



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ & ΔΙΚΤΥΑ

Βασιλείου Μαρία

Επιβλέπουσα: Σπυριδούλα Μαργαρίτη

ΕΔΙΠ Α

Άρτα, Νοέμβριος, 2024

GREEN COMMUNICATION AND NETWORKS

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Τόπος, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Όνομα Επίθετο,

2. Μέλος επιτροπής

Όνομα Επίθετο,

3. Μέλος επιτροπής

Όνομα Επίθετο,

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

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

Επίθετο, Όνομα

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα Μαργαρίτη Σπυριδούλα για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη την πορεία της συγγραφής της πτυχιακής μου .

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους όλους τους καθηγητές, τις καθηγήτριες και το διοικητικό προσωπικό του Τμήματος, για τη βοήθεια και τη στήριξη τους στην οποιαδήποτε ακαδημαϊκή ανάγκη είχα ως φοιτήτρια.

Επιπρόσθετα, αφιερώνω την πτυχιακή μου εργασία στους γονείς μου που μου συμπαραστάθηκαν όλα τα χρόνια της φοίτησης μου στο Α.Τ.Ε.Ι Άρτας .

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εισαγωγή του αναγνώστη σε βασικά θέματα όπως τον ορισμό της πράσινης δικτύωσης, τα είδη των δικτύων, το μέσο μετάδοσης, την υποδομή του δικτύου ή του μέσου καθώς και τις τεχνικές που χρησιμοποιούν. Πως οι διάφορες εταιρείες κολοσσοί έχουν ευαισθητοποιηθεί με την μόλυνση του περιβάλλοντος και την αύξηση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (Green-House-Gas,-GHG) και τη «στροφή» αυτών σε βιώσιμες πηγές για την εξοικονόμηση της ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο τα δίκτυα και γενικότερα ο τομές των ΤΠΕ αρχίζουν να αναπτύσσουν νέες μεθόδους που έχουν ως στόχο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, χωρίς βέβαια να αλλοιώνεται η ποιότητα των μεταδιδόμενων πληροφοριών, και των υπηρεσιών τους. Γίνεται ανάλυση των στρατηγικών πράσινης δικτύωσης. Τέλος γίνεται προσομοίωση μέσω του Green Cloud. Το Green Cloud είναι ένας εξελιγμένος προσομοιωτής επιπέδου πακέτων δεδομένων με έμφαση στις επικοινωνίες Cloud και τα κέντρα δεδομένων. Προσφέρει λεπτομερή και αναλυτική μοντελοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό πληροφορικής των κέντρων δεδομένων, που αναπτύσσονται σε μια αρχιτεκτονική τριών επιπέδων. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων, την παρακολούθηση και κατανομή πόρων, τον προγραμματισμό φόρτου εργασίας καθώς και τη βελτιστοποίηση πρωτοκόλλων επικοινωνίας και των δικτυακών υποδομών. Κλείνοντας καταγράφονται τα συμπεράσματα και ορισμένες προτάσεις.

Λέξεις-κλειδιά: Πράσινη δικτύωση, βιώσιμες πηγές ενέργειας, μείωση, κατανάλωσης ενέργειας, Green Cloud

ABSTRACT

The purpose of this paper is to introduce the reader to basic topics such as the definition of green networking, the types of networks, the transmission medium, the infrastructure of the network or medium as well as the techniques they use. How the various giant companies have become aware of the pollution of the environment and the increase in the emission of greenhouse gases (Green-House-Gas , -GHG), and the "turning" of these to sustainable sources to save energy. In this way, the networks and the ICT sector in general are starting to develop new methods that aim to reduce energy consumption, without of course altering the quality of the transmitted information and their services. Green networking strategies are analyzed. Finally, simulation is done through Green Cloud. Green Cloud is a sophisticated packet data simulator with a focus on cloud communications and data centers. It offers detailed and analytical modeling of the energy consumed by data center IT equipment, deployed in a three-tier architecture. It can also be used to develop innovative solutions, monitor and allocate resources, schedule workloads, and optimize communication protocols and network infrastructures. Finally, the conclusions and some suggestions are recorded.

Keywords: Green networking, sustainable energy sources, energy consumption reduction, Green Cloud.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ	12
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	Error! Bookmark not defined.
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ / ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ	Error! Bookmark not defined.
1 Εισαγωγή	14
1.1 Τι είναι η πράσινη δικτύωση	14
1.2 Αντικείμενο και στόχος	16
1.3 Δομή εργασίας	17
2 Θεωρητικό Υπόβαθρο	19
2.1 Είδη Δικτύων & Εξοικονόμηση ενέργειας	19
2.2 Στρατηγικές Πράσινης Δικτύωσης	22
2.3 Εξοικονόμηση ενέργειας & Περιβαλλοντικά οφέλη	27
2.4 Κλιματική αλλαγή & η ανάγκη για μείωση των εκπομπών άνθρακα	31
2.5 Τρόποι λειτουργίας των δικτύων & εφαρμογές που βοηθούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας	33
3 Πράσινη Δικτύωση – μελέτη περιπτώσεων	45
3.1 Γενικά	46
3.2 Διαχείριση ενέργειας σε τοπικά δίκτυα	46

3.3	Κατανάλωση ενέργειας από δικτυακές συσκευές (δρομολογητές, μεταγωγής)	49
3.4	Κατανάλωση ενέργειας σε κέντρα δεδομένων.....	52
3.5	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενσύρματων και ασύρματων τοπικών δικτύων.....	53
3.6	Μετρικές αξιολόγησης ενεργειακής κατανάλωσης στα δίκτυα	56
4	Πειραματική Μελέτη	59
4.1	Εισαγωγικά	59
4.2	Ο προσομοιωτής GreenCloud	59
4.3	Πειραματικές μετρήσεις.....	60
4.3.1	Σενάριο 1 ^ο	61
4.3.2	Σενάριο 2 ^ο	62
5	Συμπεράσματα- Προτάσεις.....	71
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1:ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΑΞΗΣ(ΠΗΓΗ:[2])	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 1:ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΟΥ 2ΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ	63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

ΣΧΗΜΑ 2 1:Η ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ.(ΠΗΓΗ:[2]).....	26
ΣΧΗΜΑ 2 2:ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ GESI.(ΠΗΓΗ:[3])	28
ΣΧΗΜΑ 2 3:ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟ ΕΤΟΣ 2002(ΠΗΓΗ:[2])	30
ΣΧΗΜΑ 2 4:ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ADAPTIVE LINK RATE:Ο ΡΥΘΜΟΣ ΜΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ 1GB/S ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΜΕΙΩΘΕΙ ΣΤΑ 100MB/S(ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΡΥΘΜΟΥ, ΜΕΣΑΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ),Η Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΤΕΘΕΙ ΣΕ ΑΔΡΑΝΕΙΑ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΤΩΝ(ΠΗΓΗ:[2])	36
ΣΧΗΜΑ 2 5:ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕΣΟΛΑΒΗΣΗΣ ΕΝΑΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΩΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕΣΟΛΑΒΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ARP, ΕΠΙΤΡΕΠΟΝΤΑΣ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ ΝΑ ΑΔΡΑΝΕΙ ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ ΜΕΧΡΙ ΝΑ ΑΠΟΣΤΑΛΟΥΝ ΔΕΔΟΜΕΝΑ(ΠΗΓΗ:[2])	41
ΣΧΗΜΑ 2 6:ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΕΠΙΓΝΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΟΙ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΤΕΣ ΤΙΘΕΤΑΙ ΣΕ ΑΔΡΑΝΕΙΑ ΟΤΑΝ ΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΙΝΑΙ ΧΑΜΗΛΟ, ΔΙΑΤΗΡΩΝΤΑΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ.(ΠΗΓΗ:[2])	43
ΣΧΗΜΑ 3 1:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΕΝΤΡΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.(ΠΗΓΗ:[4])	52
ΣΧΗΜΑ 4 1: Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ GREEN CLOUD.(ΠΗΓΗ:[10])	60
ΣΧΗΜΑ 4 2:ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΔΙΚΤΥΟΥ	61
ΣΧΗΜΑ 4 3:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ GREEN, ROUND-ROBIN, RANDOM	62
ΣΧΗΜΑ 4 4:ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	63
ΣΧΗΜΑ 4 5:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΝΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	63
ΣΧΗΜΑ 4 6:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΣΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ.....	64
ΣΧΗΜΑ 4 7:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ.....	64
ΣΧΗΜΑ 4 8:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΝΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ	65
ΣΧΗΜΑ 4 9:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ	65
ΣΧΗΜΑ 4 10:ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	66
ΣΧΗΜΑ 4 11:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ CORE SWITCH ΑΝΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ.....	66
ΣΧΗΜΑ 4 12:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ AGGREGATION SWITCH ΑΝΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ	67
ΣΧΗΜΑ 4 13:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ACCESS SWITCH ΑΝΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ	67
ΣΧΗΜΑ 4 14:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ.....	68
ΣΧΗΜΑ 4 15(A): ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΑΡΙΘΜΟ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ, (B): ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	68
ΣΧΗΜΑ 4 16(A):ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(W*H) ΑΝΑ AGG. SWITCH, (B): ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (W*H) ΑΝΑ ΑΡΙΘΜΟ CORE SWITCH.....	69
ΣΧΗΜΑ 4 17:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (W*H) ΑΝΑ ACCESS SWITCH	69

ΣΧΗΜΑ 4 18(A):ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ, (B):ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ SERVER..... 70

ΣΧΗΜΑ 4 19:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (W*H) ΑΝΑ AGG. SWITCH, (B): ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (W*H) ΑΝΑ CORE
SWITCH 70

ΣΧΗΜΑ 4 20:ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(W*H) ΑΝΑ ACCESS SWITCH..... 70

1 Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή και η ανάγκη περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έχουν αναγνωριστεί από τα Ηνωμένα Έθνη και από τις περισσότερες κυβερνήσεις ως μία από τις μεγάλες προκλήσεις της εποχής μας. Ως αποτέλεσμα, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας να αποκτούν αυξανόμενη σημασία για την κοινωνία και για πολλές βιομηχανίες. Ο κλάδος της δικτύωσης δεν αποτελεί εξαίρεση.

1.1 Τι είναι η πράσινη δικτύωση

Ο αντίκτυπος της κατανάλωσης ενέργειας στα σημερινά δίκτυα επικοινωνίας προκαλεί ανησυχία για τις οικονομικές, περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα δίκτυα επικοινωνίας απαρτίζονται από συσκευές (υπολογιστές, περιφερειακά, μεταγωγής, δρομολογητές και μέσα μετάδοσης) και κατά τη λειτουργία τους μεγάλες ποσότητες ενέργειας, εκλύουν CO₂ και συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη[4]. Το πρόβλημα, λιγότερο ή περισσότερο έντονο, εμφανίζεται σε όλους τους τύπους των δικτύων, είτε πρόκειται για δίκτυα πρόσβασης είτε πρόκειται για δίκτυα κορμού.

Για παράδειγμα στα κέντρα δεδομένων υπάρχουν απαιτήσεις για υψηλές αποδόσεις, διαθεσιμότητα και επιβάλλεται η χρήση ενεργοβόρου κλιματισμού[2]. Αντίστοιχα, η εμφάνιση των ασύρματων δικτύων αύξησε κατά πολύ την κατανάλωση ενέργειας ενώ συνέβαλε αρνητικά στην μόλυνση του φυσικού περιβάλλοντος λόγω των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα ο τομέας της πληροφορικής και των επικοινωνιών (ΤΠΕ) είναι υπεύθυνος για την παραγωγή του 2-3 % του συνολικού διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ενώ καταναλώνει το 3 % της παγκόσμιας ενέργειας.

Οι περισσότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στα σημερινά ασύρματα δίκτυα έχουν σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες μη ενεργειακής συνάφειας, όπως η απόδοση, η ποιότητα των υπηρεσιών, η διαθεσιμότητα και η επεκτασιμότητα. Έτσι θεωρήθηκε αναγκαίο η σχεδίαση «πράσινων» πρωτοκόλλων και αλγορίθμων ώστε το

δίκτυο να μπορεί να επεκτείνεται με τέτοιο τρόπο που να θεωρείται βιώσιμο. Συγκεκριμένα σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης και ταυτόχρονα η μείωση του συνολικού κόστους κατανάλωσης ενέργειας.

Με τον όρο πράσινη δικτύωση αναφερόμαστε στην επιλογή τεχνολογιών και προϊόντων δικτύωσης υψηλής ενεργειακής απόδοσης με στόχο την ελαχιστοποίηση της χρήσης πόρων όσο αυτό είναι δυνατό. Η σχεδίαση αποτελεσματικών πράσινων δικτύων έχει ως στόχο τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση ενέργειας με αποτέλεσμα να έχει επιρροή τόσο στον οικονομικό όσο και στον περιβαλλοντικό τομέα αλλά και στον τομέα της δικτύωσης.

Υπάρχουν διάφορες πρακτικές για να επιτευχθεί αυτό, όπως για παράδειγμα η χρήση της εικονικοποίησης (virtualization), η τηλεργασία ακόμα και η αντικατάσταση του παλιού εξοπλισμού με νεότερο πιο ενεργειακά αποδοτικό.

Από περιβαλλοντικής άποψης, ο στόχος της πράσινης δικτύωσης είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Green House Gas -GHG). Αυτό έχει αρκετές επιπτώσεις στην καθημερινή μας ζωή, όπως για παράδειγμα η κλιματική αλλαγή. Για να αποφύγουμε όλες τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ένα πρώτο βήμα είναι η χρήση περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής.

Αναμφισβήτητα, τα δίκτυα μπορούν ήδη να θεωρηθούν «πράσινη» τεχνολογία, καθώς τα ίδια επιτρέπουν σε πολλές εφαρμογές, στους χρήστες τους αλλά και σε ολόκληρες τις βιομηχανίες να εξοικονομήσουν ενέργεια και να γίνουν πιο βιώσιμες με σημαντικό τρόπο. Για παράδειγμα, επιτρέπει τουλάχιστον σε κάποιο βαθμό την αντικατάσταση των ταξιδιών με τηλεδιάσκεψη, έτσι δίνει τη δυνατότητα σε πολλούς υπαλλήλους να εργάζονται από το σπίτι, μειώνοντας την ανάγκη για πραγματική μετακίνηση.

Τα ίδια τα δίκτυα καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας. Ως εκ τούτου, η βιομηχανία δικτύωσης μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας, όχι μόνο επιτρέποντας στους άλλους να μειώσουν την εξάρτησή τους από την ενέργεια, αλλά περιορίζοντας επίσης τη δική της.

Για παράδειγμα, στην ετήσια έκθεσή της, η Telefonica αναφέρει ότι το 2020, η κατανάλωση ενέργειας του δικτύου της ανά PB δεδομένων ανήλθε σε 78MWh.

Αυτός ο ρυθμός μειώνεται δραματικά, κατά πενταπλάσιο παράγοντα σε διάστημα πέντε ετών αν και τα κέρδη στην αποτελεσματικότητα αντισταθμίζονται με την ταυτόχρονη αύξηση του όγκου δεδομένων. Στην ίδια έκθεση, αναφέρεται ως σημαντικός εταιρικός στόχος η συνέχιση σε αυτή την τροχιά και η μείωση των συνολικών εκπομπών άνθρακα κατά 70% τα επόμενα πέντε χρόνια

Επίσης η επανασχεδίαση του υλικού (hardware) με στόχο τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, αλλά ταυτόχρονα να παραμείνει στο ίδιο επίπεδο απόδοσης.

Οι συσκευές μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνεται η δυνατότητα κλιμακωτής απόδοσης. Για παράδειγμα θα ήταν αποδοτικό να προσφέρονταν δυο καταστάσεις ανάλογα με το χρονικό διάστημα που η συσκευή παραμένει σε κατάσταση λειτουργίας ή σε κατάσταση «ύπνου». Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί και με τον επανασχεδιασμό αρχιτεκτονικής και της τοπολογίας ενός δικτύου. Όπως η επανατοποθέτηση του εξοπλισμού σε νέα στρατηγικά σημεία μπορεί να προσφέρει επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας.

Σε αυτή την περίπτωση εμφανίζονται απώλειες ενέργειας όταν τα σημεία παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας είναι μακριά το ένα από το άλλο. Καθώς υπάρχει απώλεια ενέργειας κατά τη μεταφορά. Σημαντικό να αναφερθεί ότι η αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων γίνεται ολοένα και μεγαλύτερη [2].

1.2 Αντικείμενο και στόχος

Το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας σχετίζεται με τη μελέτη της ενεργειακής απόδοσης τόσο των ασύρματων όσο και των ενσύρματων δικτύων. Για το σκοπό αυτό, παρουσιάζονται σύγχρονες ερευνητικές εργασίες για διάφορες περιπτώσεις μελέτης καθώς και οι αλγόριθμοι και οι φυσικές στρατηγικές που προτείνονται και που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθεί η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας στο δίκτυο.

Η συμφόρηση στα σημερινά δίκτυα, είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που ευθύνεται για την σπατάλη ενέργειας, έκλυση θερμότητας και σπατάλη χρόνου εκτέλεσης μιας εργασίας.

Στόχος της εργασίας είναι να κατανοηθούν οι μηχανισμοί, συνθήκες και καταστάσεις που συμβάλουν στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή η γνώση θα μπορούσε να είναι χρήσιμη στους καθημερινούς χρήστες του δικτύου. Επίσης θα μπορούσε να αποτελέσει κίνητρο για τη λήψη μέτρων προς την κατεύθυνση της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και της εκπομπής θερμότητας, παράγοντες που δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον. Τέλος, εξετάζεται η εφαρμογή συγκεκριμένων πρακτικών και μοντέλων, για παράδειγμα στα κέντρα δεδομένων, που θα φανούν χρήσιμα ώστε η κατανάλωση ενέργειας να γίνεται με τρόπο περισσότερο φιλικό προς το περιβάλλον.

Οι λύσεις στο επίπεδο των δικτύων υποστηρίζουν τον επανασχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του δικτύου :

- είτε προσπαθώντας να ενσωματώσουν την ενεργειακή επίγνωση,
- είτε αναπτύσσοντας πρωτόκολλα δρομολόγησης που μετριάζουν εκείνες τις καταστάσεις που συμβάλλουν στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας (π.χ. συμφόρηση)

Με πιθανά οφέλη από τον σχεδιασμό των νέων ενεργειακά αποδοτικών αρχιτεκτονικών σε σχέση με την εκμετάλλευση των σημερινών αρχιτεκτονικών με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο [6]. Σήμερα, υπάρχει ανάγκη να εφαρμοστεί η «πράσινη αρχή» με τις καλές πρακτικές του προγραμματισμού. Παραδείγματος χάριν, η αρχή της ενοποίησης η οποία μπορεί να ωθήσει στην εκκίνηση ενός συνόλου εργασιών ενός δικτύου ταυτόχρονα, αντί να προσπαθεί να τις διαδώσει όσο το δυνατόν ταχύτερα [2].

1.3 Δομή εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται σε βασικές έννοιες των δικτύων και τη λειτουργία τους, την έννοια της

πράσινης δικτύωσης, και τα περιβαλλοντικά οφέλη της εξοικονόμησης ενέργειας. Διαπιστώνεται η ανάγκη για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα καθώς έχει επηρεάσει την κλιματική αλλαγή. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη διαχείριση της ενέργειας στα τοπικά δίκτυα, όπως και η κατανάλωση ενέργειας μέσω των δικτυακών συσκευών. Τις επιπτώσεις στο περιβάλλον τόσο των ασύρματων, όσο και των ενσύρματων δικτύων. Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά την πειραματική μελέτη που έγινε μέσω του Green Cloud, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατανάλωσης ενέργειας από τις δομικές μονάδες ενός κέντρου δεδομένων. Τέλος, το τελευταίο κεφάλαιο κλείνει με τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης.

2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Είδη Δικτύων & Εξοικονόμηση ενέργειας

Ένα δίκτυο θεωρείται το σύνολο των μέσων που επιτυγχάνουν να γεφυρώσουν ενσύρματα ή ασύρματα δύο ή και περισσότερα τερματικά ηλεκτρονικών υπολογιστών με σκοπό την μετάδοση οποιασδήποτε μορφής δεδομένων. Τα δίκτυα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες κυρίως λόγω της ποικιλομορφίας των απαιτήσεων των χρηστών του σχεδιασμού και των αναγκών που εξυπηρετούν. Έτσι διαχωρίζονται με βάση τη:

Γεωγραφική κάλυψη :

- Τοπικό δίκτυο - LAN (Local Area Network): Τα τοπικά δίκτυα είναι ένα μικρό δίκτυο υψηλής ταχύτητας στο οποίο συνδέονται ελάχιστος αριθμός συσκευών δικτύωσης. Καθώς η απόσταση αυξάνεται μεταξύ των κόμβων η ταχύτητα του μειώνεται. Είναι ένα δίκτυο που καλύπτει μια κοντινή γεωγραφική περιοχή. Χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση συσκευών όπως για παράδειγμα ενός γραφείου ή μιας πανεπιστημιούπολης και παρέχει υψηλή ταχύτητα σε μικρές αποστάσεις .
- Μητροπολιτικό δίκτυο ή αστικά δίκτυα - MAN (Metropolitan Area Network): Τα μητροπολιτικά δίκτυα είναι μια επέκταση του τοπικού δικτύου που δεν μπορεί να ξεπεράσει τα όρια μιας πόλης. Μπορεί να είναι ένα ενιαίο δίκτυο ή ένα δίκτυο στο οποίο περισσότερα από ένα τοπικά δίκτυα μπορούν να μοιράζονται τους ίδιους πόρους.
- Δίκτυο ευρείας ζώνης ή εκτεταμένο δίκτυο WAN (Wide Area Network): Τα δίκτυα ευρείας ζώνης είναι ένα σύνολο πολλών τοπικών δικτύων (LAN) μαζί. Η ταχύτητα τους είναι μικρότερη ενός LAN. Μπορεί να ξεπεράσει τα όρια μια χώρας ή μιας ηπείρου. Η λειτουργία των WAN ανήκει σε παρόχους δικτύων.
- Home Net ή PAN (Personal Area Network): Είναι εκείνα τα δίκτυα που δεν ξεπερνούν τα όρια ενός κτιρίου ή μιας κατοικίας .

Τηλεπικοινωνιακό φορέα

- Δημόσια
- Ιδιωτικά

Μέσο μετάδοσης

- Ασύρματα δίκτυα: Ένα ασύρματο δίκτυο επιτρέπει στις συσκευές να συνδέονται στο δίκτυο ασύρματα χρησιμοποιώντας σήματα Wi-Fi, ραδιοκύματα ή άλλες τεχνολογίες. Έτσι μια συσκευή μπορεί να βρίσκεται μακριά από έναν δρομολογητή αλλά να εξακολουθεί να είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συγκεκριμένη συχνότητα η οποία εξαρτάται κάθε φορά από την τεχνολογία σύνδεσης που υποστηρίζει το δίκτυο.
- Ενσύρματα δίκτυα: Ένα ενσύρματο δίκτυο χρησιμοποιεί καλώδια για τη σύνδεση συσκευών, όπως φορητοί ή επιτραπέζιοι υπολογιστές, στο Διαδίκτυο ή σε άλλο δίκτυο. Τα πιο συνηθισμένα ενσύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν καλώδια (συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων, ομοαξονικά καλώδια και οπτικές ίνες) που συνδέονται στο ένα άκρο με μια θύρα Ethernet στο δρομολογητή δικτύου και στο άλλο άκρο με έναν υπολογιστή ή μια άλλη συσκευή.

Υποδομή δικτύου ή υποδομή μετάδοσης:

- Δίκτυα πρόσβασης (Access Networks): Το δίκτυο πρόσβασης είναι η δικτυακή υποδομή που συνδέει τους τελικούς χρήστες με τον πρώτο δρομολογητή ή με τον άμεσο πάροχο υπηρεσιών δικτύου.
- Δίκτυα κορμού (Core Networks): Το δίκτυο κορμού που συνδέει όλους τους δρομολογητές μεταξύ τους και με τον πάροχο υπηρεσιών Διαδικτύου (Internet service provider - ISP).

Βέβαια για τις σύγχρονες κοινωνίες, πρωταρχικό μέλημα για όλα τα είδη των δικτύων είναι η κατανάλωση ενέργειας. Πληθώρα ερευνητικών εργασιών διερευνά αυτό

το ζήτημα και οι μελετητές προτείνουν καινοτόμες λύσεις σε κάθε περίπτωση που θα συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας στα δίκτυα και θα οδηγήσουν στον μετριασμό της συνεχιζόμενης και ανησυχητικής κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του πλανήτη [9].

Η στροφή προς την πράσινη δικτύωση οφείλεται σε δύο κύριους λόγους:

- *περιβαλλοντικούς*: η κατανάλωση ενέργειας συνοδεύεται και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που έχουν επιβλαβείς συνέπειες για το κλίμα.
- *οικονομικούς*: το ενεργειακό κόστος είναι συνεχώς αυξανόμενο και η μείωση του, σε συνδυασμό με την μείωση του αποτυπώματος άνθρακα θα μπορούσε να δημιουργήσει οικονομικό όφελος για τις επιχειρήσεις και τους φορείς.

Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αν διευθετηθούν βασικά ζητήματα που αφορούν:

- τη σχεδίαση του δικτύου,
- τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,
- τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών και τεχνολογιών με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα,
- πράσινη δρομολόγηση, δηλαδή την εφαρμογή πρωτοκόλλων δρομολόγησης με επίγνωση της ενέργειας.

Έχοντας αυτό ως γνώμονα, οι ερευνητές δίνουν έμφαση στην εύρεση στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας στα δίκτυα μεταφοράς [9], στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων [13], στα οπτικά δίκτυα [14], στα κέντρα δεδομένων [15], στα τοπικά ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα.

Τα ασύρματα δίκτυα όσο και τα ενσύρματα χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό. Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται για επέκταση των τοπικών δικτύων, διασύνδεση μεταξύ δικτύων, πρόσβαση στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο ή στο διαδίκτυο. Επιπλέον, οι ασύρματες επικοινωνίες είναι επιρρεπείς σε συγκρούσεις και παρεμβολές λόγω της

φυσικής εκπομπής του ραδιοφωνικού μέσου. Η απόδοση και η εξοικονόμηση ενέργειας συναντώνται επομένως σε αυτό το πλαίσιο, καθώς ένας προσεκτικός προγραμματισμός μετάδοσης αποτρέπει τις συγκρούσεις και τις παρεμβολές, που και οι δύο οδηγούν σε σπατάλη εύρους ζώνης και ενέργειας καναλιού. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση των δικτύων, διαθέτουν και υποστηρίζουν μηχανισμούς για την ενεργειακή βελτίωση των δικτύων αυτών.

Τα ενσύρματα δίκτυα διαφέρουν ως προς την κατανάλωση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, τα ενσύρματα δίκτυα καταναλώνουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια καθώς χρησιμοποιούν περισσότερο εξοπλισμό κατά τη χρήση τους. Ως εκ τούτου, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης συχνά έρχεται σε αντίθεση με τις πρωτογενείς επιδόσεις. Για παράδειγμα, οι τεχνικές προσαρμοστικού ρυθμού σύνδεσης παρέχουν εξοικονόμηση ενέργειας με το κόστος ορισμένων μέγιστων ρυθμών σύνδεσης.

Επομένως, η απόδοση και η εξοικονόμηση ενέργειας συχνά αντιτίθενται στις ενσύρματες επικοινωνίες. Κατά συνέπεια, αρκετές τεχνικές που είναι αποτελεσματικές στις ασύρματες επικοινωνίες είναι συγκεκριμένες και δεν μεταφέρονται άμεσα στις ενσύρματες υποδομές. Από τεχνικής άποψης, τα δίκτυα μπορούν να γίνουν «πιο πράσινα» και θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ο εξοπλισμός του δικτύου.

Ίσως είναι ο πιο πολλά υποσχόμενος φορέας για τη βελτίωση της βιωσιμότητας των δικτύων μιας και αφορά τον ίδιο τον εξοπλισμό. Τα δίκτυα ακόμα και τα λογισμικά περιλαμβάνουν συσκευές, δηλαδή εξοπλισμό που βασίζεται στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για να εκτελέσουν τις λειτουργίες τους. Είναι απαραίτητο να γίνει αυτός ο εξοπλισμός όσο το δυνατόν πιο ενεργειακά αποδοτικός.

Αυτό περιλαμβάνει υποστήριξη λειτουργίας εξοικονόμησης ενέργειας θύρας που επιτρέπουν τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για πόρους που δεν χρησιμοποιούνται πλήρως. Αλλά και όργανα που επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας σε διαφορετικά επίπεδα ευαισθησίας [2].

2.2 Στρατηγικές Πράσινης Δικτύωσης

Τα συστήματα δικτύωσης που έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα βασίζονται σε αρχές που είναι αντίθετες με την πράσινη δικτύωση. Συγκεκριμένα

στοχεύουν στην παροχή υπηρεσιών στο μέγιστο δυνατό βαθμό, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στην κυκλοφορία κατά τις ώρες αιχμής αλλά και στην αντιμετώπιση απρόβλεπτων γεγονότων. Μια άλλη τεχνική είναι ο πλεονασμός και αυτό γιατί μπορεί να προσφέρει ανθεκτικότητα και ανοχή στα σφάλματα. Άρα, τα δίκτυα είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχεται μεγαλύτερη ευελιξία και ανοχή σε σφάλματα. Για να είναι αυτό εφικτό προστίθενται πολλές συσκευές στην υποδομή με στόχο την ανάληψη καθηκόντων όταν κάποια άλλη συσκευή αποτυγχάνει.

Η υποδομή που υπάρχει ώστε να χρησιμοποιηθεί κάθε φορά από τις συσκευές που αποτυγχάνουν των καθηκόντων τους, αλλά και η απαιτούμενη ενέργεια της λειτουργίας του δικτύου, ακόμα και σε περιόδους χαμηλής επισκεψιμότητας συμβάλουν στην επιπλέον κατανάλωση ενέργειας. Η πράσινη δικτύωση αντιτίθεται σε όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μετατρέποντας τη σε ένα ενδιαφέρον και πολλά υποσχόμενο πεδίο έρευνας.

Στόχος της είναι, ο σχεδιασμός δικτύων που θα έχουν γνώση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να αλλοιώνεται η ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών, αλλά και η αξιοπιστία του δικτύου. Κατ' επέκταση, αυξάνονται τα ποσοστά ενέργειας που δαπανούνται για τον υπολογισμό, αποθήκευση, μετάδοση των δεδομένων και ψύξη του εξοπλισμού [2,3].

Στη συνέχεια θα αναλυθούν ορισμένοι τρόποι με τους οποίους είναι εφικτό να δημιουργηθεί ένα πράσινο δίκτυο.

- Ενοποίηση πόρων
- Η επιλεκτική συνδεσιμότητα
- Εικονικοποίηση (virtualization)

Στην ενοποίηση πόρων τα κέντρα δεδομένων έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι πάντα προσιτά. Ωστόσο το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα η χρήση του κέντρου δεδομένων σε ό,τι αφορά το φορτίο και την υπολογιστική ισχύς είναι πολύ πιο κάτω από την προσφερόμενη. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό σε κέντρα δεδομένων που έχουν δυναμικές απαιτήσεις χρήσης και φόρτου κυκλοφορίας.

Στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω των συσκευών που δεν χρησιμοποιούνται κάθε χρονική στιγμή που η σύνδεση είναι ενεργή. Για να είναι εφικτό υποθέτουμε ότι το δίκτυο έχει ένα περίπου γνωστό επίπεδο κυκλοφορίας σε καθημερινή ή εβδομαδιαία βάση. Έτσι παρέχονται οι αντίστοιχες υπηρεσίες κάθε δεδομένη χρονική στιγμή για ένα συγκεκριμένο δίκτυο.

Αποτέλεσμα αυτών είναι το απαιτούμενο επίπεδο απόδοσης του δικτύου που βασίζεται στην τρέχουσα ζήτηση της κυκλοφορίας και όχι στην μέγιστη ζήτηση σε ώρες αιχμής. Αυτό μπορεί να γίνει εφικτό με την απενεργοποίηση ορισμένων δρομολογητών με μικρή σχετική κίνηση και δρομολογώντας την στον υπόλοιπο εξοπλισμό του δικτύου. Έτσι, επιτυγχάνουμε έναν μικρότερο ενεργό εξοπλισμό δικτύου [2].

Μια άλλη τεχνική είναι η επιλεκτική συνδεσιμότητα συσκευών. Δηλαδή κάθε κόμβος θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκρίνεται σε αιτήματα και να διατηρεί τις συνδέσεις του ανά πάσα στιγμή. Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιούνται μηχανισμοί που επιτρέπουν σε μεμονωμένα κομμάτια του εξοπλισμού να παραμένουν σε κατάσταση αδράνειας για κάποιο χρονικό διάστημα, παραμένοντας όμως διαφανείς για το υπόλοιπο δίκτυο. Αυτό λειτουργεί αντί του να είναι συνδεδεμένες όλες οι συσκευές που μπορεί να είναι ή όχι χρήσιμες την κάθε δεδομένη στιγμή. Συνδέονται μόνο οι απαραίτητες. Αποτέλεσμα είναι η μείωση της περιττής δαπάνης ενέργειας [2,4].

Για να είναι λειτουργική η τεχνική αυτή θα πρέπει ορισμένοι δρομολογητές (ή άλλος εξοπλισμός) να τους δίνεται η δυνατότητα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης ανάλογα με τη χρήση τους, αλλά και σύμφωνα και με τον αριθμό των διεργασιών και υπηρεσιών που χρησιμοποιούν το ίδιο υλικό. Αυτή η στρατηγική βασίζεται στο γεγονός ότι μια μοναδική συσκευή που είναι σε πλήρη λειτουργία καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε σχέση με το να λειτουργούν ταυτόχρονα πολλές συσκευές μαζί. Για παράδειγμα ορισμένοι κόμβοι μπορούν να μεταβούν σε μια αδρανή κατάσταση για την αποφυγή μηνυμάτων συνδεσιμότητας από το δίκτυο. Κατά την διάρκεια της αδρανοποίησης ορισμένων κόμβων κάποιοι άλλοι κόμβοι θα μπορούν να λειτουργήσουν ως Proxy αυτών, ώστε να μην υπάρχει καμία θεμελιώδης αλλαγή στα ήδη χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα του δικτύου.

Μια ακόμη βελτίωση της χρήσης των συσκευών δικτύου θα μπορούσε να υπάρξει και από τη πλευρά του λογισμικού. Έτσι για παράδειγμα από την οπτική του λογισμικού είναι δυνατόν να οριστούν απαιτήσεις ως προς την λειτουργικότητα του συστήματος, αλλά και ως προς το φόρτο εργασίας του χρήστη. Για να μπορέσει να γίνει αυτό, θα πρέπει το κάθε στοιχείο στην συσκευή να μπορεί να εξετάζεται αυτόνομα και στη συνέχεια να συγκρίνεται με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Το κάθε στοιχείο θα πρέπει να είναι σε θέση να μειώνει την ενέργεια που καταναλώνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής [2].

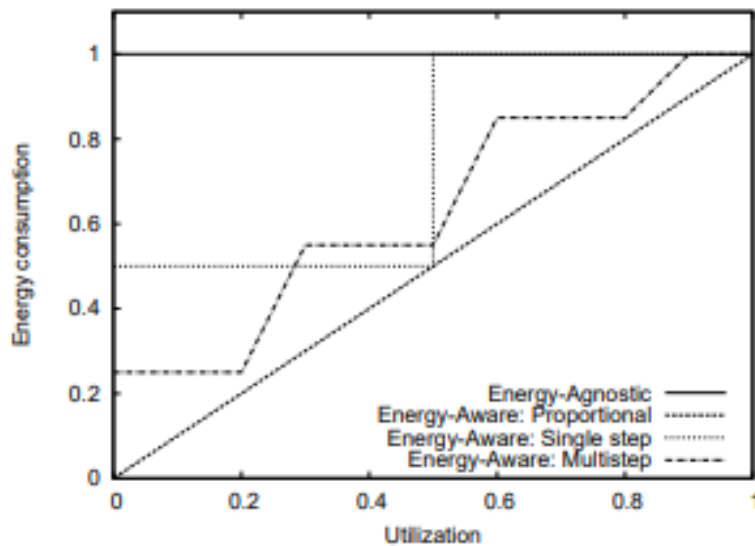
Η εικονικοποίηση (virtualization) εξετάζεται από τη βελτίωση του δικτύου μέσω της αξιοποίησης του υλικού. Οι εικονικές μηχανές συμβάλλουν στη μείωση του χρησιμοποιημένου υλικού ενώ μετατρέπει την επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων πιο ευέλικτη και αποτελεσματική. Πιο συγκεκριμένα συγκεντρώνουν ένα σύνολο μηχανισμών που επιτρέπουν σε μια ή περισσότερες υπηρεσίες να εκτελούνται από το ίδιο υλικό.

Με την εικονικοποίηση είναι δυνατή η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας εφόσον ένα μόνο μηχάνημα μπορεί να αντικαταστήσει πολλά περισσότερα. Η εικονικοποίηση αποτελεί μια δημοφιλή στρατηγική στην κοινή χρήση των διακομιστών στα κέντρα δεδομένων προκειμένου να μειωθεί το κόστος υλικού, να βελτιωθεί η διαχείριση ενέργειας και να μειωθεί η δαπάνη άνθρακα στα κέντρα δεδομένων [2,4]. Η εικονικοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά είδη πόρων όπως για παράδειγμα συνδέσεις δικτύου βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη διαχείριση της ενέργειας και μειώνοντας την απαιτούμενη ενέργεια για την ψύξη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εικονικοποίησης είναι ταχυδρομική υπηρεσία των ΗΠΑ κάνοντας χρήση 791 από τους 895 Servers.

Η εικονικοποίηση του δικτύου αποσκοπεί στην παροχή του συνόλου των στοιχείων του δικτύου και της παρεχόμενης ασφάλειας μέσω λογισμικού. Δηλαδή το εικονικό δίκτυο λειτουργεί αυτόνομο και ανεξάρτητα από το υλικό ενώ χρησιμοποιεί φυσικές συσκευές δικτύωσης για τη μεταφορά και τη μετάβαση των πακέτων.

Η «αναλογική πληροφορική» είναι ένα μέτρο σχετικά με την ενέργεια που καταναλώνεται από ένα σύστημα σε σχέση με την δουλειά που εκτελέστηκε. Μπορεί να

εφαρμοστεί σε ένα σύνολο συστημάτων, σε πρωτόκολλα δικτύου, σε μεμονωμένες συσκευές και εξαρτήματα. Για να κατανοηθεί καλύτερα η έννοια αυτή το Σχήμα 2 1 απεικονίζει την κατανάλωση ενέργειας μιας συσκευής σε συνάρτηση με την χρήση της [2].



Σχήμα 2 1: Η κατανάλωση ενέργειας σε συνάρτηση με τη χρήση. (Πηγή: [2])

Οι μετρήσεις έχουν κανονικοποιηθεί και ο άξονας y κυμαίνεται από το 0 έως και το 1. Οι διαφορετικές γραφικές παραστάσεις προσφέρουν διαφορετικές βελτιστοποιήσεις. Συσκευές με γνωστή κατανάλωση ενέργειας απαιτούν σταθερή κατανάλωση ενέργειας, ανεξάρτητα από τον χρήστη τους. Αυτού του είδους οι συσκευές αντιπροσωπεύουν το χειρότερο τύπο συσκευών καθώς είτε είναι ενεργοποιημένες είτε είναι αδρανείς και καταναλώνουν τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας.

Σε αντίθεση οι συσκευές στις οποίες είναι γνωστή η κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζουν κατανάλωση ενέργειας ανάλογη με το επίπεδο χρήσης τους. Παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης είναι οι δυο γραφικές παραστάσεις single-step και multi-step που εμφανίζονται στο Σχήμα 2 1. Η κατανάλωση ενέργειας στην ουσία προσαρμόζεται στο φορτίο τους. Οι συσκευές single-step έχουν μόνο δυο διαφορετικές λειτουργίες ενώ οι multi-step έχουν πολλαπλά κατώτατα όρια στην κατανάλωση ενέργειας [2].

Για να επιτευχθεί η αναλογική πληροφορική υπάρχουν δυο διαφορετικές τακτικές. Από τη μια η δυναμική κλιμάκωση της τάσης και από την άλλη ο προσανατολιστικός ρυθμός σύνδεσης.

Η δυναμική κλιμάκωση της τάσης μειώνει την ενεργειακή κατάσταση της CPU συνάρτηση του φορτίου του συστήματος. Αντίθετα ο προσαρμοστικός ρυθμός σύνδεσης εφαρμόζει παρόμοια συμπεριφορά με τις συνδέσεις δικτύου μειώνοντας τη χωρητικότητα τους και κατά συνέπεια την κατανάλωση συνάρτηση του φορτίου σύνδεσης [2,3].

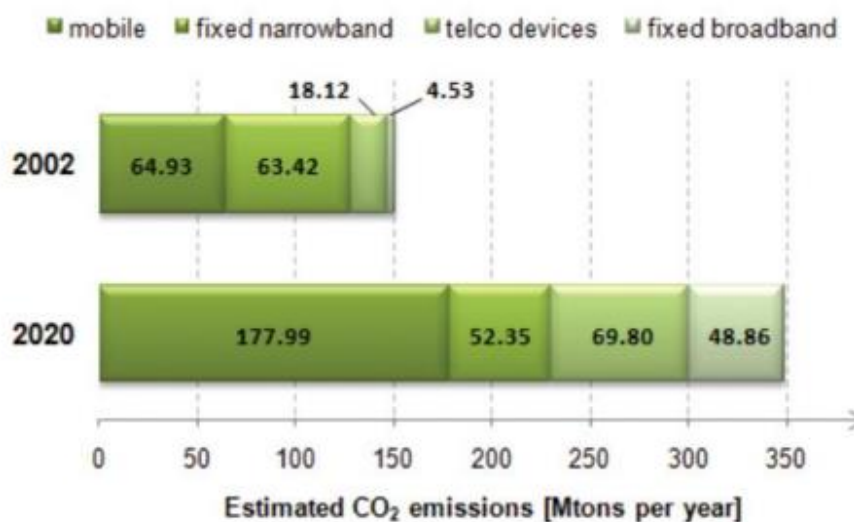
2.3 Εξοικονόμηση ενέργειας & Περιβαλλοντικά οφέλη

Η πράσινη δικτύωση αποσκοπεί στην μείωση της περιττής κατανάλωσης ενέργειας της ενσύρματης και ασύρματης δικτύωσης και στα αναμενόμενα θετικά αποτελέσματα στο φυσικό περιβάλλον. Για να είναι αυτό εφικτός ο σχεδιασμός, οι συσκευές και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται επιλέγονται με βάση την ενεργειακή τους κατανάλωση.

Η στροφή προς τις πράσινες τεχνολογίες στους τομείς της πληροφορικής και στις επικοινωνίες (ΤΠΕ) τα τελευταία χρόνια, συνδέονται άρρηκτα με την παρατήρηση της αύξησης των περιβαλλοντικών προβλημάτων τα οποία σχετίζονται με τις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου (Green-House-Gass - GHG). Η Παγκόσμια Πρωτοβουλία ηλεκτρονικής βιωσιμότητας (GeSI) ανέφερε ότι τα αποτυπώματα άνθρακα των δικτύων και των σχετικών υποδομών φθάνουν περίπου τους 320 Mtons εκπομπών CO₂ το 2020. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2 2, η GeSI ανέφερε ότι, κατά τη διάρκεια του 2002, η συνεισφορά κάθε πράσινης ζώνης και η ενσύρματη πρόσβαση των δικτύων για κινητές συσκευές συνεισφέρουν περισσότερο από 40% στο συνολικό αποτύπωμα άνθρακα του δικτύου.

Η εκτίμηση του 2020 υποδηλώνει ότι οι υποδομές κινητής επικοινωνίας θα αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% των εκπομπών CO₂ του δικτύου, ενώ, όσον

αφορά τα ενσύρματα δίκτυα, τόσο οι συσκευές τηλεπικοινωνιών (π.χ. δρομολογητές, διακόπτες κ.λπ.), όσο και ο εξοπλισμός ευρυζωνικής πρόσβασης θα προκαλέσουν συνεχώς αυξανόμενη και μη αμελητέα συνεισφορά, ίση με 22% αντίστοιχα [3].



Σχήμα 2 2: Εκτίμηση εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου σύμφωνα με το GeSI. (Πηγή: [3])

Συνολικά οι διακομιστές και τα δίκτυα καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Η κατανάλωση από το διαδίκτυο τόσο της ασύρματης όσο και της ενσύρματης επικοινωνίας είναι συγκριτικά μικρότερη από την ποσότητα που καταναλώνουν οι ΤΠΕ σε σπίτια και γραφεία και κυρίως λόγω των φορητών υπολογιστών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή τεράστιας ποσότητας CO₂ κάθε χρόνο, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει την αλλαγή του κλίματος.

Όλα τα παραπάνω απαιτούν επιπλέον κατανάλωση ενέργειας για τον κλιματισμό των ηλεκτρικών συσκευών υψηλής θερμοκρασίας τους διακομιστές και στα κυψελωτά δίκτυα. Η μισή δαπανώμενη ενέργεια στις ΤΠΕ χρησιμοποιείται για την ψύξη των συστημάτων στα κέντρα δεδομένων αναμειγνύοντας ζεστό και κρύο αέρα. Ως αποτέλεσμα να μπορούμε να πούμε ότι οι Server χρησιμοποιούν την μεγαλύτερη δαπανώμενη ενέργεια χωρίς να παράγουν έργο. Διακομιστές όπως αυτοί είναι αναποτελεσματικοί και δεν οδηγούν στην πράσινη δικτύωση.

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι ο κύριος άξονας γύρω από τον οποίο λειτουργεί η σύγχρονη βιομηχανία. Αυτό έχει επιδράσει σε οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και εμπορικούς παράγοντες. Κατά συνέπεια η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έχει επηρεάσει πολλούς κλάδους της βιομηχανίας συμπεριλαμβανομένης της ΤΠΕ. Βασικός παράγοντας είναι η χρήση αυτών των τεχνολογιών στην καθημερινή μας ζωή.

Στην πληροφορική αυτό επηρεάζει τον τομέα της σχεδίασης ηλεκτρονικών καθώς και στον τομέα της δικτύωσης. Αυτό συμβαίνει καθώς τα κέντρα δεδομένων και η υποδομή δικτύωσης περιλαμβάνει συσκευές υψηλής απόδοσης και διαθεσιμότητας. Για να είναι εφικτό απαιτούνται ισχυρές συσκευές καθώς και κλιματισμός για την ψύξη τους οι οποίες με τη σειρά τους καταναλώνουν ενέργεια. Όλα αυτά οργανώνονται σε περιττή αρχιτεκτονική ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στο ζητούμενο φορτίο κατά την ώρα αιχμής, αλλά και σε συνθήκες υπό χρησιμοποίησης.

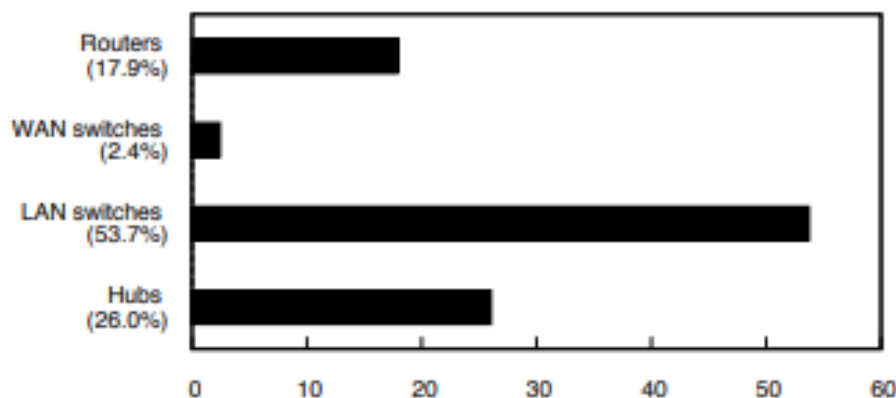
Αυτό αποτελεί μια ευκαιρία εξοικονόμησης ενέργειας. Όλες οι προσπάθειες που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια και αποσκοπούν στην μείωση της περιττής ενεργειακής δαπάνης και χαρακτηρίζονται σαν πράσινες τεχνολογίες [3]. Έχει υπολογιστεί ότι ο όγκος των εκπομπών του CO₂ που παράγονται μόνο από τον τομέα των ΤΠΕ αποτελούν περίπου 2% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών. Ενώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στις αναπτυγμένες χώρες όπως για παράδειγμα το Ηνωμένο Βασίλειο ο αριθμός αυτός φτάνει έως το 10%.

Για να επιτευχθεί η απαιτούμενη μείωση στην κατανάλωση ενέργειας είναι απαραίτητο να εντοπιστούν τα σημεία όπου αυτές οι βελτιώσεις μπορούν να γίνουν. Το διαδίκτυο για παράδειγμα σχεδιάστηκε με σκοπό να αντιμετωπίσει πολλές διαφορετικές πρότυπες προκλήσεις στο άμεσο μέλλον.

Αναμένεται ότι η παγκόσμια κίνηση στο δίκτυο θα αυξηθούν με μεγάλο ρυθμό στα επόμενα χρόνια. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα θα ήταν ο επανασχεδιασμός του διαδικτύου ως ένα κεντρικό δίκτυο το οποίο χωρίζεται σε διάφορους επιμέρους τύπους δικτύων πρόσβασης όπως για παράδειγμα τα ασύρματα και τα ενσύρματα δίκτυα.

Σε αυτά τα διαφορετικά τμήματα δικτύων ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός και οι στόχοι όσον αφορά τις αναμενόμενες επιδόσεις και την κατανάλωση ενέργειας διαφέρουν. Έτσι κάποιος θα περιμένει ότι οι πιθανές βελτιώσεις διαφέρουν σημαντικά.

Στην πραγματικότητα όλες αυτές οι στρατηγικές της πράσινης δικτύωσης αναμένεται να εξοικονομήσουν περίπου το 30-35% της ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας όσον αφορά το διαδίκτυο και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται φαίνεται στο ακόλουθο Σχήμα 2 3. Σύμφωνα με μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2002 [2] .



Σχήμα 2 3: Συνεισφορά των διάφορων συσκευών δικτύου στην συνολική κατανάλωση ενέργειας το έτος 2002 (Πηγή: [2])

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2 3 το 80% περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του διαδικτύου οφείλεται στα τοπικά δίκτυα και πιο συγκεκριμένα στα hub και στα switch. Μία ακόμα έρευνα το 2005 έδειξε ότι οι κάρτες δικτύου (NIC-Network Interface Card) ευθύνονται περίπου για το μισό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

Καθώς ο τομέας της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών εξελίσσεται ταχύτατα, θα πρέπει να γίνονται συνεχώς έρευνες όπως τις παραπάνω. Κατά συνέπεια όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία μπορούν γρήγορα να θεωρηθούν ξεπερασμένα και ανακριβή.

Συνεπώς υπάρχει ανάγκη για μια μόνιμη αξιολόγηση ώστε να επιδιωχθούν οι στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας. Παρόλα αυτά υπάρχουν αρκετές δυσκολίες, αφού

απαιτεί η συνεργασία εταιρειών κατασκευής εξοπλισμού, παρόχων υπηρεσιών διαδικτύου και κυβερνήσεων το οποίο όμως δεν είναι πάντα εφικτό [2].

2.4 Κλιματική αλλαγή & η ανάγκη για μείωση των εκπομπών άνθρακα

Η συνείδηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Σε όλο τον κόσμο, διάφορες μελέτες ξεκίνησαν να υπογραμμίζουν τις καταστροφικές επιπτώσεις των τεράστιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τις συνέπειες τους στην κλιματική αλλαγή.

Σύμφωνα με μια έκθεση που δημοσιεύτηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση απαιτείται μείωση του όγκου εκπομπών κατά 15%-30% πριν από το έτος 2020 για να διατηρηθεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από τους 2° C [2].

Οι στόχοι μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν πολλούς κλάδους της βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ), ιδίως λαμβάνοντας υπόψη τη διείσδυση αυτών των τεχνολογιών στην καθημερινή μας ζωή. Πράγματι, ο όγκος των εκπομπών CO₂ που παράγονται μόνο από τον τομέα της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών έχει υπολογιστεί ότι είναι περίπου το 2% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών.

Το Διαδίκτυο, για παράδειγμα, μπορεί να κατατμηθεί στο δίκτυο κορμού και σε διάφορους τύπους δικτύων πρόσβασης. Σε αυτά τα διαφορετικά τμήματα, ο εξοπλισμός που εμπλέκεται, οι στόχοι του, η αναμενόμενη απόδοση και τα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας διαφέρουν.

Εύλογα μπορεί να αναμένει κανείς ότι τόσο τα μεγέθη κατανάλωσης όσο και οι πιθανές βελτιώσεις είναι σημαντικά διαφορετικά. Τα τοπικά δίκτυα, μέσω διανομέων και μεταγωγών, ήταν υπεύθυνα για περίπου το 80% της συνολικής κατανάλωσης του διαδικτύου.

Καθώς η ακριβής αξιολόγηση αυτών των αριθμών είναι μια δύσκολη διαδικασία, αυτές οι προβλέψεις είναι πιθανό να μην είναι ούτε απολύτως ακριβείς ούτε ενημερωμένες. Ωστόσο, όλες αυτές οι μελέτες συμφωνούν στο γεγονός ότι οι ΤΠΕ

αντιπροσωπεύουν σημαντική πηγή κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ακόμα κι αν τα κίνητρα εξακολουθούν να μην είναι ξεκάθαρα (π.χ. όσον αφορά τους κανονισμούς), φαίνεται να υπάρχει μια σαφή ευκαιρία καινοτομίας για την ενημέρωση των συσκευών και πρωτοκόλλων δικτύου σχετικά με την ενέργεια που καταναλώνουν, ώστε να μπορούν να λειτουργούν αποτελεσματικά και υπεύθυνα.

Έτσι ο επανασχεδιασμός της ίδιας της αρχιτεκτονικής του δικτύου, με τη μετατόπιση του εξοπλισμού δικτύου σε στρατηγικά μέρη, μπορεί να αποφέρει σημαντική εξοικονόμηση πόρων για δύο βασικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος σχετίζεται με τις απώλειες που εμφανίζονται κατά τη μεταφορά ενέργειας. Όσο πιο κοντά είναι τα σημεία κατανάλωσης στα σημεία παραγωγής, τόσο μικρότερη θα είναι αυτή η απώλεια.

Ο δεύτερος λόγος σχετίζεται με την ψύξη των ηλεκτρονικών συσκευών. Η ψύξη με αέρα αντιπροσωπεύει σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής δαπάνης στα κέντρα δεδομένων και τα ψυχρά κλίματα μπορεί να μειώσουν αυτήν την εξάρτηση.

Μεγάλες εταιρείες ΤΠΕ όπως η Google μετατόπισαν τα κέντρα διακομιστών τους στις όχθες του ποταμού Κολούμπια για να επωφεληθούν από την ενέργεια που προσφέρουν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί που βρίσκονται κοντά. Η ροή του νερού που παρέχεται από το ποτάμι μπορεί επιπλέον να χρησιμοποιηθεί στα συστήματα ψύξης.

Παρόλο που αυτό μπορεί να οδηγήσει σε άλλα περιβαλλοντικά ζητήματα όπως ο πολλαπλασιασμός των φυκιών εάν η θερμοκρασία του νερού αυξηθεί πολύ. Ένα εναλλακτικό σύστημα ψύξης, που διερευνήθηκε από τη Microsoft ήταν να αφήνουμε τους διακομιστές στην ύπαιθρο, ώστε η θέρμανση να διαχέεται πιο εύκολα.

Τέλος, από μηχανολογικής άποψης, η πράσινη δικτύωση μπορεί να θεωρηθεί καλύτερα ως ένας τρόπος μείωσης της ενέργειας που απαιτείται για την εκτέλεση μιας δεδομένης εργασίας διατηρώντας το ίδιο επίπεδο απόδοσης. Ωστόσο, εξακολουθεί να είναι σημαντική καθώς η αποδοτικότητα του συστήματος εξακολουθεί να σχετίζεται βαθιά με οικονομικές και περιβαλλοντικές απόψεις [2].

2.5 Τρόποι λειτουργίας των δικτύων & εφαρμογές που βοηθούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας

Καθώς τα δίκτυα IP υλοποιούνται σύμφωνα με μια αρχή διαστρωμάτωσης, μπορούμε να τα ταξινομήσουμε σύμφωνα με το επίπεδο εργασίας στο οποίο εφαρμόζονται. Λαμβάνοντας υπόψη τη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP, μπορεί να υλοποιηθεί σε ένα μόνο επίπεδο. Είτε μεταξύ των επιπέδων σύνδεσης δικτύου, είτε με το επίπεδο μεταφοράς και εφαρμογής, ή μπορεί να απαιτεί αλληλεπίδραση μεταξύ άλλων επιπέδων [2].

Ένα άλλο κριτήριο ταξινόμησης προέρχεται από την ανάλυση της διαδικασίας εισόδου που οδηγεί την απόφαση που λαμβάνεται. Η απόφαση μπορεί να ληφθεί με βάση τη κατάσταση που βρίσκεται το δίκτυο την δεδομένη στιγμή. Με βάση μίας παρατήρησης ή μίας πρόβλεψης ανάλογα με την κατάσταση του δικτύου [2].

Στην περίπτωση λύσεων on-line, είναι δυνατά και τα τρία είδη αποφάσεων. Για τις off-line λύσεις, οι αποφάσεις που βασίζονται στη στιγμιαία κατάσταση σαφώς δεν έχουν νόημα.

Για να απλοποιήσουμε την ταξινόμηση, παρακάτω θα αναλυθεί η διαφοροποίηση ανάμεσα τις on-line λύσεις από τις off-line.

- Το πρώτο σύνολο αναφέρεται στις λύσεις που πιστεύεται ότι δρουν κατά το χρόνο εκτέλεσης με χρονικές κλίμακες μικρότερες από ένα δευτερόλεπτο.
- Το δεύτερο σύνολο αναφέρεται σε λύσεις που ενεργούν πριν από το χρόνο εκτέλεσης με χρονικές κλίμακες πάνω από το δευτερόλεπτο, για παράδειγμα κατά τη διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου.

Συγκεκριμένα, ανάλογα με τον τύπο και τον αριθμό των εμπλεκόμενων οντοτήτων, χωρίζονται στις on line λύσεις

- είτε για τοπικές,
- είτε για καθολικές.

Ανάλογα με το εύρος της πληροφορίας που απαιτούνται για τη λήψη μιας απόφασης.

- Στις τοπικές στρατηγικές απαιτούνται πληροφορίες που αφορούν έναν μόνο κόμβο, ή μια ενιαία σύνδεση.
- Στις καθολικές στρατηγικές απαιτούνται πληροφορίες που αφορούν ένα σύνολο κόμβων και συνδέσμων.

Επίσης γίνεται διαφοροποίηση μεταξύ λύσεων εκτός σύνδεσης που σχετίζονται με το δίκτυο όπως για παράδειγμα η επιλογή των πόρων που χρησιμοποιούνται και η διαστασιολόγηση του δικτύου που συνίστανται η απόφαση του τρόπου χρήσης αυτών των πόρων.

Πίνακας 2.1: Περίληψη των κριτηρίων προσδιορισμού τάξης (Πηγή: [2])

Criterion	Values	Comments
Timescale	Online vs. Offline	Defines the update frequency of the policy
Scope (online)	Local vs. global	Influences the volume of communication required to reach the objective
TCP/IP Layer	Link, Network, Transport, Application, Cross	Individuates which entities shall collaborate
Input process	Instantaneous vs. Historical vs. Forecast	Defines learning and adaptation capabilities of the algorithm
Approach	Traffic analysis, Modeling, Simulation, Hw/Sw Prototype	Nature of the study, also correlates with the level of maturity of the work

Στον Πίνακα 2.1 συνοψίζονται τα κριτήρια που επιλέξαμε για να εξάγουμε την ταξινόμησή μας. Ένα φυσικό κριτήριο ταξινόμησης θα μπορούσε να αναφέρεται στο τμήμα δικτύου όπου μπορεί να εφαρμοστεί κάθε τεχνική, δηλαδή η πρόσβαση είτε σε μητροπολιτικά, είτε σε βασικά δίκτυα.

Ωστόσο, μέχρι πολύ πρόσφατα το μεγαλύτερο κέρδος αναμενόταν να επιτευχθεί στην άκρη του δικτύου δηλαδή στα δίκτυα πρόσβασης. Άλλο ένα πιθανό κριτήριο αφορά το είδος της υπηρεσίας στο οποίο εφαρμόζεται η τεχνική. Καθώς οι πράσινες τεχνικές είναι τυπικά εφαρμόσιμες σε μάλλον γενικό βαθμό .

Οι τεχνικές μπορούν να θεωρηθούν είτε ως τοπικές συνδέσεις είτε ως δικτυακές παγκόσμιες, ανάλογα με το επίπεδο δικτύου στο οποίο ανήκουν. Καθώς και με την κλίμακα του δικτύου που εμπλέκεται και την ανάγκη για αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων .Στην περίπτωση αυτή, εφαρμόζουν επίσης την αρχή της επιλεκτικής συνδεσιμότητας.

Η εμπειρική μέτρηση έδειξε ότι η κατανάλωση ενέργειας σε μια σύνδεση Ethernet είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη από τη χρήση της. Στην πράξη, ακόμη και

κατά τα διαστήματα αδράνειας όπου δεν μεταδίδεται πληροφορία, οι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για την συνεχή αποστολή χωρίς νόημα κίνησης. Προκειμένου να διατηρηθεί ο συγχρονισμός και να αποφευχθεί ο χρόνος που απαιτείται για την αποστολή ενός μεγάλου πλαισίου. Επομένως, η κατανάλωση ενέργειας μιας ζεύξης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαπραγματευόμενη χωρητικότητα της ζεύξης παρά από το πραγματικό φορτίο της.

Η προσαρμογή του ρυθμού σύνδεσης επιτυγχάνεται

- είτε με την απενεργοποίηση συνδέσμων κατά τη διάρκεια πιθανώς σύντομων περιόδων αδράνειας, η οποία συνήθως αναφέρεται ως κατάσταση αναστολής λειτουργίας,
- είτε με τη μείωση του ρυθμού γραμμής κατά τη διάρκεια της περιόδου χαμηλής χρήσης, η οποία είναι γνωστή ως εναλλαγή ρυθμού.

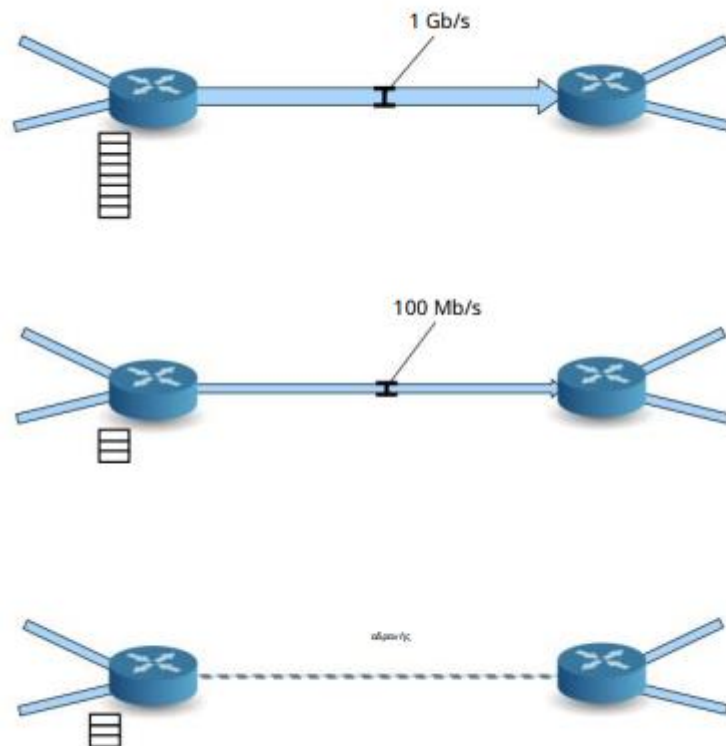
Το Σχήμα 2 4 απεικονίζει αυτές οι δύο καταστάσεις. Και στις δύο περιπτώσεις, ο ρυθμός σύνδεσης προσαρμόζεται για να ταιριάζει με την πραγματική χρήση του δικτύου, προσεγγίζοντας έτσι μια κατανάλωση ενέργειας ανάλογη με τη χρήση της σύνδεσης από μια τοπική προσαρμογή της διαμόρφωσης σύνδεσης σε απευθείας σύνδεση.

Ένα μοντέλο δύο καταστάσεων :

- της στρατηγικής και
- της κατάστασης ύπνου.

Η πρώτη κατάσταση αντιστοιχεί στον κανονικό τρόπο λειτουργίας και η δεύτερη στον τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας. Η πρώτη μετάβαση, από την κανονική λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας στη λειτουργία ύπνου απαιτεί χρόνο δηλαδή ο «χρόνος αφύπνισης» είναι περίπου 0,1 ms και δημιουργεί μια απότομη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας.

Η δεύτερη μετάβαση, από την κανονική λειτουργία εργασίας στη λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτό οδηγεί σε ένα απλό, αλλά όχι απλοϊκό, μοντέλο που μπορεί εύκολα να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει περισσότερες από δύο καταστάσεις μοντελοποίησης, για παράδειγμα, στρατηγικές αλλαγής ρυθμού.



Σχήμα 2 4: Στρατηγικές Adaptive Link Rate: ο ρυθμός μιας σύνδεσης 1 Gb/s μπορεί να μειωθεί στα 100 Mb/s (διακόπτης ρυθμού, μεσαίο διάγραμμα), ή η σύνδεση μπορεί να τεθεί σε αδράνεια για εξοικονόμηση ενέργειας ανάλογα με τα φορτία των παρακείμενων δρομολογητών (Πηγή: [2])

Μια πρώτη υποκατηγορία στρατηγικών προσαρμοστικού ρυθμού σύνδεσης περιλαμβάνει απλά συστήματα με επίγνωση της ενέργειας, που λαμβάνουν υπόψη μόνο δύο καταστάσεις

- τη λειτουργία μια κατάσταση ύπνου ή αδράνειας και
- την κατάσταση πλήρους λειτουργίας.

Η δυσκολία σε αυτή την περίπτωση έγκειται στην εύρεση του επιθυμητού συμβιβασμού μεταξύ της επαναδραστηριότητας του συστήματος και της εξοικονόμησης ενέργειας.

Έτσι λοιπόν αφήνουν τους κόμβους να αποφασίσουν για την κατάσταση των διεπαφών τους μετρώντας τους χρόνους μεταξύ αφίξεων πακέτων και εξετάζοντας εάν

αυτό το διάστημα είναι αρκετά μεγάλο για να δικαιολογήσει μια αποτελεσματική εξοικονόμηση ενέργειας μεταξύ δύο διαδοχικών πλεονεκτημάτων.

Η διεπαφή μπορεί αρχικά να βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας και τα πακέτα που φτάνουν κατά τη διάρκεια της περιόδου ύπνου, μπορεί να τα διαχειρίζεται ανάλογα με τις παρακάτω συνθήκες :

- να αφυπνίζεται πλήρως από κάθε λήψη πακέτου,
- να χρησιμοποιεί μια προσωρινή μνήμη για να αποθηκεύει τα πακέτα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια των διαστημάτων ύπνου και να τα επεξεργάζεται όταν ξυπνά,
- να χρησιμοποιεί μια θύρα.

Όμως και σε κατάσταση ύπνου έχουμε κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό προκύπτει γιατί η διεπαφή μπορεί να βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας, ωστόσο μπορούν να ανιχνευθούν πακέτα, για τα οποία απαιτούνται ηλεκτρονικά στοιχεία να είναι ενεργά.

Έτσι καταναλώνεται μια μικρή ποσότητα ενέργειας, καθώς και την τροφοδοσία οποιασδήποτε θύρας. Ως εκ τούτου, η αφύπνιση της διεπαφής ύπνου σε κάθε άφιξη πακέτου μειώνει την καθυστέρηση και την απώλεια πακέτων, αλλά θα μειώσει επίσης και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Έτσι λοιπόν προκύπτει μια σύγκριση μεταξύ μιας κατάστασης ύπνου και ενός αλγόριθμου μεταγωγής ρυθμού. Αυτό εμφανίζεται σε δύο σε επίπεδο υποδομής δικτύου. Οι δύο αλγόριθμοι συγκρίνονται ως προς το QoS, μέσω του ρυθμού καθυστέρησης και απώλειας πακέτων από άκρο σε άκρο. Αλλά και ως προς την επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας, που αντιπροσωπεύεται από το ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο τα στοιχεία του δικτύου μπορούν να κοιμηθούν.

Στην περίπτωση της κατάστασης αναστολής λειτουργίας είτε από τη μείωση του μέσου ρυθμού, είτε στην περίπτωση αλλαγής ρυθμού. Από την άποψη της εξοικονόμησης ενέργειας, η σύγκριση υπογραμμίζει ένα όριο χρήσης δικτύου κάτω από το οποίο η λειτουργία αδράνειας αποδίδει καλύτερα από τον διακόπτη ρυθμού και αντίστροφα.

Τα ποσοστά κατανέμονται εκθετικά (π.χ. 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1000 Mb/s), ενώ στη δεύτερη περίπτωση κατανέμονται ομοιόμορφα (π.χ. 330 Mb/s, 660 Mb/s, 1000 Mb/s).

Είναι ενδιαφέρον ότι τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ομοιόμορφα κατανεμημένοι ρυθμοί αποδίδουν καλύτερα από τους εκθετικά κατανεμημένους, όσον αφορά την προστιθέμενη καθυστέρηση και τη μέση μείωση του ρυθμού. Άρα, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας. Η αύξηση του αριθμού των υποστηριζόμενων χρεώσεων αποδεικνύεται επίσης ότι οδηγεί σε καλύτερες επιδόσεις, με την τιμή μιας αυξημένης πολυπλοκότητας διαχείρισης.

Άλλες περιπτώσεις της κατάστασης αναστολής λειτουργίας έναντι των στρατηγικών αλλαγής ρυθμού, εφαρμόζονται σε επεξεργαστές και διακομιστές. Σε αυτήν την περίπτωση, και τα δύο έργα είναι υπέρ των στρατηγικών κατάστασης ύπνου λόγω της χαμηλότερης πολυπλοκότητας διαχείρισης για συγκρίσιμο επίπεδο απόδοσης.

Η χαμηλότερη πολυπλοκότητα συνοδεύεται από απλούστερους στόχους βελτιστοποίησης, οι οποίοι είναι η ελαχιστοποίηση της ενέργειας αδράνειας και του χρόνου μετάβασης. Αντί της περίπλοκης λειτουργίας ανάλογου φορτίου από κάθε στοιχείο του συστήματος. Ωστόσο, η δυναμική εναλλαγή ρυθμού είναι πιο εμφανείς στις περιπτώσεις έντονης κυκλοφορίας, σε περίπτωση εσφαλμένης εκτίμησης των παραμέτρων φόρτου εργασίας.

Σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, οι λειτουργίες θα μπορούσαν απλώς να απενεργοποιηθούν κατά τη μετάδοση όταν ο κόμβος ακόμη σε αδράνεια. Όμως στην περίπτωση των τελικών συσκευών αυτό δεν είναι εφικτό. Καθώς ορισμένες λειτουργίες όπως και η επεξεργασία της κυκλοφορίας παραδίδεται σε πιο ενεργειακά αποδοτικές συσκευές.

Ενώ οι χρήστες είναι σε αδράνεια, η κίνηση του δικτύου και η ανταλλαγή πληροφοριών που λαμβάνονται και επεξεργάζονται από τους κόμβους, εμποδίζουν τους υπολογιστές να μουν σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας. Επισημαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης κίνησης που λαμβάνεται από μια διεπαφή δικτύου υπολογιστή κατά τις περιόδους αδράνειας, μπορεί απλά να απορριφθεί ή να απαιτεί περισσότερο από έναν ελάχιστο υπολογισμό και απόκριση.

Τα περισσότερα πλαίσια εκπομπής ή κίνησης που σχετίζονται με τη σάρωση θυρών μπορεί απλώς να αγνοηθούν. Όμως οι ανταλλαγές και η επεξεργασία ARP, η απάντηση ήχους ICMP ή η επανασύνδεση DHCP, είναι απλές εργασίες που θα μπορούσαν εύκολα να εκτελεστούν απευθείας από τη διεπαφή δικτύου.

Ο διακομιστής μεσολάβησης NIC υλοποιεί ένα φιλτράρισμα των ληφθέντων πακέτων. Το NIC μπορεί να εγκαταλείψει τη συνομιλία και να χειριστεί την κίνηση που απαιτεί ελάχιστους υπολογισμούς, ενώ το πλήρες σύστημα θα ενεργοποιηθεί μόνο όταν ληφθούν μη τετριμμένα πακέτα που χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία.

Αυτό επιτρέπει εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της απενεργοποίησης των τελικών συστημάτων, χωρίς να διακόπτεται η συνδεσιμότητα του δικτύου τους. Αυτή η λύση μπορεί να εφαρμοστεί σε περισσότερο από το 90% των ληφθέντων πακέτων σε έναν υπολογιστή κατά τις περιόδους αδράνειας, έτσι προτείνεται μεγαλύτερα διαστήματα ύπνου και μειωμένο αριθμό αφυπνίσεων συστήματος για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.

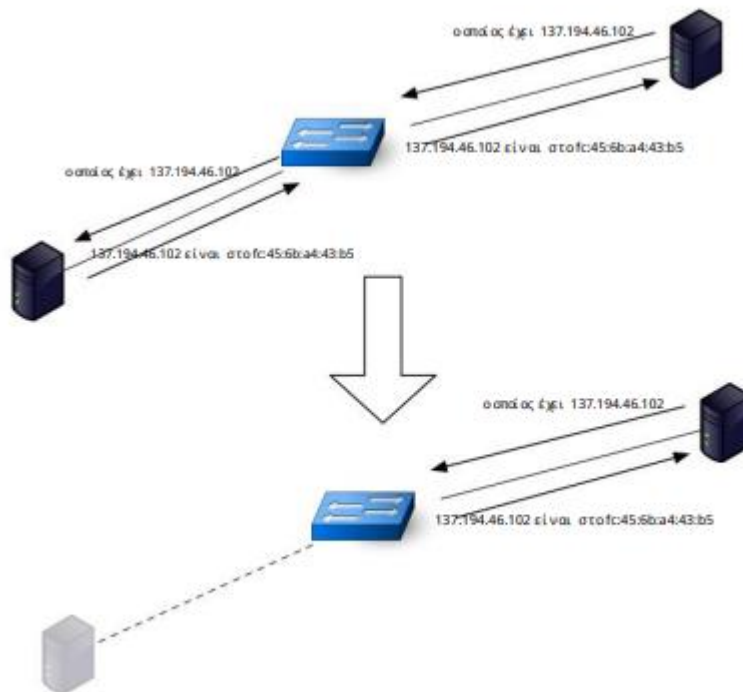
Το προτεινόμενο πλαίσιο υποστηρίζει ταχύτητα γραμμής έως 1 Gbps στην εφαρμογή λογισμικού του (στο Smart-NIC) και έως 10 Gbps στην υλοποίηση υλικού. Η υλοποίηση υλικού καταναλώνει μόνο το 25% της ενέργειας που απαιτείται από αυτή που βασίζεται σε λογισμικό.

Η εκφόρτωση του φιλτραρίσματος και της επεξεργασίας της κυκλοφορίας σε εξωτερικό μηχάνημα μπορεί να έχει πολλά πλεονεκτήματα. Σε περίπτωση μεγαλύτερου LAN εκτός από την οικονομία κλίμακας, καθώς ο διακομιστής μεσολάβησης ενεργεί για έναν αριθμό τελικών συσκευών, μπορεί να διαθέτει πιο αποτελεσματική η CPU και έτσι να εκφορτώνει τον τελικό κεντρικό υπολογιστή από ακόμη μεγαλύτερο αριθμό εργασιών συντήρησης δικτύου.

Το Σχήμα 2 5 απεικονίζει μια τέτοια κατάσταση στην οποία ένας διακόπτης απαντά σε ένα αίτημα ARP στη θέση του υπολογιστή στόχου. Επιτρέποντας σε αυτό το μηχάνημα να παραμείνει σε κατάσταση ύπνου έως ότου λάβει σχετική κυκλοφορία. Εκτός από τις αποκρίσεις ARP, ICMP, DHCP, ένας διακομιστής μεσολάβησης μπορεί επίσης να διατηρήσει, την TCP συνδεσιμότητα για τους κεντρικούς υπολογιστές

αδράνειας. Έτσι για παράδειγμα, προτείνεται ένας διαχωρισμός των συνδέσεων TCP στον διακομιστή μεσολάβησης με γνώση της ενέργειας.

Αντίθετα, οι proxies εφαρμόζονται ως δρομολογητές εφαρμόζοντας τέσσερα διαφορετικά είδη διακομιστή μεσολάβησης. Αυξανόμενης πολυπλοκότητας, δείχνοντας ότι και η πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική. Ωστόσο οι ασήμαντες προσεγγίσεις δεν επαρκούν για την πλήρη εκμετάλλευση της πιθανής εξοικονόμησης. Πράγματι, ενώ η κυκλοφορία μετάδοσης φιλτράρεται εύκολα, απαιτείται σημαντική προσπάθεια υλοποίησης για τον σωστό χειρισμό της κυκλοφορίας unicast [2].



Σχήμα 2 5:Εξωτερικός διακόπτης μεσολάβησης ένας διακόπτης λειτουργεί ως διακόπτης μεσολάβησης για την κυκλοφορία ARP, επιτρέποντας στο μηχανήμα προορισμού να αδρανεί τουλάχιστον μέχρι να αποσταλούν δεδομένα(Πηγή:[2])

Οι μηχανισμοί που έχουν παρατηρηθεί μέχρι στιγμής περιλαμβάνουν μόνο τοπικές αποφάσεις, μέσω μιας μόνο συσκευής ή ενός πολύ μικρού συνόλου συνεργατικών συσκευών. Ενώ αυτές οι τεχνικές από μόνες τους προσφέρουν μη αμελητέα εξοικονόμηση ενέργειας, μπορεί να αναμένεται περαιτέρω βελτίωση από μια εύλογη συνεργασία μεταξύ μεμονωμένων συσκευών, που μοιράζονται μια ευρύτερη γνώση για την κατάσταση του συστήματος.

Η κίνηση ενός δικτύου αναδιαμορφώνεται σε ριπές στην άκρη του δικτύου. Με τη διάταξη όλων των πακέτων που προορίζονται για τον ίδιο δρομολογητή εξόδου να είναι συνεχόμενα εντός των ριπών. Αυτή η προσέγγιση προσθέτει καθυστέρηση από άκρο σε άκρο, αλλά μόνο κατά την είσοδο του δικτύου.

Κατά συνέπεια, οι περίοδοι δραστηριότητας και ύπνου εναλλάσσονται εντός του δικτύου, επιτρέποντας λιγότερες μεταβάσεις κατάστασης σε σχέση με μια απλή ευκαιριακή στρατηγική «αφύπνισης κατά την άφιξη». Η στρατηγική αυτή δεν προσθέτει

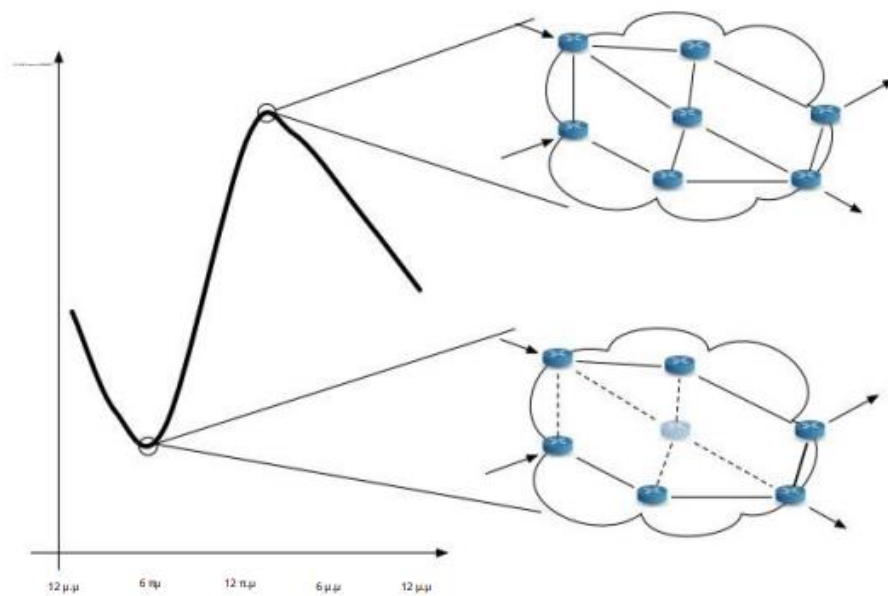
σημαντική πολυπλοκότητα στο δίκτυο, καθώς επίσης δεν προσδιορίζουν το πότε και για πόσο χρόνο θα πρέπει να κοιμούνται ιδανικά οι κόμβοι.

Η χρήση οπτικών δικτύων όπως η πολυπλεξία διαίρεσης πυκνού μήκους κύματος είναι πολύ πιο ενεργειακά αποδοτική και προσφέρει εξαιρετικά μεγάλη χωρητικότητα. Όμως αυτές οι τεχνολογικές συσκευές εξακολουθούν να υστερούν από ευελιξίας σε σχέση με τον τομέα των ηλεκτρονικών καθώς στον οπτικό τομέα δεν είναι δυνατή η προσωρινή αποθήκευση.

Μια μελλοντική πρόκληση είναι πιθανώς να βρεθούν αποτελεσματικές αρχιτεκτονικές που να συνδυάζουν τόσο την οπτική μεταφορά όσο και την επεξεργασία πακέτων, όταν χρειάζεται.

Αναμένεται μεγάλη βελτίωση στο επίπεδο σύνδεσης, μέσω των προσαρμογών συνδέσμων και τεχνικών μεσολάβησης. Το επίπεδο δικτύου μπορεί επίσης να εμπλέκεται στη μείωση της ενεργειακής δαπάνης. Ακολουθώντας την αρχή της ενοποίησης πόρων.

Η δρομολόγηση με επίγνωση ενέργειας όπου και απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6, στοχεύει στη συγκέντρωση ροών κυκλοφορίας σε ένα υποσύνολο συσκευών και συνδέσεων δικτύου, επιτρέποντας την απενεργοποίηση άλλων συνδέσεων και συσκευών διασύνδεσης. Αυτές οι λύσεις θα διατηρήσουν τη συνδεσιμότητα και την QoS. Έτσι περιορίζοντας τη μέγιστη χρήση σε οποιαδήποτε σύνδεση ή διασφαλίζοντας ένα ελάχιστο επίπεδο ποικιλομορφίας της διαδρομής [2].



Σχήμα 2 6: Δρομολόγηση με επίγνωση ενέργειας: οι δρομολογητές τίθενται σε αδράνεια όταν το φορτίο δικτύου είναι χαμηλό, διατηρώντας παράλληλα συνδεσιμότητα. (Πηγή: [2])

Η συσσώρευση ροών μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, μέσω μιας σωστής διαμόρφωσης της δρομολόγησης. Τυπικά, η δρομολόγηση με επίγνωση της ενέργειας είναι μια συγκεκριμένη περίπτωση των γενικών προβλημάτων ροής πολλαπλών «εμπορευμάτων» με χωρητικότητα, επομένως εμπίπτει στο σύνολο των λύσεων εκτός σύνδεσης σχετικά με τη διαστασιολόγηση.

Εκτός από το πράσινο επίπεδο του επιπέδου εφαρμογής στο χρήστη, είναι επίσης δυνατό να βελτιωθεί το επίπεδο μεταφοράς σε επίπεδο πυρήνα για περισσότερη ενεργειακή απόδοση. Το όφελος αυτής της προσέγγισης είναι ότι αυτές οι βελτιστοποιήσεις μοιράζονται στη συνέχεια σε όλες τις εφαρμογές.

Πιο συγκεκριμένα, η τροποποίηση του TCP στους πυρήνες των λειτουργικών συστημάτων, θα επέτρεπε στις εφαρμογές να ανοίγουν πιο «πράσινες» υποδοχές, παρέχοντας ένα πλαίσιο για τους προγραμματιστές λογισμικού. Μία τέτοια τροποποίηση, εισάγοντας ρητή σηματοδότηση στο επίπεδο μεταφοράς μέσω μιας συγκεκριμένης επιλογής (TCP SLEEP) στην κεφαλίδα TCP. Θα αποθηκεύει τα δεδομένα που λαμβάνονται από την εφαρμογή αντί να τα στείλει αμέσως. Αυτή η στρατηγική

απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6 και μια πραγματική εφαρμογή που περιλαμβάνει περισσότερες λεπτομέρειες, όπως ο ορισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου χρόνου.

Η κατανάλωση ενέργειας που προκαλείται από το υπολογιστικό φορτίο του TCP πάνω από το σύστημα FreeBSD και Linux, με στόχο την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των υλοποιήσεων αντί για την τροποποίηση της στοίβας πρωτοκόλλων.

Έτσι λοιπόν παρουσιάζεται μια λεπτομερή ανάλυση του κόστους της δικτύωσης TCP/IP μεταξύ λειτουργίας στο NIC, στον πυρήνα και στο χρήστη, υπολογίζοντας σε περίπου 15% το κόστος επεξεργασίας TCP. Μεταξύ των οποίων περίπου το 20% έως 30% οφείλεται στον υπολογισμό ενός αθροίσματος ελέγχου. Προτείνεται επίσης περαιτέρω λύσεις για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από το TCP, αξιοποιώντας ορισμένες λειτουργίες σε επίπεδο NIC [2].

3 Πράσινη Δικτύωση – μελέτη περιπτώσεων

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε για την «Πράσινη Δικτύωση» ως ένα ενδιαφέρον πεδίο έρευνας που έχει αναπτυχθεί με στόχο την μείωση των εκπομπών άνθρακα. Η ενεργειακή ευαισθητοποίηση για την ανάπτυξη νέων δικτύων υποδομής όπως και βασικά παραδείγματα που βοηθούν στην επίτευξη των πράσινων στόχων .

Βασικοί τρόποι διαχείρισης εξοικονόμησης ενέργειας των δικτύων για να περιοριστούν οι εκπομπές άνθρακα που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης καθώς και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μιας και πλέον αποκτούν αυξανόμενη σημασία για την κοινωνία αλλά και για πολλές βιομηχανίες.

Επίσης εξετάζεται ο ρόλος των δικτύων, οι χρήσεις τους και οι λειτουργίες τους, που αποσκοπούν στην μείωση της άσκοπης κατανάλωσης ενέργειας και με ποιους τρόπους μπορεί να επιτευχθεί η μείωση αυτή. Η κατανάλωση ενέργειας από διάφορες συσκευές έχει γίνει κίνητρο για την αντικατάστασή τους με σύγχρονες συσκευές και με νέες τεχνολογίες

Στόχος της «Πράσινης Δικτύωσης» είναι να μειωθούν οι εκπομπές άνθρακα και να στραφούμε πλέον στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι μεγάλες εταιρείες έκριναν απαραίτητο να μετακινηθούν δίπλα στα σημεία παραγωγής ενέργειας για να μειωθούν οι απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά, αλλά και την ελαχιστοποίηση της χρήσης διάφορων ενεργοβόρων συσκευών που έχουν σοβαρές επιπτώσεις προς το περιβάλλον .

Κλείνοντας θα μελετήσουμε την ανάπτυξη των ασύρματων και ενσύρματων δικτύων και τα αποτελέσματα της χρήσης τους προς το περιβάλλον καθώς και τα ηλεκτρονικά απόβλητα ένα πλέον σοβαρό ζήτημα για το οποίο πρέπει να λάβουμε υπόψη και με ποιον τρόπο πρέπει να διαχειριστούμε τις απορριπτέες συσκευές δικτύου [2,4] .

3.1 Γενικά

Τα συστήματα δικτύωσης σχεδιάζονται σύμφωνα με προδιαγραφές που είναι από τη φύση τους σε αντίθεση με τους στόχους της πράσινης δικτύωσης, όπως η υπερβολική παροχή υπηρεσιών. Από τη μία πλευρά, λόγω της έλλειψης υποστήριξης Quality of Service (QoS) από την αρχιτεκτονική του διαδικτύου, η υπερβολική παροχή είναι μια κοινή πρακτική των δικτύων που έχουν ως αποτέλεσμα να διατηρούν την κίνηση στις ώρες αιχμής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, σε περιόδους χαμηλής επισκεψιμότητας, τα δίκτυα με υπερ παροχή να καταναλώνουν υπερβολική ενέργεια.

Σε ό,τι αφορά την ανθεκτικότητα και την ανοχή των σφαλμάτων, τα δίκτυα σχεδιάζονται επίσης με περιττό τρόπο. Οι συσκευές προστίθενται στην υποδομή του δικτύου με σκοπό να αναλάβουν την αντικατάσταση μιας ελαττωματικής συσκευής η οποία αστοχεί κατά τη λειτουργία της, με αποτέλεσμα στην αύξηση της συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Όμως οι στόχοι αυτοί είναι αντίθετοι με τους περιβαλλοντικούς. Έτσι καθιστούν την πράσινη δικτύωση ένα ενδιαφέρον και τεχνικά προκλητικό πεδίο έρευνας. Αυτό απαιτεί μια σημαντική αλλαγή στην έρευνα και στην ανάπτυξη δικτύων έτσι ώστε να εισαχθεί η ενεργειακή ευαισθητοποίηση στο σχεδιασμό του δικτύου, χωρίς όμως αυτό να φέρει κινδύνους τόσο στην ποιότητα των υπηρεσιών όσο και στην αξιοπιστία του δικτύου [2,4].

3.2 Διαχείριση ενέργειας σε τοπικά δίκτυα

Σε επίπεδο εξοπλισμού, ίσως ο πιο πολλά υποσχόμενος φορέας για τη βελτίωση της βιωσιμότητας των δικτύων αφορά τον ίδιο τον εξοπλισμό δικτύου. Στο πιο θεμελιώδες επίπεδο, τα δίκτυα περιλαμβάνουν συσκευές, δηλαδή εξοπλισμό που βασίζεται στην ηλεκτρική ενέργεια για να εκτελέσει τη λειτουργία του.

Είναι σαφές και απαραίτητο να γίνει αυτός ο εξοπλισμός όσο το δυνατόν πιο ενεργειακά αποδοτικός. Ωστόσο, υπάρχουν άλλοι σημαντικοί τρόποι με τους οποίους ο

εξοπλισμός μπορεί να βοηθήσει τα δίκτυα να γίνουν πιο πράσινα. Αυτό περιλαμβάνει την υποστήριξη λειτουργιών εξοικονόμησης ενέργειας (π.χ. θύρας) που επιτρέπουν τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για πόρους που δεν χρησιμοποιούνται πλήρως.

Όπως επίσης και όργανα που επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση της χρήσης ενέργειας σε διαφορετικά επίπεδα, επιτρέποντας για παράδειγμα εφαρμογές ελεγκτών που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας στο δίκτυο.

Σε επίπεδο πρωτοκόλλου, η ενεργειακή απόδοση και το πράσινο είναι πτυχές που σπάνια λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό πρωτοκόλλων δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν πολλές αναξιοποίητες δυνατότητες. Ορισμένες πτυχές περιλαμβάνουν τη σχεδίαση πρωτοκόλλων με τρόπους που μειώνουν την ανάγκη για περιττή ή άσκοπη μετάδοση δεδομένων για να επιτρέψουν όχι μόνο καλύτερη χρήση του δικτύου, αλλά και μεγαλύτερη απόδοση ανά μονάδα ενέργειας που καταναλώνεται.

Οι τεχνικές περιλαμβάνουν προσεγγίσεις που μειώνουν τον «φόρο επικεφαλίδας» που επιβαρύνει τα ωφέλιμα φορτία καθώς και μεθόδους που έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των άσκοπων αναμεταδόσεων. Ένας άλλος ρόλος των πρωτοκόλλων αφορά τη δυνατότητα της λειτουργικότητας για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε επίπεδο δικτύου, όπως τα πρωτόκολλα ανακάλυψης που επιτρέπουν τη γρήγορη προσαρμογή σε στοιχεία δικτύου που εισάγονται δυναμικά και εκτός λειτουργίας ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου.

Σε επίπεδο δικτύου υπάρχουν και άλλες ευκαιρίες για εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα, η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης μπορεί να περιλαμβάνει την κατεύθυνση της κυκλοφορίας με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει την απομόνωση του εξοπλισμού που μπορεί αυτή τη στιγμή να μην χρειάζεται, ώστε να μπορεί να απενεργοποιηθεί ή να τεθεί σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας.

Με την ίδια λογική, η λειτουργία της κίνησης θα πρέπει να κατευθύνεται με τρόπο που να απαιτεί τη σύνδεση πρόσθετου εξοπλισμού στο διαδίκτυο ή εκτός λειτουργίας εξοικονόμησης ενέργεια σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν διαθέσιμες εναλλακτικές διαδρομές κυκλοφορίας για τις οποίες το πρόσθετο ενεργειακό κόστος θα ήταν μηδενικό.

Ομοίως, ορισμένες συσκευές δικτύωσης μπορεί να είναι μεγαλύτερης ισχύος από άλλες των οποίων η χρήση μπορεί να αποφευχθεί, εκτός εάν απαιτείται για την κάλυψη των απαιτήσεων μέγιστης χωρητικότητας. Φυσικά, ο εξοπλισμός δεν χρησιμοποιείται για να απενεργοποιείται, αλλά για να χρησιμοποιείται στο μέγιστο.

Ωστόσο, η δικτύωση με επίγνωση της ενέργειας μπορεί να έχει σημαντικό ρόλο για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας της χρήσης ενέργειας και τη μείωση της κατανάλωσης όπου είναι δυνατόν. Γενικά, η αυξητική κατανάλωση ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί ως μια μέτρηση κόστους την οποία τα δίκτυα πρέπει να προσπαθήσουν να ελαχιστοποιήσουν και να θεωρήσουν ως μέρος της δρομολόγησης και της βελτιστοποίησης της διαδρομής τους σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν διαθέσιμες εναλλακτικές διαδρομές κυκλοφορίας για τις οποίες το ενεργειακό κόστος θα ήταν μηδενικό.

Πριν γίνει προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας ή για να κατανοηθεί με ποιους τρόπους μπορεί να επιτευχθεί μια τέτοια μείωση, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί πού θα μπορούσαν να σημειωθούν οι μεγαλύτερες βελτιώσεις [5].

Πιο πρόσφατα μελέτες άρχισαν να υποδηλώνουν την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας του πυρήνα του δικτύου. Έτσι για παράδειγμα το 2009 η Deutsche Telekom πρόβλεψε ότι μέχρι το 2017 [2], η κατανάλωση ενέργειας του πυρήνα του δικτύου θα είναι ίση με αυτήν της πρόσβασης στο δίκτυο. Σημαντικό επίσης να αναφερθεί ότι η μελέτη αυτή προβλέπει ότι στην επόμενη δεκαετία θα έχουμε 12πλάσια αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στον πυρήνα του δικτύου κυρίως λόγω των επιπέδων IP/MPLS[2].

Παλαιότερες μελέτες έδειξαν πως τα τοπικά δίκτυα έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην κατανάλωση ενέργειας (80%). Αυτό οφείλεται στον εξοπλισμό που χρησιμοποιούν, όπως για παράδειγμα hub, μεταγωγής και κάρτες δικτύου [2]. Η γνώση αυτή στρέφει τους ερευνητές προς την εξεύρεση λύσεων που βασίζονται :

- στην προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης (Adaptive Link Rate) : αυτό επιτυγχάνεται με συντονισμένη μετάβαση σε κατάσταση sleep με βάση το ρυθμό αφίξεων, προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης των μεταγωγών με

βάση την πληρότητα της ουράς, την αρχιτεκτονική του μεταγωγέα και την τοπολογία του δικτύου.

- τη διεπαφή διαμεσολάβησης: εστιάζουν κυρίως στον τρόπο που η κάρτα δικτύου επικοινωνεί με το υπόλοιπο δίκτυο
- σε εφαρμογές με επίγνωση ενέργειας: τα πρωτόκολλα σε επίπεδο μεταφοράς ή εφαρμογής, όπως το TCP και το telnet, τροποποιούνται και βελτιστοποιούνται [1]

Οι Chilamkurti και άλλοι συγγραφείς [4] ισχυρίζονται πως η πιο ενεργοβόρα συσκευή σε ένα τοπικό δίκτυο είναι ο μεταγωγέας. Αυτό οφείλεται στις σύνθετες διαδικασίες που επιτελεί. Επιπλέον, οι σύγχρονοι μεταγωγείς εισάγουν την τεχνολογία PoE (Power over Ethernet) για να παρέχουν ενέργεια σε άλλες συσκευές, όπως τα access point. Οι λύσεις που προτείνονται για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας περιλαμβάνουν τροφοδοσία υψηλής απόδοσης και χρήση λογισμικού διαχείρισης ενέργειας. Η μελέτη του Sikdar [1] εξετάζει τους μεταγωγείς και τα ασύρματα access point και αναγνωρίζει δύο φάσεις κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που λαμβάνουν χώρα: α) στο στάδιο κατασκευής των συσκευών (εξαγωγή υλικών, επεξεργασία, σύνθεση, συναρμολόγηση, μεταφορά β) στο στάδιο λειτουργίας τους. Η χρήση των συσκευών έχει το μεγαλύτερο μερίδιο κατανάλωσης [1].

3.3 Κατανάλωση ενέργειας από δικτυακές συσκευές (δρομολογητές, μεταγωγής)

Σύμφωνα με την Gartner [4] οι επιτραπέζιοι υπολογιστές και οι οθόνες καταναλώνουν το 39% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στις ΤΠΕ (Τεχνολογία Πληροφορικής & Επικοινωνιών). Το 2002, αυτό ισοδυναμούσε με 220 Mt δηλαδή εκατομμύρια τόνους εκπομπής CO₂. Για να μειωθεί το αποτύπωμα άνθρακα των επιτραπέζιων υπολογιστών, πρέπει πρώτα να γίνεται αποτελεσματική διαχείριση της χρήσης τους.

Οι παλιές οθόνες καθοδικού σωλήνα θα πρέπει να αντικατασταθούν με οθόνες υγρών κρυστάλλων που μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας της οθόνης έως και 80%. Η αντικατάσταση όλων των επιτραπέζιων υπολογιστών με φορητούς υπολογιστές θα επιτύχει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 90%.

Επίσης, εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να γίνει κάνοντας χρήση λογισμικού διαχείρισης ενέργειας που είναι εγκατεστημένο στους επιτραπέζιους υπολογιστές και λειτουργεί συνεχώς. Με τον τρόπο αυτό το λογισμικό εξοικονόμησης ενέργειας αναγκάζει τους υπολογιστές να τίθεται σε κατάσταση αναμονής όταν δεν χρησιμοποιούνται.

Εξετάζοντας την υποδομή ενός τοπικού δικτύου (LAN), η πιο απαιτητική συσκευή είναι ο μεταγωγέας/διακόπτης δικτύου. Οι σύγχρονοι διακόπτες εκτελούν διάφορες εργασίες υποδομής στο δίκτυο με αποτέλεσμα να καταναλώνουν σημαντική ισχύ. Το PoE (Power over Ethernet) είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία που εισάγεται στους σύγχρονους διακόπτες δικτύου.

Οι θύρες διακοπών PoE παρέχουν ισχύ σε συσκευές δικτύου καθώς και για τη μετάδοση δεδομένων. Επίσης χρησιμοποιούνται από τηλέφωνα IP και σε σημεία πρόσβασης ασύρματου δικτύου LAN και άλλο εξοπλισμό που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο. Επιπλέον μπορεί να παρέχει ρεύμα σε μια συνδεδεμένη συσκευή και να μειώσει την ισχύ όταν δεν απαιτείται.

Μια λύση είναι να χρησιμοποιηθεί ένα υψηλής απόδοσης τροφοδοτικό εντός του διακόπτη δικτύου. Ένας τυπικός διακόπτης δικτύου PoE έχει συνδεδεμένο μεγάλο αριθμό συσκευών IEEE Class 3 όπως για παράδειγμα ένα τηλέφωνο, με κάθε συσκευή να καταναλώνει έως και 14,5Watt ισχύος.

Ένας τυπικός διακόπτης υψηλής τεχνολογίας θα έχει περίπου 384 θύρες. Αυτός ο διακόπτης θα απαιτήσει περίπου 5,9 KW ισχύος. Μια τροφοδοσία ισχύος 80% θα απαιτούσε 7,3 KW. Μια τροφοδοσία ισχύος 99% θα απαιτούσε 6,5% KW. Χρησιμοποιώντας ένα τροφοδοτικό υψηλής απόδοσης μπορούμε να εξοικονομήσουμε έως και 800W.

Υποθέτοντας ότι οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο διακόπτη δικτύου ήταν συνεχώς ενεργοποιημένες για ένα χρόνο. Τότε μια τροφοδοσία ισχύος 90% θα μπορούσε να εξοικονομήσει 7200 κιλοβατώρες ετησίως ανά διακόπτη δικτύου. Υποθέτοντας ότι η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από έναν σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα, τότε μια κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας ισοδυναμεί με 0,537kg CO₂.

Επομένως η αύξηση της απόδοσης της τροφοδοσίας του διακόπτη δικτύου από 80 % σε 90% θα έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση 3866kg εκπομπών CO₂ ανά διακόπτη δικτύου ανά έτος. Υποθέτοντας ότι η ηλεκτρική ενέργεια κοστίζει 0,15 \$/κιλοβατώρα, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση περίπου 1080 \$ ανά διακόπτη δικτύου ετησίως μόνο στο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.

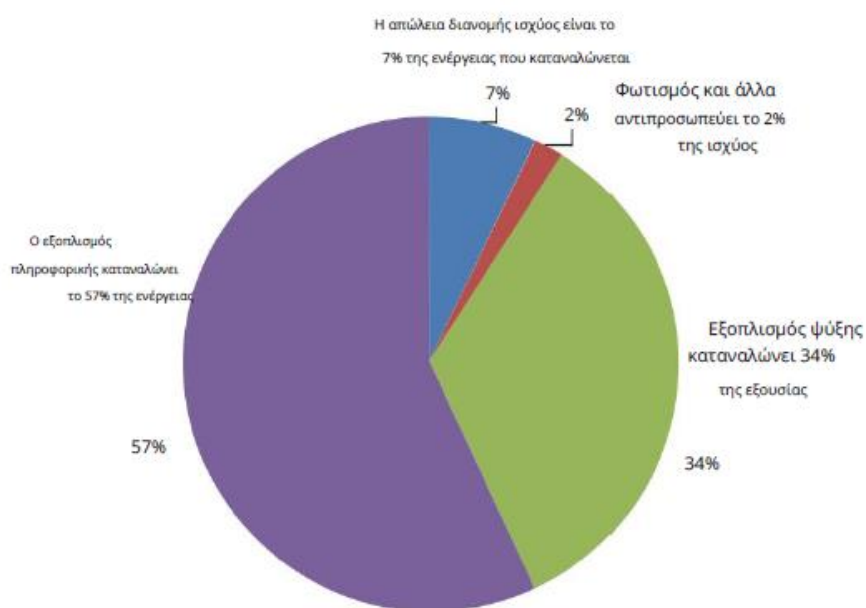
Μια άλλη λύση είναι να χρησιμοποιηθεί λογισμικό διαχείρισης ενέργειας ενσωματωμένο στο μεταγωγέα δικτύου. Με το λογισμικό διαχείρισης ενέργειας, μπορούμε να δώσουμε εντολή στον διακόπτη δικτύου να απενεργοποιεί τις θύρες όταν δεν χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, εάν λάβουμε υπόψη μια συνδεδεμένη συσκευή όπως ένα τηλέφωνο IP που χρησιμοποιήθηκε μόνο κατά τις ώρες γραφείου (9 π.μ. έως 5 μ.μ.). Εάν κάθε τηλέφωνο καταλάωνε 15,4 Watt και ήταν απενεργοποιημένο για περίπου 16 ώρες την ημέρα, αυτό θα ισοδυναμούσε με εξοικονόμηση $15,4 \text{ W} \times 16 \text{ ώρες} \times 365 \text{ ημέρες} = 89.936$ κιλοβατώρες ανά θύρα ανά έτος [4].

Το κύριο πρόβλημα με τα κέντρα δεδομένων, σε ότι αφορά την «Πράσινη Δικτύωση», είναι η μη ορθή χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από τα στοιχεία του κέντρου δεδομένων. Τα κέντρα δεδομένων αποθηκεύουν έναν τεράστιο όγκο δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση από χρήστες, εταιρείες, κυβέρνηση και ακαδημαϊκό κόσμο.

Καθώς η ζήτηση για δεδομένα έχει αυξηθεί, το μέγεθος των κέντρων δεδομένων έχει αυξηθεί. Οι νέοι επεξεργαστές πολλαπλών πυρήνων εκτελούνται με περισσότερο από τετραπλάσια ταχύτητα σε σύγκριση με προηγούμενους επεξεργαστές και χρησιμοποιούν νέες συστοιχίες δίσκων υψηλής ταχύτητας με υψηλή απόδοση. Οι μονάδες δίσκου Fiber Channel 144 gigabyte μπορούν να μειώσουν τη μεταφορά και να βελτιώσουν την απόδοση εντός του Data Center (Κέντρο Δικτύου).

Τα δίκτυα έγιναν πιο χρήσιμα στις καθημερινές επιχειρηματικές δραστηριότητες, απαιτούνταν πρόσθετες υπηρεσίες δικτύου. Απαιτήθηκαν συσκευές υποδομής δικτύου για την υποστήριξη VPN (Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα) και κρυπτογράφηση δεδομένων. Η νέα ολοκληρωμένη δικτυακή υποδομή με τις δικτυακές υπηρεσίες θα καταστήσει το δίκτυο πιο ενεργειακά αποδοτικό και θα μειώσει το αποτύπωμα άνθρακα της υποδομής του δικτύου.

Υπολογίζεται ότι οι διακομιστές χρησιμοποιούν έως και το 30% της μέγιστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας όταν βρίσκονται σε αδράνεια. Τα κύρια στοιχεία της υποδομής δικτύου ενός κέντρου δεδομένων είναι η καλωδίωση δεδομένων και οι μεταγωγής. Οι κατανομές κατανάλωσης ενέργειας σε ένα τυπικό κέντρο δεδομένων φαίνονται στο Σχήμα 3 1[4].



Σχήμα 3 1: Κατανάλωση ενέργειας σε κέντρο δεδομένων. (Πηγή: [4])

3.4 Κατανάλωση ενέργειας σε κέντρα δεδομένων

Τα κέντρα δεδομένων έχουν υψηλή κατανάλωση ενέργειας λόγω της ανάγκης για ψύξη των ηλεκτρονικών συσκευών που χρησιμοποιούνται σε αυτά. Οι συσκευές κλιματισμού που χρησιμοποιούνται επίσης καταναλώνουν ενέργεια για την ενίσχυση της λειτουργίας των κέντρων δεδομένων. Με την μεταφορά των κέντρων δεδομένων σε

ψυχρότερα κλίματα μπορεί να μειωθεί σημαντικά αυτή η δαπάνη ενέργειας. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ψύξη μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη φυσική ροή του νερού των ποταμών ή μέσω του αέρα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί το Καναδικό ερευνητικό κέντρο CANARIE που με την χρήση της εικονικοποίησης (virtualization) έχει μετεγκαταστήσει τα δίκτυα του σε περιοχές με διαθέσιμες πηγές ενέργειας.

Άλλες εταιρείες κολοσσοί του κλάδου της πληροφορικής όπως η Google κινήθηκε προς την ίδια κατεύθυνση. Έτσι λοιπόν η Google μετέφερε τους servers της στις όχθες του ποταμού Κολούμπια έχοντας ως στόχο την εκμετάλλευση της ενέργειας από το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο όπου υπάρχει εκεί. Επιπλέον η ροή του νερού του ποταμού χρησιμοποιείται σαν σύστημα ψύξης.

Η Microsoft με τη σειρά της τοποθέτησε τους servers σε ανοιχτό χώρο για να πετύχει τις ανάγκες για την ψύξη τους. Ενώ η Amazon μετακίνησε τα δικά της κέντρα δεδομένων για επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας. Παρόλο που με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να υπάρξουν διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως ο πολλαπλασιασμός των φυκιών στον ποταμό Κολούμπια αλλά και η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Τέλος, από τεχνικής άποψης μέσω της πράσινης δικτύωσης μπορεί να επιτευχθεί ένας τρόπος για τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας ώστε να εκτελεστεί μια δεδομένη εργασία διατηρώντας το ίδιο επίπεδο απόδοσης .[2]

3.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ενσύρματων και ασύρματων τοπικών δικτύων

Από περιβαλλοντικής άποψης, ο στόχος της πράσινης δικτύωσης στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ένα προφανές πρώτο βήμα προς αυτή την κατεύθυνση είναι να επιβληθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η χρήση των

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις ΤΠΕ. Μια άλλη περίπτωση είναι η σχεδίαση εξαρτημάτων χαμηλής ισχύος, ικανά να προσφέρουν την ίδια απόδοση.

Η ενεργειακή ευαισθητοποίηση ήταν πρωταρχικό μέλημα στο σχεδιασμό των ασύρματων επικοινωνιών από την εμφάνιση των κινητών συσκευών. Οι περισσότερες φορητές συσκευές έχουν περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας και λειτουργούν χρησιμοποιώντας μπαταρίες περιορισμένης τάσης.

Γεγονός που επιβάλλει έναν αυστηρό περιορισμό στη στιγμιαία κατανάλωση ενέργειας που μπορούν να υποστηρίξουν. Ως εκ τούτου, οι περισσότερες κινητές συσκευές και οι ασύρματοι αισθητήρες τείνουν να έχουν χαμηλό κύκλο λειτουργίας. Δηλαδή λειτουργούν μέσω σύντομων περιόδων έντονης απόδοσης, ακολουθούμενες από μεγάλα διαστήματα αδράνειας.

Η χρήση τροφοδοτικών υψηλής απόδοσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε όλες τις συσκευές Data Center. Τα κακής ποιότητας τροφοδοτικά έχουν χαμηλή απόδοση ισχύος. Για κάθε watt ηλεκτρικής ισχύος που καταναλώνεται σε μια συσκευή Data Center, ένα άλλο watt καταναλώνεται αντίστοιχα για την ψύξη. Η επένδυση σε τροφοδοτικά υψηλής απόδοσης μπορεί να διπλασιάσει την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ένα άλλο ζήτημα με το τροφοδοτικό είναι ότι πολύ συχνά οι σχεδιαστές του Data Center υπερεκτιμούν τις ανάγκες τροφοδοσίας. Με πιο ακριβή εκτίμηση των απαιτήσεων ισχύος μιας συσκευής, μπορούμε να επιτύχουμε υψηλή απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας.

Όταν εξετάζουμε τη βελτιωμένη σχεδίαση του Data Center, πρέπει να λάβουμε υπόψη την παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, το σχεδιασμό ψύξης, τη διάταξη καλωδίωσης δεδομένων, τη σχεδίαση UPS καθώς και τη σχεδίαση διακομιστή και αποθήκευσης δεδομένων. Μια νέα προσέγγιση είναι η χρήση ενός αρθρωτού σχεδιασμού Data Center.

Ένας αρθρωτός σχεδιασμός κέντρου δεδομένων είναι ένας σχεδιασμός που βασίζεται σε pod που δημιουργεί ενεργειακά αποδοτικά δομικά στοιχεία που θα μπορούσαν να αντιγραφούν εύκολα σε κέντρα δεδομένων οποιουδήποτε μεγέθους.

Για τη μέτρηση της απόδοσης ενός κέντρου δεδομένων, η πρωτοβουλία Green Grid πρότεινε τη χρήση δύο μετρήσεων:

- Της αποτελεσματικότητας χρήσης ενέργειας (PUE) &
- της απόδοσης υποδομής κέντρου δεδομένων (DCI E).

Το PUE ορίζεται ως η συνολική ισχύς των εγκαταστάσεων συμπεριλαμβανομένων όλων των μονάδων διανομής ισχύος γεννητριών, UPS και συστημάτων ψύξης, διαιρούμενη με την ισχύ εξοπλισμού πληροφορικής συμπεριλαμβανομένου όλου του εξοπλισμού πληροφορικής όπως διακομιστές, συσκευές αποθήκευσης και διακόπτες δικτύου, ενώ το DCI E είναι το αμοιβαίο μέτρο ($1/PUE$) του PUE.

Αυτά τα μέτρα παρέχουν σημεία αναφοράς για τη σύγκριση της συνολικής ενεργειακής απόδοσης ενός κέντρου δεδομένων. Η ιδανική τιμή PUE είναι 1,0 που αντιστοιχεί σε ένα κέντρο δεδομένων όπου όλη η ισχύς του ηλεκτρικού δικτύου που παρέχεται σε ένα κέντρο δεδομένων αφιερώνεται σε εξοπλισμό πληροφορικής και δεν χρησιμοποιείται ρεύμα για ψύξη και διανομή ισχύος.

Με την ευρυζωνικότητα σε κάθε σπίτι, θα είναι εύκολο να εργάζεστε από το σπίτι. Η νέα υποδομή «Πράσινου Δικτύου» θα είναι μια οπτική ίνα στο ευρυζωνικό δίκτυο με συνδέσεις υψηλής ταχύτητας τόσο σε νοικοκυριά όσο και σε επιχειρήσεις, επιτρέποντας νέες βελτιωμένες, ενεργειακά αποδοτικές εφαρμογές χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Από την άποψη της πράσινης δικτύωσης, το «Cloud Computing» προσφέρει την υπόσχεση συσκευών χαμηλής ισχύος που καταναλώνουν λίγη ηλεκτρική ενέργεια και συνδέονται σε δίκτυα «Cloud» υψηλής απόδοσης που έχουν βελτιστοποιηθεί για ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική ενέργεια και οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν συνεχώς ποικίλες ποσότητες ενέργειας. Τα ευρυζωνικά δίκτυα μπορούν να παρακολουθούν αυτή την ισχύ και να ενσωματώνουν καλύτερα την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Επίσης σημαντικό να αναφερθεί το περιβαλλοντικό όφελος της τηλεδιάσκεψης. Οι εταιρείες καλούνται να κάνουν λιγότερα ταξίδια. Αντί να ταξιδεύουν σε συσκέψεις σε

όλο τον κόσμο, τέτοιες συναντήσεις διεξάγονται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της τηλεδιάσκεψης. Η ποιότητα της τηλεδιάσκεψης έχει βελτιωθεί σημαντικά με τα χρόνια μαζί με τον καλύτερο συγχρονισμό ήχου και βίντεο σε αντίθεση με τα προηγούμενα συστήματα τηλεδιάσκεψης.

Κλείνοντας καταλήγουμε ότι τα ηλεκτρονικά απόβλητα είναι ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη ως μέρος της ΑΚΖ προγράμματα όπως το Byteback βοηθούν στην περιβαλλοντική απόρριψη συσκευών δικτύου. Το Byteback είναι ένα δωρεάν πρόγραμμα ανάκτησης υπολογιστή που βοηθά τους ανθρώπους να απορρίπτουν εξοπλισμό στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Οι υπεύθυνες εταιρείες υπολογιστών επιτρέπουν στους πελάτες να επιστρέφουν προϊόντα στο τέλος του κύκλου ζωής τους χωρίς κόστος. Αυτά τα προγράμματα είναι συμβατά με τους νόμους ανακύκλωσης WEEE (Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού) και ROHS (Περιορισμός Επικίνδυνων Ουσιών)[4].

3.6 Μετρικές αξιολόγησης ενεργειακής κατανάλωσης στα δίκτυα

Τα δίκτυα καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας και έτσι συμβάλλουν στις εκπομπές του θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, η βιομηχανία δικτύωσης έχει να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας, δηλαδή την ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος άνθρακα και τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση της κατανάλωσης ενέργειας, της ενεργειακής απόδοσης και του αποτυπώματος άνθρακα που σχετίζονται με ένα δίκτυο, αποτελούν οι μετρικές. Οι μετρικές, αποτυπώνουν την πραγματική εικόνα και παρέχουν ορατότητα για την πραγματική κατανάλωση ενέργειας που συμβαίνει σε ένα δίκτυο και να είναι σε θέση να αποδώσουν αυτή την κατανάλωση στην πηγή που την προκαλεί.

Η IEFΤ ορίζει ένα σύνολο δεικτών (μετρικών) που διευκολύνουν το έργο της αξιολόγησης της «φιλικότητας» των δικτύων προς το περιβάλλον και αποτελούν τη βάση για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, του αποτυπώματος άνθρακα και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των δικτύων και των παρεχόμενων υπηρεσιών. Οι δείκτες αυτοί επιτρέπουν την αξιολόγηση των παραγόντων που σχετίζονται με το

περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός δικτύου και αποτελούν γνώμονα για πιθανές βελτιστοποιήσεις και μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Επιπλέον, επιτρέπουν την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων που λαμβάνονται, όπως και τη δημιουργία βρόχων συνεχούς ελέγχου.

Πρέπει να είναι σαφές ποιες είναι οι κατάλληλες μετρήσεις για τις οποίες θα ενδιαφέρονται οι πάροχοι δικτύου και για τις οποίες οι εφαρμογές θα επιδιώξουν να βελτιστοποιήσουν. Ένα σύνολο μετρήσεων που επιτρέπει την αξιολόγηση του «πράσινου» των δικτύων και που αποτελούν τη βάση για τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, του αποτυπώματος άνθρακα και της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας των δικτύων και των παρεχόμενων υπηρεσιών [8].

Αυτές οι μετρήσεις προορίζονται να χρησιμεύσουν στη βάση για πιθανές μεταγενέστερες δραστηριότητες τυποποίησης IETF, ή οι επεκτάσεις πρωτοκόλλου ελέγχου που σχετίζονται με την ενέργεια.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις που εισάγονται εδώ δεν προορίζονται για χρήση για τη διαχείριση εφαρμογών όπως η τροφοδοσία μέσω Ethernet, οι απαιτήσεις και τα όργανα για τις οποίες έχουν οριστεί σε άλλα περιβάλλοντα .

- **Σε επίπεδο συσκευής εξοπλισμού:** Αφορά το σύνολο της κατανάλωσης ενέργειας ενός συστήματος εξοπλισμού και εξαρτημάτων, όπως για παράδειγμα κάρτες γραμμής ή μεμονωμένες θύρες.
- **Σε επίπεδο ροής:** Αφορά μετρήσεις που αποδίδουν το αποτύπωμα άνθρακα μιας συσκευής σε μία ροή δεδομένων ή μετρήσεις που συγκεντρώνουν την κατανάλωση ενέργειας των πακέτων σε όλη τη ροή.
- **Σε επίπεδο μονοπατιού:** Αυτές οι μετρήσεις πιστοποιούν το αποτύπωμα άνθρακα από άκρη σε άκρη των μονοπατιών, συλλέγοντας την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται όταν επιλέγεται η διαδρομή αυτή.
- **Σε επίπεδο δικτύου:** Αυτές οι μετρήσεις συγκεντρώνουν μετρήσεις βιωσιμότητας σε ένα δίκτυο για να παρέχουν μια ολιστική εικόνα ως σύστημα. Δηλαδή περιλαμβάνει την ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο στο σύνολο του [8].

4 Πειραματική Μελέτη

4.1 Εισαγωγικά

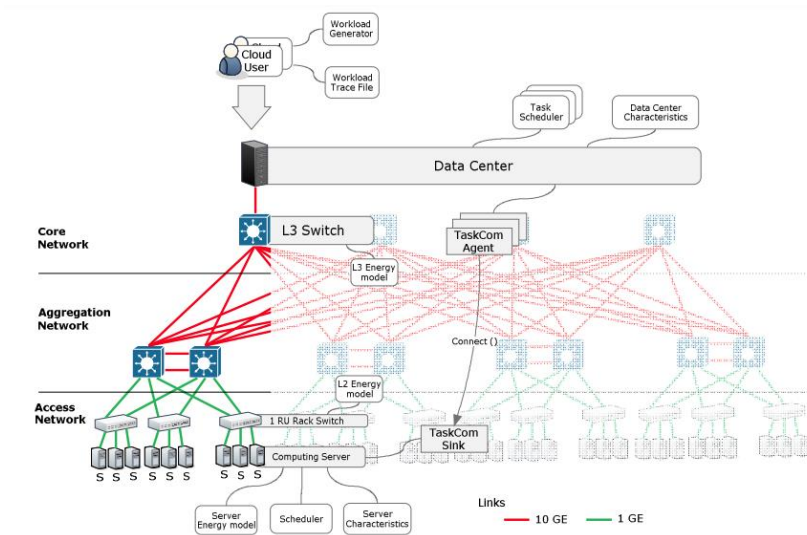
Το Cloud Computing γνώρισε μεγάλη αποδοχή στις μέρες μας και για την ανάπτυξή και διάθεση των υπηρεσιών του έχουν δημιουργηθεί πολλά κέντρα δεδομένων ανά τον κόσμο. Στα κέντρα δεδομένων, οι υπολογιστικές συσκευές, ο δικτυακός εξοπλισμός, αλλά και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την ψύξη καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Η αυξανόμενη ζήτηση για κέντρα δεδομένων εντείνει τις ενεργειακές απαιτήσεις για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων τους και πολλαπλασιάζει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με την αναφορά του International Energy Agency (IEA) [11] τα κέντρα δεδομένων καταναλώνουν το 2% της παγκόσμιας χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας (460TWh για το 2022). Στην ίδια αναφορά εκτιμάται ότι η ζήτηση θα αυξηθεί σε 650TWh έως και 1.050TWh.

Αυτές οι ανησυχητικές προβλέψεις αποτελούν το κίνητρο για να εξετάσουμε τρόπους μετριασμού της κατανάλωσης ενέργειας στα κέντρα δεδομένων. Για το σκοπό αυτό θα αξιοποιηθεί το εργαλείο GreenCloud που προσομοιώνει μια αρχιτεκτονική που επιτυγχάνει εξοικονόμηση ενέργειας έως και 27% [12].

4.2 Ο προσομοιωτής GreenCloud

Το Green Cloud είναι ένας εξελιγμένος προσομοιωτής επιπέδου πακέτων δεδομένων με έμφαση στις επικοινωνίες cloud και τα κέντρα δεδομένων. Προσφέρει λεπτομερή και αναλυτική μοντελοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό πληροφορικής των κέντρων δεδομένων, όπως τους διακόπτες δικτύου, τους υπολογιστικούς διακομιστές και τις συνδέσεις επικοινωνίας που αναπτύσσονται σε μια αρχιτεκτονική τριών επιπέδων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4 1.

Το Green Cloud μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων, την παρακολούθηση και κατανομή πόρων, τον προγραμματισμό φόρτου εργασίας καθώς και τη βελτιστοποίηση πρωτοκόλλων επικοινωνίας και των δικτυακών υποδομών.



Σχήμα 4 1: Η αρχιτεκτονική του προσομοιωτή Green Cloud.(Πηγή:[10])

Μπορεί να προσομοιώσει υπάρχοντα κέντρα δεδομένων, έχοντας την ικανότητα καθοδήγησης, επέκτασης καθώς και τον σχεδιασμό μελλοντικών εγκαταστάσεων κέντρων δεδομένων.

Με την εκτέλεση του σεναρίου προσομοίωσης υπολογίζονται μετρικές σχετικά με:

- την κατανάλωση ενέργειας
- την απόδοση του συστήματος
- τον φόρτο του συστήματος ή των συστατικών του

Ο προσομοιωτής Green Cloud παρέχει τη δυνατότητα γραφικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων σχετικά με τη συνολική ενέργεια που καταναλώνεται από διαφορετικά συστήματα πληροφορικής των κέντρων δεδομένων.

4.3 Πειραματικές μετρήσεις

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος Green Cloud για τα ακόλουθα δύο σενάρια:

4.3.1 Σενάριο 1^ο

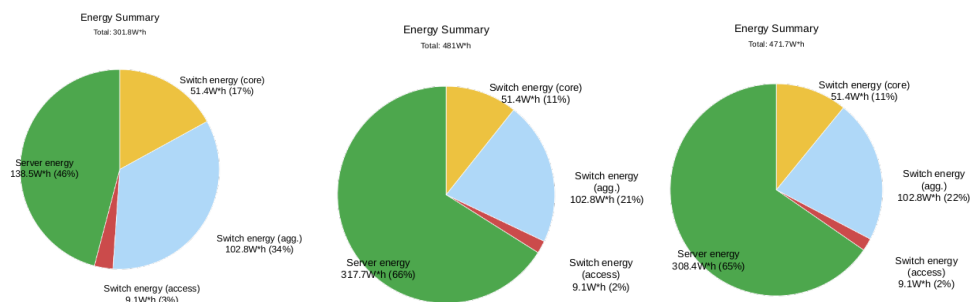
Δημιουργείται ένα κέντρο δεδομένων και εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές πολιτικές διαχείρισης των εργασιών: Green, Round Robin και Random. Οι τρεις τεχνικές χρονοπρογραμματισμού (Round Robin(RR), Random και ο Green) καθορίζουν τον τρόπο ανάθεσης εργασιών στους servers. Οι δυο πρώτοι χρόνο προγραμματιστές λαμβάνουν ομοιόμορφες αποφάσεις, είτε κατανέμοντας κυκλικά εργασίες στις μηχανές(RR), είτε επιλέγοντας μια τυχαία μηχανή από τυχαία κατανομή Random, η οποία είναι ομοιόμορφη και προεπιλεγμένη. Ο τελευταίος προγραμματιστής (Green) κάνει μια απλή ενοποίηση, αναζητώντας τον πρώτο πάροχο στη λίστα εισόδου που μπορεί να ολοκληρώσει με επιτυχία μια εργασία .

Στόχος αυτού του πειράματος είναι να διερευνήσουμε την κατανομή της ενεργειακής κατανάλωσης στις συσκευές του δικτύου και στους servers. Η αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων αξιολογείται με τη χρήση διάφορων μετρικών όπως, κατανάλωση ενέργειας ανά συσκευή, φόρτος ανά εξυπηρετητή και συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Οι παράμετροι του προσομοιωμένου δικτύου περιγράφονται στο Σχήμα 4 2

Simulation duration (sec.): 65.5	
Datacenter architecture:	three-tier debug
Switches (core):	1
Switches (agg.):	2
Switches (access):	3
Servers:	144
Users:	1
Power mode (servers):	DVFS DNS
Power mode (switches):	DVFS
task.mips:	300000
task.memory:	1000000
task.storage:	0
task.size:	8500
task.outputsize:	5500

Σχήμα 4 2:Παράμετροι δικτύου



Σχήμα 4 3: Κατανάλωση ενέργειας για τα μοντέλα Green, Round-Robin, Random

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4 3 σε όλα τα μοντέλα, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας δαπανάται στους servers (48%, 66% και 65% αντίστοιχα για τα ενεργειακά μοντέλα Green, Round-Robin, και Random). Τα Access switch έχουν τη χαμηλότερη κατανάλωση (2%-3%). Τέλος, η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας αντιστοιχεί στο μοντέλο Green (301,8kWh).

4.3.2 Σενάριο 2ο

Θεωρώντας ως μοντέλο διαχείρισης εργασιών το «Green» που εφαρμόζεται σε ένα κέντρο δεδομένων, μεταβάλλουμε το πλήθος των τερματικών συσκευών. Το κέντρο δεδομένων αποτελείται από 1 core switch, 2 aggregation switches, 3 access switches με τον αριθμό των servers να κυμαίνεται από 144 έως 768. Αναλυτικά οι παράμετροι εκτέλεσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 4 4. Για την περίπτωση αυτή καταγράφηκαν η κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία εξοπλισμού, το μέσο φορτίο εργασιών ανά Server, το συνολικό φορτίο, η χρήση μνήμης και ο φόρτος των συνδέσμων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 1 και στο Σχήμα 4 5. Όπως διαπιστώνουμε η κατανάλωση ενέργειας είναι ανάλογη του αριθμού των servers, με την υψηλότερη να φθάνει στα 441.7KWh για τους 768 servers ενώ την χαμηλότερη να φθάνει στα 106.77KWh για 144 servers.

```

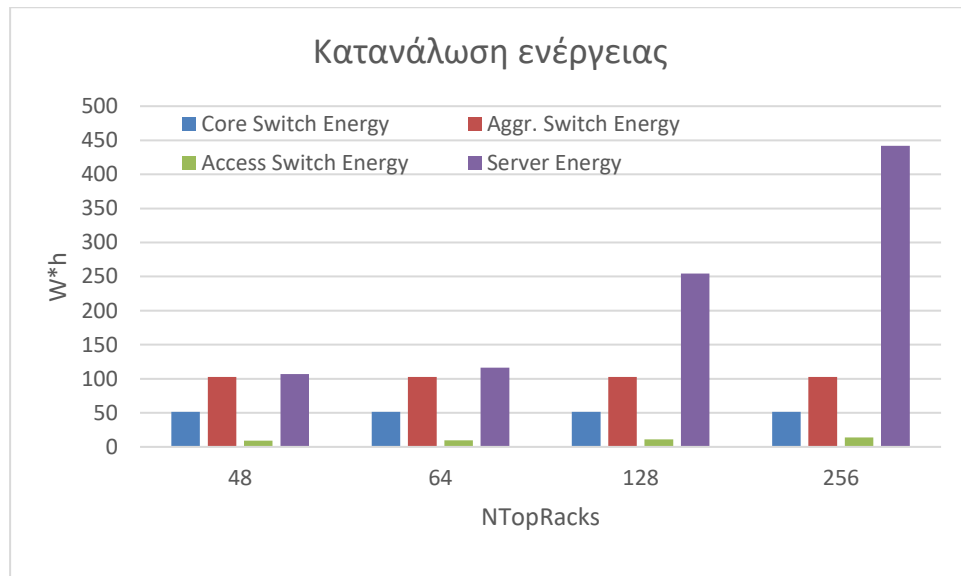
Datacenter architecture: three-tier debug
Switches (core): 1
Switches (agg.): 2
Switches (access): 3
Servers: 768
Users: 1
Power mode (servers): DVFS DNS
Power mode (switches): DVFS
task.mips: 300000
task.memory: 1000000
task.storage: 0
task.size: 8500
task.outputsize: 250000

```

Σχήμα 4 4: Παράμετροι του προγράμματος προσομοίωσης

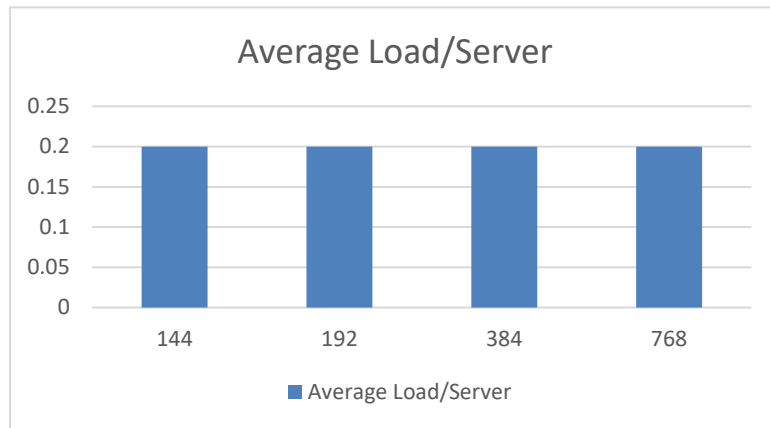
Πίνακας 4 1: Τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του 2ου σεναρίου

Servers	Average Load / Server	Data Center Load	Total Tasks	Average tasks/server	Total Energy	Core Switch Energy	Aggr. Switch Energy	Access Switch Energy	Server Energy
144	0.2	19.90%	25050	174	270	51.4	102.8	9.1	106.7
192	0.2	16.20%	27269	142	279.9	51.4	102.8	9.5	116.2
384	0.2	17.90%	60090	156.5	419.5	51.4	102.8	10.9	254.4
768	0.2	15.50%	104294	135.8	609.8	51.4	102.8	13.9	441.7



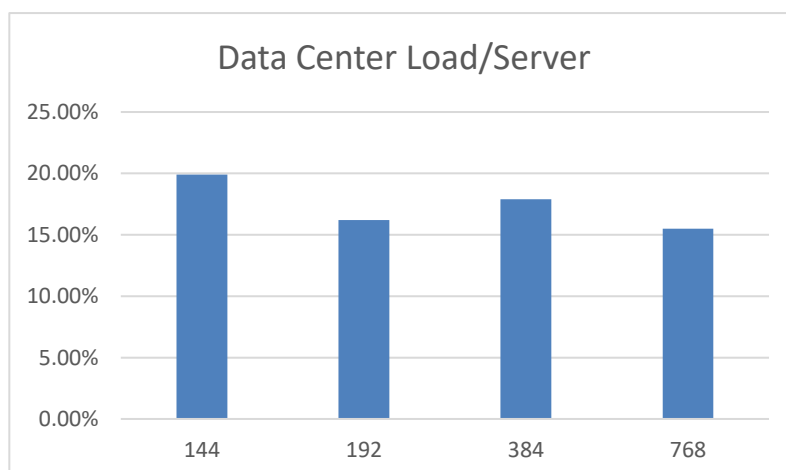
Σχήμα 4 5: Κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία εξοπλισμού ενός κέντρου δεδομένων

Στο Σχήμα 4 6 παρατηρούμε το μέσο φορτίο ανά διακομιστή(Server). Το οποίο είναι σταθερό για όλες τις περιπτώσεις και δεν επηρεάζεται από το πλήθος των διακομιστών (Server) όπου και εξετάσαμε .



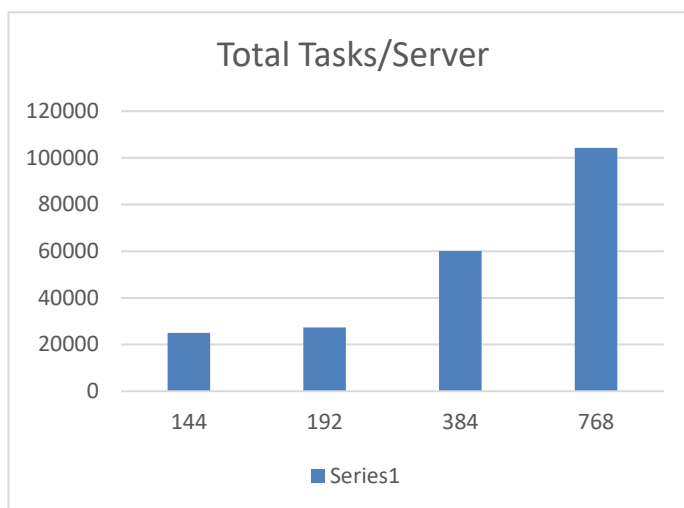
Σχήμα 4 6:Κατανάλωση ενέργειας μέσω φορτίου ανά διακομιστή

Εν συνεχεία γίνεται η καταγραφή του φορτίου των κέντρων δεδομένων (Data Center Load) ανά διακομιστή(Server). Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 4 7, στην περίπτωση των 144 διακομιστών υπάρχει μια αύξηση στο 19.9% σε σχέση με την περίπτωση των 768 διακομιστών όπου ο φόρτος μειώνεται στο 15.5%



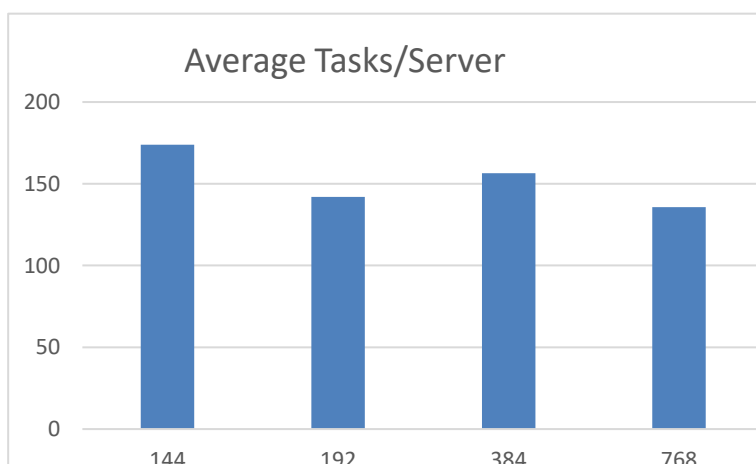
Σχήμα 4 7:Κατανάλωση ενέργειας των κέντρων δεδομένων ανά διακομιστή

Στο Σχήμα 4 8 καταγράφονται οι μέσες εργασίες ανά διακομιστή. Παρατηρούμε την κυμαινόμενη αύξηση των εργασιών ανά διακομιστή. Δηλαδή για τους 144 και τους 348 servers οι εργασίες που εκτελούνται είναι 174 και 156,5 αντίστοιχα. Ενώ για τους 192 και 768 servers υπάρχει μια πτώση στις 142 και 135 εργασίες αντίστοιχα .

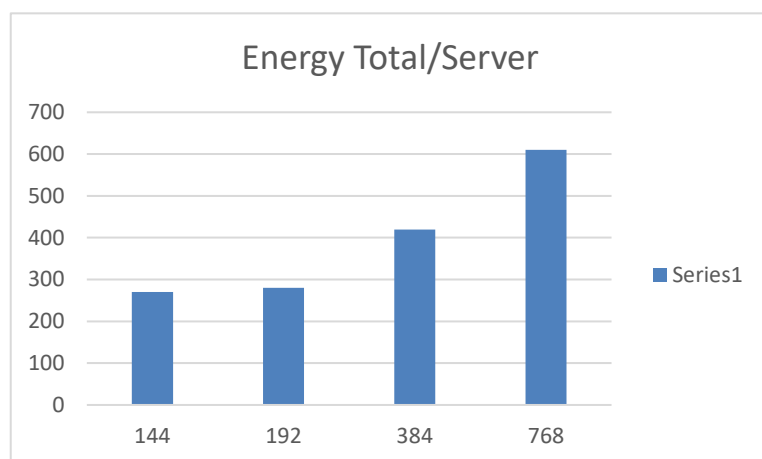


Σχήμα 4 8: Κατανάλωση ενέργειας των συνολικών εργασιών ανά διακομιστή

Παρατηρώντας στο Σχήμα 4 9 που καταγράφηκαν οι μετρήσεις των συνολικών εργασιών ανά διακομιστή, παρατηρούμε μια αύξηση των συνολικών εργασιών τους. Έτσι δηλαδή για τους 144 και 192 servers υπάρχει μια μικρή αύξηση των εργασιών που εκτελούνται ανά διακομιστή από τις 25050 στις 27269 αντίστοιχα. Ενώ για τους 384 και 768 servers υπάρχει μια ραγδαία αύξηση των εργασιών ανά διακομιστή από τις 60090 στις 104294 αντίστοιχα

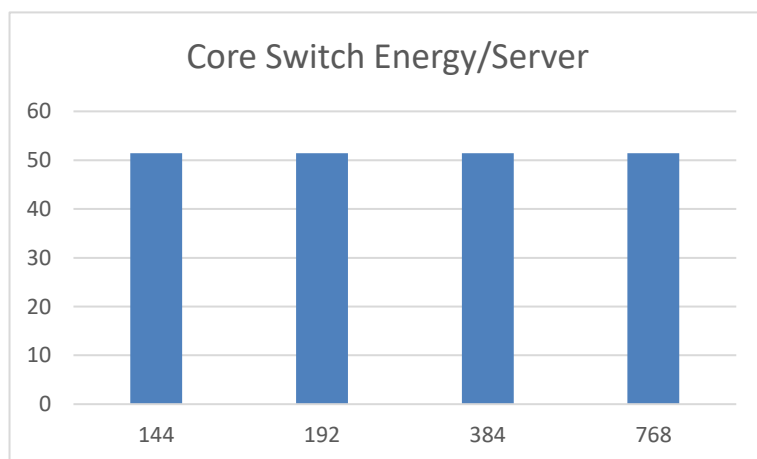


Σχήμα 4 9: Κατανάλωση ενέργειας ανά διακομιστή



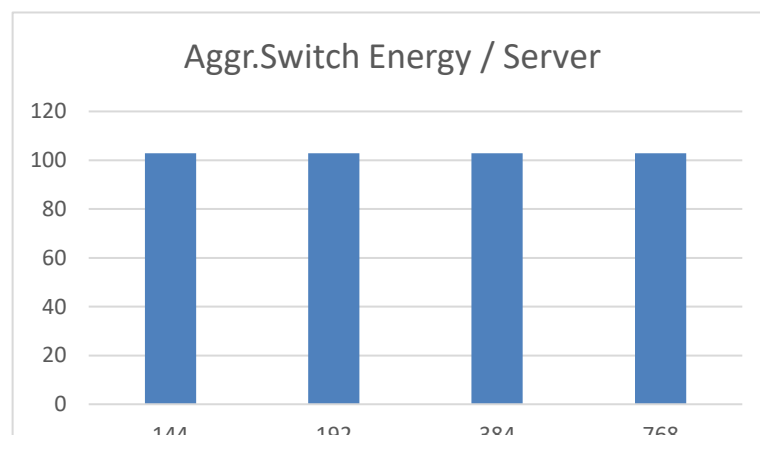
Σχήμα 4 10:Συνολική κατανάλωση ενέργειας

Στο Σχήμα 4 10 δίνεται οι συνολική ενέργεια που καταναλώνεται ανά διακομιστή. Έτσι λοιπόν όσο περισσότεροι διακομιστές είναι σε λειτουργία, τόσο περισσότερη ενέργεια χρειάζεται να καταναλώνει το δίκτυο. Χαρακτηριστικά για τους 144 διακομιστές υπάρχει μια κατανάλωση ενέργειας των 270 (w*h) και για τους 768 διακομιστές η κατανάλωση είναι 609,8 (w*h) .



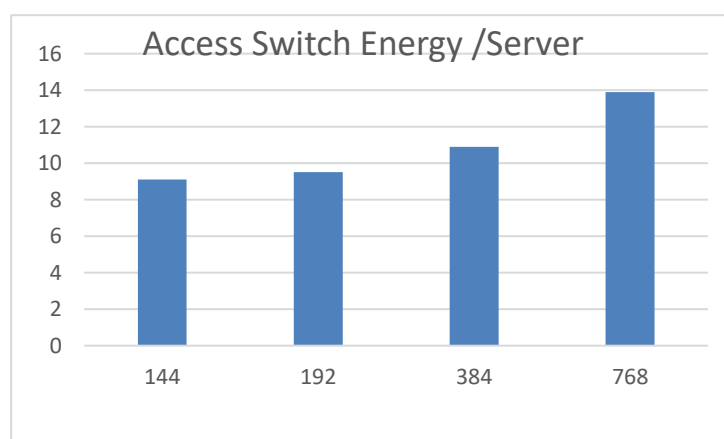
Σχήμα 4 11:Κατανάλωση ενέργειας των core switch ανά διακομιστή

Στα Σχήματα 4 11 και 4 12 γίνεται αναφορά της ενέργειας των core switch και των aggregation switch ανά διακομιστή. Έτσι λοιπόν παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας είναι ίδια για όλες τις περιπτώσεις διακομιστών και δεν σχετίζεται με τον αριθμό τους.



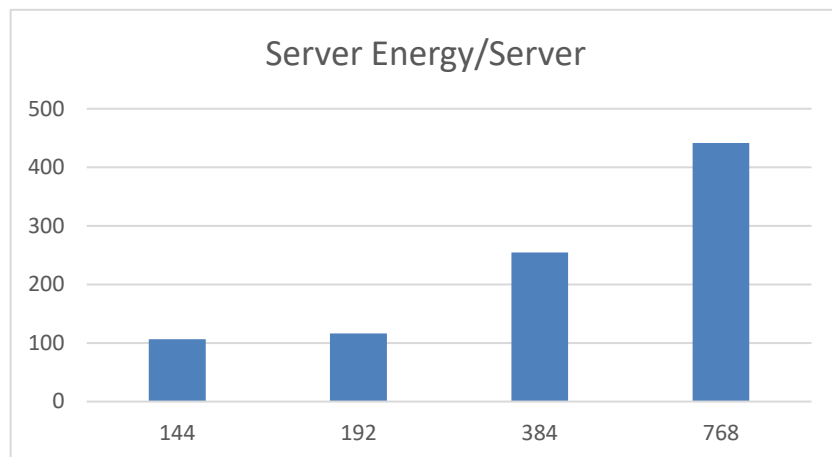
Σχήμα 4 12: Κατανάλωση ενέργειας των aggregation switch ανά διακομιστή

Σε αντίθεση με τα access switch που παρατηρούμε στο Σχήμα 4 13 βλέπουμε την αύξηση της ενέργειας όσο γίνεται η χρήση περισσότερων αριθμών διακομιστών.



Σχήμα 4 13: Κατανάλωση ενέργειας των access switch ανά

Τέλος, στο Σχήμα 4 14 δίνονται οι μετρήσεις για την ενέργεια που καταναλώνεται από τους διακομιστές. Όσο περισσότεροι διακομιστές χρησιμοποιούνται σ' ένα δίκτυο, τόση περισσότερη ενέργεια χρειάζεται να καταναλώσουν.



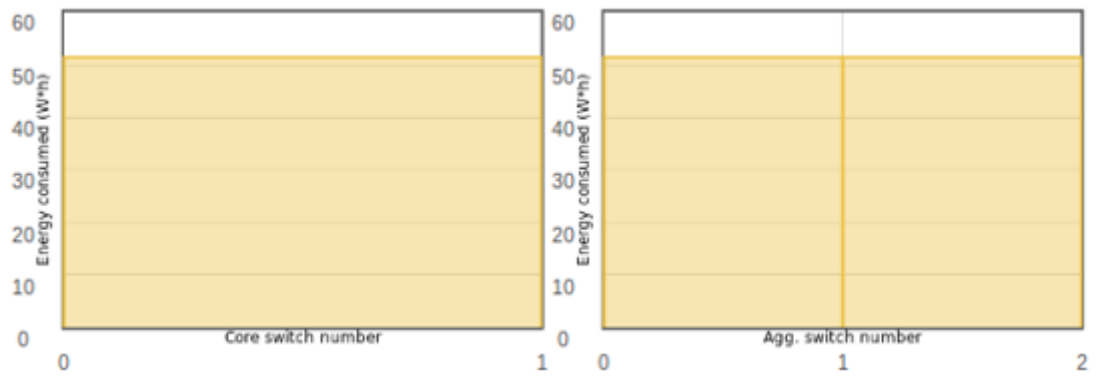
Σχήμα 4 14: Κατανάλωση ενέργειας των διακομιστών

Ενδεικτικά θα δούμε ακόμη ορισμένες γραφικές παραστάσεις αναφορικά με την κατανάλωση ενέργειας για τους 144 και 768 servers για χρόνο εκτέλεσης 60 δευτερολέπτων.

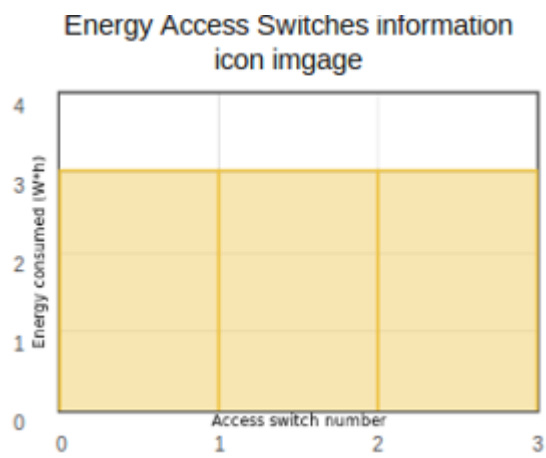
Στατιστικά κατανάλωσης ενέργειας για τους 144 servers



Σχήμα 4 15(α): Κατανάλωση ενέργειας ανά αριθμό διακομιστή, (β): Κατανάλωση ενέργειας συναρτήσει του χρόνου προσομοίωσης

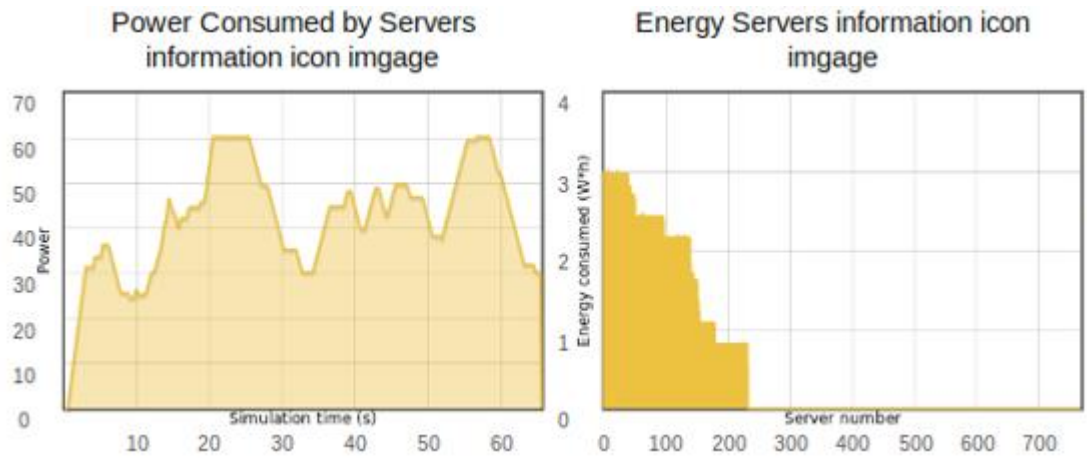


Σχήμα 4 16(α): Κατανάλωση ενέργειας (w*h) ανά agg. Switch, (β): Κατανάλωση ενέργειας (w*h) ανά αριθμό core switch

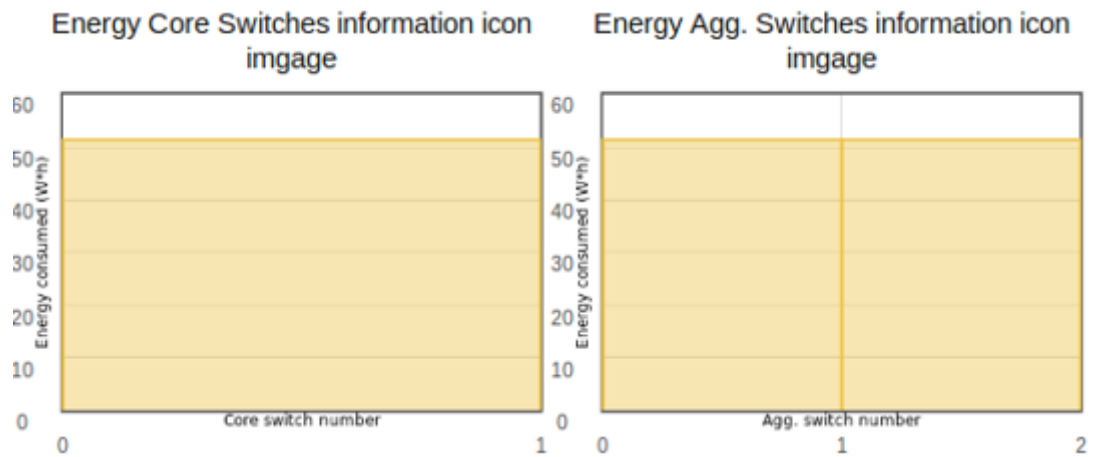


Σχήμα 4 17: Κατανάλωση ενέργειας (w*h) ανά access switch

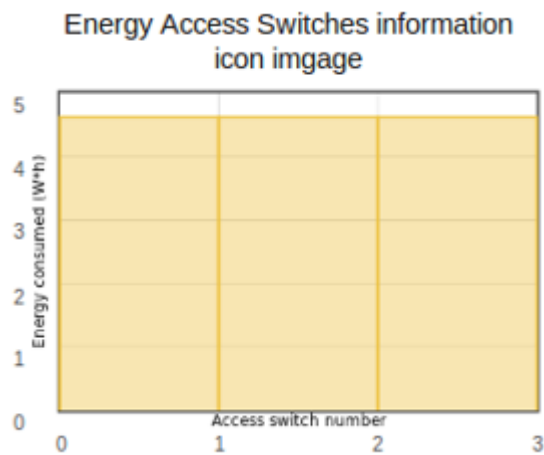
Στατιστικά κατανάλωσης ενέργειας για τους 768 servers



Σχήμα 4 18(α): Κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, (β): Κατανάλωση ενέργειας ανά Server



Σχήμα 4 19: Κατανάλωση ενέργειας ($w \cdot h$) ανά agg. Switch, (β): Κατανάλωση ($w \cdot h$) ανά core switch



Σχήμα 4 20: Κατανάλωση ενέργειας ($w \cdot h$) ανά access switch

5 Συμπεράσματα- Προτάσεις

Σε αυτή την εργασία έγινε μια εισαγωγή στην Πράσινη δικτύωση και μελετήθηκαν περιπτώσεις δικτύων που συμβάλλουν στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Διαπιστώθηκε ότι οι δικτυακές συσκευές και τα κέντρα δεδομένων έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην κατανάλωση ενέργειας. Η ενέργεια καταναλώνεται είτε για την επεξεργασία των δεδομένων, είτε για τη μεταφορά και παράδοση στους τελικούς προορισμούς. Οι ερευνητές προτείνουν διάφορες μετρικές για να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα των δικτύων και των τεχνολογιών που υλοποιούν με γνώμονα την μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα πλαίσια, αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο προσομοιωτής GreenCloud για να εξετάσει διάφορα σενάρια υλοποίησης κέντρων δικτύων και ανάθεσης εργασιών στους διακομιστές. Διαπιστώθηκε πως η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να επέλθει με τη χρήση προηγμένων αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού εργασιών

Συνοψίζοντας, η μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος στον τομέα της δικτύωσης μπορεί να γίνει με δυο τρόπους, αφενός με διαχείριση των επιπτώσεων αυτών καθαυτών των τεχνολογιών και βελτιστοποιώντας αυτές στο μέγιστο δυνατό βαθμό, και αφετέρου αποδίδοντας καθοριστικό ρόλο για συντονισμό με τους υπόλοιπους κλάδους της οικονομίας και της κοινωνίας με σκοπό τη μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπής ρύπων. Η μείωση των εκπομπών άνθρακα απαιτεί αλλαγές στην καθημερινότητα και τη συμπεριφορά μας και ταυτόχρονα προσφέρει στις επιχειρήσεις την ευκαιρία για την ανάπτυξη πράσινης επιχειρηματικότητας, ανοίγοντας έτσι τον δρόμο προς νέες αγορές.

Στόχος για τα επόμενα χρόνια είναι:

- οι δικτυακές συσκευές αλλά και οι προσφερόμενες υπηρεσίες των δικτύων να γίνουν περισσότερο αποδοτικές σε ενεργειακό επίπεδο.
- να ενταθεί η ερευνητική προσπάθεια στον τομέα της δικτύωσης και των τηλεπικοινωνιών για τη δημιουργία μιας νέας προοπτικής ανάπτυξης φιλική προς το περιβάλλον.

Άλλωστε, η ερευνητική κοινότητα καταβάλλει προσπάθειες για τη μείωση της ενεργειακής σπατάλης στις υποδομές των δικτύων στοχεύοντας στην «πράσινη δικτύωση» και εφαρμόζοντας συγκεκριμένες πρακτικές, όπως:

- (i) προσαρμοστικός ρυθμός σύνδεσης,
- (ii) διαμεσολάβηση διεπαφής,
- (iii) υποδομή με ενεργειακή επίγνωση και
- (iv) εφαρμογές με ενεργειακή επίγνωση.

Η μελλοντική πρόοδος της δικτύωσης θα πρέπει ολοένα και περισσότερο να επικεντρωθεί στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στην μείωση του αποτυπώματος άνθρακα, τόσο για οικονομικούς λόγους όσο και για όλους εταιρικής ευθύνης. Αυτή η στροφή έχει ήδη ξεκινήσει και η βιωσιμότητα έχει γίνει ήδη σημαντικό μέλημα για τους παρόχους δικτύων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.]Sikdar, B., 2013. A study of the environmental impact of wired and wireless local area network access. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 59(1), pp.85-92.
- [2.]Bianzino, A.P., Chaudet, C., Rossi, D. and Rougier, J.L., 2010. A survey of green networking research. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(1), pp.3-20.
- [3.]Jiménez-Lázaro, M., Herrera, J.L., Berrocal, J. and Galán-Jiménez, J., 2022. Improving the energy efficiency of software-defined networks through the prediction of network configurations. *Electronics*, 11(17), p.2739.
- [4.]Vishwanath, A., Hinton, K., Ayre, R.W. and Tucker, R.S., 2014. Modeling energy consumption in high-capacity routers and switches. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 32(8), pp.1524-1532.
- [5.]Westphal, C. and Clemm, A., 2023, February. Optimization Framework for Green Networking. In *2023 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)* (pp. 581-585). IEEE.

- [6.] Welzl, M., Alay, O., Teymoori, P. and Islam, S., 2022. Reducing Green House Gas Emissions With Congestion Control.
- [7.] Qi, J., Lai, C., Xu, B., Sun, Y. and Leung, K.S., 2018. Collaborative energy management optimization toward a green energy local area network. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(12), pp.5410-5418.
- [8.] <https://www.ietf.org/archive/id/draft-cx-opsawg-green-metrics-00.html>
- [9.] [Maaloul, R., Chaari, L. and Cousin, B., 2018. Energy saving in carrier-grade networks: A survey. *Computer Standards & Interfaces*, 55, pp.8-26.]
- [10.] Kliazovich, D., Bouvry, P. and Khan, S.U., 2012. GreenCloud: a packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers. *The Journal of Supercomputing*, 62, pp.1263-1283.
- [11.] Gooding M., Global data center electricity use to double by 2026 - IEA report, 2024, <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/global-data-center-electricity-use-to-double-by-2026-report/>
- [12.] Liu, L., Wang, H., Liu, X., Jin, X., He, W.B., Wang, Q.B. and Chen, Y., 2009, June. GreenCloud: a new architecture for green data center. In *Proceedings of the 6th international conference industry session on Autonomic computing and communications industry session* (pp. 29-38).
- [13.] Chowdhury, S.M. and Hossain, A., 2020. Different energy saving schemes in wireless sensor networks: A survey. *Wireless Personal Communications*, 114(3), pp.2043-2062.
- [14.] Wang, X., Hou, W., Guo, L., Cao, J. and Jiang, D., 2011. Energy saving and cost reduction in multi-granularity green optical networks. *Computer Networks*, 55(3), pp.676-688.
- [15.] Rong, H., Zhang, H., Xiao, S., Li, C. and Hu, C., 2016. Optimizing energy consumption for data centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, pp.674-691.

