

IPv6 po 30 letech

kam jsme se s novým protokolem dostali

Petr Krčmář



4. června 2026



Uvedené dílo (s výjimkou obrázků) podléhá licenci Creative Commons Uveďte autora 3.0 Česko.

- linuxák od roku 1998
- správce serverů
- lektor a konzultant
- šéfredaktor [Root.cz](#)
- člen [vpsFree.cz](#)
- organizátor [LinuxDays](#)
- můj web je [petrkrcmar.cz](#)



Prezentace už teď na webu

www.petrkrccmar.cz

Pohled do historie

Rychlý růst internetu



- IPv4 používá 32bitové adresy
 - celkem $2^{32} \approx 4\,294\,967\,296$ unikátních adres
 - ve skutečnosti mnohem méně kvůli rezervovaným blokům
- v 90. letech nastal exponenciální **růst internetu**
 - nástup mobilních zařízení, IoT, služeb...
 - bylo jasné, že takto nám adresy dojdou
- dočasné rychlé řešení: CIDR a NAT
 - CIDR – jemnější dělení adresních bloků
 - NAT – možnost použít neunikátní adresy
 - ale zvýšení složitosti a nové technické problémy
- jen **zpomalení** čerpání adres, bylo potřeba najít trvalé řešení

- v letech 2008–2012 regionální registry (RIR) **vyčerpaly adresy**
 - přiděly pro LIRy byly významně omezeny
 - nastalo drancování posledních zbytků
- IANA přidělila posledních pět bloků v roce 2011
 - regiony nikdy další **nedostanou**, vše bylo rozdáno
- vznikl komerční trh s IPv4 adresami
- komplikuje se rozšiřování internetu, vznik dalších služeb
- roste tlak na zavedení nového protokolu
 - zejména v infrastruktuře: sítě, datacentra, cloudy...

Požadavky na nový protokol

- řešení adresního prostoru, který vydrží pokud možno navždy
- tři druhy adres: unicast, multicast, anycast
- jednotná adresace pro internet i vnitřní síť
- hierarchická adresace, hierarchické směrování
- bezpečnostní mechanismy (šifrování, autentizace)
- automatická konfigurace - zapoj a jedeme
- optimalizace pro rychlé směrování
- podpora mobility pro přenosná zařízení
- zajištění přechodu z IPv4

IPng aneb soutěž protokolů

- v roce **1992** spustila internetová komunita (IETF) proces IPng
 - sběr návrhů od komunity a firem
- první čtyři kandidáti:
 - CNAT, IP Encaps, Nimrod a Simple CLNP
- poté přibyli další:
 - PIP, SIP a TP/IX
- Simple CLNP se stal TUBA (TCP and UDP with Bigger Addresses)
- IP Encaps se vyvinul do IPAE (IP Address Encapsulation)
- TP/IX změnil název na CATNIP (Common Architecture for the Internet)
- IPAE se spojil se SIP a poté s PIP
 - vznikl SIPP (Simple Internet Protocol Plus)
- 128bitová varianta SIPP byla nakonec **vybrána pro IPng**  

- 1992–1995: návrhy a rané specifikace (IPng → IPv6)
- 1998: vydáno první RFC 1883 specifikující IPv6
- 2000: první akademické experimenty a nasazení
- 2006: nejnovější verze adresní architektury
- 2011–2016: narůstající počet implementací SW a HW
- poté: nasazení v mobilních sítích a u velkých ISP

Jaký je nový protokol?

Co to vlastně je?

- nový **formát hlavičky** paketu
 - výrazně jednodušší, méně položek, rychlejší zpracování
- **rozšiřuje adresy** z 32 na 128 bitů
 - máme k dispozici $3,4 \times 10^{38}$ adres
 - na každý milimetr čtvereční povrchu Země připadá $3,4 \times 10^{15}$ adres
- mění pouze **třetí** síťovou vrstvu
 - ta je zodpovědná za samotný přenos dat
- nižší ani vyšší vrstvy nejsou výměnou zasaženy
 - někdy je třeba přizpůsobit aplikační protokoly
 - obvykle pokud pracujeme s IPv6 adresou jako s informací
 - třeba doplnit typy záznamu do DNS, upravit DB a podobně

Zápis adresy

- zapisujeme osm skupin po čtyřech šestnáctkových číslicích
 - každá skupina obsahuje 16 bitů
- skupiny oddělujeme dvojtečkou
- v každé čtveřici můžeme vynechat počáteční nuly
- opakující se nuly můžeme také vynechat i přes skupiny
 - ale vždy jen jednou, kvůli jednoznačnosti
- příklad adresy: 2001:67c:68::76
- plný zápis: 2001:067c:0068:0000:0000:0000:0000:0076
- předpokládá se intenzivní použití DNS

- **stavová** konfigurace upravuje klasické DHCP
 - princip je podobný, nově pod názvem DHCPv6
 - server může přidělovat stavově nebo jen doplňovat informace
 - dovoluje ale také přidělovat celé prefixy
 - identifikaci zajišťuje DHCP Unique Identifier (DUID)
 - pro klienty je podpora nepovinná (Android)
- nová **bezstavová** konfigurace
 - Stateless Address Autoconfiguration, SLAAC
 - směrovače vysílají informace o síti
 - počítač si sám zjistí a zavede konfiguraci
 - správce nemusí instalovat žádný server
 - adresy si vybírá klient, horší kontrola prostředí

Přechodové mechanismy

Postupný přechod

- IPv6 není zpětně kompatibilní s IPv4
 - jiný formát hlavičky, jiná adresace
- dva uzly komunikující různými protokoly si **nerozumějí**
- od začátku se počítalo s přechodovými mechanismy
 - už RFC 1933 (duben 1996) rozebírá tunelování po IPv4
- bylo jasné, že přechod celého internetu bude **postupný**
 - možná dokonce nekonečný - některé uzly budou navždy na IPv4
- postupně by ale měl provoz na IPv6 převážít
 - některé uzly kompatibilitu nepotřebují vůbec
 - můžou komunikovat čistě po IPv6

Dva protokoly (dual-stack)

- k dosavadní síti IPv4 se přidá **druhá síť** IPv6
- každé rozhraní má nezávislé IPv4 a IPv6 adresy
- kooperace probíhá až na aplikační úrovni
 - aplikace má přístup k oběma světům
 - operační systém preferuje použití IPv6
- snadno se nasazuje, **kompatibilní** se stávající infrastrukturou
- případné problémy IPv6 zakrývá algoritmus Happy Eyeballs
- vůbec neřeší problémy s nedostatkem adres v IPv4
- nutnost udržovat **dva oddělené světy** (směrování, firewall...)
 - IPv6 je často „občanem druhé kategorie“
 - nemonitoruje se, problémy se řeší později

- zařízení jsou připojena **jen do IPv6**
 - jednoduchá infrastruktura, jeden svět pro všechny
- připojení do IPv4 je realizováno na **hranici sítě**
 - DNS64 *falšuje* záznamy AAAA u cílů, které je nemají
 - celý starý internet se pohodlně vejde do IPv6
- na hranici sítě je NAT64 překládající z v6 do v4
 - ten jediný má na vnějším rozhraní IPv4
- nefunguje u snahy kontaktovat IPv4 literály (IP adresy)
- řešením je obrácený překlad 464XLAT
 - CLAT na zařízení vytvoří IPv4 adresu
 - provoz se přeloží do IPv6 a pak pomocí PLAT zpět
 - z hlediska aplikace jde o dual-stack

IPv6-Mostly pro stará zařízení

- rozšíření pro stará zařízení bez podpory IPv4
- síť běží na IPv6 s NAT64/DNS64
- stále ale existují zařízení závisující na IPv4
 - v síti musíme nabízet obě adresy - jsme zpět u dual-stacku
- přidáme volbu DHCP číslo 108 nazvanou *IPv6-only Preferred*
- klient může proces přidělování IPv4 adresy **přerušit**
- síť přiděluje IPv4 adresy jen starým zařízením
 - snížíme tím potřebu adres, většina provozu po IPv6
 - v reálném nasazení podporuje 80 % zařízení

Dual-Stack Lite (DS Lite)

- z hlediska klientů jde o dual-stack – mají obě adresy
- poskytovatel připojení má ovšem přístupovou síť **pouze s IPv6**
 - jednodušší správa, jedno směrování, vše IPv6
 - provoz po IPv6 jde standardní cestou
- v klientské síti jsou nasazeny (privátní) adresy IPv4
- klientské zařízení (*B4*) ale nepoužívá NAT
 - místo toho zabalí provoz IPv4 do tunelu a pošle po IPv6
- u poskytovatele je prvek *AFTR* s připojením do IPv4
 - kombinuje konec tunelu, DHCPv4 a NAT
 - vybalí provoz a odešle do internetu
 - klient je identifikován adresou IPv6

- pro průchod nadřazenou sítí nepodporující provoz IPv6
 - když jsem ostrovem obklopeným pouze IPv4
 - umožňuje doplnit konektivitu *vzdáleně*
- můj hraniční směrovač může zabalit provoz do **tunelu**
 - především přidá dopředu další hlavičku IPv4
- provoz se pak odesílá přes IPv4, bez vazby na IPv6
- v cíli se vybalí a pošle do internetu
 - stejný princip je využíván ve VPN
- řada tunelovacích protokolů: 6to4, 6in4, Teredo, IP-in-IP, SIT a další
- možno použít také GRE, Geneve, OpenVPN, WireGuard...

Největší brzdy

Kde je třeba IPv6 řešit

- infrastruktura – datacentra, servery, páteřní sítě
 - prakticky hotovo, tady je IPv6 prakticky všude
 - NIX.CZ spustil podporu v roce **2003!**
- servery a služby (VPS)
 - míra nasazení se různí, záleží na správci
 - část problémů zakrývá/řeší nasazení Cloudflare
- domácí koncové přípojky
 - největší problém, nejvíce závislé na jednotlivcích
 - ČTÚ eviduje zhruba **1820 poskytovatelů**
 - máme 4,2 milionů evidovaných přípojek

Proč to nejde rychleji?

- nedostatek **motivace** na straně poskytovatelů
 - poskytovatelé nevidí okamžitý přínos ani návratnost
 - uživatelé to samozřejmě nepožadují, ty to nezajímá
 - vyžaduje to další práci, školení správců, změnu myšlení
 - výhoda v zemích s nízkým počtem velkých poskytovatelů
- zařízení bez **podpory IPv6** v koncových sítích
 - stará zařízení neumí, bohužel i některá nová (IoT)
 - pustit do sítě jen IPv6 dnes nemůžeme
 - spousta uživatelů má vlastní síťové prvky
 - výhoda v sítích s CPE (Customer Premises Equipment)

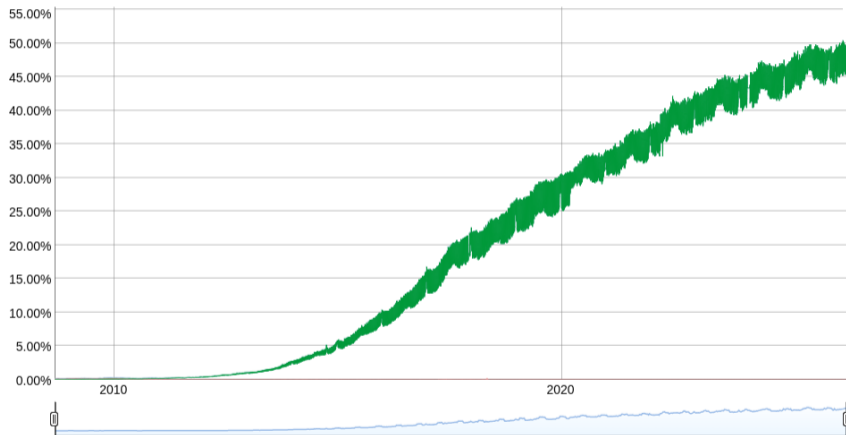
Zákonné požadavky

- mnoho států vyjádřilo podporu na oficiální úrovni
 - usnesení vlády se ale málokdy rychle promění v praxi
- **Japonsko** už v roce 2000 vyhlásilo podporu a rozjelo projekty
 - dokonce daňové úlevy pro firmy zavádějící IPv6
- **Evropská komise** v roce 2002 vydala nové priority pro internet
 - financované projekty musejí komunikovat po IPv6
- **Spojené státy** zaúkolovaly administrativu v roce 2005
 - už v roce 2008 měly všechny vládní sítě podporovat IPv6
- **Česko** v roce 2009 vydalo usnesení vlády
 - od roku 2010 měly být všechny služby dostupné po IPv6
- MPO v roce 2024 dokument o zavádění IPv6 ve státní správě
 - do **6. června 2032** mají orgány přestat poskytovat služby na IPv4
 - to je za šest let, tak uvidíme...

Kde jsme teď?

- začalo se před třiceti lety – první RFC vyšlo v roce 1998
- ve skutečnosti jsme ale byli v roce **2010** na čisté nule
 - IPv6 v internetu vlastně nikdo nepoužíval
- v roce **2015** jsme byli teprve na 5 %
 - čili teprve před deseti lety se začalo něco dít
- **28. března 2026** hlásil Google poprvé 50 % přístupů po IPv6
 - polovina uživatelů na světě má přístup k novému protokolu
- Francie 86 %, Německo 77 %, Indie 75 % a Saúdská Arábie 69 %

IPv6 v průběhu let



Globální přístupy uživatelů ke službám firmy Google

Jak jsme na tom v Česku?

- Google v Česku hlásí přes **40 % přístupů** po IPv6
 - podprůměr, ale čísla průběžně rostou
 - před pěti lety jsme měli 15 %
- APNIC má **detailní statistiky** rozdělené po poskytovatelích
 - nejvíc provozu dělají O2, T-Mobile a Vodafone
 - přibližně polovina jejich uživatelů má IPv6
- CZ.NIC nabízí zase **statistiky serverů**
 - 38,7 % webových serverů má IPv6
 - 90,1 % autoritativních DNS serverů
 - 33,2 % dotazů na .CZ servery

Mobilní telefony táhnou

- růst IPv6 obecně táhnou mobilní sítě
- je jich málo a mají **celý řetězec** pod kontrolou
 - všechny prvky sítě a obvykle i koncová zařízení
 - silná standardizace na všech úrovních
- zavedení: O2 v roce 2020, Vodafone 2022, T-Mobile 2025
 - všechny české sítě používají oba protokoly (dual-stack)
- obě hlavní mobilní platformy jsou připravené
 - Apple od roku 2016 vyžaduje podporu u všech aplikací
- čísla rostou s postupnou obměnou zařízení
- zkontrolujte si nastavení APN u své SIM
 - SIM → Názvy přístupových bodů → vybrat → Protokol příst. bodu
 - u místního i roamingového nastavte IPv4/IPv6

Proč potřebujeme IPv6?

- technický implementační detail – uživatele to **nezajímá**
 - stejně jako DNS, BGP, ICMP, TLS, DHCP, OSPF...
 - tohle po poskytovateli nikdy nikdo nechtěl
 - přesto spoustu takových věcí potřebují a používají
- **internet** potřebuje nový protokol
 - aby se mohl svobodně rozvíjet a růst
 - IP adresa je drahým zbožím pro firmy i koncové uživatele
 - už se nerozdávají podle potřeby
- hrozí nám, že internet **ovládnou** CDN a velké cloudy
 - mají IP adresy, kupují další a tím získávají moc
 - mizí „malý internet“, kdy si každý mohl vytvořit službu
 - budeme ještě potřebovat IPv6, když síť ovládne deset firem?
- to vše jen proto, že **došla čísla!**
 - zkuste si to představit u telefonů nebo čísel popisných

Otázky?



Petr Krčmář
petr.krcmar@iinfo.cz