



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΜΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ποιότητα Υπηρεσιών και Καταμερισμός Ροών
Κυκλοφορίας με χρήση της MPLS Τεχνολογίας**

Γρηγόριος Πολύζος

Επιβλέπων: Ελευθέριος Στέργιου
Αναπληρωτής καθηγητής

Άρτα , Φεβρουάριος 2022

Quality of Service (QoS) and Traffic Engineering (Traffic Engineering) using MPLS Technology

Gregori Polyzos

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Φεβρουάριος 2022, Άρτα

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Στεργίου Ελευθέριος,

Αναπληρωτής Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Αγγέλης Κωνσταντίνος

Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Μαργαρίτη Σπυριδούλα

ΕΔΙΠ

© Πολύζος, Γρηγόριος , 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Γρηγόριος Πολύζος

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Περίληψη εργασίας

Η διπλωματική αυτή εργασία ασχολείται με την διερεύνηση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) δρομολογητών χαμηλού κόστους μέσω των πρωτοκόλλων OSFP & MPLS (Traffic Engineering). Τεχνική η οποία μπορεί να βρει χρήση σε δίκτυα παρόχων (ISPs). Όπως είναι γνωστό μέσω του διαδικτύου και με τον υφιστάμενο τρόπο σύνδεσης, η βασική υπηρεσία ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που προσφέρεται είναι η υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας (best effort) χωρίς να παρέχει κάποιες εγγυήσεις για την ταχύτητα διασύνδεσης και της ποιότητας. Οι αυξανόμενες ανάγκες αλλά και η αξιόπιστη λειτουργία είναι πλέον ζωτικής σημασίας για την ορθή λειτουργία του δικτύου αλλά και των εφαρμογών που το χρησιμοποιούν .

Ωστόσο υπάρχουν εφαρμογές που απαιτούν ορισμένες εγγυήσεις (κυρίως σε καθυστέρηση και απόρριψη πακέτων) όπως οι εφαρμογές μετάδοσης δεδομένων πραγματικού χρόνου (π.χ. IP τηλεφωνία (voice over IP - VoIP) και τηλεδιάσκεψη (videoconference)). Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι προκειμένου να επιτευχθεί καλή ποιότητα υπηρεσίας από άκρο-σε-άκρο, πέρα από την ανάγκη για επέκταση της ποιότητας υπηρεσίας στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων, προκύπτει και η απαίτηση για διαλειτουργικότητα με ήδη υπάρχουσες υλοποιήσεις στο επίπεδο δικτύου. Κύριος στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη παροχής βέλτιστης ποιότητας υπηρεσίας των δικτύων. Οι δρομολογητές που θα μελετηθούν ανήκουν στην κατηγορία συσκευών χαμηλού κόστους οι οποίοι όμως διαθέτουν πληθώρα λειτουργιών. Αξίζει να σημειωθεί πως πριν από λίγο καιρό οι συσκευές αυτές ανήκαν στην κατηγορία των συσκευών με πολύ υψηλό κόστος σχεδόν απαγορευτικό θα έλεγε κανείς για τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις ISP. Καταληκτικά τα υπό μελέτη σενάρια δεν θα υλοποιηθούν πάνω στις ίδιες τις συσκευές αλλά θα παραμετροποιηθούν σε περιβάλλον εξομοίωσης.

Abstract

This thesis deals with the investigation of QOS quality (Quality of Service) through OSPF and MPLS (Traffic Engineering) protocols in low-cost routerboards for application in ISP networks. As it is known through the internet and with the existing way of connection, the basic QOS Service offered is the best effort service without providing any guarantees for connection speed and quality. The growing needs and reliable operation are now vital for the proper operation of the network and the applications that use it.

However, there are applications that require certain guarantees (mainly in delay and packet rejection) such as real-time data transmission applications (e.g., IP telephone or Voice Over IP-(VOIP) and videoconference). From the above it can be seen that in order to achieve end-to-end quality of service, beyond the need to extend the quality of service at the data link level, there is also the requirement for interoperability with already existing configurations at the network level. The goal of this master's thesis is to study the provision of the quality of service.

The router boards that will be studied belong to the category of low-cost devices that provide a multitude of functions. It is worth to say that the running period this device has changed category from the high cost to low-cost. Finally, the scenarios will not be implemented on the devices themselves but will be configured in a simulator.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--|----|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ..... | 6 |
| Περίληψη εργασίας..... | 7 |
| Abstract..... | 8 |
| Πίνακας Εικόνων | 10 |
| Απόδοση όρων - Γλωσσάριο | 11 |
| 1.Εισαγωγή | 12 |
| 1.1 Δομή Μεταπτυχιακής Εργασίας | 12 |
| 2. Μελέτη υπηρεσίας εγγυημένου εύρους ζώνης..... | 14 |
| 2.1 Εισαγωγή | 14 |
| 2.2 Μελέτη παροχής εγγυημένου εύρους ζώνης σε MPLS domains | 14 |
| 2.2.1 Γενική περιγραφή του MPLS πρωτοκόλλου..... | 14 |
| 2.3 Βασικές λειτουργίες του MPLS πρωτοκόλλου : | 16 |
| 2.4 Απαραίτητα στοιχεία λειτουργίας του MPLS πρωτοκόλλου..... | 17 |
| 2.5 Λογική λειτουργίας του πρωτοκόλλου MPLS..... | 19 |
| 2.5.1 Πως πραγματοποιείται η ανάθεση μιας ετικέτας σε ένα πακέτο | 19 |
| 2.5.2 Πως επιτυγχάνεται η μεταγωγή μιας ετικέτας | 20 |
| 2.6 Πως επιτυγχάνεται η δημιουργία αντιστοιχιών μεταξύ FEC και των διάφορων διευθύνσεων .. | 20 |
| 3. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας του πρωτοκόλλου MPLS | 21 |
| 3.1 Traffic Engineering..... | 22 |
| 3.1.1 Τι εννοούμε με τον όρο Traffic Engineering ; | 22 |
| 3.2 MPLS και Traffic Engineering | 22 |
| 3.2.1 Τι προσφέρει η τεχνολογία του MPLS Traffic Engineering..... | 22 |
| 3.2.1.1 Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας..... | 23 |
| 3.2.1.2 Μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας..... | 23 |
| 3.3 MPLS Traffic engineering και πρωτόκολλο TCP-IP..... | 23 |
| 3. Εργαστηριακό μέρος..... | 25 |
| 4.1 Βήματα εγκατάστασης των παραπάνω προγραμμάτων για την υλοποίηση της εργασίας..... | 25 |
| 4.1.1 Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση | 27 |
| 4.1.2 Ρυθμίσεις εργαστηρίου | 28 |
| 4.2 Σενάριο και εφαρμογή του πρωτοκόλλου MPLS | 30 |
| 4.3 Παρατηρήσεις που προέκυψαν από το configuration του Traffic Engineering | 35 |
| 4.4 Συμπεράσματα | 40 |
| 4. Βιβλιογραφία | 47 |

Πίνακας Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1 MPLS and Traffic Engineering | 22 |
| Εικόνα 2 Download mikrotik winbox..... | 25 |
| Εικόνα 3 Install Winbox | 26 |
| Εικόνα 4 Install VMware..... | 26 |
| Εικόνα 5 Install GNS3 | 27 |
| Εικόνα 6 Chr download image..... | 28 |
| Εικόνα 7 chr download | 28 |
| Εικόνα 8 Network Diagram | 29 |
| Εικόνα 9 Διαδρομή του Traffic Engineering | 29 |
| Εικόνα 10 Σενάριο και εφαρμογή του πρωτοκόλλου MPLS..... | 30 |
| Εικόνα 11 Traffic Engineering scenario | 31 |
| Εικόνα 12 Configuration P1 | 32 |
| Εικόνα 13 Configuration P2 | 33 |
| Εικόνα 14 Speed tests | 34 |
| Εικόνα 15 Κίνηση στην ethernet 1 | 35 |
| Εικόνα 16 Κίνηση στην ethernet 3 | 36 |
| Εικόνα 17 Traffic Engineering in PE1..... | 37 |
| Εικόνα 18 Traffic engineering in CE1 | 38 |
| Εικόνα 19 Traffic Engineering | 38 |
| Εικόνα 20 Traffic Engineering BI DIR..... | 39 |
| Εικόνα 21 Traffic Engineering ONE DIR. | 39 |

Απόδοση όρων - Γλωσσάριο

TCP-IP

Traffic Engineering

MPLS

Δίκτυο

Ασύρματο δίκτυο

Configuration - υλοποίηση

Πρωτόκολλο

Label

Mikrotik Winbox

GNS3

VMware

Τεχνολογία

Μεταγωγή ετικέτας

Κόστος

Δρομολογητής

1.Εισαγωγή

1.1 Δομή Μεταπτυχιακής Εργασίας

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

1.1 Δομή Μεταπτυχιακής Εργασίας

Κεφάλαιο 2^ο : Μελέτη υπηρεσίας εγγυημένου εύρους ζώνης

2.1 Εισαγωγή

2.2 Μελέτη παροχής εγγυημένου εύρους ζώνης σε MPLS domains

2.2.1 Γενική περιγραφή του MPLS πρωτοκόλλου

2.3 Βασικές λειτουργίες του MPLS πρωτοκόλλου

2.4 Απαραίτητα στοιχεία λειτουργίας του MPLS πρωτοκόλλου

2.5 Λογική λειτουργίας του πρωτοκόλλου MPLS

2.5.1 Πως πραγματοποιείται η ανάθεση μιας ετικέτας σε ένα πακέτο

2.5.2 Πως επιτυγχάνεται η μεταγωγή μιας ετικέτας

2.6 Πως επιτυγχάνεται η δημιουργία αντιστοιχιών μεταξύ FEC και των διάφορων διευθύνσεων

Κεφάλαιο 3^ο : Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας του πρωτοκόλλου MPLS

3.1 Traffic Engineering

3.1.1 Τι εννοούμε με τον όρο Traffic Engineering ;

3.2 MPLS και Traffic engineering

3.2.1 Τι προσφέρει η τεχνολογία του MPLS Traffic Engineering

3.2.1.1 Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης Τεχνολογίας

3.2.1.2 Μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας

3.3 MPLS Traffic engineering και πρωτόκολλο TCP-IP

Κεφάλαιο 4^ο : Πρακτικό μέρος

4.1 Βήματα εγκατάστασης των παραπάνω προγραμμάτων για την υλοποίηση της εργασίας.

4.1.1 Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση

4.1.2 Ρύθμιση εργαστηρίου

4.2 Σενάριο και εφαρμογή του πρωτοκόλλου MPLS

4.3 Παρατηρήσεις που προέκυψαν από το configuration του Traffic Engineering

4.4 Βιβλιογραφία

2. Μελέτη υπηρεσίας εγγυημένου εύρους ζώνης

2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει μια μελέτη για την παροχή μιας υπηρεσίας εγγυημένου εύρους ζώνης σε δίκτυα που είναι MPLS **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** enabled και αντίστοιχα σε δίκτυα που δεν χρησιμοποιούν την τεχνική MPLS. Στην πρώτη περίπτωση σεναρίων χρησιμοποιούνται πρωτοπόρες τεχνικές της MPLS τεχνολογίας, ενώ αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση γίνεται χρήση των κλασικών DiffServ τεχνικών.

2.2 Μελέτη παροχής εγγυημένου εύρους ζώνης σε MPLS domains

2.2.1 Γενική περιγραφή του MPLS πρωτοκόλλου

Το πρωτόκολλο MPLS αποτελεί μια ραγδαία εξελισσόμενη τεχνολογία η οποία τροποποιεί την αρχιτεκτονική της IP δρομολόγησης ενοποιώντας τη λειτουργικότητα των επιπέδων δικτύου (network layer στο μοντέλο OSI) και διασύνδεσης δεδομένων (data link layer στο μοντέλο OSI)[1]. Στόχος της τεχνολογίας αυτής είναι η βελτίωση της απόδοσης της προώθησης των IP πακέτων και η υποστήριξη εξελιγμένων χαρακτηριστικών του επιπέδου δικτύου. Η αρχιτεκτονική αυτή προτάθηκε από την IETF (Internet Engineering Task Force) και βασίζεται σε συγκεκριμένα πρότυπα που είχε δημιουργήσει αυτός ο διεθνής οργανισμός. Στις περιπτώσεις που η τεχνική αυτή συνδυάζεται με τα υπάρχοντα IP δίκτυα προσφέρει αξιοπιστία, ποιότητα υπηρεσίας και χαρακτηριστικά προώθησης προσανατολισμένης στη σύνδεση, των τεχνολογιών μεταγωγής του επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων. Ταυτόχρονα διατηρεί την ευελιξία και τη δυνατότητα κλιμάκωσης της δρομολόγησης του επιπέδου δικτύου.

Η βασική λογική της λειτουργίας του MPLS συνίσταται στο να μαρκάρει την κυκλοφορία στα σημεία εισόδου ενός δικτύου και αντίστοιχα να απομακρύνει το μαρκάρισμα στα σημεία εξόδου, επαναφέροντάς τα πακέτα στην αρχική τους μορφή[2]. Το μαρκάρισμα γίνεται με τη χρήση των MPLS ετικετών μεγέθους 20bit και ο στόχος του μαρκαρίσματος είναι να καθορίζεται κάθε φορά ο επόμενος δρομολογητής στον οποίο θα κατευθύνονται τα πακέτα. Το MPLS δεν ελέγχεται από τις εφαρμογές και δεν έχει κανένα στοιχείο πρωτοκόλλου τελικού host αλλά ανήκει αποκλειστικά στους δρομολογητές. Παράλληλα, το MPLS είναι ανεξάρτητο

από τα δικτυακά πρωτόκολλα (multi-protocol) και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορα από αυτά (ATM, PPP, Frame-Relay, Ethernet και Token Ring) ή ακόμα και πρωτόκολλα πάνω από το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων.

Γενικότερα έχει την δυνατότητα να συνδυάζει τη τεχνολογία μεταγωγής του επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων με τις υπηρεσίες του επιπέδου δικτύου, ενώ παράλληλα μειώνει την πολυπλοκότητα και τα λειτουργικά κόστη[3]. Η χρήση της MPLS τεχνολογίας δεν αντικαθιστά την IP δρομολόγηση, αλλά μπορεί να λειτουργήσει παράλληλα με αυτή.

Η σημασία του πρωτοκόλλου MPLS αποδεικνύεται από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στα σύγχρονα δίκτυα και τα οποία περιγράφονται ακολούθως[4]:

- Λειτουργικότητα
- Κλιμάκωση (Scalability)
- Εξέλιξη
- Ολοκλήρωση

Ωστόσο, προκειμένου το πρωτόκολλο MPLS να λειτουργεί αποδοτικά θα πρέπει να ικανοποιούνται μια σειρά από προϋποθέσεις οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω:

- Οι MPLS τεχνολογίες κορμού πρέπει να είναι συμβατές με μια ευρεία σειρά πρωτοκόλλων δρομολόγησης και να μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από υποκείμενα πρωτόκολλα δρομολόγησης.
- Το MPLS πρέπει να παρέχει μηχανισμούς πρωτοκόλλων που να μπορούν να εμποδίσουν το σχηματισμό βρόχων.
- Η MPLS προώθηση πρέπει να επιτρέπει προώθηση συνόλου ροών (aggregate forwarding) των δεδομένων του χρήστη. Δηλαδή, πρέπει να επιτρέπει τη μεταφορά πολλαπλών ροών δεδομένων σαν μια ενιαία ροή και να εξασφαλίζει ότι το συγκεκριμένο σύνολο ροών θα ακολουθεί ένα μόνο μονοπάτι.
- Το MPLS πρέπει να υποστηρίζει διαχείριση και διατήρηση τουλάχιστον των δυνατοτήτων και των λειτουργιών που υποστηρίζονται στα τυπικά IP δίκτυα. Τα σύγχρονα εργαλεία δικτυακής διαχείρισης και διάγνωσης πρέπει να συνεχίσουν να λειτουργούν έτσι ώστε να παρέχεται κάποια συμβατότητα.

- Οι MPLS τεχνολογίες κορμού πρέπει να μπορούν να λειτουργούν με unicast και multicast ροές.
- Κατά τον καθορισμό του MPLS πρέπει να μελετηθούν και να αναλυθούν θέματα σχετικά με την κλιμάκωση (scalability).
- Οι MPLS τεχνολογίες πρέπει να μπορούν να λειτουργούν με $O(n)$ ροές για να μεταφέρουν όλη την best-effort κυκλοφορία, όπου n είναι το πλήθος των κόμβων ενός MPLS τομέα. Τα MPLS πρωτόκολλα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται το hardware το οποίο υποστηρίζει συνένωση των ροών όπου κρίνεται κατάλληλο.
- Τα πρότυπα του MPLS πρέπει να αποτελούν μια αυτόνομη λύση-επιλογή, η οποία δεν πρέπει να απαιτεί ειδικά hardware χαρακτηριστικά που ενδεχομένως δεν υπάρχουν-υποστηρίζονται στον εξοπλισμό του δικτύου.
- Το MPLS πρέπει να είναι συμβατό με το μοντέλο των Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών (Integrated Services), συμπεριλαμβανομένου και του RSVP (Resource Reservation Protocol).
- Τα MPLS switches θα πρέπει να είναι δυνατό να συνυπάρχουν με non-MPLS switches στο ίδιο δίκτυο, χωρίς να τους προσθέτουν απαίτηση για επιπλέον διαμόρφωση.
- Το MPLS πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο ίδιο δίκτυο στο οποίο λειτουργούν ταυτόχρονα πρωτόκολλα επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων.
- Το MPLS πρέπει να υποστηρίζει ανάθεση των ετικετών τόσο βάση της τοπολογίας όσο και βάση της κυκλοφορίας και των αιτήσεων.

2.3 Βασικές λειτουργίες του MPLS πρωτοκόλλου :

Στην συγκεκριμένη ενότητα περιγράφονται αναλυτικά οι βασικές λειτουργίες που απαιτούνται για την ορθή λειτουργία του πρωτοκόλλου MPLS. Για να επιτευχθεί αυτό, υπάρχουν ορισμένοι όροι οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω και είναι οι εξής[5] :

- **Forwarding Equivalence Class – FEC:** Είναι ένα σύνολο IP πακέτων που προωθούνται με τον ίδιο τρόπο (δηλ., μέσω του ίδιου μονοπατιού και τυγχάνουν ίσης μεταχείρισης). Η ανάθεση ενός πακέτου σε κάποια ξεχωριστή FEC γίνεται μόνο μια φορά, καθώς το πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο. Οι FECs βασίζονται στις απαιτήσεις εξυπηρέτησης για ένα δεδομένο σύνολο πακέτων ή απλά σε κάποιο πρόθεμα της διεύθυνσης.
- **MPLS Label:** Ένα label (ετικέτα) είναι μια μικρή, σταθερού μήκους επικεφαλίδα που χρησιμοποιείται για την προώθηση των πακέτων. Η διάταξη της επικεφαλίδας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του δικτύου. Στα δίκτυα δρομολογητών, η ετικέτα είναι μια ξεχωριστή 32-bit επικεφαλίδα. Στα ATM δίκτυα, η ετικέτα τοποθετείται εντός της virtual channel identifier/virtual path identifier (VCI/VPI) επικεφαλίδας του cell. Στο δίκτυο κορμού, οι δρομολογητές διαβάζουν μόνο την ετικέτα και όχι όλη την επικεφαλίδα του πακέτου. Κρίσιμο σημείο για τη διαβάθμιση του MPLS αποτελεί το γεγονός ότι οι ετικέτες έχουν μόνο τοπική σημασία για την αναγνώριση μιας FEC μεταξύ των δύο συσκευών που επικοινωνούν.

2.4 Απαραίτητα στοιχεία λειτουργίας του MPLS πρωτοκόλλου

Όπως κάθε αντικείμενο στο τομέα των δικτύων αλλά και της Πληροφορικής γενικότερα , βασίζεται σε ορισμένα στοιχεία τα οποία είναι χαρακτηριστικά για κάθε έννοια , έτσι και στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο για να επιτευχθεί η σωστή λειτουργία του υπάρχουν ορισμένα απαραίτητα στοιχεία . Τα συγκεκριμένα στοιχεία παρουσιάζονται παρακάτω και είναι τα εξής[6] :

- **Label Switched Path – LSP:** Το μονοπάτι που καθορίζεται από όλες τις ετικέτες που ανατίθενται ανάμεσα σε δύο τελικά σημεία. Ένα LSP μπορεί να είναι δυναμικό ή στατικό.
- **Label Switched Hop:** Το hop μεταξύ δύο MPLS κόμβων, στο οποίο η προώθηση γίνεται με χρήση ετικετών.

- **Label Distribution Protocol – LDP:** Αποτελεί ένα πρωτόκολλο που καθιστά δυνατή την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου και των αντίστοιχων που ανήκουν στο δίκτυο κορμού. Αναθέτει ετικέτες στις συσκευές των άκρων και του δικτύου κορμού με στόχο την εγκατάσταση των LSPs μαζί με την υποστήριξη των πρωτοκόλλων δρομολόγησης.
- **Label Switch Router – LSR:** Η συσκευή του δικτύου κορμού που πραγματοποιεί μεταγωγή των πακέτων που έχουν πλέον ετικέτες σύμφωνα με προϋπολογισμένους πίνακες μεταγωγής. Είναι ένας δρομολογητής υψηλής ταχύτητας στον πυρήνα κάποιου MPLS δικτύου ο οποίος συμμετέχει στην αναγνώριση των LSPs χρησιμοποιώντας το κατάλληλο πρωτόκολλο σηματοδοσίας ετικετών και μεταγωγή υψηλής ταχύτητας των δεδομένων που βασίζεται στα εγκατεστημένα μονοπάτια.
- **Label Edge Router – LER (ή Edge LSR):** Η συσκευή στο άκρο του δικτύου που πραγματοποιεί την αρχική επεξεργασία και κατηγοριοποίηση του πακέτου, και εφαρμόζει την πρώτη ετικέτα. Αυτή η συσκευή μπορεί να είναι είτε ένας δρομολογητής, ή ένα switch με ενσωματωμένες ιδιότητες δρομολόγησης. Πρόκειται για τη συσκευή στην οποία ξεκινά και τερματίζεται ένα LSP. Ένας LER υποστηρίζει πολλαπλές θύρες (ports) συνδεδεμένες σε διαφορετικά δίκτυα (όπως Frame Relay, ATM, και Ethernet) και προωθεί την κυκλοφορία πάνω στο MPLS δίκτυο μετά την αναγνώριση των LSPs. Η αναγνώρισή τους πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο σηματοδοσίας ετικέτας κατά την είσοδο της κίνησης στο δίκτυο.
- **Ingress LER:** Ο LER που λαμβάνει δεδομένα από την IP πηγή, τα κατηγοριοποιεί και τα εγχέει σε ένα LSP για μετάδοση μέσα στο δίκτυο.
- **Egress LER:** Ο αντίστοιχος του ingress LER ο οποίος τερματίζει ένα LSP και προωθεί τα IP δεδομένα στον προορισμό. Ένα σημαντικό σημείο που πρέπει να τονιστεί είναι ότι ο ρόλος που έχει μια συσκευή μπορεί να ποικίλει για διαφορετικά LSPs. Συγκεκριμένα η ίδια συσκευή μπορεί να είναι ένας LSR για ένα LSP, ένας ingress LER για ένα δεύτερο LSP και ένας egress LER για ένα τρίτο LSP.
- **Label Information Base - LIB:** Η βάση των πληροφοριών σχετικά με τις ετικέτες. Καθένας LSR κατασκευάζει έναν πίνακα για να καθορίσει πώς θα πρέπει να προωθηθεί κάποιο πακέτο. Αυτός ο πίνακας, ο οποίος καλείται Βάση Πληροφοριών Ετικέτας, αποτελείται από αντιστοιχίσεις ετικετών σε ισοδύναμες κλάσεις προώθησης.

- **MPLS Domain:** Ένα σύνολο από κόμβους που πραγματοποιούν MPLS δρομολόγηση και προώθηση.
- **Label merging:** Η αντικατάσταση πολλαπλών εισερχόμενων labels για μια FEC από μία μόνο εξερχόμενη ετικέτα.
- **Label swap:** Η βασική λειτουργία προώθησης που περιλαμβάνει την επεξεργασία μιας εισερχόμενης ετικέτας για να καθορίζει την εξερχόμενη ετικέτα, το port και άλλες πληροφορίες διαχείρισης.

2.5 Λογική λειτουργίας του πρωτοκόλλου MPLS

Η λειτουργία ενός MPLS δικτύου βασίζεται σε μια συγκεκριμένη λογική η οποία θα αναλυθεί στο συγκεκριμένο κεφάλαιο και η οποία έχει ως εξής[6] :

Ξεκινώντας από τα σημεία εισόδου της κίνησης σε ένα MPLS δίκτυο κορμού πραγματοποιείται η επεξεργασία των πακέτων και η επιλογή μιας ετικέτας που στη συνέχεια εφαρμόζεται στα πακέτα αυτά. Στην συνέχεια προχωράμε στο εσωτερικό του δικτύου κορμού. Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται μόνο η ανάγνωση της ετικέτας των πακέτων και έπειτα γίνεται η προώθησή τους με βάση την συγκεκριμένη ετικέτα. Πιο συγκεκριμένα, η ετικέτα δηλαδή χρησιμοποιείται σαν ένας δείκτης σε ένα πίνακα που καθορίζει το επόμενο βήμα και μια νέα ετικέτα. Ωστόσο, η παλιά ετικέτα αντικαθίσταται από την καινούρια, και το πακέτο προωθείται στο επόμενο βήμα. Με αυτόν τον τρόπο, όλη η προώθηση οδηγείται ουσιαστικά από τις ετικέτες. Αξίζει να σημειωθεί πως στο σημείο το οποίο πραγματοποιείται η έξοδος των πακέτων από το δίκτυο κορμού αφαιρούνται οι ετικέτες και τα πακέτα προωθούνται στον προορισμό τους. Εν κατακλείδι, καλό είναι να αναφερθεί πως η ανάθεση ενός συγκεκριμένου πακέτου σε μια συγκεκριμένη FEC γίνεται μόνο μια φορά και αυτό συμβαίνει καθώς το πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο και η FEC στην οποία το πακέτο ανατίθεται, κωδικοποιείται στην MPLS ετικέτα.

2.5.1 Πως πραγματοποιείται η ανάθεση μιας ετικέτας σε ένα πακέτο

Για να μπορέσει να τοποθετηθεί μία ετικέτα σε ένα πακέτο στο δίκτυο θα πρέπει να γίνει η ανάθεση της. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα πρέπει να πληρούνται ορισμένα κριτήρια τα

οποία βασίζονται στην προώθηση. Τα συγκεκριμένα κριτήρια αναφέρονται παρακάτω και είναι τα εξής[7] :

- Unicast δρομολόγηση με βάση τον προορισμό
- Έλεγχος κυκλοφορίας
- Multicast
- Ιδιωτικά Ιδεατά Δίκτυα (Virtual Private Networks-VPNs)
- Ποιότητα υπηρεσίας (Quality-of-Service, QoS)

2.5.2 Πως επιτυγχάνεται η μεταγωγή μιας ετικέτας

Η μεταγωγή μιας ετικέτας επιτυγχάνεται με τη χρήση των πινάκων μεταγωγής ετικέτας που απαραίτητη προϋπόθεση είναι ότι πρέπει είτε να υλοποιούνται στο επίπεδο των κόμβων (ένας πίνακας για κάθε κόμβο) είτε στο επίπεδο του interface (ένας πίνακας ανά interface)[8]. Οι επιλογές για την προώθηση των πακέτων στο πρωτόκολλο MPLS είναι δυο. Συγκεκριμένα είναι: η δρομολόγηση βήμα-βήμα και η ρητή δρομολόγηση.

Στην πρώτη περίπτωση κάθε LSR επιλέγει ανεξάρτητα το επόμενο βήμα για μια FEC. Αντίθετα στη δεύτερη ο LSR εισόδου καθορίζει το πλήρες μονοπάτι που θα ακολουθήσει η FEC, ορίζοντας τη λίστα των κόμβων που θα διατρέξουν τα πακέτα. Πιο αναλυτικά ο ρόλος ενός LSR παρουσιάζεται παρακάτω :

- Να δημιουργεί τις αντιστοιχίες μεταξύ των ετικετών και των FECs
- Να διανέμει τις παραπάνω αντιστοιχίες στους υπόλοιπους LSR
- Να δημιουργεί τις αντιστοιχίες μεταξύ των FEC και των διευθύνσεων των επόμενων δικτυακών συσκευών (next-hop)
- Και τέλος να κατασκευάζει τους δικούς του πίνακες προώθησης.

2.6 Πως επιτυγχάνεται η δημιουργία αντιστοιχιών μεταξύ FEC και των διάφορων διευθύνσεων

Για να επιτευχθεί η δημιουργία των αντιστοιχιών μεταξύ των FEC και των διευθύνσεων των επόμενων βημάτων θα πρέπει να πραγματοποιείται η χρήση κάποιου πρωτοκόλλου

εσωτερικής δρομολόγησης όπως τα OSPF, IS-IS κλπ. Μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες αποτελεί η διανομή των αντιστοιχιών των ετικετών και των FECs προς τους άλλους LSRs[9]. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κάποιου πρωτοκόλλου εξωτερικής δρομολόγησης . Βασικά παραδείγματα τέτοιων πρωτοκόλλων αποτελούν τα πρωτόκολλα BGP και τα RSVP, τα οποία όμως δεν θεωρούνται απολύτως κατάλληλα για τη λειτουργία αυτή. Για τον συγκεκριμένο λόγο, τα πρωτόκολλα αυτά έχουν δεχτεί ορισμένες επεκτάσεις αλλά και βελτιώσεις. Επίσης η IETF όρισε ένα συγκεκριμένο καινούργιο πρωτόκολλο για ρητή σηματοδότηση και διαχείριση ετικετών που ονομάζεται LDP και το οποίο επίσης έχει δεχτεί επεκτάσεις (ονομάζεται CR-LDP) με σκοπό να είναι σε θέση να υποστηρίξει την ρητή σηματοδότηση που βασίζεται τόσο στην ποιότητα όσο και στην κλάση της υπηρεσίας.

3. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας του πρωτοκόλλου MPLS

Όπως κάθε πρωτόκολλο στον τομέα των δικτύων, έτσι και το πρωτόκολλο MPLS έχει ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα τα οποία προτρέπουν τους χρήστες να το χρησιμοποιούν. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούν τα βασικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου.

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα λοιπόν της τεχνολογίας του πρωτοκόλλου MPLS αποτελεί το γεγονός ότι μπορεί να παρέχει μέγιστη ασφάλεια στη μετάδοση δεδομένων[10]. Συγκεκριμένα όταν εγκατασταθεί ένα LSP τότε οι ενδιαμέσοι LSRs δεν χρειάζεται να γνωρίζουν το περιεχόμενο των πακέτων. Αυτό συμβαίνει διότι όλη η μετάδοση μπορεί να παρομοιαστεί με την μετάδοση που πραγματοποιείται σε ένα Tunnel στο οποίο στο εσωτερικό του μεταφέρεται η πληροφορία διάφανα. Παράλληλα, κάθε LSR μπορεί να έχει εγκατεστημένα πολλαπλά LSPs (άρα Tunnels), με τον τρόπο αυτό στην περίπτωση που κάποια από αυτά είναι παράλληλα τότε η πληροφορία μπορεί να μεταδίδεται με τη χρήση ενός μόνο tunnel που ανήκει στο υψηλότερο επίπεδο. Στα πακέτα αυτά ανατίθεται μια επιπλέον ετικέτα που δημιουργείται δίπλα από την ετικέτα του πρώτου επιπέδου και όταν εξέλθουν από το tunnel του υψηλότερου επιπέδου αυτή αφαιρείται. Η παραπάνω διαδικασία οδηγεί τελικά στη δημιουργία στοίβας ετικετών.

3.1 Traffic Engineering

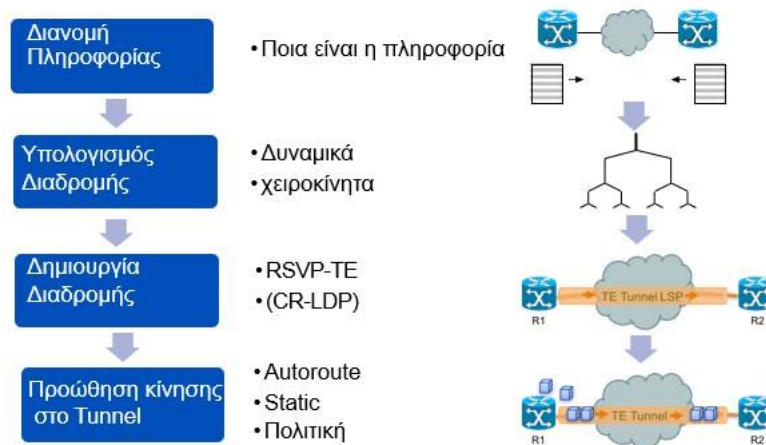
3.1.1 Τι εννοούμε με τον όρο Traffic Engineering ;

Τα κλασικά IGP πρωτόκολλα κάνουν χρήση της δρομολόγησης χωρίς το Traffic Engineering [11]. Δηλαδή μια μέτρηση ανά σύνδεσμο και ακολουθώντας πρώτα την συντομότερη διαδρομή χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο (SPF) για να βρεθεί αυτή η σύντομη διαδρομή. Το Traffic Engineering λαμβάνει και προσθέτει επιπλέον περιορισμούς . Πιο συγκεκριμένα ένας τέτοιος περιορισμός είναι για παράδειγμα να βρεθεί η συντομότερη διαδρομή που έχει επίσης διαθέσιμο εύρος ζώνης. Ωστόσο αυτό ονομάζεται επίσης και περιορισμένη δρομολόγηση, και χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο CSPF. Για αρχή προτείνεται καλύτερα να ακολουθηθεί ένα μονοπάτι χωρίς συμφόρηση αν και η καθυστέρηση λογικά θα είναι αρκετά μεγάλη από το να συμφορηθεί η πιο σύντομη διαδρομή σε έναν σύνδεσμο αρκεί να μην αφηθεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης χωρίς να χρησιμοποιηθεί σε κάποιον άλλον σύνδεσμο.

3.2 MPLS και Traffic Engineering

3.2.1 Τι προσφέρει η τεχνολογία του MPLS Traffic Engineering

Στην Εικόνα 1 φαίνεται η σταδιακή υλοποίηση ροής πακέτων με MPLS Traffic Engineering τεχνική.



Εικόνα 1 MPLS and Traffic Engineering

3.2.1.1 Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας

Η συγκεκριμένη τεχνολογία προσφέρει ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα τα οποία είναι τα εξής[12] :

- 1) Προσφέρει καλύτερη αντιμετώπιση στην αύξηση του εύρους ζήτησης
- 2) Προσφέρει καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης
- 3) Προσφέρει εναλλακτικές διαδρομές σε βλάβες συνδέσεων αλλά και σε κόμβους
- 4) Καθώς και προσφέρει την πρόβλεψη της χωρητικότητας σε ένα κανάλι

3.2.1.2 Μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας

Όπως κάθε τεχνολογία έτσι και η συγκεκριμένη τεχνολογία που βασίζεται στο πρωτόκολλο MPLS έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Αυτά τα μειονεκτήματα θα αναφερθούν στο υποκεφάλαιο αυτό και πιο αναλυτικά παρουσιάζονται ως εξής[13]:

- 1) Βασικό μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι ότι σε σχέση με άλλες τεχνολογίες στα δίκτυα η συγκεκριμένη χρειάζεται επιπλέον παραμετροποίηση,
- 2) Χρησιμοποιεί επιπλέον άλλα δύο από τα βασικά πρωτόκολλα τα οποία είναι το OSPF και το BGP,
- 3) Δεν είναι εγγυημένη τις περισσότερες φορές η συμβατότητα ανάμεσα στους διάφορους δρομολογητές
- 4) Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις λογισμικού

3.3 MPLS Traffic engineering και πρωτόκολλο TCP-IP

Αξίζει να σημειωθούν ορισμένα κίνητρα που οδήγησαν στην δημιουργία της τεχνολογίας MPLS Traffic Engineering . Ένα από τα βασικότερα κίνητρα της δημιουργίας της ήταν το πρωτόκολλο TCP-IP και πιο συγκεκριμένα η πολυπλοκότητα στα σύγχρονα TCP-IP δίκτυα ήταν το κίνητρο για να ξεκινήσει η χρήση της τεχνολογίας αυτής. Ωστόσο σε κάθε

δρομολογητή του πρωτοκόλλου TCP-IP , αυτός που αποφασίζει για την επόμενη δρομολόγηση είναι ο δρομολογητής. Επιπλέον το TCP-IP βοήθησε σημαντικά στην δημιουργία VPN Tunnel σε συνδυασμό με την προαναφερόμενη τεχνολογία[14] .

3. Εργαστηριακό μέρος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια καλή προσπάθεια για την δημιουργία μιας εργαστηριακής ρύθμισης. Σκοπός της είναι να δοκιμαστεί το πρωτόκολλο MPLS/VPLS, καθώς και να παρουσιαστεί και να αναλυθεί το Traffic Engineering. Για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου μέρους της εργασίας θα χρησιμοποιηθούν ορισμένα λογισμικά τα οποία είναι τα εξής :

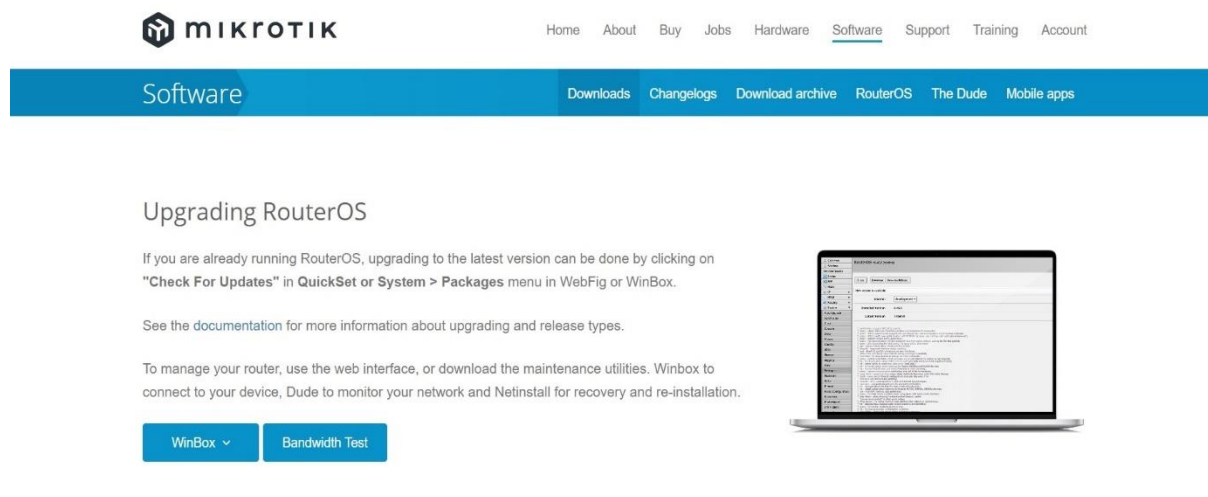
- 1) Mikrotik RouterOs και Mikrotik Winbox [13]
- 2) Oracle VMware [14]
- 3) GNS3[15]

4.1 Βήματα εγκατάστασης των παραπάνω προγραμμάτων για την υλοποίηση της εργασίας.

Για να εγκαταστήσει κανείς το Mikrotik Winbox αρκεί να επισκεφθεί τον παρακάτω σύνδεσμο:

<https://mikrotik.com/download>

Η εικόνα που θα αντικρίσει θα είναι η εξής :

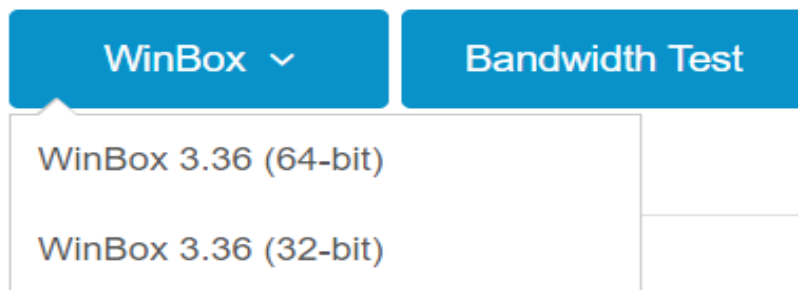


Εικόνα 2 Download mikrotik winbox

Κάτω αριστερά στην παραπάνω εικόνα υπάρχει ένα μπλε κουτάκι που γράφει Winbox, είναι αυτό που θέλουμε. Επιλέγοντας το συγκεκριμένο κουμπί θα εμφανιστούν δύο επιλογές που

αφορούν το λογισμικό , ανάλογα το σύστημα της συσκευής που θα εγκατασταθεί θα επιλέξει ο χρήστης τι θα κατεβάσει. Οι επιλογές φαίνονται στην παρακάτω εικόνα :

connect to your device, Dude to monitor your n






Εικόνα 3 Install Winbox

2) Η εγκατάσταση του VMware γίνεται αφού επισκεφθείτε τον παρακάτω σύνδεσμο:

<https://www.oracle.com/in/virtualization/technologies/vm/downloads/virtualbox-downloads.html>

Η εικόνα που θα αντικρίσει κανείς αν επισκεφθεί τον παραπάνω σύνδεσμο είναι η εξής :

| Platform | 64-bit |
|---|--|
| Windows |  Windows Installer |
| Mac OS X |  dmg Image |
| Solaris 10 5/08 and later or Solaris 11 |  Solaris Package |
| Linux Platforms | |

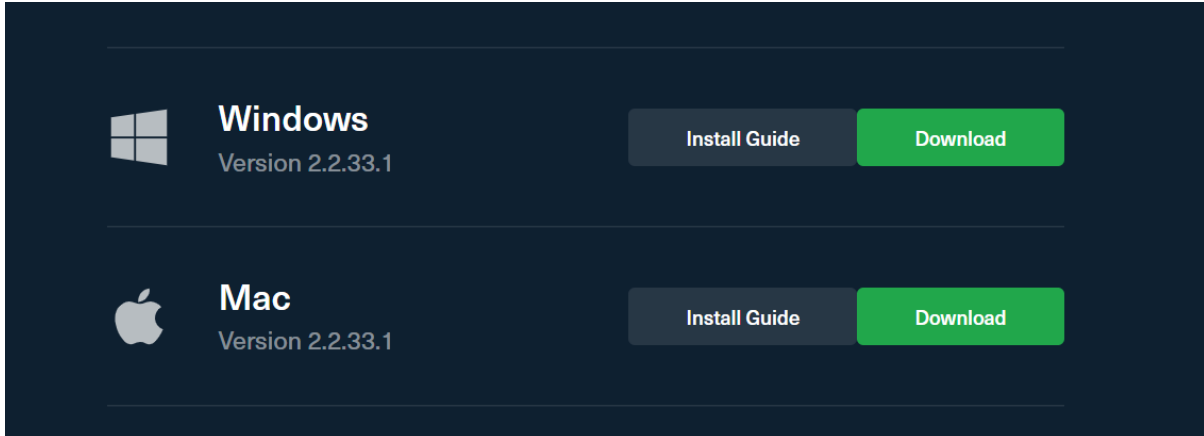
Εικόνα 4 Install VMware

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα ισχύει ότι και στο Winbox , δηλαδή ανάλογα το λειτουργικό σύστημα της συσκευής που θα γίνει η εγκατάσταση επιλέγει ο χρήστης κάθε φορά ποιο αρχείο θα εγκαταστήσει .

- 3) Για την εγκατάσταση του GNS3 αρκεί να επισκεφθεί κανείς τον παρακάτω σύνδεσμο :

<https://www.gns3.com/software/download>

Η σελίδα στην οποία θα οδηγηθεί είναι η παρακάτω :



Εικόνα 5 Install GNS3

Όπως ακριβώς και στα δύο προηγούμενα προγράμματα το ίδιο και συμβαίνει και εδώ , δηλαδή ο χρήστης επιλέγει ανάλογα το λειτουργικό σύστημα της συσκευής ποιο αρχείο θα εγκαταστήσει .

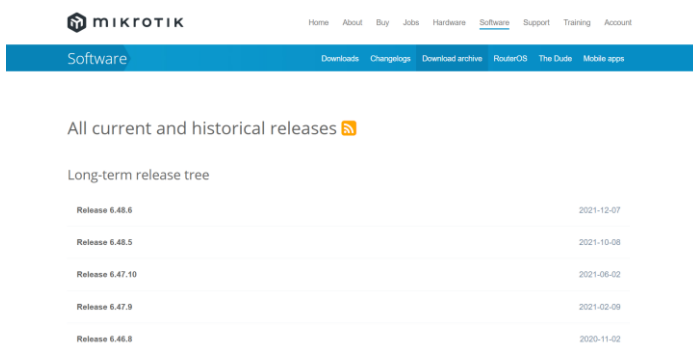
4.1.1 Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα αναφερθούν οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας . Πιο αναλυτικά οι συσκευές ήταν οι εξής :

Χρησιμοποιήθηκαν 8 δρομολογητές chr της έκδοσης 6.49.6 και τους οποίους μπορεί κανείς να τους βρεί στην σελίδα της Mikrotik ή αλλιώς στον παρακάτω σύνδεσμο[16] :

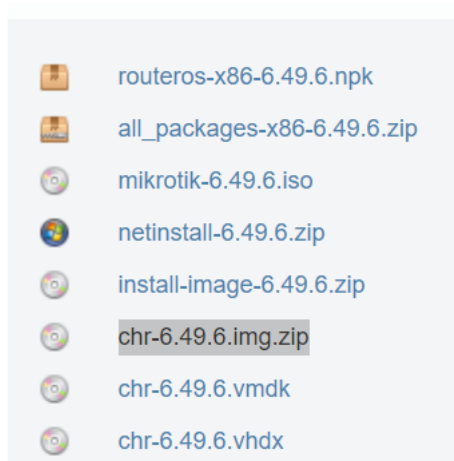
<https://mikrotik.com/download/archive>

Η σελίδα στην οποία θα οδηγηθεί κανείς είναι η εξής :



Εικόνα 6 Chr download image

Το επόμενο βήμα είναι να επιλέξει την έκδοση 6.49.6 και αφού γίνει αυτό να κατεβάσει το αρχείο με το όνομα : chr-6.49.6.img.zip το οποίο στον σύνδεσμο θα φαίνεται με τον παρακάτω τρόπο :

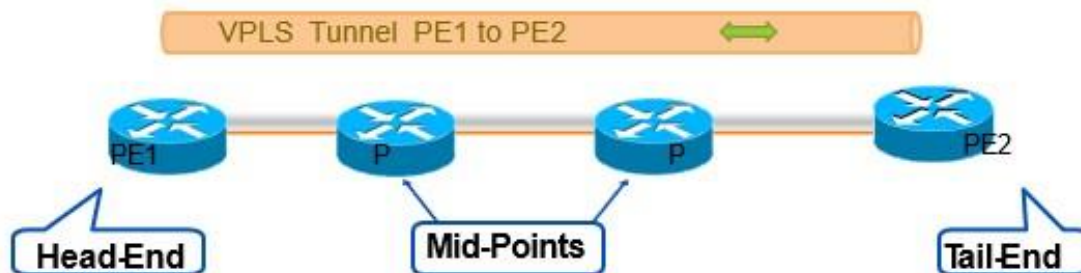


Εικόνα 7 chr download

4.1.2 Ρυθμίσεις εργαστηρίου

Τυπικό διάγραμμα δικτύου.

Στο σημείο αυτό καλό είναι αρχικά να δούμε πως είναι ένα διάγραμμα δικτύου μιας βασικής εγκατάστασης. Η εγκατάσταση φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 8 Network Diagram

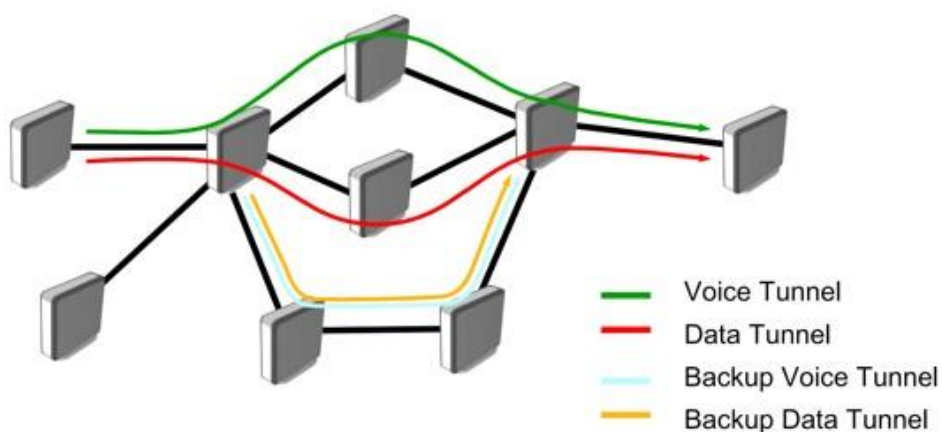
Ο κώδικας της συγκεκριμένης υλοποίησης ο οποίος έχει προκύψει από το Mikrotik Winbox είναι ο εξής :

```

/mp1s ldp
set enabled=yes lsr-id=6.6.6.6 transport-address=6.6.6.6
/mp1s ldp interface
add interface=ether4
add interface=ether2
/interface vpls
add disabled=no l2mtu=1500 mac-address=02:AC:09:C1:4D:9D name=vpls1
\

```

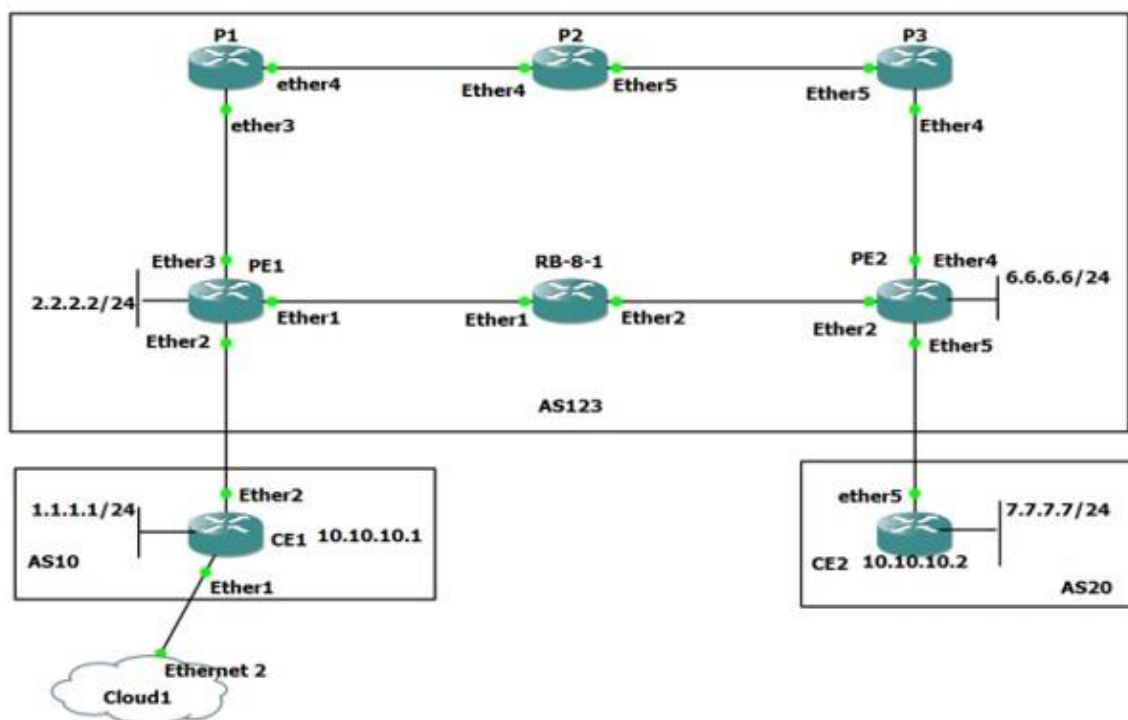
Ωστόσο στην παρακάτω εικόνα μπορεί να δει κανείς ένα παράδειγμα της διαδρομής του Traffic Engineering:



Εικόνα 9 Διαδρομή του Traffic Engineering

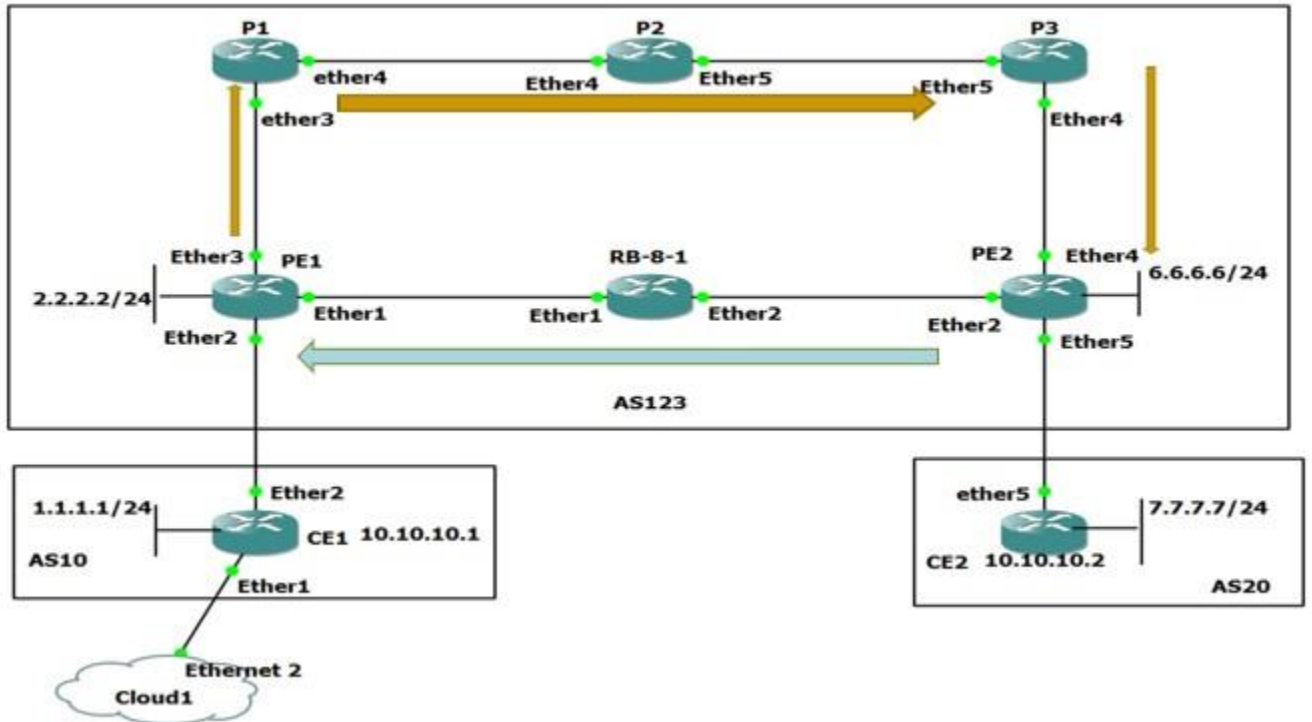
4.2 Σενάριο και εφαρμογή του πρωτοκόλλου MPLS

Το διάγραμμα του σεναρίου για την υλοποίηση που αντιστοιχεί στο πρωτόκολλο MPLS όπως προκύπτει από την προσομοίωση του δικτύου μέσω των προγραμμάτων GNS3 και VMware είναι το εξής:



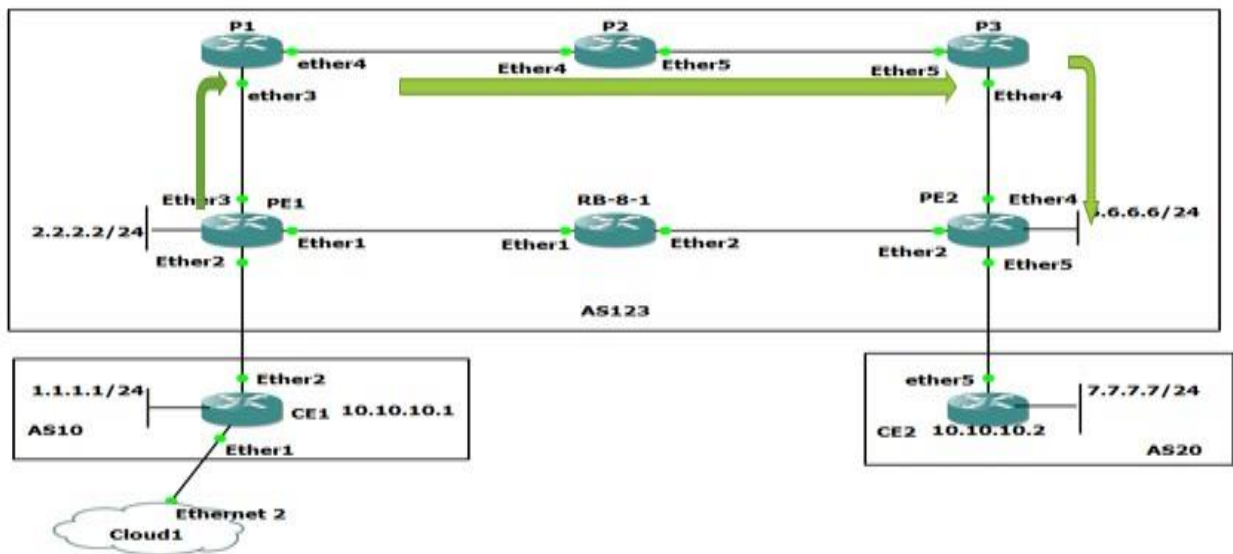
Εικόνα 10 Σενάριο και εφαρμογή του πρωτοκόλλου MPLS

Ωστόσο σε αυτό το σημείο αξίζει να προστεθεί και το σενάριο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του Traffic Engineering μέσω των προγραμμάτων προσομοίωσης GNS3 και VMware τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και για το σενάριο και εφαρμογή του πρωτοκόλλου MPLS . Πιο συγκεκριμένα το διάγραμμα που προκύπτει είναι το παρακάτω :



Εικόνα 11 Traffic Engineering scenario

Σε αυτό το σημείο αφού έχουν δημιουργηθεί και τα δύο σενάρια θα ξεκινήσει το configuration των συσκευών . Πιο συγκεκριμένα θα αναφερθούν αναλυτικά τα κομμάτι α κώδικα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε συσκευή ξεχωριστά και για διευκόλυνση στην μελέτη τους θα υπάρχει σε κάθε configuration αντίστοιχη εικόνα της συσκευής που πραγματοποιείται η υλοποίηση κάθε φορά . Παρακάτω λοιπόν ακολουθεί η παραπάνω διεργασία αναλυτικά :



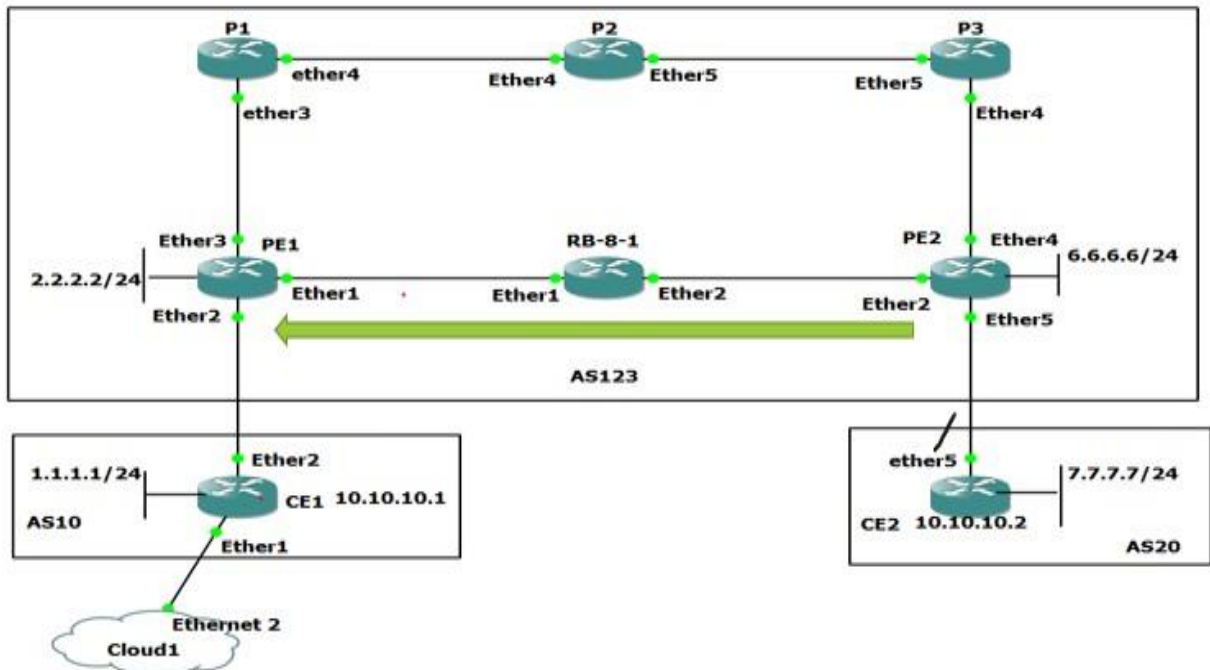
Εικόνα 12 Configuration P1

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για το configuration της συσκευής P1 είναι ο εξής:

```

/mps traffic-eng interface
add bandwidth=100Mbps interface=ether3
add bandwidth=100Mbps interface=ether1
/interface traffic-eng
add bandwidth=50Mbps disabled=no from-address=2.2.2.2 name=TE-CE2
primary-path=TE-static secondary-paths=dyn to-address=6.6.6.6
/mps traffic-eng tunnel-path
add
hops="192.168.23.3:loose,192.168.34.3:strict,192.168.34.4:loose,192.
168.45\
.4:strict,192.168.45.5:strict,192.168.56.5:strict,192.168.56.6:stria
t" name=TE-static use-cspf=no
add name=dyn

```

Εικόνα 13 Configuration P2

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για το configuration της συσκευής P2 είναι ο εξής :

```

/mps traffic-eng interface
add bandwidth=100Mbps interface=ether4
add bandwidth=100Mbps interface=ether2
/interface traffic-eng
add bandwidth=50Mbps disabled=no from-address=6.6.6.6 name=TE-CE2
primary-path=TE-static
secondary-paths=dyn to-address=2.2.2.2
/mps traffic-eng tunnel-path
add hops=192.168.89.8:strict,192.168.88.3:strict,192.168.88.2:strict
name=TE-static use-cspf=no add name=dyn

```

Γενικά η υλοποίηση δηλαδή το configuration σε όλους του δρομολογητές και πιο συγκεκριμένα στους P1 , P2 , P3 , P8 είναι ίδια . Ο κώδικας λοιπόν που χρησιμοποιείται κάθε φορά είναι ο εξής :

```

/routing ospf instance
set [ find default=yes ] distribute-default=if-installed-as-type-1 \
    mpls-te-area=backbone mpls-te-router-id=bridge1 router-
id=3.3.3.3
/mpls traffic-eng interface
add bandwidth=100Mbps interface=ether4
add bandwidth=100Mbps interface=ether3

```

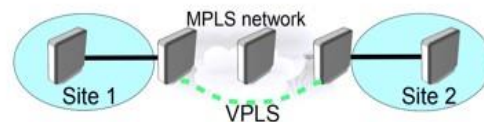
Στα πλαίσια των παραπάνω υλοποιήσεων πραγματοποιήθηκαν ορισμένα speed test , τεστ δηλαδή για την ταχύτητα της μεταφοράς των δεδομένων. Τα αποτελέσματα έχουν συγκεντρωθεί και έχουν τοποθετηθεί στην παρακάτω αυτοσχέδια εικόνα :

Speed tests

Label switching on RB1000

| | 64 byte pps | 512 byte pps | |
|-----------|-------------|--------------|---------------------------------------|
| Bridging | 414 000 | 359 000 | ● Almost 2x faster than IP forwarding |
| ➔ MPLS | 410 000 | 358 000 | |
| ➔ Routing | 236 000 | 229 700 | ● The same speed as bridging |

- 60% faster than EoIP tunnel over routed network



| | 64 byte pps | 512 byte pps |
|------|-------------|--------------|
| EoIP | 190 000 | 183 900 |
| VPLS | 332 500 | 301 000 |

4.3 Παρατηρήσεις που προέκυψαν από το configuration του Traffic Engineering

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα αναφερθούν ορισμένες από τις παρατηρήσεις που έγιναν στα πλαίσια των διάφορων ρυθμίσεων που έγιναν πάνω στο θέμα με το οποίο ασχολείται η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία .

Αρχικά , μέσω του Mikrotik Winbox παρατηρήθηκε η κίνηση που περνάει μέσω της ethernet 1 τα οποία φαίνονται και στο παρακάτω στιγμιότυπο οθόνης (εικόνα 15). Πιο αναλυτικά εκτελούμε την εντολή traceroute στο Mikrotik Winbox καλώντας τον DNS Server που ανήκει στην διεύθυνση 6.6.6.6 . Με την συγκεκριμένη εντολή παρατηρούμε την κίνηση στο interface της ethernet 1. Ωστόσο στο παράθυρο με την λίστα των interface μπορεί κανείς να δει ότι η κίνηση «περνάει» στο ethernet1 και στο ethernet2 και αυτό φαίνεται από τα πακέτα καθώς και από την ταχύτητα με την οποία αυτά μεταφέρονται στο Tx και στο Rx .

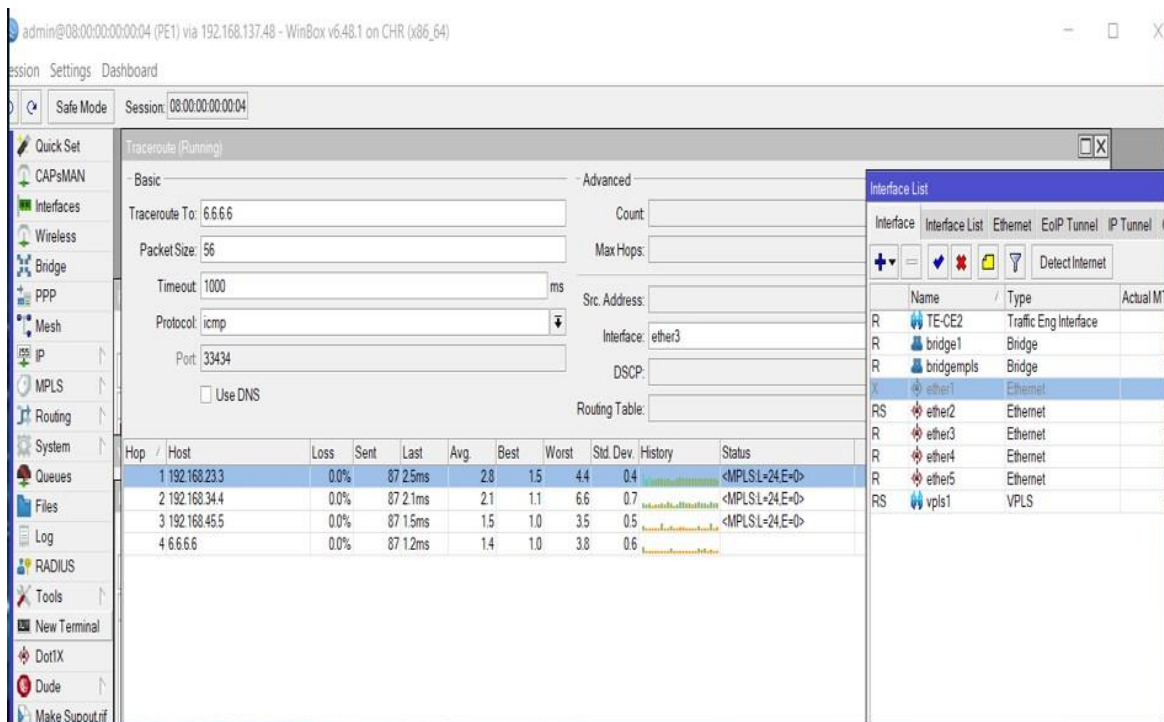
The screenshot displays the Mikrotik WinBox interface with a traceroute configuration and results. The configuration includes Traceroute To: 6.6.6.6, Packet Size: 56, Timeout: 1000 ms, Protocol: icmp, and Port: 33434. The results table shows two hops. An 'Interface List' window is also visible, showing traffic statistics for various interfaces.

| Hop | Host | Loss | Sent | Last | Avg | Best | Worst | Std. Dev. | History | Status |
|-----|--------------|------|------|-------|-----|------|-------|-----------|---------|-----------------|
| 1 | 192.168.88.3 | 0.0% | 31 | 1.6ms | 1.6 | 0.9 | 1.9 | 0.2 | | <MPLS L=24 E=0> |
| 2 | 6.6.6.6 | 0.0% | 30 | 1.2ms | 1.2 | 0.5 | 1.4 | 0.2 | | |

| Interface | Type | MTU | Actual MTU | L2 MTU | Tx | Rx | Tx Packet (p/s) | Rx Packet (p/s) |
|-----------|----------|------|------------|--------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| R ether1 | Ethernet | 1500 | 1500 | 0 | 16.1 kbps | 46.8 kbps | 18 | 32 |
| RS ether2 | Ethernet | 1500 | 1500 | 0 | 97.3 kbps | 19.7 kbps | 40 | 24 |
| X ether3 | Ethernet | 1500 | 1500 | 0 | 0 bps | 0 bps | 0 | 0 |
| R ether4 | Ethernet | 1500 | 1500 | 0 | 0 bps | 0 bps | 0 | 0 |
| R ether5 | Ethernet | 1500 | 1500 | 0 | 0 bps | 0 bps | 0 | 0 |

Εικόνα 15 Κίνηση στην ethernet 1

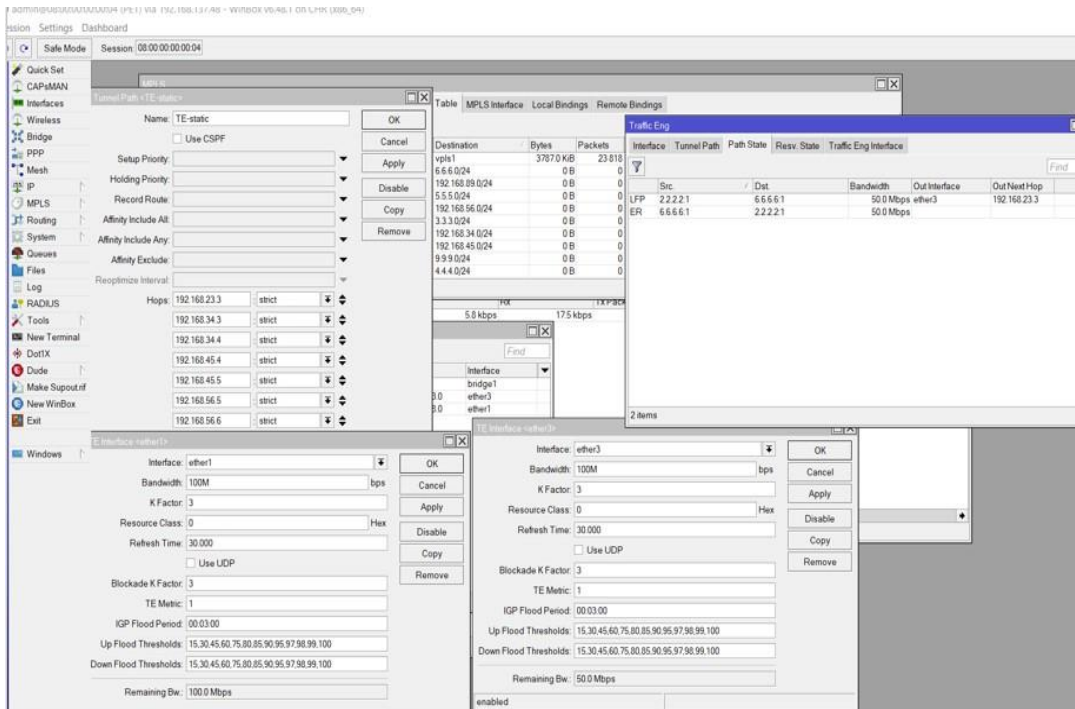
Στην συνέχεια παρατηρήθηκε η κίνηση στο configuration του πρωτοκόλλου MPLS στην ethernet 3 και συγκεκριμένα απεικονίζεται στο παρακάτω στιγμιότυπο οθόνης (εικόνα 16). Όπως ακριβώς και στην προηγούμενη παρατήρηση (εικόνα 15) , έτσι και σε αυτό το σημείο παρατηρήθηκε ξανά μέσω της εκτέλεσης της εντολής traceroute στην διεύθυνση 6.6.6.6 του DNS Server που έχει χρησιμοποιηθεί , αλλά αυτή τη φορά στο interface ethernet3 . Στην εικόνα 16 μπορεί κανείς να παρατηρήσει την κίνηση του πρωτοκόλλου MPLS.



Εικόνα 16 Κίνηση στην ethernet 3

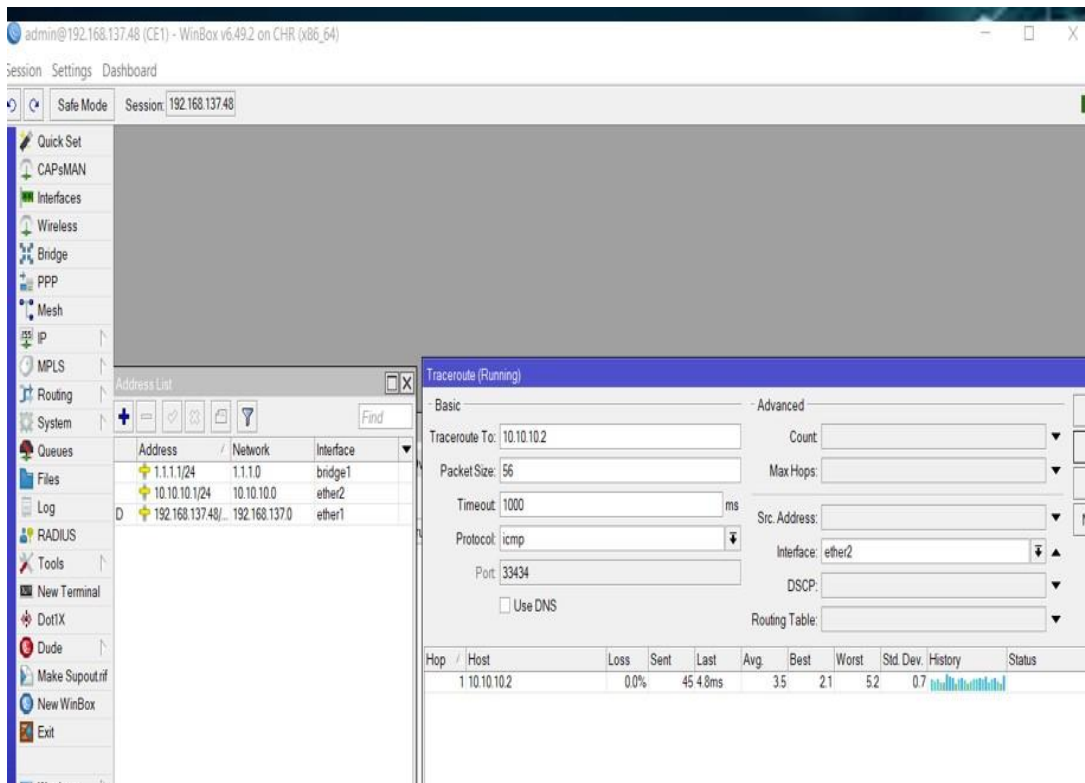
Παρατηρήσεις για το Traffic Engineering :

Σε αυτό το σημείο θα δοθεί ένα στιγμιότυπο οθόνης το οποίο προέκυψε από την υλοποίηση του Traffic Engineering στην συσκευή PE1 . Η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του Mikrotik Winbox και απεικονίζεται στην εικόνα 17. Πιο αναλυτικά στο μπλε παράθυρο δεξιά της εικόνας είναι εύκολο κανείς να διακρίνει ότι το Path State στο Traffic Engineering και όπως φαίνεται γίνεται χρήση του πρωτοκόλλου UTP και ER . Ωστόσο εδώ παρατηρείται και το bandwidth που υπάρχει σε κάθε περίπτωση πρωτοκόλλου. Επίσης ενδεικτικά υπάρχουν δύο παράθυρα για να δοθεί η δυνατότητα της παρατήρησης της κίνησης του Traffic Engineering στα interface .

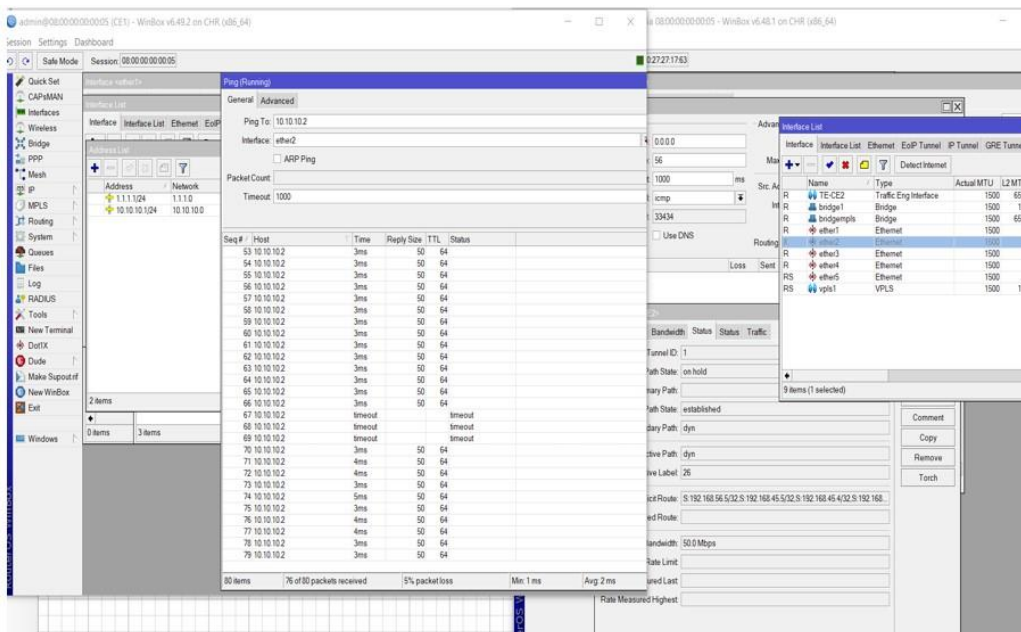


Εικόνα 17 Traffic Engineering in PE1

Εν συνεχεία , θα παρατεθεί ένα στιγμιότυπο οθόνης από το configuration που πραγματοποιήθηκε στις συσκευές CE1 και CE2 (εικόνα 18). Σε αυτό το σημείο εκτελέστηκε ξανά στο Mikrotik Winbox η εντολή traceroute αλλά αυτή τη φορά στην εσωτερική διεύθυνση του δικτύου που έχει αναπτυχθεί για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας. Συγκεκριμένα κλήθηκε η IP διεύθυνση : 10.10.10.2 στο interface ethernet2 και παρατηρήθηκε η κίνηση των πακέτων(εικόνα 19).



Εικόνα 18 Traffic engineering in CE1



Εικόνα 19 Traffic Engineering

min@08:00:27:27:17:63 (PE2) via 08:00:00:00:00:05 - WinBox v6.48.1 on CHR (x86_64)

n Settings Dashboard

Safe Mode Session: 08:00:27:27:17:63

Quick Set

CAPMAN

Interfaces

Wireless

Bridge

PPP

Mesh

IP

MPLS

Routing

System

Queues

Files

Log

RADIUS

Tools

New Terminal

DotX

Dude

Make Supout.f

New WinBox

Ext

Windows

Routes

| Dst Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref Source |
|-----------------|-------------------------------|----------|--------------|-------------|
| 2.2.2.0/24 | 192.168.89.8 reachable ether2 | 110 | | |
| 3.3.3.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 4.4.4.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 5.5.5.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 6.6.6.0/24 | bridge1 reachable | 0 | 6.6.6.6 | |
| 9.9.9.0/24 | 192.168.89.8 reachable ether2 | 110 | | |
| 192.168.23.0/24 | 192.168.89.8 reachable ether2 | 110 | | |
| 192.168.34.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 192.168.45.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 192.168.56.0/24 | ether4 reachable | 0 | 192.168.56.6 | |
| 192.168.89.0/24 | 192.168.89.8 reachable ether2 | 110 | | |
| 192.168.89.0/24 | ether2 reachable | 0 | 192.168.89.9 | |

Interface <TE-CE2>

General TE Bandwidth Status Status Traffic

Tunnel ID: 1

Primary Path State: established

Primary Path: TE-static

Secondary Path State: not necessary

Secondary Path:

Active Path: TE-static

Active Label: 26

Explicit Route: S:192.168.89.8/32:S:192.168.89.3/32:S:192.168.89.2/32

Recorded Route:

Reserved Bandwidth: 50.0 Mbps

Rate Limit:

Rate Measured Last:

Rate Measured Highest:

Interface List

| Interface | Type | Actual MTU | L2 MTU | Tx |
|------------|-----------------------|------------|--------|----|
| TE-CE2 | Traffic Eng Interface | 1500 | 65535 | |
| bridge1 | Bridge | 1500 | 1500 | |
| bridgepmpl | Bridge | 1500 | 65535 | |
| ether1 | Ethernet | 1500 | | |
| ether2 | Ethernet | 1500 | | |
| ether3 | Ethernet | 1500 | | |
| ether4 | Ethernet | 1500 | | |
| ether5 | Ethernet | 1500 | | |
| vpls1 | VPLS | 1500 | 1500 | |

Traceroute (Running)

Traceroute To: 2.2.2.2

Packet Size: 56

Timeout: 1000 ms

Protocol: icmp

Port: 33434

Use DNS

| Hop | Host | Loss | Sent | Last | Avg | Best | Worst | Std Dev |
|-----|--------------|------|------|------|-----|------|-------|---------|
| 1 | 192.168.89.8 | 0.0% | 20 | 0ms | 0.7 | 0.4 | 1.1 | 0.2 |
| 2 | 2.2.2.2 | 0.0% | 20 | 1ms | 1.2 | 0.7 | 1.9 | 0.2 |

Εικόνα 20 Traffic Engineering BI DIR.

Στην παρακάτω εικόνα εκτελέστηκε η εντολή traceroute στην DNS διεύθυνση 2.2.2.2 και παρατηρήθηκε η κίνηση των πακέτων στο δίκτυο.

min@08:00:27:27:17:63 (PE2) via 08:00:00:00:00:05 - WinBox v6.48.1 on CHR (x86_64)

n Settings Dashboard

Safe Mode Session: 08:00:27:27:17:63

Quick Set

CAPMAN

Interfaces

Wireless

Bridge

PPP

Mesh

IP

MPLS

Routing

System

Queues

Files

Log

RADIUS

Tools

New Terminal

DotX

Dude

Make Supout.f

New WinBox

Ext

Windows

Routes

| Dst Address | Gateway | Distance | Routing Mark | Pref Source |
|-----------------|-------------------------------|----------|--------------|-------------|
| 2.2.2.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 3.3.3.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 4.4.4.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 5.5.5.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 6.6.6.0/24 | bridge1 reachable | 0 | 6.6.6.6 | |
| 9.9.9.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 192.168.23.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 192.168.34.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 192.168.45.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 192.168.56.0/24 | ether4 reachable | 0 | 192.168.56.6 | |
| 192.168.89.0/24 | 192.168.56.5 reachable ether4 | 110 | | |
| 192.168.89.0/24 | ether4 reachable | 0 | 192.168.56.6 | |

Interface <TE-PE2>

General TE Bandwidth Status Status Traffic

Tunnel ID: 1

Primary Path State: on hold

Primary Path:

Secondary Path State: established

Secondary Path: dyn

Active Path: dyn

Active Label: 30

Explicit Route: S:192.168.56.5/32:S:192.168.45.5/32:S:192.168.45.4/32:S:192.168.45.3/32

Recorded Route:

Reserved Bandwidth: 50.0 Mbps

Rate Limit:

Rate Measured Last:

Rate Measured Highest:

Interface List

| Interface | Type | Actual MTU | L2 MTU | Tx |
|------------|-----------------------|------------|--------|----|
| TE-CE2 | Traffic Eng Interface | 1500 | 65535 | |
| bridge1 | Bridge | 1500 | 1500 | |
| bridgepmpl | Bridge | 1500 | 65535 | |
| ether1 | Ethernet | 1500 | | |
| ether2 | Ethernet | 1500 | | |
| ether3 | Ethernet | 1500 | | |
| ether4 | Ethernet | 1500 | | |
| ether5 | Ethernet | 1500 | | |
| vpls1 | VPLS | 1500 | 1500 | |

Traceroute (Running)

Traceroute To: 2.2.2.2

Packet Size: 56

Timeout: 1000 ms

Protocol: icmp

Port: 33434

Use DNS

| Hop | Host | Loss | Sent | Last | Avg | Best | Worst | Std Dev |
|-----|--------------|------|------|------|-----|------|-------|---------|
| 1 | 192.168.56.5 | 0.0% | 23 | 3ms | 2.5 | 1.5 | 3.7 | 0.5 |
| 2 | 192.168.45.4 | 0.0% | 23 | 8ms | 1.8 | 1.2 | 2.8 | 0.4 |
| 3 | 192.168.34.3 | 0.0% | 23 | 8ms | 1.7 | 0.9 | 4.9 | 0.9 |
| 4 | 2.2.2.2 | 0.0% | 23 | 4ms | 1.4 | 0.9 | 2.4 | 0.4 |

Εικόνα 21 Traffic Engineering ONE DIR.

4.4 Σενάριο με την προσθήκη και δευτέρου εικονικού δικτύου VPLS2

Στο παρακάτω σενάριο παραμετροποίησης, έχει γίνει προσθήκη ενός επιπλέον εικονικού vpls δικτύου. Πιο συγκεκριμένα η παραμετροποίηση πραγματοποιήθηκε μεταξύ των δρομολογητών PE1 και PE2 οι οποίοι φαίνονται στην παρακάτω εικόνα(εικόνα 22). Στις πόρτες ether4 του PE1, και ether3 του PE2 συνδέθηκαν δυο εικονικοί Υπολογιστές και αυτό πραγματοποιήθηκε με την χρήση του προγράμματος GNS 3. Ολοκληρώνοντας, σκοπός του σεναρίου είναι να γίνει κατανοητό το πόσο εύκολο είναι να επιτευχθεί η επέκταση ενός υφιστάμενου δικτύου.

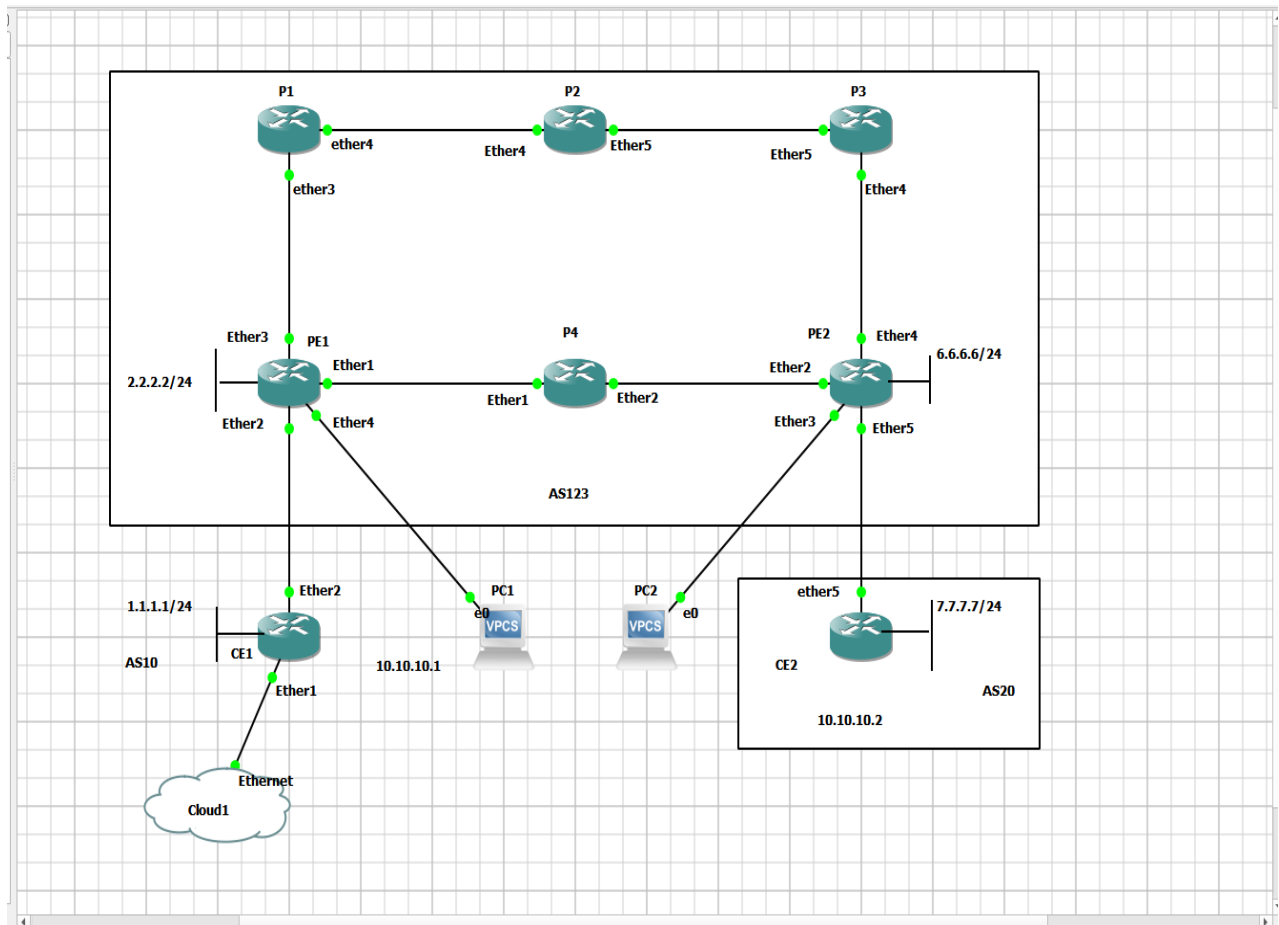


Figure 12 VPLS in PE1 and PE2

Η παραμετροποίηση των δρομολογητών έγινε πολύ εύκολα αφού χρειάστηκε μόνο να γίνει η δήλωση του δευτέρου VPLS2 στο ήδη υπάρχον TE. Με VPLS-ID 1:2 .

Ωστόσο παρακάτω παρουσιάζεται ακόμη μία παραμετροποίηση. Στο επόμενο λοιπόν configuration έχουν επισημανθεί με κόκκινο χρώμα ορισμένες επιπλέον προσθήκες που πραγματοποιήθηκαν στους δρομολογητή PE1 – PE2 για την παραμετροποίηση του προαναφερόμενου σεναρίου. Αξίζει να σημειωθεί πως δεν υπήρξε κάποια επιπλέον

παραμετροποίηση η οποία να χρειάστηκε για τους υπόλοιπους δρομολογητές. Από αυτό λοιπόν μπορεί κανείς να κατανοήσει την απλότητα της παραμετροποίησης αλλά και το πόσο εύκολο είναι να δημιουργηθεί ένα εικονικό δίκτυο με την χρήση του MPLS- Traffic Engineering .

Στην εικόνα 23 απεικονίζεται ο κώδικας παραμετροποίησης ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την ρύθμιση του υπολογιστή PE1. Ο κώδικας αυτός υλοποιήθηκε στο περιβάλλον παραμετροποίησης της Mikrotik το Winbox. . Στα σημεία με τα υπογραμμισμένα – χρωματισμένα κομμάτια του κώδικα φαίνονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στον δρομολογητή.

```

6 /interface bridge
7 add name=bridge1
8 add name=bridge2
9 add name=bridgempls
10 /interface vpls
11 add disabled=no l2mtu=1500 mac-address=02:D4:FC:CE:6B:0D name=vpls1 \
12     remote-peer=6.6.6 vpls-id=1:1
13 add disabled=no l2mtu=1500 mac-address=02:D4:FC:CE:6B:0D name=vpls2 \
14     remote-peer=6.6.6 vpls-id=1:2
15 /interface wireless security-profiles
16 set [ find default=yes ] supplicant-identity=MikroTik
17 /mpls traffic-eng tunnel-path
18 add hops="192.168.23.3:strict,192.168.34.3:strict,192.168.34.4:strict,192.168.\
19     45.4:strict,192.168.45.5:strict,192.168.56.5:strict,192.168.56.6:strict" \
20     name=TE-static use-cspf=no
21 add name=dyn
22 /interface traffic-eng
23 add bandwidth=50Mbps disabled=no from-address=2.2.2.2 name=TE-CE2 \
24     primary-path=TE-static secondary-paths=dyn to-address=6.6.6.6
25 /routing ospf instance
26 set [ find default=yes ] mpls-te-area=backbone mpls-te-router-id=bridge1 \
27     router-id=2.2.2.2
28 add disabled=yes distribute-default=if-installed-as-type-1 name=ospf1 \
29     router-id=2.2.2.2
30 /interface bridge port
31 add bridge=bridge1 interface=vpls1
32 add bridge=bridge1 interface=ether2
33 add bridge=bridge2 interface=ether4
34 add bridge=bridge2 interface=vpls2
35 /ip address
36 add address=2.2.2.2/24 interface=bridge1 network=2.2.2.0
37 add address=192.168.23.2/24 interface=ether3 network=192.168.23.0
38 add address=192.168.88.2/24 interface=ether1 network=192.168.88.0
39 /ip dhcp-client
40 add disabled=no interface=ether1
41 /ip dns
42 set servers=8.8.8.8
43 /mpls ldp
44 set enabled=yes lsr-id=2.2.2.2 transport-address=2.2.2.2
45 /mpls ldp interface
46 add interface=ether3
47 add interface=ether1
48 /mpls traffic-eng interface
49 add bandwidth=100Mbps interface=ether3
50 add bandwidth=100Mbps interface=ether1
51 /routing ospf network
52 add area=backbone
53 /system identity
54 set name=PE1
55 /tool romon
56 set enabled=yes
57 /tool romon port
58 set [ find default=yes ] cost=1000
59

```

Figure 23 Configuration PE1

Επιπλέον στην εικόνα 24 απεικονίζεται ο κώδικας παραμετροποίησης ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την ρύθμιση του υπολογιστή PE2. Ο κώδικας αυτός υλοποιήθηκε στο περιβάλλον παραμετροποίησης της Mikrotik το Winbox. Στα σημεία με τα υπογραμμισμένα – χρωματισμένα κομμάτια του κώδικα φαίνονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στον δρομολογητή.

```

1 # jul/10/2022 23:59:11 by RouterOS 6.48.1
2 # software id =
3 #
4 #
5 #
6 /interface bridge
7 add name=bridgel
8 add name=bridge2
9 add name=bridgempls
0 /interface vpls
1 add disabled=no l2mtu=1500 mac-address=02:AC:09:C1:4D:9D name=vpls1 \
2     remote-peer=2.2.2.2 vpls-id=1:1
3 add disabled=no l2mtu=1500 mac-address=02:AC:09:C1:4D:9D name=vpls2 \
4     remote-peer=2.2.2.2 vpls-id=1:2
5 /interface wireless security-profiles
6 set [ find default=yes ] supplicant-identity=MikroTik
7 /mpls traffic-eng tunnel-path
8 add hops=192.168.89.8:strict,192.168.88.3:strict,192.168.88.2:strict name=\
9     TE-static use-cspf=no
0 add name=dyn
1 /interface traffic-eng
2 add bandwidth=50Mbps disabled=no from-address=6.6.6.6 name=TE-CE2 \
3     primary-path=TE-static secondary-paths=dyn to-address=2.2.2.2
4 /routing ospf instance
5 set [ find default=yes ] mpls-te-area=backbone mpls-te-router-id=bridgel \
6     router-id=6.6.6.6
7 /interface bridge port
8 add bridge=bridgel interface=vpls1
9 add bridge=bridgel interface=ether5
0 add bridge=bridge2 interface=vpls2
1 add bridge=bridge2 interface=ether3
2 /ip address
3 add address=192.168.56.6/24 interface=ether4 network=192.168.56.0
4 add address=6.6.6.6/24 interface=bridgel network=6.6.6.0
5 add address=192.168.89.9/24 interface=ether2 network=192.168.89.0
6 /ip dhcp-client
7 add disabled=no interface=ether1
8 /mpls ldp
9 set enabled=yes lsr-id=6.6.6.6 transport-address=6.6.6.6
0 /mpls ldp interface
1 add interface=ether4
2 add interface=ether2
3 /mpls traffic-eng interface
4 add bandwidth=100Mbps interface=ether4
5 add bandwidth=100Mbps interface=ether2
6 /routing ospf network
7 add area=backbone
8 /system identity
9 set name=PE2
0 /tool romon
1 set enabled=yes
2

```

Αξίζει να σημειωθεί πως και τα α δυο εικονικά δίκτυα είναι φυσικά διαχωρισμένα μεταξύ τους . Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη ασφάλεια και οργάνωση στο δίκτυο , πράγμα που αποτελεί ένα από τα κυρίαρχα στοιχεία σε αυτού του μεγέθους τα δίκτυα .

Ωστόσο με την βοήθεια της παρακάτω απεικόνισης , αποτυπώνεται ο πλήρης διαχωρισμός των δυο δικτύων . Να σημειωθεί πως και τα δύο δίκτυα βρίσκονται στον ίδιο μηχανισμό ελέγχου κίνησης T.E.

Πιο αναλυτικά στο πρώτο σχήμα μπορεί κανείς να παρατηρήσει την αύξηση της κίνησης στο VPLS1 ενώ στο VPLS2 . Χωρίς όμως να παρατηρείται καμία αλλαγή στην κίνηση που προκλήθηκε στέλλοντας την εντολή ping από την διεύθυνση 10.10.10.1 του δρομολογητή CE1 στον CE2 δρομολογητή με διεύθυνση 10.10.10.2.

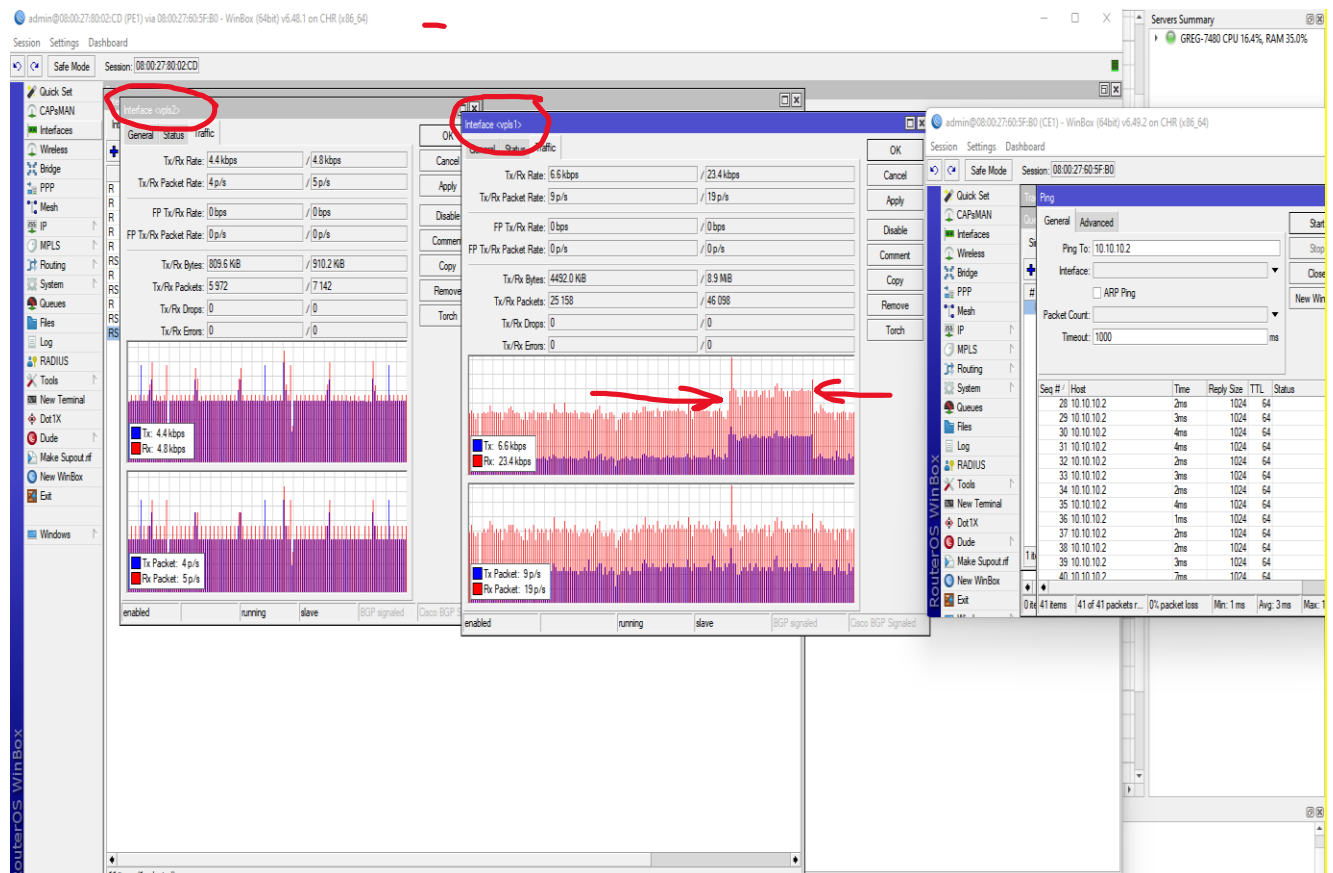


Figure 24 VPLS Traffic

Στην συνέχεια στην επόμενη εικονική απεικόνιση παρουσιάζεται η κίνηση στο VPLS2 που προκλήθηκε μεταξύ του VPCS 1 με διεύθυνση 10.11.11.11 και του VPCS 2 με διεύθυνση 10.11.11.12 . Ωστόσο τα αποτελέσματα είναι κοινά και δεν υπήρχε κάτι διαφορετικό .

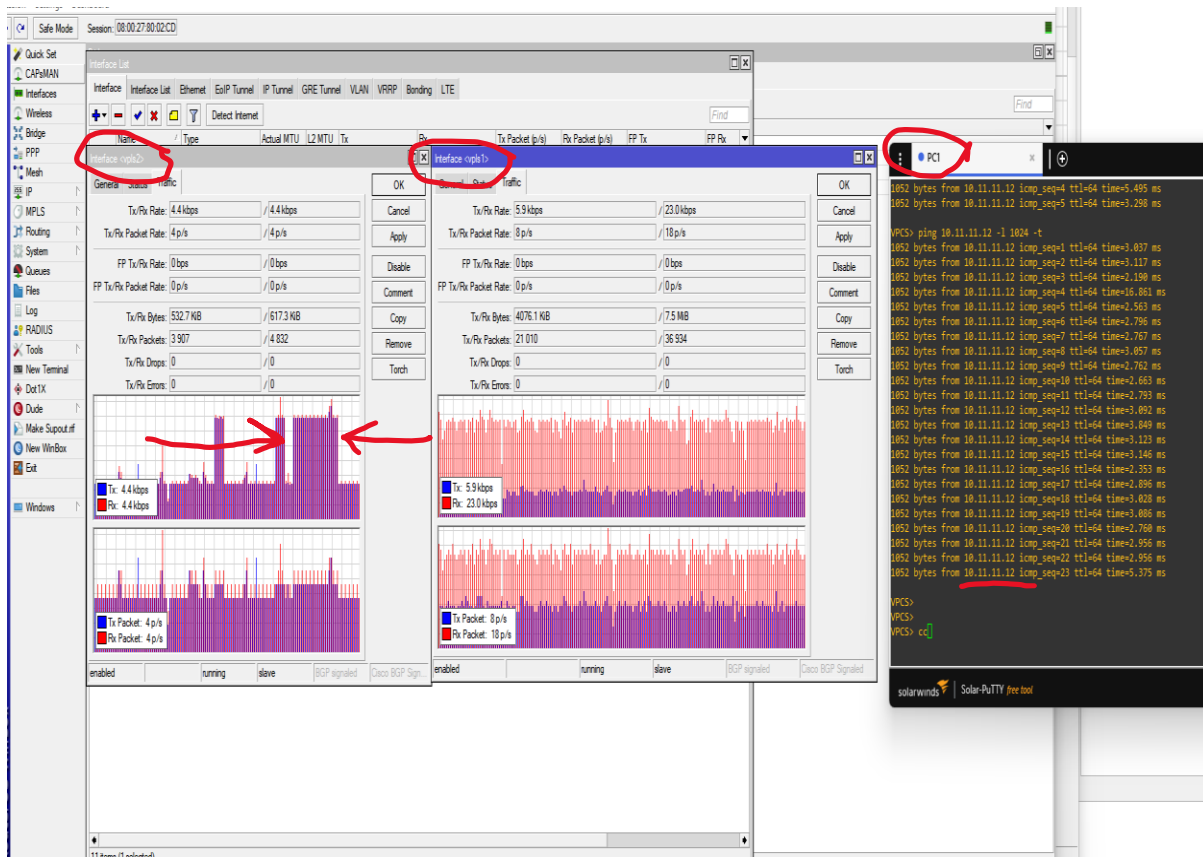


Figure 25 VPLS Traffic 2

4.4 Συμπεράσματα

Από την παραπάνω μεταπτυχιακή εργασία και ύστερα από την ορθή μελέτη και κατανόηση του θέματος το οποίο ερευνήθηκε προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα που θα ήθελα κλείνοντας την συγκεκριμένη εργασία να αναφέρω. Πιο συγκεκριμένα προέκυψε πως το συγκεκριμένο αντικείμενο εφαρμόζεται από τους παρόχους καθώς πλέον και από επιχειρήσεις ανεξαρτήτου μεγέθους (μικρές , μικρομεσαίες , μεσαίες ακόμη και μεγάλες ή και πολυεθνικές)..Αυτό συμβαίνει διότι όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παραπάνω εργασία, το κόστος για παράδειγμα ενός δρομολογητή, έχει φτάσει σε μια ικανοποιητική τιμή και μπορεί πλέον οποιαδήποτε επιχείρηση να τον προμηθευτεί άμεσα. Ωστόσο με την βοήθεια που έχει προσφέρει η τεχνολογία που εκτενώς αναλύθηκε στην εργασία αυτή , η τεχνολογία δηλαδή MPLS και Traffic Engineering, προσφέρει την δυνατότητα δημιουργίας εναλλακτικών διαδρομών σε αστοχίες με αυτόματη αποκατάσταση. Επιπλέον είναι ιδανική για χρήση στα ασύρματα δίκτυα κορμού ακόμη και εκεί δηλαδή που το εύρος είναι αρκετά περιορισμένο.

Η παραπάνω ανάπτυξη που πραγματοποιήθηκε στο δικτύου ,χωρίς να απαιτούνται χρονοβόρες διαδικασίες , ή επεμβάσεις στους δρομολογητές , ή αυξομείωση του διαθέσιμου εύρους στην συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος από τον διαχειριστή. Με αυτόν τον τρόπο αποδείχθηκε πως πολύ εύκολα μπορεί να πραγματοποιηθεί η παραμετροποίηση χωρίς να χρειάζεται να αλλάξουν συνολικά οι παραμετροποιήσεις σε δρομολογητές όπου στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αδύνατο να υπολογιστούν οι αλυσιδωτές διαφορές που θα προκύπτουν στη ροή της κίνησης αλλά και στην απαίτηση του παρεχόμενου εύρους .

Ένα στοιχείο που θα πρέπει να επισημανθεί για την περαιτέρω ανάπτυξη αυτών των δικτύων, όπου χαρακτηρίζονται σαν προχωρημένα , είναι και η ευκολία που βρέθηκαν κυρίως στο διαδίκτυο απαντήσεις σε ζητήματα αλλά και απορίες που γεννήθηκαν στην ανάπτυξη της μελέτης του θέματος που αναπτύχθηκε. Σε αντίθεση του μέχρι πρότινος αντίληψης. Η δυνατότητα της δημιουργίας ενός δικτύου σε εικονικό περιβάλλον χωρίς σε αυτό να εισέρχονται περιορισμοί στη χρησιμοποίησης είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την προετοιμασία στην εφαρμογή , όπως και στην επίλυση προβλημάτων. Η εφαρμογή σε νεοφυής Επιχειρήσεις ακόμα και σε νέους παρόχους με την δυνατότητα ανάπτυξης ενός δικτύου βασισμένο στις δυνατότητες των δρομολογητών που εξετάστηκαν δημιουργώντας ένα συγκριτικό πλεονέκτημα για την συρρίκνωση του κόστους ανάπτυξης, για να μπορέσουν να αναδειχτούν στη αγορά μιας και οι υφιστάμενες έχουν αποσβέσει ένα μεγάλο μέρος του κόστους των υφιστάμενων υποδομών.

4. Βιβλιογραφία

- [1] Apnic, presentation Nurul Islam Roman mpls_te-apricot-final_120217_1486896780.pdf
- [2] Steenbergen, R. (2013). MPLS RSVP-TE auto-bandwidth: Practical lessons learned. URL: https://www.nanog.org/sites/default/files/tues_general.steenbergen Autobandwidth,
- [3] Apnic, presentation Nurul Islam Roman mpls_te-apricot-final_120217_1486896780.pdf
- [4] Apnic, presentation Nurul Islam Roman mpls_te-apricot-final_120217_1486896780.pdf
- [5] Apnic, presentation Nurul Islam Roman mpls_te-apricot-final_120217_1486896780.pdf
- [6] Steenbergen, R.: Practical lessons : mpls-nanog49.pdf
- [7] Steenbergen, R.: Practical lessons : mpls-nanog49.pdf
- [8] Apnic, mpls_te-apricot-final_120217_1486896780.pdf
- [9] Steenbergen, R. (2013). MPLS RSVP-TE auto-bandwidth: Practical lessons learned. URL: https://www.nanog.org/sites/default/files/tues_general.steenbergen Autobandwidth, 30
- [10] Steenbergen, R. (2013). MPLS RSVP-TE auto-bandwidth: Practical lessons learned. URL: https://www.nanog.org/sites/default/files/tues_general.steenbergen Autobandwidth, 30.
- [11] Steenbergen, R. (2013). MPLS RSVP-TE auto-bandwidth: Practical lessons learned. URL: https://www.nanog.org/sites/default/files/tues_general.steenbergen Autobandwidth, 30.
- [12] Steenbergen, R. (2013). MPLS RSVP-TE auto-bandwidth: Practical lessons learned. URL: https://www.nanog.org/sites/default/files/tues_general.steenbergen Autobandwidth, 30.

[13] Mikrotik : <https://mikrotik.com/download>

[14] Oracle VMware:

<https://www.oracle.com/in/virtualization/technologies/vm/downloads/virtualbox-downloads.html>

[15] GNS3: <https://www.gns3.com/software/download>

[16] Mikrotik cloud hosting routerboard (image for simulation) :
<https://mikrotik.com/download/archive>