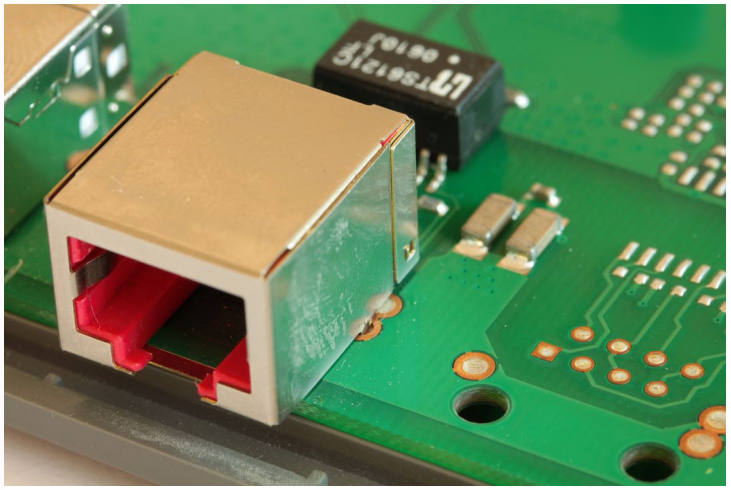
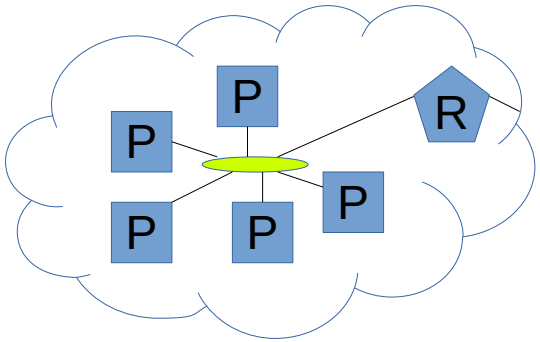
Informační a komunikační technologie
Přednáška 2





Materiály

- tato prezentace a bonusový materiál viz:

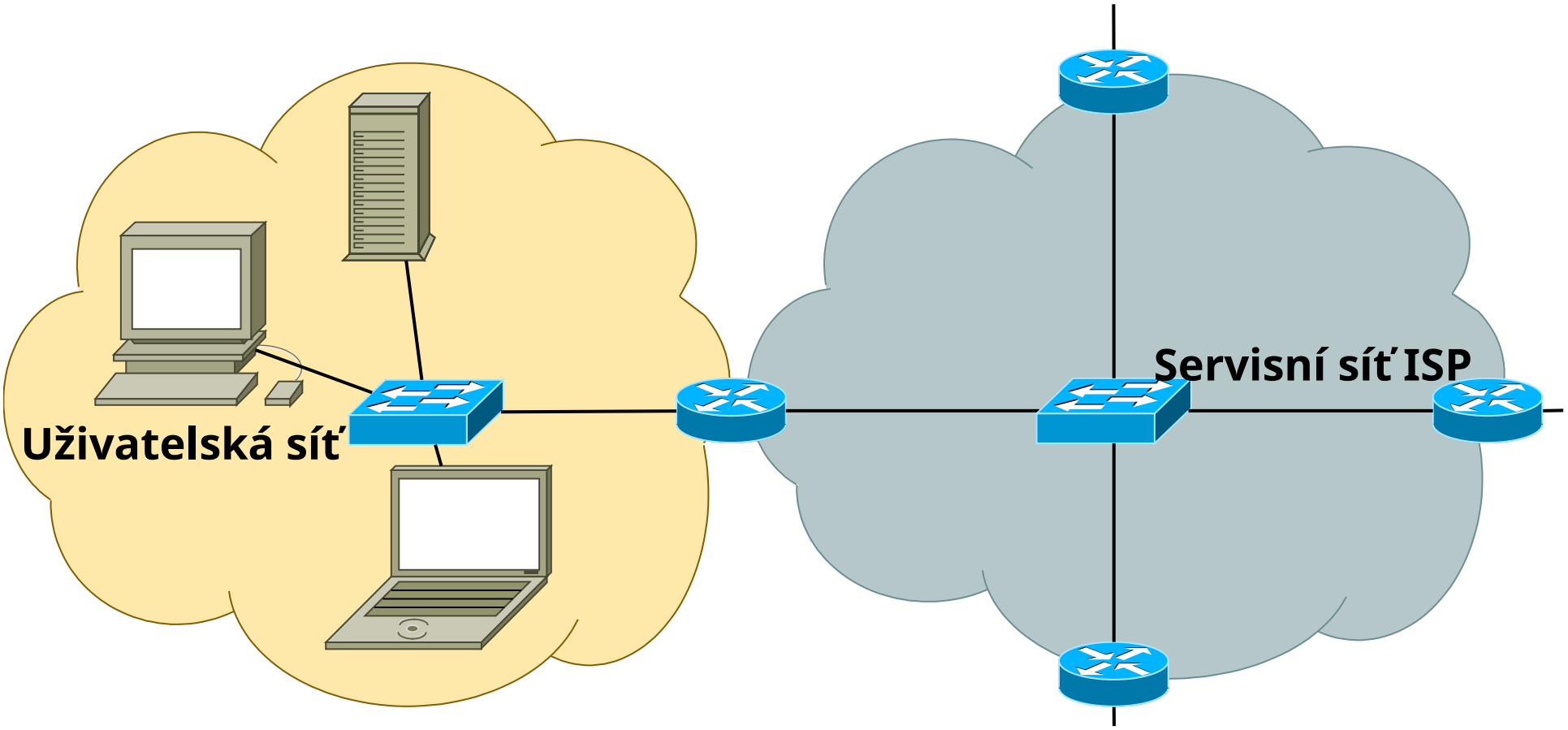
`https://4iz110.vse.cz/docekal`

Síťové prvky

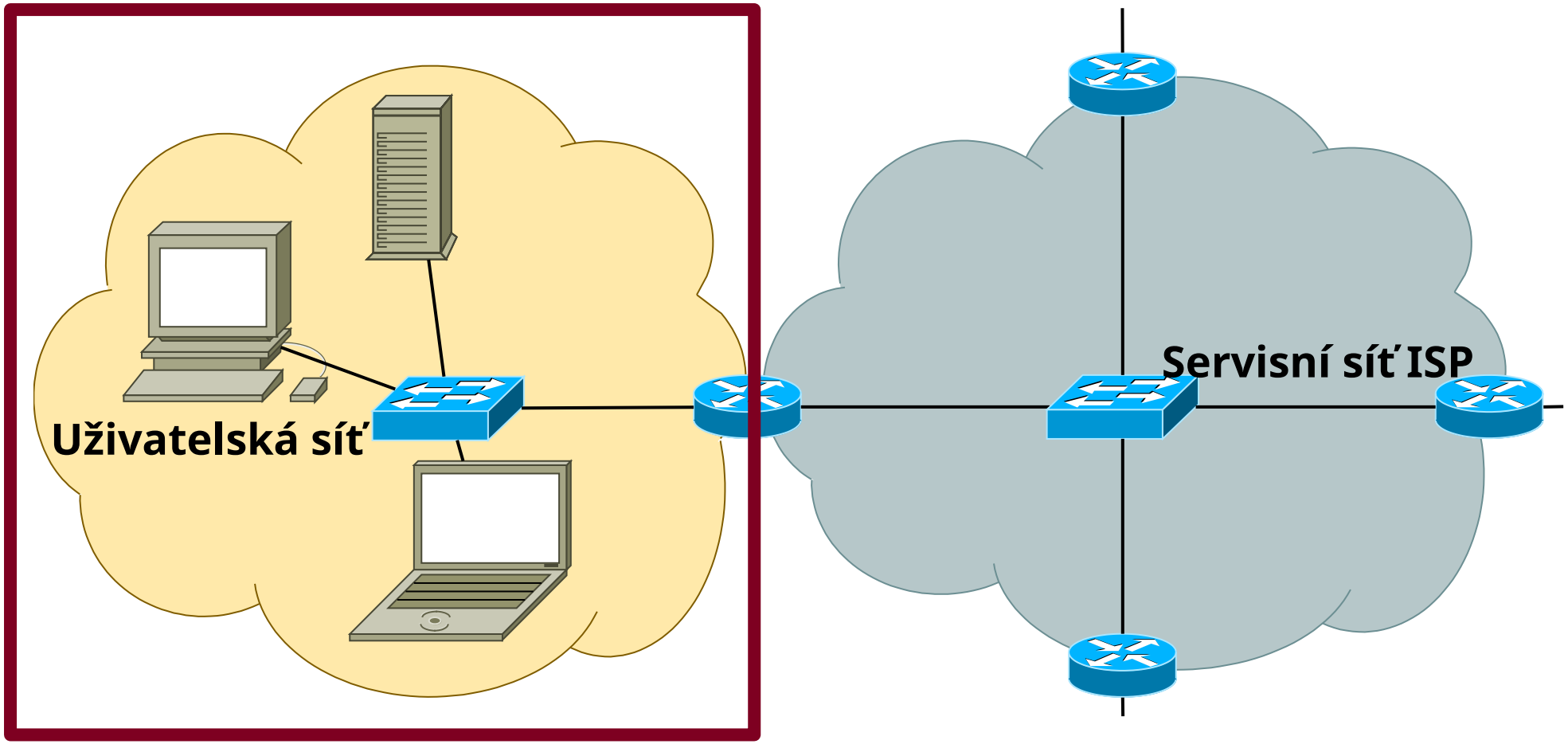
- **pasivní** – přenáší data bez modifikace nebo zásahu
  - kabeláž
    - ethernetový kabel – kroucená dvojlinka, konektor RJ45, přenos elektrických impulzů, 100Mbps - 10Gbps
    - optický kabel – přenos světelných impulzů, Gbps až Tbps
- **aktivní** – vykonávají nějakou aktivní činnost
  - síťová karta (network card, NIC – network interface card)
  - přepínač (switch)
  - směrovač (router)

Anatomie počítačové sítě

Anatomie počítačové sítě

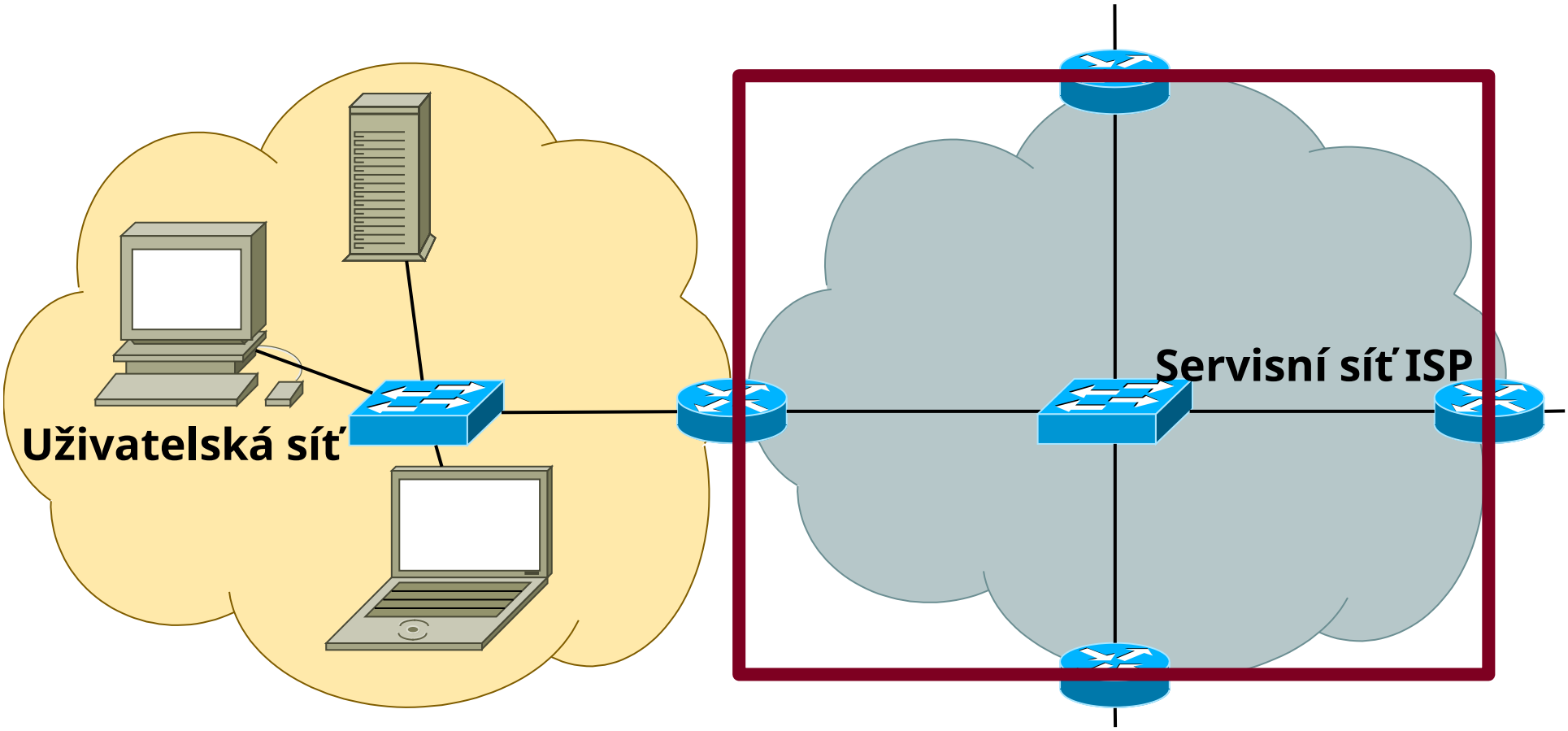


Anatomie počítačové sítě



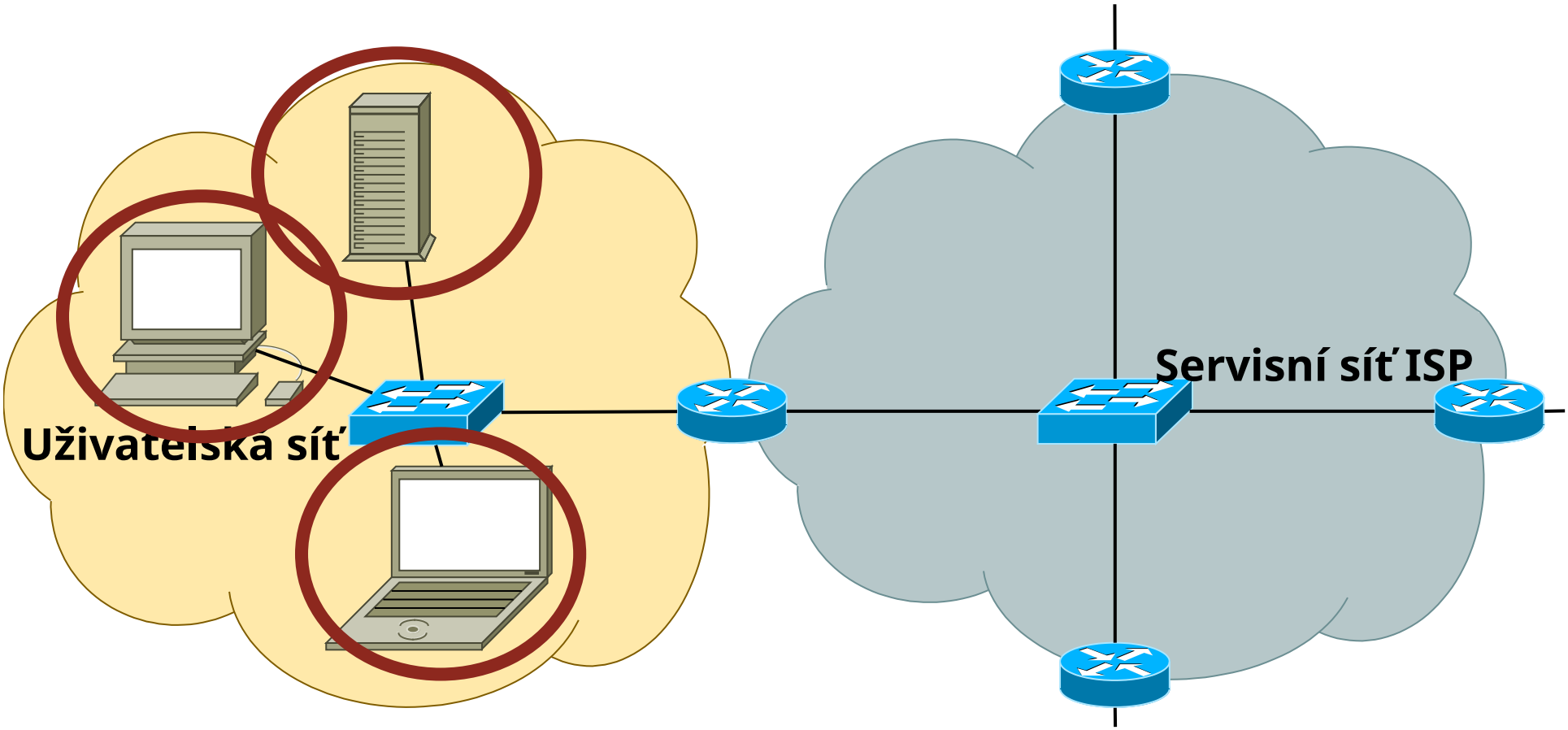
Počítačová síť, **fyzická síť**, **podsíť**, **subnet**

Anatomie počítačové sítě



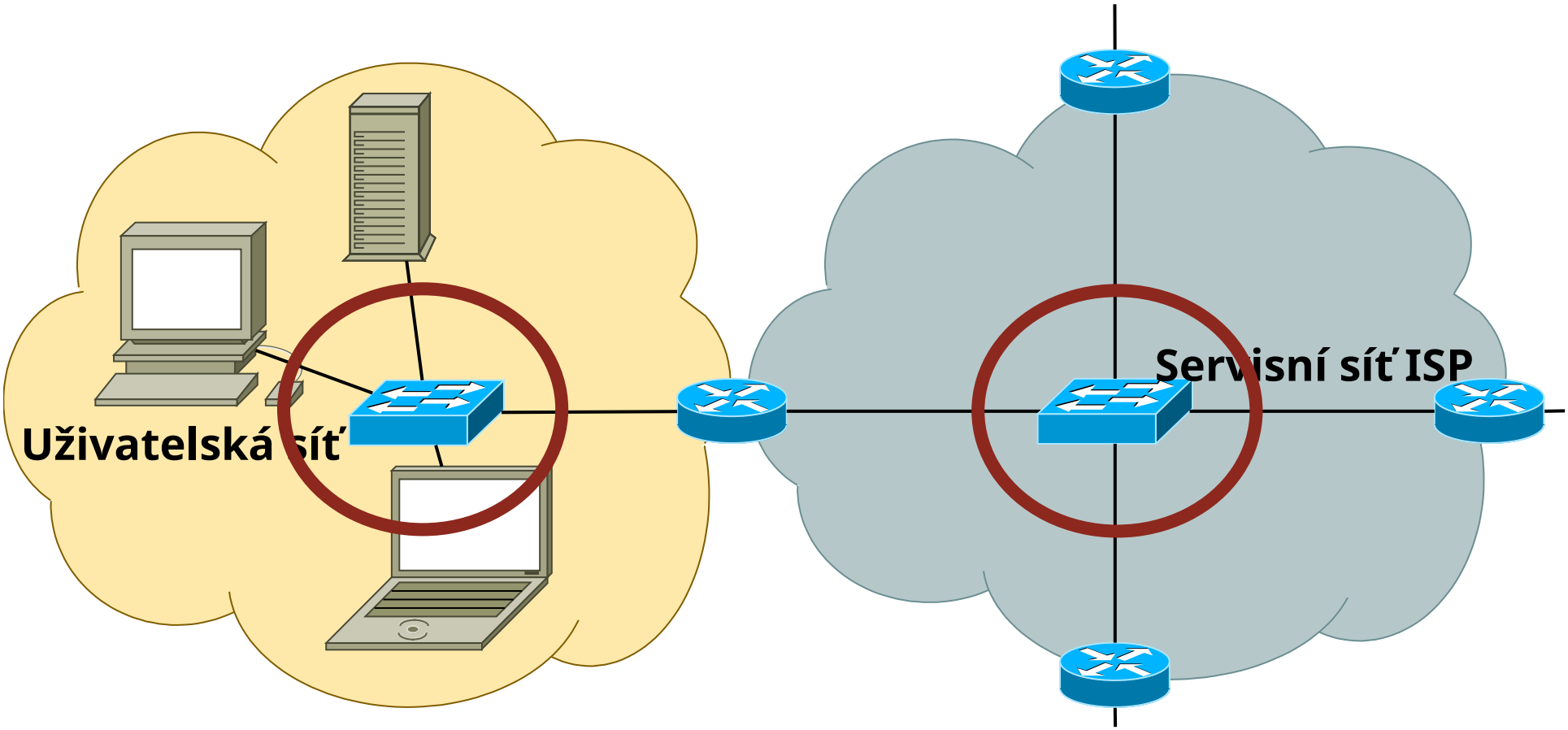
Také počítačová síť, fyzická síť, podsíť, subnet

Anatomie počítačové sítě



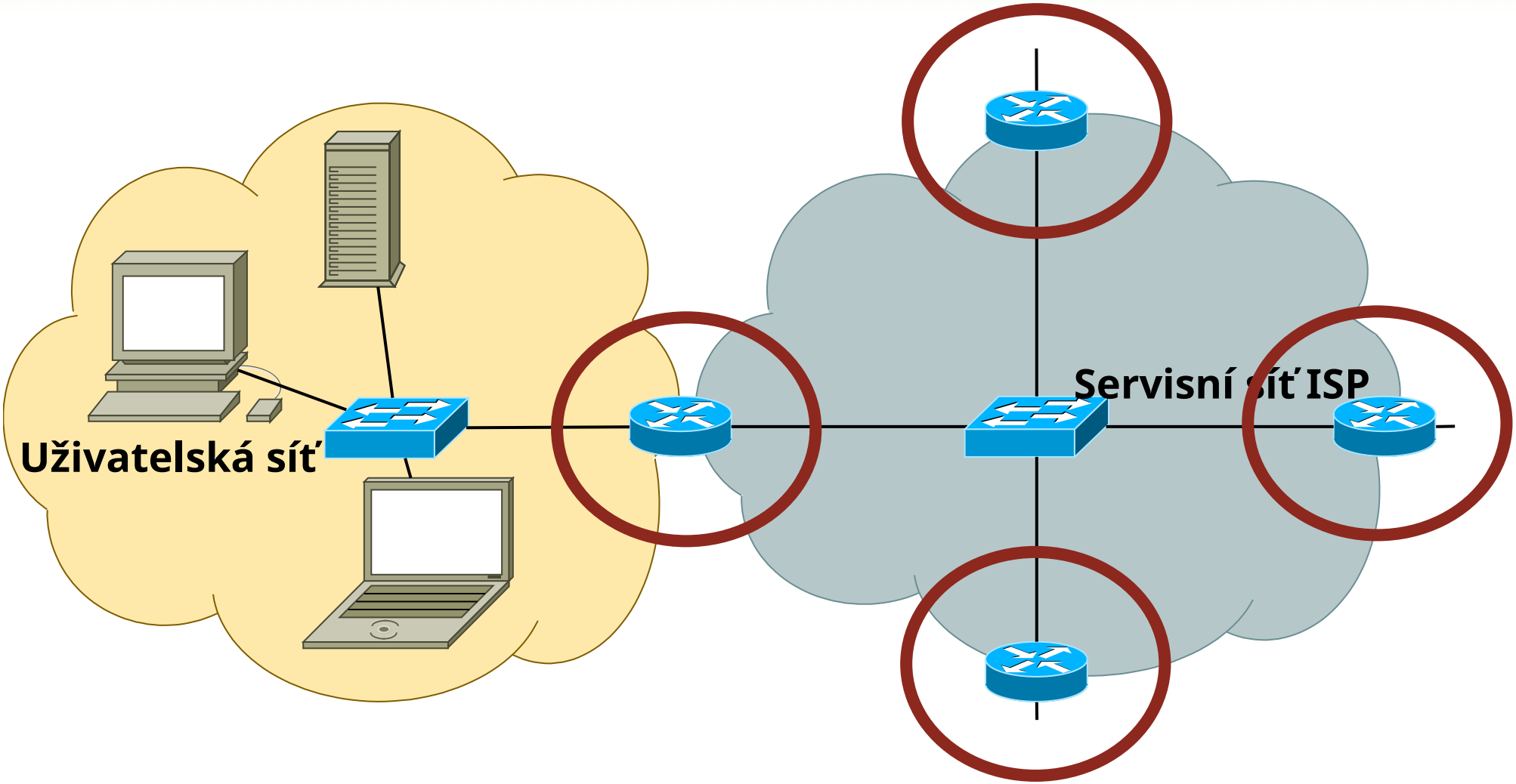
Koncové body (communication end points): počítače, mobily, IoT, notebooky, apod.

Anatomie počítačové sítě



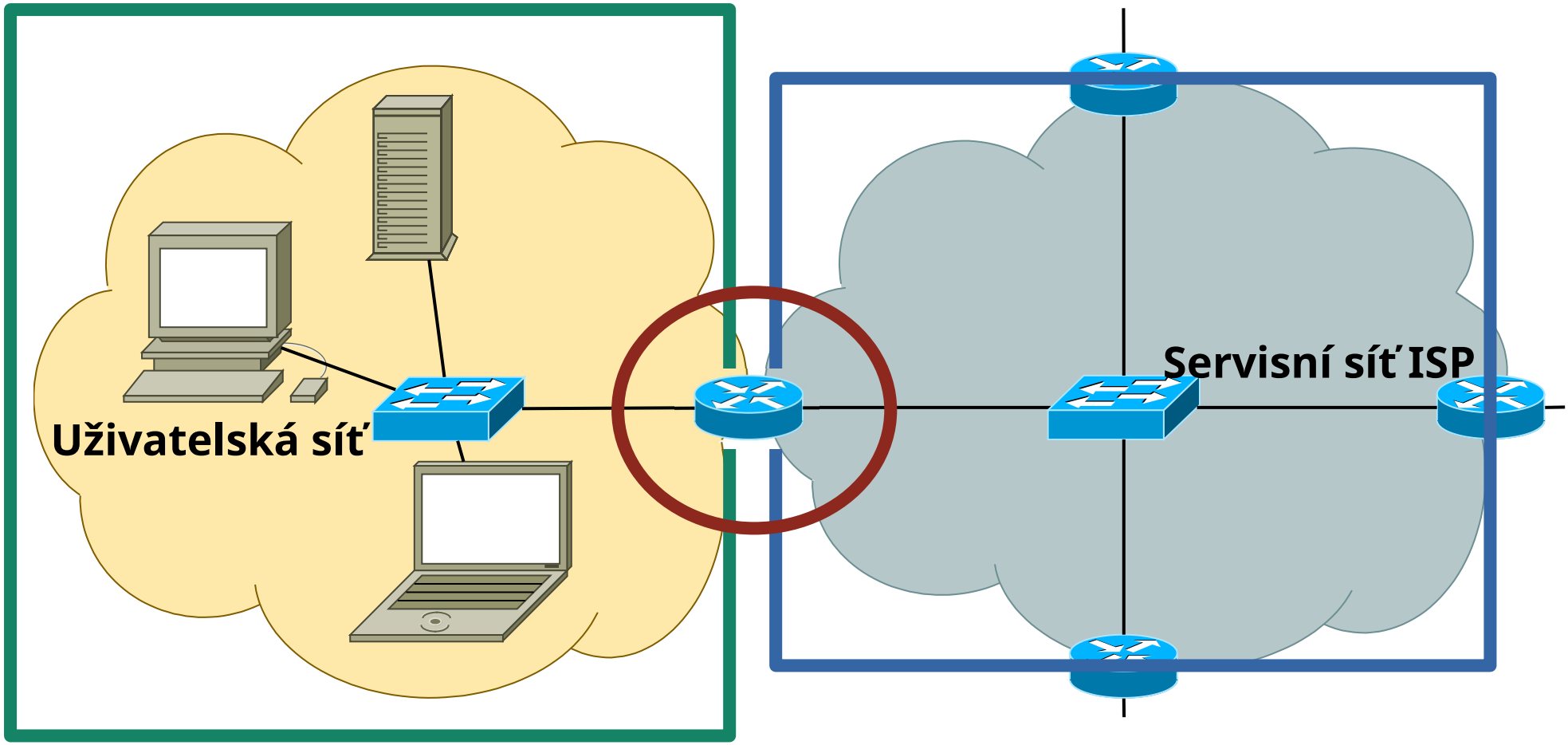
Switch (přepínač): propojuje počítače **v rámci jedné** (fyzické) **sítě**

Anatomie počítačové sítě



Router (směrovač): přenáší a směruje data mezi **2 a více fyzickými sítěmi**/podsítěmi/subnety

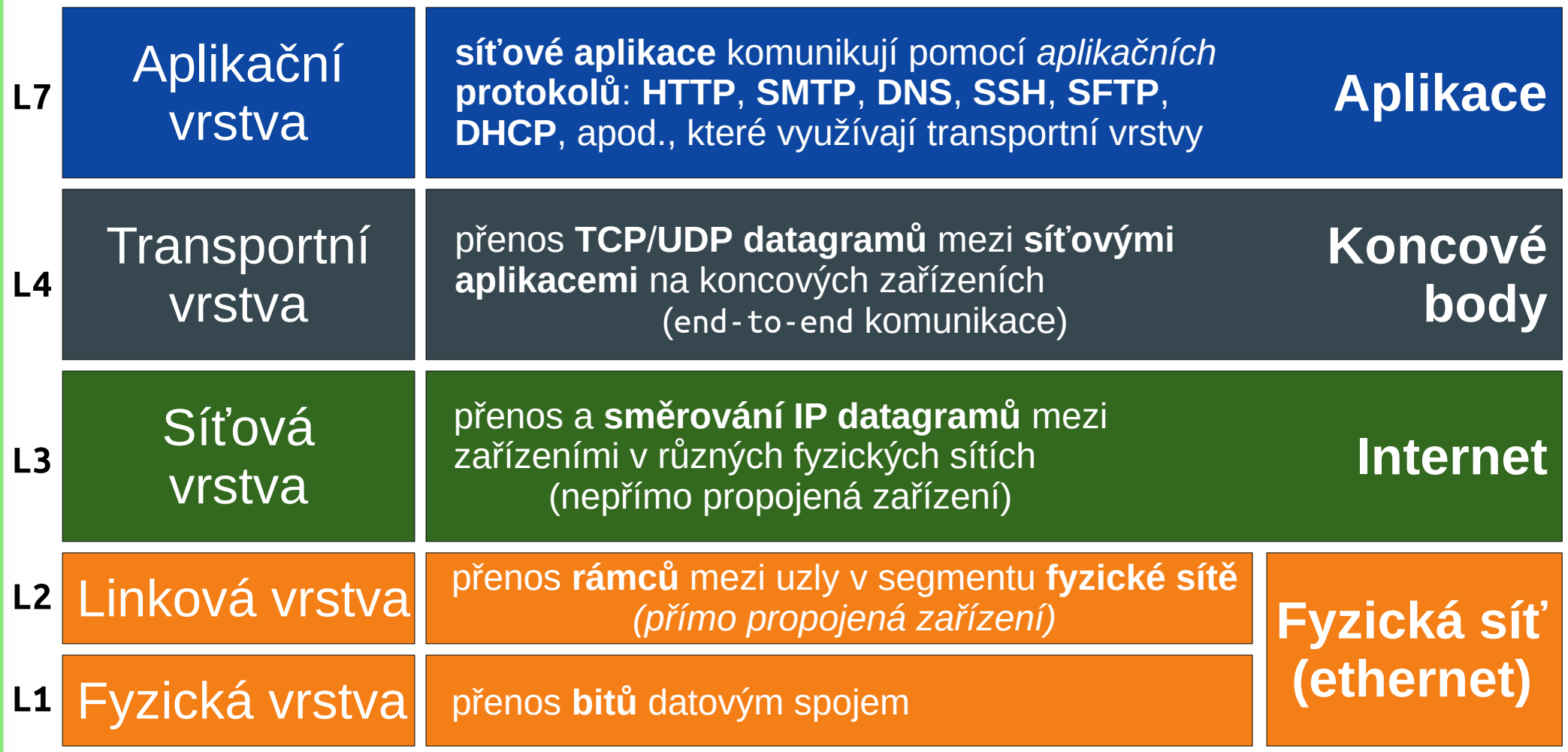
Anatomie počítačové sítě



Router (směrovač): tento router přenáší data mezi těmito dvěma vyznačenými sítěmi

Vrstvy internetu

(zjednodušená varianta OSI modelu)



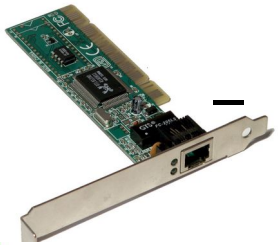
Vrstvený pohled na síť

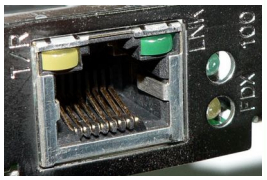
- každá vrstva má jasně definovanou **funkci**
- každá vrstva od L2 výše využívá **vždy** bezprostředně **nižší** vrstvu (L4 → L3, L3 → L2, atd.)
  - vertikální komunikace vrstev: **rozhraní**
- každá vrstva zpracovává data stejné vrstvy jiného systému, tj. L2 ↔ L2, L4 ↔ L4, atd.
  - horizontální komunikace vrstev: **protokol**
- **modularita**: vrstvy mohou mít **různé** implementace, různé protokoly, různé technologie – když vyměním technologii vrstvy, ostatní vrstvy fungují beze změn

Od fyzických sítí k internetu

- **fyzická síť** je síť složená ze zařízení, která na sebe „vidí“ (přímo propojená zařízení)
  - ve fyzické síti se přenáší **rámce** (frames), nejčastěji ethernet

  - zařízení jsou adresována pomocí **fyzických** (**MAC**) **adres** - 48 bitů, např.: `00:50:56:21:67:51`
  - **síťová karta** (síťový interface, **NIC** = Network Interface Card) zapojuje počítač do fyzické sítě

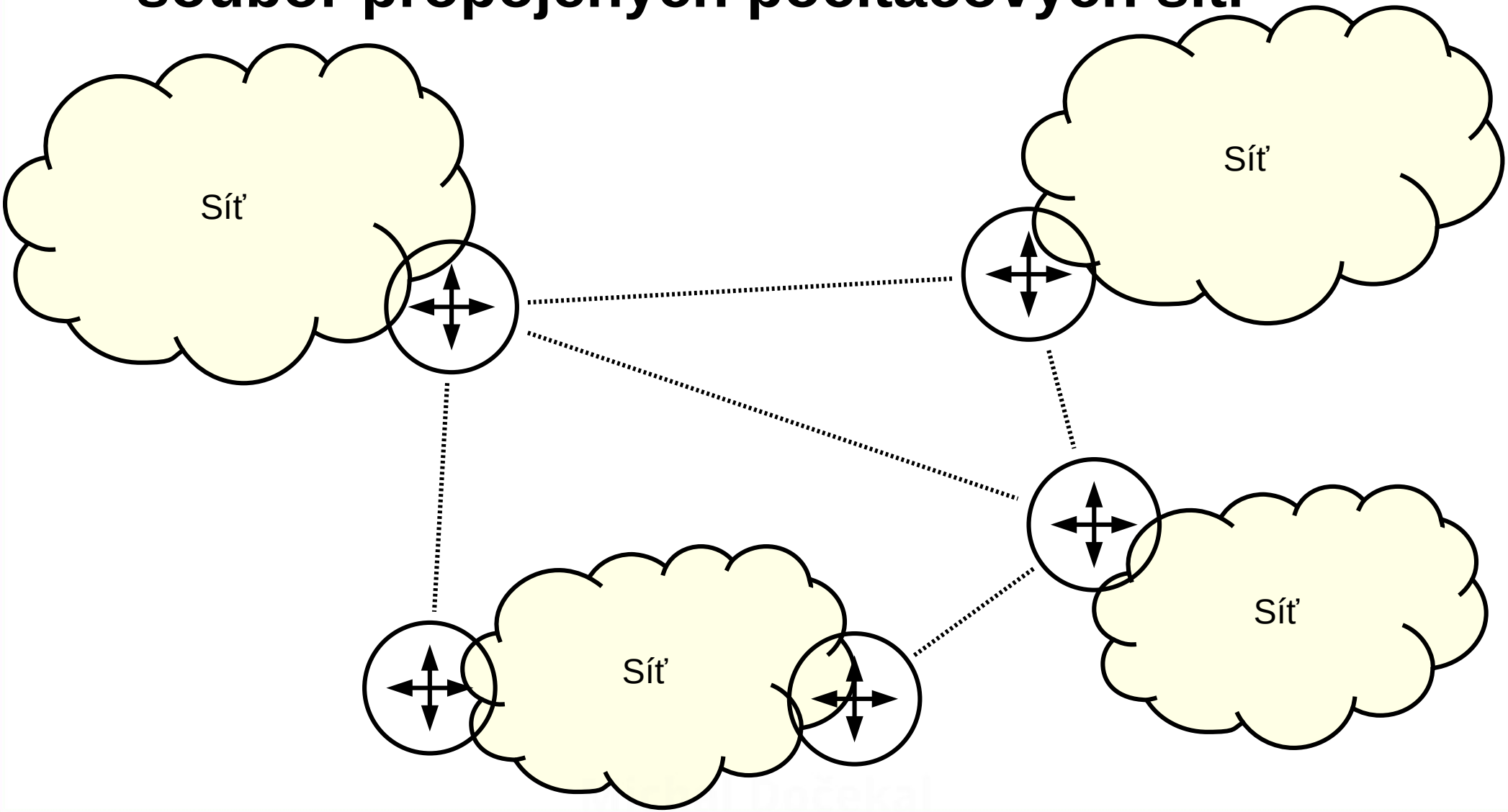




  - **switch** (přepínač) propojuje více zařízení **v jedné fyzické síti**

Internet

- **soubor propojených počítačových sítí**

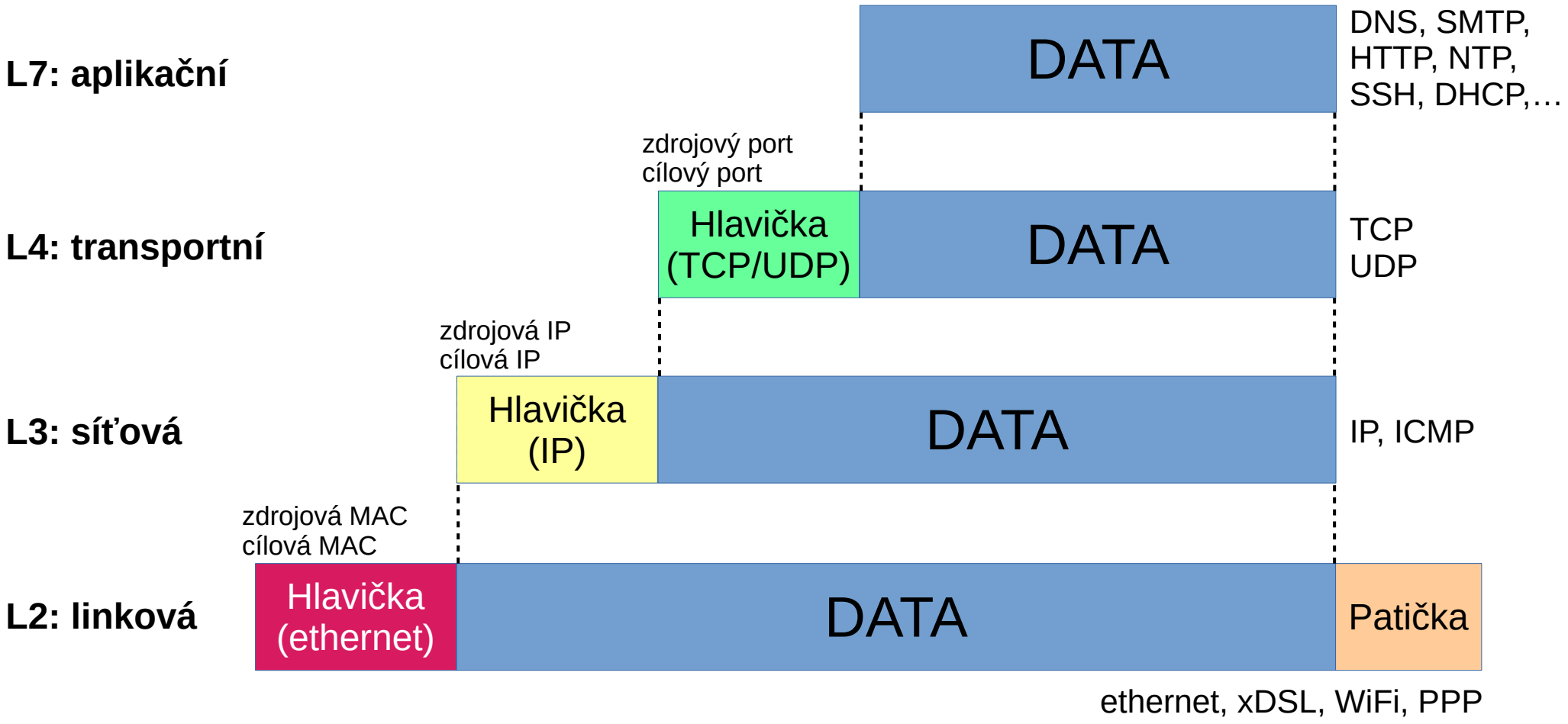


Od fyzických sítí k internetu

- **IP:** Internet Protocol
  - pracuje „nad“ fyzickými sítěmi a umožňuje přenášet bloky dat mezi zařízeními v **různých** fyzických sítích
  - IP protokol přenáší **IP datagramy**, které se ve fyzické síti balí do rámců k přepravě (zapouzdření)

  - zařízení jsou adresována pomocí **IP adres**
  - **router** propojuje více různých fyzických sítí, přenáší IP datagramy mezi nimi a směruje jejich provoz tak, aby se dostaly od odesílatele k příjemci

Zapouzdření dat v sítích TCP/IP



Sítě a podsítě

- **internet** je soubor vzájemně propojených počítačových sítí
- síť je z pohledu IP protokolu tvořena počítači, jejichž adresa začíná stejně a končí různě
- hranici stejného a rozdílného tvoří **maska sítě**

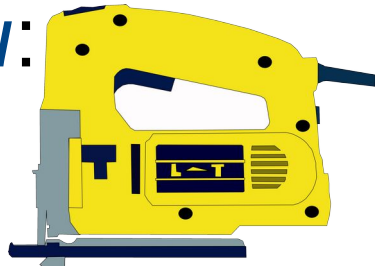
Síťová maska

- **síťová maska** je **binární číslo**, které má zleva jedničky a zprava nuly
- maska „*řeže*“ IP adresu na dvě části, *část adresy sítě* a *část adresy uzlu*:

```
IP adresa: 10010010.01100110.10101101.00000101
Maska:     11111111.11111111.11110000.00000000
```

Síťová maska

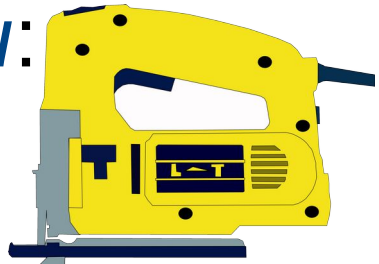
- **síťová maska** je **binární číslo**, které má zleva jedničky a zprava nuly
- maska „*řeže*“ IP adresu na dvě části, *část adresy sítě* a *část adresy uzlu*:



```
IP adresa: 10010010.01100110.1010 1101.00000101
Maska:     11111111.11111111.1111 0000.00000000
```

Síťová maska

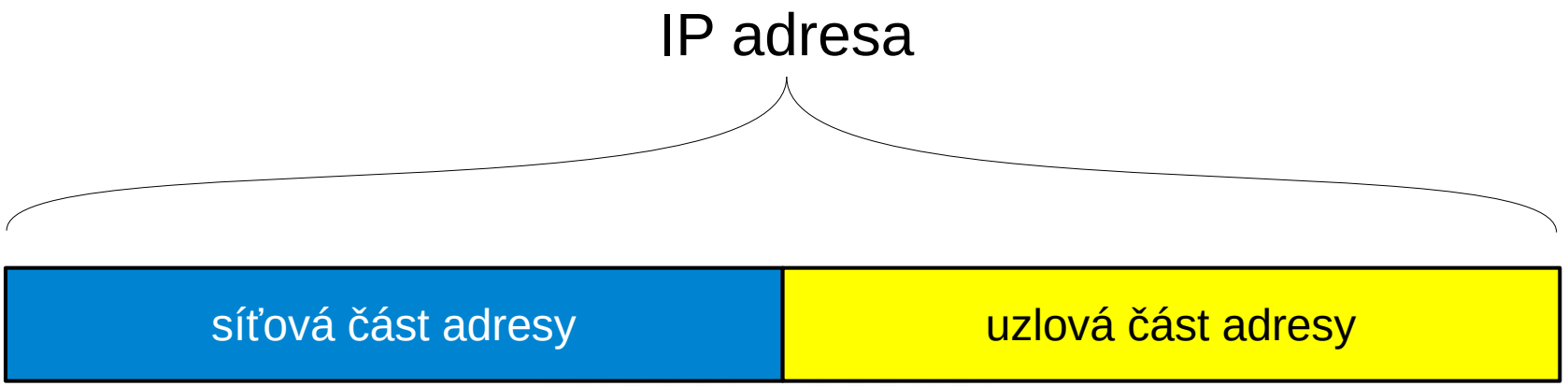
- **síťová maska** je **binární číslo**, které má zleva jedničky a zprava nuly
- maska „*řeže*“ IP adresu na dvě části, *část adresy sítě* a *část adresy uzlu*:



```
IP adresa: 10010010.01100110.1010|1101.00000101
                <-část adresy sítě|část adresy uzlu->
Maska:     11111111.11111111.1111|0000.00000000
```

Sítě a podsítě

- **síťová část adresy** zůstává v dané síti stejná a nemění se
- **uzlová část adresy** je v dané síti proměnlivá a každá **binární variace** představuje konkrétní **IP adresu** patřící do dané sítě



Sítě a podsítě

- **síťová část adresy** zůstává v dané síti stejná a nemění se
- **uzlová část adresy** je v dané síti proměnlivá a každá **binární variace** představuje konkrétní **IP adresu** patřící do dané sítě

```
Adresa: 192.168.16.13          11000000.10101000.00010000.000011 01
Maska:  255.255.255.252 = 30   11111111.11111111.11111111.111111 00

        192.168.16.12          11000000.10101000.00010000.000011 00
        192.168.16.13          11000000.10101000.00010000.000011 01
        192.168.16.14          11000000.10101000.00010000.000011 10
        192.168.16.15          11000000.10101000.00010000.000011 11
```

Omezení přidělování IP adres v síti

- **v každé podsíti** *(kromě /32 a /31)* jsou **dvě** IP adresy, které mají **speciální význam**, a proto je nelze přidělit konkrétním síťovým uzlům
  - *první* adresa v síti (uzlová část nulová): **adresa sítě**
  - *poslední* adresa v síti (uzlová část jedničková): **broadcast** (všesměrové vysílání)
- **počet nulových bitů masky** nám určuje kapacitu sítě – např. **/24 → 32−24=8 → 2^8=256**
  - do sítě **/24** tedy můžeme připojit **256−2=254** uzlů (mínus výše zmíněné výjimky)

Kapacita sítě

- **celkový počet IP adres** v síti:

$$2^{\text{počet nulových bitů masky}}$$

- **počet IP adres přidělitelných uzlům**:

$$2^{\text{počet nulových bitů masky}} - 2$$

Výjimku tvoří sítě /32 a /31, kde se pro uzly využívají všechny dostupné adresy.

Sítě a podsítě

- **síťová část adresy** zůstává v dané síti stejná a nemění se
- **uzlová část adresy** je v dané síti proměnlivá a každá **binární variace** představuje konkrétní **IP adresu** patřící do dané sítě

```
Adresa: 192.168.16.13          11000000.10101000.00010000.000011 01
Maska:  255.255.255.252 = 30   11111111.11111111.11111111.111111 00


Adr. sítě: 192.168.16.12         11000000.10101000.00010000.000011 00
           192.168.16.13         11000000.10101000.00010000.000011 01
           192.168.16.14         11000000.10101000.00010000.000011 10
Broadcast: 192.168.16.15         11000000.10101000.00010000.000011 11
```

Sítě a podsítě

- **síťová část adresy** zůstává v dané síti stejná a nemění se
- **uzlová část adresy** je v dané síti proměnlivá a každá **binární variace** představuje konkrétní **IP adresu** patřící do dané sítě

```
Adresa: 192.168.16.13          11000000.10101000.00010000.000011 01
Maska:  255.255.255.252 = 30   11111111.11111111.11111111.111111 00


Adr. sítě: 192.168.16.12       11000000.10101000.00010000.000011 00
Uzel 1:    192.168.16.13       11000000.10101000.00010000.000011 01
Uzel 2:    192.168.16.14       11000000.10101000.00010000.000011 10
Broadcast: 192.168.16.15       11000000.10101000.00010000.000011 11
```

Sítě a podsítě

- abychom věděli, kde síť začíná a končí, potřebujeme 2 informace: **IP adresu** a **masku**, ostatní v případě potřeby vypočteme
- síť zapisujeme ve formě **adresy sítě** (network ID) a **síťové masky**, např.
  - **`146.102.0.0/16`** (CIDR notace s použitím prefixu)
  - **`146.102.0.0`**
    `255.255.0.0` (maska vyjádřená dekadicky)
- **prefix** (číslo za lomítkem) v CIDR notaci odpovídá počtu jedniček v masce

Jak vypočtu adresu sítě?

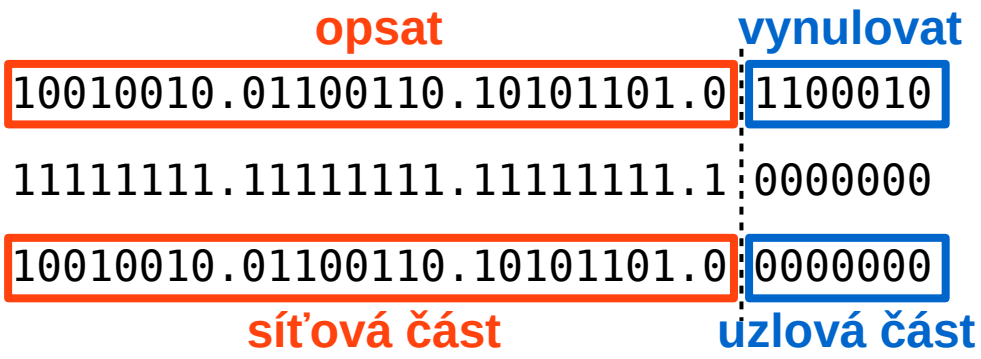
Logický součin adresy s maskou

```
Addresa:    146.102.173.98      10010010.01100110.10101101.0 1100010
                                ||||||||.||||||||.||||||||.| |||||||
Maska:      255.255.255.128     11111111.11111111.11111111.1 0000000
Součin:     146.102.173.0       10010010.01100110.10101101.0 0000000
```

Logický součin (AND) (A ∧ B) – násobí se jednotlivé bity masky s adresou, vždy vyjde `0` kromě situace, kdy máme nad sebou dvě jedničky

Jinými slovy:

```
Addresa:    146.102.173.98      10010010.01100110.10101101.0 1100010
Maska:      255.255.255.128     11111111.11111111.11111111.1 0000000
Výsledek:   146.102.173.0       10010010.01100110.10101101.0 0000000
```



Jak vypočtu adresu pro broadcast?

Bitová disjunkce adresy s bitovým doplňkem masky

```
Maska:                  255.255.255.128     11111111.11111111.11111111.1 0000000
                                            |||||||| |||||||| |||||||| | |||||||
Bitový doplněk masky:                       00000000.00000000.00000000.0 1111111
                                            ▮▮▮▮▮▮▮▮ ▮▮▮▮▮▮▮▮ ▮▮▮▮▮▮▮▮ ▮ ▮▮▮▮▮▮▮
Adresa:                 146.102.173.48      10010010.01100110.10101101.0 0110000

Logické OR:             146.102.173.127     10010010.01100110.10101101.0 1111111
```

Bitová disjunkce (OR) (A ∨ B) **bitového doplňku masky** s adresou: u masky se provede **bitová negace** (1→0 a 0→1) a jednotlivé bity negované masky se porovnají s adresou: je-li mezi porovnávanými bity alespoň jedna jednička, výsledek je 1, jinak 0

Jinými slovy:

```
                                                        opsat                vyjedničkovat
Adresa:                 146.102.173.48      10010010.01100110.10101101.0 | 0110000
Maska:                  255.255.255.128     11111111.11111111.11111111.1 | 0000000
Výsledek:               146.102.173.127     10010010.01100110.10101101.0 | 1111111
                                                        síťová část          uzlová část
```

Beztřídní dělení adres

- v 90. letech se začaly adresy podle tříd rychle vyčerpávat a hledalo se řešení
- navrhlo se dlouhodobé řešení (IPv6) a krátkodobé řešení:
  - **beztřídní dělení**, kde maska může mít libovolný počet jedniček (dělení sítí po bitech masky)
    - stále omezeno: síť je vždy velká jako některá mocnina dvojky, ale je to mnohem lepší než dělení po třídách
  - **soukromé adresy + NAT** - překlady adres, kde router mění adresy v IP hlavičce, aby poskytl soukromým adresám přístup k internetu

Soukromé adresy

- **I**nternet **A**ssigned **N**umbers **A**uthority (**IANA**) rezevruje tři bloky IP adres pro soukromé použití (lokální internet)
  - `10.0.0.0 - 10.255.255.255 (10.0.0.0/8)`
  - `172.16.0.0 - 172.32.255.255 (172.16.0.0/12)`
  - `192.168.0.0 - 192.168.255.255 (192.168.0.0/26)`
- Blok pro automatické soukromé adresy
  - `169.254.0.0 - 169.254.255.255 (169.254.0.0/26)`
- soukromé adresy jsou **neroutovatelné**
  - pro přístup k internetu je nutný **NAT** (překlad adres)

IPv4

- 1981-1993 classful network: sítě rozdělené na třídy (A, B, C, D)

Třída	Síťová maska	Kapacita
A	255.0.0.0	16777216
B	255.255.0.0	65536
C	255.255.255.0	256

- 1993+ CIDR (**C**lassless **I**nter-**D**omain **R**outing): umožňuje jemnější rozdělení sítí do podsítí po bitech

Prefix	Síťová maska	Kapacita
...	...	...
/29	255.255.255.248	8
/28	255.255.255.240	16
/27	255.255.255.224	32
...	...	...

Dekadická maska	Binární maska	CIDR	Poznámka
255.255.255.255	11111111.11111111.11111111.11111111	/32	1 host, 1 IP adresa
255.255.255.254	11111111.11111111.11111111.11111110	/31	spojovací síť (2 hosty)
255.255.255.252	11111111.11111111.11111111.11111100	/30	2 hosty (a broadcast)
255.255.255.248	11111111.11111111.11111111.11111000	/29	
255.255.255.240	11111111.11111111.11111111.11110000	/28	
255.255.255.224	11111111.11111111.11111111.11100000	/27	
255.255.255.192	11111111.11111111.11111111.11000000	/26	
255.255.255.128	11111111.11111111.11111111.10000000	/25	
255.255.255.0	11111111.11111111.11111111.00000000	/24	
255.255.254.0	11111111.11111111.11111110.00000000	/23	
255.255.252.0	11111111.11111111.11111100.00000000	/22	
255.255.248.0	11111111.11111111.11111000.00000000	/21	
255.255.240.0	11111111.11111111.11110000.00000000	/20	
255.255.224.0	11111111.11111111.11100000.00000000	/19	
255.255.192.0	11111111.11111111.11000000.00000000	/18	
255.255.128.0	11111111.11111111.10000000.00000000	/17	
255.255.0.0	11111111.11111111.00000000.00000000	/16	
255.254.0.0	11111111.11111110.00000000.00000000	/15	
255.252.0.0	11111111.11111100.00000000.00000000	/14	
255.248.0.0	11111111.11111000.00000000.00000000	/13	
255.240.0.0	11111111.11110000.00000000.00000000	/12	
255.224.0.0	11111111.11100000.00000000.00000000	/11	
255.192.0.0	11111111.11000000.00000000.00000000	/10	
255.128.0.0	11111111.10000000.00000000.00000000	/9	
255.0.0.0	11111111.00000000.00000000.00000000	/8	
254.0.0.0	11111110.00000000.00000000.00000000	/7	
252.0.0.0	11111100.00000000.00000000.00000000	/6	
248.0.0.0	11111000.00000000.00000000.00000000	/5	
240.0.0.0	11110000.00000000.00000000.00000000	/4	
224.0.0.0	11100000.00000000.00000000.00000000	/3	
192.0.0.0	11000000.00000000.00000000.00000000	/2	
128.0.0.0	10000000.00000000.00000000.00000000	/1	
0.0.0.0	00000000.00000000.00000000.00000000	/0	Celý IPv4 prostor

Dekadická maska	Binární maska	CIDR	Kapacita (celková)
255.255.255.255	11111111.11111111.11111111.11111111	/32	1
255.255.255.254	11111111.11111111.11111111.11111110	/31	2
255.255.255.252	11111111.11111111.11111111.11111100	/30	4
255.255.255.248	11111111.11111111.11111111.11111000	/29	8
255.255.255.240	11111111.11111111.11111111.11110000	/28	16
255.255.255.224	11111111.11111111.11111111.11100000	/27	32
255.255.255.192	11111111.11111111.11111111.11000000	/26	64
255.255.255.128	11111111.11111111.11111111.10000000	/25	128
255.255.255.0	11111111.11111111.11111111.00000000	/24	256
255.255.254.0	11111111.11111111.11111110.00000000	/23	512
255.255.252.0	11111111.11111111.11111100.00000000	/22	1 024
255.255.248.0	11111111.11111111.11111000.00000000	/21	2 048
255.255.240.0	11111111.11111111.11110000.00000000	/20	4 096
255.255.224.0	11111111.11111111.11100000.00000000	/19	8 192
255.255.192.0	11111111.11111111.11000000.00000000	/18	16 384
255.255.128.0	11111111.11111111.10000000.00000000	/17	32 768
255.255.0.0	11111111.11111111.00000000.00000000	/16	65 536
255.254.0.0	11111111.11111110.00000000.00000000	/15	131 072
255.252.0.0	11111111.11111100.00000000.00000000	/14	262 144
255.248.0.0	11111111.11111000.00000000.00000000	/13	524 288
255.240.0.0	11111111.11110000.00000000.00000000	/12	1 048 576
255.224.0.0	11111111.11100000.00000000.00000000	/11	2 097 152
255.192.0.0	11111111.11000000.00000000.00000000	/10	4 194 304
255.128.0.0	11111111.10000000.00000000.00000000	/9	8 388 608
255.0.0.0	11111111.00000000.00000000.00000000	/8	16 777 216
254.0.0.0	11111110.00000000.00000000.00000000	/7	33 554 432
252.0.0.0	11111100.00000000.00000000.00000000	/6	67 108 864
248.0.0.0	11111000.00000000.00000000.00000000	/5	134 217 728
240.0.0.0	11110000.00000000.00000000.00000000	/4	268 435 456
224.0.0.0	11100000.00000000.00000000.00000000	/3	536 870 912
192.0.0.0	11000000.00000000.00000000.00000000	/2	1 073 741 824
128.0.0.0	10000000.00000000.00000000.00000000	/1	2 147 483 648
0.0.0.0	00000000.00000000.00000000.00000000	/0	4 294 967 296

Sítě a podsítě: příklad větší sítě

146.102.173.5 10010010.01100110.1010110 1.00000101

255.255.254.0 11111111.11111111.1111111 0.00000000

Rozsah sítě: od **146.102.172.0** do **146.102.173.255**

Adresa sítě: **146.102.172.0** (první IP adresa v síti)

První uzel: 146.102.172.1

…

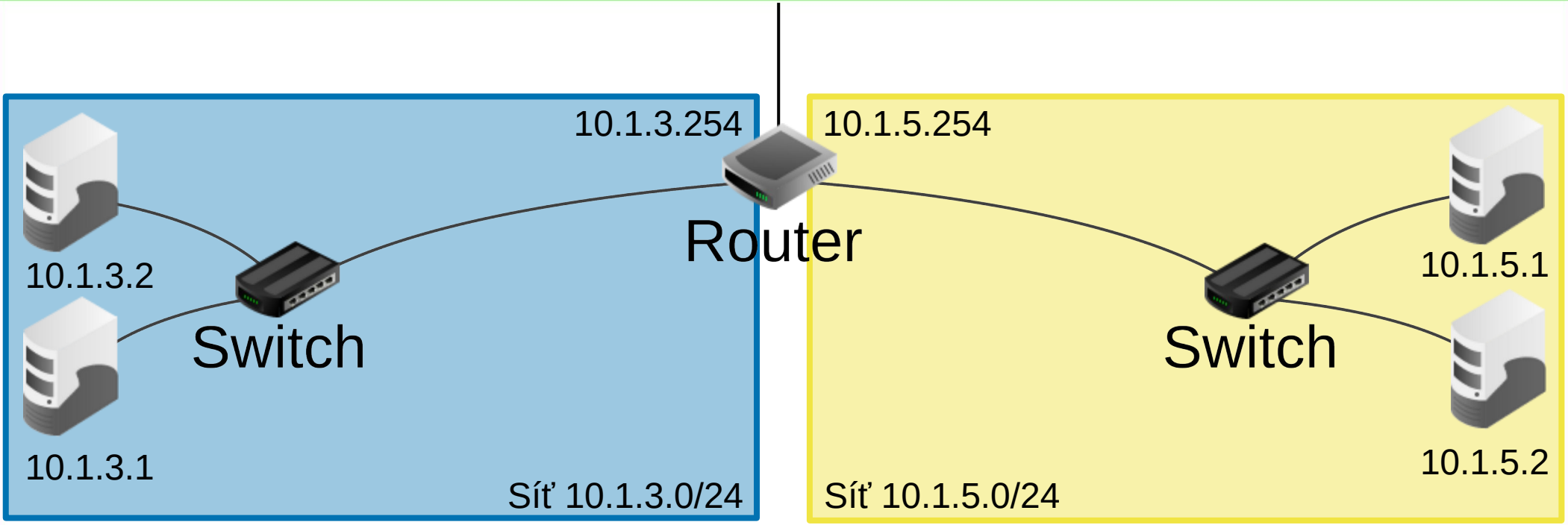
Poslední uzel: 146.102.173.254

Broadcast: **146.102.173.255** (posl. IP adresa v síti)

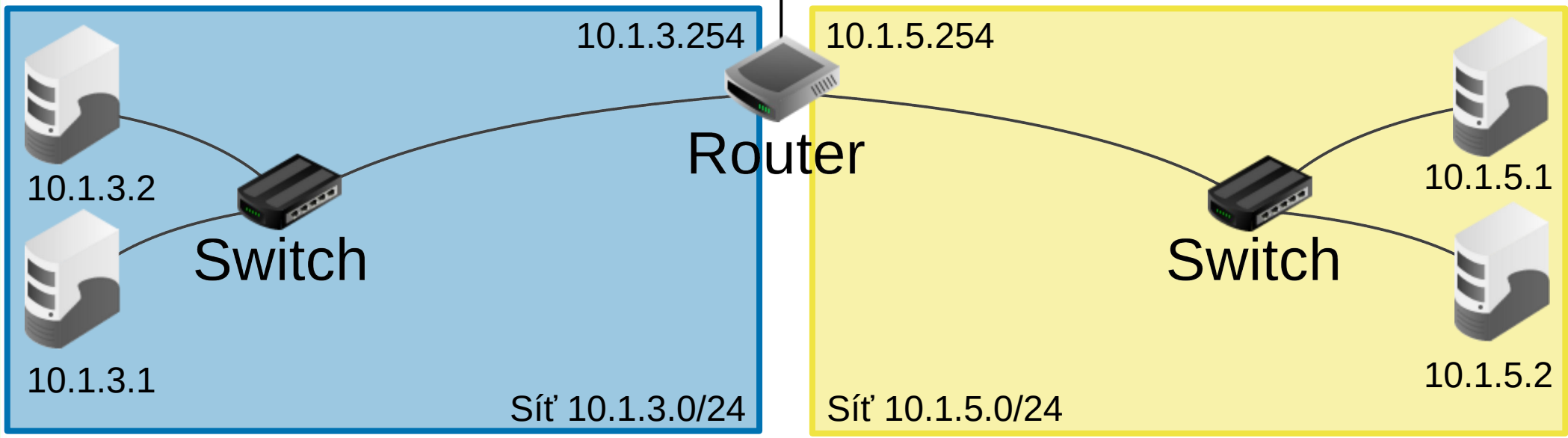
Sítě a podsítě

- každá síť v internetu má počítače, které ji spojují s dalšími sítěmi
- IP adresa je ve skutečnosti přiřazena **rozhraní**
- propojující počítače (**routery**) mají více IP adres
  - v každé sítí, kam jsou zapojené, mají IP adresu specifickou pro danou síť

Příklad rozdělení sítě



Příklad rozdělení sítě



Router
3 x NIC

Protokol IP (síťová vrstva)

- IP adresy a jejich struktura určují, jak jsou systémy organizovány
- IP protokol určuje, jak přenos funguje

Cíle a vlastnosti protokolu

- **cílem** je zajistit *bezspojovou přepravu* datagramů v rámci síťového prostředí, tedy i **mezi různými sítěmi**
  - *bezspojová přeprava* = bez předchozího vytváření spojení
- **dělení paketů** na sítích s menší velikostí rámců
  - IP fragmentace
- **priority doručování** (QoS = Quality of Service))
  - např. VoIP by měl mít vyšší prioritu než download souboru
- **ochranné mechanismy**
  - **TTL** – ochrana před blouděním paketu
  - **kontrolní součet hlavičky** – ochrana před chybou (hlavičky, ne dat!)
- protokoly **IPv4** a **IPv6**

IPv4 datagram

Formát IP datagramu

Bajty	0			1	2		3
Bajt 0 až 3	verze	IHL	typ služby	celková délka			
Bajt 4 až 7	identifikace				příznaky (3 bity)	offset fragmentu (13 bitů)	
Bajt 8 až 11	TTL		číslo protokolu	kontrolní součet hlavičky			
Bajt 12 až 15	zdrojová adresa						
Bajt 16 až 19	cílová adresa						
Bajt 20 až ((IHL * 4) - 1)	rozšířená nepovinná nastavení						
...	data						

Zdroj: Wikipedie

Položky hlavičky

- **Verze**: 4.0 nebo 6.0
- **Internet Header Length** (IHL): délka hlavičky
- **Type of service**: priorita doručování (QoS)
- **Total length**: celková délka: hlavičky i dat
- **Identification**: je-li IP datagram rozdělen během přenosu, všechny fragmenty obsahují stejné identifikační číslo, aby šlo identifikovat původní paket, ke kterému fragmenty patří
- **Flags** (příznaky): fragmentační volby (lze paket fragmetnovat či ne?)
- **Fragment offset**: začátek fragmentu v původním paketu, který byl rozdělen

Položky hlavičky

- **TTL** (Time To Live): čas k životu
- **Protocol**: typ zabaleného protokolu (vyšší vrstvy)
  - **ICMP** je 1
  - **TCP** je 6
  - **UDP** je 17
  - ostatní viz zde
- **Header checksum**: kontrolní součet (jen!) **hlavičky**
- **Source address**: IP adresa odesílatele
- **Destination address**: IP adresa příjemce
- **Options**: nepovinné volby

Směrování paketů

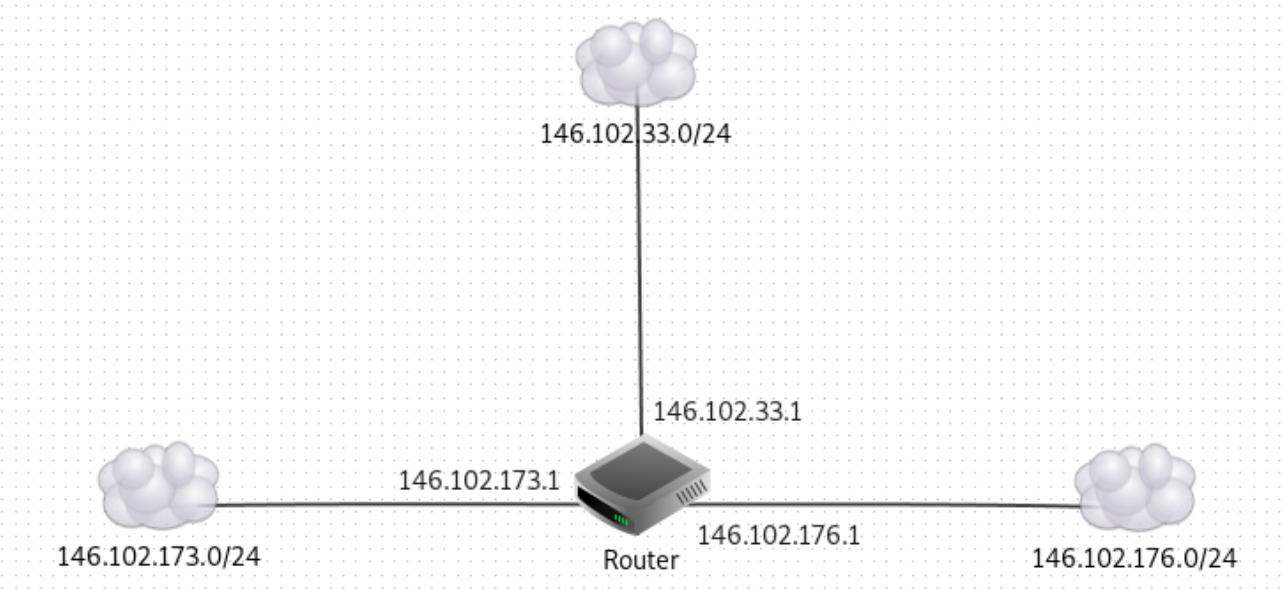
- Každý router směruje pakety podle svých routovacích tabulek
- Vyhodnocení routeru
  - router přijme paket
  - vybalí jej z rámce, vyhodnotí cílovou adresu
  - sníží TTL, spočte kontrolní součet
    - pokud TTL=0 nebo nesouhlasí kontrolní součet, zahodí paket
  - zabalí paket do rámce a odešle jej do jiné fyzické sítě:
    - buď sítě sdílené s dalším routrem na cestě k cílovému systému, kterému je rámec s paketem odeslán
    - nebo je rámec s paketem odeslán přímo do sítě s cílovým systémem

Směrovací tabulka (obecně)

- **destination** (cíl)
  - cílová síť, specifikujeme **adresou sítě** a **maskou**
  - specifikace jedné IP adresy místo sítě: maska /32
- **next hop/gateway** (doručování přes router)
  - router, na který se má IP datagram přeposlat k dalšímu doručování (další router na cestě k cíli)
  - je-li toto pole prázdné, doručuje se přímo do cílové fyzické sítě přes zadaný **interface:**
- **interface** (odesílací síťové rozhraní)
  - ve Windows (a ve Filiusu) specifikováno IP adresou routeru, která je přiřazena odesílacímu síťovému rozhraní
  - Linux/Unix: rozhraní jsou definována jmény

Směrování

- k předávání paketů mezi různými sítěmi slouží **směrovače** (routery); route = trasa
- směrovač má více síťových rozhraní a je připojen do více subnetů
- směrování je řízeno směrovacími tabulkami



Směrovací tabulka

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.2.0	255.255.254.0	-	eth1
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3

- každému směru odpovídá jeden řádek
- některé záznamy ve směrovací tabulce se vytvářejí automaticky (např. záznam pro místní síť při konfiguraci síťového rozhraní)
- směrovací tabulku má router i koncové stanice
  - koncové stanice určují, který provoz směřuje **dovnitř sítě** a který provoz směřuje **ven** přes router

Směrovací tabulka

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.2.0	255.255.254.0	-	eth1
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3

Podmínka

(*identifikace cílové sítě*)

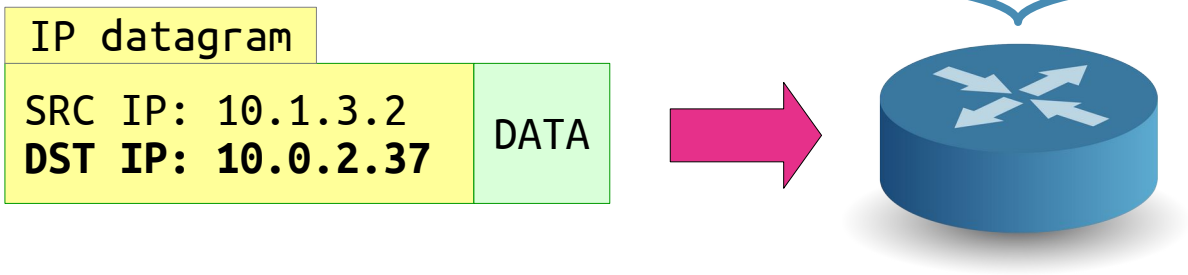
- *adresa sítě*
- *maska*

Akce (*metoda doručení*)

- *gateway (brána)* – další router na cestě k cíli
- *rozhraní* – síťové rozraní / síťová karta (NIC) pro odesílání

Směrovací tabulka

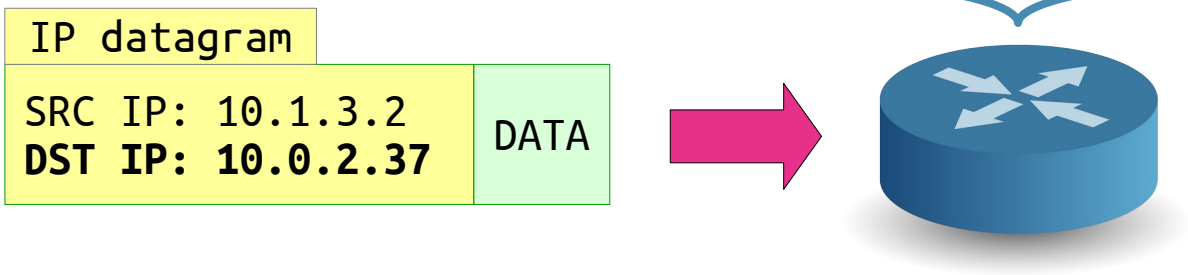
Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.2.0	255.255.254.0	-	eth1
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3



- datagram dorazil na rozhraní `eth2`, je vybalen z ethernetového rámce
- router se podívá na DST IP (cílovou IP adresu) přijatého datagramu

Směrovací tabulka

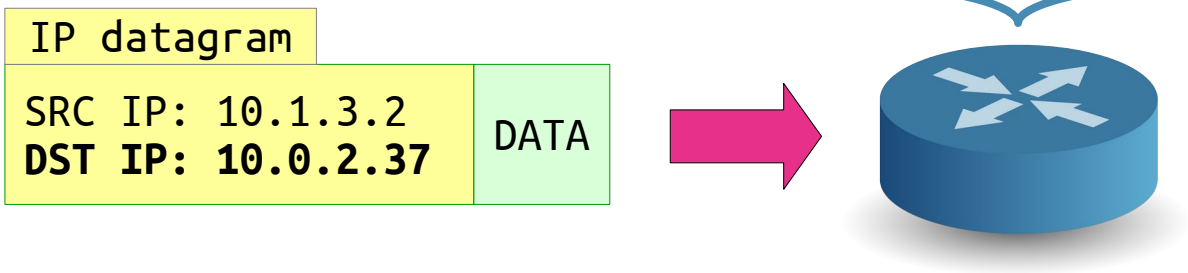
Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0
10.0.2.0	255.255.254.0	-	eth1
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3



- směrovací tabulka je seřazena dle počtu jedniček v masce od /32 po /0
- DST IP datagramu se porovná s prvním záznamem ve směrovací tabulce

Směrovací tabulka

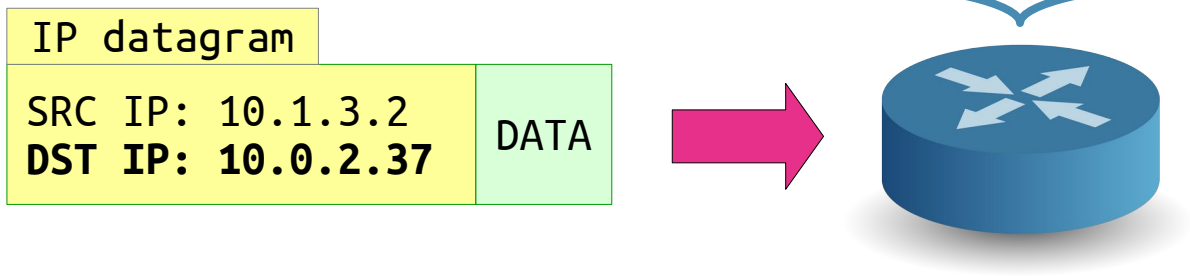
Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0
10.0.2.0	255.255.254.0	-	eth1
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3



- provede se logický součin DST IP datagramu a masky záznamu ve směrovací tabulce (/24)
- výsledek (10.0.2.0) se porovná s adresou sítě ve směrovací tabulce (10.0.13.0)

Směrovací tabulka

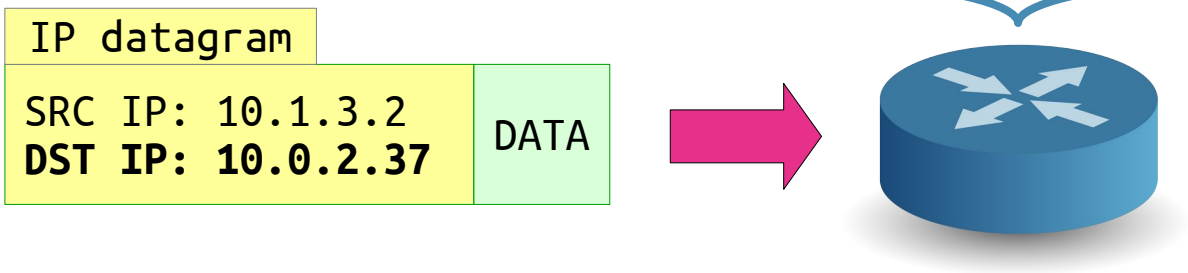
Síť	Maska	Gateway	Rozhraní	
10.0.13.0	255.255.255.0	–	eth0	✘
10.0.2.0	255.255.254.0	–	eth1	
10.1.0.0	255.255.0.0	–	eth2	
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3	



- `10.0.2.0 ≠ 10.0.13.0`, takže router přechází k následujícímu záznamu ve směrovací tabulce

Směrovací tabulka

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0
10.0.2.0	255.255.254.0	-	eth1
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3



- provede se logický součin DST IP datagramu a masky záznamu ve směrovací tabulce (/23)
- výsledek (10.0.2.0) se porovná s adresou sítě ve směrovací tabulce (10.0.2.0)

Směrovací tabulka

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní	
10.0.13.0	255.255.255.0	–	eth0	
10.0.2.0	255.255.254.0	–	eth1	✔
10.1.0.0	255.255.0.0	–	eth2	
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3	

IP datagram

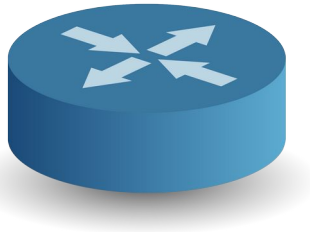
SRC IP: 10.1.3.2
DST IP: 10.0.2.37

DATA

- `10.0.2.0 = 10.0.2.0`, takže router směruje datagram dle odpovídajícího záznamu ve směrovací tabulce

Směrovací tabulka

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0
10.0.2.0	255.255.254.0	-	eth1
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3



IP datagram

SRC IP: 10.1.3.2
DST IP: 10.0.2.37

DATA

- `10.0.2.0 = 10.0.2.0`, takže router směruje datagram dle odpovídajícího záznamu ve směrovací tabulce
- datagram odchází do fyz. sítě za rozhraním `eth1`

Směrování a brány (gateway)

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.13.0	255.255.255.0	–	eth0
10.0.2.0	255.255.254.0	–	eth1
10.1.0.0	255.255.0.0	–	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3

- není-li v záznamu směrovací tabulky definována **gateway** (*brána*), posílá se datagram přímo do fyzické sítě s cílovým uzlem
- v opačném případě se datagram posílá **bráně** (*gateway*), což je další router na cestě k cílovému uzlu

Směrování a více routerů

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.2.0	255.255.254.0	-	eth1
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3

- cesta k cíli v internetu obvykle zahrnuje cestu přes více routerů

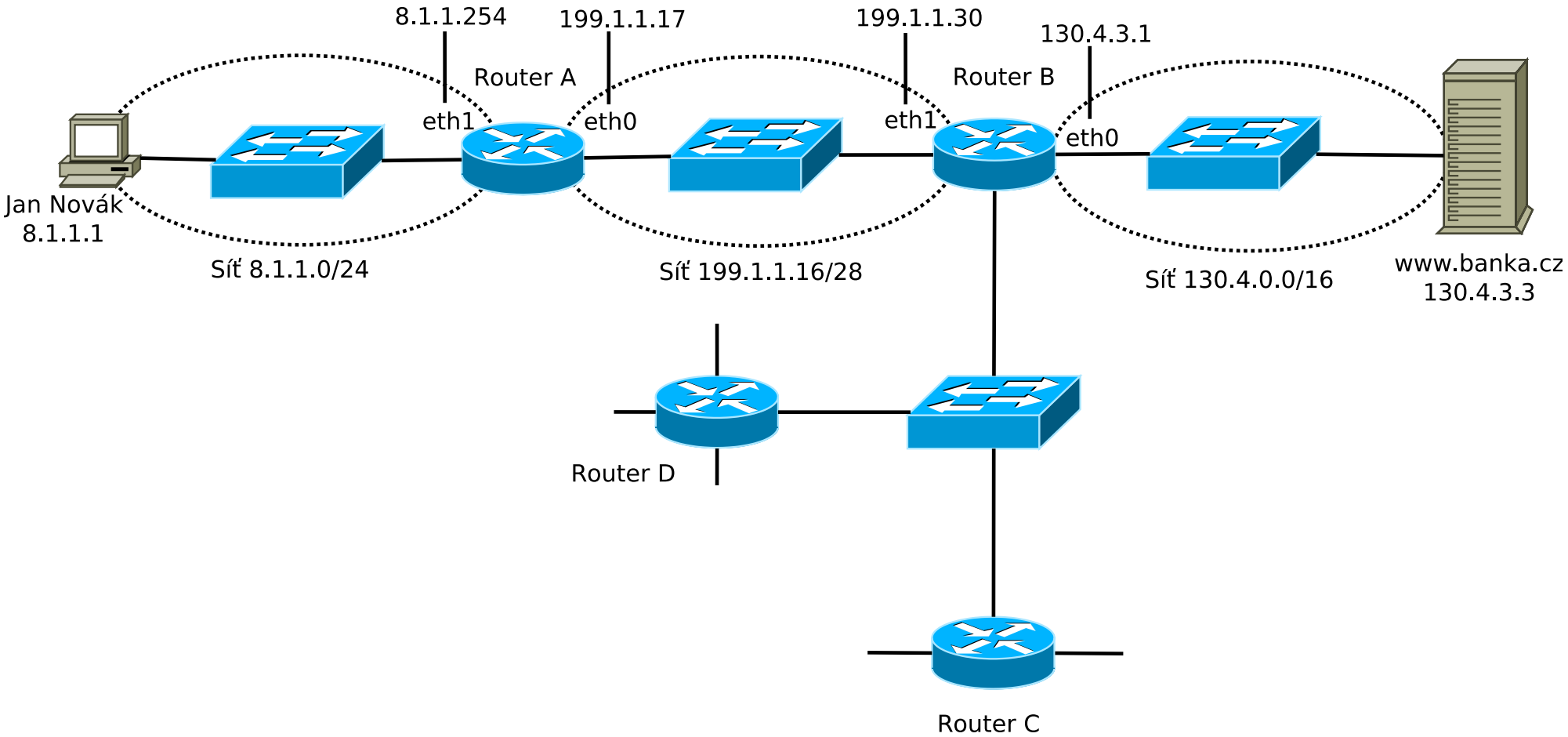
Cesta přes více routerů

Směrovací tabulka routeru A

Cíl	Rozhraní	Další přeskok
8.1.1.0	eth1	N/A
199.1.1.16	eth0	N/A
130.4.0.0	eth0	199.1.1.30

Směrovací tabulka routeru B

Cíl	Rozhraní	Další přeskok
8.1.1.0	eth1	199.1.1.17
199.1.1.16	eth1	N/A
130.4.0.0	eth0	N/A



Přeskoky (hopy), bloudění paketu a Time To Live (TTL)

- průchod paketu přes router = **1 hop** (*přeskok*)
- **TTL** (Time To Live): **8**-bitová hodnota v hlavičce IP datagramu, (*umístění: bit 64 až 71 hlavičky*)
- každý *hop* (průchod směrovačem) vyžaduje odečtení **1** z hodnoty **TTL** IP datagramu
- pokud po odečtení jedničky od **TTL** vyjde **0**, směrovač paket zahodí a odesílateli pošle ICMP zprávu *Time to live exceeded*
- ochrana před **blouděním** či **cyklením** paketu
- typická výchozí hodnota: **64**

Nástroj traceroute

- traceroute pro příkazovou řádku umí **vytrasovat** cestu k cílovému systému a identifikovat **routery na cestě**
- posílá ICMP/UDP pakety s **TTL=1**, **TTL=2**, atd.
- paketům na routerech na cestě vyprší TTL, a tak posílají zpět ICMP hlášky *Time exceeded*
- traceroute tyto hlášky sbírá a extrahuje z nich `SRC IP`
- traceroute končí, až mu odpoví cílový systém nebo až vyčerpá maximum hopů (typicky 30, lze změnit)
- pozor, poslední záznam je už cílový systém, ne router!
- pokud některý router na cestě ICMP/UDP pakety zahazuje, záznam traceroute bude nekompletní

Linux: traceroute

```
traceroute to chmi.cz (90.183.101.70), 30 hops max, 60 byte packets
 1  ca65sb-vl173.net.vse.cz (146.102.173.253)  1.206 ms  1.121 ms  1.064 ms
 2  fg-stanice-ca65sb.net.vse.cz (146.102.41.194)  1.007 ms  0.951 ms  0.896 ms
 3  fg-bb-stanice.net.vse.cz (146.102.41.189)  0.843 ms  0.759 ms  0.700 ms
 4  ge-zizkov.net.vse.cz (146.102.41.49)  9.891 ms  9.850 ms  9.797 ms
 5  bgpruk-gezizkov.pasnet.cz (195.113.68.217)  9.743 ms  9.685 ms  9.626 ms
 6  bgpovc-bgpruk.pasnet.cz (195.113.68.238)  9.568 ms  0.808 ms  0.775 ms
 7  cesnetzikova-bgpovc.pasnet.cz (195.113.69.54)  2.138 ms  1.625 ms  1.554 ms
 8  195.113.235.109 (195.113.235.109)  7.451 ms  7.324 ms  7.310 ms
 9  nix-ol.pater.iol.cz (91.210.16.161)  1.666 ms  1.522 ms  1.665 ms
10  194.228.21.245 (194.228.21.245)  2.117 ms  2.241 ms  2.081 ms
11  194.228.21.27 (194.228.21.27)  1.596 ms  1.899 ms  1.642 ms
12  90.183.101.65 (90.183.101.65)  2.450 ms  1.758 ms  2.019 ms
13  90.183.101.70 (90.183.101.70)  1.613 ms  1.608 ms  1.678 ms
```

Windows: `tracert`

```
Tracing route to chmi.cz [90.183.101.70]
over a maximum of 30 hops:

  1     1 ms    <1 ms    <1 ms  ca65sb-vl173.net.vse.cz [146.102.173.253]
  2     1 ms     1 ms     1 ms  fg-stanice-ca65sb.net.vse.cz [146.102.41.194]
  3     1 ms    <1 ms    <1 ms  fg-bb-stanice.net.vse.cz [146.102.41.189]
  4     1 ms     1 ms     1 ms  ge-zizkov.net.vse.cz [146.102.41.49]
  5     1 ms     1 ms     1 ms  bgpruk-gezizkov.pasnet.cz [195.113.68.217]
  6     1 ms     1 ms     1 ms  bgpovc-bgpruk.pasnet.cz [195.113.68.238]
  7     1 ms     1 ms     1 ms  cesnetzikova-bgpovc.pasnet.cz [195.113.69.54]
  8     7 ms     6 ms     7 ms  195.113.235.109
  9     2 ms     1 ms     1 ms  nix-ol.pater.iol.cz [91.210.16.161]
 10     2 ms     2 ms     2 ms  194.228.21.245
 11     2 ms     2 ms     2 ms  194.228.21.27
 12     2 ms     2 ms     2 ms  90.183.101.65
 13     2 ms     1 ms     2 ms  90.183.101.70
```

Traceroute: router blokuje síťový provoz traceroute a nepropouští jej dál

```
traceroute to seznam.cz (77.75.77.222), 30 hops max, 60 byte packets
 1  ca65sb-vl173.net.vse.cz (146.102.173.253)  1.554 ms  1.446 ms  1.375 ms
 2  fg-stanice-ca65sb.net.vse.cz (146.102.41.194)  1.304 ms  1.223 ms  1.143 ms
 3  fg-bb-stanice.net.vse.cz (146.102.41.189)  1.072 ms  1.001 ms  0.928 ms
 4  ge-zizkov.net.vse.cz (146.102.41.49)  6.309 ms  6.257 ms  6.140 ms
 5  bgpruk-gezizkov.pasnet.cz (195.113.68.217)  6.062 ms  5.995 ms  5.927 ms
 6  bgpovc-bgpruk.pasnet.cz (195.113.68.238)  5.857 ms  0.884 ms  0.836 ms
 7  cesnetzikova-bgpovc.pasnet.cz (195.113.69.54)  1.783 ms  1.756 ms  1.770 ms
 8  * * *
 9  * * *
10  * * *
11  * * *
12  * * *
13  * * *
14  * * *
15  * * *
16  * * *
17  * * *
18  * * *
19  * * *
20  * * *
21  * * *
22  * * *
23  * * *
24  * * *
25  * * *
26  * * *
27  * * *
28  * * *
29  * * *
30  * * *
```

Traceroute: 2 routery neodpovídají, ale neblokují průchod traceroute paketů

```
traceroute to tul.cz (147.230.18.195), 30 hops max, 60 byte packets
 1  ca65sb-vl173.net.vse.cz (146.102.173.253)  2.406 ms  2.355 ms  2.301 ms
 2  fg-stanice-ca65sb.net.vse.cz (146.102.41.194)  0.970 ms  0.925 ms  0.868 ms
 3  fg-bb-stanice.net.vse.cz (146.102.41.189)  2.034 ms  2.000 ms  1.925 ms
 4  ge-zizkov.net.vse.cz (146.102.41.49)  1.233 ms  1.055 ms  1.230 ms
 5  bgpruk-gezizkov.pasnet.cz (195.113.68.217)  0.865 ms  0.704 ms  0.792 ms
 6  bgpovc-bgpruk.pasnet.cz (195.113.68.238)  0.808 ms  0.709 ms  0.725 ms
 7  cesnetzikova-bgpovc.pasnet.cz (195.113.69.54)  1.184 ms  1.192 ms  1.319 ms
 8  * * *
 9  * * *
10  147.230.250.190 (147.230.250.190)  4.514 ms  4.848 ms  4.878 ms
11  147.230.250.21 (147.230.250.21)  4.665 ms  4.636 ms  4.608 ms
12  novy.tul.cz (147.230.18.195)  5.052 ms  4.614 ms  4.502 ms
```

Traceroute: poznámky

- implementace traceroute se liší v různých OS
- Windows používá implicitně ICMP pakety
- Linux používá implicitně UDP pakety, které bývají častěji blokovány než ICMP
- výsledky traceroute se tedy mohou v závislosti na OS lišit
- i Linux umí ICMP přes traceroute, ale potřebujete práva roota, která ve škole nemáte

Default gateway

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní
10.0.2.0	255.255.254.0	–	eth1
10.0.13.0	255.255.255.0	–	eth0
10.1.0.0	255.255.0.0	–	eth2
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3

- **Default gateway** (*výchozí brána*) – mají koncové stanice i *některé* routery
- výchozí trasa v případě, že chceme dopravit IP datagram do sítě, kterou nemáme ve směrovací tabulce (když nevím, co s tím, → *default gw*)
- rozsah `0.0.0.0/0` (celý IPv4 internet)

Bonus: Metrika

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní	**Metrika**
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth1	10
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0	20
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2	10
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3	30

- **Metric** (*metrika*) – vyjádření „nákladů/ceny" dané trasy (*např. počet směrovačů, čas doručení, spolehlivost, průtok*)
- je-li ve směrovací tabulce více tras pro stejný cíl, použije se trasa s **nejnižší metrikou**

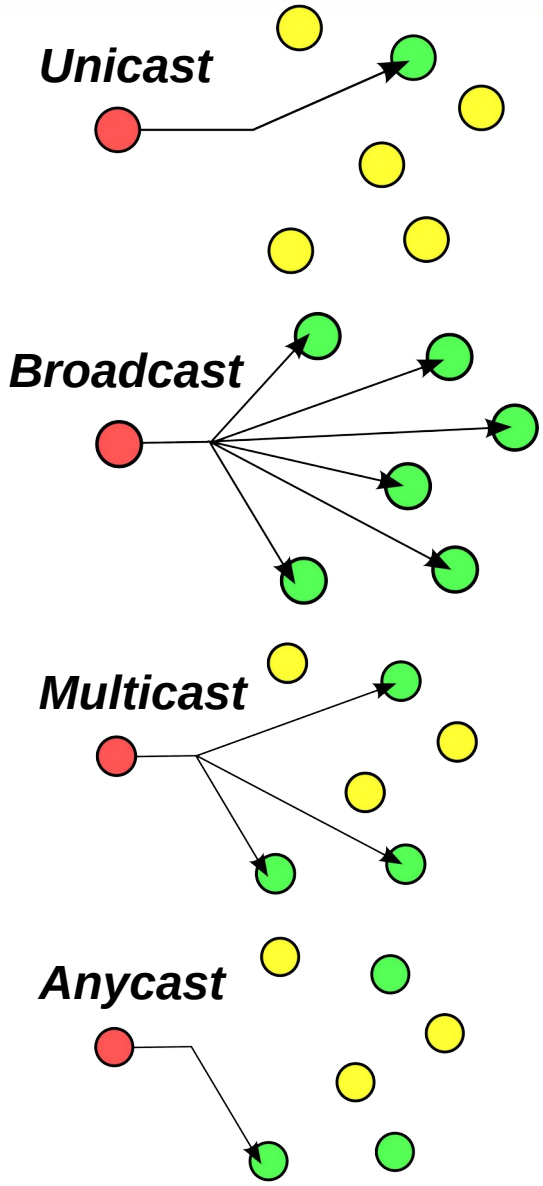
Bonus: Metrika

Síť	Maska	Gateway	Rozhraní	**Metrika**
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth1	10
10.0.13.0	255.255.255.0	-	eth0	20
10.1.0.0	255.255.0.0	-	eth2	10
0.0.0.0	0.0.0.0	199.2.14.63	eth3	30

- **Metric** (*metrika*) – vyjádření „nákladů/ceny" dané trasy (*např. počet směrovačů, čas doručení, spolehlivost, průtok*)
- je-li ve směrovací tabulce více tras pro stejný cíl, použije se trasa s **nejnižší metrikou**

Typy směrování

- **Unicast** – *jeden jednomu*
  - většina komunikace na internetu
- **Broadcast** – *jeden všem*
  - všesměrové vysílání
- **Multicast** – *jeden mnohým* či *mnozí mnohým*
  - oproti broadcastu se příjemci „*přihlašují*" k odběru
- **Anycast** – jeden jednomu z mnoha
  - více serverů, vybere se jeden, zpravidla ten geograficky nejblíže
  - např. kořenové DNS servery



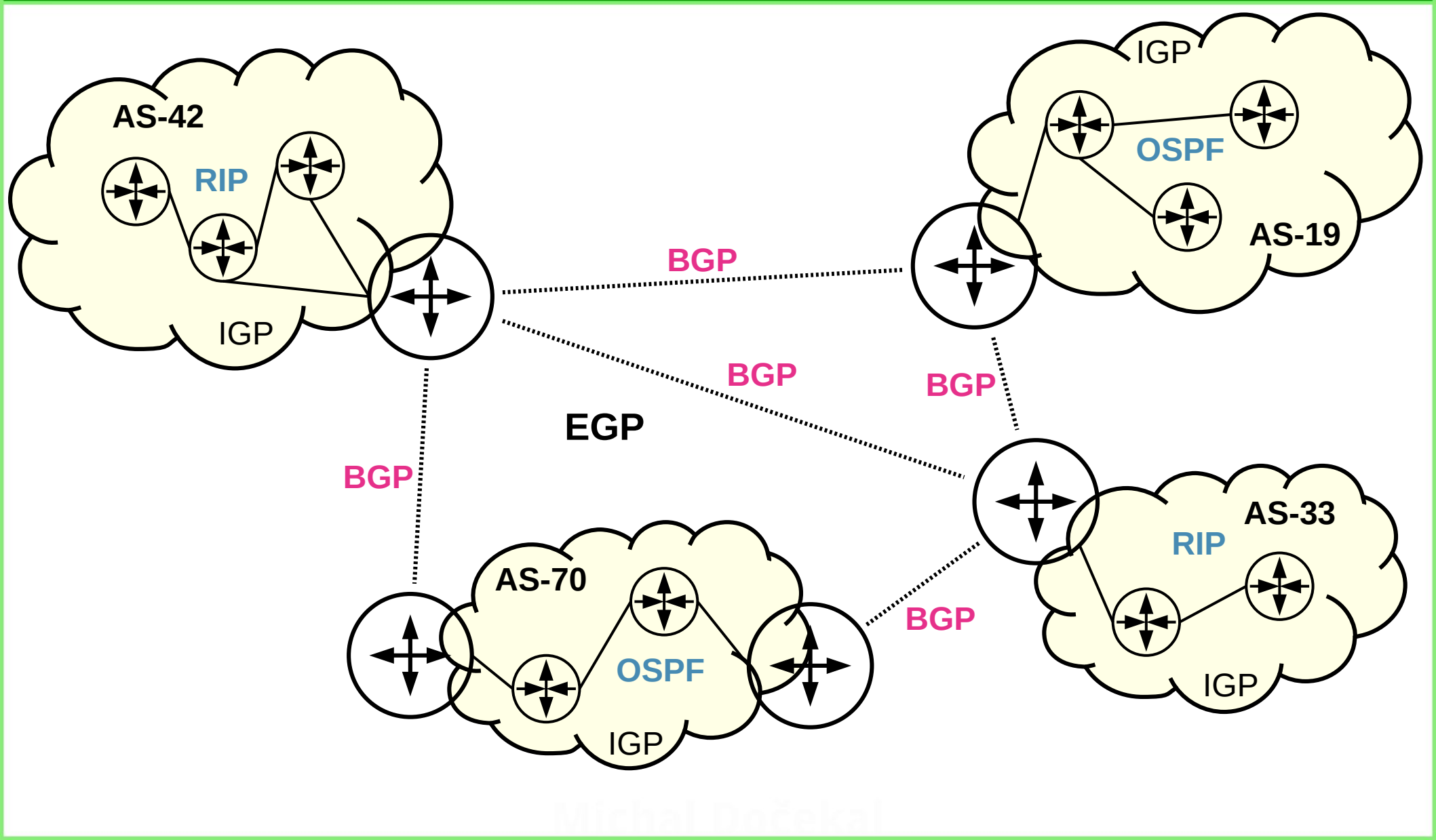
Statické a dynamické směrování

- **statické směrování** (neadaptivní)
  - směrovací tabulku naplňuje správce
  - jakákoliv změna v síti vyžaduje zásah správce
- **dynamické směrování** (*adaptivní*)
  - routery vzájemně komunikují a předávají si informace o stavu sítě – k tomu se využívá některý ze *směrovacích protokolů*
    - **RIP**: **R**outing **I**nformation **P**rotocol (jednoduchý, pro menší sítě – do 15 hopů)
    - **OSPF**: **O**pen **S**hortest **P**ath **F**irst (komplexnější, pro větší sítě)
  - dochází tak k dynamickému naplnění *směrovací tabulky*
  - umožňuje reakce na změny v síti (*ukoplý kabel…*)

Bonus: Směrování v internetu

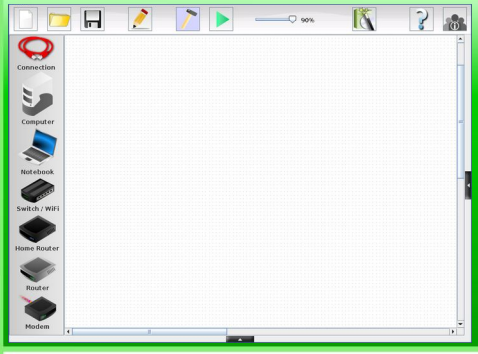
- **internet** je rozdělen na jednotky, které se nazývají *autonomní systémy*
- **autonomní systém (AS)** je část internetu pod správou konkrétního subjektu s jednotnou směrovací politikou (z hlediska internetu)
- **AS** si řeší směrování uvnitř **AS** sám pomocí tzv. IGP (*interior gateway protocol*), což může být RIP, OSPF, atd.
- směrování síťového provozu mezi **AS** řeší **EGP** (*exterior gateway protocol*), kterým je dnes **BGP** (*Border Gateway Protocol*)

Bonus: Směrování v internetu

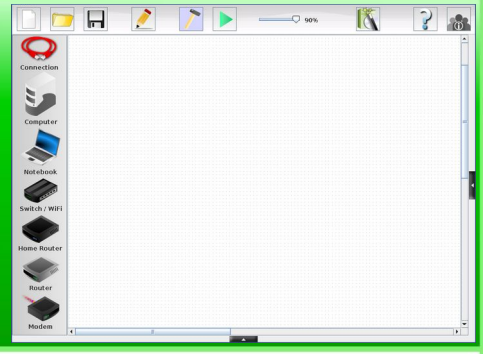


Tvorba a simulace počítačových sítí

Filius



Filius



- síťový simulátor, vznikl na *Universität Siegen*

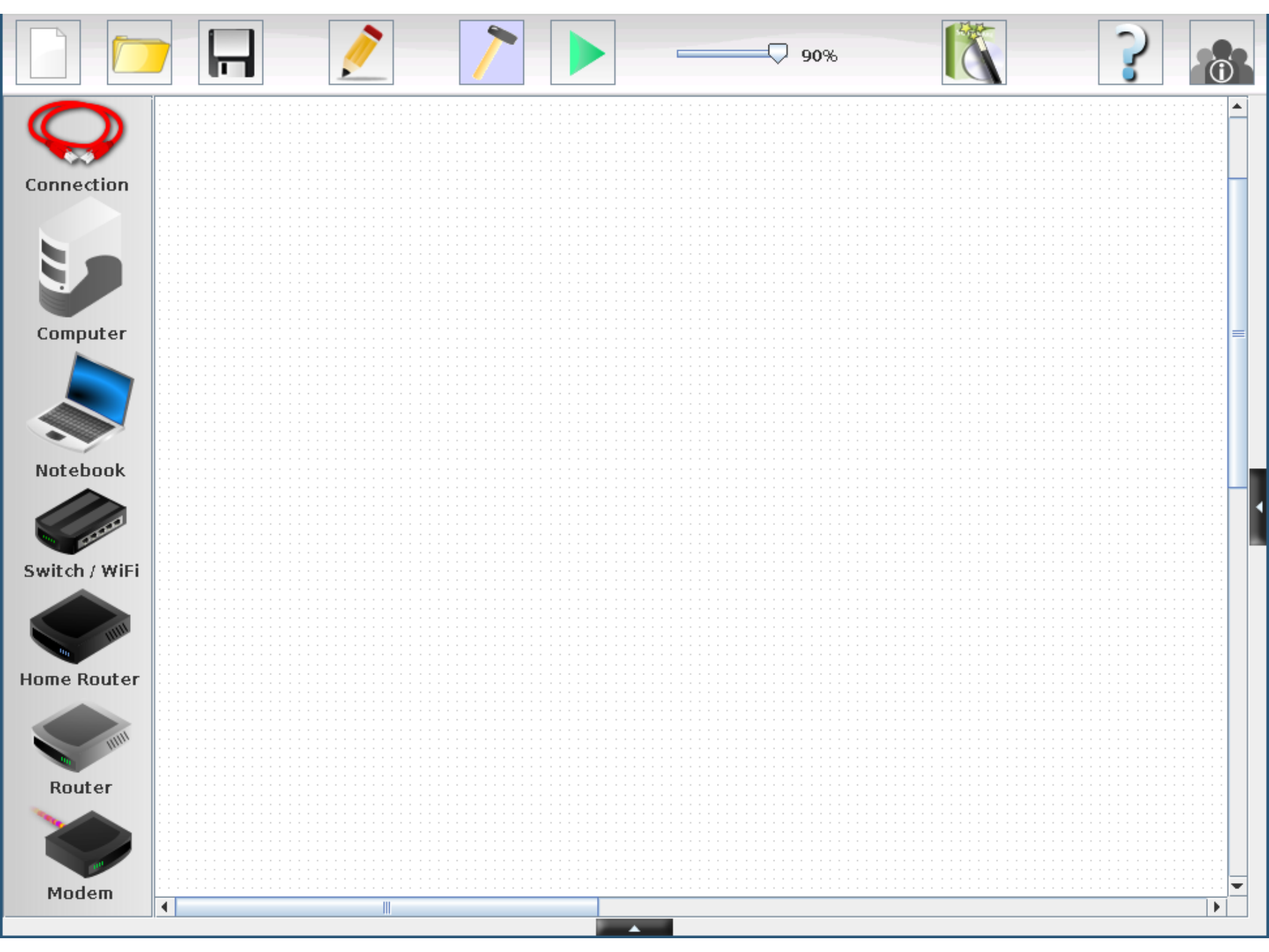
  `https://www.lernsoftware-filius.de/Herunterladen`
- **svobodný software** (licence GNU/GPL)
- napsán v **Javě** (vyžaduje nainstalovanou Javu)
- K dispozici pro **Windows**, **Linux** a **MacOS**
- *Vlastnosti sítě budou demonstrovány na síťovém simulátoru a občas také mimo něj*

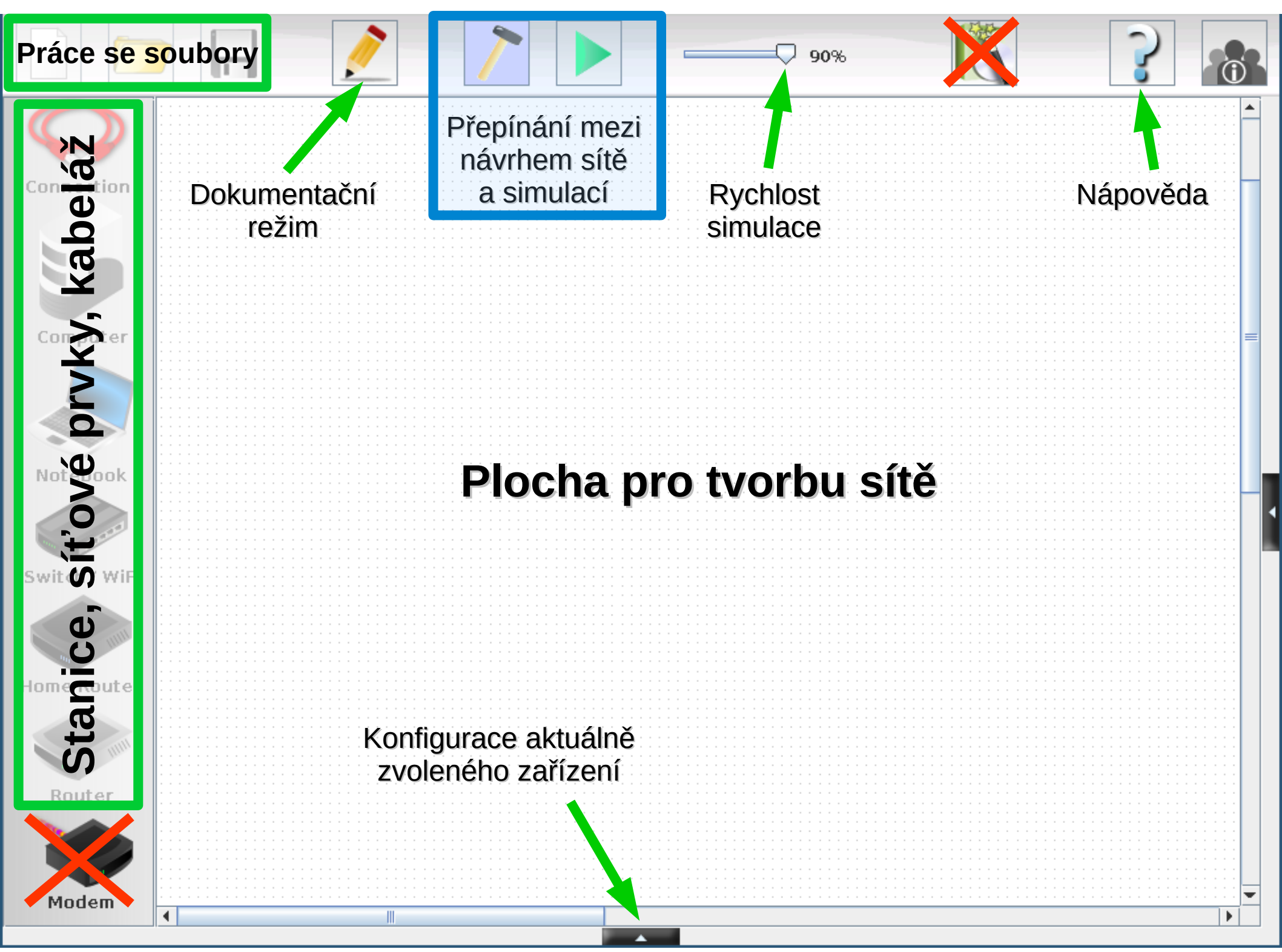
Síťový simulátor Filius

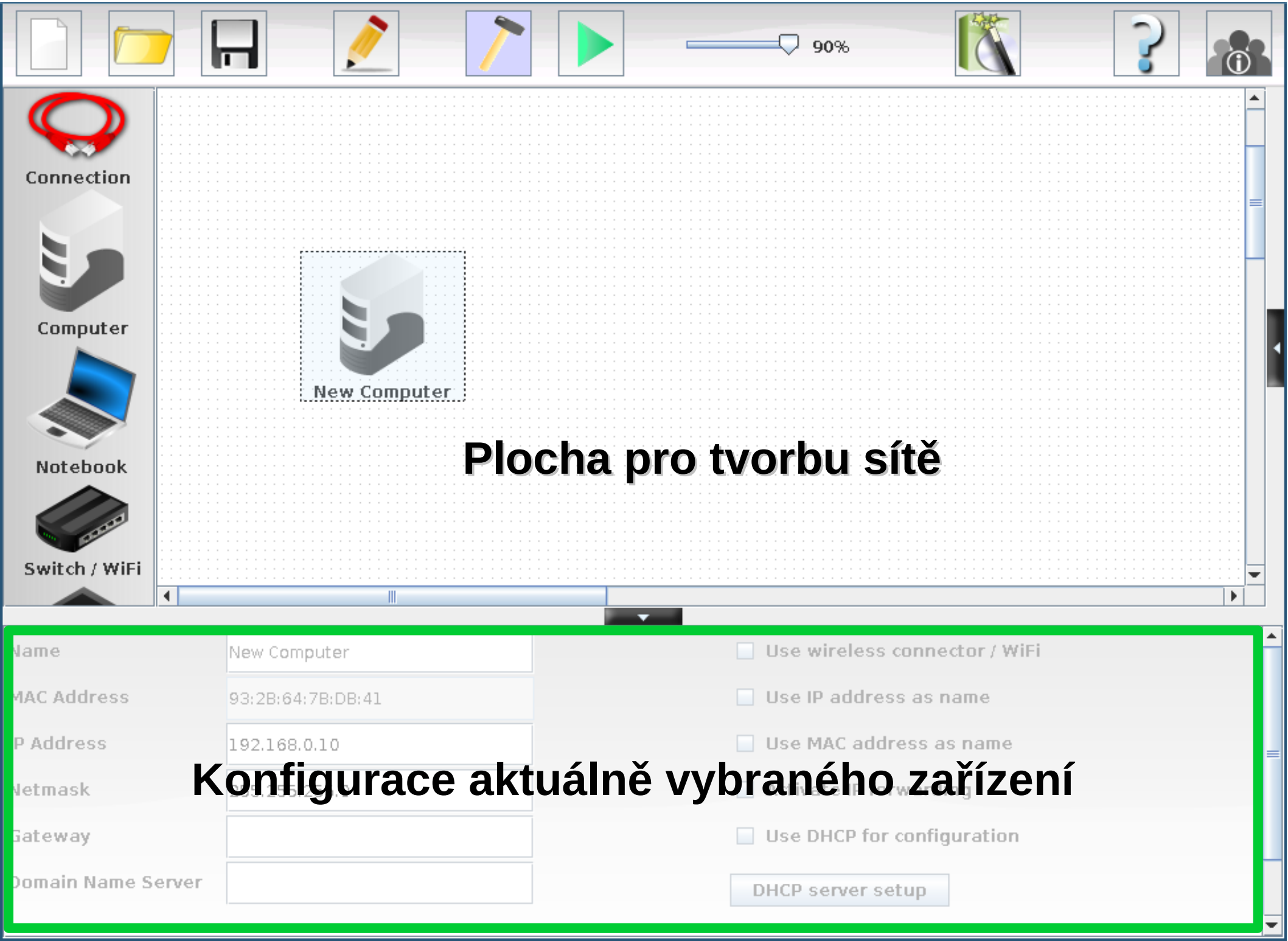
- umožňuje poskládat síť ze síťových prvků
- nakonfigurovat síťová rozhraní prvků s adresami, maskami, bránami a DNS
- na routerech definovat směrovací pravidla
- testovat chování sítě pomocí síťových diagnostických nástrojů
- zobrazit proběhlou komunikaci a analyzovat jednotlivé pakety

Co byste měli mít na paměti o Filiusu

- je to relativně *jednoduchý* síťový simulátor
- skutečné sítě se mohou v některých situacích chovat *jinak* – tzn. může nastat situace, kdy něco ve Filiusu funguje, co by ve skutečnosti nešlo
- při **testech** velký pozor: **Filius nezná Undo!**
  - takže když po 10 minutách konfigurace směrovače nechtěně klepnete na `Delete`, nakonfigurovaný směrovač zmizí a vy musíte vše konfigurovat znovu…
  - **průběžně si práci ukládejte!**


90%
Connection
Computer
Notebook
Switch / WiFi
Home Router
Router
Modem

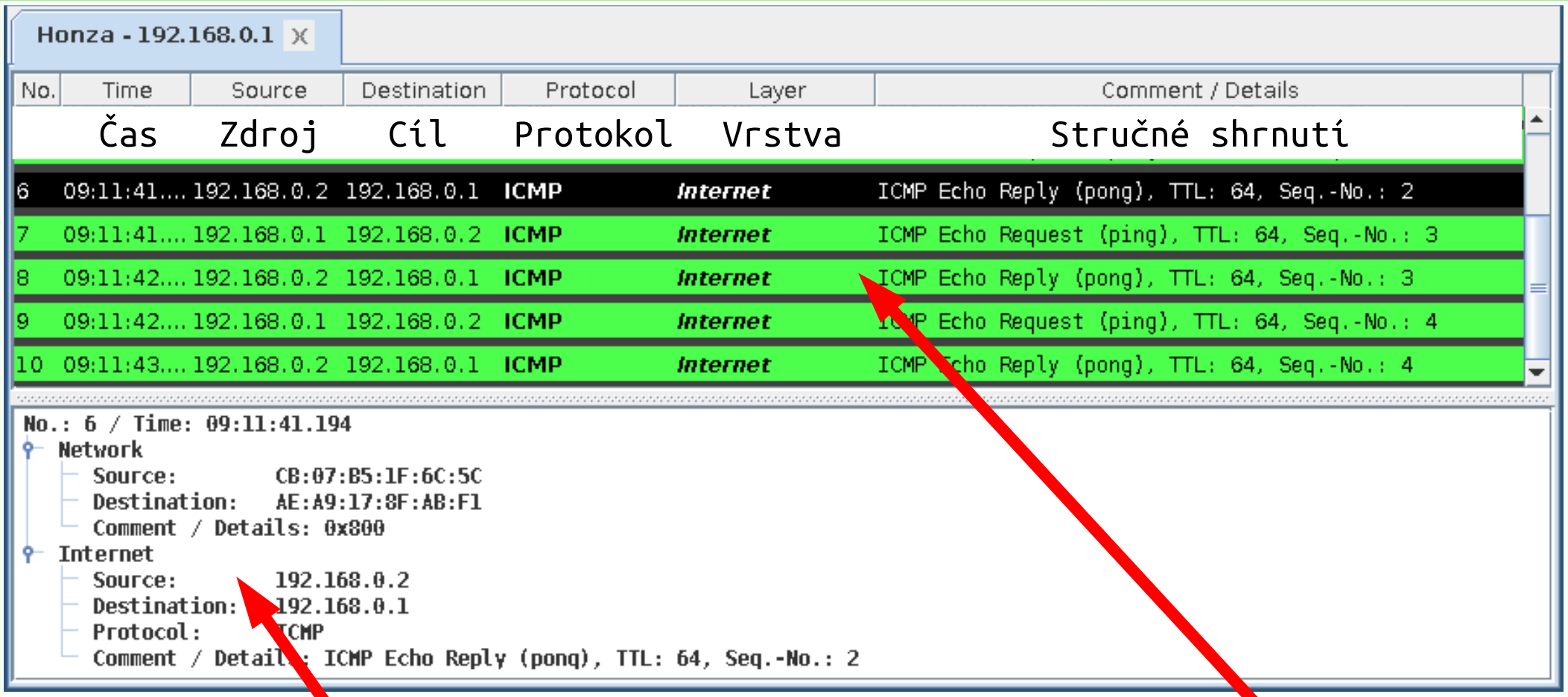

Práce se soubory
90%
Přepínání mezi návrhem sítě a simulací
Dokumentační režim
Rychlost simulace
Nápověda
Stanice, síťové prvky, kabeláž
Modem
Plocha pro tvorbu sítě
Konfigurace aktuálně zvoleného zařízení


90%
Connection
Computer
Notebook
Switch / WiFi
New Computer
Plocha pro tvorbu sítě
Name
New Computer
MAC Address
93:2B:64:7B:DB:41
IP Address
192.168.0.10
Netmask
Gateway
Domain Name Server
Use wireless connector / WiFi
Use IP address as name
Use MAC address as name
Use DHCP for configuration
DHCP server setup
Konfigurace aktuálně vybraného zařízení

Analýza paketů

- v simulačním režimu klepněte pravým myšítkem na počítač nebo router a zvolte položku `Show Data Exchange`
- analyzátor paketů se vzdáleně podobá Wiresharku
- TIP: Wireshark si můžete nainstalovat už teď, nachytat nějaký síťový provoz a analyzovat jej
  - stránky projektu: `https://www.wireshark.org`

Data Exchange

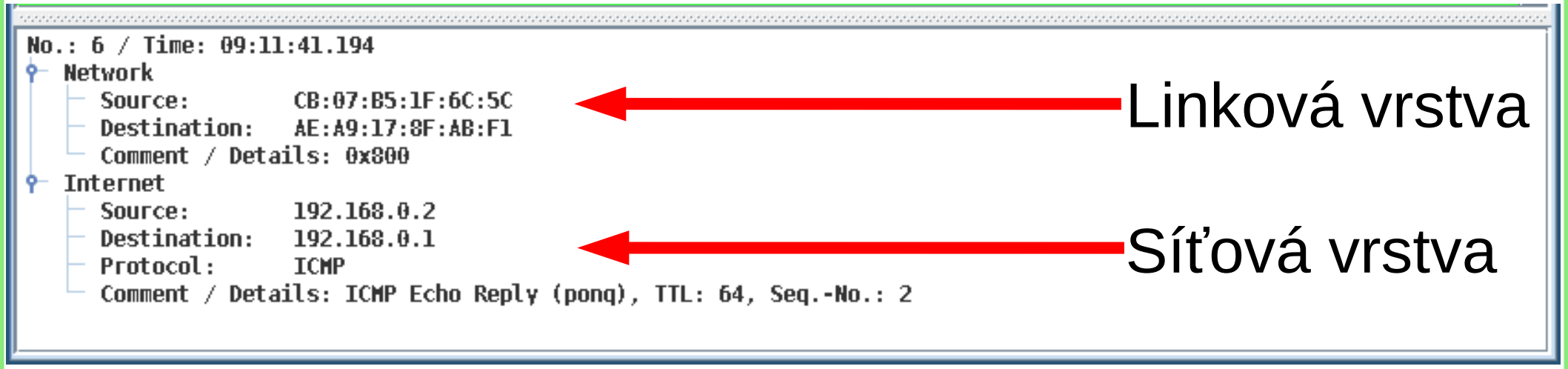


Analýza vybraného paketu

Výběr paketů

Analýza paketů ve Filiusu

- Linkovou vrstvu (L2) nazývá Filius „*Network*"
- Síťovou vrstvu (L3) nazývá Filius „*Internet*"



- Analyzátor paketů ve Filiusu je podobný Wiresharku

Děkuji za pozornost

Dotazy?