

IP

*Pavel Satrapa*

v6

*Internet Protokol*

*verze 6*

© 2002 Pavel Satrapa

Vydal Neokortex spol. s. r. o.  
Na Rovnosti 2245/3, 130 00 Praha 3  
Tel.: (02) 848 608 82, 848 609 42  
<http://www.neo.cz/>

Tisk EKON družstvo, Jihlava

Vydání této publikace podpořil  
CESNET, zájmové sdružení právnických osob.  
<http://www.cesnet.cz/>

Unix je zapsaná ochranná známka X/Open Company Ltd.  
Microsoft a Microsoft Windows jsou zapsané ochranné známky Microsoft Corporation.  
Názvy ostatních produktů a firem mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

ISBN 80-86330-10-9

## Předmluva

Síťové protokoly se dělí na dvě kategorie: ty, které byly za standard oficiálně prohlášeny, a ty, které se jím doopravdy staly. IP, nosný protokol Internetu, nepochybně patří do druhé skupiny. Jednoznačně ovládl pole a představuje dnes standardní cestu ke vzájemné komunikaci počítačů.

Své popularitě však vděčí i za určité problémy, které se objevily při masovém nasazení. Tím nejpalcivějším je nedostatek adres, který pocítují především noví uživatelé (staří mazáci mají nahrabáno). Proto se od první poloviny devadesátých let vyvíjí jeho nástupce – IP verze 6.

Nový protokol si klade za cíl nejen zvětšit adresní prostor, ale i přidat některé pokročilé vlastnosti, které posunou možnosti Internetu zase o kus dál. Ovšem nelze zamlčovat, že se rodí pomalu a bolestně. Firmám se příliš nechce investovat do vývoje, protože návratnost je nejistá, zatímco na současném IPv4 se dá vydělat hned. Takže všichni chodí opatrně kolem rybníka, trusí optimistické fráze a čekají, kdo první skočí.

Cílem této knihy je popsat, jak rybník vypadá a co se v něm děje. Snažil jsem se velmi zevrubně vysvětlit principy a mechanismy, na kterých IPv6 stojí. Najdete zde formát datagramu, adresování, automatickou konfiguraci, směrování i pokročilé prvky, jako je IPsec či mobilita. Nemalý prostor jsem věnoval také metodám, které mají umožnit hladký přechod od staré verze protokolu k nové.

Tyto teoretické pasáže jsou shromážděny v první části knihy. Druhá se pak věnuje praxi – jak nakonfigurovat IPv6 ve vybraných operačních systémech či směrovačích a jak používat některé programy s jeho podporou.

Ne všechny prvky protokolu byly ustáleny do podoby RFC. Některé se dosud nacházejí ve stádiu pracovních návrhů (Internet draft). Rozhodl jsem se zařadit do knihy i je, přestože se mohou ještě změnit, a to dost podstatně, jak předvedlo například mobilní IPv6. Připadá mi však cennější popsat aktuální stav protokolu a návrhy některých mechanismů, než si ušetřit práci a prohlásit „Tohle zatím není definitivní, takže nemá smysl o tom psát.“ V textu vždy najdete upozornění, pokud je popisovaný prvek ve fázi návrhu.

Nesnažil jsem se popsat vše do posledního detailu. U složitějších protokolů (jako je OSPFv3) by takový přístup vydal na samostatnou knihu. V těchto případech jsem dal přednost popisu základních prvků a principů, na kterých daný mechanismus stojí, abyste pochopili jeho funkci. Zajímají-li vás detaily, jako jsou přesné formáty zpráv, podmínky pro jejich odesílání, přesná definice chování účastníků komunikace a podobně, budete se muset obrátit na RFC a další dokumenty.

Přesto si troufám tvrdit, že zejména u komplikovanějších témat, jako je IPsec, mobilita či některé směrovací protokoly, jde kniha do výrazně větší hloubky,

než je v kraji zvykem. Dostupné publikace o IPv6 tyto oblasti zpravidla jen naznačují. Nevím o tom, že by byl (a to v celosvětovém měřítku) k dispozici text s takto uceleným a aktuálním popisem problematiky IPv6.

Kniha předpokládá, že čtenář má jisté základní znalosti o IPv4 a fungování Internetu. Pravděpodobně byste se obešli i bez nich, ale pochopení některých pasáží by se tak o poznání ztížilo.

Děkuji všem, kteří přispěli ke vzniku tohoto textu. V první řadě své ženě Marcele a celé rodině, která mi jako vždy poskytla zázemí pro práci a měla se mnou trpělivost. Dále si speciální poděkování zaslouží kolegové z IPv6 skupiny sdružení CESNET, jejichž poznámky a rady pomohly dovést text do konečné podoby. Především Andrea Kropáčová pomohla odstranit nejednu píhu krásy z tváře knihy.

Pavel Satrapa

Liberec, duben 2002

---

# Obsah

---

Předmluva . . . . .	3
Obsah . . . . .	4
<b>1 Úvod</b>	<b>11</b>
1.1 Vlastnosti a vývoj . . . . .	11
1.2 Základní principy . . . . .	13
1.3 Implementace . . . . .	14
1.4 6bone . . . . .	15
<b>I Jak funguje IPv6</b>	<b>17</b>
<b>2 Formát datagramu</b>	<b>19</b>
2.1 Datagram . . . . .	19
2.2 Zřetězení hlaviček . . . . .	22
2.3 Volby . . . . .	24
2.4 Směrování . . . . .	26
2.5 Fragmentace . . . . .	28
2.6 Velikost datagramů . . . . .	30
2.7 Jumbogramy . . . . .	31
2.8 Toky . . . . .	32
<b>3 Adresy v IPv6</b>	<b>35</b>
3.1 Jak se adresuje . . . . .	35
3.2 Podoba a zápis adresy . . . . .	36
3.3 Rozdělení aneb typy adres . . . . .	38
3.4 Globální individuální adresy . . . . .	39

3.5	Skupinové adresy . . . . .	41
3.6	Výběrové adresy . . . . .	45
3.7	Identifikátory rozhraní – modifikované EUI-64 . . . . .	48
3.8	Povinné adresy uzlu . . . . .	49
3.9	Dosahy adres . . . . .	51
3.10	Výběr adresy . . . . .	54
3.11	Vícedomovci čili multihoming . . . . .	57
3.12	Přidělování adres . . . . .	61
<b>4</b>	<b>ICMPv6</b>	<b>65</b>
4.1	Chybové zprávy . . . . .	67
4.2	Informační zprávy . . . . .	68
4.3	Bezpečnostní aspekty ICMP . . . . .	68
<b>5</b>	<b>Objevování sousedů (Neighbor Discovery)</b>	<b>71</b>
5.1	Hledání linkových adres . . . . .	72
5.2	Detekce dosažitelnosti souseda . . . . .	74
5.3	Inverzní objevování sousedů . . . . .	76
<b>6</b>	<b>Automatická konfigurace</b>	<b>79</b>
6.1	Ohlášení směrovače . . . . .	79
6.2	Určení vlastní adresy . . . . .	82
6.3	Konfigurace směrování . . . . .	83
6.4	DHCPv6 . . . . .	85
6.5	Konfigurace DNS . . . . .	90
<b>7</b>	<b>Směrování a směrovací protokoly</b>	<b>93</b>
7.1	Elementární směrování . . . . .	93
7.2	Směrovací protokoly . . . . .	94
7.3	RIPng . . . . .	95
7.4	OSPF . . . . .	102
7.5	BGP4+ . . . . .	109

<b>8 Skupinové radovánky čili multicast</b>	<b>113</b>
8.1 Doprava po Ethernetu . . . . .	113
8.2 Multicast Listener Discovery (MLD) . . . . .	114
<b>9 Domain Name System</b>	<b>121</b>
9.1 Původní verze – RFC 1886 . . . . .	121
9.2 Nová verze – dopředné dotazy . . . . .	124
9.3 Reverzní dotazy . . . . .	128
9.4 Rozsáhlejší příklad . . . . .	131
9.5 Jak to nakonec bude? . . . . .	136
<b>10 IPsec čili bezpečné IP</b>	<b>139</b>
10.1 Základní principy . . . . .	139
10.2 Authentication Header, AH . . . . .	142
10.3 Encapsulating Security Payload (ESP) . . . . .	143
10.4 Správa bezpečnostních asociací . . . . .	145
10.5 ISAKMP . . . . .	146
10.6 Výměna klíčů . . . . .	148
<b>11 Mobilita</b>	<b>151</b>
11.1 Základní princip . . . . .	151
11.2 Hlavičky a volby . . . . .	153
11.3 Získání domácího agenta . . . . .	157
11.4 Optimalizace cesty . . . . .	160
11.5 Přenosy dat . . . . .	162
11.6 Změny a návrat domů . . . . .	164
11.7 Hierarchická mobilita . . . . .	165
<b>12 Kudy tam</b>	<b>169</b>
12.1 Dvojitý zásobník . . . . .	170
12.2 Obecně o tunelování . . . . .	171
12.3 6to4 . . . . .	174

12.4	6over4	176
12.5	ISATAP	177
12.6	Dual Stack Transition Mechanism (DSTM)	178
12.7	Teredo	180
12.8	Stateless IP/ICMP Translation (SIIT)	182
12.9	Network Address Translation – Protocol Translation (NAT-PT)	183
12.10	Transport Relay Translator (TRT)	186
12.11	Bump in the Stack (BIS)	187
12.12	IPv64	189
<b>II IPv6 v praxi</b>		<b>191</b>
<b>13 BSD rulez</b>		<b>193</b>
13.1	IPv6 v jádře	193
13.2	Konfigurace rozhraní	194
13.3	Konfigurace směrování	195
13.4	Přechodové mechanismy	196
<b>14 Linux</b>		<b>197</b>
14.1	Překlad jádra	197
14.2	Konfigurace rozhraní a směrování	199
14.3	Další informace	199
<b>15 Microsoft Windows</b>		<b>201</b>
15.1	Instalace	201
15.2	Konfigurace rozhraní	201
15.3	Směrování	203
15.4	6to4 a ISATAP	204
15.5	Další informace	205



<b>16 Cisco</b>	<b>207</b>
16.1 Konfigurace rozhraní . . . . .	208
16.2 Směrování . . . . .	209
16.3 Objevování sousedů . . . . .	210
16.4 6to4 . . . . .	210
16.5 Další informace . . . . .	211
<b>17 Zebra</b>	<b>213</b>
17.1 Základy konfigurace . . . . .	213
17.2 zebra . . . . .	216
17.3 ripngd . . . . .	217
17.4 ospf6d . . . . .	218
<b>18 Ohlašování směrovače – radvd</b>	<b>219</b>
<b>19 BIND</b>	<b>223</b>
<b>III Přílohy</b>	<b>225</b>
<b>A Rezervované skupinové adresy</b>	<b>227</b>
<b>B Specifikace IPv6</b>	<b>229</b>
B.1 Jádru protokolu . . . . .	229
B.2 Přenos po linkových technologiích . . . . .	229
B.3 Adresy . . . . .	230
B.4 Směrování . . . . .	230
B.5 DNS . . . . .	230
B.6 Automatická konfigurace . . . . .	231
B.7 IPsec . . . . .	231
B.8 Mobilita . . . . .	232
B.9 Přechodové mechanismy . . . . .	232

<b>Literatura</b>	<b>233</b>
<b>Rejstřík</b>	<b>234</b>