová rozhraní musí podporovat a být nastavena na plný duplex





# důsledky plně duplexního Ethernetu

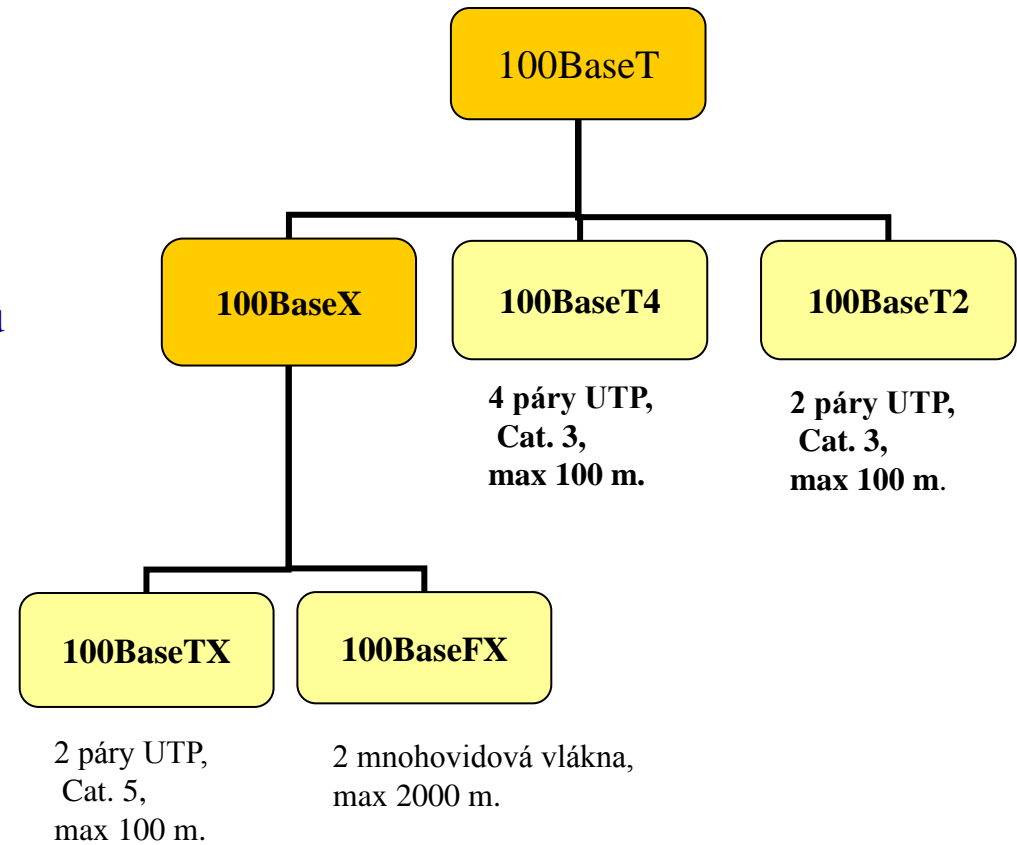
- není sdílené médium = není potřeba řídit k němu přístup
  - jen vyhrazená přenosová kapacita = je plně k dispozici (výhradně svému vlastníkovi)
    - uzlu, který je (jako jediný) připojen k (mikro)segmentu
  - odpadá možnost kolizí !!!
- odpadá potřeba přístupové metody
  - už žádná CSMA/CD !!!!
- odpadají omezení existující kvůli přístupové metodě
  - hlavně: dosah
    - již není nutné, aby se kolize rozšířila do všech částí kolizní domény v čase  $t$  (51,2  $\mu$ sec.)
  - minimální velikost rámce (512b, 64B)
    - původně nutná kvůli tomu, aby se stihla zaznamenat kolize
      - přesto se dodržuje i u plně duplexního Ethernetu, kvůli kompatibilitě
- dosah plně duplexního Ethernetu není apriorně omezen !!!!
  - fakticky je omezen obvodovými vlastnostmi média
- zvětšení dosahu otevírá dveře k tomu, aby Ethernet přestal být technologií pro sítě LAN, a pronikl i do oblasti metropolitních sítí (MAN) a rozlehlých sítí (WAN)
  - dokáže překlenout kilometry ...
- zvětšuje se efektivní propustnost
  - teoreticky na dvojnásobek
  - prakticky záleží na druhu provozu
  - jednotlivé uzly obvykle generují spíše poloduplexní provoz
    - buďto vysílají, nebo přijímají
  - větší efekt je u agregovaného provozu
    - jaký generují například přepínače, servery, ...

# 100BaseT4

- plně duplexní Ethernet je možný u 10 megabitového, 100 megabitového Ethernetu, i u rychlejších verzí
- výjimky:
  - 10 Base5 a 10Base2
    - jejich kabeláž vytváří sdílenou přenosovou kapacitu
  - 100BaseT4
    - kvůli způsobu kódování a využití přenosového média
- 100BaseT4
  - vyžaduje 4 páry kroucené dvoulinky kategorie 3
  - používá kódování 8B/6T
    - vezme vždy 8 bitů, zakóduje je pomocí 6 změn ternárního signálu
    - celková (střední) frekvence přenášeného signálu vychází 37,5 MHz
  - data, přenášená v jednom směru, "rozkládá" do 3 párů
    - kvůli minimalizaci vyzařování
    - signál na jednom páru má frekvenci 12,5 MHz
    - již nezbývá kapacita pro přenos v opačném směru
  - čtvrtý pár se využívá pro signalizaci kolize

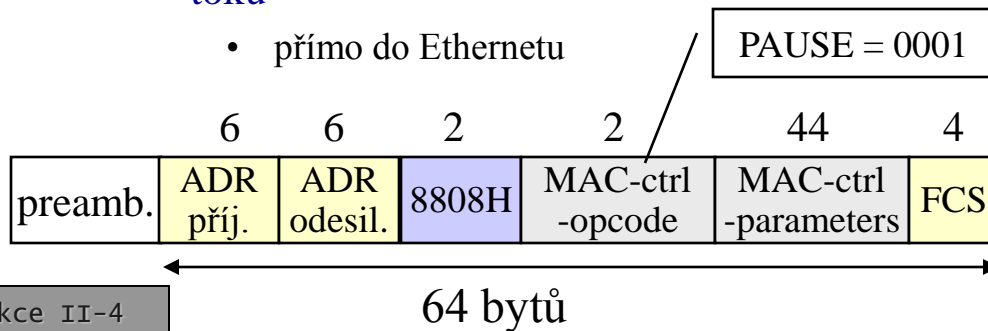
# 100BaseT2

- málo používaná varianta 100 Mbit/s Ethernetu
  - definuje standard IEEE 802.3y
- vyžaduje pouze 2 páry kroucené dvoulinky kat. 3
  - umožňuje plný duplex
  - v každém páru přenáší data v obou směrech současně
    - rozkládá tok do obou párů
  - používá 4-stavovou PAM
    - pulsně-amplitudová modulace
    - data kóduje do 5 různých stavů přenášeného signálu
  - přenášený signál má frekvenci 12.5 MHz
    - přijatelné vyzařování



# řízení toku v Ethernetu

- původně:
    - Ethernet pracuje stylem "best effort"
      - nemá žádné mechanismy pro řízení toku
    - Ethernet je málo zatěžován
      - absence řízení toku nevadí
  - dnes:
    - přepínače (switch-e) jsou hodně zatížené
    - řízení toku na síťové či transportní vrstvě nestačí
      - není dostatečně efektivní
    - vzniká potřeba dodatečného zpracování mechanismů pro řízení toku
      - přímo do Ethernetu
- řeší IEEE 802.3x
  - princip fungování:
    - příliš zatížený přepínač pošle odesilateli dat rámeček PAUSE
      - parametr: **n**
        - říká, na kolik časových jednotek se má zdroj odmlčet
      - velikost časové jednotky:
        - 512 bitů pro 10-100 Mbit/s
        - 4096 bitů pro 1 Gbit/s
    - odesílatel pokračuje v odesílání:
      - až po vypršení n časových jednotek, nebo
      - po příjmu rámečku PAUSE 0
    - rámeček PAUSE může být poslán
      - jednomu konkrétnímu odesilateli
        - unicast
      - všem odesílatelům
        - broadcast
      - na speciální multicastovou adresu 01-80-C2-00-00-01
        - šíří se jen v daném segmentu, neprochází dál přes mosty/přepínače

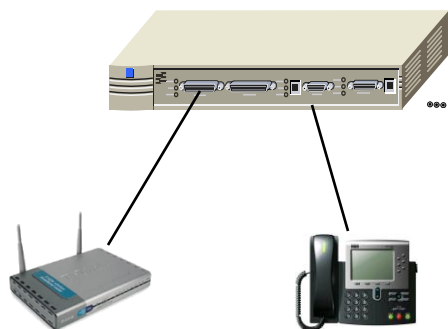


# mechanismus autodetekce

- v 10BaseT existuje mechanismus **NLP**
  - Normal Link Pulse
  - každé zařízení vysílá každých 16 milisekund puls o délce 100 nanosekund
    - informuje "o své existenci"
    - absence tohoto pulsu na druhé straně je interpretována jako přerušení spoje (segmentu)
- 100BaseTX používá mechanismus **FLP**
  - Fast Link Pulse
  - dávka 17 až 33 NLP pulsů
    - posílá se jen na začátku
      - když dojde k propojení/zapojení kabelu
- autodetekce rychlosti
  - jen 1x NLP = 10 Mbit/s
  - celá dávka 17-33 NLP = 100 Mbit/s
- podrobnější negociace
  - pokud stojí proti sobě dvě zařízení 100 Mbit/s, mohou se domlouvat podrobněji
    - zda podporují half/full duplex
    - ... (o dalších rozšířeních)
  - dávka NLP obsahuje zakódovaný popis schopností odesílatele
    - dochází k výměně NLP
    - postupně se domluví na největší společné podmnožině

# PoE: Power over Ethernet

- záměr:
    - řada "malých" zařízení
      - např. webových kamer, VOIP telefonů,
    - má jen malý příkon, ale ten je řešen samostatně
      - baterie, síťový adaptér, ...
      - další kabeláž, ...
    - idea: zkusit je napájet z jiného zařízení, po "datových" kabelech
  - první záměr standardu
    - v roce 1999
  - standard PoE (IEEE 802.3af) schválen v červnu 2003
- lze použít na kabelech s kroucenou dvoulinkou kategorie 5
    - varianta 1, 4 páry:
      - pro data jsou využívány dva střední páry,
      - pro napájení slouží 2 krajní páry
    - varianta 2:
      - 2 střední páry jsou využívány současně pro data i pro napájení
  - příkon zařízení:
    - až 13 W při napětí 48V
      - zařízení si samo transformuje na nižší napětí, pokud potřebuje
  - je zajištěno, že zařízení nepodporující PoE nebude poškozeno
    - součástí PoE je "otukávání"
      - PSE nejprve opatrně zkusí, zda PD podporuje PoE
      - napájí jej nejprve bezpečným malým napětím a vyhodnocuje odezvu
      - teprve když zjistí že zařízení podporuje PoE, "přidá" napájení



**PSE**

(Power Sourcing Equipment)

**PD**

(Powered Device)

- Iso-Ethernet, alias
  - Isochronous Ethernet Integrated Services
  - existuje ve formě standardu IEEE 802.9a
- jde o kombinaci klasického (10Mbps) Ethernetu a kanálů ISDN
  - 1x 10Mbps Ethernet
  - 96x 64 kbps ISDN kanál B
  - 1x 64 kbps ISDN kanál D
    - celkem 10 + 6,144 Mbps
- cíl Iso-Ethernetu:
  - vyjít vstříc jak potřebám klasických „datových“ přenosů
    - kterým dobře vyhovuje paketový charakter Ethernetu
  - tak i potřebám aplikací v reálném čase, které vyžadují garanci služeb
    - např. přenosu zvuku, obrazu, telefonování, telemetrii apod.
    - těmto službám dokáže lépe vyhovět ISDN s kanály na principu přepojování okruhů
  - „propojit“ sítě LAN a WAN
    - například „rozvést“ ISDN do lokální sítě
- filosofie Iso-Ethernetu:
  - zkombinovat dvě technologie:
    - paketovou technologii Ethernetu (fungující na principu přepojování paketů)
    - technologii ISDN, fungující na principu přepojování okruhů
  - udělat to tak, aby
    - si každá technologie zachovala své přednosti
    - neovlivňovala nepříznivě „tu druhou“
    - bylo to laciné, efektivní, ....

- migrace:
  - kabeláž zůstane
  - síťové adaptéry musí být nové
  - aktivní prvky (huby, přepínače, ...) musí být nové
- technické řešení:
  - časový multiplex (TDM)
    - je vytvořen 1 ISDN kanál typu P (10 Mbps), který se chová jako běžný Ethernet (10BaseT)
    - „zbytek“ je použit pro ISDN kanály B a D
  - aktivní prvky (opakovač, switch) jsou v principu kombinací
    - běžného Ethernetového přepínače či opakovače
    - ISDN ústředny
- Iso-Ethernet může pracovat ve třech režimech:
  - „Ethernet only“
    - pouze 10Mbps kanál, jako běžný Ethernet
  - Multiservice mode
    - Ethernet i kanály ISDN
  - „Isochronous only“
    - celá přenosová kapacita využívána pro isochronní přenos, tj. pro 248 B-kanálů ISDN
- Ethernetový kanál je sdílený
  - chová se jako klasický 10BaseT

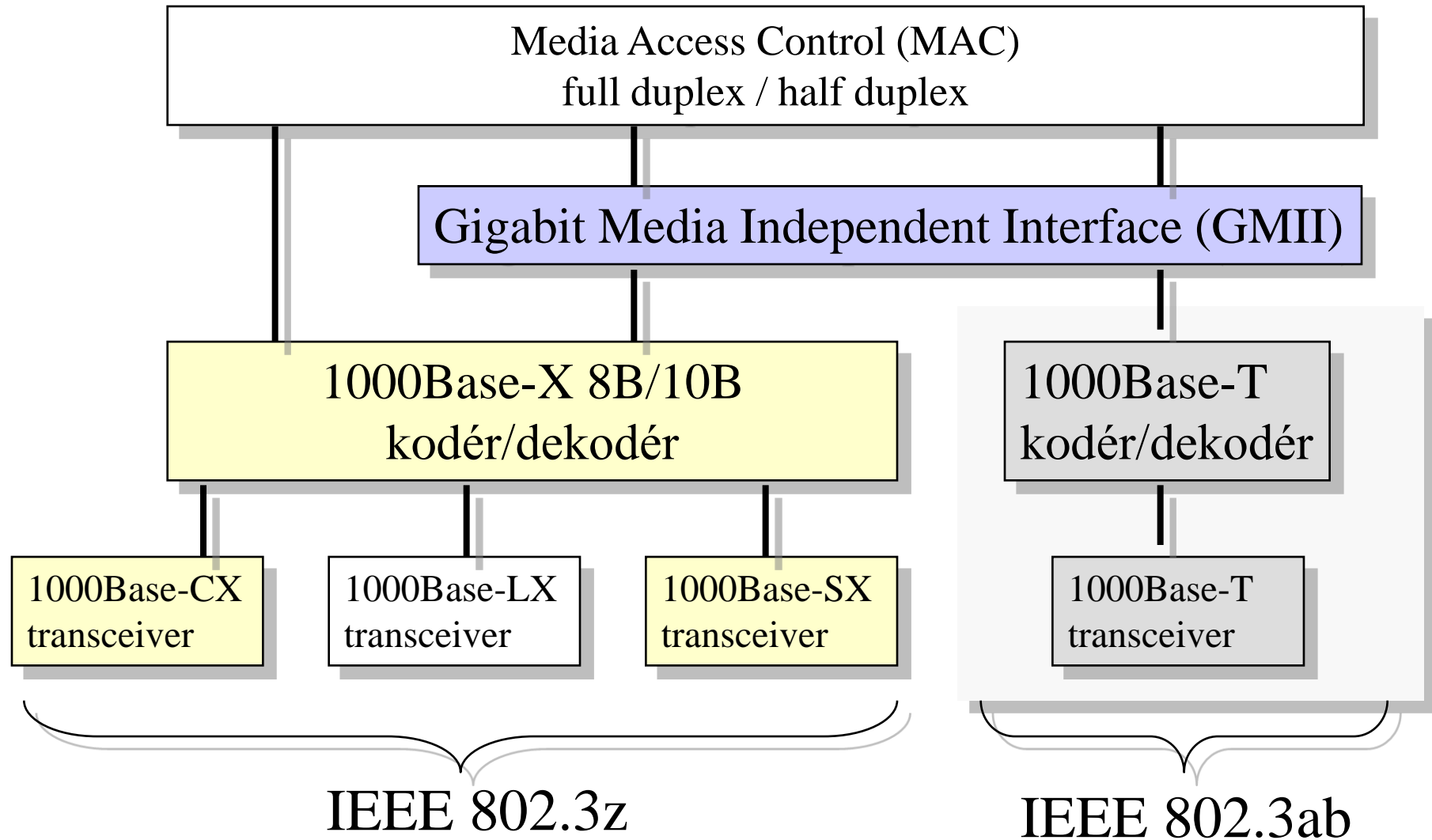




# gigabitový Ethernet

- potřeba zvýšit propustnost Ethernetu neskončila se zavedením verze 100 Mbit/s
  - snahy o zrychlení pokračují
  - nyní na 1000 Mbit/s
- gigabitový Ethernet
  - první záměr v roce 1995
  - práce na standardu začaly v roce 1996
    - založena Gigabit Ethernet Alliance
  - standard schválen v červnu 1998
- jako přenosové médium se používá
  - optické vlákno (1000Base-X)
    - konkrétní řešení převzato z Fiber Channel
  - kroucená dvoulinka (1000Base-T, 1000Base-CX)
    - dosah 25 až 100 metrů
    - zde byly potřebné standardy nově vyvinuty
- varianty standardů gigabitového Ethernetu
  - 1000Base-SX
    - 850 nm laser na mnohovidovém vlákně
      - dosah 300 metrů s využitím vlákna průměru 62,5  $\mu\text{m}$ , nebo až 550 metrů s vláknem 50  $\mu\text{m}$
  - 1000Base-LX
    - 1300 nm laser na mnohovidovém nebo jednovidovém vlákně
      - dosah 550 metrů na mnohovidovém vlákně, až 3 km na jednovidovém vlákně
  - 1000Base-CX
    - STP (Shielded Twisted Pair) cable
      - dosah max. 25 metrů
  - 1000Base-T
    - UTP (Unshielded Twisted Pair, kat. 5)
      - dosah max. 100 metrů – 4 páry !!!

# vrstvový model gigabitového Ethernetu



# dosah gigabitového Ethernetu

- 10x násobné zrychlení by znamenalo další 10x násobné zkrácení max. délky segmentu

- na 10 (20) metrů,

- to je neúnosné

- principiální možnosti řešení:

- zachová se poloviční duplex a sdílený charakter

- zůstává metoda CSMA/CD

- ale musí se prodloužit "slot time"

- doba, během které je nutné detekovat kolizi
  - » ta je definována jako doba přenosu nejkratšího možného rámce

- původně min. délce rámce 64 B (512 bitů)

- tj. nejkratší rámec se zvětší na 512 B

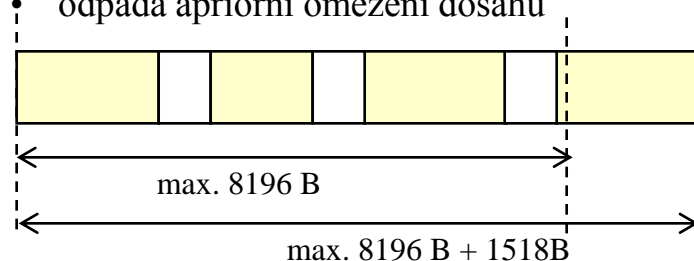
- (4096 bitů)

- zavede se plný duplex

- odpadá metoda CSMA/CD

- odpadá nutnost detekovat kolize

- odpadá apriorní omezení dosahu



- zachování polovičního duplexu:

- lze realizovat dvěma způsoby

- Carrier Extension

- rámce menší jak 512 B jsou "roztaženy" na 512 B doplněním o speciální "vycpávku"

- to ale plýtvá přenosovou kapacitou, zvláště u malých paketů

- Frame Bursting

- v rámci jednoho slotu (512 až 1500 B) může být vysláno více menších rámců

- max. velikost "dávky" je 8196 B + 1518 B

- první rámec dávky musí mít nejméně 512 B, ostatní mohou mít nejméně 64 B

- smí být použit jen 1 opakováč v kolizní doméně

# gigabitový Ethernet při plném duplexu

- při plně duplexním Ethernetu přestává platit omezení na max. vzdálenost
  - **vyplývající z metody CSMA/CD**
    - protože mizí kolize
    - ale zůstává omezení dané obvodovými vlastnostmi přenosového média
- pro plně duplexní Ethernet nelze použít žádné opakovače (hub-y)
  - **musí být jen přepínače**
    - a to je drahé
- řešení: Buffered Repeater
  - **"full duplex repeater"**
    - zařízení, které funguje jako opakovač (rozesílá rámce na všechny strany)
    - ale bufferuje rámce
    - používá stejné mechanismy řízení toku jako inteligentní switche
      - ale je výrazně lacinější!!
- podle standardů IEEE lze na jednovláknových optických vláknech (1000 Base-LX) dosáhnout až na 3 km
  - **výrobci dnes nabízejí zařízení (přepínače) s gigabitovými porty s dosahem až 100 km!!**
    - např. Cisco
    - je to proprietární řešení, nemusí být kompatibilní s produkty ostatních výrobců
  - **experimentálně bylo již dosaženo vzdálenosti přes 1000 km**
  - **vše se týká dvouvláknových (nesdílených) spojů s plným duplexem**
- **důsledek: Ethernet se stává technologií použitelnou v sítích MAN i WAN**
  - **pro budování páteřních sítí**
    - kde vychází lacinější a jednodušší než např. ATM
  - **pro překonání tzv. poslední míle**

# standard 1000BaseT

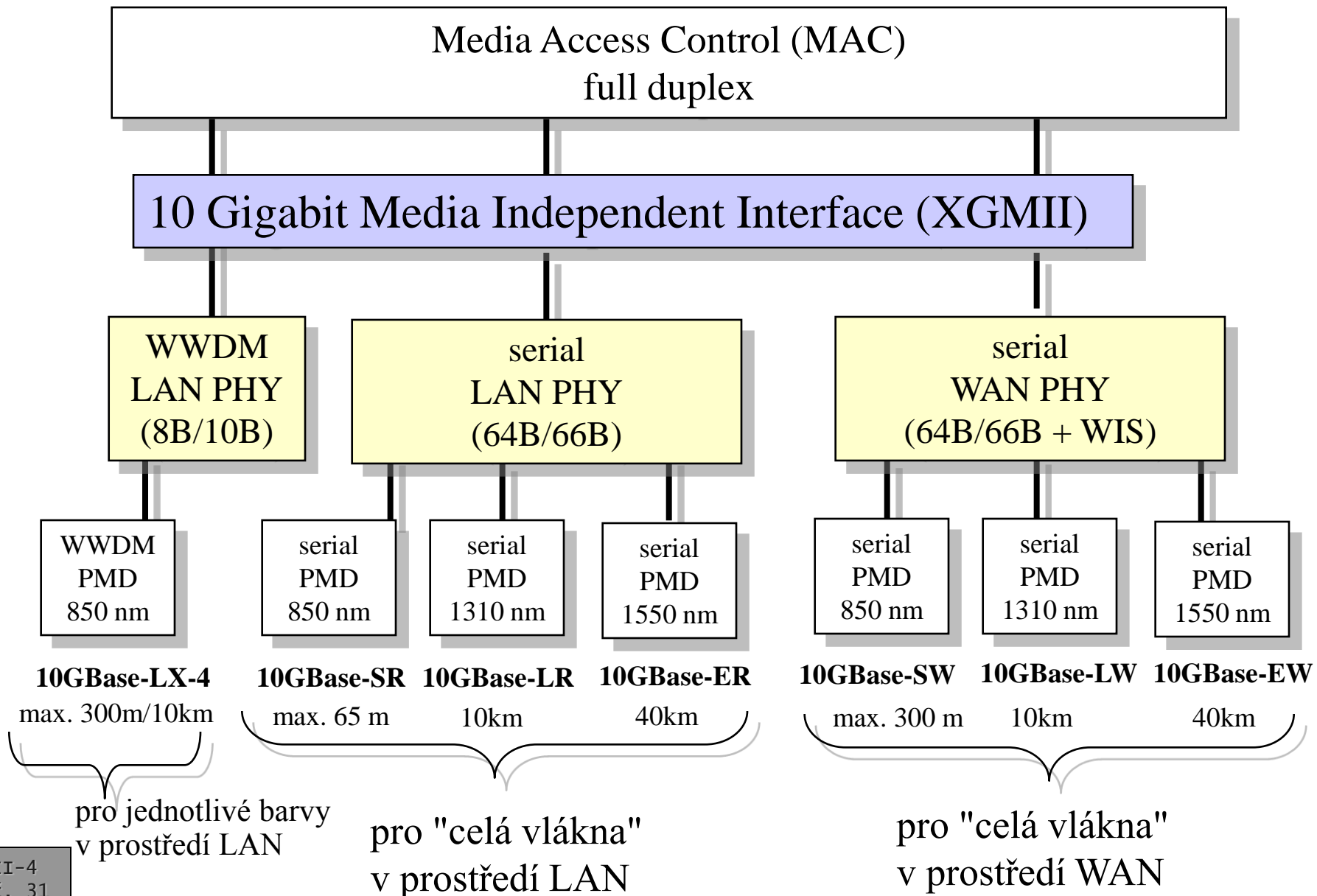
- definuje 802.3ab
  - nabízí plný duplex
  - dosah do 100 metrů
- vyžaduje 4 páry nestíněné kroucené dvoulinky
  - kategorie 5
  - všechny páry se používají pro vysílání i příjem současně
- způsob kódování:
  - datový tok se rozloží do 4 párů vodičů
    - 250 Mbit/s na každý
  - pro znázornění bitů jsou využity 4 různé stavy přenášeného signálu
    - frekvence signálu 31,25 MHz
- autodetekce rychlosti přenosu:
  - existuje i v rámci 1000BaseT
    - zpětná kompatibilita a 100BaseT a 10BaseT
    - řeší se pomocí pulsů NLP a FLP
  - není řešena v rámci optických variant
- negociace
  - domlouvání se na parametrech
    - half/full duplex
    - flow control (ano/ne)
    - ....
  - existuje u všech verzí gigabitového Ethernetu
    - už nepoužívá pulsy FLP ale speciální rámce



- základní rysy:
  - funguje již jen plně duplexně
    - nebude již omezení na dosah kvůli potřebě detekovat kolize
  - je provozován pouze po optických vláknech
- dosah je až 40 km
  - již není ani CSMA/CD ani kolize
- standard (IEEE 802.3ae) byl schválen v červnu 2002
  - práce na standardu byly zahájeny v roce 1999
  - v rámci 10 GiGabit Ethernet Alliance
- předpokládá se použití "celých" vláken:
  - mnohovidových:
    - 850 nm, max. 65 metrů
  - jednovidových:
    - 1310 nm, max. 10 km
    - 1550 nm, max. 40 km
- a také jednotlivých "barev" získaných technikou DWDM (4 barvy)
  - na mnohovidových vláknech:
    - 1310 nm, max 300 metrů
  - na jednovidových vláknech:
    - 1310 nm, max. 10 km
- existují verze 10 GbE pro sítě LAN a pro sítě WAN
  - vybavené dalšími funkcemi, pro provoz nad synchronními digitálními hierarchiemi (WIS, WAN Interface Sublayer)
    - SONET/SDH

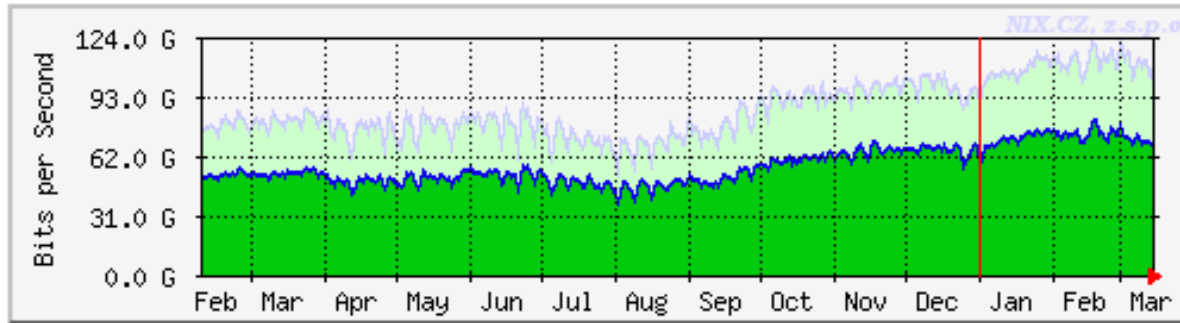
<http://www.10gea.org/>

# vrstvý model 10 gigabitového Ethernetu



# příklad využití – propojení lokalit NIX.CZ

## Roční graf (denní průměr)



	Max	průměr	Current
<b>Příchozí</b>	122.6 Gb/s (21.9%)	56.6 Gb/s (10.1%)	69.3 Gb/s (12.4%)
<b>Odchozí</b>	122.4 Gb/s (21.9%)	56.6 Gb/s (10.1%)	69.3 Gb/s (12.4%)

- Zeleně:** příchozí provoz v bitech za sekundu
- Modře:** odchozí provoz v bitech za sekundu
- Světle zeleně:** maximální pětiminutový příchozí provoz
- Světle modře:** maximální pětiminutový odchozí provoz

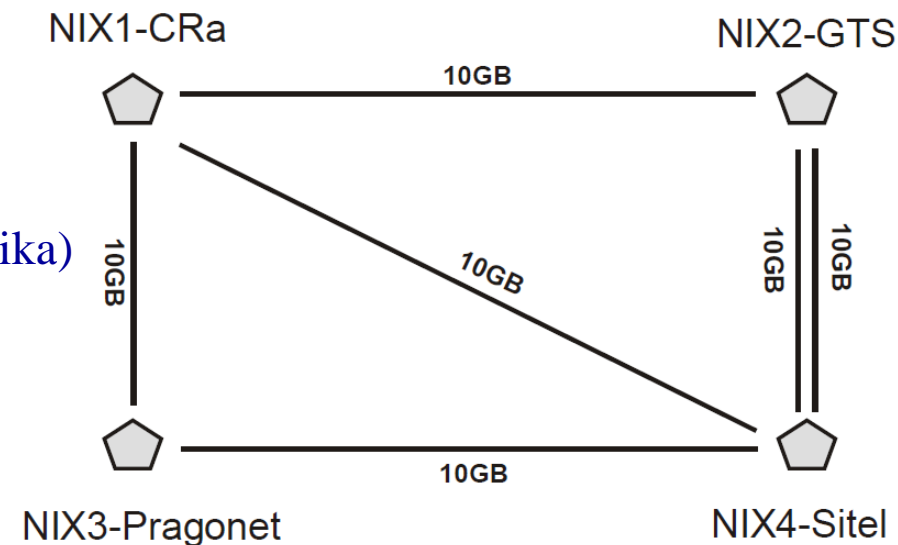
ani 10 Gb/s Ethernet už nepostačuje dalšímu nárůstu datových toků

- stejný problém mají další IX-y
- perspektivně: nutnost upgrade na rychlejší technologie

• kde je 100 Gb/s Ethernet?

• možnosti napojení ISP přes Ethernet v jednotlivých lokalitách:

- 10/100/1000 Mbit/s, konektor RJ45 (metalika)
- 1 Gb/s, konektor SFP (Small Form Factor Pluggable, optika)
- 10Gb/s, konektor XENPAK





# další vývoj Ethernetu

- dalšímu zvyšování rychlosti Ethernetu nestojí v cestě žádné principiální bariéry
  - po přechodu jen na plný duplex
    - kdy odpadly kolize
  - po přechodu (ne)jen na 2-bodové spoje
    - obecnější topologie jsou realizovány pomocí prepínačů
- ale (neprincipiální) překážky se překonávají čím dál tím obtížněji
  - například útlum, zkreslení, vyzařování, přeslechy mezi páry vodičů atd.
    - proto další zrychlování není tak snadné, jak se předpokládalo
- jaké jsou další směry vývoje?
  - Ethernet pro přístupové sítě
    - EFM (Ethernet in the First Mile)
    - připravilo sdružení EFMA (Ethernet First Mile Alliance)
      - řešení převzalo IEEE a vydalo jako standard IEEE 802.3ah, v červnu 2004
  - Ethernet pro sítě MAN a WAN
    - tzv. metropolitní Ethernet (Metro Ethernet)
      - část standardů definuje IETF
      - (větší) část standardů připravuje Metro Ethernet Forum
    - Ethernet over MPLS, over DWDM
    - Ethernet over IP
  - Ethernet pro internetové providery a telekomunikační operátory
    - tzv. "carrier-grade" Ethernet, Carrier Ethernet
    - má podporu QoS

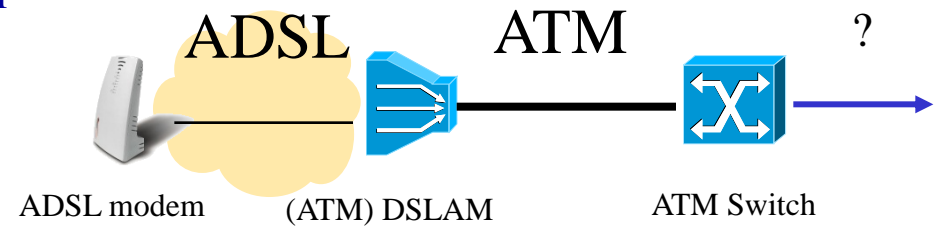
# 100 Gigabitový Ethernet

- předpoklad:
  - 100Gb/s Ethernet bude používána hlavně v rozlehlejších (WAN) optických sítích
    - asi pro propojování datových center/telehousů/hostingových středisek
- původní očekávání:
  - "ještě rychlejší Ethernet" by měl být dimenzován podle normovaných rychlostí v oblasti telekomunikací
    - podle rychlostí digitálních hierarchií, zejména SDH
  - důsledek:
    - uvažovaly se rychlosti **40 Gb/s, 80 Gb/s, 120 Gb/s**
- dnes:
  - "ještě rychlejší" Ethernet bude respektovat "své" normované rychlosti
  - důsledek: bude jen **100 Gb/s Ethernet**
- vývojem se zabývá IEEE 802.3
  - skupina Higher Speed Study Group (HSSG)
- teprve v prosinci 2006 byl oficiálně potvrzen záměr IEEE připravit standard 100 Gb/s Ethernetu
  - předpoklad: reálná dostupnost produktů v letech 2010/2011
- cíle 100 Gb/s Ethernetu:
  - dosah 100m na mnohovidových optických vláknech
  - dosah 10 km na jednovidových vláknech
  - možnost využití kroucené dvoulinky se zatím zvažuje
    - velké problémy s vyzařováním a přeslechy mezi páry vodičů

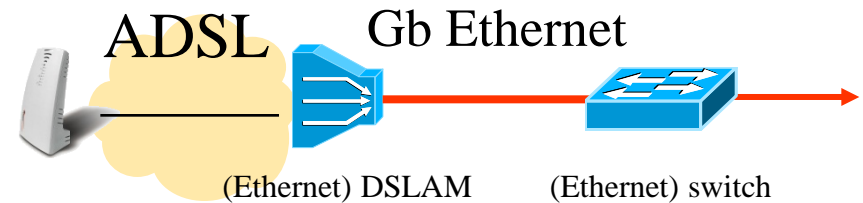
# Ethernet in the First Mile (EFM)

- cíl:
  - používat i v přístupové síti takové technologie, jaké se (nejvíce) používají i "na koncích"
    - tj. Ethernet
  - snaha eliminovat režii, která vzniká propojováním a kombinováním různých technologií (ADSL, ATM, SHD, SONET atd.)
  - snaha zvýšit rychlost a dosah
    - nahradit xDSL
    - dříve se používal i termín LRE
      - **Long Reach Ethernet**
- snaha využít:
  - metalická vedení (místní smyčky)
  - optická vlákna P-P (point-to-point)
  - pasivní optické sítě (point-to-multipoint)

současný stav – ADSL a ATM



↓ Ethernet pro napojení DSLAMů na páteřní síť



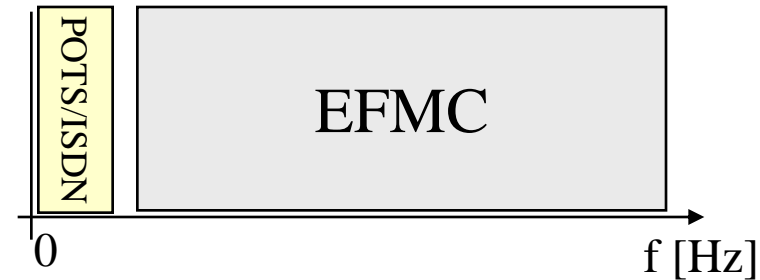
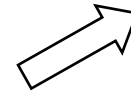
↓ nasazení EFM také na místní smyčky



# Ethernet in the First Mile - varianty

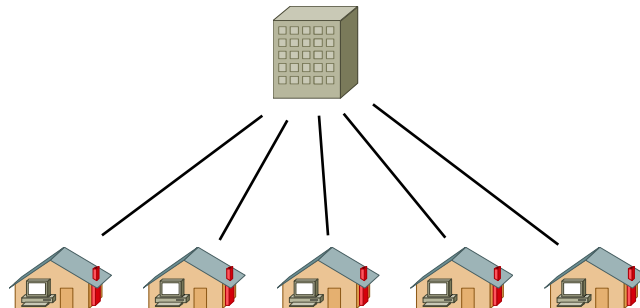
- **EFMC** (EFM over Copper)

- dvoubodové spoje po metalických vedeních
  - plně kompatibilní s ISDN a PSTN
    - tj. může koexistovat spolu s nimi "na stejném drátě"
- symetrické přenosové rychlosti
  - nikoli asymetrické jako ADSL
- alespoň 10 Mbps na 750 metrů
  - po kroucené dvoulince kat. 3
  - EMFC SR (Short Range)
- alespoň 2 Mbps na 2700 metrů
  - EMFC LR (Long Range)



- **EFMF** (EFM over Fiber)

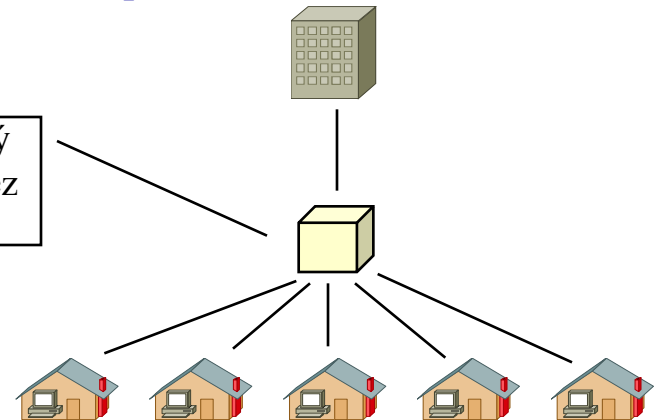
- dvoubodové spoje po jednovidových optických vláknech
  - plně symetrické, plný duplex
- 100 Mbps / 1 Gbps, nejméně na 10 km



- **EFMP** (EMF PON, EMF over Passive Optical Networks)

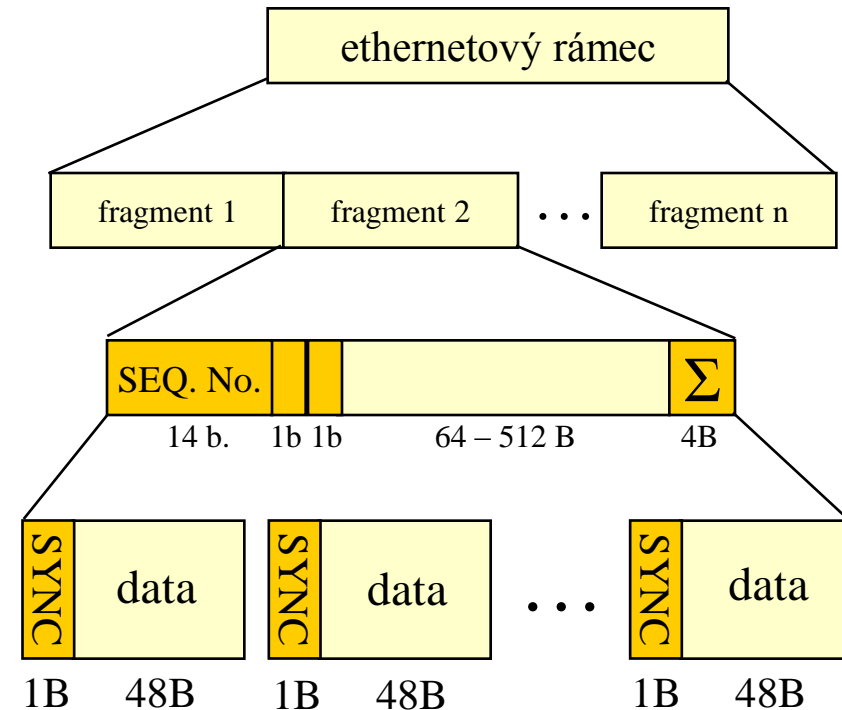
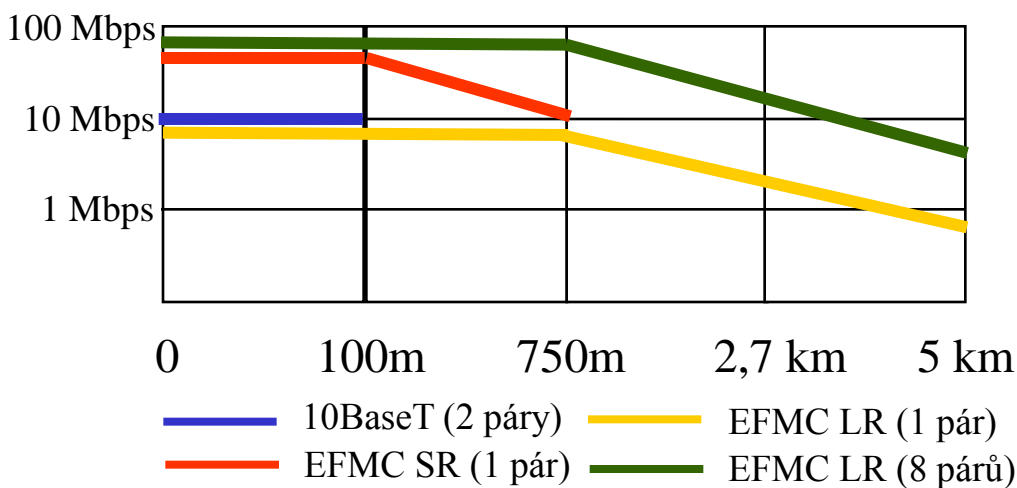
- vícebodové (Point-to-Multipoint) spoje po optických vláknech, s pasivním rozbočením
  - šetří se optická vlákna
- symetrické přenosové rychlosti
- 1 Gbps, až na 20 km

pasivní optický rozbočovač (bez zesílení)



# EFMC (EFM over Copper)

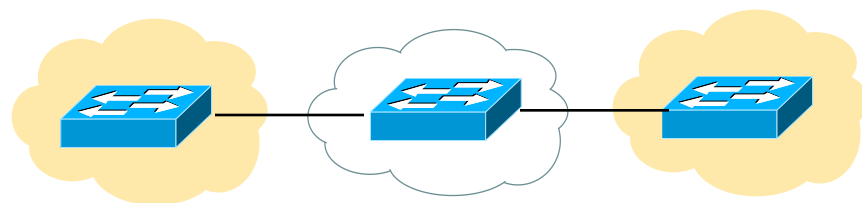
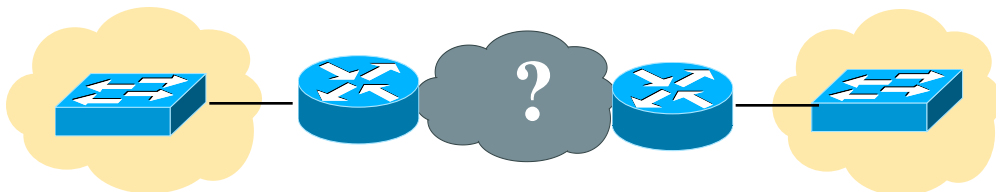
- využívá modulační techniky, používané u DSL
  - DMT (OFDM) a QAM
- může využívat více párů kroucené dvoulinky (kategorie 3)
  - skrze techniku inverzního multiplexu
  - zvyšuje tím rychlost / zlepšuje dosah
- dosah a rychlost závisí na vzdálenosti a počtu použitých párů
  - na krátké vzdálenosti bývají rychlosti i vyšší než 1/10 Mbps



- ethernetové rámce se přenášejí "rozdělené" na fragmenty
  - o velikosti 64 bytů
    - +1 byte režie, kódování 64B/65B
  - celková režie cca 5%
    - podstatně menší než u ADSL

# Metropolitní Ethernet

- podobný cíl jako u EFM:
  - používat "uprostřed" stejné technologie, jako "na koncích"
    - "uprostřed" = v síti MAN či WAN
  - snížit režii, zvýšit rychlost, usnadnit škálování, ....
- dříve:
  - při propojování sítí LAN se muselo "přecházet" přes různé jiné technologie
    - s využitím směrovačů (a síťové vrstvy)



- záměr Metro Ethernetu
  - nabídnout propojení na úrovni linkové vrstvy
    - s možností přenosu ethernetových rámců (bez nutnosti přechodu přes síťovou vrstvu)
  - navíc s podporou VLAN, QoS atd.
- zákazník se připojuje přes standardní ethernetové rozhraní
  - přenos skrze MAN či WAN ve skutečnosti nemusí být realizován po Ethernetu
    - ale např. po ATM či po MPLS
    - pro zákazníka je to neviditelné