Katedra softwarového inženýrství,
Matematicko-fyzikální fakulta,
Univerzita Karlova, Praha

Rodina protokolů TCP/IP,
verze 2.3

Část 5: Protokol IP et al.

Jiří Peterka, 2006

charakteristika protokolu IP

- jde o přenosový protokol síťové vrstvy
  - je to univerzální přenosový protokol
    - snaží se fungovat "nad vším", nad libovolnou přenosovou technologií
  - je jediným přenosovým protokolem TCP/IP
    - na síťové vrstvě
  - používá virtuální pakety
    - nemají ekvivalent v HW, musí se zpracovávat v SW
    - říká se jim **IP datagramy**
- zajišťuje:
  - přenos datagramů skrz internet
  - realizuje směrování
- je implementován
  - v hostitelských počítačích
  - ve směrovačích
- je (funguje jako):
  - nespolehlivý
  - nespojovaný
- dnes používaná verze má číslo 4
  - a v rámci ní 32-bitové IP adresy
  - je připravena verze 6
    - se 128-bitovými adresami a vylepšenými vlastnostmi

vlastnosti protokolu IP

- je univerzální, nabízí jednotné přenosové služby
  - nevyužívá specifika fyzických přenosových technologií
    - chce jen "společné minimum"
  - snaží se zakrýt odlišnosti
    - vytváří jednotné prostředí pro všechny aplikace
- pracuje s proměnnou velikostí paketu (datagramu)
  - velikost určuje odesilatel (aplikace)
    - problém: může docházet ke fragmentaci
- je zaměřen na jednoduchost, efektivnost a rychlost
- je nespojovaný
  - nečísluje přenášené pakety
  - negarantuje pořadí doručení
  - negarantuje dobu doručení
  - …..
- funguje jako nespolehlivý/"best-effort"
  - negarantuje doručení
  - negarantuje nepoškozenost dat
  - nepoužívá potvrzení
  - nepodporuje řízení toku
  - smí zahodit datagram když:
    - má chybný kontrolní součet
    - překročil svou životnost
    - hrozí zahlcení sítě
    - …..

představa fungování protokolu IP

protokol IP rozhoduje o dalším směru předání datagramu (routing), řeší vkládání do linkových rámců a odesílání (forwarding)….

síť

směrovač

síť

směrovač

síť

IP datagram

IP datagram

IP datagram

I P

IP datagram

IP datagram

IP datagram

linkový rámec

přenos

linkový rámec

linkový rámec

linková vrstva

linkový rámec

linkový rámec

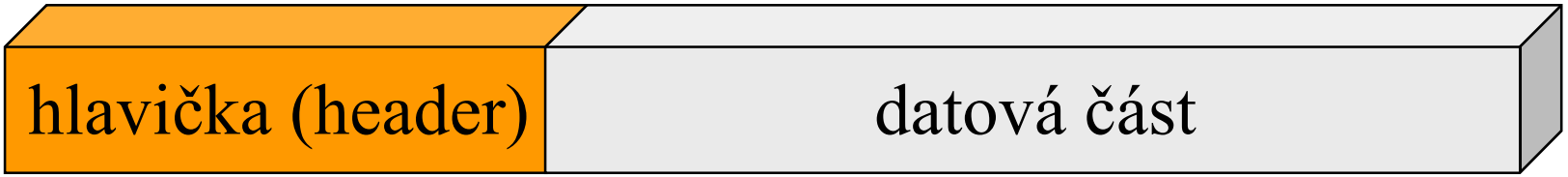
přenos

linkový rámec

přenos

formát IP datagramu

- velikost je proměnná
  - max. 64 K (65535 bytů)
  - minimální podporovaná velikost: 576 bytů
    - bez toho, aby docházelo k fragmentaci
    - odpovídá to 512 bytům užitečného "nákladu", ostatní je režie



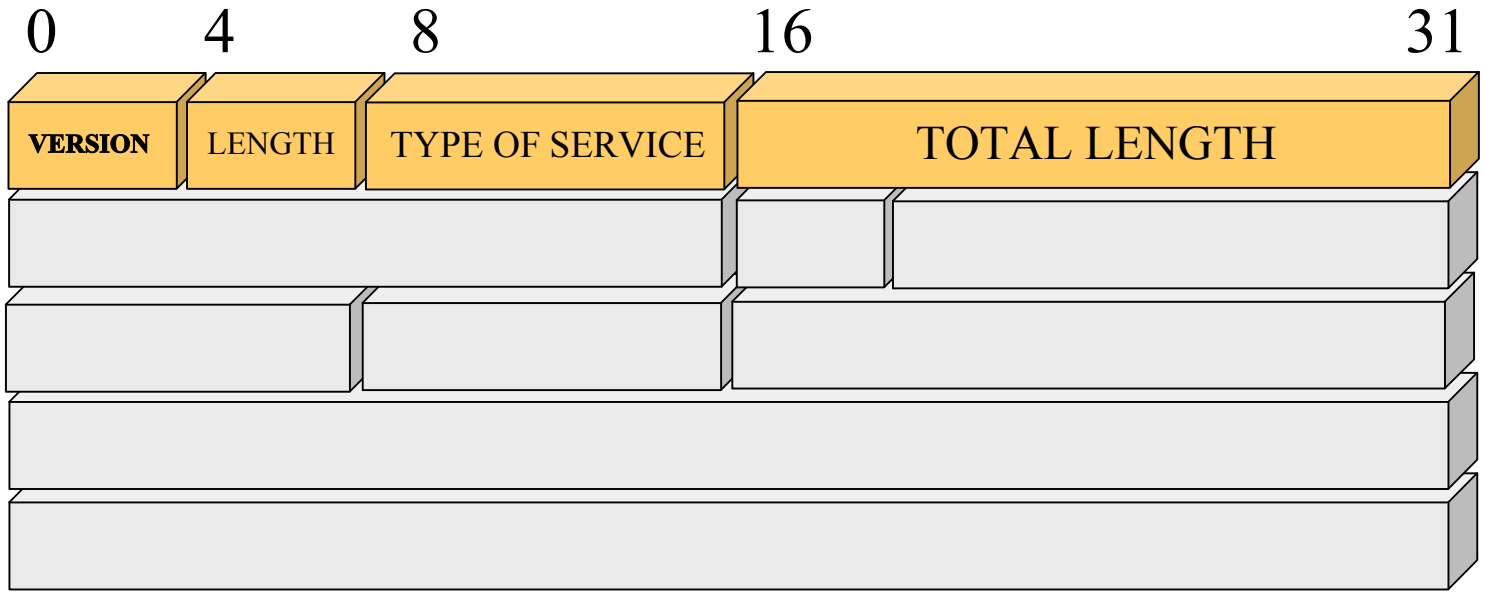
HLEN

(Header LENgth, 4 bity)

velikost hlavičky je také proměnná
(typická velikost 20 B)

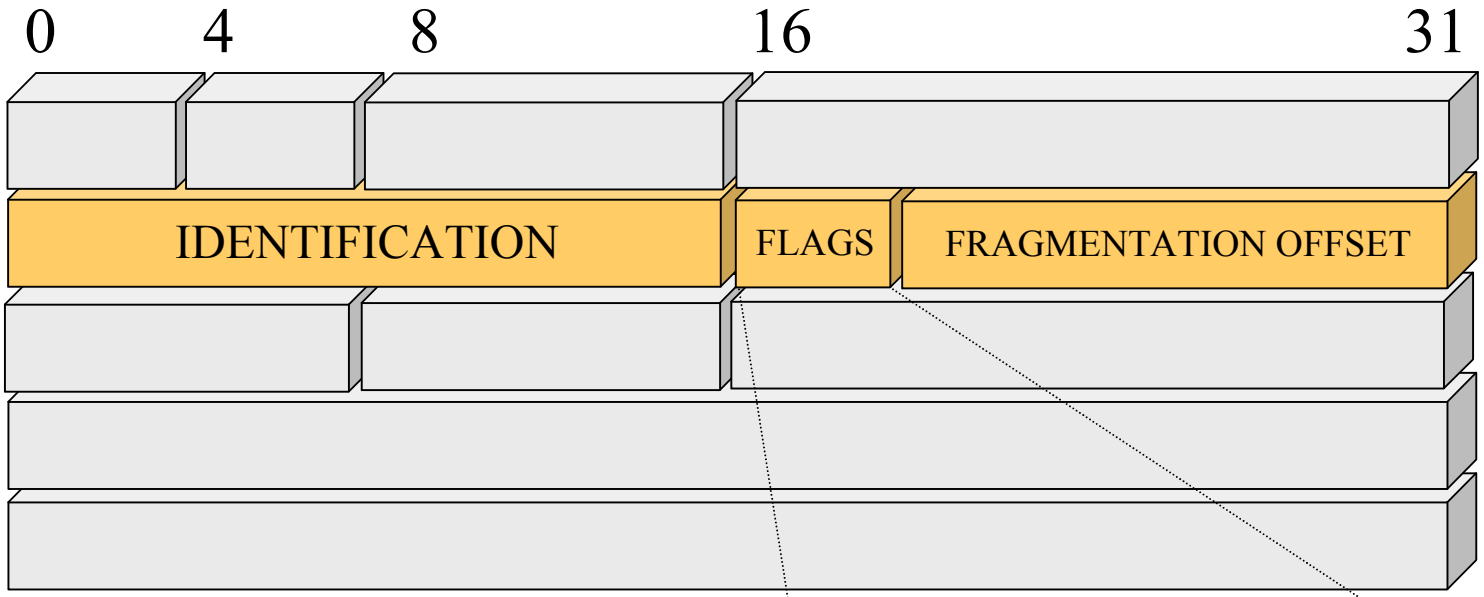
TOTAL LENGTH (16 bitů), max. 65535 bytů

formát hlavičky IP datagramu



- VERSION:
  - dnes = 4 (Ipv4)
- LENGTH:
  - velikost hlavičky v jednotkách 32-bitů
    - při typické velikosti 20 bytů je LENGTH rovno 5
- TYPE OF SERVICE
  - dnes ignorováno
  - původně: mělo vyjadřovat požadavky na QoS
- TOTAL LENGTH
  - celková délka datagramu v bytech, včetně hlavičky!

formát hlavičky IP datagramu

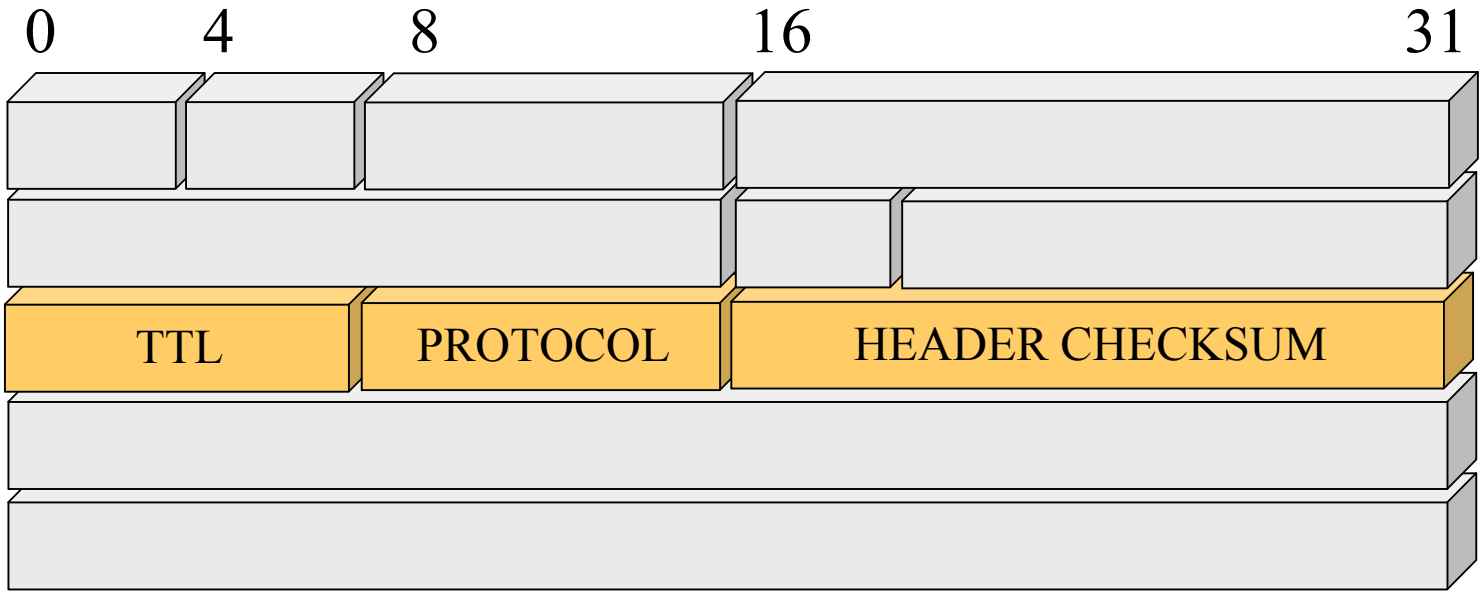


- IDENTIFICATION
  - slouží potřebám fragmentace
    - všechny fragmenty ze stejného celku mají v této položce stejnou hodnotu
    - podle toho se pozná že patří k sobě

1=nefragmentuj 1=jsou ještě další fragm.
0 = poslední fragment

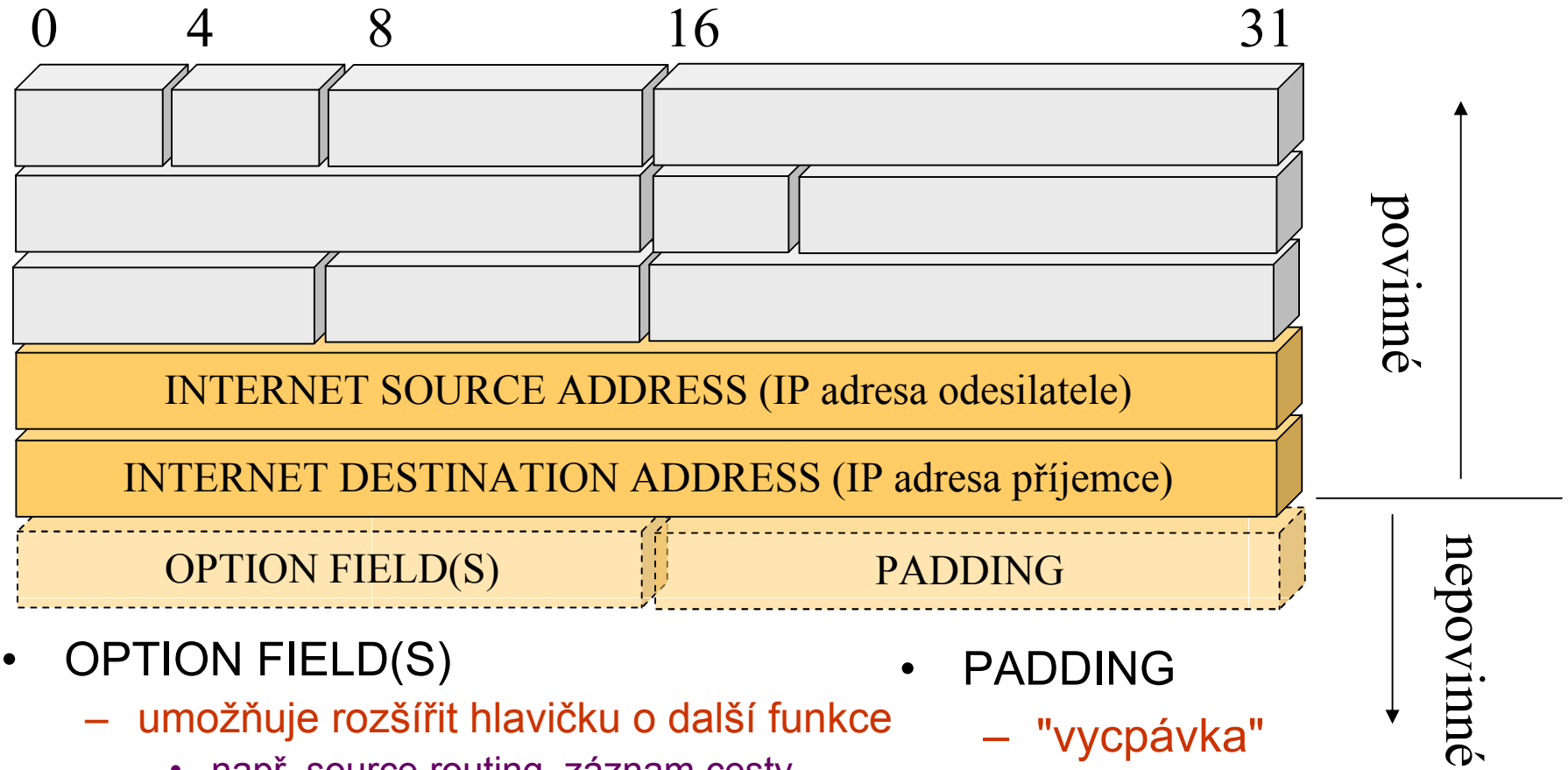
- FRAGMENTATION OFFSET
  - offset fragmentu dat od začátku původního celku

formát hlavičky IP datagramu



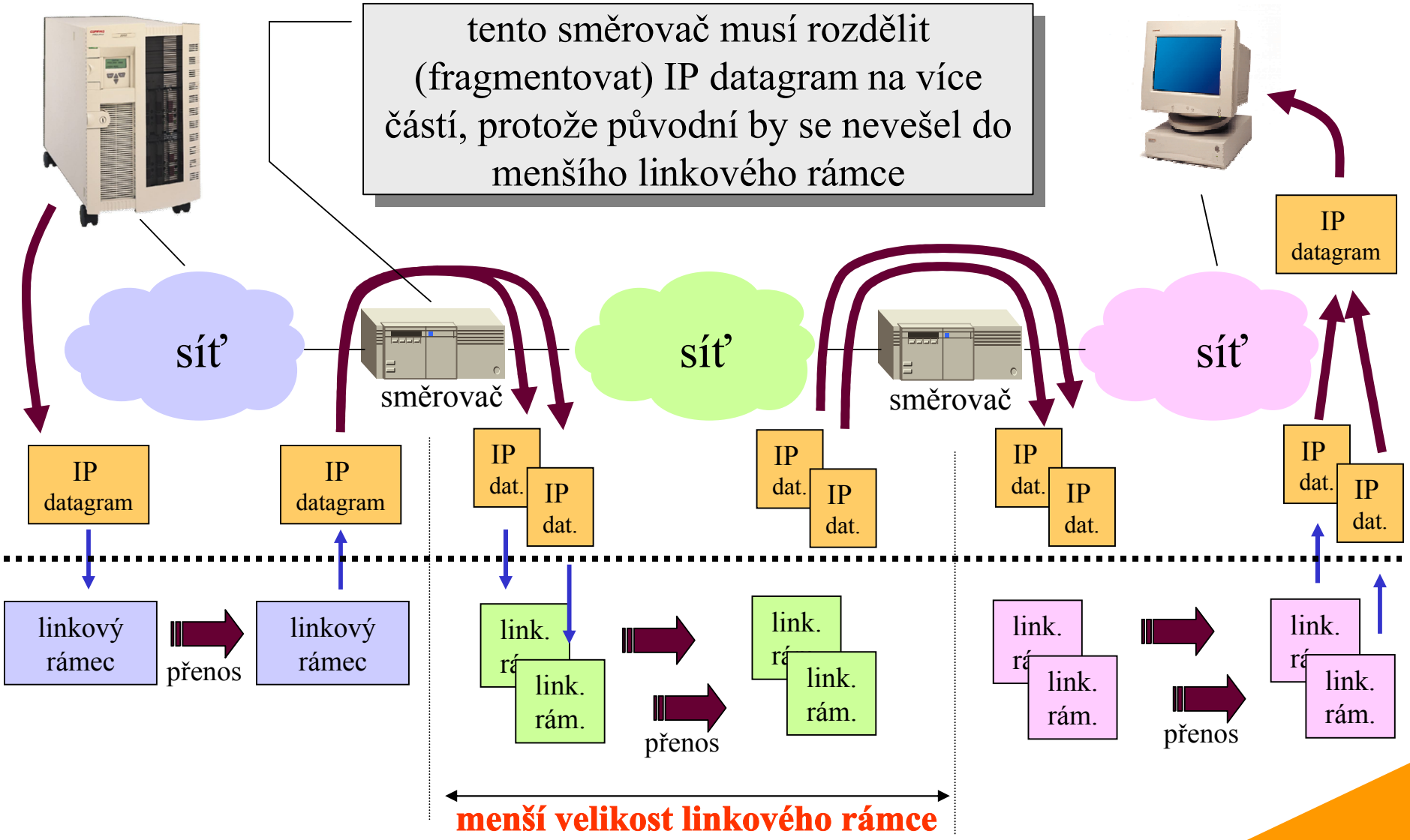
- TTL (Time To Live)
  - fakticky čítač průchodů přes směrovače
    - slouží k detekci zacyklení
- HEADER CHECKSUM
  - kontrolní součet hlavičky (!!)
    - počítaný jako 1-vý doplněk
  - při každém průchodu směrovačem se přepočítává
    - kvůli TTL !!!!
- PROTOCOL
  - udává typ užitečného nákladu
    - kterému protokolu patří:
    - 1 = ICMP
    - 4 = IP over IP (tunelování)
    - 6 = TCP
    - 17_{10} = UDP
    - …..

formát hlavičky IP datagramu



- OPTION FIELD(S)
  - umožňuje rozšířit hlavičku o další funkce
    - např. source routing, záznam cesty, záznam času ….
  - dnes se nepoužívá, směrovače obvykle zahazují datagramy s tímto rozšířením
- PADDING
  - "vycpávka"
    - aby hlavička měla velikost která je násobkem 4 bytů

problém fragmentace

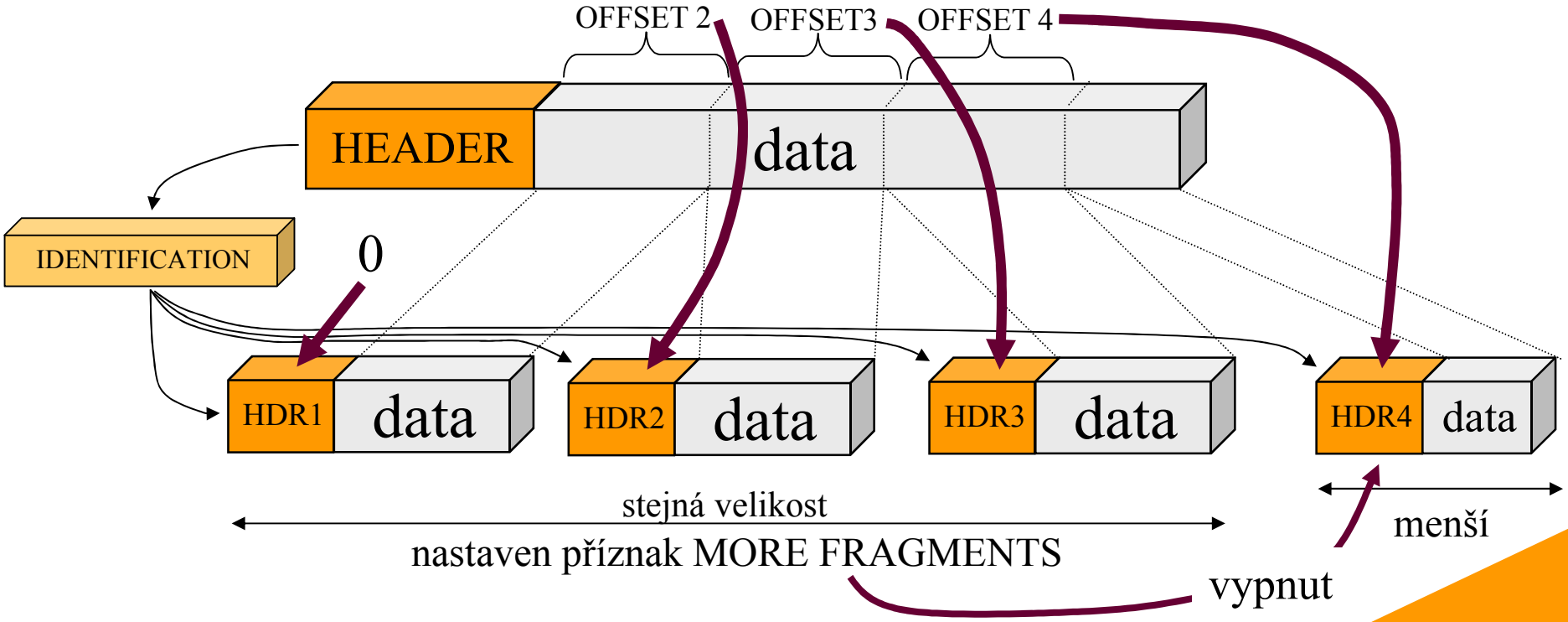


problém fragmentace

- příčina problému:
  - různé přenosové technologie pracují s různými velikostmi linkových rámců
  - velikost udává parametr MTU (Maximum Transfer Unit)
  - např.
    - 576: X.25
    - 1492: IEEE 802.3
    - 1500: Ethernet II
    - 1500, 2048, 4096: Token Ring
    - 4325, 2048: FDDI
    - 65515: HPPI (High Performance Parallel Interface)
- ten, kdo určuje velikost datového paketu, se může přizpůsobit známé velikosti MTU
- problém:
  - znalost MTU se týká jen místní sítě (segmentu), netýká se celé cesty !!!
  - díky nespojovanému charakteru IP protokolu (nenavazuje spojení) nelze fragmentaci vyloučit
    - i když bude respektováno "místní" MTU !!

5ešení fragmentace

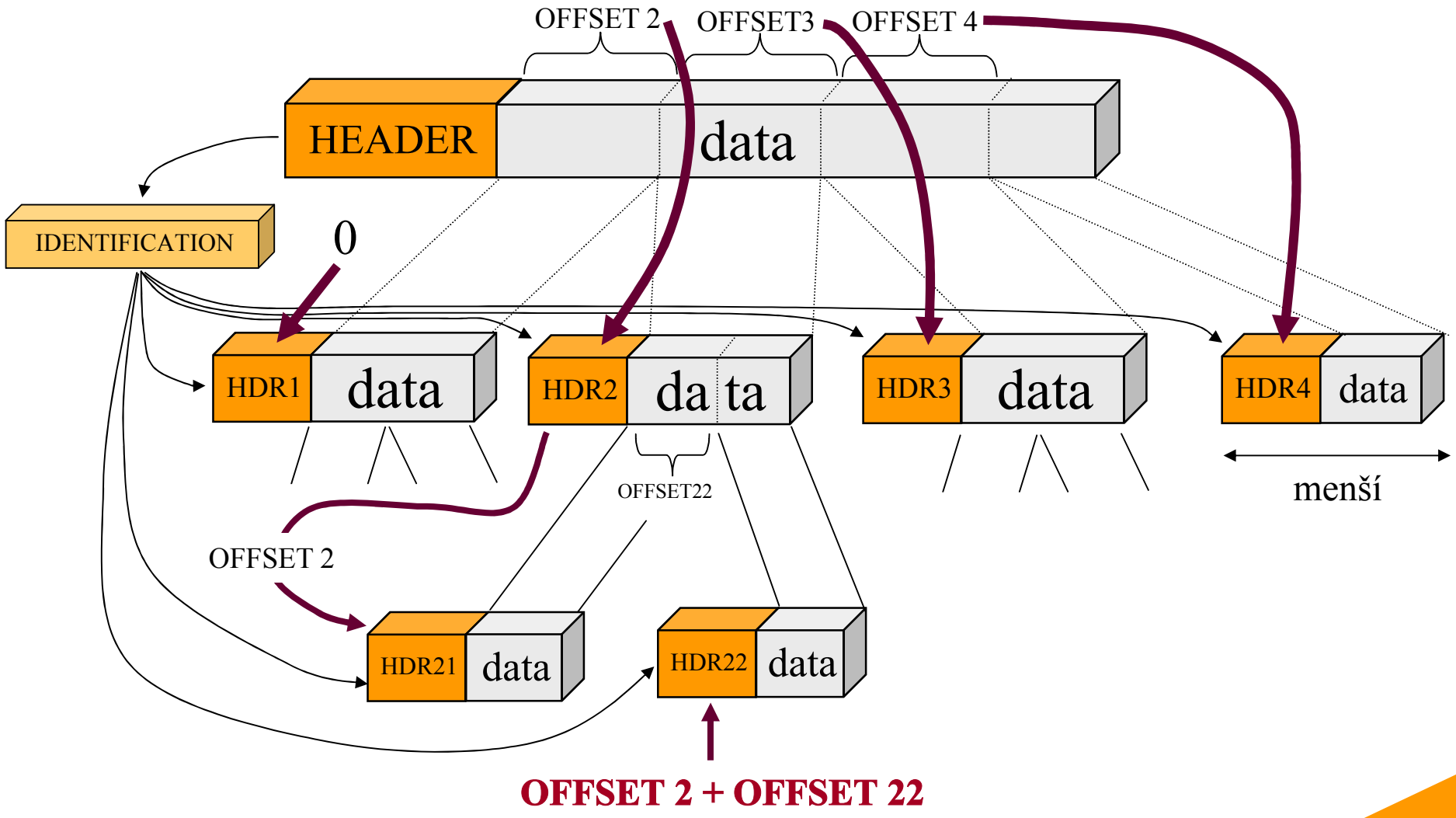
- směrovač, který zjistí že "následující síť" má příliš malé MTU, rozdělí IP datagram na několik menších IP datagramů (fragmentů)
  - každému dá stejnou hodnotu IDENTIFICATION jako má mateřský datagram
    - odesilatel generuje systematicky, inkrementací
  - každému fragmentu nastaví příznak MORE FRAGMENTS (kromě posledního)
  - každému segmentu nastaví položku OFFSET podle skutečnosti



řešení fragmentace

  - na fragmenty rozděluje ten, kdo zjistí že je to zapotřebí …
- .. zpětné sestavení zajišťuje až koncový příjemce !!!!
  - nikoli první směrovač, který by tak mohl učinit
- zpětné sestavování se musí vyrovnat s možností ztráty některého fragmentu
  - není garantováno že všechny fragmenty dorazí k cíli
  - původní datagram je sestaven pouze pokud dorazí všechny fragmenty
    - v opačném případě je vše zahozeno
    - problém i s časem – příjemce sleduje timeout
- nelze zabránit opakovaným fragmentacím
  - řeší se další fragmentací jednotlivých fragmentů
    - IP protokol to dovoluje, nerozlišuje mezi "úrovněmi" fragmentů
    - "fragment fragmentu" je stále fragmentem
- je garantována minimální velikost IP datagramu (576 B) která by neměla být nikdy fragmentována
  - odpovídá to "užitečnému nákladu" nejméně 512 B
- pomocí příznaku DON'T FRAGMENT lze požadovat aby datagram nebyl fragmentován
  - pak musí být zahozen

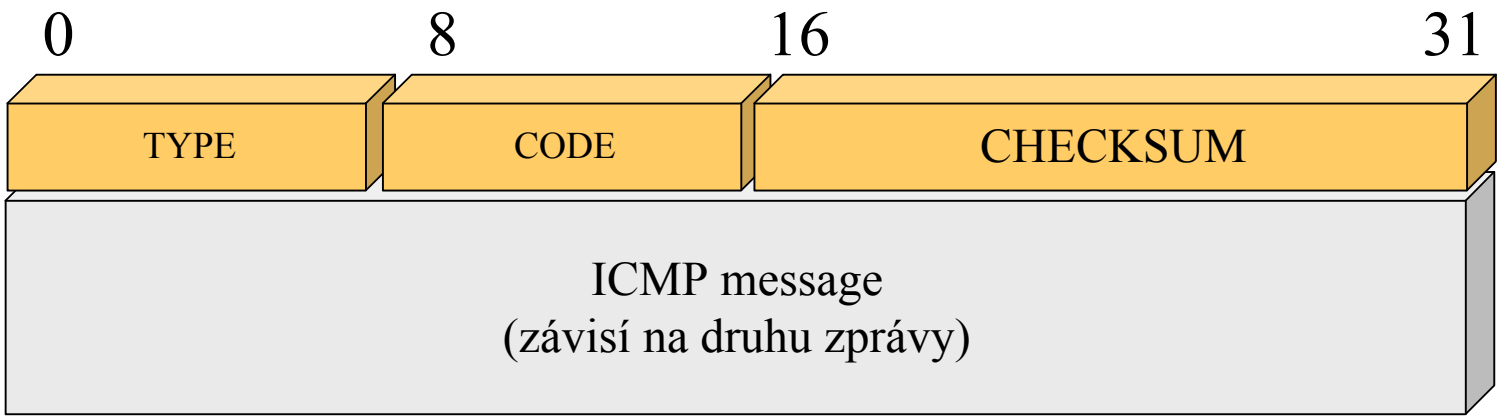
řešení fragmentace²



ICMP (Internet Control Message Protocol)

- protokol IP není "bezcitný"
  - nezahazuje datagramy bezdůvodně
  - má právo zahodit datagram při nestandardních situacích
    - zacyklení, chybný kontrolní součet hlavičky, přetížení, když nelze fragmentovat, …
  - když něco zahodí, nemusí se starat o nápravu
  - snaží se ale informovat o tom, že se něco stalo
    - koho? jak?
- pro potřeby informování o nestandardních situacích byl vyvinut protokol ICMP
  - kromě chybného kontrolního součtu hlavičky, pak nelze důvěřovat údajům o odesilateli a dalším …
- protokol ICMP je integrální součástí protokolu IP (?)
  - musí být povinně implementován spolu s IP
  - je vzájemně provázán s IP
    - příjemcem ICMP zpráv je IP protokol odesilatele
  - ICMP pakety cestují sítí vložené do IP datagramů
    - ztráty datagramů obsahujících ICMP pakety nejsou oznamovány (hrozilo by zacyklení)
- přehled situací/informací, které ICMP hlásí:
  - Source Quench (analogie řízení toku na rovni routerů)
  - Time exceeded
  - Destination unreachable
  - Redirect
  - Parametr problem
  - echo request/reply
  - address mask request/reply (uzel si řekne o síťovou masku)
  - router advertisement

Formát ICMP paketu

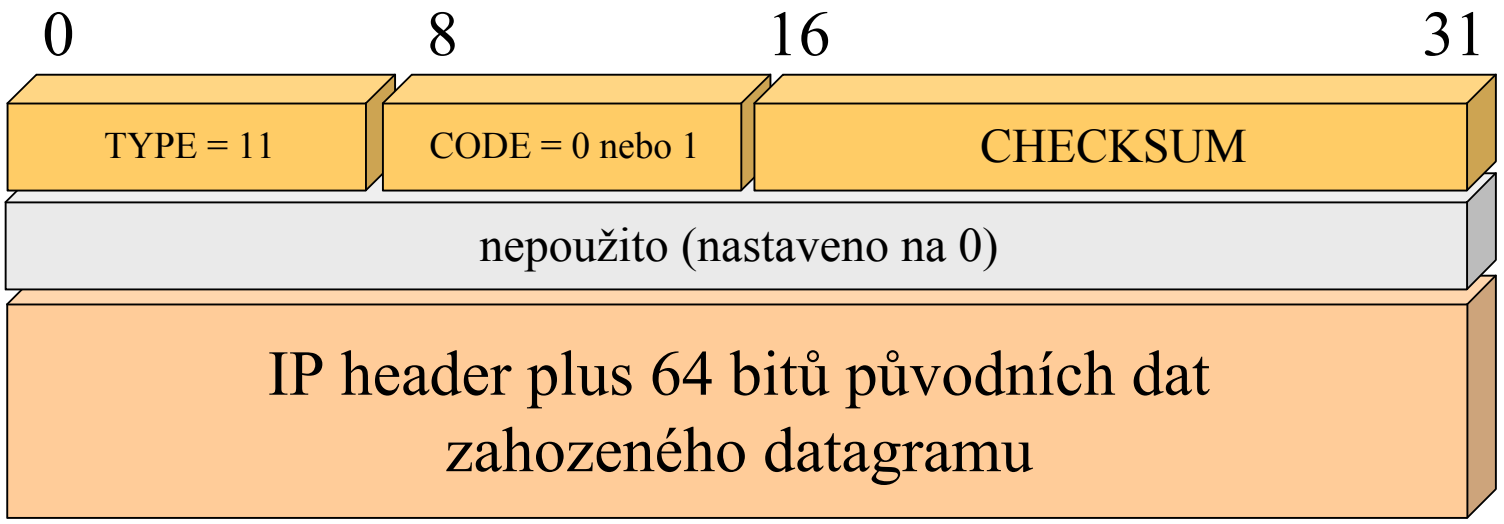


- TYPE: určuje druh ICMP zprávy
  - 0 Echo reply (odpověď na požadavek, při PINGu)
  - 3 Destination unreachable (dále se větví dle pole CODE)
  - 4 Source Quench
  - 5 Redirect
  - 6 Alternate host address
  - 8 Echo Request
  - 9 Router Advertisement
  - 10 Router Selection
  - 11 Time Exceeded (TTL k 0)
  - 12 Parameter Problem
  - 13 Timestamp Request
  - 14 Timestamp Reply
  - 15 Information Request
  - 16 Information Reply
  - 17 Address Mask Request
  - 18 Address Mask Reply
  - ……
  - 30 Traceroute
  - ….
- CODE: upřesňuje význam položky TYPE

ICMP Time Exceeded

- při směrování IP datagramu se může stát, že dojde k zacyklení
- rozpoznává se pomocí položky TTL (Time To Live) v hlavičce datagramu
  - původní význam položky: bude zde čas v sekundách
    - ukázalo se jako nereálné
  - dnešní význam: počet "přeskoků" (hop count)
  - při každém průchodu směrovačem je hodnota položky TTL dekrementována
    - kvůli tomu musí být přepočítáván kontrolní součet !!!
- když IP protokol zjistí, že položka TTL dekrementuje k nule, má právo datagram zahodit
- ale má povinnost o tom informovat odesilatele zahozeného datagramu
  - pomocí ICMP zprávy typu "TIME EXCEEDED"
    - s nastaveném CODE=1
- jiná situace:
  - při zpětném sestavování fragmentů vyprší timeout (vynuluje se nastavený timer)
  - IP reaguje zasláním ICMP zprávy TIME EXCEEDED s nastavením CODE=1

formát "ICMP TIME EXCEEDED" paketu



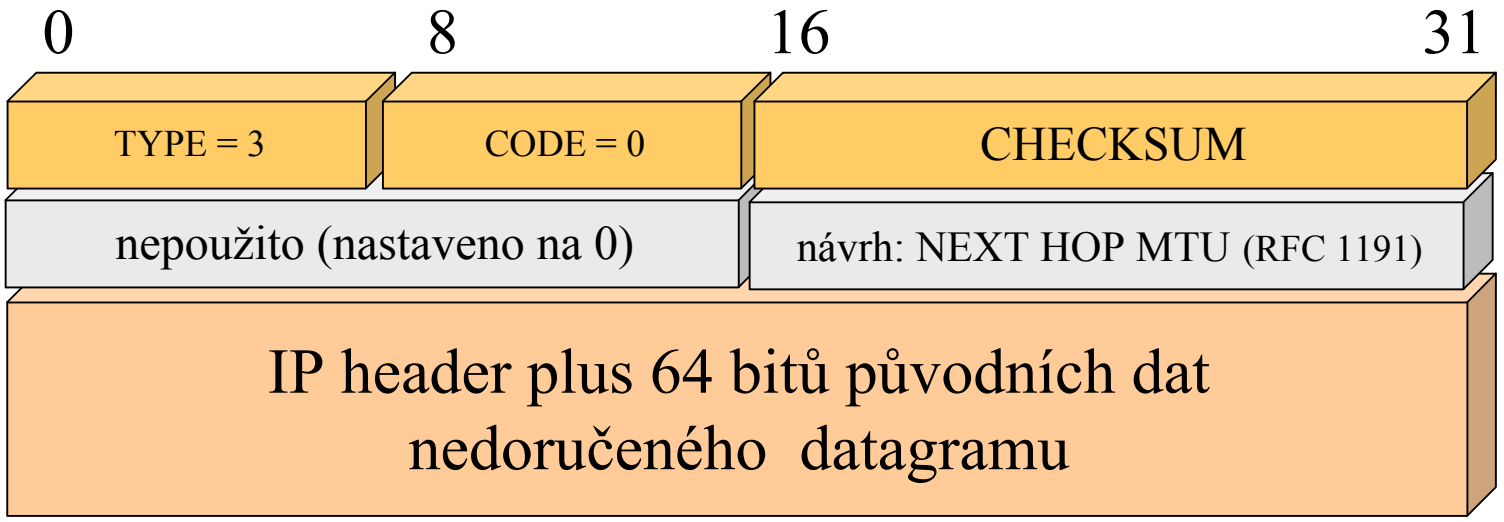
- do ICMP TIME EXCEEDED je vložen začátek zahozeného paketu, aby se příjemce mohl dozvědět o co se jedná (co je příčinou chyby)
- situace, na kterou IP protokol reaguje zprávou ICMP TIME EXCEEDED, je někdy generována záměrně
  - např. pro potřeby utility traceroute

Utilita Traceroute

- #1 gw.peterka.cz (…….): TTL Exceeded, ttl=128, 2 ms
- #2 Praha14.core.Czech.Net (194.213.225.6): TTL Exceeded, ttl=254, 153 ms
- #3 Praha9.core.Czech.Net (194.213.225.9): TTL Exceeded, ttl=253, 144 ms
- #4 Praha0.core.Czech.Net (194.213.225.1): TTL Exceeded, ttl=253, 144 ms
- #5 nix.ten.cz (194.50.100.191): TTL Exceeded, ttl=252, 329 ms
- #6 porta-ten.pasnet.cz (195.113.69.105): TTL Exceeded, ttl=251, 149 ms
- #7 atmms-1.pasnet.cz (195.113.68.132): TTL Exceeded, ttl=250, 1506 ms
- #8 ksi.ms.mff.cuni.cz (195.113.19.213): Echo Reply, ttl=122, 157 ms

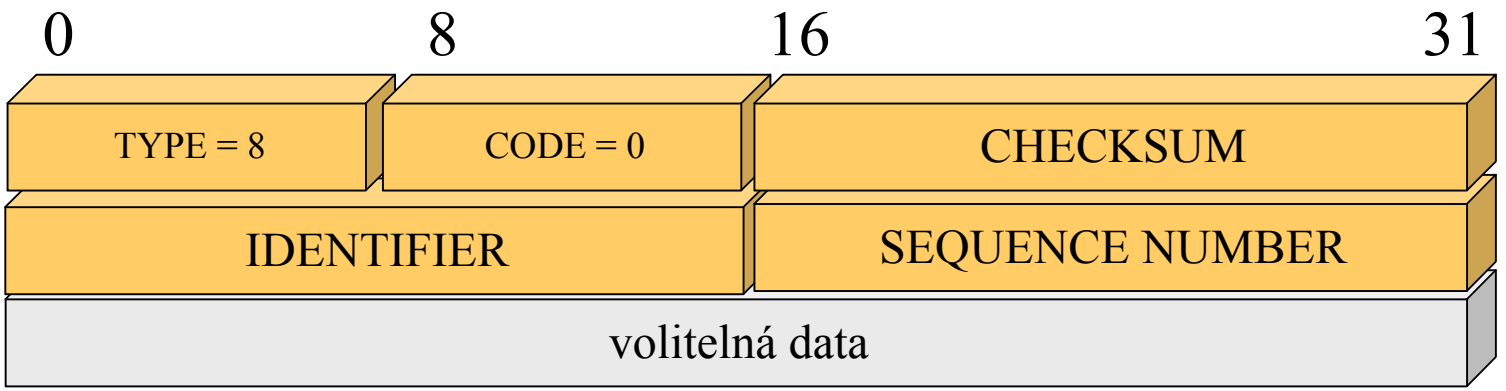
- testující uzel pošle datagram cílovému stroji, nastaví TTL=1
  - fakticky posílá ICMP Traceroute (CODE=30) nebo UDP datagram na neexistující port
  - první příjemce po cestě dekrementuje TTL na 0 a vygeneruje ICMP TIME EXCEEDED (z toho se pozná, kdo je 1. uzel po cestě)
- testující opakuje s inkrementovaným TTL …..
- poslední krok se dělá pomocí UDP datagramu na neexistující port

ICMP Destination Unreachable



- obecnější hlášení než TIME EXCEEDED
  - pokrývá další situace, kdy byl IP datagram zahozen, resp. nemohl být doručen, mj.:
    - nedostupná síť (CODE=0), nedostupný uzel (CODE=1),
    - neexistující adresy (CODE=2), porty (CODE=3),
    - překročení MTU při nastaveném příznaku že se nemá fragmentovat (CODE=4)
    - chyby routerů, chyby SW
    - nesprávné cesty (cykly, neexistující cesty apod.)
    - výpadky uzlů
    - zakázaný přístup pro určitý druh paketů / služeb

ICMP Echo Request



- slouží k:
  - testu dostupnosti (konektivity)
  - změření doby přenosu (RTT, Round Time Trip)
  - zjištění zda dochází k fragmentaci
  - určení počtu "hopů" (přeskoků) k cíli (pozná se podle TTL ve výpisu odpovědi)
- zprávu ICMP Echo Request (TYPE = 8) může poslat kterýkoli host nebo router.
- dotázaný pošle ICMP Echo Reply (TYPE=0)
  - Odpověď generuje přímo ICMP software, jinak ale nemění datový obsah žádosti (volitelná data)
- volbou velikosti paketu (volitelných dat) lze testovat fragmentaci

PING (Packet InterNet Groper)

- Ping - Monday, April 03, 2000 10:44:51
- Address: ksi.ms.mff.cuni.cz, Number of Packets: 3, Packet size: 1400
- Don't Fragment: Yes

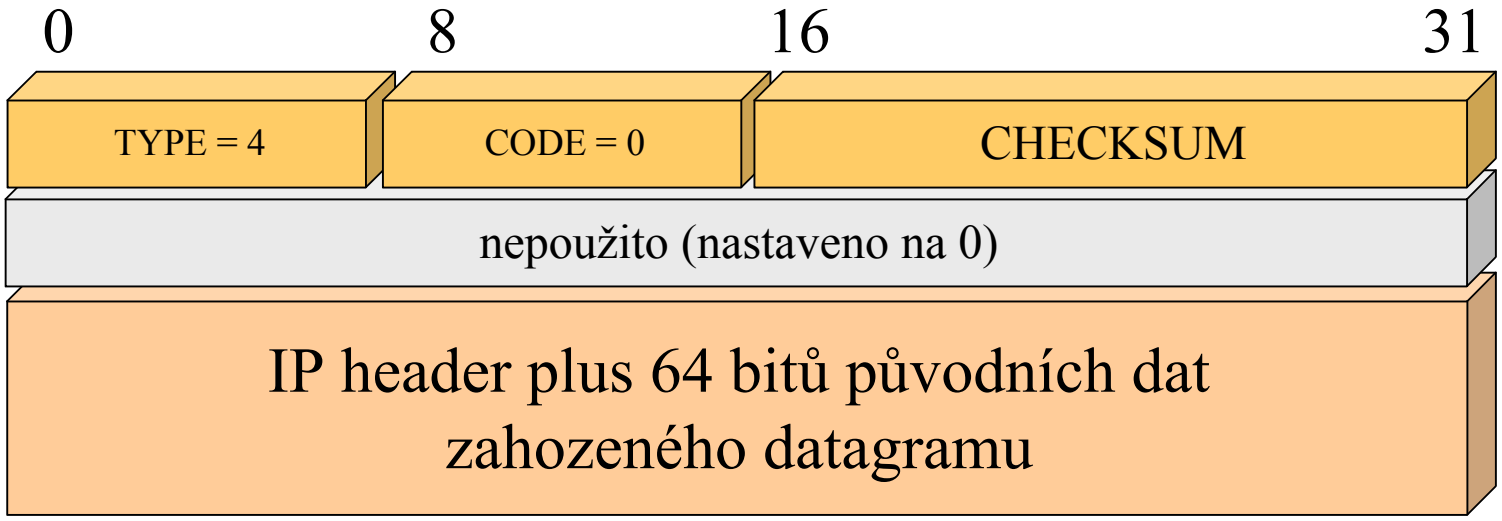
test MTU

- #1 ksi.ms.mff.cuni.cz (195.113.19.213): Echo Reply, ttl=122, 805 ms
- #2 ksi.ms.mff.cuni.cz (195.113.19.213): Echo Reply, ttl=122, 811 ms
- #3 ksi.ms.mff.cuni.cz (195.113.19.213): Echo Reply, ttl=122, 839 ms

- Statistics: Out 3, in 3, loss 0%, times (min/avg/max) 805/818/839 ms

"vzdálenost", měřená v počtu přeskoků odpovědi (ECHO REPLY)
jde o doplněk do výchozí hodnoty, kterou různé implementace nastavují různě!!
Zde bylo výchozí hodnotou 128, tj. vzdálenost je 6+2 = 8 !!

ICMP SOURCE QUENCH



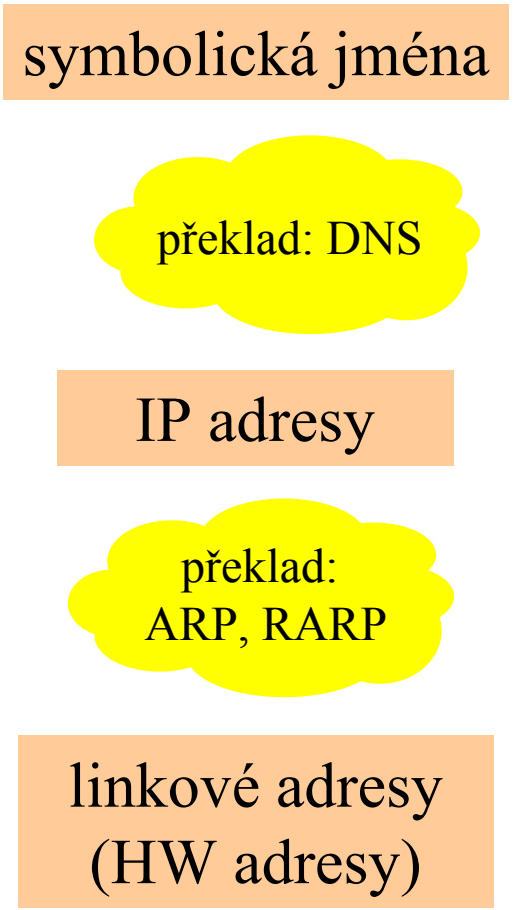
- jde o hlášení od směrovače, že u něj dochází k přetížení (zácpě)
- možné důvody:
  - jeden zdroj posílá data směrovači rychleji než je on dokáže zpracovat
  - tím že souběh požadavků přicházejících na směrovač překračuje jeho kapacitu
  - ….

ICMP SOURCE QUENCH

- jednoduchý směrovač:
  - posílá ICMP SOURCE QUENCH po každém paketu, který dostane když je přetížen
- dokonalejší směrovač:
  - monitoruje zdroje dat a jejich toky, a posílá ICMP SOURCE QUENCH jen těm, kteří mají podstatný vliv na jeho přetížení
- ještě dokonalejší směrovač:
  - může generovat ICMP SOURCE QUENCH ještě dříve, než dojde k přetížení, když se snaží o predikci a předcházení tomuto jevu

- zpráva SOURCE QUENCH je pouze informace o tom, že dochází k přetížení směrovače.
  - nespecifikuje proto konkrétní požadovanou akci
    - ta je ponechána na vůli toho, kdo SOURCE QUENCH dostane (také tento uzel se může chovat různě inteligentně, a svou akci volit podle toho, že dostal prvních 64 bitů dat, která způsobila přetížení)
  - neexistuje inverzní zpráva k SOURCE QUENCH
    - nelze oznámit konec přetížení, je nutné to dělat nějak postupně a testovat průchodnost, například postupně zvyšovat objem dat)

Address Resolution



- připomenutí:
  - IP adresy jsou abstraktní (virtuální), nemají "fyzickou" analogii v linkových adresách
    - hardwarových adresách
- musí existovat převodní mechanismy
  - AR, Address Resolution
    - převod z IP na HW adresu
  - RAR, Reverse Address Resolution
    - opačně, z HW na IP adresu

možné přístupy k překladu adres

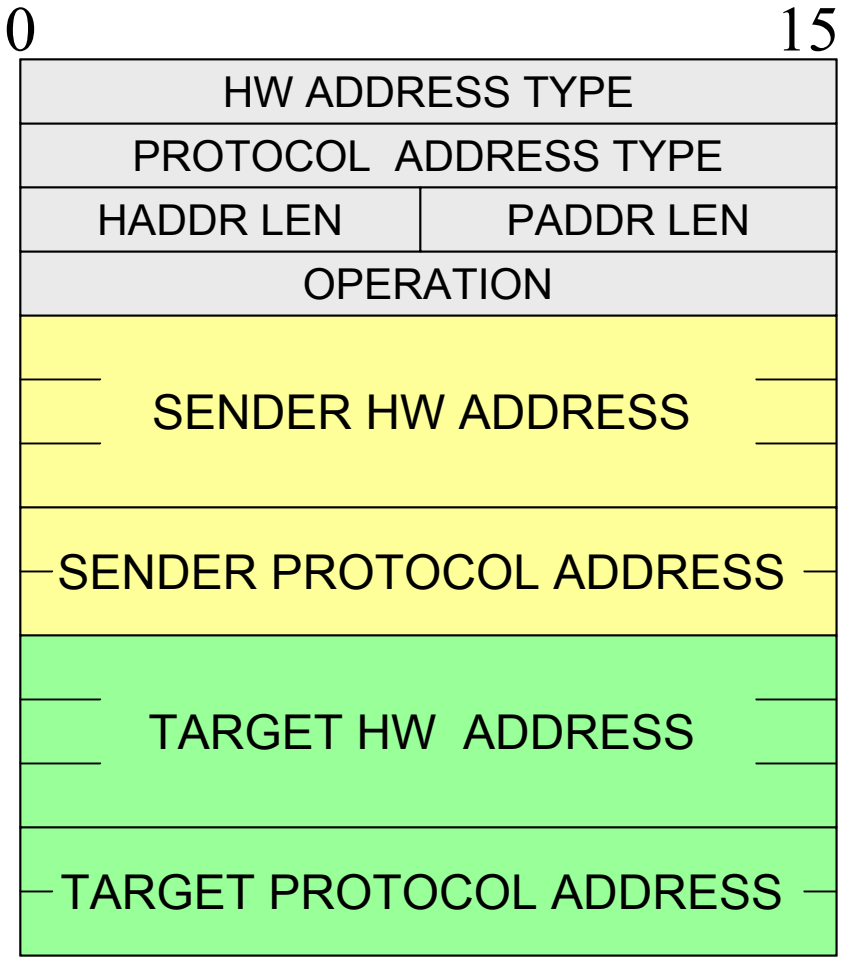
- tabulkový převod
  - k dispozici je tabulka s převodními informacemi
    - malou tabulku lze prohledávat systematicky, u větší je třeba použít vhodnou optimalizaci (hašování apod.)
  - výhoda: je to rychlé
  - nevýhoda: je to problematické tam, kde dochází ke změnám
- přímý výpočet
  - je k dispozici funkce, která z IP adresy vypočítá HW adresu
    - např. tak že vezme nejnižší byte IP adresy
  - lze použít jen tam, kde lze nastavit HW adresu
- pomocí dotazů&odpovědí
  - ten, kdo potřebuje udělat převod, pošle dotaz tomu kdo to dokáže
  - centralizované řešení:
    - existuje "převodní server", který zná všechny adresy a jejich vztahy (analogie DNS)
  - distribuované řešení
    - na převodní dotazy odpovídá ten, komu adresa patří
      - ten by měl znát svou HW adresu i IP adresu
      - lze použít i pro oba směry převodu

nejčastější řešení, vyžaduje ale broadcast

ARP, Address Resolution Protocol

- jde o protokol, určený pro "překlady adres" metodou dotaz&odpověď
  - v distribuované variantě
  - je použitelný pouze tam, kde je k dispozici všesměrové vysílání (broadcasting)
- princip fungování:
  - pošle dotaz všem v dané síti (pomocí broadcastu)
  - ten koho se dotaz týká odpoví
- definuje:
  - formát dotazu a odpovědi
  - způsob přenosu / šíření dotazů a odpovědí
- dotazy jsou vkládány přímo do linkových rámců
  - do Ethernetových rámců, v prostředí Ethernetu, EtherType=0x806
- rozesílány jsou všem uzlům
  - v Ethernetu pomocí broadcastu (v adrese jsou samé 1)
- dotaz je typu: ***"kdo má takovouto IP adresu?***"
  - odpovídá pouze ten uzel, který rozpozná svou IP adresu,
  - do odpovědi vloží svou HW adresu
- odpověď je zasílána cíleně, nikoli jako broadcast

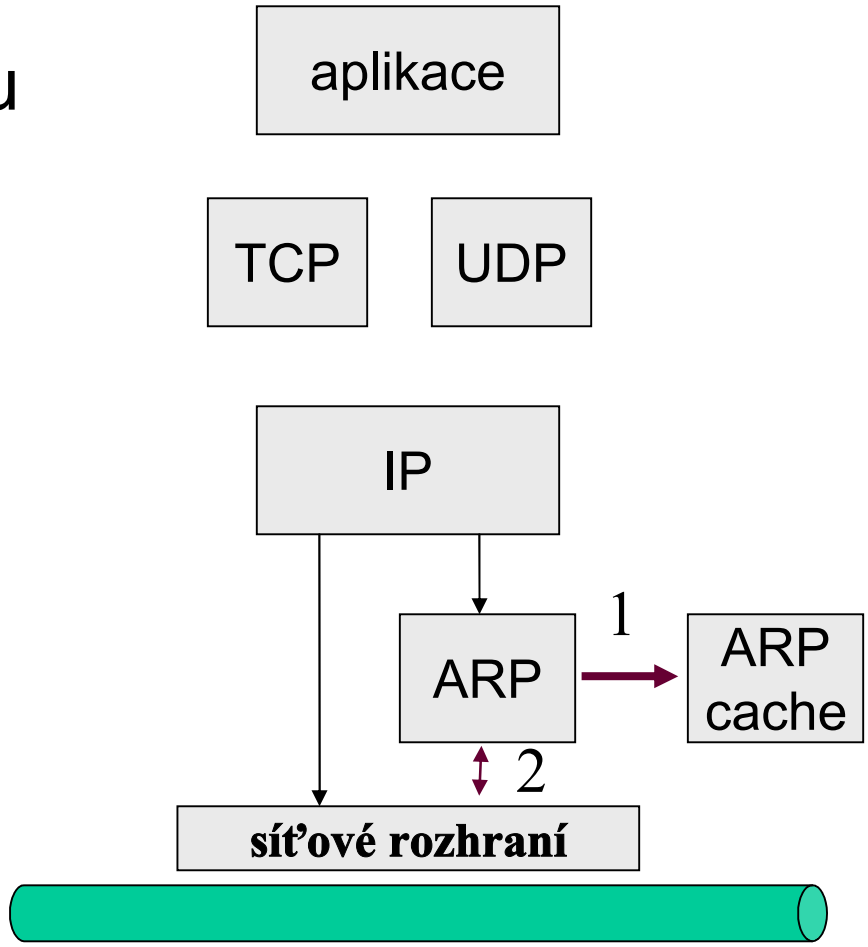
formát ARP zprávy



- HW ADDRESS TYPE:
  - 1 když jde o Ethernet
- PROTOCOL ADDRESS TYPE
  - 0x800 když jde o IP
- HADDR LEN (délka HW adresy v oktetech)
- PADDR LEN (délka protokolové (IP) adresy)
- OPERATION
  - 1 pro dotaz, 2 pro odpověď
- SENDER HW ADDRESS, SENDER PROTOCOL ADDRESS
  - adresy toho kdo je odesilatelem dotazu nebo odpovědi
- TARGET HW ADDRESS, TARGET PROTOCOL ADDRESS
  - když se posílá zpráva, je TARGET PROTOCOL ADDRESS vyplněna nulami
  - když se posílá odpověď, je podstatná informace v SENDER HW ADDRESS.

ARP caching

- kvůli celkové efektivnosti překladového mechanismu jsou výsledky ARP dotazů cacheovány (na cca 20 minut)
- obecný postup:
  - když je potřeba provést překlad, ARP se nejprve podívá do cache.
  - teprve když tam nenajde potřebnou vazbu (binding), pošle dotaz



zpracování ARP dotazu

- každý uzel který přijme broadcast:
  - extrahuje "binding" odesilatele dotazu (vazbu mezi jeho IP a HW adresou).
    - pokud jej už má ve své cache, osvěží ji (znova to vloží do své cache). Tím se mj. ošetří i změna adresy odesilatele
  - příjemce se podívá na pole OPERATION, zda jde o dotaz nebo odpověď.
  - pokud jde o dotaz, zjistí příjemce zda se ho týká
    - porovná pole TARGET PROTOCOL ADDRESS se svou adresou.
- pokud jde o odpověď, už nejde o broadcast
  - odpověď by měla být cílená, tj příjemce dříve vyslal dotaz a nyní čeká na odpověď
    - odpověď využije.
- pokud se dotaz týká daného příjemce, je povinen odpovědět
- sestaví ARP odpověď:
  - přehodí význam SENDER a TARGET, vyplní adresy druhé strany (byť je to zbytečné)
  - doplní svou HW adresu (do pole SENDER HW ADDRESS)
  - nastaví pole OPERATION na odpověď (2)
  - pošle cíleně tazateli
- poté, co poslal odpověď, dotázaný si sám zanese binding (překladovou informaci o tazateli) do své cache paměti
  - je to optimalizace kvůli tomu, že za chvíli mu nejspíše bude něco posílat, a bude potřebovat jeho adresu

Proxy ARP

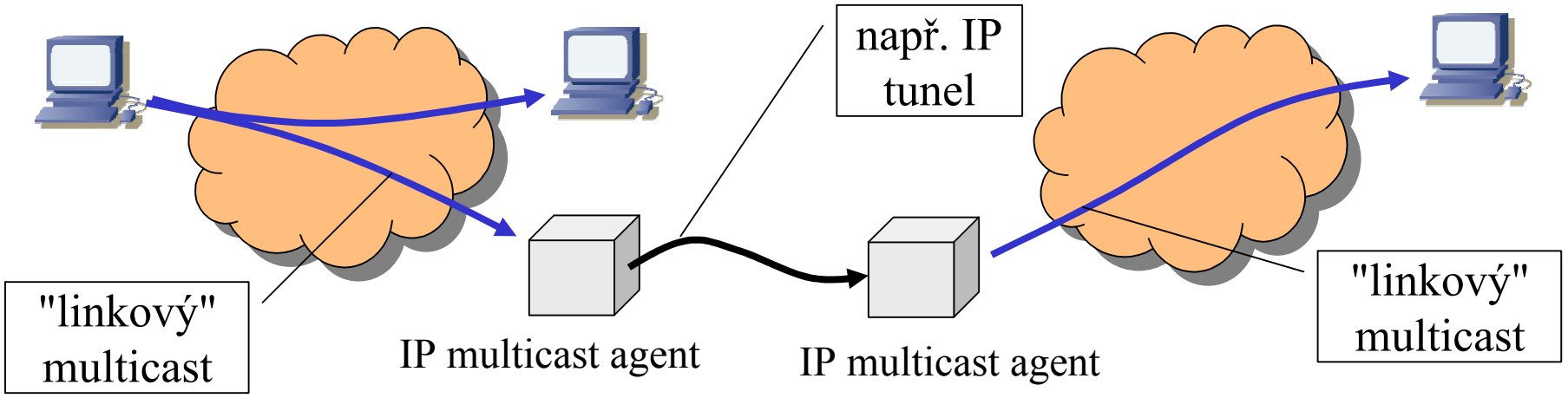
- zvláštní varianta ARP, kdy jeden uzel (směrovač) odpoví na ARP dotaz týkající se uzlu který je schován na ním
  - typicky to je uzel na pomalém jednobodovém spoji
  - vlastně tak směrovač skrývá sám sebe (resp. dává do jedné sítě i to co je za ním.).
- používá se to například tam, kde jeden uzel chce vystupovat jménem druhého
  - např. při mobilním IP bude plnit roli místního agenta

IP Multicast

- multicast:
  - možnost odeslat paket, který bude doručen více příjemcům (současně)
  - linkový multicast:
    - doručuje se uzlům v "přímém dosahu"
      - to je relativně snadné, s podporou v linkových technologiích
  - IP multicast
    - doručuje se uzlům, které mohou být "kdekoli" v dosahu IP protokolu
      - komplikované
- IP multicast adresy:
  - jsou "skupinové"
    - uzly se dynamicky přidávaní/odstraňují ze skupiny
  - skupiny jsou:
    - permanentní: IP adresa je jim přidělena administrativně a trvale
      - a je "well known"
      - např. **224.0.0.2: všechny směrovače v podsíti**
    - "dočasné" (transient): vznikají a zanikají na základě potřeby
  - členství uzlů ve skupině je vždy dynamické

další dělení: veřejné vs. privátní

IP multicast – princip fungování

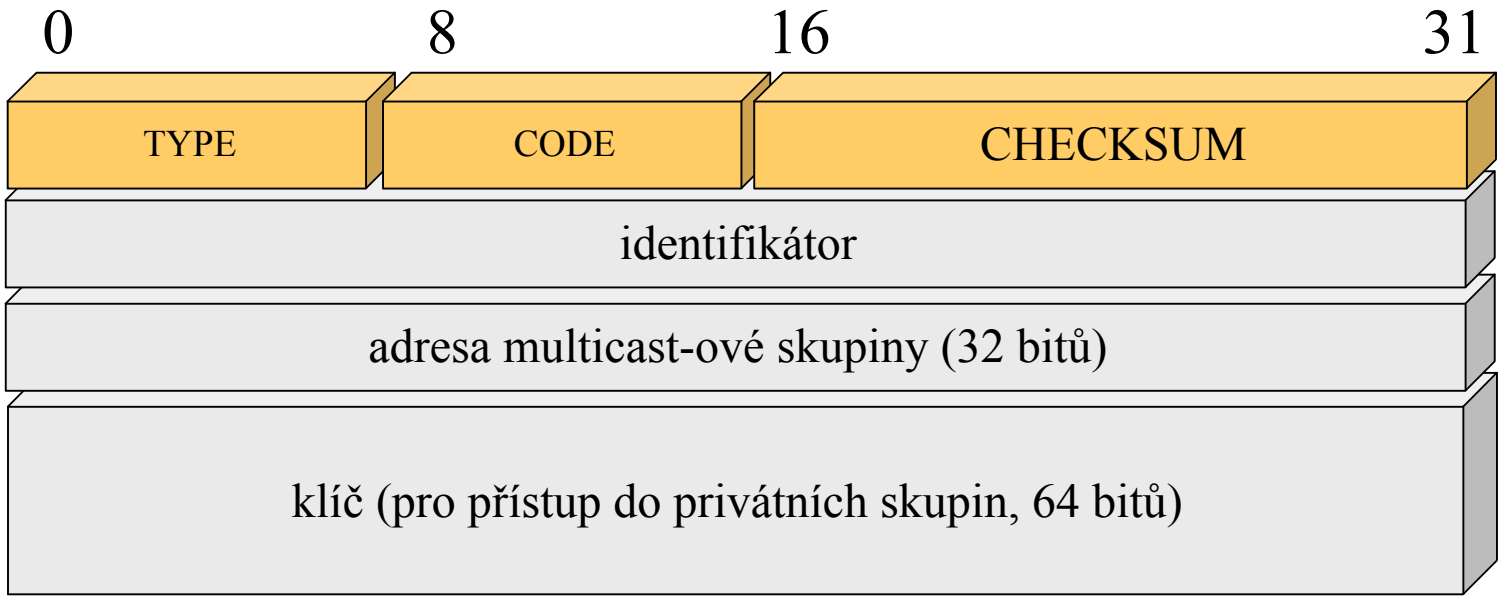


- princip řešení IP Multicast-u:
  - odesilatel "odesílá" paket na IP multicast adresu
  - ty uzly, které jsou "místní" (v dané síti), přijímají paket přímo
    - prostřednictvím multicastu na linkové vrstvě (linkového multicastu)
  - pokud je členem příslušné multicastové skupiny i nějaký uzel mimo danou síť, musí být v této síti "IP multicast agent"
    - ten přijme mulicastový paket a zajistí jeho přenos do cílové sítě
    - v cílové síti je další agent, který zajistí místní rozeslání, prostřednictvím linkového multicastu

IGMP (Internet Group Management Protocol)

- slouží k řízení multicastových skupin
  - ke zřizování/rušení dočasných skupin
  - k přidávání/odebírání uzlů ze skupin
  - ….
- pakety IGMP se vkládají do IP paketů
  - obdobně jako u ICMP

- Type:
  - 1: žádost o vytvoření (dočasné) skupiny
  - 2: odpověď na žádost o vytvoření skupiny
  - 3: žádost o přidání uzlu do skupiny
  - 4: odpověď ….
  - 5: žádost o vyjmutí uzlu ze skupiny
  - 6: odpověď …
  - 7: potvrzení vzniku (dočasné) skupiny
  - 8: odpověď …
- Code:
  - 0: veřejná slupina
  - 1: privátní skupina



IP Multicast v praxi

- IP multicast je "definován" jako součást IPv4 již od začátku
  - pamatuje na něj i původní rozdělení 32-bitového prostoru IP adres
- praktická podpora je ale malá
  - důvody jsou různé:
    - malá poptávka po službách, které multicast vyžadují
    - chybějící podpora multicastu v koncových zařízeních
- teprve v poslední době se situace mění
  - poptávka roste
  - podpora v koncových zařízeních je lepší
  - v IPv6 je na multicast kladen velký důraz
- projekt MBONE (Multicast Backbone)
  - akademický projekt, cca od roku 1992
  - snaží se spojit "ostrůvky podporující IP multicast" přes veřejný Internet
    - pomocí "IP tunelu" skrze ty části Internetu, které nepodporují multicast
  - využívalo se pro videokonference
    - jednání IETF, konference NASA, vysílání internetových rádií, …

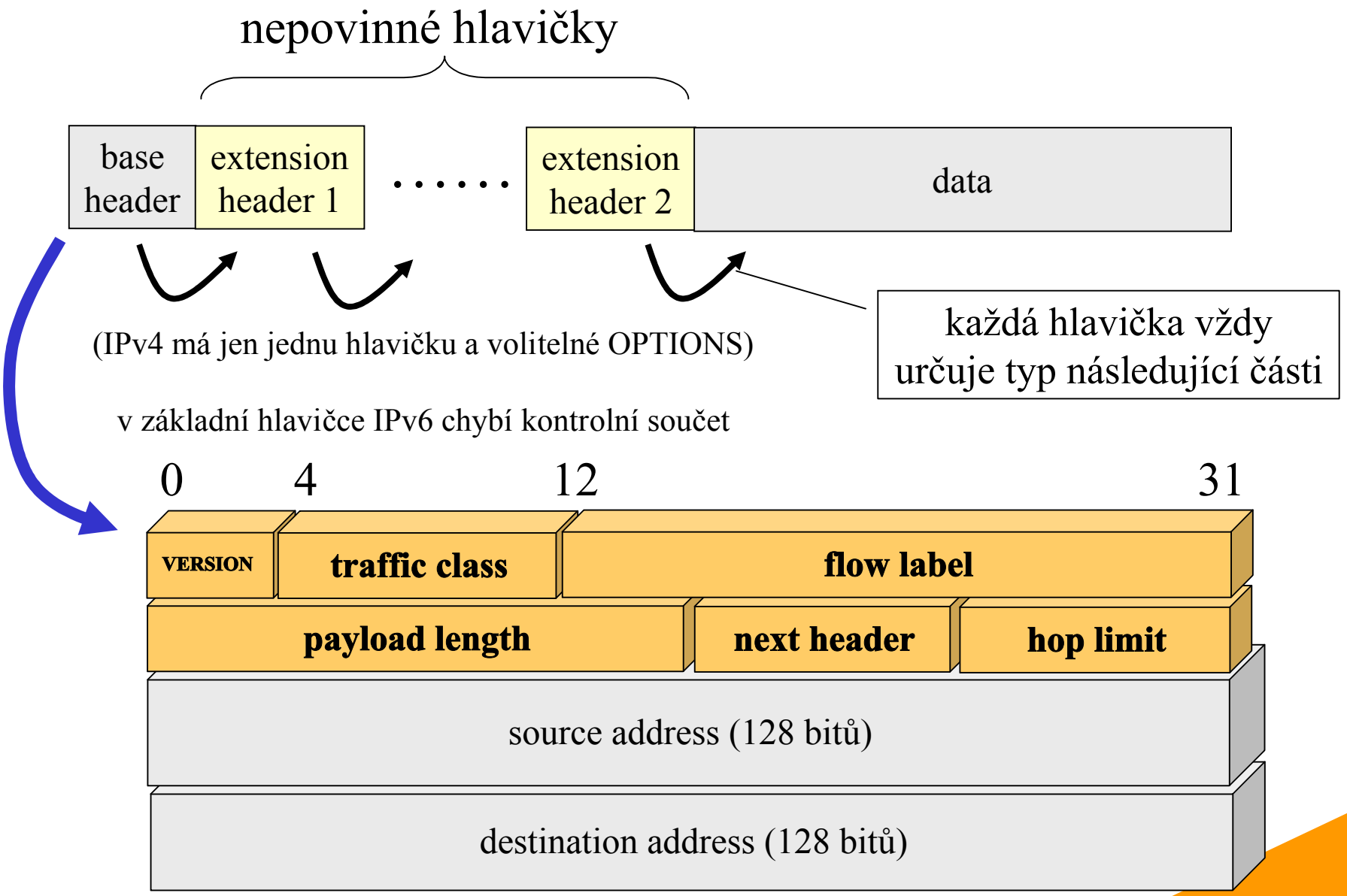
IPv6

- Proč?
  - jako zásadní řešení problému s nedostatkem 32-bitových IP adres
  - 2^{32} = 4 294 967 296
    - odhad reálně použitelných adres: jen cca 2 mld.
- důvody:
  - roste počet uzlů, připojených k Internetu
    - xDSL, kabel, satelit, Wi-Fi, …..
    - mobilní zařízení (GPRS telefony, PDA, UMTS/3G….)
    - inteligentní zařízení (ledničky, pračky, mikrovlny, ….)
  - nevyrovnanost přídělů stávajících 32-bitových IP adres
    - Japonsko, Čína (Asie obecně) – dostali málo
  - dočasná řešení nevystačí navždy
    - privátní IP adresy, NAT, CIDR ….
- očekávání (IPv6 Forum):
  - již dnes obsahuje každá domácnost na 250 zařízení, která by mohla být někdy v budoucnu připojena k Internetu
  - v roce 2004 bude na světě 1,3 mld. mobilních telefonů, 750 mil. aut a desítky milionů dalších zařízení, která by mohla být připojena
- řešení:
  - stávajícímu protokolu IP (verze 4) nelze vnutit větší adresy
  - je (bylo) nutné vyvinout zcela nový protokol IP verze 6

hlavní změny v IPv6

- zvětšení IP adres
  - z 32 bitů na 128 bitů
  - viz přednáška o IP adresách
- jiná struktura IP paketu
  - IPv4:
    - jedna hlavička a možná rozšíření (OPTIONS)
  - IPv6:
    - více různých hlaviček, bez možnosti rozšiřování
    - jedna hlavička je "základní" (base header) a povinná
      - má 40 bytů
    - další hlavičky jsou "rozšiřující" (extension headers") a nepovinné
- struktura hlaviček je zjednodušena
  - málo používané položky jsou odstraněny nebo přesunuty dio rozšiřujících hlaviček
  - je odstraněno přepočítávání kontrolního součtu v každém směrovači
    - ke kterému docházelo u IPv4
- je lépe řešena podpora QoS
- je řešeno zabezpečení
  - s využitím rozšiřujících hlaviček
- lepší podpora směrování
- fragmentace je řešena jinak
- další
  - místo broadcastu je multicast
  - je zaveden anycast
  - .....

formát IPv6 paketu



IPv6 a fragmentace

- IPv6 požaduje MTU minimálně 1280 bytů
  - IPv4 požaduje nejméně 576 bytů
- už nedochází k fragmentaci "po cestě"
  - fragmentovat v IPv6 může jen odesilatel
    - pokud se někde (na trase) zjistí, že paket je větší než místní MTU, přenos skončí a odesilateli je odeslána zpráva ICMP Packet Too Big
      - jako u IPv4, pokud by byl nastaven bit DON´T FRAGMENT
  - v IPv4 mohl fragmentovat jak odesilatel, tak i kterýkoli směrovač "po cestě"
- záměr:
  - omezit režii, která vzniká při fragmentaci ve směrovačích
  - je výhodnější, když aplikace samy redukují velikost svých paketů
- doporučení:
  - pro "plné" (chytré) implementace IPv6:
    - používat Path MTU Discovery
      - postup je obdobný jako u IPv4
  - pro "minimální" implementace:
    - generovat pakety velikosti do 1280 bytů
- rozšiřující hlavička pro fragmentaci
  - když odesilatel musí fragmentovat, přidá k povinné hlavičce rozšiřující hlavičku
    - "fragmentační" hlavičku