Rodina protokolů TCP/IP
verze 3

Téma 8: Protokol IPv6

Jiří Peterka

protokol IPv6

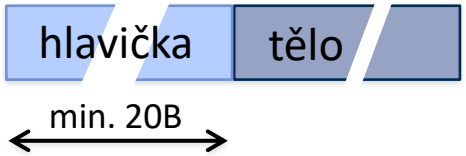
- připomenutí:
  - blokům, které IPv6 přenáší, se častěji říká pakety (než datagramy, jako u IPv4)
    - ale nepanuje v tom konsensus, i některá novější RFC hovoří o IPv6 datagramech
      - protipříkladem je možnost použití velkých paketů, tzv. jumbogramů
    - fakticky v tom není rozdíl, protože i IPv6 přenáší své pakety nespojovaným způsobem
      - takže je na místě i jejich označení jako datagramy

- skutečné rozdíly oproti IPv4:
  - jednodušší formát paketu
    - jiný význam položek hlavičky
  - rozšiřující hlavičky
    - jsou úspornější a efektivnější
      - než volitelné položky
  - povinná podpora multicastu
    - u IPv4 je dobrovolná
  - jiný přístup k fragmentaci
    - fragmentovat může jen odesílající uzel
  - „modernější“ směrování
    - lepší podpora hierarchického směrování
  - zabudovaná podpora bezpečnosti
    - povinný IPSEC
  - podpora pro alokaci zdrojů a QoS
  - podpora mobility
  - možnost velkých paketů
    - tzv. jumbogramů (nevyužíváno)
  - ……

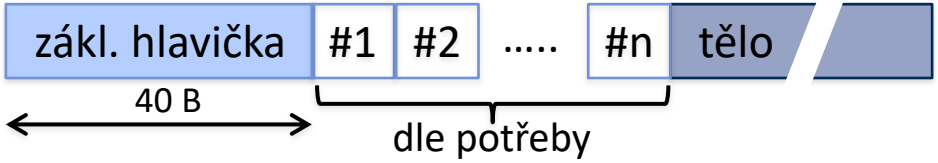
a samozřejmě se používají větší (128-bitové) IPv6 adresy

vlastnosti IPv6 paketů

- více hlaviček místo jedné
  - IPv4 datagram má jen jednu hlavičku proměnné velikosti
    - minimálně (a obvykle) 20 bytů, včetně 2 IPv4 adres

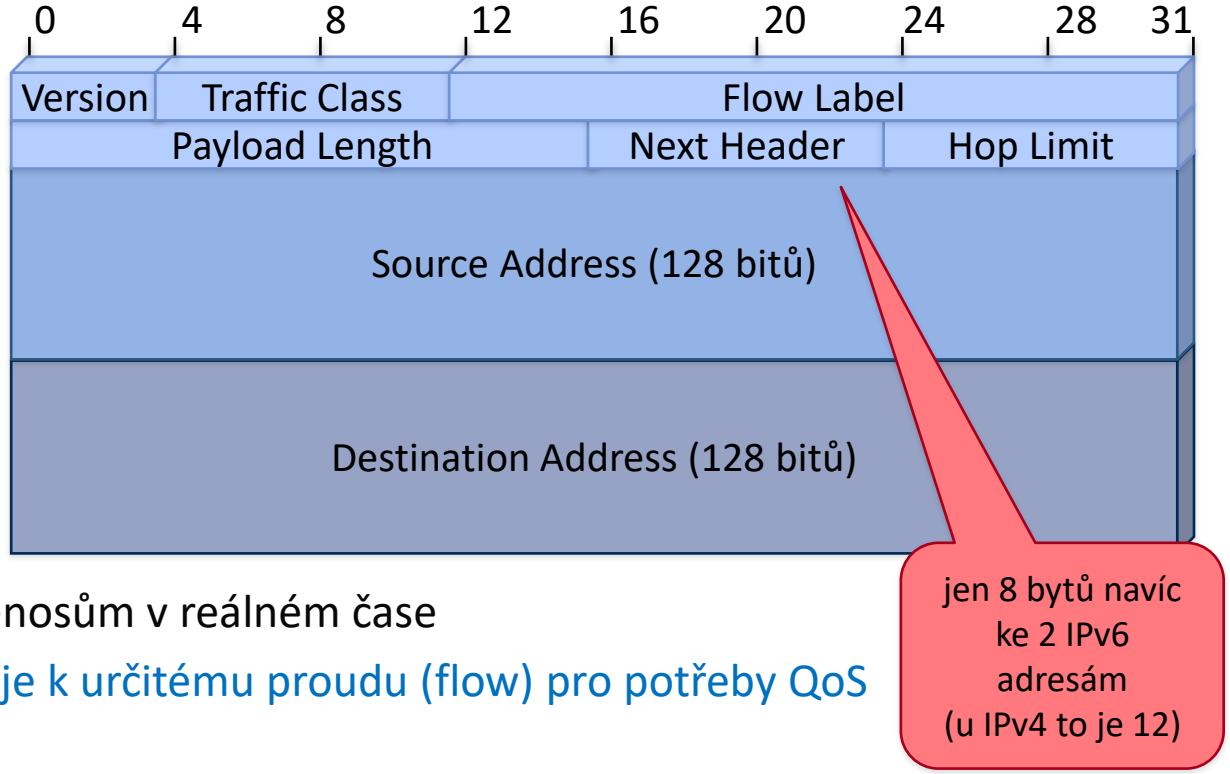


  - IPv6 paket má více hlaviček
    - (povinnou) základní hlavičku (main header): vždy 40 bytů, včetně 2 IPv6 adres
    - další rozšiřující hlavičky (extension headers): proměnné velikosti
      - připojují se pouze v případě, že jsou skutečně zapotřebí !!!
- dále:
  - méně položek v základní hlavičce
    - „méně potřebné“ položky byly přesunuty do rozšiřujících hlaviček
      - např. položky sloužící potřebám fragmentace mají vlastní rozšiřující hlavičku
  - přejmenování některých položek
    - aby lépe odpovídalo jejich skutečnému významu
  - odstranění položky pro délku hlavičky (není potřeba) a kontrolního součtu
    - který se musel přepočítávat při každém přeskoku (u IPv6 není co přepočítávat)
  - lepší podpora QoS
    - skrze položky Traffic Class u Flow Label v základní hlavičce



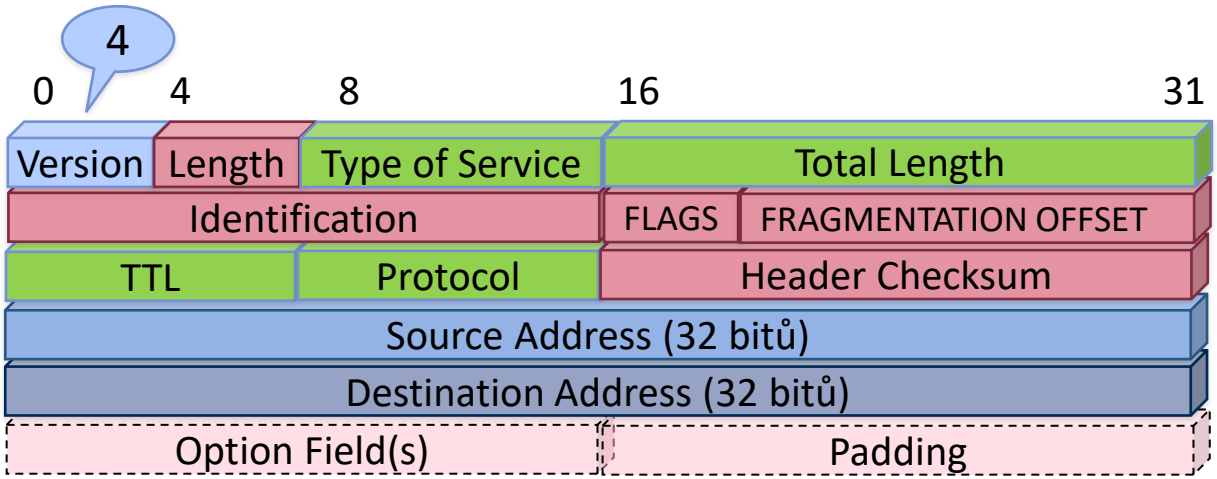
základní hlavička IPv6 paketu

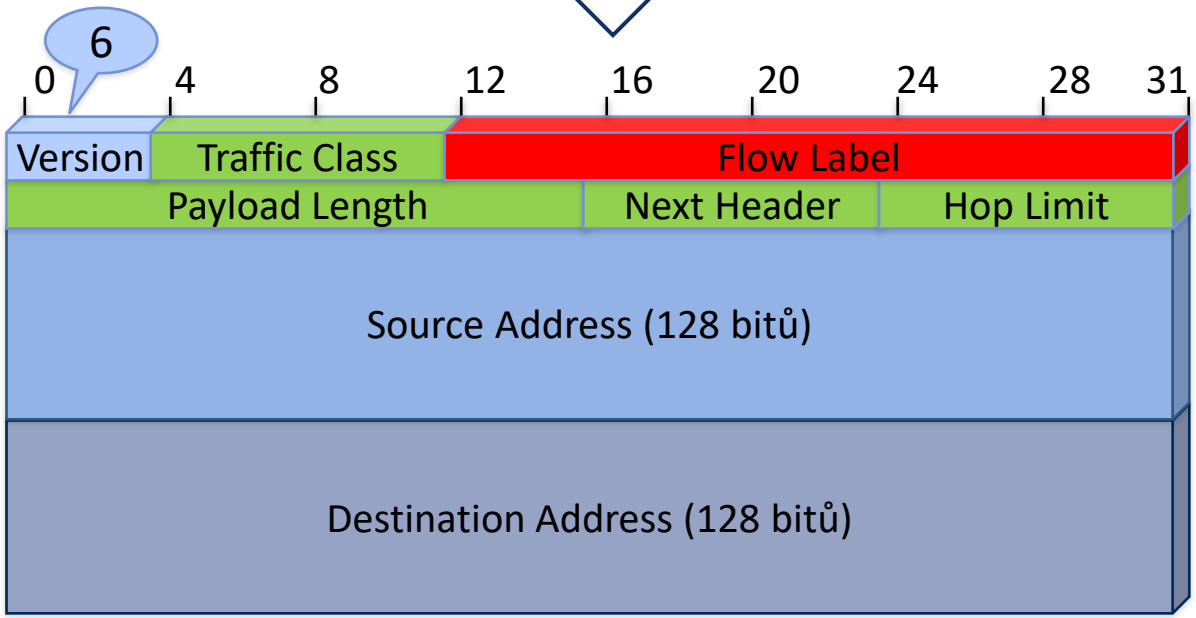
- význam položek:
  - Version: 6
  - Traffic Class
    - nahrazuje byte ToS v IPv4 datagramu
      - pro Differentiated Services
  - Flow Label
    - další podpora QoS a přenosům v reálném čase
      - datagram se přihlašuje k určitému proudu (flow) pro potřeby QoS
  - Payload Length
    - velikost nákladu (16 bitů, maximální velikost paketu je tedy 2^{16} = 64 kB)
      - nezahrnuje základní hlavičku (ale zahrnuje rozšiřující hlavičky, pokud jsou použity)
  - Next Header:
    - nejsou-li přítomny rozšiřující hlavičky: udává typ nákladu (jako Protocol u IPv4)
    - jsou-li přítomny rozšiřující hlavičky, udává typ první z nich
  - Hop Limit
    - jako TTL u IPv4, jen lépe vystihuje skutečný význam



srovnání hlaviček IPv4 a IPv6

- beze změny:
  - Version
- zvětšeno (32 na 128 bitů):
  - Source Address
  - Destination Address
- přejmenováno:
  - ToS na Traffic Class
  - Total Length na Payload Length
  - TTL na Hop Limit
  - Protocol na Next Header
- přidáno:
  - Flow Label
- odstraněno:
  - Header Length
  - Header Checksum
  - Identification, Flags, Fragmentation Offset
  - Option Field(s), Padding





nemusí se přepočítávat

u IPv6 jde pouze o základní hlavičku !!!

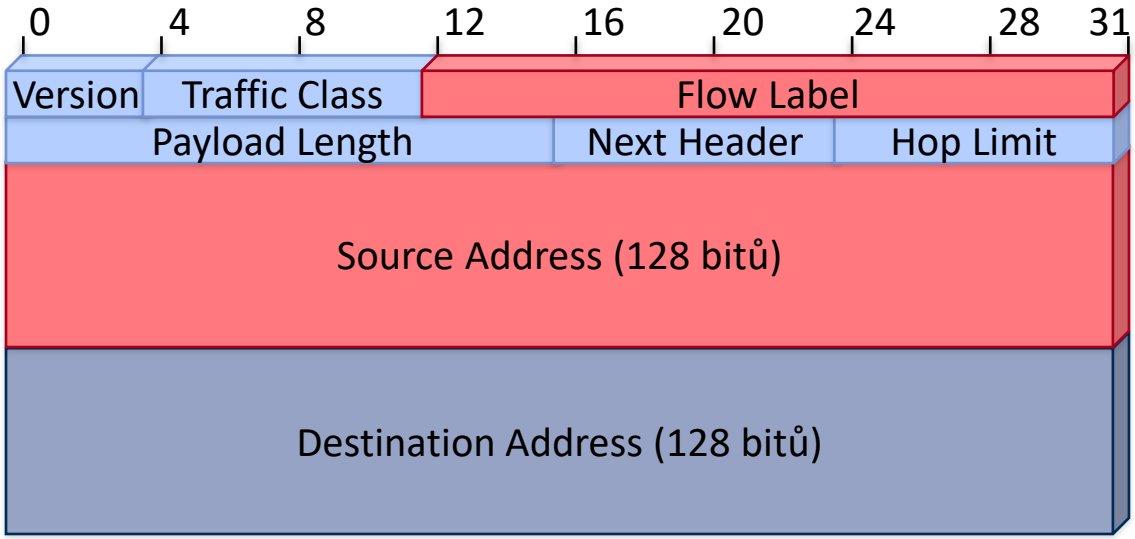
toky (flow)

- tok = skupina paketů, které spolu „nějak souvisí“
  - mají stejného odesilatele i příjemce, a navíc i nějaký stejný význam/smysl
- v IPv4 by toku odpovídala posloupnost datagramů se stejnou pěticí:
  - transportní protokol,
  - zdrojová IP,
  - zdrojový port,
  - cílová IP,
  - cílový port

jenže toto jsou údaje, dostupné až na transportní vrstvě

směrovač, který by je chtěl identifikovat (a zpracovávat) jako proud, by musel analyzovat nákladovou část datagramu

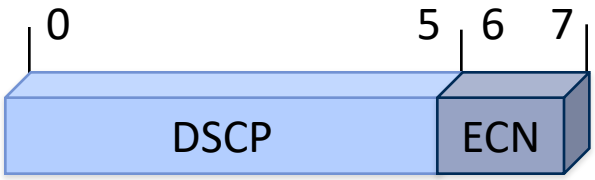
- v IPv6 je tok identifikován:
  - zdrojovou IPv6 adresou
  - identifikátorem toku
    - položkou Flow Label
      - již v základní hlavičce



- není nutné analyzovat data v těle paketu
  - potřebné info je dostupné již na úrovní síťové vrstvy

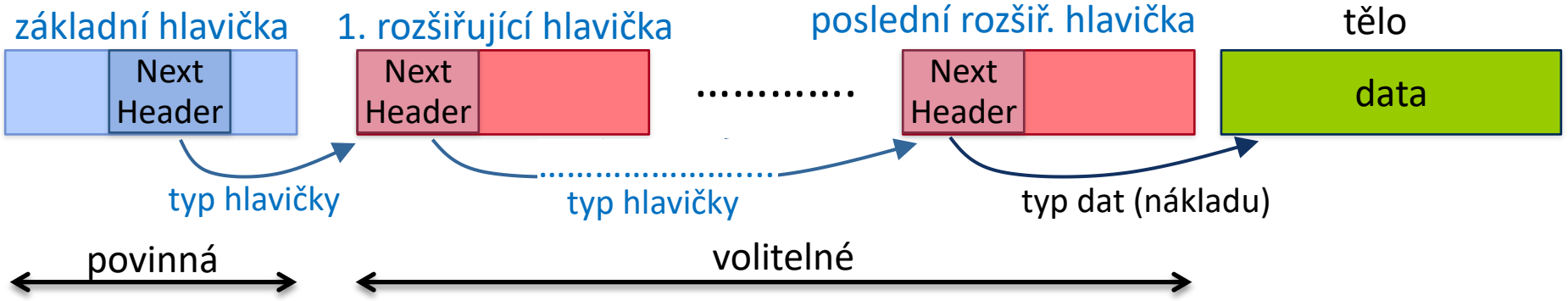
využití toků (flows)

- využití toků (flows)
  - nejde ani tak o zjednodušení směrování
    - resp. jeho nahrazení přepínáním (switching-em), jako např. u MPLS
  - předpokládá se spíše podpora QoS
    - různé nakládání s pakety, podle toho, do jakého patří toku
    - požadavky na QoS mohou být předkládány:
      - stavově: dopředu se sdělí všem směrovačům „po cestě“
        - prostřednictvím „rezervačního“ protokolu, např. RSVP
        - toto „sdělení“ ale musí být časově omezeno
      - bezestavově: každý paket si své požadavky nese v sobě, v rozšiřující hlavičce
        - hlavičce Hop-by-Hop
- třída provozu (Traffic Class)
  - 1 byte v základní hlavičce
  - je určen pro vyjádření priority
    - třídy provozu ….
      - pro Differentiated Services



  - DSCP: Differentiated Services Code Point
    - specifikuje prioritu
  - ECN: Explicit Congestion Notification
    - určuje, zda směrovač má zahazovat pakety a/nebo posílat info o zahlcení
- problém:
  - konkrétní fungování dosud není dostatečně rozpracováno, v praxi se nepoužívá

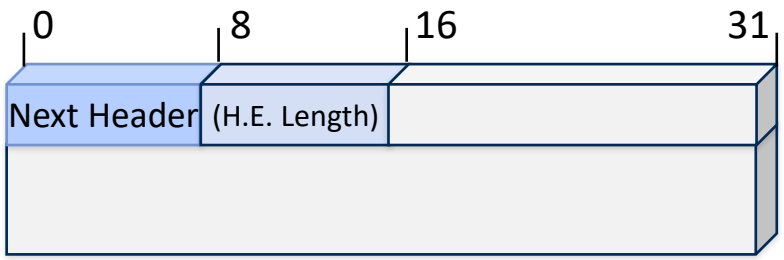
rozšiřující hlavičky



- rozšiřující hlavičky: jsou volitelné (nepovinné)
  - nahrazují doplňky (options) v IPv4, ale šikovněji
  - „odlehčují“ hlavičce IPv6 paketu
    - to, co je v hlavičce IPv4 datagramu využíváno jen občas, se v IPv6 přesouvá do rozšiřující hlavičky
  - nabízí více možností, než má IPv4
- jsou řazeny v sérii za sebou
  - položka Next Header udává typ další rozšiřující hlavičky
    - nebo typ nákladu v těle paketu (u poslední hlavičky)
    - speciální typ 59: už nenásleduje nic, ani tělo paketu
      - pokud by následovalo, musí být ignorováno
- identifikátory typů v položce Next Header
  - stejné jako u IPv4
    - spravuje je IANA
      - Protocol Numbers
  - například:
    - 0 = Hop-by-Hop options (typ hlavičky)
    - 6 = TCP, 17 = UDP (typ nákladu)
    - 44 = fragmentace
    - 59 = nic nenásleduje

rozšiřující hlavičky

- některé rozšiřující hlavičky mají proměnnou velikost, ostatní pevnou
  - 1. položkou je vždy Next Header (1 byte)
    - zbytek se liší
      - podle toho, o jakou rozšiřující hlavičku jde
  - u položek s proměnnou velikostí:
    - 2. položkou je údaj o velikosti (Header Extension Length)

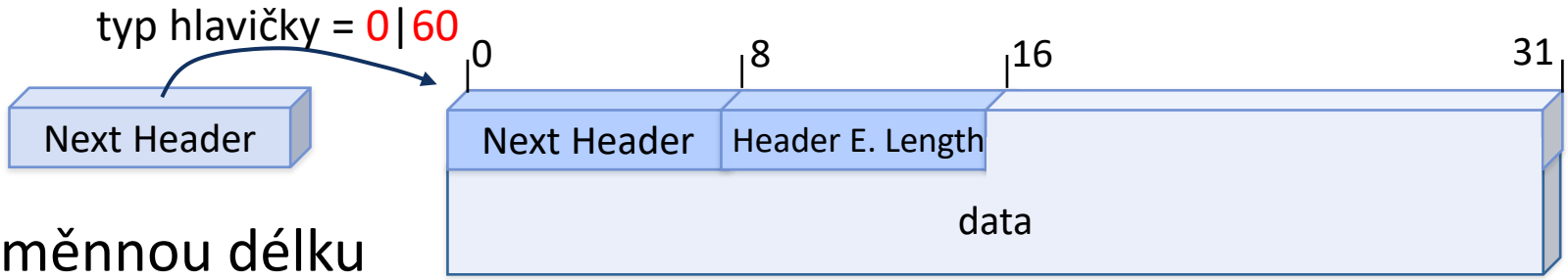


- řazení rozšiřujících hlaviček:
  - každý typ rozšiřující hlavičky by se (v každém paketu) měl vyskytnout nejvýše 1x
  - pořadí není striktně předepsáno, pouze velmi doporučeno
    - cílem je dát na začátek řetězce ty hlavičky, které je třeba zpracovat nejdříve
      - hlavně usnadnit práci směrovačům, aby nemusely analyzovat všechny hlavičky

výjimka: Destination Options může 2x

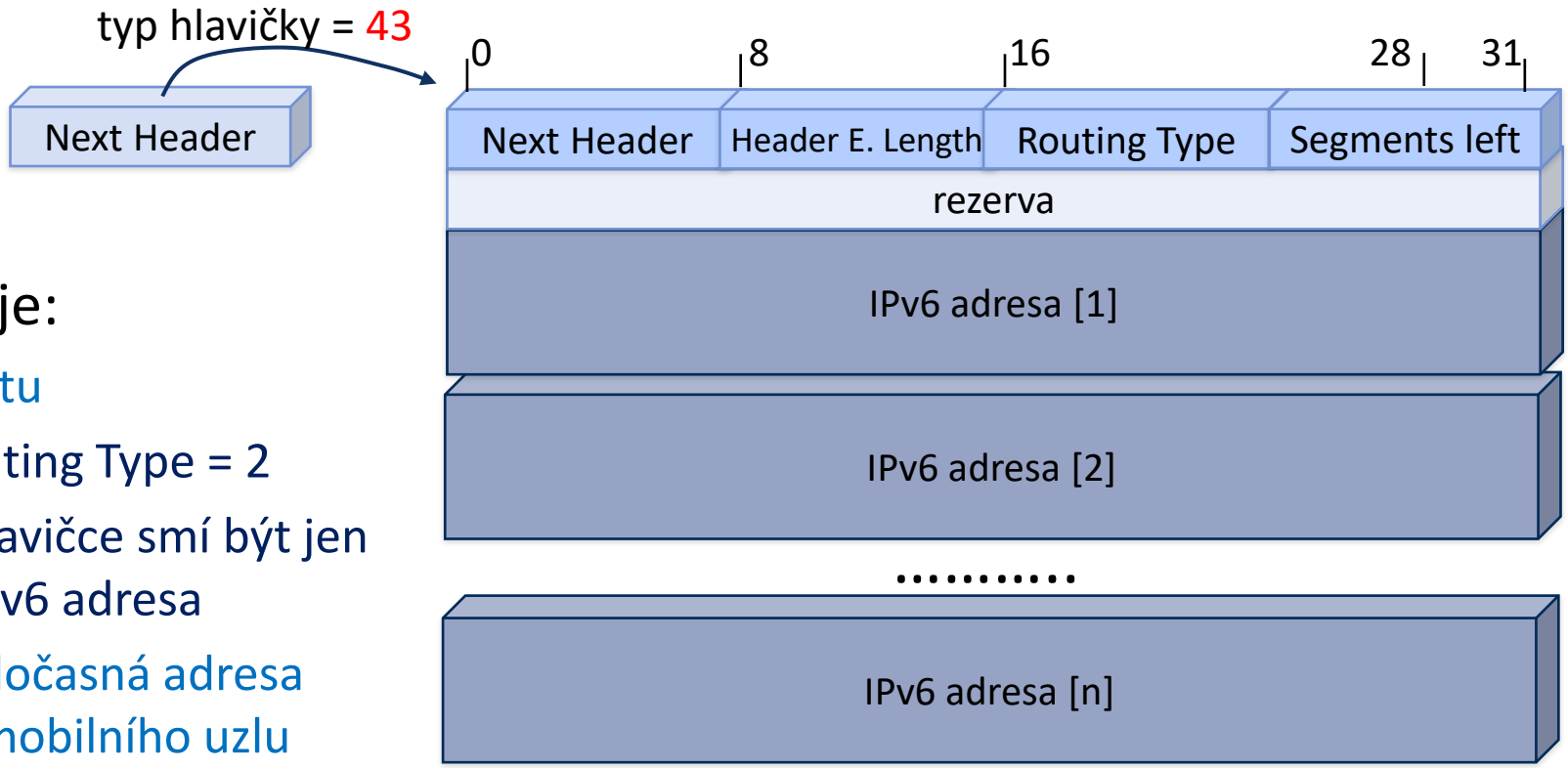
1. základní hlavička IPv6
2. Hop-by-Hop Options
   - týká se „všech uzlů po cestě“
3. Destination Options
   - pro uzly v rámci source routing
4. Routing (směrování)
5. Fragment (fragmentace)
6. Authentication, AH(autentizace)
   - pro potřeby IPSEC
7. Encapsulating Security Payload, ESP
   - šifrování obsahu (pro IPSEC)
8. Destination Options
   - pro konečného příjemce
9. Mobility

Hop-by-Hop & Destination Options



- mají proměnnou délku
- jsou zamýšleny jako „zadní vrátka“
  - pro nejrůznější budoucí rozšíření (na která nebylo pamatována již při návrhu IPv6)
- Hop-by-Hop Options
  - hlavička je na začátku řetězce rozšiřujících hlaviček (předchozí Next Header = 0)
    - je určena pro „každý uzel na cestě“ – hlavně pro všechny směrovače
- Destination Options
  - týká se koncového příjemce (předchozí Next Header = 60)
    - a také směrovačů („průchozích uzlů“), předepsaných v rámci source routingu
- zatím je definováno jen málo možností, například:
  - upozornění směrovači
    - pokyn směrovači, aby detailněji zkoumal obsah přenášených dat
  - jumbo obsah (pro pakety, větší než 64 KB)

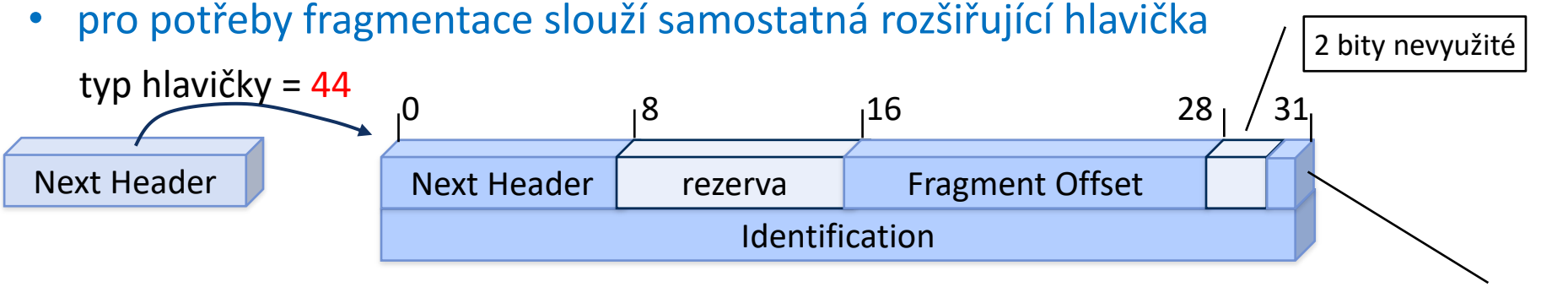
rozšiřující hlavička pro směrování



- umožnuje:
  - mobilitu
    - Routing Type = 2
    - v hlavičce smí být jen 1 IPv6 adresa
      - dočasná adresa mobilního uzlu
    - paket je pak fakticky doručen nejprve na dočasnou adresu mobilního uzlu
  - source routing
    - Routing Type = 0
    - v hlavičce je posloupnost IPv6 adres, přes které má paket projít
      - podle RFC 5095 (2007) se již nemá používat, směrovače mají zahazovat
        - důvodem je možnost zneužití – snadné generování velkých datových toků, které může využít útočník

fragmentace v IPv6

- rozdíly oproti IPv4:
  - v IPv6 může fragmentovat pouze odesílající uzel !!
    - pokud se chce „vyhnout problémům“, může:
      1. posílat IPv6 paket do max. velikosti 1280 bytů
         - v IPv6 je garantováno, že takto velké pakety projdou bez nutnosti fragmentace
      2. zjistit si nejmenší MTU po cestě
         - skrze techniku MTU Path Discovery
  - směrovače v IPv6 už nefragmentují
    - aby nebyly zatěžovány dalšími úkoly
      - pokud směrovač narazí na paket, který by měl být fragmentován, musí ho zahodit
  - pro potřeby fragmentace slouží samostatná rozšiřující hlavička

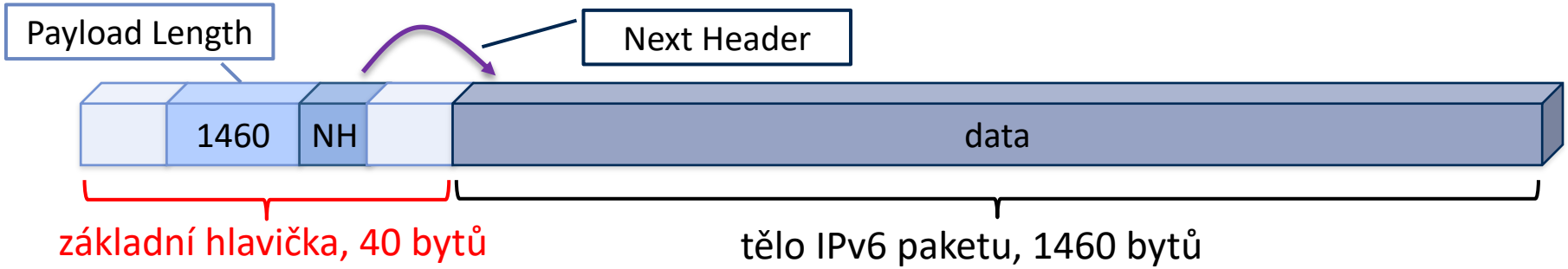


  - Fragment Offset: stejně jako Fragmentation Offset u IPv4
    - posunutí vůči začátku datové části původního paketu
  - Identification: stejné jako u IPv4 (ale v rozsahu 32 bitů)

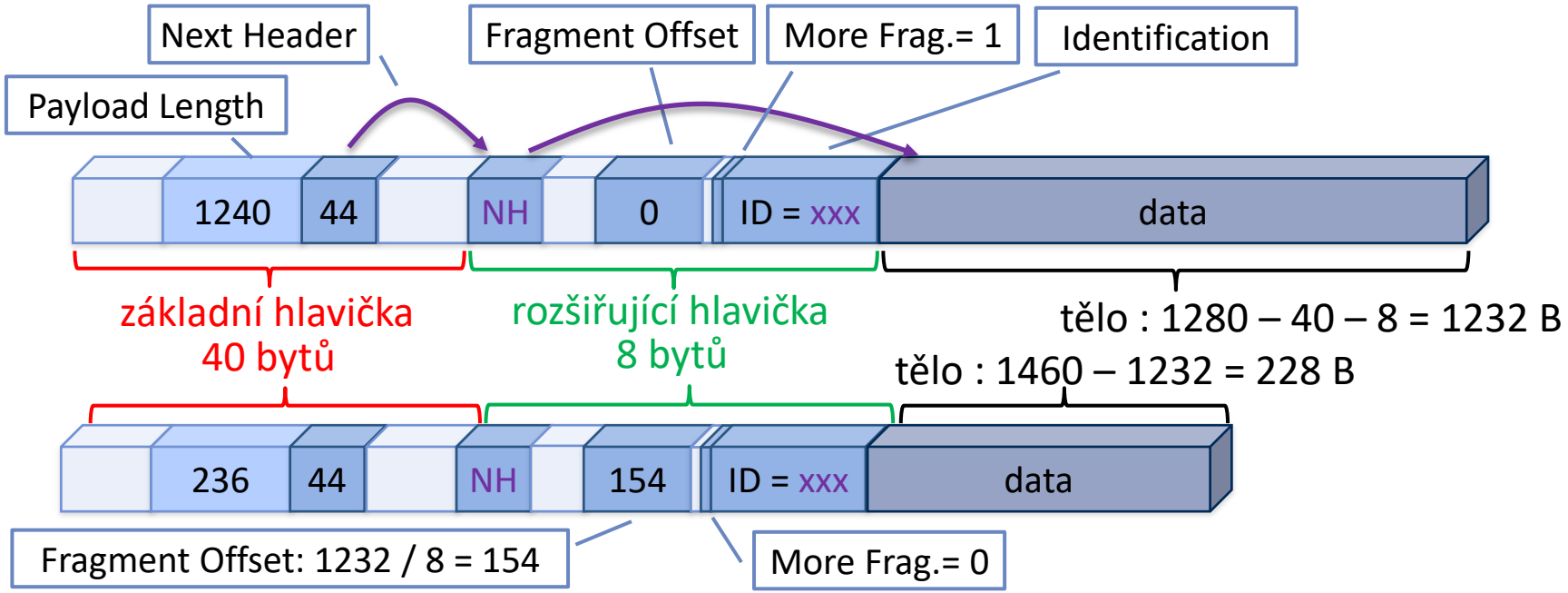
More Fragments Flag:
1: jsou další fragmenty
0: nejsou

příklad fragmentace

- původní IPv6 paket má 1500 bytů
  - byl sestaven uzlem, který je zapojen (např.) do sítě Ethernet, s MTU=1500 bytů

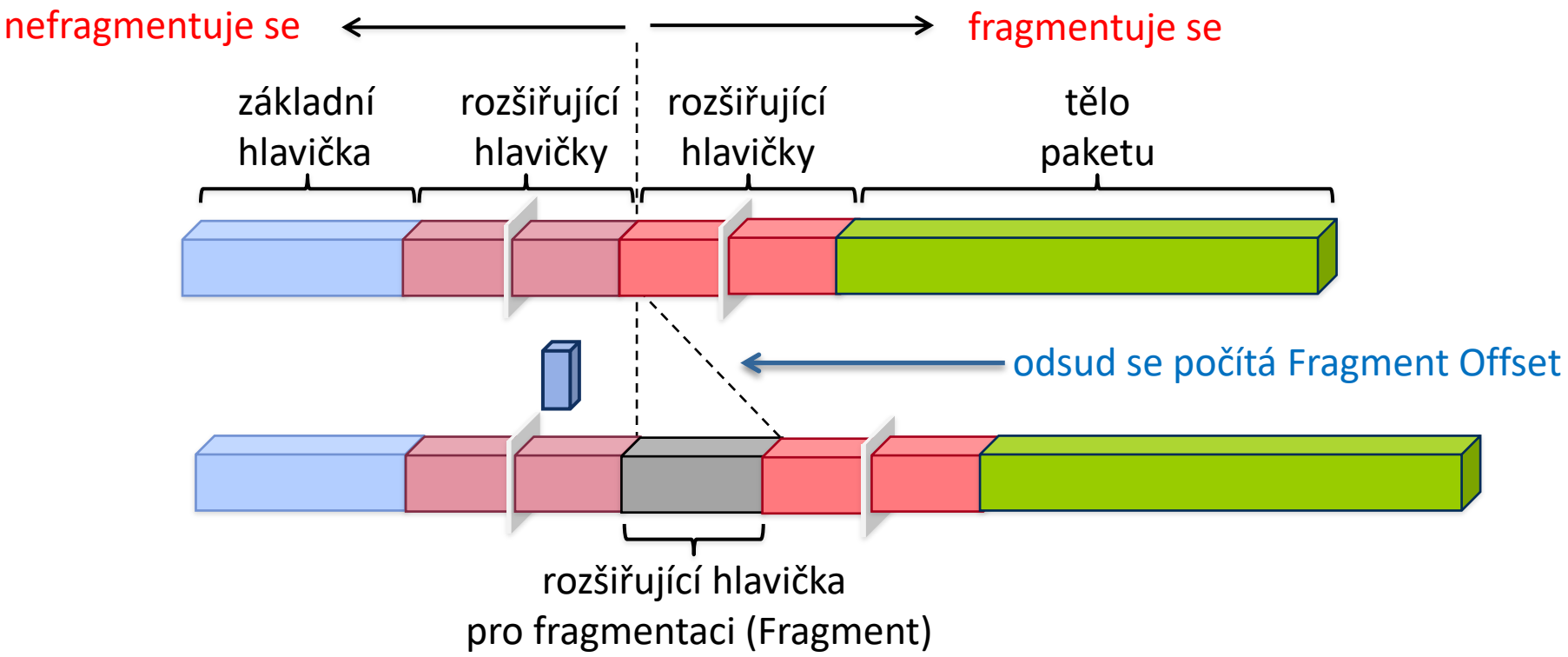


- ale „po cestě“ se zjistilo, že neprojde a je třeba jej zmenšit na 1280 B
  - celkem tedy na 2 fragmenty, o celkové velikosti paketů 1280 bytů a 276 bytů



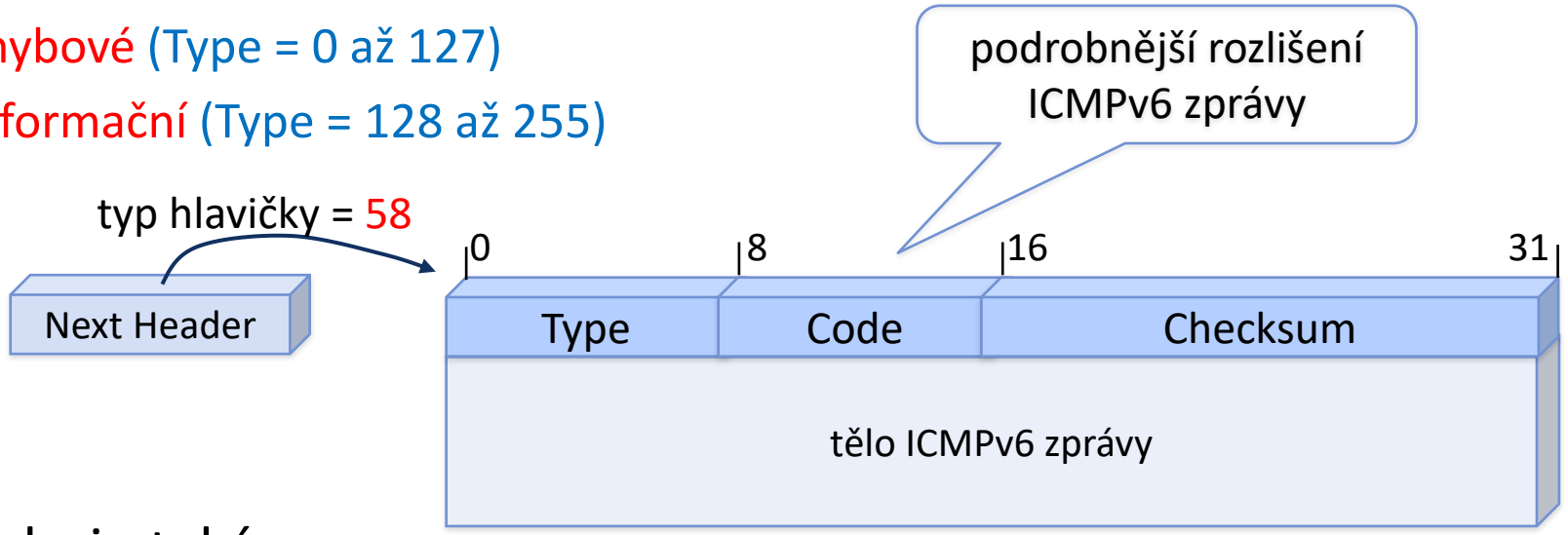
fragmentace v IPv6

- co s rozšiřujícími hlavičkami v případě fragmentace?
  - „počáteční“ rozšiřující hlavičky se nefragmentují
    - základní hlavička, Hop-by-Hop Options, Destination Options, Routing
  - „koncové“ rozšiřující hlavičky se naopak fragmentují
    - Authentication, Encapsulating Security Payload, Destination Options, Mobility
- rozšiřující hlavička Fragment se při fragmentaci vsouvá „mezi ně“



protokol ICMPv6

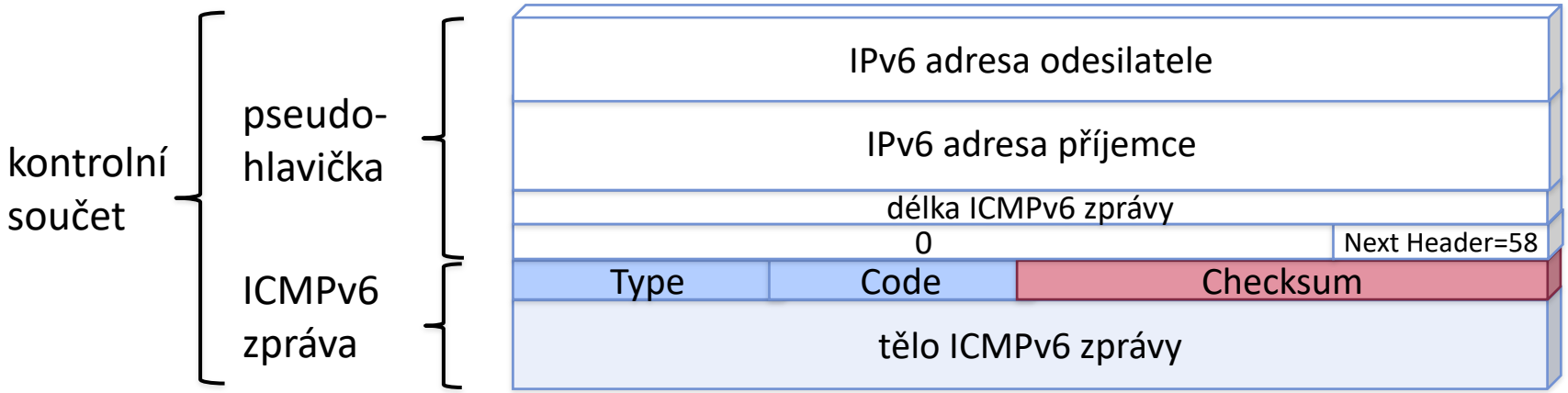
- slouží
  - ke stejným účelům, jako ICMP (Internet Control Message Protocol) u IPv4
    - pro signalizaci „nestandardních situací“ v důsledku fungování protokolu IP
- zprávy ICMPv6 se přenáší
  - uvnitř IPv6 paketů (Next Header = 58)
    - stejně jako u IPv4, stejné porušení principů vrstevnatého modelu
- ICMPv6 zprávy mohou být:
  - chybové (Type = 0 až 127)
  - informační (Type = 128 až 255)



- obsahuje také:
  - kontrolní součet (Checksum), 16 bitů, počítaný včetně tzv. pseudohlavičky

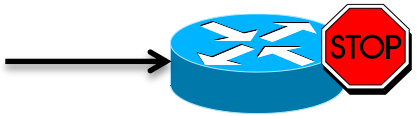
odlišnosti ICMPv6 oproti ICMPv4

- velikost chybových ICMP zpráv:
  - v těle ICMPv4 zprávy je hlavička IPv4 datagramu + prvních 8 bytů jeho těla
    - tj. jde o pevnou velikost
  - v těle ICMPv6 zprávy je co největší část IPv6 paketu, který způsobil chybu
    - *„co největší“* = taková, aby velikost IPv6 paketu s ICMPv6 zprávou nepřesáhla 1280 bytů
      - a nehrozila fragmentace
- výpočet kontrolního součtu ICMP zprávy
  - u ICMPv4 se počítá (pouze) ze samotné zprávy
  - u ICMPv6 se počítá navíc také z tzv. pseudohlavičky
    - důvod: ochrana zprávy před chybným doručením
    - stejně je tomu u UDP datagramů i TCP segmentů
      - jak u IPv4, tak u IPv6



chybové zprávy ICMPv6

- jsou celkem 4:
  - Type=1: Destination Unreachable
    - nelze pokračovat v přenosu, cíl je nedosažitelný
    - možné důvody:
      - Code=0: No route to destination – nelze najít cestu k cíli
      - Code=1: Administratively Prohibited – přenos je zakázán správcem, např. na firewallu
        - důvody lze podrobněji rozlišit pomocí jiných hodnot Code
          - Code=5 | 6: nepřípustná (zakázaná, na black listu) je zdrojová | cílová adresa
      - Code=2: Beyond scope of source address – nešlo by odpovědět zpět
      - Code=3: Address unreachable – cílový uzel je nedosažitelný (neodpovídá)
      - Code=4: Port unreachable – cílový port je nedosažitelný



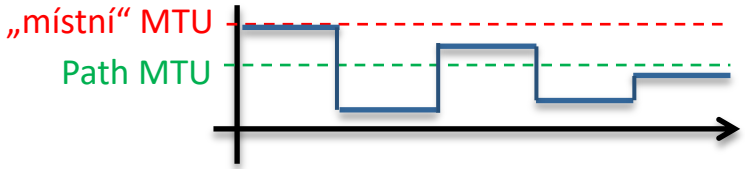
  - Type=2: Packet Too Big
    - reakce směrovače na příliš velký paket, který by měl být fragmentován
      - v těle ICMP zprávy je kromě zahozeného paketu i „nová“ hodnota MTU

  - Type=3: Time Exceeded
    - reakce na vynulování položky Hop Count či na to, že chybí některý z fragmentů
  - Type=4: Parameter Problem
    - reakce na jiné chyby

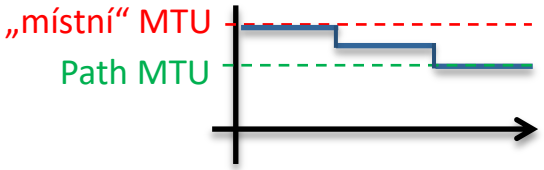
Path MTU Discovery

- postup zjišťování (nejmenšího) MTU po cestě od daného uzlu ke zvolenému cíli

- Path MTU Discovery v IPv4:
  - zdrojový uzel odesílá datagramy určité velikosti (začne s velikostí místního MTU)
    - se zakázanou fragmentací (nastaveným bitem Don't Fragment)
  - pokud datagram kvůli velikosti neprojde, dostane zdroj zpět ICMPv4 zprávu Destination Unreachable, s Code=4 (Fragmentation Needed nad DF Set)
    - z ní se ale nedozví, jaké je MTU v dalším úseku, který vyvolal potřebu fragmentace
  - proto cílový uzel odhadne novou (nižší) hodnotu MTU a iteruje
    - pokud znovu neprojde, MTU ještě sníží
    - pokud již projde, MTU zase o něco zvýší



- Path MTU Discovery v IPv6:
  - zdrojový uzel odešle paket o velikosti místního MTU
  - pokud paket kvůli velikosti neprojde, dostane zdroj zpět ICMPv6 zprávu Packet Too Big
    - ze které se dozví, jaké je MTU v úseku, který vyvolal potřebu fragmentace
  - použije novou (nižší) hodnotu MTU (… a celý postup opakuje)



informační zprávy ICMPv6

- je jich větší počet, například:
  - ICMPv6 Echo Request a Echo Reply
    - fungují obdobně jako u ICMPv4

  } využívá je utilita Ping6

  - ICMPv6 Router Advertisement a Router Solicitation
    - jako u ICMPv4: „inzerát“ o existenci směrovače a výzva „je zde směrovač?“
  - ICMPv6 Neighbor Advertisement a Neighbor Solicitation
    - obdobně (jako pro směrovače), ale pro koncové uzly (hosts)
  - ICMPv6 Redirect
    - jako u ICMPv4: reakce na nesprávné směrování
      - rozdíl: v ICMPv4 je to chybové hlášení (v reakci na chybu), zde informační zpráva
  - ICMPv6 Router Renumbering
    - specialita v6: možnost změny prefixu (síťové části IPv6 adresy)

  } využívají se zejména pro protokol IPv6 Neighbor Discovery

- a ještě mohou být kombinovány s volitelnými doplňky (options)
  - které obsahují např. linkovou adresu, síťový prefix, hodnotu MTU apod.

IPv6 Neighbor Discovery

- IPv4: pro převod IPv4 adres na HW adresy používá protokol ARP
  - nebo převod tabulkou či přímým výpočtem

RFC 4861

- IPv6 má pro tyto účely „šikovnější“ protokol Neighbor Discovery
  - který slouží více účelům/potřebám současně:
    - Address Resolution
      - převod IPv6 adres na HW adresy (jako náhrada protokolu ARP u IPv6)
      - včetně rychlé aktualizace položek a zjišťování změn v HW adresách
    - Router Discovery
      - hledání směrovačů, dostupných v dané síti
        - směrovače mohou inzerovat svou dostupnost (včetně své HW adresy, MTU atd.)
    - Prefix Discovery
      - zjišťování síťového prefixů a dalších parametrů sítě
    - Parameter Discovery
      - zjištění „místního“ MTU a počáteční hodnoty, na kterou by měl nastavit Hop Count
    - Address Auto-Configuration
      - možnost, aby si uzel sám zvolil (nastavil) svou IPv6 adresu
    - Neighbor Unreachability Detection
      - zjišťování (ne)dostupnosti sousedních uzlů
    - Duplicate Address Detection
      - zjišťování duplicitních adres
    - Redirect
      - informování hostitelského počítače o existenci lepší cesty

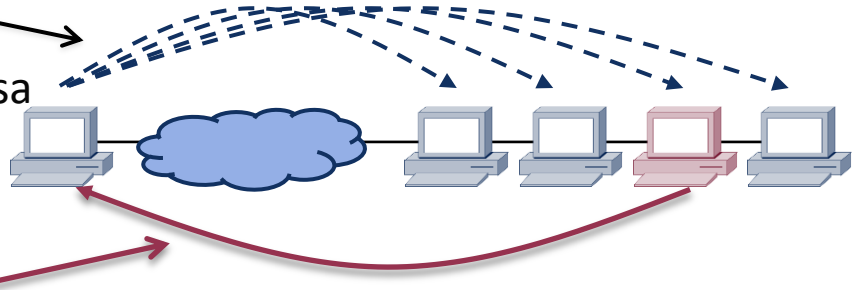
IPv6 Neighbor Discovery

- ke svému fungování využívá informační ICMPv6 zprávy:
  - Router Solicitation, Router Advertisement
  - Neighbor Solicitation, Neighbor Advertisement
  - Redirect

  } považují se za součást (zprávy) protokolu Neighbor Discovery
- předpokládá, že každý uzel (směrovač i host) má vlastní:
  - Neighbor Cache: obdoba ARP cache v IPv4, týká se uzlů ve stejné síti
    - ve které si uchovává údaje o svých sousedech (se kterými komunikoval)
      - unicast adresu souseda, jeho HW adresu, zda jde o host/směrovač, aktuální dostupnost, doba dalšího testování dostupnosti, zda jsou pro něj připravena (v datové cache) data k odeslání
  - Destination Cache: týká se všech uzlů, se kterými daný uzel komunikoval
    - „blízkých uzlů“ (ve stejné síti) i „vzdálených uzlů“ (v jiných sítích)
    - jde o nadmnožinu k Neighbor Cache (zahrnuje ji)
      - pro „vzdálené uzly“ je v cache HW adresa 1. hop-u (odchozího směrovače)
  - Prefix List: seznam prefixů, které používají přímo dosažitelné (neighbor) uzly
  - Default Router List: seznam směrovačů v dané síti
    - všech, které mohou být implicitním (default) směrovačem

Address Resolution

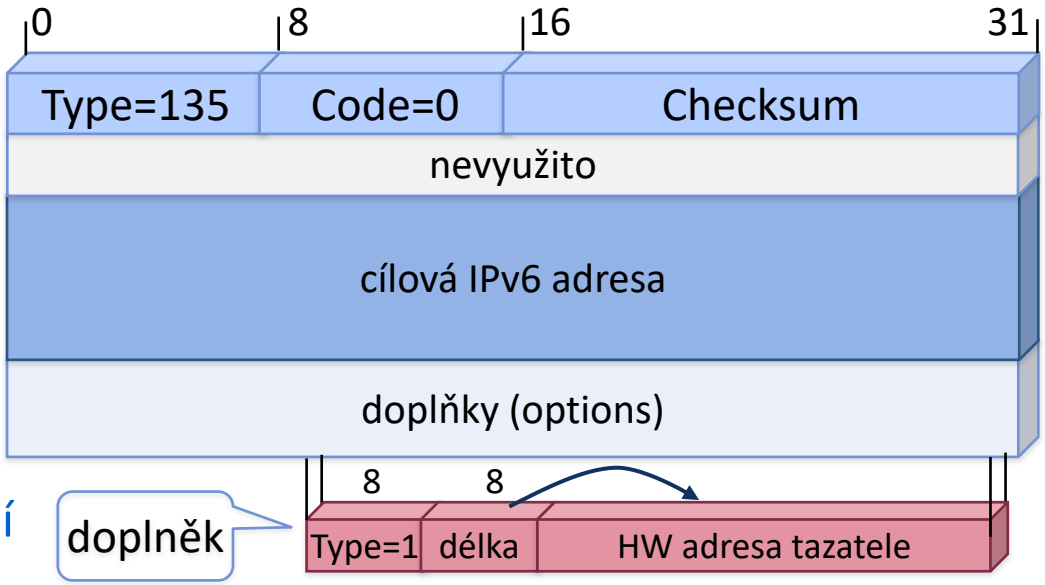
- princip je stejný jako u IPv4 (s využitím protokolu ARP):
  - IPv4: „do pléna“ (pomocí broadcastu) se rozešle dotaz (ARP zpráva) s hledanou IP adresou, její držitel odpoví ARP zprávou již cíleně (unicast-em) přímo tazateli
- v IPv6:
  - neexistuje broadcast, dotaz se pošle na multicastovou adresu
    - nikoli na ff02::01 (tj. „všechny uzly“ s dosahem „link-local“)
    - ale na adresu pro vyzývaný uzel (solicited node address) ff02:0:0:0:0:1:ffxx:xxxx
      - kde xx.xxxx je posledních 24 bitů hledané IPv6 adresy
        - fakticky jde většinou o unicast (členem skupiny v dané síti je pouze jeden uzel)
          - uzlů „se stejným koncem“ IPv6 adresy ve stejné síti je obvykle jen minimum
  - dotaz nemá podobu ARP zprávy, ale ICMPv6 zprávy Neighbor Solicitation
    - ve které se vyplní (celá) hledaná IPv6 adresa
  - odpověď má podobu ICMPv6 zprávy Neighbor Advertisement
    - s vyplněnou HW adresou, posílá se zpět

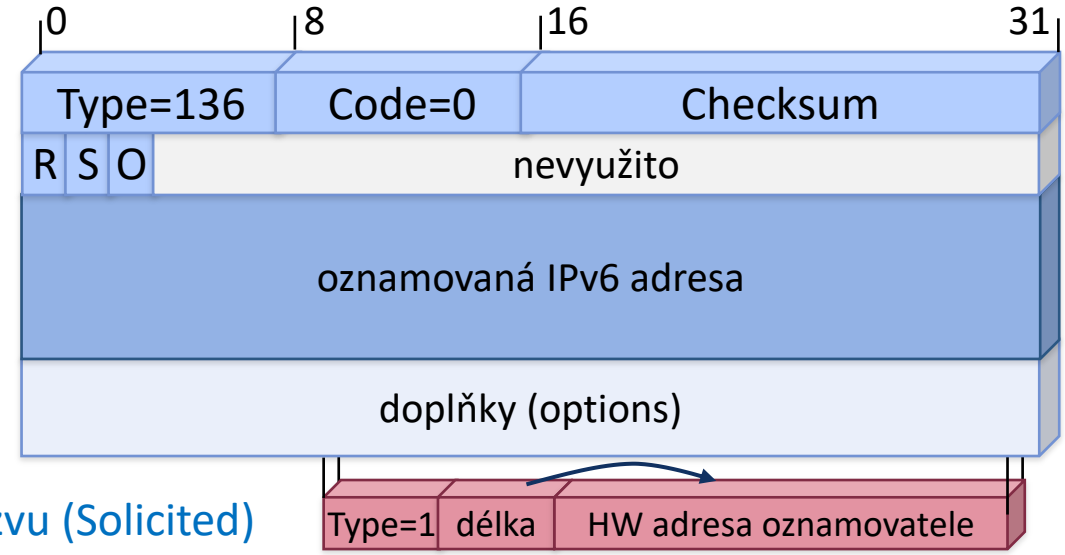


již cíleně, na unicast adresu tazatele

Neighbor Solicitation a Advertisement

- jde o vzájemně „komplementární“ ICMPv6 zprávy
  - Neighbor Solicitation je výzvou
    - obsahuje cílovou IPv6 adresu
      - které se týká dotaz
    - doplněk <u>může</u> obsahovat HW adresu tazatele
      - kterou si příjemce uloží do své neighbor cache
  - Neighbor Advertisement je reakcí
    - obsahuje „oznamovanou“ IPv6 adresu
      - původně (v dotazu): cílovou
    - doplněk <u>musí</u> obsahovat HW adresu oznamujícího uzlu
    - příznaky:
      - R: odesilatel je/není směrovač
      - S: jde/nejde o odpověď na výzvu (Solicited)
      - O: nová informace má přepsat dosavadní informace o dané adrese (Override)



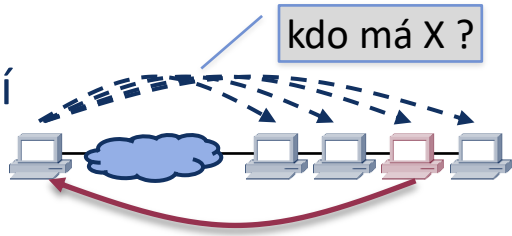


změna adresy, sledování dostupnosti

- pokud uzel zjistí změnu své HW adresy, může ji sám aktivně ohlásit
  - rozešle ICMPv6 zprávu Neighbor Advertisement na multicastovou adresu ff02::01
    - tj. všem uzlům v dané síti („všechny uzly“ s dosahem „link-local“)
    - s vyplněnou vlastní IPv6 adresou a vlastní (novou) HW adresou
      - v doplňku ICMPv6 zprávy
- ostatní uzly si osvěží svou Neighbor cache
  - pokud v ní již mají IPv6 adresu oznamujícího uzlu, aktualizují si jeho HW adresu
    - jinak nedělají nic, aby zbytečně nezaplňovali svou neighbor cache
- každý uzel průběžně sleduje dostupnost svých sousedů
  - a informace o ní si vede ve své Neighbor Cache
    - tj. informace o dostupnosti zde pravidelně zastarává a je nutné ji obnovovat
- možnosti obnovení informace o dostupnosti sousedního uzlu
  - informace od vyšších vrstev
    - ty informují, zda komunikace se sousedním uzlem stále probíhá
  - vlastní test
    - pokud se údaj v Neighbor cache blíží své expiraci, daný uzel pošle svému sousedovi zprávu Neighbor Solicitation
      - a dle výsledku obnoví informaci o dostupnosti ve své Neighbor cache

Duplicate Address Detection

- je řešením (např.) pro situaci, kdy:
  - uzel A si sám zvolí svou IPv6 adresu (pomocí autokonfigurace): adresu X
  - ale potřebuje se ještě ujistit, že je unikátní
    - že ji nepoužívá současně i někdo jiný – zda není duplicitní



- postup
  - uzel A se snaží provést Address Resolution na svou novou IPv6 adresu X
    - postupuje stejně jako při skutečném Address Resolution
      - tj. do zprávy Neighbor Solicitation vloží adresu X jako cílovou IPv6 adresu
    - ale: adresu X ještě nesmí používat jako svou adresu (jako adresu odesilatele)
    - proto:

od :: | kdo má X ? → adresa vyzývaného uzlu (X)

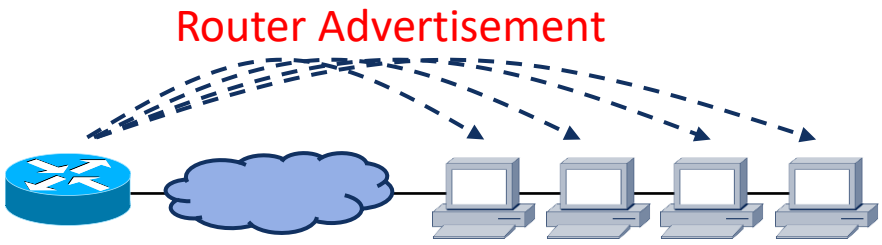
      - v hlavičce odesílaného IPv6 paketu s ICMPv6 zprávou uzel A místo své nové IPv6 adresy X použije nespecifikovanou IPv6 adresu (samé 0, resp. ::)
  - pokud jiný uzel B (ve stejné síti) již používá stejnou IPv6 adresu X, odpoví
    - ale: nemůže odpovědět přímo uzlu A, protože nezná jeho IPv6 adresu
    - proto:

od B | já mám X ! → všem uzlům v dané síti

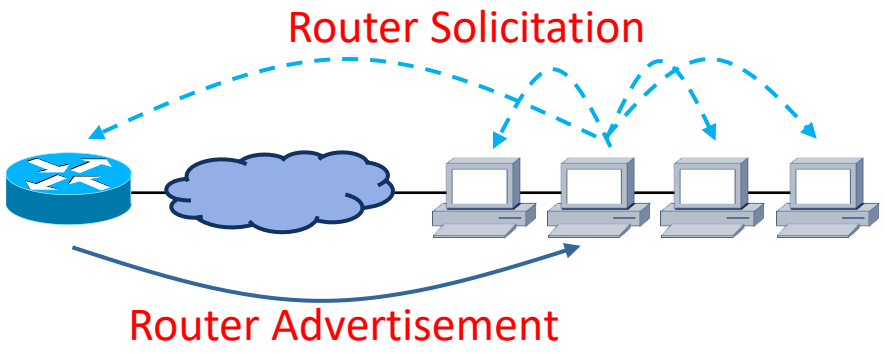
      - svou odpověď rozešle na multicastovou adresu ff02::01
        - tj. na všechny uzly v dané síti – mezi nimi je i uzel A, který odpověď přijme

Router Discovery, Prefix Discovery

- zjednodušeně:
  - směrovače průběžně inzerují svou existenci
    - opakovaným rozesíláním zpráv Router Advertisement na adresu ff02::01
      - tj. všem uzlům v dané síti
    - včetně informací o své HW a IPv6 adrese
      - i jak dlouho bude směrovač dostupný, jak často mají uzly testovat jeho dostupnost
      - s jakým síťovým prefixem pracuje, s jakým MTU pracuje, …..



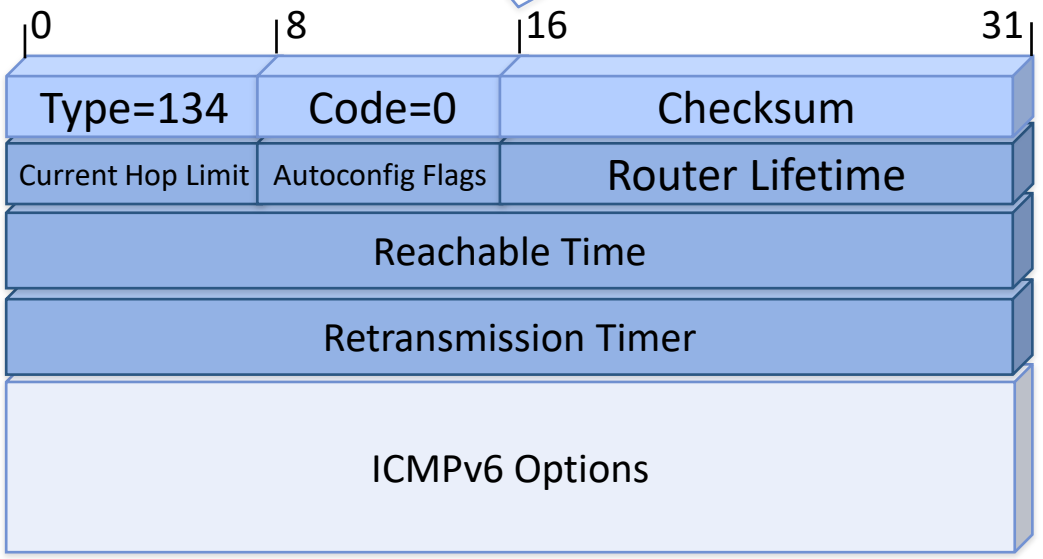
  - hostitelské počítače se mohou chovat:
    1. pasivně: počkat, až směrovač rozešle další svou zprávu Router Advertisement
    2. aktivně: rozeslat zprávu Router Solicitation na adresu ff02::02
       - tj. všem směrovačům v dané síti
       - a tím je „vyprovokovat k reakci“ – k odpovědi formou zprávy Router Advertisement
         - odpověď je již cíleně adresována tazateli (pomocí jeho unicast adresy)



zpráva Router Advertisement

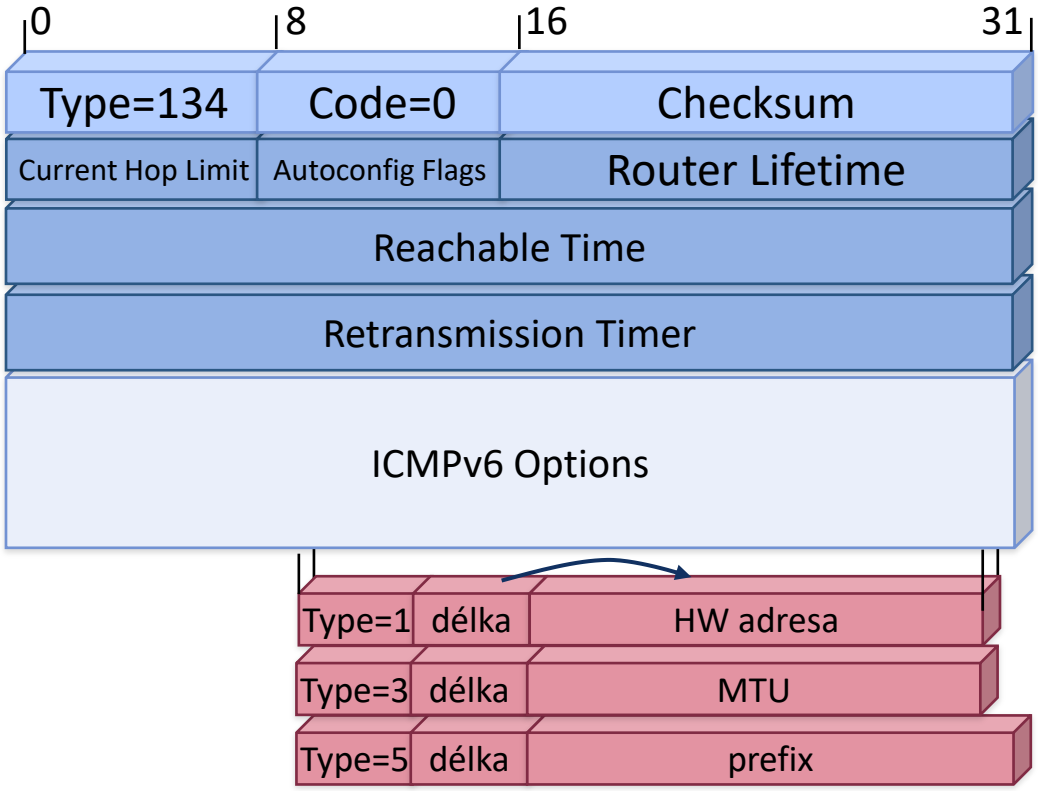
- zprávy Router Advertisement obsahují také další informace, určené pro konfiguraci koncových uzlů (host-ů)
- položky:
  - Current Hop Limit
    - doporučená hodnota Hop Limit pro odesílané pakety
  - Autoconfig Flags
    - příznak M (Managed Address)
      - příjemce (koncový uzel) by měl využít stavovou konfiguraci (DHCP) pro přidělení své adresy
    - příznak O (Other ..)
      - příjemce by měl využít stavovou konfiguraci pro získání dalších informací
        - než je jeho adresa
  - Router Lifetime
    - čas v sekundách, po který by měl být (odesílající) směrovač považován příjemcem za implicitní směrovač
      - 0 = neměl by být považován za implicitní

o který směrovač jde, vyplývá z IPv6 adresy odesilatele



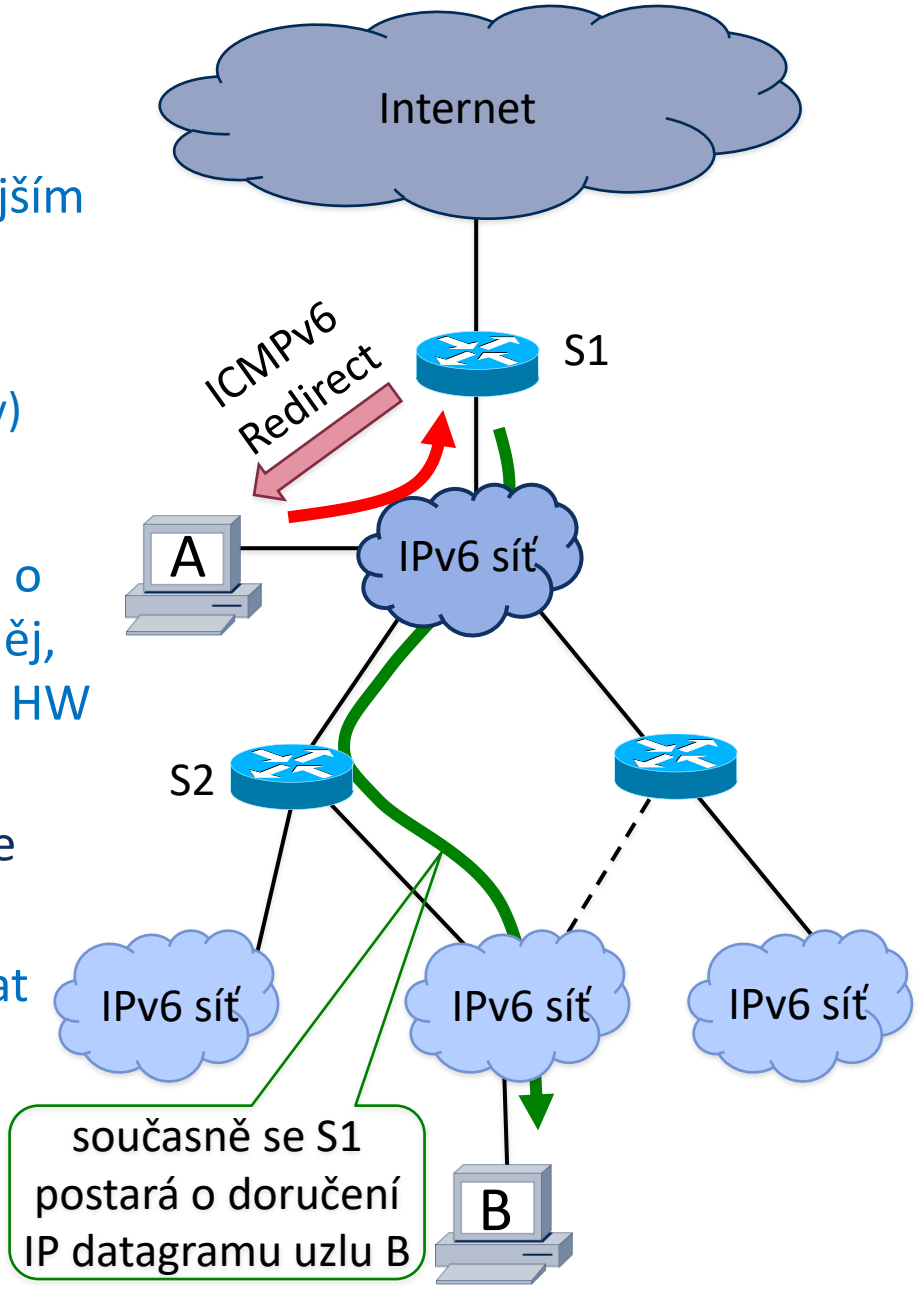
zpráva Router Advertisement

- položky Reachable Time a Retransmission Timer
  - týkají se toho, jak má příjemce zprávy (koncový uzel) testovat dostupnost svých sousedů
    - jak dlouho má být soused považován za dostupného, od posledního kontaktu
      - dle Reachable Time
    - s jakými odstupy mají být zasílány zprávy Neighbor Solicitation (zjišťování dostupnosti)
      - dle Retransmission Timer
- položky Options
  - souvisí s konfigurací koncových uzlů
  - mohou být až 3 různé hodnoty
  - HW adresa (Type=1)
    - toho směrovače, který posílá zprávu Advertisement
  - MTU (Type=3)
    - hodnota MTU v místní síti
  - prefix (Type=3)
    - počet bitů a hodnota prefixu/ů



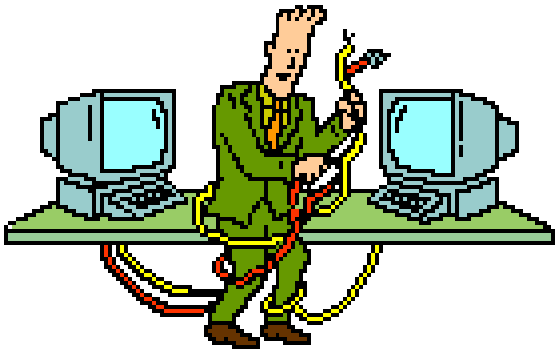
Redirect

- funguje obdobně jako u verze 4
  - směrovač zjistí neoptimální chování koncového uzlu a „poučí ho“ o vhodnějším směru
    - skrze ICMPv6 zprávu Redirect
      - jde o součást ND (Neighbor Discovery)
- rozdíly oproti verzi 4
  - směrovač (S1), který informuje uzel (A) o existenci směrovače (S2) a cestě přes něj, vkládá do ICMPv6 zprávy Redirect také HW adresu (rozhraní) směrovače (S2)
    - aby koncovému uzlu (A) ušetřil práce s převodem
  - ICMPv6 zprávy Redirect mohou využívat autentizaci
    - aby se zabránilo zneužití/útokům



(auto)konfigurace v IPv6

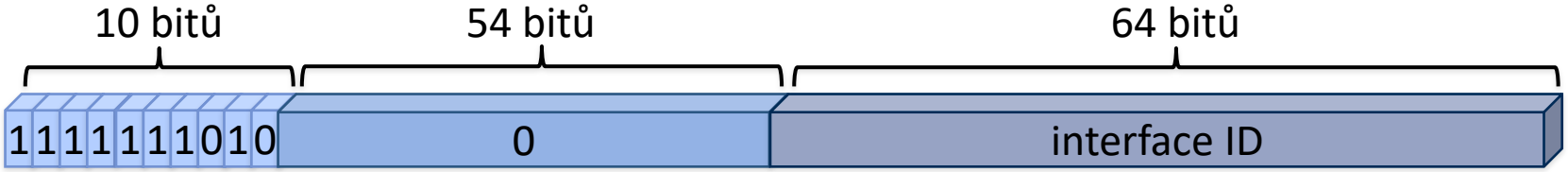
- konfigurace = získání údajů, nutných pro řádné vlastní fungování
  - IP adresa, maska/prefix sítě, adresa (prvního, implicitního) směrovače, DNS, ...
- možnosti konfigurace v IPv6:
  - tzv. stavová konfigurace
    - potřebné údaje jsou přiděleny vhodným serverem
      - typicky: DHCPv6 serverem
    - v zásadě stejné jako u IPv4
  - samozřejmě také manuální konfigurace
    - „ruční“ nastavení



  - tzv. bezestavová konfigurace
    - též: autokonfigurace
      - bezestavová: uzel začíná s nulovou výchozí informací
      - „auto“: uzel řeší sám ….
    - specialita IPv6, koncový uzel si dokáže sám:
      - přidělit svou lokální linkovou IPv6 adresu
        - a ověřit její unikátnost
      - zjistit přítomnost směrovačů
        - včetně síťového prefixu, ……
      - přidělit svou globální unikátní IPv6 adresu
        - na základě získaného síťového prefixu
      - nově i: zjistit si adresy DNS serverů
        - od směrovačů

určení vlastní IPv6 adresy

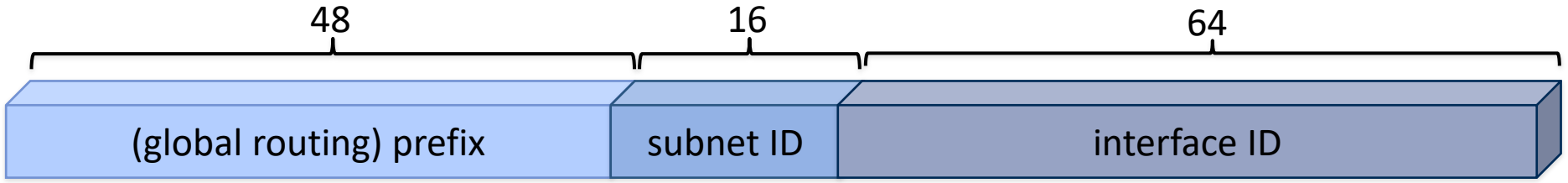
- koncový uzel si vygeneruje vlastní lokální linkovou (link local) adresu
  - začínají prefixem fe80:: /10



  - pro adresu rozhraní (Interface ID) použije svou HW adresu
    - případně nějaký jiný postup (použije nějaký „token“)
- uzel si otestuje jednoznačnost vygenerované lokální linkové adresy
  - použije k tomu postup Duplicate Address Detection, který je součástí mechanismů ND (Neighbor Discovery)
    - v zásadě: snaží se najít uzel, který by takovouto adresu již měl
- pokud je vygenerovaná IPv6 adresa unikátní, uzel ji začne používat
  - jen v dané síti, protože je „lokální“ a platná jen pro danou síť
    - může jí využít pro oslovení směrovačů
      - pasivní: čeká na jejich ICMPv6 zprávy Router Advertisement
      - aktivní: vygeneruje ICMPv6 zprávy Router Solicitation

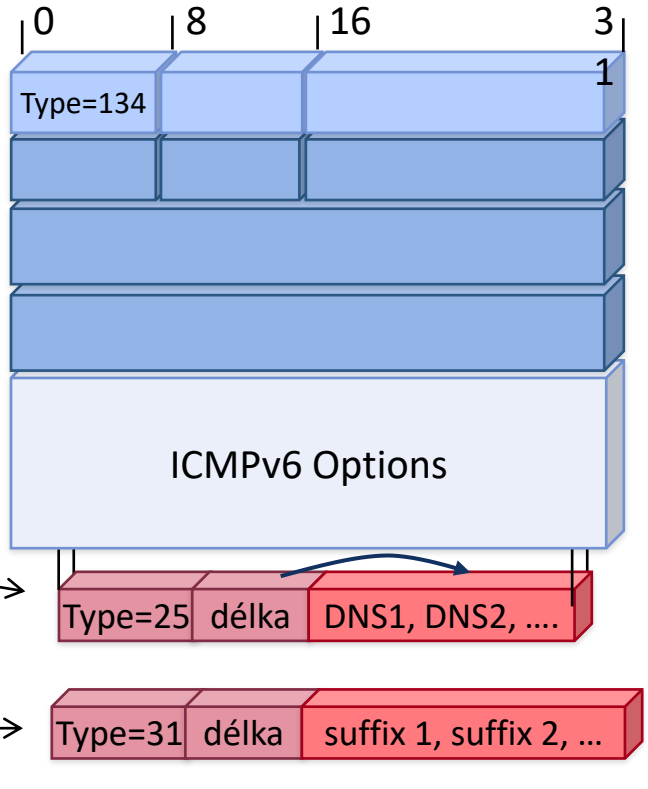
další postup autokonfigurace

- z informací/odpovědí směrovačů se koncový uzel dozví:
  - zda je k dispozici stavová konfigurace
    - zda je v síti k dispozici DHCPv6 server, který by mu přidělil konfigurační údaje
      - pak využije tuto možnost
    - nebo zda má pokračovat v bezestavové (auto)konfiguraci
  - jak má směrovat
    - uzel se dozví o existenci směrovačů a o cestách, které přes ně vedou
    - naplní si své vyrovnávací paměti
      - Destination Cache, Prefix Cache, Default Router Cache
    - doplní si svou směrovací tabulku
      - i skrze ICMPv6 zprávy Redirect
  - v jaké síti se nachází
    - dozví se (globální směrovací) síťový prefix i identifikátor podsítě (subnet ID)
      - a na základě toho si může sám přidělit svou globální unikátní IPv6 adresu



DNS při autokonfiguraci

- součástí konfigurace musí být i nastavení IP adres DNS serverů
  - původně: nebylo to součástí autokonfigurace
    - muselo se řešit stavovou konfigurací (přidělením od DHCP serveru) – nelogické
  - nově (RFC 6106): lze řešit i v rámci (bezestavové) autokonfigurace
- řešení:
  - konfigurační informace o DNS poskytují směrovače
    - v rámci ICMPv6 zpráv Router Advertisement
      - samy nebo v reakci na zprávu Router Solicitation
  - skrze 2 nové doplňky (options), které se vkládají do těchto ICMPv6 zpráv
    - RDNSS (Recursive DNS Server)
      - doplněk obsahující seznam IPv6 adres DNS serverů (1 nebo více), včetně jejich životnosti
    - DNSSL (DNS Search List)
      - doplněk obsahující seznam DNS přípon (suffix-ů), které lze přidávat za symbolická doménová jména při kladení dotazů



www (+.cuni.cz, +.mff.cuni.cz, +.ms.mff.cuni.cz)