



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ IPV6

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

A.M 5906

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ.....	I
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ.....	I
<i>ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ.....</i>	<i>I</i>
ΠΑΤΡΑ 2016.....	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ IPv6	1
1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ IPv6	1
1.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ IPv6	2
1.3 ΓΙΑΤΙ ΧΡΕΙΑΖΟΜΑΣΤΕ ΤΟ IPv6	3
1.3.1 ΕΞΑΝΤΛΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ IPv4.....	3
1.4 ΠΟΙΑ Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ IPv6.....	9
1.4.1 ΠΡΟΘΕΜΑΤΑ IPv6.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ IPv4 ΣΤΟ IPv6	14

2.1 ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ	14
2.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	16
2.2.1 DUAL-STACK	17
2.2.2 TRANSLATION	18
2.2.3 TUNNELING	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΔΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ IPV6	22
3.1 ΠΟΤΕ ΞΕΚΙΝΗΣΕ	22
3.2 ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ	22
3.3 WORLD IPV6 LAUNCH	25
3.4 ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	26
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	33

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ IPV6

1.1 Τι είναι οι διευθύνσεις IPv6

Οι διευθύνσεις IP (Internet Protocol address) χρησιμοποιούνται από όλες τις συσκευές (υπολογιστές, δρομολογητές, μηχανές fax, εκτυπωτές, κ.λπ.) που ανήκουν σε κάποιο δίκτυο ως ένα μέσο για την αναγνώριση τους αλλά και την επικοινωνία με άλλες συσκευές που ανήκουν στο ίδιο ή σε άλλα δίκτυα. Κάθε διεύθυνση IP πρέπει να είναι μοναδική. Μπορούμε να την παρομοιάσουμε με τη διεύθυνση μιας κατοικίας, όπου ο συνδυασμός της χώρας, της πόλης, του ονόματος της οδού και του αριθμού είναι μοναδικός. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε συσκευή να ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες.

Οι διευθύνσεις IP χωρίζονται σε δύο κατηγορίες όπως αναφέρονται παρακάτω:

1. **Δυναμικές:** δίνονται σε συσκευές που χρειάζονται προσωρινές διευθύνσεις όπως όταν ένας υπολογιστής συνδέεται στο WiFi. Ο καθορισμός των δυναμικών διευθύνσεων γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο DHCP.
2. **Στατικές:** χρησιμοποιούνται από ημι-μόνιμες συσκευές όπως οι servers.

Μέχρι στιγμής το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) βρίσκεται στην τρίτη έκδοση του. Ακολουθεί σύντομη περιγραφή των εκδόσεων:

IPv4: χρησιμοποιεί διευθύνσεις των 32-bit, άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι 4.294.967.296 (2^{32}) πιθανές μοναδικές διευθύνσεις. Επειδή όμως πολλές από αυτές τις διευθύνσεις χρησιμοποιούνται σε ιδιωτικά δίκτυα ή για ειδικούς λόγους, σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη ανάγκη για διευθύνσεις οι διαθέσιμες διευθύνσεις λιγοστεύουν.

IPv5: δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ εμπορικά.

IPv6: χρησιμοποιεί διευθύνσεις των 128-bit, άρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι 2^{128} , ή περίπου $3,403 \times 10^{38}$ μοναδικές διευθύνσεις. Εκτενέστερη αναφορά γίνεται στο κεφάλαιο **1.2**.

1.2 Τι είναι το IPv6

Η έκδοση 6 είναι η πιο πρόσφατη έκδοση του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP) και αναπτύχθηκε από Internet Engineering Task Force (IETF). Όπως αναφέρθηκε και στην σύντομη περιγραφή για κάθε διεύθυνση χρησιμοποιούνται 128 δυαδικά ψηφία. Αυτό σημαίνει ότι θεωρητικά μπορούμε να χρησιμοποιηθούν 2^{128} , ή περίπου 3.4×10^{38} διευθύνσεις. Πρακτικά όμως, ο πραγματικός αριθμός είναι μικρότερος. Αυτό συμβαίνει γιατί μερικές διευθύνσεις χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς, ενώ μερικές μπορεί να μην χρησιμοποιούνται καθόλου. Η έκδοση IPv6 δεν είναι πλήρης συμβατή με την προηγούμενη χρησιμοποιούμενη έκδοση, IPv4. Περισσότερες πληροφορίες για την δομή θα αναφέρουμε σε επόμενο υποκεφάλαιο.

Όπως είδαμε στο **1.1** η ανάθεση των δυναμικών διευθύνσεων IP γίνεται χρησιμοποιώντας το Πρωτόκολλο Δυναμικής Απόδοσης Διευθύνσεων (DHCP). Όμως συσκευές που συνδέονται σε ένα δίκτυο IPv6 έχουν την δυνατότητα να ορίσουν μόνες τους, αυτόματα, μια διεύθυνση IPv6 χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο που ονομάζεται

Πρωτόκολλο Ανακάλυψης Γειτόνων (Neighbor Discovery Protocol). Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευές επικοινωνούν με τους δρομολογητές και ζητάνε κάποια παραμέτρους σχετικούς με την διαμόρφωση τους. Βέβαια αν αυτή η διαδικασία δεν αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα σε κάποιες περιπτώσεις, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το DHCP.

1.3 Γιατί χρειαζόμαστε το IPv6

Ο κυρίως λόγος που αναπτύχθηκε η 6 έκδοση του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου είναι ότι οι διευθύνσεις που ήταν διαθέσιμες βάση του IPv4 είχαν αρχίσει να εξαντλούνται. Η εξάντληση των διευθύνσεων είχε προβλεφθεί ήδη από το 1980, όταν η χρήση του διαδικτύου άρχισε να αυξάνεται. Εκτός όμως από την αύξηση στις διαθέσιμες διευθύνσεις το IPv6 προσφέρει και άλλα χαρακτηριστικά όπως βελτιωμένο routing traffic και καλύτερη ασφάλεια. Περισσότερες πληροφορίες για την εξάντληση των IPv4 διευθύνσεων θα δούμε στο κεφάλαιο 1.3.1 που ακολουθεί.

1.3.1 Εξάντληση των διευθύνσεων IPv4

Οι διευθύνσεις IP διαχειρίζονται από το Internet Assigned Numbers Authority (IANA) που αποτελεί τμήμα του Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN), ενός μη κερδοσκοπικού Αμερικανικού οργανισμού, και είναι υπεύθυνο για την διάθεση των διευθύνσεων. Για να γίνεται η διαχείριση πιο εύκολη το IANA έχει χωρίσει τον πλανήτη σε 5 τμήματα και έχει αναθέσει την διαχείριση και διάθεση των IP διευθύνσεων σε 5 regional Internet registries (RIR):

- **African Network Information Center (AFRINIC)** για την Αφρική
- **American Registry for Internet Numbers (ARIN)** για τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, Καναδά, Ανταρκτική και κάποια κομμάτι της Καραϊβικής.

- **Asia-Pacific Network Information Center (APNIC)** για την Ασία, Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία και τις γειτονικές χώρες.
- **Latin America and Caribbean Network Information Center (LACNIC)** για την Λατινική Αμερική και κομμάτια της Καραϊβικής.
- **Réseaux IP Européens Network Coordination Centre (RIPE NCC)** για την Ευρώπη, Ρωσία, Μέση Ανατολή και Κεντρική Ασία



Το IANA έχει μοιράσει σε κάθε RIR περίπου 16.8 εκατομμύρια διευθύνσεις. Με την σειρά τους τα RIR μοιράζουν τις διευθύνσεις σε τοπικούς παρόχους διαδικτύου.

Αν και ο κύριος λόγος για την εξάντληση των διευθύνσεων IPv4 είναι η ανεπαρκής χωρητικότητα στον αρχικό σχεδιασμό της υποδομής του διαδικτύου, υπήρξαν και άλλοι παράγοντες που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο και ενίσχυσαν την εξάντληση των διευθύνσεων. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι:

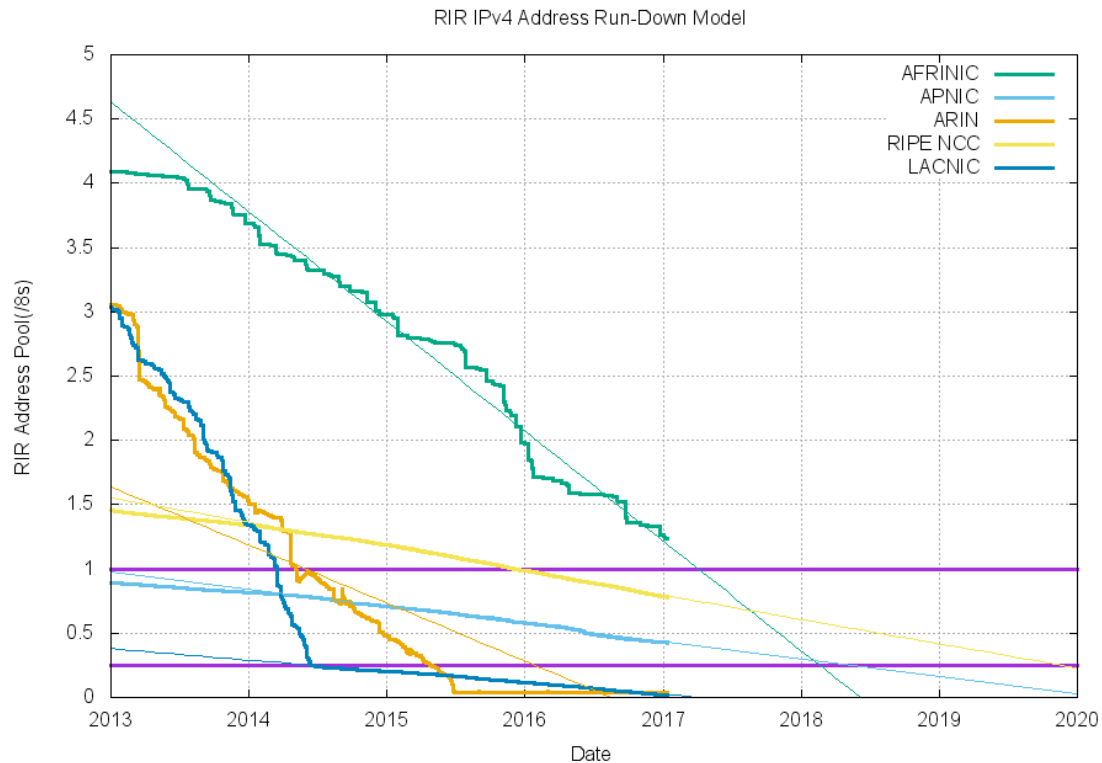
- **Κινητές συσκευές:** Από την στιγμή που τα smartphones αλλά και τα συμβόλαια των παρόχων για δεδομένα έγιναν προσιτά στο ευρύ κοινό, η χρήση τους εκτοξεύτηκε.
- **Συνδέσεις Internet:** Εν έτη 2017 σχεδόν όλα τα σπίτια έχουν και σύνδεση στο Internet. Αυτή όμως δεν ήταν η περίπτωση το 1980 όπου τα σπίτια που είχαν σύνδεση στο Internet ήταν ελάχιστα σε όλο τον κόσμο.
- **Ανεπαρκής χρήση διευθύνσεων:** Το 1980, διατέθηκαν σε μεγάλους οργανισμούς αλλά και πανεπιστήμια περισσότερες διευθύνσεις από αυτές που χρειαζόνταν. Καθώς το μπλοκ A περιέχει πολλές διευθύνσεις αλλά το μπλοκ B δεν είχε αρκετές για να υποστηρίξουν τις υποδομές τους.

Όλα αυτά οδήγησαν στην εξάντληση των IPv4 διευθύνσεων σχεδόν σε όλους τους RIR. Πιο συγκεκριμένα:

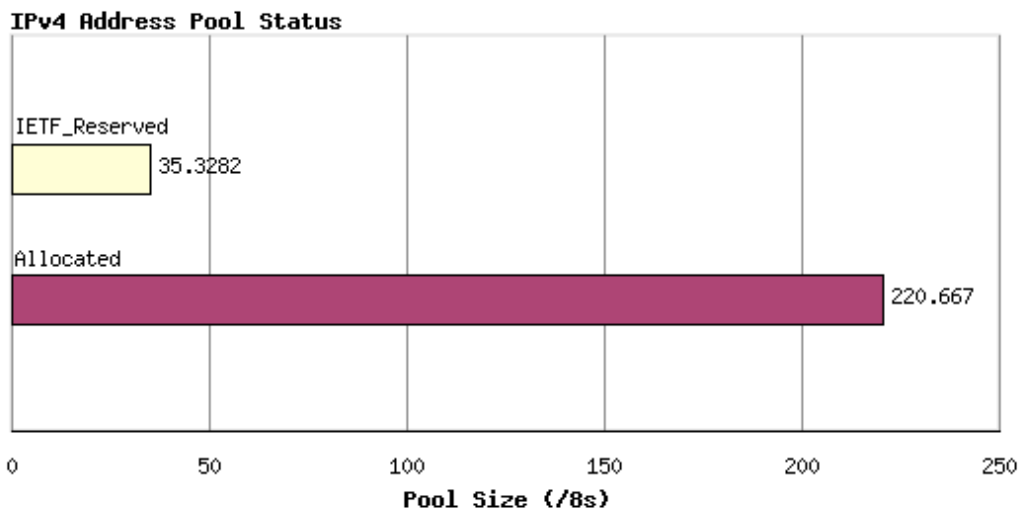
- Στις 15 Απριλίου του 2011 εξαντλήθηκαν οι διευθύνσεις για το APNIC
- Στις 14 Σεπτεμβρίου του 2012 εξαντλήθηκαν οι διευθύνσεις για το RIPE NCC
- Στις 10 Ιουνίου του 2014 εξαντλήθηκαν οι διευθύνσεις για το LACNIC
- Στις 24 Σεπτεμβρίου του 2015 εξαντλήθηκαν οι διευθύνσεις για το ARIN

Δηλαδή λίγο μετά τα μέσα του 2015, 4 από τους 5 RIR έχουν εξαντλήσει τις διευθύνσεις τους. Προβλέπεται ότι στο AFRINIC οι διευθύνσεις θα

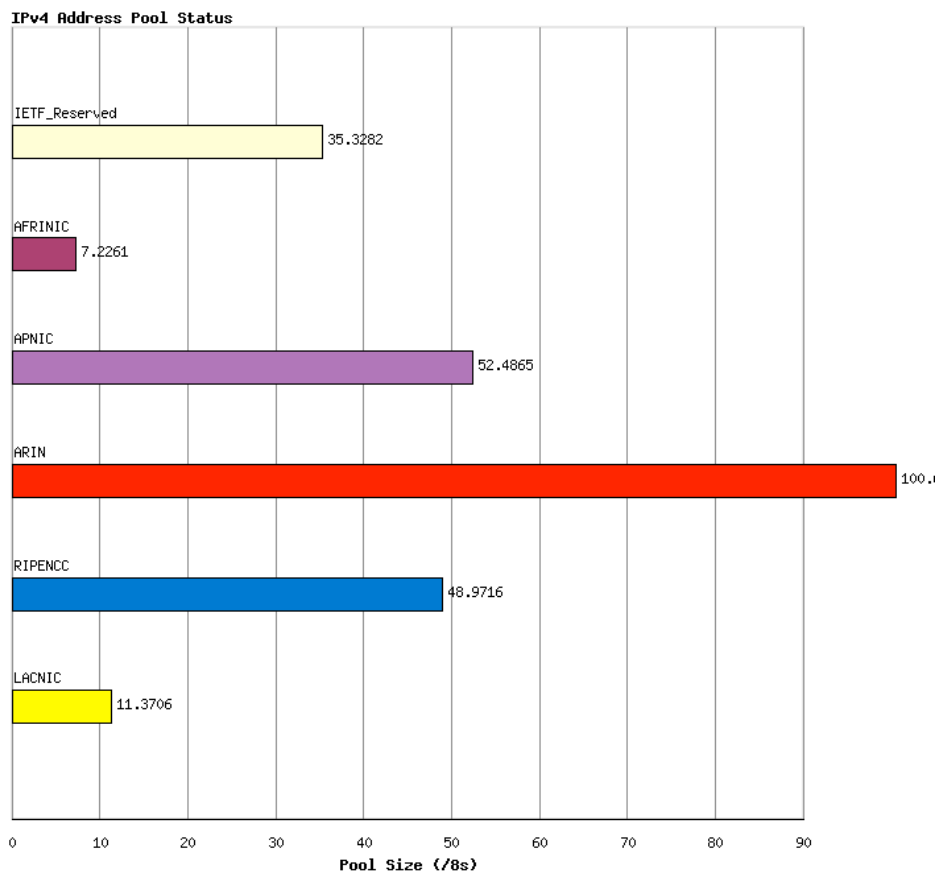
εξαντληθούν μέχρι τον Ιούλιο του 2018, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα με τις προβλέψεις για την πορεία των διαθέσιμων IPv4 διευθύνσεων σε κάθε RIR:



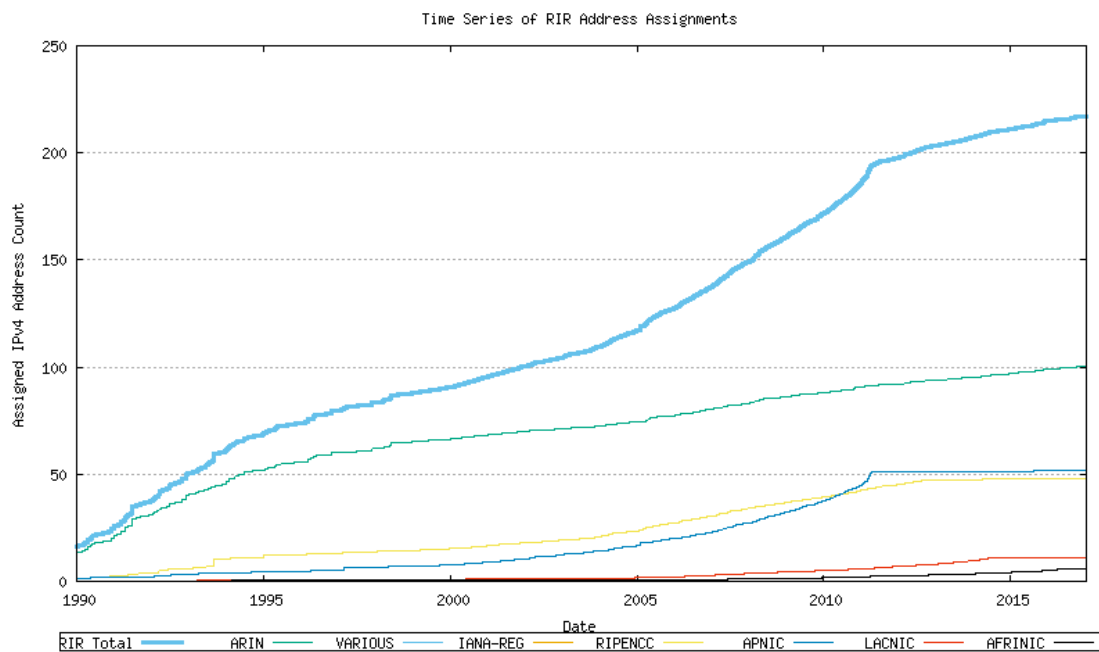
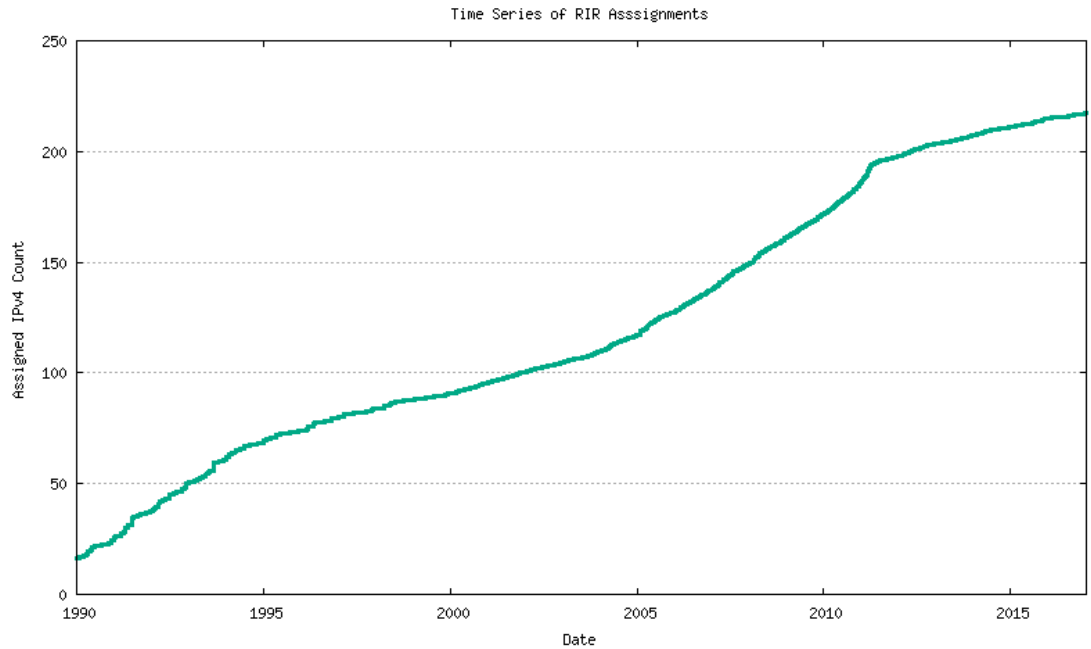
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει κάθε διεύθυνση IPv4 αποτελείται από 32 bit. Άρα υπάρχουν 4,294,967,29 ξεχωριστές διευθύνσεις, ή αλλιώς 256 "/8s", όπου /8s σημαίνει 16,777,216 ξεχωριστές διευθύνσεις. Από αυτές τις διευθύνσεις, περίπου τα 35.078 /8 μπλοκ είναι κρατημένα για διάφορους σκοπούς και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δημόσιες IPv4 διευθύνσεις. Άρα μένουν 220.922 /8 μπλοκ διευθύνσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δημόσιες διευθύνσεις.



Στο παρακάτω γράφημα μπορούμε να δούμε τα μπλοκ διευθύνσεων που έχουν διατεθεί ανά RIR:

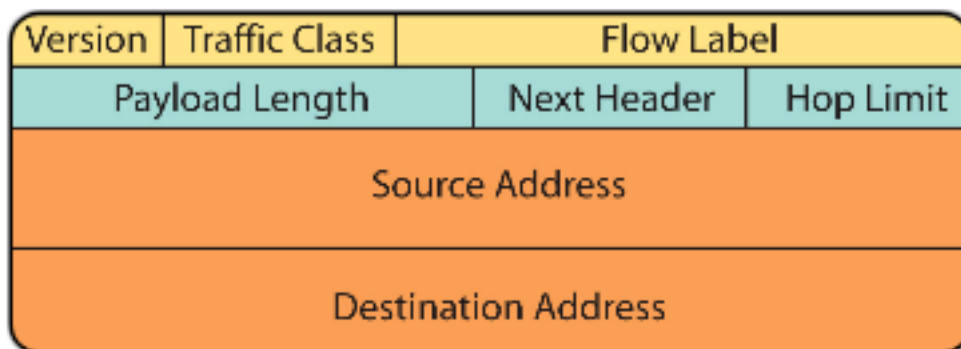


Ενώ στα παρακάτω γραφήματα μπορούμε να δούμε την διάθεση διευθύνσεων συνολικά από το IANA αλλά και ξεχωριστά για κάθε RIR από το 1990 τις αρχές του 2017.



1.4 Ποια η δομή του IPv6

Ένα πακέτο πληροφορίας του πρωτοκόλλου IPv6 μπορεί να χωριστεί σε δύο κύρια κομμάτια: την κεφαλίδα και το εμπόρευμα (payload). Τα πρώτα 320 bits του πακέτου αποτελούν την κεφαλίδα, η οποία αποτελείται από τα πεδία που φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί:



Source address (128 bit): Αυτό το πεδίο περιέχει την διεύθυνση IPv6 του αρχικού κόμβου του πακέτου.

Destination address (128 bit): Αυτό το πεδίο περιέχει την διεύθυνση IPv6 του κόμβου στον οποίο προορίζεται το πακέτο.

Version / IP version (4 bit): Αυτό το πεδίο των 4 bits περιέχει τον αριθμό 6. Το πεδίο αυτό δηλώνει την έκδοση του IPv6. Το πεδίο αυτό έχει το ίδιο μέγεθος με το πεδίο της έκδοσης IPv4 που περιέχει τον αριθμό 4. Όμως το πεδίο αυτό δεν χρησιμοποιείται συχνά αφού τα πακέτα IPv6 και IPv4 ξεχωρίζουν μεταξύ τους από τον τύπο πρωτοκόλλου που περιέχεται στον φάκελο επιπέδου 2, και όχι από το συγκεκριμένο πεδίο.

Packet priority/Traffic class (8 bits): Αυτό το πεδίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον αρχικό κόμβο του πακέτου ώστε να ξεχωρίζει τα πακέτα μεταξύ τους, αναθέτοντας διαφορετικές προτεραιότητες σε αυτά.

Με αυτόν τον τρόπο, τα routers μπορούν να ξεχωρίζουν ποια πακέτα ανήκουν στην ίδια κλάση κίνησης και να ξεχωρίζουν αυτά με διαφορετικές προτεραιότητες.

Flow label/QoS management (20 bits): Το πεδίο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την πηγή για να ορίσει μια ετικέτα για τα πακέτα που ανήκουν στην ίδια ροή. Μια ροή αναγνωρίζεται από τον συνδυασμό της διεύθυνσης της πηγής και της μη μηδενικής ετικέτας ροής (Flow label). Πολλές ροές μπορεί να υπάρχουν ταυτόχρονα από μια πηγή προς έναν αποδέκτη αλλά και κίνηση που δεν ανήκει σε κάποια ροή.

Payload length (16 bits): Αυτό το πεδίο περιέχει το μέγεθος του πεδίου data octets/bits, που ακολουθεί μετά την κεφαλίδα. Το μήκος του εμπορεύματος (payload length) περιορίζει το μέγεθος του εμπορεύματος του πακέτου στα 64 kilobytes. Σε περίπτωση που το εμπόρευμα ξεπερνάει αυτόν τον περιορισμό χρησιμοποιείται μια κεφαλίδα πρόσθετου εμπορεύματος Jumbo (Jumbo payload extension header). Ένα εμπόρευμα Jumbo (Jumbogram) αναγνωρίζεται από το μήκος του πεδίου εμπορεύματος που είναι 0.

Next header (8 bits): Αυτό το πεδίο δείχνει τον τύπο της κεφαλίδας που ακολουθεί μετά την κεφαλίδα του IPv6 και βρίσκεται στην αρχή του εμπορεύματος του πακέτου IPv6. Αυτό το πεδίο συνήθως προσδιορίζει το πρωτόκολλο μεταφοράς που χρησιμοποιείται από το εμπόρευμα του πακέτου. Τα δύο πιο κοινά είδη Επόμενης Κεφαλίδας είναι τα TCP και UDP.

Time to Live/Hop Limit (8 bits): Αυτό το πεδίο μειώνεται κατά μια μονάδα κάθε φορά που το πακέτο προωθείται από έναν κόμβο σε έναν άλλο. Αν η τιμή του φτάσει το 0 τότε το πακέτο αφαιρείται. Η κύρια χρήση αυτού του πεδίου είναι για την αναγνώριση και την αφαίρεση των πακέτων που έχουν πέσει σε ατέρμων βρόγχο λόγω λαθών στις

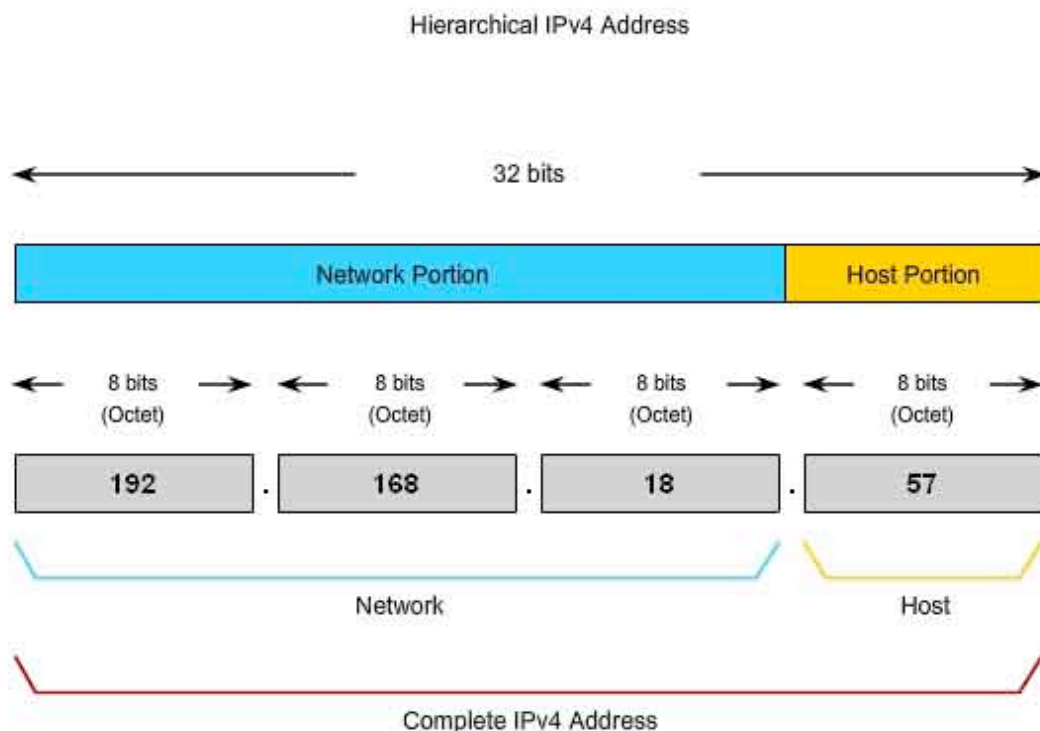
πληροφορίες routing. Το πρωτόκολλο IPv6 επιτρέπει μέχρι 255 προωθήσεις πριν το πακέτο αφαιρεθεί.

Εκτός από την κύρια κεφαλίδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κεφαλίδες επέκτασης για να παρέχουν περισσότερες λειτουργίες. Παρακάτω αναφέρονται μερικές κεφαλίδες επέκτασης:

- Hop-by-Hop Options
- Routing
- Fragment
- Destination Options
- IPsec
- Header chain

1.4.1 Προθέματα IPv6

Κάθε IPv4 διεύθυνση αποτελείται από δύο κομμάτια, το **Network** κομμάτι και το **Host** κομμάτι, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Όπως δηλώνουν και τα ονόματα τους το **Network** χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του δικτύου και το **Host** για την αναγνώριση του οικοδεσπότη μέσα στο δίκτυο (υπολογιστής, εκτυπωτής, κ.α.). Στο IPv4 χρησιμοποιούμε subnet masks για να ξεχωρίσουμε το δίκτυο από τον οικοδεσπότη. Ακολουθεί παράδειγμα, έστω ότι έχουμε την διεύθυνση και την μάσκα που φαίνεται παρακάτω:

172.16.133.18 - IPv4 address

255.255.0.0 - Subnet mask

Άρα το κομμάτι 172.16 δείχνει το **δίκτυο**, ενώ το κομμάτι 133.18 δείχνει τον **οικοδεσπότη**.

Το IPv6 από την πλευρά του χρησιμοποιεί το λεγόμενο **Network Prefix** ώστε να μπορεί να δηλώνει το δίκτυο. Τα πεδία που βρίσκονται στα αριστερά σε μια διεύθυνση IPv6, μαζί με την τιμή του πλήθους των ψηφίων που χρησιμοποιούνται για το Network κομμάτι, ονομάζεται **Network Prefix**. Τα προθέματα στις διευθύνσεις IPv6 μπορούν να θεωρηθούν παρόμοια με τις subnet masks στο IPv4. Στο IPv6 χρησιμοποιούμε έναν συμβολισμό παρόμοιο με τις μάσκες Classless Inter-Domain Routing (CIDR) στο IPv4. Το CIDR δημοσιεύτηκε το 1993 σαν μια προσπάθεια να αποτραπεί η εξάντληση των IPv4 διευθύνσεων που αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο (1.3.1). Επιτρέπει την αναπαράσταση του **Network** κομματιού με οποιοδήποτε πλήθος δυαδικών ψηφίων αντί για 8, 16, ή 14 δυαδικά ψηφία που χρησιμοποιούσαν τα δίκτυα κλάσης A, B και C αντίστοιχα.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα, έστω ότι έχουμε την ακόλουθη IPv6 διεύθυνση:

2001:0DB8:0000:000b:0000:0000:0000:001A/64

Το πρόθεμα **δικτύου** είναι το 2001:0DB8:0000:000b::/64 και το εύρος διευθύνσεων είναι από 2001:0DB8:0000:000b:0000:0000:0000:0001/64 μέχρι 2001:0DB8:0000:000b:ffff:ffff:ffff:ffff/64.

Το μήκος του προθέματος χρησιμοποιείται για να βρεθεί το πλήθος των δυαδικών ψηφίων των Global Unicast IPv6 Addresses.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ IPV4 ΣΤΟ IPV6

2.1 Κύριες διαφορές

Έχουμε ήδη αναφέρει μερικές πληροφορίες τόσο για το IPv6 όσο και για το IPv4, όπως είναι το πλήθος των διευθύνσεων που μας παρέχει κάθε πρωτόκολλο (4,294,967,29 για το IPv4 και περίπου 3.4×10^{38} για το IPv6). Για το IPv6 έχουμε αναφέρει επίσης και τη δομή στο κεφάλαιο 1.4 αλλά και τις πιο γνωστές και χρησιμοποιούμενες κεφαλίδες επέκτασης, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την χρήση των προθεμάτων που υποστηρίζει στο κεφάλαιο 1.4.1. Όπως έχει αναφερθεί ήδη οι δύο εκδόσεις δεν είναι πλήρως συμβατές μεταξύ τους.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι κυριότερες διαφορές ανάμεσα στις δύο εκδόσεις του πρωτοκόλλου του διαδικτύου:

IPV4	IPV6
Addresses are 32 bits (4 bytes) in length.	Addresses are 128 bits (16 bytes) in length
Address (A) resource records in DNS to map host names to IPv4 addresses.	Address (AAAA) resource records in DNS to map host names to IPv6 addresses.
Pointer(PTR)resource records in the IN-ADDR.ARPA DNS domain to map IPv4 addresses to host names.	Pointer(PTR)resource records in the IP6.ARPA DNS domain to map IPv6 addresses to host names.
IPSec is optional and should be supported externally	IPSec support is not optional
Header does not identify packet flow or QoS handling by routers.	Header contains Flow Label field, which Identifies packet flow for QoS handling by router.
Both routers and the sending host fragment packets.	Routers do not support packet fragmentation. Sending host fragments packets
Header includes a checksum.	Header does not include a checksum.
Header includes options.	IPV6 Optional data is supported as extension headers.
ARP uses broadcast ARP request to resolve IP to MAC/Hardware address	Multicast Neighbor Solicitation messages resolve IP addresses to MAC addresses.
Internet Group Management Protocol (IGMP) manages membership in local subnet groups.	Multicast Listener Discovery (MLD) messages manage membership in local subnet groups.
Broadcast addresses are used to send traffic to all nodes on a subnet.	IPv6 uses a link-local scope all-nodes multicast address.
Must support a 576-byte packet size (possibly fragmented)	Must support a 1280-byte packet size (without fragmentation)
Configured either manually or through DHCP.	Does not require manual configuration or DHCP.

2.2 Βασικοί μηχανισμοί μετάβασης

Μπορεί το deployment του IPv6 να έχει ξεκινήσει να αυξάνεται, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, αλλά μέχρι να μην υπάρχουν υπηρεσίες και δίκτυα που χρησιμοποιούν το IPv4, οι δύο εκδόσεις θα πρέπει να συνυπάρχουν. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το IPv6 δεν είναι πλήρως συμβατό με την προηγούμενη έκδοση IPv4. Επειδή η υποστήριξη του IPv6 δεν γίνεται με σταθερό ρυθμό δεν μπορεί να οριστεί μια ημερομηνία στην οποία θα έχει ολοκληρωθεί η μετάβαση. Για αυτό το λόγο έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί μετάβασης ανάμεσα στα δύο πρωτόκολλα. Αυτοί οι μηχανισμοί προσφέρουν:

- **Σταδιακή μετάβαση:** κάθε router ή host κάθε δικτύου να μπορεί να αναβαθμιστεί ξεχωριστά σε IPv6 χωρίς να χρειάζεται οι υπόλοιποι κόμβοι να υποστηρίζουν ήδη την νέα έκδοση του πρωτοκόλλου.
- **Ελάχιστες απαιτήσεις αναβάθμισης:** τα router να μην χρειάζονται αλλαγές για την υποστήριξη του IPv6. Από την άλλη, στην περίπτωση των hosts αυτό που χρειάζεται είναι ένας νέος DNS server που να υποστηρίζει τις IPv6 διευθύνσεις.

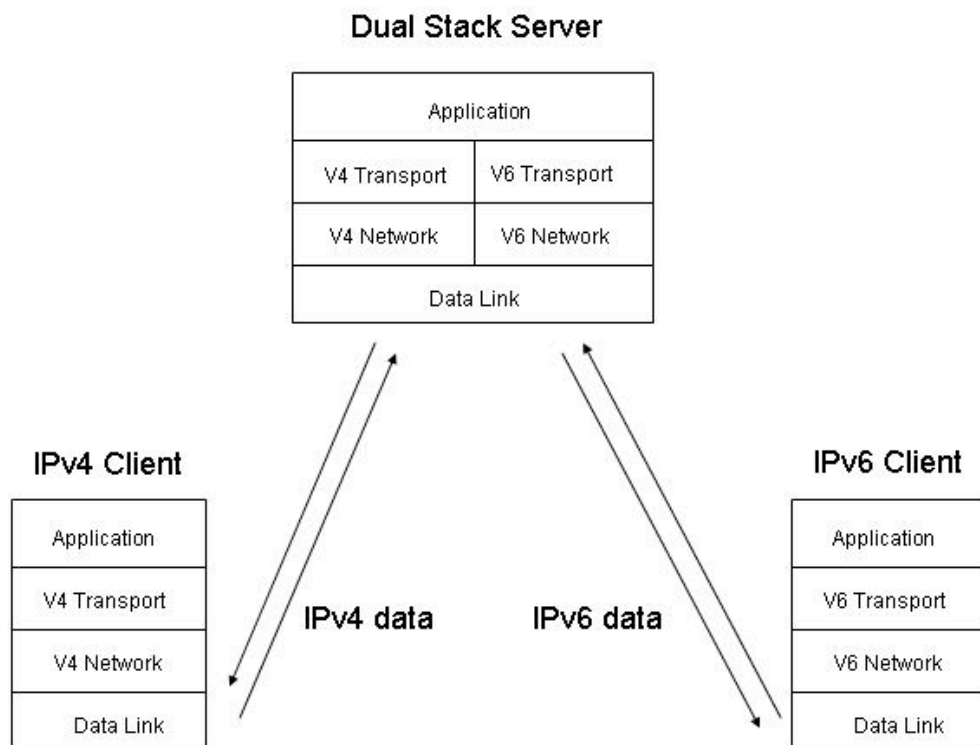
Σύμφωνα λοιπόν με αυτά τα χαρακτηριστικά, ενσωματώθηκε στο πρωτόκολλο ένα σύνολο μηχανισμών που ονομάζεται SIT (Simple Internet Transition). Το SIT προσφέρει:

- Συγκεκριμένη μορφή για τις διευθύνσεις ώστε να είναι συμβατές και με τις δύο εκδόσεις. Η μορφή αυτή είναι η εξής: `::ww.xx.yy.zz` όπου το `ww.xx.yy.zz` είναι η IPv4 διεύθυνση που είχε ο κόμβος πριν την αναβάθμιση.
- Την ανεξάρτητη λειτουργία των δύο πρωτοκόλλων στον ίδιο κόμβο. Κάθε μηχανήμα θα πρέπει να διαλέγει ποιο από τα

δύο πρωτόκολλα θα χρησιμοποιήσει για την επικοινωνία, χωρίς να επεμβαίνει με το άλλο πρωτόκολλο.

- Διαδικασία ενθυλάκωσης πακέτων IPv6 μέσα σε πακέτα IPv4.
- Προαιρετική μετατροπή πακέτων IPv6 σε IPv4 και αντίστροφα.

2.2.1 Dual-stack



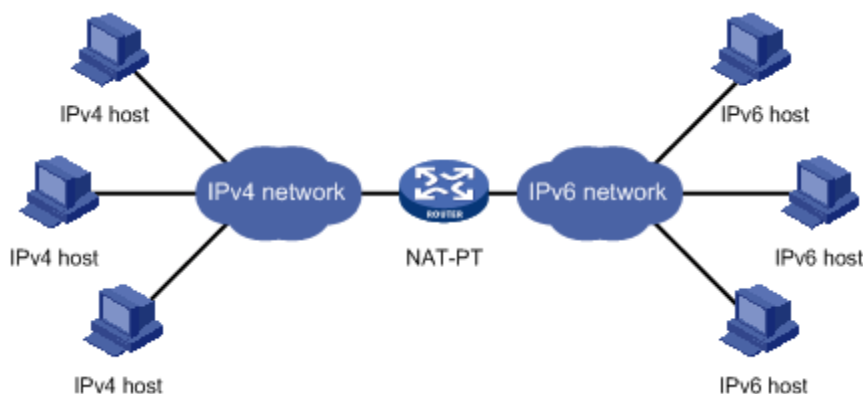
Οι μηχανισμοί που βασίζονται στη Διπλή Στοίβα είναι αρκετά απλοί στην υλοποίηση. Και τα δύο πρωτόκολλα πρέπει να εγκατασταθούν στο λειτουργικό σύστημα των μηχανημάτων που αποτελούν το δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο τα μηχανήματα μπορούν να διαχειριστούν πακέτα που ανήκουν τόσο στο IPv4 όσο και στο IPv6 πρωτόκολλο. Η επιλογή της

στοίβας που θα χρησιμοποιηθεί γίνεται συνήθως βάση του αποτελέσματος της DNS αναζήτησης. Πιο συγκεκριμένα, αν ο κόμβος με τον οποίο θα γίνει η επικοινωνία έχει μόνο IPv4 διεύθυνση τότε θα χρησιμοποιηθεί η στοίβα IPv4 και αντίστοιχα αν έχει μόνο IPv6 διεύθυνση. Σε περίπτωση που ο κόμβος έχει και τις δύο διευθύνσεις, τότε από προεπιλογή θα χρησιμοποιηθεί η IPv6 στοίβα.

2.2.2 Translation

Οι μηχανισμοί που βασίζονται στο Translation μετατρέπουν πακέτα από το ένα πρωτόκολλο σε ένα άλλο. Έτσι μπορεί να πραγματοποιηθεί επικοινωνία ανάμεσα σε κόμβους που υποστηρίζουν μόνο IPv4 και σε κόμβους που υποστηρίζουν μόνο IPv6. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στην περίπτωση που κάποια μηχανήματα ενός δικτύου δεν μπορούν να αναβαθμιστούν ώστε να υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPv4.

Ο πιο διαδεδομένος και χρησιμοποιούμενος μηχανισμός που βασίζεται στο Translation είναι ο μηχανισμός NAT-PT (Network Address Translation - Protocol Translation). Ο NAT-PT χρησιμοποιεί αλγόριθμους βασισμένους στο SIIT (Stateless IP ICMP Translation) για να κάνει την μετατροπή των πακέτων από IPv6 σε IPv4 και αντίστροφα. Η λειτουργία του είναι παρόμοια με αυτή των κλασικών NAT.

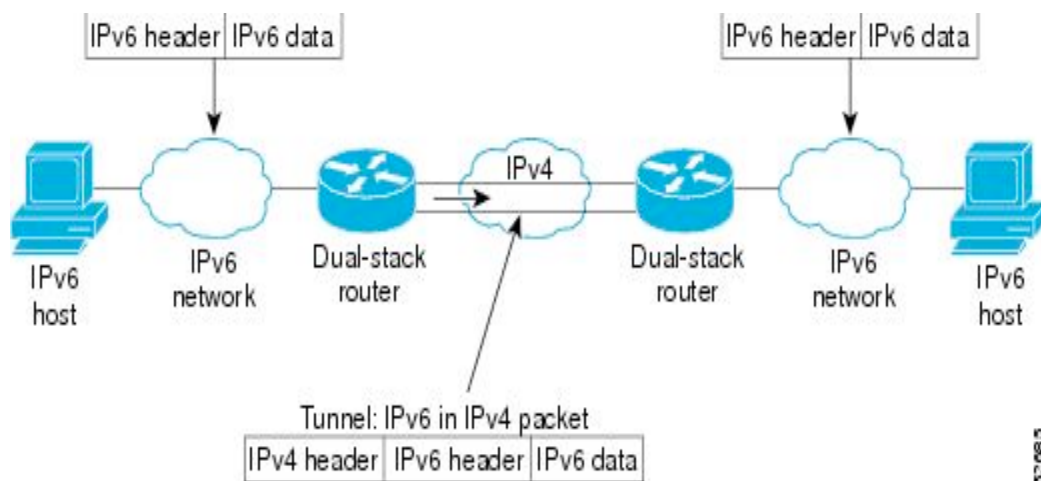


Όπως βλέπουμε και στο σχήμα, ένας δρομολογητής με διπλή στοίβα (dual stack) εγκαθίσταται ανάμεσα στα δίκτυα IPv4 και IPv6. Ο δρομολογητής αυτός είναι υπεύθυνος για την μετατροπή των πακέτων ανάμεσα στα δύο πρωτοκόλλα. Επειδή όμως τα δύο πρωτόκολλα έχουν διαφορετικές κεφαλίδες είναι λογικό κατά την μετατροπή να χαθούν κάποια χαρακτηριστικά που μπορεί να προσφέρει το IPv6 αλλά δεν υπάρχουν στο IPv4. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι η χρήση των μηχανισμών που βασίζονται στο Translation δεν συνίσταται αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιου άλλου είδους μηχανισμός. Ο μηχανισμός αυτός θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περίπτωση που υπάρχει ανάγκη επικοινωνίας ανάμεσα σε IPv4-only και IPv6-only hosts.

2.2.3 Tunneling

Μέχρι η μετάβαση στο πρωτόκολλο IPv6 να ολοκληρωθεί, κάτι που φαίνεται ότι χρειάζεται μερικά χρόνια ακόμα για να γίνει, η υποδομή IPv4 παραμένει ενεργή και λειτουργική. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος που δημιουργήθηκε ο μηχανισμός Tunneling. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιεί την υποδομή IPv4 που υπάρχει ήδη για να μεταφέρει πακέτα που όμως ανήκουν στο πρωτόκολλο IPv6. Με αυτόν τον τρόπο και χωρίς μεγάλες αλλαγές, αξιοποιείται η υποδομή που υπάρχει σήμερα για την μεταφορά IPv6 πακέτων. Πιο συγκεκριμένα, IPv6 hosts και δρομολογητές ενθυλακώνουν πακέτα IPv6 μέσα σε πακέτα IPv4 και τα μεταδίδουν μέσα από το υπάρχον IPv4 σύστημα σαν να πρόκειται για κανονικά πακέτα IPv4. Για να λειτουργήσει ο μηχανισμός tunneling θα πρέπει οι δύο κόμβοι που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου, που είναι υπεύθυνοι για την ενθυλάκωση και απενθυλάκωση των πακέτων, να είναι dual-stack. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σε ένα κόμβο dual-stack

έχουν εγκατασταθεί και τα δύο πρωτόκολλο IPv4 και IPv6. Παρακάτω απεικονίζεται ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί τον μηχανισμό tunneling:



Οι μηχανισμοί tunneling μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το τρόπο που επιλέγεται η διεύθυνση του κόμβου προορισμού των πακέτων. Ο κόμβος που καθορίζει την διεύθυνση του προορισμού είναι ο πρώτος κόμβος, που είναι υπεύθυνος και για την ενθυλάκωση των πακέτων. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

- **Configured tunneling:** σε αυτήν την περίπτωση η διεύθυνση του κόμβου προορισμού καθορίζεται από τις πληροφορίες διαμόρφωσης (configuration) που έχουν οριστεί από τον κόμβο που είναι υπεύθυνος για την ενθυλάκωση των πακέτων. Κάθε φορά που ο κόμβος αυτός δημιουργεί ένα νέο tunnel για την μετάδοση πακέτων, θα πρέπει να υπάρχει αποθηκευμένη η διεύθυνση του κόμβου προορισμού.
- **Automatic tunneling:** σε αυτήν την περίπτωση η διεύθυνση του κόμβου προορισμού καθορίζεται από τη διεύθυνση IPv6 του κόμβου προορισμού.

Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται κυρίως οι περιπτώσεις επικοινωνίας:

1. Router to Router
2. Host to Router

Ενώ στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι περιπτώσεις επικοινωνίας:

1. Host to Host
2. Router to Host

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΑΔΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ IPv6

3.1 Πότε ξεκίνησε

Έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενα κεφάλαια ότι το πρωτόκολλο IPv6 υπάρχει εδώ και πολλά χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, το 1994 η IETF (Internet Engineering Task Force) βλέποντας ότι οι διευθύνσεις που υπήρχαν διαθέσιμες από το πρωτόκολλο IPv4 είχαν αρχίσει να εξαντλούνται και προβλέποντας ότι στο σύντομο μέλλον οι συσκευές που θα ήταν συνδεδεμένες στο διαδίκτυο θα ήταν πολλές, άρχισαν τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του IPv6. Η βασική δομή του πρωτοκόλλου ανακοινώθηκε από την IETF το 1998.

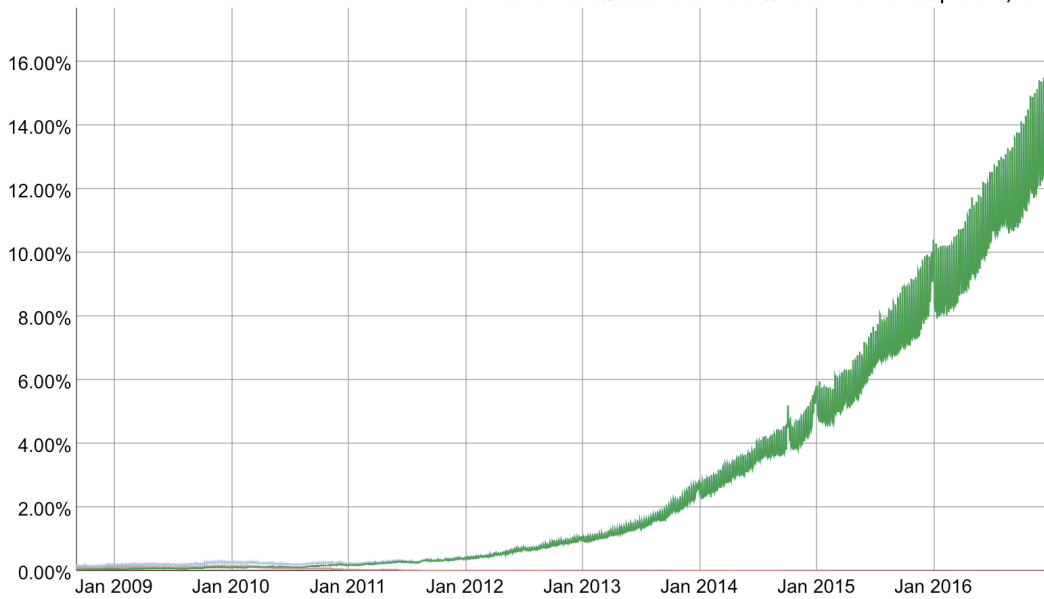
3.2 Τελευταία δεκαετία

Όλο και περισσότερες συσκευές συνδέονται στο διαδίκτυο με την πάροδο του χρόνου αφού η τεχνολογία γίνεται περισσότερο προσιτή. Έτσι η ανάγκη διάδοσης του IPv6 γίνεται ολοένα και πιο σημαντική. Σύμφωνα με την Google, η οποία συλλέγει στατιστικά από τους χρήστες που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες της, το 15.69% των χρηστών της χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IPv6. Παρακάτω φαίνεται η διάδοση του IPv6 στους χρήστες της Google από της 4 Σεπτεμβρίου του 2008 μέχρι της 25 Δεκεμβρίου του 2016.

IPv6 Adoption

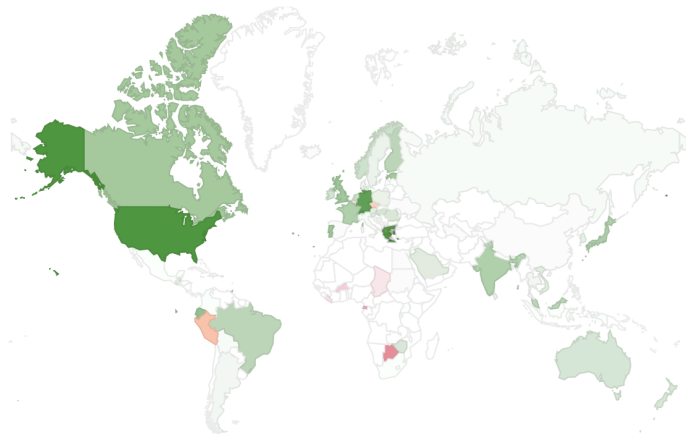
We are continuously measuring the availability of IPv6 connectivity among Google users. The graph shows the percentage of users that access Google over IPv6.

Native: 15.69% 6to4/Teredo: 0.01% Total IPv6: 15.69% | Dec 25, 2016



Επίσης η Google παρέχει έναν χάρτη που δείχνει την διάδοση του IPv6 στους χρήστες της Google ανά χώρα.

Per-Country IPv6 adoption



[World](#) | [Africa](#) | [Asia](#) | [Europe](#) | [Oceania](#) | [North America](#) | [Central America](#) | [South America](#)

The chart above shows the availability of IPv6 connectivity around the world.

- Regions where IPv6 is more widely deployed (the darker the green, the greater the deployment) and users experience infrequent issues connecting to IPv6-enabled websites.
- Regions where IPv6 is more widely deployed but users still experience significant reliability or latency issues connecting to IPv6-enabled websites.
- Regions where IPv6 is not widely deployed and users experience significant reliability or latency issues connecting to IPv6-enabled websites.

Στην Ελλάδα οι χρήστες της Google χρησιμοποιούν IPv6 σε ποσοστό 29.46%, ποσοστό το οποίο είναι από τα μεγαλύτερα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή.

Το Akamai παρέχει επίσης στατιστικά στοιχεία για την υιοθέτηση του IPv6 ανά χώρα αλλά και για όλα τα μεγάλα δίκτυα.

RANK	IPv6 %	COUNTRY
1	50.3%	Belgium
2	30.0%	Greece
3	29.6%	Switzerland
4	25.1%	Germany
5	24.3%	United States of America
6	24.1%	Luxembourg
7	22.0%	India
8	20.3%	Trinidad And Tobago
9	18.2%	Portugal
10	18.1%	Estonia
11	14.0%	France
12	13.4%	Japan
13	13.2%	Canada
14	12.9%	United Kingdom
15	12.0%	Peru

Όπως φαίνεται από τα στοιχεία που μας παρέχει το Akamai στη Ελλάδα το 30% των συνδέσεων χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IPv6.

3.3 World IPv6 Launch

Μια σημαντική μέρα για την διάδοση του IPv6 και γενικά για την πορεία του ήταν η World IPv6 Day. Η World IPv6 Day ανακοινώθηκε στις 12 Ιανουαρίου του 2011 από 5 μεγάλες εταιρίες του χώρου: Facebook, Google, Yahoo, Akamai Technologies και LimeLight Networks. Ως ημέρα επιλέχθηκε η 8 Ιουνίου του 2011. Ο κύριος λόγος που οδήγησε στην ανακοίνωση της World IPv6 Day ήταν η αξιολόγηση των δικτύων και οι επιπτώσεις του IPv6 brokenness που είχε εμφανιστεί σε διάφορες δοκιμές που είχαν γίνει. Για ένα 24ώρο λοιπόν, μεγάλες εταιρίες του διαδικτύου αλλά και γενικότερα του χώρου της πληροφορικής ενεργοποίησαν το IPv6 στις κεντρικές σελίδες τους. Παρακάτω φαίνονται μερικές από τις εταιρίες που συμμετείχαν στο World IPv6 Day:

- Comcast
- Google
- Facebook
- Yahoo
- Yandex
- YouTube
- Akamai Technologies
- LimeLight Networks
- Microsoft
- Vonage
- AOL
- Mapquest

- Cisco
- Huawei
- US Department of Commerce
- BBC
- Mastercard

Δεδομένης της επιτυχίας του IPv6 World Day η εκδήλωση επαναλήφθηκε στις 6 Ιουνίου του 2012. Αυτή την φορά όμως αποφασίστηκε να μείνει μόνιμα ενεργοποιημένο το IPv6 στις σελίδες των συμμετοχοντών.

Το World IPv6 Day ήταν μια πολύ σημαντική μέρα για τις εταιρίες που συμμετείχαν. Μέχρι τότε οι εταιρίες αυτές έκαναν προσπάθειες ώστε τα δίκτυα τους να υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPv6 αλλά μέχρι εκείνη την στιγμή δεν είχαν την δυνατότητα να δοκιμάσουν σε πραγματικές συνθήκες τις αλλαγές και τις υποδομές που είχαν.

3.4 Ρυθμοί μετάδοσης

Το World IPv6 Launch παρακολουθεί την διείσδυση του IPv6 στους συμμετοχοντές από την ολοκλήρωση της εκδήλωσης της 6 Ιουνίου του 2012 μέχρι σήμερα και μας παρέχει διάφορα στατιστικά στοιχεία. Παρακάτω θα δούμε την πορεία του ποσοστού χρήσης του IPv6 για μεγάλους παρόχους και άλλες εταιρίες και στην συνέχεια θα αναφερθούν μερικές παρατηρήσεις.

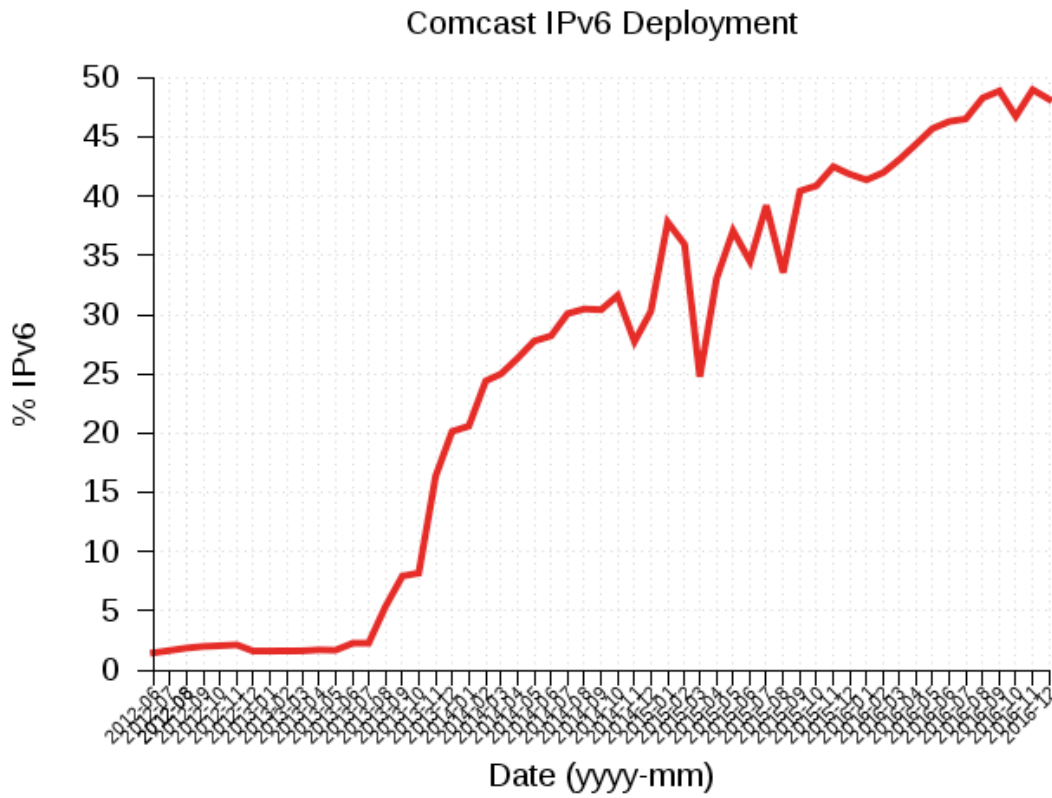


Figure 1: Comcast

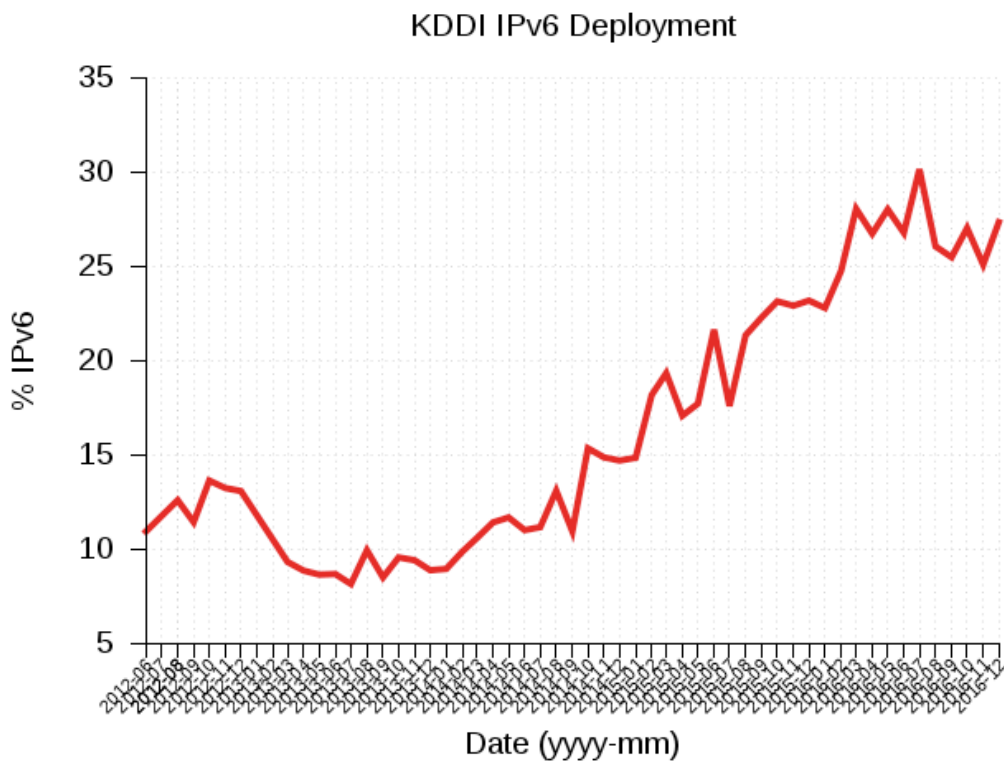


Figure 2: KDDI

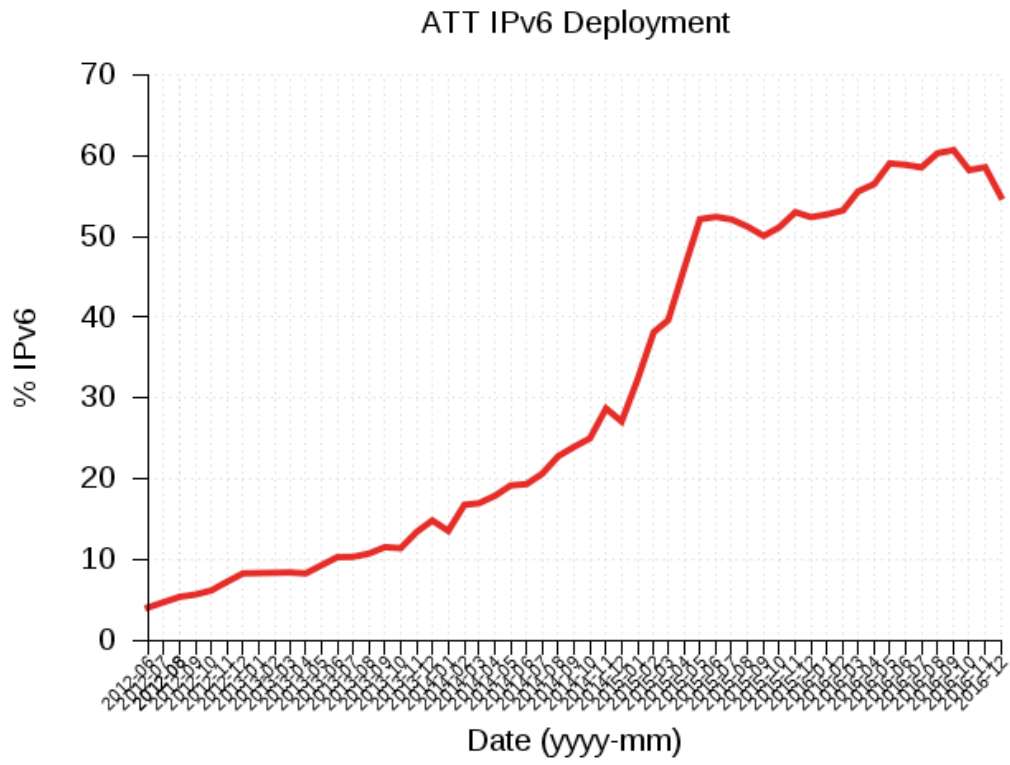
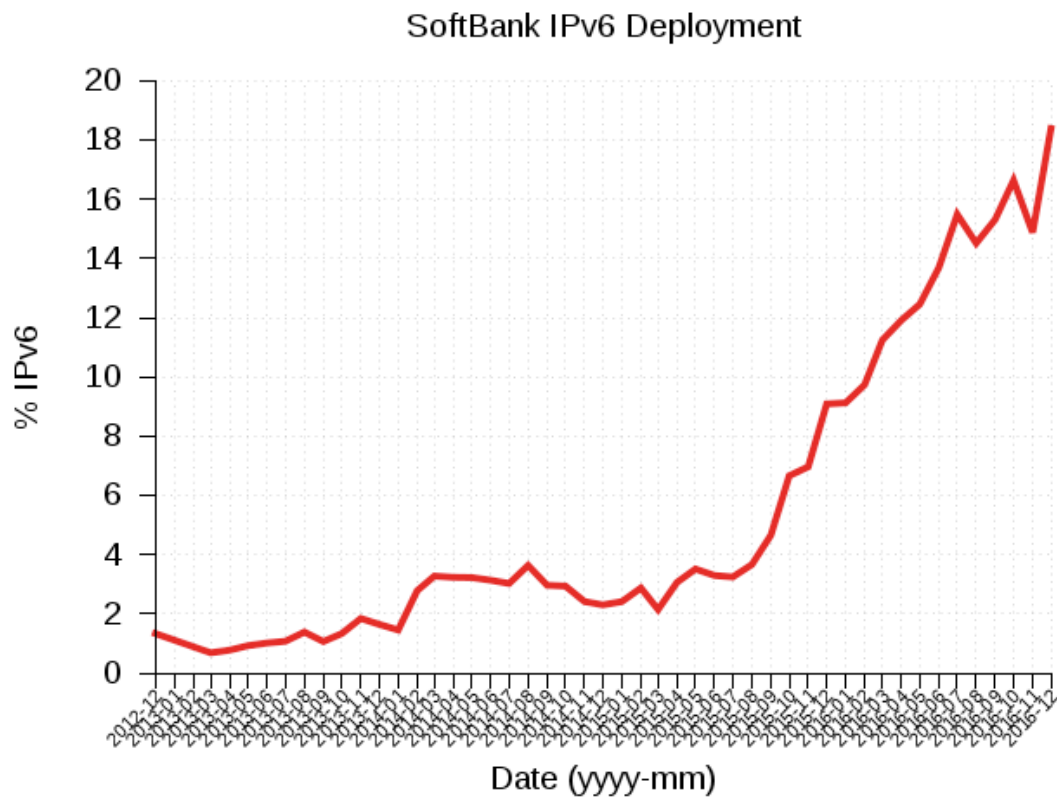
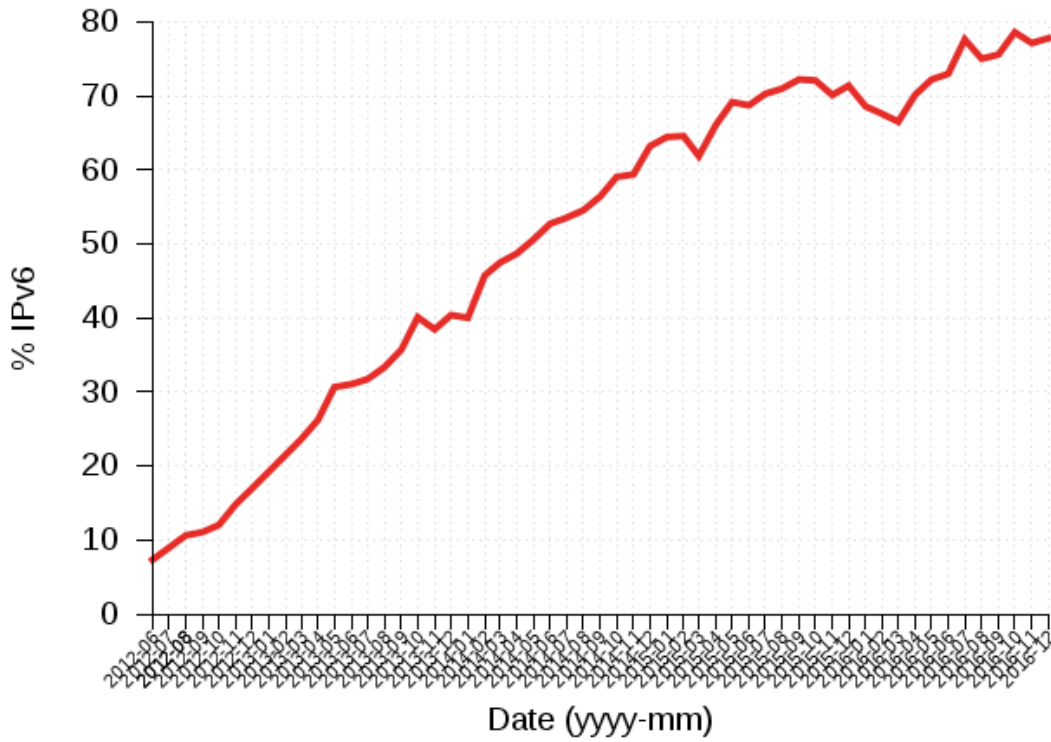


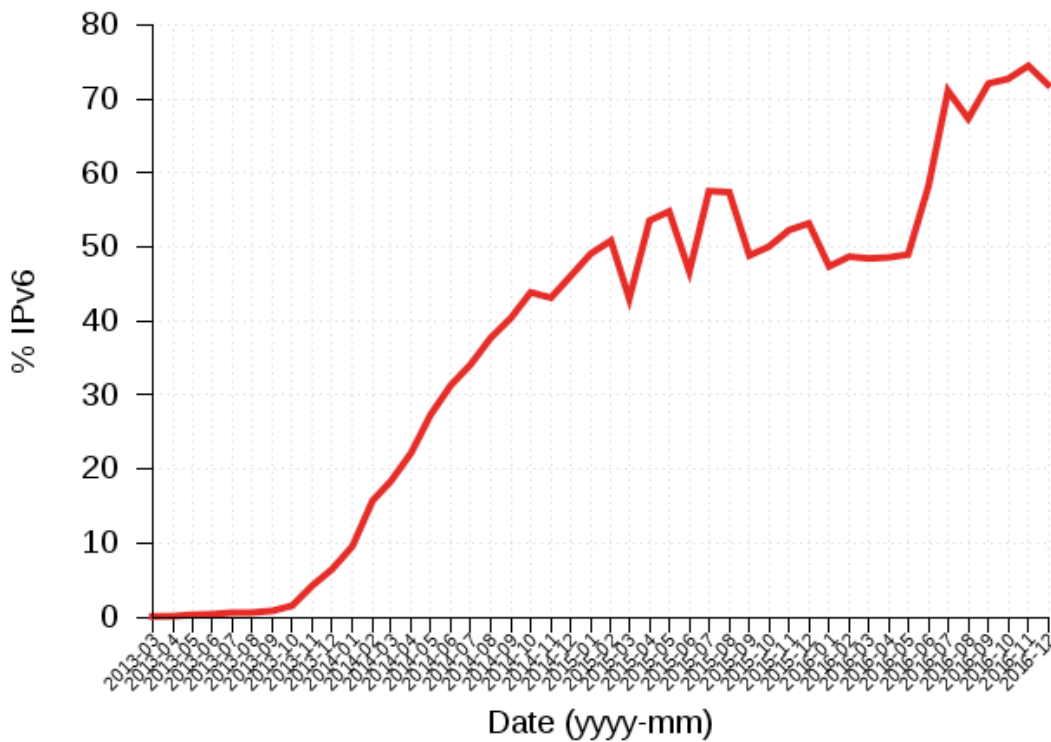
Figure 3: ATT



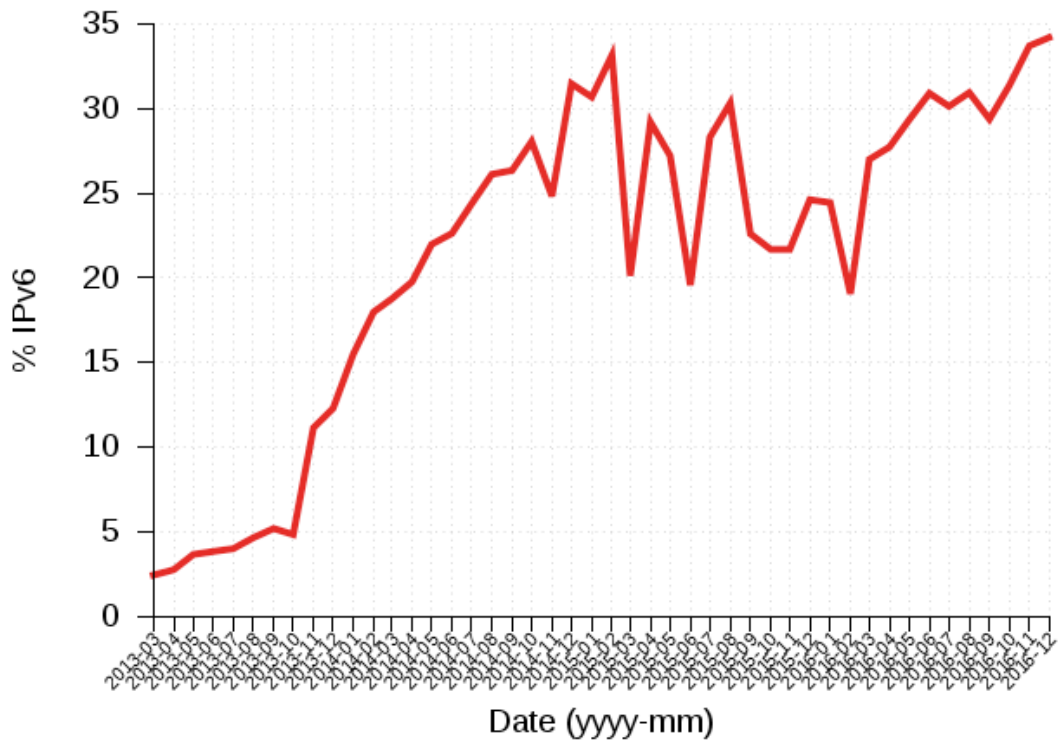
Verizon Wireless IPv6 Deployment



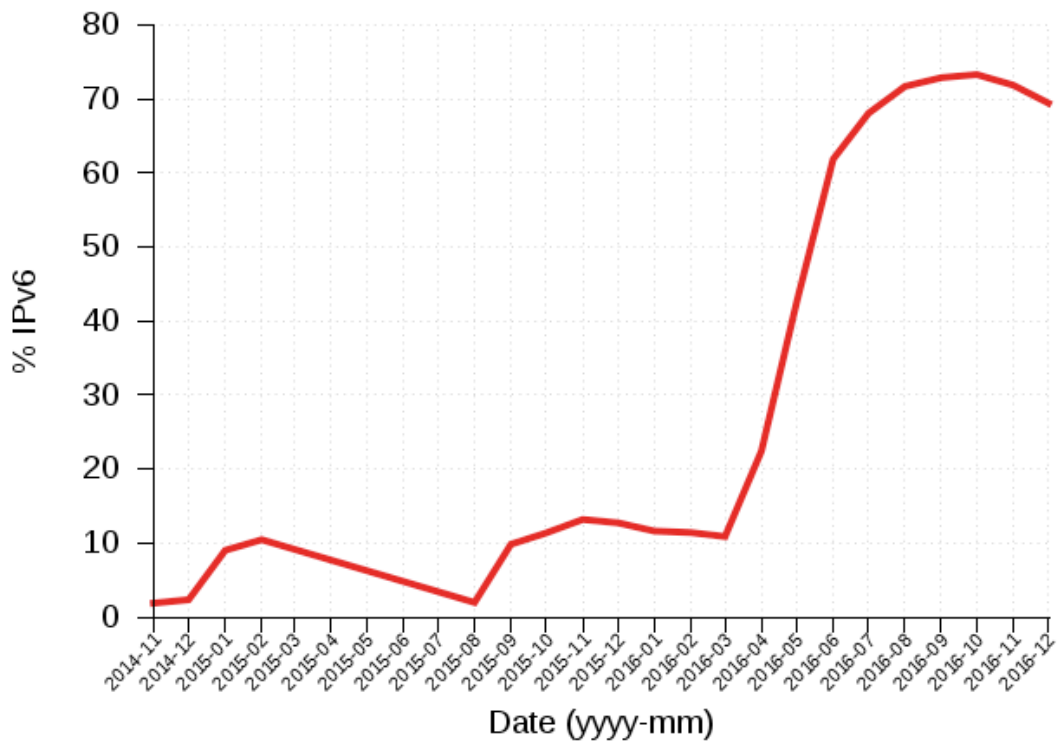
T-Mobile USA IPv6 Deployment

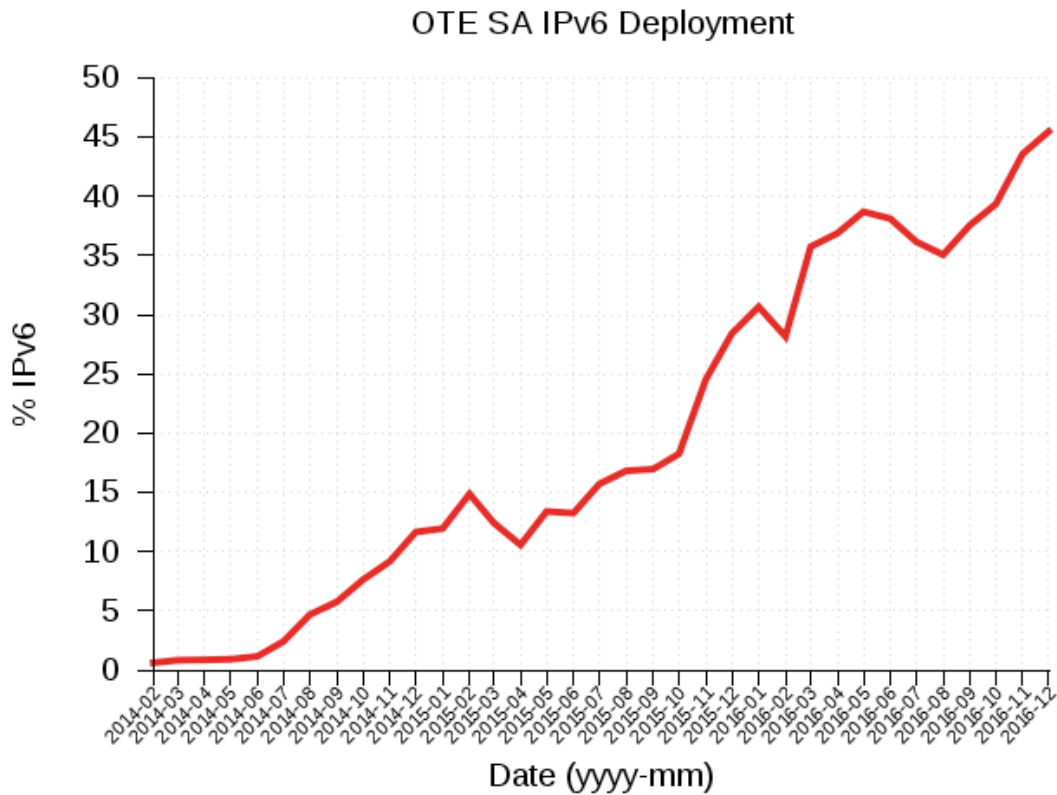


Deutsche Telekom AG IPv6 Deployment



British Sky Broadcasting IPv6 Deployment

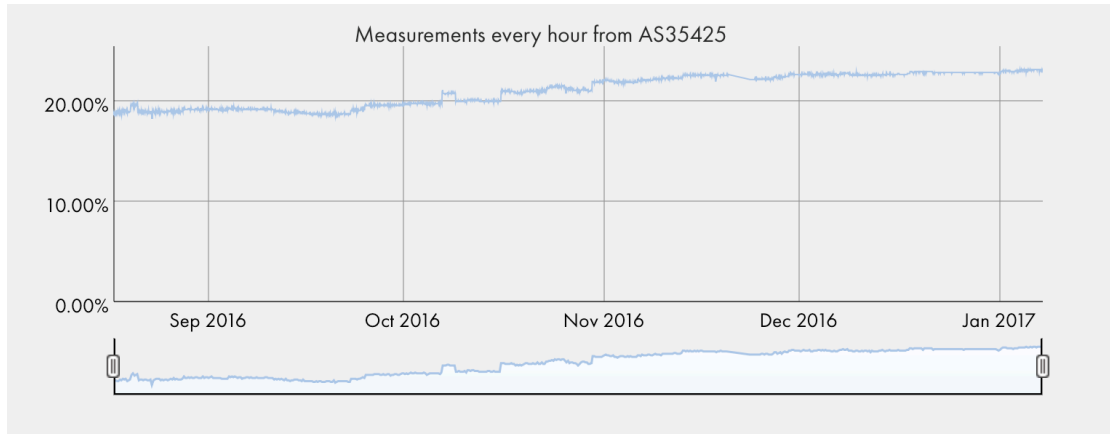




Κοιτώντας τα γραφήματα που μας παρέχει το

<http://www.worldipv6launch.org> μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι η χρήση του IPv6 στα δίκτυα των εταιριών άρχισε να αυξάνεται κατά κύριο λόγο από τα μέσα του 2013. Από εκείνο το σημείο και μετά η πορεία της διάδοσης του IPv6 είναι κυρίως ανοδική. Σε μερικά δίκτυα το deployment του IPv6 έχει φτάσει το ποσοστό του 98% ενώ σε άλλα είναι κοντά στο 0%. Βέβαια σημαντικό ρόλο στη διείσδυση του IPv6 παίζει και το μέγεθος του δικτύου και η περιπλοκότητα του. Για παράδειγμα, στο δίκτυο του Comcast το IPv6 χρησιμοποιείται σε ποσοστό 48.19% και του ATT σε ποσοστό 54.92% σύμφωνα με τις πληροφορίες από το World IPv6 Launch.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το ποσοστό χρήσης του IPv6 για τις 1000 κορυφαίες ιστοσελίδες σύμφωνα με το Alexa. Όπως φαίνεται το ποσοστό αυτό είναι λίγο παραπάνω από 20% και συγκεκριμένα 23.20%.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

Δημοσιεύσεις:

Κεφάλαιο 2.2:

Δημήτριος Θ. Φιλιππίδης,, Μηχανισμοί Μετάβασης από το IPv4 στο IPv6 Πρωτόκολλο, Μελέτη του 6to4 Μηχανισμού, Σχεδίαση και Υλοποίηση της 6to4 MIB, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2005

http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2005-0085/DT2005-0085.pdf

URLs:

Κεφάλαιο 1.1 & 1.2:

IPv6, Wikipedia

<https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6>

IPv6, Βικιπαίδεια

<https://el.wikipedia.org/wiki/IPv6>

Google IPv6, Google

<https://www.google.com/intl/en/ipv6/>

Συχνές Ερωτήσεις (FAQ), OTE

http://ipv6.ote.gr/?page_id=71

Κεφάλαιο 1.3:

IPv4 address exhaustion, Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/IPv4_address_exhaustion

Internet Assigned Numbers Authority (IANA), Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Internet Assigned Numbers Authority](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Assigned_Numbers_Authority)

Internet Assigned Numbers Authority (IANA), IANA

<http://www.iana.org/>

Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN),
Wikipedia

<https://en.wikipedia.org/wiki/ICANN>

Regional Internet registry (RIR), Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/Regional_Internet_registry

Regional Internet Registries (RIR), What Is My IP Address

<http://whatismyipaddress.com/rir>

Regional Internet Registries (RIR), NRO

<https://www.nro.net/about-the-nro/regional-internet-registries>

Regional Internet Registries (RIR), ARIN

<https://www.arin.net/knowledge/rirs.html>

Κεφάλαιο 1.4:

Prefixes in IPv6, Oracle

<http://docs.oracle.com/cd/E19253-01/816-4554/ipv6-overview-170/index.html>

What is prefix in IPv6, Omnisecu

<http://www.omnisecu.com/tcpip/ipv6/what-is-prefix-in-ipv6.php>

Internet layer IP subnetting, Omnisecu

<http://www.omnisecu.com/tcpip/internet-layer-ip-subnetting-part1.php>

Karl Auer, IPv6 Prefix Primer, Απρίλιος 2011

<http://www.ipv6now.com.au/primers/IPv6PrefixPrimer.pdf>

Κεφάλαιο 2.1:

Differences between IPv4 and IPv6, Omnisecu

<http://www.omnisecu.com/tcpip/ipv6/differences-between-ipv4-and-ipv6.php>

IPv6 – IPv4 differences, Webopedia

http://www.webopedia.com/DidYouKnow/Internet/ipv6_ipv4_difference.html

What is the difference between IPv4 and IPv6 - Electronicdesign

<http://electronicdesign.com/embedded/whats-difference-between-ipv4-and-ipv6>

Κεφάλαιο 2.2:

Dual Stack Network, Cisco, 2010

http://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/gov/IPV6at_a_glance_c45-625859.pdf

IPv6 Transition Mechanism, Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6_transition_mechanism

IPv6 Transition Mechanism, RIPE

<https://www.ripe.net/support/training/learn-online/videos/ipv6/transition-mechanisms>

Scott Hogg, IPv6: Dual stack where you can; tunnel where you must, NetworkWorld, Σεπτέμβριος 2007

<http://www.networkworld.com/article/2285078/tech-primers/ipv6--dual-stack-where-you-can--tunnel-where-you-must.html>

Sean Wilkins, IPv6 Translation and Tunneling Technologies, Cisco Press, Ιούνιος 2013

<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2104947>

Transition From IPv4 to IPv6, Tutorialspoint

https://www.tutorialspoint.com/ipv6/ipv6_ipv4_to_ipv6.htm

Luka Koršič, Matjaž Straus Istenič, IPv4/IPv6 Transition Mechanisms, LTFE, 2011

https://www.ripe.net/participate/meetings/regional-meetings/dubrovnik-2011/presentations/IPv6_Transition_Mechanisms_Ripe_07092011_v1.2.pdf

Kaushik Das, IPv6 Header Deconstructed

<http://www.ipv6.com/articles/general/IPv6-Header.htm>

Κεφάλαιο 3:

IPv6 Deployment, Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6 - Deployment](https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6_-_Deployment)

IPv6 Deployment, Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6_deployment

Google IPv6 Statistics, Google

<https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>

IPv6 Measurements, WorldIPv6Launch

<http://www.worldipv6launch.org/measurements/>

IPv6 in Numbers, APNIC

<https://www.apnic.net/community/ipv6-program/data>

6lab – The place to monitor IPv6 adoption, Cisco

<http://6lab.cisco.com/stats/>

IPv6 Adoption Visualization, Akamai

<https://www.akamai.com/uk/en/our-thinking/state-of-the-internet-report/state-of-the-internet-ipv6-adoption-visualization.jsp>

ILJITSCH VAN BEIJNUM, IPv6 celebrates its 10th birthday by reaching 10 percent deployment, Arstechnica, Ιανουάριος 2016

<http://arstechnica.com/business/2016/01/ipv6-celebrates-its-20th-birthday-by-reaching-10-percent-deployment/>

IPv6 Deployment Aggregated Status, Vyncke

<https://www.vyncke.org/ipv6status/>

Monthly statistics, IPv6-Test

<http://ipv6-test.com/stats/>

IPv6 Frequently Asked Questions, InternetSociety

<http://www.internetsociety.org/ipv6-frequently-asked-questions#twentysix>

Kaushik Das, IPv6 – The History and Timeline, IPv6

<http://www.ipv6.com/articles/general/timeline-of-ipv6.htm>

Αναφορές:

Πρότυπα: