

Rodina protokolů TCP/IP verze 3

Téma 7: IP adresy verze 6

Jiří Peterka

- hrozba vyčerpání adresového prostoru IPv4 adres se poprvé objevila cca v roce 1990
 - dočasná opatření (hlavně CIDR a privátní IP adresy) oddálila skutečné vyčerpání
 - zejména komerční sféra nemá až tak velkou motivaci k přechodu na IPv6
 - 3.2.2011
 - IPv4 adresy došly na úrovni IANA
 - 14.9.2012
 - IPv4 došly v RIPE (Evropa, Rusko)
-

- důležité zjištění:
 - třída E IPv4 adres (určená pro rozšiřování) se pro rozšíření nedá reálně využít
 - rozšíření se musí udělat „jinak“
 - 32-bitové IPv4 adresy jsou v protokolu IP příliš „hluboce zakořeněny“
 - než aby se daly změnit (zvětšit, nahradit jinými adresami)

- proto:

- **bylo nutné vyvinout celý nový protokol IP** (protokol IPv6)
 - již s novými (128-bitovými) IP adresami
- a při té příležitosti byly změněny i některé vlastnosti původního protokolu IPv4

a s ním změnit řadu dalších protokolů, jako ICMP, DHCP, OSPF, RIP, ...

- kolem roku 1992 si IETF uvědomuje nebezpečí vyčerpání IPv4 adres
 - podle tehdejších propočtů mělo k vyčerpání dojít někdy mezi 2005 až 2011
- proto:
 - IAB iniciovala snahy o „trvalé řešení“ (vedle hledání dočasných řešení)
 - kvůli zmatkům s číslováním bylo zvoleno označení **IPng**
 - IP – The Next Generation (inspirováno TV seriálem Star Trek NG, 1987-94)
 - v roce 1992 internetová komunita vyzvána k předkládání návrhů na IPng
 - sešlo se cca 7 různých návrhů
 - v červenci 1994 vybrán jeden z návrhů, označen jako **IPv6**
 - upravený protokol SIPP (Simple Internet Protocol Plus), RFC 1710
 - původně předpokládal 64-bitové adresy, rozšířeny na 128-bitové
 - začínají další práce na rozpracování a implementaci IPv6
 - prosinec 1995: vychází první specifikace IPv6 (RFC 1883)
- terminologie:
 - jako IPng se označují všechny návrhy na nový protokol
 - jako IPv6 se označuje jeden konkrétní (výsledný) protokol



co bylo cílem (při vzniku IPv6)?

- nejenom zvětšit adresový prostor (ze 32 na 128 bitů), ale také:
 - změnit některé věci, které se ukázaly jako ne zcela optimální
 - přidat nové vlastnosti, které mohou být užitečné
- u IPv6 adres:
 - více úrovní hierarchie adres
 - pro lepší možnost agregace
 - zmenšování objemu směrovacích tabulek
 - snazší přidělování IPv6 adres
 - včetně možnosti autokonfigurace síťových uzlů
 - anycastové adresy
 - patří celé skupině uzlů
 - „ozve se“ vždy ten nejbližší
 - odstranění broadcast adres
 - a jejich náhrada multicastovými
- u protokolu IPv6
 - zjednodušení formátu IPv6 paketu
 - jiný význam položek hlavičky
 - jiná koncepce rozšiřujících hlaviček
 - povinná podpora multicastu
 - u IPv4 je dobrovolná
 - jiný přístup k fragmentaci
 - fragmentovat může jen odesílající uzel
 - zabudovaná podpora bezpečnosti
 - povinný IPSEC
 - podpora pro alokaci zdrojů a QoS
 - podpora mobility
 - možnost velkých paketů
 - tzv. jumbogramů (nevyužíváno)

- IPv6 používá poněkud odlišnou terminologii (oproti IPv4):
 - tomu, co IPv6 přenáší, se říká (spíše) **pakety** (než datagramy)
 - pracuje s obecným pojmem **uzel** (node)
 - koncový uzel (IPv4: host) je uzel, který neforwarduje „cizí“ pakety
 - takové, které mu nejsou explicitně adresovány
 - směrovač je uzel, který forwarduje „cizí“ pakety
- kompatibilita mezi IPv4 a IPv6
 - zpětná kompatibilita: **není !!**
 - zařízení IPv4 a IPv6 nejsou schopna vzájemně komunikovat přímo
 - i když existují možnosti jak „vnořit“ IPv4 adresy do IPv6 adres
- interoperabilita mezi IPv4 a IPv6
 - **je možná** (ale složitá)!!!
 - možné přístupy:
 - dual stack
 - každý uzel podporuje IPv4 i IPv6
 - je zapojen do sítě IPv4 i sítě IPv6
 - překlad
 - mezi IPv4 datagramy a IPv6 pakety
 - tunelování
 - pakety IPv6 jsou vkládány do IPv4 datagramů a přenášeny přes IPv4 síť

asi největší problém návrhu IPv6, komplikuje nástup IPv6

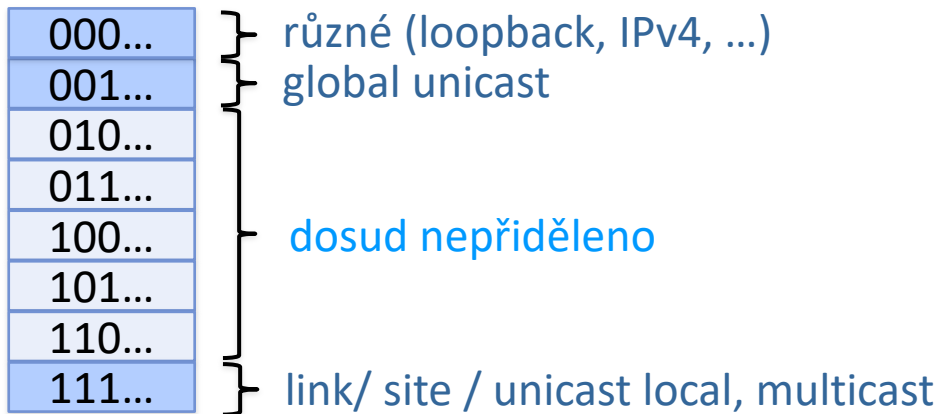
symbolický zápis IPv6 adres

- IPv4: zapisují se **po bytech**, každý byte je vyjádřen **dekadicky**
 - např. **192.168.1.2** odděluje se **tečkami** odděluje se **dvojtečkami** písmena se píší jako malá
- IPv6: zapisují se **po slovech** (16 b.), každé je vyjádřeno **hexadecimálně**
 - např. **805b:2d9d:dc28:0000:0000:fc57:d4c8:1fff** (8 „položek“ á 16 bitů)
- možnosti zkracování zápisu
 - leading zero suppressed
 - nulová slova se zkrátí na jedinou číslici
 - např.: **805b:2d9d:dc28:0:0:fc57:d4c8:1fff**
 - zero-compressed
 - nulová slova se zcela vynechají
 - např.: **805b:2d9d:dc28::fc57:d4c8:1fff**
 - lze použít nejvýše jednou v celé IPv6 adrese !!!
 - mixed notation
 - pro „vkládání“ IPv4 adres do IPv6
 - „embedded IPv4“
 - posledních 32 bitů se zapíše jako u IPv4
 - např. **::212.200.31.255**
- speciální IPv6 adresy
 - loopback
 - **0:0:0:0:0:0:0:1**, resp. **::1**
 - „unspecified address“
 - **0:0:0:0:0:0:0:0**, resp. **::**
 - embedded IPv4 adresy
 - začínají na **0:0:0:0:0:0**
 - multicastové adresy
 - začínají na **ff**
 - link/site local adresy
 - začínají na **fe**

druhy IPv6 adres

- existují 3 druhy IPv6 adres:

- **unicast** (individuální) adresy
 - identifikují vždy jedno síťové rozhraní, komunikace probíhá s tímto rozhraním
- **multicast** (skupinové) adresy:
 - identifikují (multicastovou) skupinu uzlů, komunikace probíhá se všemi uzly ve skupině
 - začínají vždy na **ff**
- **anycast** (výběrové) adresy:
 - identifikují skupinu uzlů, komunikace probíhá jen s jedním uzlem ve skupině



- další dělení IPv6 adres:

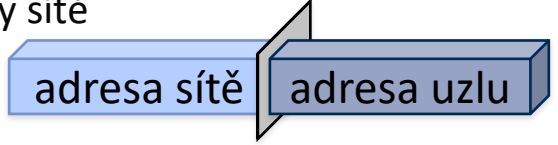
- **global unicast**
 - globální individuální adresy
 - veřejné IPv6 adresy, musí být unikátní v celém Internetu
- **local unicast** (unique local, ULA)
 - unikátní lokální adresy
 - individuální „privátní“ adresy, platné i pro více (pod)sítí
 - začínají na fc00
- **link local**
 - lokální linkové adresy
 - individuální „privátní“ adresy, platné jen pro danou (pod) síť
 - začínají na fe80
- **site local**
 - lokální místní adresy
 - nemají se již používat

globální individuální IPv6 adresy

- vychází z poněkud odlišné představy o směrování než IPv4 adresy

- u IPv4:

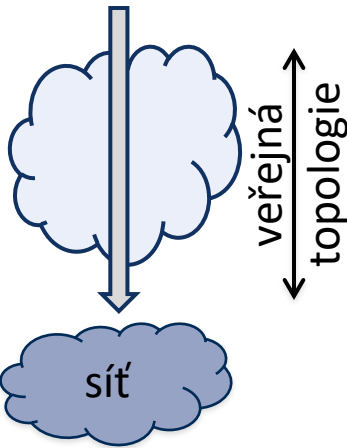
- „koncovým bodem“ pro (globální) směrování jsou **jednotlivé sítě**
 - tj. směrovací algoritmy (ve veřejném Internetu) hledají cesty až k jednotlivým sítím, podle adresy sítě



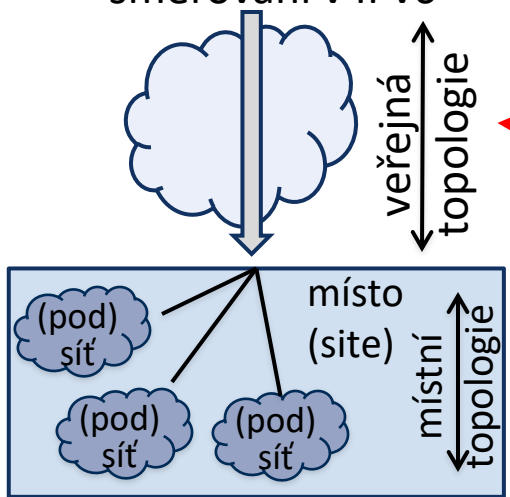
- proto:

- IPv4 adresy mají 2 logické složky
 - síťovou část (adresu sítě)
 - relativní část (adresu uzlu v rámci sítě)

směrování v IPv4



směrování v IPv6



- u IPv6:

- IPv6: „koncovým bodem“ pro (globální) směrování jsou **jednotlivá místa**
 - místo (anglicky: **site**) je skupina (pod)sítí pod jednou společnou správou (majitelem, uživatelem)
- tj. směrovací algoritmy (ve veřejném Internetu) hledají cesty jen k jednotlivým místům (sites)

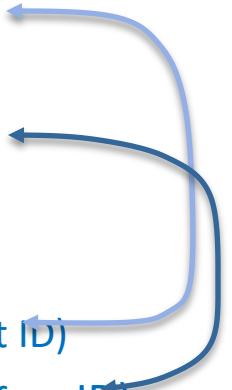
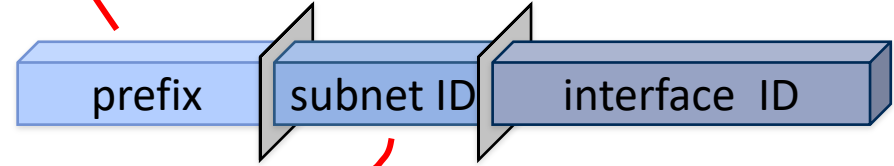
- v rámci veřejné topologie

- a dále si to řeší správce místa sám

- v rámci místní topologie

- proto:

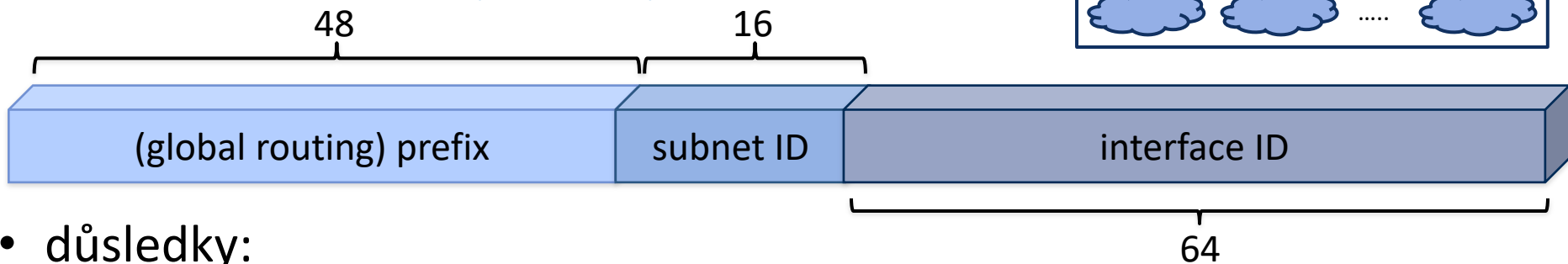
- IPv6 adresy mají 3 logické složky
 - (globální směrovací) prefix
 - identifikátor podsítě (subnet ID)
 - identifikátor rozhraní (interface ID)



globální individuální IPv6 adresy

- původně se předpokládalo, že struktura těchto adres bude pevná:

- (globální směrovací) prefix bude mít 48 bitů
- identifikátor podsítě (subnet ID) bude mít 16 bitů
- identifikátor rozhraní (interface) ID bude mít 64 bitů



- důsledky:

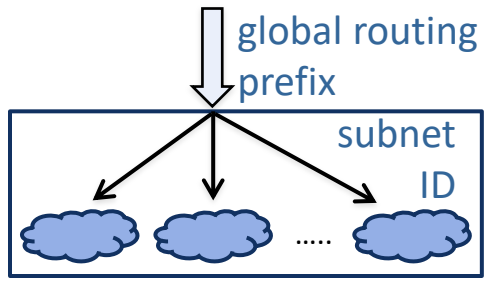
- každá jednotlivá (pod) síť může mít až $2^{64} = 18\,446\,744\,073\,709\,551\,616$ uzlů
- každý držitel (koncový uživatel) dostane pro své „místo“ blok, odpovídající CIDR prefixu 48 (CIDR blok /48)
 - pro adresování celých (pod)sítí v rámci svého místa (site) tak bude mít 16 bitů
 - tj. může rozlišit $2^{16} = 65536$ (pod)sítí

- názor:

- je to příliš „bohaté“, vede to na příliš velké plýtvání
 - koncovému uživateli nelze přidělit méně než blok /48

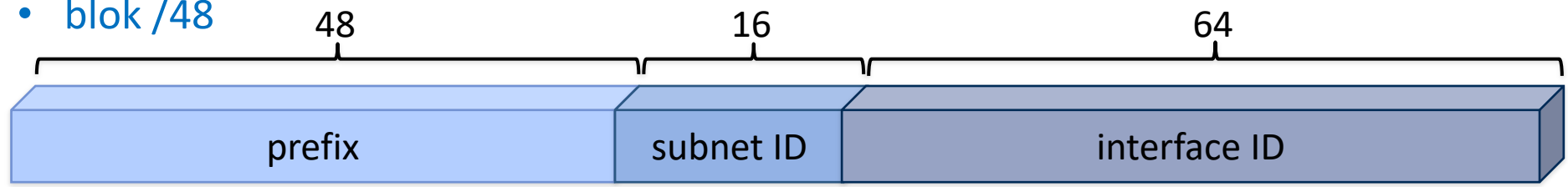
globální individuální IPv6 adresy

- dnes je realita poněkud odlišná:
 - interface ID má stále 64 bitů
 - musí mít, počítají s tím mechanismy autokonfigurace
 - ale: rozsah prefixu a identifikátoru podsítě může být různý

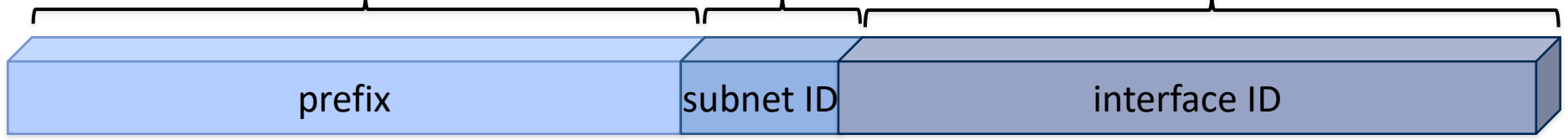


- koncový uživatel může dostávat (pro své místo):

- blok /48

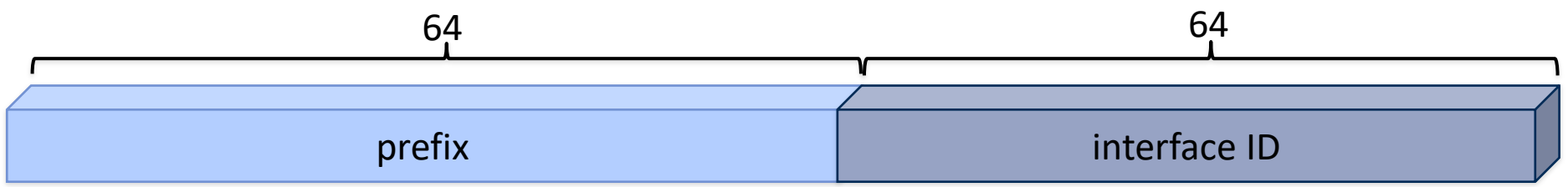


- blok /56

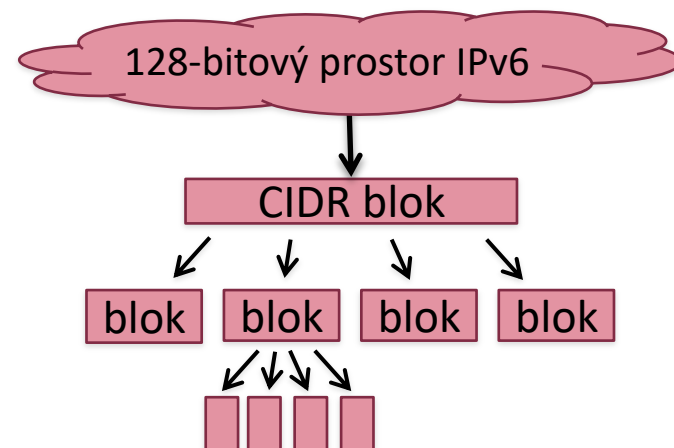
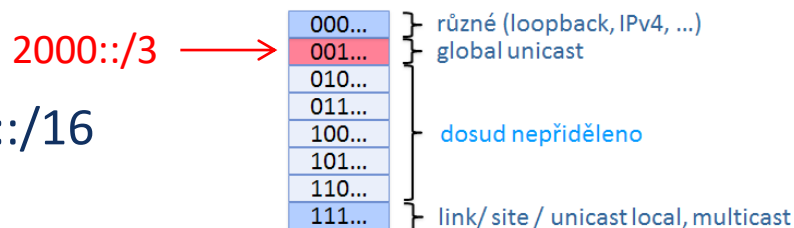


- blok /64

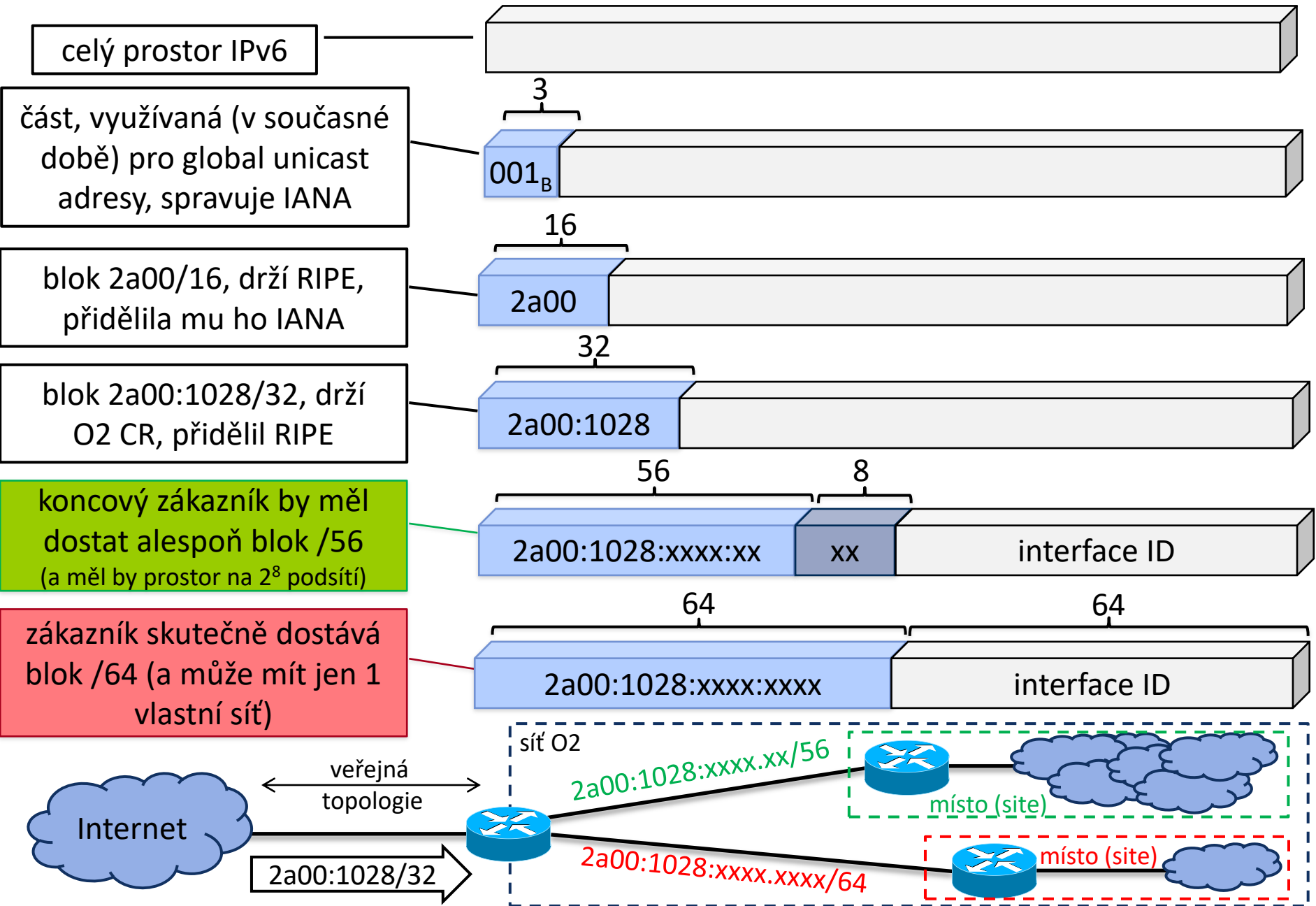
- ale jen tehdy, pokud je jisté, že **nebude potřebovat žádné (pod)sítě**



- zatím se přidělují jen z bloku, který začíná na 001
 - jde o blok 2000::
 - dosud se čerpá jen z jeho části: bloku 2001::
- musí být celosvětově unikátní
 - identifikují příslušný uzel (rozhraní) v rámci celého Internetu
- přidělují se podle stejných pravidel, jaká zavedl CIDR již u IPv4
 - tj. „vyšší“ přidělovatelé dostanou větší CIDR bloky
 - ty rozdělí na menší CIDR bloky a ty pak sami přidělují dál
- (obvyklá) praxe:
 - RIR dostávají bloky /16 (nebo menší)
 - např. RIPE, ARIN, APNIC,
 - LIR/ISP (např. O2, UPC apod.) dostávají:
 - napoprvé blok /32 (mohou ale získat i /29)
 - koncoví uživatelé dostávají (pro svá místa):
 - bloky /48, nebo /56 (případně i /64)



příklad přidělení IPv6 adres (O2 CR)



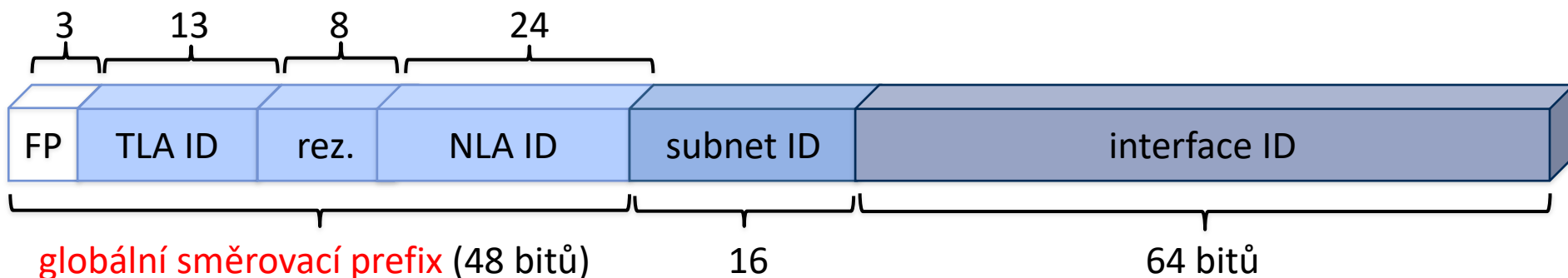
- RIPE: od IANA má přidělen blok
 - 2001:0600::/23
- CESNET: od RIPE má přidělen blok
 - 2001:0718::/35
 - ten je nejprve rozdělen podle měst
 - Praha/PASNET: 2001:0718:1e00::/42
 -
- PASNET: od CESNETu má blok
 - 2001:0718:1e00::/42
 - který rozděluje pražským subjektům
 - páteř: 2001:0718:1e00::/48
 - AV ČR: 2001:0718:1e03::/48
 - VŠE: 2001:0718:1e02::/48
 - CUNI: 2001:0718:1e03::/48
 - AVU: 2001:0718:1e04::/48
 -
- CUNI: od PASNETu má blok
 - 2001:0718:1e03::/48
 - který rozděluje podle pracovišť
 - RUK.CUNI: 2001:0718:1e03:100/56
 - MS.MFF: 2001:0718:1e03:800/56
 - kolej.MFF: 2001:0718:1e03:a00/56
 -
- MS.MFF: od CUNI má blok
 - 2001:0718:1e03:0800/56
 - který může rozdělit do 2^8 (pod)sítí
 - 2001:0718:1e03:0801/64
 - 2001:0718:1e03:0810/64
 -

koncové uzly:

- ksi.ms.mff.cuni.cz: 2001:0718:1e03:0801::80
- ns.kolej.mff.cuni.cz: 2001:0718:1e03:0a01::1

- původně (RFC 2374) se předpokládalo, že celý (globální směrovací) prefix bude mít pevnou strukturu:
 - TLA je Top Level Aggregator (v praxi: RIR, např. RIPE)
 - NLA je Next Level Aggregator (v praxi: LIR/ISP)

dnes už neplatí!!
představa opuštěna: RFC 3587

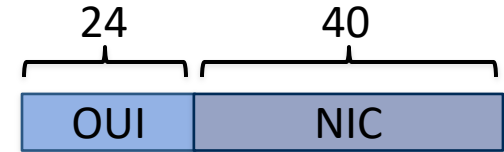


- důsledek:
 - koncoví držitelé („end sites“) by dostávali vždy jen bloky /48
 - a mohli by si vytvářet 2^{16} vlastních (pod)sítí
 - dnes: mohou dostávat bloky /48, /56, i bloky /64
 - bloky /64 by měli dostávat jen tehdy, pokud skutečně nepotřebují více (pod)sítí
 - LIR/ISP by dostávali bloky /24
 - dnes dostávají (napoprvé) bloky /32
 - a bloky /29 mohou dostat bez nutnosti zdůvodňovat potřebu

adresa rozhraní (interface ID)

- je pro ni vyhrazeno (pevně) 64 bitů
 - cíl: aby se sem dala snadno „promítnout“ HW adresa příslušného rozhraní
- formát: je převzat ze standardu IEEE EUI-64

- který rozlišuje mezi lokálními a globálními adresami !!!



- Extended Unique Identifier 64:

- 24 bitů OUI (Organizationally Unique Identifier, též: Company ID)

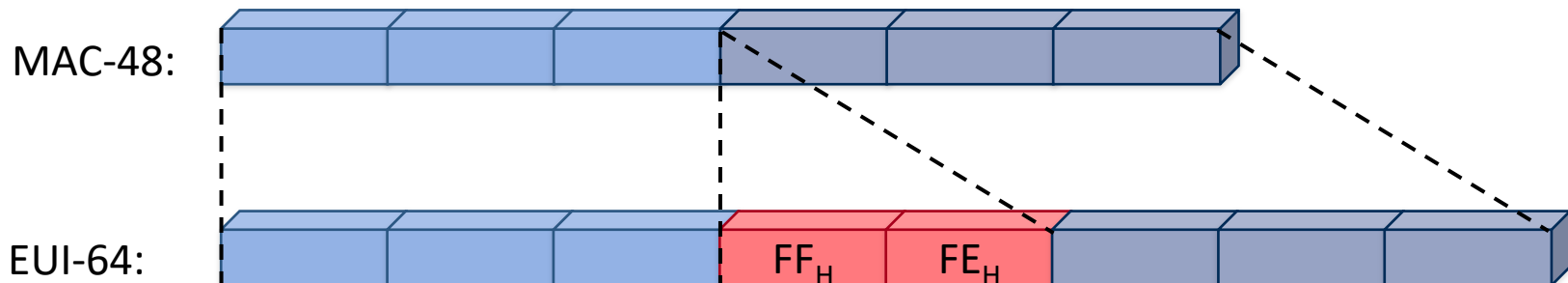


„g“ (group) bit: 0=unicast, 1=multicast

„u“ (unique) bit: 0=globaly unique, 1=local

- 40 bitů NIC (sériové číslo rozhraní)

- příklad: EUI-64 ze standardní MAC-48 (48-bitové ethernetové adresy)



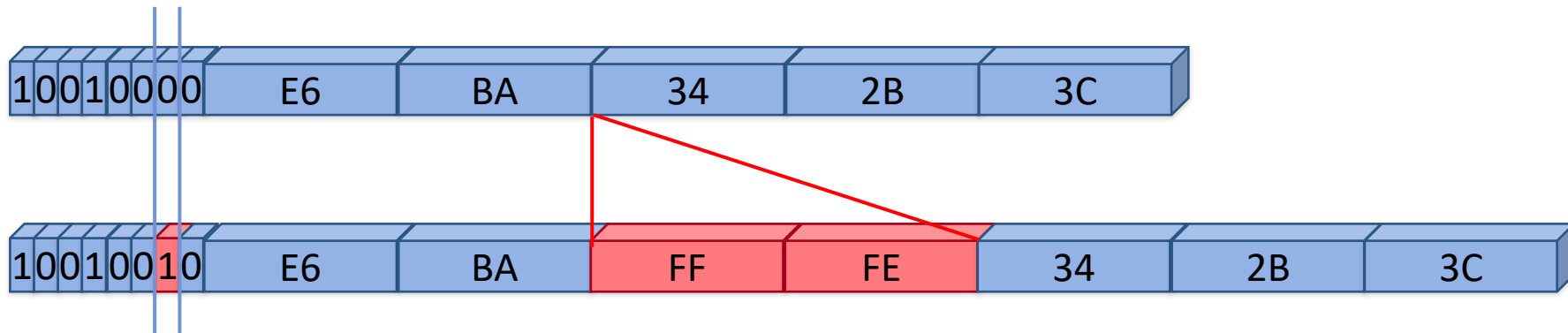
- pro IPv6 se ale používá modifikovaný EUI-64 formát !!!
- ve kterém je invertován „u“ bit v OUI (příznak lokálnosti/globálnosti)



EUI-64: „u“ (unique) bit: 0=globaly unique, 1=local

IPv6: „u“ (unique) bit: 0=local, 1=globaly unique

- důvod pro modifikaci:
 - aby lokální adresy (interface ID) mohly být jednoduché, například: 1, 2 apod.
 - hodí se pro situace, kdy jsou vytvářeny „ručně“
- příklad převodu:
 - z (MAC-48) **90-E6-BA-34-2B-3C** bude (IPv6 interface ID) **92-E6-BA-FF-FE-34-2B-3C**



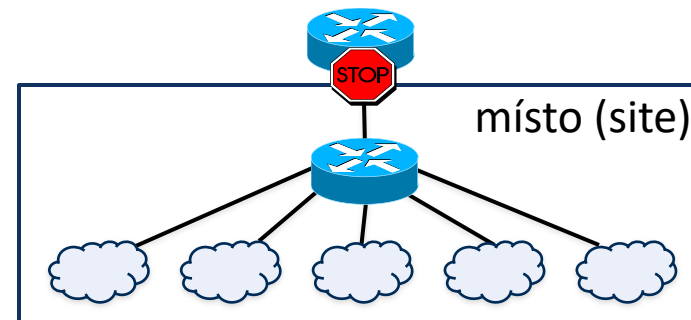
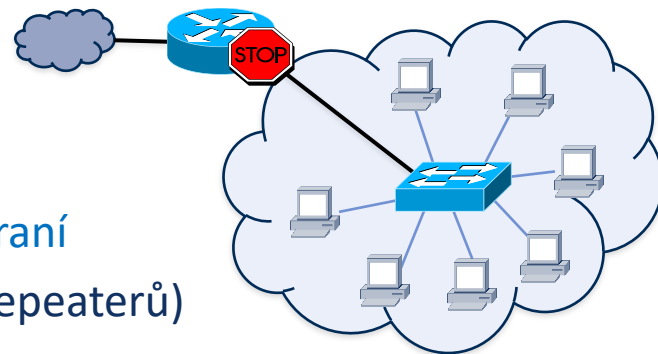
přidělování IPv6 adres

- možnost odvodit adresu rozhraní (interface ID) z HW (MAC) adresy je skutečně jen možností
 - **nikoli povinností !!!**
 - je určena pro situace, kdy má být celá IPv6 adresa přidělena automaticky
- (principiální) možnosti přidělování (celých) IPv6 adres
 - statická
 - někdo (správce) nastaví rozhraní celou jeho IPv6 adresu
 - adresu rozhraní (interface ID) zde obvykle volí nezávisle na HW (MAC) adrese
 - bezstavová (auto)konfigurace
 - uzel si sám přidělí celou IPv6 adresu pro své síťové rozhraní
 - zde obvykle odvodí adresu rozhraní (interface ID) z HW (MAC) adresy
 - stavová (auto)konfigurace
 - uzel dostane svou IPv6 adresu přidělenou od DHCPv6 serveru
 - zde záleží na tom, jak postupuje DHCP server (jak generuje adresu rozhraní)
- příklad:
 - `ksi.ms.mff.cuni.cz: 2001:718:1e03:801::80`
 - buďto statická konfigurace, nebo přiděleno od DHCP serveru

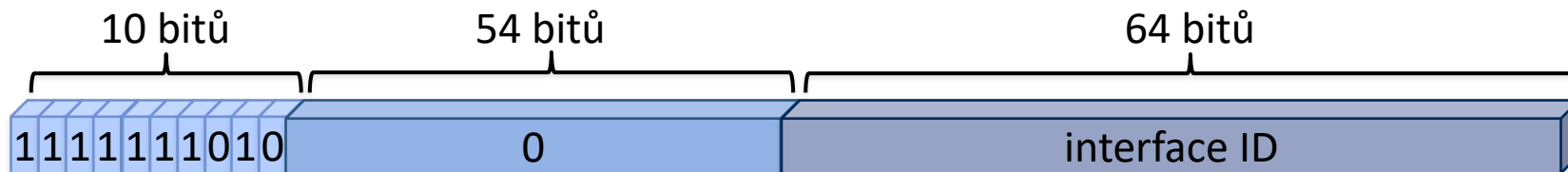
bit "u" je 0 (lokální adresa)

privátní adresy v IPv6

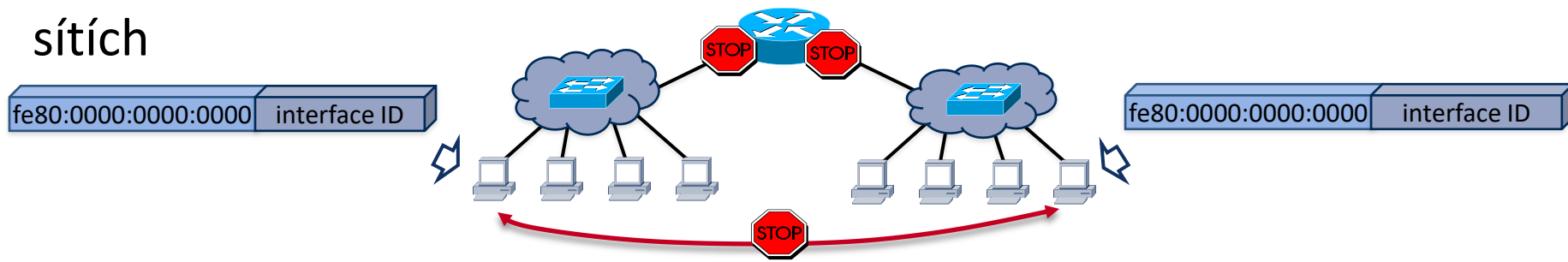
- IPv4: určité rozsahy IP adres byly (dodatečně) vyhrazeny k použití v roli lokálních IP adres
 - a musí být „odděleny“ od zbytku světa (pomocí NET či firewallů)
- IPv6: s privátními IP adresami počítá od začátku
 - a nevyžadují speciální „oddělení“ od zbytku světa (jako je NAT či firewall/proxy)
- koncept privátních IPv6 adres je navíc propracovanější a „jemnější“
- počítá se:
 - **s privátními adresami pro jednotlivé (pod)sítě**
 - platí vždy jen uvnitř dané sítě
 - pro uzly, propojené na úrovni vrstvy síťového rozhraní
 - pomocí přepínačů (switchů) nebo opakovačů (repeaterů)
 - „končí“ na nejbližším směrovači
 - nelze (není podle čeho) je šířit do dalších sítí
 - **s privátními adresami pro celá místa (sites)**
 - lze je využít ve všech (pod)sítích daného místa
 - ale nelze je šířit do veřejného Internetu



- jde o: **privátní IPv6 adresy pro jednotlivé (pod)sítě**
- začínají prefixem **fe80:: /10**

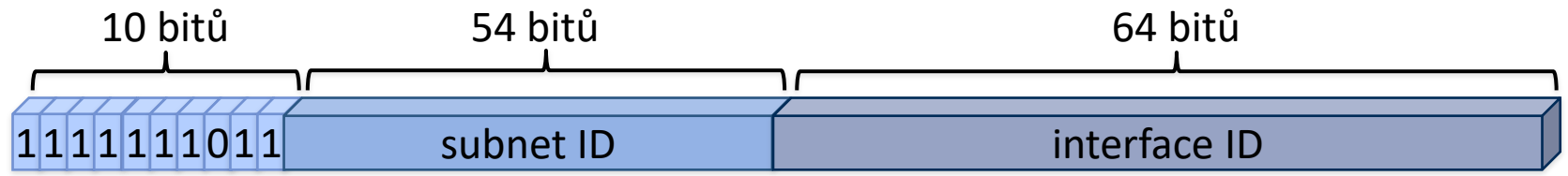


- a všechny směrovače vědí, že takovéto IPv6 adresy nemají směřovat
 - nemají je předávat do dalších sítí
 - ani nemají podle čeho – tyto „lokální linkové“ adresy jsou ve všech sítích stejné !!!
- princip využití:
 - uzel si může svou (lokální linkovou) IPv6 adresu přidělit sám
 - v rámci autokonfigurace
 - zná svou HW adresu, z ní vytvoří interface ID, a zleva přidá prefix fe80::/10
- stejná (linková lokální) IPv6 adresa může (musí) být použita v různých sítích

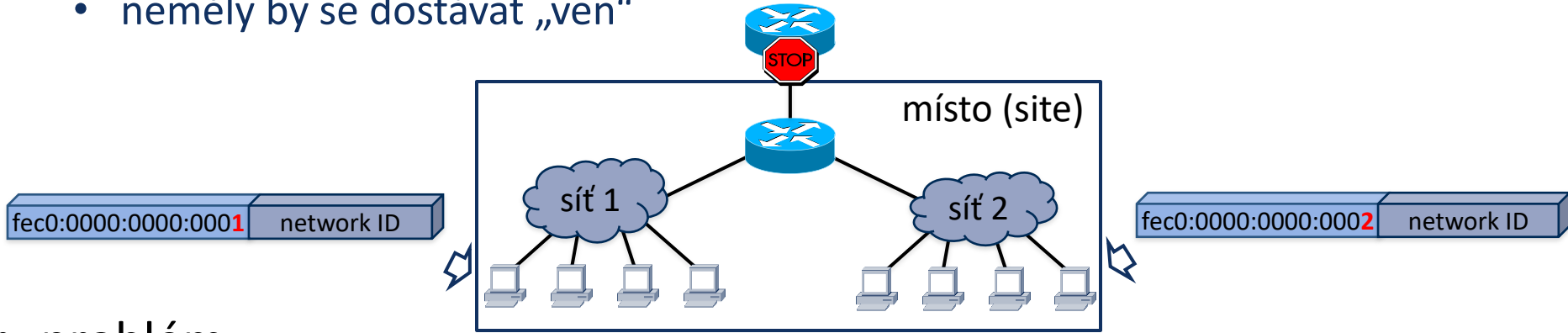


lokální místní IPv6 adresy (site local)

- jde o: **privátní IPv6 adresy pro všechny (pod)sítě v rámci místa (site)**
- začínají prefixem **fec0:: /10**

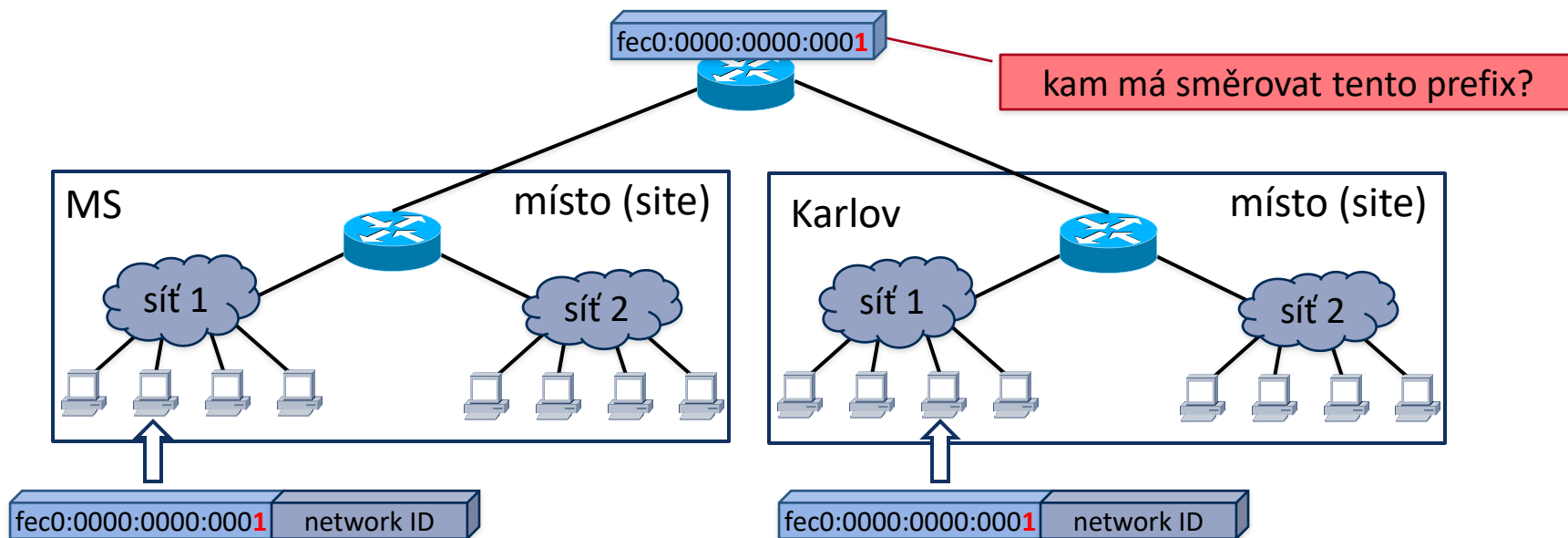


- směrovače v rámci místa (site) je směrují
- ale směrovače mimo dané místo nikoli
 - neměly by se dostávat „ven“



- problém:
 - definice „místa“ (site) je velmi vágní, může způsobovat problémy
 - co třeba lokality MFF UK (MS, Karlov, Karlín, Troja) – mají tvořit jedno místo?
- **důsledek: dnes se tento druh IPv6 adres nemá používat !!!! (RFC3879)**

- může nastat při „úniku“ lokálních místních adres mimo dané místo
- například při rozšíření místa, spojení dvou míst apod.
 - reálně hrozí, protože není úplně jasné, co vlastně je místo, jak má být velké atd.
- možný příklad:
 - propojení lokalit MFF UK (každé je místem) přes PASnet (metropolitní síť)



- příčina problému:
 - tyto adresy nijak neidentifikují (nerozlišují mezi sebou) jednotlivá místa
- řešení: nějak identifikovat (rozlišit) jednotlivá místa

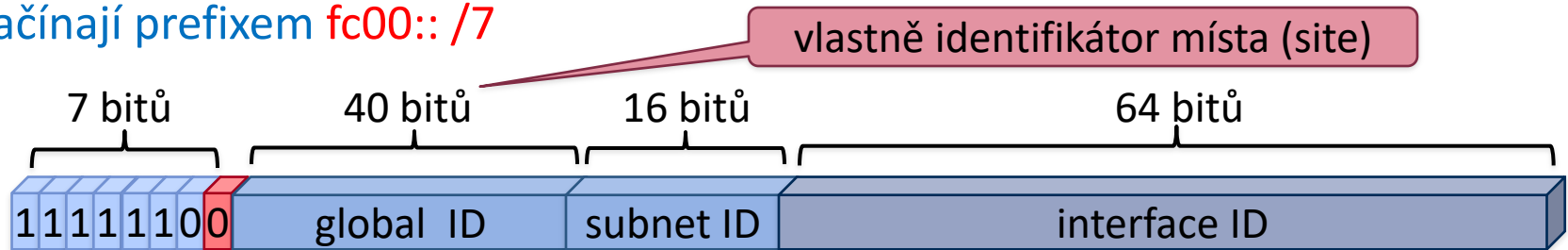
unikátní lokální adresy (ULA)

- jde o: **privátní IPv6 adresy pro všechny (pod)sítě v rámci místa (site)**

- ale současně s identifikací celého místa

- proto jsou tyto lokální adresy unikátní (Unique Local Address, ULA)

- začínají prefixem **fc00:: /7**



- každé místo může mít až 2^{16} různých (pod)sítí

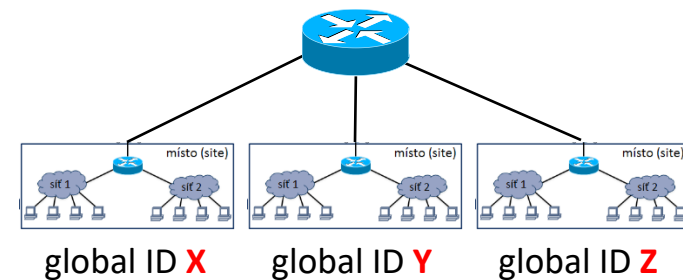
- identifikátor podsítě (subnet ID) má 16 bitů

- pro identifikaci místa (site) je vyhrazeno 40 bitů

- ale jak se bude global ID přiřazovat?

- možnosti:

1. náhodně: každé místo si samo a náhodně vygeneruje 40-bitový global ID



1

- pak eventuální kolize při „úniku“ je velmi málo pravděpodobná

- prvních 8 bitů je 1111 1101 (tj. fd00::/8)

2. nějak systematicky: někdo bude přidělovat a dbát na unikátnost

0

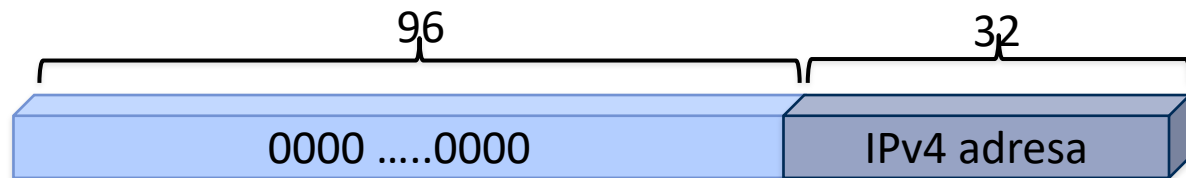
- prvních 8 bitů je 1111 1100 (tj. fc00::/8)

dnes se nepoužívá

- v některých situacích je zapotřebí pracovat ještě s IPv4 adresami
 - např. při koexistenci IPv4 a IPv6 sítí
- možnosti (jak z IPv4 adresy udělat IPv6 adresu):

- IPv4-kompatibilní adresy**

- už se nemají používat
 - dle RFC 4291

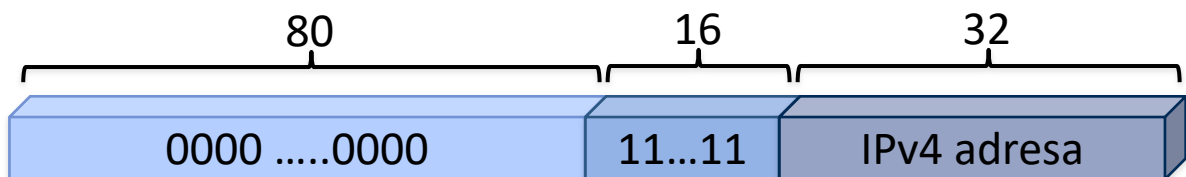


- zapisovaly se (např.) `::192.168.2.1` nebo `::c0a8:0201`

rozlišení D/H dáno ./:

- IPv4-mapované adresy**

- také se nemají používat
 - dle RFC 4291



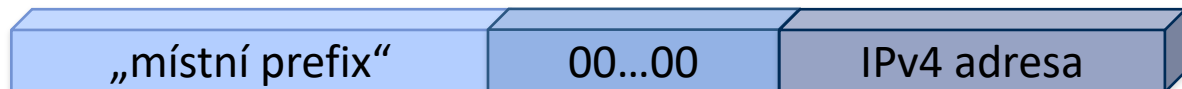
- zapisovaly se (např.) `::ffff:192.168.2.1` nebo `::ffff:c0a8:0201`

- vložené IPv4 adresy (IPv4 embedded, RFC 6052)**

- vyjde se z rozdělení 96:32 (prefix 96 bitů), a jako prefix se použije:

- prefix místní sítě

- doplněný nulami



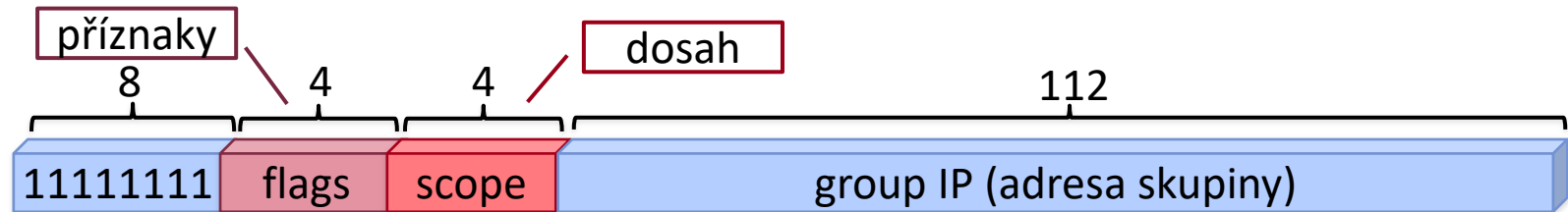
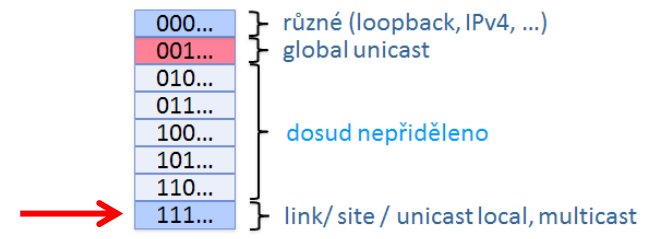
- „dobře známý“ prefix

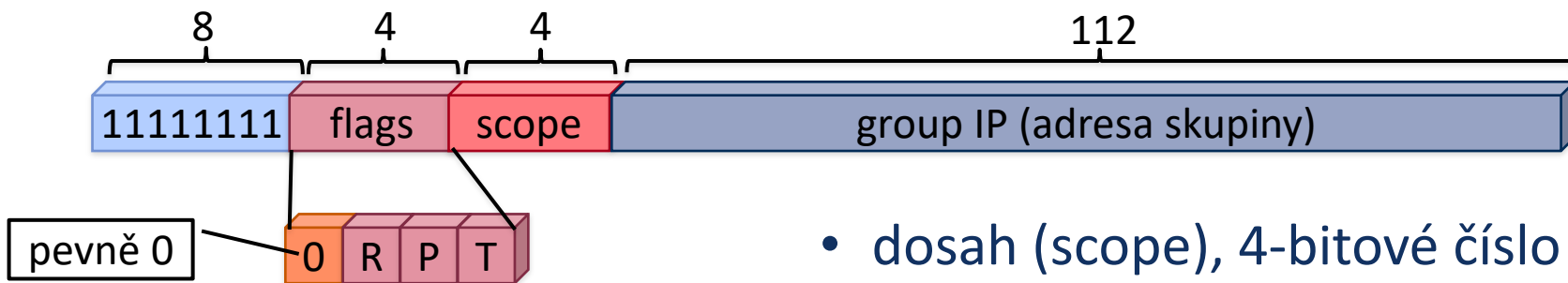
- `64:ff9b::/96`



skupinové (multicast) IPv6 adresy

- skupinové IPv6 adresy jsou přiřazovány z „posledního bloku“
 - a začínají vždy na ff::/8
- mají celou řadu „atributů“
 - mohou být
 - trvalé nebo dočasné (zřizované dynamicky)
 - mají vždy určitý dosah
 - mohou „platit“ v dosahu daného rozhraní | sítě | místa | organizace atd.
- nahrazují broadcast adresy
 - skrze (permanentní) skupinovou adresu, zahrnující všechny uzly
- mohou zahrnovat i informaci o „shromaždišti“
 - tzv. Rendezvous Point, přes který jsou data distribuována členům skupiny
- slouží i dalším účelům
 - například pro potřeby protokolu Neighbor Discovery (náhrada ARP v IPv6)





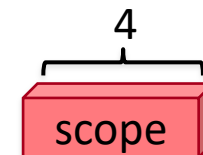
- příznaky (flags):

- **R: Rendezvous Point**
 - udává, zda adresa obsahuje informace o „shromaždišti“
- **P: Prefix based**
 - udává, zda jde o skupinovou adresu vytvořenou na základě prefixu
- **T: Transient**
 - udává, zda jde o trvalou (permanentní) skupinovou adresu
 - T=0: trvalá , definuje ji IANA/RFC
 - T=1: dočasná (transient)

ostatní hodnoty zatím nepřirazené/rezervované

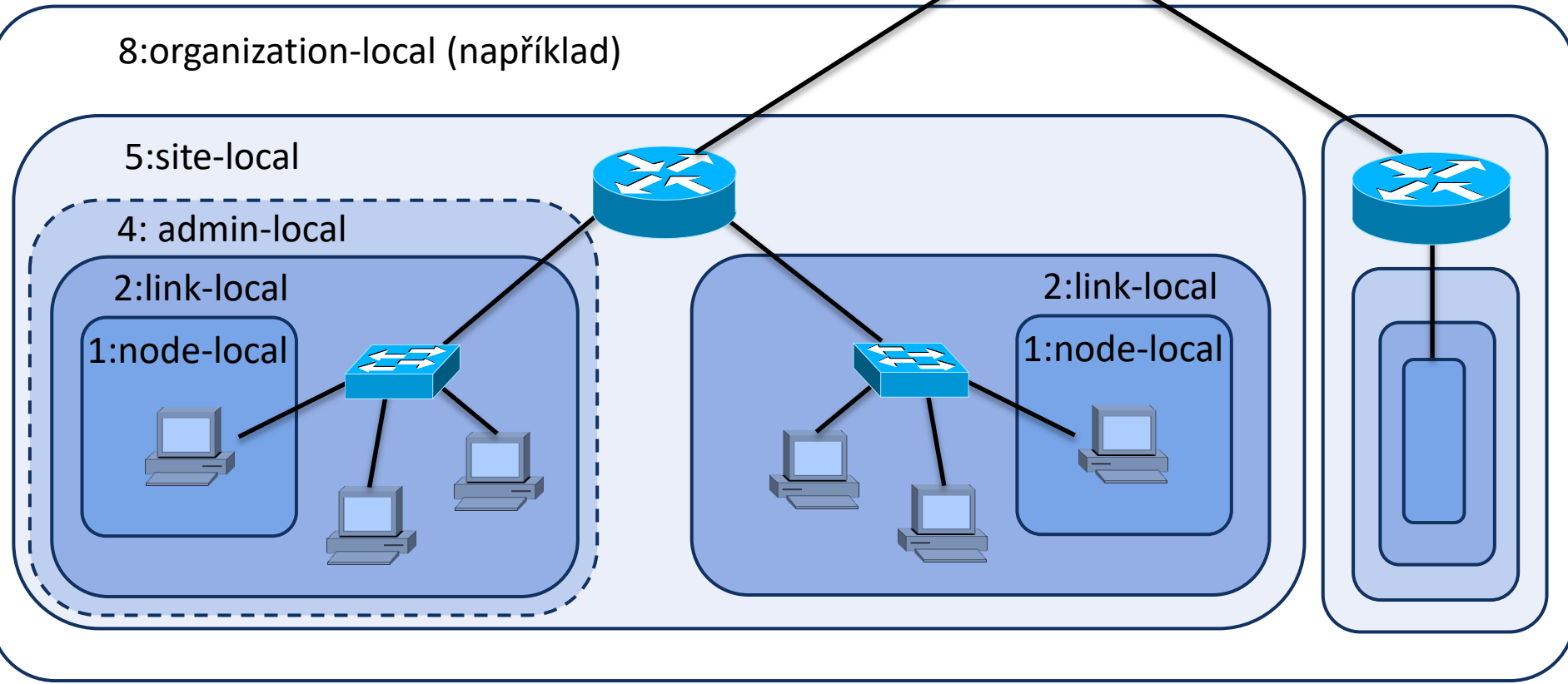
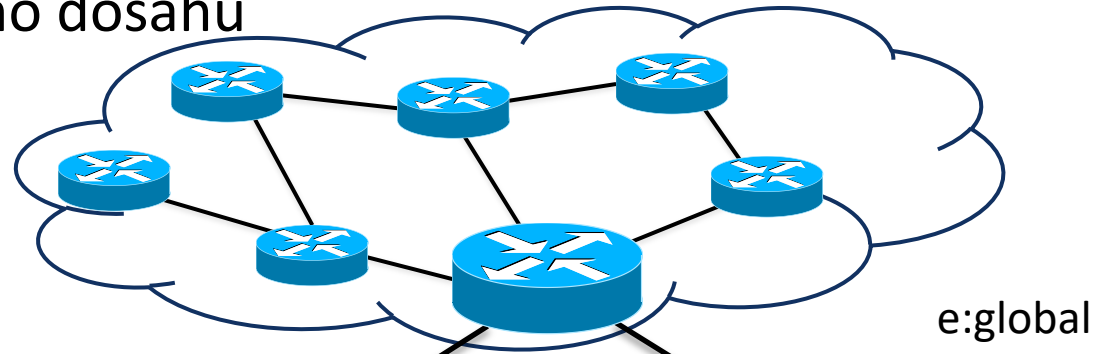
- dosah (scope), 4-bitové číslo

- 1: **node-local**
 - dosahem je daný uzel
- 2: **link-local**
 - dosahem je celá síť
 - vše, co je propojeno na linkové vrstvě
- 4: **admin-local**
 - dosah musí být nastaven správcem
- 5: **site-local**
 - dosahem je místo (site)
 - soustava sítí v daném místě
- 8: **organization-local**
 - dosah musí být nastaven správcem
- e: **global (celý Internet)**



dosah (scope) skupinových adres

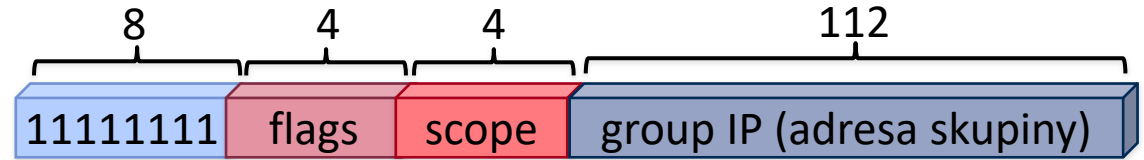
- jednotlivé oblasti stejného dosahu
 - tzv. **zóny**
- se nesmí překrývat
 - a musí být „konvexní“



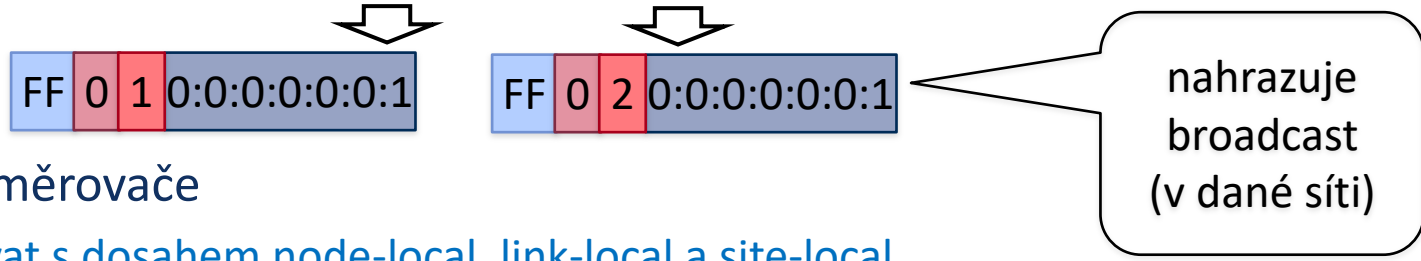
předdefinované skupinové adresy

- adresa skupiny (group ID)
 - pro trvalé skupiny (T=0) jsou definovány konkrétní hodnoty
 - některé lze kombinovat se všemi hodnotami dosahu (scope), jiné jen s některými

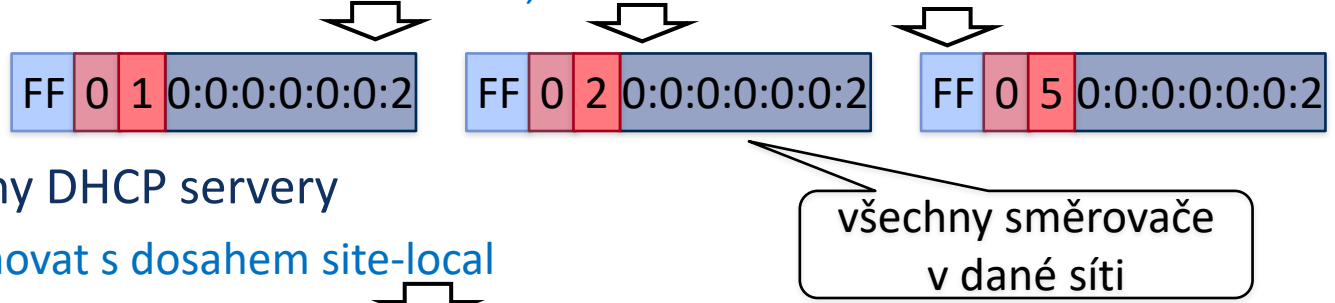
• příklady:



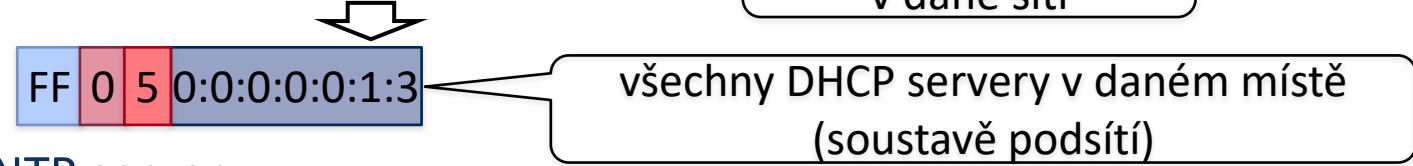
- ::1 všechny uzly
 - lze kombinovat s dosahem node-local a link-local



- ::2 všechny směrovače
 - lze kombinovat s dosahem node-local, link-local a site-local



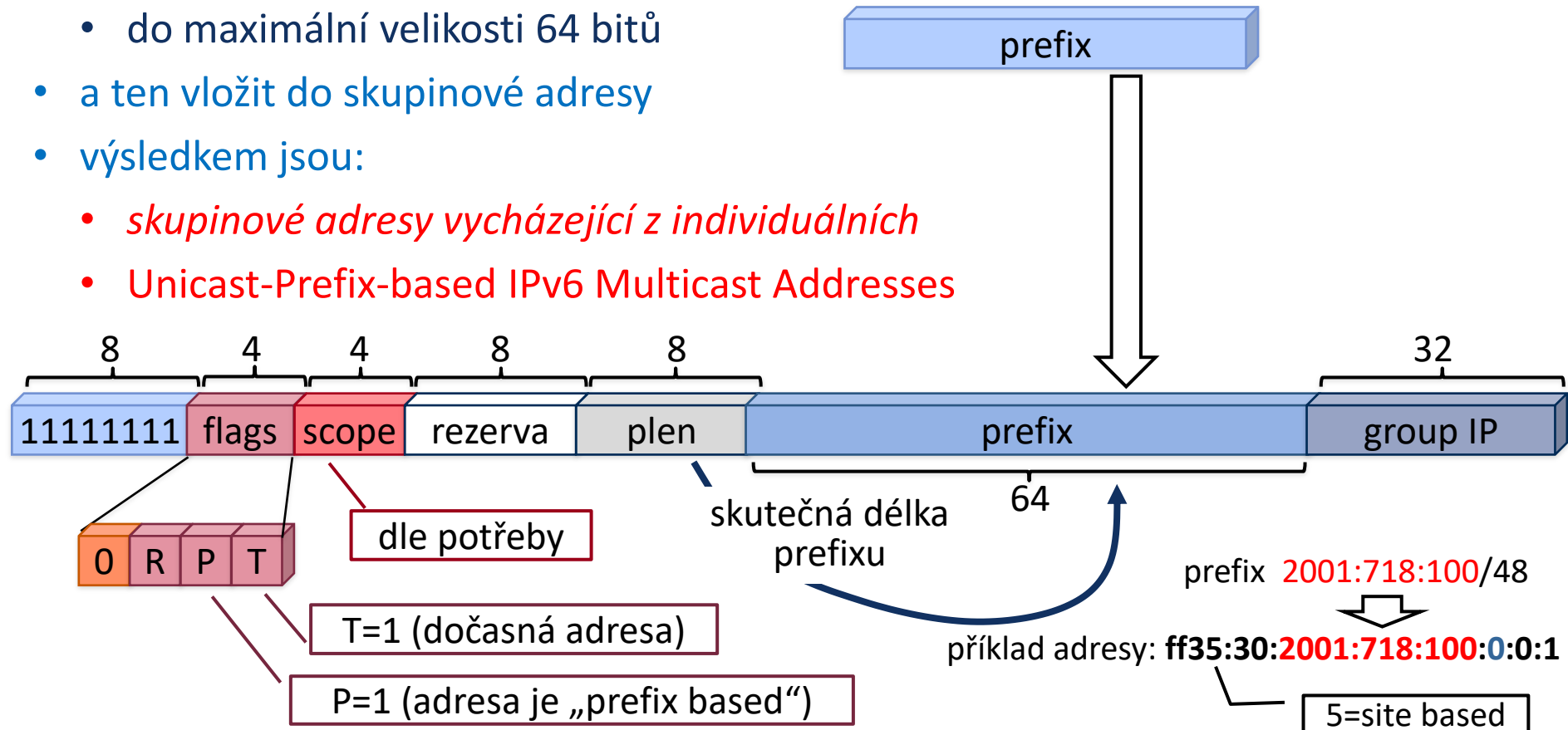
- ::1:3 všechny DHCP servery
 - lze kombinovat s dosahem site-local



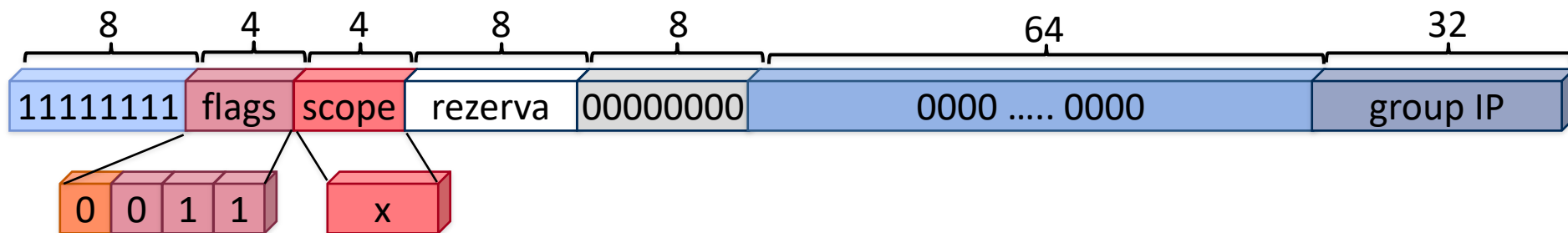
- ::101 všechny NTP servery
 - lze kombinovat se všemi dosahy

dočasné skupinové adresy

- problém:
 - jak u dynamických skupinových adres zajistit jejich (globální) unikátnost?
 - a to jednoduše, bez nutnosti nějaké společné koordinace?
- řešení:
 - využít (veřejný) prefix dané sítě či místa, který je unikátní
 - do maximální velikosti 64 bitů
 - a ten vložit do skupinové adresy
 - výsledkem jsou:
 - *skupinové adresy vycházející z individuálních*
 - **Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses**



- v IPv6 existují ještě další varianty skupinových (multicast) adres
 - *skupinové adresy vycházející z rozhraní*
 - Link-Scoped IPv6 Multicast Addresses
 - místo prefixu obsahují adresu rozhraní (interface ID)
 - a lze je používat jen s dosahem 2 = link local (tj. v dané síti)
 - *adresy pro SSM*
 - Source Specific Multicast (SSM)
 - obdoba skupinových adres vycházejících z rozhraní, ale počítají jen s jedním možným zdrojem vysílání (distribuci)
 - vhodné např. pro R a TV (z jednoho bodu) k více příjemcům současně
 - odesílatel (source) nepotřebuje specifikovat, kde přesně se nachází

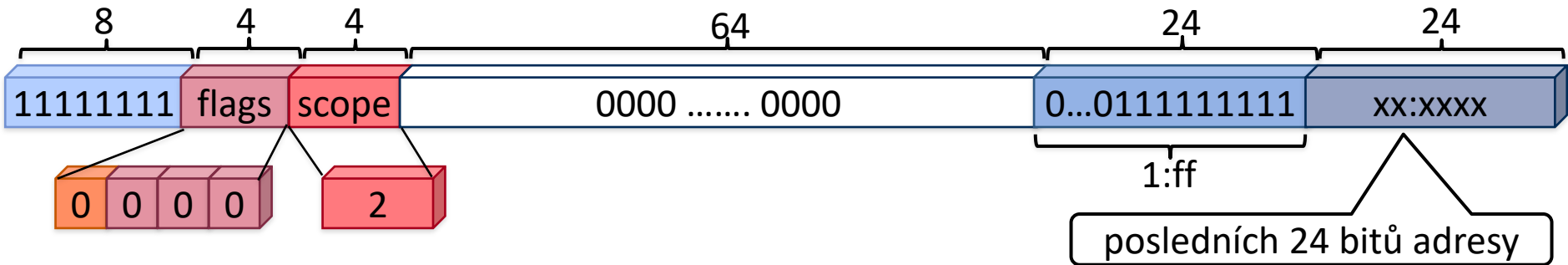


- vložený prefix je nulový (i jeho délka)
 - výsledná skupinová adresa má prefix ff3x::/96
 - tj. je dočasná a „prefix based“

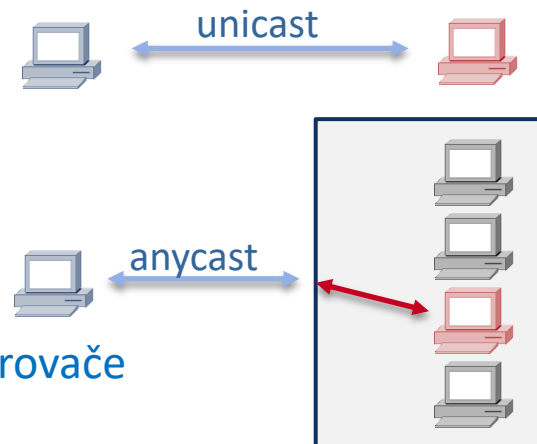
adresy pro vyzývaný uzel

- v IPv6 existují skupinové (multicast) adresy, určené k „výzvam“, které mají být doručeny konkrétním (dosud neznámým) uzlům
- zejména pro „objevování susedů“ (Neighbour Discovery Protocol)
 - pro potřeby překladu IPv6 adresy na linkovou (HW) adresu
- pro detekci duplicitních adres
-
- jde o:
 - *adresy pro vyzývaný uzel* (solicited node address)
 - mají pevný prefix: `ff02:0:0:0:0:1:ff00::/104`
 - tj. jsou trvalé (T=0), nejsou založeny na prefixu (P=0) a mají dosah jen v dané síti (scope = 2, tj. link-based)
 - za který se doplní nižších 24 bitů z hledané IPv6 adresy

v IPv4 se řeší pomocí protokolu ARP (a linkového broadcastu). V IPv6 se řeší touto variantou multicastu

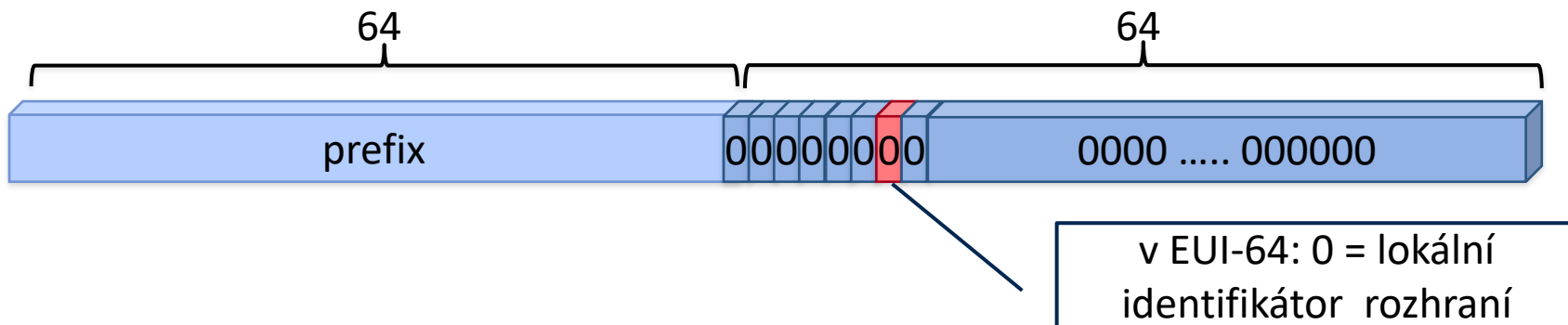


- poprvé zavedeny až v IPv6, jako významná novinka
- princip fungování:
 - jsou stejné jako adresy individuální (unicast)
 - nemají speciální formát, není pro ně vyhrazena část prostoru IPv6 adres
 - nelze ani (jednoduše, navenek) poznat, zda se jedná o individuální, nebo o výběrovou adresu
 - ve skutečnosti adresují celou skupinu uzlů
 - v určitém dosahu, který je dán velikostí prefixu
 - zareaguje („ozve se“) vždy jeden uzel z celé skupiny
 - který, je dáno implementací
 - obvykle: nejbližší, ve smyslu počtu přeskoků přes směrovače



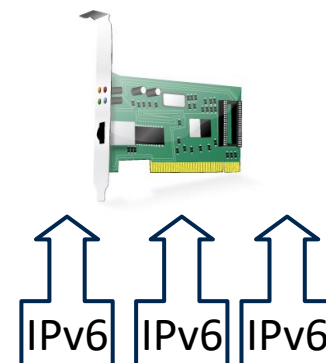
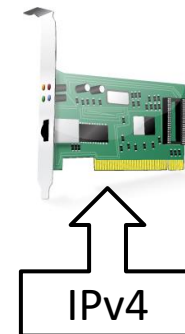
- možnosti využití:
 - rozklad zátěže
 - mezi různé servery
 - zlepšení doby odezvy
 - lepší rezistence vůči (D)DOS útokům
- příklady využití:
 - kořenové DNS servery
 - za 13 adresami kořenových serverů se ve skutečnosti „skrývá“ 250 uzlů

- jsou výhodné pro bezstavové služby
 - jako jsou dotazy/odpovědi DNS
 - hledání/nalezení určitého serveru
- mají problém tam, kde jde o stavové fungování
 - protože každý požadavek může „dostat k vyřízení“ jiný uzel, který nezná předchozí historii (stav komunikace)
 - řeší se využitím výběrové adresy jen pro úvodní nalezení „protistrany“
 - a další komunikace už probíhá cíleně, pomocí individuální adresy (unicast)
- existují také **lokální výběrové adresy** (local anycast)
 - s dosahem v dané (pod)síti
 - všechny uzly jsou zde stejně „daleko“ a je jedno, „kdo se ozve“
 - například: adresa pro směrovače v dané (pod)síti

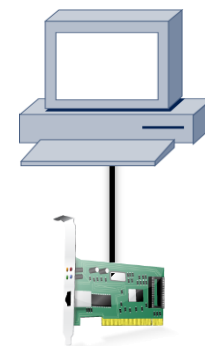


povinné adresy uzlu

- v IPv4
 - každé rozhraní má přiřazenu právě jednu IPv4 adresu
 - kromě zvláštních případů, např. multicastu, virtuálních serverů
- v IPv6 (RFC 4291)
 - každé rozhraní **může mít** přiřazeno (automaticky či ručně) více IPv6 adres:
 - individuálních (unicast) i výběrových (anycast)
 - každé rozhraní **musí mít** přiřazenu:
 - lokální linkovou (link-local) IPv6 adresu
- každý uzel musí (povinně) reagovat na následující IPv6 adresy
 - všechny adresy všech svých rozhraní
 - všechny skupinové (multicast) adresy, v jejichž skupině je členem
 - včetně předdefinovaných
 - např. „všechny uzly“ (ff01:0:0:0:0:0:0:1 a ff02:0:0:0:0:0:0:1)
 - „všechny směrovače“ (pokud jde o směrovač)
 - adresy pro vyzývaný uzel (solicited node address)
 - pro všechny individuální a výběrové adresy
 - loopback (zpětnovazební adresu)



- koncový uzel
 - má 1 síťovou kartu, s MAC adresou 90-E6-BA-34-2B-3C
 - odpovídající interface ID je 92-E6-BA-FF-FE-34-2B-3C (92e6:baff:fe34:2b3c)
 - je zapojen do 2 (pod)sítí s prefixy:
 - 2001:0718:01e3:0801/64 a 2001:0718:01e3:0810/64
 - je členem multicastové skupiny ff15::ac07
- bude mít přiřazeny (nejméně) tyto IPv6 adresy:
 - lokální linkovou (link-local) adresu: **fe80::92e6:baff:fe34:2b3c**
 - skupinovou adresu („všechny uzly“ v rámci rozhraní): **ff01::1**
 - skupinovou adresu („všechny uzly“ v rámci sítě): **ff02::1**
 - skupinovou adresu (na základě členství): **ff15::ac07**
 - skupinovou pro vyzývaný uzel (solicited node address): **ff02::1:ff34:2b3c**
 - individuální (unicast) adresu: **2001:0718:01e3:0801:92e6:baff:fe34:2b3c**
 - individuální (unicast) adresu: **2001:0718:01e3:0810:92e6:baff:fe34:2b3c**
 - obě přidělené automaticky
 - v rámci bezstavové autokonfigurace, adresa rozhraní vytvořena z MAC adresy



- připomenutí:
 - skupinové (multicast) adresy mají explicitně určený dosah
 - 1=node-local, 2=link-local, 5=site-local,
 - konkrétní oblast dosahu je označována jako **zóna** (zone)
- pro individuální (unicast) adresy
 - se také rozlišují dosahy – ale jen 2
 - lokální linkové (link-local) a globální individuální (global unicast)
 - přitom s lokálními linkovými adresami může být podobný problém
 - jako s lokálními místními (site-local)
 - protože dva uzly v různých sítích mohou mít přiděleny stejné lokální místní adresy
 - řešením je připojit k IPv6 adrese ještě ID zóny

