



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**  
**ΠΜΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΜΕ  
ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΑΝΑ ΣΥΝΔΕΣΗ**

**Μαυρογιώργος Δημήτριος**

Επιβλέπων: Στεργίου Ελευθέριος  
Αναπληρωτής Καθηγητής

Άρτα, Ιούλιος, 2022

**LOAD BALANCING OF NETWORK CONNECTION USING THE  
PER CONNECTION CLASSIFIER (PCC) METHOD**



**Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή**

Άρτα, /Ιουλίου/2022

## **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

1. Επιβλέπων καθηγητής

Ελευθέριος Στεργίου,

Αναπληρωτής Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Ευριπίδης Γλαβάς,

Κοσμήτορας, Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Σπυριδούλα Μαργαρίτη,

ΕΔΙΠ

Ο/Η Διευθυντής/τρια

του ΠΜΣ Γκόγκος Χρήστος,

Αναπληρωτής Καθηγητής Υπογραφή

© Μαυρογίωργος, Δημήτριος, 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 εκ 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.

Επίθετο, Όνομα

Υπογραφή

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Ιωάννινων στο μεταπτυχιακό τμήμα Πληροφορικής και Δικτύων.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπον καθηγητή μου κ. Στεργίου Ελευθέριο για την ιδέα για το συγκεκριμένο θέμα που μου έδωσε για την διπλωματική μου εργασία, αλλά και για το ενδιαφέρον του, τις υποδείξεις του, την συνεχή υποστήριξη που μου έδειξε από την αρχή έως το τέλος.

Στους ανθρώπους που με βοήθησαν να συνεχίσω και με εμπύχωσαν, οι φίλοι μου, Δημήτρης Κράββαρης, Ευαγγέλια Κιούση, Κατερίνα Οικονόμου, Θεοδώρα Τσιλιγιάννη.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, για όλη την στήριξη, συμπαράσταση και κατανόηση τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

# Περιεχόμενα

Δήλωση μη λογοκλοπής.....	iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	iv
Κατάλογος Εικόνων .....	vi
Κατάλογος Πινάκων.....	vii
Κατάλογος Διαγραμμάτων .....	vii
Περίληψη .....	viii
Abstract.....	ix
Μέρος Α'. Θεωρητικό Πλαίσιο .....	1
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Ορισμός του προβλήματος.....	1
1.2. Στόχοι και σκοποί της εργασίας.....	2
1.2.1. Ερευνητικά Ερωτήματα .....	3
1.2.2. Σημαντικότητα της έρευνας .....	3
1.3 Δομή Εργασίας.....	3
2 Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	4
2.1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	4
2.2. Η θεώρηση της Mikrotik για Load balance.....	13
2.3.1. Βασικές έννοιες και ορισμοί .....	13
2.3.2. Δρομολογητής εξισορρόπησης φορτίου.....	13
2.3.3. Η πρακτική της Mikrotik (Τεχνικές εξισορρόπησης φορτίου σε δρομολογητές Mikrotik ) .....	14
Μέρος Β'. Ερευνητικό - Πειραματικό Μέρος.....	16
3.1. Μεθοδολογία.....	16
3.2 Winbox Software.....	17
3.3 MiktoTik Router .....	17
3.4 Σχέδιο διαμόρφωσης εξισορρόπησης φορτίου .....	18
4. Πειραματική προσέγγιση μεθόδου Per Connection Classifier.....	20
4.1 Σενάριο 1: Διαμόρφωση Router με ενσύρματο εσωτερικό δίκτυο και δύο εξωτερικές συνδέσεις.....	20
4.1.1. Διαμόρφωση Σεναρίου 1 μέσω WinBox GUI .....	23
4.1.2. Διαμόρφωση Σεναρίου 1 μέσω κώδικα (console).....	32
4.2 Αποτελέσματα Σεναρίου 1 .....	37
4.3. Σενάριο 2° Διαμόρφωση Router με Wi-Fi εσωτερικό δίκτυο και δύο εξωτερικές συνδέσεις.....	42
4.3.1. Διαμόρφωση Σεναρίου 2 (ασύρματου εσωτερικού δικτύου Wi-Fi) μέσω WinBox GUI .....	42



4.3.2. Διαμόρφωση Σεναρίου 2 (ασύρματου εσωτερικού δικτύου Wi-Fi) μέσω κώδικα (console).....	49
4.3.3. Αποτελέσματα Σεναρίου 2(ασύρματου εσωτερικού δικτύου Wi-Fi).....	51
5. Συμπεράσματα.....	56
Γράφημα 3: Γραφική αναπαράσταση σύγκρισης Ethernet με Wi-Fi.....	59
6. Χρησιμότητα.....	60
Βιβλιογραφία .....	62
Ηλεκτρονικές Πηγές: .....	63

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.Διάγραμμα αλγορίθμου PCC.....	5
Εικόνα 2.Στάδια εξισορρόπησης φορτίου με την μέθοδο PCC.....	18
Εικόνα 3.Η Τοπολογία του υλοποιημένου δικτύου.....	20
Εικόνα 4.Ορισμός διευθύνσεων θυρών του MikroTik.....	23
Εικόνα 5.Ορισμός IP Address .....	23
Εικόνα 6.Διαμόρφωση γραμμής εισόδου WAN1.....	24
Εικόνα 7.Γενική εικόνα load Balancing μέσω Mangle .....	24
Εικόνα 8.Διαμόρφωση γραμμής εξόδου WAN1 .....	25
Εικόνα 9.Γενική εικόνα διαμόρφωσης γραμμής εισόδου- εξόδου για WAN1 & WAN2 .....	25
Εικόνα 10.Εισαγωγή IP διεύθυνσης WAN1 για το LAN .....	26
Εικόνα 11.Γενική εικόνα των IP διεθύνσεων του Lan σε σχέση με το WAN1 & WAN2 .....	26
Εικόνα 12.Διαμόρφωση IP & Ports με την μέθοδο (PCC) .....	27
Εικόνα 13.Γενική εικόνα WAN1 & WAN2 με Per Connection Classifier .....	27
Εικόνα 14.Συσχέτιση IP του WAN1 ως προς το LAN .....	28
Εικόνα 15.Συνολικές ρυθμίσεις της διαμόρφωσης WAN1 & WAN2 ως προς το εσωτερικό δίκτυο LAN.....	28
Εικόνα 16.Ρύθμιση του Route του WAN 1 .....	29
Εικόνα 17.Ρύθμιση του Route του WAN1 & WAN2 .....	29
Εικόνα 18.Ρύθμιση του NAT Route του WAN1 .....	30
Εικόνα 19.Δημιουργία DNS Server.....	30
Εικόνα 20.Δημιουργία DHCP Server .....	31
Εικόνα 21.Setup DHCP Server .....	31
Εικόνα 22.Αποτελέσματα στιγμιαίες μετρήσεις των links WAN1, WAN2 & LAN της δοκιμής μας (Download-Upload).....	37
Εικόνα 23.Απόδοση Γραμμής με διακοπή WAN2 link .....	38
Εικόνα 24.Απόδοση Γραμμής με διακοπή WAN1 link .....	38
Εικόνα 25.Downloading αρχείο (1GB) .....	39
Εικόνα 26.Downloading αρχείο (5 GB) .....	39
Εικόνα 27.Downloading αρχείο (10 GB) .....	39
Εικόνα 28.Uploading αρχείο (2 GB) .....	39

Εικόνα 29.Download με περισσότερα δεδομένα .....	40
Εικόνα 30.Ασύρματη τοπολογία εσωτερικού δικτύου Wi-Fi .....	42
Εικόνα 31.Διαμόρφωση Wi-Fi .....	43
Εικόνα 32.Ρυθμίσεις Wi-Fi.....	43
Εικόνα 33.Ενεργοποίηση Wi-Fi .....	44
Εικόνα 34.Interface Wlan1 .....	44
Εικόνα 35.Interface LAN-Bridge.....	45
Εικόνα 36.Δημιουργία τεσσάρων Interfaces LAN-Bridge.....	46
Εικόνα 37.Ορισμός διευθύνσεων θυρών του MikroTik για την λειτουργία του Wi-Fi .....	46
Εικόνα 38.Δημιουργία Gateway.....	47
Εικόνα 39.Δημιουργία NAT Routes.....	47
Εικόνα 40.Δημιουργία DHCP Server Interface.....	48
Εικόνα 41.Δημιουργία DHCP.....	48
Εικόνα 42.Στιγμιαία αποτελέσματα απόδοσης των WAN1, WAN2 και wlan1 της δοκιμής μας (Download-Upload) με Wi-Fi .....	51
Εικόνα 43.Απόδοση Γραμμής με διακοπή WAN2 link με Wi-Fi.....	52
Εικόνα 44.Απόδοση των links με διακοπή WAN1 link και με εσωτερικό Wi-Fi .....	52
Εικόνα 45.Downloading αρχείο (1GB) .....	53
Εικόνα 46.Downloading αρχείο (5GB).....	53
Εικόνα 47.Downloading αρχείο (10GB) .....	53
Εικόνα 48.Uploading αρχείο (2 GB) .....	54
Εικόνα 49.Download με περισσότερα δεδομένα με Wi-Fi .....	54

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Τεχνικές εξισορρόπησης φορτίου σε αντιστοιχίσει με τις μεθόδους .....	14
Πίνακας 2. Αντιστοίχιση ποιότητας Video και τις αντίστοιχες τιμές στα δίκτυα σε Mbps μέσω Ethernet.....	40
Πίνακας 3:Αντιστοίχιση ποιότητας Video και τις αντίστοιχες τιμές στα δίκτυα σε Mbps μέσω Wi-Fi.....	55

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

Γράφημα 1: Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του Πίνακα 2 .....	41
Γράφημα 2: Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του Πίνακα 3.....	55
Γράφημα 3: Γραφική αναπαράσταση σύγκρισης Ethernet με Wi-Fi. ....	59

## Περίληψη

Στον τομέα των δικτύων η εξισορρόπηση του φορτίου (Load Balancing) αποτελεί μια διαδικασία η οποία κατανέμει ένα φορτίο δεδομένων μεταξύ συνδέσεων (links) σκοπεύοντας σε αποτελεσματικότερη απόδοση του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, η εξισορρόπηση του φορτίου έχει την δυνατότητα να βελτιώσει τον χρόνο απόκρισης αποφεύγοντας την άνιση υπερφόρτωση των κόμβων ενός δικτύου, την ίδια στιγμή που άλλοι κόμβοι είναι αδρανείς. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης της διαδικασίας εξισορρόπησης φορτίου δεδομένων μέσα από μια πειραματική διαδικασία με την χρήση Router της MikroTik και με υλοποίηση της τεχνικής per connection classifier (pcc).

*Λέξεις Κλειδιά: Load balancing, performance of network, Mikrotik, Static load balancing, Dynamic load balancing, load distribution, per connection classifier*

## **Abstract**

In the field of networks, load balancing (Load Balancing) is a process that distributes a load of data tasks with the aim of more efficient network processing. More specifically, load balancing has the potential to improve response time by avoiding uneven overload of nodes in a network while other nodes are idle. In the present work, an attempt is made to present the process of balancing the workload through an experimental process using the MikroTik Router by using the technique per connection classifier.

*Keywords: Load balancing, performance of network, MikroTik, Static load balancing, Dynamic load balancing, load distribution, per connection classifier*

# Μέρος Α'. Θεωρητικό Πλαίσιο

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Ορισμός του προβλήματος

Όλα τα συστήματα πόσο μάλλον τα κατανεμημένα συστήματα αποτελούνται από μια συλλογή υπολογιστικών και δικτυακών πόρων που τα οποία διαμοιράζονται οι περισσότεροι χρήστες τους. Σε τέτοια περιβάλλοντα, ένας αριθμός κόμβων ή υπολογιστών συνδέονται μεταξύ τους με τη βοήθεια της υποκείμενης δικτύωσης. Οι κόμβοι και το σύστημα δικτύωσης σχηματίζουν μια αυθαίρετη τοπολογία μη κατευθυνόμενου γράφου (τα δεδομένα στέλνονται και προς τις δύο κατευθύνσεις) όπου οι κόμβοι των άκρων ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω των ακμών (συνδέσεων) μεταξύ τους. Για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων και αποτελεσματικού διαμοιρασμού του υπολογιστικών και δικτυακών πόρων που αποτελούν το σύστημα, είναι σημαντικό να διανέμεται ο φόρτος εργασίας και η κυκλοφορία των δεδομένων, ομοιόμορφα στις διάφορες μονάδες επεξεργασίας και στις συνδέσεις (Deng et al., 1997).

Όταν το σύστημα αυξάνεται και γίνεται όλο και μεγαλύτερο και η κίνηση των δεδομένων διεξάγεται μέσω πολλαπλών συνδέσμων, η ζήτηση για τέτοιους πόρους συνεχώς μεγαλώνει. Το πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι η κίνηση των δεδομένων που μεταδίδονται ανάμεσα στους κόμβους από διαφορετικές συνδέσεις/ διαδρομές, πολλές φορές δεν εξισορροπείται ορθά με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι καθυστερήσεις στο δίκτυο και να μειώνεται η απόδοσή του. Μια αποδοτική λύση στο πρόβλημα αυτό είναι “η ελαχιστοποίηση του χρόνου που δαπανάται για την ολοκλήρωση όλων των εργασιών σε ένα δίκτυο” (Deng et al., 1997). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση τεχνικών εξισορρόπησης φορτίου. Για τον λόγο αυτό η εξισορρόπηση του φόρτου της κυκλοφορίας των δεδομένων είναι πολύ σημαντική. (Rajguru,2012).

Η εξισορρόπηση φορτίου στα δίκτυα χρησιμοποιείται για την κατανομή του φορτίου κυκλοφορίας δεδομένων σε δύο ή περισσότερες γραμμές σύνδεσης με ισορροπημένο τρόπο, ώστε η κίνηση να διεξάγεται με τον βέλτιστο τρόπο, και να μεγιστοποιείται η απόδοση του εύρους ζώνης που λαμβάνεται από τον πάροχο. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ισορροπία φορτίου για την ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης και την αποφυγή υπερφόρτωσης σε μία από τις γραμμές σύνδεσης. Σύμφωνα με τον Godha κ.ά., (2014), η εξισορρόπηση φορτίου στα δίκτυα είναι μια τεχνική κατανομής του φόρτου εργασίας στους

πόρους του συστήματος (υπολογιστές, συνδέσεις, κεντρικές μονάδες επεξεργασίας, κλπ.) Οι τεχνικές κατανομής φορτίου που πρέπει να αναπτυχθούν οφείλουν να είναι αποτελεσματικές. Το γεγονός αυτό απασχόλησε κατά καιρούς αρκετούς ερευνητές. Οι τεχνικές κατανομής του φορτίου θα πρέπει να μεγιστοποιούν την απόδοση του δικτύου, διατηρώντας την σταθερότητα και ελαχιστοποιώντας τις καθυστερήσεις επικοινωνίας και επιτρέποντας ανοχή σε τυχόν σφάλματα (Niranjana, 2012).

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές εξισορρόπησης φορτίου σε ένα δίκτυο: με χρήση υλικού, λογισμικού, εικονοποίησης και βασιζόμενο στο cloud. Η παρούσα εργασία εστιάζει στη χρήση υλικού, δηλαδή τη χρήση ειδικών συσκευών (π.χ δρομολογητών) και εφαρμόζοντας τεχνικές εξισορρόπησης ανά σύνδεση όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

## **1.2. Στόχοι και σκοποί της εργασίας**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση του βέλτιστου τρόπου εξισορρόπησης των συνδέσεων ενός τοπικού δικτύου με το διαδίκτυο υποθέτοντας ότι είναι διαθέσιμες περισσότερες από μια συνδέσεις WAN. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται χρήση δύο γραμμών (links) και ενός router της εταιρείας MikroTik που επιτρέπουν την πρόσβαση στο διαδίκτυο ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή (οικιακής χρήσης). μέσω ή έχουν την δυνατότητα να καταλήξουν με την χρήση μιας ίδιας δεύτερης συσκευής ώστε να δημιουργηθεί ένα Access Point μεγαλύτερου δικτύου πέραν της οικιακής χρήσης που μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες. Η εξισορρόπηση του φορτίου είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα δίκτυα υπολογιστών αφού αποτελεί λειτουργία που συμβάλλει στην απόδοση του. Παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή της επεκτείνεται με γοργούς ρυθμούς σε μεγάλα δίκτυα εταιρειών και παρόχων στην εν λόγω εργασία γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης της λειτουργίας του σε τοπικό επίπεδο με χρήση συσκευής MikroTik στην αποτύπωση ευρείας γκάμας δεδομένων όπως εικόνα, βίντεο downloading Surfing κ.ά. όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στο ερευνητικό μέρος. Στόχος είναι να δοκιμαστεί μια τεχνική εξισορρόπησης του φορτίου ανά σύνδεση για να κατανοηθεί η λειτουργία της, να διαπιστωθεί η ποιότητα της υπηρεσιών που παρέχει, να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητά της και να αποκαλυφθούν τυχόν προβλήματα κατά την υλοποίηση και εφαρμογή της.

### 1.2.1. Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν και καλείται η παρούσα εργασία να απαντήσει περιγράφονται ως ακολούθως:

1. Σε ποιο βαθμό επιτυγχάνεται η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των πληροφοριών που μεταδίδονται;
2. Η συνδεσιμότητα των δύο γραμμών στο router της MikroTik παρουσιάζει κάποια δυσλειτουργία στην μετάδοση των δεδομένων;
3. Παρέχεται η μέγιστη απόδοση του δικτύου με την συνδεσμολογία που επιλέχθηκε?
4. Τελικώς, επιτυγχάνεται το load balancing στο πείραμα που περιγράφουμε;

### 1.2.2. Σημαντικότητα της έρευνας

Η ιδιαιτερότητα των όσων μελετήθηκαν και ερευνήθηκαν αποσκοπούν στο να αποδείξουν ότι το load balancing με τις τεχνικές που περιγράφονται στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας αποτελεί μια σημαντική λειτουργία του τρόπου που μεταδίδεται η πληροφορία στα δίκτυα υπολογιστών. Πιο συγκεκριμένα, η εν λόγω έρευνα προσπαθεί να αναδείξει κατά πόσο αυτή η τεχνική είναι ευέλικτη, αποδοτική και χρήσιμη.

### 1.3 Δομή Εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από δύο μέρη. **Το πρώτο μέρος** αφορά το θεωρητικό πλαίσιο στο οποίο περιλαμβάνονται οι στόχοι και οι σκοποί της εργασίας, τα ερευνητικά ερωτήματα και η σημαντικότητα της έρευνας. Στο θεωρητικό μέρος περιλαμβάνεται επίσης εκτενής βιβλιογραφική επισκόπηση η οποία εμπεριέχει συναφείς έρευνες στο υπό μελέτη αντικείμενο. **Στο δεύτερο μέρος**, παρουσιάζεται το κύριο ερευνητικό μέρος της εργασίας όπου περιγράφεται βήμα-βήμα η υλοποίηση του load balancing με την μέθοδο per connection classifier μέσω ενός router της MikroTik.

## 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Το διαδίκτυο αποτελεί ένα μέσο για να υποστηρίξει τόσο την μάθηση όσο και την εργασία. Ωστόσο, εντοπίζονται μερικά προβλήματα όπως η απώλεια σύνδεσης στο διαδίκτυο, ή αργές συνδέσεις όπου η έξοδος δεν ταιριάζει στο εύρος ζώνης που ανήκει. Το γεγονός αυτό αντιμετωπίζεται κάνοντας χρήση δύο μόντεμ διαδικτύου από διαφορετικούς ISP σε συνδυασμό με τη διαδικασία Load Balancing. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για να συνδυαστούν δύο μόντεμ διαδικτύου για να μπορεί η μια σύνδεση να είναι εφεδρική της άλλης σύνδεσης σε περίπτωση απώλειας. Το Load Balance περιέχει τέσσερις μεθόδους οι οποίες είναι: Static Router with Address List, ECMP, PCC και Nth. Το πρόβλημα που προκύπτει αφορά την επιλογή της μεθόδου για την εξισορρόπηση του φορτίου (Christanto, et al., 2019).

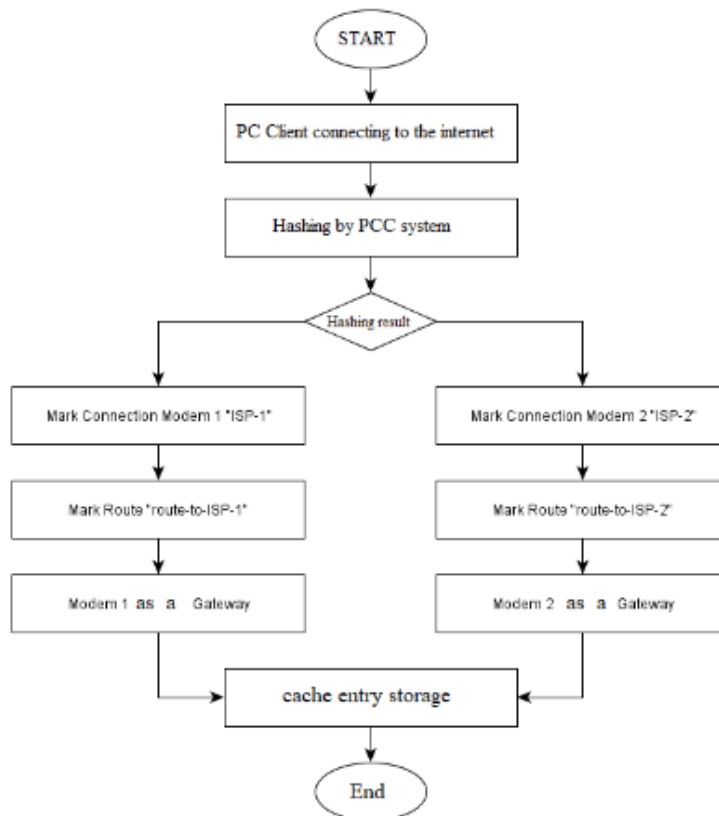
Το Load Balance αποτελεί στην ουσία μια τεχνική όπου διανέμει την κυκλοφορία κατά την πρόσβαση στο διαδίκτυο σε δύο γραμμές σύνδεσης. Στόχος είναι μια ομοιόμορφη ισορροπία φορτίου αποσκοπώντας στην ελαχιστοποίηση της υπερφόρτωσης των γραμμών σύνδεσης κάνοντας μέγιστη την απόδοση, μειώνοντας τον χρόνο καθυστέρησης της κυκλοφορίας. Το Load Balancing, διακρίνει την πύλη που διασχίζει η κυκλοφορία με την πρόσβαση στο διαδίκτυο με αποτέλεσμα να μην αναμένεται μεγάλη συσσώρευση κυκλοφορίας σε λάθος διαδρομές. Ωστόσο, μια διαδικασία Load Balancing, κάνει χρήση εξοπλισμού όπως: διακομιστή, δρομολογητή και παρόχων δικτύου. Ο δρομολογητής έχει καταλυτικό ρόλο στην μέθοδο που έχει διαμορφωθεί και επιλεγθεί εξ αρχής. Έτσι, στην εν λόγω διαδικασία, όταν ληφθεί ένα αίτημα υπηρεσίας από τον χρήστη αυτομάτως η εφαρμογή το προωθεί στον κύριο διακομιστή. Κατά κύριο λόγο, το Load Balancing, έχει την δυνατότητα να προσδιορίσει ποιος είναι ο διακομιστής που έχει το χαμηλότερο φορτίο και μπορεί να αποκριθεί γρήγορα (Christanto, et al., 2019).

Η μέθοδος που επιλέγεται στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας είναι η Per Connection Classifier (PCC). Η μέθοδος αυτή είναι μια μέθοδος εξισορρόπησης φορτίου η οποία κάνει χρήση ενός αλγορίθμου και διερευνά την σχέση ανάμεσα στον διακομιστή και στον πελάτη. Παρέχει εγγυήσεις καθώς κατά την πρόσβαση στο διαδίκτυο, η κίνηση μεταβαίνει στην ίδια διαδρομή σύνδεσης όταν το πακέτο δεδομένων είναι συγγενικό. Το παρακάτω διάγραμμα, δείχνει την λειτουργία της συγκεκριμένης μεθόδου, στην οποία περιγράφονται αρκετές ομάδες κίνησης σύνδεσης οι οποίες διέρχονται από την διαδρομή



του δρομολογητή για να γνωρίσει ο δρομολογητής το μονοπάτι της κάθε πύλης. Το πλεονέκτημα που προσφέρει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ότι η σχέση πελάτη διακομιστή παραμένει άθικτη γιατί ακολουθεί το ίδιο μονοπάτι. Για να γίνει περισσότερο κατανοητό, παρατίθεται το παρακάτω παράδειγμα. Αν υπάρχει πρόσβαση στο Youtube, και χρησιμοποιείται η μέθοδος του Round Robin, η IP διεύθυνση θα υφίσταται συνεχώς μεταβολές, ενώ με την χρήση της μεθόδου PCC, αυτό δεν θα συμβεί καθώς ελαχιστοποιείται η καθυστέρηση τόσο κατά την περιήγηση όσο και κατά την λήψη (Safrianti, 2021).

Η PCC αποτελεί την καλύτερη μέθοδο εξισορρόπησης φορτίου αφού έχει την δυνατότητα απόδοσης κοινής χρήσης φορτίων και κυκλοφορίας που γίνεται από δύο παρόχους ISP. Ωστόσο, η αδυναμία αυτής της μεθόδου έγκειται στο ότι δίνει προτεραιότητα στην κρυφή μνήμη και κρατά ιστορικό σε κάποιες από τις διαδρομές ISP. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι θα υπάρξει συσσώρευση διαδρομών σε ένα πάροχο λόγω του ότι οι διαδρομές αυτές χρησιμοποιούνται και από άλλους παρόχους υπηρεσιών του διαδικτύου οι οποίες παρουσιάζουν συμφόρηση.



**Εικόνα 1. Διάγραμμα αλγορίθμου PCC**

Έτσι, η μέθοδος PCC, θα κάνει διαίρεση του φορτίου πληροφοριών βασιζόμενη πάντα στην πηγή, την διεύθυνση προορισμού αλλά και τη διεύθυνση της θύρας. Όλα τα

αιτήματα του διαδικτύου που υποβάλλονται από τους χρήστες καταλήγουν στον δρομολογητή ο οποίος έχει υποστεί διαμόρφωση εξισορρόπησης του φορτίου με την μέθοδο PCC. Με αυτόν τον τρόπο ο δρομολογητής θα προβεί στην διαχείριση των αιτημάτων που προέρχονται από τους χρήστες μέσα από την πρώτη γραμμή (Πάροχος ISP 1) ή μέσα από την δεύτερη γραμμή (Πάροχος ISP 2) για να υπάρξει πρόσβαση σύνδεσης στο διαδίκτυο. Τα αποτελέσματα που αναμένονται θα δείχνουν όμοια κατανομή στις γραμμές των παροχών 1 και 2 για να αποφευχθεί η υπερφόρτωση. Αυτή η ρύθμιση παραμέτρων θα εφαρμοστεί στο δρομολογητή MikroTik χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Winbox (Safrianti, 2021).

Οι δυσκολίες στην εξισορρόπηση του φορτίου είναι από μόνες τους ένα βασικό πρόβλημα σε εφαρμογές δικτύου. Αν δεν υπάρξουν στρατηγικές και ανάλογες τεχνικές φορτίου δεν μπορεί να επιτευχθεί μια καλή απόδοση (Kushwaha&Gupta, 2015).

Τα ζητήματα που αφορούν την εξισορρόπηση φορτίου περιγράφονται παρακάτω (Kushwaha & Gupta, 2015) :

- Σε ένα κατανεμημένο περιβάλλον τα κανάλια επικοινωνίας έχουν ένα εύρος ζώνης και οι μονάδες επεξεργασίας έχουν την δυνατότητα με φυσικό τρόπο να είναι φυσικά απομακρυσμένες. Βέβαια, η εξισορρόπηση του φορτίου οφείλει να αποφασίσει για το αν θα υπάρξει η δυνατότητα μετεγκατάστασης ή όχι,
- Μια εργασία υπολογιστών μπορεί να μην μπορεί να διαιρεθεί αυθαίρετα καταλήγοντας σε περιορισμούς για κάποιες εργασίες,
- Κάθε εργασία αποτελείται από άλλες μικρότερες εργασίες που έχουν διαφορετικούς χρόνους εκτέλεσης,
- Το φορτίο που έχει ο κάθε επεξεργαστής μπορεί να είναι διαφορετικό και καθορίζεται από τον φόρτο εργασίας που έχουν οι χρήστες,
- Η χωρητικότητα που έχει ο κάθε επεξεργαστής μπορεί να είναι διαφορετικός σχετικά με την αρχιτεκτονική, το λειτουργικό σύστημα και την CPU, τη ταχύτητα, το μέγεθος κ.α.,

Έχοντας υπόψιν τα παραπάνω, η εξισορρόπηση του φορτίου γενικότερα σχετίζεται με την παρακολούθηση του φορτίου (κατανομή φορτίου για κάθε εργασία, κλπ.) και την κατάσταση που βρίσκεται ο επεξεργαστής.

Οι στρατηγικές ισορρόπησης του φορτίου, για παραπάνω από είκοσι χρόνια αποτελούν βασικό αντικείμενο έρευνας. Στην βιβλιογραφία, έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι και στρατηγικές. Κάποιες από τις στρατηγικές που είναι οι:

- **Sender Initiated:** αυτός ο τύπος εξισορροπητή αφορά έναν αλγόριθμο ο οποίος αρχικοποιείται από τον αποστολέα. Στον συγκεκριμένο τύπο αλγορίθμου, ο αποστολέας αποστέλλει μηνύματα αιτήματος μέχρι να εντοπίσει έναν δέκτη που να μπορεί να λάβει το φορτίο (Rajguru, 2012),
- **Receiver Initiated:** ο αλγόριθμος εξισορρόπησης του φορτίου ξεκινά από τον δέκτη. Σε αυτόν τον αλγόριθμο ο δέκτης αποστέλλει μηνύματα αιτημάτων μέχρι να βρει έναν αποστολέα που μπορεί να στείλει το φορτίο (Rajguru, 2012).

Άλλες στρατηγικές εξισορρόπησης φορτίου που περιγράφονται είναι οι ακόλουθες:

- **Κεντρικές στρατηγικές έναντι αποκεντρωμένων στρατηγικών:** ο εξισορροπητής φορτίου διακρίνεται σε κεντρικό ή κατανεμημένο ανάλογα με την θέση που έχει (Alakeel, 2010).

Σε κεντρικά σχήματα ο εξισορροπητής του φορτίου εντοπίζεται σε κεντρικά σημεία και μπορεί να είναι είτε σταθμοί εργασίας είτε κόμβοι που λαμβάνουν τις αποφάσεις. Επί της ουσίας, ένας κόμβος που θεωρείται “**κύριος**” ελέγχει τον αριθμό των εργασιών που πρόκειται να εκτελεστούν και αποστέλλονται σε κάποιο κόμβο εκτέλεσης. Κάθε φορά που η διαδικασία εκτέλεσης ολοκληρώνει μια εργασία, στέλνει αίτημα εκτέλεσης της επόμενης στην σειρά εργασία. Ωστόσο, αν το σχήμα είναι αποκεντρωμένο, στους σταθμούς εργασίας έχει αποσταλεί ένα αντίγραφο του εξισορρόπησης του φορτίου. Αυτό το σχήμα χρησιμοποιεί διαφορετικούς αλγόριθμους.

Επίσης, ένας αλγόριθμος εξισορρόπησης φορτίου διακρίνεται σε:

- **Αλγόριθμος εξισορρόπησης του στατικού φορτίου:** οι αλγόριθμοι αυτοί, δεν έχουν την ανάγκη πληροφοριών του συστήματος (Mishra&Mishra, 2015). Ωστόσο, μειονεκτούν αν αστοχήσουν οι πόροι που διαθέτει το σύστημά τους. Ένα παράδειγμα τέτοιου αλγορίθμου είναι και ο αλγόριθμος Round Robin που στην ουσία διαιρεί την κίνηση ανάμεσα στους servers. Ο αλγόριθμος αυτός στην ουσία εκχωρεί ένα ‘βάρος’ σε κάθε διακομιστή δίνοντας το περισσότερο σε εκείνον που έχει τις περισσότερες συνδέσεις. Σε μια κατάσταση που θεωρείται ισοσταθμισμένη οι διακομιστές λαμβάνουν ισορροπημένη κίνηση. Μια τέτοια προσέγγιση ορίζεται εξ αρχής από την φάση υλοποίησης και σχεδιασμού. Ο αλγόριθμος Round Robin κάνει ομοιόμορφη κατανομή των εργασιών στους επεξεργαστές (Kumar, et al. 2014). Άλλη περίπτωση είναι αυτή του τυχαιοποιημένου αλγορίθμου (Rajguru, et al. 2012), όπου

χρησιμοποιούνται τυχαίοι αριθμοί για την επιλογή επεξεργαστών. Οι επεξεργαστές που θεωρούνται slave επιλέγονται τυχαία ακολουθώντας αριθμούς που είναι τυχαίοι και δημιουργήθηκαν βάση κάποιας στατιστικής κατανομής για ειδικού σκοπού εφαρμογές. Αυτός ο αλγόριθμος μπορεί να επιτύχει καλύτερα αποτελέσματα και αποδόσεις στην εξισορρόπηση φορτίου. Ο αλγόριθμος Central Manager (Niranjana, 2012), θα προβεί στην επιλογή ενός επεξεργαστή για την ανάθεση εργασιών. Συνήθως επιλέγεται εκείνος που έχει το λιγότερο φορτίο. Όλες οι πληροφορίες φόρτωσης συλλέγονται από έναν κεντρικό επεξεργαστή με βάση τον συγκεκριμένο αλγόριθμο. Ο διαχειριστής παίρνει αποφάσεις για την εξισορρόπηση του φορτίου, όταν δημιουργείται η διαδικασία. Ο αλγόριθμος Threshold Algorithm (Ghoniemy et.al., 2014), αναθέτει τις εργασίες άμεσα στους κόμβους του δικτύου. Όταν δεν γίνεται αποστολή απομακρυσμένων μηνυμάτων οι κόμβοι επιλέγουν τοπικά νέες εργασίες. Οι κόμβοι κρατούν ένα αντίγραφο των πληροφοριών της φόρτωσης του συστήματος. Το φορτίο ταξινομείται σε κάθε κόμβο σε τρία επίπεδα, στο υπό φορτίο, το μεσαίο και στο υπερφορτωμένο.

- **Αλγόριθμος δυναμικής εξισορρόπηση του φορτίου:** οι δυναμικοί αλγόριθμοι είναι στην ουσία αποφάσεις αλγόριθμων εξισορρόπησης όπου το σύστημα δεν χρειάζεται να έχει πρότερη γνώση και βασίζονται αποκλειστικά στην τρέχουσα κατάσταση του συστήματος. Η δυναμική εξισορρόπηση ξεπερνά όλα τα εμπόδια της στατικής προσέγγισης. Ωστόσο, οι αλγόριθμοι αυτοί μπορεί να είναι πολύπλοκοι αλλά έχουν καλύτερη απόδοση και ανοχή στα σφάλματα. Οι δυναμικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν την κεντρική ουρά όπου νέες δραστηριότητες και αιτήματα που δεν έχουν εκπληρωθεί αποθηκεύονται σε μια κυκλική ουρά (FIFO), στον κεντρικό υπολογιστή. Κάθε νέα δραστηριότητα που φτάνει στον διαχειριστή εισάγεται στην ουρά. Όταν λαμβάνεται αίτημα για μια δραστηριότητα από την ουρά ο διαχειριστής προβαίνει στην αφαίρεση της πρώτης δραστηριότητας και την στέλνει σε εκείνον που την έχει αιτηθεί. Στην συνέχεια το αίτημα αποθηκεύεται στην προσωρινή μνήμη (Kumar, 2014).

Ακόμη, στην βιβλιογραφία εντοπίζονται και διάφορες πολιτικές στην δυναμική εξισορρόπηση φορτίου, όπως πχ. η τεχνική του Alakeel (Alakeel, 2010). Η τεχνική εξισορρόπησης, συνοψίζεται στις ακόλουθες πολιτικές:

- *Πολιτική μεταφοράς*: αφορά εκείνο το κομμάτι του αλγορίθμου της δυναμικής εξισορρόπησης του φορτίου όπου επιλέγεται μια εργασία για να μεταφερθεί από έναν τοπικό κόμβο σε έναν άλλον.
- *Πολιτική επιλογής*: από την πολιτική της επιλογής καθορίζονται όλοι εκείνοι οι επεξεργαστές που συμμετέχουν στην ανταλλαγή του φορτίου,
- *Πολιτική θέσης*: η πολιτική της θέσης αφορά ένα κομμάτι του αλγορίθμου της εξισορρόπησης του φορτίου επιλέγοντας έναν κόμβο προορισμού,
- *Πολιτική Πληροφορίας*: η πολιτική της πληροφορίας αφορά το τμήμα εκείνο του αλγορίθμου της εξισορρόπησης του φορτίου και αφορά την συλλογή των πληροφοριών αναφορικά με τους κόμβους στο σύστημα,
- *Πολιτική εκτίμησης του φορτίου*: η πολιτική εκτίμησης αφορά τον τρόπο που εκτιμάται ο φόρτος εργασίας ενός κόμβου του συστήματος,
- *Πολιτική Μεταφοράς διαδικασίας*: η πολιτική της μεταφοράς ορίζει την εκτέλεσης μιας διαδικασίας τοπικά ή απομακρυσμένα,
- *Πολιτική Εκχώρησης Προτεραιότητας*: η πολιτική εκχώρησης της προτεραιότητας ορίζει την προτεραιότητα εκτέλεσης των διεργασιών είτε τοπικά είτε απομακρυσμένα σε έναν κόμβο,
- *Πολιτική προορισμού μετεγκατάστασης*: η πολιτική αυτή ορίζει το σύνολο των επαναλήψεων που χρειάζεται μια διεργασία για να μετεγκατασταθεί από τον έναν κόμβο στον άλλον.

Από την βιβλιογραφία προκύπτουν και μετρήσιμοι παράμετροι εξισορρόπησης του φορτίου:

- *Φύση στατική/δυναμική*: ο παράγοντας αυτός σχετίζεται με τον προσδιορισμό της φύσης ή της συμπεριφοράς των αλγορίθμων εξισορρόπησης φορτίου, δηλαδή εάν το φορτίο εξισορρόπησης έχει φύση δυναμική ή στατική είναι προσχεδιασμένο ή χωρίς προγραμματισμό.
- *Απόρριψη Υπερφόρτωσης*: Εάν η εξισορρόπηση φορτίου δεν είναι δυνατή για επιπλέον υπερφόρτωση, απαιτούνται κανόνες απόρριψης. Όταν η υπερφόρτωση τελειώνει, τότε πρώτα σταματούν και οι κανόνες απόρριψης υπερφόρτωσης. Το Load Balancing κλείνει επίσης μετά από σύντομη περίοδο.

Οι αλγόριθμοι εξισορρόπησης στατικού φορτίου συνεπάγονται μικρότερη επιβάρυνση, καθώς μόλις ανατεθούν εργασίες σε επεξεργαστές, δεν πραγματοποιείται

ανακατανομή των εργασιών, οπότε δεν υπάρχει μετεγκατάσταση γενικά. Περισσότερο γενικό κόστος παρατηρείται στους **αλγόριθμους δυναμικής εξισορρόπησης φορτίου** καθώς απαιτείται η μετεγκατάσταση θέσης των εργασιών.

- **Αξιοπιστία:** αυτός ο παράγοντας σχετίζεται με την αξιοπιστία των αλγορίθμων σε περίπτωση που παρουσιαστεί κάποια βλάβη. Η στατική εξισορρόπηση φορτίου σημαίνει ότι οι αλγόριθμοι έχουν συγκριτικά μικρότερη αξιοπιστία. Ο λόγος είναι ότι καμία εργασία/διεργασία δεν θα μεταφερθεί ή θα μετεγκατασταθεί σε άλλο κεντρικό υπολογιστή σε περίπτωση που το μηχάνημα αποτυγχάνει κατά το χρόνο λειτουργίας. Οι αλγόριθμοι δυναμικής εξισορρόπησης φορτίου είναι περισσότερο αξιόπιστοι. Εάν υπάρξει αποτυχία, οι διαδικασίες μεταφέρονται σε άλλα μηχανήματα,
- **Προσαρμοστικότητα:** αυτός ο παράγοντας χρησιμοποιείται για να ελέγξει εάν ο αλγόριθμος είναι προσαρμοστικός σε ποικίλες ή μεταβαλλόμενες καταστάσεις, π.χ. είναι δυναμικής φύσης. Οι αλγόριθμοι εξισορρόπησης στατικού φορτίου δεν είναι προσαρμοστικοί καθώς αυτή η μέθοδος αποτυγχάνει σε διάφορα προβλήματα φύσης, π.χ. καταστάσεις στην οποία ο αριθμός των διεργασιών δεν είναι σταθερός. Συγκριτικά για κάθε κατάσταση οι αλγόριθμοι δυναμικής εξισορρόπησης φορτίου είναι προσαρμοστικοί αν ο αριθμός των διεργασιών είναι σταθερός ή ποικίλος,
- **Σταθερότητα:** μπορεί να ταξινομηθεί ως προς τις καθυστερήσεις στη μεταφορά πληροφοριών μεταξύ των επεξεργαστών και τα κέρδη στο φορτίο αλγόριθμος εξισορρόπησης επιτυγχάνοντας ταχύτερη απόδοση για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Καθώς δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τον παρόντα φόρτο εργασίας κατάσταση μεταβιβάζεται μεταξύ των επεξεργαστών Ο αλγόριθμος εξισορρόπησης στατικού φορτίου θεωρείται σταθερός,
- **Η προβλεψιμότητα:** είναι η πρόβλεψη του αποτελέσματος του αλγορίθμου. Η συμπεριφορά του αλγορίθμου εξισορρόπησης στατικού φορτίου μπορεί να προβλεφθεί καθώς τα περισσότερα πράγματα όπως ο μέσος χρόνος εκτέλεσης των διεργασιών και η εκχώρηση φόρτου εργασίας στους επεξεργαστές καθορίζεται κατά το χρόνο μεταγλώττισης. Όπως όλα έχουν γίνει κατά το χρόνο εκτέλεσης στο Dynamic load balancing αλγόριθμος η συμπεριφορά του είναι απρόβλεπτη,
- **Ακρίβεια πρόβλεψης:** Πρόβλεψη είναι ο βαθμός συμμόρφωσης των υπολογισμένων αποτελεσμάτων με την πραγματική τους αξία που θα δημιουργηθεί μετά εκτέλεση,

- **Συνεταιρισμός.** Αυτή η παράμετρος περιγράφει εάν οι επεξεργαστές μοιράζονται πληροφορίες μεταξύ τους κατά την εκχώρηση της διαδικασίας απόφαση. Η παράμετρος συνεργασίας καθορίζει την έκταση της ανεξαρτησίας που έχει κάθε επεξεργαστής στο συμπέρασμα ότι πώς μπορεί να χρησιμοποιεί ειδικούς της πόρους. Στην κατάσταση συνεργασίας, όλοι οι μεταποιητές έχουν την ευθύνη να εκτελέσουν το δικό τους τμήμα του προγραμματισμού καθήκον, αλλά όλοι οι επεξεργαστές συνεργάζονται για να επιτύχουν έναν στόχο καλύτερης απόδοσης. Οι μη συνεργάσιμοι μεμονωμένοι μεταποιητές ενεργούν ως ανεξάρτητες οντότητες και λαμβάνουν τις αποφάσεις σχετικά με τη χρήση των πόρων τους χωρίς καμία επίδραση της απόφασής τους στα υπόλοιπα Σύστημα,
- **Ανοχή σφάλματος (Fault Tolerant):** Επιτρέπει σε έναν αλγόριθμο να συνεχίσει να λειτουργεί σωστά σε περίπτωση κάποιας αστοχίας. Η απόδοση του αλγορίθμου είναι ανάλογη με την βλάβη. Μια μικρή αστοχία συνεπάγεται και αστοχία στο να εξισορροπηθεί το φορτίο,
- **Αξιοποίηση πόρων.** Περιλαμβάνει αυτόματη εξισορρόπηση φορτίου. Ένα καταναμημένο σύστημα μπορεί να έχει απροσδόκητο αριθμό διεργασιών οι οποίες καταλαμβάνουν μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Οι πόροι έχουν την δυνατότητα μετακίνησης σε επεξεργαστές ώστε να φορτωθούν αποτελεσματικότερα στην περίπτωση που ο αλγόριθμος είναι ικανός να κάνει χρήση πόρων.

**Οι αλγόριθμοι εξισορρόπησης στατικού φορτίου** χρησιμοποιούν συγκριτικά λιγότερη ποσότητα πόρων ως μεθόδους εξισορρόπησης δυναμικού φορτίου αφού απλά προσπαθούν να κάνουν ανάθεση εργασιών σε επεξεργαστές ώστε να ελαχιστοποιήσουν τον χρόνο απόκρισης αγνοώντας το γεγονός ότι ορισμένοι επεξεργαστές τελειώνουν τις εργασίες τους νωρίς και μένουν αδρανείς εξαιτίας μη ανάθεσης εργασιών. Οι αλγόριθμοι **δυναμικής εξισορρόπησης φορτίου** προσπαθούν να καταναείμουν ομοιόμορφα το φορτίο στους επεξεργαστές, ώστε αυτοί να μην παραμείνουν αδρανείς. Παράμετροι τέτοιων αλγορίθμων είναι:

- **Process Migration:** αυτή η παράμετρος ορίζει τον χρόνο που ένα σύστημα αποφασίζει να εξάγει μια διεργασία. Ο αλγόριθμος είναι ικανός να λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με την αλλαγή στην κατανομή του φορτίου κατά την εκτέλεση της διαδικασίας ή όχι,
- **Χρόνος απόκρισης:** ο χρόνος απόκρισης αφορά τον χρόνο που χρειάζεται για να ανταποκριθεί ένα καταναμημένο σύστημα που χρησιμοποιεί έναν συγκεκριμένο

αλγόριθμο εξισορρόπησης φορτίου, ο χρόνος απόκρισης στους αλγόριθμους εξισορρόπησης στατικού φορτίου είναι μικρότερος, καθώς στην στατική εξισορρόπηση φορτίου υπάρχει μικρότερος χρόνος γενικότερα, επομένως η έμφαση δίνεται αποκλειστικά στην εκτέλεση εργασιών σε συντομότερο χρόνο παρά στη βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων πόρων. Υψηλότερος χρόνος απόκρισης παρατηρείται στους αλγόριθμους δυναμικής εξισορρόπησης φορτίου καθώς μερικές φορές λαμβάνει χώρα ανακατανομή των διεργασιών,

- **Προληπτικότητα:** Η προληπτικότητα σχετίζεται με το γεγονός ότι οι αλγόριθμοι εξισορρόπησης φορτίου με τις ιδιότητες που έχουν δεν έχουν χαρακτηριστικά προληπτικότητας αφού οι εργασίες που εκτελούν δεν αλλάζουν. Οι αλγόριθμοι δυναμικής εξισορρόπησης φορτίου θεωρούνται τόσο μη προληπτικοί όσο και προληπτικοί,
- **Χρόνος αναμονής:** Ο χρόνος αναμονής είναι το άθροισμα των περιόδων αναμονής στην έτοιμη ουρά,
- **Χρόνος ολοκλήρωσης:** Ο χρόνος ολοκλήρωσης περιγράφει το διάστημα από τη στιγμή της υποβολής μιας διαδικασίας έως τη στιγμή της ολοκλήρωσης,
- **Σύστημα εκτέλεσης:** Τα συγκεντρωτικά σχήματα αποθηκεύουν καθολικές πληροφορίες σε έναν καθορισμένο κόμβο. Για τον υπολογισμό του ποσού των μεταφορών του φορτίου όλοι οι κόμβοι αποστολέα ή παραλήπτη έχουν πρόσβαση στον καθορισμένο κόμβο και επίσης για να ελέγξουν ότι οι εργασίες πρέπει να αποστέλλονται ή να λαμβάνονται από σε ένα κατανεμημένο σύστημα, η εξισορρόπηση φορτίου και κάθε κόμβος πρέπει να εκτελεί χωριστά τον εξισορροπηστή φορτίου. Κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης, οι αδρανείς κόμβοι μπορούν να λάβουν φορτίο από μια κοινή ουρά διαδικασιών,
- **Processor Thrashing:** ο τρόπος που λειτουργεί η συγκεκριμένη διαδικασία είναι όταν οι περισσότεροι από τους επεξεργαστές του συστήματος δαπανούν περισσότερο χρόνο για μετεγκατάσταση σε διεργασίες χωρίς να ολοκληρώνεται καμία χρήσιμη εργασία αλλά και σε μια προσπάθεια να προγραμματιστούν σωστά οι διαδικασίες για καλύτερη απόδοση. Οι αλγόριθμοι εξισορρόπησης στατικού φορτίου είναι απαλλαγμένοι από thrashing επεξεργαστή. Οι Δυναμικοί αλγόριθμοι εξισορρόπησης φορτίου επιφέρουν ουσιαστικό thrashing επεξεργαστή.



## 2.2. Η θεώρηση της Mikrotik για Load balance

### 2.3.1. Βασικές έννοιες και ορισμοί

- Εξισορρόπηση φόρτου (load balancing), είναι ένας όρος ο οποίος περιγράφει την κατανομή της κυκλοφορίας του διαδικτύου σε πολλούς συνδέσμου με σκοπό τη μείωση του φόρτου εργασίας. Αυτό το υλοποιούμε ώστε να επιτευχθεί μια συνεχής, αποδοτική και απρόσκοπτη λειτουργία ενός συστήματος. Ο φόρτος μοιράζεται σε έναν αριθμό από links που εξυπηρετούν συγκεκριμένο σκοπό. Αν κάποιο από αυτά τα links παρουσιάσει πρόβλημα, τα υπόλοιπα links συνεχίζουν το έργο απρόσκοπτα, αν και επιβαρύνονται περισσότερο
- Η PCC (Per-Connection Classifier) διαιρεί τα εισερχόμενα δεδομένα σε ροές και εν συνεχεία με τους κανόνες δρομολόγησης για να ταξινομήσει την κίνηση ομοιόμορφα ή μη στις συνδέσεις WAN. Το οποίο πραγματοποιείται με τον αλγόριθμο κατακερματισμού για να ταξινομηθεί η επισκεψιμότητα στους συνδέσμους και χρησιμοποιώντας σημάδια στα πακέτα και στη δρομολόγησης, και με τους πίνακες δρομολόγησης για να εξασφαλιστεί ότι ή κυκλοφορία ακολουθεί μία καθορισμένη διαδρομή εξόδου.
- Η Σύνδεση (Connection) αναγνωρίζεται από ένα σύνολο διευθύνσεων πηγής και προορισμού και από τα ports . Όταν υπάρξει σύνδεση σε έναν υπολογιστή θα δημιουργηθεί μία καινούργια σύνδεση.
- Το σημάδι ενός πακέτου (Mangle facility) για την δρομολόγηση του είναι να παραμορφωθεί το τείχος προστασίας με σημάδι δρομολόγησης(mark-routing) που σχετίζεται με τα πακέτα και το οποίο μπορεί να αναγνωριστεί από το τείχος προστασίας ή τους πίνακες δρομολόγησης. Καταχωρείται με προκαθορισμένο σημάδι, καθώς και NAT στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ιδιωτική διεύθυνση.

### 2.3.2. Δρομολογητής εξισορρόπησης φορτίου

- Ανάλογα με το μοντέλο έχει 3 έως 6 υποδοχές.
- Ο προγραμματισμός του υλοποιείται στο ενσωματωμένο λειτουργικό είτε σε γραφικό περιβάλλον είτε σε κονσόλα επικοινωνίας.
- Κάθε υποδοχή μπορεί να είναι ανεξάρτητη ή εξαρτώμενη από κάποια άλλη και να της αντιστοιχεί ξεχωριστά περισσότερες διευθύνσεις.
- Δυνατότητες σύνδεση εικονικών δικτύων στην εκάστοτε υποδοχή.

- Στην ασφάλεια λειτουργεί τοίχος προστασίας για περιορισμούς, φίλτρο σε ομάδες (masquerade) και μετατόπιση υπηρεσιών στα αντίστοιχα ports.
- Εργαλεία ελέγχου λειτουργίας και επαλήθευσης της διαδρομής.
- Γραφική απεικόνιση μέτρηση της ταχύτητας την δεδομένη χρονική στιγμή.
- Απόδοση δυναμικής διεύθυνσης DHCP στα τερματικά.
- Δημιουργία DNS server για το τοπικό δίκτυο για τους πίνακες των αντίστοιχων διευθύνσεων.

### 2.3.3. Η πρακτική της Mikrotik (Τεχνικές εξισορρόπησης φορτίου σε δρομολογητές Mikrotik )

Μέθοδος	Per Connection	Per Packet
Firewall marking	✓	X
ECMP (Equal Cost Multi-Path)	✓	X
PCC (Per Connection Classifier)	✓	X
Nth	✓	✓
Bonding	X	✓
OSPF	✓	X
BGP	✓	X

**Πίνακας 1. Τεχνικές εξισορρόπησης φορτίου σε αντιστοιχίσει με τις μεθόδους**  
Στην τεχνική εξισορρόπησης φορτίου με την μέθοδο:

- Η μέθοδος Firewall marking πραγματοποιείται και με ανά σύνδεση ή και με ανά πακέτο και η οποία λειτουργεί όταν ο κύριος σύνδεσμος αποτύχει. Δηλαδή σε περίπτωση αποτυχίας της κύριας σύνδεσης η κυκλοφορία θα περάσει στην δευτερεύουσα σύνδεση.
- Η μέθοδος ECMP (Equal Cost Multi-Path) πραγματοποιείται ανά σύνδεση. Σε αυτή την περίπτωση για την εξισορρόπηση του φορτίου γίνεται έλεγχος στον συνδυασμό της διεύθυνση αποστολέα-παραλήπτη.

- Η μέθοδος PCC (Per Connection Classifier) η οποία πραγματοποιείται με ανά σύνδεση και η οποία λειτουργεί μέσω ενός αλγορίθμου κατανομής ο οποίος χειρίζεται επιλεγμένα πεδία της IP διεύθυνσής. Η μέθοδος αυτή θα διαιρέσει την κυκλοφορία σε ίσες ροές με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η διατήρηση των πακέτων με ένα συγκεκριμένο σύνολο επιλογών σε μία συγκεκριμένη ροή.
- Η μέθοδος Nth πραγματοποιείται και με τους δύο τρόπους, η οποία προσθέτει τις μόνιμες περιόδους σύνδεσης του χρήστη. Δηλαδή ένας χρήστης θα χρησιμοποιήσει την ίδια IP προέλευσης για όλες του τις εξερχόμενες συνδέσεις.
- Το μέθοδος Bonding πραγματοποιείται ανά πακέτο και επιτρέπει τη συγκέντρωση πολλαπλών διεπαφών σε μια σύνδεση, έτσι έχει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και έχει δυνατότητα ανακατεύθυνσης.
- Η εξισορρόπηση με OSPF πραγματοποιείται ανά σύνδεση και με περισσότερες από δύο συνδέσεις και ελέγχεται μέσω του πρωτοκόλλου δυναμικής δρομολόγησης με ίσο κόστος και εν συνεχεία χρησιμοποιείται ίση δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών.
- Το εξισορρόπηση με BGP πραγματοποιείται ανά σύνδεση και βασίζεται στο παγκόσμιο σύστημα δρομολόγησης του Διαδικτύου. Δρομολογεί τα πακέτα από δίκτυο σε δίκτυο μέσω ανταλλαγής πληροφοριών δρομολόγησης και πληροφοριών προσβασιμότητας μεταξύ των edge routers.

## Μέρος Β'. Ερευνητικό - Πειραματικό Μέρος

### 3.1. Μεθοδολογία

Η μελέτη βασίζεται στην εμπειρική έρευνα και διερευνά τη σκοπιμότητα από την εφαρμογή μιας τέτοιας λύσης χρησιμοποιώντας εμπειρικά στοιχεία και ακολουθεί τον εμπειρικό κύκλο του A.D. de Groot (1969):

- 1. Παρατήρηση: Η συλλογή και η οργάνωση εμπειρικών γεγονότων.** Σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνεται η συλλογή των δεδομένων από τα υποκείμενα της μελέτης. Η μέθοδος της παρατήρησης συχνά αποτελεί μέρος του σχεδιασμού της εμπειρικής έρευνας. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση ποιοτικών στόχων σε μια έρευνα αλλά είναι εξίσου χρήσιμη και σε ποσοτικές μετρήσεις. Στην παρούσα μελέτη, μέσα από την παρατήρηση ερευνήθηκαν διάφορες ποιοτικές και ποσοτικές μεταβλητές με βάση τα αποτελέσματα μετρήσεων που έδωσε η έξοδος του δρομολογητή που χρησιμοποιήθηκε.
- 2. Επαγωγή: Διατύπωση υποθέσεων.** Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο στάδιο της παρατήρησης, στο επόμενο στάδιο διεξάγεται επαγωγικός συλλογισμός για να πλαισιώσει ένα γενικό συμπέρασμα από τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν μέσω της παρατήρησης. Στην παρούσα μελέτη, η βασική διατύπωση της υπόθεσης που σχετίζεται με το πείραμα που διενεργήθηκε θα μπορούσε να είναι η εξής: Επιτυγχάνεται το Load Balancing ανάμεσα σε δύο γραμμές μέσω της τεχνικής PCC που επιλέχθηκε σαν μέθοδος στον δρομολογητή του MikroTik;
- 3. Αφαίρεση: Αφαίρεση των συνεπειών των υποθέσεων ως ελέγξιμες προβλέψεις.** Σύμφωνα με το ερώτημα που θέτει ο ερευνητής, θα πρέπει να διεξαχθεί ένα πείραμα για να υποστηρίξει ή να απορρίψει τον συλλογισμό του. Στην παρούσα εργασία διενεργήθηκε ένα πείραμα με την χρήση ενός δρομολογητή MikroTik για την παραγωγή αποτελεσμάτων για να επικυρωθεί η υπόθεση ότι πράγματι η τεχνική αυτή προσφέρει την επιθυμητή εξισορρόπηση φορτίου ανάμεσα σε δύο παρόχους.
- 4. Δοκιμή: Δοκιμή της υπόθεσης με νέο εμπειρικό υλικό:** σε αυτό το στάδιο ο ερευνητής εκτελεί δοκιμές του πειράματός του για την επικύρωση της υπόθεσής. Τα δεδομένα αναλύονται και επικυρώνονται με την χρήση αλλά και την επίδειξη των κατάλληλων παραδειγμάτων. Αν τα δεδομένα επικυρώνονται τότε η υπόθεση

επαληθεύεται. Στο πείραμα της παρούσας εργασίας η υπόθεση επικυρώνεται σύμφωνα με τον ερευνητή καθώς τα δεδομένα ισομοιράζονται ανάμεσα στους δύο παρόχους χωρίς να δημιουργείται κάποια διαφορά ή κάποια σύγκρουση.

- 5. Αξιολόγηση του αποτελέσματος:** η αξιολόγηση είναι ένα σημαντικό βήμα αν και αρκετοί δεν της δίνουν την σημασία που θα έπρεπε. Σε αυτό το βήμα ο ερευνητής επιδεικνύει τα δεδομένα που συγκέντρωσε προβαίνοντας στην κατάλληλη επιχειρηματολογία. Ωστόσο, σε αυτό το βήμα προβάλλονται και οι περιορισμοί της μελέτης του με τον ερευνητή να δίνει τροφή για μελλοντική έρευνα

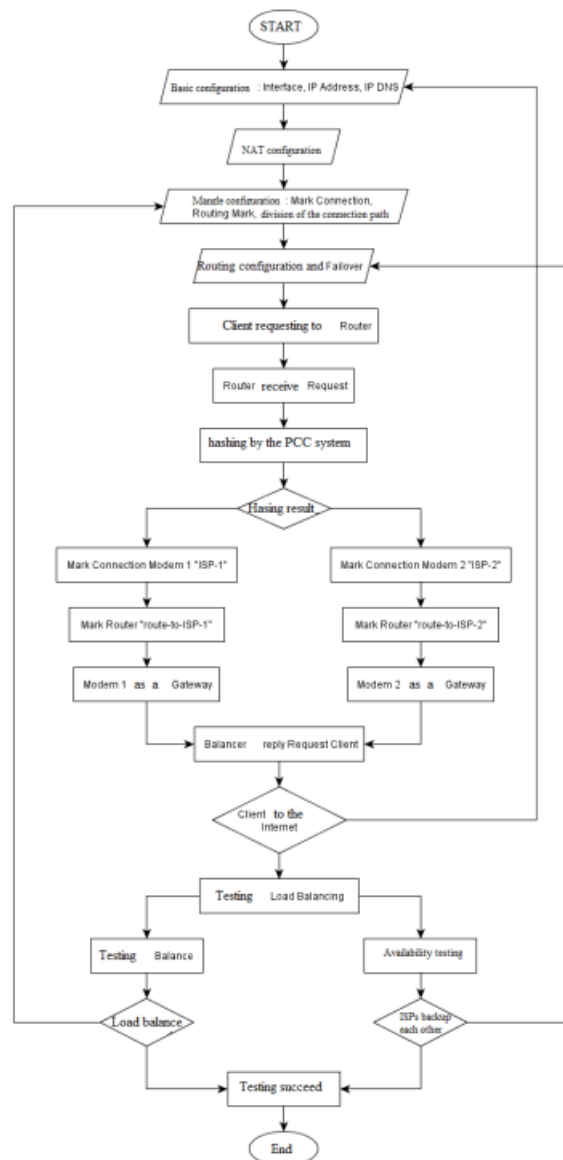
### **3.2 Winbox Software**

Το Winbox είναι ένα βοηθητικό πρόγραμμα που επιτρέπει την διαχείριση του Mikrotik RouterOS. Περιλαμβάνει ένα γρήγορο και απλό Graphical User Interface (GUI). Μπορεί να εκτελεστεί σε λειτουργικά συστήματα όπως Windows αλλά και σε Mac ή Linux χρησιμοποιώντας το Wine Software για προσαρμογή. Όλες οι λειτουργίες διασύνδεσης του Winbox Software, αντικατοπτρίζονται και σε αντίστοιχες λειτουργίες κονσόλας.

### **3.3 MikroTik Router**

Όπως προαναφέρθηκε, για την επίτευξη του Load Balancing χρησιμοποιήθηκε το **MikroTik RB941- 2nD-TC**, το οποίο έχει τέσσερά Ethernet ports με ταχύτητα 100Mbps. Το Wireless έχει σε συχνότητα 2.4 GHz, μέγιστο ρυθμό δεδομένων (Max data rate) 300 Mbit/s. Επίσης, διαθέτει μία CPU σε συχνότητα λειτουργία 650 MHz, RAM 32MB και Storage 16MB τύπου Flash. Το λειτουργικό σύστημα RouterOS είναι τα πιο βασικό χαρακτηριστικό.

### 3.4 Σχέδιο διαμόρφωσης εξισορρόπησης φορτίου



**Εικόνα 2.Στάδια εξισορρόπησης φορτίου με την μέθοδο PCC**

Η διαμόρφωση του Load Balancing περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

Στο πρώτο στάδιο, πρέπει να πραγματοποιηθεί η βασική διαμόρφωση. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι πρέπει να διαμορφωθούν τα Links που χρησιμοποιούνται εντός και εκτός του MikroTik Router. Αφού πραγματοποιηθεί ο έλεγχος, δημιουργείται μια σύνδεση μέσω των Links αλλά και αιτήματα διεύθυνσης (IP) και ακολουθεί η διαμόρφωσή των IP διευθύνσεων για κάθε γραμμή Ethernet καθώς και το DNS που θα χρησιμοποιηθεί.

Στο δεύτερο στάδιο αφού έχει ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, ακολουθεί η διαμόρφωση NAT, βήμα που θεωρείται πολύ σημαντικό ώστε να υπάρχει σύνδεση στο

διαδίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται η αλλαγή διεύθυνσης της πηγής του πακέτου, που είναι και η διεύθυνση - πελάτης έχοντας ιδιωτική διεύθυνση IP, ώστε να αναγνωριστεί από το Διαδίκτυο αλλάζοντας την σε δημόσια IP.

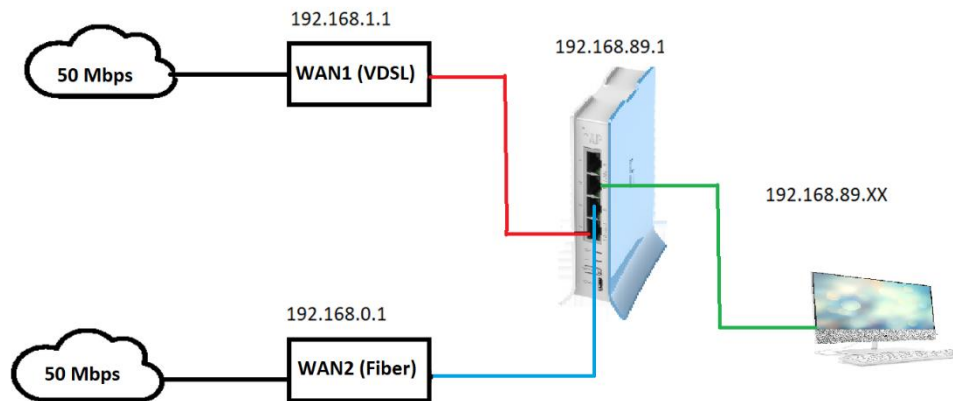
Στο τρίτο στάδιο ακολουθεί η διαμόρφωση του Mangle που είναι για το σημάδεμα των πακέτων το οποίο πραγματοποιείται με τις κατάλληλες συνθήκες που θα του οριστούν. Με την ολοκλήρωση του, τα πακέτα θα χρησιμοποιηθούν για συγκεκριμένες ανάγκες με βάση την διαμόρφωση PCC και με τους παραμέτρους που θα οριστούν για τον έλεγχο των σημαδεμένων πακέτων. Με την παράμετρο που θα οριστεί θα μπορούν να εκτελεστούν τα πακέτα με σημάδι σύνδεσης και σημάδι δρομολόγησης τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συγκεκριμένη επεξεργασία των πακέτων.

Το επόμενο στάδιο αφορά την δρομολόγηση, δηλαδή η διαδρομή της σύνδεσης με βάση το σημάδι δρομολόγησης που έχει πραγματοποιηθεί μετά την διαμόρφωση του Mangle. Το πρώτο σημάδι δρομολόγησης θα χρησιμοποιηθεί για την 1<sup>η</sup> πύλη και το δεύτερο σημάδι για την 2<sup>η</sup> πύλη.

Το τελευταίο στάδιο αφορά την διαμόρφωση της ανακατεύθυνσης, το οποίο είναι σημαντικό για να αποφευχθεί η αποσύνδεση από τις γραμμές. Από το σύστημα θα γίνει η αλλαγή της πύλης σε μία διαθέσιμη- ενεργή σύνδεση. Η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω ελέγχου της πύλης αποστέλλοντας αιτήματα ICMP σε μια διεύθυνση η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό της αποτυχίας(Safrianti, 2021).

## 4. Πειραματική προσέγγιση μεθόδου Per Connection Classifier

### 4.1 Σενάριο 1: Διαμόρφωση Router με ενσύρματο εσωτερικό δίκτυο και δύο εξωτερικές συνδέσεις



Εικόνα 3.Η Τοπολογία του υλοποιημένου δικτύου

Στο πειραματικό μέρος προκειμένου να επιτευχθεί το Load Balancing χρησιμοποιούνται δύο γραμμές, το WAN1 με σταθερή ταχύτητα **VDSL 50Mbps** λόγω Οπτικής Ίνας και το WAN2 με περίπου σταθερή ταχύτητα στα **50Mbps** λόγω 4G<sup>+</sup>. (Βλέπε Εικόνα 1). Επίσης, για εσωτερική διασύνδεση χρησιμοποιήθηκε μια έξοδος LAN της συσκευής (Ethernet connection) για τον έλεγχο του αποτελέσματος. Στην θέση του ηλεκτρονικού υπολογιστή που φαίνεται στην Εικόνα 1, μπορεί να τοποθετηθεί ένα access point για περισσότερες συνδέσεις.

Για να υλοποιηθεί το Load Balancing θα πρέπει να γίνουν ορισμένες ενέργειες μέσω εντολών του MikroTik Router. Με βάση το σχήμα της Εικόνας 1, που αποτυπώνει την τοπολογία του δικτύου που θα υλοποιηθεί η εξισορρόπηση φορτίου με την μέθοδο (Per Connection Classifier). Για την υλοποίηση χρησιμοποιήθηκαν δύο γραμμές, το WAN1 με σταθερή ταχύτητα VDSL 50Mbps και το WAN2 με περίπου σταθερή ταχύτητα στα 50Mbps μέσω 4G<sup>+</sup>. Όπως φαίνεται και στο σχήμα της Εικόνας 1, το WAN1 συνδέθηκε στην 1<sup>η</sup> θύρα του MikroTik, ενώ το WAN2 στην 2<sup>η</sup> θύρα και για έξοδο θα χρησιμοποιείται η 3<sup>η</sup> θύρα.

Με βάση τις εντολές του manual του MikroTikRouter από την εφαρμογή του Winbox θα πραγματοποιηθεί η διαμόρφωση του. Λόγω της ιδιομορφίας του και της τοπολογίας του δικτύου αλλά και του MikroTikRouter η διαμόρφωση του θα πρέπει να



πραγματοποιηθεί από την 3<sup>η</sup> θύρα Ethernet για τον άμεσο έλεγχο του αποτελέσματος. Διότι για την συγκεκριμένη περίπτωση η 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> θύρα Ethernet έχουν οριστεί ως εισοδοί.

Με την λειτουργία τείχους προστασίας στο RouterOS το οποίο μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε ένα σημάδι το οποίο συσχετίζει τα πακέτα που μπορούν να αναγνωριστούν αργότερα από άλλες λειτουργίες όπως κανόνες του τείχους προστασίας ή από τους πίνακες δρομολόγησης (**Mangle**).

Αρχικά ορίζονται οι IP διευθύνσεις για το κάθε υποδίκτυο που συνδέεται στο MikroTikRouter και στην συνέχεια ορίζονται δύο εισοδοί και μία έξοδος. Στην συνέχεια ορίζεται το σημάδι σύνδεσης (**mark – connection**) για κάθε είσοδο ξεχωριστά. Το mark connection αφορά ένα σημάδι το οποίο εφαρμόζεται αυτόματα σε όλα τα πακέτα της κάθε σύνδεσης (δύο διαφορετικά σημάδια για τις δύο συνδέσεις WAN1 και WAN2). Μόλις ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται ένας έλεγχος **Passthrough** (**επιλογή yes**) ώστε να μεταβεί το πακέτο (με το σημάδι σύνδεσης) στον επόμενο έλεγχο.

Έπειτα ορίζεται το σημάδι δρομολόγησης (**mark-routing**) το οποίο ταξινομεί τα πακέτα που έχουν το σημάδι σύνδεσης σε ομάδες με βάση τις IP διευθύνσεις προέλευσης – προορισμού με βάση τους πίνακες δρομολόγησης ξεχωριστά και για τις δύο συνδέσεις (WAN1 και WAN2). Μετά πραγματοποιείται ένας έλεγχος **Passthrough** (**επιλογή yes**) ώστε να μεταβεί το πακέτο (με το σημάδι δρομολόγησης) στον επόμενο έλεγχο.

Το σημάδι σύνδεσης (mark – connection) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στην έξοδο και στην διαδικασία της (**prerouting**). Η εν λόγω διαδικασία παραμορφώνει όλη την κίνηση που πηγαινει στον ίδιο δρομολογητή. Για να αποφευχθεί αυτό χρησιμοποιείται το **dst-address-type=!local** και η μέθοδος ταξινόμησης ανά σύνδεση (**Per Connection Classifier**) που διαιρεί τα εισερχόμενα δεδομένα σε ροές (WAN1 και WAN2) και με την χρήση κανόνων δρομολόγησης των πακέτων χωρίζεται η κυκλοφορία στα δύο, με βάση τους αποδέκτες πηγής και προορισμού. Για την συγκεκριμένη υλοποίηση χρησιμοποιείται ο έλεγχος (**both addresses and ports**) που ελέγχει τις διευθύνσεις και τις πύλες και **Passthrough** (**επιλογή yes**) ώστε να μεταβεί το πακέτο στον επόμενο έλεγχο.

Ο επόμενος έλεγχος που πραγματοποιείται (**prerouting**), είναι να επισημανθούν όλα τα πακέτα (**mark – connection**), από τις δύο συνδέσεις (WAN1 και WAN2) σε σημάδι για κάθε σύνδεση ξεχωριστά (**mark-routing**). Διότι η πολιτική δρομολόγησης χρησιμοποιείται

μόνο για την κίνηση που πηγαίνει στο Internet και **Passthrough (επιλογή yes)** ώστε να μεταβεί το πακέτο στον επόμενο έλεγχο.

Στην συνέχεια θα πρέπει να γίνεται έλεγχος αναγνώρισης της Gateway και στις δύο γραμμές με το internet στέλνοντάς αιτήματα ( ping ), για έλεγχο της κάθε γραμμής για το εάν είναι προσβάσιμη ή όχι για κάθε σήμα δρομολόγησης. Έπειτα, γίνεται η επιλογή διαδρομής με βάση την μικρότερη απόσταση.

Ο έλεγχος του Firewall γίνεται με το Network Address Translation (NAT) και για τις δύο γραμμές. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει στα τοπικά δίκτυα να χρησιμοποιούν ένα σύνολο διευθύνσεων IP για τις τοπικές επικοινωνίες και ένα άλλο σύνολο διευθύνσεων IP για τις εξωτερικές επικοινωνίες. Για να λειτουργήσει πρέπει να υπάρχει μια πύλη NAT σε κάθε δίκτυο. Ο δρομολογητής NAT εκτελεί επανεγγραφή των IP διευθύνσεων κατά την αποστολή – παραλαβή από και προς το εσωτερικό (LAN) δίκτυο. Το **srcnat** είναι ένας τύπος NAT που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των πακέτων που προέρχονται από ένα δίκτυο που δεν έχει ολοκληρωθεί. Ο συγκεκριμένος δρομολογητής NAT αντικαθιστά την ιδιωτική διεύθυνση πηγής ενός πακέτου IP σε μία δημόσια διεύθυνση IP καθώς κυκλοφορεί μέσω του δρομολογητή στο διαδίκτυο. Την αντίστροφη λειτουργία εφαρμόζει στα πακέτα που λαμβάνει και προορίζονται προς την κατεύθυνση του ιδιωτικού δικτύου. Για το τείχος προστασίας NAT χρησιμοποιείται ο μηχανισμός **masquerade** ο οποίος σχεδιάστηκε για μια συγκεκριμένη χρήση. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η δημόσια IP μπορεί να αλλάξει τυχαία π.χ. λόγω μιας αποσύνδεσης και να λάβει διαφορετική IP. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η δημόσια IP είναι δυναμική. Εάν συμβεί κάτι παρόμοιο ο μηχανισμός NAT θα διαγράψει όλες τις **masquerade** εγγραφές παρακολούθησης σύνδεσης που αποστέλλονται προς την συγκεκριμένη σύνδεση. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται και ο χρόνος του συστήματος.

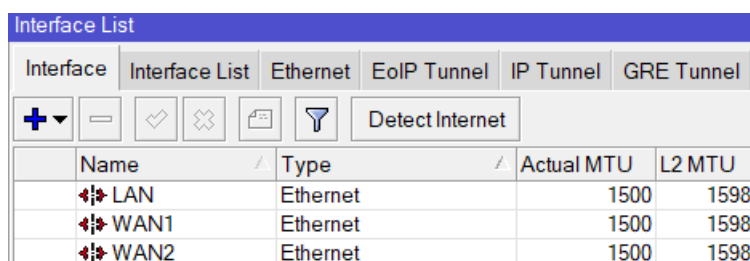
Τέλος ορίζεται ο **DNS Server** για να υπάρχει σύνδεση με τους browser και την μετατροπή των ονομάτων URL σε διεύθυνση IP για να πραγματοποιείται η σύνδεση με τους ιστοτόπους. Όπως επίσης και ο **DHCP Server** (Dynamic Host Configuration Protocol) που χρησιμοποιείται για την δυναμική ανάθεση διευθύνσεων IP στο LAN δίκτυο. Ο DHCP Server υποστηρίζει τις βασικές λειτουργίες παροχής πληροφοριών για κάθε χρήστη που θέλει IP address/netmask lease, default gateway, domain name, DNS-server(s) and WINS-server(s). Για να λειτουργήσει ο DHCP Server θα πρέπει να του οριστούν οι διαθέσιμες IPs διευθύνσεις του δικτύου.

Η διαμόρφωση του δικτύου μπορεί να υλοποιηθεί με δύο τρόπους μέσω του WinBox:

- 1<sup>ος</sup> μέσω WinBox GUI ή
- 2<sup>ον</sup> μέσω κώδικα (console)

#### 4.1.1. Διαμόρφωση Σεναρίου 1 μέσω WinBox GUI

1) Αρχικά θα πρέπει να οριστούν οι διευθύνσεις που θα έχουν οι θύρες του MikroTik Router. Η κάθε θύρα του δικτύου πρέπει να συνδεθεί στο υποδίκτυο μέσω του οποίου παίρνει internet όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.



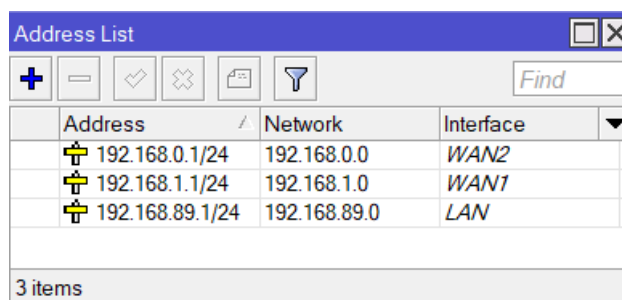
Name	Type	Actual MTU	L2 MTU
LAN	Ethernet	1500	1598
WAN1	Ethernet	1500	1598
WAN2	Ethernet	1500	1598

Εικόνα 4.Ορισμός διευθύνσεων θυρών του MikroTik

Εν προκειμένω, στο αρχικό Interface List θα πραγματοποιηθούν αλλαγές στο ether1, ether2 και ether3. Συγκεκριμένα τα interfaces αυτά θα μετονομαστούν σε WAN1, WAN2 και LAN, αντίστοιχα. Έπειτα θα οριστούν οι IPs διευθύνσεις που θα έχουν οι αντίστοιχες θύρες του MikroTik Router. Η κάθε θύρα του δικτύου WAN1 και WAN2 θα πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο υποδίκτυο (subnet) με την συσκευή που μας παρέχει το Internet.

- ✓ Το WAN1 θα έχει IP διεύθυνση “**192.168.1.1**”
- ✓ το WAN2 θα έχει “**192.168.0.1**” και
- ✓ το LAN που θα είναι η έξοδος του Load Balancing θα έχει “**192.168.89.1**”.

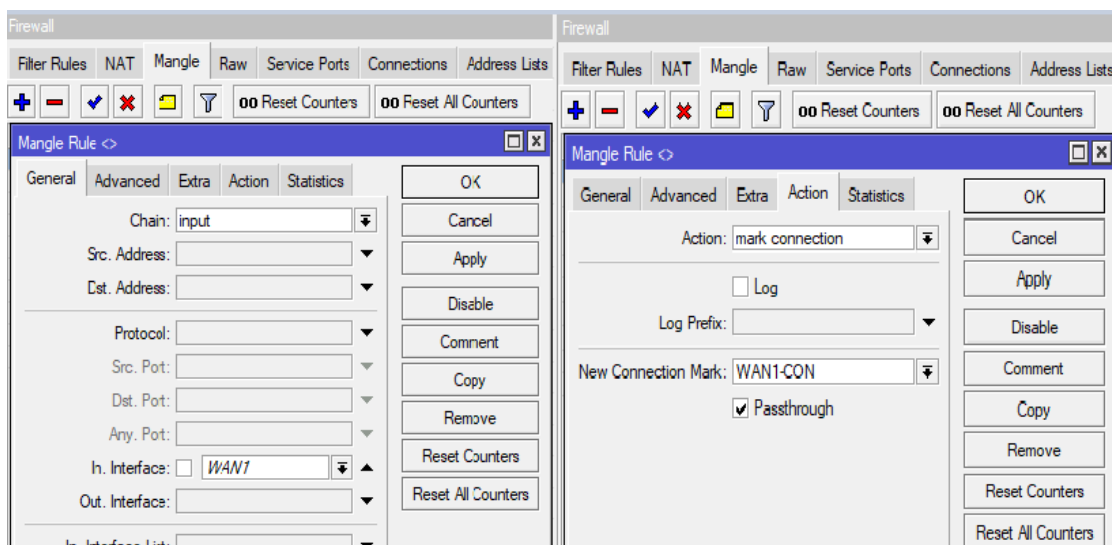
Από το menu IP Address ορίζουμε την Address List δηλ. τα τρία subnet με τις IP διευθύνσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.



Address	Network	Interface
192.168.0.1/24	192.168.0.0	WAN2
192.168.1.1/24	192.168.1.0	WAN1
192.168.89.1/24	192.168.89.0	LAN

Εικόνα 5.Ορισμός IP Address

2) Αφού έχουν οριστεί οι IP διευθύνσεις μπορεί να αρχίσει η διαμόρφωση του Load Balancing από το menu IP->Firewall και συγκεκριμένα μέσω της καρτέλας **Mangle**. Πρώτα για το **WAN1** που είναι το πρώτο link. Στην καρτέλα **General** στο πεδίο **Chain** την ορίζουμε ως είσοδο **input** και επιλέγουμε στο **In.Interface** **WAN1**. Εν συνεχεία, επιλέγουμε το την καρτέλα **Action** το **mark connection** και ορίζεται-καταχωρείται στο **New Connection Mark** μια ονομασία **WAN1-CON**.



**Εικόνα 6. Διαμόρφωση γραμμής εισόδου WAN1**

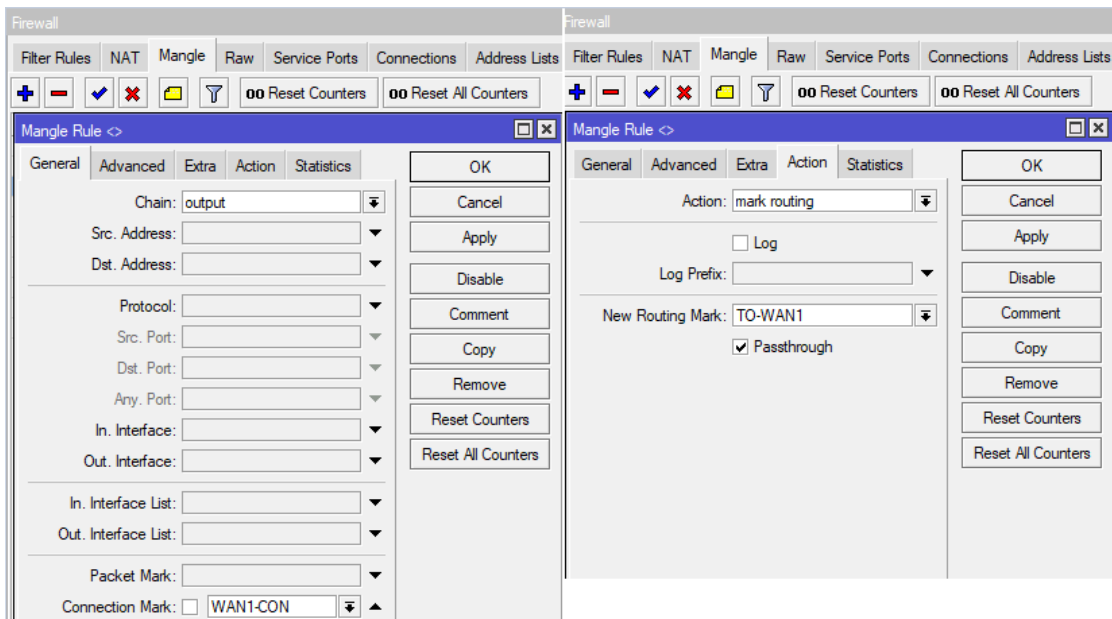
Αντίστοιχα βήματα θα πραγματοποιηθούν για το **WAN2** με τις αντίστοιχες αλλαγές.

Κατόπιν των παραπάνω ενεργειών, στην καρτέλα Mangle θα πρέπει να παρουσιαστεί το ακόλουθο αποτέλεσμα (**Εικόνα 7**):

#	Action	Chain	Src. Address	Proto...	Src. Port	Dst. Port	In. Inter...	Out. Int...	In. Inter...	Out. Int...	Src. Ad...	Dst. Ad...	Bytes	Packets	Dst. Address
0	mark connection	input					WAN1						0 B	0	
1	mark connection	input					WAN2						0 B	0	

**Εικόνα 7. Γενική εικόνα load Balancing μέσω Mangle**

3) Για την έξοδο του **WAN1** θα πρέπει να επιλεγθεί στην καρτέλα **General** στο πεδίο **Chain** **output** και στο πεδίο **Connection Mark** το **WAN1-CON**. Στο menu **Action** και στο πεδίο **Action** επιλέγεται το **mark routing** και στο **New Routing Mark** καταχωρείται το **TO-WAN1** (**Εικόνα 8**).



**Εικόνα 8. Διαμόρφωση γραμμής εξόδου WAN1**

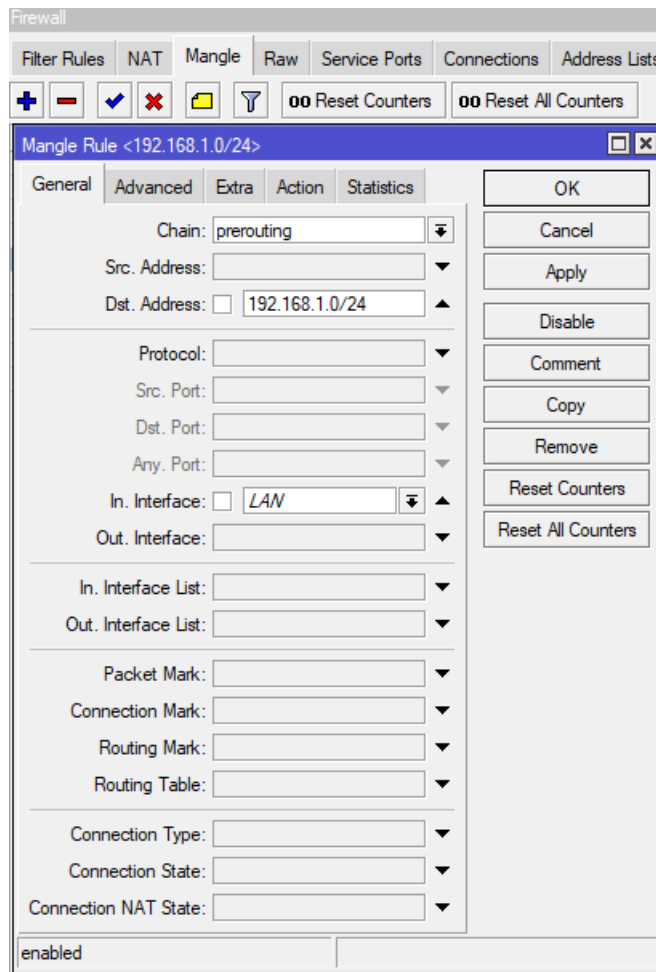
Τα ίδια βήματα πραγματοποιούνται και για το WAN2.

Με βάση τον παραπάνω προγραμματισμό το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην καρτέλα Mangle είναι όπως φαίνεται (Εικόνα 9).

#	Action	Chain	Src. Address	Proto...	Src. Port	Dst. Port	In. Inter...	Out. Int...	In. Inter...	Out. Int...	Src. Ad...	Dst. Ad...	Bytes	Packets	Dst. Address
0	mark connection	input					WAN1						0 B	0	
1	mark connection	input					WAN2						0 B	0	
2	mark routing	output											0 B	0	
3	mark routing	output											0 B	0	

**Εικόνα 9. Γενική εικόνα διαμόρφωσης γραμμής εισόδου- εξόδου για WAN1 & WAN2**

4) Εν συνεχεία θα πρέπει να οριστούν οι εισοδοί και οι IP διευθύνσεις τους. Στην καρτέλα **General** στο πεδίο **Chain** επιλέγουμε το **prerouting** και στο πεδίο **Dst. Address** εισάγουμε την πρώτη IP του WAN1 που εν προκειμένω είναι “192.168.1.0/24”, για πεδίο **In. Interface** επιλέγουμε το **LAN** (Εικόνα 10).



Εικόνα 10.Εισαγωγή IP διεύθυνσης WAN1 για το LAN

Όμοια βήματα θα πραγματοποιηθούν και για την IP του WAN2 της δεύτερης θύρας με IP την “192.168.0.0/24”.

Η καρτέλα Mangle τώρα θα έχει την μορφή της Εικόνας 11.

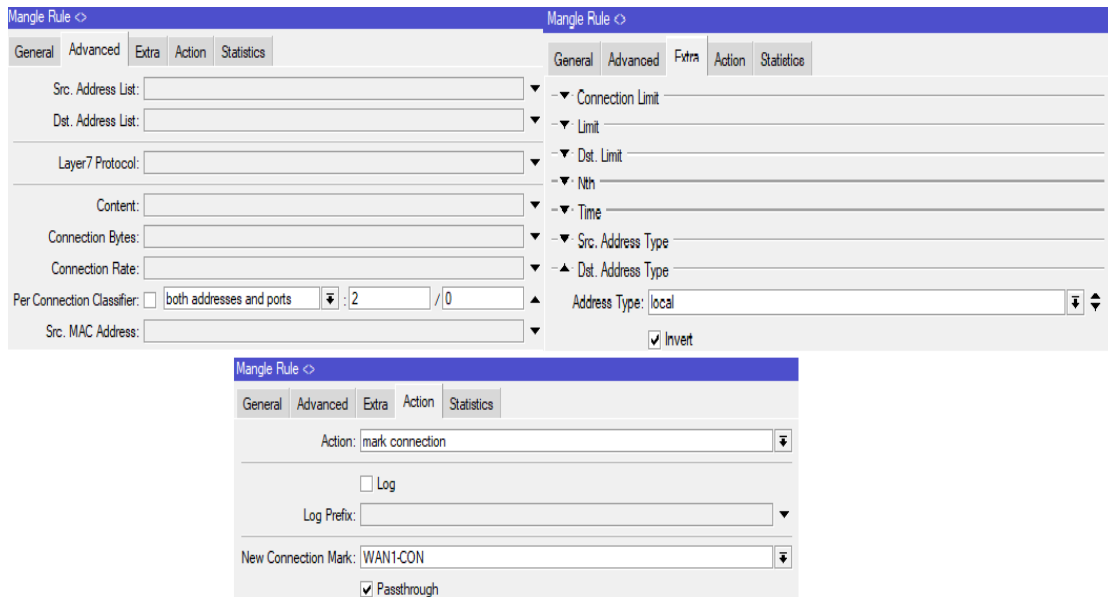
#	Action	Chain	Src. Address	Proto...	Src. Port	Dst. Port	In. Inter...	Out. Int...	In. Inter...	Out. Int...	Src. Ad...	Dst. Ad...	Bytes	Packets	Dst. Address
0	mark connection	input					WAN1						0 B	0	
1	mark connection	input					WAN2						0 B	0	
2	mark routing	output											0 B	0	
3	mark routing	output											0 B	0	
4	accept	prerouting					LAN						0 B	0	192.168.1.0/24
5	accept	prerouting					LAN						0 B	0	192.168.0.0/24

Εικόνα 11.Γενική εικόνα των IP διευθύνσεων του Lan σε σχέση με το WAN1 & WAN2

5) Από το μενού (της καρτέλας Mangle Rule) πηγαίνουμε στην καρτέλα **Advanced** και στο πεδίο **Per Connection Classifier** και επιλέγουμε το **both addresses and ports 2/0**.

Έπειτα από την καρτέλα **Extra** πάμε στο πεδίο **Dst. Address Type** και επιλέγουμε το **local &Invert**.

Εν συνεχεία στην καρτέλα **Action** και στο πεδίο **Action** επιλέγουμε το **mark connection** και στο πεδίο **New Connection Mark** επιλέγουμε το **WAN1-CON**.



**Εικόνα 12. Διαμόρφωση IP & Ports με την μέθοδο (PCC)**

Τα ίδια βήματα πρέπει να υλοποιηθούν και για το **WAN2** με την μόνη διαφορά στην καρτέλα **Advanced** στο πεδίο **Per Connection Classifier** επιλέγουμε το **both addresses and ports 2/1**.

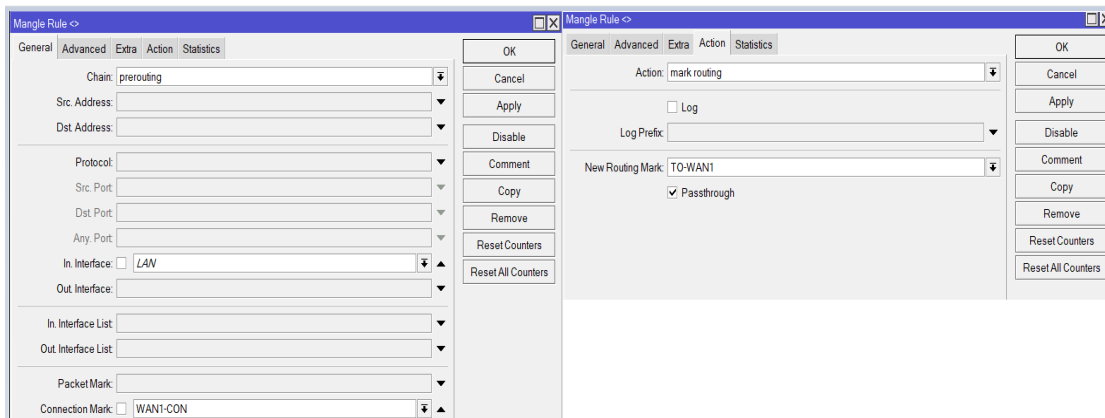
Μετά από τις παραπάνω ενέργειες τα αποτελέσματα των ρυθμίσεων για το **WAN1 & WAN2** παρουσιάζονται όπως στην Εικόνα 13.

#	Action	Chain	Src. Address	Proto...	Src. Port	Dst. Port	In. Inter...	Out. Int...	In. Inter...	Out. Int...	Src. Ad...	Dst. Ad...	Bytes	Packets	Dst. Address
0	mark connection	input					WAN1						0 B	0	
1	mark connection	input					WAN2						0 B	0	
2	mark routing	output											0 B	0	
3	mark routing	output											0 B	0	
4	accept	prerouting					LAN						0 B	0	192.168.1.0/24
5	accept	prerouting					LAN						0 B	0	192.168.0.0/24
6	mark connection	prerouting					LAN						0 B	0	
7	mark connection	prerouting					LAN						0 B	0	

**Εικόνα 13. Γενική εικόνα WAN1 & WAN2 με Per Connection Classifier**

6) Από το μενού (της καρτέλας Mangle Rule) πηγαίνουμε στην καρτέλα **General** στο πεδίο **Chain** επιλέγουμε το **prerouting**, στο πεδίο **In. Interface** επιλέγουμε το **LAN** και στο πεδίο **Connection Mark** επιλέγουμε το **WAN1-CON**.

Στην συνέχεια πάμε στην καρτέλα **Action** στο πεδίο **Action** επιλέγουμε το «**mark routing**», στο πεδίο **New Routing Mark** εισάγουμε το **TO-WAN1** και επιλεγμένο το **Passthrough**.



**Εικόνα 14.Συσχέτιση IP του WAN1 ως προς το LAN**

Τα ίδια βήματα θα εκτελεστούν και για το **WAN2** με τις αλλαγές στα πεδία **Connection Mark** επιλέγουμε το **WAN2-CON** και **New Routing Mark** θα εισαχθεί το **TO-WAN2**.

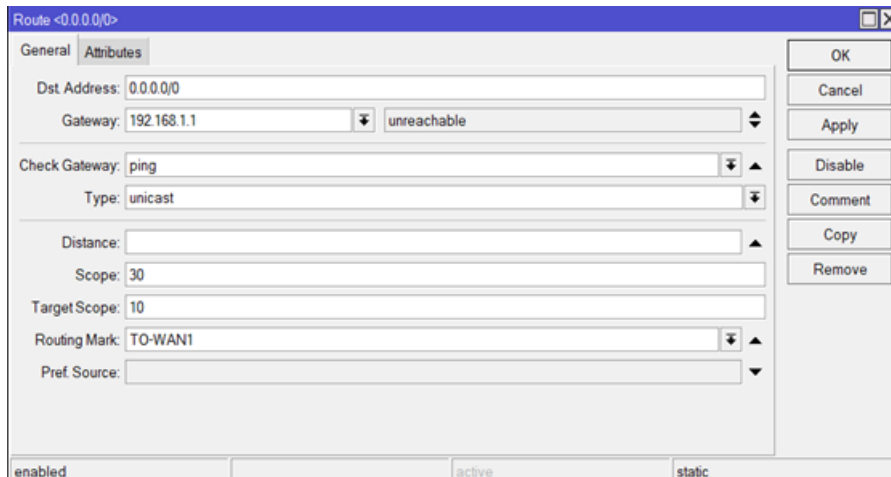
Έπειτα από τις παραπάνω ενέργειες τα αποτελέσματα των ρυθμίσεων για το **WAN1 & WAN2** παρουσιάζονται (Βλέπε Εικόνα 15).

#	Action	Chain	Src. Address	Proto...	Src. Port	Dst. Port	In. Interf...	Out. Inte...	In. Interf...	Out. Inte...	Src. Ad...	Dst. Ad...	Bytes	Packets	Dst. Address
0	mark connection	input					WAN1						0B	0	
1	mark connection	input					WAN2						0B	0	
2	mark routing	output											0B	0	
3	mark routing	output											0B	0	
4	accept	prerouting					LAN						0B	0	192.168.1.0/24
5	accept	prerouting					LAN						0B	0	192.168.0.0/24
6	mark connection	prerouting					LAN						0B	0	
7	mark connection	prerouting					LAN						0B	0	
8	mark routing	prerouting					LAN						0B	0	
9	mark routing	prerouting					LAN						0B	0	

**Εικόνα 15.Συνολικές ρυθμίσεις της διαμόρφωσης WAN1 & WAN2 ως προς το εσωτερικό δίκτυο LAN**

7) Εν συνεχεία, από το μενού **IP** επιλέγουμε το **Routes** στο πεδίο **Gateway** εισάγουμε την **IP** διεύθυνση της του **WAN1**. Στο πεδίο **Check Gateway** επιλέγουμε «**ping**» και στο πεδίο **Routing Mark** επιλέγουμε το **TO-WAN1** (Βλέπε Εικόνα 16).



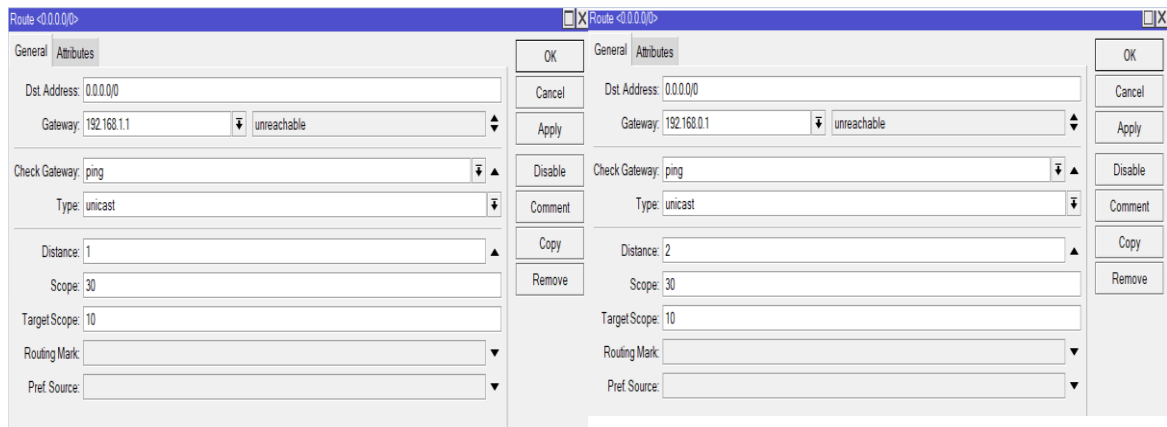


**Εικόνα 16.Ρύθμιση του Route του WAN 1**

Τα ίδια βήματα θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και για το WAN2 με τις αντίστοιχες αλλαγές, επειδή στην προκειμένη περίπτωση συμβαίνει να «βγαίνουμε» στο Internet μέσω του ίδιου router.

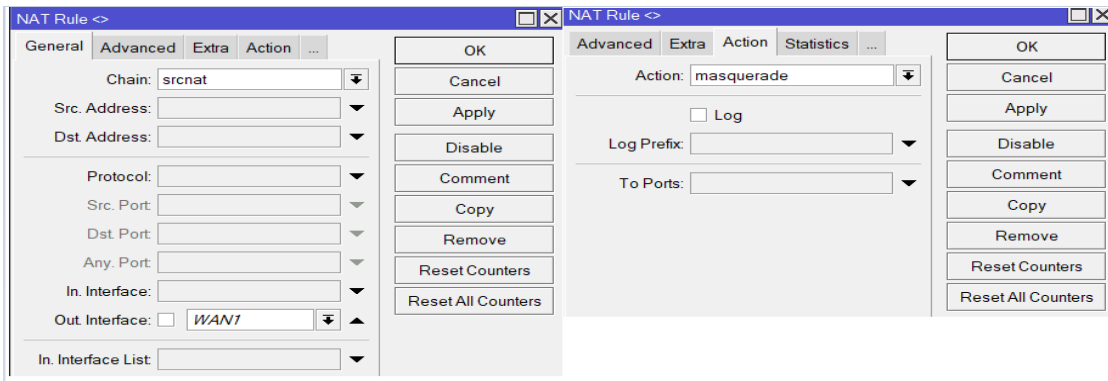
8) Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω βήματα θα δημιουργήσουμε την σειρά των θυρών στο πεδίο Gateway εισάγουμε την IP διεύθυνση της του WAN1 .

Στο πεδίο **Check Gateway** επιλέγουμε **ping** και στο πεδίο **Distance** το **1**. Αντίστοιχα και για το **WAN2** θα εισάγουμε την IP του και στο πεδίο **Distance** το **2**.



**Εικόνα 17.Ρύθμιση του Route του WAN1 & WAN2**

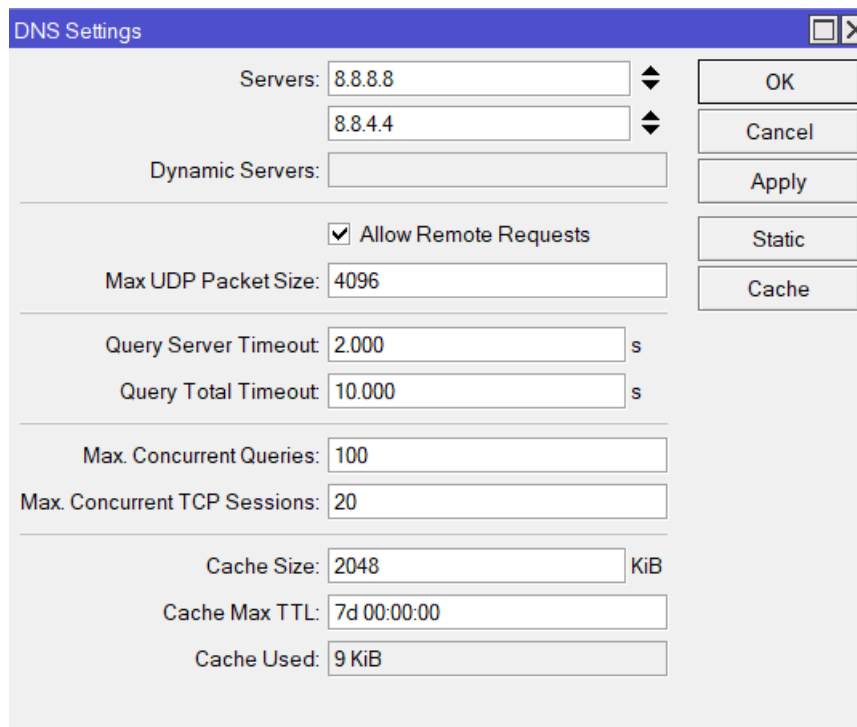
9) Στο μενού IP επιλέγουμε **Firewall**. Έπειτα στην σελίδα NAT, πηγαίνουμε στην καρτέλα **General** και στο πεδίο **Chain** επιλέγουμε **srcnat** και στο πεδίο **Out. Interface** επιλέγουμε το **WAN1**. Στην καρτέλα **Action** στο πεδίο **Action** επιλέγουμε **masquerade**.



**Εικόνα 18.Ρύθμιση του NAT Route του WAN1**

Τα ίδια βήματα θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και για το WAN2.

10) Μετά την ολοκλήρωση όλων των παραπάνω σταδίων μένει να ορίσουμε έναν DNS Server, τον οποίο θα χρησιμοποιεί το σύστημά μας. Για τον σκοπό αυτό, πάμε στο menu της IP και έπειτα DNS ,στο παράθυρο που ανοίγει, στο πεδίο **Servers** καταχωρούμε τις IPΣτων DNS Servers που εμείς έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε. Εν προκειμένω, επιλέξαμε τους: “8.8.8.8” και “8.8.4.4”.

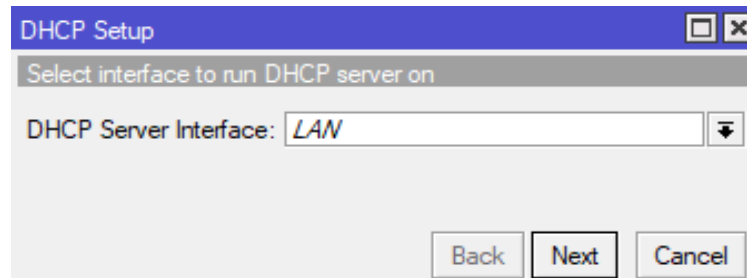


**Εικόνα 19.Δημιουργία DNS Server**

Λεπτομέρειες της δήλωσης βλέπουμε στην Εικόνα 16.

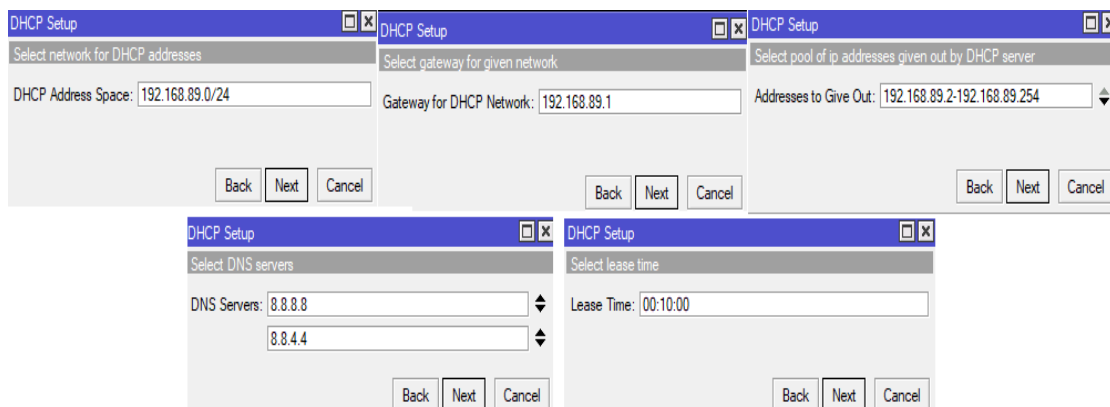
Εν συνεχεία θα ρυθμίσουμε τον **DHCP Server** ώστε όσοι οι εσωτερικοί χρήστες του δικτύου να παίρνουν αυτόματα διευθύνσεις.

11) Στο μενού **IP** επιλέγουμε **DHCP Server** στο παράθυρο που θα μας ανοιχτεί επιλέγουμε το **DHCP Setup** και στο νέο παράθυρο επιλέγουμε την θύρα **LAN** που έχουμε δημιουργήσει. (Εικόνα 18).



**Εικόνα 20. Δημιουργία DHCP Server**

Στο παράθυρο που παρουσιάζει η Εικόνα 19, δίνουμε την επιλογή του subnet του οποίου θα διανέμει διευθύνσεις IPs ο DHCP Server. Έπειτα αποδεχόμαστε την διεύθυνση που είχαμε ορίσει προηγουμένως για το router. Στη συνέχεια, παρατηρούμε το σύνολο των διευθύνσεων την οποία θα χρησιμοποιεί ο DHCP Server για να δίνει τις διευθύνσεις στους χρήστες. Στο καινούριο παράθυρο, επιβεβαιώνουμε τον DNS Server και αποδεχόμαστε την τιμή που μας έχει δώσει το πρόγραμμα.



**Εικόνα 21. Setup DHCP Server**

Τέλος με την ολοκλήρωση του προγραμματισμού μέσω GUI interface (WinBox menus) θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η αποθήκευση του προγράμματος που έχει υλοποιηθεί. Για να υπάρχει backup το πρόγραμμα ή και για να μεταφορτωθεί και σε άλλο MikroTikRouter πρέπει να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή του προγράμματος. Η συγκεκριμένη

διαδικασία πραγματοποιείται μέσω του terminal του Winbox πληκτρολογώντας την εντολή: **export= file** και την ονομασία του προγράμματος σε κατάληξη **.rcs** αποθηκεύεται στην μνήμη του MikroTik.

#### 4.1.2. Διαμόρφωση Σεναρίου 1 μέσω κώδικα (console)

Για τον προγραμματισμό θα χρειαστεί ένας text editor για την συγγραφή του κώδικα. Αποθηκεύτε ο κώδικας με κατάληξη **.rcs** και έπειτα upload στο MikroTik Router και από το **terminal** με την εντολή **import** και το όνομα του αρχείου **.rcs**.

**Υλοποίηση του συγκεκριμένου σεναρίου:**

**#ορισμός IP του δικτύου**

```
# WAN1 network = 192.168.1.0
# WAN1 gateway = 192.168.1.1
#
# WAN2 network = 192.168.0.0
# WAN2 gateway = 192.168.0.1
#
# LAN network = 192.168.89.0
# LAN router IP = 192.168.89.1
#
```

```
/interface ethernet
```

**# ορισμός μεταβλητών και αντιστοίχιση θυρών στο MikroTik #για το κάθε δίκτυο**

```
set [ find default-name=ether3 ] name=LAN
set [ find default-name=ether1 ] name=WAN1
set [ find default-name=ether2 ] name=WAN2
```

```
/ippool # ορισμός εύρους IP του LAN δικτύου
add name=dhcp_pool1 ranges=192.168.89.2-192.168.89.254
/ipdhcp-server
```

**# ορισμός dhcp-server για το δίκτυο στο Subnet που #θέλουμε**

```
add address-pool=dhcp_pool1 disabled=no interface=LAN
name=dhcp1
```

```

/ipaddress

# ορισμός (σύνδεση) των τριών θυρών με τις IPs που
# αντιστοιχεί στο κάθε ένα Subnet

add address=192.168.1.2/24 interface=WAN1 network=192.168.1.0

add address=192.168.0.254/24 interface=WAN2
network=192.168.0.0

add address=192.168.89.1/24 interface=LAN
network=192.168.89.0

/ipdhcp-servernetwork

#Ορισμός (καθορισμός) εύρους των IPs του LAN #(εσωτερικού)
δικτύου και έξοδος αυτών

add address=192.168.89.0/24 gateway=192.168.89.1/ipdns

# Δήλωση DNS SERVER

set allow-remote-requests=yes servers=8.8.8.8,8.8.4.4

# Έναρξη δήλωσης Bonding links, processes

/ip firewall mangle

# Εισαγωγή του mark-connection και chain ως είσοδό για το #
WAN1 (δηλαδή για το 1ο link)

#δημιουργία νέας μεταβλητής mark-connection για το WAN1 #για
προσδιορισμό των #πακέτων και passthrough=yes για να
#δρομολογηθούν τα πακέτα

add action=mark-connection chain=input in-interface=WAN1 new-
connection-mark=WAN1-CON passthrough=yes

# Εισαγωγή του mark-connection και chain ως είσοδο για το #
WAN2 (δηλαδή για το 2ο link)

# Δημιουργία νέας μεταβλητής mark-connection για το WAN2
# για προσδιορισμό των πακέτων και passthrough=yes για να
# δρομολογηθούν τα πακέτα

add action=mark-connection chain=input in-interface=WAN2 new-
connection-mark=WAN2-CON passthrough=yes

```

```
# Εισαγωγή του mark-routing για την παράμετρο new-  
# routing-mark για ένα πακέτο του WAN1 δικτύου για να  
# δρομολογηθούν τα πακέτα
```

```
add action=mark-routing chain=output connection-mark=WAN1-CON  
new-routing-mark=TO-WAN1 passthrough=yes
```

```
# Εισαγωγή του mark-routing για την παράμετρο new-  
# routing-mark για ένα πακέτο του WAN2 δικτύου για να  
# δρομολογηθούν τα πακέτα
```

```
add action=mark-routing chain=output connection-mark=WAN2-CON  
new-routing-mark=TO-WAN2 passthrough=yes
```

```
# Αποδοχή δρομολόγησης σε μια συγκεκριμένη IP πύλης
```

```
# παρακάμπτοντας την κανονική απόφαση δρομολόγησης
```

```
add action=accept chain=prerouting dst-address=192.168.1.0/24  
in-interface=LAN
```

```
add action=accept chain=prerouting dst-address=192.168.0.0/24  
in-interface= LAN
```

## LAN

```
# Εισαγωγή mark-connection και δρομολόγηση σε μια  
# συγκεκριμένη IP ως local για το LAN  
# για την new-connection-mark WAN1-CON που έχει οριστεί  
# για την δρομολόγηση των πακέτων passthrough=yes  
# και διαίρεση της κυκλοφορίας σε ίσα μέρη για να  
# δρομολογηθούν τα πακέτα
```

```
add action=mark-connection chain=prerouting dst-address-  
type=!local in-interface=LAN new-connection-mark=WAN1-CON  
passthrough=yes per-connection-classifier=both-addresses-and-  
ports:2/0
```

```
# Εισαγωγή mark-connection και δρομολόγηση σε μια  
# συγκεκριμένη IP ως local για το LAN
```

```

# για την new-connection-mark WAN2-CON που έχει οριστεί
# για την δρομολόγηση των πακέτων passthrough=yes
# και διαίρεση της κυκλοφορίας σε ίσα μέρη για να
# δρομολογηθούν τα πακέτα

add action=mark-connection chain=prerouting dst-address-
type=!local in-interface=LAN new-connection-mark=WAN2-CON
passthrough=yes per-connection-classifier=both-addresses-and-
ports:2/1

# Εισαγωγή ενός δείκτη για την δρομολόγηση που συνδέεται
# το WAN1-CON με το LAN δίκτυο, που το καθορίζει TO-WAN1
# και αποδοχή των πακέτων που του αντιστοιχούν

add action=mark-routing chain=prerouting connection-
mark=WAN1-CON in-interface=LAN new-routing-mark=TO-WAN1
passthrough=yes

# Εισαγωγή ενός δείκτη για την δρομολόγηση συνδέεται
# το WAN2-CON με το LAN δίκτυο, που το καθορίζει TO-WAN2 #
και αποδοχή των πακέτων που του αντιστοιχούν

add action=mark-routing chain=prerouting connection-
mark=WAN2-CON in-interface=LAN new-routing-mark=TO-WAN2
passthrough=yes

# ----- finish per-connection-classifier configuration

/ipfirewallnat

# Ορισμός τείχους προστασίας NAT (firewall nat) σε μια #
συγκεκριμένη IP για το WAN1 και WAN2

add action=masquerade chain=srcnat out-interface=WAN1
add action=masquerade chain=srcnat out-interface=WAN2

/iproute

# Έλεγχος που πραγματοποιείται περιοδικά
# (κάθε 10 δευτερόλεπτα) στην IP και #ταιριάζει τα πακέτα # στο
κάθε Subnet

add check-gateway=ping distance=1 gateway=192.168.1.1 routing-
mark=TO-WAN1

```

```
add check-gateway=ping distance=1 gateway=192.168.0.1 routing-  
mark=TO-WAN2
```

```
# Έλεγχος που πραγματοποιεί περιοδικά
```

```
#(κάθε 10 δευτερόλεπτα) για την κάθε στατική διαδρομή
```

```
# 1 ή 2 για κάθε δίκτυο
```

```
add check-gateway=ping distance=1 gateway=192.168.1.1
```

```
add check-gateway=ping distance=2 gateway=192.168.0.1
```

```
/system clock
```

```
# ορισμός ώρας
```

```
set time-zone-name=Europe/Athens
```



## 4.2 Αποτελέσματα Σεναρίου 1

Από την μνήμη του MikroTik που έχουμε το αρχείο προγράμματος, με χρήση του **terminal** με την εντολή **import** και το όνομα του αρχείου.**rcs** πραγματοποιείται η φόρτωση – εκτέλεσή του. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε χαρακτηριστικά σενάρια-δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν και λαμβάνοντας κυρίως τιμές απόδοσης των links. Άλλωστε η απόδοση θεωρείται ένα από τα πιο βασικά ζητήματα στον τομέα των δικτύων. Το QoS (Quality of Service) αποδίδεται με παραμέτρους όπως η απόδοση, η καθυστέρηση, οι απώλειες, οι συγκρούσεις πακέτων (Islam, et.al, 2016).

1) Σενάριο δοκιμής με χρήση web(browser), για τον έλεγχο ταχύτητας των γραμμών και την επίτευξη του Load – Balancing. Στη δοκιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε Web(Browser) για άντληση και αποστολή δεδομένων. Επίσης, από την επιλογή του Interface του WinBox πήραμε την παρακάτω εικόνα.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	95.8 Mbps	2.7 Mbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	1083.5 kbps	46.7 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	1672.5 kbps	49.4 Mbps

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	774.4 kbps	35.8 Mbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	29.3 Mbps	620.4 kbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	6.5 Mbps	154.0 kbps

**Εικόνα 22.Αποτελέσματα στιγμιαίες μετρήσεις των links WAN1, WAN2 & LAN της δοκιμής μας (Download-Upload)**

Στην Εικόνα 22, βλέπουν ένα στιγμιότυπο δεδομένων ανά link(WAN1,WAN2 και LAN) . Παρατηρείται ότι λειτουργούν και το WAN1 και το WAN2 και ότι υπάρχει συσχέτιση με το LAN. Στον έλεγχο της ταχύτητας μέσω Browser για download εντοπίζεται ότι λειτουργεί σχεδόν πλήρως τα links τα WAN1 και WAN2.Συγκεκριμένα, η ταχύτητα του WAN1 και η ταχύτητα του WAN2 **46,7Mbps** και **49,4Mbps αντίστοιχα, όταν η συνολική ταχύτητα ανέρχεται στα 95,8Mbps** αντί για **100 Mbps(το θεωρητικό όριο)**. Εν προκειμένω έχουμε σχεδόν συμμετρική κατανομή φορτίου. Δηλαδή εντοπίζονται πολύ μικρές απώλειες σε σχέση με το θεωρητικό όριο. Στον έλεγχο του upload οι ταχύτητες προστίθενται. Στο WAN1 είναι **29,3Mbps** και το WAN2 είναι με **6,5Mbps** και η έξοδος στο LAN για upload είναι **35,8Mbps**.

2) Πραγματοποιήθηκε έλεγχος γραμμών για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά με αφαίρεση καλωδίου Ethernet δηλ. με αποκλεισμό της γραμμής WAN1 ή της γραμμής WAN2 .Η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό έλεγχο της απρόσκοπτης λειτουργίας

του δικτύου στην περίπτωση που η μία γραμμή (link) τεθεί εκτός λειτουργίας εξαιτίας ενός απρόβλεπτου εξωτερικού παράγοντα. Με αποκλεισμό της WAN2 (link) πήραμε τα παρακάτω δεδομένα.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	49.1 Mbps	1115.4 kbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	1110.8 kbps	49.1 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	716.4 kbps	29.4 Mbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	29.4 Mbps	640.2 kbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps

**Εικόνα 23.Απόδοση Γραμμής με διακοπή WAN2 link**

Στην Εικόνα 23, όπου έχουμε απενεργοποίηση του WAN2 link, παρατηρείτε ότι λειτουργεί πλήρως το WAN1 με ταχύτητες download **49,1 Mbps** και upload **29,4 Mbps**. Στη συνέχεια αποκλείστηκε η WAN1(link) και πήραμε τα παρακάτω δεδομένα.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	49.0 Mbps	1450.1 kbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN2	Ethernet	1500	1598	1445.0 kbps	48.9 Mbps

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	393.6 kbps	8.5 Mbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN2	Ethernet	1500	1598	8.5 Mbps	329.6 kbps

**Εικόνα 24.Απόδοση Γραμμής με διακοπή WAN1 link**

Στην Εικόνα 24, με την απενεργοποίηση του link WAN1, παρατηρείται ότι λειτουργεί πλήρως το link WAN2 με ταχύτητα download **49,0 Mbps** και upload **8,5 Mbps**.

Παρατηρήθηκε ότι με την αφαίρεση της μιας από τις δύο γραμμές παραμένει η σύνδεση με την άλλη γραμμή. Κατά την διάρκεια των δοκιμών, παρατηρήθηκε μία μικρή καθυστέρηση μερικών δευτερολέπτων, λόγω του ότι το MikroTik Router να πραγματοποιήσει την αναπροσαρμογή για την μη λειτουργία της εκάστοτε υπό διακοπής γραμμής. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και στην επανασύνδεση της γραμμής που είχε τεθεί εκτός λειτουργίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στις δυνατότητες του MikroTik RB941-2nD –TC διότι διαθέτει μια CPU με μικρό χρονισμό.

3) Σε δοκιμή για **download αρχείων 1GB, 5GB και 10 GB** που πραγματοποιήθηκαν.

- Σε δοκιμή για download αρχείου μεγέθους **1 GBytes**- η οποία πραγματοποιήθηκε- ένα στιγμιότυπο κατανομής φορτίου φαίνεται στην Εικόνα 25. Συγκεκριμένα παρατηρείται ενδεικτική συνολική ταχύτητα download **18,2 Mbps**. Με το WAN1 να λειτουργεί με ρυθμό **17,9 Mbps** και το WAN2 με ρυθμό **261,7 kbps**.

Name /	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	18.2 Mbps	633.1 kbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	562.5 kbps	17.9 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	68.3 kbps	261.7 kbps

**Εικόνα 25. Downloading αρχείο (1GB)**

- Στη δοκιμή με download αρχείο μεγέθους **5GBytes** η ταχύτητα ήταν αυξημένη σχεδόν κατά **1,6 Mbps** έναντι της προηγούμενης δοκιμής (1 GBytes) με συνολικό ρυθμό downloading **19,8 Mbps**. Το WAN1 λειτουργεί στα **14,9 Mbps** και **4,8 Mbps** το WAN2 αντιστοίχως.

Name /	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	19.8 Mbps	586.4 kbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	360.7 kbps	14.9 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	222.9 kbps	4.8 Mbps

**Εικόνα 26. Downloading αρχείο (5 GB)**

- Στη δοκιμή με download αρχείο **10 GByets**, η ταχύτητα ήταν αυξημένη σχεδόν κατά **11,1Mbps** (ως προς την προηγούμενη δοκιμή) με συνολικό ρυθμό downloading **30,9Mbps** Το WAN1 λειτουργεί στα **14,5 Mbps** και το WAN2 link **16,2 Mbps** αντίστοιχα. Και εδώ, εντοπίζεται μία ανοδική αύξηση της ταχύτητας όσο αυξάνονται τα δεδομένα μεταφοράς.

Name /	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	30.9 Mbps	345.3 kbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	219.1 kbps	14.5 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	123.9 kbps	16.2 Mbps

**Εικόνα 27. Downloading αρχείο (10 GB)**

4) Δοκιμή για uploading αρχείου μεγέθους **2 GBytes**, Τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής φαίνονται στην Εικόνα 28.

Name /	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	891.4 kbps	34.0 Mbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	29.9 Mbps	639.2 kbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	4.0 Mbps	180.7 kbps

**Εικόνα 28. Uploading αρχείο (2 GB)**

Παρατηρούμε ότι για συνολική ταχύτητα Uploading **34,0 Mbps**, αυτή κατανέμεται σε **29,9 Mbps** και **4,0 Mbps** αντιστοίχως στα links WAN1 και WAN2. Πράγμα που δεν οδηγεί σε μια αρκούντως εξισορροπημένη κατανομή.

5) Σε δοκιμές για άνοιγμα πολλών σελίδων σε Browser με πολλά δεδομένα για surfing στο internet, πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	10.5 Mbps	388.8 kbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	245.1 kbps	10.1 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	141.0 kbps	380.6 kbps

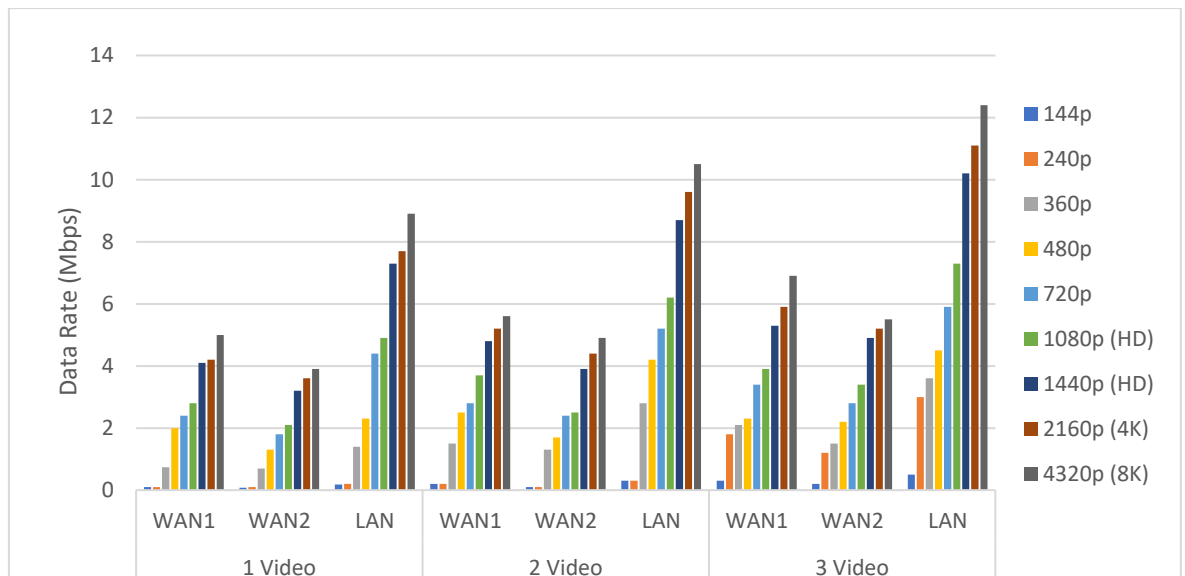
### Εικόνα 29.Download με περισσότερα δεδομένα

Σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για περιήγηση στο Internet μέσω Browser σε διάφορα site όπως για social media, video, ειδήσεις και άλλα. Παρατηρήθηκε ότι το Load Balancing πραγματοποιήθηκε χωρίς κάποιο πρόβλημα με στιγμιαία συνολική ταχύτητα που εμφανίζεται τα **10,5 Mbps**. Με το WAN1 λειτουργεί με την ταχύτητα του **10,1 Mbps** ενώ το WAN2 **380,6 kbps** που είναι φυσιολογικό διότι για περιήγηση στο Internet δεν απαιτεί μεγάλες ταχύτητες.

6) Δοκιμές παρακολούθησης Video σε διάφορες ποιότητες από διαφορετικούς Browsers στο YouTube μέσω Google Chrome, Mozilla Firefox και Microsoft Edge.

Ποιότητα Video Resolution/Frame	1 Video (Mbps)			2 Video (Mbps)			3 Video (Mbps)		
	WAN1	WAN2	LAN	WAN1	WAN2	LAN	WAN1	WAN2	LAN
144p	0,1	0,08	0,18	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,5
240p	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	1,8	1,2	3
360p	0,74	0,7	1,4	1,5	1,3	2,8	2,1	1,5	3,6
480p	2	1,3	2,3	2,5	1,7	4,2	2,3	2,2	4,5
720p	2,4	1,8	4,4	2,8	2,4	5,2	3,4	2,8	5,9
1080p (HD)	2,8	2,1	4,9	3,7	2,5	6,2	3,9	3,4	7,3
1440p (HD)	4,1	3,2	7,3	4,8	3,9	8,7	5,3	4,9	10,2
2160p (4K)	4,2	3,6	7,7	5,2	4,4	9,6	5,9	5,2	11,1
4320p (8K)	5	3,9	8,9	5,6	4,9	10,5	6,9	5,5	12,4

**Πίνακας 2. Αντιστοίχιση ποιότητας Video και τις αντίστοιχες τιμές στα δίκτυα σε Mbps μέσω Ethernet**



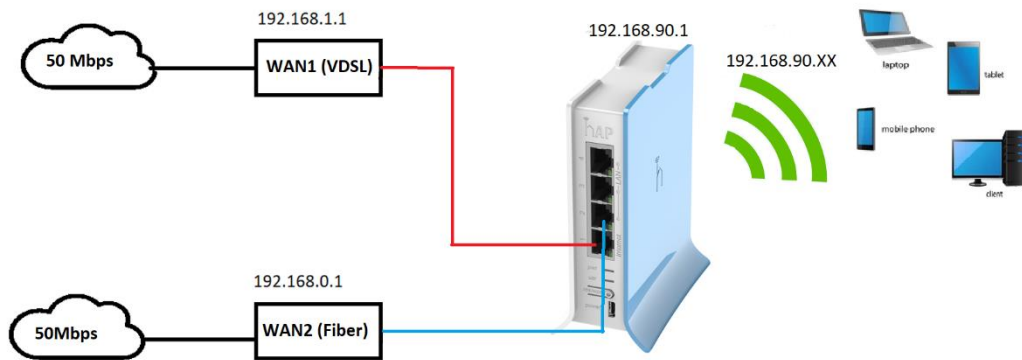
**Γράφημα 1: Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του Πίνακα 2**

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2 και στο Γράφημα 1, το εύρος των ταχυτήτων ποικίλει ανάλογα με την ποιότητα του Video-frame (από **144p** μέχρι **4320p**) και ανάλογα με το ποσά video προβάλλονται με την σύνδεση στους διαφορετικούς Browser που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρείται ότι υπάρχει κλιμακωτή ανοδική αύξηση της ταχύτητας και στα δύο links, καθώς οι τιμές που εμφανίζονται είναι στιγμιαίες και διαρκώς μεταβαλλόμενες κατά την διάρκεια προβολής των Video. Επίσης, η λειτουργία του Load Balancing φαίνεται ότι δουλεύει με τις στιγμιαίες τιμές ταχύτητας του download έχοντας μικρή απόκλιση μεταξύ των δύο links.

Οι τιμές των παραπάνω πειραμάτων είναι στιγμιαίες τιμές. Αν ολοκληρώσουμε ως προς τον χρόνο, για τα συγκεκριμένα πειράματα, έχουμε εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ των links.

### 4.3. Σενάριο 2<sup>ο</sup> Διαμόρφωση Router με Wi-Fi εσωτερικό δίκτυο και δύο εξωτερικές συνδέσεις

Πλέον των παραπάνω που αφορούν ενσύρματο εσωτερικό δίκτυο, μια άλλη εναλλακτική τοπολογία η οποία χρησιμοποιεί Wi-Fi τεχνολογία για εσωτερική διανομή δεδομένων (αντί ενσύρματης διανομής) τέθηκε ως σενάριο μελέτης (Εικόνα 28). Ζητούμενο και πάλι το load balancing μεταξύ των links 1 και 2.

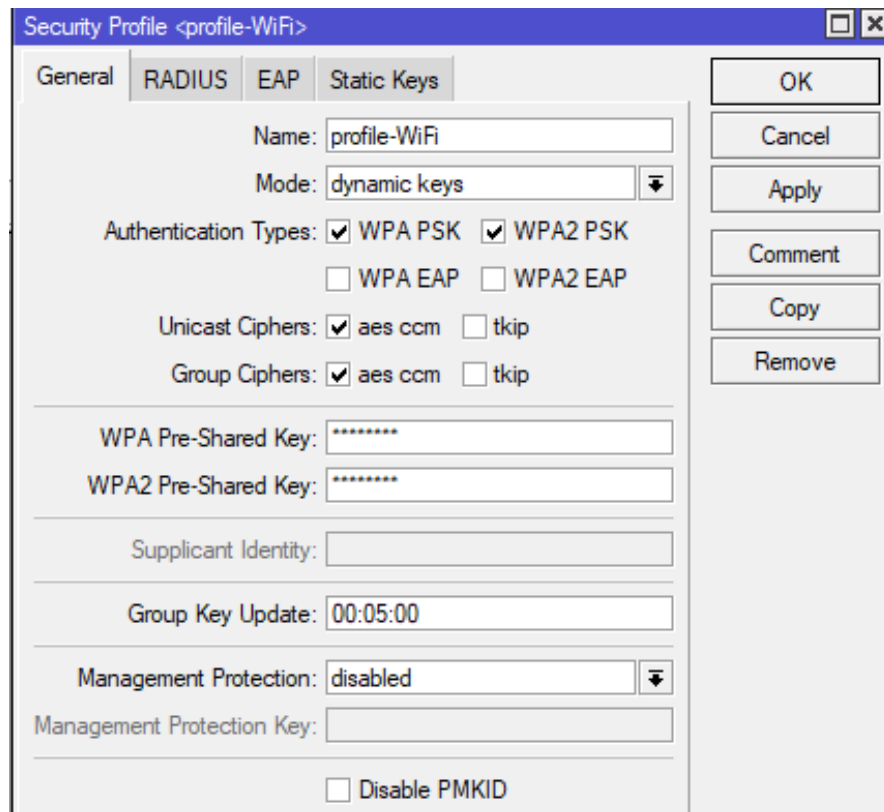


Εικόνα 30. Ασύρματη τοπολογία εσωτερικού δικτύου Wi-Fi

Ορίστηκε κωδικοποίηση **WPA PSK** και **WPA2 PSK** για την σύνδεση στο Wi-Fi, καθώς και η ονομασία του. Πραγματοποιήθηκε λογική σύνδεση (bridge) όλων των υποδικτύων μαζί με μια συγκεκριμένη IP. Επίσης, στις ρυθμίσεις έγινε χρήση ενός νέου τείχους προστασίας NAT το masquerade που στην ουσία πρόκειται για την IP του Wi-Fi. Δημιουργήθηκε και πάλι ένας νέος DHCP Server – όπως και στο προηγούμενο σενάριο και ορίστηκαν οι IP διευθύνσεις του δικτύου.

#### 4.3.1. Διαμόρφωση Σεναρίου 2 (ασύρματου εσωτερικού δικτύου Wi-Fi) μέσω WinBox GUI

1) Από το μενού στην καρτέλα του Wireless στο παράθυρο που θα ανοιχτεί πηγαίνουμε στην καρτέλα Security Profile και δημιουργούμε ένα προφίλ για το Wi-Fi. Στο πεδίο Name εισάγουμε το **profile-Wi-Fi** στο πεδίο Mode επιλέγουμε το **dynamickeys**, στο πεδίο **Authention Types** επιλέγουμε τα **WPAPSK**, **WPA2 PSK** και τέλος στα πεδία **WPA Pre – Shared Key** και **WPA2 Pre- Shared Key** εισάγουμε τον ίδιο κωδικό με 8 ψηφία τουλάχιστον.



**Εικόνα 31. Διαμόρφωση Wi-Fi**

Τα αποτελέσματα ρύθμισης του Wi-Fi παρουσιάζονται στην Εικόνα 32.

Wireless Tables								
WiFi Interfaces		W60G Station	Nstreme Dual	Access List	Registration	Connect List	Security Profiles	Channels
<div style="display: flex; gap: 5px;"> <span>+</span> <span>-</span> <span>📄</span> <span>🔍</span> </div>								
Name	Mode	Authentication ...	Unicast Ciphers	Group Ciphers	WPA Pre-Shared ...	WPA2 Pre-Shared...		
profile1	none				*****	*****		
* default	none				*****	*****		

**Εικόνα 32. Ρυθμίσεις Wi-Fi**

2) Έπειτα στην καρτέλα **Wi-Fi Interfaces** από Disable που είναι απενεργοποιημένο το Wi-Fi επιλέγουμε να είναι ενεργοποιημένο (**Enable**).

Wireless Tables															
WiFi Interfaces		W60G Station	Nstreme Dual	Access List	Registration	Connect List	Security Profiles	Channels							
+		=	↕	↔	📄	📡	CAP	WPS Client	Setup Repeater	Scanner	Freq. Usage	Alignment	Wireless Sniffer	Wireless Snooper	Find
Name	Type	Actual MTU	Tx	Rx	Tx Packet (p/s)	Rx Packet (p/s)									
S wlan1	Wireless (Atheros AR9300)	1500	0 bps	0 bps	0										

**Εικόνα 33.Ενεργοποίηση Wi-Fi**

3) Εν συνεχεία, επιλέγουμε το **WLAN1** και πηγαίνουμε στην καρτέλα **Wireless** στο πεδίο Mode επιλέγουμε το **bridge** . Στο πεδίο **SSID** εισάγουμε την ονομασία **MikroTik** στο Security Profile επιλέγουμε το **profile Wi-Fi** και στο πεδίο Country επιλέγουμε **Greece** (Εικόνα 34).

Interface <wlan1>

General Wireless HT WDS Nstreme NV2 Status Traffic

Mode:

Band:

Channel Width:

Frequency:  MHz

SSID:

Security Profile:

WPS Mode:

Frequency Mode:

Country:

Installation:

Antenna Gain:  dBi

Default AP Tx Limit:  bps

Default Client Tx Limit:  bps

Default Authenticate

Default Forward

Hide SSID

**Εικόνα 34.Interface Wlan1**

4) Πλέον μπορούμε να δούμε ότι το Wi-Fi είναι σε λειτουργία με την ονομασία MikroTik και θα πρέπει να γίνει εισαγωγή κωδικού πρόσβασης σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να συνδεθεί.



5) Από το menu πηγαίνουμε στην καρτέλα **Bridge**. Στην καρτέλα **Bridge** θα δημιουργήσουμε την γέφυρα σύνδεσης. Στη καρτέλα General στο πεδίο Name **LAN-Bridge**.

Interface <LAN-Bridge>

General STP VLAN Status Traffic

Name: LAN-Bridge

Type: Bridge

MTU: [ ] ▼

Actual MTU: 1500

L2 MTU: 1598

MAC Address: 08:55:31:84:3E:83

ARP: enabled [ ] ▼

ARP Timeout: [ ] ▼

Admin. MAC Address: [ ] ▼

Ageing Time: 00:05:00

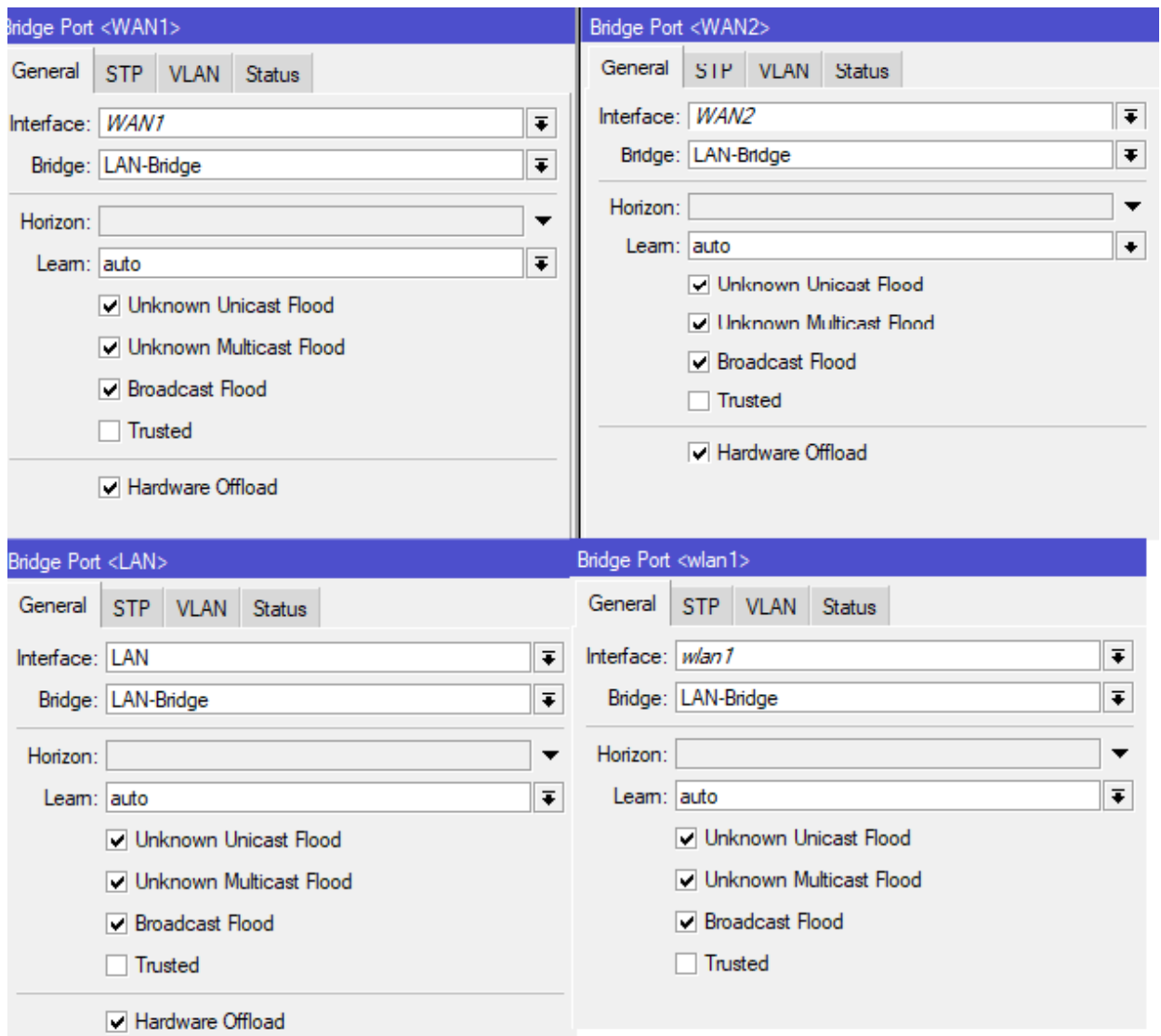
IGMP Snooping

DHCP Snooping

Fast Forward

Εικόνα 35.Interface LAN-Bridge

6) Στην **καρτέλα Ports** θα δημιουργηθούν τέσσερα Interfaces. Το πρώτο για το **WAN1**, το δεύτερο για το **WAN2**, το τρίτο για το **LAN** και το τέταρτο για το **Wlan1**. (Βλέπε Εικόνα 34).



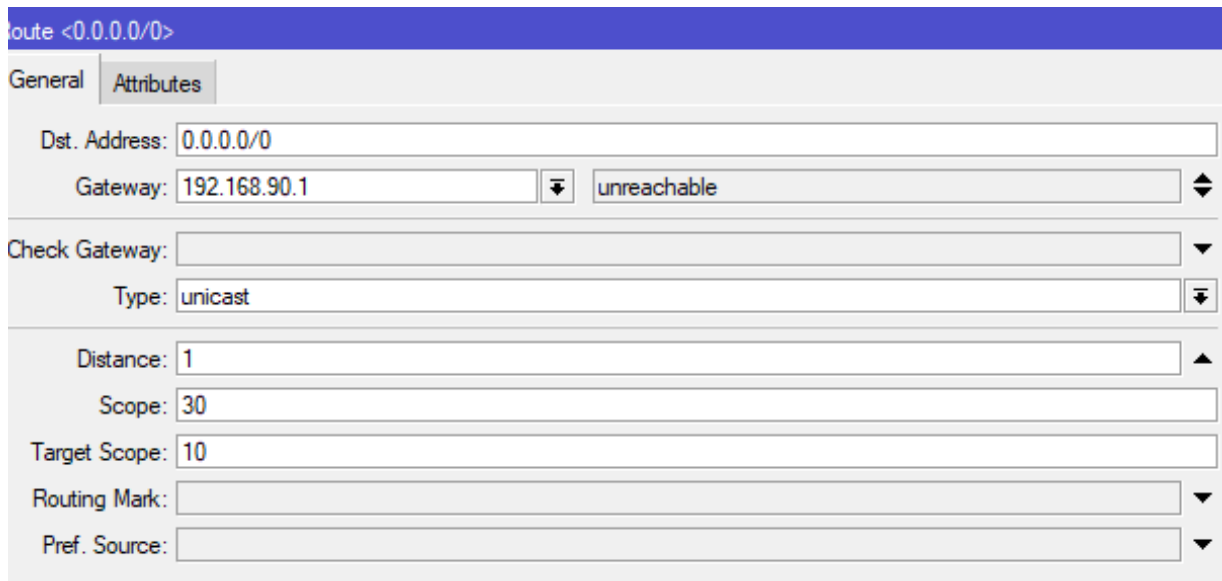
**Εικόνα 36. Δημιουργία τεσσάρων Interfaces LAN-Bridge**

7) Εν συνεχεία, από το menu **IP Address** ορίζουμε ένα ακόμα subnet για το LAN-Bridge (Εικόνα 37).

Address	Network	Interface
192.168.0.1/24	192.168.0.0	WAN2
192.168.1.1/24	192.168.1.0	WAN1
192.168.89.1/24	192.168.89.0	LAN
192.168.90.1/24	192.168.90.0	LAN-Bridge

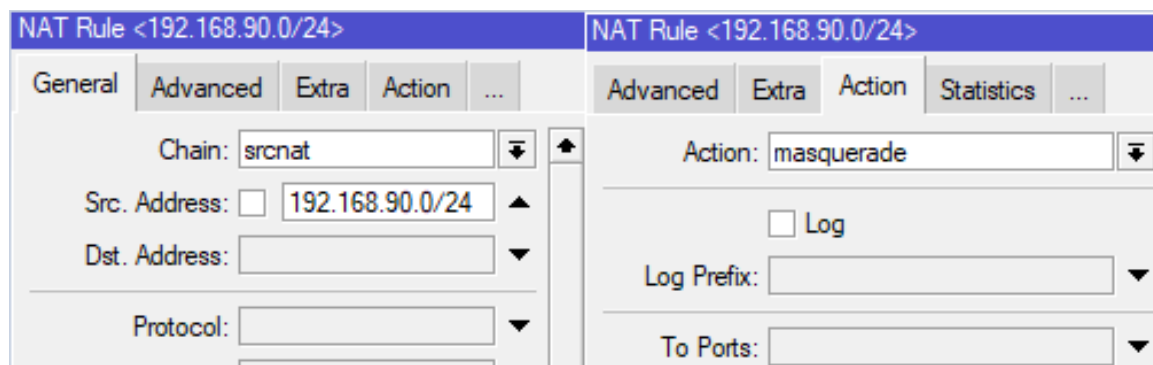
**Εικόνα 37. Ορισμός διευθύνσεων θυρών του Mikrotik για την λειτουργία του Wi-Fi**

8) Δήλωση Router μέσω του οποίου βγαίνουμε στο internet. Από το menu πηγαίνουμε **IP** και έπειτα **Route**. Στην καρτέλα **Routes** θα εισάγουμε ένα νέο. Στο πεδίο **Gateway** δηλώνουμε την IP “192.168.90.1”. (Εικόνα 38)



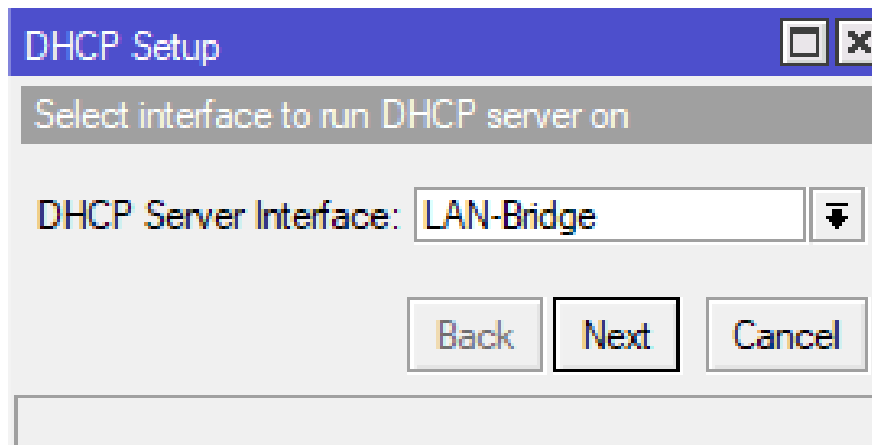
Εικόνα 38. Δημιουργία Gateway

9) Δήλωση Firewall NAT. Από το menu πηγαίνουμε **IP** και έπειτα **Firewall** στην καρτέλα **NAT** και εισάγουμε ένα νέο. Στην πεδίο **Chain** επιλέγουμε **srcnat** και στο πεδίο **Srs.Address** επιλέγουμε “192.168.90.0/24”. Στην καρτέλα **Action** στο πεδίο **Action** επιλέγουμε «**masquerade**». (Εικόνα 39).



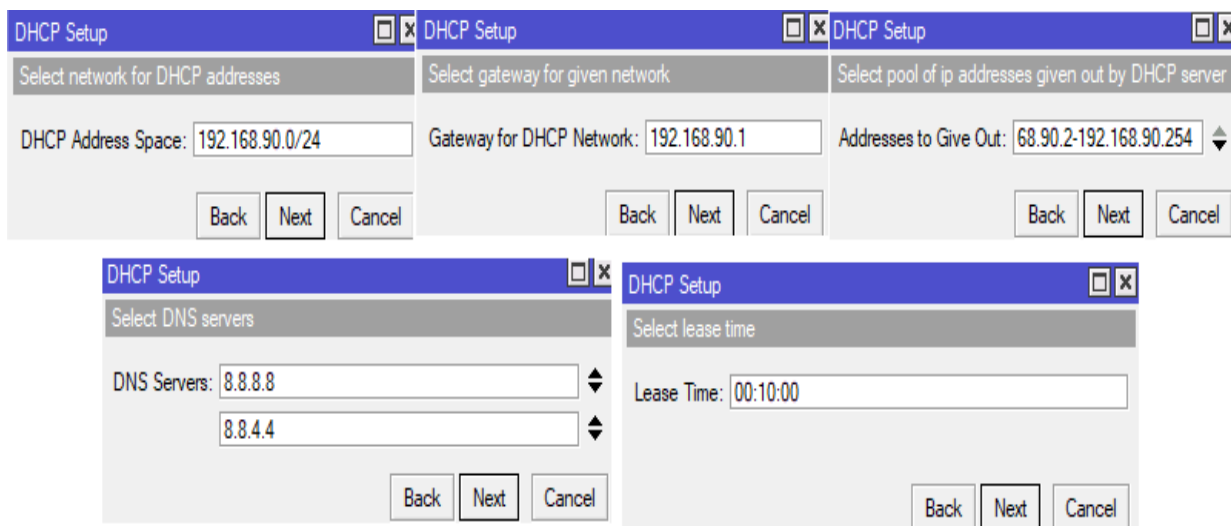
Εικόνα 39. Δημιουργία NAT Routes

10) Δήλωση εσωτερικού DHCP Server: Από το βασικό menu πηγαίνουμε **DHCP Server** και έπειτα στην **καρτέλα DHCP** και έπειτα **DHCP Setup**. Στο νέο παράθυρο επιλέγουμε την θύρα **LAN-Bridge** που έχουμε δημιουργήσει (Εικόνα 40).



**Εικόνα 40.Δημιουργία DHCP Server Interface**

Στο καινούργιο παράθυρο, επιβεβαιώνουμε τον DNS Server και αποδεχόμαστε την τιμή που μας έχει δώσει το πρόγραμμα (Εικόνα 41).



**Εικόνα 41.Δημιουργία DHCP**

### 4.3.2. Διαμόρφωση Σεναρίου 2 (ασύρματου εσωτερικού δικτύου Wi-Fi) μέσω κώδικα (console)

```
# Δημιουργία και μετονομασία για το subnet LAN-Bridge
/interface bridge
add name=LAN-Bridge

# Δημιουργία προφίλ για security στο Wi-Fi
# ορισμός ονομασίας του Wi-Fi καθώς δημιουργία ασφάλειας
# wpa2 & wpa

/interface wireless security-profiles
set [ find default=yes ] supplicant-identity=MikroTik
add authentication-types=wpa-psk, wpa2-psk eap-methods=""
mode=dynamic-keys name=profile1 supplicant-identity="" wpa-
pre-shared-key=12345678 wpa2-pre-shared-key=12345678

# Ονομασία του wireless και στην Ελλάδα με την
# λειτουργία bridge με το προφίλ ασφάλειας
# και σε ποιο Wi-Fi

/interface wireless
set [ find default-name=wlan1 ] country=greece disabled=no
mode=bridge security-profile=profile1 ssid=MikroTik

# Ορισμός εύρους διευθύνσεων για το WI-Fi

/ip pool
add name=dhcp_pool ranges=192.168.90.2-192.168.90.254

# Δημιουργία dhcp-server
/ipdhcp-server
add address-pool=dhcp_pool1 disabled=no interface=LAN-Bridge
name=dhcp1
```

**# Εισαγωγή IP διεύθυνσης για το LAN-Bridge**

/ip address

add address=192.168.90.1/24 interface=LAN-Bridge  
network=192.168.90.0

**# Ορισμός εύρους τον IP του Wi-Fi δικτύου και έξοδος της**

/ipdhcp-servernetwork

addaddress=192.168.90.0/24 gateway=192.168.90.1

**#Συνδέει τα πακέτα με την IP του Wi-Fi**

/iproute

adddistance=1 gateway=192.168.90.1

**#Ορισμός τείχους προστασίας NAT σε μια συγκεκριμένη IP για το Wi-Fi**

/ip firewall nat

add action=masquerade chain=srcnatsrc-address=192.168.90.0/24

### 4.3.3. Αποτελέσματα Σεναρίου 2(ασύρματου εσωτερικού δικτύου Wi-Fi)

Από την μνήμη του MikroTik που έχουμε το αρχείο μέσω του **terminal** και με χρήση της εντολής **import** και το όνομα του αρχείου **.rcs** πραγματοποιείται η φόρτωση -εκτέλεση του αρχείου. Στην συνέχεια παρουσιάζονται χαρακτηριστικά σενάρια-δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, και παρουσιάζονται μετρήσεις απόδοσης των διαφόρων links.

1) Σενάριο δοκιμής με χρήση web browser (download/upload) και στιγμιαίες μετρήσεις απόδοσης των γραμμών WAN1, WAN2, και wlan1 την επίτευξη του Load – Balancing. Οι στιγμιαίες μετρήσεις φαίνονται στην Εικόνα 40.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	363.0 kbps	16.8 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	58.8 kbps	3.2 Mbps
ether4	Ethernet	1500	1598	84.1 kbps	5.1 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	20.2 Mbps	407.0 kbps

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	4.4 kbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	21.7 Mbps	618.4 kbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	5.6 kbps	0 bps
ether4	Ethernet	1500	1598	72.7 kbps	4.6 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	593.4 kbps	20.7 Mbps

Εικόνα 42. Στιγμιαία αποτελέσματα απόδοσης των WAN1, WAN2 και wlan1 της δοκιμής μας ( Download – Upload ) με Wi-Fi

Από τα δεδομένα της Εικόνας 42, παρατηρούμε ότι λειτουργεί και το WAN1 και το WAN2 και επίσης υπάρχει εσωτερικό δίκτυο Wi-Fi. Στον έλεγχο της ταχύτητας μέσω Browser για download εντοπίζεται εμφανώς πεσμένη η ταχύτητα του WAN1 αλλά και η ταχύτητα του WAN2 (σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο – χωρίς διανομή Wi-Fi). Στην περίπτωση downloading, όπως φαίνεται, το WAN1 λειτουργεί με **16,8Mbps** ενώ το WAN2 λειτουργεί με **3,2Mbps**. Η συνολική ταχύτητα φτάνει τα **20,2Mbps** αντί για των 100 Mbps που θα έπρεπε να έχει σαν ρυθμό λειτουργίας το Wi-Fi. Ενώ για την περίπτωση uploading έχουμε έξοδο **20,7 Mbps**. Το WAN1 λειτουργεί με **21,7 Mbps** και το WAN2 λειτουργεί με **5,6 kbps** αντιστοίχως. Είναι προφανές ότι, υπάρχουν παράγοντες που συμβάλλουν στην απώλεια των πακέτων στην περίπτωση των Wi-Fi δικτύων. Ένας από αυτούς είναι η υπερχειλίση buffer στους δρομολογητές αλλά και η έλλειψη χώρου στον buffer για την αποθήκευση πακέτων (Ravikumar, et al., 2014).

2) Πραγματοποιήθηκε εκ νέου έλεγχος γραμμών για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά με αφαίρεση καλωδίου Ethernet ή ψηφιακό αποκλεισμό της εκάστοτε γραμμής WAN1 & WAN2 . Για τον έλεγχο της εξισορρόπηση του φορτίου στην περίπτωση που η μία γραμμή του internet τεθεί εκτός λειτουργίας εξαιτίας ενός φυσικού παράγοντα ή λογικού.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	568 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	448.0 kbps	24.0 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
ether4	Ethernet	1500	1598	84.4 kbps	5.1 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	23.3 Mbps	329.4 kbps

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	18.6 Mbps	608.7 kbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
ether4	Ethernet	1500	1598	83.4 kbps	5.1 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	552.0 kbps	21.2 Mbps

**Εικόνα 43.Απόδοση Γραμμής με διακοπή WAN2 link με Wi-Fi**

Στην Εικόνα 43, διαπιστώνεται ότι με την απενεργοποίηση του WAN2 εντοπίζεται να λειτουργεί το WAN1 με ταχύτητα download **23,3 Mbps** και upload **21,2 Mbps**.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	336 bps	0 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN2	Ethernet	1500	1598	247.2 kbps	13.4 Mbps
ether4	Ethernet	1500	1598	72.5 kbps	4.6 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	12.7 Mbps	218.5 kbps

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	336 bps	0 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN2	Ethernet	1500	1598	8.2 Mbps	258.8 kbps
ether4	Ethernet	1500	1598	72.2 kbps	4.6 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	217.1 kbps	8.0 Mbps

**Εικόνα 44.Απόδοση των links με διακοπή WAN1 link και με εσωτερικό Wi-Fi**

Με την απενεργοποίηση του WAN1 εντοπίζεται να λειτουργεί το WAN2 με ταχύτητα download **12,7 Mbps** και upload **8,0 Mbps**.

Παρατηρήθηκε ότι με την αφαίρεση σε μια από τις δύο γραμμές (links), υπήρχε σύνδεση με άλλη γραμμή η οποία παραμένει συνδεδεμένη και με το τοπικό δίκτυο να βρίσκεται σε κανονική λειτουργία. Στην αλλαγή των γραμμών παρατηρήθηκε καθυστέρηση περίπου 20 δευτερολέπτων γιατί πρέπει το MikroTikRouter να πραγματοποιήσει την αναπροσαρμογή για την μη λειτουργία της γραμμής και την εκπομπή από το Wi-Fi . Το ίδιο



φαινόμενο παρατηρήθηκε και στην επανασύνδεση της γραμμής που είχε τεθεί εκτός λειτουργίας.

3) Σε δοκιμές για download αρχείων μεγέθους **1GB**, **5GB** και **10 GB** που πραγματοποιήθηκαν καταγράφηκαν οι ταχύτητες όπως απεικονίζονται στις παρακάτω εικόνες.

- Δοκιμή downloading αρχείου μεγέθους 1GB. Στιγμιαίες τιμές της δοκιμής φαίνονται στην Εικόνα 45. Ενδεικτική τιμή ρυθμού downloading του wlan1 είναι 12,5 Mbps.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	338.4 kbps	7.1 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	107.5 kbps	5.0 Mbps
ether4	Ethernet	1500	1598	88.7 kbps	7.0 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	12.5 Mbps	538.6 kbps

**Εικόνα 45. Downloading αρχείο (1GB)**

- Δοκιμή για downloading αρχείου μεγέθους 5 GBytes πραγματοποιήθηκε χωρίς κανένα πρόβλημα το Load- Balancing όπως φαίνεται και στην Εικόνα 46. Ενδεικτική τιμή downloading του wlan1 είναι **14,9 Mbps**.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	372.9 kbps	10.3 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	107.8 kbps	2.3 Mbps
ether4	Ethernet	1500	1598	84.4 kbps	5.1 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	14.9 Mbps	474.7 kbps

**Εικόνα 46. Downloading αρχείο (5GB)**

Δηλαδή το downloading αρχείου **5GBytes** έχει η ταχύτητα αυξημένη σχεδόν κατά 2,4Mbps έναντι της αμέσως προηγούμενης περίπτωσης.

- Δοκιμή downloading αρχείου μεγέθους 10GB. Στιγμιαίες τιμές της δοκιμής φαίνονται στην Εικόνα 47.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	573.9 kbps	13.9 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	72.1 kbps	2.8 Mbps
ether4	Ethernet	1500	1598	84.9 kbps	6.9 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	15.3 Mbps	385.3 kbps

**Εικόνα 47. Downloading αρχείο (10GB)**

Για downloading αρχείου 10GBytes η ταχύτητα ήταν αυξημένη σχεδόν κατά 0,4Mbps με συνολικό download **15,3Mbps**.

4) Δοκιμή για uploading αρχείο μεγέθους **2GBytes**. Τα αποτελέσματα φαίνονται στη Εικόνα 48.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	4.4 kbps
WAN1	Ethernet	1500	1598	20.7 Mbps	662.0 kbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	5.1 kbps	0 bps
ether4	Ethernet	1500	1598	72.3 kbps	4.6 kbps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	612.6 kbps	20.6 Mbps

**Εικόνα 48. Uploading αρχείο (2 GB)**

Παρατηρούμε ότι για συνολική ταχύτητα Uploading είναι στο μέγιστο δηλ. **20,7 Mbps** στο WAN1 link και ενώ το WAN2 με **5,1 kbps** (σχεδόν δεν λειτουργεί). Πράγμα που δεν είναι αρκούντως εξισορροπημένη κατανομή.

5) Σε δοκιμές για άνοιγμα πολλών σελίδων σε Browser με πολλά δεδομένα για surfing στο internet, πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα.

Name	Type	Actual MTU	L2 MTU	Tx	Rx
LAN	Ethernet	1500	1598	0 bps	0 bps
LAN-Bridge	Bridge	1500	1598	0 bps	0 bps
WAN1	Ethernet	1500	1598	231.3 kbps	9.0 Mbps
WAN2	Ethernet	1500	1598	124.4 kbps	6.8 Mbps
ether4	Ethernet	1500	1598	0 bps	1344 bps
pwr-line1	PWR	1500	1598	0 bps	0 bps
wlan1	Wireless (Atheros AR9...	1500	1600	12.3 Mbps	274.6 kbps

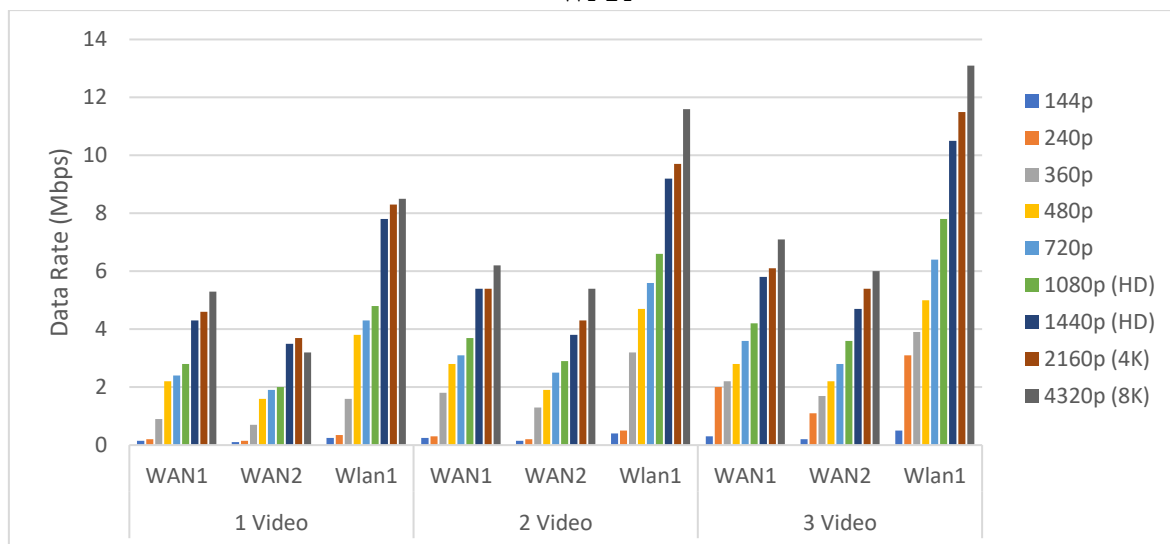
**Εικόνα 49. Download με περισσότερα δεδομένα με Wi-Fi**

Σε δοκιμές για άνοιγμα πολλών σελίδων σε Browser με πολλά δεδομένα για surf στο internet διαπιστώθηκε ότι σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για περιήγηση στο Internet μέσω Browser σε διάφορα site όπως για social media, video και άλλα. Παρατηρήθηκε ότι το Load – Balacing πραγματοποιήθηκε χωρίς κάποιο πρόβλημα με στιγμιαία συνολική ταχύτητα να εμφανίζεται στα **12,3 Mbps** ενώ το WAN1 λειτουργεί με την ταχύτητα του **9,0 Mbps** και το WAN2 **6,8 Mbps**.

6) Δοκιμές παρακολούθησης Video σε διάφορες ποιότητες από διαφορετικούς Browsers στο YouTube μέσω Google Chrome, Mozilla Firefox και Microsoft Edge.

Ποιότητα Video Resolution/Frame	1 Video (Mbps)			2 Video (Mbps)			3 Video (Mbps)		
	WAN1	WAN2	Wlan1	WAN1	WAN2	Wlan1	WAN1	WAN2	Wlan1
144p	0,15	0,1	0,25	0,25	0,15	0,4	0,3	0,2	0,5
240p	0,2	0,15	0,35	0,3	0,2	0,5	2	1,1	3,1
360p	0,9	0,7	1,6	1,8	1,3	3,2	2,2	1,7	3,9
480p	2,2	1,6	3,8	2,8	1,9	4,7	2,8	2,2	5
720p	2,4	1,9	4,3	3,1	2,5	5,6	3,6	2,8	6,4
1080p (HD)	2,8	2	4,8	3,7	2,9	6,6	4,2	3,6	7,8
1440p (HD)	4,3	3,5	7,8	5,4	3,8	9,2	5,8	4,7	10,5
2160p (4K)	4,6	3,7	8,3	5,4	4,3	9,7	6,1	5,4	11,5
4320p (8K)	5,3	3,2	8,5	6,2	5,4	11,6	7,1	6	13,1

**Πίνακας 3: Αντιστοίχιση ποιότητας Video και τις αντίστοιχες τιμές στα δίκτυα σε Mbps μέσω Wi-Fi**



**Γράφημα 2: Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του Πίνακα 2**

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3 και στο Γράφημα 2, το εύρος των ταχυτήτων ποικίλει ανάλογα με την ποιότητα του Video-frame (από 144p μέχρι 4320p) και ανάλογα με το ποσά video προβάλλονται με την σύνδεση στους διαφορετικούς Browser που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρείται ότι υπάρχει κλιμακωτή ανοδική αύξηση της ταχύτητας και στα δύο links,

καθώς οι τιμές που εμφανίζονται είναι στιγμιαίες και διαρκώς μεταβαλλόμενες κατά την διάρκεια προβολής των Video. Επίσης, η λειτουργία του Load Balancing φαίνεται ότι δουλεύει με τις στιγμιαίες τιμές ταχύτητας του download έχοντας μικρή απόκλιση μεταξύ των δύο links.

Οι τιμές των παραπάνω πειραμάτων είναι στιγμιαίες τιμές. Αν ολοκληρώσουμε ως προς τον χρόνο, για τα συγκεκριμένα πειράματα, έχουμε εξισορρόπηση φορτίου μεταξύ των links.

## 5. Συμπεράσματα

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στην επιστήμη των υπολογιστών στον τομέα των Δικτύων, έχει θετικό αντίκτυπο τόσο στο Software τόσο και στο Hardware. Με την μεγάλη ζήτηση που επικρατεί διεθνώς για αύξηση ταχύτητάς τόσο σε Download-Upload για απλούς χρήστες αλλά και για εταιρίες έχουν δημιουργηθεί προϊόντα που είναι πλέον ευρέως γνωστά όπως για παράδειγμα τα Modem- Routers τα οποία μπορούν πλέον να καλύψουν πολλές απαιτήσεις, είναι εύκολα στην χρήση αλλά και στη λειτουργία τους. Είναι φιλικά προς τους απλούς χρήστες μέσω της λειτουργίας τους με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος γίνεται μέσω Interface για απλή χρήση αλλά και πιο απαιτητική από χρήστες που έχουν τις κατάλληλες γνώσεις τόσο για την χρήση προγραμματισμού μέσω κώδικα ή μέσω Interface για να το διαμορφώσουν όπως επιθυμούν. Αυτό βέβαια θα πρέπει να μπορεί να υποστηριχθεί και από το κομμάτι του Hardware. Στο Hardware υπάρχει μια ευρεία γκάμα προϊόντων για να καλύψουν όλες τις ανάγκες των χρηστών αλλά και τις απαιτήσεις τους, από μία απλή λειτουργία σε μία πιο εξελιγμένη .

Η MikroTik διαθέτει μία μεγάλη και ευρεία γκάμα προϊόντων με εφαρμογές στα Δίκτυα που καλύπτουν τις ανάγκες λειτουργίας από τις ανάγκες μιας εταιρίας έως τις ανάγκες μιας απλής οικιακής χρήσης.

Στην παρούσα πειραματική διαδικασία, χρησιμοποιήθηκε το **MikroTik RB941- 2nD –TC** για τον προγραμματισμό και την σύνδεση δύο διαφορετικών γραμμών-δικτύων για την εξισορρόπηση φορτίου. Η εξισορρόπηση φορτίου είναι μια εξαιρετική δυνατότητα που περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο ή και περισσότερες γραμμές από συνδέσεις δικτύου, καθώς και διακομιστές NAS που έχουν δύο ή περισσότερες θύρες Ethernet. Η άθροιση των δύο παραπάνω γραμμών πρέπει να συνδυαστεί ώστε να επεκταθεί η ταχύτητα της σύνδεσης, για να υπάρξει και αμφίδρομη επικοινωνία. Αν για κάποιο λόγο δεν είναι δυνατή η λειτουργία μίας από τις δύο γραμμές σύνδεσης θα πρέπει η σύνδεση που παραμένει σε λειτουργία και

να αναλάβει το φόρτο επισκεψιμότητας. Σημαντικός θεωρείται επίσης ο αλγόριθμος που θα συνδυάσει τις γραμμές των δικτύων που θα δώσει το βέλτιστο αποτέλεσμα ο οποίος θα πραγματοποιεί έλεγχο στις IP της προέλευσης όσο και στις IP προορισμού αλλά και στην θύρα (TCP-UDP) που θα χρησιμοποιηθεί για να υπάρξει ο μέγιστος έλεγχος για την εξισορρόπηση των γραμμών. Όλα αυτά μπορούν να επιτευχθούν με την συσκευή που επιλέχτηκε. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές για τον έλεγχο της εξισορρόπησης του φορτίου με την σύνδεση δύο διαφορετικών τύπων δικτύου.

Στην πρώτη λειτουργία πραγματοποιείται η σύνδεση των δύο γραμμών (WAN1 και WAN2) μέσω Ethernet και μία έξοδο (LAN) μέσω Ethernet με την μέθοδο ταξινόμησης ανά σύνδεση. Στον έλεγχο της μέγιστης ταχύτητας επιτεύχθηκε η σύνδεση των δύο γραμμών χωρίς προβλήματα στο 95% της συνολικής ταχύτητας που προστίθεται και υπήρξαν ελάχιστες απώλειες στο 5% για το download της. Το ίδιο ισχύει και για το upload των γραμμών όπου προστίθενται οι γραμμές χωρίς προβλήματα.

Στην περίπτωση αποτυχίας της μίας από τις δύο γραμμές το φόρτο αναλαμβάνει η εν απομείνασα γραμμή και ανάλογα το φόρτο μπορεί να δουλεύει στο μέγιστο της για download –upload. Παρατηρήθηκε ότι σε οποιαδήποτε αποσύνδεση υπήρχαν καθυστερήσεις ελάχιστων δευτερολέπτων μέχρι να συγχρονιστεί το Mikrotik. Με το πέρας του συγχρονισμού λειτουργούσε η εξισορρόπηση του φορτίου.

Σε δοκιμές για την λειτουργία του download σε διάφορα μεγέθη αρχείων που είναι πιθανών να χρειαστεί ένας χρήστης, υπήρξε αυξητική άνοδος της ταχύτητας ανάλογα με το μέγεθος του αρχείου που είχε τεθεί στο download. Η ταχύτητα δεν έφθασε στο μέγιστο των δυνατοτήτων της αλλά λειτούργησε σε φυσιολογικά πλαίσια με την σύνδεση των δύο γραμμών.

Για την λειτουργία του upload που πραγματοποιήθηκε στο μέγιστο δυνατό όριο upload για αποστολή αρχείου σε μία πλατφόρμα, λειτούργησε η εξισορρόπηση φορτίου στο μέγιστο αθροιστικό δυνατό.

Στην απλή καθημερινή περιήγηση ενός χρήστη με social media, video, ειδήσεις και αναζήτηση πληροφοριών, οι τιμές κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα με τη σύνδεση των γραμμών να ανταπεξέρχονται χωρίς κανένα απολύτως πρόβλημα επικοινωνίας, λόγω του μεγάλου εύρους της γραμμής που μας παρέχει η εξισορρόπηση φορτίου με την σύνδεση των δύο γραμμών.

Στον έλεγχο για την λειτουργία του download για προβολή video σε διάφορες ποιότητες και με περισσότερα από ένα video προβολής ταυτόχρονα σε διαφορετικούς Browser παρατηρήθηκε ότι οι τιμές είχαν ανοδική αύξηση. Όσο αυξάνονταν η ποιότητα των video υπήρχε αύξηση του download και από τα δύο links αλλά και με την αύξηση των video που προβάλλονταν με τις ανάλογες ποιότητες.

Στην δεύτερη δόκιμη που πραγματοποιήθηκε, η εξισορρόπηση φορτίου με την μέθοδο ταξινόμησης ανά σύνδεση με την χρήση του Wi-Fi. Πραγματοποιείται η σύνδεση των δύο γραμμών (WAN1 και WAN2) μέσω Ethernet και μία έξοδο (Wi-Fi). Πραγματοποιήθηκε δοκιμή για τον έλεγχο της μέγιστης απόδοσης μέσω του Wi-Fi, και παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξαν προβλήματα ως προς την σύνδεση μέσω Wi-Fi αλλά ως προς την απόδοσή του δικτύου ή της απόδοσης του MikroTik για την συγκεκριμένη λειτουργία. Η σύνδεση των δύο γραμμών πραγματοποιήθηκε στο 21% της συνολικής ταχύτητας έπειτα από την πρόσθεση των δύο γραμμών με πολύ μεγάλο ποσοστό αποτυχίας 73% στο download. Αντίθετα το upload λειτούργησε σχεδόν με την ίδια ταχύτητα περίπου με το download.

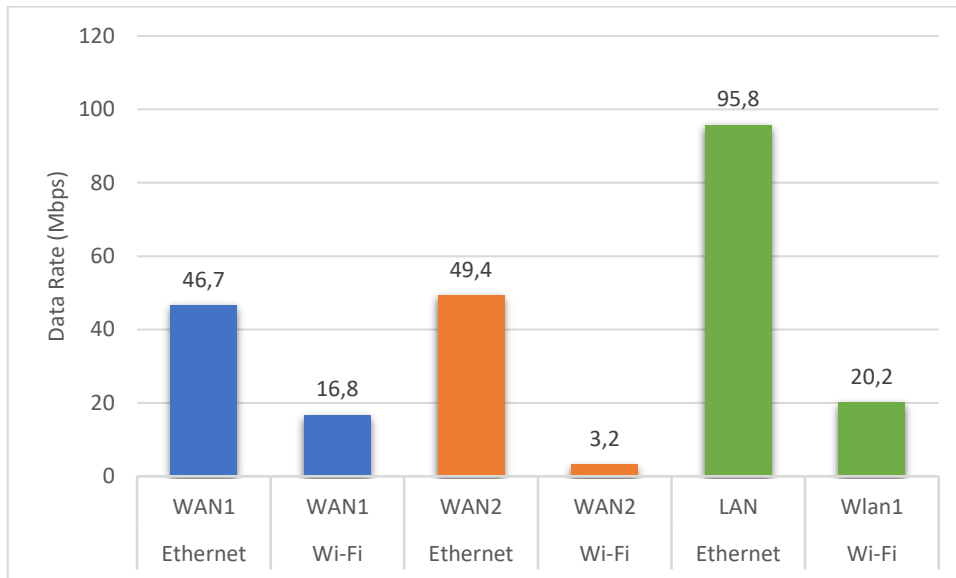
Όταν υπάρχει αποτυχία σύνδεσης σε μία από τις δύο γραμμές το φόρτο αναλαμβάνει η εν απομείνασα γραμμή ανάλογα με το φόρτο μπορεί να δουλεύει στο μέγιστο της για download – upload. Σε οποιαδήποτε αποσύνδεση που τελέστηκε υπήρξαν μεγάλες καθυστερήσεις αρκετών δευτερολέπτων μέχρι να συγχρονιστεί το MikroTik με την επανασύνδεση της γραμμής και την επανεκπομπή της. Με το πέρας του συγχρονισμού φαίνεται ότι λειτούργησε η εξισορρόπηση του φορτίου με τις ανακατευθύνσεις.

Στις δοκιμές για την λειτουργία του download σε διάφορα μεγέθη αρχείων που είναι πιθανόν να χρειαστεί ένας χρήστης, υπήρξε αυξητική άνοδος της ταχύτητας ανάλογα με το μέγεθος του αρχείου που είχε τεθεί στο download. Η ταχύτητα δεν έφθασε στο μέγιστο των δυνατοτήτων που εκπέμπει το Wi-Fi αλλά έφθασε πολύ κοντά στην μέγιστη λειτουργία.

Για την λειτουργία του upload που πραγματοποιήθηκε λειτούργησε το WAN1 σχεδόν στο μέγιστό ενώ το WAN2 ελάχιστα στην δοκιμή για upload ενός αρχείου για αποστολή σε μία πλατφόρμα.

Στην δόκιμη για την καθημερινή περιήγηση ενός χρήστη με social media, video, ειδήσεις και αναζήτηση πληροφοριών, οι τιμές κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα με τη σύνδεση των γραμμών να ανταπεξέρχονται χωρίς κανένα απολύτως πρόβλημα επικοινωνίας. Λόγω του μεγάλου εύρους της γραμμής που μας παρέχει η εξισορρόπηση φορτίου με την σύνδεση των δύο γραμμών.

Στον έλεγχο για λειτουργία του download για προβολή video σε διάφορες ποιότητες και με περισσότερα από ένα video προβολής ταυτόχρονα παρατηρήθηκε ότι οι τιμές είχαν ανοδική αύξηση. Όσο αυξάνονταν η ποιότητα των video υπήρχε αύξηση του download και από τα δύο links αλλά και με την αύξηση του video που προβάλλονταν με τις ανάλογες ποιότητες.



**Γράφημα 3: Γραφική αναπαράσταση σύγκρισης Ethernet με Wi-Fi.**

Όσο αφορά την σύγκριση, έγιναν δοκιμές για τις δύο διαφορετικές οπτικές που παρουσιάστηκαν για τον έλεγχο τους και για την εξισορρόπηση φορτίου βάση στο MikroTik. Παρατηρήθηκε συγκριτικά ότι η λειτουργία με το Ethernet λειτουργεί πιο γρήγορα και με την πλήρη σύνδεση των δύο γραμμών μετά την πρόσθεση τους και με την λειτουργία των δύο γραμμών με ελάχιστες καθυστερήσεις και απώλειες. Αντίθετα με την λειτουργία της εξισορρόπησης του φορτίου μέσω Wi-Fi παρατηρήθηκαν μεγάλες απώλειες στην σύνδεση των γραμμών έπειτα από την πρόσθεση τους και εκπομπή τους μέσω του Wi-Fi καθώς και καθυστερήσεις. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στις ιδιαιτερότητες της λειτουργίας του Wi-Fi, μέσου του οποίου υπάρχουν απώλειες του MikroTik λόγω της ισχύς του επεξεργαστή που πραγματοποιεί την σύνδεση με την πρόσθεση των δύο γραμμών και έπειτα τις εκπέμπει μέσω του Wi-Fi ενώ στην περίπτωση μέσω του Ethernet πραγματοποιείται μόνο η πρόσθεση των δύο γραμμών.

Για την βέλτιστη λειτουργία για την εξισορρόπηση φορτίου θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η διαμόρφωση μέσω του MikroTik και στην έξοδο του να τοποθετηθεί μια συσκευή access point για την λειτουργία του Wi-Fi και την σύνδεση πολλών συνδέσεων.

## 6. Χρησιμότητα

Οι ανάγκες για πρόσβαση στο Internet είναι μεγάλες και οι απαιτήσεις θα συνεχίσουν να αυξάνονται. Για να υπάρχει η συνεχή σύνδεση στο διαδίκτυο θα πρέπει ο εξοπλισμός και η διαδικτυακή υποδομή να είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένη- υλοποιημένη ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των παρεχόμενων υπηρεσιών. Σημαντικό στοιχείο είναι ο δρομολογητής επειδή θα περάσει όλη η κίνηση από πάνω του. Η λύση του Load Balance εξυπηρετεί την ανάγκη για μεγάλο όγκο δεδομένων και μπορεί να συνδυάσει δύο ή και παραπάνω συνδέσεις Internet στον δρομολογητή.

Η απλούστερη μορφή Load – Balancing είναι βασισμένη σε IP διότι η εκχώρηση κάθε περιόδου λειτουργίας βασίζεται στην απομακρυσμένη διεύθυνση IP. Η πρόσβαση σε απομακρυσμένο διακομιστή θα αποστέλλεται μέσω ενός WAN για όλες τις περιόδους λειτουργίας σε αυτόν τον διακομιστή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανιστεί μία γραμμή WAN, όπου με αυτόν τον τρόπο οι άλλες γραμμές που ενδεχομένως υπάρχουν να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόσβαση σε άλλους ιστοτόπους ή για λήψη αρχείων.

Ανάλογα με το είδος των γραμμών μπορεί να υπάρξει σύνδεση μίας ή περισσότερων γραμμών. Με άλλα λόγια υπάρχει διαφορετικό εύρος αν η γραμμή είναι ADSL, ή VDSL, ή ένα 4G<sup>+</sup> ή και 5G σε δίκτυο όπως παρουσιάστηκε και στο παράδειγμα.

Η τεχνολογία του Load – Balancing προσφέρει (Blakey, 2018):

- Σύνδεση πολλών χρηστών μαζί. Για παράδειγμα, σε μία εταιρία που έχει πολλά δεδομένα να χρησιμοποιήσει καθημερινά και χρειάζεται μεγάλο εύρος ταχυτήτων.
- Συστήματα ασφαλείας σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας κάποιας γραμμής από τις οποίες υπάρχουν όπως για παράδειγμα σε τράπεζες οι οποίες διαχειρίζονται μεγάλο όγκο συναλλαγών καθημερινά .
- Δεν υπερφορτώνονται οι γραμμές λόγω υψηλής επισκεψιμότητας που μπορεί να υπάρχει πχ. σε έναν server.
- Μείωση κόστους εξοπλισμού και γραμμών Internet. Για παράδειγμα σε ένα ξενοδοχείο μπορεί να προσφερθεί η μέγιστη ταχύτητα download σε ολόκληρο το ξενοδοχείο με την χρήση του accesspoint και με την χρήση δύο μόνο γραμμών έναντι για περισσότερων γραμμών που υπάρχουν.
- Ένα πρόγραμμα εξισορρόπησης φορτίου έχει την δυνατότητα να εντοπίσει έγκαιρα μια αποτυχία διακομιστή και να δρομολογήσει την κυκλοφορία στους διακομιστές



που βρίσκονται ακόμη σε λειτουργία. Το αποτέλεσμα είναι ελάχιστο έως μηδενική διαταραχή στη λειτουργία.

- Ο τομέας της συντήρησης είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την λειτουργία του διακομιστή. Μπορεί να μην είναι εφικτό να προγραμματιστούν οι διακοπές λειτουργίας αλλά με την χρήση εξισορρόπησης φορτίου, η κίνηση μπορεί εύκολα να δρομολογηθεί γύρω από οποιονδήποτε διακομιστή.

## Βιβλιογραφία

Abhijit A. Rajguru, S.S. Apte. (2012). A Comparative Performance Analysis of Load Balancing Algorithms in Distributed System using Qualitative Parameters International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-1, Issue-3.

Abirami M S1, Niranjana G2. (2012). Dynamic Load Balancing in Distributed Systems, International Conference on Computing and Control Engineering.

Ali M. Alakeel. (2010). A Guide to Dynamic Load Balancing in Distributed Computer Systems, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.10 No.6.

Ali M. Alakeel, A. (2010). Guide to Dynamic Load Balancing in Distributed Computer Systems, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, VOL.10 No.6.

Blakey, D. (2018). The Benefits of Load Balancing: What Everyone Should Know. Ανακτήθηκε από: <https://www.snapt.net/blog/about-load-balancers> [Πρόσβαση στις 17/5/2022]

Islam, N., et al., (2016). Quality of Service Analysis of Ethernet Network Based on Packet Size, Department of Information and Communication Technology, Mawlana Bhashani Science and Technology University, Santosh, Bangladesh.

Monika Kushwaha, Saurabh Gupta (2015). Various Schemes of Load Balancing in Distributed Systems- A Review” International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET), ISSN 2278 – 0882 Volume 4, Issue 7.

Nitin Kumar Mishra, Nishchol Mishra. (2015). Load Balancing Techniques: Need, Objectives and Major Challenges in Cloud Computing- A Systematic Review” International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 131 – No.18.

Ravikumar. H Roogi, Marriswamy. R. (2014). Packet Loss in Wireless Networks, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 3 Issue 1, January - 2014 IJERT ISSN: 2278-0181

Deepika, Divya Wadhwa, Nitin Kumar. (2014). Performance Analysis of Load Balancing Algorithms in Distributed System” Research India Publications, ISSN 2231-1297, Volume 4, Number 1, pp. 59-66

De Groot, Adriaan D. and J. A. A., Spiekerman. "1. The Empirical Cycle In Science". Methodology: Foundations of inference and research in the behavioral sciences, Berlin, Boston: De Gruyter Mouton, 2020, pp. 1-32. <https://doi.org/10.1515/9783112313121-003>

Christanto, F.W. and Priyanto, A., 2019. Load Balancing-Failover Methods using Static Route with Address List, ECMP, PCC, and Nth for Optimizing LAN Network: A Comparison International Journal of Communication Networks and Information Security, 11(3), pp.409-416.

Safrianti, E., 2021. Peer Connection Classifier Method for Load Balancing Technique. International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering, 4(1), pp.127-133.

A.D. de Groot, 1969. Methodology: foundations of inference and research in the behavioral sciences

### **Ηλεκτρονικές Πηγές:**

<https://help.mikrotik.com/docs/>

<https://help.mikrotik.com/docs/display/ROS/Firewall+Marking#FirewallMarking-LoadBalancingWithPerConnectionClassifier>

<https://help.mikrotik.com/docs/display/ROS/Mangle>

<https://help.mikrotik.com/docs/display/ROS/Load+Balancing>

<https://help.mikrotik.com/docs/display/ROS/NAT>

[https://mum.mikrotik.com/presentations/MY19/presentation\\_7019\\_1560839257.pdf](https://mum.mikrotik.com/presentations/MY19/presentation_7019_1560839257.pdf)

<https://mum.mikrotik.com/presentations/US12/steve.pdf>

[https://mum.mikrotik.com/presentations/MY19/presentation\\_7019\\_1560839257.pdf](https://mum.mikrotik.com/presentations/MY19/presentation_7019_1560839257.pdf)

[https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/10902/Beretis\\_Marios.pdf?sequence=1&isAllowed=ypp39](https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/bitstream/handle/unipi/10902/Beretis_Marios.pdf?sequence=1&isAllowed=ypp39)