

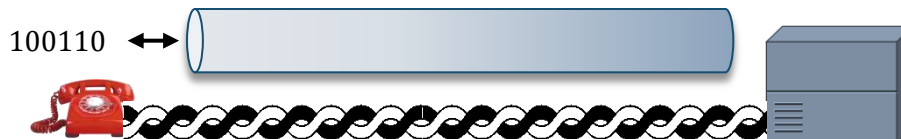
# Lekce 9: xDSL, FTTx, PON

*Jiří Peterka*

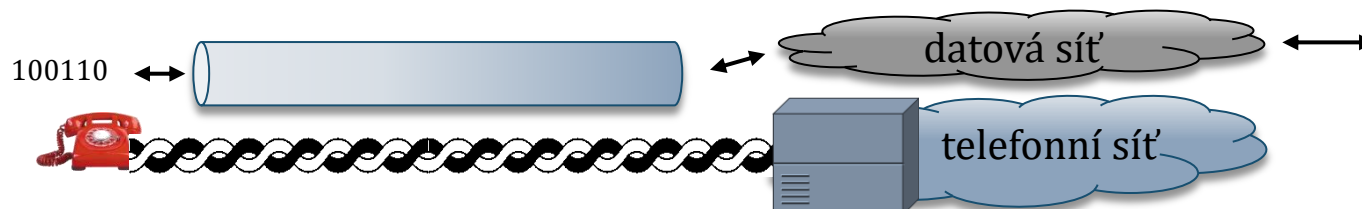
# rodina xDSL technologií

- **připomenutí:**

- **xDSL (Digital Subscriber Line)** je celá rodina technologií, které se snaží využít přenosový potenciál místních smyček pro (co nejrychlejší) přenos dat



- řeší jen přenos po místní smyčce, neřeší „další části přenosové cesty“
  - data nemohou být vedena skrz telefonní síť, protože ta na to nemá kapacitu
    - musí být „odbočena“ do vhodně dimenzované datové sítě ....



- **konkrétní varianty xDSL technologií:**

- **ADSL (Asymmetric DSL)** : „základní“ asymetrická varianta, vznikla jako první
- **VDSL (Very-high-bit-rate DSL)**: „vyspělejší“ asymetrická varianta
  - využívá (širší) nadhovorové pásmo, dosahuje vyšších rychlostí
- **SHDSL (High-bit-rate DSL)**: „základní“ symetrická varianta
  - využívá hovorové i nadhovorové pásmo
- **SHDSL (High-bit-rate DSL)**: rychlejší symetrická varianta (oproti HDSL)
- .....

vývoj DSL technologií začal již v roce 1989 v Bellových laboratořích v USA, pro potřeby VoD

# fyzikální omezení xDSL

- **místní smyčky byly budovány pro potřeby přenosu (analogového) hlasu**
  - tj. signálů v rozsahu 300-3400 Hz (0-4 kHz) – viz hovorové pásmo
- **nebyly určeny/zamýšleny k využití v nadhovorovém pásmu !!**
  - přesto jsou dnes takto využívány – protože to umožňují
  - přináší to ale řadu problémů, vyplývajících ze základních fyzikálních zákonů

## • charakter problémů:

### 1. problém s délkou

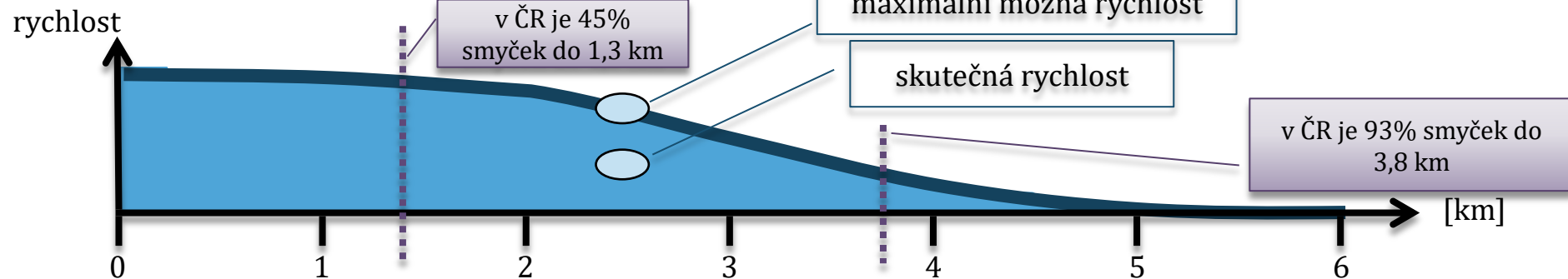
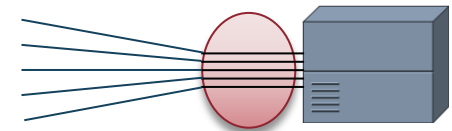
- čím větší je délka (vzdálenost mezi xDSL modemy), tím nižších rychlostí se dá dosáhnout
  - jde o omezení charakteru nastavení maximálních možných přenosových rychlostí

### 2. problém s kvalitou smyčky (útlum, zkreslení, rušení, ...) a podmínkami pro přenos

- kvůli (horší) kvalitě bývá rychlost nižší než maximální možná

### 3. problém s přeslechly (mezi jednotlivými místními smyčkami)

- zejména na vstupu do ústředny jsou celé skupiny místních smyček vedeny vedle sebe, což zvyšuje nebezpečí přeslechů



# ADSL: asymetrické DSL

- **ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)**

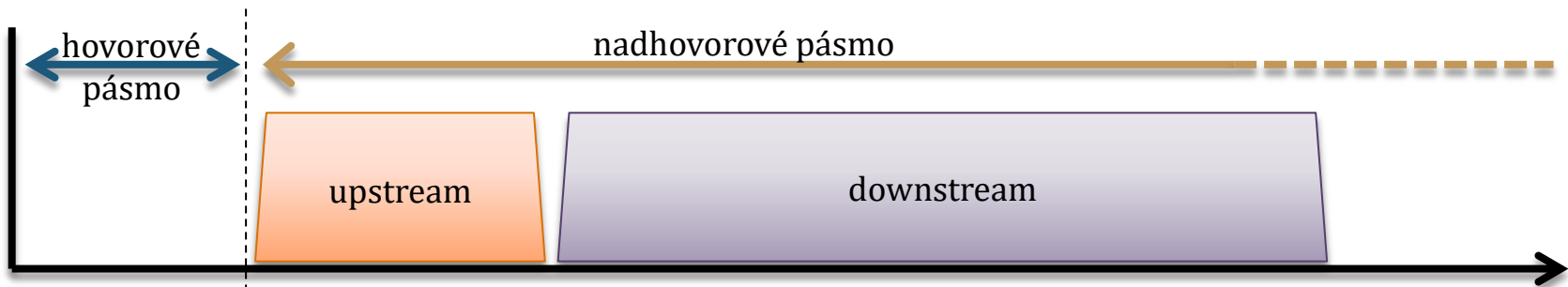
- nejstarší varianta xDSL, první verze (G.dmt) již z roku 1998/9
- je asymetrická:
  - v tom smyslu, že vytváří datový okruh s různými rychlostmi v obou směrech
    - s vyšší rychlostí směrem ke koncovému uživateli (downstream)
    - s nižší rychlostí směrem od koncovému uživatele (upstream)
  - obvyklý poměr rychlostí (daný samotnou technologií) - je 10:1

ale poskytovatel služby (provider) může omezovat přenosové rychlosti tak, že fakticky dosáhne jiného (obvykle vyššího) poměru

- využívá pouze nadhovorové pásmo

- které si rozděluje (na principu frekvenčního multiplexu) na 2 části:
  - nižší frekvence: pro upstream
  - vyšší frekvence: pro downstream
    - konkrétní hodnoty (rozsahy) frekvencí se liší podle verze/varianty ADSL

například 16:1 či 20:1  
(či dokonce až 32:1) !!!



# ADSL (G.dmt)

- **nejstarší varianta ADSL (z roku 1999)**

- vycházela z (ITU-T G.992.1) Annex A („ADSL over POTS“)
  - tj. nadhovorové pásmo začínalo od 25 kHz, končilo na 1.1 MHz

dnes se již nepoužívá

v ČR nasazeno 2002/3



- **maximální přenosové rychlosti: 8 Mbit/s downstream, 1,5 Mbit/s upstream**

- v praxi spíše nižší – v závislosti na délce (vzdálenosti od DSLAMu) a kvalitě místní smyčky

- **modulace: DMT (Discret Multi-Tone)**

- rozděluje celé pásmo (0 – 1,1 MHz) na 255 dílčích pásem (subkanálů)

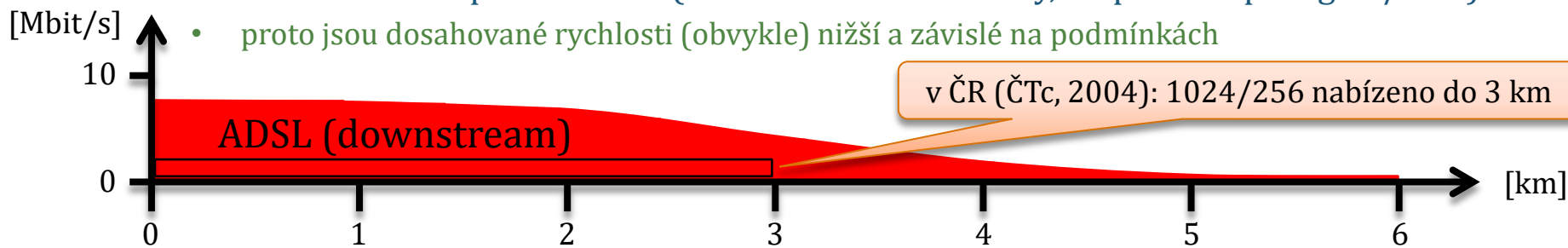
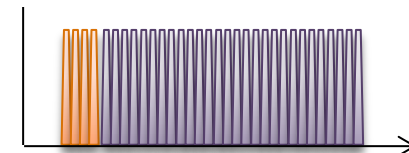
- o šířce 4,3125 kHz, částečně se překrývají

- upstream využívá 25 subkanálů (7-31), downstream 224 subkanálů (32-255)

- každý dílčí kanál (subkanál) je modulován samostatně

- ale v závislosti na podmínkách (na rušení a kvalitě linky, resp. odstupů signál/šum)

- proto jsou dosahované rychlosti (obvykle) nižší a závislé na podmínkách



# nabízené rychlosti ADSL v ČR

- květen 2002, služba IOL Platinum od Českého Telecomu
  - ČTÚ záhy zakázal (pro absenci velkoobchodní nabídky)

max. rychlost	cena [Kč/měsíc]	objem dat v ceně	za 1 MB dat navíc
256/64 kbit/s	1900,-Kč/měsíc	500 MB	3,- Kč
512/128 kbit/s	2800,-Kč/měsíc	1 GB	2,50 Kč
1024/256 kbit/s	7500,- Kč/měsíc	3 GB	2,25 Kč

- únor 2003, první „skutečné“ nabídky

– od více poskytovatelů, bez omezení objemu dat:

- varianty HOME: 192/64 kbit/s 320/128 kbit/s
- varianty BUSINESS: 256/64 kbit/s 512/128 kbit/s 1024/256 kbit/s

- září 2003: zrychlení na cca trojnásobek (za stejnou cenu)

192/64 kbit/s

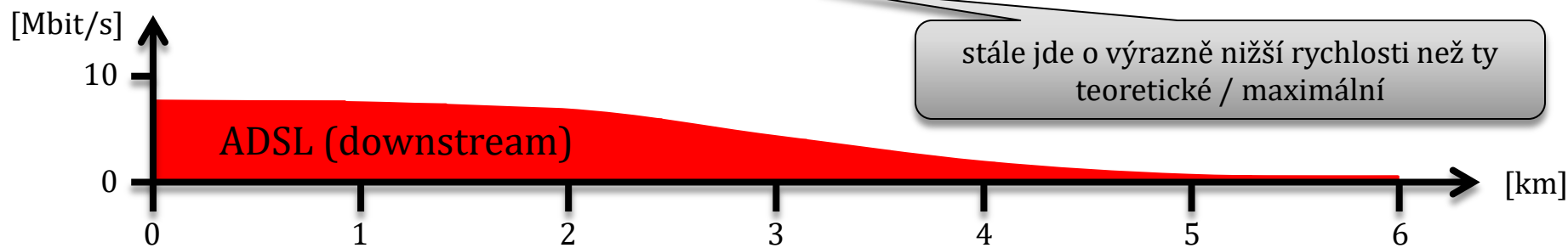


512/128 kbit/s

320/128 kbit/s



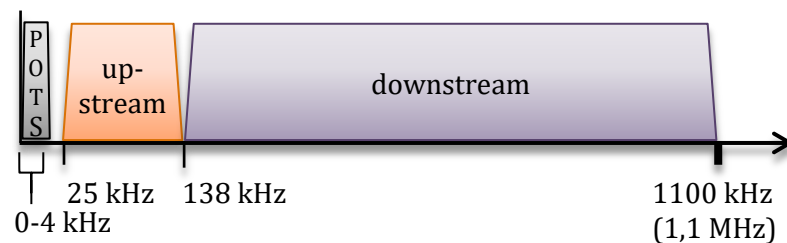
1024/256 kbit/s



# ADSL2 (G.992.3)

## • jen „drobné technické vylepšení“ první verze

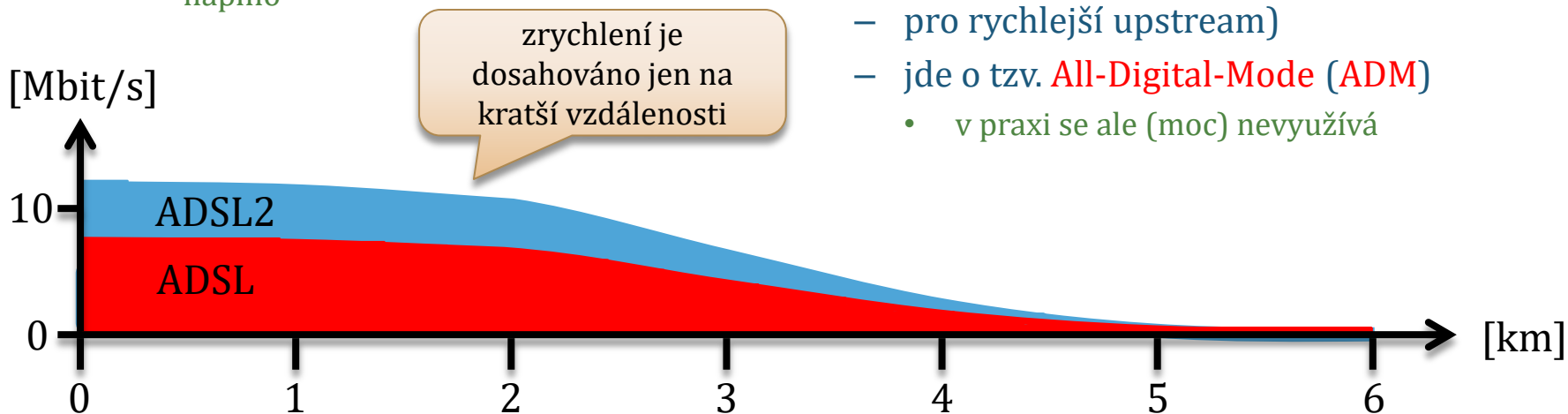
- standard (ITU-T G.992.3) přijat v roce 2002
- využívá nadhovorové pásmo do 1,1 MHz
- tj. stejně jako původní ADSL (G.dmt)
- používá (o něco) efektivnější techniky modulace
- dosahuje vyšší rychlosti na downstreamu: **až 12 Mbit/s**
  - ale stále jde o maximální rychlost, v praxi bývá nižší !!!
- přináší hlavně „provozní“ vylepšení:



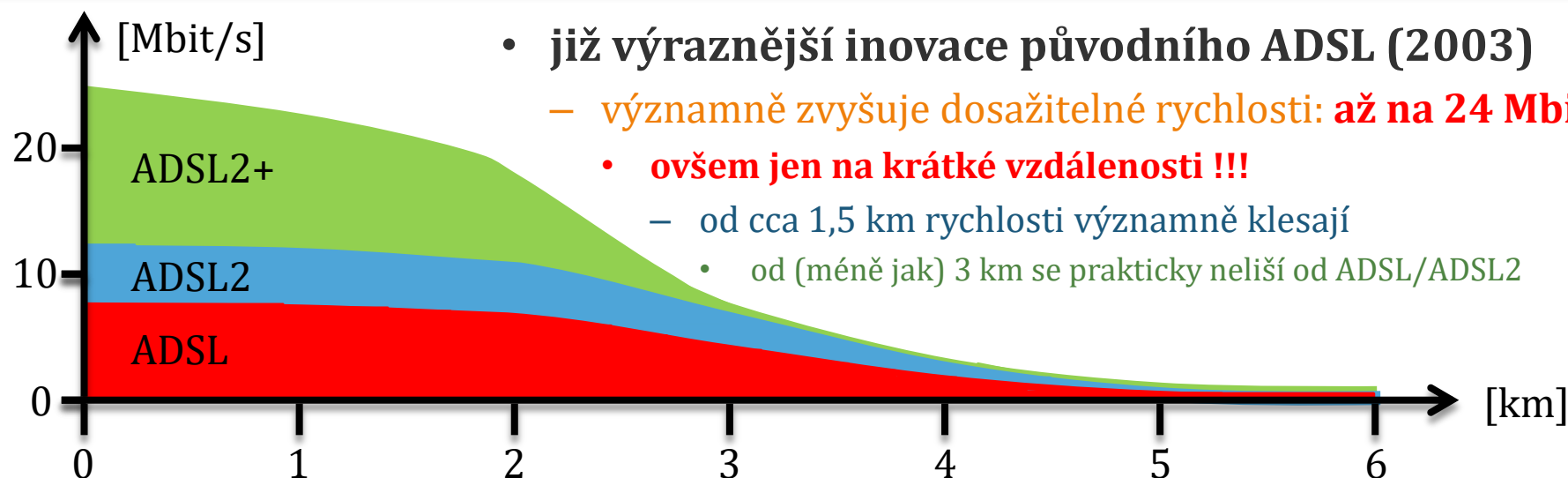
- má regulaci vysílacího výkonu

- vysílá jen tak silný signál, jak je skutečně potřeba
  - zatímco původní ADSL vysílalo „vždy naplno“

- má proměnnou strukturu linkového rámce
  - umožňuje to snížit vlastní režii na přenos
- lépe se vyrovnává se šumem na místní smyčce
- dokáže využít i hovorové pásmo
  - pro rychlejší upstream)
  - jde o tzv. **All-Digital-Mode (ADM)**
    - v praxi se ale (moc) nevyužívá



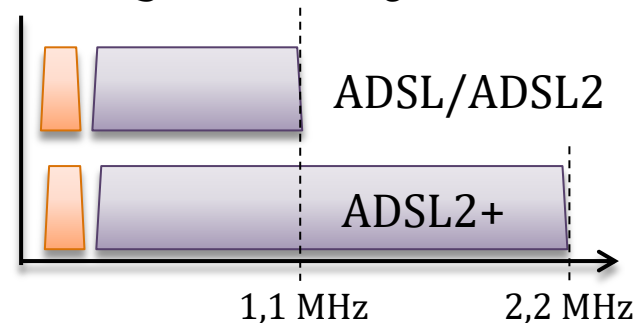
# ADSL2+ (G.992.5)



- již výraznější inovace původního ADSL (2003)
  - významně zvyšuje dosažitelné rychlosti: až na 24 Mbit/s
    - ovšem jen na krátké vzdálenosti !!!
      - od cca 1,5 km rychlosti významně klesají
        - od (méně jak) 3 km se prakticky neliší od ADSL/ADSL2

- vyšší rychlosti dosahuje:

- technickým vylepšením
  - dokonalejším kódováním, ....
- využitím větší šířky přenosového pásma:
  - do 2,2 MHz !!



- v ČR nasazeno (v síti Telefóniky ČR) cca od roku 2007

- nabízené rychlosti (na downstreamu) byly zvýšeny na 8 Mbit/s
  - ale jen na kratší vzdálenosti (již se měří délka i kvalita linky)
- nově mohla být nabízena i služba IPTV
  - se „spotřebou“ cca 4 Mbit/s pro 1 TV program (ve standardním rozlišení)



# VDSL (G.993.1)

## • VDSL: Very-high-data-rate DSL

- spíše jiná vývojová větev asymetrického xDSL (než je ADSL),
  - se zaměřením na vysoké rychlosti – byť na velmi krátké vzdálenosti

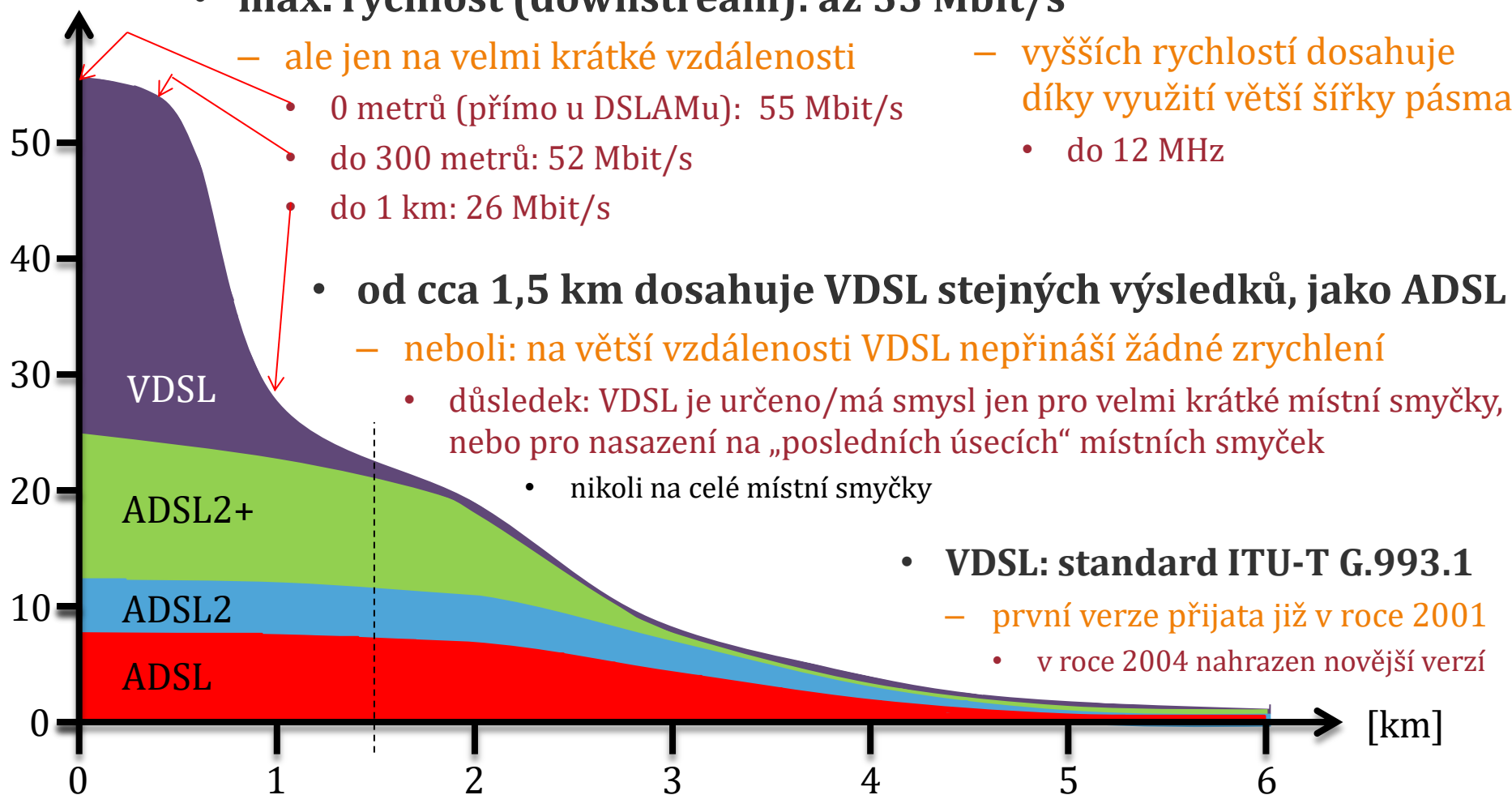
[Mbit/s]

### • max. rychlost (downstream): až 55 Mbit/s

- ale jen na velmi krátké vzdálenosti

- 0 metrů (přímo u DSLAMu): 55 Mbit/s
- do 300 metrů: 52 Mbit/s
- do 1 km: 26 Mbit/s

- vyšších rychlostí dosahuje díky využití větší šířky pásma
  - do 12 MHz



# VDSL2 (G.993.2)

- **zdokonalená verze VDSL**

- standard z roku 2006

- **hlavní změny (oproti VDSL)**

- VDSL2 využívá nadhovorové pásmo až do 30 MHz

- **připomenutí:**

- VDSL do 12 MHz,
- ADSL2+ do 2,2 MHz,
- ADSL/ADSL2 do 1,1 MHz

- VDSL2 může dosahovat až 100 Mbit/s

- **na downstreamu i upstreamu !!**

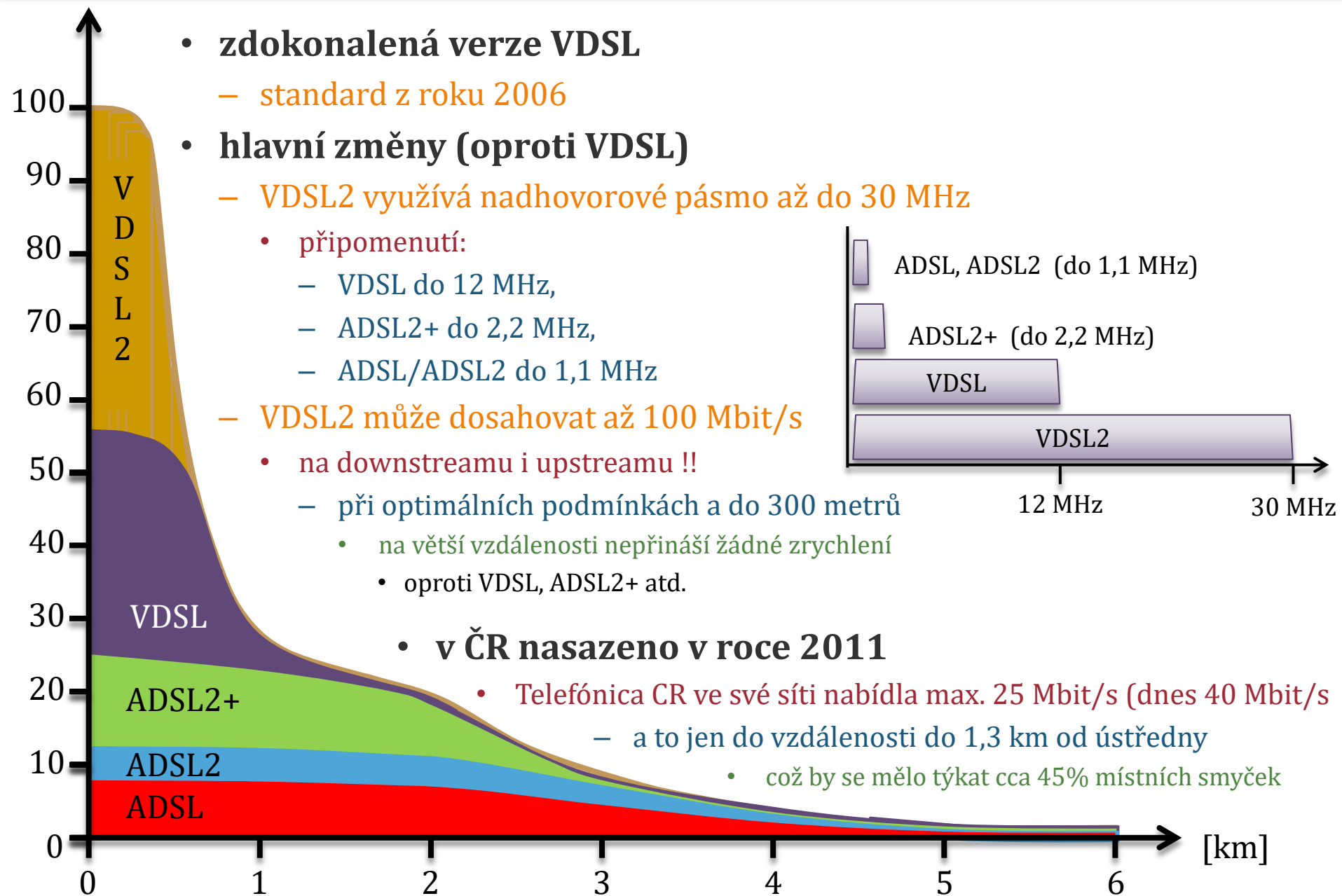
- při optimálních podmínkách a do 300 metrů
  - na větší vzdálenosti nepřináší žádné zrychlení
  - oproti VDSL, ADSL2+ atd.

- **v ČR nasazeno v roce 2011**

- Telefónica CR ve své síti nabídla max. 25 Mbit/s (dnes 40 Mbit/s

- a to jen do vzdálenosti do 1,3 km od ústředny

- což by se mělo týkat cca 45% místních smyček



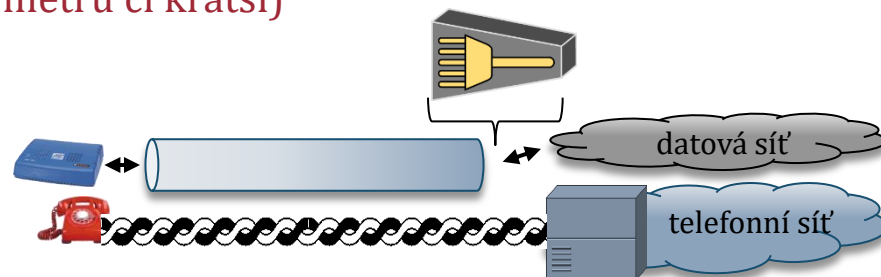
# problém s délkou místních smyček

- **připomenutí:**

- zvyšování rychlostí u xDSL technologií se týká jen nejkratších místních smyček
  - největší zrychlení je u smyček do 300 metrů
    - který je v praxi jen málo

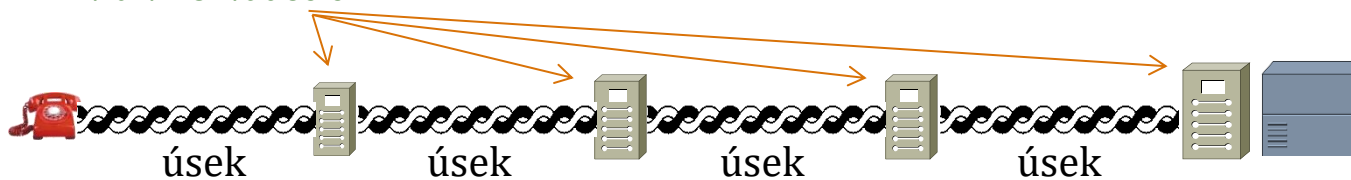
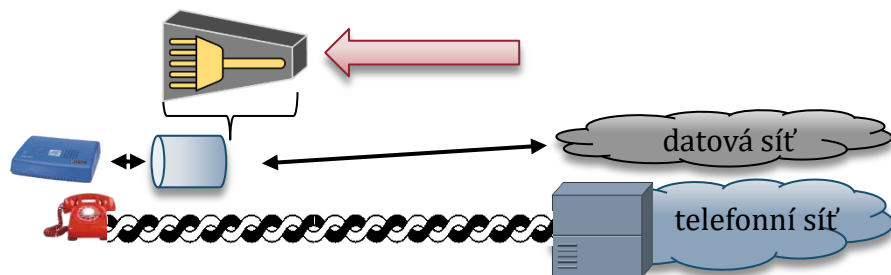
- **princip možného řešení:**

- nenasazovat xDSL na celou místní smyčku, ale jen na její „koncový úsek“
  - který již může být dostatečně krátký (do 300 metrů či kratší)
- neboli:
  - umístit DSLAM co nejblíže koncovému bodu
  - napojit DSLAM na datovou síť „nějak jinak“
    - například pomocí optiky
      - viz dále, síť PON



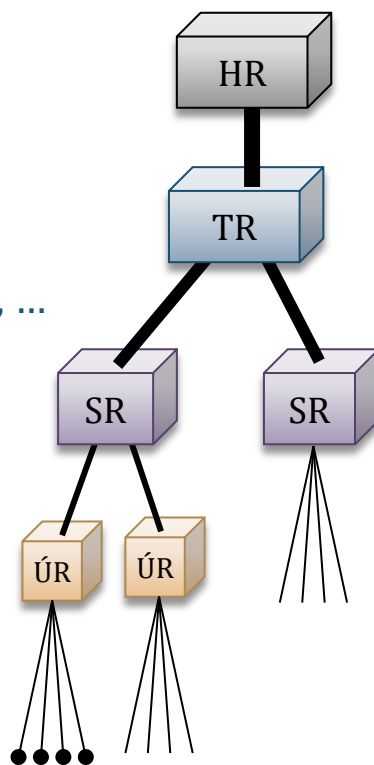
- **souvislost:**

- místní smyčky nejsou „homogenní“
  - ale jsou složeny z dílčích úseků
    - které jsou vzájemně propojeny
      - v tzv. rozvaděčích



# struktura (pevné) přístupové sítě

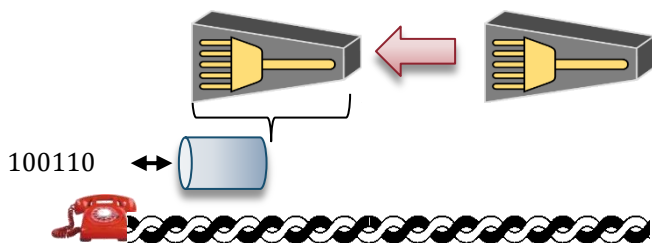
- **(pevná) přístupová síť 02 Czech Republic**
  - budoval ještě SPT / SPT Telecom / Český Telecom, rozvoj hlavně v 90. letech min. stol.
  - má cca 8 milionů místních smyček (metalických účastnických vedení)
    - z nich jsou aktivně využíváno cca 2 miliony
- **místní smyčky mají úseky, propojené v rozvaděčích:**
  - HR: hlavní rozvod/rozvaděč: přímo na ústředně (celkem 2 857)
  - TR: traťový rozvaděč: 2 329
  - SR: síťový rozvaděč: 47 234
  - ÚR: účastnický rozvaděč: 717 168
    - terminologie ještě není ustálená:
      - viz uliční rozvaděč, místní rozvaděč, ...





# vysunutý DSLAM

- **vysunutý DSLAM** (remote DSLAM, rDSLAM)
  - je umístěn co nejbližže ke koncovému účastníkovi
    - v takových rozvaděčích, kde je pro něj místo a podmínky
      - napájení, konektivita, fyzická ochrana, ....
  - jde o poměrně nákladné řešení
    - v ČR začíná nasazovat se své přístupové sítě O2 CR



# další problém: přeslechy

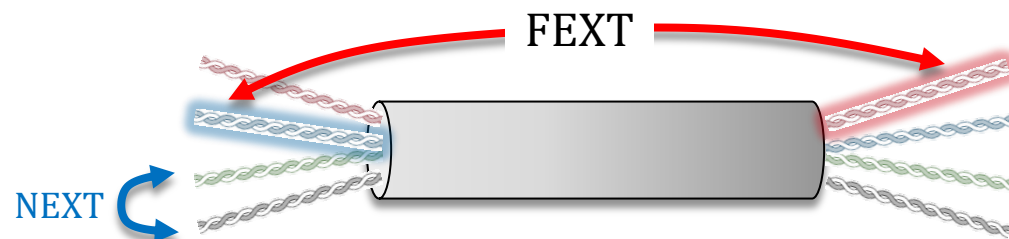
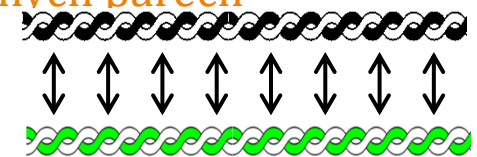
- **dosahování vyšších rychlostí přenosu brání:**
  - **délka smyčky**
    - ve skutečnosti jde hlavně o útlum, které je závislý jak na délce smyčky, tak i na frekvenci přenášeného signálu (s frekvencí rychle roste)
  - **přeslechy mezi smyčkami**
    - jednotlivé smyčky (páry kroucené dvoulinky) nejsou obvykle vedeny samostatně, ale tvoří součást kabelu
      - ve kterém je souběžně vedeno více smyček



- **podstata přeslechu**

- **přenos signálu po jednom páru ovlivňuje i přenos signálu po jiných párech**
- **přeslechy lze dělit na:**

- **přeslechy na blízkém konci (NEXT, Near-End-Crosstalk)**
  - vzájemné působení párů na stejném konci kabelu
    - v důsledku kapacitní a induktivní vazby mezi nimi
- **přeslechy na vzdáleném konci (FEXT, Far-End-Crosstalk)**
  - vzájemné působení párů na opačných koncích kabelu
    - v důsledku jejich souběžného vedení
    - efekt antény

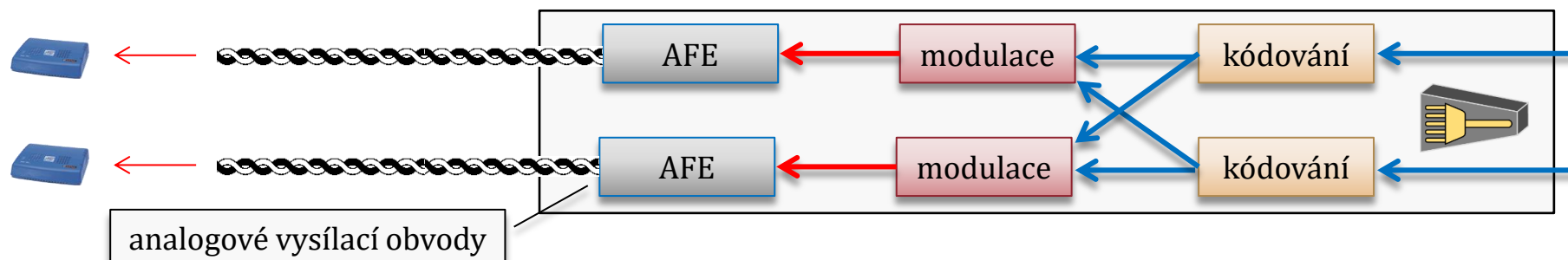


pro xDSL technologie je limitující hlavně FEXT (přeslech na vzdáleném konci)

# xDSL vectoring

- je technika, minimalizující dopady přeslechů
  - snaží se zcela vyrušit efekt přeslechů
    - a tím umožnit xDSL technologiím dosahovat jejich maximálních rychlostí
      - jako kdyby byly nasazeny na samostatných místních smyčkách (bez souběhu s jinými ...)
- princip fungování vectoring-u:
  - jednotlivé místní smyčky (páry kroucené dvoulinky) nejsou modulovány samostatně
    - nezávisle na ostatních smyčkách/párech
  - místo toho jsou celé skupiny (svazky, páry v kabelu) modulovány společně !!!
    - takovým způsobem, aby se jejich vzájemné přeslechy vyrušily
      - downstream: efekt, který bude přeslech mít, a je v rámci modulace dopředu „odečten“
        - důsledek: přeslech se následně při přenosu „přičítá“, a díky předchozímu „odečtu“ je na straně příjmu fakticky vyrušen !!!
      - upstream: postup je obrácený – přeslech se při přenosu nejprve „přičte“, a teprve následně (při příjmu, v DSLAM-u) je zase „odečten“
    - zjednodušená představa pro downstream (pro 2 smyčky/páry kroucené dvoulinky)

v rámci DSLAMu



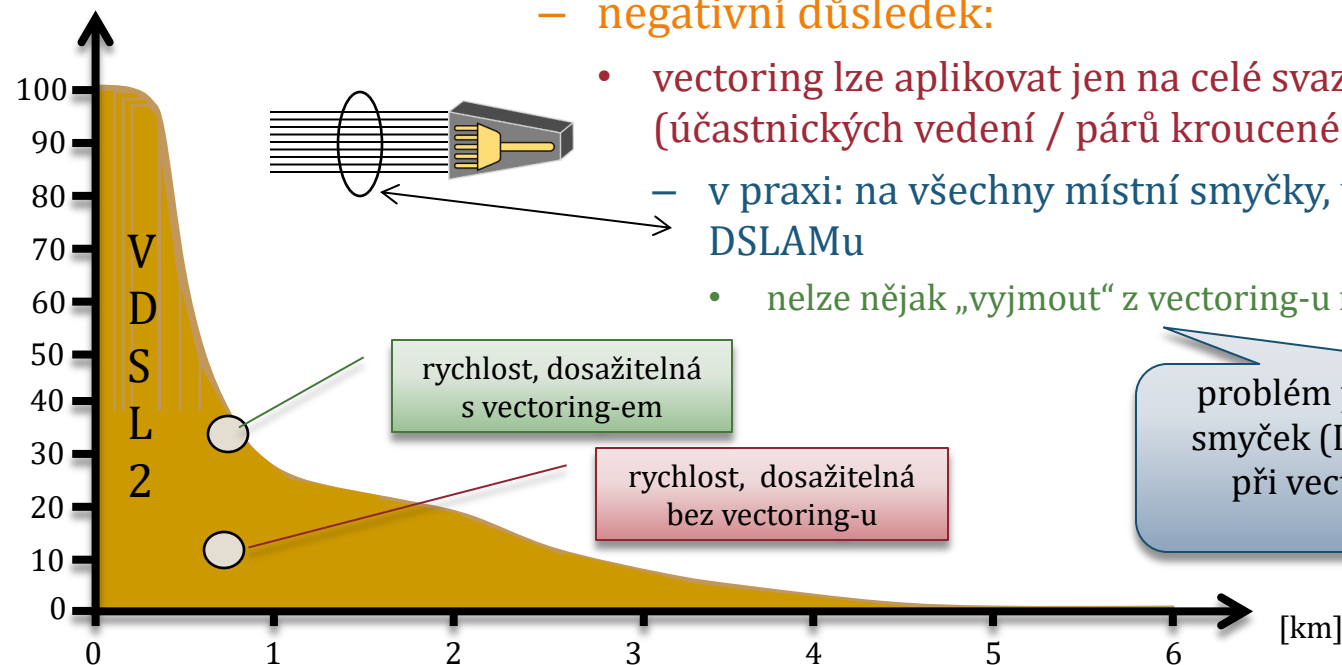
# důsledky vectoring-u

- **technika vectoring-u je určena pro VDSL2**
- **je definována standardem**
  - „**G.vector** „(první verze 2010, další verze 2015)
    - ITU-T G.993.5: Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers
- **vectoring má významné praktické důsledky**
  - zejména: *přibližuje praxi k teorii*
    - umožňuje dosahovat rychlostí, blízkých maximálním teoretickým rychlostem
      - když eliminuje vliv přeslechů

## – negativní důsledek:

- vectoring lze aplikovat jen na celé svazky místních smyček (účastnických vedení / párů kroucené dvoulinky)
  - v praxi: na všechny místní smyčky, vstupující do jednoho DSLAMu
    - nelze nějak „vyjmout“ z vectoring-u některé jednotlivé smyčky

[Mbit/s]

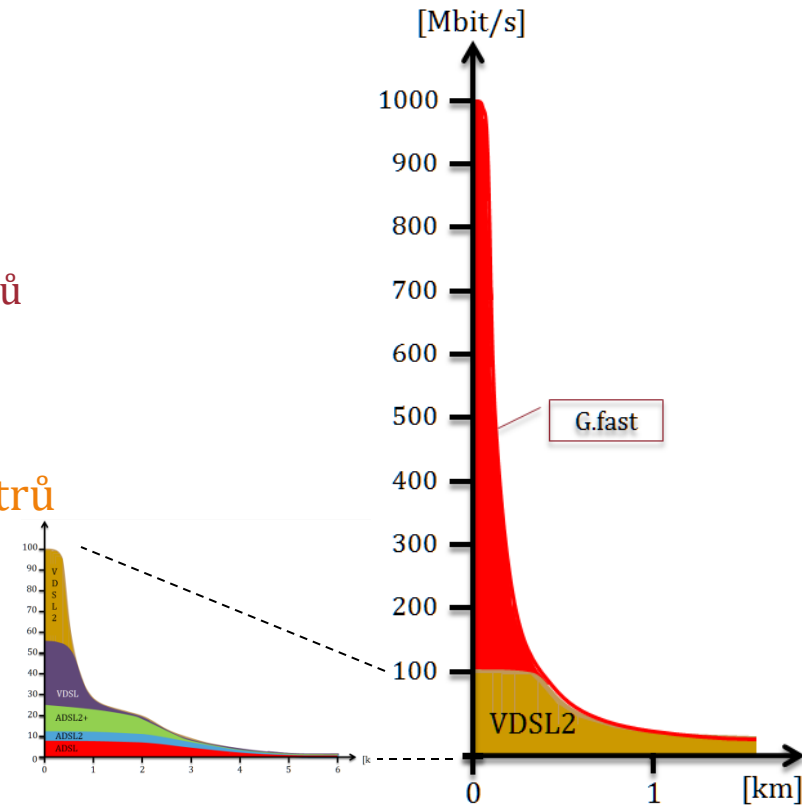


problém pro tzv. zpřístupnění místních smyček (LLU, Local Loop Unbundling) – při vectoringu již nelze zpřístupnit jednotlivé smyčky



# G.fast

- **G.fast: fast access to subscriber terminals**
  - další zrychlení – ale na ještě kratší vzdálenosti
- **původní záměry:**
  - až 1 Gbit/s na vzdálenosti kratší než 100 metrů
    - 500 Mbit/s na 100 metrů, 200 Mbit/s na 200 metrů
    - až 150 Mbit/s do 250 metrů
- **nově (2015):**
  - „více jak 100 Mbit/s“ na vzdálenosti do 500 metrů
- **využívá**
  - přenosové pásmo až do 106 MHz (či 212 MHz)
    - což zasahuje mj. do FM pásma (rádia)
  - TDD místo FDD
    - FDD (ADSL, VDSL): využívá různé frekvence pro downstream a pro upstream
    - TDD (G.fast): přepíná (v čase) mezi oběma směry přenosu
      - důsledek: poměr mezi rychlostmi lze nastavit
        - G.fast podporuje symetrii i asymetrii rychlostí, včetně „rychlejšího upstreamu“
  - **vectoring**
    - v ještě vylepšené verzi oproti VDSL2
      - označováno též jako Vectoring 2.0



standard ITU.T G.9700 přijat v roce 2014

# jak vyrovnat zkrácení dosahu?

- **shrnutí:**

- přenos dat po místních smyčkách (metalických účastnických vedeních) lze zrychlovat
  - ale jen omezeně, a na stále kratší vzdálenosti

- **přítom**

- požadavky na kapacitu (rychlost) koncových přípojek stále rostou
  - jde o problém přístupových sítí

- **skutečným řešením je až optika**

- její přenosový potenciál je obrovský
  - dnes je využíván jen z malé části, má velké rezervy

- **záměr: dostat se s optikou „co možná nejdále“**

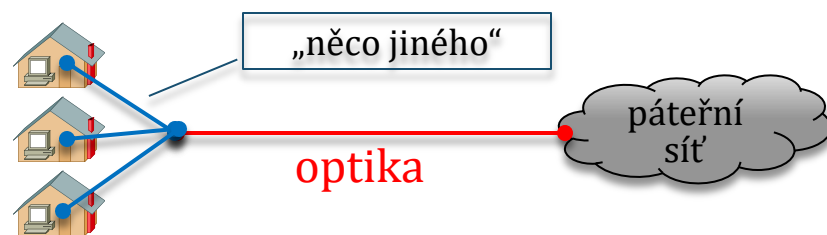
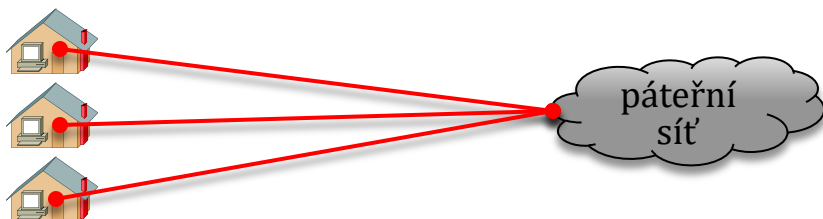
- **možnosti:**

- „pouze optika“

- celá přípojka je realizována optikou
  - největší kapacita, ale také nejvyšší náklady

- kombinace „optika + něco jiného“

- co největší vzdálenost se překlene pomocí optiky
- pouze co nejmenší „zbytek“ se překlene „jinak“
  - nemusí nutně jít o xDSL na místních smyčkách!



# FTTx: optické přístupové sítě

- **připomenutí**

- snažíme se dosáhnout s optikou co možná nejdále, s co nejnižšími náklady
  - a pouze zbývající (koncový, co možná nejmenší) úsek řešit „jinak“
    - tím, co je k dispozici

- **neboli: budujeme optické přístupové sítě**

- **obecné označení: FTTx (Fiber to the x)**
  - kde x nabývá různých hodnot podle toho, kam až dosáhne optika (a co se řeší „jinak“)

- **existuje řada variant**

- liší se tím, kam až sahá optika  a co je řešeno „jinak“ 



– optika až do domu

- **FTTH: Fiber to the Home**



– optika až k domu

- **FTTB: Fiber to the Building/Basement**



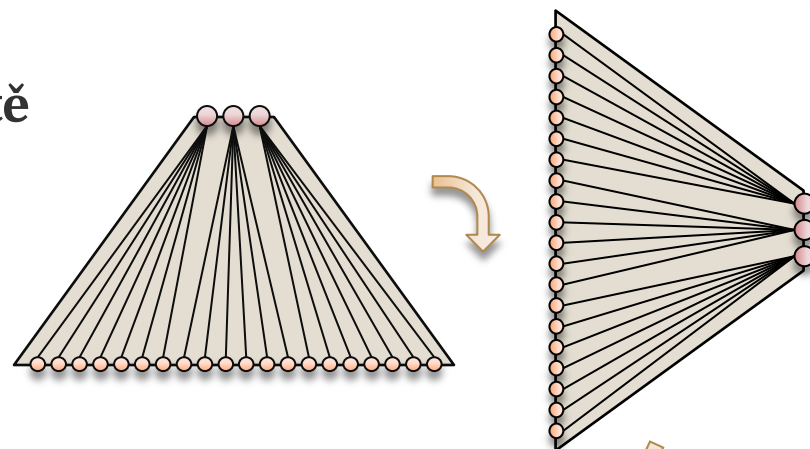
– optika před dům

- **FTTC: Fiber to the Curb/Closet/Cabinet**
- **FTTN: Fiber to the Neighbourhood**

# FTTx: optické přístupové sítě

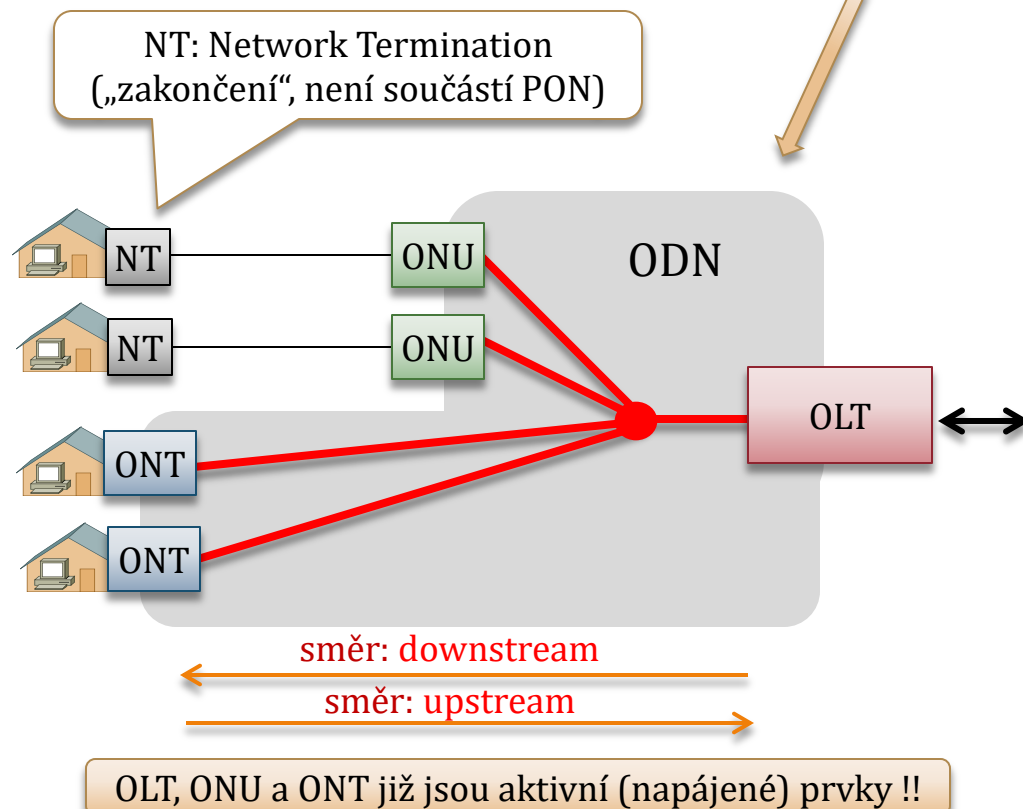
- optické přístupové sítě (FTTx) mají stejnou strukturu jako jiné přístupové sítě

- propojují několik málo přechodových bodů
  - pro napojení na páteřní síť (bodů POP)
- s velkým počtem míst, kde se nachází (potenciální) koncoví uživatelé
  - customer premises (CP)



- významné prvky FTTx sítí:

- ODN** (Optical Distribution Network)
  - vlastní optická vlákna
- OLT** (Optical Line Termination)
  - „optický DSLAM“
    - zajišťuje vazbu na páteřní síť
- ONU** (Optical Network Unit)
  - (koncový) „optický modem“
    - zakončuje optickou sítí a zajišťuje přechod na „něco jiného“
      - například na Ethernet, VDSL ....
- ONT** (Optical Network Termination)
  - stejná funkce jako ONU, jiné umístění

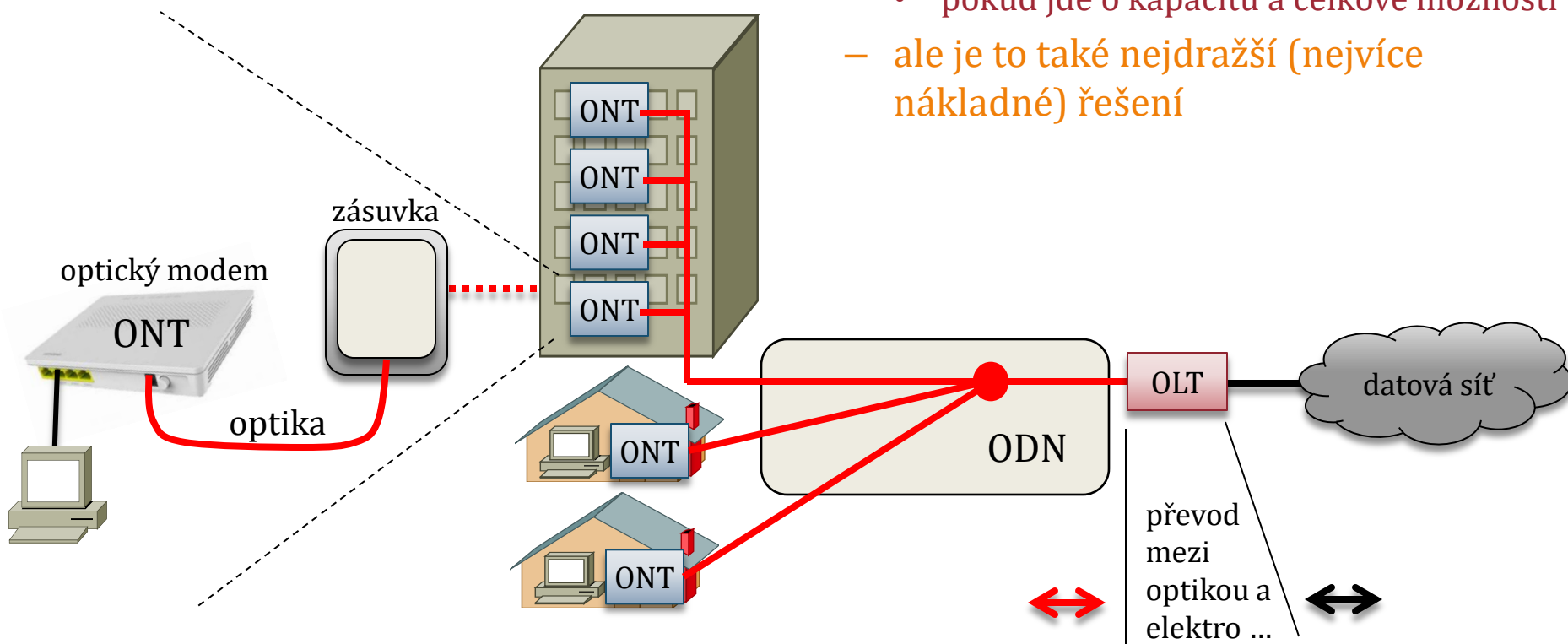


# FTTH (Fiber to the Home)

## • FTTH (Fiber to the Home)

- optika je dovedena „až do domu“, je rozvedena do jednotlivých bytů/kanceláří
  - optické rozvody v rámci domu obvykle buduje poskytovatel připojení
    - u nově budovaných objektů mohou být (pasivní) optické rozvody již součástí domu
- zařízení **ONT** (Optical Network Termination, „optický modem“) je umístěno přímo u koncového uživatele
  - v jeho bytě/kanceláři

- jde o řešení s největším potenciálem
  - pokud jde o kapacitu a celkové možnosti
- ale je to také nejdražší (nejvíce nákladné) řešení



# FTTB (Fiber to the Building)

- **FTTB (Fiber to the Building, též: to the Basement)**

- optika je dovedena „až k domu“ – ale nikoli dovnitř („do domu“)

- optika končí někde „na vstupu do domu“

- obvykle: v domovním rozvaděči, umístěném ve sklepě/na chodbě/ve vstupní hale, zapuštěném v obvodové zdi apod.

- zde je také umístěno zařízení ONU

- „zакončující“ optickou sítí a zajišťující přechod „na něco jiného“

- v rámci domu jsou využity (obvykle) metalické rozvody

- tyto rozvody typicky „patří domu“ (jsou součástí domu, instaluje je „dopředu“ už stavitel)

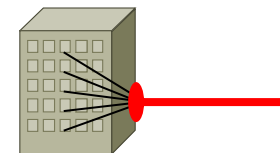
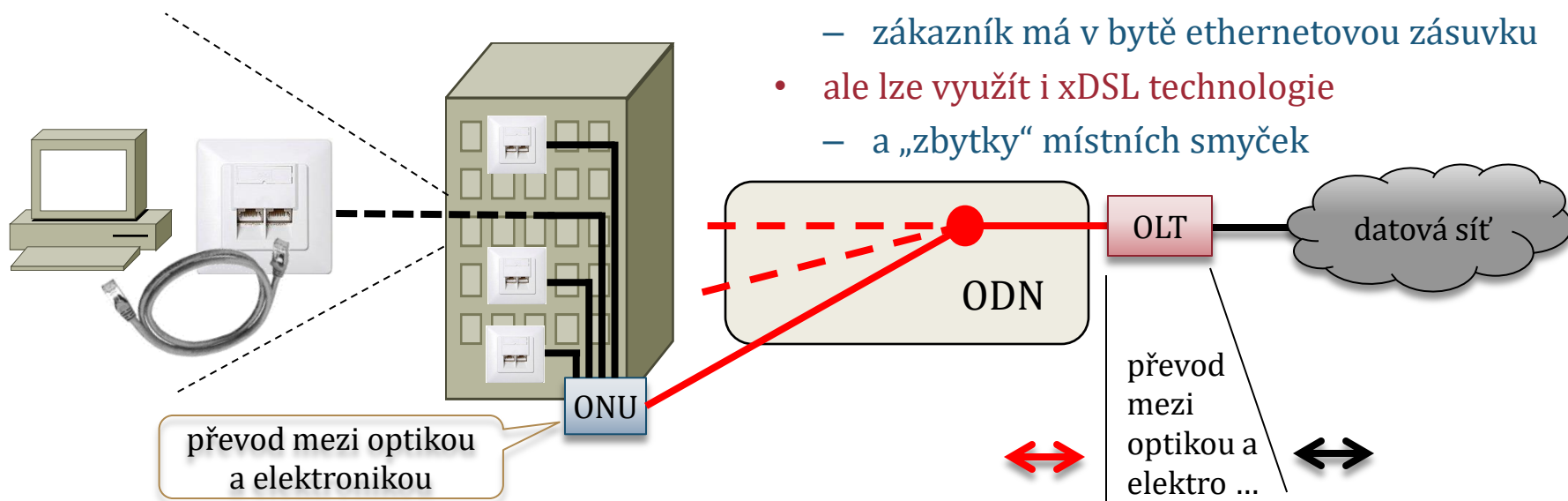
- rozvody vedou z domovního rozvaděče do jednotlivých bytů/kanceláří/...

- využívá se (obvykle) „běžný“ Ethernet

- zákazník má v bytě ethernetovou zásuvku

- ale lze využít i xDSL technologie

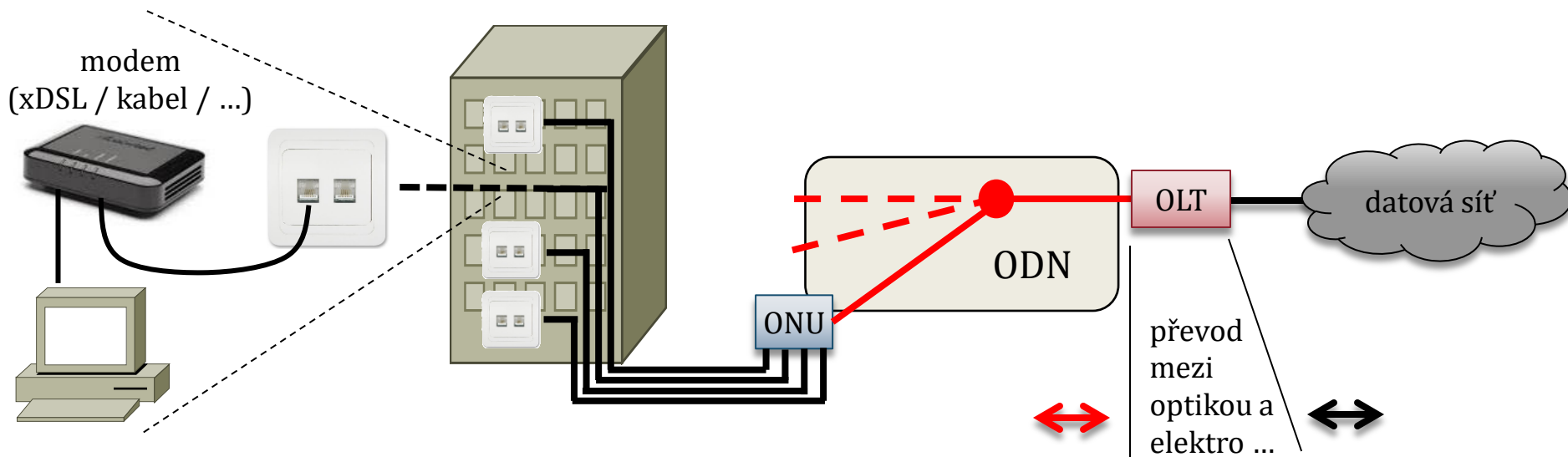
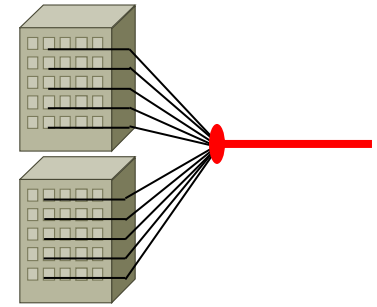
- a „zbytky“ místních smyček



# FTTC (Fiber to the Curb)

## • FTTC (Fiber to the Curb)

- optika je dovedena „někam před dům“ (nikoli až k domu)
  - curb = obrubník, okraj chodníku, .....
  - obvykle: v uličním rozvaděči, umístěném v dosahu několika domů
    - obvyklá vzdálenost od domů: **desítky až (malé) stovky metrů**
  - zde je také umístěno zařízení ONU
    - „zakončující“ optickou sít' a zajišťující přechod „na něco jiného“
  - může sloužit pro připojení více budov/domů/objektů
- zbývající část trasy je řešena „nějak jinak“ (než optikou)
  - tím, co je dispozici – například pomocí (posledních) úseků místních smyček
    - nebo pomocí koaxiálních kabelů, nově položenou kroucenou dvoulinkou, bezdrátově apod.

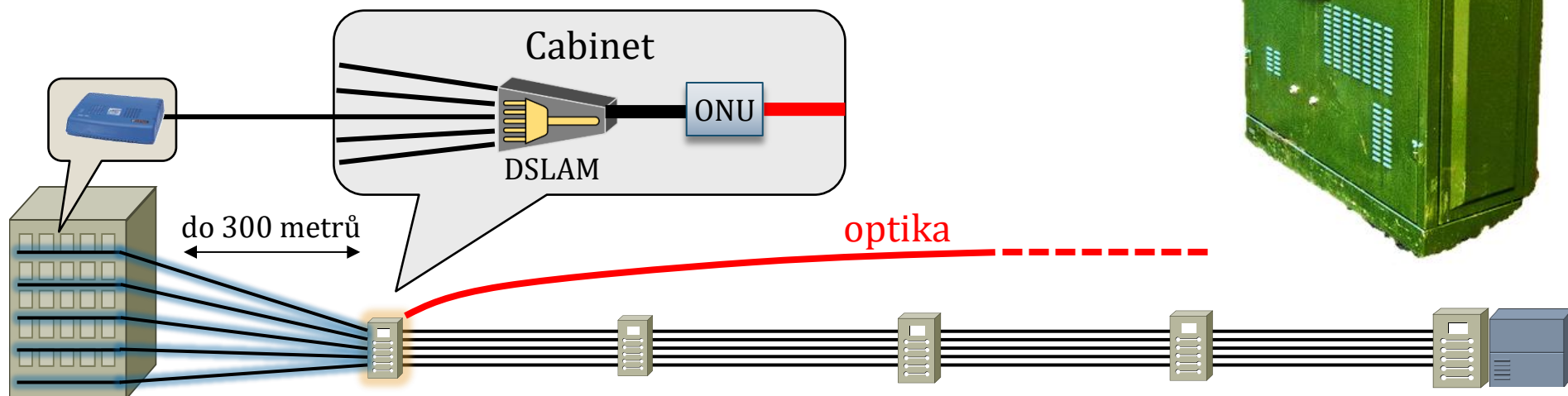




# FTTCab (Fiber to the Cabinet)

- jde o jednu z variant FTTC (Fiber to the Curb)
  - kdy je zbývající část trasy (po optice) řešena pomocí „posledních úseků“ místních smyček, typicky s využitím technologie VDSL (VDSL2)
    - tyto poslední úseky mají (obvykle) délku do 300 metrů
      - což je vzdálenost, na kterou VDSL může dosahovat (relativně) vysokých rychlostí
- proč **Cab (Cabinet)**?
  - protože optika je dovedena do uličního rozvaděče (anglicky: Cabinet)
    - do kterého ústí „poslední úseky“ místních smyček
  - v tomto rozvaděči (Cabinet-u) jsou umístěny (vysunuté) DSLAMy
    - které jsou napojeny „dál“ pomocí optiky
      - na (celých) místních smyčkách může být nadále poskytována hlasová služba (POTS / ISDN)

v kombinaci s vektoring-em





# srovnání FTTX

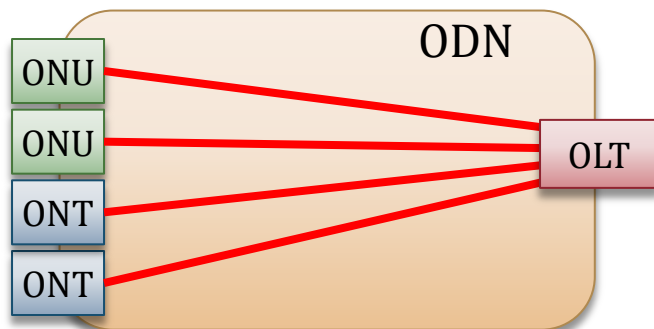
- **FTTH (Fiber to the Home):** nejvíce „luxusní“ varianta
  - s největším potenciálem
    - nejvíce „future proof“ (odolná vůči budoucnosti)
  - ale také nejdražší
    - optické rozvody v „posledním úseku“ jsou nejdražší
      - náklady lze minimalizovat při stavbě objektu (optické rozvody se instalují „dopředu“)
- **FTTCab (Fiber to the Cabinet)**
  - řešení preferované telekomunikačními operátory (tzv. inkumbenty)
    - kterým patří místní smyčky – a kteří je chtějí nadále nějak využít
      - proto využívají alespoň jejich poslední úseky, pro rozvody na „co nejkratší vzdálenost“
        - ke „cabinet-u“ (s vysunutými DSLAMy) se musí dostat s optikou
    - v ČR s tímto řešením počítá společnost Cetin
- **FTTB (Fiber to the Bulding)**
  - „kompromisní“ varianta – co do nákladů i potenciálu (kapacity)
    - umožňuje využít takové rozvody, které si může vybudovat vlastník objektu (domu)
      - nebo je vybudoval již (dopředu), při stavbě objektu

# FTTx: P2P vs. P2MP

- optické přístupové sítě (FTTx) mohou mít dvě různé topologie:

- P2P (Point to Point)**

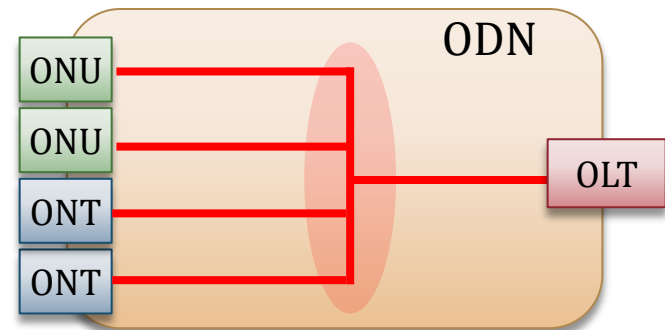
- spojení mezi OLT a (více) ONU/ONT má charakter 2-bodového spojení



- má vyhrazený charakter
  - každý koncový bod (přípojka/zákazník) má vyhrazenou přenosovou kapacitu
- má větší potenciál
  - díky vyhrazenému charakteru může dosahovat vyšších rychlostí
  - využití (přenos dat oběma směry) je snazší
- ale je dražší (více nákladná) !!!!!

- P2MP (Point to MultiPoint)**

- spojení mezi OLT a (více) ONU/ONT má charakter vícebodového spoje



- má sdílený charakter
  - všechny koncové body (ONU/ONT) společně sdílí jednu přenosovou kapacitu
- potenciál využití je menší
  - kvůli sdílené kapacitě
  - vyžaduje řízení přístupu (pro zpětný kanál)
- ale je levnější (méně nákladná) !!!!

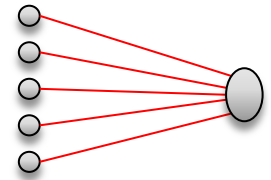
v praxi  
převažuje

# sítě FTTx s topologií P2P

- **dvoubodový spoj (mezi OLT a ONU/ONT) lze vytvořit:**

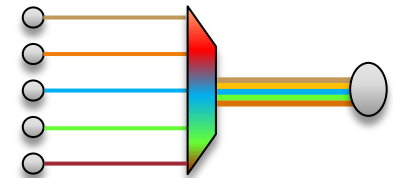
- pomocí samostatného vlákna

- ke každému koncovému bodu (ONU/ONT) vede samostatné optické vlákno,
  - k dispozici pro každou přípojku je pak celá kapacita jednoho vlákna



- pomocí vlnového multiplexu

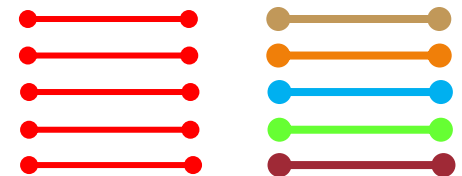
- ke každému koncovému bodu (ONU/ONT) vede samostatná „barva“
  - optická vlákna jsou (fyzicky) sdílená
  - musí být použity vlnové multiplexory/demultiplexory
    - ke každému koncovému uzlu vede samostatná „barva“



- **výhody:**

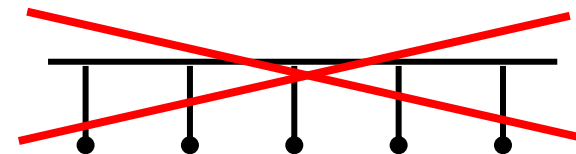
- každý koncový bod má vlastní „datový tok“

- který je pro něj vyhrazený
  - ať již v podobě celého vlákna, nebo jen samostatné barvy



- není nutné řídit přístup (na upstream-u)

- není zde žádná sdílená přenosová kapacita



- **nevýhody:**

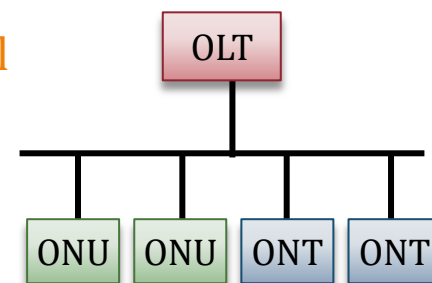
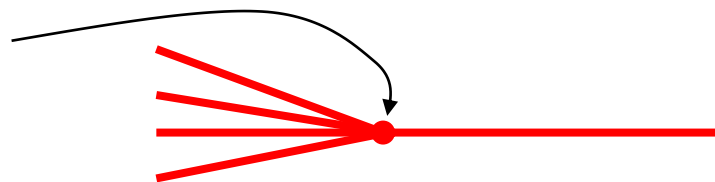
- je to dražší

- je to technicky realizovatelné jen pro (relativně) malé počty koncových bodů (stovky?)

- počty jednotlivých optických vláken (či barev v rámci vlnového multiplexu) jsou omezené

# sítě FTTx s topologií P2MP

- **vícebodový spoj (mezi ONU/ONT a OLT) se nejčastěji vytváří pomocí:**
  - „pasivně rozbočeného“ optického vlákna
    - ale je možné i „aktivní“ rozbočení
- **s využitím tzv. **splitterů****
  - lze je přirovnat k opakovačům: šíří stejný signál do všech „odchozích“ vláken
  - ale: jelikož jsou pasivní, rozdělují energii signálu mezi všechna „odchozí“ vlákna !!!
    - příklad: při 4 „odchozích“ vláknech je po každém vyslán signál jen s  $\frac{1}{4}$  původní intenzity (síly), tj. 4x slabší !!!!
      - kvůli tomu je dosah pasivních optických sítí významně omezen
  - poměr rozbočení (počet „odchozích“ vláken) je od 16 až 256 (nejčastěji 32 a 64)
- **důsledek:**
  - na downstreamu: koncové uzly (ONT, ONU) přijímají stejný signál
    - „všichni slyší všechno“
      - a je nutné, aby přenášený obsah byl vhodně kódován (šifrován)
        - každý koncový uzel „si vezme“ jen a pouze to, co je mu určeno
          - a nic jiného, co patří jiným uzlům
    - na upstreamu: PON se chová jako sdílené médium (jako sběrnice)
      - je nutné (nějaké) sdílení přístupu, obdobně jako u sítí LAN
        - nejčastěji se využívá TDMA (řízení přístupu na principu časového multiplexu)



# optické sítě PON

- **připomenutí:**

- optické přístupové sítě (sítě FTTx) s topologií P2MP obvykle využívají pasivní způsob rozbočení
  - pomocí pasivních optických splitterů

- **proto se tyto optické sítě označují jako:**

- **PON (Passive Optical Networks)**, pasivní optické sítě

mají topologii P2MP

- **výhody:**

- „pasivní“ = bez elektroniky, bez napájení, bez nutnosti údržby, .....
- lze zakopat do země a „nechat být“

- **nevýhody:**

- signál není zesilován
  - naopak je při rozbočení rozdělován
    - jeho „síla“ (intenzita) je dělena v poměru rozbočení
- dosahované rychlosti jsou (relativně) nižší
- lze dosáhnout jen na kratší vzdálenosti
  - ale to nevadí – typické sítě PON jsou určeny na vzdálenosti do 20 km !!!

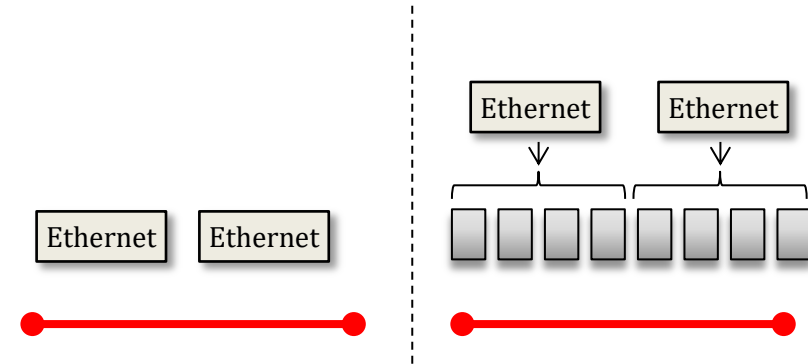
většina dnes budovaných sítí FTTx je PON

- **alternativou jsou:**

- **aktivní optické sítě (AON, Active ON)**
  - aktivní proto, že používají aktivní (napájené) prvky, ať již pro rozbočení či jen zesílení signálu
  - mohou mít jak topologii P2MP, tak i P2P

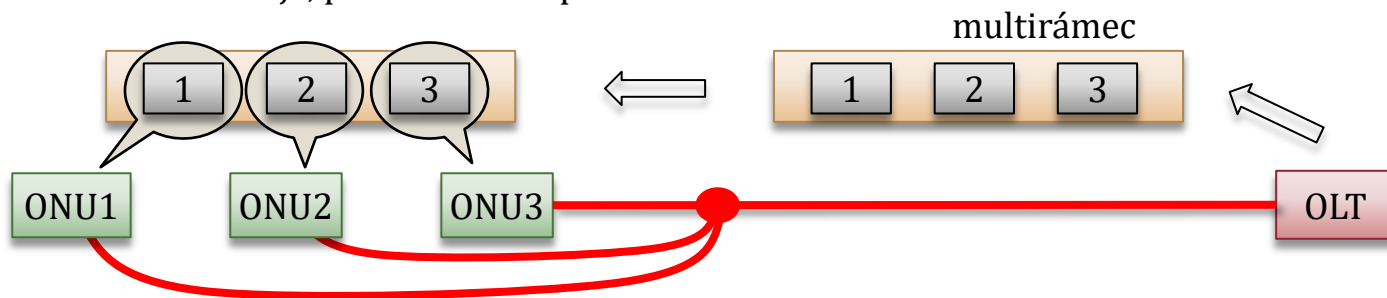
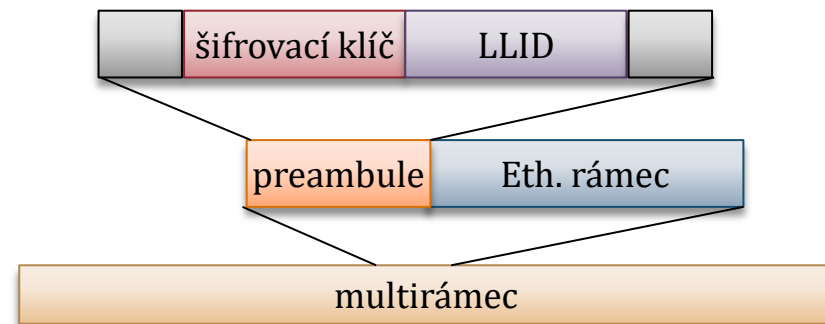
# přenos dat po sítích PON

- **po sítích PON chceme přenášet data**
  - na úrovni linkové vrstvy – jako linkové rámce
    - nejlépe: standardní linkové rámce Ethernetu
      - kvůli co nejjednodušší vazbě na „okolí“
- **otázky, které je nutné vyřešit:**
  - jaké bloky dat se budou skutečně přenášet?
    - budou to rovnou linkové rámce
      - nebo nějaké jiné bloky, do kterých se linkové rámce budou teprve vkládat (zapouzdřovat)?
  - jak zajistit, aby se linkové rámce dostaly jen k těm příjemcům, kterým jsou skutečně určeny?
    - připomenutí: vysílání na downstreamu od OLT k ONU/ONT je vždy broadcastem
      - všechny ONU/ONT „slyší vše“
        - každý ONU/ONT by si měl „vzít“ jen to, co je mu určeno, a ostatní ignorovat
  - jak řídit přístup pro potřeby upstreamu?
    - připomenutí: propojení mezi ONU/ONT a OLT má charakter sdíleného média,
      - je nutné řízení přístupu jako u sítí LAN
- **dnes se používají 2 hlavní řešení / standardy**
  - **EPON, 10GEPON:** standardy IEEE 802.3, přenáší přímo rámce Ethernetu
  - **GPON:** standard ITU-T, balí linkové rámce do buněk



# EPON (IEEE 802.3 ah, EFM)

- **přenáší přímo linkové rámce (konkrétně rámce Ethernetu)**
  - **přesněji: přenáší celé skupiny linkových rámců, tzv. multirámce**
    - obvykle: každý multirámeček obsahuje tolik linkových rámců, kolik je ONU/ONT
      - každý linkový rámec v multirámečku je opatřen další hlavičkou (preambulí), která obsahuje mj. identifikátor konkrétního ONU/ONT, kterému je rámec určen /od kterého pochází
        - LLID (Logical Link ID)
      - v preambuli je dále šifrovací klíč
        - pro šifrování samotného rámce
  - **přenáší data rychlostí 1,25 Gbit/s**
    - kvůli kódování 5B4B jde o 1 Gbit/s
  - **směr OLT → ONU/ONT (downstream):**
    - OLT odesílá celé multirámce po optické distribuční síti (ODN) na jedné vlnové délce
      - každý ONU/ONT přijme celý multirámeček (jako broadcast)
        - ale „vezme“ si z něj pouze ten linkový rámec, který je mu určen (dle LLID v preambuli)
        - a jeho obsah také dešifruje, pomocí klíče v preambuli



# EPON (IEEE 802.3 ah, EFM)

- **směr ONU/ONT → OLT (upstream):**

- připomenutí: jde o vysílání do sdíleného média, o které může usilovat až N uzlů (ONU/ONT) současně

na jiné vlnové délce, než u downstreamu

- stejná situace jako u sítí LAN, je nutné řízení přístupu

- řízení přístupu v rámci EPON:

- na bázi časového multiplexu (TDMA: Time Division Multiple Access)

- v zásadě jde o řízenou metodu na bázi rezervace, s centrálním řídicím prvkem (OLT)

- způsob fungování:

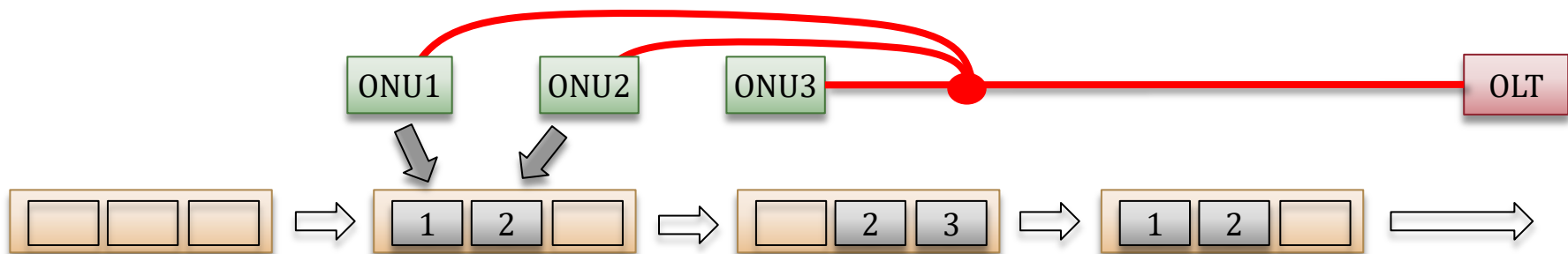
- jednotlivé ONU/ONT jsou synchronizovány (mají stejný čas)

- po sdíleném médiu (směrem k OLT) jsou neustále přenášeny obdobné multirámce, jako na downstreamu

- pro každý z celkem N uzlů (ONU/ONT) je v multirámcu rezervován jeden časový slot

- tento slot odpovídá linkovému rámcu: pokud ONU/ONT má rámec k odeslání, vloží jej do slotu, který je pro něj rezervován

- jinak nevloží nic (resp. je vložena „vata“)





# 10G EPON, GPON, 10GPON

- **EPON (dnes též: 1G EPON)**
  - je standardem IEEE 802.3 ah, z roku 2004
    - přenáší data s (nominální) přenosovou rychlostí **1 Gbit/s** (v obou směrech)
- **10G EPON**
  - je dalším vývojovým stádiem EPON
  - vychází ze standardu IEEE 802.3 av
    - z roku 2009
  - má:
    - asymetrickou variantu: 10/1 Gbit/s
      - 10 Gbit/s na downstreamu, 1 Gbit/s na upstreamu
    - symetrickou variantu: 10/10 Gbit/s
- **EFM (Ethernet in the First Mile)**
  - společné označení pro standardy Ethernetu k nasazení v rámci „první/poslední míle“
    - zahrnuje EPON, 10G-EPON, ale i další standardy pro přenos nad místními smyčkami / kroucenou dvoulinkou
- **GPON (Gigabit-capable PON)**
  - je standardem ITU-T G.984 (2003)
    - navazuje na starší standardy APON a BPON
    - linkové rámce vkládá (zapouzdřuje) do menších bloků, které teprve přenáší
      - APON, BPON: jednalo se o ATM buňky
      - GPON: má vlastní bloky
        - GEM: GPON Encapsulation Method
    - jde o jednoduchý protokol, který má nízkou vlastní režii: cca 7%
      - zatímco EPON může mít podstatně vyšší vlastní režii, až 50%
  - **10G PON**
    - je standardem ITU-T G.987, 2010
    - má:
      - symetrickou variantu (10/10 Gbit/s)
      - asymetrickou variantu (10 / 2,5 Gbit/s)