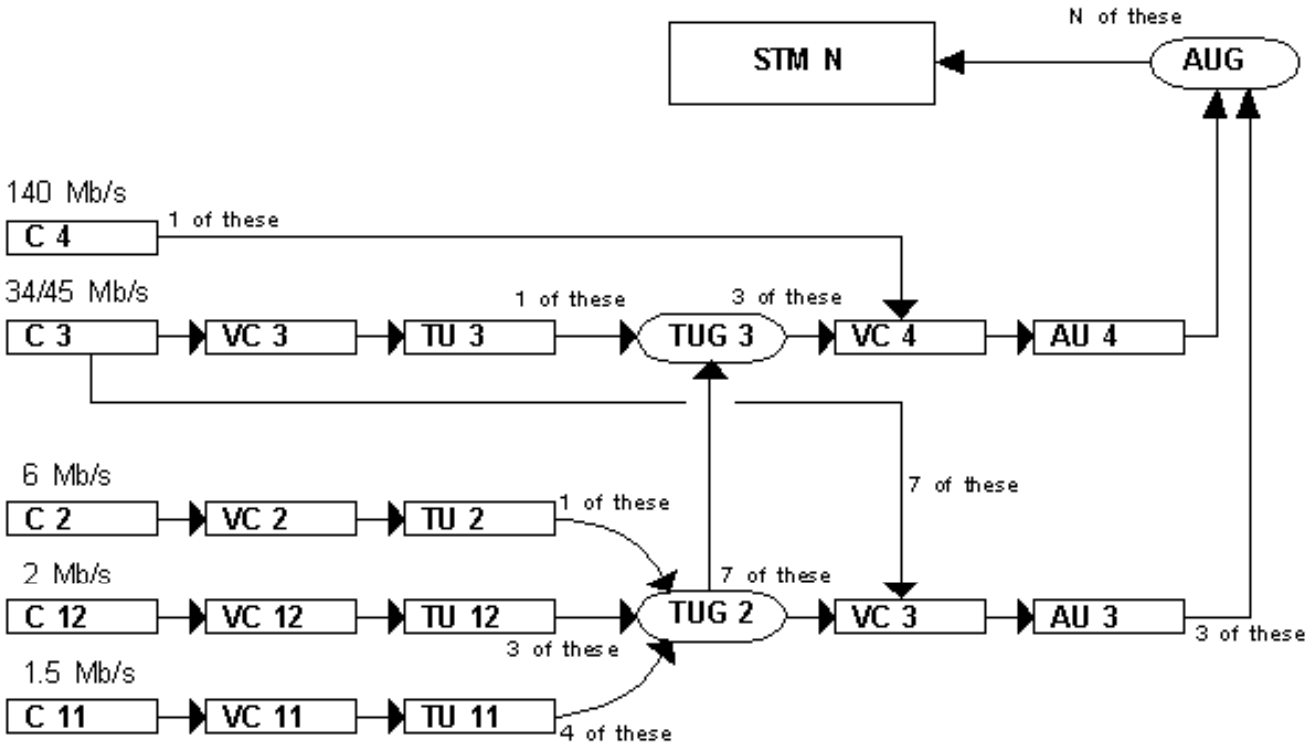


Metody multiplexování, přenosové systémy PDH a SDH

O čem přednáška je?

- Vzorkování lidského hlasu
- Multiplexace kanálů
- PDH
- SDH

Digitalizace lidského hlasu

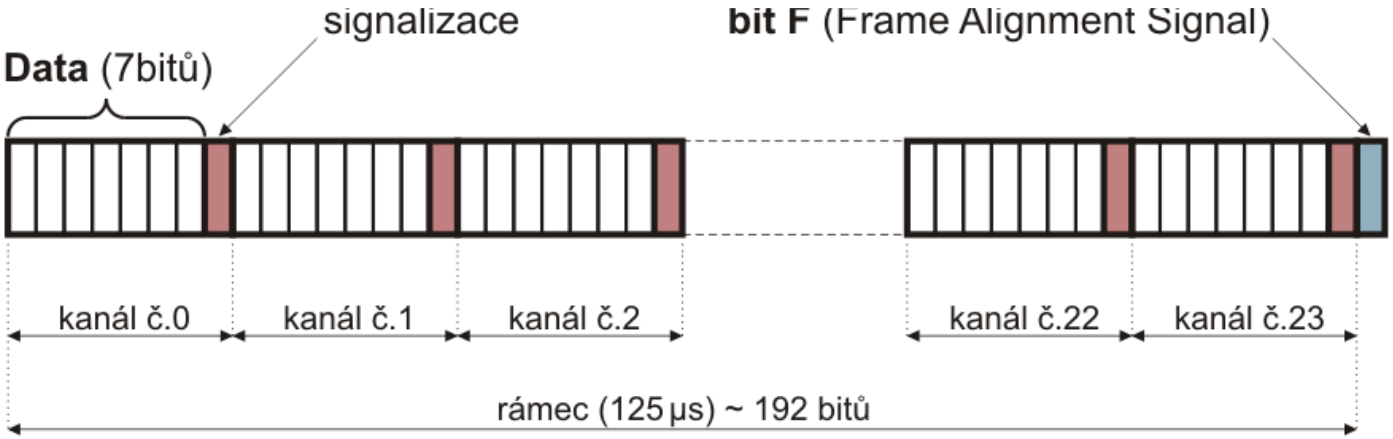
- Při telefonním hovoru přenášíme frekvence 300 – 3400 Hz
- podle Shannonova kritéria je třeba vzorkovat 8000x za sekundu tj. každých 125 μs
- technika PCM – každý vzorek se vyjádří pomocí 8 b
- 2 typy kompresních charakteristik
  - μ-Law – PCM 24 (DS-1, USA, Japonsko)
  - A-Law – PCM 30/32 (E1, Evropa)
- 8000 vzorků po 8 bitech = 64000 b/s
- digitální ústředny předpokládají právě tento způsob digitalizace hlasu – rezervují 64 kb/s pro každý hovor

Signál PCM 1. řádu (E1)

- Digitální signál na rozhraních přenosové sítě tvoří nepřetržitý sériový synchronní (isochronní) tok binárních dat
- Přenášené signály jsou multiplexovány sdruženy do jednoho **rámce** (**Frame**), který má přesně definovanou strukturu včetně pomocné služební synchronizační a signalizační informace
- Pro evropskou oblast je rámec složen z 32 osmibitových kódových skupin, tzv. **kanálových intervalů** (**Time Slot**)
  - Označuje se jako signál PCM30/32 nebo E1
  - signál 1. řádu evropské hierarchie
  - 32 je celkový počet kanálových intervalů
  - 30 je počet telefonních kanálů, které lze přenést

Signál PCM 1. řádu (T1)

- Americká a japonská hierarchie je vybudována na odlišné rámcové struktuře PCM 24 označované také T1 nebo DS1 s přenosovou rychlostí 1554 kbit/s
- Rámec je tvořen jedním F-bitem a 24 kanálovými osmibitovými intervaly s přenosovou rychlostí 64 kbit/s
- *Při mezikontinentální komunikaci např. z Evropy do USA je nutný převod z PCM30/32 na PCM 24 a překódování z A-Law na μ-Law*

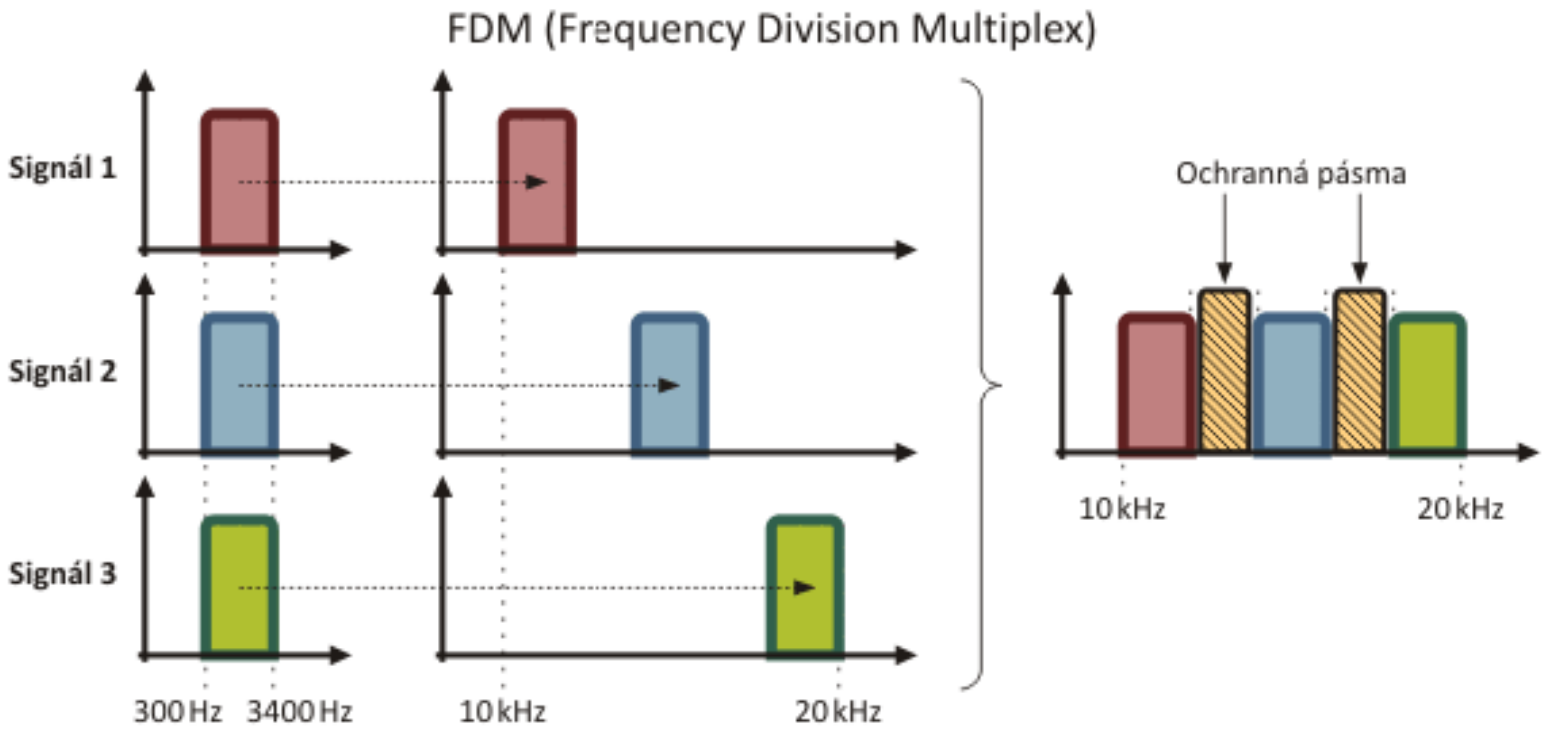


Přenosová rychlost: $v_p = [24 \cdot (7+1)+1] \cdot 8 \cdot 10^3 = 1544$ kbit/s

Metody multiplexování

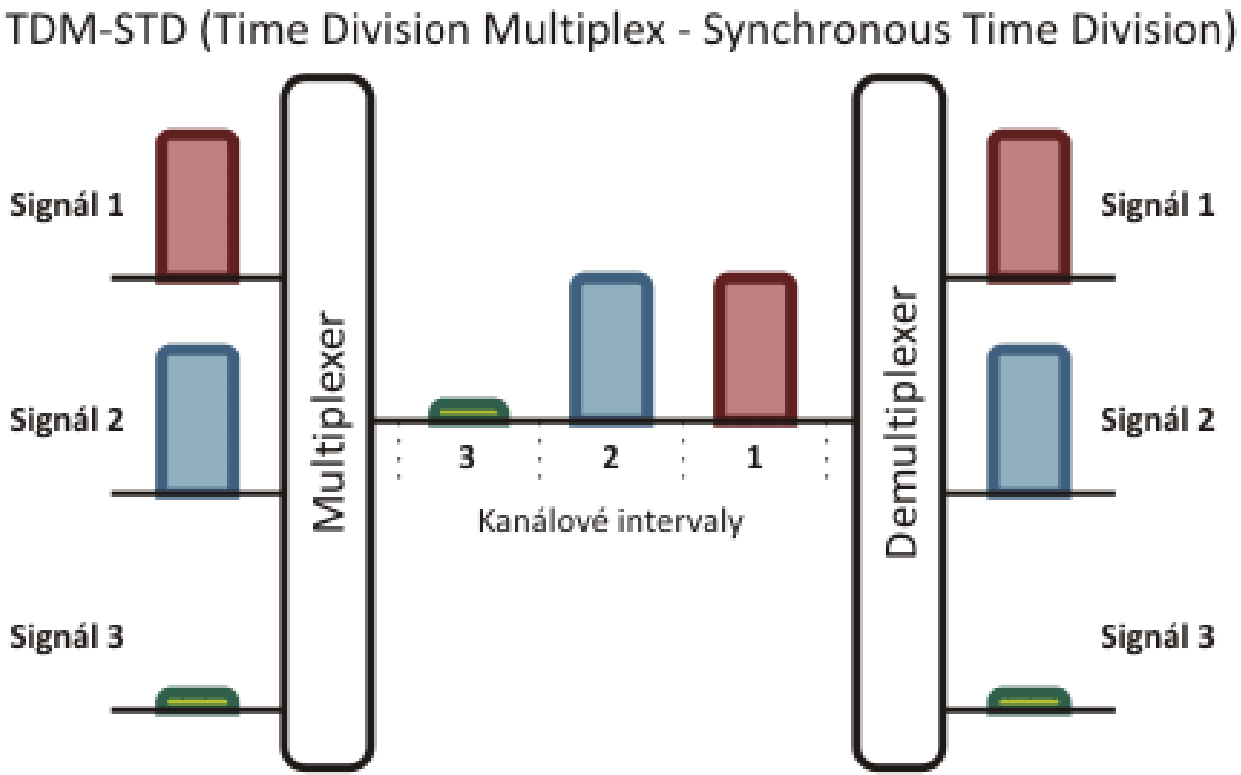
- základní myšlenkou, že nejlepšího ekonomického zhodnocení přenosových cest se dosáhne jejich vícenásobným využitím
- historicky se objevovaly postupně:
  - prostorový multiplex - více paralelních vedení
  - frekvenční multiplex - FDM (Frequency Division Multiplex)
  - časový multiplex - TDM (Time Division Multiplex)
  - vlnový multiplex - WDM (Wavelength Division Multiplex)
  - kódový multiplex - CDM (Code Division Multiplex)

Metody multiplexování – FDM



- Posun signálu do vyšší kmitočtové polohy – přeložené pásmo
- V současnosti např. GSM, ADSL

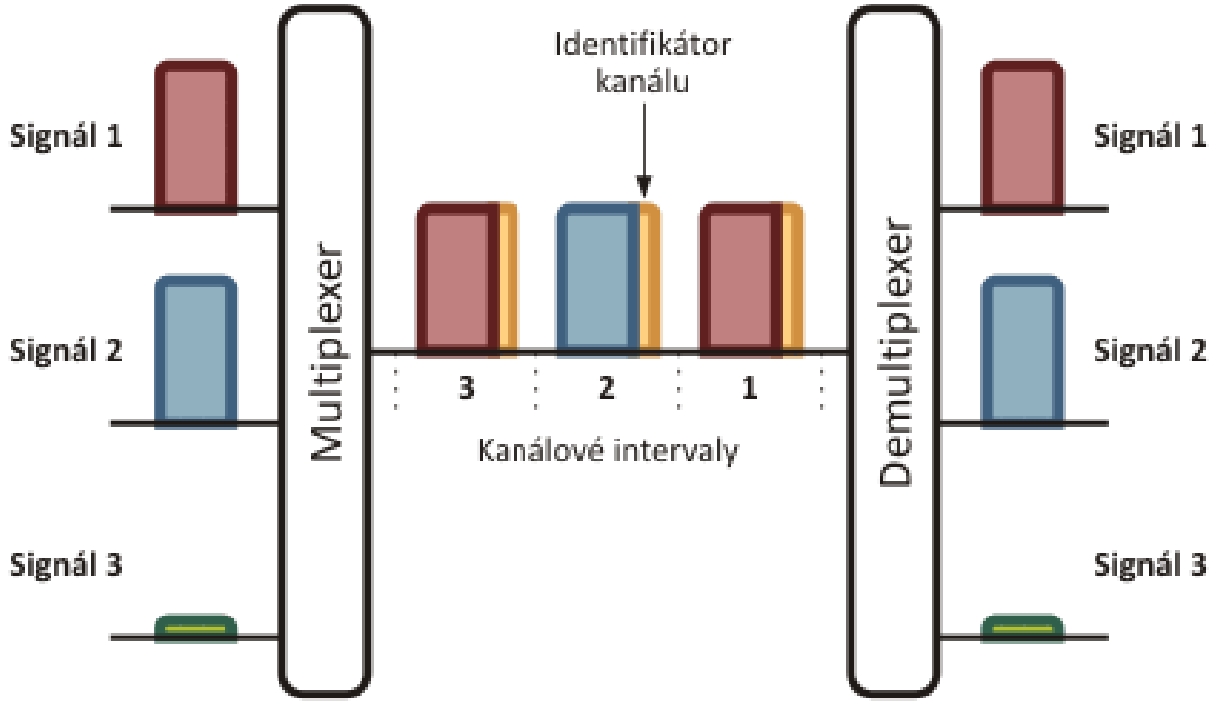
Metody multiplexování – TDM-STD



- Každý kanál má vlastní časový interval
- Není potřeba žádná další informace pro rozlišení kanálů

Metody multiplexování – TDM-ATD

TDM-ATD (Time Division Multiplex - Asynchronous Time Division)



- Nepřiřazuje časové sloty pevně, ale na základě skutečné potřeby
- V současnosti např. ATM

Metody multiplexování – WDM

- Je založeno na vysílání optického záření na několika různých vlnových délkách po témže optickém vlákně
- Každá vlnová délka ponese namodulovaný jiný elektrický signál
- V principu je paralelou frekvenčního dělení pro optický signál
  - husté vlnové dělení **DWDM** (Dense WDM) s rozestupy optických nosných pod 1 nm
  - hrubé vlnové dělení **CWDM** (Coarse WDM) s rozestupy optických nosných nad 10 nm
- dnes se používají systémy WDM s až 160 nosnými
  - přenosové rychlosti až jednotky Tbit/s

Metody multiplexování – CDM

- využívá ke sdružování vlastností vhodně vystavěného kódu
  - datová posloupnost každého komunikačního kanálu je na vysílací straně podrobena procesu dalšího kódování podle speciálního kódovacího předpisu
  - ten je odlišný od kódovacího předpisu všech ostatních kanálů
- signály všech kanálů se tedy přenášejí ve stejném frekvenčním pásmu a bez časového rozlišení
  - na přijímací straně jsou pak jednotlivé kanály od sebe odděleny pouze na základě odlišného kódovacího, resp. dekódovacího předpisu.
- v dnešní se používá např. u mobilních systémů (UMTS) a bezdrátových sítí LAN Wi-Fi, WiMax, apod.

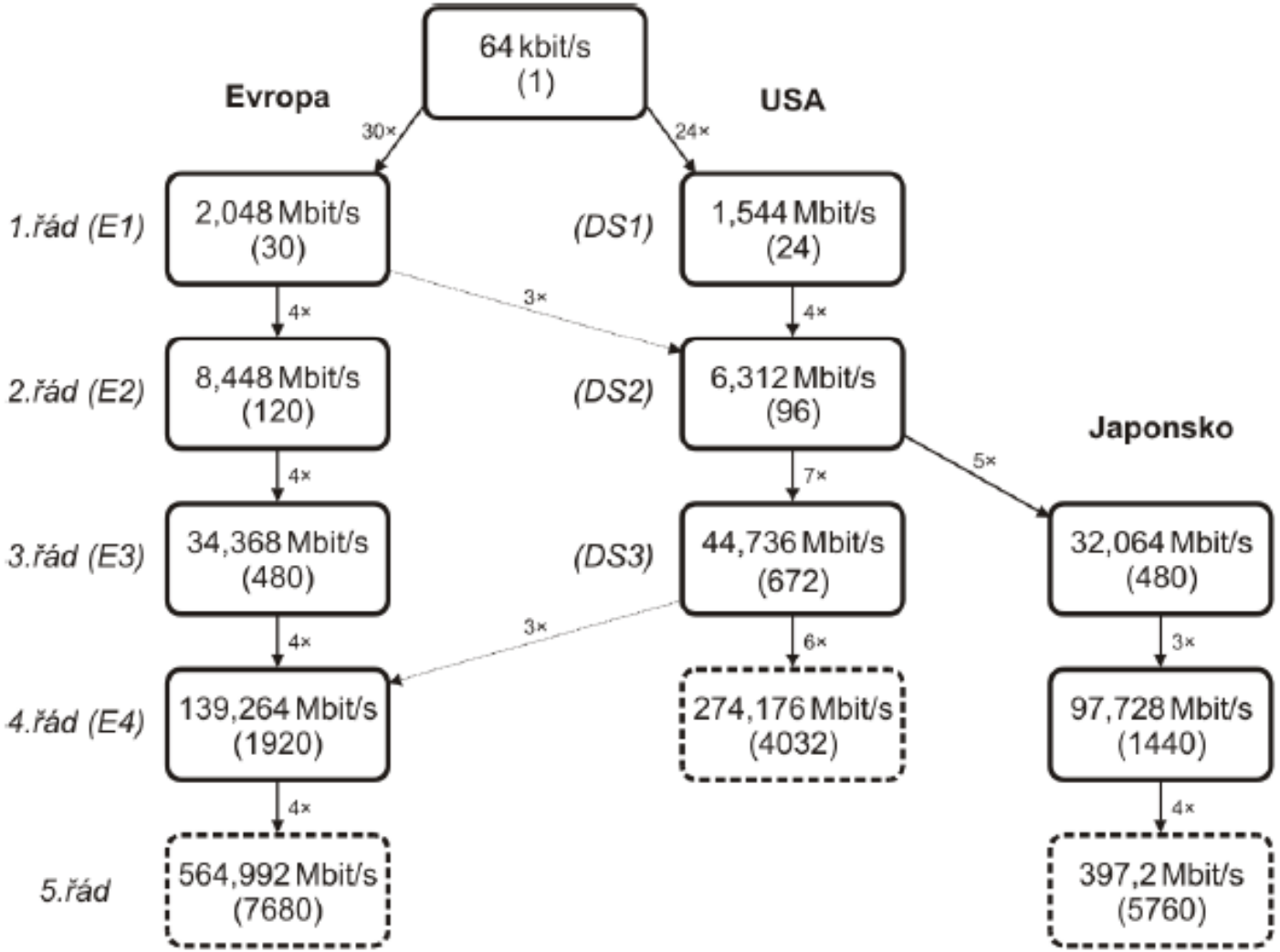
Digitální hierarchie pro sdružování signálů

- Efektivní přenos digitálních signálů mezi uzly telekomunikační sítě se provádí pomocí časového (TDM), příp. vlnového sdružování (WDM)
- Smyslem digitálních hierarchií pro sdružování signálů je veškeré požadované digitální toky (digitalizované hovorové signály, data, video apod.) multiplexovat ve vysokorychlostní signál, který je možné přenášet jediným spojem (dnes nejčastěji optickým vláknem)
- standardizace hierarchií digitálních systémů vychází původně z potřeb propojení digitálních telefonních ústředen
- V současnosti jsou využívány dva druhy digitálních hierarchií
  - plesiochronní digitální hierarchie **PDH** (Plesiochronous Digital Hierarchy)
  - synchronní digitální hierarchie **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy)

Plesiochronní digitální hierarchie (PDH)

- Sdružované signály nemají oproti signálu vyššího řádu definován pevný časový vztah - **asynchronní sdružování**
- V signálu vyššího řádu je vyčleněna určitá **rezerva pro odchylky** přenosových rychlostí signálu nižšího řádu, ale uvažuje se diference přenosových rychlostí v určitých předepsaných mezích
- U PDH se **prokládají** jednotlivé sdružované signály volně bit po bitu do rámce signálu vyššího řádu, aniž by byl jakýkoli definovaný vztah mezi rámcem signálu nižšího řádu a rámcem signálu vyššího řádu
- při mnohonásobně opakovaných operacích multiplexování a demultiplexování to může vést k degradaci signálu

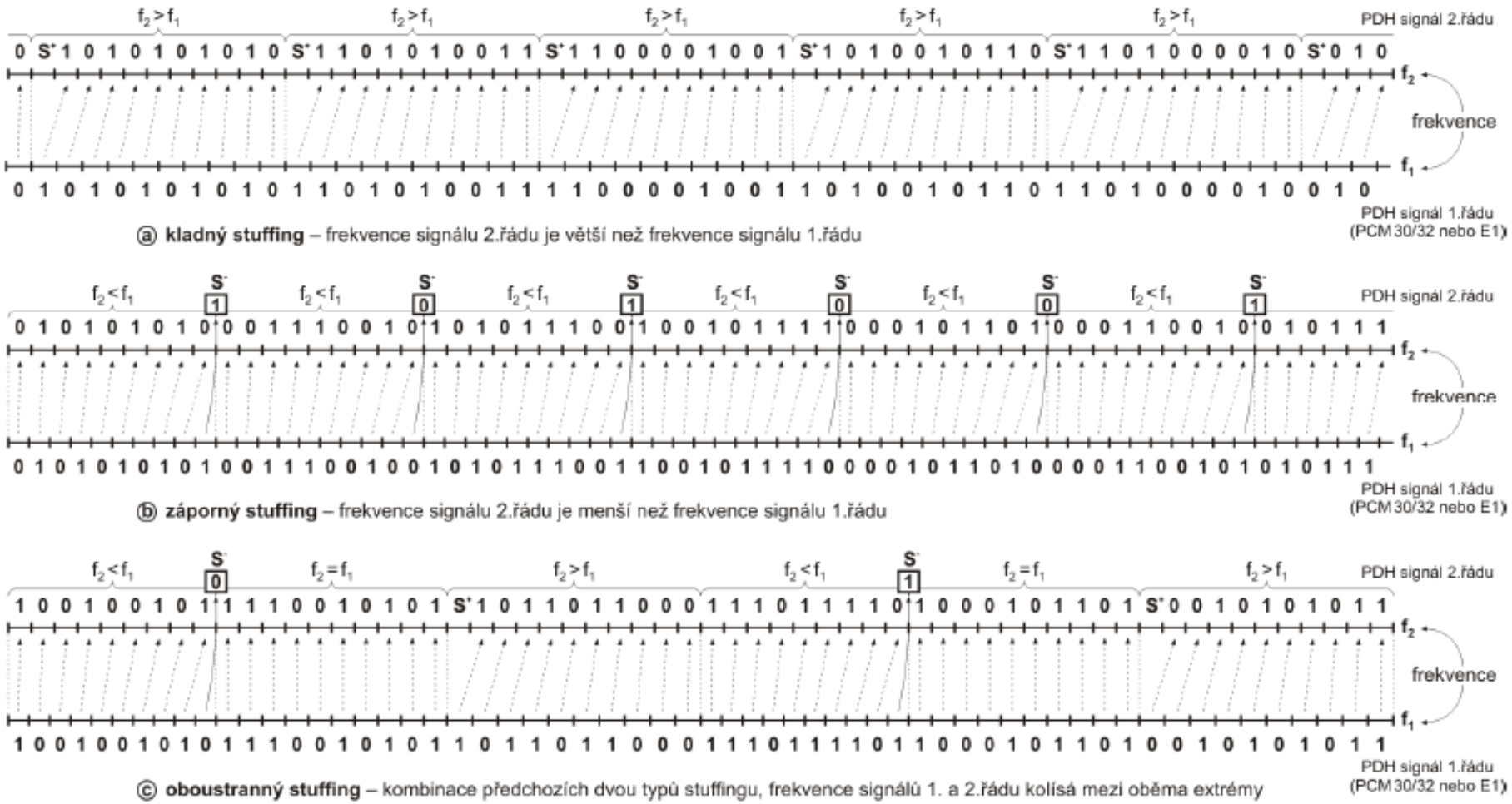
Multiplexní schéma PDH



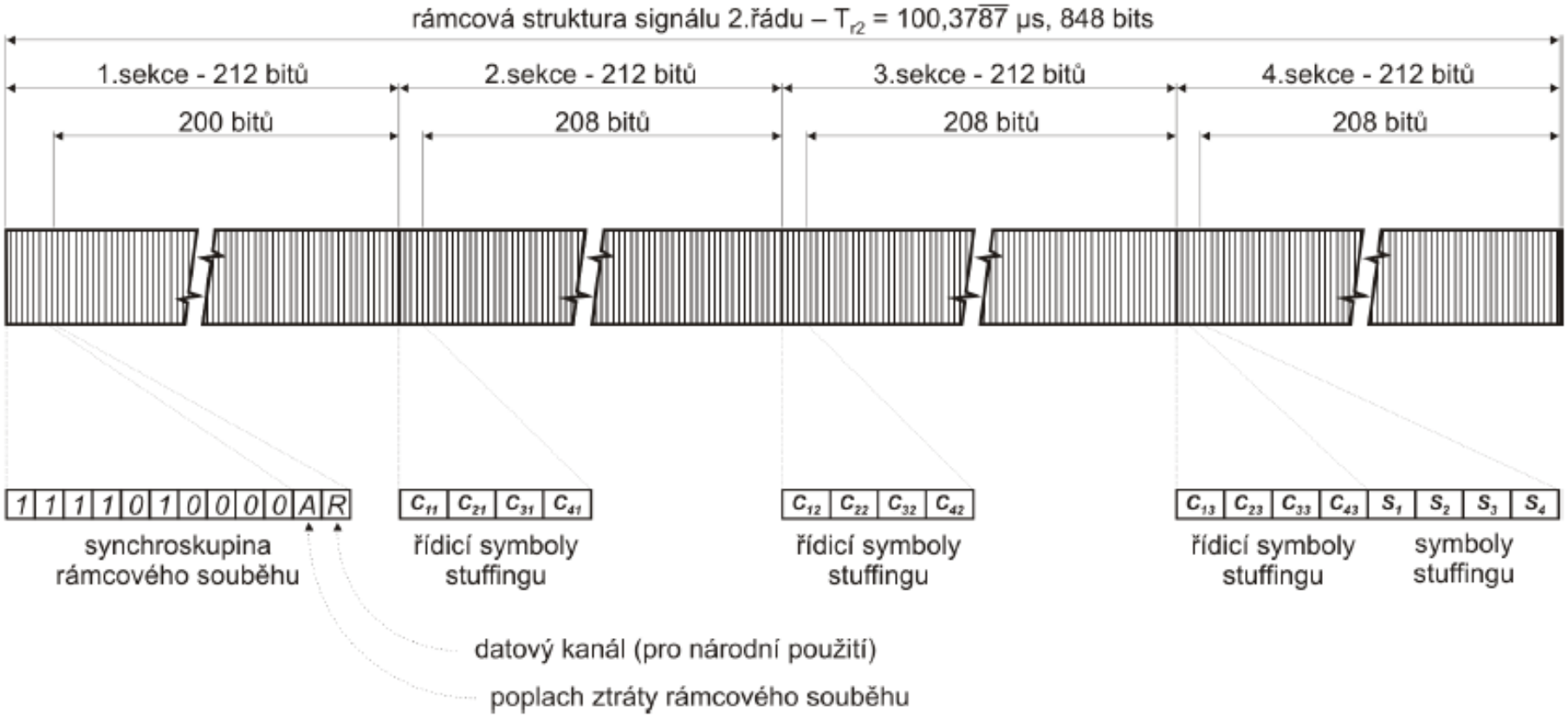
Plesiochronní digitální hierarchie - stuffing

- Pro schopnost přenést signály s vyšším taktem se vytváří v rámci rezerva v bitových místech, která je pro signály s nižším taktem nevyužita
  - dojde k vyplnění nevyužitého místa neužitečnou informací
- Typy vyrovnávání přenosové rychlosti
  - **Kladný stuffing** – přenosová rychlost signálu vyššího řádu je vyšší než násobek signálů řádu nižšího
  - **Záporný stuffing** – přenosová rychlost signálu vyššího řádu je nižší než násobek signálů řádu nižšího
  - **Oboustranný stuffing** – kombinace předchozích (kolísání přenosové rychlosti)

Vyrovnávání přenosových rychlostí u PDH



PDH signál 2.řádu – rámcová struktura



Synchronní digitální hierarchie (SDH)

- přidávání dalších stupňů do PDH by nebylo efektivní a ani technicky schůdné → nová hierarchie na odlišných principech, nejlépe celosvětově standardizovaná
- Používá se **řízené prokládání po celých bytech**
  - pomocí adresace informačního pole lze jednoduše získat žádaná data i v rámcích signálů vyšších řádů podle údajů ukazatele
- Všechny signály se u SDH multiplexují **synchronně** s pevným časovým vztahem mezi signálem vyššího a nižšího řádu
- Počítá se s vysokými přenosovými rychlostmi
  - nejnižší stupeň SDH začíná přibližně v oblasti, kde PDH rychlostně končí
- Standardizovaným přenosovým médiem je optické vlákno, které dovoluje vysoké přenosové rychlosti až desítek Gbit/s

Hierarchické stupně SDH

- Celosvětově standardizovaná technologie SDH vychází z amerického standardu SONET (Synchronous Optical NETwork)
- Základní signály SDH se nazývají **synchronní transportní moduly** STM-N, kde N vyjadřuje hierarchický stupeň
  - nejnižší v hierarchii je STM-1, další se tvoří sdružováním vždy čtyř signálů nižšího řádu (STM-4, STM-16, STM-64, STM-256)

označení	STM-0	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64	STM-256
Rychlost [Mb/s]	51,84	155,52	622,08	2488,32	9953,28	39813,12
Označení SONET	STS-1 (OC-1)	STS-3 (OC-3)	STS-12 (OC-12)	STS-48 (OC-48)	STS-192 (OC-192)	STS-768 (OC-768)

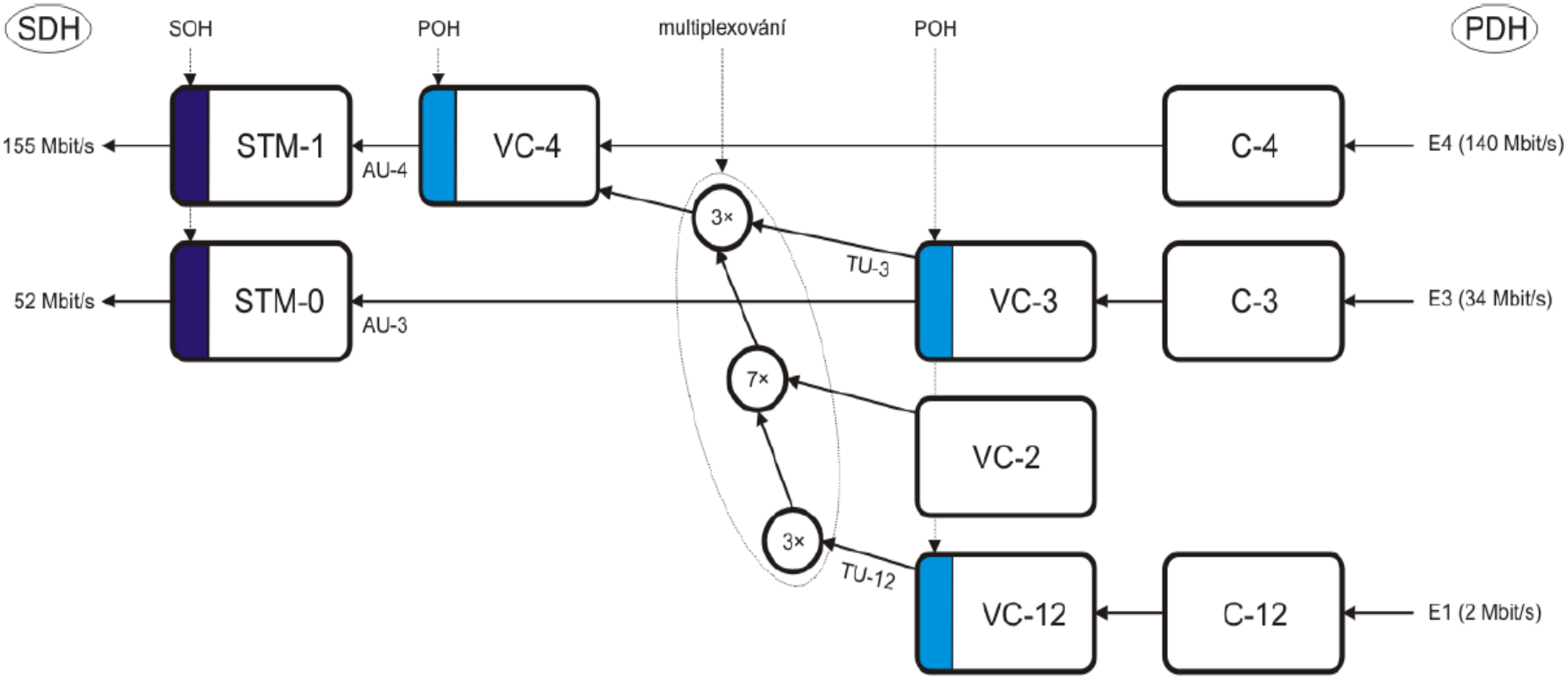
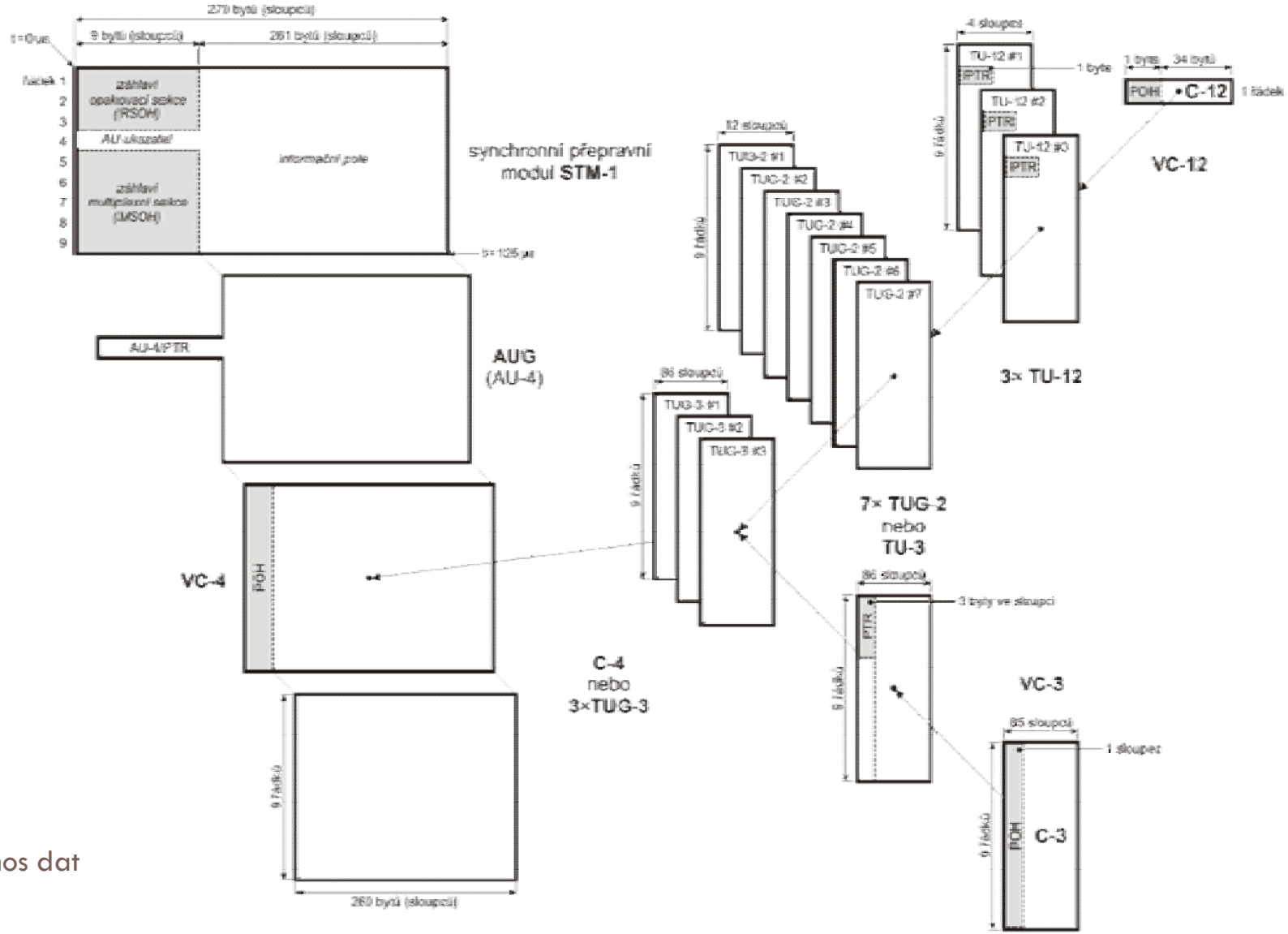
Začleňování cizích signálů do SDH

- Pro různé příspěvkové signály americké i evropské PDH, které se mají přenášet přes síť SDH, jsou určeny různé typy tzv. **virtuálních kontejnerů**
  - do těchto virtuálních kontejnerů lze ukládat a přenášet jimi i další typy signálů, zejména **ATM buňky, IP pakety, Ethernet rámce**
  - úprava vnitřní struktury rámce začleňovaného signálu se označuje jako **mapování** (Mapping)
- Přizpůsobování přenosových rychlostí **PDH** příspěvkových signálů se provádí s využitím oboustranného, tj. kladného i záporného bitového stuffingu a adaptace **SDH** příspěvkových signálů pomocí pevných výplňových (stuffingových) symbolů

Začleňování cizích signálů do SDH, 2

- Základní struktura rámce vytvořeného při mapování příspěvkového signálu se označuje jako **kontejner C-nk**
  - **n** odpovídá hierarchické úrovni signálu PDH
  - **k** rozlišuje pro příspěvkové signály 1. řádu struktury kontejnerů podle přenosové rychlosti mapovaných signálů (Amerika, Evropa)
- Přidáním služebních bajtů záhlaví cesty **POH (Path Overhead)** ke kontejneru **C-nk** se vytvoří rámec, označovaný jako **virtuální kontejner VC-nk**
  - poloha je určena na základě hodnoty tzv. ukazatele **PTR (Pointer)**
  - může začínat kdekoliv v informačním poli transportního modulu STM

Multiplexní proces u SDH



Fyzická struktura SDH rámců