

7POS1 – Prednáška 7

Sieťová vrstva 2: Smerovanie, NAT, IPv4 adresy

RNDr. Matej Zuzčák, Ph.D.
matej.zuzcak@osu.cz

11110001010101010101010
1110010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101

11110001010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
0101010101

101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101
01011111100
01010101010101
111001111

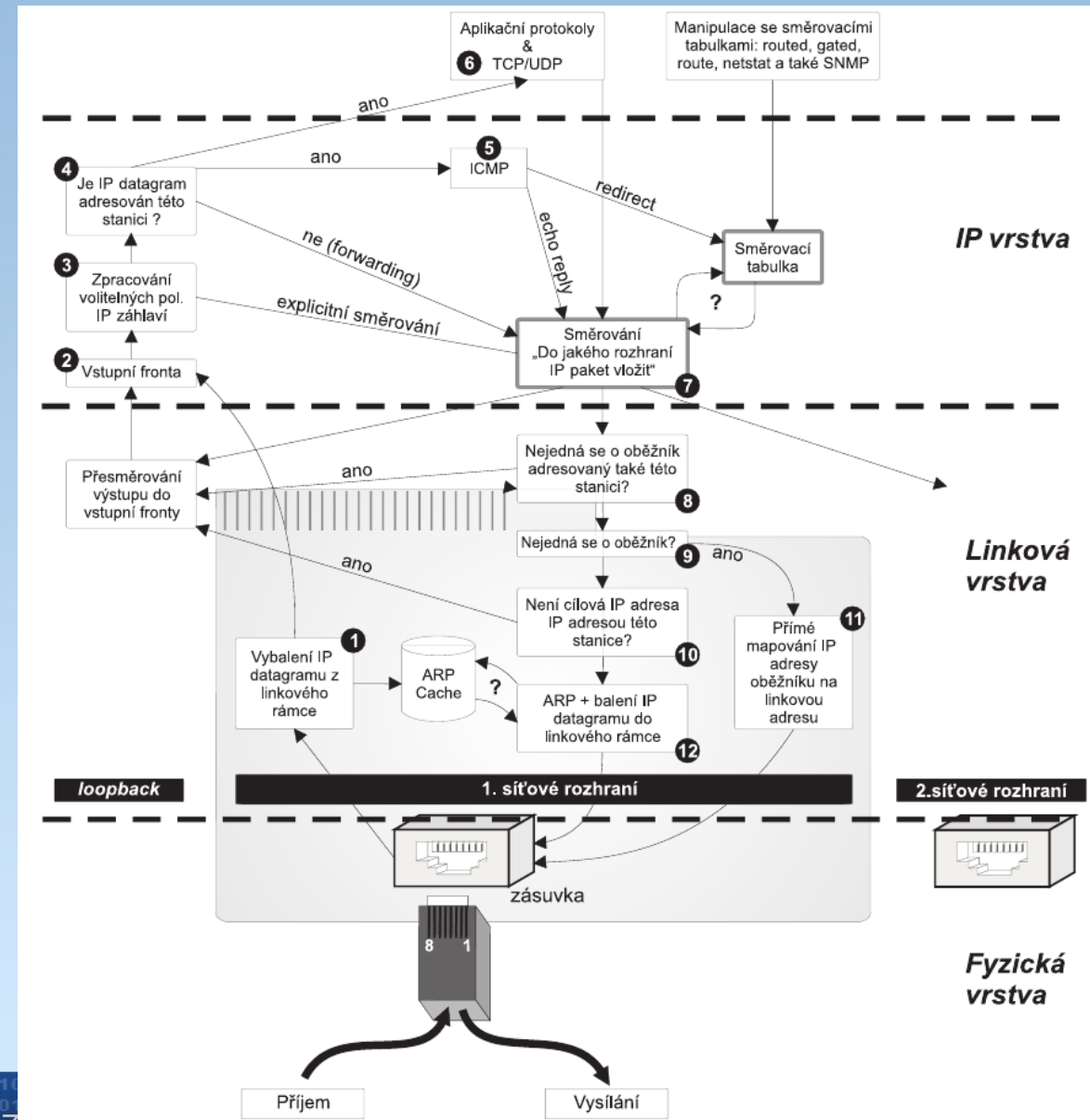
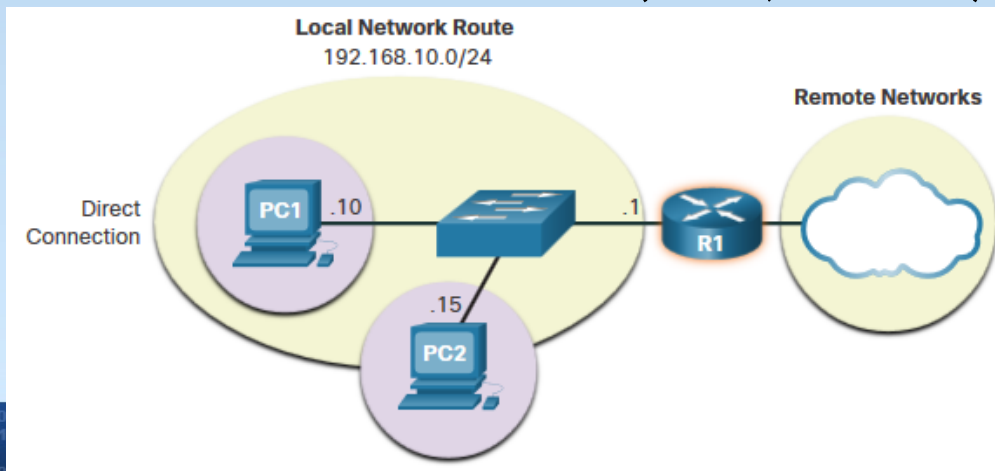
10101010101
0101010
011100
01010011
01010101010101

11110001010101010101010
1110010101001
1010101
01011111100
01010101010101
111001111

11110001010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
0101010

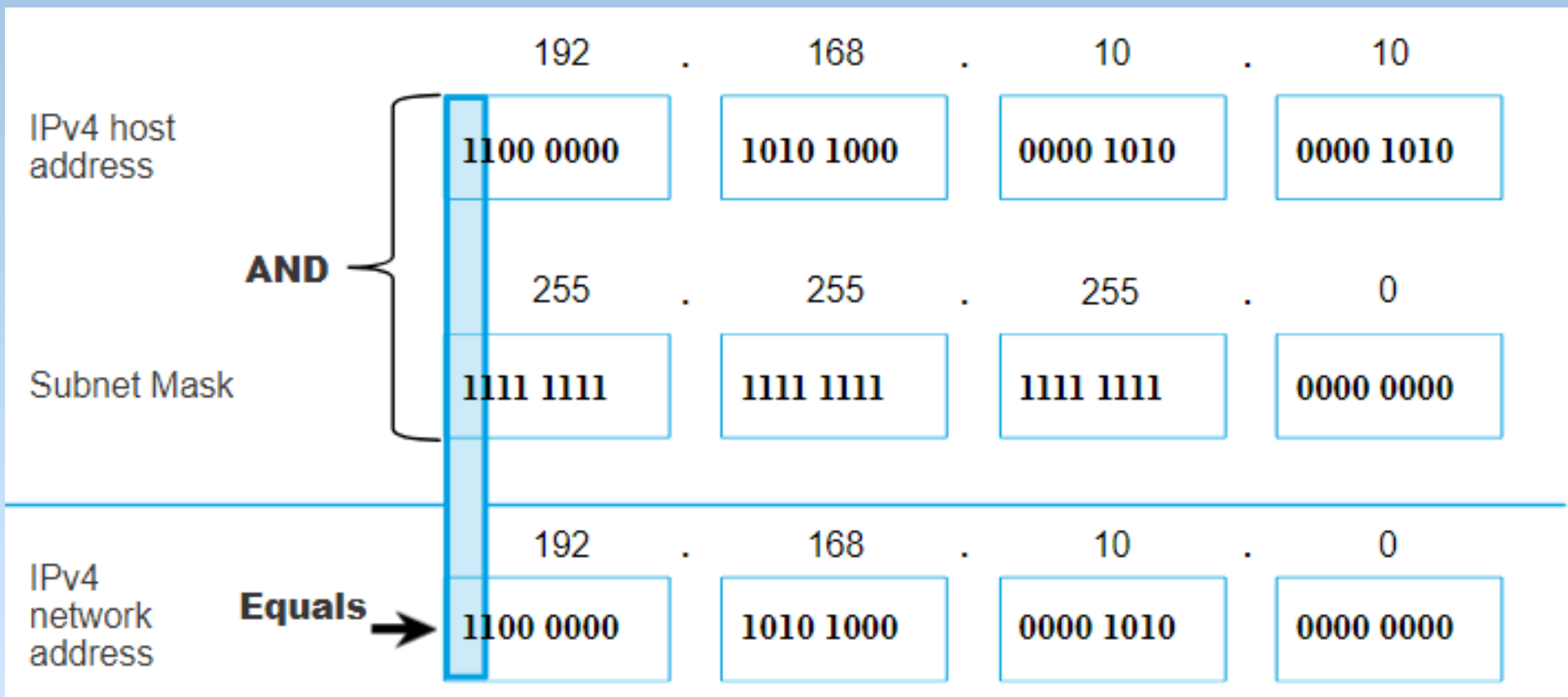
Smerovanie a forwarding

- Internet na L3 stojí na 3 princípoch:
 - Smerovanie (IP routing).
 - Predávanie (IP forwarding).
 - (NATovanie).
- Posielanie paketov môže byť:
 - Localhost – 127.0.0.1 (IPv4), ::1 (IPv6).
 - Local Hosts – stanice na LAN.
 - Remote Hosts – mimo LAN (WAN, internet).



Ako určíme či je cieľ na/mimo LAN?

- Ako zistí hostiteľ, či je cieľová destinácia na LAN, alebo mimo LAN?
 - Logický súčin (AND) cieľovej IP adresy a sieťovej masky.



Ako určíme či je cieľ na/mimo LAN? (2)

- Ako zistí hostiteľ, či je cieľová destinácia na LAN, alebo mimo LAN?
 - Logický súčin a sieťová maska.
 - Naša IP adresa je 192.168.1.1, sieťová maska je 255.255.255.0 (/24), chceme komunikovať s IP adresou 192.168.1.2. Logický súčin cieľovej IP adresy a masky po prevode do dvojkovej sústavy vychádza 192.168.1.0. To znamená, že stanica sa nachádza na rovnakej sieti ako my a môžeme s ňou priamo komunikovať, po zistení jej MAC adresy.
 - Ak je naša IP adresa naďalej 192.168.1.2 a maska 255.255.255.0 (/24) a chceme komunikovať s IP adresou 89.37.12.6, operačný systém prevedie logický súčin s touto IP adresou a našou maskou v binárnej sústave. Výsledkom je 89.37.12.0, čo jasne ukazuje, že sa daná stanica nachádza mimo našu lokálnu sieť. V tomto prípade s ňou nemôžeme priamo komunikovať, a tak sa použije MAC adresa našej brány do siete WAN resp. internetu. Najčastejšie je ňou náš smerovač.

11110001010101010101010101010101
1110010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101

11110001010101010101010101010101
111001010101001
1101000110101010
101110101010101010
10101010101
010101010101
0101010

7POS1 - Prednáška 7 - RNDr. Matej Zuzčák, Ph.D.

101110101011010
10101010101
01010101010101010101010101010101
0101
0101111100
0101010101010101
111001111

10101010101
0101010
0101010
01010011
0101010101010101

11110001010101010101010101010101
1110010101001
1010101
0101111100
0101010101010101
111001111

11110001010101010101010101010101
111001010101001
1101000110101010
101110101010101010
10101010101
0101010

Smerovacia tabuľka

```
C:\Users\PC1> netstat -r
```

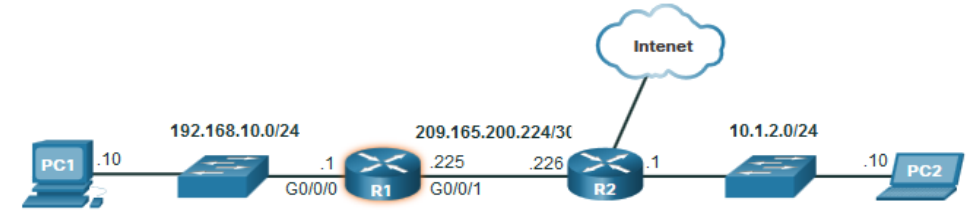
IPv4 Route Table

Active Routes:

Network	Destination	Netmask	Gateway	Interface	Metric
	0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.10.1	192.168.10.10	25
	127.0.0.0	255.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
	127.0.0.1	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
127.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
	192.168.10.0	255.255.255.0	On-link	192.168.10.10	281
	192.168.10.10	255.255.255.255	On-link	192.168.10.10	281
	192.168.10.255	255.255.255.255	On-link	192.168.10.10	281
	224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
	224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	192.168.10.10	281
255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	192.168.10.10	281

```
Kernel IP routing table
```

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
default	_gateway	0.0.0.0	UG	100	0	0	enp0s31f6
default	_gateway	0.0.0.0	UG	600	0	0	wlp0s20f3
10.1.1.0	10.1.1.5	255.255.255.0	UG	0	0	0	tun0
10.1.1.5	0.0.0.0	255.255.255.255	UH	0	0	0	tun0
link-local	0.0.0.0	255.255.0.0	U	1000	0	0	enp0s31f6
192.168.3.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	100	0	0	enp0s31f6
192.168.3.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	600	0	0	wlp0s20f3



```
R1# show ip route
```

```
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
a - application route
+ - replicated route, % - next hop override, p - overrides from PfR
Gateway of last resort is 209.165.200.226 to network 0.0.0.0
```

```
S* 0.0.0.0/0 [1/0] via 209.165.200.226, GigabitEthernet0/0/1
10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O 10.1.1.0 [110/2] via 209.165.200.226, 00:02:45, GigabitEthernet0/0/1
192.168.10.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C 192.168.10.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0/0
L 192.168.10.1/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0/0
209.165.200.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C 209.165.200.224/30 is directly connected, GigabitEthernet0/0/1
L 209.165.200.225/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0/1
```

R1#

L - Directly connected local interface IP address
C – Directly connected network
S – Static route was manually configured by an administrator
O – OSPF
D – EIGRP

- Directly Connected – C and L
- Remote Routes – O, D, etc.
- Default Routes – S*

```
11110001010101010101010101010101
111001010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101
```

```
11110001010101010101010101010101
11100101010101001
110100011010101010
10111010101010101101010101010101
1010101010101
01010101
```

```
101110101011010
10101010101
01010110101011111100
0101
0101111100
01010101010101
111001111
```

```
10101010101
0101010
011100
01010011
0101010101010101
```

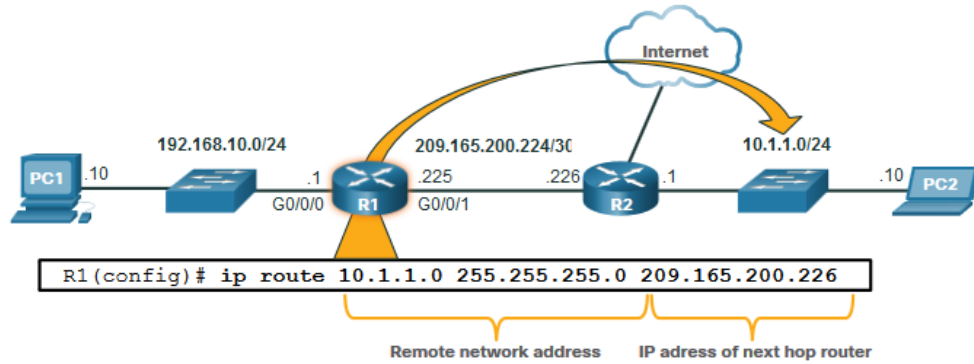
ected — C and L
es — O, D, etc.
S — S*

```
111100010101010101010101  
11100101010101001  
1101000110101010  
101110101010101011010  
10101010101  
0101010
```

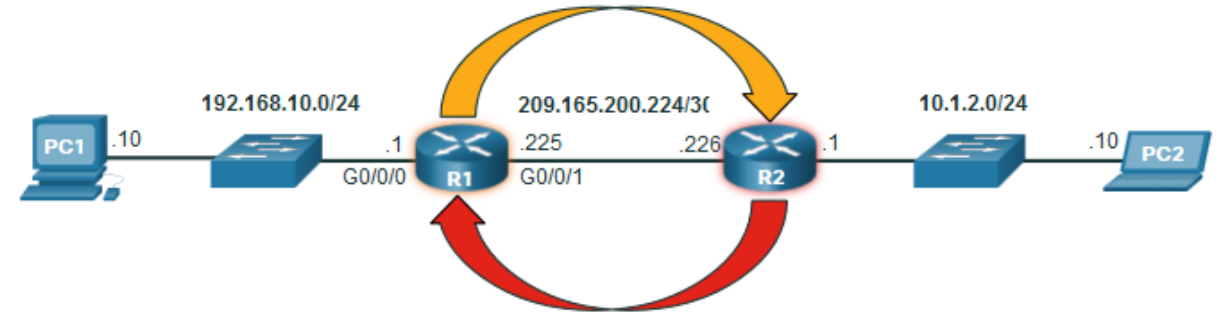

Princípy smerovania

- „Svet“ je tvorený sústavou sietí vzájomne prepojených smerovačmi.
 - Existuje medzi nimi vždy súvislá cesta, môže ich byť i viac hľadáme tú optimálnu.
- Smerovanie je „per hop“.
- Smeruje sa len na základe cieľovej IP adresy.
- Optimálna cesta sa volí na základe metriky (rôzne prístupy).
 - Každá cesta má stanovenú svoju cenu.
- Smerovanie zvyčajne nie je závislé na obsahu a zdroji.
 - Zriedkavejšie alternatívy tzv. content switching – čísla portov, source-based, policy-based.
- Smerovanie je zvyčajne bezstavové.
 - Zriedkavejší koncept flows (niekedy IPv6).

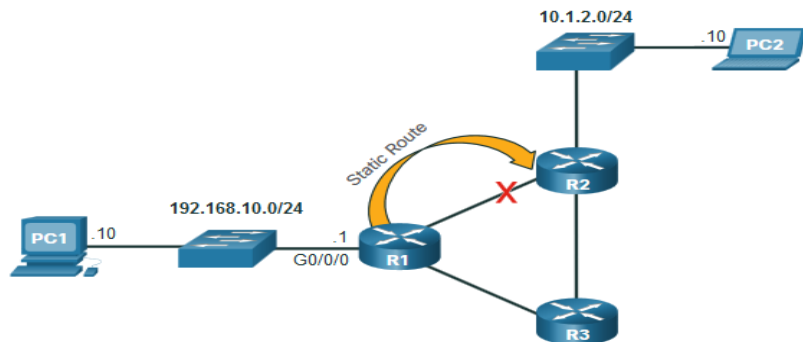
Delenie: statické vs. dynamické smerovanie



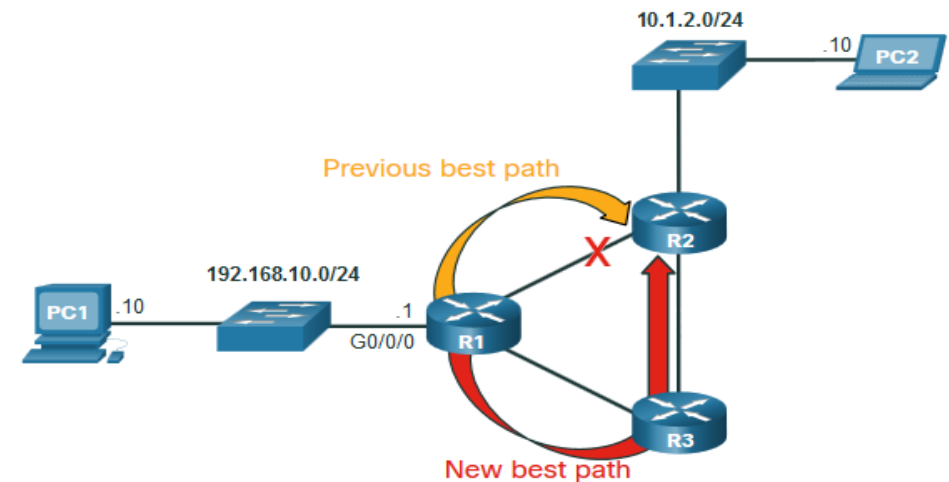
R1 is manually configured with a static route to reach the 10.1.1.0/24 network. If this path changes, R1 will require a new static route.



- R1 is using the routing protocol OSPF to let R2 know about the 192.168.10.0/24 network.
- R2 is using the routing protocol OSPF to let R1 know about the 10.1.1.0/24 network.



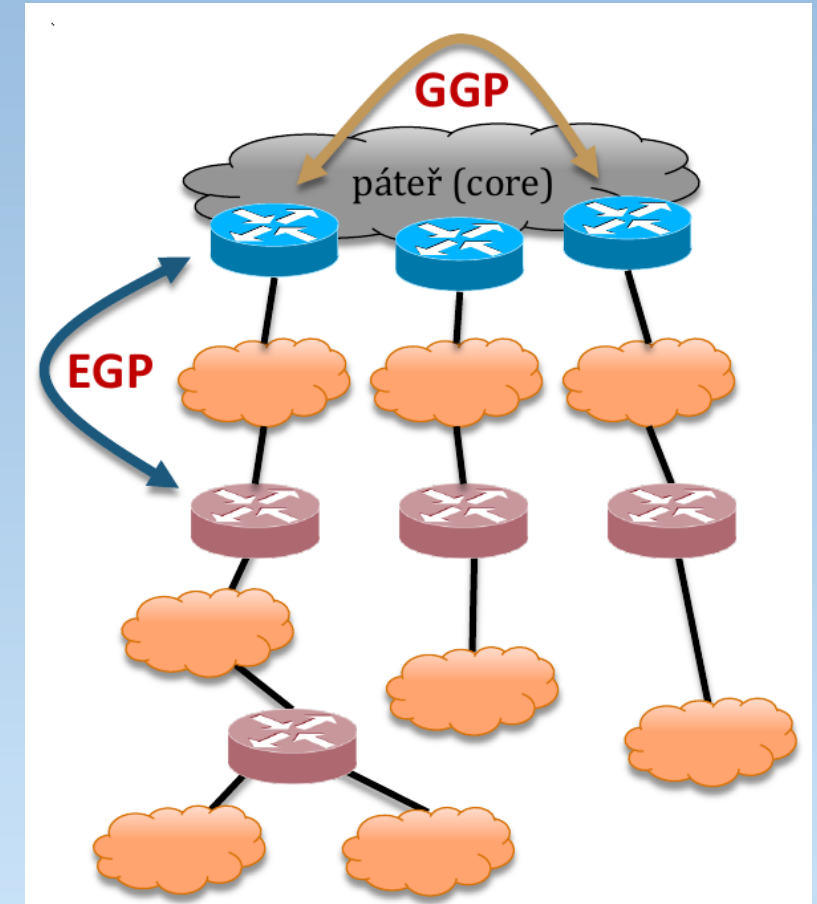
If the route from R1 via R2 is no longer available, a new static route via R3 would need to be configured. A static route does not automatically adjust for topology changes.



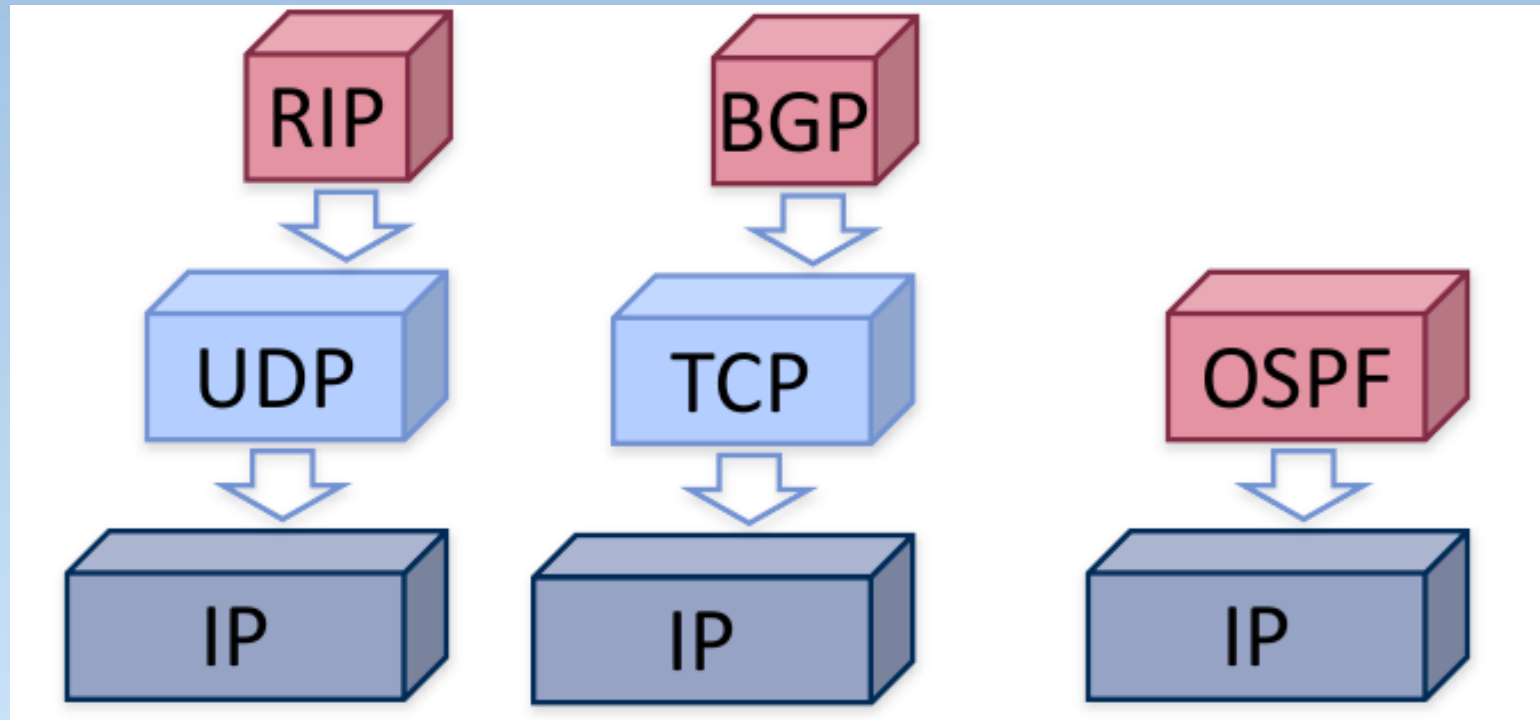
R1, R2, and R3 are using the dynamic routing protocol OSPF. If there is a network topology change, they can automatically adjust to find a new best path.

Ďalšie delenie smerovacích protokolov

- Distance-vector
 - Vektor vzdialenosti, počet hopov (preskokov).
 - Vymieňajú sa celé smerovacie tabuľky.
 - Najbežnejším zástupcom je RIPv1, RIPv2, RIPv6.
- Link-state
 - Berú do úvahy stav linky napr. jej rýchlosť napr. protokol OSPF.
 - Neposielať sa celé smerovacie tabuľky.
 - Indikujú zmenu v smerovacích tabuľkách aj neperiodicky.
- Smerovanie v a medzi AS:
 - /GGP (Gateway to Gateway Protocols)/.
 - EGP (Exterior Gateway Protocols). Napr. BGP.
 - IGP (Interior Gateway Protocols) – pozor NIE Interior Gateway Routing Protocol! Napr. RIP, OSPF...
- Smerovacie domény.

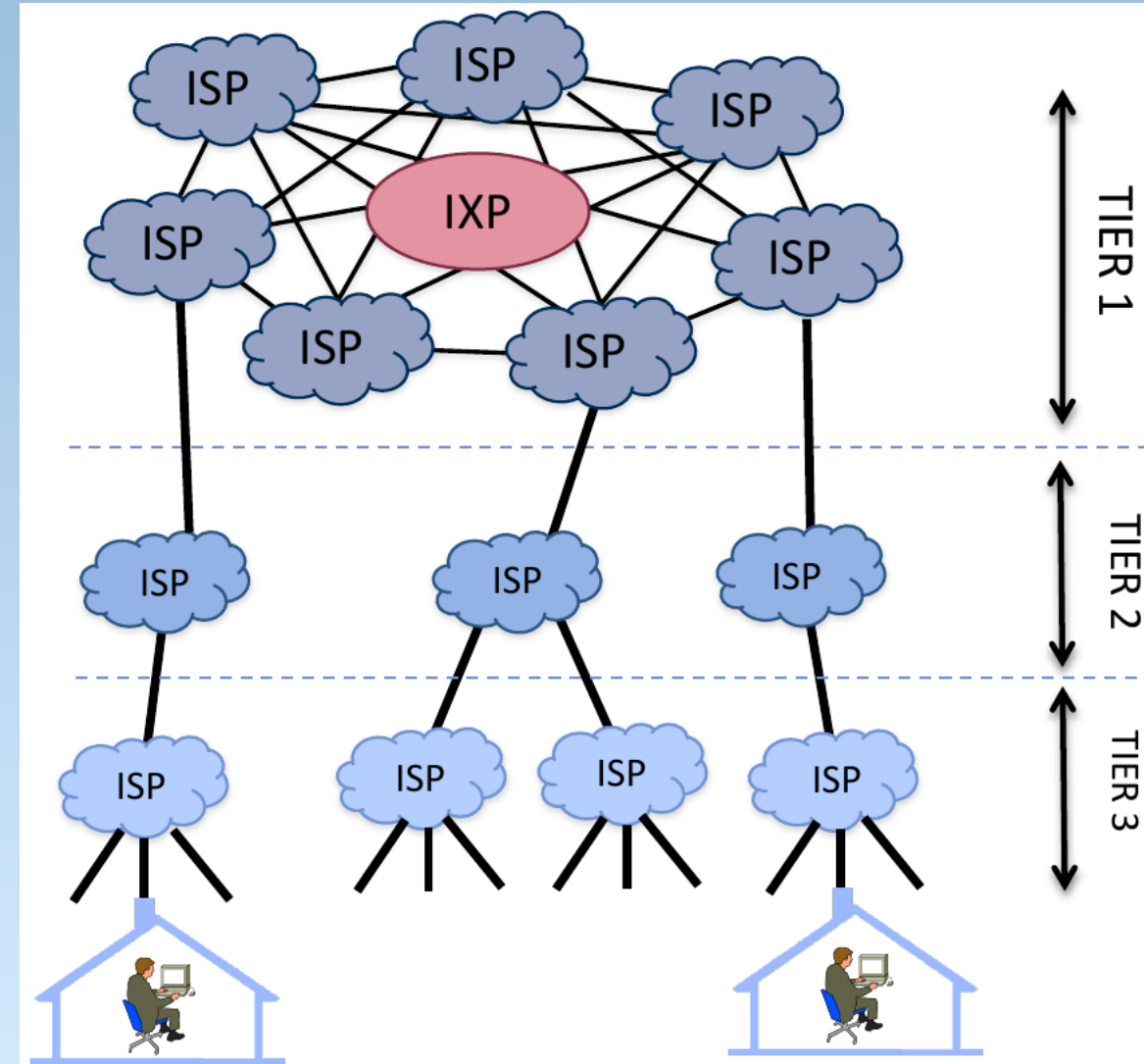


Smerovanie a sieťové vrstvy



Autonómne systémy (AS)

- Zvyčajne tvoria jednu smerovaciu doménu.
- Majú jedného vlastníka napr. ISP.
- Sú identifikované jednoznačnými číslami, ktoré prideluje IANA.
- Definujú si vlastnú smerovaciu politiku – vnútornú aj vo vzťahu k ostatným AS.
- IXP - Internet exchange point.



11110001010101010101010101010101
11100101010001
110100011010
101110101011010
10101010101
0101011010111111100
0101

11110001010101010101010101010101
1110010101010001
1101000110101010
10111010101011010
10101010101
10101010101
0101010

7POS1 - Prednáška 7 - RNDr. Matej Zuzčák, Ph.D.

101110101011010
10101010101
10101010101
01011111100
01010101010101
111001111
101010

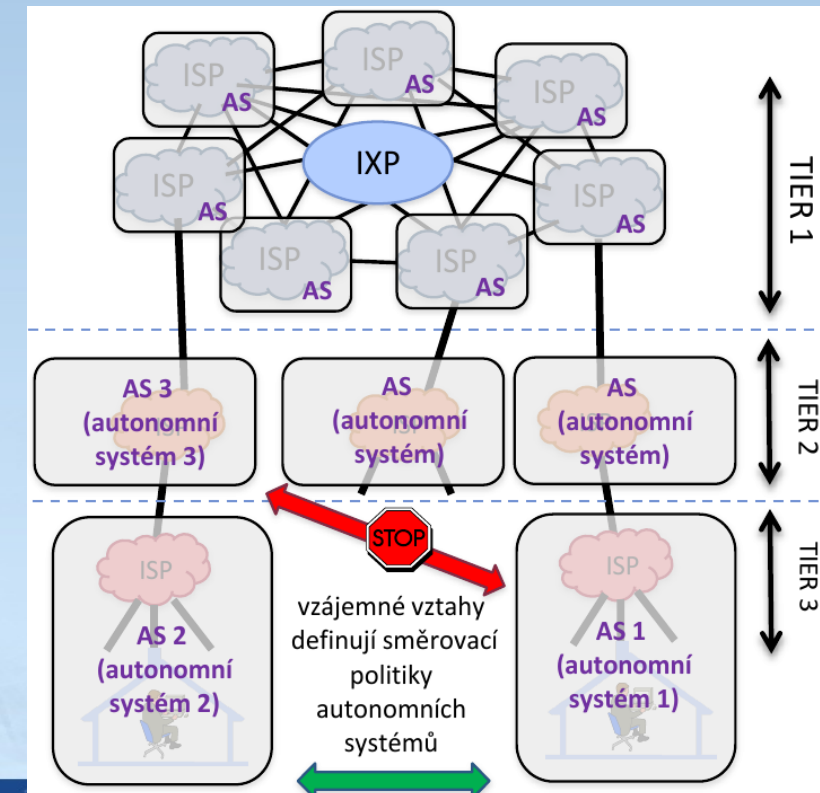
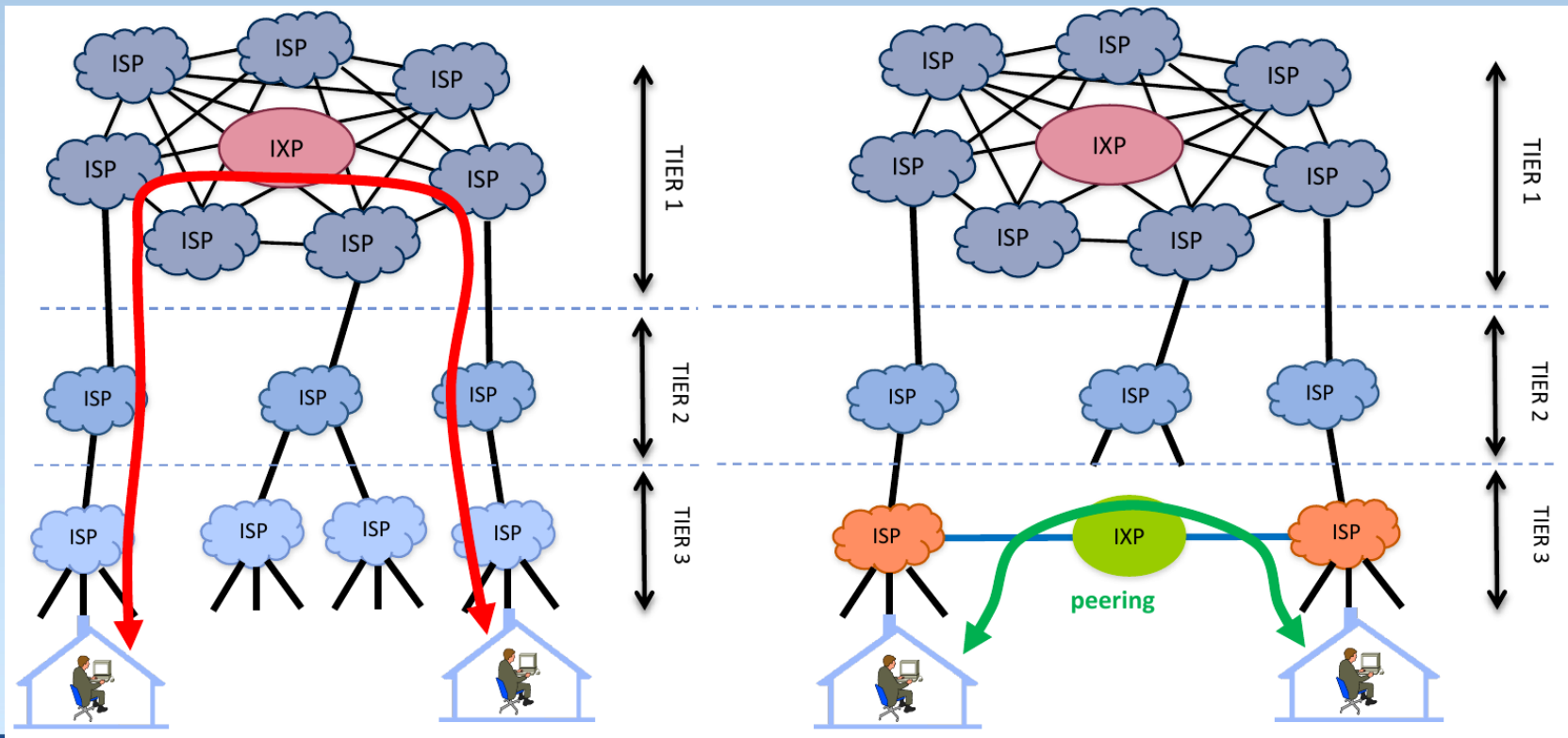
10101010101
0101010
01010011
01010101010101
01010101010101

11110001010101010101010101010101
11100101010001
1010101
01011111100
01010101010101
111001111

11110001010101010101010101010101
1110010101010001
1101000110101010
10111010101011010
10101010101
0101010

Peering

- Bez peeringu prechádza prevádzka medzi sieťami Tier 3 cez vyššie úrovne -> drahé a pomalé.
- Pri lokálnom peeringu sa dá vyhnúť vyššej úrovni -> efektívnejšie.



Peeringove centrum

Společnost	www	ASN	Peering policy	Route server IP4	Route server IP6	FENIX
▼ 2 connect a.s.	www.2connect.cz	35236	Open	✓	✓	☠
▼ ACTIVE 24, s.r.o.	www.active24.cz	25234	Open	✓	✓	☠
▼ Akamai International B.V.	www.akamai.com	20940	Open	✓	✓	
▼ Akamai International B.V.	www.akamai.com	32787	Open	✓	✓	
▼ Alf servis, s.r.o.	alfservis.cz	52092	Open	✓	✓	
▼ ALKOM Security, a.s.	www.alkom.cz	196762	Open	✓	✗	
▼ Amazon Web Services	www.amazon.com	16509	Selective	✗	✗	
▼ AmigoNet s.r.o.	www.amigonet.cz	59970	Open	✓	✓	
▼ a-net Liberec s.r.o.	www.anetliberec.cz	31349	Open	✓	✓	
▼ ANEXIA Internetdienstleistungs GmbH	www.anexia-it.com	42473	Open	✓	✓	
▼ ANTIK Telecom s.r.o.	www.antik.sk	42841	Open	✓	✓	
▼ AS112 project	as112.net	112	Open	✓	✓	
▼ AT&T Global Network Services Czech Republic, s.r.o.	www.corp.att.com	2686	Unknown	✗	✓	
▼ Austole, s.r.o.	www.austole.cz	201811	Open	✓	✓	
▼ AUTOCONT a.s.	www.autocont.cz	201730	Open	✓	✓	
▼ AUTOCONT a.s.	www.autocont.cz	47110	Open	✓	✓	
▼ Automation & Business s.r.o.	www.coolnet.sk	208882	Open	✓	✓	
▼ AVAST Software s.r.o.	www.avast.com	198605	Open	✓	✓	
▼ AVONET online, s.r.o.	www.avonet.cz	20723	Open	✓	✓	
▼ BNET Business s.r.o.	www.bnet-internet.cz	197307	Open	✓	✓	
▼ BONET Systems, s.r.o.	www.bonet.sk	44185	Open	✓	✓	
▼ BT Global Europe B.V., odstepny zavod	www.btglobalservices.com	5400	Selective	✗	✗	
▼ C2NET s.r.o.	www.c2net.cz	56456	Open	✓	✗	
▼ Casablanca INT a.s.	www.casablanca.cz	15685	Open	✓	✓	☠
▼ CC INTERNET s.r.o.	www.ccinternet.cz	202921	Open	✓	✗	
▼ CD-Telematika, a.s.	www.cdt.cz	25512	Open	✓	✓	☠
▼ Ceska republika - Cesky telekomunikacni urad	www.ctu.cz	201594	Open	✓	✓	
▼ Ceska republika - Ministerstvo obrany	www.army.cz	209719	Open	✓	✓	☠
▼ Ceska sporitelna, a.s.	www.csas.cz	25093	Unknown	✓	✗	
▼ Ceske Radiokomunikace a.s.	www.radiokomunikace.cz	25248	Open	✓	✓	☠
▼ Cesky urad zememerycky a katastralni	www.cuzk.cz	28892	Open	✓	✓	
▼ CESNET, z.s.p.o.	www.cesnet.cz	2852	Open	✓	✓	☠
▼ CETIN a.s.	www.cetin.cz	28725	Selective	✓	✓	☠
▼ Cisco International Limited - organizacni slozka	www.cisco.com	36692	Open	✓	✓	
▼ Cloudflare, Inc.	www.cloudflare.com	13335	Open	✓	✓	
▼ Cloudinfrastack s.r.o.	www.cloudinfrastack.com	8646	Open	✓	✗	

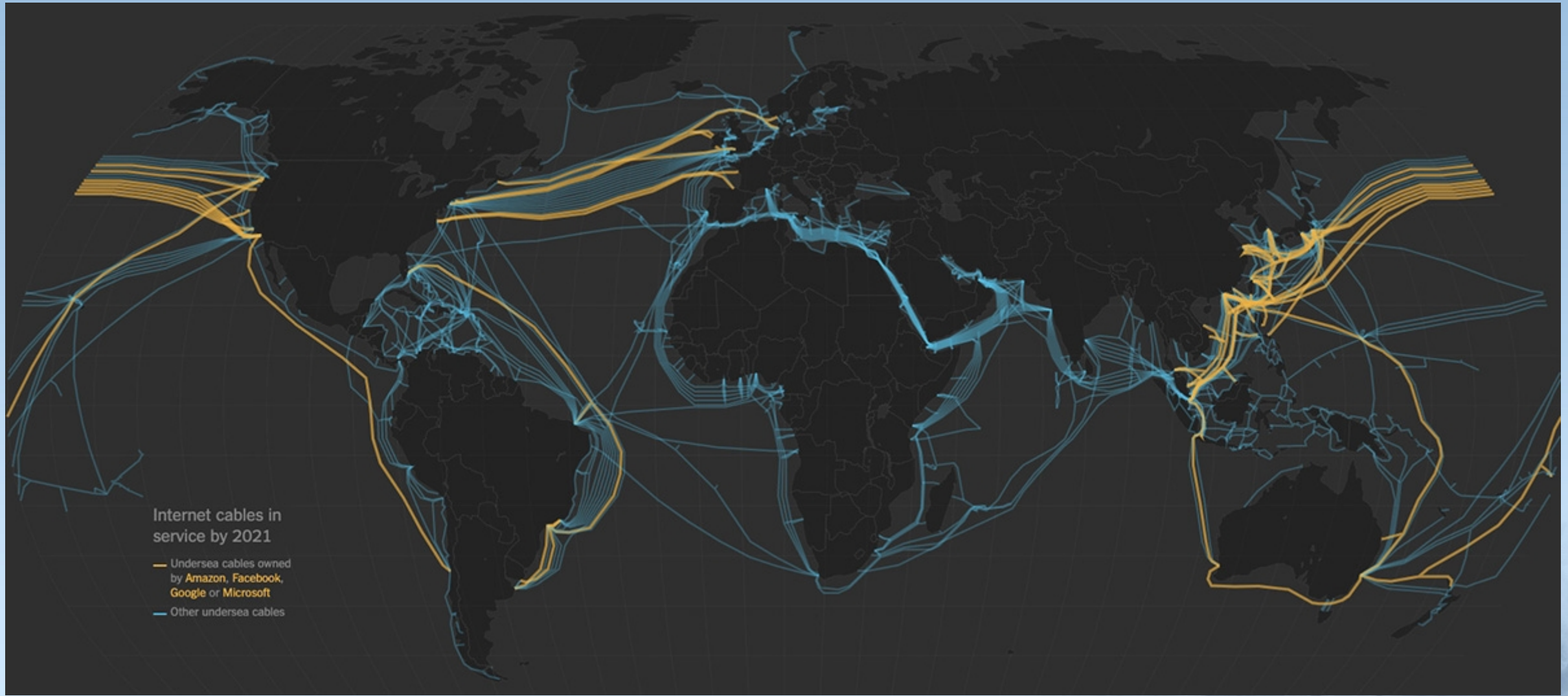
11110001010101010101010101010101
1110010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101

0101010

111001111

11110001010101010101010101010101
111001010101001
1101000110101010
10111010101011010
10101010101
0101010101
0101010

Podmorské telekomunikačné optické káble



11110001010101010101010
1110010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101

11110001010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101011010
101010101
0101010

101110101011010
10101010101
01010101010101010101010
01011111100
0101010101010101
111001111

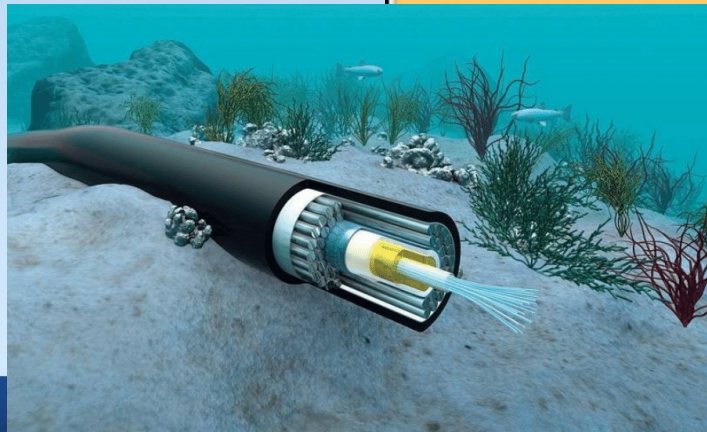
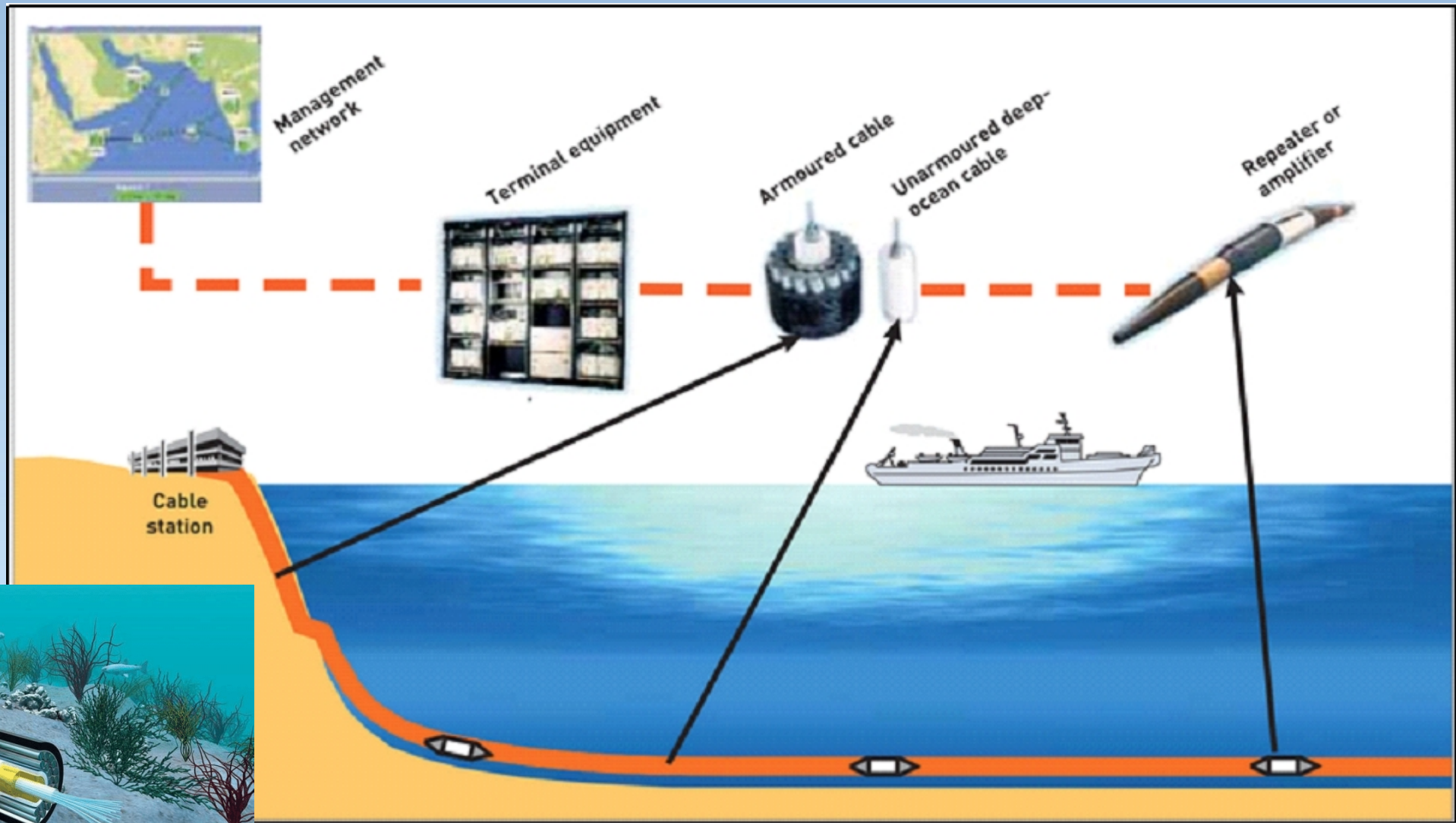
7POS1 - Prednáška 7 - RNDr. Matej Zuzčák, Ph.D.

10101010101
0101010
01010011
01010101010101

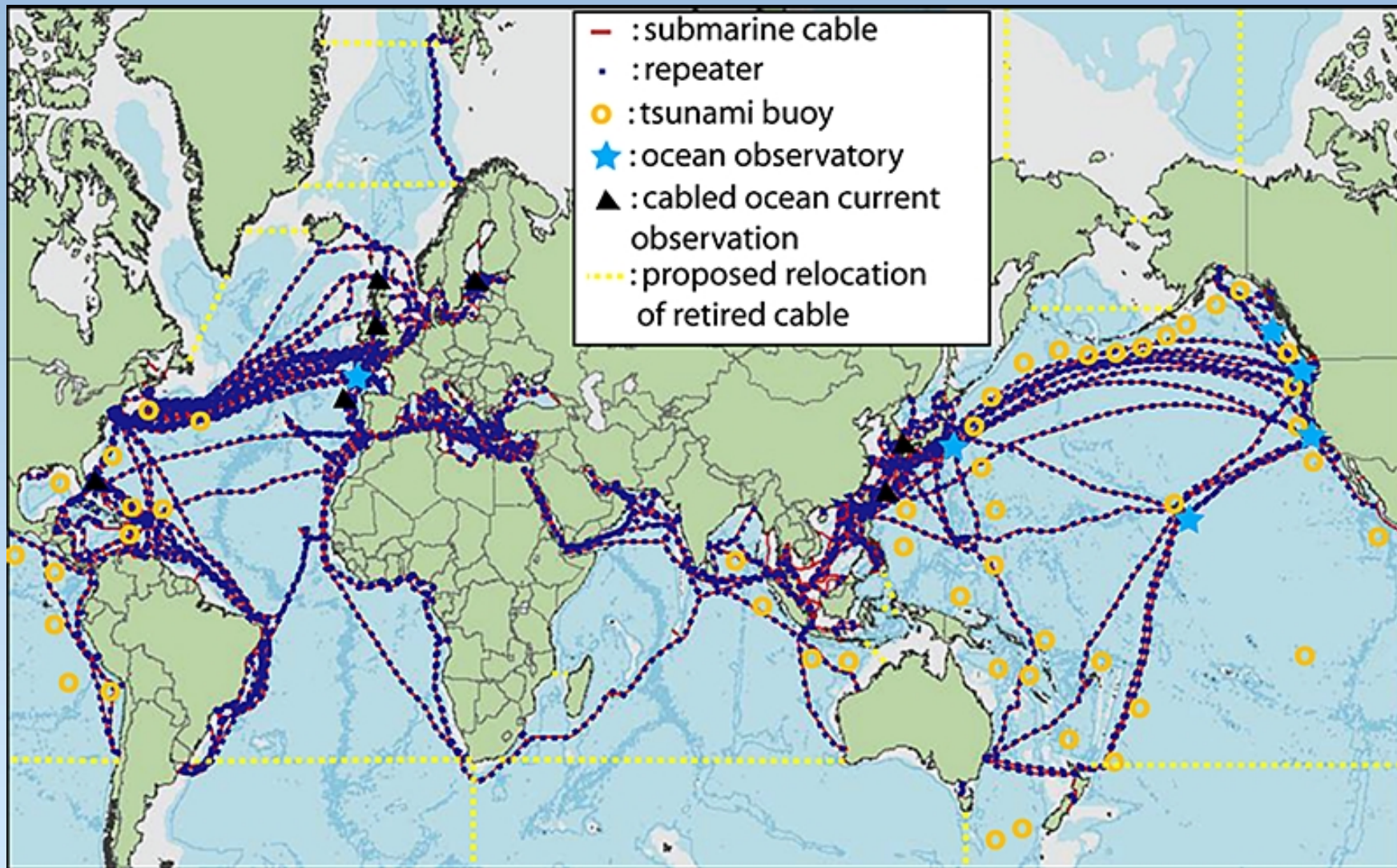
11110001010101010101010
1110010101001
1010101
01011111100
01010101010101
111001111

11110001010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
0101010

Podmorské telekomunikačné optické káble (2)



Podmorské telekomunikační optické káble (3)



1111000101010101010101010
1110010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101

1111000101010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
0101010

7POS1 Prednáška 7 - RNDr. Matej Zuzčák, Ph.D.

101110101011010
10101010101
01010101010
01011111100
01010101010101
111001111

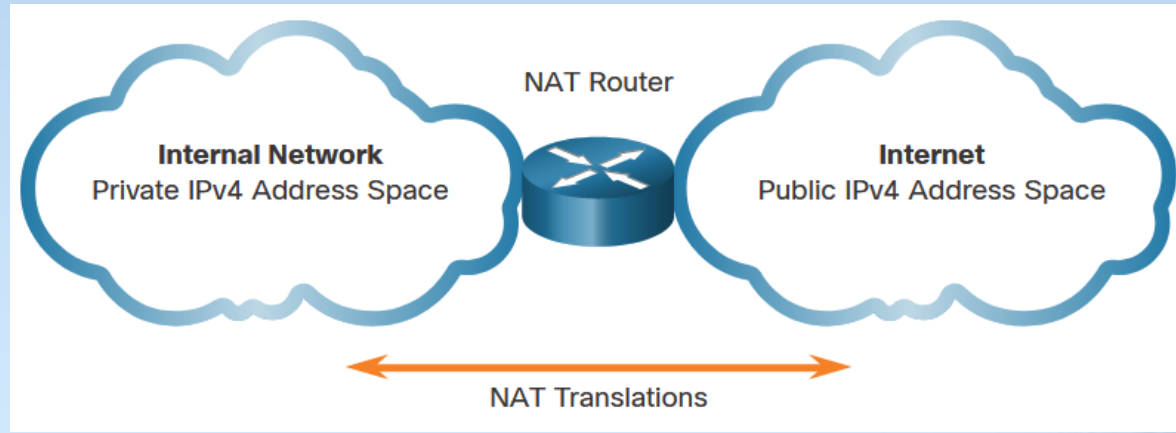
10101010101
0101010
01010011
01010101010101

1111000101010101010101010
1110010101001
1010101
01011111100
01010101010101
111001111

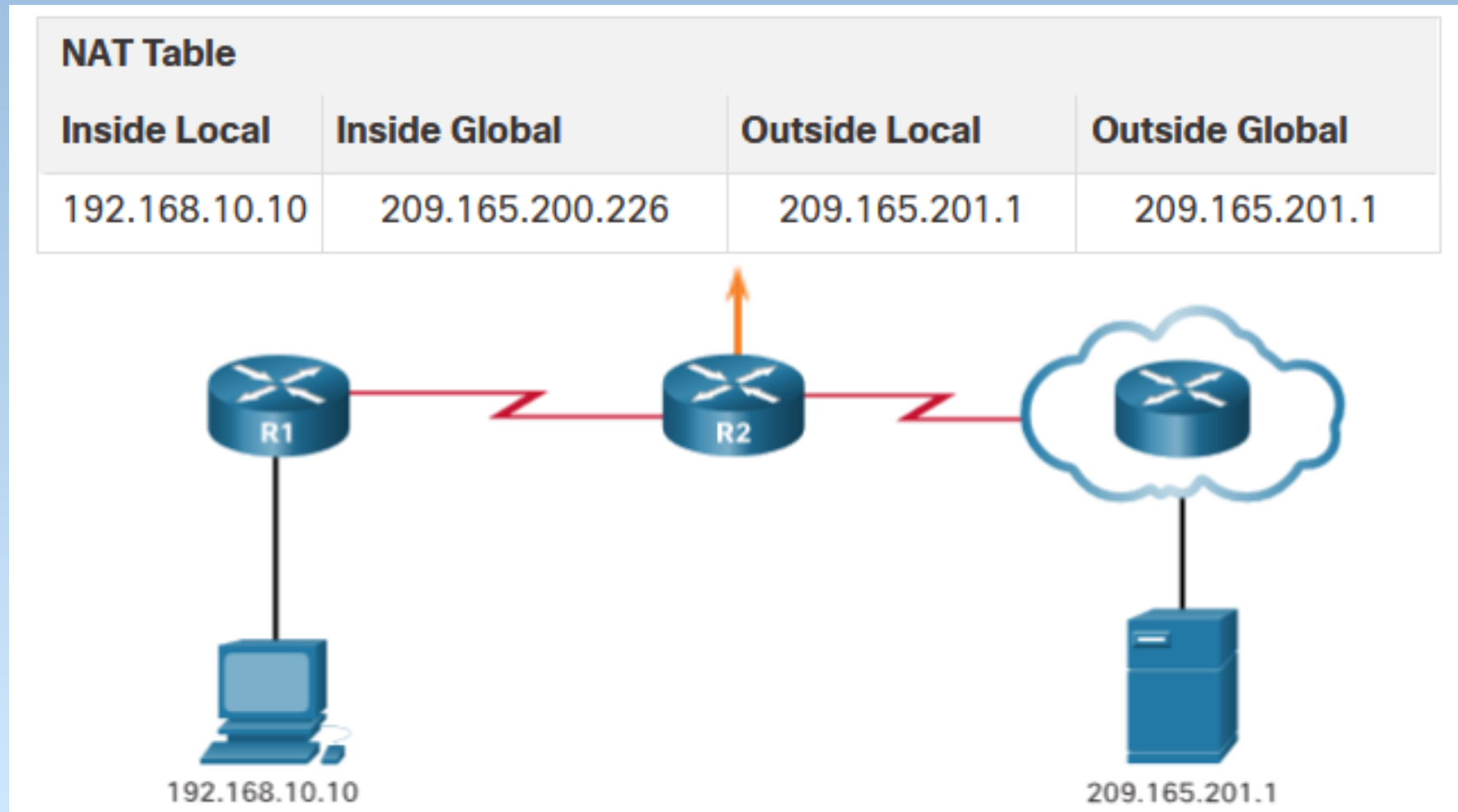
1111000101010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
0101010

NAT

- Network Address Translation.
- Pomáha riešiť nedostatok IPv4 adresy.
- Bezpečnostné výhody? - DMZ, NAT Traversal (STUN, TURN...)
- Problémy?
- Modifikuje IP paket - adresy, prepočítava i pseudohlavičky.

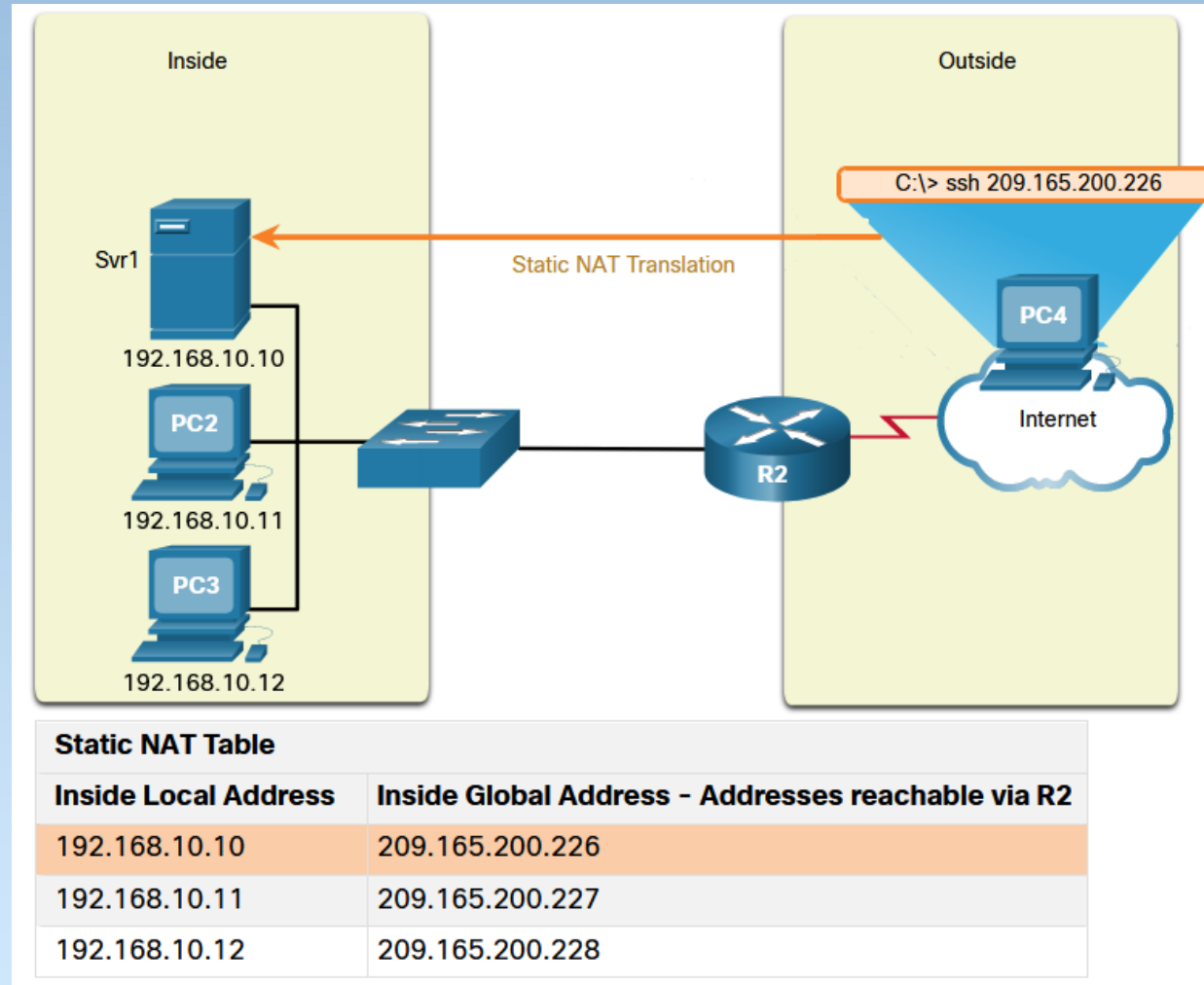


Základný princíp NATu



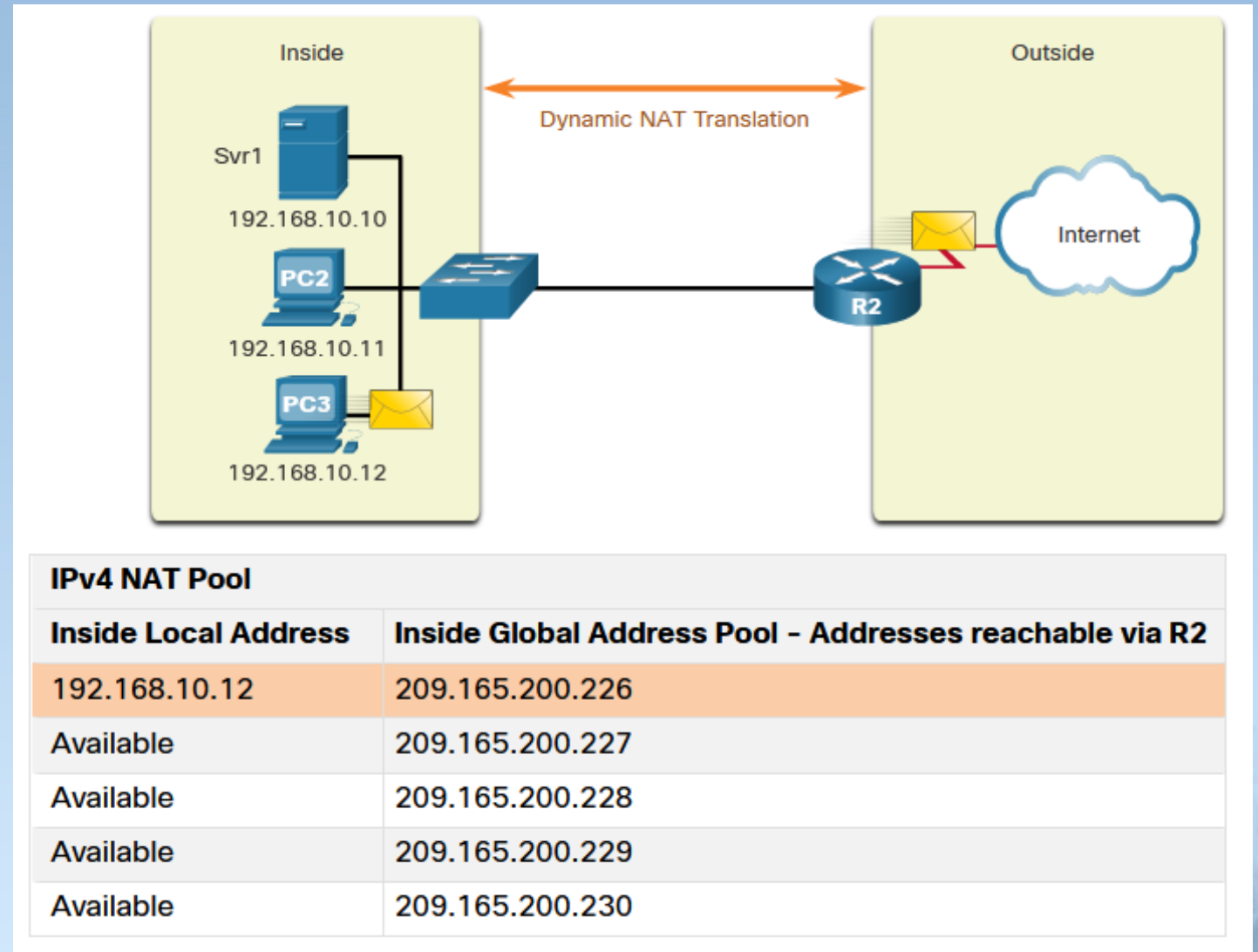
Statický NAT

- Kardinalita 1:1.



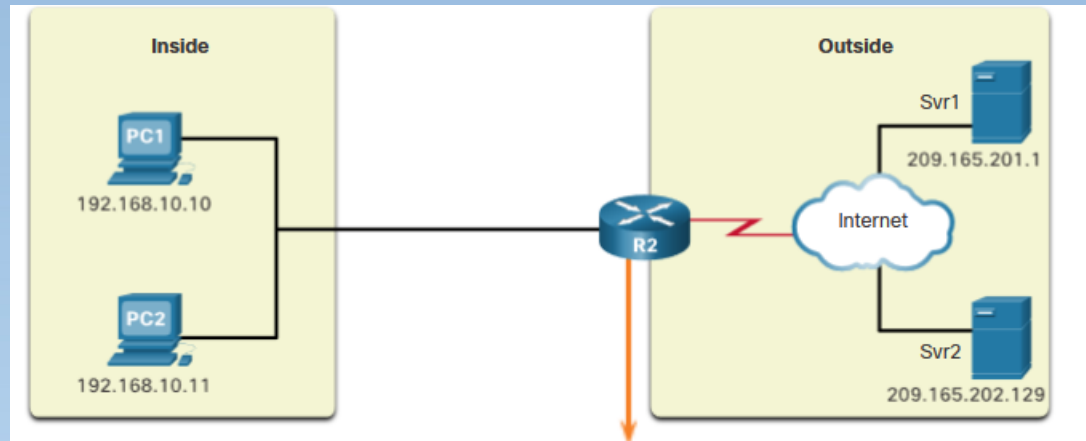
Dynamický NAT

- Kardinalita N:N.
- Dynamicky alokované verejné IP adresy z poolu.
- Šetríme IP adresy, ktoré práve nemusia byť využité.



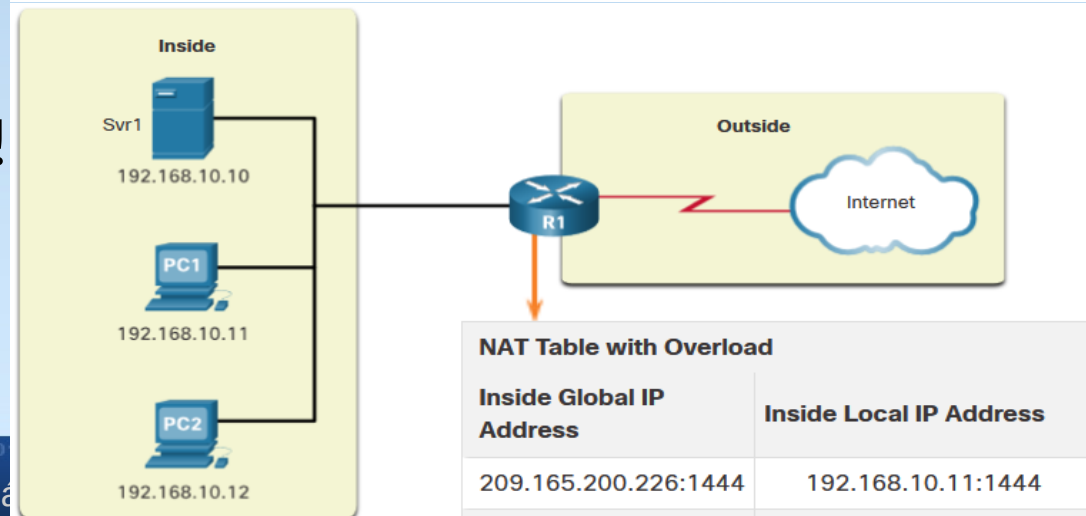
PAT/Masquerade

- Port Address Translation/Masquerade.
- Kardinalita N:1.
 - Alebo menej často N:M, kde $1 \leq M < N$
 - Máme pridelený verejný adresný rozsah (m), kde počet verejných adries je menší ako počet privátnych IP adries (n), za NAT.
 - Mapujeme viaceré privátne IP adresy na viaceré verejné, ale musíme rozlišovať komunikácie portom.
- Spojenia sú identifikované na transportnej vrstve s využitím portov. Väzba po čase expiruje!
- Pozor na protokoly ako ICMP (Query ID)...



NAT Table with Overload

Inside Local IP Address	Inside Global IP Address	Outside Local IP Address	Outside Global IP Address
192.168.10.10:1555	209.165.200.226:1555	209.165.201.1:80	209.165.201.1:80
192.168.10.11:1331	209.165.200.226:1331	209.165.202.129:80	209.165.202.129:80

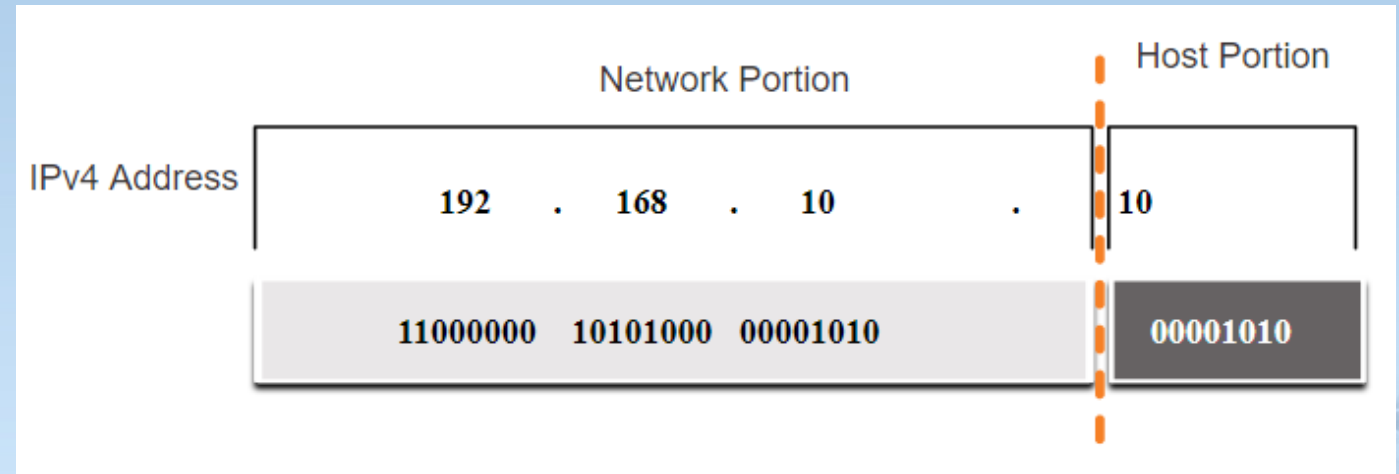
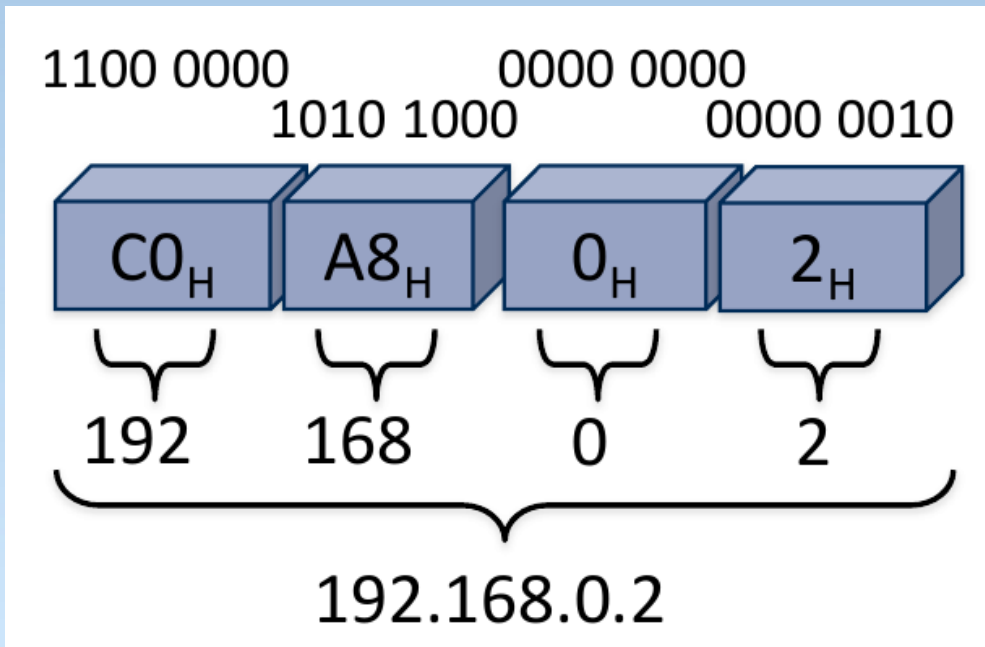


NAT Table with Overload

Inside Global IP Address	Inside Local IP Address
209.165.200.226:1444	192.168.10.11:1444
209.165.200.226:1445	192.168.10.12:1444

IPv4 adresy

- Dĺžka 32 b – 4 B – delenie na 4 oktety.
- Skladajú sa z dvoch častí: sieťová a hostiteľská – dĺžku častí určuje sieťová maska (subnet mask).



11110001010101010101010101010101
1110010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101

11110001010101010101010101010101
1110010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
0101011010101
0101010

7POS1 - Prednáška 7 - RNDr. Matej Zuzčák, Ph.D.

101110101011010
10101010101
0101010
0101
0101111100
01010101010101
111001111

10101010101
0101010
01010011
01010101010101

11110001010101010101010101010101
1110010101001
1010101
0101111100
01010101010101
111001111

11110001010101010101010101010101
1110010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
0101010

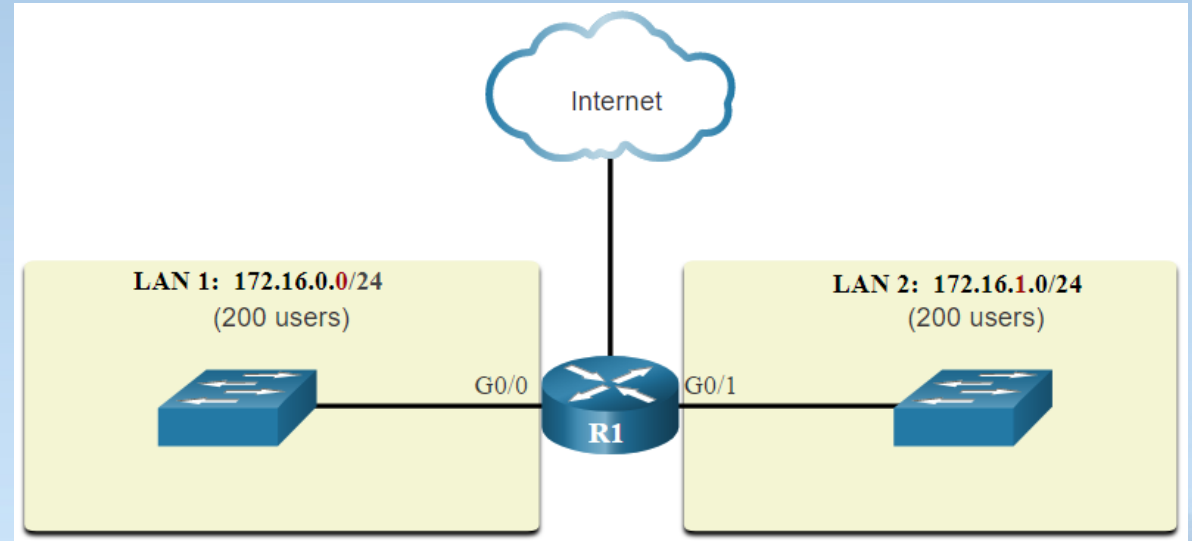
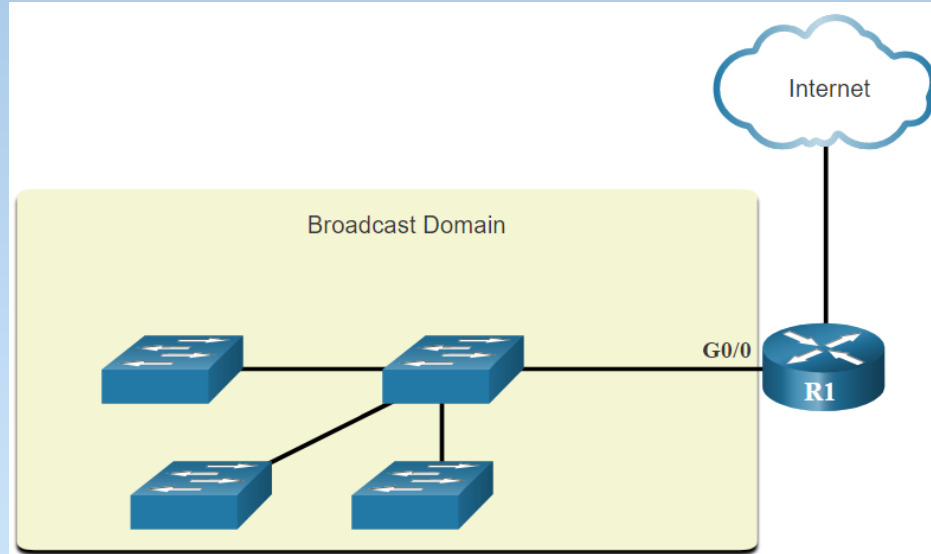
IPv4 adresy (2)

- Sieťová maska môže byť zapísaná:
 - V plnom formáte vyjadrená desiatkovo/binárne.
 - Dĺžkou prefixu tzv. slash formát.

Subnet Mask	32-bit Address	Prefix Length
255.0.0.0	11111111.00000000.00000000.00000000	/8
255.255.0.0	11111111.11111111.00000000.00000000	/16
255.255.255.0	11111111.11111111.11111111.00000000	/24
255.255.255.128	11111111.11111111.11111111.10000000	/25
255.255.255.192	11111111.11111111.11111111.11000000	/26
255.255.255.224	11111111.11111111.11111111.11100000	/27
255.255.255.240	11111111.11111111.11111111.11110000	/28
255.255.255.248	11111111.11111111.11111111.11111000	/29
255.255.255.252	11111111.11111111.11111111.11111100	/30

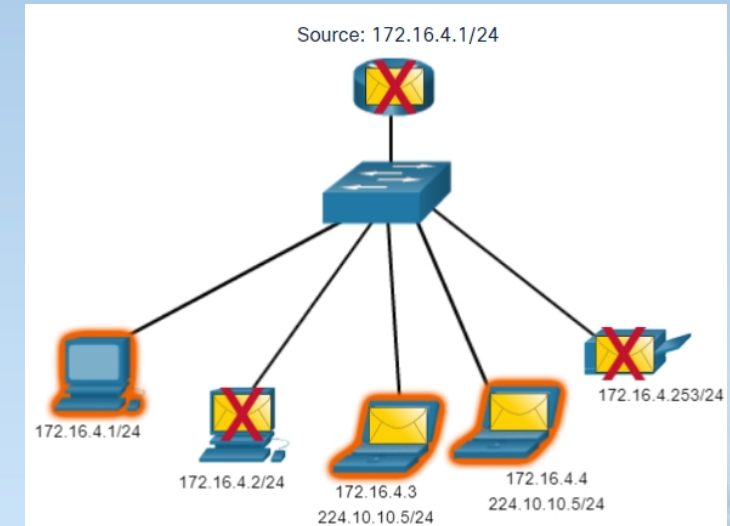
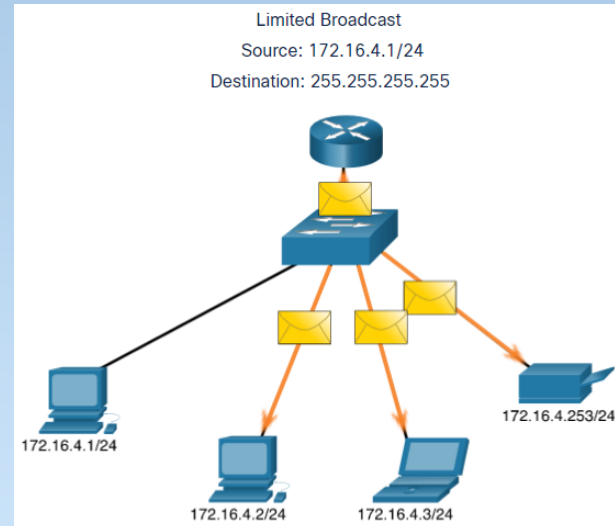
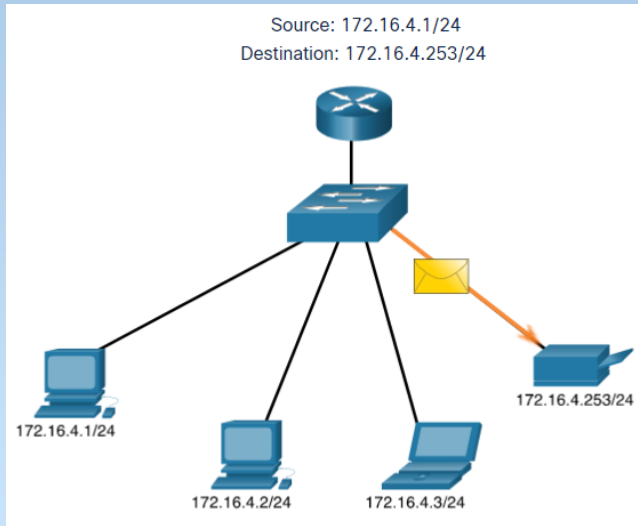
Segmentácia siete

- Broadcastová doména.
- Problémy veľkých broadcastových domén.
- Subsietovanie - subnetting.



Základné delenie IPv4 adries

- Unicast.
- Multicast – vyhradený rozsah trieda D (224.0.0.0 - 239.0.0.0).
- Broadcast.



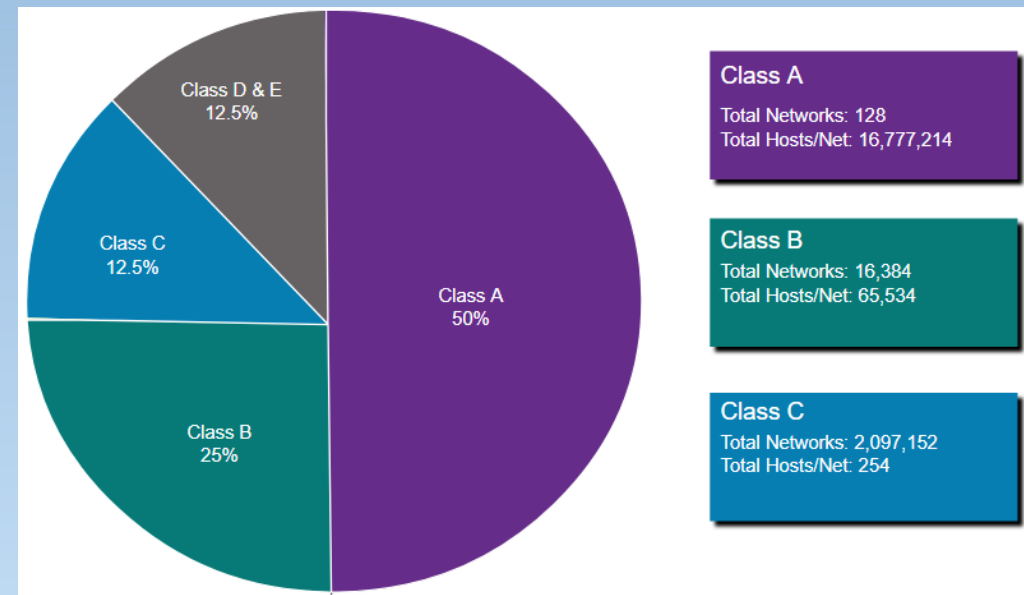
Základné delenie IPv4 adries (2)

- Vyhradené IP adresy (ne je možné smerovať v rámci internetu):
 - Loopback (localhost)
 - 127.0.0.0/8 (Najčastejšie 127.0.0.1).
 - Automatic Private IP Addressing (APIPA) napr. pri nedostupnosti DHCP serveru.
 - 169.254.0.0/16
 - Privátne (RFC 1918):
 - 10.0.0.0/8,
 - 172.16.0.0-172.31.255.255 (172.16.0.0/12),
 - 192.168.0.0-192.168.255.255 (192.168.0.0/16).

Základné delenie IPv4 adries (3)

- Podľa RFC 790 (1981) na triedy špecifikované prvým oktetom (classful).

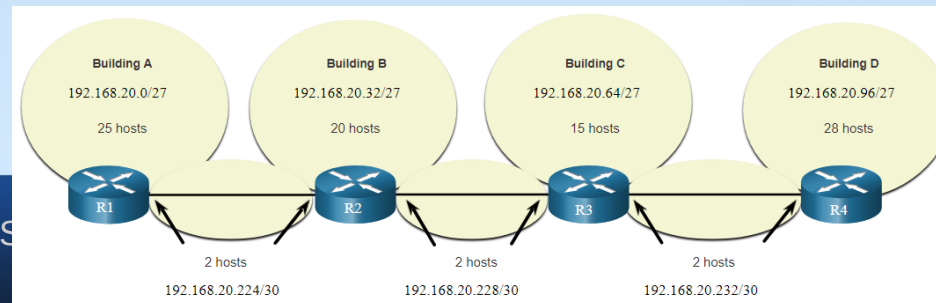
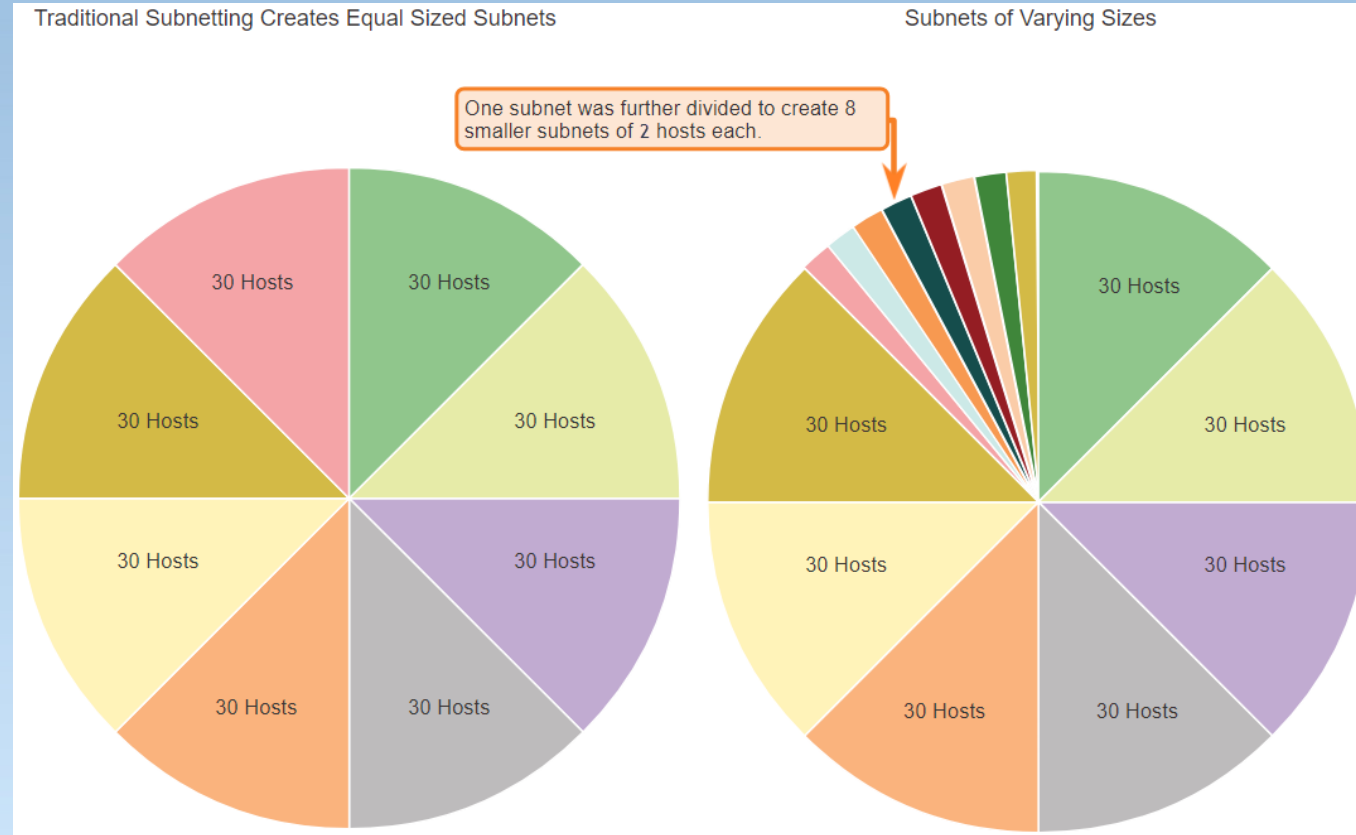
- Class A (0.0.0.0/8 - 127.0.0.0/8)
- Class B (128.0.0.0 /16 – 191.255.0.0 /16)
- Class C (192.0.0.0 /24 – 223.255.255.0 /24)
- Class D (224.0.0.0 - 239.0.0.0) - multicast
- Class E (240.0.0.0 – 255.0.0.0) - experimentálne



- Nevýhoda pri subnetingu je vysoký „odpad“ nevyužitých IP adries.
- V súčasnosti je classful adresovanie pre subneting nahradené classless princípom, kedy sú z časti ignorované pravidlá pre zadelenie do tried A,B,C.

Variable Length Subnet Masking (VLSM), CIDR

- CIDR - Classless Inter-Domain Routing.



Zhrnutie – čo musíte vedieť (minimálny štandard)

- Princíp: IP routing, IP forwarding, NAT.
- Určenie, či sa cieľ nachádza na LAN/mimo LAN.
- Smerovacia tabuľka.
- Základný princíp smerovania: statické, dynamické.
- Autonómne systémy a peering.
- NAT – základný princíp a 3 základné typy: statický, dynamický, PAT.
- IPv4 adresy, sieťová maska, subnety.
- Subneting noVLSM, VLSM – cvičenia.

11110001010101010101010
1110010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101

11110001010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
010101101010111111100
0101010

7POS1 - Prednáška 7 - RNDr. Matej Zuzčák, Ph.D.

101110101011010
10101010101
0101010101010101010
0101010101010101010
01011111100
0101010101010101
111001111

10101010101
0101010
01010011
0101010101010101

11110001010101010101010
1110010101001
1010101
01011111100
01010101010101
111001111

11110001010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101011010
10101010101
0101010

Záver

Ďakujem za pozornosť.
Otázky?

matej.zuzcak@osu.cz

11110001010101010101010
1110010101001
110100011010
101110101011010
10101010101
010101101010111111100
0101

11110001010101010101010
111001010101001
1101000110101010
101110101010101010
10101010101
0101010

7POS1 - Prednáška 7 - RNDr. Matej Zuzčák, Ph.D.

101110101011010
10101010101
0101010101010101010
0101
01011111100
01010101010101
111001111

10101010101
0101010
01010011
01010101010101

11110001010101010101010
1110010101001
1010101
01011111100
01010101010101
111001111

11110001010101010101010
111001010101001
1101000110101010
1011101010101010101
10101010101
0101010