Rodina protokolů TCP/IP
verze 3

Téma 5: Protokol IPv4

Jiří Peterka

charakteristika protokolu IPv4

- je univerzální
  - snaží se fungovat „nad vším“
    - viz: IP over Everything
  - nevyužívá specifika přenosových technologií vrstvy síťového rozhraní
    - chce jen "společné minimum"
  - snaží se zakrýt odlišnosti
    - vytváří jednotné prostředí pro všechny aplikace („jednotnou pokličku“)
- pracuje s virtuálními pakety
  - nemají ekvivalent v HW, musí se zpracovávat v SW
    - říká se jim IP datagramy
      - protože se přenáší nespojovaně
    - zatímco u IPv6 se hovoří o paketech
  - mají proměnnou velikost
    - problém: může docházet ke fragmentaci
- je zaměřen na jednoduchost, efektivnost a rychlost
  - je nespojovaný
    - nečísluje přenášené datagramy
    - negarantuje pořadí doručení
    - negarantuje dobu doručení
  - funguje jako nespolehlivý
    - negarantuje doručení
    - negarantuje nepoškozenost dat
    - nepoužívá potvrzení
    - nepodporuje řízení toku
  - je „síťově neutrální“
    - pracuje stylem best effort
      - ke všem datům se chová stejně
    - nepodporuje QoS

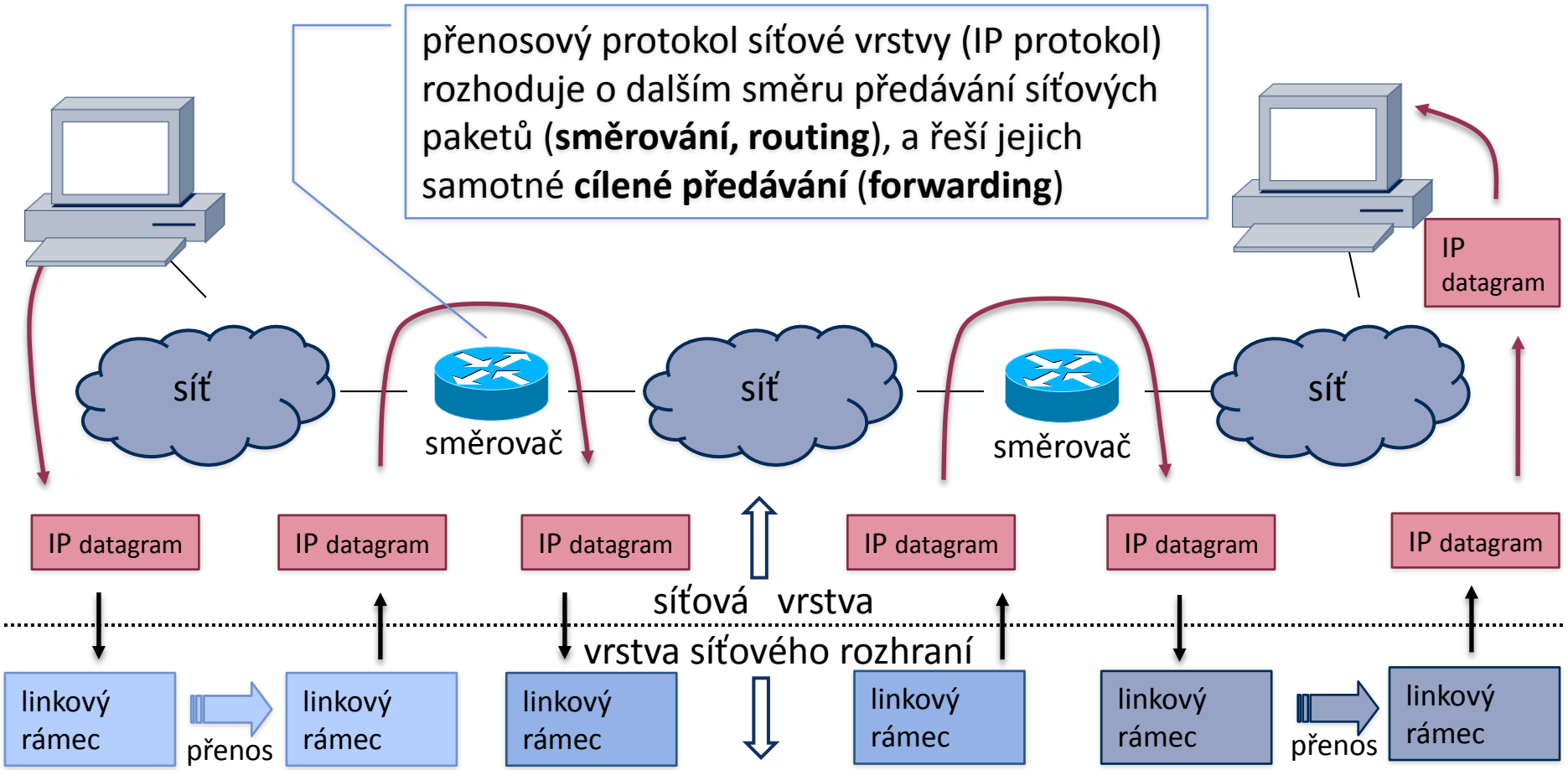
další součásti síťové vrstvy

- protokol IP je jediným přenosovým protokolem síťové vrstvy
  - experimentální protokol ST se neujal a nepoužívá
- ale kromě něj patří do síťové vrstvy i další protokoly a mechanismy:
  - ICMP (Internet Control Message Protocol)
    - pro přenos zpráv týkajících se fungování protokolu IP („posel špatných zpráv“)
  - IGMP (Internet Group Management Protocol)
    - pro správu multicastových skupin
  - protokoly pro směrování
    - RIP (Routing Information Protocol)
    - OSPF (Open Shortest Path First)
    - …….
  - mechanismy překladu adres
    - NAT (Network Address Translation)
      - překlad z IP na IP
    - ARP
      - překlad z IP na HW adresu

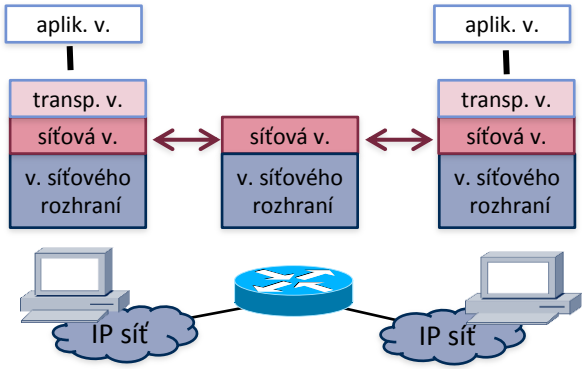
- s fungováním síťové vrstvy úzce souvisí také:
  - vše kolem IP adres
    - a jejich využití, přidělování, distribuce
      - protokoly RARP, BOOTP, DHCP, ….
  - vše kolem směrování
  - systém DNS
    - překlad mezi doménovými jmény a IP
  - protokoly SLIP a PPP
    - byť patří do vrstvy síťového rozhraní

fungování IP jako síťového protokolu

přenosový protokol síťové vrstvy (IP protokol) rozhoduje o dalším směru předávání síťových paketů (**směrování, routing**), a řeší jejich samotné **cílené předávání** (**forwarding**)



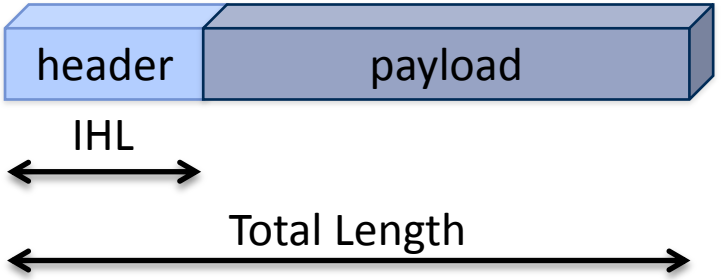
- protokol IP je posledním protokolem (počítáno „odspodu“), který musí být implementován i ve vnitřních uzlech sítě
  - i ve směrovačích



IPv4 datagram a jeho formát

- datagram má dvě hlavní části:
  - hlavičku (header)
    - proměnné velikosti: minimum je 20 B, ale může být větší
      - je nutný explicitní údaj o délce hlavičky:
        - IHL (Internet Header Length), 4 bity, v násobcích 4 bytů
  - tělo, resp. datovou část (body, payload)
    - také proměnné velikosti
      - je nutný (další) údaj o velikosti
        - Total Length, 16 bitů, max. velikost 64 kB
          - zahrnuje jak tělo, tak i hlavičku
- datagram naopak nemá:
  - patičku
    - s kontrolním součtem celého datagramu
      - kontrolní součet má pouze hlavička !!!
        - data v těle (nákladové části) nejsou kryta kontrolním součtem
          - jejich integritu si musí zajistit „ten, komu data patří“ (protokol vyšší vrstvy)

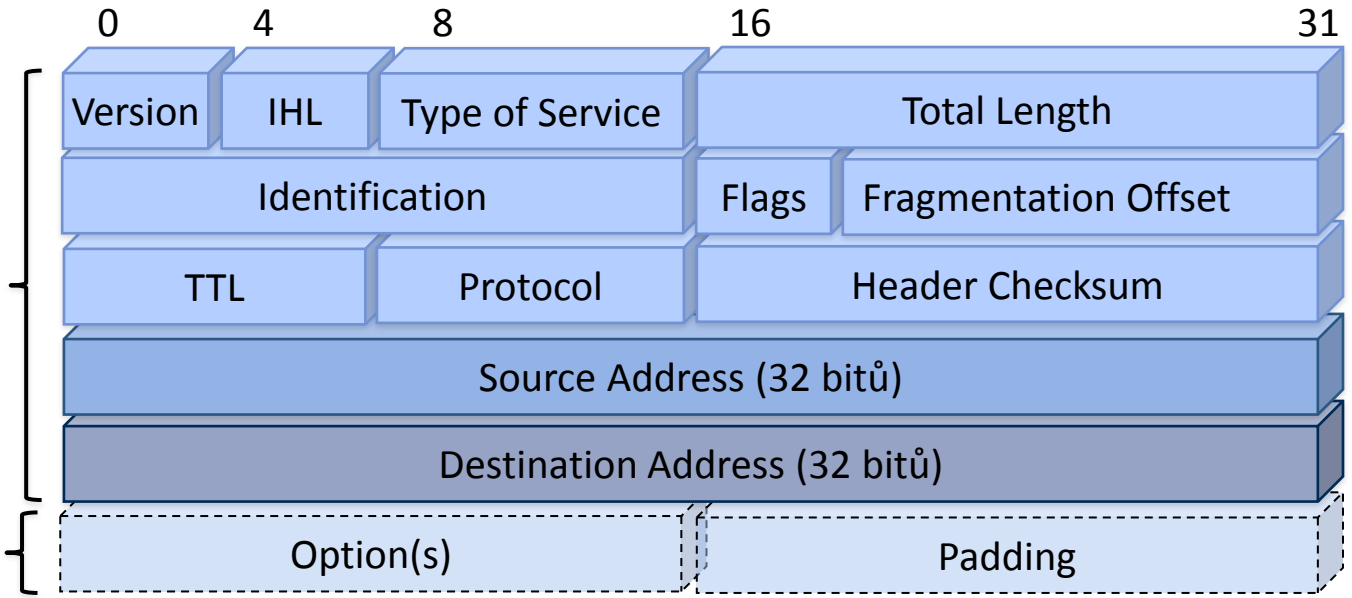
možnost rozšíření se využívá jen zřídka, proto hlavička má obvykle jen 20 bytů



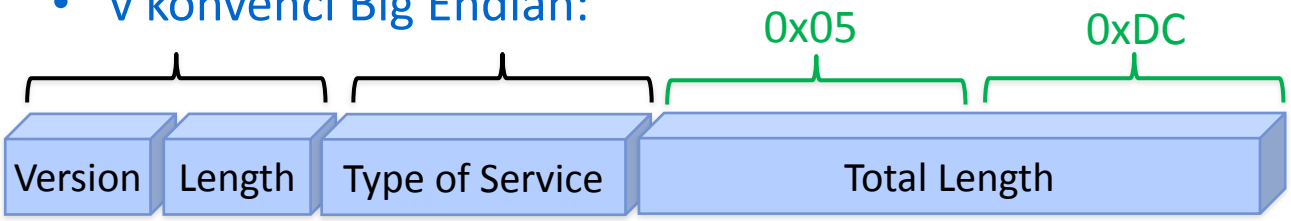
v praxi bývá podstatně menší, kvůli velikosti linkového rámce

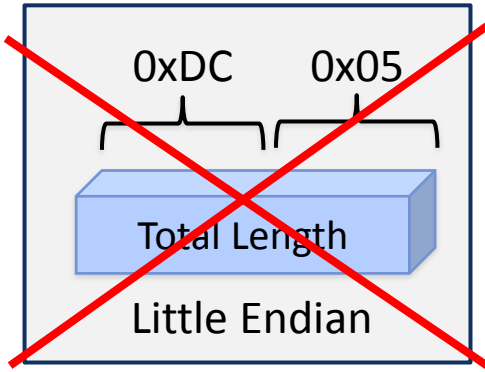
hlavička IPv4 datagramu

- má celkem 14 položek, z nichž:
  - 13 je povinných
    - dohromady mají velikost 20 bytů
      - minimální, současně obvyklá velikost hlavičky
  - 1 je volitelná
    - doplňky (Options)



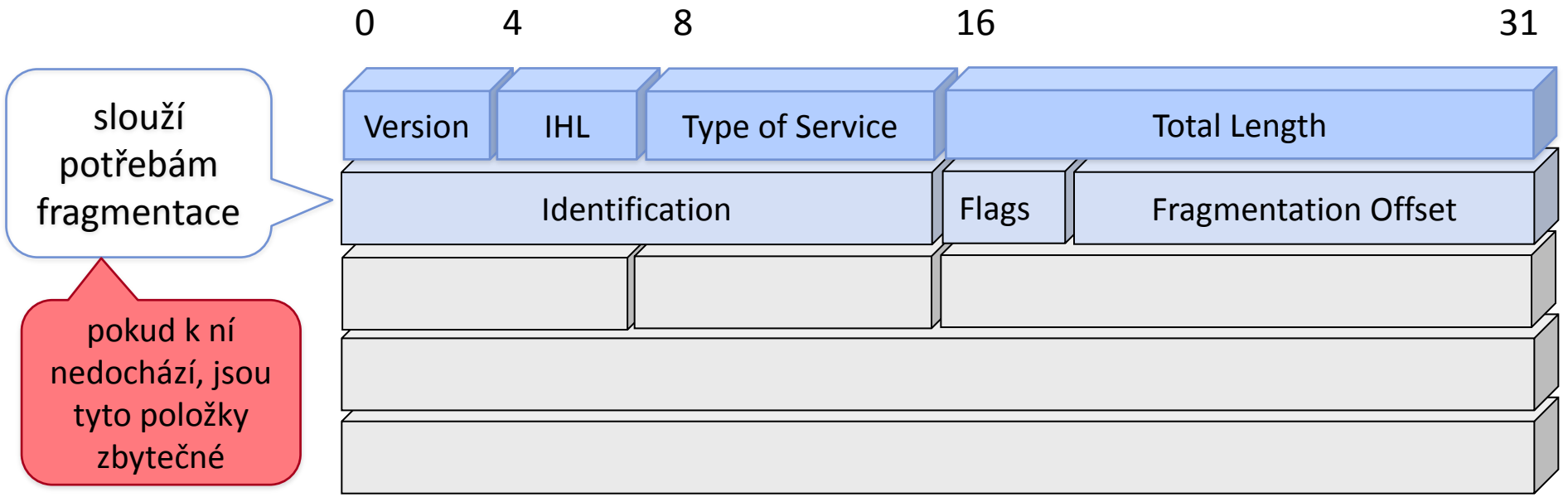
- údaje jsou do všech položek zapisovány podle konvence Big Endian
  - tj. „nejvýznamnější byte nejdříve“
- příklad: IP datagram velikosti 1500 bytů (0x5DC)
  - v konvenci Big Endian:





formát hlavičky IPv4 datagramu

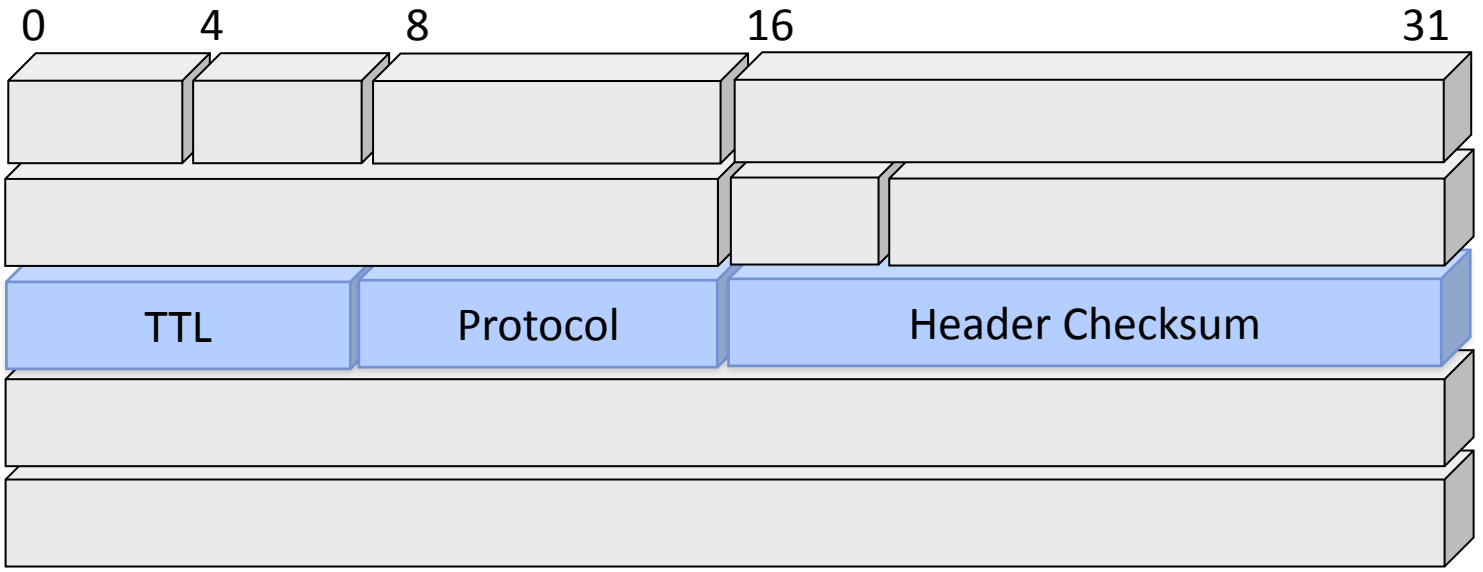
- Version, 4 bity
  - dnes = 4 (IPv4)
- IHL (Internet Header Length), 4 bity
  - velikost hlavičky v jednotkách 32-bitů
    - při minimální/typické velikosti hlavičky (bez rozšíření) je IHL = 5
- Total Length, 16 bitů
  - celková délka datagramu v bytech, včetně hlavičky!
- Type of Service (TOS), 8 bitů
  - *„zapomenutý byte“*
    - jeho původní význam dnes již není znám
      - bylo definováno několik nových významů,
        - hlavně pro potřebu podpory QoS
  - dnes ignorováno
    - nebo se využívá pro DiffServ



formát hlavičky IPv4 datagramu

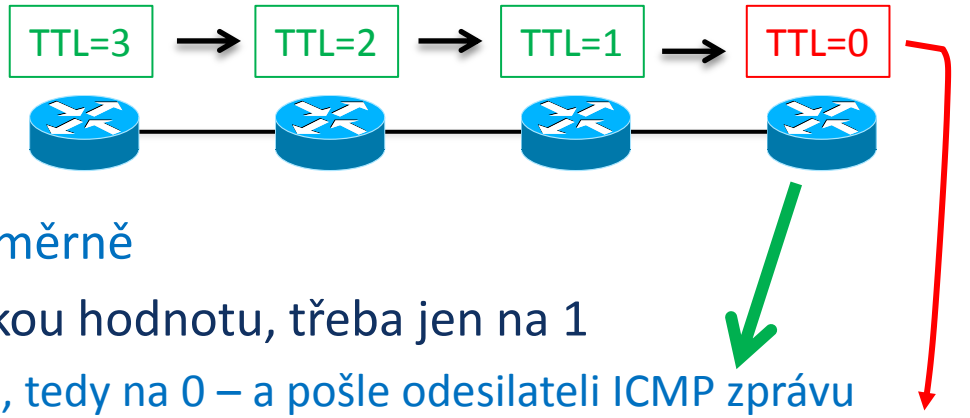
- TTL (Time To Live), 8 bitů
  - původně se mělo jednat o časový údaj, dnes je využíváno jako počet přeskoků
- Protocol, 8 bitů
  - udává typ dat v těle (nákladové části) datagramu
    - např.: 1=ICMP, 6=TCP, 17=UDP
      - konvence o hodnotách je společná s IPv6, spravuje ji organizace IANA, zveřejňuje na http://www.iana.org/assignments/protocol-numbers/protocol-numbers.xml
- Header Checksum, 16 bitů
  - kontrolní součet hlavičky (nikoli CRC)

pokud kontrolní součet nesedí, datagram může být zahozen



položka TTL

- položka TTL chrání před zacyklením, funguje jako (klesající) čítač
  - tzv. hop count (v IPv6 se jmenuje: Hop Limit)
  - odesilatel nastaví tuto položku na určitou počáteční hodnotu
  - při každém průchodu směrovačem se hodnota této položky sníží o 1
    - pozor: kvůli tomu je nutné přepočítávat kontrolní součet hlavičky !!!!
  - pokud hodnota TTL klesne na 0, má směrovač právo datagram zahodit
    - má právo myslet si, že došlo k zacyklení
    - ale: má povinnost poslat o tom zprávu odesilateli datagramu
      - pomocí protokolu ICMP
        - ICMP zprávu Time Exceeded



- další využití (traceroute):
  - vynulování položky TTL lze navodit záměrně
    - počátečním nastavením TTL na nízkou hodnotu, třeba jen na 1
      - nejbližší další směrovač sníží TTL o 1, tedy na 0 – a pošle odesilateli ICMP zprávu Time Exceeded
    - odesilatel datagramu se z této zprávy dozví adresu „dalšího“ uzlu
      - takto může „vystopovat“ všechny uzly na cestě od sebe (proto: trace route)

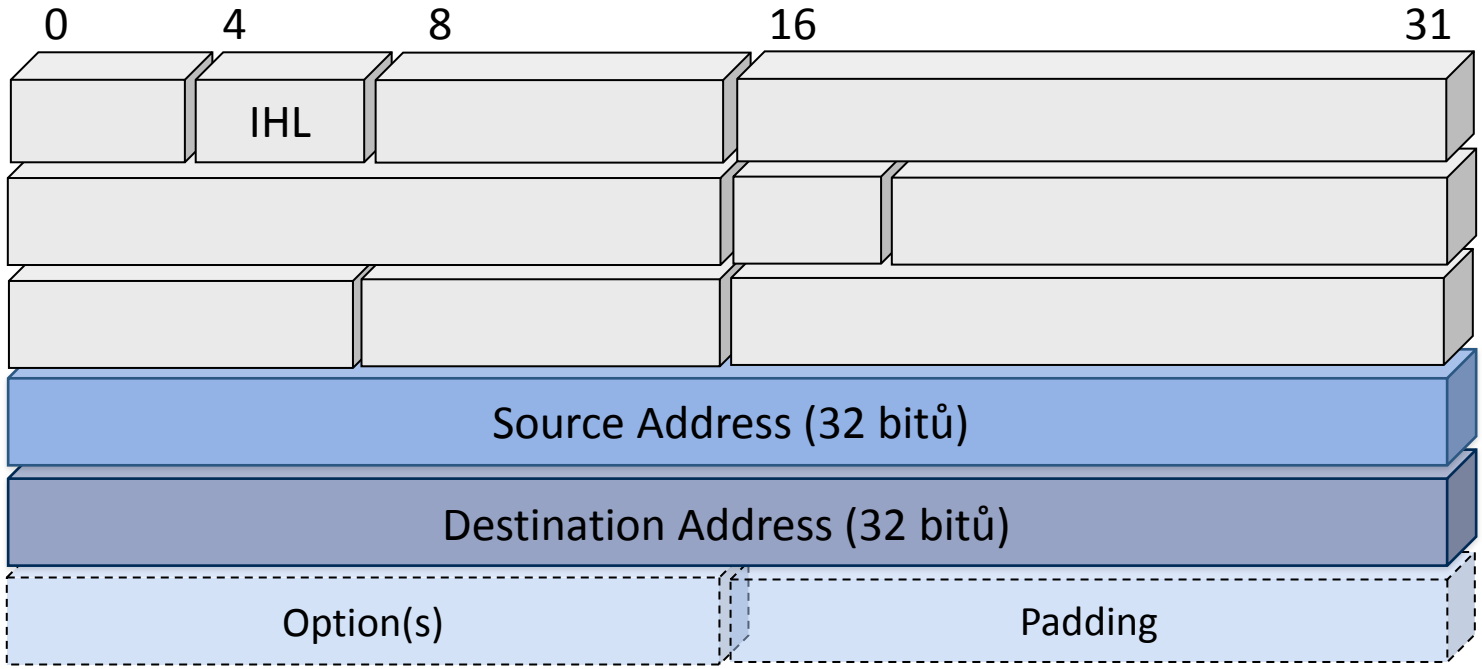
položka Header Checksum

- položka Header Checksum zajišťuje integritu hlavičky
  - umožňuje detekovat případnou změnu obsahu hlavičky
- výpočet kontrolního součtu:
  - hlavička se interpretuje jako posloupnost 16-bitových slov
    - samotná položka Header Checksum se do výpočtu nezahrnuje
  - k součtu se připočítají přetoky a udělá se z něj jedničkový doplněk
    - tj. invertují se jednotlivé bity součtu
    - výsledek (16 bitů) se zapíše do položky Header Checksum
- ověření kontrolního součtu
  - počítá se včetně hodnoty položky Header Checksum
    - jinak je postup stejný
  - pokud vyjde 0, nedošlo ke změně
  - jiná hodnota = došlo ke změně
    - datagram může/musí být zahozen
    - ale: neodesílá se žádná ICMP zpráva
      - protože není záruka toho, že by došla správnému odesilateli
        - kvůli možnému poškození adresy odesilatele
- problém (zatěžující implementaci IPv4):
  - obsah položky (hodnota kontrolního součtu) se musí přepočítávat
    - při každé změně položky TTL (tj. při každém průchodu směrovačem)
    - při každém překladu adres (NAT)

formát hlavičky IPv4 datagramu

- Source Address, Destination Address, á 32 bitů
  - IPv4 adresy odesilatele a (koncového) příjemce
- Options, různá velikost (od 1 bytu výše)
  - volitelné doplňky
    - mohou mít různou velikost, nemusí být zarovnány na celé násobky 32 bitů
      - jak vyžaduje konstrukce položky IHL (Internet Header Length)
        - která počítá s délkou, která je násobkem 32 bitů (4 bytů)
- Padding
  - případné dorovnání hlavičky do celistvého násobku 32 bitů

dnes se v praxi moc nepoužívají



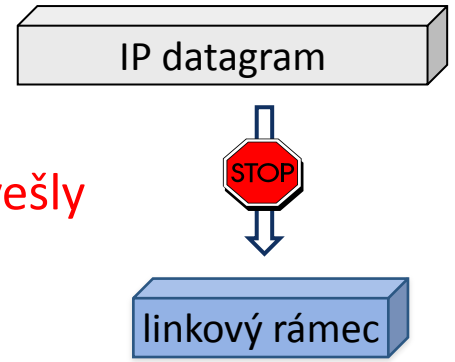
volitelné doplňky (options)

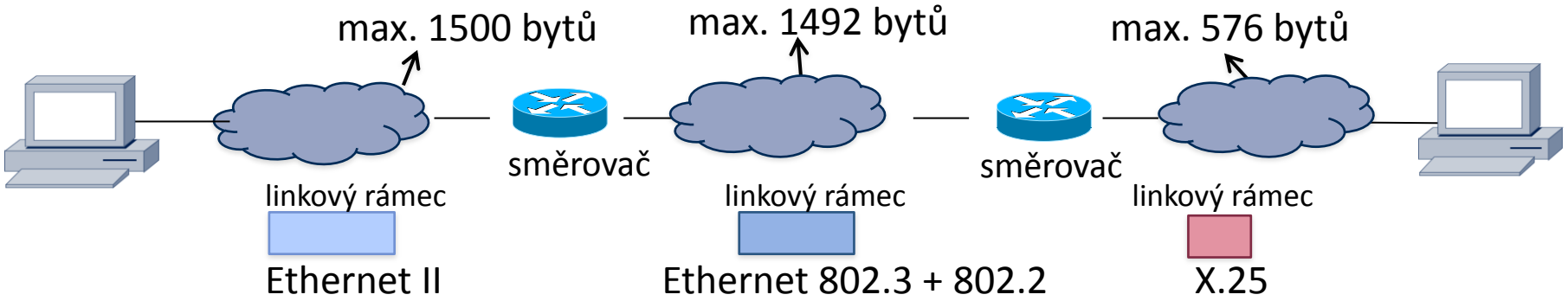
- mají vlastní (strukturovaný) formát
  - zahrnuje:
    - typ doplňku (Option Type), 1 byte
    - délku doplňku (Option Length), žádný nebo 1 byte
    - data doplňku (Option Data), žádný nebo více bytů
- příklady doplňků
  - Record Route
    - zaznamenává, kudy datagram prochází
      - každý směrovač, přes který datagram prochází, vloží do jeho hlavičky svou IP adresu
  - Timestamp
    - zaznamenává čas průchodu jednotlivými směrovači
  - Source Routing
    - v hlavičce IP datagramu je vložena cesta (posloupnost směrovačů)
      - *Strict Source Route*: posloupnost směrovačů musí být přesně dodržena
      - *Loose Source Route*: na cestě mezi předepsanými směrovači může datagram přecházet i přes jiné směrovače
        - ale musí projít všemi směrovači na „source route“

(pravděpodobný) smysl doplňků:
aby bylo možné měnit způsob, jakým protokol IP standardně nakládá s datagramy

problém fragmentace

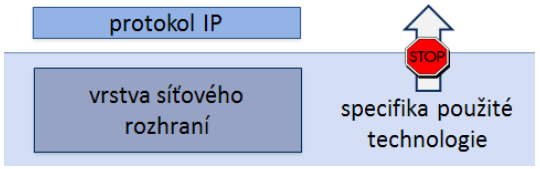
- prvotní příčina:
  - technologie vrstvy síťového rozhraní pracují s linkovými rámci omezené velikosti
    - do kterých se IP datagram nemusí vejít!!
- řešení:
  - dělat IP datagramy jen tak velké, aby se do linkových rámců vešly
- problém:
  - ne vždy je to možné (volit IP datagram dostatečně malý)
    - o velikosti IP datagramu rozhoduje:
      - protokol TCP, pokud jde o data přenášená tímto protokolem
      - aplikace, pokud jde o data přenášená protokolem UDP
  - „po cestě“ mohou být IP datagramy vkládány do linkových rámců různé velikosti
    - různé linkové technologie pracují s různě velkými rámci !!!

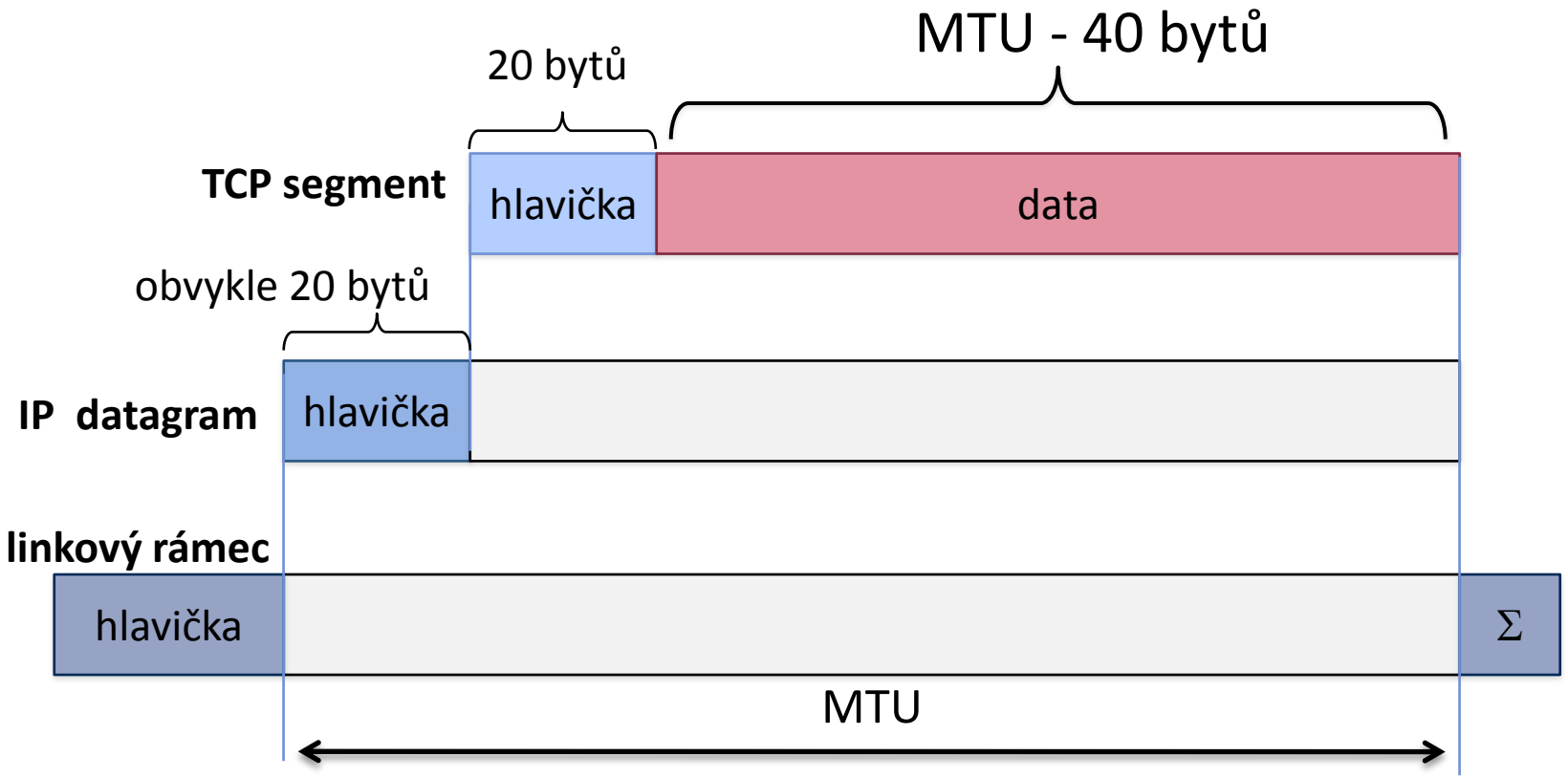




MTU: Maximum Transmission Unit

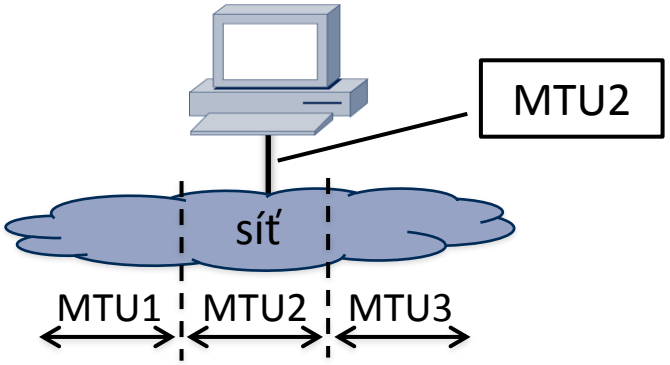
- protokol IP zakrývá všechna specifika linkových technologií
  - výjimkou je informace o velikosti (nákladové části) jejich rámce
    - skrze parametr MTU (Maximum Transmission Unit)
  - tuto informaci se dozvídá jak protokol TCP, tak i aplikace
    - podle ní mohou „porcovat“ svá data
      - ovšem ani to nemusí stačit – viz různá MTU „po cestě“

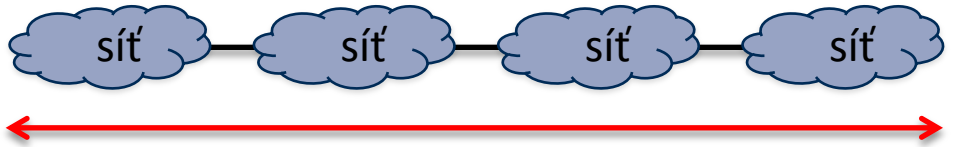




dosah MTU

- hodnota parametru MTU se vztahuje pouze:
  - k danému rozhraní
    - důležité pro směrovače, každé jejich rozhraní může mít jiné MTU !!
  - k místního (linkovému) segmentu
    - různé linkové technologie (s různou velikostí linkového rámce) mohou být nasazeny i v jedné a téže síti
      - například:
        - Ethernet II: max. 1500 bytů
        - Ethernet 802.2+802.3: 1492 bytů
        - 802.11 (Wi-Fi): 7981 bytů



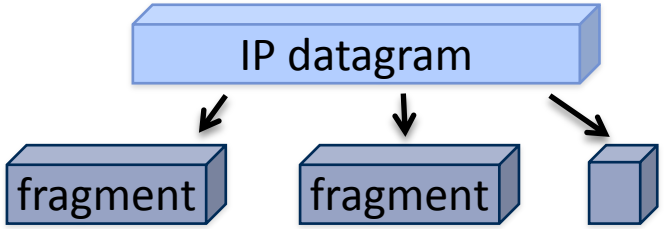


- Path MTU („MTU po celé cestě“)
  - fakticky: minimum přes všechna MTU od zdrojového uzlu až po cílový
  - dá se zjistit pomocí postupu zvaného Path MTU Discovery
    - ale: nemusí vždy fungovat správně
      - kvůli nespojovanému způsobu fungování protokolu IP
        - skutečná data mohou být přenášena jinou cestou
  - garantované minimum Path MTU:
    - IPv4: 68 bytů (RFC 791)
      - v praxi: 576 bytů
        - minimum, které musí zpracovat každý uzel (bez fragmentace)
    - IPv6: 1280 bytů

řešení problému fragmentace

- možné strategie (odesilatelů):
  1. generovat jen tak velké IP datagramy, které se vždy „vejdou“ do linkových rámců
     - IPv4: do 576 bytů,
     - IPv6: do 1280 bytů
  2. řídit se Path MTU
     - „nákladné“
       - kvůli nutnosti zjišťování
     - nemusí vždy stačit
       - kvůli nespojovanému způsobu fungování protokolu IP
  3. řídit se jen „místním“ MTU
     - nemusí vždy stačit
       - kvůli menšímu MTU „po cestě“
  4. neomezovat velikost IP datagramů
     - zvláště pokud není v silách

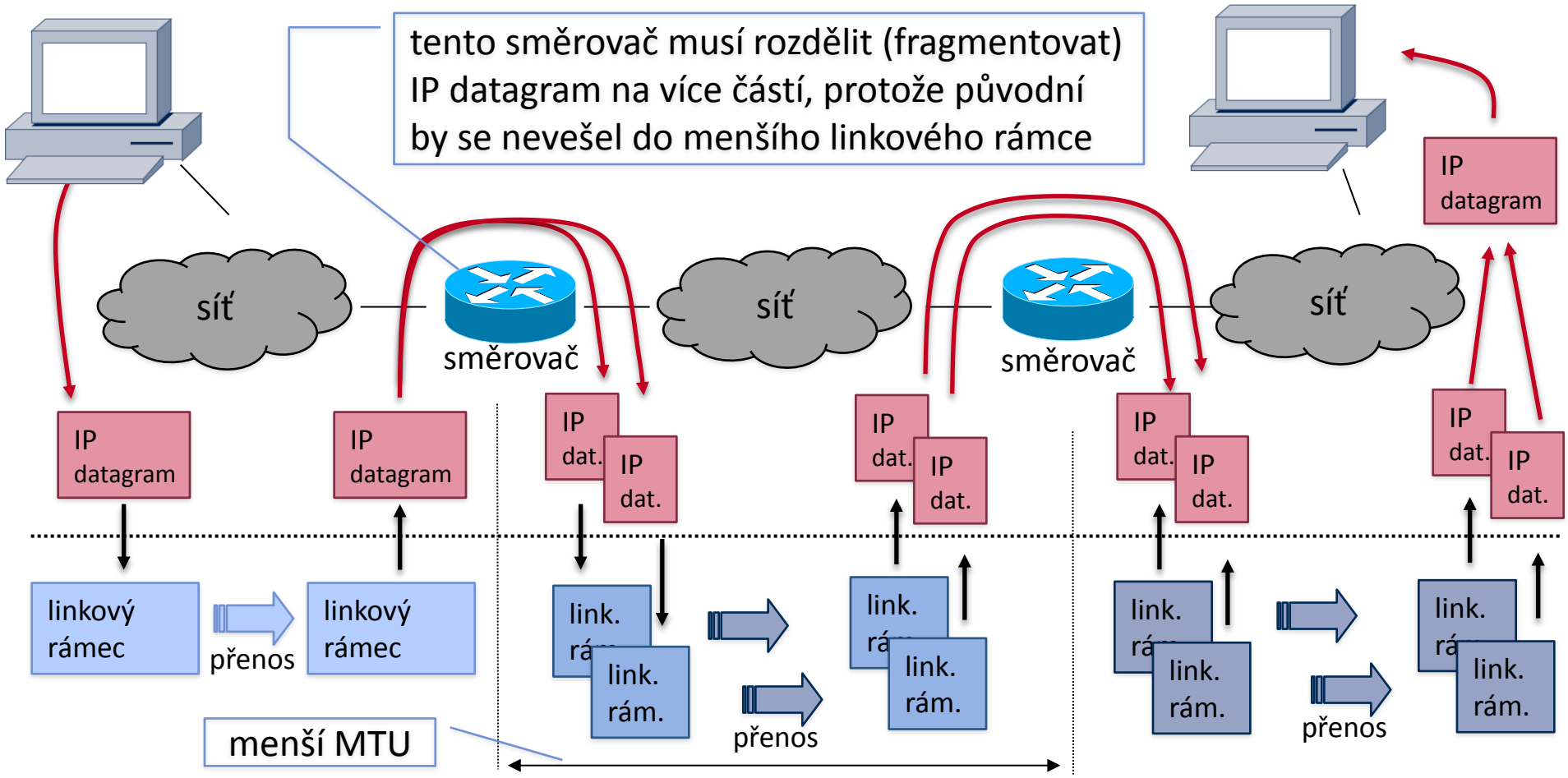
- podmínka:
  - je k dispozici možnost fragmentace
    - rozdělení „příliš velkého“ IP datagramu na menší datagramy
      - označované jako fragmenty
    - které se „již vejdou“ do linkových rámců
      - a mohou se přenášet samostatně



- fungování:
  - IPv4:
    - fragmentovat může odesílající uzel i kterýkoli směrovač „po cestě“
  - IPv6:
    - fragmentuje jen odesílající uzel

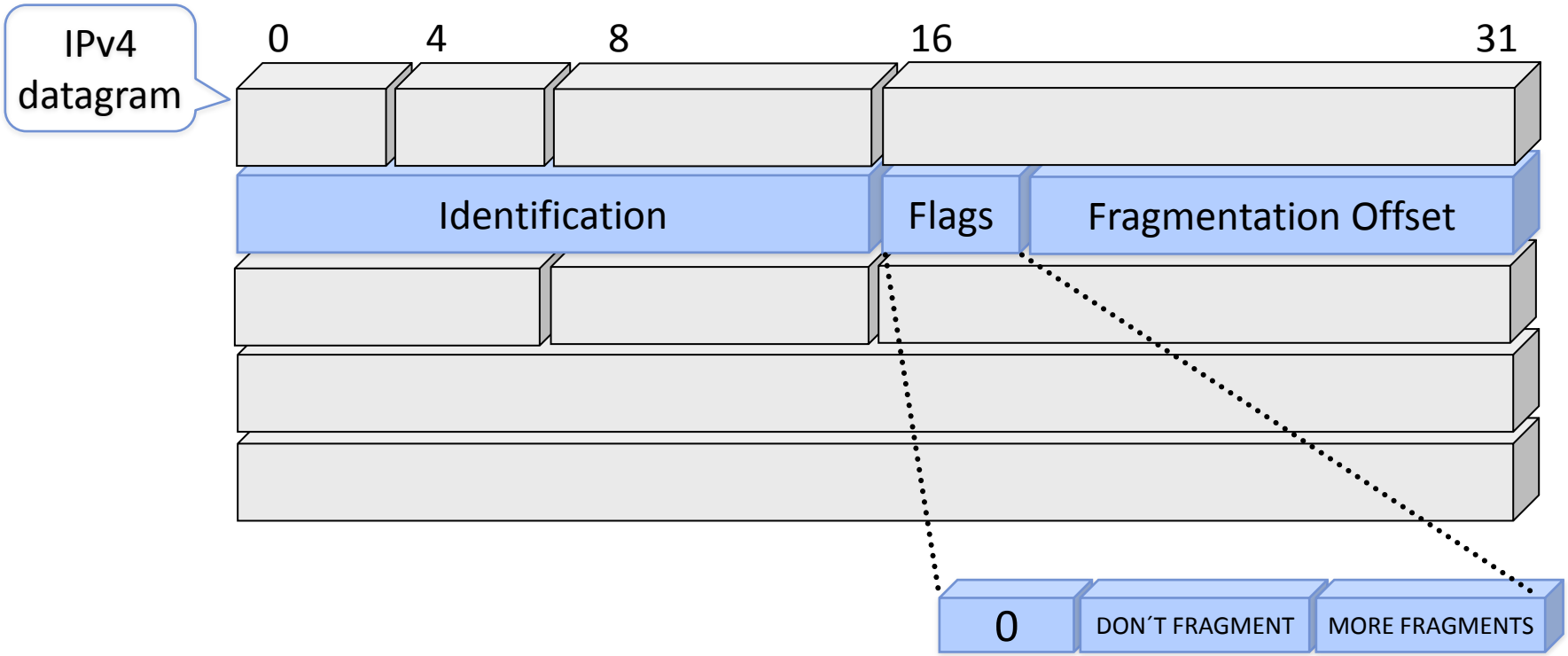
de-fragmentace

- jednotlivé fragmenty skládá zpět (do původního datagramu) vždy až jejich koncový příjemce !!!
  - žádný jiný uzel to dělat nemůže
    - nemusí mít k dispozici všechny fragmenty (mohou být přenášeny mimo něj)



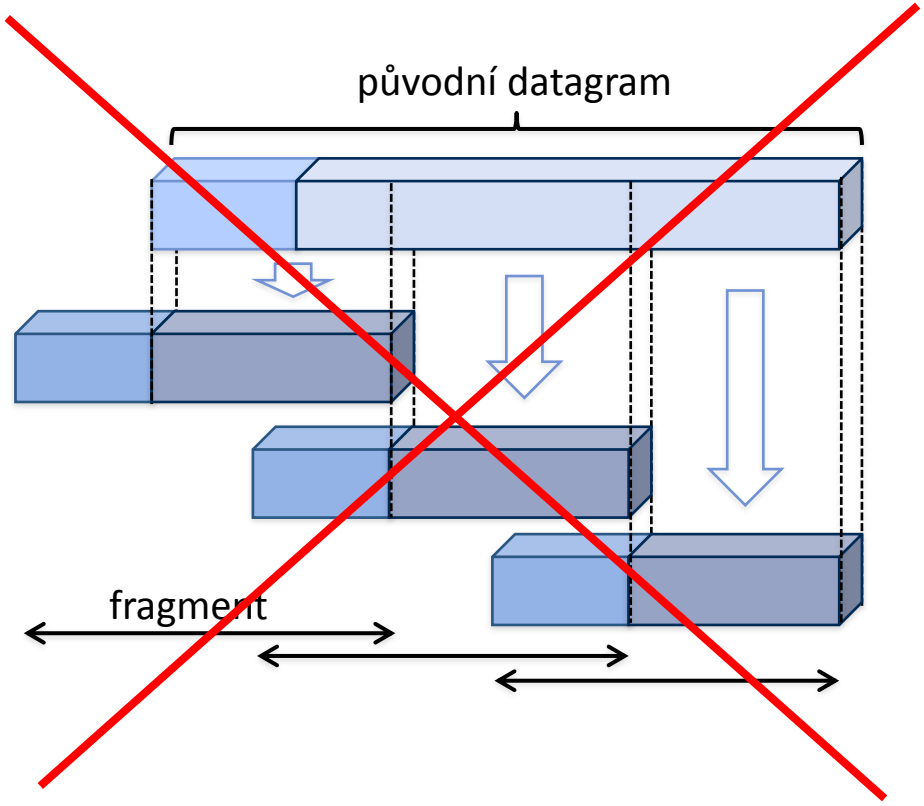
podpora fragmentace v protokolu IP

- podmínkou pro fragmentaci je podpora v protokolu IP
  - IPv6 ji řeší pomocí rozšiřujících hlaviček
    - které připojuje k základní hlavičce až v případě potřeby
      - až když se skutečně fragmentuje
  - IPv4 ji řeší položkami, které jsou přítomné v každé hlavičce
    - a tudíž jsou zbytečné (a zabírají místo) tam, kde k fragmentaci nedochází

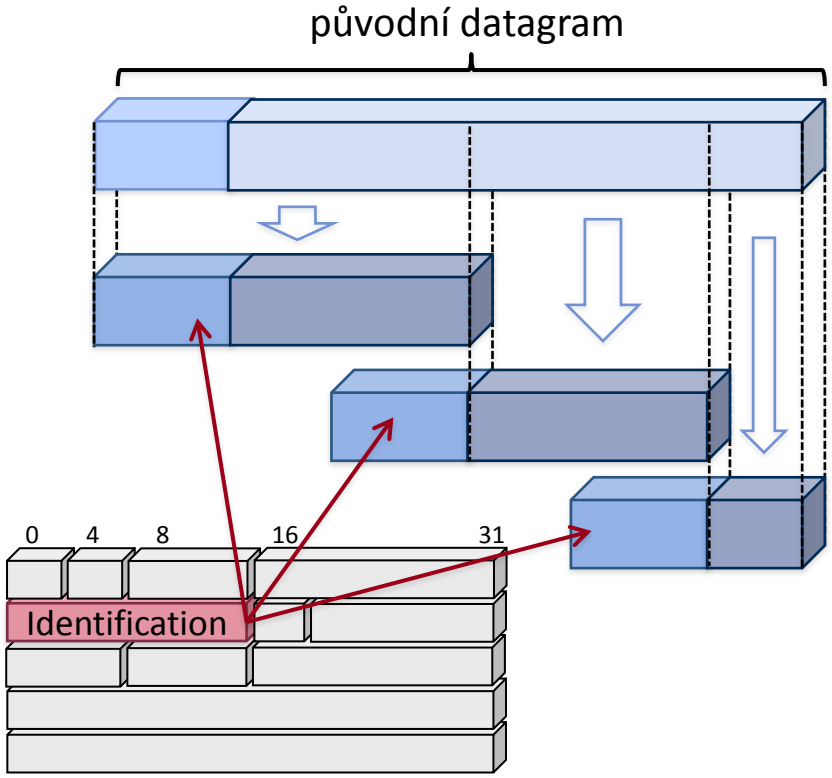


způsob fragmentace v IPv4

- fragmentace nepředstavuje zapouzdření původního IP datagramu



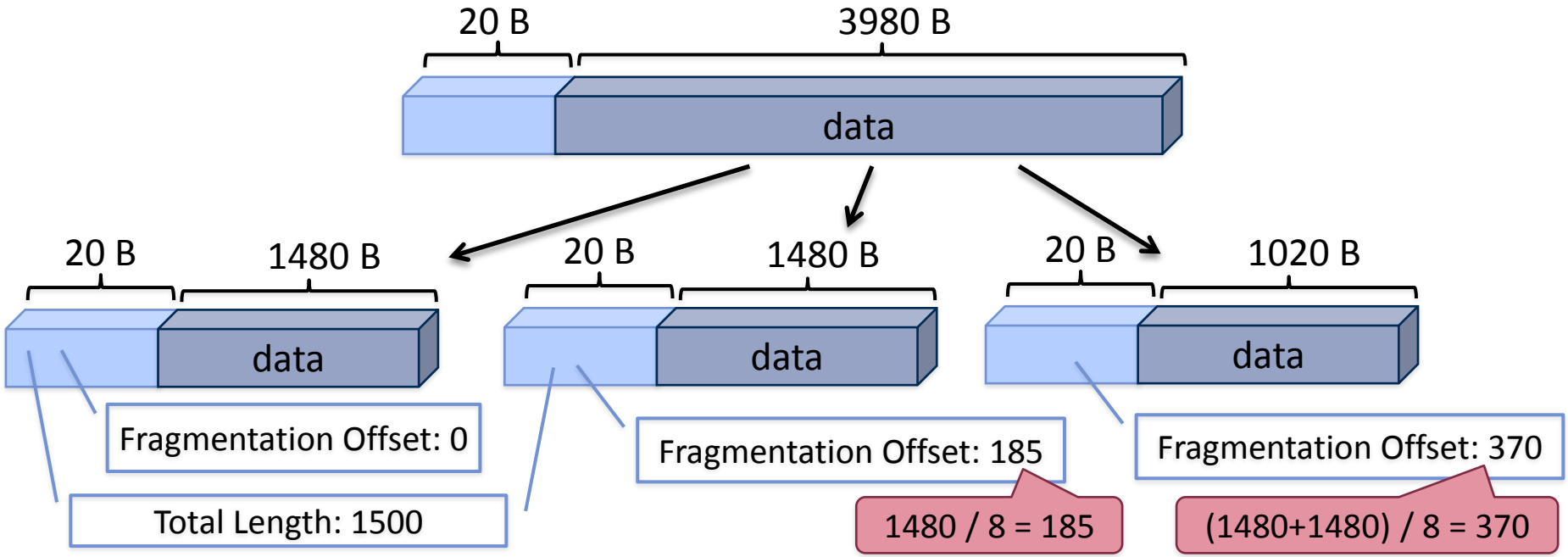
- ale překlad (transformaci) původního datagramu



- všechny fragmenty mají v položce Identification (16 bitů) stejnou hodnotu jako původní datagram
  - tím se pozná, že „patří k sobě“

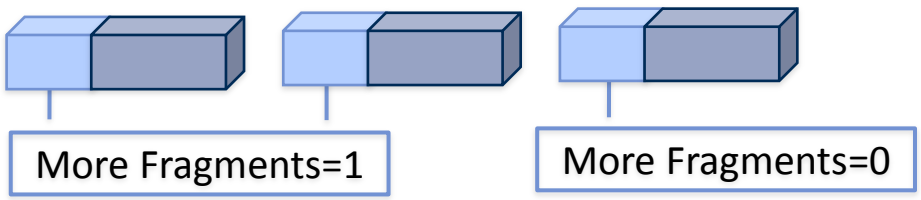
způsob fragmentace v IPv4

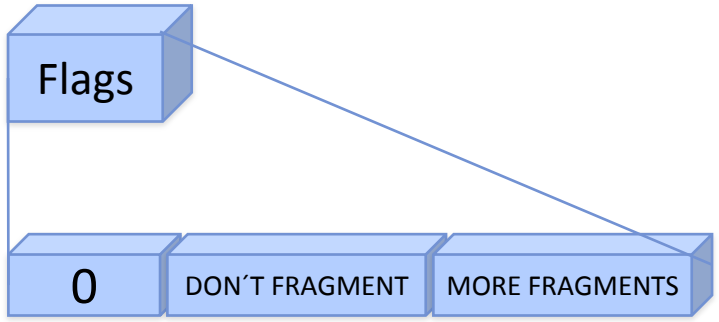
- položka:
  - Fragmentation Offset, 13 bitů (nikoli 16 !!!)
    - udává offset (posun) začátku datové části fragmentu oproti datové části původního datagramu
      - v násobcích 8 bytů (64 bitů)
        - proto musí být velikost fragmentů zaokrouhlena na celistvé násobky 8 bytů
- příklad: IP datagram o velikosti 4000 B, hlavička bez doplňků (tj. 20 B)
  - je třeba jej vložit do linkového rámce s MTU=1500 bytů



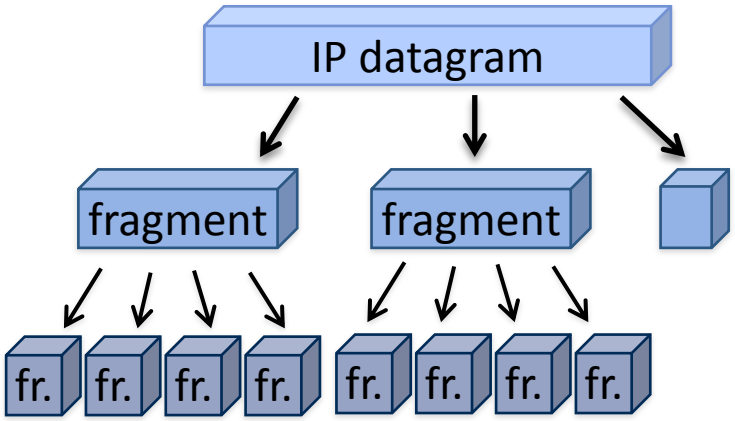
způsob fragmentace v IPv4

- příznaky fragmentace (Flags):
  - Don't Fragment, 1 bit
    - požadavek na to, aby datagram nebyl fragmentován, i když by to bylo zapotřebí
      - v jeho přenosu pak ale nelze pokračovat
        - musí být zahozen
        - odesilateli datagramu je zaslána ICMP zpráva Destination Unreachable
          - někdy je tento stav vyvoláván záměrně, pro potřeby hledání Path MTU (nejmenšího MTU „po cestě")
  - More Fragments, 1 bit
    - příznak, udávající zda jde o poslední fragment
      - 1 = nejde o poslední
      - 0 = jde o poslední





- fragmentaci lze opakovat
  - fragmenty lze dále fragmentovat
    - pokud se opět nevejdou do linkového rámce



problémy s fragmentací

- u doplňků (options) není jasné, jak s nimi naložit
  - každý doplněk má příznak, který specifikuje zda daný doplněk má být zkopírován i do jednotlivých fragmentů, nebo nikoli
- připomenutí:
  - (u IPv4): fragmentovat může jak odesílající uzel, tak kterýkoli směrovač „po cestě“
    - ale zpětné sestavení původního datagramu z fragmentů („de-fragmentaci“) provádí až koncový příjemce !!!!
- problém:
  - zpětné sestavování (de-fragmentace) je složité a časově náročné
    - koncový příjemce musí čekat určitou dobu, zda dostane všechny fragmenty
      - mohou mu přicházet v různém pořadí, s různým zpožděním …..
        - musí si je ukládat do vhodného bufferu a volit vhodnou dobu čekání
    - je to ve sporu s celkovým stylem fungování protokolu IP
      - ten funguje bezestavově, nemá (jinak) žádné časové limity, čekání atd.
  - pokud příjemci nepřijdou (do zvoleného časového limitu) všechny fragmenty, musí všechny dosud přijaté fragmenty zahodit
    - a odesilateli pošle ICMP zprávu Time Exceeded

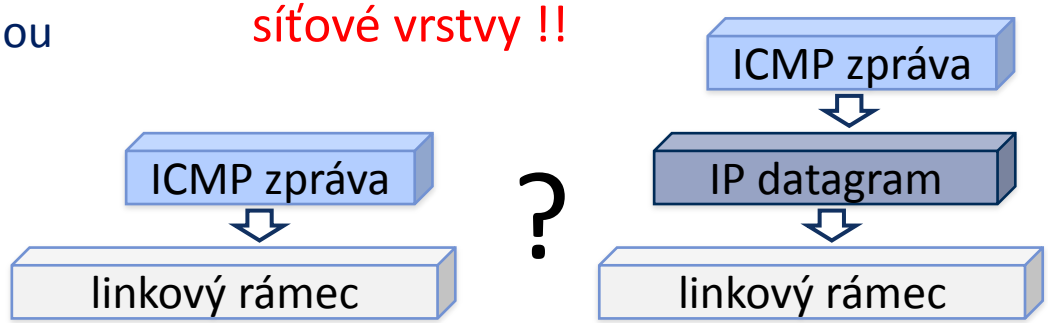
protokol ICMP

- protokol IP je velmi jednoduchý a přímočarý
- postrádá:
  - mechanismy pro signalizaci (hlášení) chyb a nestandardních situací
    - například zahození datagramu, nesprávné směrování, přetížení, …..
  - testování a další „speciální úkoly“
- proto:
  - k protokolu IP byl vyvinut „doplňkový“ protokol
    - ICMP: Internet Control Message Protocol
  - který přenáší zprávy
    - tzv. ICMP zprávy
  - je povinnou součástí (implementace) protokolu IP
    - je součástí síťové vrstvy
      - tudíž musí být implementován i ve směrovačích
        - které také generují ICMP zprávy nejčastěji
  - protokol IPv4 má vlastní protokol ICMP (ICMPv4)
    - protokol IPv6 také: ICMPv6

- příklady ICMP zpráv:
  - Time Exceeded
    - vypršený čas
  - Destination Unreachable
    - nedosažitelný cíl
  - Source Quench
    - hrozí zahlcení
  - Redirect
    - přesměrování
  - Echo Request/Reply
    - testování dostupnosti
  - ……

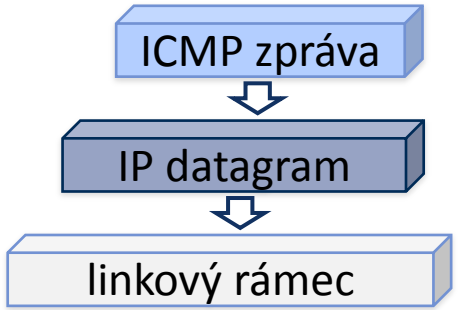
jak se přenáší ICMP zprávy?

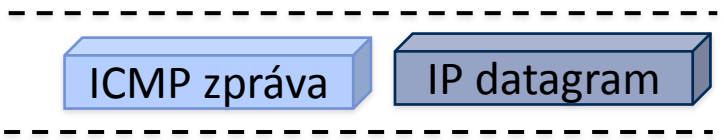
- původně:
  - ICMP zprávy měly generovat jen směrovače
- dnes:
  - ICMP právy generují i hostitelské počítače
- dosah:
  - ICMP zprávy nejsou omezeny na danou síť
    - (nejčastěji) jsou určeny pro příjemce v jiných sítí
  - proto: ICMP zprávy je nutné směrovat
    - přenášet přes směrovače vhodnou cestou až k jejich cíli
- otázka:
  - jak to udělat?
- možnost:
  - vkládat ICMP zprávy do linkových rámců
    - odpovídá zařazení ICMP do síťové vrstvy
    - ale vyžadovalo by to podporu směrování ICMP zpráv ve směrovačích !!!
      - ty by musely být multiprotokolové
        - kromě IP směrovat i ICMP
- alternativa:
  - vkládat ICMP zprávy do IP datagramů
    - stejně jako např. TCP či UDP datagramy
  - ale: je to spor s tím, že ICMP patří do síťové vrstvy !!



jak se přenáší ICMP zprávy?

- zvolené řešení:
  - pro potřeby přenosu:
    - ICMP zprávy se vkládají do IP datagramů
      - a díky tomu je lze „dopravovat“ kamkoli
        - do libovolné sítě
  - pro potřeby zpracování (a implementace)
    - ICMP se považuje za součást síťové vrstvy

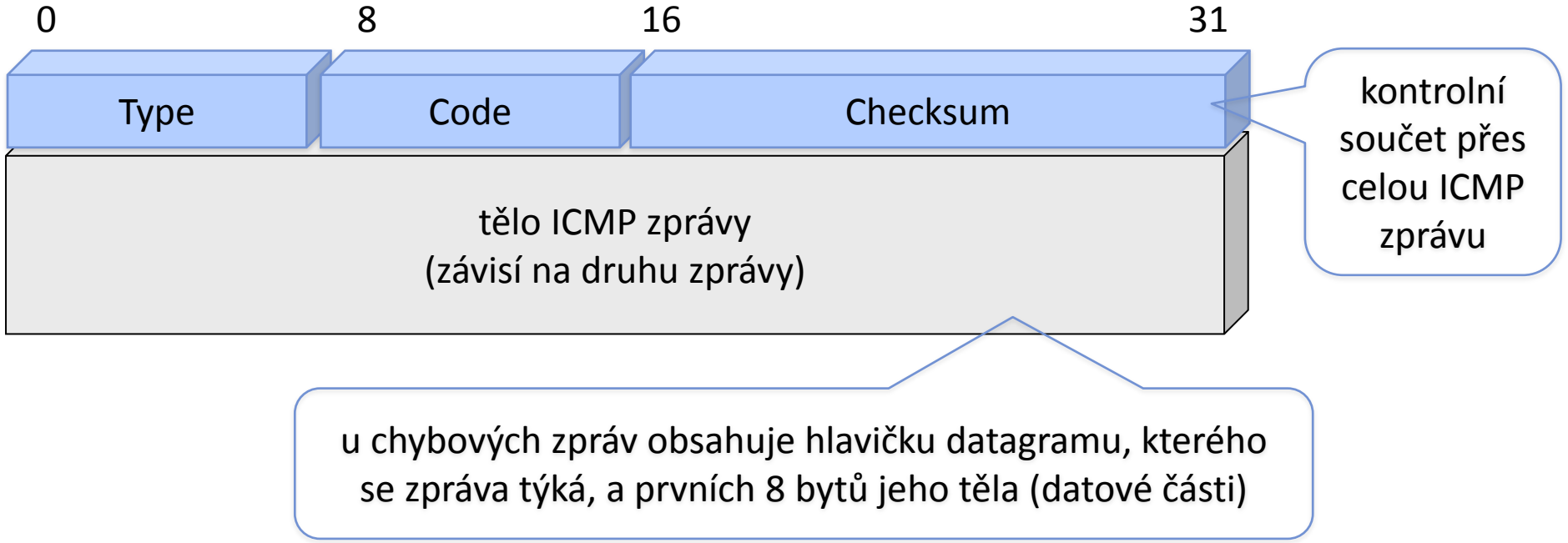




- ale:
  - je to porušení konceptu vrstvových modelů
    - ICMP protokol by tak měl (správně) patřit na transportní vrstvu
      - a pak by nebyl implementován ve směrovačích
  - důvody jsou hlavně praktické
    - aby ICMP mohl fungovat a směrovače nemusely být multiprotokolové
- výjimka: ICMP zprávy nejsou generovány
  - když je nesprávný kontrolní součet hlavičky IP datagramu, který „něco způsobil“
    - protože chyba může být právě v adrese odesilatele IP datagramu
  - když musí být zahozen IP datagram obsahující ICMP zprávu

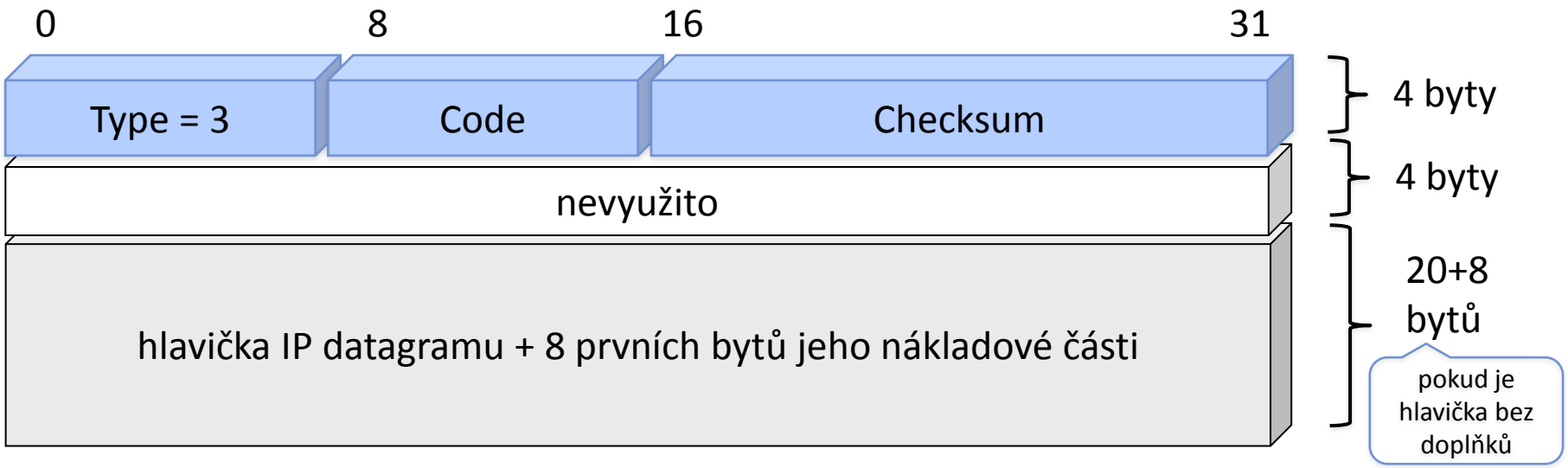
ICMP zprávy

- lze je dělit na:
  - chybové zprávy
    - informují o chybách, nejčastěji při zpracování IP datagramů
  - dotazy, výzvy, odpovědi a informační zprávy
    - informují o význačných skutečnostech, vznáší dotazy/podněty a reagují na ně
- rozlišují se podle:
  - ICMP Message Type, 8 bitů
    - (hlavní) typ ICMP zprávy
  - ICMP Message Code, 8 bitů
    - podtyp, upřesňuje druh zprávy



ICMP zpráva Destination Unreachable

- je příkladem chybové ICMP zprávy
  - informuje o tom, že uzel (protokol IP) nemohl pokračovat v požadovaném zpracování IP datagramu a musel ho zahodit
    - typ ICMP zprávy je „Destination Unreachable“ (Type = 3)
  - důvodů, proč musel být IP datagram zahozen, může být celá řada
    - a jsou podrobněji rozvedeny v podtypu ICMP zprávy (položce Code), například:
      - Code=0: Network Unreachable
        - nelze pokračovat v přenosu do sítě určené v síťové části cílové adresy
      - Code=1: Host Unreachable
        - datagram byl doručen do cílové sítě, ale nelze ho předat cílovému uzlu v této síti

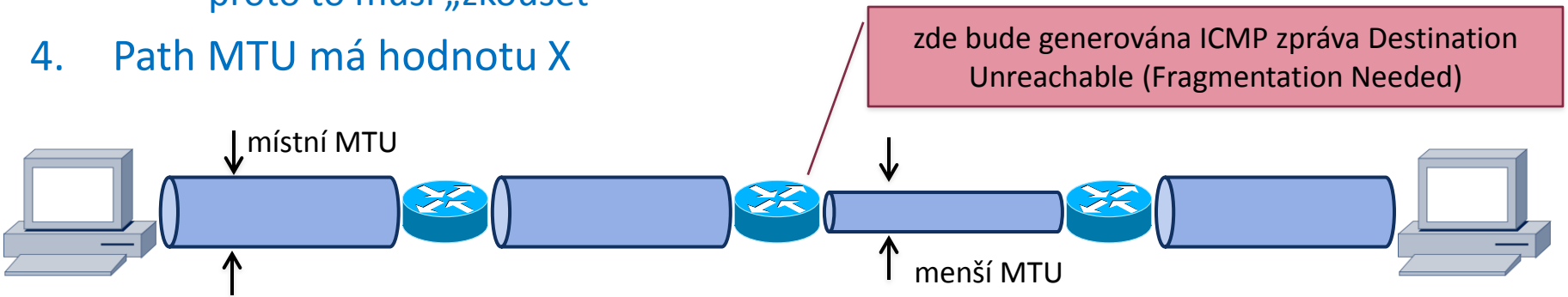


ICMP zpráva Destination Unreachable

- další možné důvody (pro generování zprávy Destination Unreachable)
  - Code=2: Protocol Unreachable
    - cílový uzel neakceptuje protokol, určený v hlavičce IP datagramu
  - Code=3: Port Unreachable
    - nedostupný port, specifikovaný v hlavičce UDP datagramu nebo TCP segmentu
  - Code=4: Fragmentation Needed and DF Set
    - ICMP zpráva, generovaná v situaci, kdy je třeba provést fragmentaci, ale tato je zakázána nastavením bitu „Don´t Fragment“ v hlavičce IP datagramu
  - ……
- obecné vlastnosti ICMP zpráv Destination Unreachable
  - protokol IP funguje stylem „best effort“, a stejně fungují i zprávy ICMP Destination Unreachable
    - tj. nejsou garantované !!!!
      - nelze se spoléhat, že budou doručeny původnímu odesilateli vždy, když dojde k zahození nějakého IP datagramu
        - protože ICMP zprávy jsou přenášeny v IP datagramech
          - jejich doručení není garantováno
          - při zahození IP datagramu s ICMP zprávou se již další ICMP zpráva negeneruje

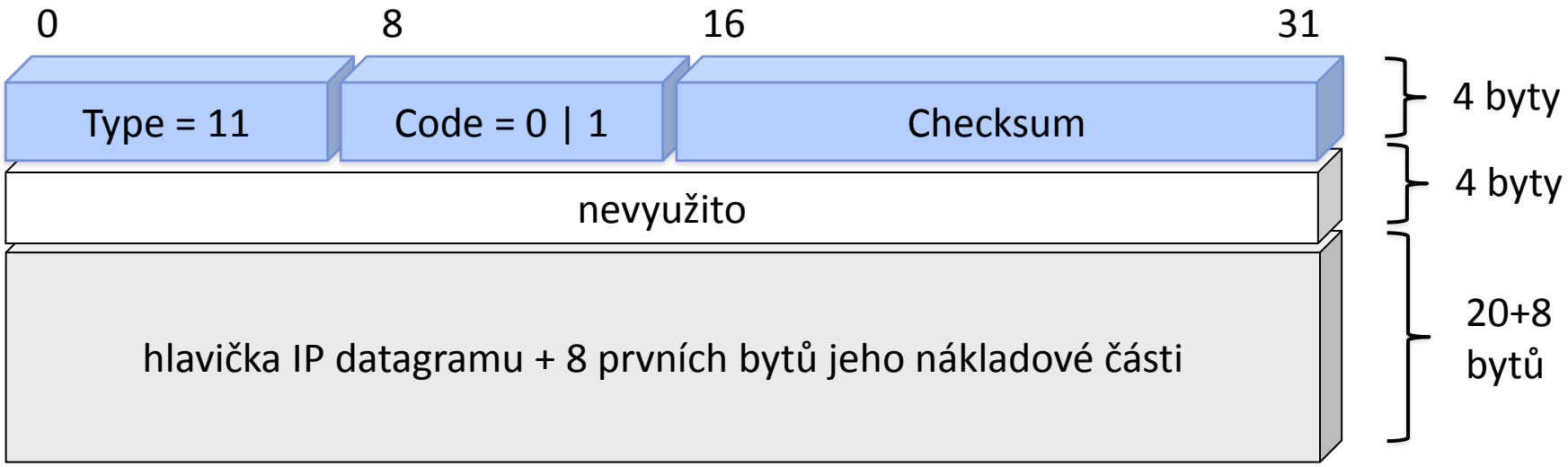
MTU Path Discovery

- jde o postup, prostřednictvím kterého lze nalézt nejmenší MTU
  - na cestě (Path) mezi dvěma uzly (A a B)
  - připomenutí:
    - „výchozí“ uzel (A) zná pouze své „místní“ MTU
      - toto MTU je současně maximem MTU po celé cestě k B (Path MTU)
- postup uzlu A:
  1. X nastaví na velikost “místního“ MTU
  2. uzel A připraví IP datagram velikosti X, nastaví mu příznak Don’t Fragment a odešle jej uzlu B
  3. pokud A dostane zpět ICMP zprávu Destination Unreachable (Type 3), s podtypem (Code=4, tj. Fragmentation Needed), sníží X a jde zpět na bod 2
     - uzel A se nedozví, kvůli jaké hodně MTU mělo dojít k fragmentaci
       - proto to musí „zkoušet“
  4. Path MTU má hodnotu X



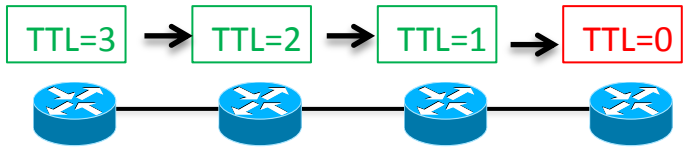
ICMP zpráva Time Exceeded

- je generována ve dvou situacích:
  1. když dojde k vynulování položky TTL v hlavičce IP datagramu
     - je to interpretováno jako zacyklení při směrování
     - do ICMP zprávy je vložen začátek „zacykleného rámce“
       - jeho hlavička + prvních 8 bytů
     - ICMP Message Code je nastaven na 0
  2. když při sestavování fragmentů vyprší časový limit (a fragmenty nejsou všechny)
     - význam: nelze sestavit (celý) původní datagram
     - ICMP Message Code je nastaven na 1



traceroute

- vyvolání ICMP zprávy Time Exceeded může být i záměrné
  - využívá se toho (například) pro zjišťování cesty v síti (od uzlu A k uzlu B)
    - utilitou traceroute (ve Windows jen tracert)



- postup:
  - pošle se „blok dat“ na adresu uzlu B, TTL se nejprve nastaví na 1
    - nejbližší směrovač sníží TTL na 0, IP datagram (s UDP datagramem) zahodí a vrátí zpět zprávu ICMP Time Exceeded
      - díky čemuž se uzel A dozví adresu prvního směrovače „po cestě“
  - posílají se další bloky dat, TTL se postupně zvyšuje o 1, vrací se Time Exceeded …
  - tím se postupně „odhalí“ celá cesta z A do B
    - standardně se dělají 3 pokusy, při kterých se také měří čas odezvy

uzel negeneruje ICMP zprávy Time Exceeded

```
Výpis trasy k f.root-servers.net [192.5.5.241] s nejvýše 30 směrováními:
  1   < 1 ms   < 1 ms   < 1 ms  192.168.1.1
  2    *        *        *      Vypršel časový limit žádosti.
  3   10 ms     8 ms    18 ms  ip-86-49-52-65.net.upcbroadband.cz
  4   18 ms    16 ms    19 ms  84.116.222.213
  5   20 ms    20 ms    31 ms  84-116-130-229.aorta.net [84.116.130.229]
  6   35 ms    18 ms    16 ms  84.116.135.1
  7   19 ms    18 ms    18 ms  84.116.132.146
  8   21 ms    34 ms    18 ms  de-cix.r1.fra1.isc.org [80.81.194.57]
  9   19 ms    21 ms    17 ms  f.root-servers.net [192.5.5.241]
Trasování bylo dokončeno.
```

varianty traceroute

- původní varianta traceroute:
  - „blokem dat“ je ICMP zpráva Echo (Request)
    - uzel A ji vkládal do IP datagramů s TTL nastaveným (nejprve) na 0 …….
  - ale někde to nefungovalo (zprávy Time Exceeded se negenerovaly)
    - protože standardy říkají, že při zahazování IP datagramu s ICMP zprávou se další ICMP zprávy negenerují
      - později to bylo změněno na: *„negenerují se při zahazování datagramu s chybovou ICMP zprávou*
- dodnes takto funguje traceroute v MS Windows
  - skrze utilitu tracert
- modifikace: Van Jacobsonův traceroute
  - „blokem dat“ je UDP datagram
    - uzel A je posílá na neexistující čísla portů
      - na dostatečně vysoké číslo portu (od 33434 výše), které obvykle není používáno
    - přitom také postupně zvyšuje TTL
  - uzly „po cestě“ generují ICMP zprávu Time Exceeded
  - koncový uzel (uzel B) generuje ICMP zprávu Port Unreachable
    - nikoli zprávu Time Exceeded
- takto funguje traceroute na unixových platformách

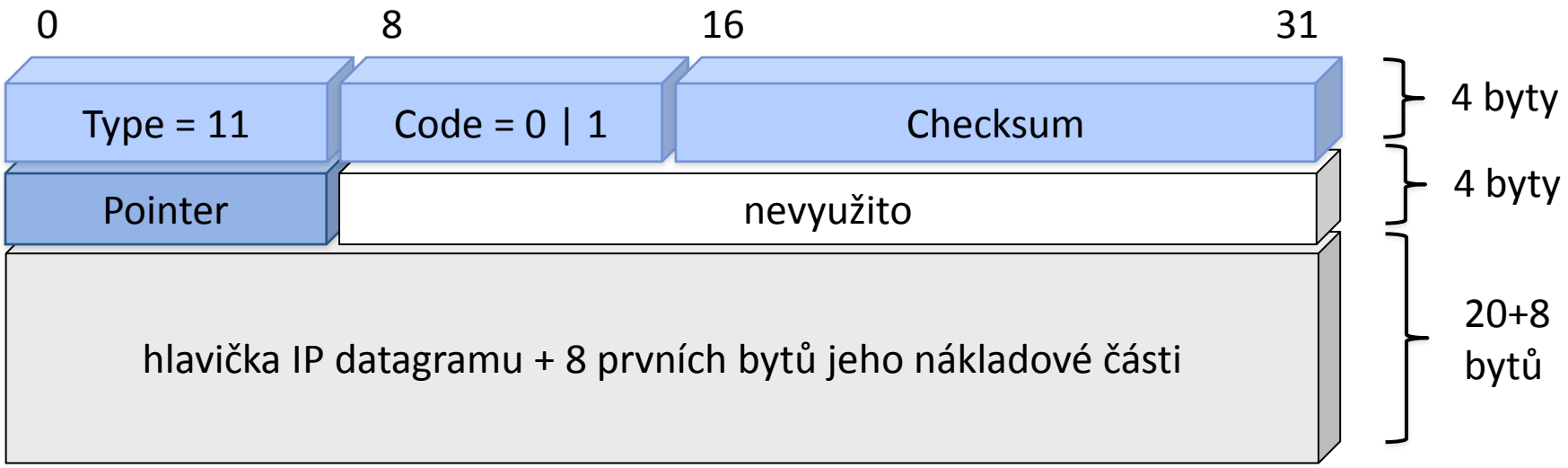
důsledek: firewally mohou reagovat různě

ICMP zpráva Source Quench

- důvodem pro zahození IP datagramu může být i zahlcení (congestion)
- řešení pomocí ICMP:
  - příjemce, který „nestíhá“, může generovat ICMP zprávu Source Quench
    - Type = 4, Code = 1, jinak standardní formát ICMP zprávy
      - Quench znamená „hašení“
  - a poslat ji tomu, o kom si myslí, že způsobuje jeho zahlcení
- problém:
  - je to „jednostranný výkřik“ ve smyslu: zpomal
    - příjemci to neříká, jak moc má zpomalit
    - reakce na zprávu Source Quench není definovaná
      - záleží na příjemci této zprávy, jak se zachová
  - neexistuje opačná zpráva
    - zpráva, která by informovala o konci zahlcení
- dnes:
  - používání ICMP zprávy Source Quench se nedoporučuje
    - řízení toku i předcházení zahlcení se řeší jinými mechanismy

další chybové ICMP zprávy

- ICMP zpráva Redirect (Type=5)
  - signalizuje nesprávné (neoptimální) směrování
    - podrobněji viz problematika směrování – příjemce by se měl „poučit“
- ICMP zpráva Parameter Problem (Type=11)
  - obecná zpráva pro jakýkoli jiný problém
    - neříká o jaký problém jde, ale pouze kde je (v hlavičce datagramu)
      - Code=0: v položce Pointer je offset toho bytu hlavičky, který problém způsobuje
      - Code=1: v hlavičce chybí požadovaný doplněk (Option)
      - Code=2: špatná délka datagramu



informační a další ICMP zprávy

- vedle chybových ICMP zpráv
  - které informují o chybách a problémech se zpracováním IP datagramů
- existují také informační ICMP zprávy (a dotazy, výzvy a odpovědi)
  - které zprostředkovávají řádné fungování protokolu IP
- například:
  - ICMP Echo (Request) a Echo Reply
    - testování dostupnosti: výzva a odpověď na ni
  - ICMP Router Advertisement a Router Solicitation
    - „inzerát“ o existenci směrovače, výzva: „je zde nějaký směrovač“
      - podrobněji viz téma 7
  - ICMP Timestamp (Request) a Timestamp Reply Messages
    - jeden uzel může požádat jiný uzel o sdělení jeho systémového času

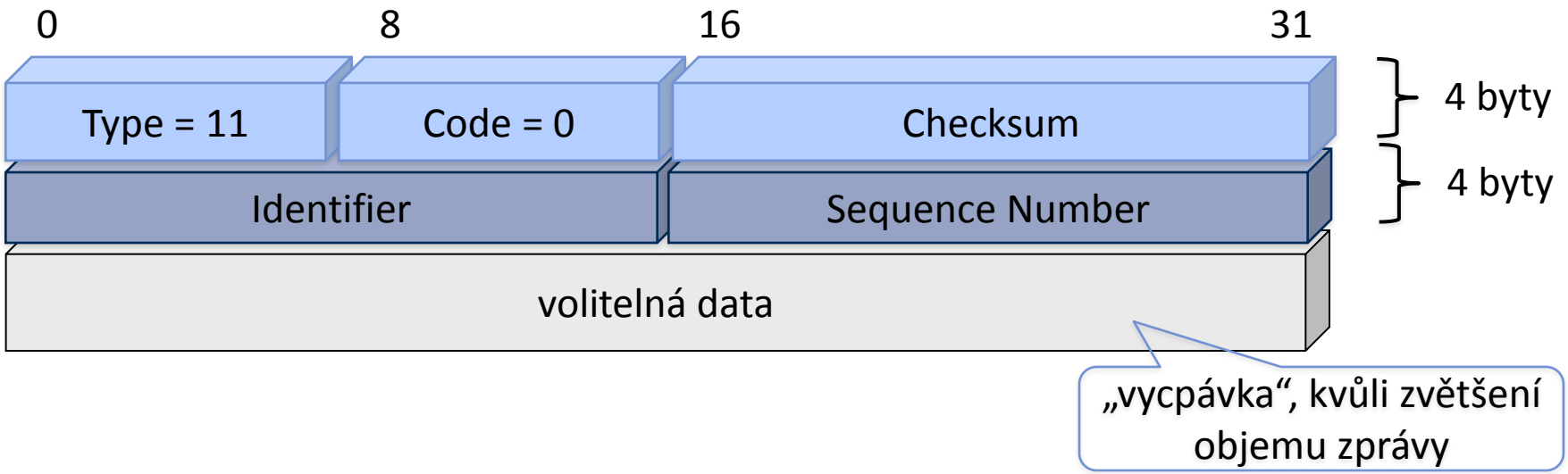
stále se používají

- ICMP Address Mask Request a Address Mask Reply
  - možnost vyžádat si síťovou masku od směrovače
- ICMP Traceroute Message
  - efektivnější než pomocí TTL a Time Exceeded – ale

už se nemají používat (deprecated)

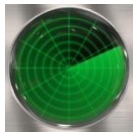
ICMP zprávy Echo a Echo Reply

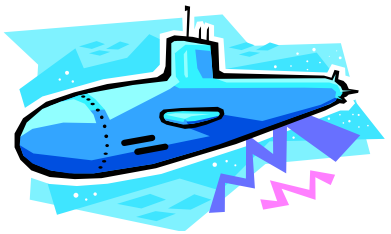
- slouží k testování dostupnosti síťových uzlů
  - ICMP zpráva Echo (někdy označovaná jako Echo Request) je výzvou protistraně
    - Type=8
  - ICMP zpráva Echo Reply je reakcí (odpovědí) protistrany na výzvu ICMP Echo
    - Type=0
- další položky ICMP zpráv Echo a Echo Reply
  - Identifier: podle něj se párují zprávy Echo (Request) a Echo Reply
    - aby se vědělo, k jaké výzvě se odpověď vztahuje
  - Sequence Number: pořadové číslo výzev (Echo Request) a odpovědí (Echo Reply)



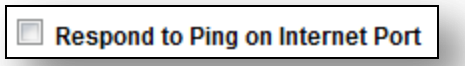
utilita PING

- slouží k testování dostupnosti a reakce síťových uzlů
  - jméno odvozeno od fungování sonaru (“ping“)
    - a má i „backronym“: Packet InterNet Groper





- způsob fungování:
  - uzel, kde je utilita ping spuštěna, posílá série zpráv Echo cílovému uzlu
  - cílový uzel odpovídá zprávami Echo Reply
    - tyto odpovědi generuje již TCP/IP stack
- vyhodnocuje se:
  - jak ztrátovost odpovědí, tak i jejich zpoždění (RTT, Round Trip Time)
    - a udává se jako minimální, střední a maximální hodnota
- podpora Echo a Echo Reply:
  - dle RFC 1122 povinná
  - dnes:
    - je to považováno za možné bezpečnostní riziko

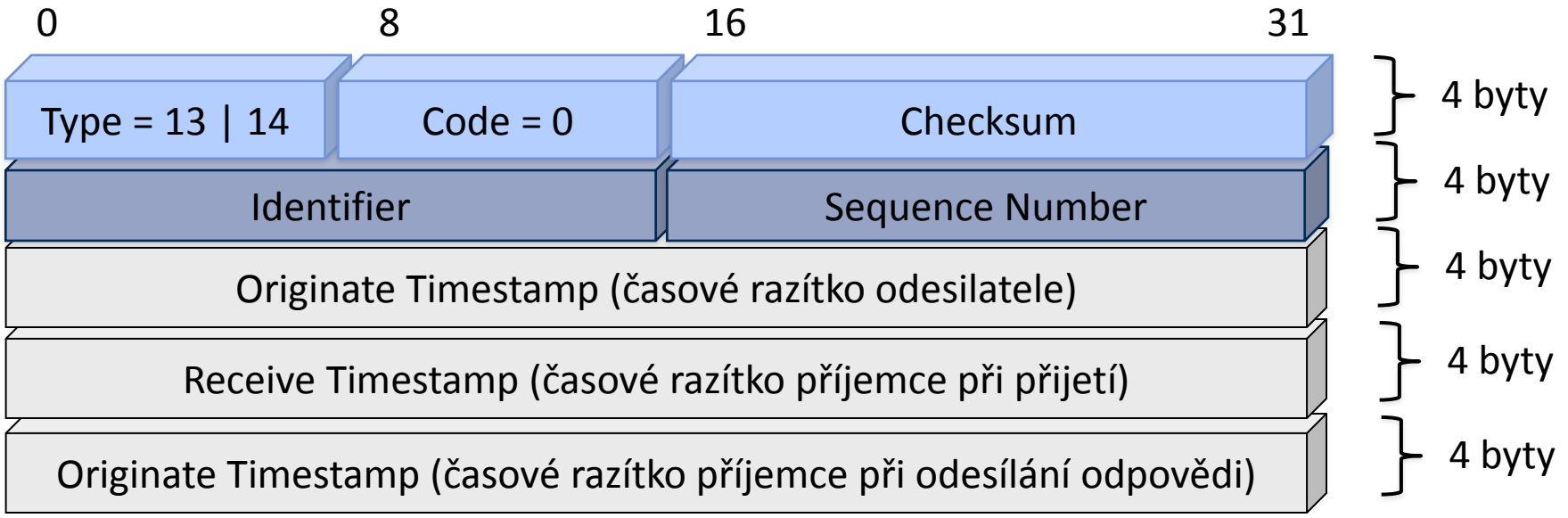



```
Příkaz PING na ksi.ms.mff.cuni.cz [195.113.20.128] - 32 bajtů dat:
Odpověď od 195.113.20.128: bajty=32 čas=25ms TTL=54
Odpověď od 195.113.20.128: bajty=32 čas=9ms TTL=54
Odpověď od 195.113.20.128: bajty=32 čas=12ms TTL=54
Odpověď od 195.113.20.128: bajty=32 čas=12ms TTL=54

Statistika ping pro 195.113.20.128:
Pakety: Odeslané = 4, Přijaté = 4, Ztracené = 0 (ztráta 0%),
Přibližná doba do přijetí odezvy v milisekundách:
    Minimum = 9ms, Maximum = 25ms, Průměr = 14ms
```

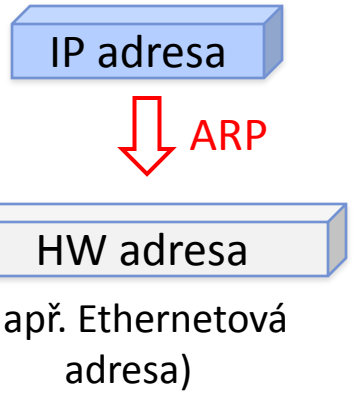
ICMP Timestamp Request a Reply

- umožňuje vzájemnou (časovou) synchronizaci uzlů
  - jeden uzel (A) si může vyžádat údaj o systémovém čase jiného uzlu (B)
    - pomocí ICMP zprávy Timestamp (někdy: Timestamp Request), Type=13
      - do odesílané žádosti přidá svůj údaj o čase (Originate Timestamp)
  - oslovený uzel (B) :
    - přijme žádost a vloží do ní svůj údaj o čase přijetí žádosti (Receive Timestamp)
    - odpoví pomocí ICMP zprávy Timestamp Reply, Type = 14
      - přitom do ní vloží svůj údaj o okamžiku odesílání odpovědi
  - uzel A: ze tří časových údajů dokáže zjistit, jak dlouho trval přenos

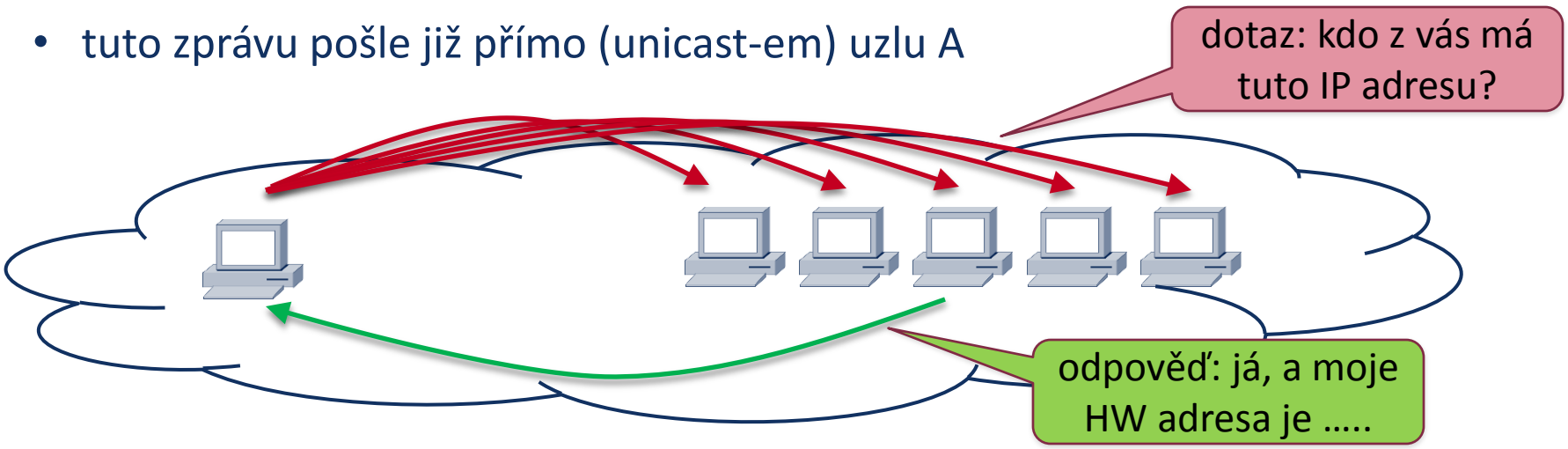


protokol ARP

- ARP: Address Resolution Protocol
  - slouží potřebám převodu IP adres na HW (linkové) adresy
- princip fungování
  - uzel A zná IP adresu uzlu B, a potřebuje znát jeho HW adresu
  - sestaví ARP zprávu, ve které uvede IP adresu uzlu B
    - a také svou IP a HW adresu
  - tuto ARP zprávu vloží do linkového rámce a pomocí (linkového) broadcastu rozešle jako dotaz po celé síti, ve které se nachází
  - uzel B rozpozná svou IP adresu a odpoví
    - sestaví ARP zprávu s odpovědí, ve které uvede svou HW adresu
    - tuto zprávu pošle již přímo (unicast-em) uzlu A



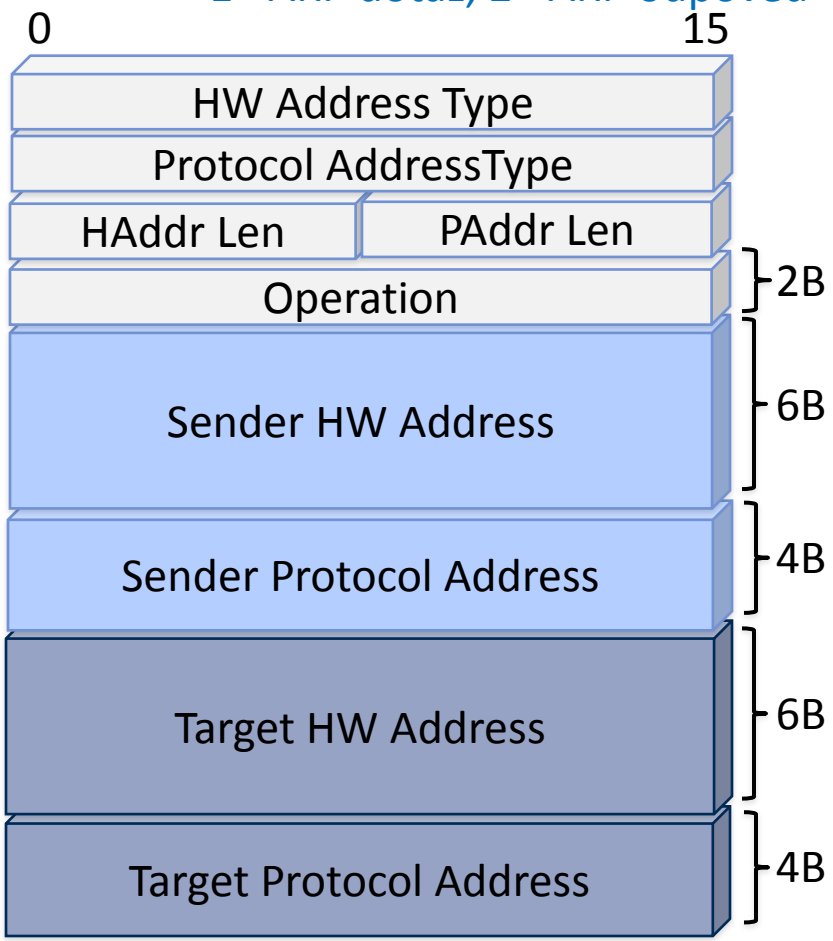
broadcast musí být k dispozici, jinak ARP nelze použít



protokol ARP

- do které vrstvy patří protokol ARP?
  - funguje jen v dané síti, nepřekračuje její hranice
    - kvůli tomu by měl patřit do vrstvy linkové, resp. vrstvy síťového rozhraní
  - ARP zprávy se vkládají do linkových rámců a přenáší v těchto rámcích
    - stejně jako IP datagramy
      - které mají Ethertyp 0x08000
      - ARP má Ethertyp 0x0806
  - to řadí protokol ARP na síťovou vrstvu

- formát ARP zprávy
  - je stejný pro dotaz i odpověď
    - rozlišuje se jen položkou Operation
      - 1= ARP dotaz, 2= ARP odpověď



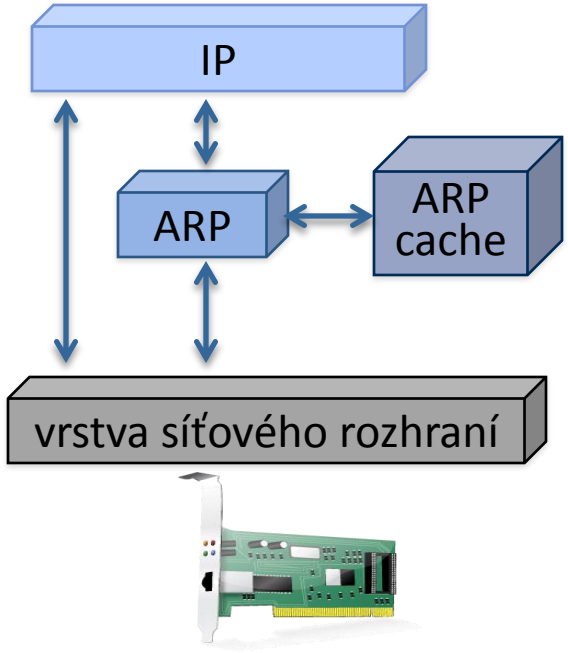
vyplní tazatel při dotazu:
- Sender HW Address = jeho HW adresa
- Sender Protocol Address = jeho IP adresa
- Target Protocol Address = IP adresa, na kterou se ptá

vyplní uzel, který odpovídá na dotaz:
- Target HW Address = jeho HW adresa

ARP cache

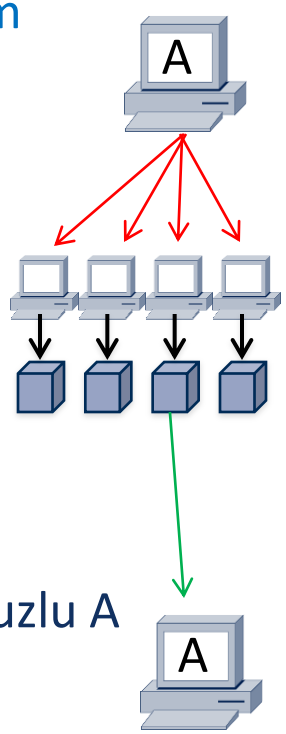
- protokol ARP má nezanedbatelnou režii
  - hlavně kvůli broadcastu
- je snaha optimalizovat jeho fungování
- a co nejvíce používat ARP cache
  - vyrovnávací paměť, ve které si ARP pamatuje výsledky převodů IP->HW
    - tzv. resolutions
  - představa: jde o tabulku, kde jsou informace o vazbách mezi IP a HW adresami (tzv. bindings)
- fungování ARP cache:
  - položky v ARP cache mohou být statické
    - pokud je to žádoucí, např. kvůli bezpečnosti
  - jinak jsou dynamické
    - musí být pravidelně zapomínány
      - aby mohly reflektovat změny v síti
    - a také osvěžovány
      - aby se omezovaly nové dotazy

IP adresa	HW adresa	vazba
192.168.1.1	00-14-6c-23-7f-32	dynamická
192.168.1.136	a4-67-06-55-ac-02	dynamická
192.168.1.255	ff-ff-ff-ff-ff-ff	statická



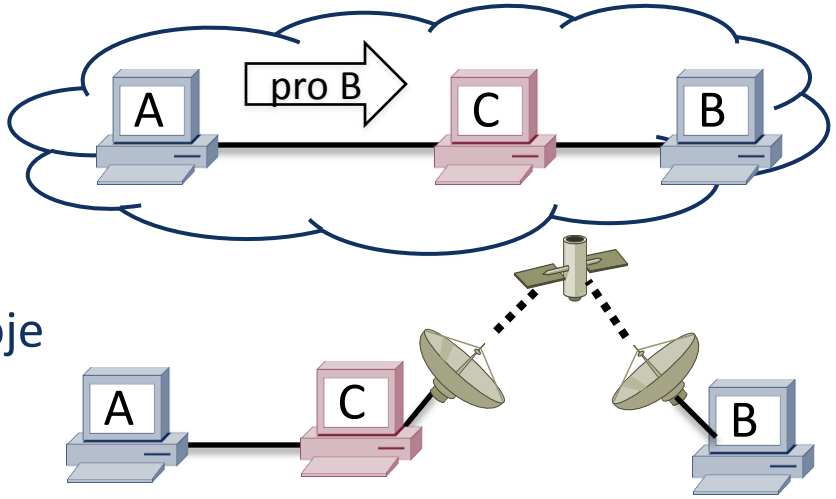
zpracování ARP dotazu

- výchozí situace:
  - uzel A zná IP adresu uzlu B, a potřebuje znát jeho HW adresu
- postup:
  - uzel A se podívá do své ARP cache
    - pokud zde najde HW adresu k IP adrese uzlu B, končí
  - uzel A sestaví a rozešle (linkovým broadcastem) ARP zprávu s dotazem
    - vyplní v ní svou IP a HW adresu, a IP adresu uzlu B
  - každý uzel v síti zachytí ARP zprávu (vysílanou broadcastem), a:
    - vyjme ze zprávy vazbu (binding) mezi IP a HW adresu uzlu A
      - a pokud ji už má ve své ARP cache, tak ji osvěží (prodlouží její platnost)
    - zjistí, zda je uzlem B (zda IP adresa uzlu B je jeho IP adresou)
      - pokud ne, ARP zprávu zahodí a končí
  - uzel B:
    - si do své ARP cache zanese vazbu (binding) mezi IP a HW adresou uzlu A
      - nebo ji osvěží, pokud ji ve své ARP cache již měl
    - sestaví ARP zprávu s odpovědí a odešle ji cíleně (unicast-em) uzlu A
      - v dotazu přehodí Sender/Target, příznak Dotaz/Odpověď a vyplní svou HW adresu

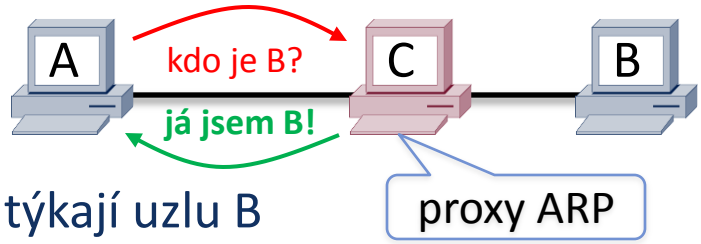


proxy ARP

- existují situace, kdy:
  - uzly A a B se nachází ve stejné síti, A chce komunikovat s B přímo, ale
  - uzel B je „schován“ za jiným uzlem (uzlem C) a není pro A přímo dosažitelný
- například:
  - je-li uzel B za „mobilním agentem“
    - používá se při realizaci mobility uzlů v IP
  - je-li uzel B na spoji s extrémní latencí
    - například na druhé straně satelitního spoje
  - je-li uzel B za směrovačem
    - který spojuje dvě části téže sítě
      - resp. spojuje dva segmenty, ale chceme aby se jednalo o jednu síť

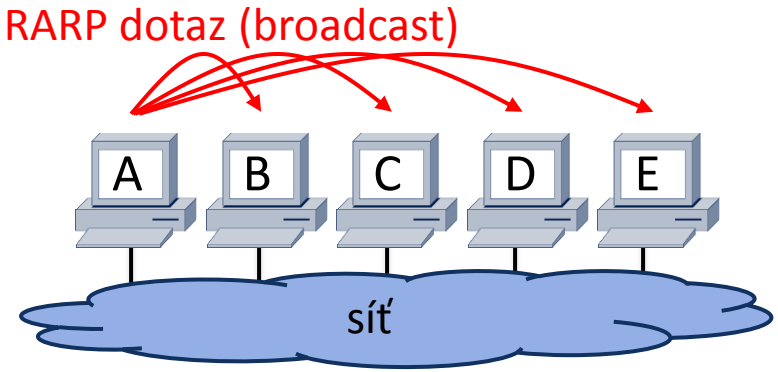


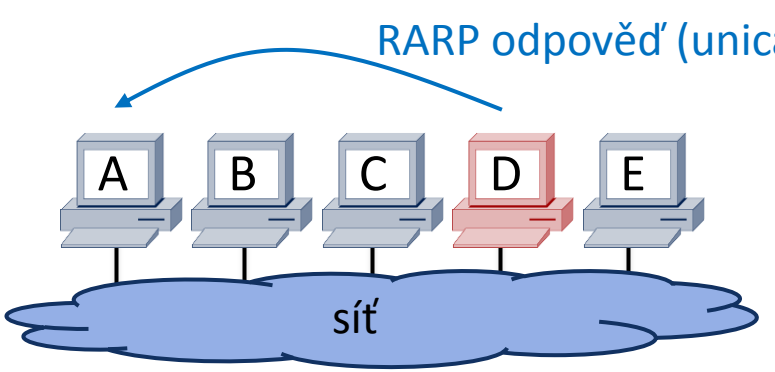
- fungování proxy ARP (ARP proxying):
  - uzel C se chová, jako kdyby byl uzlem B
    - ve smyslu: odpovídá na ARP dotazy, které se týkají uzlu B
    - generuje ARP odpovědi, v nich místo HW adresy uzlu B uvádí svou HW adresu
  - následně také „dostává“ veškerý provoz, určený uzlu B
    - a měl by ho uzlu B přeposílat (a od něj přebírat provoz v opačném směru)



reverzní ARP (RARP)

- fungování protokolu ARP lze obrátit (proto: Reverse ARP)
  - a dosáhnout tak převodu mezi HW a IP adresou
    - uzel zná svou HW adresu, a chce znát svou IP adresu
      - fakticky jde o (nejjednodušší variantu) přidělování IP adres jednotlivým uzlům
- postup:
  - uzel A, který nezná svou IP adresu, sestaví dotaz ve formě RARP zprávy
    - má stejný formát jako zpráva ARP, jen je „vyplněna opačně“ (obsahuje HW adr.)
      - a položka Operation má jiné hodnoty: 3 = RARP dotaz, 4 = RARP odpověď
  - uzel A vloží RARP zprávu do linkového rámce a ten rozešle pomocí broadcastu
    - příjemcem jsou všechny uzly v dané síti (dotaz se nedostane mimo danou síť)
  - ten uzel (D), který funguje jako RARP server, na dotaz odpoví (již pomocí unicastu)
    - pokud je takových uzlů více, může odpovědět kterýkoli z nich





protokol RARP vs. protokol BOOTP

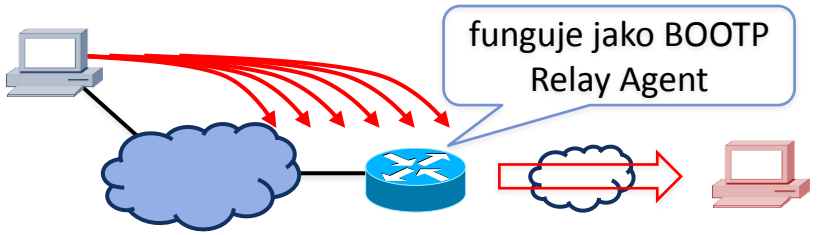
- nevýhody protokolu RARP:
  - je starý a velmi jednoduchý
  - funguje na síťové vrstvě
  - dotazy se šíří pomocí linkového broadcastu
    - nefunguje v sítích bez broadcastu
  - RARP server musí být v každé síti
    - dotazy „neprojdou“ do jiných sítí
  - obsah RARP serveru musí být nastaven manuálně
  - přiděluje se pouze IP adresa
    - a nikoli již další potřebné parametry
      - např. maska/prefix, adresa směrovače, ...

- BOOTP (Bootstrap Protocol)
  - novější (RFC 951, 1985)
  - funguje na aplikační vrstvě
    - využívá transportní protokol UDP
  - dotazy se šíří pomocí IP broadcastu
  - BOOTP server se může nacházet v jiné síti
    - resp. jeden BOOTP server může „obsluhovat“ více sítí
  - vznik protokolu motivován potřebami bezdiskových stanic
    - které potřebují získat tzv. boot image
  - dokáže přidělovat IP adresy i další údaje
  - ale nikoli samotný boot image
    - na něj poskytne jen odkaz, stanice si jej pak musí stáhnout pomocí protokolu TFTP (Trivial FTP)

fungování protokolu BOOTP

- pokud jsou klient a server ve stejné síti
  - klient odešle svůj dotaz na „broadcastovou“ IP adresu (255.255.255.255)
    - na dobře známý port 67 (na kterém server přijímá BOOTP dotazy)
  - server odpovídá (možnosti):
    - pomocí unicastu na IP adresu klienta
      - klient již mohl znát svou IP adresu, uvedl ji v dotazu a pomocí BOOTP se ptal na „další věci“ – například na svůj boot image
    - pomocí unicastu na HW adresu klienta
    - pomocí IP broadcastu
      - na dobře známý port 68 (určený pro příjem BOOTP odpovědí)

- pokud jsou klient a server v různých sítích
  - klient pošle svůj dotaz IP broadcastem
    - který se šíří jen v jeho síti
      - nikoli do dalších sítí
  - ve stejné síti, kde je klient, se musí nacházet BOOTP Relay Agent
    - obvykle zajišťuje směrovače
  - který „zachytí“ broadcast a předá dotaz BOOTP serveru do té sítě, ve které se nachází
    - pokud nezná umístění serveru, předá dotaz do další sítě také broadcastem



protokol DHCP

- protokol BOOTP přiřazuje IP adresy trvale (staticky)
  - jakmile uzel dostane přidělenu IP adresu, může ji používat libovolně dlouho
- dnešní sítě potřebují přidělovat IP adresy dočasně (dynamicky)
  - na omezenou dobu – s možností následně přidělit stejnou IP adresu jinému uzlu
    - kvůli tomu, že koncové uzly se často „stěhují“ z jedné sítě do jiné sítě
- protokol DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
  - je „evolucí“ protokolu BOOTP, navazuje na něj a využívá jeho principy fungování

- DHCP může přidělovat IP adresy:
  - „ručně“ (manual allocation)
    - správce sítě předepíše, jako IP adresu má dostat konkrétní uzel
      - a BOOTP mu ji vlastně jen předá
  - trvale (automatic allocation)
    - IP adresu určí DHCP server sám, a přidělí ji trvale
      - na neomezenou dobu
    - používá se jen výjimečně
      - lepší už je „ručně“
  - dočasně (dynamic allocation)
    - IP adresu určí DHCP server sám, ale přidělí ji pouze na omezenou dobu

nejčastěji používaná varianta

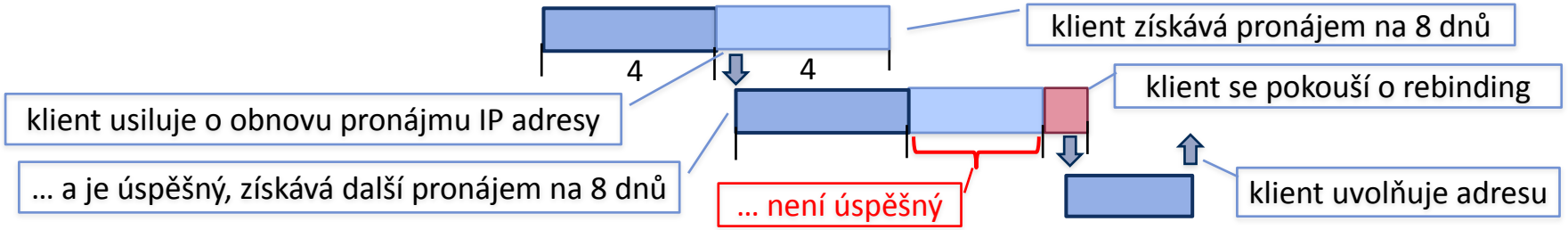
DHCP lease („pronájem“)

- původně:
  - uzel má svou IP adresu přidělenu (ve smyslu: je jejím držitelem, vlastníkem)
    - nemusí se starat o její obnovu/prodloužení či vrácení
  - nevýhodou je malá pružnost při hospodaření s IP adresami
- při dočasném přidělení (dynamic allocation):
  - uzel má svou IP adresu pouze dočasně pronajatu (leased)
    - a musí se aktivně starat (alespoň) o její obnovu
  - výhodou je větší pružnost při práci s IP adresami
- otázka:
  - na jak dlouho (dočasně) přidělovat IP adresy?
    - kratší doba = větší pružnost
      - ale menší „stabilita“ a větší režie
        - častější úkony spojené s přidělováním a obnovou
    - delší doba = menší pružnost
      - ale větší „stabilita“ a menší režie
- doba „pronájmu“ (DHCP lease)
  - může být například:
    - hodina
    - den
    - 3 dny (používá Microsoft)
    - týden
    - měsíc
    - rok (skoro už „trvalé“)

„pronájem“

chování DHCP klienta

- DHCP klient prochází různými stavy a provádí různé úkony:
  - alokace: klient ještě nemá IP adresu a žádá DHCP server o „pronájem“ IP adresy
    - žádá o DHCP lease
  - realokace: klient již má „pronajatou“ svou IP adresu, ale snaží si tento pronájem potvrdit
    - například poté, co prošel rebootem či byl na nějakou dobu vypnut
      - ale ještě trvá doba předchozího „pronájmu“
  - obnova: před koncem „pronájmu“ se klient snaží o jeho prodloužení
    - kontaktuje DHCP server se žádostí o prodloužení „pronájmu“
      - začíná to zkoušet od poloviny stávajícího pronájmu (timer T1 = 50% lease time)
  - rebinding: snaží se získat pronájem stejné IP adresy od jiného DHCP serveru
    - pokud se nepodaří obnova (např. když je původní DHCP server nedostupný), snaží se uzel o získání stejné IP adresy od jiného serveru (timer T2 = 87,5% l.t.)
  - uvolnění: klient „vrací“ pronajatou IP adresu ještě před koncem jejího pronájmu

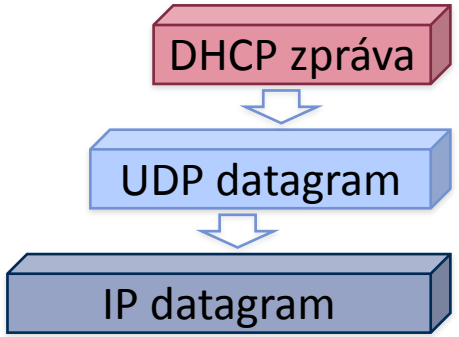


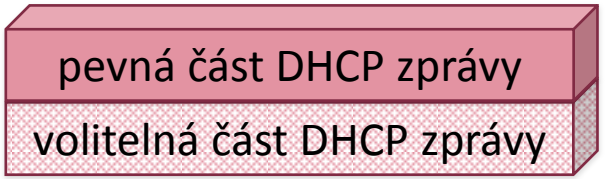
adresní rozsahy DHCP a další info

- DHCP server může mít k dispozici jeden nebo více adresních rozsahů
  - tzv. pools (scopes, ranges), ze kterých přiděluje (pronajímá) IP adresy
    - část z nich může být vyhrazena/rezervována, pro „ruční“ (manual) přidělení
      - a dynamicky se přidělují pouze adresy ze zbytku rozsahu
- DHCP server může poskytovat svým klientům i další údaje, například:
  - masku sítě
  - místní časové pásmo
  - seznam směrovačů
    - které „vedou ven“ se sítě klienta
      - poskytovány jsou jejich 32-bitové IP adresy,
        - pořadí udává preferenci použití
  - seznam DNS serverů
    - pořadí vyjadřuje preferenci / prioritu
  - DNS jméno uzlu (klienta) a doménu
  - jméno a velikost souboru s boot image
  - server přesného času (time server)
  - ……

zprávy protokolu DHCP

- formát zpráv DHCP je rozšířením BOOTP
  - je stejný pro dotaz i odpověď
  - používá i stejný způsob šíření jako BOOTP
    - dotaz pomocí broadcastu,
    - odpověď pomocí unicastu (ARP)
      - odpověď pomocí broadcastu si uzel musí explicitně vyžádat
    - vkládá se do UDP datagramů
      - využívá porty 67 a 68 (jako BOOTP)



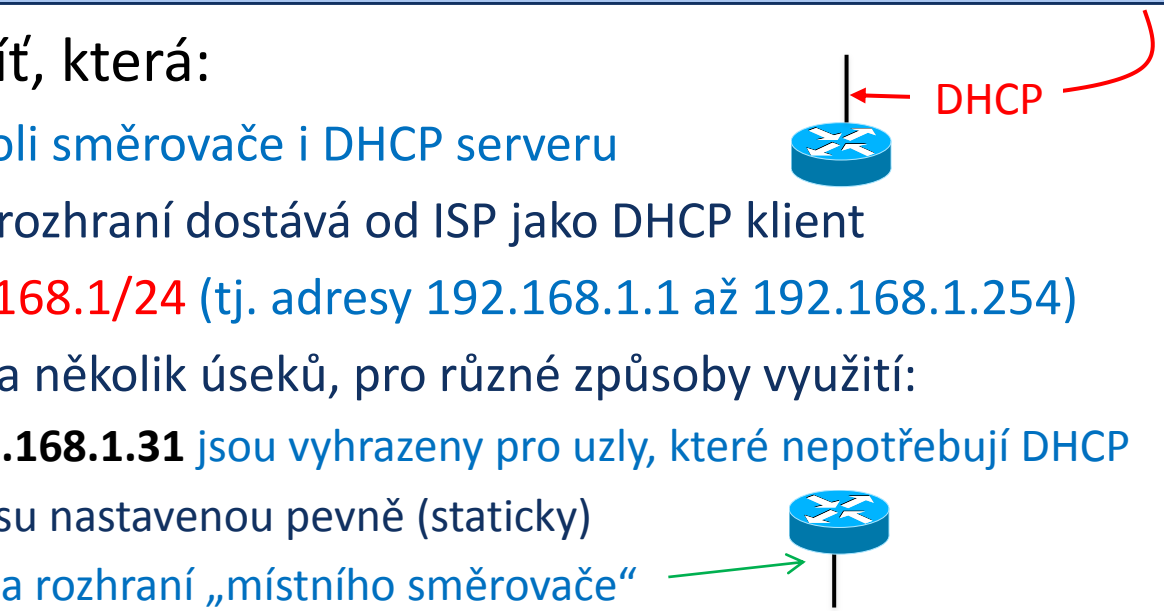


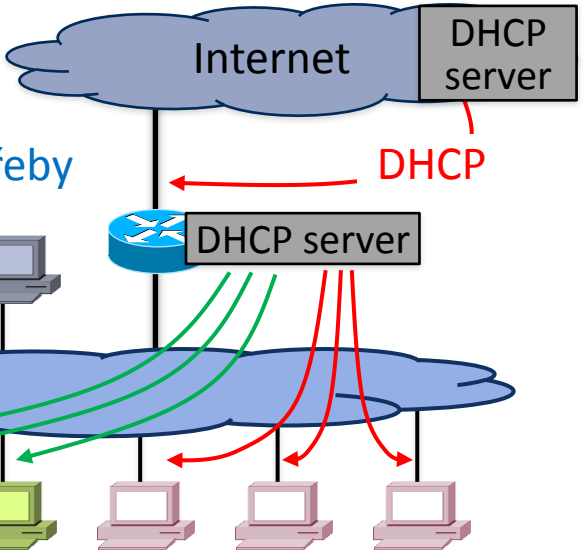
- DHCP zpráva má:
  - pevnou (a povinnou část), obsahuje mj.
    - rozlišení dotazu/odpovědi
    - ID transakce (pro spárování dotazu a odpovědi)
    - HW adresu klienta (jde-li o dotaz)
    - IP adresu, „pronajímanou“ klientovi (u odpovědi)
  - volitelnou rozšiřující část (DHCP Options), obsahuje:
    - všechny ostatní údaje, poskytované DHCP serverem
      - masku, časové pásmo, adresy směrovačů, adresy DNS serverů, ……

kvůli zpětné kompatibilitě s BOOTP (odpovědi DHCP serverů mohou přijímat i BOOTP klienti)

příklad využití DHCP

- předpokládejme domácí síť, která:
  - využívá domácí bránu: plní roli směrovače i DHCP serveru
    - IP adresu pro své „vnější“ rozhraní dostává od ISP jako DHCP klient
  - používá rozsah IP adres 192.168.1/24 (tj. adresy 192.168.1.1 až 192.168.1.254)
    - tento rozsah je rozdělen na několik úseků, pro různé způsoby využití:
      - adresy **192.168.1.1 až 192.168.1.31** jsou vyhrazeny pro uzly, které nepotřebují DHCP
        - které mají svou IP adresu nastavenou pevně (staticky)
          - 192.168.1.1 je adresa rozhraní „místního směrovače“
      - adresy **192.168.1.32 až 192.1.254** jsou k dispozici pro DHCP (tzv. DHCP pool)
        - z toho některé (192.168.1.32 až 192.168.1.34) jsou rezervovány pro konkrétní uzly
          - DHCP server je vždy přiděluje stejným uzlům
        - ostatní jsou pomocí DHCP přidělovány dynamicky
          - ostatním uzlům, včetně „návštěvnických“, dle potřeby





Use Router as DHCP Server

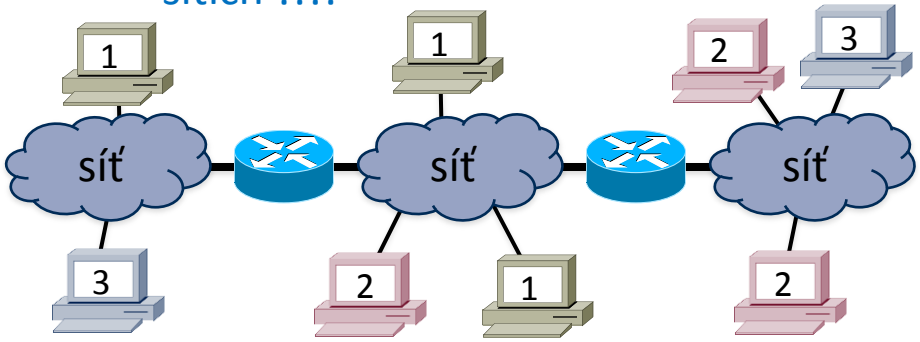
Starting IP Address	192 . 168 . 1 . 31
Ending IP Address	192 . 168 . 1 . 254

Address Reservation

	#	IP Address	Device Name	MAC Address
◉	1	192.168.1.32	HP LaserJet	00:14:38:DB:5F:EE
◉	2	192.168.1.33	ZYXEL	00:23:F8:89:4A:FF
◉	3	192.168.1.34	Grandstream VOIP	00:0B:82:01:EB:44
◉	4			

IPv4 multicast

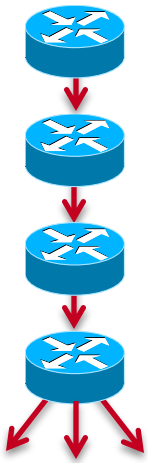
- připomenutí:
  - multicast(ing) je rozesílání od jednoho zdroje k více příjemcům
- vyžaduje:
  - adresaci („skupinové“ adresy)
    - v IPv4 jde o adresy třídy D
      - adresují celé skupiny uzlů
  - správu multicastových skupin
    - vytváření a rušení skupin
    - přidávání a odebírání uzlů atd.,
    - pro IPv4 řeší protokol IGMPv4
  - přenos datagramů
    - jejich směrování a doručování všem členům multicastových skupin
      - mají na starosti směrovače
        - je to pro ně komplikované !!
    - odesilatelem může být i uzel, který není členem multicastové skupiny
- otázka vrstvy:
  - multicast lze realizovat na linkové vrstvě
    - relativně jednoduché doručování
      - všechny uzly jsou ve stejné síti
  - multicast lze realizovat na síťové vrstvě
    - doručování mnohem složitější
      - protože uzly ve stejné multicastové skupině se mohou nacházet v různých sítích !!!!



IPv4 multicast funguje na síťové vrstvě
- jeho implementace není povinná
  - ale jen volitelná
  - v praxi: minimální

IPv4 multicast

- doručování datagramů
  - vyžaduje speciální techniky směrování
- směrovače
  - musí mít informace o složení multicastových skupin
    - které se mohou průběžně měnit
  - musí mít informace o umístění uzlů z jednotlivých skupin
    - které se také může měnit
  - musí si budovat „distribuční stromy“
    - podle kterých distribuuje datagramy uzlům v jednotlivých skupinách
  - duplikuje datagramy
    - když je doručuje více uzlům
      - musí dávat pozor, aby tak nečinil zbytečně
        - aby duplikoval co nejméně
          - co nejpozději ….



- chování hostitelských počítačů
  - každý musí vědět, do kterých multicastových skupin je zařazen
    - tato informace musí korespondovat s informacemi, které mají k dispozici směrovače
- protokol IGMP
  - Internet Group Management Protocol
  - je protokolem pro komunikaci mezi směrovači a hostitelskými počítači
    - pro potřeby správy multicastových skupin
      - sdílení informací o skupinách a členech
  - zprávy protokolu IGMP se vkládají do IP datagramů
    - obdobně, jako zprávy ICMP

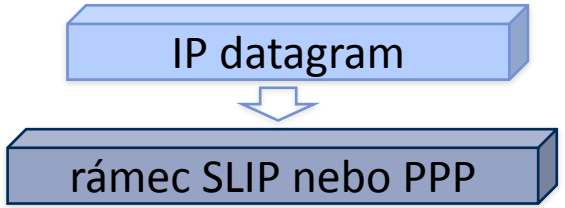
protokol IP na dvoubodových spojích

- připomenutí:
  - protokol IP „neobsazuje“ vrstvu síťového rozhraní (linkovou a fyzickou vrstvu)
    - předpokládá, že zde bude použita jiná, již existující technologie
      - například: Ethernet
- problém:
  - když jde o jednoduchý dvoubodový spoj, je i nasazení Ethernetu zbytečný luxus
    - (polo)duplexní dvoubodový spoj nevyžaduje adresování, řízení přístupu, …..
      - kolize vznikat nemohou (není potřeba přístupová metoda)
      - není třeba adresovat (příjemce je „ten, kdo je na druhé straně“)
  - jediné, co je třeba zajistit, je samotný framing
    - neboli: členění dat do rámců a jejich přenos

Point-to-Point

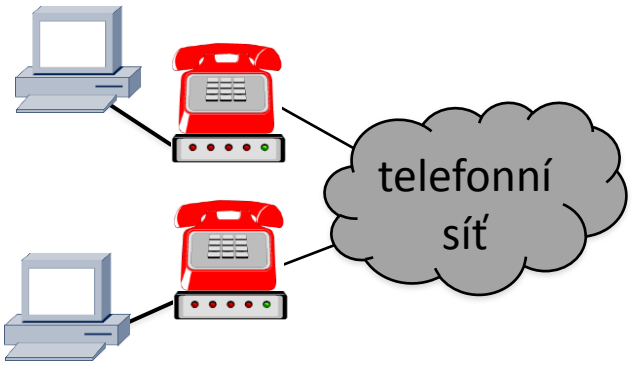
byť jde o výjimku z pravidla (že TCP/IP nepokrývá vrstvu síťového rozhraní)

- řešení v rámci TCP/IP
  - *„udělat to ještě jednodušeji a levněji než Ethernet“*, pomocí vlastních protokolů
    - SLIP: Serial Line IP
    - PPP: Point-to-Point Protocol
  - jsou to linkové protokoly
    - přenáší linkové rámce, do kterých se vkládají IP datagramy

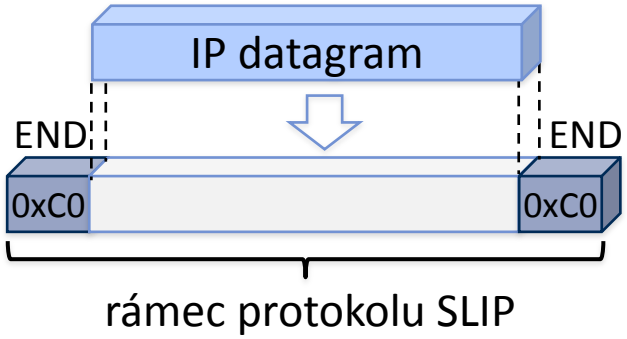


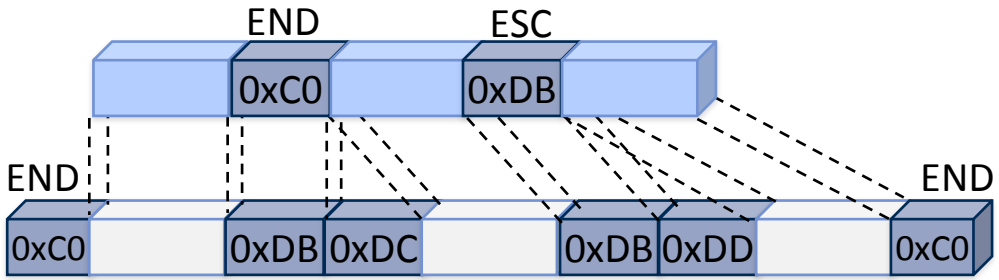
SLIP: Serial Line IP

- velmi jednoduchý (znakově orientovaný) linkový protokol
  - inspirovaný potřebami přenosu po sériových linkách
    - například po telefonních linkách a modemech
  - předpokládá, že data jsou přenášena asynchronně
    - jako proud 8-bitových znaků



- protokol SLIP:
  - rozděluje proud 8-bitových znaků na jednotlivé rámce
    - začátek a konec rámce vymezuje znakem END (0xC0, 11000000_B)
  - musí zajišťovat i transparenci dat:
    - pokud se v těle rámce vyskytne END, je nahrazen dvojicí ESC (0xDB) a 0xDC
    - pokud se v těle rámce vyskytne ESC, je nahrazen dvojicí ESC (0xDB) a 0xDD





PPP: Point-to-Point Protocol

- do rámců protokolu SLIP lze vkládat pouze IP datagramy
  - není zde možnost vyjádřit, jakého typu je obsah rámce (proto: jen IP datagram)
- protokol PPP (Point-to-Point Protocol) je podstatně „bohatší“
  - je stále znakově orientovaným linkovým protokolem
    - tj. přenášená data chápe jako znaky, začátek a konec rámce označuje pomocí řídících znaků, transparenci dat zajišťuje pomocí vkládání znaků
  - podporuje řízení linkového spoje (používá protokol LCP, Line Control Protocol)
    - dokáže navazovat spojení na linkové vrstvě, ukončovat spojení, dohodnout s protistranou parametry
  - podporuje autentizaci (ověření identity)
    - podporuje více variant autentizace, např.:
      - PAP (Password Authentication Protocol)
      - CHAP (Challenge-Handshake Authentication Protocol)
  - podporuje vkládání síťových paketů různých druhů
    - dokáže rozlišit jejich druh (nemusí jít jen o IP datagramy)
  - vychází vstříc potřebám různých síťových technologií (např. jejich adresování)
    - pomocí „řídících protokolů“ (např. IPCP: Internet Protocol Control Protocol)