

**Přírodovědecká fakulta  
Jihočeské univerzity**

**Bakalářská práce:**

**Implementace IPv6 na PřF  
JU**

**Vypracoval: Jakub Joudal**

**Školitel: Rudolf Vohnout, Ing.**

**České Budějovice 2011**

### **Bibliografické údaje**

Joudal J., 2011: Implementace IPv6 na PřF JU.  
[Implementation of IPv6 at the PřF JU Bc.. Thesis, in Czech.] – 24 p.,  
Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice,  
Czech Republic.

### **Anotace**

Aspekty zavedení IPv6. Je současná síťová struktura JU schopna nasazení Ipv6?  
Co by tento přechod znamenal? Jaké budou finanční náklady na přechod? Vý-  
hody využití IPv6 v podmínkách vysokých škol.

### **Annotation**

Aspects of IPv6 implementation. Is the current network structure capable of  
deploying IPv6 JU? What would this change mean? What will be the financial  
costs of transition? The advantages of IPv6 in terms of high schools.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně pouze s  
použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Pro-  
hlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se  
zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou  
ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou  
v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním  
mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím  
dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanov-  
vením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i  
záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s  
porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz  
provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systé-  
mem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, 25. dubna 2011

Podpis .....

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
1.1 Předmluva . . . . .	1
<b>2 IPv6</b>	<b>2</b>
2.1 Co, Proč a jak . . . . .	2
2.2 IPv6 a současnost . . . . .	3
2.3 Adresový prostor . . . . .	4
2.3.1 Skupinové (multicast) . . . . .	4
2.3.2 Globální adresy . . . . .	5
2.3.3 Výběrové adresy . . . . .	5
2.4 Mobilita . . . . .	6
2.5 Začátek IPv6? . . . . .	7
<b>3 Návrh řešení</b>	<b>8</b>
3.1 Současný stav sítě na PřF JU . . . . .	8
3.2 Nasazení . . . . .	11
3.2.1 1. IPv6 sólo . . . . .	11
3.2.2 Dual-Stack . . . . .	12
3.2.3 ISATAP . . . . .	14
<b>4 Multikriteriální analýza</b>	<b>15</b>
4.1 Kriteria . . . . .	15
4.2 Váhy kritérií . . . . .	16
4.3 Multikriteriální analýza IPv6 sólo . . . . .	17
4.4 Multikriteriální analýza Dual-Stack . . . . .	18
4.5 Multikriteriální analýza ISATAP . . . . .	19
4.6 Vyhodnocení variant . . . . .	20
4.7 Funkce užítku . . . . .	21
<b>5 Závěr</b>	<b>22</b>
<b>Literatura</b>	<b>23</b>
<b>A Slovníček pojmů</b>	<b>24</b>

# 1 Úvod

## 1.1 Předmluva

V dnešní době téměř 90% obyvatel vlastní počítač nebo notebook a využívá připojení k internetu, které v posledním desetiletí výrazně přispělo k tomu, že staříčkový internetový protokol verze 4 už nestačí dnešním síťovým nárokům. Původně navržený jen pro komunikaci mezi několika institucemi (vysoké školy) se později masově rozšířil mezi širší veřejnost. Dlouhou dobu byly jeho možnosti dostačující, ale všem bylo jasné, že dlouhodobě neuspokojí všechny uživatele, pokud bude počítačová gramotnost růst tímto tempem. S postupem času se začaly objevovat myšlenky na nový internetový protokol s vidinou toho, jak předešlý protokol pomalu nestačí nárokům. Počátkem roku 1995 vyšla oficiální specifikace protokolu nové generace IPv6 (původně označovaný IPNG - new generation) a vše se zdálo být připraveno pro nasazení nového protokolu. Tak jako každá novinka i tento protokol trpěl mnohými chybami, které bránily úspěšnému nasazení do počítačových sítí a jeho nasazení oddálilo i několik vylepšení staršího protokolu v podobě NAT a CIDR adresování, které na nakolik let oddálilo konec ipv4.

Značným problémem v nasazení nového protokolu byla a stále je neochota některých institucí implementovat nový protokol do stávajících sítí. Zisky v oblasti Ipv4 jsou v současné době více zaručeny než v nasazení a experimentování nového protokolu. Toto a mnoho dalších faktorů je důvodem velmi pomalého přechodu na IPv6. A jsou to právě uživatelé internetu, kteří tvoří majoritní podíl v používání starého protokolu. V současnosti, kdy většina uživatelů nemá jinou možnost než používat protokol IPv4 z důvodu neimplementace u poskytovatele, je právě tou největší překážkou v nasazení Ipv6. Do doby, než se o nový protokol začnou zajímat velcí poskytovatelé internetu a instituce jako vysoké školy, bude nasazení IPv6 přebírat pozici IPv4 jen těžce a velmi pomalu. Možná, že únor roku 2011 je přelomový a to z pohledu, že centrální organizace IANA rozdala poslední volné bloky adres IPv4 regionálním poskytovatelům - Adresy IPv4 jsou centrálně rozebrány viz. strana 7. Toto by mohlo hodně napomoci implementaci nového protokolu a zvýšit zájem velkých poskytovatelů.

Nasazení ve velkých institucích jako vysoké školy a státní správa (podle rozhodnutí EU se do konce roku 2010 podařilo některé státní celky a jejich webové služby připravit na Ipv6) je důležité pro rozšíření protokolu v močálech IPv4. Implementace protokolu IPv6 na PŘF JU je hlavním tématem této práce. Toto zahrnuje získat přehled o současném nasazení protokolu, síťovém hardwaru, technice a možnostech implementace v prostorách JU. Nasazení Ipv6 v sítích Vysokých škol je dalším důležitým krokem v přechodu na nový internetový protokol IPv6.

## 2 IPv6

### 2.1 Co, Proč a jak

Na začátku devadesátých let 20. století jsme začali poslouchat hlasy předpovídající vyčerpání adresního prostoru IPv4 a ani technologie CIDR zavedená o několik let dříve nezabrání vyčerpání adresního prostoru IPv4. Když tyto hlasy vždy předpovídaly konec IPv4 do dvou let, tak ani do dnešní doby se tak úplně nestalo. Proč? Pokaždé se našlo nějaké řešení, které pomohlo odvrátit nedostatek adresního prostoru IPv4. Jednalo se například o technologii NAT<sup>1</sup> A systém pro přidělování síťových adres CIDR<sup>2</sup>

Problém vyčerpání adresního prostoru IPv4 má vyřešit protokol nové generace nazývaný IPv6, který se začal vyvíjet počátkem roku 1994 na základě podnětu komise IETF<sup>3</sup>.

Protokol IPv6 řeší problém s nedostatkem adresního prostoru a přináší nové bezpečnostní technologie, více vyhovuje dnešním přenosovým rychlostem, umožňuje jednodušší směrování a mnoho dalších funkcí, které celkově zjednoduší komunikaci ve všech sítích.

Protokol IPv6 má však i své záporné stránky a tou největší je bezesporu nekompatibilita se starším protokolem IPv4. Služby běžící na starém protokolu jsou uživatelům, kteří fungují na novém protokolu, odepřeny a naopak. Toto samozřejmě nejvíce ovlivňuje počet uživatelů využívajících nový protokol - většinou se k novému protokolu nechce, a ti, kteří by chtěli jsou většinou odmítnuti jejich poskytovatelem. Mezi poskytovateli je jen malá část těch, kteří jsou připraveni na nový protokol. Poskytování služeb nového protokolu v současné době nepřináší žádný zisk a proto poskytovatelé internetových služeb nespěchají implementací IPv6. Dalším možným problémem je samotný protokol DHCPv6, který je oproti DHCPv4 naprosto jiný a mnohdy složitější.

Pro nasazení v operačních systémech je situace přívětivější a všechny dnešní systémy jsou připraveny na příchod IPv6.

---

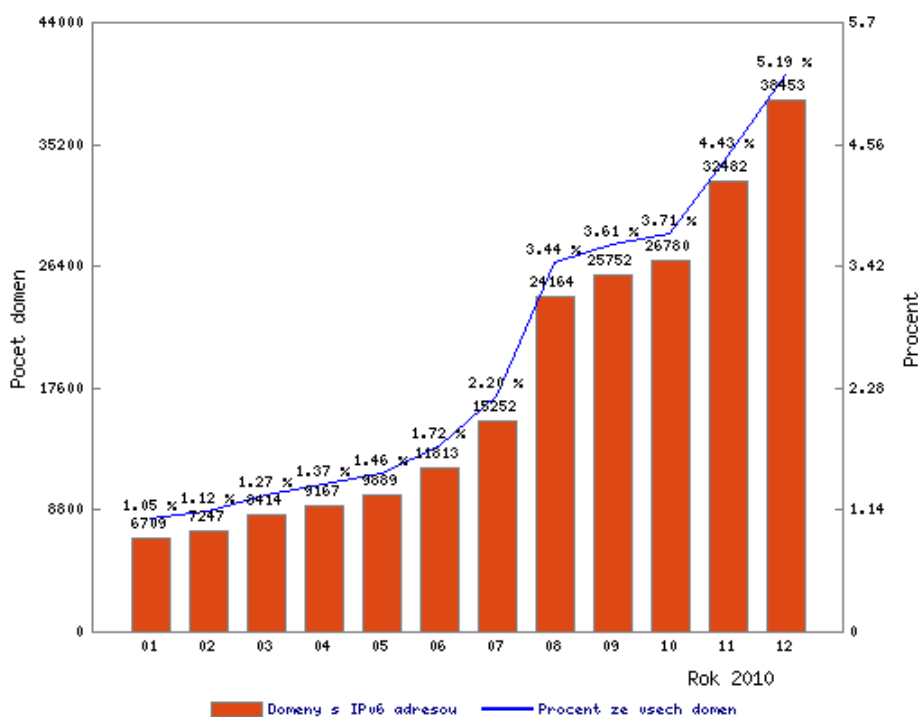
<sup>1</sup>NAT - Network address translation. Česky se jedná o tzv. překlad síťových adres, který upravoval síťový provoz přes router změnou výchozí a cílové IP adresy, změnou čísla TCP/UDP portu a kontrolního součtu u IP paketů. NAT se používá většinou pro přístup více počítačů z místní sítě (LAN) na internet pod jednou veřejnou IP adresou. Komunikace se dá zahájit jen směrem zevnitř sítě ven.

<sup>2</sup>IP adresy se přidělují po tzv. CIDR blocích s velikostí danou příslušnou maskou - takže jemnost, s jakou jsou adresy čerpány z prostoru všech IP adres, může být velmi pružně přizpůsobována skutečným potřebám praxe, což dále snižuje tempo vyčerpávání celého adresového prostoru. Jiří Peterka[6].

<sup>3</sup>Internet Engineering Task Force je volné sdružení lidí, kteří přispívají na návrh a vývoj internetových technologií převážně ve formě návrhu standardů zvaných RFC.

## 2.2 IPv6 a současnost

Současnou situaci IPv6 nejlépe ukazuje obrázek na kterém je zobrazen procentuální počet domén .CZ s IPv6 adresou. Na obrázku je na první pohled patrný téměř lineární nárůst do poloviny roku, kdy najednou dochází k rapidnímu zvětšení počtu domén. Tato situace nejspíše nastala v důsledku blížícího se konce IPv4 adres a s tím spojený zvětšený zájem o IPv6. V současnosti toto tempo pokračuje s mírou 0.5 - 0.6 % měsíčně. Tímto tempem by se do konce roku mohl přehoupnout počet domén přes 12%, což už je zajímavé číslo oproti 1.7 % ještě v polovině minulého roku.



Obrázek 1: Počet domén s IPv6 adresou v roce 2010. zdroj: labs.nic.cz

Je jasné, že počet IPv6 domén nemusí nutně znamenat vzestup komunikace IPv6, ale poskytuje jisté, na první pohled nezaměnitelné informace o růstu webových služeb právě na novém protokolu. Celkově lze říci, že protokol IPv6 se po dlouhé době dostává do širokého povědomí a tak je k němu i přistupováno.

## 2.3 Adresový prostor

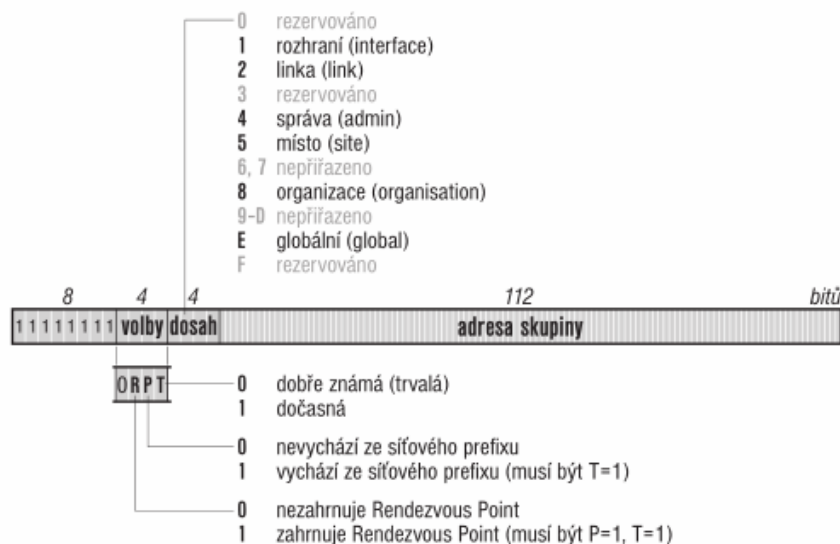
Velký adresní prostor je rozdělen na několik typů adres, kde každý typ sdružuje adresy se stejnými vlastnostmi. Každý typ adres má svůj přesně definovaný prefix adresy. Z obrázku je jasné vidět, že většinu adres zaujímají individuální globální adresy (celosvětově jednoznačné).

Prefix	Význam
::/128	Nedefinovaná adresa
::1/128	Smyčka
fc00::/7	Unikátní individuální lokální
fe80::/10	Individuální lokální linkové
ff00::/8	Skupinové
Ostatní	Individuální globální

Tabulka 1: Prefixy IP adres a jejich význam.

### 2.3.1 Skupinové (multicast)

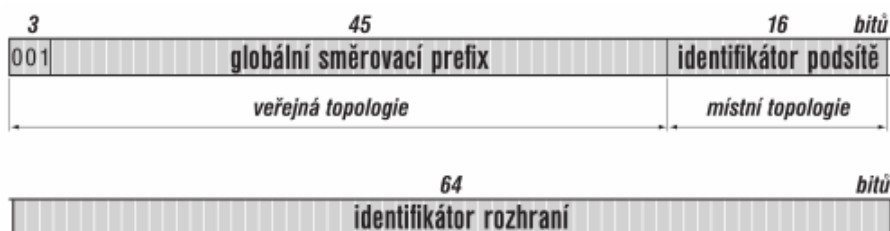
Jak již název napovídá, data odeslaná na skupinovou adresu budou poslána členům této skupiny a musí být také všem doručena. Do této skupiny patří i zrušené adresy broadcast z IPv4. Tyto adresy slouží většinou k šíření zvuku a videa v reálném čase jako, jsou například videokonference atd.



Obrázek 2: Struktura skupinové adresy. zdroj: IPv6 Pavel Satrapa.

### 2.3.2 Globální adresy

Tento druh adres představuje nejdůležitější a nejpočetnější skupinu adres. Tyto adresy identifikují počítač unikátně v celém internetu a jsou právě náhradami za starší adresy v IPv4. Tyto adresy jsou přidělovány podobným mechanismem jako CIDR. Výsledkem je, že poskytovatel obdrží určitý prefix a v něm obsazené adresy dále poskytuje uživatelům. Toto zjednodušuje a zmenšuje směrovací záznamy. Celá tato síť se pak identifikuje jediným společným záznamem obsahující daný prefix.



Obrázek 3: struktura globální individuální adresy. zdroj: IPv6 Pavel Satrapa.

### 2.3.3 Výběrové adresy

Tento druh adres je zcela nový koncept, který v IPv4 nenajdeme a proto ještě není úplně probádanou věcí. Avšak jejich použitím se da řešit problematické dělení komunikace počítačů, poskytujících určitou službu. Jedná se například o servery a jejich zatěžování, které se v současnosti jen obtížně řeší určitými triky s rozklady DNS dotazů. S výběrovými adresami lze daný problém řešit daleko elegantněji: servery ze skupiny rozmístíte ve vhodných místech Internetu a přidělíte jim výběrovou adresu. Klient bude posílat pakety na tuto adresu a standardní směrovací mechanismy zajistí, že dorazí vždy k nejbližšímu ze skupiny serverů. Navíc lze složení skupiny průběžně měnit podle potřeby.

Takto by servery odolávaly i potenciálním útokům DoS,DDos<sup>4</sup>, protože útočník by byl vždy směrován na nejbližší server. Pavel Šimerda[6]

<sup>4</sup>DoS - Denial of service, typ útoku na webovou stránku, kdy dochází k přehlcení serveru požadavky a tím jeho pádu.

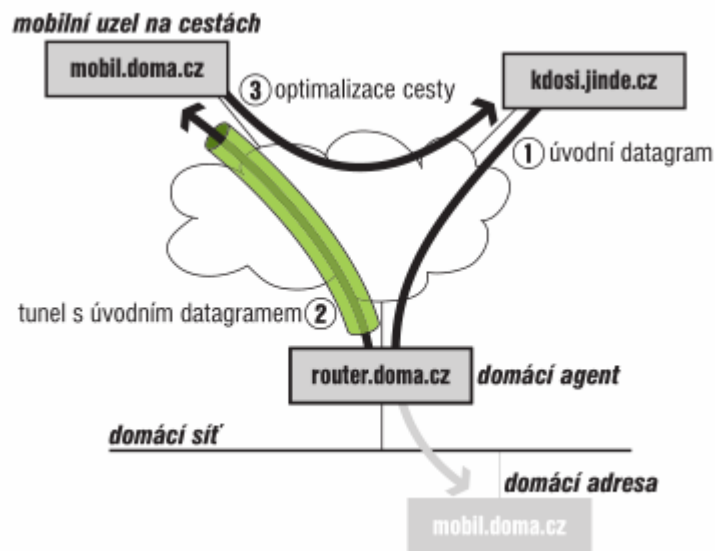


## 2.4 Mobilita

PDA, mobilní telefony, laptopy, a různá přenosná zařízení hýbou v současnosti světem. Jejich kvality a rozšíření u uživatelů byly už od počátku vývoje IPv6 jedním z důležitých parametrů při zahrnutí jejich podpory v IPv6. Uživatelé těchto chytrých zařízení se často přemísťují nebo pracují za pochodu a možnost komunikace v těchto situacích je jednou z hlavních zbraní těchto zařízení.

Podpora mobilních zařízení v IPv6 hraje také jednu z důležitých částí prosazování nového protokolu. Mobilní operátoři počítají s miliardami těchto zařízení a takový počet už naráží na omezený adresní prostor v IPv4. Mobilita byla do ipv6 zahrnuta v roce 2004 pod RFC 3775 Mobility Support in IPv6 a RFC 3776 Using IPsec to Protect Mobile IPv6 Signaling Between Mobile Nodes and Home Agents.

Mobilní zařízení má tzv. domácí adresu<sup>5</sup> poznámka pod čarou a při přesunu dostane zařízení od operátora tzv. dočasnou adresu (adresa v rámci sítě operátora). Za účelem dosažitelnosti přístroje je v domácí síti zvolen domácí agent,<sup>6</sup> který přeposílá diagramy mobilnímu uzlu. Důležitá je v této komunikaci také tzv. optimalizace cesty, kdy v první fázi komunikace je korespondentovi sdělena adresa mobilního uzlu a komunikace poté probíhá již bez domácího agenta. Situace znázorněna na obrázku.



Obrázek 4: Princip navázání komunikace s mobilním uzlem. zdroj: IPv6 Pavel Satrapa.

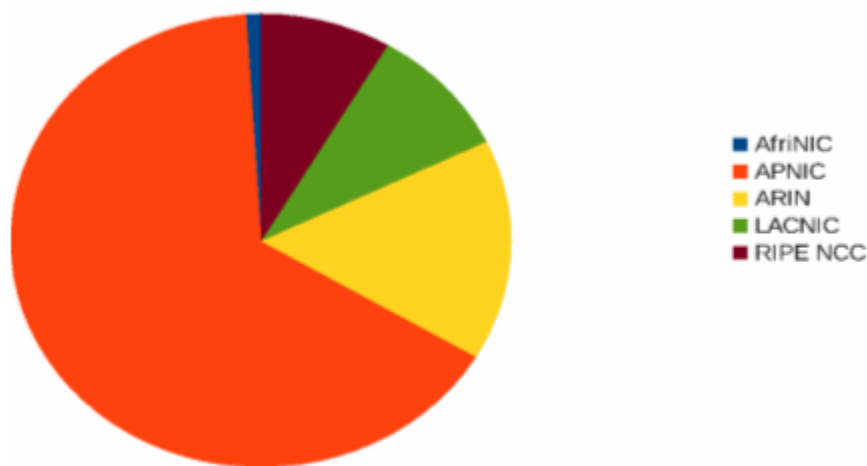
<sup>5</sup>Domácí adresa (home address) je neměnná a pod ní je stroj zaveden v DNS. Jejím prostřednictvím je také trvale dostupný - i když se zrovna nenachází v domácí síti.

<sup>6</sup>Domácí agent - Jedná se o jeden ze směrovačů v domácí síti, který na sebe stahuje datagramy směřující k mobilnímu uzlu a předává mu je tunelem. Jakmile mobilnímu uzlu dorazí tunelovaný datagram od domácího agenta, dozví se z něj, že se jej někdo pokoušel kontaktovat na domácí adrese.

## 2.5 Začátek IPv6?

Ano, je to tak. IANA<sup>7</sup> se dostala počátkem ledna 2011 do stavu, kdy už nemá žádnou volnou adresu IPv4.

Rezervace IPv4 vzhledem k tenčícím se zásobám rostla nejvíce za poslední dobu s výjimkou září roku 1993, kdy alokace Ipv4 byla také vysoká. V té době přicházela na svět technika CIDR. Je to stejné, jako když je nějaké zboží v omezeném počtu a zájemců je více, než může uspokojit. Nejvíce aktivní v oblasti alokace byla oblast ASIE-Pacific s podílem 65,5% adres z celkových 36 milionů. Nejvíce aktivní byla Čína s 15,6 milióny. To bylo více než spotřeba Evropy, Afriky a obou amerických regionů dohromady. Alokace jednotlivých oblastí jsou vidět na přiloženém obrázku.



Obrázek 5: Poměr alokace IP adres jednotlivých regionů. zdroj: NIC.cz

Vyčerpání všech adres IPv4 by konečně mohlo posunout nasazení IPv6 na novou úroveň. I když bude ještě stále nějakou dobu trvat, než se rozebrané bloky úplně vyprázdní, další zájemci o IP adresu již nebudou mít na vybranou než začít s IPv6. Tento posun by se mohl projevit už koncem roku 2011.

<sup>7</sup>IANA - The Internet Assigned Numbers Authority, je odpovědná za přidělování bloků IPv4.

### 3 Návrh řešení

Samotný návrh zahrnuje několik variant přechodu k IPv6, kdy každá naprosto rozlišným způsobem skýtá možnost nasazení nového protokolu IPv6. Před samotným návrhem variant bylo nutné nejprve prozkoumat a zhodnotit současný stav sítě na PřF JU.

#### 3.1 Současný stav sítě na PřF JU

Aby mohl být zjištěn stav připravenosti počítačové sítě na nový protokol, musela být nejdříve provedena sondáž síťového hardwaru za účelem následného zjištění podpory nového protokolu ze strany výrobce. Samotná síť PřF JU se skládá z několika hlavních přepínačů obsluhujících veškerou komunikaci a určitého počtu záložních přepínačů, které mají za úkol pomoci odlehčit komunikační nápor, nebo nahradit některý z hlavních přepínačů při výpadku nebo poruše.

Hlavní přepínače jsou zastoupeny těmito značkami v celkovém počtu 5 ks:

1. 3COM 5500G
2. 3COM 5500G-EI
3. 3COM 2210
4. AT8550GB
5. AT9424T/SP

Záložní přepínače jsou zastoupeny těmito značkami v celkovém počtu 20 ks:

1. AT8326GB;
2. AT8550GB
3. 3COM 5500-EI
4. 3COM 2210

Tabulka 2 zobrazuje základní údaje a parametry všech typů přepínačů použitých na PřF JU. O přepínači 3COM 2210 nebyla zjištěna žádná zmínka ani na webu výrobce. S tímto přepínačem se počítá jako nepřipravený na IPv6.

Typ	Druh	Porty	Uplink	IPv6 Ready
3COM 5500G	Řízený	48 x 10/100/1000	4 x 10000	Ano
3COM 2210	Nezjištěno	Nezjištěno	Nezjištěno	Nezjištěno
AT8550GB	Řízený	48 x 10/100	2 x 1000	Ne
AT9424T/SP	Řízený	24 x 10/100/1000	2 x 1000	Ne
AT8326GB	Řízený	24 x 10/100	2 x 1000	Ne

Tabulka 2: Shrnutí základních parametrů přepínačů na PřF JU

Jedním z nejdůležitějších zařízení v síti je směrovač. V síti PŘF JU je jediný směrovač pro veškerou komunikaci této značky:

### CISCO SMĚROVAČ ŘADY 7600

- Špičkový hraniční směrovač pro poskytovatele služeb nabízející integrované přepínání v ethernetové síti s vysokou hustotou, směrování IP/MPLS a rozhraní s propustností 10 Gb/s.
- Ideální pro poskytovatele služeb, kteří poskytují zákaznické a obchodní služby prostřednictvím jediné konvergované sítě Ethernet.
- Poskytuje vysoký výkon až 720 Gb/s v jedné skříni nebo 40 Gb/s na jeden slot.
- Nabízí množství velikostí určených pro zajištění vysoké dostupnosti pro různé účely.



Obrázek 6: Cisco směrovač 7600.

Podle oficiálních stránek výrobce a originální dokumentace v sekci podpory jsou všechny směrovače řady 7600 schopny operovat v síti s protokolem IPv6. Práce v síti s novým protokolem je zahrnuta v ovládacím softwaru verze 12(2) a vyšší.

Feature	Where Documented	12.0S Release	12.xT/15.xT Release	12.x/15.x Release	12.2SB Release	12.2SE Release	12.2SG and 3.x SG Release	12.2SR Release	12.2SX Release
<b>IPv6</b>									
IPv6—CNS Agents for IPv6	<a href="#">Implementing IPv6 for Network Management</a>	—	12.4(20)	15.0	(33)	—	(50)	(33)SRC	—
IPv6—Full Selective Packet Discard Support	<a href="#">Implementing Selective Packet Discard in IPv6</a>	—	15.1(3)	—	—	—	—	—	—
IPv6—HTTP(S) IPv6 Support (Infrastructure)	<a href="#">Implementing IPv6 for Network Management</a>	—	12.4(20)	15.0	(33)	(44)	(44)	(33)SRC	—
IPv6—ICMP Rate Limiting	<a href="#">Implementing IPv6 Addressing and Basic Connectivity</a>	—	12.2(8)	12.3	—	(25)	(25)	(33)SRA	(17a)SX1
IPv6—ICMPv6	<a href="#">Implementing IPv6 Addressing and Basic Connectivity</a>	(22)	12.2(2)	12.3	(28) <sup>1</sup>	(25)SEA	(25)	(33)SRA	(17a)SX1
IPv6—IPv6 ICMP RFC 4443	<a href="#">Implementing IPv6 Addressing and Basic Connectivity</a>	—	12.4(9)T	—	—	12.2(52)	(50)SG	—	(33)SXI
IPv6—ICMPv6 Redirect	<a href="#">Implementing IPv6 Addressing and Basic Connectivity</a>	(22)	12.2(4)	12.3	(28)	(25)SEA	(25)	(33)SRA	(17a)SX1

Obrázek 7: Výřez z oficiální dokumentace zachycující podporu některých funkcí IPv6. zdroj: cisco.cz

## 3.2 Nasazení

### 3.2.1 1. IPv6 sólo

Nasazení samotného protokolu IPv6 v síti by za současného stavu, kdy komunikace přes IPv6 tvoří cca. 6% veškerého síťového provozu (statistiky NIC.CZ), bylo hodně nereálné. Použití tohoto typu by v praxi znamenalo, že uživatelé by nemohli využívat většiny služeb internetu, jako například webové stránky, které nemají svůj IPv6 DNS záznam. V této práci bude sloužit spíše k porovnání s druhým a v dnešní době běžnějším typem nasazení IPv6.

U této varianty by stačilo pořídit prvky, které podporují nový protokol. To znamená, že v tomto případě lze využít současné přepínače 3COM 5500-EI a tím docílit nižší výsledné ceny. Jako náhradu za přepínače nepodporující IPv6 jsem zvolil přepínače od firmy Cisco řady Catalyst 6500. Jedná se o 2 druhy přepínačů, z nichž jeden je 24 - portový a druhý 48 - portový pro komunikaci v síti 1000base-T.

Cisco Catalyst 6500 24 - 48port GigE

- Rychlost přenosu dat: 1 Gbit/s
- Zadní konektory: 24 ports
- Splňuje průmyslové standardy: IEEE 802.3z, IEEE 802.1D, IEEE 802.1Q, IEEE 802.1p, IEEE 802.3x, IEEE 802.3ad (LACP), IEEE 802.1w, IEEE 802.1s
- Full duplex

Typ	Náhrada za	Cena za kus	Počet	Celkem Kč
Cisco Catalyst 6500 24x port	3COM 2210 AT9424T/SP AT8326GB	191 563 Kč	12	2 298 756 Kč
Cisco Catalyst 6500 48x port	AT8550GB	193 234 Kč	6	1 159 404 Kč
Celkem				3 458 160 Kč

Tabulka 3: Cena jednotlivých přepínačů s podporou IPv6.

**Celková částka za hardware s DPH bez instalace činí 3 458 160 Kč.**

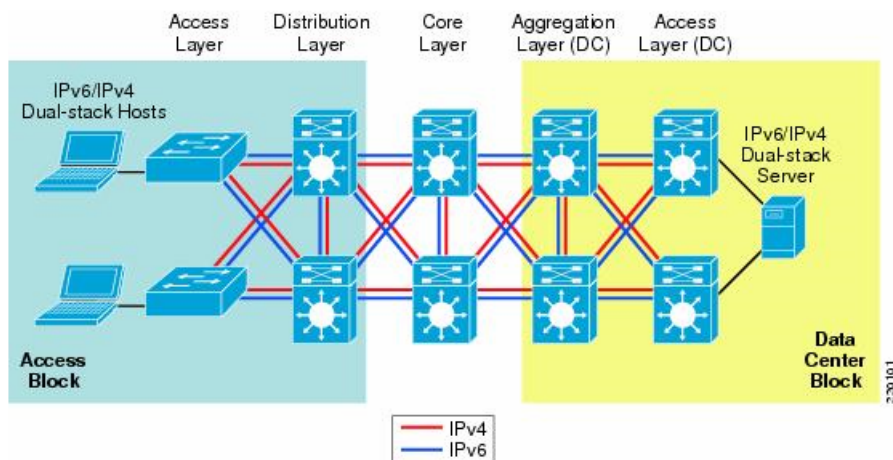
### 3.2.2 Dual-Stack

Dual-Stack, neboli vzájemné použití jak protokolu IPv4 tak i IPv6 v počítačových sítích, bude v současnosti asi nejpoužívanější řešení implementace nového protokolu. Nabízí hned několik výhod, mezi které určitě patří možnost stále využívat starší protokol do doby, než bude zcela nepotřebný. Další nespornou výhodou je samotné nasazení IPv6, kdy celá síť je připravena na nový protokol a ve vhodnou chvíli se v podstatě vypne režim Dual-Stack a v síť pak již bude běžet pouze na novém protokolu.

V režimu Dual-Stack jsou vlastně koncovým stanicím přiděleny parametry (IP adresa, výchozí brána. . .) jak specifikací protokolu IPv4, tak i IPv6. Zjednodušeně řečeno: koncová stanice ( nejen počítač ) má IP adresu jak ve formátu IPv4 (192.168.5.25), tak zároveň i ve formátu novějšího protokolu Ipv6 (2001:0db8:85a3:08d3:1319:8a2e:0370:7344).

Při samotném provozu sítě v režimu Dual-Stack se při komunikaci upřednostňuje IPv6 před IPv4 pokud je to možné a tím vlastně celá síť postupem času přechází na samotný protokol IPv6. Rychlost a odezva jsou téměř totožné jako při nasazení samotného IPv6.

Pro podporu tohoto režimu je potřebný speciální hardware. Ne každý síťový prvek schopný pracovat s novým protokolem je také schopný zpětně pracovat s IPv4.



Obrázek 8: Schéma varianty Dual-Stack podle Cisco.com

Obě navrhované varianty se liší svojí cenou, i když by se mohlo na první pohled zdát, že je potřeba stejný síťový hardware. U řešení Dual-Stack je výhodnější pořídit všechny přepínače nové a sladit se značkou směrovače pro jednodušší nastavování a administraci tohoto řešení. Tím bude také zaručena plná funkčnost tohoto řešení a případná podpora ze strany výrobce bude také probíhat jednodušší cestou. Při použití různých značek hardwaru nelze zaručit fyzickou funkčnost tohoto řešení a případné potíže by musely být směřovány k několika výrobcům najednou. Druhou věcí je administrace každého prvku.

Při zvládnutí správy síťového hardwaru jedné značky je nastavení zbylé části hardwaru jednodušší, než se případně učít nastavování každého prvku zvlášť. Samotné nastavení nebude pro specializovaného pracovníka složité a výskyt chyb je takto minimalizován na nejmenší možnou hranici.

Z důvodu využití stávajícího směrovače Cisco řady 7600 s podporou režimu Dual-Stack jsou navržené prvky také značky Cisco.

Typ	Náhrada za	Cena za kus	Počet	Celkem Kč
Cisco Catalyst 6500 24x port	3COM 2210 AT9424T/SP AT8326GB	191 563 Kč	12	2 298 756 Kč
Cisco Catalyst 6500 48x port	AT8550GB 3COM G	193 234 Kč	13	2 512 042 Kč
Celkem				4 810 798 Kč

Tabulka 4: Počet a výsledná cena nových přepínačů.

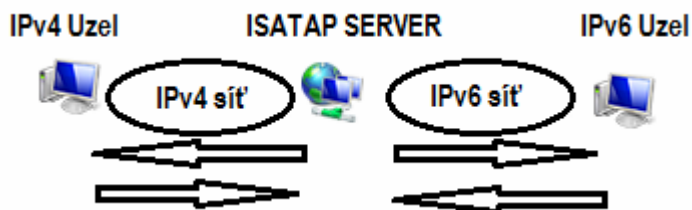
Při vybírání přepínačů namísto původních se hledaly přepínače ze stejné řady 6500 s rozdílem počtu portů. S těmito přepínači byly nahrazeny i modely, které nedisponovaly rozhraním 1Gbit porty nebo 10Gbit upload porty. Takto by byla celá síť povýšena na 1Gbit komunikaci ve všech jejích částech a tím odstraněno potenciální omezení provozu.

**Celková částka za hardware s DPH bez instalace činí 4 810 798 Kč.**

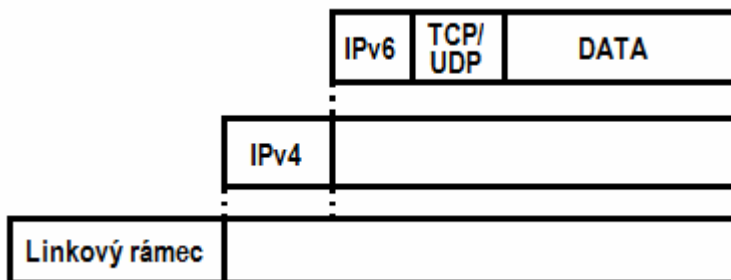


### 3.2.3 ISATAP

ISATAP (Intra-site Automatic Tunnel Addressing Protocol), neboli z názvu již patrný určitý mechanismus tunelování. (RFC 5124) Jedná se o tunelování komunikace IPv6 přes IPv4 síť, kdy se v síti vyskytuje ISATAP server (musí mít jak IPv6, tak i IPv4 adresu), který zprostředkovává komunikaci v obou typech sítí. Hlavní úlohou ISATAP serveru je přidělování globální IPv6 adresy všem IPv4 prvkům a následném vytvořením tunelu, kdy se IPv6 paket zapouzdří do IPv4 paketu.



Obrázek 9: Princip ISATAP tunelování.



Obrázek 10: IPv6 paket zabalený do IPv4 paketu.

Při nasazení tohoto typu tunelovacího mechanismu na počítačovou síť PřF JU je možné využít Cisco směrovač řady 7600, který podporuje ISATAP tunelování. Je tedy jasné, že cenové náklady za síťový hardware jsou nulové. Toto se zdá být jako nejlepší varianta. Je nutné si uvědomit, že se jedná o tunelovací protokol a ne všechno musí pracovat korektně.

Jak je známo IPv6 může používat větší pakety než IPv4 tzv. JUMBOGRAMY a to by mohlo v některých případech způsobovat nemalé problémy. Takových věcí je samozřejmě mnohem více z nichž je třeba důležité jmenovat ještě například to, že ISATAP nevyžaduje podporu skupinového vysílání (multicastu). Z toho vyplývá, že nelze použít ICMPv6 Neighbor Discovery protokol. Stanice jej však potřebují, aby našly směrovač, pomocí kterého mohou provést autokonfiguraci. ISATAP tedy řeší vyhledávání směrovačů pomocí PRL (Potential Routek List), který musí být nastaven na každé ISATAP stanici.

**Celková částka činí 0 Kč.**

## 4 Multikriteriální analýza

### 4.1 Kriteria

#### Cena

V současnosti je právě cena tím rozhodujícím prvkem, ať už při výběru a koupi produktů, tak i u všech ostatních věcí a řešení. Cena je to, co rozhoduje a určuje, co je dobré a co špatné. Téměř v každém odvětví se dnes všechno odvíjí od nejnižší nabídky a tím menších provozních nákladů a větší úspore. Ne vždy ale nejnižší cena znamená nejlepší řešení nebo naopak to, že vysoká cena rozhoduje o zavržení příslušné věci. Mnohdy nižší výrobní náklady znamenají, že se ve výrobním procesu používají méně odolné materiály a tím je výsledný produkt méně odolný než konkurence. V těchto případech se vyplácí spoléhat na tzv. značku společnosti, která zaručuje kvalitu materiálu a odvedené práce. Rozhodování na základě ceny je v dnešní době hodně přeceňované a zastiňuje jiné vlastnosti, na které by také měl být kladen důraz.

#### Uplatnění v dnešní době

Každé řešení má zajisté také svoji velikost uplatnění v současných sítích a celém internetu. Jedná se určitě o internetovou komunikaci, kde je důležitý dosah na webové stránky, emailové servery a jiné služby, ale také samotné nasazení a jeho uplatnění v síti jako takové. Jedná se především o to, jak je dané řešení připraveno na současné většinové používání IPv4 a jaké omezení to klade dané variantě.

#### Přínos pro síť

Při tomto pohledu na věc se odkrývají věci jako kompatibilita se starším protokolem IPv4 a nové možnosti komunikace. Zcela jistě to zahrnuje novinky, které jsou vneseny do počítačové sítě daným řešením a naopak o co síť bude ochuzena oproti stávajícímu stavu.

#### Správa sítě

Správa sítě daného řešení je jistě neméně důležitým faktorem jako samotný přínos pro síť. I když bude varianta přinášet do sítě mnoho nových možností, tak tyto výhody budou sráženy obtížnou správou sítě. Hodnotila se zejména jednoduchost instalace z pohledu administrátora sítě a poté i její spravování.

## 4.2 Váhy kritérií

Je zcela jasné, že každé kritérium, podle kterého se budou jednotlivé varianty hodnotit, bude mít jinou váhu. Jak již bylo napsáno, tak na **cenu** se v současnosti pohlíží nejvíce, a proto bude mít největší váhu. Ostatní kritéria mají váhu menší a vždy tak aby součet vah byl 1 (100%).

Pro multikritériální analýzu byla zvolena metoda **Známkování**. Principem je zvolení bodovací (známkovací) stupnice - v této práci zvoleno hodnocení 0 až 10 bodů pro každé kritérium. Znamky jsou pak přidělovány podle důležitosti jednotlivých kritérií (ukazatelů). Nejvyšší hodnoty dosahují nejvýznamnější kritéria, je možné přisoudit stejnou známku více ukazatelům.

To znamená, že každá varianta je hodnocena body v rozsahu 0 - 10 v každém kritériu. Například to znamená, že nižší cenové řešení, které získá větší počet bodů bude mít spolu s větší vahou větší vliv na výsledky.

- **Cena** - váhy 0.4, maximální počet bodů 10
- **Přínos pro síť** - váhy 0.2, maximální počet bodů 10
- **Uplatnění v dnešní době** - váhy 0.3, maximální počet bodů 10
- **Správa sítě** - váhy 0.1, maximální počet bodů 10

Každá varianta nasazení IPv6 byla hodnocena těmito 4 kritérii, kdy za každé obdržela část, nebo plný počet bodů. Celkově varianta, která získá nejvíce bodů stále nemusí být tou nejvhodnější. Pro správný pohled se musejí výsledky upravit podle vah jednotlivých kritérií.



### 4.3 Multikriteriální analýza IPv6 sólo

#### Cena

Náklady v hodnotě za zhruba 3.5 mil. korun pouze za prvky sítě, ve které bude komunikace po IPv6 ještě dlouhou dobu hodně omezena, nejsou rozhodně nejmenší. Při porovnání s variantou Dual-Stack cena vychází samozřejmě mnohem nižší, ale toto řešení nabízí také mnohem menší možnosti použití v dnešní době a i po několik dalších let.

**Bodový zisk: 4/10**

#### Uplatnění v dnešní době

Situace pro nasazení pouze protokolu IPv6 v síti není v dnešní době ani zdaleka na dostačující úrovni a zlepšení tohoto stavu se dá očekávat až v následujících 3 letech. Dnes, kdy se komunikace přes nový protokol pohybuje okolo 6% je nasazení protokolu IPv6 jako jediného komunikačního protokolu do celé sítě nereálné. Tato síť by v současnosti byla naprosto odříznuta od většiny služeb a možností internetu. Přejít na nový protokol tímto řešením v současnosti nemá uplatnění.

**Bodový zisk: 2/10**

#### Přínos pro síť

Použití tohoto řešení samozřejmě přináší do sítě všechny vylepšení protokolu IPv6 ať už to je IPSecurity, Mobilita, adresní prostor atd. Velkým mínusem je nekompatibilita s IPv4 (ze samé podstaty IPv6) a tím pádem i omezení všech dostupných služeb v dnešní době.

**Bodový zisk: 6/10**

#### Správa sítě

Administrace takto navržené sítě s použitým typem síťového hardwaru nebude také ta nejjednodušší možnost ze všech dostupných řešení. Při používání rozdílných typů síťových prvků v takto velkých sítích může snadno docházet ke zmatkům se samotným nastavením, nebo k neschopnosti prvků spolupracovat se síťovým hardwarem jiného výrobce, neboli kompatibilitě.

**Bodový zisk: 5/10**

## 4.4 Multikriteriální analýza Dual-Stack

### Cena

Výsledná cena tohoto řešení je přibližně o 1.5 mil. korun nákladnější. Za tuto cenu se ale výrazně zvyšuje možnost využití v budoucnu a eliminuje se tím i případná budoucí přestavba sítě, jednodušší správa sítě a připravenost na nový protokol IPv6 spolu se stálou možností komunikace po starším IPv4. I přes všechny klady není částka téměř 5 mil. korun zanedbatelná a se současným trendem úspor na stejné vlně a značně sráží tento jinak velmi dobrý způsob implementace IPv6.

**Bodový zisk: 2/10**

### Uplatnění v dnešní době

Při použití Dual-Stacku je situace v uplatnění daleko přívětivější než u předchozího typu. Jelikož tento typ zahrnuje jak IPv6, tak starší IPv4 je pro použití v dnešních sítích asi zdaleka nejlépe připraven na budoucí přechod. Zatímco se v současnosti bude ve větší míře komunikovat stále protokolem IPv4 a IPv6 bude tvořit jen malý okraj komunikace, tak s postupem času se tento stav bude pozvolna obracet a právě pro toto období je tento typ nasazení protokolu IPv6 tou nejlepší volbou.

**Bodový zisk: 10/10**

### Přínos pro síť

Tak jako při nasazení IPv6 sólo tato varianta přináší všechny výhody IPv6 s jedním obrovským rozdílem a to, že pro nutnou komunikaci IPv4 bude stále možné tento protokol využívat v plné míře. Prvky v síti budou upřednostňovat komunikaci po IPv6 před IPv4.

**Bodový zisk: 10/10**

### Správa sítě

Při správě sítě, na které je použito řešení Dual-Stack a je navržena tak, že všechny síťové prvky jsou od stejného výrobce, je správa výrazně jednodušší než tomu bylo u předchozí varianty. Drobným problémem by mohlo být nastavení režimu Dual-Stack, které nebude jednoduché. Se stejným typem hardwaru by ale i tento druh problému neměl být tak obtížný a s případnou pomocí výrobce jednoduše řešitelný.

**Bodový zisk: 8/10**

## 4.5 Multikriteriální analýza ISATAP

### Cena

Výsledná cena tohoto řešení je bezesporu ta nejlepší, která mohla nastat. Přejít na nový protokol bez vynaložení dalších nákladů. Tato varianta se díky své ceně může stát velice oblíbenou při nasazování IPv6 do počítačových sítí. Celkové náklady jsou naprosto minimální a zanedbatelné, protože síť již obsahuje možný ISATAP server.

**Bodový zisk: 10/10**

### Uplatnění v dnešní době

ISATAP, jak již bylo napsáno, přináší většinu výhod IPv6 koncovým stanicím a obdobně jako varianta Dual-Stack, je ISATAP jedním z nejlepších řešení postupného přechodu na nový protokol. Zvláště pak oblíbenou vlastností u této varianty bude bezesporu to, že nevyžaduje téměř žádný zásah do stávající sítě, a když, tak bude zapotřebí pouze drobných změn. Kombinace malých změn v síti spolu s cenou tohoto řešení je velikou výhodou tohoto typu nasazení IPv6.

**Bodový zisk: 9/10**

### Přínos pro síť

Velikou (ne)výhodou pro stávající síť je, že pro implementaci této varianty musejí být v síti způsobeny malé, nebo dokonce žádné změny. Veškerá komunikace prochází přes jediný server a s tím je spojeno například snazší zabezpečení komunikace. Zprovoznění ISATAP serveru na stávajícím přepínači je také výrazným plusem tohoto řešení. V koncových stanicích je situace také poměrně snadná, neboť dnešní operační systémy mají podporu ISATAP protokolu plně integrovanou.

**Bodový zisk: 9/10**

### Správa sítě

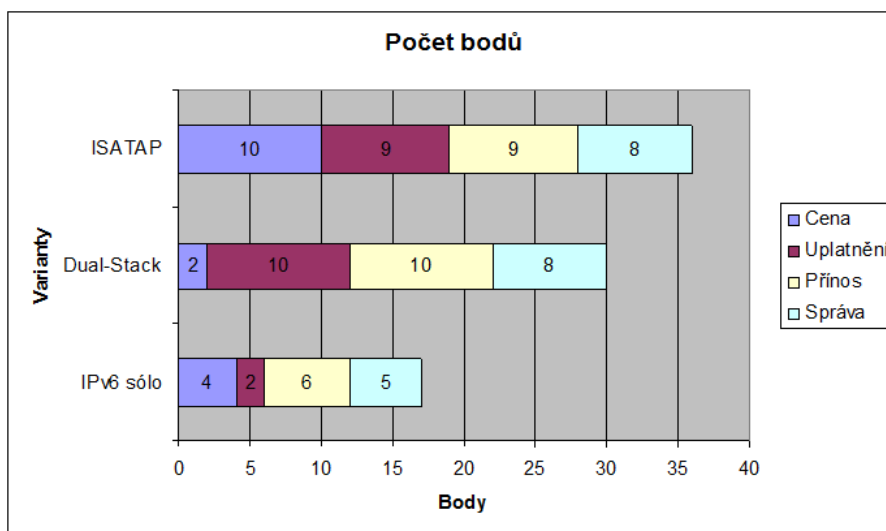
Samotná správa a nastavení ISATAP serveru je také poměrně jednodušší záležitostí oproti Dual-Stacku. Nastavení režimu je nutné pouze na serveru (směrovači). U koncových stanic by podpora ISATAP tunelování měla být implicitně povolena. Vše ostatní je již protokol IPv4.

**Bodový zisk: 8/10**

## 4.6 Vyhodnocení variant

Při pohledu na obrázek č. 11 znázorňující celkový počet bodů ve všech kategoriích pro jednotlivé varianty je patrné, že varianta ISATAP získala o 6 bodů více než varianta Dual-Stack. Největším rozdílem oproti variantě Dual-Stack je kritérium cena, kde varianta ISATAP získala o celých 8 bodů více. Varianta ISATAP získala téměř plný počet bodů, kdy jeden bod ztratila v částech přínos pro síť, Uplatnění a správa sítě, kde svoji roli hraje fakt, že se jedná pouze o tunelování protokolů a proto nemusejí správně pracovat veškeré funkce IPv6. Varianta Dual-Stack získala plný počet v kategoriích přínos a uplatnění. Po dvou bodech ztratila za složitější nastavení samotného řešení.

Nejméně bodů získala varianta IPv6 sólo. To je způsobeno její současnou nemožností a plného využití v sítích. Mezi nejvýše bodovanými variantami rozhodla cena, kde varianta Dual-Stack s téměř kompletní obměnou síťových prvků nemohla bojovat s variantou ISATAP.



Obrázek 11: Počet bodů v jednotlivých kategoriích pro všechny varianty.

## 4.7 Funkce užitku

Pro vyhodnocení každé varianty byla použita funkce užitku:

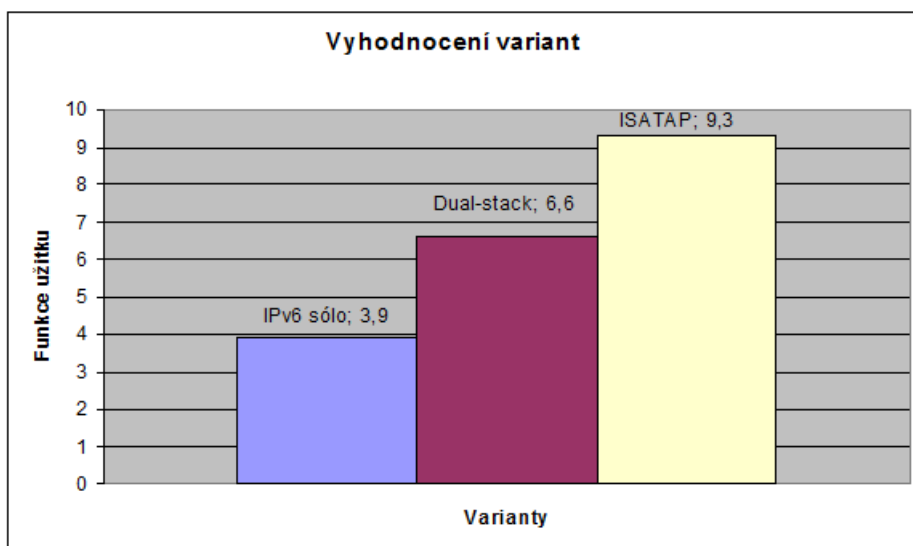
$$U_{v1} = [W_{k1} * U_{k1} + W_{k2} * U_{k2} + W_{kn} * U_{kn}]$$

$$U_{v1} = \sum_{j=1}^n U_j$$

$U_{v1}$  - Funkce užitku

$U_{k1}$  - Bodové ohodnocení kriteria

$W_{k1}$  - Váha kriteria



Obrázek 12: Graf znázorňující celkové ohodnocení všech variant.

I když by se mohlo zdát, že varianta ISATAP je nejvhodnější pro nasazení IPv6, je nutné si uvědomit, že se stále jedná pouze o tunelování mechanismus a ne o čisté nasazení IPv6 a tak se může objevit nefunkčnost některých vlastností nového protokolu. Za tuto variantu hovoří její cena a celkem i uspokojivá funkčnost IPv6, ale hlavní problém není vyřešen a to, že v budoucnu stejně změní síťový hardware, protože bude nutné aby síť pracovala na novém protokolu přímo bez tunelování. Do této doby je ISATAP nejlépe vhodný pro nasazení do sítě.

Nevýhodou varianty Dual-Stack je její velká cena, avšak tato investice se stane do budoucna jedinou oproti variantě ISATAP, která tuto investici jen oddaluje. Cena této varianty výrazně srazila její výhody oproti ISATAP.

Nasazení IPv6 sólo se podle výsledků stalo neméně vhodným způsobem pro nasazení do sítě v současnosti.



## 5 Závěr

Všechny navržené varianty přechodu na nový protokol IPv6 jsou v mnoha základních věcech velmi rozdílné. Zatímco v prvním případě se jedná o nasazení samotného IPv6 a nebere se v potaz stále většinový provoz přes starší IPv4, naproti tomu varianta Dual-Stack je právě stavěna pro tuto situaci, kdy se teprve IPv6 dostává ke slovu, ale stále nemůže být nasazen jako jediný komunikační protokol. Obě tyto varianty stojí nemalé finanční náklady, kdy se v podstatě jedná o výměnu veškerého síťového hardwaru, nebo zařizování celé sítě znovu.

Nemohly by být tyto peníze využity lépe? Částečnou odpovědí může být třetí varianta ISATAP, kde zjednodušeně řečeno zůstává celá síťová struktura beze změny a je zapotřebí pouze server, který provádí samotné tunelování provozu. Jelikož se jedná o tunelování komunikace, nemusejí být použitelné všechny novinky a funkce IPv6. Toto je jistý kompromis, kde nízké náklady vykupují možnou nefunkčnost části prvků IPv6.

Máme tedy 2 varianty, které úspěšně nasazují IPv6 do sítě se všemi prvky a navíc u varianty Dual-Stack máme i plnou kompatibilitu s IPv4 a IPv6. Zaplatit za přechod na nový protokol částku okolo 4 milionů korun, není světlou stránkou těchto variant a ještě dnes, kdy se komunikace přes IPv6 začíná teprve nějak výrazněji zvedat oproti předešlým rokům, se tato částka a tím i dané řešení nedají považovat za úspěšnou implementaci IPv6. Stále ještě zbývá nějaký ten pátek do doby, kdy IPv6 už bude rovnocenným náhradníkem IPv4 a to se současným několika procentuálním zastoupením veškeré komunikace stále není.

Pokud by nasazení IPv6 bylo nutné již v tuto chvíli, ale finanční rozpočet neumožňuje předchozí varianty, je asi nejlepší možností implementovat variantu ISATAP, která pro dosavadní i přechodnou dobu plně stačí. V současnosti nevyžaduje tato varianta nějaké speciální úpravy sítě a nový protokol IPv6 bude v rozumné míře fungovat. Po uplynutí doby, kdy se komunikace přes IPv6 dostane na vyšší úroveň bude nezbytné investovat do koupi nového hardwaru a to bude správný čas pro Dual-Stack variantu, protože IPv4 tu bude ještě řadu let než zcela vymizí.

Celá tato práce hodnotí několik zcela odlišných variant nasazení IPv6 a navrhuje jistá doporučení ohledně implementace každé varianty. I když jakékoliv větší doporučení dané varianty záleží na mnoha dalších faktorech, s přehledem lze konstatovat, že o nasazení samotného IPv6 do celé sítě nemá cenu vůbec uvažovat jako o variantě přechodu na IPv6. Cílem vývoje IPv6 bylo odstranit NAT tím, že každé zařízení bude mít až několik unikátních IPv6 adres. ISATAP je jistým krokem zpět z pohledu IPv6, který má jakékoliv tunelování a překládání odstranit. Dual-Stack je naprosto geniální řešení, které sráží jeho cena. Věřím, že tato práce nastínila ucelený přehled základních variant přechodu na IPv6.

## Literatura

- [1] BURDA, Pavel; KNAPEK, Jiří; TUROŇ, David. Integrace IPv6 do sítě s IPv4 [online]. 2009 [cit. 2011-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://wh.cs.vsb.cz/sps/images/0/04/IPv6-IPv4-integrace.pdf>>.
- [2] CISCO.COM [online]. 2011 . Cisco IOS Software Release Specifics for IPv6 Features. Dostupné z WWW: <<http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/ipv6/configuration/guide/ip6-roadmap.html>>.
- [3] DOČKAL, Martin. Rozhodovací procesy v žp [online] . Dostupné z WWW:<[http://geohydraulika.fsv.cvut.cz/on\\_line/rpz/05-Multikriterialni\\_analyza.pdf](http://geohydraulika.fsv.cvut.cz/on_line/rpz/05-Multikriterialni_analyza.pdf)>.
- [4] LABS.NIC.CZ [online]. IPv6 statistiky. Dostupné z WWW: <<http://labs.nic.cz/page/756/>>.
- [5] LUDWIG, Michal . Logix.cz [online]. 2003 . IPv6 krok za krokem. Dostupné z WWW: <<http://www.logix.cz/michal/doc/article.xp/ipv6-1>>.
- [6] PETERKA, Jiří . Subnetting, supernetting a CIDR. Novinky.cz [online]. 1999, č. 2, [cit. 2011-03-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/anovinky/ai1681.php3>>. [e-článek]
- [7] PODERMAŇSKI, Tomáš. Lupa.cz : Ipv6 mýty a skutečnost [online]. 2011 . Dostupné z WWW: <<http://www.lupa.cz/autori/tpoder/>>.
- [8] ROHLEDER, David . Ics.muni.cz [online]. 2011 [cit. 2011-03-21]. Přebodové mechanismy k IPv6. Dostupné z WWW: <<http://www.ics.muni.cz/zpravodaj/articles/667.html>>.
- [9] SATRAPA, Pavel . IPv6 [online]. Vyd.2. Praha : CZ.NIC, 2008 . Dostupné z WWW: <[http://knihy.nic.cz/files/nic/edice/pavel\\_satrapa\\_ipv6\\_2008.pdf](http://knihy.nic.cz/files/nic/edice/pavel_satrapa_ipv6_2008.pdf)>. ISBN 978-80-904248-0-7.
- [10] ŠIMERDA, Pavel. *IPv6 - nový Internet* [online]. 2008 . Abclinuxu.cz. Dostupné z WWW:<<http://www.abclinuxu.cz/clanky/site/ipv6-novy-internet>>.

## A Slovníček pojmů

- CIDR - Classless Inter-Domain Routing je systém pro přidělování IP adres
- DDoS - Distributed Denial of Service je typ útoku na webové služby a stránky, kdy dochází k přehlcení požadavky a pádu služby.
- DHCP - Dynamic Host Control Protocol sloužící k přidělení parametrů pro připojení do sítě.
- DNS - Domain Name System je databáze síťových informací sloužící k převodu domén a IP adres
- DoS - Denial of Service je typ útoku na webové služby, kdy se zaplavuje provoz náhodnými daty za účelem vyřazení služby z provozu.
- Dual-Stack - Přechodová metoda na nový protokol IPv6, kdy se v síti používá i staršího protokolu IPv4.
- IANA - Internet Assigned Numbers Authority je autorita přidělující bloky IP adres.
- IETF - Internet Engineering Task Force je volné sdružení lidí, kteří přispívají na návrh a vývoj internetových technologií převážně ve formě návrhu standardů zvaných RFC.
- IPv4 - Internet Protocol version 4 je základní protokol pro komunikaci v síti.
- IPv6 - Novější verze protokolu, která má nahradit IPv4, který už nestačí dnešním nárokům
- ISATAP - Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol je protokol tunelující komunikaci IPv6 přes IPv4.
- JUMBOGRAM - IPv4 protokol měl omezenou velikost paketu na 64KiB, naproti tomu v IPv6 je zaveden volitelný paket s velikostí až 4GiB.
- NAT - Network address translation. Česky se jedná o tzv. překlad síťových adres který upravoval síťový provoz přes router změnou výchozí a cílové IP adresy, změnou čísla TCP/UDP portu a kontrolního součtu u IP paketů. NAT se používá většinou pro přístup více počítačů z místní sítě (LAN) na internet pod jednou veřejnou IP adresou. Komunikace se dá zahájit jen směrem zevnitř sítě ven.
- PDA - Personal digital assistant neboli malý kapesní pomocník. Jedná se o elektronické zařízení umožňující zaznamenávání důležitých dat a informací.
- RFC - Request for comments je skupina standardů. Všechna RFC je možné získat volně na internetu.