

# 1. Úvod do světa počítačových sítí

PB156: Počítačové sítě

Eva Hladká

*Slidy připravil: Tomáš Rebok*

Fakulta informatiky Masarykovy univerzity

jaro 2024

# Představení kurzu

## Představení kurzu PB156

# Základní představení kurzu

- účast na přednáškách není povinná
- slidy k přednáškám budou průběžně vystavovány ve studijních materiálech předmětu
- zkouška je pouze písemná:
  - a to pouze na konci semestru
  - 1 řádný + 2 opravné termíny
  - běžná písemka (styl *otázka-odpověď*), nikoli test
- materiály ke studiu:
  - B. A. Forouzan: *Data Communications and Networking (4<sup>th</sup> Edition)*. McGraw Hill Higher Education. 2009.
  - J. F. Kurose, K. W. Ross: *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet (8<sup>th</sup> Edition)*. Addison-Wesley. 2021.
  - L. Dostálek, A. Kabelová: *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. Computer Press. 2008.
  - slidy, RFC dokumenty, . . .
  - literatura, která bude uvedena v relevantních částech přednášky

# Přehled kurzu

- cíl kurzu:
  - poskytnout základní pohled do světa počítačových sítí (jejich architektury a funkcionality)
  - na tento přehled pak navážou další kurzy
    - *PV169: Základy přenosu dat* (Ing. Oujezský) – detaily k L1 a L2 ISO/OSI modelu
    - *PV183: Technologie počítačových sítí* (dr. Pelikán) – současné technologie využívané v počítačových sítích
    - *PV233: Počítačové sítě a směrovací protokoly* (dr. Pelikán et al.) – Cisco Academy I.
    - *PV234: Přepínání v LAN, bezdrátové sítě a rozsáhlé sítě* (dr. Pelikán et al.) – Cisco Academy II.
- témata probíraná v rámci PB156:
  - úvod do světa počítačových sítí, ISO/OSI vs. TCP/IP modely
  - ISO/OSI detailněji (po vrstvách)
  - základy bezpečnosti v počítačových sítích
  - atd.

# Cvičení PB156cv

- cíl cvičení:
  - poskytnout základní dovednosti ze světa počítačových sítí
  - 6 cvičení po 4 hodinách
  - před cvičením společná hodina nutné teorie
  - cvičení zakončeno vypracováním protokolu
  - k absolvování předmětu nutno odevzdat nejméně 5 protokolů

# Poděkování

## Poděkování

Jako zdroje **informací** a **obrázků** posloužily:

- B. A. Forouzan: *Data Communications and Networking (4<sup>th</sup> Edition)*. McGraw Hill Higher Education. 2007.
- J. F. Kurose, K. W. Ross: *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet (5<sup>th</sup> Edition)*. Addison-Wesley. 2000.
- + webové zdroje

# 1. Úvod do světa počítačových sítí

## 1. Úvod do světa počítačových sítí

# Struktura přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - Vrstvy ISO/OSI
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
  - Motivace
  - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí



# Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - Vrstvy ISO/OSI
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
  - Motivace
  - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

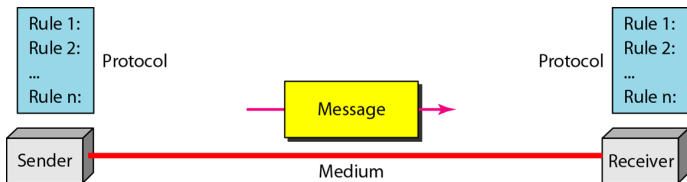
# Počítačové sítě

## Úvod

- skupina počítačů a zařízení propojená komunikačními kanály, které napomáhají vzájemné komunikaci mezi uživateli a umožňují jim sdílet dostupné zdroje
  - základní součástí je *přenos dat*
    - *data* = text, video, audio, atd.
- mohou být využity k mnoha účelům:
  - podpora komunikace (různé způsoby – přenos textu, řeči, videa, atd.)
  - sdílení hardwarových zdrojů
  - sdílení souborů, dat a informací
  - sdílení software
- základní vlastnosti počítačové sítě:
  - *Vlastní doručení dat (Delivery)* – systém musí data doručit správnému příjemci
  - *Správnost doručení (Accuracy)* – systém musí data doručit nepoškozená
  - *Včasnost doručení (Timeliness)* – systém musí data doručit včas

# Počítačové sítě

## Základní součásti komunikačního systému



- *Odesílatel (Sender)* – zařízení zasílající datovou zprávu (pracovní stanice, mobilní přístroj, videokamera, atd.)
- *Příjemce (Receiver)* – zařízení přijímající datovou zprávu (pracovní stanice, mobilní přístroj, videokamera, atd.)
- *Zpráva (Message)* – informace, která je mezi odesílatelem a příjemcem vyměňovaná (text, čísla, obrázky, audio, video, atd.)
- *Přenosové médium (Transmission medium)* – fyzické médium, skrze které je zpráva mezi odesílatelem a příjemcem přenesena (kroucená dvoulinka, optický kabel, bezdrátové médium (vzduch), atd.)
- *Protokol (Protocol)* – sada pravidel řídících komunikaci mezi zúčastněnými stranami (dohoda mezi stranami, jakým způsobem budou mezi sebou komunikovat)

# Počítačové sítě

## Základní parametry síťových toků

- **Propustnost (bandwidth)** – udává kapacitu přenosového kanálu (vyjadřuje maximální množství informace přenesené za jednotku času)
  - jednotky: *bps* (= *bit/sec*), *kbps* (= *kbit/sec*), *Mbps* (= *Mbit/sec*), *Gbps* (= *Gbit/sec*), atd.
- **Ztrátovost paketů (packet loss)** – průměrný počet ztracených paketů za určité období vyjádřený v % vzhledem k celkovému počtu přenesených paketů
- **Zpoždění přenosu (delay, latency)** – čas, který uplyne od odeslání zprávy zdrojovým uzlem po její přijetí na uzlu cílovém (nejčastěji uvedený v *ms*)
  - zahrnuje zpoždění v přenosové trase a na zařízeních, které jsou její součástí
  - někdy se také uvádí tzv. *RTT delay (Round-Trip-Time delay)*
    - = zpoždění obousměrného přenosu
    - tj. čas, který uplyne od odeslání zprávy zdrojovým uzlem, jejím přijetím na uzlu cílovém, zpětným odesláním na zdrojový uzel až po její přijetí na zdrojovém uzlu
- **Rozptyl/Kolísání zpoždění (jitter)** – představuje variabilitu v doručování paketů cílovému uzlu (tedy ve zpoždění při přenosu)
  - jednotky: *ms*, *μs*, atp.

# Počítačové sítě

## Ideální vs. skutečné sítě

### Ideální sítě

- transparentní pro uživatele/aplikace
  - pouze tzv. *end-to-end vlastnosti*
- neomezená propustnost
- žádné ztráty
- žádné zpoždění a rozptyl zpoždění
- zachovává pořadí paketů
- data nemohou být poškozena

### Skutečné sítě

- mají vnitřní strukturu, která ovlivňuje doručení dat
- omezená propustnost
- (občas) dochází ke ztrátám dat
- (občas) poskytuje variabilní zpoždění a rozptyl zpoždění
- (občas) nezachovává pořadí paketů
- data mohou být poškozena

# Počítačové sítě

## Požadované vlastnosti

- *efektivita* – efektivní/maximální využití dostupné přenosové kapacity
- *spravedlivost* – stejný přístup ke všem datovým tokům všech uživatelů (se stejnou prioritou)
- *decentralizovaná správa*
- *rychlá konvergence při adaptaci na nový stav*
- *multiplexing/demultiplexing*
- *spolehlivost*
- *řízení toku dat* – ochrana proti zahlcení sítě a přijímajícího uzlu

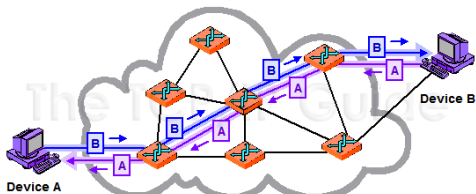
# Počítačové sítě

## Základní přístupy I.

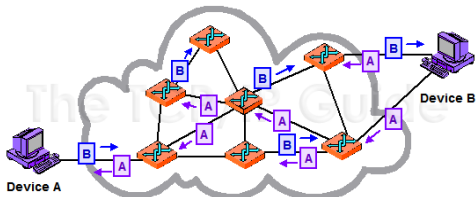
- **spojované sítě** (= přepínání okruhů)
  - mezi komunikujícími uzly je před začátkem přenosu ustaveno *spojení* (nazýváno též *okruh*), které je udržováno během celé komunikace
    - spojováno operátorkami či automatizovaně s využitím relé
  - informace o spojení jsou udržovány sítí – síť musí uchovávat *stav*
  - okruh může být buď pevný (předvytvořený) nebo vytvářen na žádost
  - jednoduchá (víceméně automatická) implementace kvality služby
  - např. analogové telefonní sítě
- **nespojované sítě** (= přepínání paketů)
  - pro přenos dat není využita definovaná cesta – data jsou rozdělena do malých částí (nazývány *pakety*), které jsou odeslány do sítě
    - pakety mohou být v síti směrovány libovolnými/různými cestami, slučovány či fragmentovány
  - na přijímající straně jsou z paketů extrahovány příslušné části dat, které jsou následně znovusloženy do původní podoby
  - není potřeba uchovávat stav v síti
  - velmi problematická implementace QoS (tzv. *best-effort služba*)
  - např. Internet

# Počítačové sítě

## Základní přístupy II.



*spojované síť*



*nespojované síť*



# Počítačové sítě

## Implementace funkcionality

Jak lze v počítačových sítích implementovat požadovanou funkcionality?

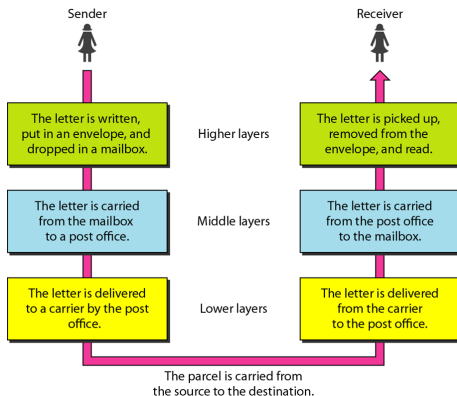
- **End-to-End (E2E) přístup – *E2E argument***
  - aplikací požadovanou funkcionality lze zajistit pouze se znalostí a prostřednictvím samotné aplikace
    - $\Rightarrow$  pokud je to možné, měly by být operace komunikačního protokolu definovány tak, aby byly prováděny buď v koncových bodech komunikačního systému, nebo co nejbližší k nim
    - v nižších vrstvách systému mají být funkce protokolu implementovány pouze tehdy, pokud to zlepšuje výkon
  - vhodný pro aplikace, které vyžadují vysoký stupeň věrnosti přenesených dat a současně tolerují zpoždění
- **Hop-by-Hop (HbH) přístup**
  - opakováním určité funkcionality na úrovni každého dvoubodového přenosu lze dosáhnout výrazného zvýšení výkonu
  - vyžaduje se však uchování stavových informací na vnitřních prvcích sítě  $\Rightarrow$  limitovaná škálovatelnost
  - vhodný pro aplikace, kde minimalizace zpoždění je důležitější, nežli věrnost přenesených dat (tzv. real-time aplikace)

# Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - Vrstvy ISO/OSI
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
  - Motivace
  - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

# Sítové modely – Motivace

- inspirace z reálného světa:
  - komplexní činnosti lze rozložit do podčinností (*vrstev*) a tyto pak provádět samostatně
    - v určité předdefinované hierarchii (každá z vrstev spolupracuje s vrstvou okolní)
  - viz zasílání dopisu poštou

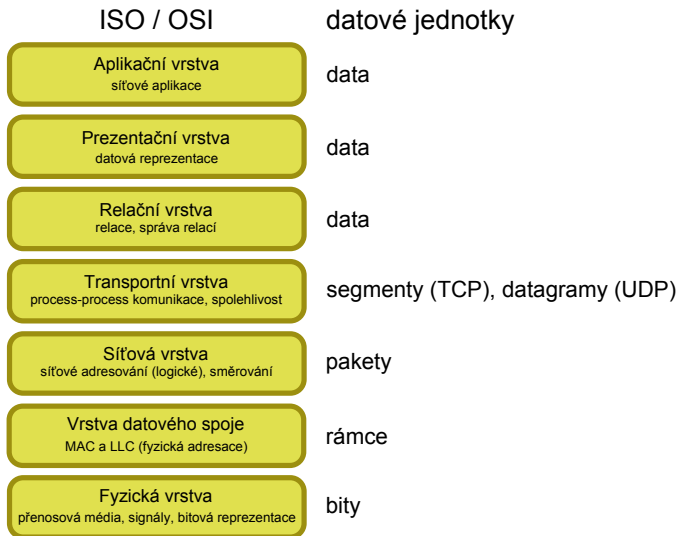


# ISO/OSI Model I.

**ISO/OSI Model:** (ISO = název organizace, OSI = jméno modelu)

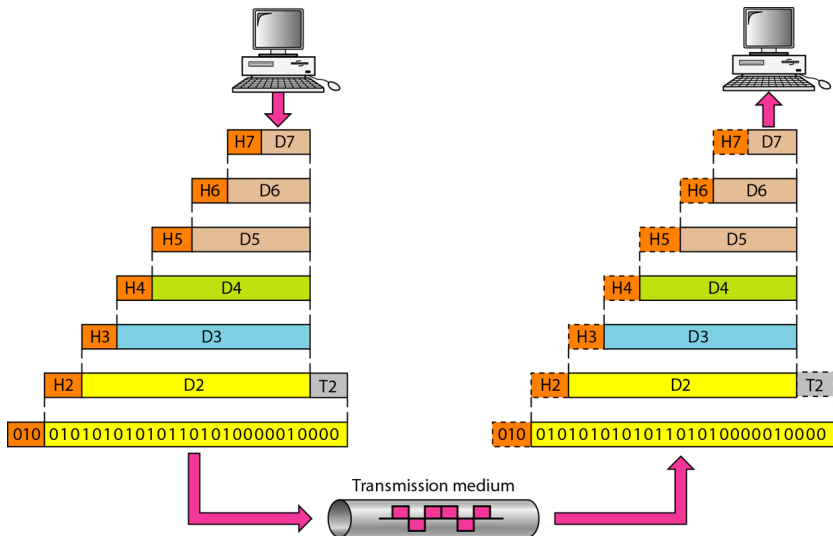
- **7-vrstvý model** navržen organizací OSI za účelem zajištění kompatibility a interoperability komunikačních systémů různých výrobců
- důvody vrstevnaté architektury:
  - každá z vrstev je **zodpovědná za určitou (definovanou) funkcionalitu**
    - aby mohla požadovanou funkcionalitu zajistit, přidává si do přenášených dat své řídicí informace
  - každá vrstva **komunikuje pouze se svými přímo sousedícími vrstvami**
    - každá vrstva využívá služeb poskytovaných vrstvou nižší a poskytuje své služby vrstvě vyšší
    - funkcionalita je **izolována** v rámci příslušné vrstvy (pokud dojde ke změně vrstvy, je zapotřebí upravit pouze vrstvy s ní přímo sousedící)
  - z logického pohledu se komunikace odehrává pouze mezi stejnými vrstvami (tzv. *peery*) obou komunikujících stran; ve skutečnosti však zasílaná data prochází všemi nižšími vrstvami
  - vrstvy jsou pouze abstrakcí funkcionality – skutečné implementace se více či méně liší
- 7 vrstev nebylo komunitou široce akceptováno ⇒ **TCP/IP model**

# ISO/OSI Model II.



# ISO/OSI Model III.

## Umístění řídicích informací jednotlivých vrstev

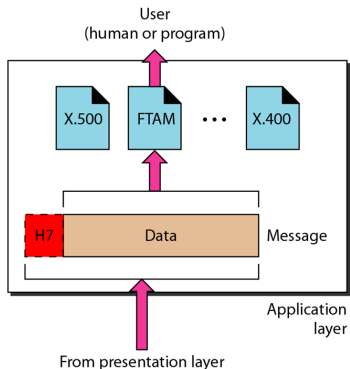
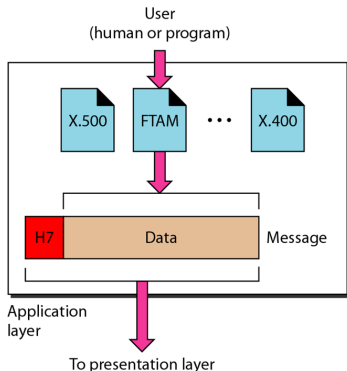


# Vrstvy ISO/OSI

## Aplikační vrstva

### Aplikační vrstva

- představuje rozhraní mezi uživatelem (člověkem) a počítačovou sítí
- zahrnuje *síťové aplikace/programy* a *síťové protokoly*
  - síťovou aplikací požadovaná data jsou balena do aplikačních protokolů a předána prezentační vrstvě

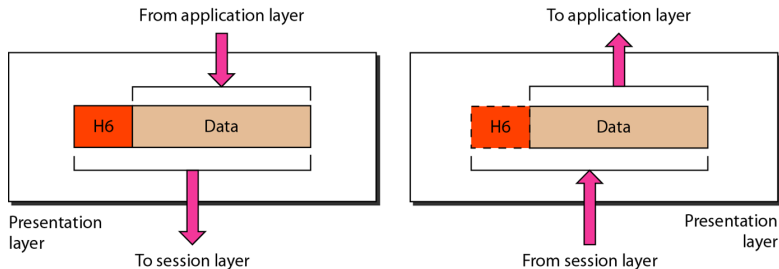


# Vrstvy ISO/OSI

## Prezentační vrstva

### Prezentační vrstva

- zajišťuje jednotnou reprezentaci dat na obou komunikujících stranách
- v rámci TCP/IP modelu se předpokládá, že tato funkcionality je zajištěna samotnou aplikací



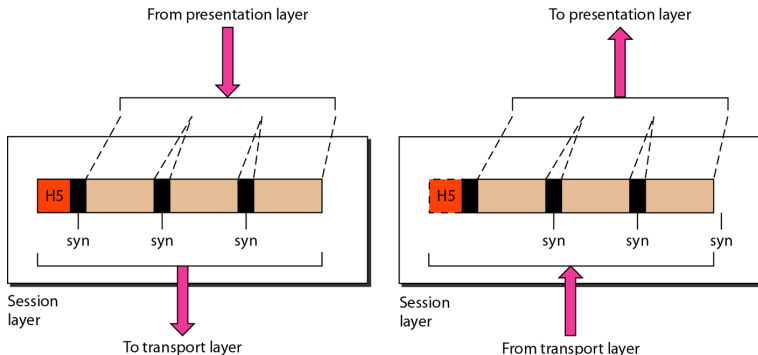


# Vrstvy ISO/OSI

## Relační vrstva

### Relační vrstva

- spravuje ustavená spojení (= relace) mezi komunikujícími aplikacemi
- v rámci TCP/IP modelu se předpokládá, že tato funkcionality je zajištěna samotnou aplikací, resp. aplikačním protokolem

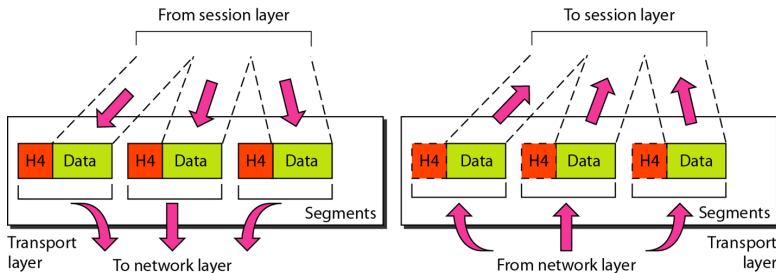


# Vrstvy ISO/OSI

## Transportní vrstva

### Transportní vrstva

- zajišťuje identifikaci (= adresaci) a doručení dat (segmentů, datagramů) mezi dvěma komunikujícími procesy
  - s případným zajištěním spolehlivosti přenosu

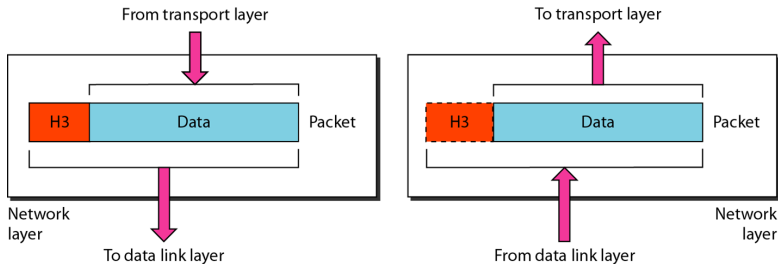


# Vrstvy ISO/OSI

## Síťová vrstva

### Síťová vrstva

- zajišťuje identifikaci (= adresaci) a doručení dat (paketů) mezi dvěma komunikujícími uzly
  - součástí je také nalezení vhodné cesty mezi komunikujícími uzly (= *směrování*)

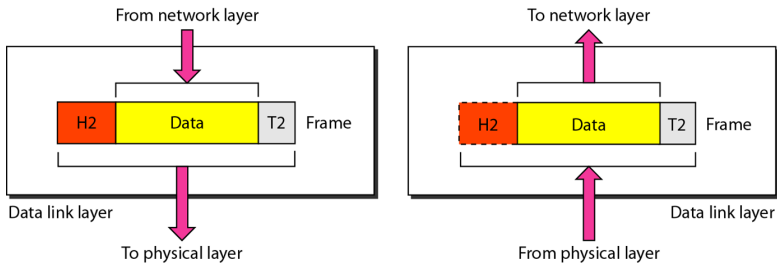


# Vrstvy ISO/OSI

## Vrstva datového spoje (Spojová vrstva)

### Vrstva datového spoje (Spojová vrstva)

- zajišťuje přenos dat (rámců) mezi dvěma komunikujícími uzly propojenými sdíleným přenosovým médiem
  - včetně řízení přístupu k tomuto sdílenému médiu

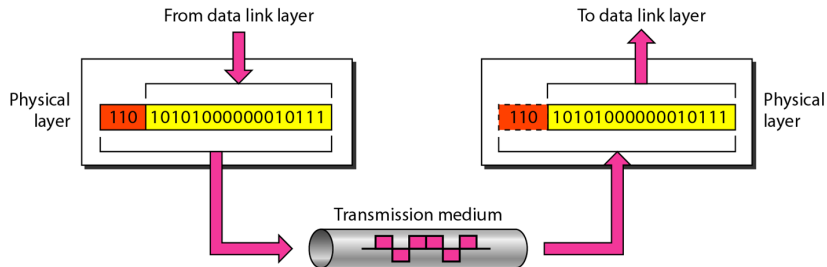


# Vrstvy ISO/OSI

## Fyzická vrstva

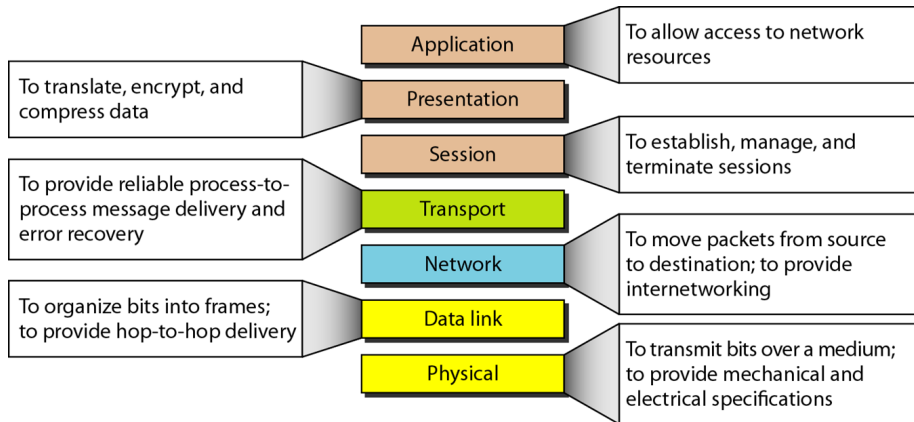
### Fyzická vrstva

- řídí děje v přenosovém médiu
  - rozhoduje např. o vysílání/přijímů přenášených dat (bitů), kódování dat do signálů, atp.



# Vrstvy ISO/OSI

## Shrnutí



# ISO/OSI Model vs. TCP/IP Model I.

## ISO / OSI

Aplikační vrstva  
síťové aplikace

Prezentační vrstva  
datová reprezentace

Relační vrstva  
relace, správa relací

Transportní vrstva  
process-process komunikace, spolehlivost

Síťová vrstva  
síťové adresování (logické), směrování

Vrstva datového spoje  
MAC a LLC (fyzická adresace)

Fyzická vrstva  
přenosová média, signály, bitová reprezentace

## TCP/IP

Aplikační vrstva

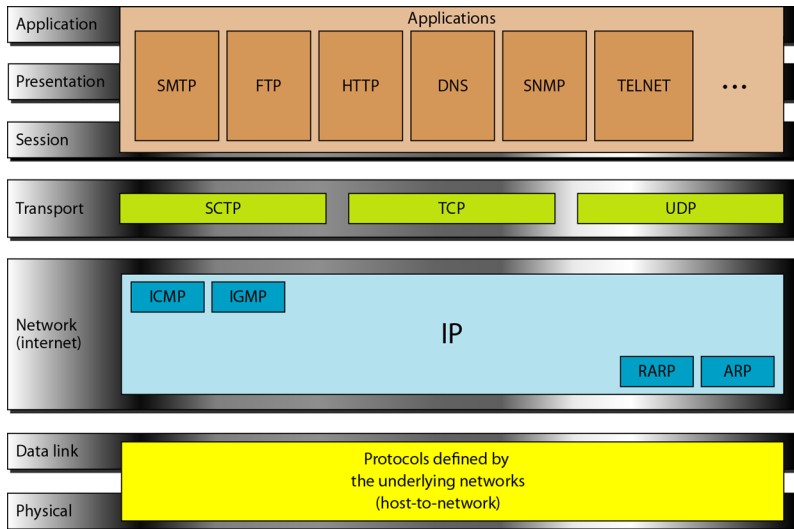
Transportní vrstva

Síťová (Internetová) vrstva

Vrstva přístupu k síti/médiu

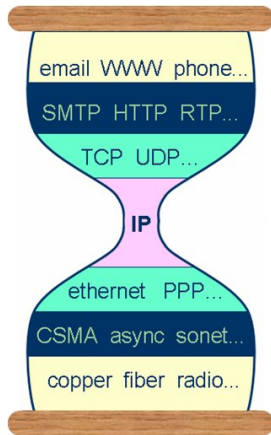
# ISO/OSI Model vs. TCP/IP Model II.

Ilustrace základních síťových protokolů





# TCP/IP – Model přesýpacích hodin



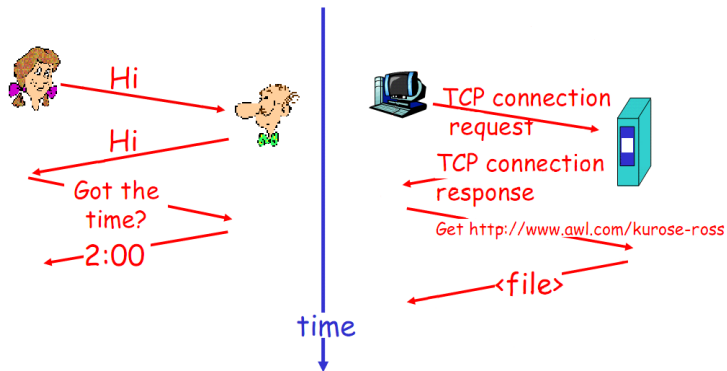
Nezávisle na využitých protokolech aplikační a transportní vrstvy, stejně jako nezávisle na využitých technologiích (protokolech) přenosu bitů po fyzickém médiu, je pro identifikaci uzlů v síti (za účelem směrování) vždy využit **IP protokol**.

# Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - Vrstvy ISO/OSI
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly**
  - Motivace
  - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

# Komunikační protokoly – Motivace

- potřeba komunikace a *domluvy* mezi (dvěma či více) entitami
- forma komunikace/domluvy musí být známa všem zúčastněným stranám
- analogie z lidského světa:



# Komunikační protokoly – Analogie z běžného života

Průběh komunikace:

- ① Výzva ke komunikaci:
  - Alice  $\Rightarrow$  Bob: *Hi!*
- ② Akceptace komunikace ( $\sim$  ustavení komunikačního kanálu):
  - Bob  $\Rightarrow$  Alice: *Hi!*
  - forma odmítnutí komunikace: *Don't understand, Don't bother me!, ...*
- ③ Další postup v závislosti na přijaté zprávě:
  - komunikace akceptována  $\rightarrow$  dotaz na čas
  - komunikace odmítnuta  $\rightarrow$  konec spojení
  - timeout  $\rightarrow$  opakování žádosti o ustavení komunikace; později ukončení pokusů o spojení

# Síťové komunikační protokoly

- obdobné lidským protokolům, komunikace však probíhá mezi HW/SW komponentami počítačové sítě
- jakákoliv aktivita dvou či více vzdálených komunikujících stran je řízena protokolem
  - protokoly v síťových kartách řídí tok bitů zasílaných drátem
  - protokoly ve směrovačích určují cestu paketu sítí
  - protokoly pro řízení zahlcení sítě řídí rychlost zasílaných paketů mezi odesílatelem a příjemcem
  - atd. atd.

## Síťový protokol

**Síťový protokol** definuje formát a pořadí zpráv vyměňovaných mezi dvěma či více komunikujícími entitami, stejně jako akce vykonané při odeslání/příjmu daných zpráv.

# Síťové komunikační protokoly II.

- protokol určuje *Co* je předmětem komunikace, *Jak* daná komunikace probíhá a *Kdy* probíhá
- definuje:
  - *syntaxi* = strukturu/formát zasílaných dat
  - *sémantiku* = význam každé sekce bitů (jak mají být daná data interpretována, jaká akce má s nimi být provedena, atd.)
  - *časování* = kdy je potřeba zaslat kterou zprávu
- příklady síťových protokolů:
  - UDP, TCP, IP, IPv6, SSL, TLS, SNMP, HTTP, FTP, SSH, Aloha, CSMA/CD, ...

# Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - Vrstvy ISO/OSI
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
  - Motivace
  - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

# Standardizace

- stanovení norem/standardů popisujících nejrůznější akce, činnosti, formy či způsoby komunikace, atp. (nejen v IT)
- hlavní cíle standardizace:
  - kvalita
  - bezpečnost
  - kompatibilita
  - interoperabilita
  - portabilita
- typy standardů:
  - *de facto* – technická řešení, která se svým úspěchem na trhu prosadila do té míry, že jsou akceptována většinou výrobců jako příklad hodný následování
  - *de jure* – standardy vypracované a schválené oficiálním mezinárodním nebo národním normalizačním orgánem



# Standardizační instituce působící v oblasti počítačových sítí

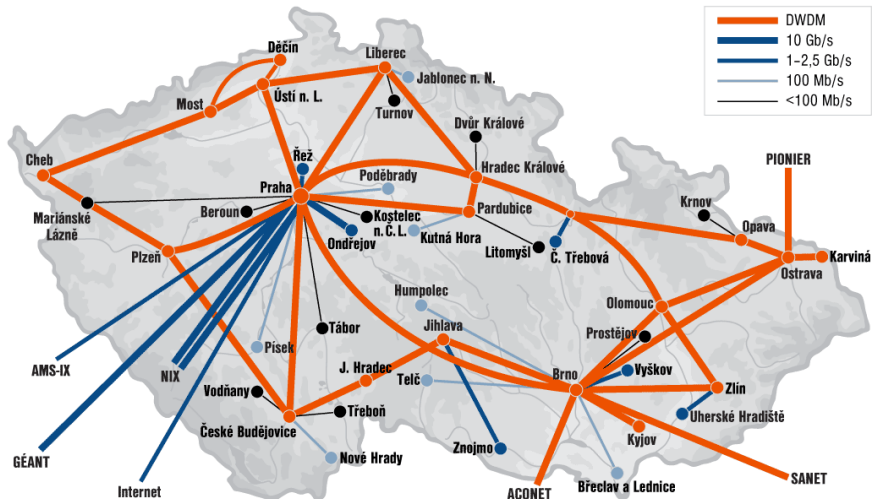
- ITU-T: International Telecommunications Union - Telecommunications Standardization Sector
  - původně CCITT; základní normalizační orgán pro oblast telekomunikací
- ISO: International Organization for Standardization
  - mezinárodní normalizační instituce pro mnoho oborů
- IEC: International Electrotechnical Commission
  - spolupráce s ISO v oblastech, která nejsou předmětem působení ISO (elektronika, elektrotechnika, informační technologie)
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
  - mezinárodní společnost profesionálů vyvíjejících normy pro elektrotechniku
- ANSI: American National Standards Institute
  - národní organizační instituce USA; vydává dobrovolné normy, koordinuje jejich vývoj
- IETF: Internet Engineering Task Force
  - příprava specifikací pro Internet (zpravidla nejsou přijaty oficiálními normalizačními institucemi); vydává tzv. **Request for Comments (RFC)**
- EIA: Electronics Industry Association
  - průmyslová organizace výrobců elektronických zařízení, normalizace zejména na úrovni fyzické vrstvy

# Osnova přednášky

- 1 Počítačové sítě – úvod
- 2 Síťové modely
  - ISO/OSI Model
  - Vrstvy ISO/OSI
  - ISO/OSI vs. TCP/IP Model
- 3 Síťové komunikační protokoly
  - Motivace
  - Síťové komunikační protokoly
- 4 Standardizace
- 5 Příklady reálných sítí

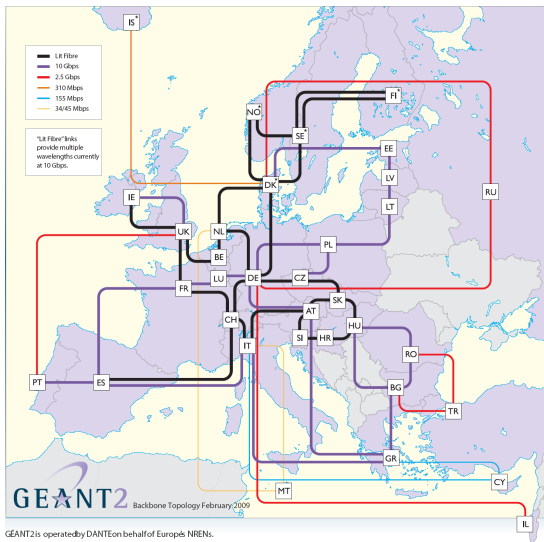
## Příklady reálných sítí

## Sít' CESNET2



# Příklady reálných sítí

## Síť GEANT2



# Příklady reálných sítí

## Síť Internet2/Abilene

