

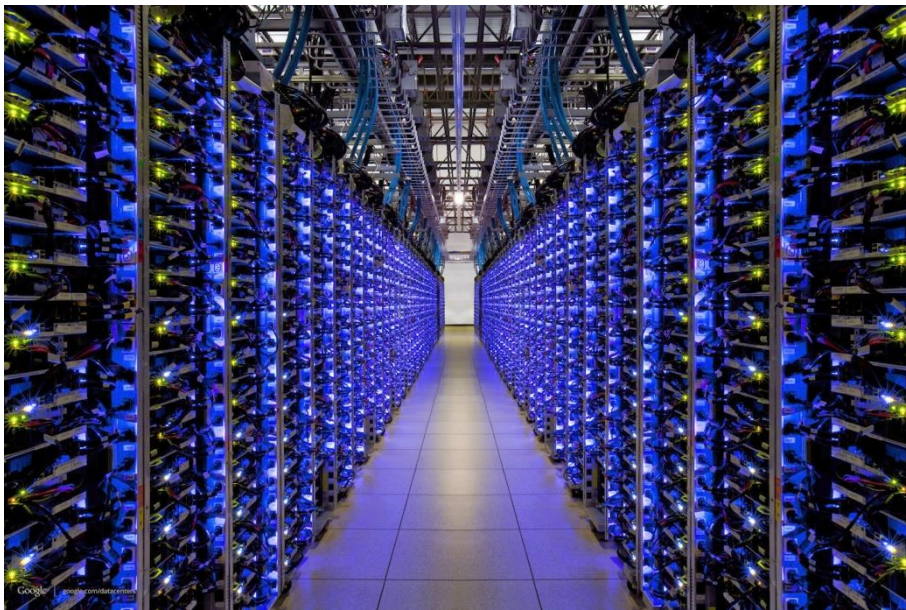
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Data Centers

---

## ENERGY SAVING AT DATA CENTER



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:  
ΚΑΤΡΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ:  
6053

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΣΑΚΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Φεβρουάριος 2019

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κ. Σακκά Νικόλαο για την στήριξη και τις συμβουλές στην διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς και συγγενείς και φίλους που με βοήθησαν και με στήριξαν.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μια ερευνητική ανάλυση της εξοικονόμησης ενέργειας στα DataCenters. Οι στόχοι της εργασίας αυτής είναι η κατανόηση της λειτουργίας των Κέντρων Δεδομένων, η εκτίμηση της ενεργειακήςκατανάλωσηςτουεξοπλισμού και η ανάπτυξη ενός συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης ενέργειας.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η φυσιολογία των Κέντρων Δεδομένων, δίνοντας βάση σε ενεργειακά δεδομένα καθώς και στις δομές των εγκαταστάσεων που λειτουργούν στην Ελλάδα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα μοντέλα εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόζονται στα κέντρα δεδομένων και στον ρόλο τους σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την λειτουργία τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ο σχεδιασμός ενός συστήματος ενεργειακής παρακολούθησης και ελέγχου, ο οποίος θα εξασφαλίζει την ορθή λειτουργία ενός κέντρου δεδομένων, μέσα από συγκεκριμένες παραμέτρους παρακολούθησης και ελέγχου.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας στα κέντρα δεδομένων και την εξοικονόμηση ενέργειας μέσα από την χρήση συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου.

## ABSTRACT

This thesis is a research analysis of energy savings in Data Centers. The objectives of this work are to understand the operation of the Data Centers, to assess the energy consumption of the equipment and to develop a monitoring system for energy consumption.

The paper consists of four chapters. The first chapter analyzes the character of the Data Centers, based on energy data as well as on the structures of the facilities operating in Greece.

The second chapter analyzes the energy saving models applied to the data centers and their role in saving energy during their operation.

The third chapter deals with the design of an energy monitoring and control system. This will ensure the proper operation of a data center, through specific monitoring and control parameters.

Finally, the fourth chapter outlines the conclusions drawn from the paper regarding the energy consumption in data centers and the energy savings through the use of monitoring and control systems.

## Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> – ΚΕΝΤΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – DATACENTERS.....	3
1.1 Γενικά για τα Κέντρα Δεδομένων - Ιστορία.....	3
1.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά των Κέντρων Δεδομένων .....	4
1.3 Κατανάλωση Ενέργειας στα Κέντρα Δεδομένων.....	5
1.4 Ψύξη στα Κέντρα Δεδομένων.....	7
1.4.1 Μελέτη πάνω στα ψυκτικά συστήματα κέντρων δεδομένων.....	10
1.5 DataCenters στην Ελλάδα .....	13
1.5.1 LAMDA HELIX.....	13
1.5.2 LANCOM .....	14
1.5.3 Synapsecom .....	15
1.5.4 MedNautilus.....	16
1.5.5 IBM Hellas .....	18
1.6 Εκπομπή Αερίων του Θερμοκηπίου .....	19
1.7 Οικολογικά Κέντρα Δεδομένων (GreenDataCenters).....	21
1.7.1 Τεχνολογίες για Πράσινα Data Centers.....	25
ΚΑΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> – ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΕΝΤΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	27
2.1 Το Ιδανικό Κέντρο Δεδομένων .....	27
2.2 Μοντέλα Βελτιστοποίησης Ενέργειας .....	28
2.3 Βασικό Μοντέλο Ενέργειας .....	31
2.4 Μοντέλο Δυναμικής Τάσης και Κλιμάκωσης Συχνότητας (DVFS) .....	33
2.5 Μοντέλο Δυναμικής Διαχείρισης Ενέργειας (DMP) .....	36
2.6 Data center energy – efficient and network – aware scheduling model .....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ	
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ .....	41
3.1 Οι παράμετροι παρακολούθησης.....	41
3.2 Παράμετροι Ελέγχου.....	44
3.3 Συστήματα Παρακολούθησης και Διαχείρισης Υποδομών .....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53
4.1 Γενικά Συμπεράσματα για την Εξοικονόμηση Ενέργειας .....	53
4.2 Γενικά Συμπεράσματα για τον Σχεδιασμό Συστημάτων Ενεργειακής	
Παρακολούθησης .....	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	56
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ .....	59

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τους υπολογιστές να έχουν μπει στην ζωή του ανθρώπου, η ανάγκη για αποθήκευση, επεξεργασία και διανομή μεγαλύτερου όγκου δεδομένων καθιστά την ανάγκη δημιουργίας περισσότερων και αποδοτικότερων κέντρων δεδομένων, για την εξυπηρέτηση όλων των χρηστών.

Τόσο στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου όσο και στην επαγγελματική ζωή του, τα κέντρα δεδομένων αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι, προσφέροντας αμέτρητες υπηρεσίες και εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται καθημερινά στις επικοινωνίες, στην ψυχαγωγία, στην εργασία, στην εκπαίδευση, στην υγεία καθώς και σε κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα κατά την οποία χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί υπολογιστές όλων των ειδών, στον ιδιωτικό και στον δημόσιο τομέα.

Η άμεση πρόσβαση στις πληροφορίες που παρέχονται από τα smartphones, τους προσωπικούς υπολογιστές και το διαδίκτυο είναι ισχυρή, επιτρέποντας στους ανθρώπους σε όλο τον κόσμο να ξεπεράσουν τα προηγούμενα εμπόδια που υπήρχαν σχετικά με την πρόσβαση σε πληροφορίες. Επιπροσθέτως, η ταχεία τεχνολογική επανάληψη προσφέρει καλύτερα μέσα επικοινωνίας, σε μεγαλύτερη κλίμακα, σε σύγκριση με προηγούμενες δεκαετίες, δημιουργώντας νέες ανάγκες.

Οι απαιτήσεις για την ανάπτυξη και εξέλιξη των κέντρων δεδομένων, οδηγούν σε προβλήματα που αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση κατά την λειτουργία τους. Η ενέργεια που καταναλώνεται είναι αρκετή καθώς οι ανάγκες των κέντρων δεδομένων είναι αυξημένες, μιας και λειτουργούν σε εικοσιτετράωρη βάση καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Σε μια εποχή όπου η ζήτηση κέντρων δεδομένων γίνεται ολοένα και πιο απαιτητική, το θέμα της ενεργειακής κατανάλωσης αποτελεί ένα από τα κύρια προβλήματα των κέντρων δεδομένων.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα δεδομένων αλλά και γενικότερα από την λειτουργία και χρήση του διαδικτύου, κατέχει την πέμπτη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο και αυξάνεται ετησίως περίπου κατά 12%. Τα κέντρα δεδομένων σε παγκόσμια κλίμακα, εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύουν πάνω από το 2% των παγκόσμιων εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ ένα μεγάλο ποσοστό των εταιριών που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες των κέντρων δεδομένων, έχει

αποδειχθεί ότι βασίζουν την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών, στην χρήση του άνθρακα σε ποσοστό μέχρι και 80%.

Η λειτουργία ενεργειακά αποδοτικών κέντρων δεδομένων είναι απαραίτητη τόσο για την εξοικονόμηση ενέργειας όσο και για την μείωση στα έξοδα λειτουργίας ενός κέντρου. Για αυτό τον λόγο, η επιστημονική κοινότητα της πληροφορικής, έχει δημιουργήσει ειδικά μοντέλα τα οποία είναι σε θέση να παρακολουθούν την λειτουργία των κέντρων δεδομένων, εκτελώντας ελέγχους για την σωστή χρήση της ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της κατανάλωσης ενέργειας στα κέντρα δεδομένων καθώς και η επίδραση που έχουν τα διάφορα μοντέλα εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας σε αυτά.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> – ΚΕΝΤΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – DATACENTERS

## 1.1 Γενικά για τα Κέντρα Δεδομένων - Ιστορία

Κατά την δεκαετία του '80, οι υπολογιστές άρχισαν να αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς εξαιτίας της άνθησης της βιομηχανίας των μικροϋπολογιστών. Ταυτόχρονα, με την ανάπτυξη της πολυπλοκότητας της τεχνολογίας της πληροφορικής, οι χρήστες αντιλήφθηκαν ότι ήταν απαραίτητος ο έλεγχος των πόρων της πληροφορικής. Η ανάπτυξη του μοντέλου πελάτη – εξυπηρετητή κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '90, οδήγησε τις εταιρίες να δημιουργήσουν ειδικούς χώρους μέσα στους οποίους εγκαθιστούσαν τους μικροϋπολογιστές – servers, κάνοντας με αυτό τον τρόπο τον όρο datacenters, πιο δημοφιλή.

Την περίοδο 1997-2000, η εμπορική ανάπτυξη του διαδικτύου αποκτά νέο ενδιαφέρον φέρνοντας στο προσκήνιο τα κέντρα δεδομένων. Οι απαιτήσεις της γρήγορης σύνδεσης στο διαδίκτυο με την συνεχή και αδιάκοπη λειτουργία των εταιριών για την εδραίωση της παρουσίας τους στο διαδίκτυο, έκανε επιτακτική την ανάγκη της δημιουργίας και της εγκατάστασης των InternetΚέντρων Δεδομένων – IDCs. Αυτά τα κέντρα δεδομένων παρείχαν μια σειρά από λύσεις για την εγκατάσταση αλλά και την λειτουργία των συστημάτων που απαιτούνταν για την λειτουργία των εταιριών αυτών. Το αποτέλεσμα ήταν να σχεδιαστούν νέες τεχνολογίες και πρακτικές ώστε να ικανοποιήσουν τις λειτουργικές απαιτήσεις των εργασιών αυτών, οι οποίες στην συνέχεια υιοθετήθηκαν και από τα ιδιωτικά κέντρα δεδομένων εξαιτίας των πρακτικών αποτελεσμάτων τους.

Τα κέντρα δεδομένων στην σύγχρονη μορφή τους, αποτελούνται από μεγάλες εγκαταστάσεις όπου στεγάζονται υπολογιστικά συστήματα όπως:

- Υπολογιστές – servers
- διακομιστές ιστοσελίδων – websites
- διακομιστές ηλεκτρονικής αλληλογραφίας – mail servers
- διακομιστές εφαρμογών – application servers
- δρομολογητές – routers
- συσκευές αποθήκευσης δεδομένων

καθώς και κάθε είδους εξοπλισμός που βοηθά στην λειτουργία των κέντρων δεδομένων.



Τα κέντρα δεδομένων – datacentersείναι φυσικές ή εικονικές υποδομέςοι οποίες χρησιμοποιούνται από επιχειρήσεις, ιδιώτες και κυβερνήσεις για να φιλοξενούν συστήματα και εξαρτήματα υπολογιστών, διακομιστών και δικτύων με σκοπό να καλύψουν τις ανάγκες για αποθήκευση, επεξεργασία και εξυπηρέτηση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων και πληροφοριών οι οποίες οργανώνονται γύρω από ένα συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο.

Οι υπηρεσίες που παρέχονται από τα κέντρα δεδομένων είναι η φιλοξενία ιστοσελίδων στο διαδίκτυο, τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες και άλλα. Για την διατήρηση της σωστής λειτουργίας του κέντρου δεδομένων, έχουν δημιουργηθεί κατάλληλα σχεδιασμένα συστήματα που αφορούν την παρακολούθηση των λειτουργιών όπως οι συνδέσεις δικτύων, οι μόνιμες και οι εφεδρικές παροχές ηλεκτρικού ρεύματος, οι έλεγχοι πυρασφάλειας, οι έλεγχοι κλιματισμού και τα συστήματα ασφαλείας.

Επίσης, ένα κέντρο δεδομένων συχνά απαιτεί εκτεταμένα πλεονάζοντα ή εφεδρικά συστήματα τροφοδοσίας, συστήματα ψύξης, περιττές συνδέσεις δικτύωσης και συστήματα ασφαλείας για τη λειτουργία των βασικών εφαρμογών των χρηστών.

Η διαχείριση του κέντρου δεδομένων συνεπάγεται την εξασφάλιση της αξιοπιστίας τόσο των συνδέσεων στο κέντρο δεδομένων όσο και των κρίσιμων πληροφοριών που περιέχονται στο χώρο αποθήκευσης του κέντρου δεδομένων. Επίσης, συνεπάγεται την αποτελεσματική τοποθέτηση των φόρτων εργασίας στον πιο οικονομικά αποδοτικό υπολογιστικό πόρο που διατίθεται.

### **1.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά των Κέντρων Δεδομένων**

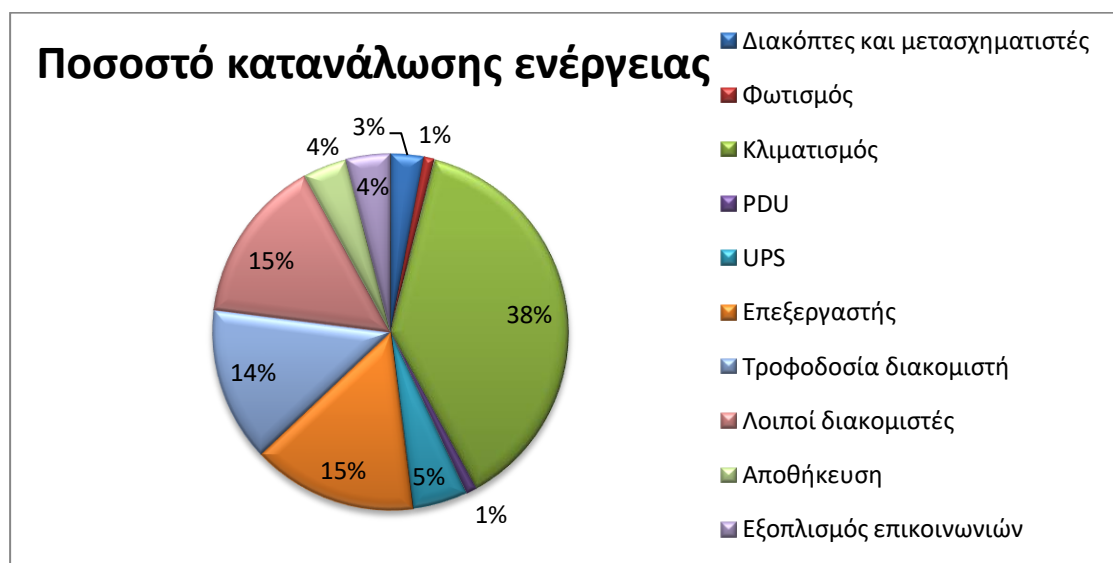
Κάθε κέντρο δεδομένων διαθέτει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία ρυθμίζουν την λειτουργία του κέντρου ενώ παράλληλα προσφέρουν την απαραίτητη ασφάλεια που ζητούν οι χρήστες για τα δεδομένα τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά παρουσιάζονται ως εξής:

- Ακεραιότητα – Integrity: Πρέπει να υπάρχει η βεβαιότητα ότι τα δεδομένα αποθηκεύονται και ανακτώνται ακριβώς όπως λαμβάνονται.
- Αναφορά - Reporting: Είναι η αναπαράσταση πόρων, χωρητικότητας και χρηστικότητας για συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
- Ασφάλεια – Security: Όλες οι πολιτικές, οι διαδικασίες και τα κύρια στοιχεία ενσωμάτωσης συγκεντρώνονται για να αποτραπεί η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στις πληροφορίες.

- Διαθεσιμότητα –Availability: Ένα κέντρο δεδομένων θα πρέπει να εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητα των πληροφοριών, την στιγμή που απαιτείται. Αυτό σημαίνει ότι την στιγμή που ο χρήστης ζητάει κάποια δεδομένα, αυτά να του παρέχονται χωρίς καθυστέρηση.
- Διαχειρισιμότητα – Manageability: Ένα κέντρο δεδομένων θα πρέπει να παρέχει εύκολη και ολοκληρωμένη διαχείριση όλων των στοιχείων του, μέσω της αυτοματοποίησης καθώς και της μείωσης της ανθρώπινης παρέμβασης σε κοινές εργασίες.
- Επεκτασιμότητα –Scalability: Η δημιουργία μιας υποδομής που να μπορεί να αναπτυχθεί στο μέλλον. Η ανάπτυξη των επιχειρήσεων σχεδόν πάντα απαιτεί την ανάπτυξη περισσότερων διακομιστών, εφαρμογών, επιπρόσθετων βάσεων δεδομένων κτλ. Έτσι και ένα κέντρο δεδομένων πρέπει να είναι σε θέση να ακολουθήσει αυτή την ανάπτυξη που σημαίνει ταυτόχρονη και επέκταση του ίδιου του κέντρου δεδομένων.
- Επιδόσεις –Performance: Αρχικά θα πρέπει να καθοριστούν τα επίπεδα εξυπηρέτησης. Η διαχείριση των επιδόσεων αφορά την βεβαιότητα ότι όλα τα στοιχεία του κέντρου δεδομένων παρέχουν τη βέλτιστη απόδοση στα απαιτούμενα επίπεδα εξυπηρέτησης.
- Εφοδιασμός – Provisioning: Αφορά την διαδικασία της παροχής υλικού, λογισμικού και άλλων πόρων που απαιτούνται για να λειτουργήσει ένα κέντρο δεδομένων.
- Παρακολούθηση - Monitoring: Αυτή η διαδικασία αποτελεί μια συνεχή συλλογή πληροφοριών σχετικά με όλα τα διαφορετικά στοιχεία αλλά και την εκτέλεση των υπηρεσιών που πραγματοποιούνται στο κέντρο δεδομένων.
- Χωρητικότητα - Capacity: Οι επιχειρήσεις μεγαλώνουν κάνοντας επιτακτική και την αύξηση της χωρητικότητας τους. Για αυτό τον λόγο, το κέντρο δεδομένων πρέπει να παρέχει πρόσθετη χωρητικότητα χωρίς να διακόπτει τη διαθεσιμότητά του ή αυτό να πραγματοποιείται με την ελάχιστη δυνατή αναστάτωση.

### **1.3 Κατανάλωση Ενέργειας στα Κέντρα Δεδομένων**

Ένα βασικό ζήτημα στα κέντρα δεδομένων, είναι η χρήση της ενέργειας. Κάθε σύστημα το οποίο λειτουργεί μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων, βασίζεται στην κατανάλωση ενέργειας τόσο σε μεμονωμένο όσο και σε συνολικό επίπεδο. Η κατανάλωση ισχύος στα διάφορα κέντρα δεδομένων, διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος του καθενός. Πιο χαρακτηριστικά, η κατανάλωση μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ μερικών KW για μια εγκατάσταση που διαθέτει ένα Rack από διακομιστές και μερικών δεκάδων MW για μεγάλες εγκαταστάσεις. Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις το κόστος ηλεκτρισμού είναι το κυρίαρχο λειτουργικό έξοδο και υπολογίζεται ότι μπορεί να ξεπεράσει και το κόστος του εξοπλισμού του κέντρου δεδομένων.



Γράφημα 1 Ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας σε ένα τυπικό κέντρο δεδομένων.

Στο προηγούμενο γράφημα παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας σε μια τυπική μονάδα κέντρου δεδομένων. Το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης έχει ο κλιματισμός του χώρου. Εξαιτίας της συνεχούς λειτουργίας των συστημάτων του κέντρου δεδομένων, δημιουργούνται υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες είναι σε θέση να προκαλέσουν υπερφόρτωση στο σύστημα με αποτέλεσμα πρόκληση εκτεταμένων βλαβών. Για αυτό τον λόγο, ο κλιματισμός των χώρων είναι απαραίτητος με αποτέλεσμα την κατανάλωση ενέργειας. Τον κλιματισμό ακολουθούν η κατανάλωση ενέργειας από τον επεξεργαστή, από την τροφοδοσία διακομιστή και οι λοιποί διακομιστές που χρησιμοποιούνται στο κέντρο δεδομένων.

## 1.4 Ψύξη στα Κέντρα Δεδομένων

Ένα κέντρο δεδομένων θα πρέπει να ψύχεται επαρκώς επειδή η διάχυση της θερμότητας είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία του εξοπλισμού πληροφορικής. Οι πρόσδοι στη βιομηχανία μικροεπεξεργαστών έχουν ως αποτέλεσμα έναν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό τρανζίστορ για τα τσιπ και τα ποσοστά ρολογιού, τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν μια δραματική άνοδο της πυκνότητας της διασποράς της θερμότητας. Η υψηλή πυκνότητα θερμότητας μπορεί να προκαλέσει υψηλές θερμοκρασίες διασταύρωσης που επηρεάζουν την αξιοπιστία των εξαρτημάτων πληροφορικής. Στην πραγματικότητα, η κύρια αιτία της βλάβης του εξαρτήματος είναι η υψηλή θερμοκρασία.

Ένα σύστημα ψύξης πρέπει να είναι σε θέση να επιτύχει πλήρη έλεγχο του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας και της συγκέντρωσης της ρύπανσης. Προκειμένου να σχεδιαστεί ένα σύστημα ψύξης ικανό να επιτελέσει αυτά τα καθήκοντα, καθορίστηκαν περιβαλλοντικές οριακές τιμές για τη διασφάλιση της σωστής εργασίας του εξοπλισμού πληροφορικής σε συνθήκες λειτουργίας. Οι Ebrahimi et al (2014), υποστηρίζουν ότι η ζήτηση ισχύος ενός διακομιστή, η οποία μπορεί να θεωρηθεί η μικρότερη μονάδα επεξεργασίας σε ένα κέντρο δεδομένων, μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την πραγματική δουλειά, αλλά ακόμα και όταν ο εξυπηρετητής λειτουργεί στο 20% ή κάτω από αυτό της χωρητικότητάς της, η κατανάλωση ενέργειας είναι μεταξύ των 60 -100% του μέγιστου.



Εικόνα 1 Πύργοι ψύξης στο κέντρο δεδομένων της Google στο Council Bluffs, Iowa

Επιπλέον, η κατανάλωση ενδέχεται να ποικίλλει ανάλογα με τους διαφορετικούς τύπους εξυπηρετητών (δηλ. Επεξεργαστής μονάδας ή διπλής υποδοχής ή τύπου blade) και κατασκευαστές. Ωστόσο, στη βιβλιογραφία διάφορες έρευνες όπως εκείνες των Ebrahimi et al (2014), Marcinichenetal (2012) και Iyengaretal (2012), υπολογίζουν μια μέση ζήτηση ισχύος 400 W για έναν τυπικό διακομιστή και 300 W για ένα διακομιστή blade. Συνεπώς, η πυκνότητα ισχύος ανά ράφι μπορεί να φθάσει τα 20 kW ή παραπάνω. Επιπλέον, μια βάση πλήρους μήκους μπορεί να γεμίσει με 64 ή περισσότερους διακομιστές blade, ανάλογα με τις διαστάσεις του πλαισίου, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ζήτηση ισχύος και κατά συνέπεια θερμικό φορτίο.

Ένας διακομιστής αποτελείται από διάφορα στοιχεία, όπως μικροεπεξεργαστές, συσκευές εισόδου/εξόδου, συσκευές μαζικής αποθήκευσης αλλά και διάφορα βοηθητικά εξαρτήματα. Προκειμένου να αποφευχθεί η αποτυχία, είναι σημαντικό να διατηρούνται αυτά τα εξαρτήματα μέσα στα κατάλληλα όρια θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, όπως επισημαίνεται στις έρευνες των Ebrahimi et al (2014), Marcinichenetal (2012), οι περισσότεροι ερευνητές θεωρούν τους 85 ° C τη μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία σύνδεσης για να αποφευχθούν δυσλειτουργίες, ενώ για τις συσκευές αποθήκευσης το όριο θερμοκρασίας είναι περίπου 45 ° C.

Ο έλεγχος της υγρασίας είναι επίσης σημαντικός για τη σωστή λειτουργία του εξοπλισμού πληροφορικής. Η συμπύκνωση και η ηλεκτροστατική εκφόρτιση μπορούν να εμφανιστούν με αντίστοιχη υψηλή και χαμηλή εσωτερική σχετική υγρασία. Η αξιοπιστία του εξοπλισμού πληροφορικής θα μπορούσε επίσης να επηρεαστεί από σκόνη, αέρια και σωματιδιακή ρύπανση, ειδικά όταν χρησιμοποιείται ένας άμεσος τρόπος εξοικονόμησης καθαρού αέρα σε τοποθεσίες με υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως μια βιομηχανική περιοχή. Ως εκ τούτου απαιτείται ένα αποτελεσματικό σύστημα φιλτραρίσματος.

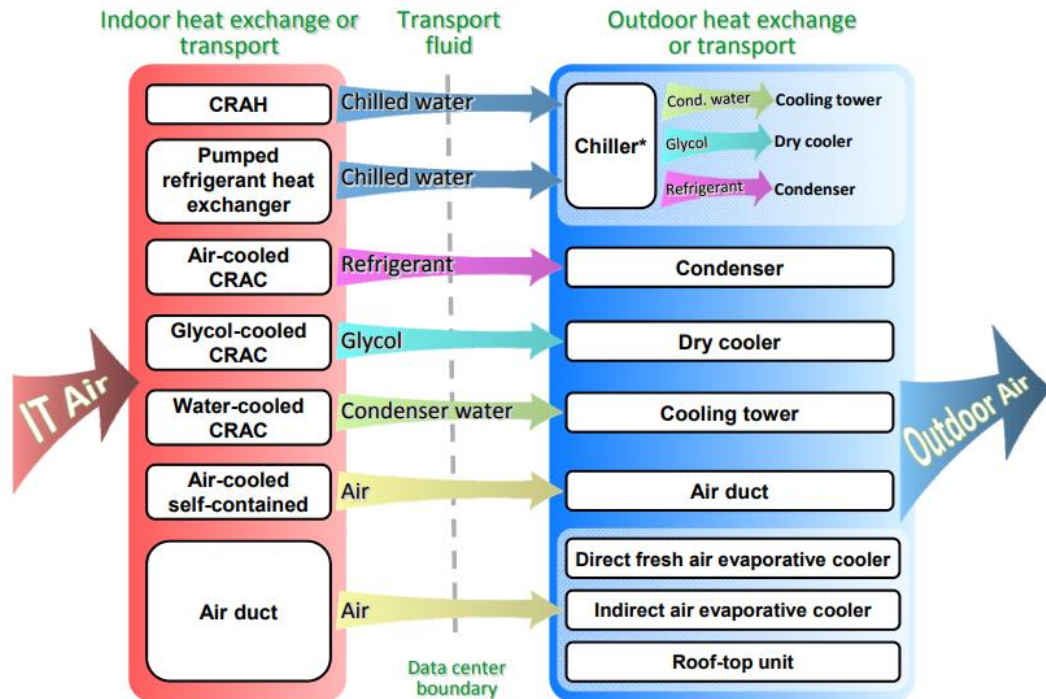
Πρακτικά όλη η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται σε ένα κέντρο δεδομένων μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία πρέπει να αφαιρεθεί από ένα κατάλληλο σύστημα ψύξης. Το καταλληλότερο διάλυμα ψύξης θα πρέπει να σχεδιάζεται, ανάλογα με τα κριτήρια σχεδιασμού, ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή ενεργειακή απόδοση, χαμηλό κόστος και αξιοπιστία. Ένα σύστημα ψύξης θα πρέπει να σχεδιαστεί για να καλύψει το χειρότερο σενάριο, αν και οι περισσότεροι εξυπηρετητές λειτουργούν γενικά σε πολύ χαμηλότερη χωρητικότητα από το 100%. Ο έλεγχος και η πρόβλεψη της αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος είναι μια σημαντική πτυχή του σχεδιασμού του συστήματος ψύξης.

Υπάρχουν 13 θεμελιώδεις μέθοδοι για την ψύξη των εγκαταστάσεων πληροφορικής στα κέντρα δεδομένων και τη μεταφορά ανεπιθύμητης θερμικής ενέργειας από εξοπλισμό πληροφορικής στο εξωτερικό των εγκαταστάσεων. Μία ή περισσότερες από αυτές τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ψύξη σχεδόν όλων των κρίσιμων αιθουσών ηλεκτρονικών υπολογιστών στα κέντρα δεδομένων. Ορισμένες μέθοδοι απομάκρυνσης θερμότητας μεταφέρουν τα στοιχεία του κύκλου ψύξης μακριά από το περιβάλλον πληροφορικής και ορισμένοι προσθέτουν επιπλέον βρόχους (αυτοδύναμους αγωγούς) νερού και άλλων υγρών για να βοηθήσουν στη διαδικασία.

Το μεγαλύτερο μέρος της ικανότητας ψύξης παρέχεται από τον μηχανικό εξοπλισμό: διάφορα συστήματα, όπως συστήματα κρύου νερού, συστήματα αέρα ψύξης άμεσης εκτόνωσης και συστήματα ψύξης γλυκόλης άμεσης εκτόνωσης. Η απόρριψη θερμότητας αντιπροσωπεύει το τελευταίο βήμα στη διαδικασία απομάκρυνσης θερμότητας: οι πύργοι ψύξης και οι ξηροί ψύκτες είναι τα πιο κοινά συστήματα απόρριψης θερμότητας για τη βιομηχανία κέντρων δεδομένων. Ο εξοπλισμός ψύξης ακροδεκτών έχει ως καθήκον τη διανομή της ικανότητας ψύξης μέσω αέρα, σε συστήματα με αέρα ή μέσω υγρού σε σύστημα υγρού ψύξης.

Η απομάκρυνση της θερμότητας θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η διαδικασία της κίνησης της θερμικής ενέργειας από τον χώρο του κέντρου δεδομένων στο εξωτερικό των εγκαταστάσεων. Αυτή η κίνηση μπορεί να είναι τόσο απλή όσο η χρήση ενός αεραγωγού ως μέσου μεταφοράς της θερμικής ενέργειας στο σύστημα ψύξης που βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο. Εν τούτοις, αυτή η κίνηση επιτυγχάνεται γενικά με τη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας από ένα υγρό σε άλλο (π.χ. από τον αέρα στο νερό). Η επόμενη εικόνα αναπαριστά μια απλοποιημένη εκδοχή των 13 μεθόδων ψύξης που χρησιμοποιούνται στα κέντρα δεδομένων, απεικονίζοντας δύο σημαντικά σημεία κίνησης θερμικής ενέργειας - εσωτερικά και εξωτερικά.

Το ρευστό μεταφοράς, μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών σημείων εκτροπής, αντιπροσωπεύει το ρευστό (υγρό ή αέριο) που μεταφέρει την ενέργεια θερμότητας μεταξύ των δύο σημείων. Σημειώστε ότι μπορεί να υπάρξουν περισσότερες από μία εναλλαγές θερμότητας που συμβαίνουν σε εσωτερικούς χώρους, όπως συμβαίνει με το CRAC που έχει κρυώσει με γλυκόλη (δηλ. Το Computer Room Air Conditioner) ή εξωτερικά, όπως στην περίπτωση του ψυκτικού συγκροτήματος. Σημειώστε επίσης ότι κάθε ένα από αυτά τα συστήματα μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να λειτουργεί σε λειτουργία εξοικονόμησης.



Εικόνα 2Απλοποιημένη κατανομή των 13 βασικών μεθόδων ψύξης κέντρων δεδομένων

Τα συστήματα ψύξης αέρα αντιπροσωπεύουν τη ραχοκοκαλιά των συστημάτων ψύξης των κέντρων δεδομένων. Εξελίσσονται με τα χρόνια για να αντιμετωπίσουν την πρόοδο στον εξοπλισμό πληροφορικής. Η λειτουργία των αερόψυκτων συστημάτων βασίζεται στην ροή αέρα προς τις τοπικές μονάδες ψύξης και τον φυσικό διαχωρισμό της ροής αυτής μέσα στο κέντρο δεδομένων, προκειμένου να υποστηριχθεί η αυξανόμενη πυκνότητα ισχύος.

Ένας άλλος τρόπος ψύξης των κέντρων δεδομένων αποτελούν τα συστήματα υγρής ψύξης, τα οποία προσφέρουν ελπιδοφόρες λύσεις για την ψύξη κέντρων δεδομένων υψηλής πυκνότητας ισχύος. Σήμερα, ο εξοπλισμός πληροφορικής επιτυγχάνει πυκνότητες ισχύος που σε ορισμένες περιπτώσεις δικαιολογούν τις λύσεις υγρού ψύχους. Επιπλέον, εάν η βιομηχανία πληροφορικής συνεχίσει να αναπτύσσεται με την ίδια τάση, τα συστήματα με αέρα ψύξης δεν θα είναι σε θέση να τις ανάγκες ψύξης στο έπακρο.

#### 1.4.1 Μελέτη πάνω στα ψυκτικά συστήματα κέντρων δεδομένων

Η επιστημονική κοινότητα δεν σταματά εκεί. Συνεχείς έρευνες σχετικά με την ψύξη των κέντρων δεδομένων, έχει οδηγήσει πολλούς επιστήμονες στην ανάπτυξη νέων συστημάτων. Όπως ακριβώς έκαναν και οι Xu et al (2017) με την μελέτη που εκπόνησαν για την πειραματική διερεύνηση ενός ψύκτη αέρα με σημείο δρόσου, υψηλών επιδόσεων.

Η ψύξη με εξάτμιση, η οποία χρησιμοποιεί την αρχή της εξάτμισης του νερού για την απορρόφηση θερμότητας, έχει κερδίσει αυξανόμενη δημοτικότητα στον κλιματισμό, λόγω της απλής δομής και της καλής χρήσης της λανθάνουσας θερμότητας του νερού, το οποίο είναι μια ανανεώσιμη και ανακυκλώσιμη ενέργεια που υπάρχει στο φυσικό περιβάλλον. Τα συστήματα ψύξης κατά την εξάτμιση περιλαμβάνουν δύο γενικούς τύπους: τα άμεσα και τα έμμεσα.

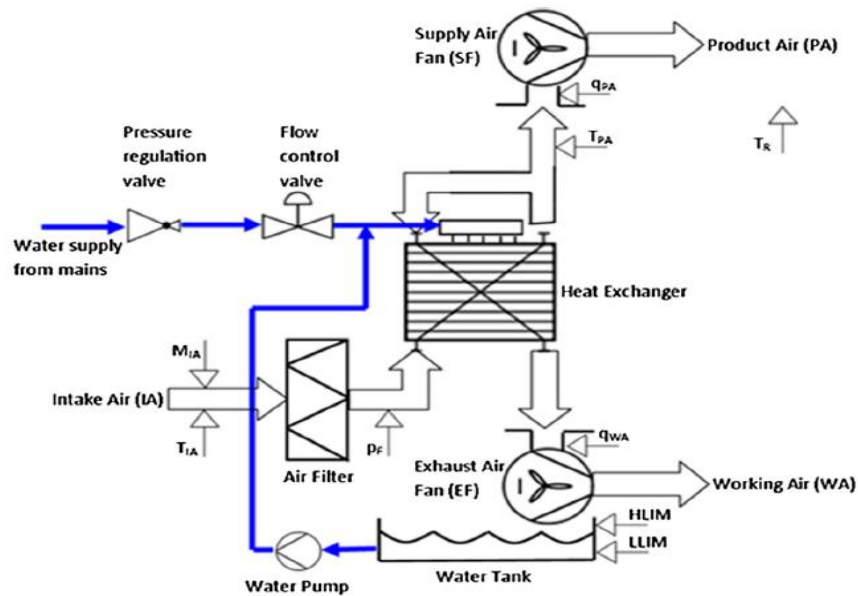
Η ψύξη άμεσης εξάτμισης – DirectEvaporativeCooling (DEC) – διατηρεί τον αέρα σε άμεση επαφή με το νερό, προκαλώντας ταυτόχρονα την εξάτμιση του νερού και τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα. Ως αποτέλεσμα, το ατμοποιημένο νερό, σε μορφή ατμού, προστίθεται στον αέρα, δημιουργώντας μια πιο υγρή κατάσταση του αέρα και προκαλώντας δυσφορία στους ενοίκους.

Η ψύξη έμμεσης εξάτμισης – IndirectEvaporativeCooling (IEC) – διατηρεί το κύριο (προϊόν) αέρα στα ξηρά κανάλια και τον δευτερεύοντα (λειτουργικό) αέρα στους γειτονικούς υγρούς διαύλους όπου διανέμεται νερό προς τις επιφάνειες για να σχηματίσουν τις λεπτές ταινίες νερού. Η ψύξη του αέρα επιτυγχάνεται με τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ των γειτονικών πρωτογενών και δευτερευόντων ρευμάτων αέρα, με τη βοήθεια της εξάτμισης του νερού στις επιφάνειες του υγρού καναλιού. Σύμφωνα με έρευνες των Gómez et al (2012), Campanizo et al (2014) και Maheshwari et al (2001), αυτός ο τύπος ψύξης μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του αέρα και παράλληλα να διατηρήσει την ξηρότητα του, δημιουργώντας έτσι καλύτερη θερμική άνεση και βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού αέρα. Δυστυχώς, λόγω του θεωρητικού περιορισμού της θερμοκρασίας υγρού βολβού του αέρα, το σύστημα αυτό έχει πολύ περιορισμένο δυναμικό μείωσης της θερμοκρασίας, το οποίο έχει περιορίσει την ευρύτερη εφαρμογή του σε κτίρια.

Η ψύξη σημείου δρόσου, τροποποιώντας τη δομή του εναλλάκτη θερμότητας και μάζας – Heat and Mass Exchanger (HMX) – για να επιτρέψει την προ-ψύξη του δευτερεύοντος αέρα πριν από την είσοδό του στα υγρά κανάλια, μπορεί να σπάσει το όριο υγρού βολβού και να χαμηλώσει τη θερμοκρασία του αέρα, επιτυγχάνοντας έτσι 20-30% υψηλότερη απόδοση ψύξης, δήλωση που υποστηρίζουν οι Zhao et al (2008).

Για να καταστεί δυνατή η ακριβής η πειραματική διαδικασία, κατασκευάστηκε ένα πρωτότυπο σύστημα ψύκτη αέρος σημείου δρόσου με ονομαστική ισχύς 4 kW. Αυτό το σύστημα, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα, περιλαμβάνει ένα σύστημα ρύθμισης αέρα εισαγωγής, συστήματα παροχής αγωγών αέρα και απαγωγής, καθώς και συναφή όργανα μέτρησης που προσαρμόστηκαν στις κατάλληλες θέσεις των γραμμών αγωγών και στο εσωτερικό του ψυγείου.





Εικόνα 3 Πειραματική διάταξη πρωτοτύπου

Η απόδοση της ψύξης αέρα σημείου δρόσου μπορεί να αξιολογηθεί με πτώση θερμοκρασίας, απόδοση ψύξης, COP, αποτελεσματικότητα υγρού βολβού και αποτελεσματικότητα σημείου δρόσου. Η πτώση της θερμοκρασίας είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα εισαγωγής στην είσοδο ξηρού καναλιού και του αέρα του προϊόντος στην έξοδο ξηρού καναλιού. Το COP εκφράζεται ως ο λόγος της απόδοσης ψύξης ( $Q_{cooling}$ ) προς τη συνολική κατανάλωση ισχύος (W) του ψύκτη αέρα. Η αποτελεσματικότητα ψύξης υγρού βολβού ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας αέρα εισόδου και εξόδου του προϊόντος προς τη διαφορά μεταξύ των ξηρών βολβών του εισερχόμενου αέρα και των θερμοκρασιών υγρού βολβού.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν για διάφορα κλίματα με αναλογία αέρα 0,44. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, ο ρυθμός ροής αέρα του προϊόντος ρυθμίστηκε στα  $750 \text{ m}^3/\text{h}$  (που αντιστοιχεί στην ονομαστική απόδοση ψύξης  $4 \text{ kW}$ ) και ο ρυθμός ροής αέρα εκκένωσης στα  $600 \text{ m}^3/\text{h}$ , αποδίδοντας έτσι αναλογία αέρα 0,44. Τα αποτελέσματα του πειράματος συγκρίθηκαν με το υπό έρευνα M30 (Coolerado USA) DPC.

Παρατηρήθηκε ότι κάτω από τις συνθήκες του αέρα εισόδου Coolerado M30 (δηλαδή θερμοκρασία ξηρού βολβού  $37,8 \text{ }^\circ\text{C}$  και συμπτωματική θερμοκρασία υγρού βολβού  $21,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) και αναλογία αέρα λειτουργίας 0,44, ο ψυκτήρας του πρωτοτύπου έλαβε χαμηλότερη θερμοκρασία αέρα προϊόντος ( $20,8 \text{ }^\circ\text{C}$  έναντι  $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), υψηλότερη COP ( $37,4$  έναντι  $18,4$ ) και υψηλότερη αποτελεσματικότητα υγρού βολβού ( $102,4\%$  έναντι  $93\%$ ). Η ψυκτική ισχύς του πρωτοτύπου ήταν επίσης ελαφρώς υψηλότερη ( $4,25 \text{ kW}$  vs.  $4.15 \text{ kW}$ )

παρά ρυθμό της ροής αέρα προϊόν (750 m<sup>3</sup>/h) ήταν ελαφρώς χαμηλότερη από εκείνη του M30 (765 m<sup>3</sup>/h).

Από τα αποτελέσματα, προέκυψε ότι το σύστημα ψύξης αέρα σημείου δρόσου δημιουργεί μια ευκαιρία ώστε να αναπτυχθεί ένα νέο σύστημα ψύξης με σημαντικά βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, με μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και πολύ μικρότερο μέγεθος μονάδας, επεκτείνοντας έτσι τις εφαρμογές της σε όλο τον κόσμο.

## 1.5 Data Centers στην Ελλάδα

Όπως σε ολόκληρο τον κόσμο, έτσι και στην Ελλάδα, έχουν εγκατασταθεί κέντρα δεδομένων τα οποία προσφέρουν λύσεις αποθήκευσης, επεξεργασίας και διαμοιρασμού αρχείων προς ιδιώτες, εταιρίες και επιχειρήσεις. Στην συνέχεια, παρουσιάζονται κάποια από τα πιο δημοφιλή κέντρα δεδομένων που προσφέρουν τις υπηρεσίες τους προς το Ελληνικό κοινό.

### 1.5.1 LAMDA HELLIX



Εικόνα 4 Λογότυπο της εταιρίας LAMDAHELLIX

Η εταιρία LAMDA HELLIX ιδρύθηκε το 2002 και είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους παρόχους υπηρεσιών κέντρων δεδομένων στην περιοχή της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Διαθέτει ένα αρκετά ισχυρό πελατολόγιο το οποίο περιλαμβάνει μερικούς από τους μεγαλύτερους οργανισμούς και επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στην περιοχή.

Από την ίδρυση της μέχρι σήμερα, η εταιρία έχει στο ενεργητικό της αξιόλογες διακρίσεις και επιτεύγματα που την καθιστούν ως μια εταιρία που στοχεύει στην βιώσιμη ανάπτυξη των πελατών της.

Πιο συγκεκριμένα, το 2003 τίθεται σε λειτουργία το Athens-1. Χτισμένο στο Athens Data Center Campus, στη περιοχή της Νοτιοανατολικής Αττικής, το Athens-1 ήταν το πρώτο

κέντρο δεδομένων που ανέπτυξε η LAMDA HELLIX, το οποίο λειτουργεί μέχρι σήμερα. Από την έναρξη λειτουργίας του, το Athens-1 έχει επιτύχει να διαθέτει προς τους πελάτες της εταιρίας, ένα ολοκληρωμένο πακέτο υπηρεσιών. Η λειτουργία υπήρξε και συνεχίζει να είναι αδιάλειπτη, φροντίζοντας παράλληλα για την εξοικονόμηση ενεργείας, μέσα από την υλοποίηση καινοτόμων πρακτικών.

Το 2006 η εταιρία, λαμβάνει πιστοποίηση από τη Lloyds Register κατά το πρότυπο ISO 9001 Quality Management Systems. Το 2011 γίνεται ιδρυτικό μέλος του European Data Center Association, ενώ δύο χρόνια αργότερα, το 2013, λαμβάνει πιστοποίηση από τη Lloyds Register κατά το πρότυπο ISO 27001 Information Security Management Systems.

Το 2015, η εταιρία έθεσε σε λειτουργία το Athens-2, το οποίο χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες καθώς και συστήματα παρέχοντας οικονομία και εξοικονόμηση πόρων. Ο σχεδιασμός του νέου πράσινου data center της LAMDA HELLIX, το καθιστά ιδανικό για τη φιλοξενία συστημάτων υψηλών ταχυτήτων, ενώ είναι το πρώτο colocation data center στο κόσμο που έχει λάβει την πιστοποίηση USGBC LEED v4 Gold BD+C για πράσινα κτίρια και έχει αναπτυχθεί σύμφωνα με τα πρότυπα Tier 3 του Uptime Institute για τη διαθεσιμότητα των data center.

Η LAMDA HELLIX παρέχει υπηρεσίες data center, που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων, συμβουλευτικές υπηρεσίες, σχεδιασμό, ανάπτυξη, εγκατάσταση, λειτουργία, συντήρηση και τεχνική υποστήριξη, με σκοπό την εξασφάλιση πλήρους ασφάλειας και διαρκούς διαθεσιμότητας κρίσιμων εφαρμογών.

### 1.5.2 LANCOM



Εικόνα 5 Λογότυπο εταιρίας Lancom

Η Lancom ιδρύθηκε το 2009 παρέχοντας υπηρεσίες κέντρων δεδομένων και cloudcomputing. Το πρώτο datacenter της εταιρίας, δημιουργήθηκε στην Θεσσαλονίκη, σε κεντρικό σημείο της πόλης, για την επίτευξη κριτικής σημασίας στόχων της εταιρίας σχετικά με την ασφάλεια, την αδιάκοπη λειτουργία καθώς και την συνδεσιμότητα.

Το 2014, η εταιρία προχώρησε στην έναρξη ενός δεύτερου κέντρου δεδομένων στην Αθήνα, στην περιοχή Αμαρουσίου. Οι υποδομές των εγκαταστάσεων, έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να πληρούν τις πλέον σύγχρονες προδιαγραφές και τεχνολογίες για το cloud computing.

Ο ιδιόκτητος εξοπλισμός προέρχεται από εταιρίες όπως η HP, η Dell και η Cisco. Η Lancom προσφέρει τις υπηρεσίες της δίνοντας έμφαση στην ποιότητα, την ασφάλεια και στην αξιοπιστία, εφαρμόζοντας διεθνή πρότυπα που αφορούν την ασφάλεια και την ποιότητα των πληροφοριών κατά ISO 9001:2008 και 27001:2013.

### 1.5.3 Synapsecom



Εικόνα 6 Λογότυπο εταιρίας Synapsecom

Η Synapsecom Telecoms αποτελεί μία από τις καινοτόμους εταιρείες που δραστηριοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες, στα κέντρα δεδομένων και στις υπηρεσίες IT. Πιο συγκεκριμένα, η εταιρία προσφέρει υπηρεσίες συν-εγκατάστασης (colocation), Virtual Private Servers (VPS) και custom δομές private cloud.

Η εταιρία λειτουργεί ένα Data Center στην Θεσσαλονίκη (SNC-1) και ένα Data Center στην Αθήνα (SNC-2). Και τα δύο κέντρα δεδομένων βρίσκονται σε βιομηχανικές περιοχές, τα οποία είναι εμπορικώς αξιοποιήσιμα από όλες τις επιχειρήσεις, εξαιτίας του ότι παρέχουν δικτυακή ουδετερότητα. Εκτός από αυτές τις ιδιόκτητες εγκαταστάσεις, η εταιρία διαθέτει σημεία παρουσίας (PoPs) εντός Ελλάδος αλλά και στα μεγάλα αστικά κέντρα των Βαλκανίων και της Ευρώπης. Όλα τα σημεία παρουσίας διασυνδέονται με δίκτυο κορμού οπτικών ινών, πλήρως προστατευμένο μέσω πολλαπλών φυσικών οδεύσεων. Ο σύγχρονος εξοπλισμός των κέντρων δεδομένων της εταιρίας

Τα κτίρια στα οποία στεγάζονται οι εγκαταστάσεις του εξοπλισμού, αποτελούνται από κτίρια πολλαπλών ορόφων ανθεκτικά σε διαφορετικών ειδών φυσικές καταστροφές. Η κατασκευή συμμορφώνεται ακόμα και με τα πιο αυστηρά κριτήρια όσον αφορά την καταλληλότητα των εγκαταστάσεων που φιλοξενούν τον εξοπλισμό σας, τις κρίσιμες εφαρμογές σας και τα δεδομένα σας. Οι εγκαταστάσεις έχουν σχεδιαστεί με λεπτομέρεια

και είναι εξοπλισμένες με ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό ο οποίος μπορεί να συνεχίσει την λειτουργία του κάτω από εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες.

Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται από δύο πλήρως ανεξάρτητες παροχές τροφοδοσίας, ενώ το κάθε κτίριο λαμβάνει ρεύμα από δυο εντελώς διαφορετικές οδεύσεις. Οι εγκαταστάσεις των κέντρων δεδομένων είναι σχεδιασμένες και κατασκευασμένες σύμφωνα με το πρότυπο Tier 3, ενώ μπορούν να υποστηρίξουν διακοπή της κύριας παροχής ρεύματος για τουλάχιστον 48 ώρες.

Όσον αφορά τις κλιματικές συνθήκες, η εταιρία έχει εξοπλίσει τα κέντρα δεδομένων με συστήματα ψύξης τύπου downflow, δημιουργώντας τις σωστές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Η βελτιστοποίηση της ψύξης γίνεται με τροπολογία θερμού/ψυχρού διαδρόμου, ενώ το σύνολο του συστήματος είναι πλήρως αυτοματοποιημένο, με διαρκή παρακολούθηση του εξοπλισμού αλλά και των λειτουργιών ψύξης.

Οι εγκαταστάσεις της Synarcocom, διαθέτουν και την κατάλληλη πυρασφάλεια για την αποφυγή πιθανών απειλών αλλά και την έγκαιρη αναγνώριση τους. Οι αισθητήρες του συστήματος είναι τοποθετημένοι σε διάφορα υψίστης σημασίας σημεία και μπορούν να αναγνωρίσουν την αύξηση στη θερμοκρασία ή/και την ύπαρξη καπνού.

### 1.5.4 MedNautilus



Εικόνα 7 Λογότυπο εταιρίας MedNautilusGR

Η εταιρία MedNautilus είναι μέλος της Telecom Italia Sparkle. Διαθέτει δύο κέντρα δεδομένων στον νομό Αττικής, στο Κορωπί και στη Μεταμόρφωση και ένα στην Κρήτη στην περιοχή των Χανίων. Παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο συνδυάζει τα κέντρα δεδομένων με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και την υποδομή cloud που διαθέτει.

Το δίκτυο της εταιρίας είναι ιδιόκτητο και ενώ τα κέντρα δεδομένων της συνδέονται με ένα δίκτυο οπτικών ινών χερσαίου και υποβρυχίου τύπου, μήκους 6000 χιλιομέτρων το οποίο ενώνονται με άλλες χώρες όπως η Ιταλία, η Κύπρος, η Τουρκία και το Ισραήλ.

Η εταιρία χρησιμοποιεί το σύστημα N + 1 σε κάθε κτίριο, ενώ οι εγκαταστάσεις της έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ώστε να ανταποκρίνονται στα πιο προηγμένα διεθνή πρότυπα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της NEBS (Building Equipment Building Standards).

Η ηλεκτρική τροφοδοσία γίνεται με δύο πηγές υψηλής τάσης από δύο χωριστούς μετασχηματιστές ισχύος. Η σύνδεση του ηλεκτρικού δικτύου υπερβαίνει το 1KVA / m<sup>2</sup>. Επίσης διαθέτει συστήματα υποστήριξης το οποίο επιτρέπει τη συνεχή λειτουργία τόσο του ίδιου του εξοπλισμού όσο και του συστήματος κλιματισμού, κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος.

Το συστήματα κλιματισμού που διαθέτει, αποτελείται από άμεσο εξαερισμό σε όλες τις περιοχές IDC μέσω υπερυψωμένων ορόφων κάνοντας χρήση μονάδων Liebert (350.000 btu), ενώ είναι σχεδιασμένο ώστε να λειτουργεί σε ακραίες συνθήκες. Οι θερμοκρασία των χώρων παρακολουθείται και ελέγχεται μεμονωμένα, διατηρώντας τα επίπεδα θερμοκρασίας στους 220°C ± 1° και τα επίπεδα υγρασίας στο 50% ± 10%.

Τα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς βασίζονται σε τοπικές μονάδες δειγματοληψίας, που βρίσκονται στις περιοχές εξυπηρέτησης και στις αίθουσες εργασίας. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, ενεργοποιείται το σύστημα ανίχνευσης και πυρόσβεσης αερίων FM200. Σε περίπτωση βλάβης του συστήματος αερίου, αυτό το σύστημα μπορεί να τεθεί σε λειτουργία με το χέρι. Σε ένα πολύ απίθανο χειρότερο σενάριο, τίθεται σε λειτουργία ένα εφεδρικό "ξηρό" σύστημα με βάση το νερό. Η δομή ανταποκρίνεται στα πρότυπα πυροπροστασίας για έως και τέσσερις ώρες φωτιάς.

Το σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου BMS (Building Management System) επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο όλων των συστημάτων κτιρίων (ηλεκτρικό ρεύμα, κλιματισμό, πυρανίχνευση και πυρόσβεση). Το σύστημα παρακολούθησης λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα, χρησιμοποιώντας διάφορους αισθητήρες που βρίσκονται σε όλο το κτίριο για να ανιχνεύσει αμέσως οποιαδήποτε δυσλειτουργία.

### 1.5.5 IBM Hellas



Εικόνα 8 Λογότυπο εταιρίας IBM

Η IBM αποτελεί μια εταιρία με παγκόσμια αναγνωσιμότητα. Με την ραγδαία ανάπτυξη του cloud computing και τις ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις στην ανάπτυξη νέων κέντρων δεδομένων, η εταιρία έχει επενδύσει σημαντικά κεφάλαια στον χώρο αυτό. Το 2013, η IBM λειτουργώντας πλέον 40 κέντρα δεδομένων, εξαγόρασε την SoftLayer, η οποία διαθέτει εξειδίκευση στον χώρο του cloud computing καθώς και 22 datacenters. Έτσι η IBM αποκτά πελάτες που κυμαίνονται από startups μέχρι και πολυεθνικές εταιρείες διασκορπισμένοι σε πάνω από 140 χώρες.

Η εταιρία διαθέτει ιδιόκτητα κέντρα δεδομένων στην Αθήνα, τα οποία παρέχουν εξειδικευμένες και πλήρως παραμετροποιήσιμες υπηρεσίες στους πελάτες της. Διαθέτουν τελευταίας τεχνολογίας εξοπλισμένο με κατάλληλα συστήματα ψύξης καθώς και εφεδρικά συστήματα συνεχούς παροχής ισχύος. Επίσης, διαθέτουν εξοπλισμένο σύστημα ασφαλείας με CCTV, σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς και καπνού, σύστημα πυρόσβεσης, σύστημα παρακολούθησης και κεντρικού συναγερμού και ελέγχου πρόσβασης σε 24ωρη βάση.

Η IBM Ελλάς είναι πιστοποιημένη σύμφωνα με τα πρότυπα ISO9001, ISO 27001:2005 και ISO 27001:2013 (Information Security Standard). Πιο συγκεκριμένα, παρέχει ένα πλήθος υπηρεσιών όπως:

- **Outsourcing Services:** που αφορούν τον μετασχηματισμό των υποδομών των πελατών για την εξασφάλιση βέλτιστης ποιότητας, έλεγχο του κόστους και άλλα.
- **Cloud Managed Services:** που αφορούν την παροχή υπηρεσιών cloud.
- **Cloud Managed Services for SAP Environments:** αφορά την παροχή πλήρως διαχωρίσιμων και με υψηλή ασφάλεια πλατφόρμων ειδικά σχεδιασμένων για εφαρμογές SAP.
- **Cloud Managed Services for Oracle Environments:** αφορά την παροχή αυτοματοποιημένης πλατφόρμας προσφέροντας ποικιλία υπηρεσιών διαχείρισης περιβαλλόντων Oracle.
- **Business Continuity and Resiliency Services (DR as a Service):** αφορά την παροχή υπηρεσιών αποκατάστασης, οι οποίες μπορούν να διασφαλίσουν τη συνέχιση των

λειτουργιών των επιχειρήσεων στην περίπτωση μη διαθεσιμότητας των ιδιωτικών datacenter.

- ManagedCloudBackup: αφορά την παροχή υπηρεσιών δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας για τα δεδομένα που βρίσκονται στο datacenter του πελάτη, τα οποία διατηρούνται για λόγους επιχειρησιακής συνέχειας των πελατών και στα datacenters της IBM.

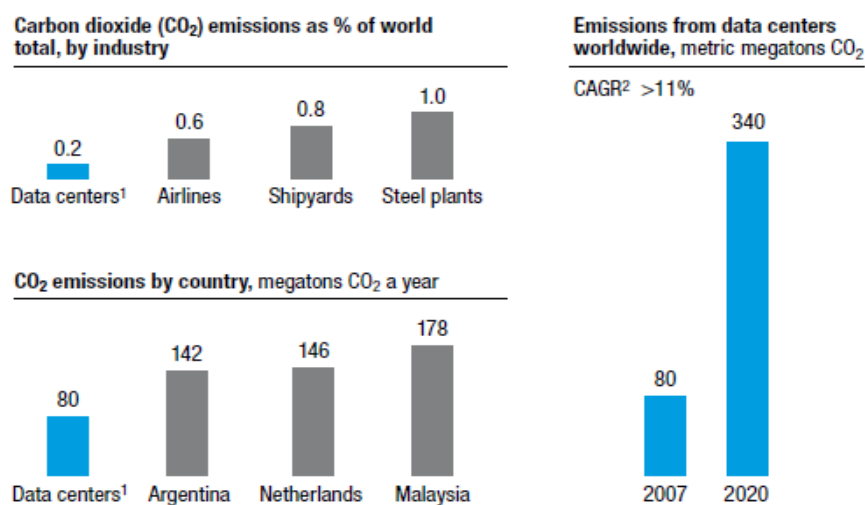
### 1.6 Εκπομπή Αερίων του Θερμοκηπίου

Η αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας δημιουργεί ένα μεγάλο και επεκτεινόμενο αποτύπωμα άνθρακα, με σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες. Για τους περισσότερους τομείς υπηρεσιών, τα κέντρα δεδομένων είναι μια από τις μεγαλύτερες πηγές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Κατά την χρονική περίοδο 2000 - 2006, η ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση και τη διαχείριση των δεδομένων διπλασιάστηκε, με ένα μέσο κέντρο δεδομένων να χρησιμοποιεί ενέργεια ίση με 25.000 νοικοκυριά.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από τα κέντρα δεδομένων αποτελούν το 2%, το οποίο δεν απέχει πολύ από το 6% που κατέχουν οι αεροπορικές εταιρίες και το 8% που κατέχει η ναυπηγεία. Οι εκατομμύρια εξυπηρετητές παγκοσμίως καταναλώνουν το 0,5% του συνόλου της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι εκπομπές των κέντρων δεδομένων πλησιάζουν πλέον τις εκπομπές αερίων χωρών όπως η Αργεντινή ή η Ολλανδία.



**Data centers' large carbon footprint**



<sup>1</sup>Including custom-designed servers (eg, Google, Yahoo), consumed and embedded carbon.

<sup>2</sup>Compound annual growth rate.

Source: Advanced Micro Devices; *Financial Times*; Gartner; Stanford University; Uptime Institute; McKinsey analysis

Εικόνα 9 Αποτύπωμα άνθρακα των Κέντρων Δεδομένων

Σύμφωνα με μελέτη που διεξήγαγαν οι Malmodinetal (2010) σχετικά με την αξιολόγηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με τους κλάδους ΤΠΕ και ψυχαγωγίας και μέσων ενημέρωσης σε επίπεδο τομέα. Το κομμάτι της μελέτης που αφορά την εκπομπή αερίων στα κέντρα δεδομένων αλλά και στον ευρύτερο κλάδο τους, παρουσιάζονται στο επόμενο πίνακα.

Πίνακας 1 Εκπομπή αερίων διοξειδίου του άνθρακα από τα κέντρα δεδομένων για το έτος 2007

Τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνίας	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας (TWh)	Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO <sub>2</sub> (Mt)
Κέντρα δεδομένων, δίκτυα επιχειρήσεων και δίκτυα μεταφορών	226	170
Κέντρα δεδομένων – λειτουργία	180	108
Εξοπλισμός κέντρων δεδομένων, κατασκευή	N.A.	30

Σημείωση: N.A. =nonapplicable, δεν υπάρχουν πληροφορίες.

Κατά την διάρκεια του 2007, η ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία κέντρων δεδομένων έφτασε 180 TWh ενώ οι εκπομπές υπολογίζονταν στους 108 Mt CO<sub>2</sub>. Η λειτουργία των δικτύων επιχειρήσεων έκανε χρήση 29 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, εκπέμποντας 17 Mt CO<sub>2</sub>. Η λειτουργία των δικτύων μεταφοράς κατανάλωσε περίπου 17 TWh και οι εκπομπές CO<sub>2</sub> έφτασαν του 10 Mt. Συνολικά, η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία κέντρων δεδομένων και δικτύων επιχειρήσεων και μεταφορών έφτασε τις 230 TWh, ενώ οι συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> ανήλθαν στους 170 Mt.

Σύμφωνα με ενδείξεις των μετρήσεων, οι παγκόσμιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα κέντρα δεδομένων θα τετραπλασιαστούν μέχρι το 2020. Για αυτό τον λόγο, οι ρυθμιστικές αρχές έχουν λάβει υπόψη αυτές τις εξελίξεις, ασκώντας πίεση στις εταιρείες για την άμεση εύρεση λύσεων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) πρότεινε τα μεγάλα κέντρα δεδομένων να χρησιμοποιούν μετρητές ενέργειας ως ένα πρώτο βήμα για τη δημιουργία προτύπων λειτουργικής απόδοσης. Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε έναν εθελοντικό κώδικα δεοντολογίας που καθορίζει τις βέλτιστες πρακτικές για τη λειτουργία κέντρων δεδομένων σε υψηλότερα επίπεδα ενεργειακής απόδοσης.

### **1.7 Οικολογικά Κέντρα Δεδομένων (Green Data Centers)**

Η αυξημένη ζήτηση σε συναλλαγές, επικοινωνία, χρήσης και αποθήκευσης δεδομένων μέσω διαδικτύου, έχει οδηγήσει τις εταιρίες τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών να δημιουργήσουν περισσότερα κέντρα δεδομένων. Με αυτό τον τρόπο έχουν αυξηθεί ο αριθμός και η πυκνότητα των εξυπηρετητών (servers) αλλά και των αποθηκευτικών συσκευών. Έτσι, τα κέντρα δεδομένων έχουν καταλήξει να είναι μεγάλοι καταναλωτές ενέργειας, εξαιτίας των αυξημένων απαιτήσεων σε ψύξη του εξοπλισμού.

Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 μέχρι και το 2006, είχε παρατηρηθεί ότι ο αριθμός των εξυπηρετητών είχε διπλασιαστεί ενώ η κατανάλωση ενέργειας των κέντρων δεδομένων είχε τετραπλασιαστεί.

Αυτή η αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας στα κέντρα δεδομένων, οδήγησε στην αύξηση του κόστους λειτουργίας τους, το οποίο επηρέασε σημαντικά και το κόστος για τις επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες των κέντρων δεδομένων, ανεξαρτήτως από το μέγεθος των επιχειρήσεων αυτών.

Ένας από τους πιο σημαντικούς οικονομικούς παράγοντες στα κέντρα δεδομένων, αποτελεί το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας. Τόσο οι απαιτήσεις σε ενέργεια όσο και η κλιμάκωση των τιμών αγοράς ενέργειας, έχει οδηγήσει πολλές εταιρίες να επικεντρωθούν στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κέντρων δεδομένων τους. Εκτός από την μείωση στο κόστος της ενέργειας, απαιτείται και μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

Η κατανάλωση ενέργειας από συμβατικές πηγές, συμβάλει στην διαρκεί αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα τα κέντρα δεδομένων να συμβάλλουν ενεργά στην επιδείνωση του προβλήματος αυτού. Από τη μία πλευρά, οι αυξημένες απαιτήσεις του εξοπλισμού των κέντρων δεδομένων σε ενέργεια για την λειτουργία και την ψύξη και από την άλλη πλευρά το αυξανόμενο κόστος της ενέργειας, οδηγούν στην αναζήτηση νέων κέντρων δεδομένων τα οποία θα διαθέτουν οικολογικό χαρακτήρα – Green data centers.

Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για τον σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών κέντρων δεδομένων ή green data centers. Τα πράσινα κέντρα δεδομένων είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι ενεργειακά αποδοτικός ενώ στο σύνολο τους να εκπέμπουν ελάχιστους έως καθόλου ρύπους.

Ένα πράσινο κέντρο δεδομένων διαθέτει προηγμένης τεχνολογίας εξοπλισμό, ο οποίος στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος του άνθρακα της εγκατάστασης και του κτιρίου, στην εικονικοποίηση των πόρων, στη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας καθώς και στην εγκατάσταση ενός συστήματος προηγμένων συστημάτων ψύξης για τον κλιματισμό του εξοπλισμού.

Η διαφορά των πράσινων κέντρων δεδομένων με τα συμβατικά έγκειται στο ότι τα πράσινα κέντρα δεδομένων είναι φιλικά προς το περιβάλλον και κατά συνέπεια έχουν μικρότερο κόστος λειτουργίας εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας.

Η πρόκληση στον επανασχεδιασμό των κέντρων δεδομένων, έγκειται στην πρόσθεση της ενεργειακή απόδοσης στις λειτουργικές παραμέτρους τους όπως η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών, η αξιοπιστία και την απόδοση του εξοπλισμού. Δύο από τις πιο αντιπροσωπευτικές μεθόδους, είναι η ενοποίηση του φόρτου εργασίας και η χρήση κοινόχρηστων διακομιστών, οι οποίες αποτελούν τους πλέον αποτελεσματικούς τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας. Η ενοποίηση των διακομιστών συνεπάγεται τον συνδυασμό φόρτου εργασίας από διαφορετικά μηχανήματα και διασπούν τις εφαρμογές σε μικρότερο αριθμό συστημάτων. Αυτή η προσέγγιση λύνει κάποιες ενδιαφέρουσες προκλήσεις, απαιτείται λιγότερο υλικό, λιγότερη κατανάλωση ισχύος για να την ηλεκτροδότηση και

λιγότερος φυσικός χώρος. Επίσης το κλείσιμο των διακομιστών που δεν χρησιμοποιούνται είναι ένας προφανής τρόπος για να ελαττώσουμε το κόστος και της ενέργειας και της ψύξης ενώ παράλληλα να διατηρήσουμε καλά επίπεδα απόδοσης.

Τα συμβατικά κέντρα δεδομένων, έχουν την δυνατότητα να γίνουν πράσινα με την εφαρμογή τροποποιήσεων τόσο στον τρόπο λειτουργίας τους όσο και στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Παρόλα αυτά επεμβάσεις μπορούν να γίνουν και στο εξωτερικό των εγκαταστάσεων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός των κτιρίων μπορεί να βοηθήσει ενεργά στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε ένα κέντρο δεδομένων.

Στην επόμενη εικόνα, φαίνεται το κέντρο δεδομένων Citipou βρίσκεται στην Φρανκφούρτη της Γερμανίας. Οι εγκαταστάσεις του κέντρου δεδομένων λειτουργούν από το 2009 , ενώ καλύπτει πάνω από 21000 m<sup>2</sup>. Το κέντρο δεδομένων κατασκευάστηκε έτσι ώστε να χρησιμοποιεί μόνο το 30% της ενέργειας που απαιτείται σε ένα συμβατικό κέντρο δεδομένων. Επίσης, διαθέτει φυτεμένη οροφή, η οποία καλύπτει σχεδόν το 72% της επιφάνειας, απορροφώντας νερό και βοηθώντας στην διατήρηση μιας σταθερής θερμοκρασίας στο εσωτερικό καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Τέλος, οι εγκαταστάσεις καλύπτουν της ανάγκες τους σε ψύξη, κάνοντας χρήση αέρα από το εξωτερικό κατά το 63%, ενώ χρησιμοποιούν αντίστροφη όσμωση νερού, εξοικονομώντας 49 εκατομμύρια λίτρων νερού τον χρόνο.



### Εικόνα 10 Κέντρο Δεδομένων Citi, Φρανκφούρτη, Γερμανία, φυτά καλύπτουν την επιφάνεια του τοίχου

Υπάρχουν πολλά πράσινα κέντρα δεδομένων σε ολόκληρο τον κόσμο. Η ευαισθητοποίηση πάνω στα περιβαλλοντικά ζητήματα αλλά και η ανησυχία για το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα έχει οδηγήσει πολλές χώρες και οργανισμούς να στραφούν στην πράσινη ενέργεια. Ένα τέτοιο παράδειγμα υπάρχει και στην Ελλάδα.

Το πράσινο κέντρο δεδομένων της ΕΔΕΤ βρίσκεται στην περιοχή της Φιλιπιάδας, στις όχθες του ποταμού Λούρου δίπλα στο τεχνητό υδροηλεκτρικό φράγμα του σταθμού της ΔΕΗ. Χάρη στον οικολογικό του σχεδιασμό, η συνολική κατανάλωση ενέργειας, συγκριτικά με εκείνη που χρησιμοποιείται συνήθως από τα συμβατικά κέντρα δεδομένων, μειώθηκε σε ποσοστό μεγαλύτερο από 50 %, γεγονός το οποίο έχει θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και την οικονομία.

Η καινοτομία του πράσινου κέντρου δεδομένων συνίσταται στο γεγονός ότι από μελέτης κατασκευής, η λειτουργία του συστήματος κλιματισμού του και η ψύξη συστημάτων Πληροφορικής δεν βασίζεται σε συμβατικούς ψύκτες παραγωγής κρύου νερού, οι οποίοι καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια για την ψύξη παρά για τη λειτουργία τους, αλλά τροφοδοτείται από φυσικούς πόρους, με τη άντληση κρύου νερού από τον ποταμό Λούρο, μέθοδος που εφαρμόζεται για πρώτη φορά στην Ελλάδα. Λειτουργεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες (~27 °C - 28 °C) ώστε αφενός να μειωθούν οι ανάγκες ψύξης αφετέρου να υπάρχει δυνατότητα χρήσης του νερού από το ποτάμι όλο το χρόνο, τόσο τους χειμερινούς μήνες όσο και τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η θερμοκρασία του νερού είναι αυξημένη.



Εικόνα 11 Αεροφωτογραφία του κέντρου δεδομένων της ΕΔΕΤ δίπλα στο φράγμα του Λούρου

### 1.7.1 Τεχνολογίες για Πράσινα Data Centers

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα πράσινα κέντρα δεδομένων είναι:

#### 1) Server Consolidation

Εξαιτίας της μείωσης του αριθμού των εξυπηρετητών (servers) σε ένα κέντρο δεδομένων μέσω του serverconsolidation, γίνεται φανερό ότι απαιτείται ένα σημαντικά μικρότερο ποσό ενέργειας για τη λειτουργία και την ψύξη του εξοπλισμού του. Επίσης, όσο λιγότερο εξοπλισμό διαθέτει το κέντρο δεδομένων, τόσο λιγότερα ηλεκτρονικά απόβλητα θα παράγονται, καθιστώντας έτσι το κέντρο δεδομένων πιο φιλικό προς το περιβάλλον καθώς και πιο οικονομικό όσον αφορά τις επιχειρήσεις που κάνουν χρήση των υπηρεσιών του.

#### 2) Διαχείριση Ενέργειας

Τα διαθέσιμα εργαλεία διαχείρισης ενέργειας είναι πολυάριθμα, παρόλα αυτά πολλά κέντρα δεδομένων δεν τα χρησιμοποιούν. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω το ότι οι εταιρίες των κέντρων δεδομένων ενδιαφέρονται σχεδόν αποκλειστικά για την απόδοση και το uptime, δηλαδή, τον χρόνο κατά τον οποίο ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ή γενικά μια ηλεκτρονική συσκευή είναι ανοιχτά και λειτουργούν, ή εξαιτίας του ότι το προσωπικό των κέντρων δεδομένων δεν είναι εξοικειωμένο με τα εργαλεία αυτά.

#### 3) Εναλλακτικές Πηγές Ενέργειας

Πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική, αποτελούν ιδανικές πηγές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς τις δυσάρεστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παρόλα τα πλεονεκτήματα της χρήση των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, προκύπτει ένα αρκετά σημαντικό πρόβλημα όσον αφορά την σταθερή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικά, κατά την διάρκεια της αιχμής, οι απαιτήσεις σε ενέργεια είναι αυξημένες, με αποτέλεσμα να απαιτείται αγορά επιπλέον ενέργειας από τον τοπικό προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να λυθεί το πρόβλημα αυτό, είναι η εγκατάσταση μηχανισμών αποθήκευσης ενέργειας, όπου θα μπορεί να φυλάσσεται η πλεονάζουσα ενέργεια για χρήση σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή όπου θα υπάρχει ζήτηση.

#### 4) Ψύξη Data Center

Ένα από τα σημαντικά θέματα στα κέντρα δεδομένων είναι η ψύξη τους. Τα υπολογιστικά συστήματα ενός κέντρου δεδομένων απαιτούν τεράστιες ποσότητες ισχύος τόσο για λειτουργία και όσο και για κλιματισμό. Για κάθε Watt της ισχύος για την λειτουργία του εξοπλισμού υπάρχει μια ανάγκη για άλλη 50% έως 60% ισχύς για τον κλιματισμό. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι ψύξης, οι οποίες όμως χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες όπως η ψύξη με αέρα και η υγρή ψύξη.

## ΚΑΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> – ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΚΕΝΤΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 2.1 Το Ιδανικό Κέντρο Δεδομένων

Ένα ιδανικό κέντρο δεδομένων, θα χρειαζόταν να καταναλώσει μόνο την ενέργεια που απαιτείται για την επεξεργασία των αιτημάτων που έχει παραλάβει. Παρόλα αυτά, για την επεξεργασία των αιτημάτων απαιτείται επιπλέον ενέργεια για άλλες λειτουργίες όπως για παράδειγμα κατανάλωση ενέργειας από τους πόρους που βρίσκονται σε αδράνεια, κατανάλωση ενέργειας από τα συστήματα ψύξης ώστε να διατηρείται ηεύρυθμη και αποδοτική λειτουργία του συστήματος, ενώ εντοπίζεται και σπατάλη ενέργειας από την αναποτελεσματική παροχή ρεύματος στους εξυπηρετητές.

Στην περίπτωση που ένα κέντρο δεδομένων λειτουργούσε σε ιδανικές συνθήκες, η πλεονάζουσα κατανάλωση ενέργειας θα ελαχιστοποιούνταν. Για την επίτευξη αυτού, θα πρέπει να επιτευχθούν πρώτα οι εξής στόχοι:

- A) Ενέργεια Ανάλογη των Εργασιών. Κατά την εκτέλεση μιας εργασίας καταναλώνεται η ελάχιστη υπολογιστική ενέργεια, ανεξάρτητα από τον χρόνο που θα χρειαστεί για να εκτελεσθεί η εργασία μέχρι να ολοκληρωθεί. Επίσης η ενέργεια που καταναλώνεται από τους πόρους είναι ανάλογη με την εργασία και όχι από τον χρόνο. Για την επίτευξη αυτού, θα πρέπει η βασική κατανάλωση ισχύος των εξυπηρετητών κατά την κατάσταση αδράνειας, να είναι 0.
- B) Αποδοτικότητα Χρήσης Ενέργειας (PUE). Η μονάδα υπολογισμού της αποδοτικότητας δίνεται από την σχέση:

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Power}}{\text{IT Equipment Power}} = \frac{\text{Συνολική κατανάλωση Κεντρου Δεδομένων}}{\text{Καταναλώσεις εξοπλισμού πληροφορικής}}$$



Η σταθερά PUE – PowerUsageEffectiveness προκύπτει διαιρώντας το ποσό της ενέργειας που εισάγεται στο κέντρο δεδομένων με την ενέργεια που χρησιμοποιείται από τον εξοπλισμό για την λειτουργία του. Εκφράζεται ως ποσοστό, όπου η τιμή 1 δίνει την βέλτιστη αποτελεσματικότητα ενώ ένας μέσος όρος 2, θεωρείται αναποτελεσματικός – κακός. Η καταναλισκόμενη ενέργεια σε ένα κέντρο δεδομένων κατανέμεται μεταξύ των διακομιστών, των συστημάτων ψύξης αλλά και του υπόλοιπου εξοπλισμού από τον οποίο απαρτίζεται ένα κέντρο δεδομένων. Η τιμή που έχει η PUE μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από 1. Στις βιομηχανίες για παράδειγμα, η μέση τιμή κυμαίνεται από 1,5 μέχρι 2, κάτι που υποδεικνύει την αναποτελεσματική λειτουργία των υποδομών ενός κέντρου δεδομένων.

Η επίτευξη των δύο αυτών στόχων εγγυάται την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του κέντρου δεδομένων. Επίσης, ελαχιστοποιείται σημαντικά και η κατανάλωση ενέργειας από τον εξοπλισμό υποστήριξης που βρίσκεται σε αδράνεια.

## 2.2 Μοντέλα Βελτιστοποίησης Ενέργειας

Τα κέντρα δεδομένων γίνονται όλο και πιο δημοφιλή για την παροχή υπολογιστικών πόρων. Σύμφωνα με την μελέτη των Brown et al(2008), οι δαπάνες και τα λειτουργικά έξοδα των κέντρων δεδομένων έχουν αυξηθεί σημαντικά κατά την τελευταία δεκαετία, με την αύξηση της χωρητικότητας της πληροφορικής.

Η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί μια αυξανόμενη ανησυχία για όλους τους φορείς εκμετάλλευσης των κέντρων δεδομένων. Για αυτό τον λόγο, η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί μια κύρια καταχωρήσεις λειτουργικών δαπανών σε κάθε κέντρο δεδομένων. Ο ερευνητικός όμιλος Gartner, σύμφωνα με έρευνα που διεξήγαγε το 2011, εκτίμησε ότι η κατανάλωση ενέργειας στα κέντρα δεδομένων θα ανερχόταν στο 10% των λειτουργικών εξόδων και κατά τα επόμενα χρόνια θα αυξανόταν μέχρι και στο 50%.

Σύμφωνα με τους Brown et al(2008), το 40% της ενέργειας καταναλώνεται σε εξοπλισμό πληροφορικής, στην οποία περιλαμβάνονται η ενέργεια που

καταναλώνεται από τους υπολογιστές, καθώς και το υλικό του δικτύου δεδομένων που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση.

Οι Shang et al (2003), υποστηρίζουν ότι το ένα τρίτο της συνολικής ενέργειας της τεχνολογίας πληροφορικής, καταναλώνεται μέσω ζεύξεων επικοινωνίας, μεταγωγής και συνάθροισης, ενώ τα υπόλοιπα δύο τρίτα κατανέμονται στους υπολογιστικούς διακομιστές. Υπάρχουν βέβαια και άλλα συστήματα που συμβάλλουν στην κατανάλωση ενέργειας στο κέντρο δεδομένων, όπως τα συστήματα ψύξης και διανομής ισχύος που αντιπροσωπεύουν το 45% και το 15% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, αντίστοιχα.

Η επιστημονική κοινότητα του κλάδου της πληροφορικής, έχει κάνει πολλές προσπάθειες εύρεσης τρόπων ώστε να ελαχιστοποιήσουν την κατανάλωση ισχύος στα κέντρα δεδομένων. Για να δώσουν λύση σε αυτό το εξαιρετικά σημαντικό πρόβλημα, δημιούργησαν και εφάρμοσαν αλγόριθμους για την παραγωγή ενεργειακά αποδοτικού υλικού του κέντρου δεδομένων. Κάποιες από τις μεθόδους ελαχιστοποίησης της καταναλισκόμενης ενέργειας αφορούν την κλιματισμό του εξοπλισμού και της γενικότερης βελτιστοποίησης των συνθηκών λειτουργίας. Άλλες μέθοδοι, αφορούν την ελαχιστοποίηση καταναλισκόμενης ενέργειας μέσω της επίτευξης βέλτιστης λειτουργίας των διακομιστών αλλά και τον επιμέρους στοιχείων που χρησιμοποιούνται στα κέντρα δεδομένων.

Οι δύο πιο δημοφιλείς τεχνολογίες είναι:

- Η τεχνολογία δυναμικής τάσης και κλιμάκωσης συχνότητας – DVFS, η οποία προσαρμόζει την κατανάλωση ενέργειας υλικού σύμφωνα με το εφαρμοσμένο φορτίο υπολογιστών.
- Η δυναμική διαχείριση ισχύος DPM, η οποία επιτυγχάνει το μεγαλύτερο μέρος εξοικονόμησης ενέργειας ενεργοποιώντας συσκευές κατά το χρόνο εκτέλεσης.

Στα κέντρα δεδομένων, υπάρχουν τρεις βασικοί στόχοι οι οποίοι πρέπει να είναι απολύτως κατανοητοί, ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την τεχνική υλοποίηση, αλλά και την επίτευξη τους. Κάθε στόχος μπορεί να επιδιωχθεί μεμονωμένα ή σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους για την επίτευξη βέλτιστης λειτουργίας και αποδοτικότητας. Οι στόχοι της διαχείρισης ενέργειας είναι οι εξής:

1. Συνεχής ή περιοδικές μετρήσεις της απόδοσης. Για την διερεύνηση εφαρμογής ενός προγράμματος διαχείρισης ενέργειας σε ένα κέντρο δεδομένων, είναι απαραίτητη η λήψη μετρήσεων της ενεργειακής αποδοτικότητας σε συνεχή ή περιοδική βάση.

Στην περίπτωση που η μετρήσεις προκύψουν ίδιες ή καλύτερες με άλλα παρόμοια κέντρα δεδομένων τότε ίσως να μην είναι απαραίτητη η εφαρμογή προγράμματος διαχείρισης ενέργειας. Αν όμως οι μετρήσεις της απόδοσης προκύψουν κατά πολύ μικρότερες από άλλα παρόμοια κέντρα δεδομένων, τότε η εφαρμογή ενός προγράμματος διαχείρισης ενέργειας είναι απαραίτητη και μάλιστα σε συνεχή βάση, ώστε να βελτιωθεί η απόδοση της επένδυσης. Παρόλα αυτά θα πρέπει να σημειωθεί ότι η επίτευξη του στόχου αυτού δεν είναι επαρκείς ώστε να οδηγήσει σε αποδεδειγμένες μειώσεις στην κατανάλωση ενέργειας στα κέντρα δεδομένων. Για αυτόν το λόγο ο στόχος αυτός πρέπει να υλοποιηθεί σε συνδυασμό με τους υπόλοιπους δύο.

2. Γνώση του εξοπλισμού και χρήση των πληροφοριών για μείωση της ενέργειας των εγκαταστάσεων υποδομής. Η κατανάλωση ενέργειας στα κέντρα δεδομένων, προέρχεται από τις υλικές υποδομές. Η λειτουργία του εξοπλισμού, η ψύξη των χώρων, ο φωτισμός και τα συστήματα ελέγχου καταναλώνουν σε εικοσιτετράωρη βάση μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται ένα μέτρο μετρήσεων της αποδοτικότητας της κατανάλωσης ενέργειας των υποδομών. Το μέτρο αυτό είναι η Αποτελεσματικότητα Χρήσης Ενέργειας (PowerUsageEffectiveness – PUE). Σε πολλές περιπτώσεις, η καταναλισκόμενη ισχύς των υλικών υποδομών προκύπτει μεγαλύτερη από την τιμή 2. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η ισχύς που καταναλώνεται είναι μεγαλύτερη από την ισχύ που χρησιμοποιείται από τα φορτία λειτουργιών IT, οπότε είναι απαραίτητη η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της τροποποίησης αλλά και των ρυθμίσεων του εξοπλισμού χωρίς όμως να επηρεάζεται αρνητικά το φορτίο λειτουργιών IT. Η ελάττωση στην κατανάλωση ενέργεια μπορεί να ανέλθει μέχρι και στο 40% ανάλογα με το επίπεδο των επεμβάσεων στις ρυθμίσεις και την διευθέτηση του εξοπλισμού αλλά και στο φορτίο του κέντρου δεδομένων.
3. Μετάθεση της κατανομής ενέργειας σε άλλους. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα κέντρα δεδομένων λειτουργούν ως πάροχος υπηρεσιών προς άλλες εταιρίες ή οργανισμούς, είτε παρέχοντας τη υλική υποδομή του, είτε προμηθεύοντας υποδομή IT υπό τη μορφή μεμονωμένων υπολογιστών ή διακομιστών. Αρκετές φορές απαιτείται – ακόμα και από τους ίδιους τους πελάτες – η κατανομή και η χρέωση της ενέργειας που καταναλώνεται στα κέντρα δεδομένων που τους παρέχουν τις υπηρεσίες. Ουσιαστικά, με αυτό το μέτρο επιχειρείται η παροχή ενός

οικονομικού κινήτρου στους πελάτες των κέντρων δεδομένων ώστε να δημιουργηθεί μια οικολογική συμπεριφορά όσον αφορά την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω διαφόρων ενεργειών όπως η απενεργοποίηση των διακομιστών που δεν χρησιμοποιούνται, η ενεργοποίηση των λειτουργιών διαχείρισης ενέργειας, η διαχείριση των περιττών χώρων αποθήκευσης ή ακόμα και εικονικοποίηση των διακομιστών, όπου αυτό είναι εφικτό. Το επίπεδο της εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα τυπικό κέντρο δεδομένων, μπορεί να αγγίξει μέχρι και το 80%.

Η επίτευξη ενός αποτελεσματικού τρόπου διαχείρισης της κατανάλωσης ενέργειας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα στοιχεία του ενσωματωμένου συστήματος. Για αυτό τον λόγο μια γενική αρχιτεκτονική διαχείρισης ενέργειας θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να αρκετά ευέλικτη και να είναι σε θέση να υποστηρίξει πολλαπλές πλατφόρμες με διαφορετικές απαιτήσεις.

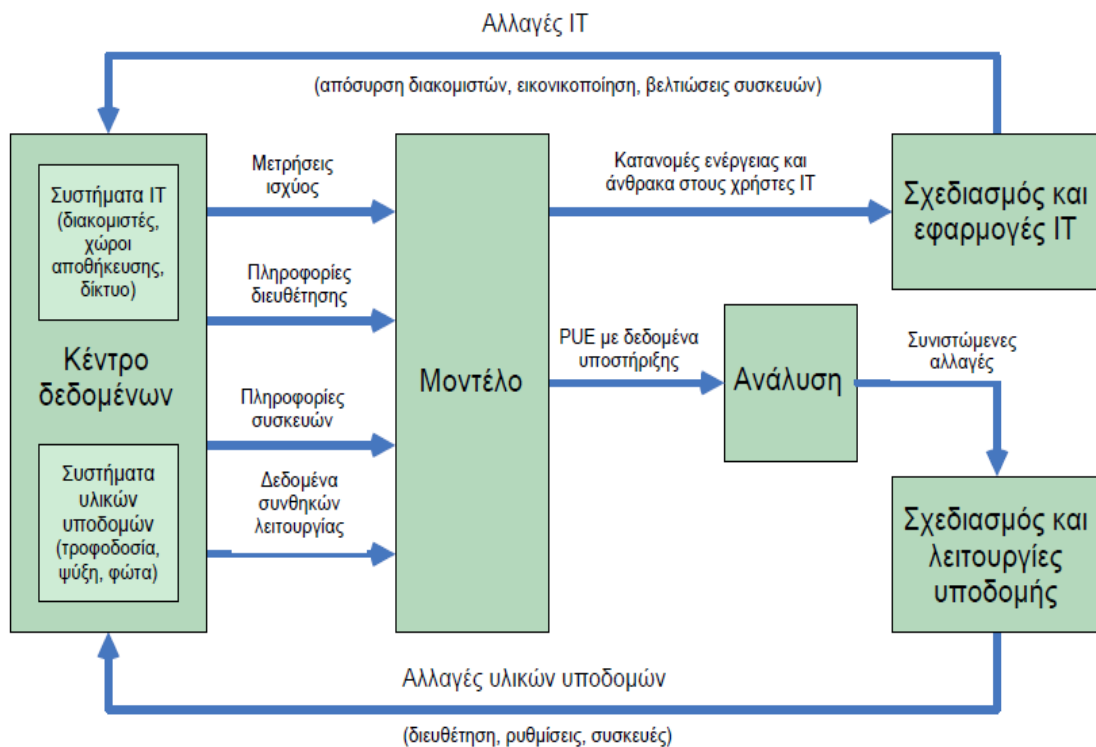
Σε ένα αντίστοιχο συμπέρασμα κατέληξαν και οι ερευνητές Fan, Weber και Barrosoto 2007. Μετά από μελέτη που διεξήγαγαν, διαπίστωσαν ότι οι δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και ενέργειας είναι σημαντικές, σημειώνοντας ότι είναι πολύ μεγαλύτερες σε επίπεδο συστοιχιών – σε χιλιάδες διακομιστές – από ότι στο επίπεδο rack – δεκάδες διακομιστές. Τέλος υποστήριξαν ότι κάθε σύστημα πρέπει να είναι αποδοτικό σε όλη την περιοχή δραστηριότητας του και όχι μόνο στα κορυφαία επίπεδα απόδοσης.

### **2.3 Βασικό Μοντέλο Ενέργειας**

Για την καλύτερη απόδοση ενός κέντρου δεδομένων, εκτός από την καλύτερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, θα πρέπει η προσοχή να στραφεί εξίσου στις συνθήκες περιβάλλοντος. Κατά την λειτουργία ενός κέντρου δεδομένων, ο εξοπλισμός – και κατά συνέπεια η λειτουργία του συστήματος στο σύνολο του – επηρεάζεται σε αξιόλογο βαθμό από τις συνθήκες τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον των εγκαταστάσεων, διαδραματίζοντας σημαντικά στην αποδοτική λειτουργία του.

Για την δημιουργία ενός ενεργειακά αποδοτικού πλάνου, απαιτείται η μέτρηση της χρήσης της ενέργειας στο κέντρο δεδομένων. Ολόκληρο το σύστημα βασίζεται στην ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει, ενώ κάθε στοιχείο του εξοπλισμού καταναλώνει συγκεκριμένα ποσά ενέργειας. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η γνώση της

κατανάλωσης ενέργειας του κάθε στοιχείου για τη δημιουργία, βελτιστοποίηση αλλά και την επέκταση ενός κέντρου δεδομένων.



Εικόνα 12 Διάγραμμα ροής πληροφοριών μιας διαδικασίας διαχείρισης ενέργειας κέντρου δεδομένων

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, για την ορθή χρήση των μοντέλων πρέπει να είναι διαθέσιμες όλες οι πληροφορίες που αφορούν τις μετρήσεις ισχύος, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών που χρησιμοποιούνται αλλά και τα απαραίτητα δεδομένα σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Αυτές οι μετρήσεις παίζουν ουσιαστικό ρόλο στον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κέντρου δεδομένων.

Ο υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης ενός κέντρου δεδομένων προκύπτει από τον τύπο:

$$PUE = \frac{Total\ Facility\ Power}{IT\ Equipment\ Power}$$

Στην σταθερά PUE – PowerUsageEffectiveness, ως TotalFacilityPower θεωρείται η συνολική ενέργεια που παρέχεται στο κέντρο δεδομένων, ενώ η ITEquipmentPower θεωρείται ως η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τον εξοπλισμό όπως οι

εξυπηρετητές, τα συστήματα δικτύωσης, ο αποθηκευτικός χώρος και όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα πληροφορικής.

Με την μοντελοποίηση των διαδικασιών, τα δεδομένα αναλύονται από το επιλεγμένο μοντέλο και στην συνέχεια παρέχονται συνιστώμενες αλλαγές που θα βοηθήσουν στον σχεδιασμό και την λειτουργία των υποδομών, με βασικό στόχο την επίτευξη υψηλής απόδοσης και ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας στο κέντρο δεδομένων.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο παραπάνω διάγραμμα, το σύστημα το οποίο περιγράφεται ενσωματώνει και τους τρεις στόχους διαχείρισης ενέργειας ενός τυπικού κέντρου δεδομένων οι οποίοι περιγράφηκαν στην προηγούμενη υπό ενότητα. Δηλαδή:

- Παρέχονται δεδομένα που αφορούν την μέτρηση επιδόσεων
- Κατανέμει και μετακυλύει την ενέργεια στους χρήστες IT
- Παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τις βελτιώσεις των υλικών υποδομών

Ουσιαστικά, οι μετρήσεις της αποδοτικότητας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε ένα κέντρο δεδομένων, εξαιτίας της συμβολής τους στην δημιουργία ενός σωστού μοντέλου για τα κέντρα δεδομένων. Έτσι, οι μετρήσεις βοηθούν το μοντέλο στην έκδοση πληροφοριών που μπορούν να οδηγήσουν στην λήψη των ορθών μέτρων που αφορούν την απόδοση του κέντρου δεδομένων.

## **2.4 Μοντέλο Δυναμικής Τάσης και Κλιμάκωσης Συχνότητας (DVFS)**

Πολλές φορές είναι δυνατή η μείωση της τάσης της τροφοδοσίας ενέργειας σε ένα σύστημα, μέσω της μείωσης της συχνότητας ρολογιού ενός διακομιστή. Αυτή η τεχνική διαχείρισης ενέργειας χρησιμοποιείται ευρέως, προσφέροντας μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, η οποία είναι σε θέση να οδηγήσει σε αξιόλογη μείωση της ενέργειας που απαιτείται για υπολογισμούς και ιδιαίτερα για την δέσμευση εργασίας μνήμης.

Το μοντέλο DVFS περιγράφει δύο τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εξοικονόμηση ενέργειας στα ενσωματωμένα συστήματα. Αυτές οι τεχνικές είναι:

1. Η δυναμική προσαρμογή της συχνότητας
2. Η δυναμική προσαρμογή της τάσης

Κύριο χαρακτηριστικό του μοντέλου αυτού, είναι ο εντοπισμός των σημείων όπου το σύστημα δηλαδή ο επεξεργαστής, βρίσκεται σε αδράνεια και δεν παράγει χρήσιμο έργο (system slack). Όταν ένα σύστημα είναι αδρανές επηρεάζεται ελάχιστα από την μείωση της συχνότητας λειτουργίας και της τάσης τροφοδοσίας του. Έτσι, σκοπός της τεχνικής είναι να εκμεταλλευτεί αυτήν την αδράνεια του συστήματος. Καθώς η αδράνεια παρουσιάζεται σε διάφορα επίπεδα, οι αποφάσεις για DVFS μπορούν να ληφθούν σε:

1. Επίπεδο συστήματος, βασισμένες στην αδράνεια σε επίπεδο συστήματος.
2. Επίπεδο προγράμματος, βασισμένες στην αδράνεια σε επίπεδο εντολών.
3. Επίπεδο υλικού (hardware), βασισμένες στην αδράνεια του υλικού.

Εκτός από την κατανάλωση ενέργειας, η αύξηση της συχνότητας λειτουργίας σε έναν υπολογιστή μπορεί να μεγαλώσει το χάσμα που δημιουργείται ανάμεσα στην ταχύτητα που λειτουργεί ένας μικροεπεξεργαστής και στην ταχύτητα προσπέλασης της μνήμης. Εξαιτίας αυτής της μεγάλης ανισότητας στους υπολογιστές υψηλής ταχύτητας, οι μικροεπεξεργαστές μπορεί να μένουν ανενεργοί για μεγάλα χρονικά διαστήματα περιμένοντας να τελειώσουν προσπελάσεις μνήμης αντί να κάνουν χρήσιμες πράξεις.

Αν μεταβληθεί μόνο την τάση ή μόνο το σήμα του ρολογιού σε ένα σύστημα, είναι εφικτό να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Παρόλα αυτά, δεν είναι εύκολη η εφαρμογή κάθε τεχνικής μεμονωμένα σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Αν όμως μειωθούν ταυτόχρονα η τάση λειτουργίας και το σήμα ρολογιού μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς τον κίνδυνο να παρεκκλίνει το κύκλωμα από την σωστή λειτουργία του.

Το DVFS εκμεταλλεύεται τη σχέση μεταξύ κατανάλωσης ρεύματος  $P$ , παρεχόμενης τάσης  $V$  και συχνότητας λειτουργίας  $f$  και δίνεται με την έκφραση:

$$P = V^2 * f$$

Η μείωση της τάσης ή της συχνότητας μειώνει την κατανάλωση ενέργειας. Η επίδραση του DVFS είναι περιορισμένη, καθώς η μείωση ισχύος ισχύει μόνο για την CPU, ενώ ο δίαυλος συστήματος, η μνήμη, οι δίσκοι καθώς και οι περιφερειακές συσκευές συνεχίζουν να καταναλώνουν στις μέγιστες τιμές τους.

Γενικά, η απαιτούμενη τάση μιας σταθερής λειτουργίας καθορίζεται από την συχνότητα στην οποία το κύκλωμα είναι συγχρονισμένο, η οποία μπορεί να ελαττωθεί μειώνοντας την συχνότητα και κατά συνέπεια να αποφέρει σημαντική μείωση στην κατανάλωση ενέργειας.

Σύμφωνα με μελέτες των Raghavendra et al(2008), Verma et al(2008), Kusic et al(2009) και Gandhi et al(2009), έχει προκύψει ότι η εφαρμογή του συστήματος DVFS στην CPU έχει ως αποτέλεσμα την σχεδόν γραμμική σχέση της ισχύος ως προς τη συχνότητα. Ο πρώτος λόγος για το οποίο συμβαίνει αυτό είναι ο περιορισμένος αριθμός των στοιχείων που δύναται να ρυθμιστούν στη συχνότητα και την τάση της CPU, ενώ ο δεύτερος λόγος είναι ότι το σύστημα DVFS δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε άλλα στοιχεία του συστήματος εκτός από την CPU. Επιπροσθέτως, από αυτές τις μελέτες προέκυψε ότι κατά μέσο όρο ένας κενός εξυπηρετητής καταναλώνει περίπου το 70% της ισχύος που καταναλώνει ένας διακομιστής ο οποίος λειτουργεί με πλήρη ταχύτητα CPU. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται η τεχνική εναλλαγής των αδρανών διακομιστών ώστε να ελαττωθεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Επομένως, χρησιμοποιείται το μοντέλο ισχύος που ορίζεται με τον τύπο:

$$P(u) = k * P_{max} + (1 - k) * P_{max} * u$$

Όπου:

- $P_{max}$  είναι η μέγιστη ισχύς που καταναλώνεται κατά την πλήρη χρήση του διακομιστή
- $k$  είναι το κλάσμα της ισχύος που καταναλώνεται από τον κεντρικό εξυπηρετητή
- $u$  είναι η χρήση της CPU

Γενικά, η χρήση της CPU δύναται να μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου εξαιτίας της μεταβλητότητας που παρουσιάζει ο φόρτος εργασίας. Για αυτό τον λόγο, η χρήση της CPU αποτελεί συνάρτηση του χρόνου και αναπαρίσταται ως  $u(t)$ . Επομένως, η συνολική κατανάλωση ενέργειας ( $E$ ) από έναν φυσικό κόμβο μπορεί να οριστεί ως αναπόσπαστο τμήμα της συνάρτησης κατανάλωσης ενέργειας για μια χρονική περίοδο, όπως περιγράφεται με τον επόμενο τύπο:



$$E = \int_t P(u(t))$$

## 2.5 Μοντέλο Δυναμικής Διαχείρισης Ενέργειας (DMP)

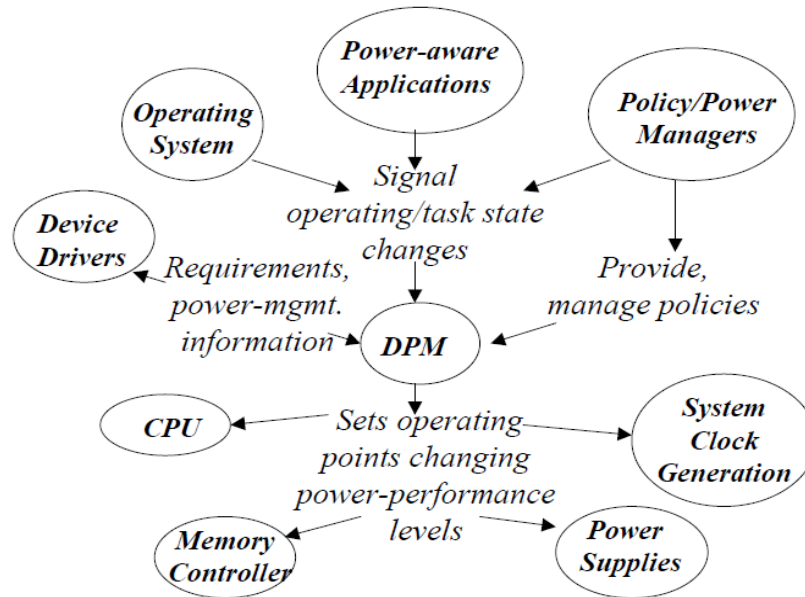
Τα αποτελέσματα που έχει επιφέρει η εφαρμογή των συστημάτων DVFS στα κέντρα δεδομένων είναι εξαιρετικά. Παρόλη την διαφάνεια, την απλότητα και την ευελιξία των συστημάτων αυτόν, κάποιιοι σκέφτηκαν να αναπτύξουν μια νέα αρχιτεκτονική που θα αφορά τη διαχείριση της δυναμικής ενέργειας με την ονομασία DPM – DynamicPowerManagement.

Ο σκοπός δημιουργίας του συστήματος DMP(DynamicPowerManagement) ή αλλιώς Δυναμική Διαχείριση Ενέργειας είναι η δυναμική αναδιαμόρφωση συστημάτων ώστε να παρέχονται ζητούμενες υπηρεσίες καθώς και η απόδοση καταναλώνοντας το ελάχιστο δυνατό φορτίο ενέργειας.

Η μεθοδολογία του συστήματος DMP περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται σημαντική ενεργειακή απόδοση στα υπολογιστικά περιβάλλοντα μέσα από την επιλεκτική απενεργοποίηση καθώς και τη μείωση της απόδοσης των στοιχείων του συστήματος, όταν αυτό βρίσκεται σε αδράνεια, ή όπως συμβαίνει αρκετές φορές, μερικώς αναξιοποίητο.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα DPM δεν αποτελεί αλγόριθμου DVFS, ούτε και λειτουργικό σύστημα που να ανταποκρίνεται στην κατανάλωση ενέργειας, καθώς επίσης ούτε και μηχανισμό ελέγχου ισχύος που να περιλαμβάνει διαφόρους μηχανισμούς διαχείρισης ισχύος, όπως για παράδειγμα ACPI. Το σύστημα DPM αποτελεί ένα ανεξάρτητο στοιχείο του λειτουργικού συστήματος που αφορά την ενεργή διαχείριση της ενέργειας.

Τόσο οι διαχειριστές πολιτικής DPM όσο και οι εφαρμογές αλληλεπιδρούν με αυτήν την ενότητα χρησιμοποιώντας ένα απλό API, είτε από το επίπεδο της εφαρμογής είτε από το επίπεδο του πυρήνα του λειτουργικού συστήματος. Παρόλο που η αρχιτεκτονική του συστήματος DPM δεν είναι τόσο ευρεία όσο άλλες, έχει την δυνατότητα να επεκτείνεται σε συσκευές και προγράμματα οδήγησης συσκευών κατά τρόπο που να είναι κατάλληλος για διάφορους επεξεργαστές.



Εικόνα 13 Διάγραμμα αρχιτεκτονικής DPM

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της αρχιτεκτονικής ενός τυπικού συστήματος τεχνολογίας DPM, το σύστημα λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τις πολιτικές και την απαίτηση του εξοπλισμού σε ενέργεια και στην συνέχεια θέτει τα σημεία λειτουργίας που αλλάζουν τα επίπεδα ισχύος-απόδοσης. Οι πολιτικές DPM βασίζονται σε αφηρημένα σημεία λειτουργίας τα οποία ενθυλακώνουν το ελάχιστο σύνολο αλληλοεξαρτώμενων, φυσικών και διακριτών παραμέτρων, οι οποίες καθορίζουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο απόδοσης του συστήματος μαζί με μια σχετική κατανάλωση ενέργειας.

Προς το παρόν η τεχνολογία των συστημάτων DPM χρησιμοποιείται σε διάφορες μορφές κυρίως σε φορητά ηλεκτρονικά σχέδια, καθώς η πλήρης δυναμική τους δεν έχει διερευνηθεί λόγω της πολυπλοκότητας της διασύνδεσης ετερογενών συστατικών.

Οι Lietal (2009), αναφέρουν ότι για να καταστεί αποτελεσματικό ένα πρόγραμμα DPM, ένας χρονοπρογραμματιστής πρέπει να ενοποιήσει τις εργασίες του κέντρου δεδομένων σε ένα ελάχιστο σύνολο υπολογιστικών πόρων για τη μεγιστοποίηση της ποσότητας των κενών διακομιστών που μπορούν να τεθούν εκτός λειτουργίας ή να τεθούν σε ύπνο. Επειδή ο μέσος φόρτος εργασίας του κέντρου δεδομένων παραμένει συχνά γύρω στο 30%, το ποσοστό των ανεφοδιασμένων εξυπηρετητών μπορεί να φθάσει το 70%.

Γενικά, όλα τα νέα συστήματα υπολογιστών είναι σχεδιασμένα ώστε να προσφέρουν υψηλή απόδοση. Παρόλα αυτά, αρκετά συχνά παραμένουν αδρανείς ή χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση εργασιών που δεν απαιτούν τόσο υψηλές αποδόσεις. Ουσιαστικά, κάθε τεχνολογία ή αρχιτεκτονική, διαθέτει μια ιδιόμορφη σχέση ανάμεσα στην απόδοση που της παρέχεται από ένα σύστημα και την ισχύ που καταναλώνει για την εκτέλεση διαφόρων ενεργειών. Έτσι, η δυναμική διαχείριση ενέργειας – DPM αποτελεί ένα είδος ελέγχου που έχει σχεδιαστεί για να προσαρμόζει την ισχύ και την απόδοση ενός συστήματος ανάλογα με τον φόρτο εργασίας του.

## 2.6 Data center energy – efficient and network – aware scheduling model

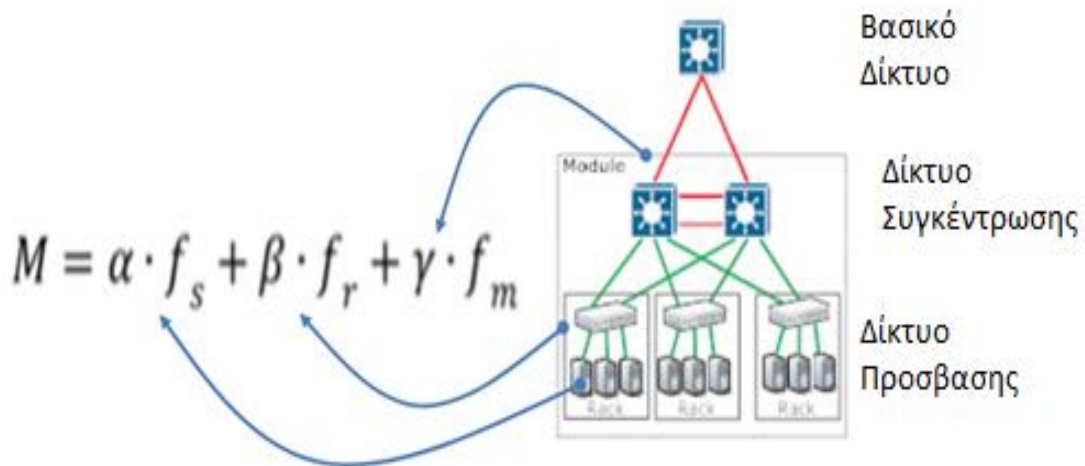
Η μεθοδολογία DENS ελαχιστοποιεί τη συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός κέντρου δεδομένων επιλέγοντας τους καταλληλότερους υπολογιστικούς πόρους για την εκτέλεση της εργασίας με βάση το επίπεδο φόρτωσης και το δυναμικό επικοινωνίας των στοιχείων του κέντρου δεδομένων. Το δυναμικό επικοινωνίας ορίζεται ως το ποσό του εύρους ζώνης end-end που παρέχεται σε μεμονωμένους διακομιστές ή ομάδα εξυπηρετητών από την αρχιτεκτονική του κέντρου δεδομένων.

Σύμφωνα με τους Song et al (2009), αντίθετα με τις παραδοσιακές λύσεις προγραμματισμού, οι οποίες αποτελούν μοντέλα κέντρων δεδομένων ως ομοιογενή ομάδα υπολογιστικών διακομιστών, η μεθοδολογία DENS αναπτύσσει ένα ιεραρχικό μοντέλο σύμφωνο με τις τοπολογίες των τελευταίων κέντρων δεδομένων. Για ένα κέντρο δεδομένων τριών επιπέδων, ορίζουμε το σύστημα μέτρησης  $M$  ως ο σταθμισμένος συνδυασμός επιπέδων  $f_s$  server,  $f_r$  rack, και  $f_m$  modules με τον εξής τύπο:

$$M = (\alpha * f_s) + (\beta * f_r) + (\gamma * f_m)$$

Όπου,  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  είναι οι σταθμισμένοι συντελεστές που καθορίζουν την επίδραση των αντίστοιχων στοιχείων για τους διακομιστές (servers), τα ράφια (racks) ή/και τις μονάδες (modules) στη μετρική συμπεριφορά.

Αρχιτεκτονική Κέντρου Δεδομένων



Εικόνα 14 Λειτουργία των σταθμισμένων συντελεστών  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$

Υψηλότερες τιμές  $\alpha$  ευνοούν την επιλογή διακομιστών με υψηλή φόρτιση σε ελαφρά ράφια. Υψηλότερες τιμές  $\beta$  θα δώσουν προτεραιότητα σε υπολογιστικά φορτισμένα ράφια με χαμηλή κίνηση δικτύου. Υψηλότερες τιμές  $\gamma$  ευνοούν την επιλογή φορτωμένων μονάδων. Η παράμετρος  $\gamma$  είναι μια σημαντική μεταβλητή σχεδιασμού για την ενοποίηση εργασιών σε κέντρα δεδομένων.

Εκτός από τις δύο δημοφιλείς τεχνικές μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας στα κέντρα δεδομένων, υπάρχει ακόμα μια, η οποία έχει μια διαφορετική προσέγγιση πάνω στο πρόβλημα της αποδοτικότητας της ενέργειας. Η μεθοδολογία αυτή έχει τηνονομασία DENS, Data Center Energy-efficient Network-aware Scheduling. Το κομμάτι του network – awareness αναφέρεται στην ικανότητα της μεθοδολογίας DENS να:

- λαμβάνει και να αναλύει μια ενεργή ανατροφοδότηση από τους συνδέσμους των κέντρων δεδομένων
- παίρνει αποφάσεις
- ενεργεί με βάση την ανατροφοδότηση που λαμβάνει από το δίκτυο

Ο στόχος της μεθοδολογίας DENS είναι να επιτύχει ισοσκέλιση μεταξύ της επίδοσης των εργασιών, των αιτημάτων της κυκλοφορίας του δικτύου και της ενέργειας που καταναλώνετε σε ένα κέντρο δεδομένων.

Επιπλέον η μεθοδολογία αυτή μειώνει την υπολογιστική ισχύ αλλά και μνήμη σε σύγκριση με προηγούμενες προσεγγίσεις, όπως η διαφοροποίηση ροής, που

καθιστά την μεθοδολογία εύκολη στην εφαρμογή σε νέα αλλά και σε υφιστάμενα κέντρα δεδομένων.

Το 2010, οι Kliazovich et al, εκπόνησαν μια μελέτη σχετικά με την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης με βάση τον χρονοπρογραμματισμό που προσφέρει η μεθοδολογία του DENS. Για τις ανάγκες προσομοίωσης της μελέτης, εξετάστηκαν τρεις χρονοπρογραμματιστές. Ο πρώτος ήταν το χρονοδιάγραμμα Round-Robin το οποίο διανέμει εξίσου υπολογιστικά και επικοινωνιακά φορτία μεταξύ διακομιστών και διακοπτών. Επομένως η κυκλοφορία του δικτύου είναι ισορροπημένη και δεν υπάρχει υπερφορτωμένος διακομιστής. Ο δεύτερος χρονοπρογραμματιστής ήταν ο GreenScheduler, ο οποίος συγκεντρώνει το φόρτο εργασίας και αφήνει τους πιο πολλούς διακομιστές σε αδράνεια προς εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων. Ως τρίτος χρονοπρογραμματιστής, επιλέχθηκε η μεθοδολογία DENS, η οποία επιτυγχάνει την ενοποίηση του φόρτου εργασίας για εξοικονόμηση ενέργειας ενώ αποτρέπει την υπερφόρτωση των διακομιστών υπολογιστών και των διακοπτών δικτύου. Όλοι οι χρονοπρογραμματιστές εξετάστηκαν σε μια αρχιτεκτονική κέντρου δεδομένων τριών επιπέδων ως προς την συμπεριφορά τους απέναντι σε τρεις παραμέτρους:

1. Κέντρων δεδομένων
2. Διακομιστές
3. Διακόπτες δικτύου

Μετά το πέρας της προσομοίωσης, οι μελετητές διαπίστωσαν ότι ο Round-Robin ήταν ο λιγότερο ενεργειακά αποδοτικός χρονοπρογραμματιστής. Ο GreenScheduler καθώς και ο DENS αποτελούν τις πιο συμφέρουσες λύσεις για το πρόβλημα της ενεργειακής απόδοσης, με τον GreenScheduler να λαμβάνει το προβάδισμα εξαιτίας του αριθμού των διακομιστών που έθεσε σε αδράνεια (περίπου 1016 διακομιστές, έναντι των 956 που έθεσε ο DENS). Επίσης, σε αντίθεση με τον GreenScheduler, η μεθοδολογία DENS χρησιμοποιεί την ευαισθητοποίηση του δικτύου για την ανίχνευση σημείων συμφόρησης στο δίκτυο κέντρων δεδομένων και προσαρμόζει ανάλογα τη μεθοδολογία ενοποίησης της εργασίας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις εργασίες έντασης δεδομένων που περιορίζονται περισσότερο από τη διαθεσιμότητα πόρων επικοινωνίας και όχι από τις διαθέσιμες δυνατότητες πληροφορικής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

### 3.1 Οι παράμετροι παρακολούθησης

Η ενεργειακή παρακολούθηση σε ένα κέντρο δεδομένων αφορά πολλούς παράγοντες. Τόσο σε επίπεδο υλικών υποδομών όσο και σε επίπεδο χρήσης και λειτουργίας ενός κέντρου δεδομένων, η χρήση των πληροφοριών είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και της γενικότερης λειτουργίας του.

Η παρακολούθηση των κέντρων δεδομένων για την ενεργειακή απόδοση αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αποτελεσματική λειτουργία τους. Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος μπορεί να παράσχει έναν χάρτη της απόδοσης του συστήματος ψύξης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση και την αντιμετώπιση ελλείψεων που τυχόν έχουν εντοπισθεί. Άλλη παρακολούθηση μπορεί να διαχωρίσει την ισχύ που χρησιμοποιείται από διάφορα εξαρτήματα και συστήματα, καθώς και να αποκαλύψει τις απώλειες κατανομής ισχύος των κέντρων δεδομένων. Πολλά σημεία ανίχνευσης απαιτούνται για να δημιουργηθεί ένας λογικός χάρτης των επιδόσεων της χρήσης δεδομένων του κέντρου δεδομένων. Πρόκειται για μια προσέγγιση κοκκώδους παρακολούθησης που παρακολουθεί και τις περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, το σημείο δρόσου, η πίεση και η ισχύς στο κέντρο δεδομένων σε πολλά σημεία και επίπεδα.

Η λεπτομερής παρακολούθηση πρέπει να βοηθήσει να επιτευχθούν στα εξής:

- Προσδιορισμός των βασικών δυνατοτήτων χρήσης και βελτίωσης της ενέργειας.
- Λήψη μετρήσεων για τη χρήση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και υπολογισμός την PUE.
- Ερμηνεία των δεδομένων θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης.

- Παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών ώστε να εγγυάται η παραμονή εντός συγκεκριμένων συνιστώμενων ή/και επιτρεπτών τιμών συμμόρφωσης.

Για τις μετρήσεις αποτελεσματικότητας υποδομής δεδομένων του κέντρου δεδομένων, λαμβάνονται υπόψη κάποιες βασικές παράμετροι. Σύμφωνα με την έκθεση των Mathew et al (2009), οι κύριες παράμετροι μέτρησης αλλά και επηρεασμού της χρήσης ενέργειας περιλαμβάνουν τα εξής:

- Αποτελεσματικότητα Χρήσης Ισχύος (PUE), το ποσοστό της συνολικής χρησιμοποιούμενης ενέργειας στην ενέργεια που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία πληροφορικής
- Θερμοκρασία παροχής αέρα κατά την εισαγωγή IT ( $F^{\circ}$  ή  $C^{\circ}$ )
- Εύρος σχετικής υγρασίας στην πρόσληψη πληροφορικής (%)
- Δείκτης θερμοκρασίας επιστροφής (RTI) (%)
- Αποδοτικότητα του συστήματος ψύξης του κέντρου δεδομένων (kW / τόνο)
- Αποτελεσματικότητα ροής αέρα (Watt ανά κυβικό πόδια ανά λεπτό, W / cfm)
- Αποδοτικότητα του συστήματος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του κέντρου δεδομένων (%)
- Πυκνότητα της ισχύος του φωτισμού των εγκαταστάσεων του κέντρου δεδομένων (Watt ανά τετραγωνικό πόδι, W / sf)

Επίσης, η ασύρματη τεχνολογία πρέπει να επιτρέπει μετρήσεις που είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των παραπάνω μετρήσεων.

### **Μετρήσεις αποτελεσματικότητας ψύξης αέρα**

Οι μετρήσεις απόδοσης της ψύξης αέρα δείχνουν πόσο αποτελεσματικά χρησιμοποιούνται οι πόροι ψύξης. Το σύστημα παρακολούθησης θα πρέπει να υπολογίζει και να εμφανίζει, τουλάχιστον, τις ακόλουθες μετρήσεις:

- Δείκτης ψύξης Rack (RCI), ο οποίος είναι ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας ψύξης των ράβδων εξοπλισμού πληροφορικής σε επίπεδα ASHRAE.
- Δείκτης Θερμοκρασίας Επιστροφής (RTI), που είναι ένα μέτρο ροής αέρα CRAH / CRAC σε σχέση με τη ροή αέρα Rack με μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του χειριστή αέρα του χώρου υπολογιστή (CRAH / CRAC) και των ράβδων.

### **Διαχείριση ροής αέρα**

Χρησιμοποιώντας ασύρματο σύστημα παρακολούθησης δικτύου, οι χειριστές των κέντρων δεδομένων θα πρέπει να είναι σε θέση να απεικονίζουν την ανάμειξη του αέρα, να παρακολουθούν τις τάσεις και να εντοπίζουν τα καυτά σημεία. Επιπλέον, τα υποστρώματα υψηλής ευαισθησίας των αισθητήρων πίεσης στοχεύουν σε ανεπαρκείς περιοχές ροής και διαρροές δαπέδου. Τα προβλήματα διαχείρισης ροής αέρα μπορούν στη συνέχεια να επιλυθούν αντιμετωπίζοντας τα ζεστά και κρύα σημεία και διαρροές.

### **Αποτελεσματικότητα αξιοποίησης ισχύος**

Το PUE μπορεί να υπολογιστεί με τη μέτρηση των τεσσάρων βασικών συνιστωσών της αξιοποίησης της ισχύος, συμπεριλαμβανομένης της ισχύος της τεχνολογίας της πληροφορικής, της ψυκτικής ισχύος, των άλλων ζημιών υποδομής και του φωτισμού.

### **Κέντρο οπτικής αναβάθμισης του κέντρου δεδομένων**

Η οπτική εξέλιξη πρέπει να παρέχει χαρτογράφηση θερμοκρασίας, διαφοράς πίεσης, υγρασίας και δροσιάς χρησιμοποιώντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε πολλαπλά επίπεδα του κέντρου δεδομένων.

Με την ποσότητα των αισθητήρων σε ένα σύστημα παρακολούθησης δικτύου ασύρματου δικτύου, οι χειριστές θα μπορούν να δουν ζεστά σημεία και να κατευθύνουν τη ροή του αέρα για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση ή η ανάμειξη του αέρα. Επίσης, η χαρτογράφηση πίεσης πρέπει να επιτρέπει στους χειριστές να εξισορροπούν το διαφορικό πίεσης - υποπίεσης / αγωγού.

Η οπτική εξέλιξη πρέπει να παρέχει:

- Μια ολοκληρωμένη άποψη του περιβάλλοντος του κέντρου δεδομένων και ένα όπου θα εμφανίζεται το αρχείο των ανωμαλιών που προκύπτουν
- Ορατότητα του αντίκτυπου των αλλαγών του κέντρου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο



- Πληροφορίες που θα βοηθήσουν στην αναγνώριση ευκαιριών βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κέντρου δεδομένων, όπως η εισροή και η εξάτμιση του ραφίου
- Πληροφορίες που βοηθούν στην αναγνώριση της διαθέσιμης ψύξης του κέντρου δεδομένων για αυξημένη πυκνότητα CPU και αποκατάσταση αποτυπώματος
- Πληροφορίες που βοηθούν στον προσδιορισμό της δυνητικής εξοικονόμησης ενέργειας, των λειτουργικών αποταμιεύσεων και της ελαστικότητας του κέντρου δεδομένων
- Διαχείριση χωρητικότητας ψύξης κέντρου δεδομένων με απεικόνιση των επιπτώσεων των αλλαγών σε πραγματικό χρόνο

### 3.2 Παράμετροι Ελέγχου

Για την ολοκληρωμένη παρακολούθηση της καλής λειτουργίας αλλά και της ενεργειακής απόδοσης του, πρέπει να εφαρμόζονται τακτικοί ή συνεχείς έλεγχοι. Με τους ελέγχους, θα είναι εφικτή η παρακολούθηση της πορείας της ενεργειακής απόδοσης του κέντρου δεδομένων, με τον έγκαιρο εντοπισμό σφαλμάτων ή προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά την φάση της λειτουργίας.

Η ASHRAE εξέδωσε τις πρώτες θερμικές οδηγίες για τα κέντρα δεδομένων το 2004 [1]. Η αρχική συνιστώμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα ASHRAE για κέντρα δεδομένων ήταν 20-25 °C (68-77 °F). Αυτή ήταν μια συντηρητική δήλωση, με βάση τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα εκείνη τη χρονική περίοδο, σχετικά με το πως ένα κέντρο δεδομένων θα μπορούσε να λειτουργήσει αξιόπιστα.

Η αξιοπιστία και ο χρόνος λειτουργίας ήταν οι κύριες ανησυχίες και το κόστος ενέργειας αποτελούσε ένα δευτερεύουσας σημασίας πρόβλημα. Από τότε, η ASHRAE έχει εκδώσει μια συνιστώμενη κλίμακα 18-27 °C (64-81 °F), ενώ το 2011, δημοσιεύει έναν συγκεντρωτικό πίνακα με τις κατηγορίες που επιτρέπουν θερμοκρασίες μεταξύ 5 και 45 °C (41 έως 113 °F). Οι κλάσεις A3 (40 °C, 104 °F) και A4 (45 °C, 113 °F) δημιουργήθηκαν για να υποστηρίξουν νέες τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας όπως η τεχνολογία economization.

Μια σύνοψη των συνιστώμενων τιμών και κατηγοριών ASHRAE παρέχονται στον παρακάτω πίνακα. Σύμφωνα με τις θερμικές οδηγίες 2011, που εξέδωσε η Τεχνική

Επιτροπή της ASHRAE, έχουν θεσπιστεί κάποια συγκεκριμένα όρια σχετικά με τις επιτρεπόμενες τιμές εσωτερικού περιβάλλοντος στα κέντρα δεδομένων.

### Περιβαλλοντικές προδιαγραφές (°C)

Πίνακας 2 Συνιστώμενες και επιτρεπόμενες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας για το 2011

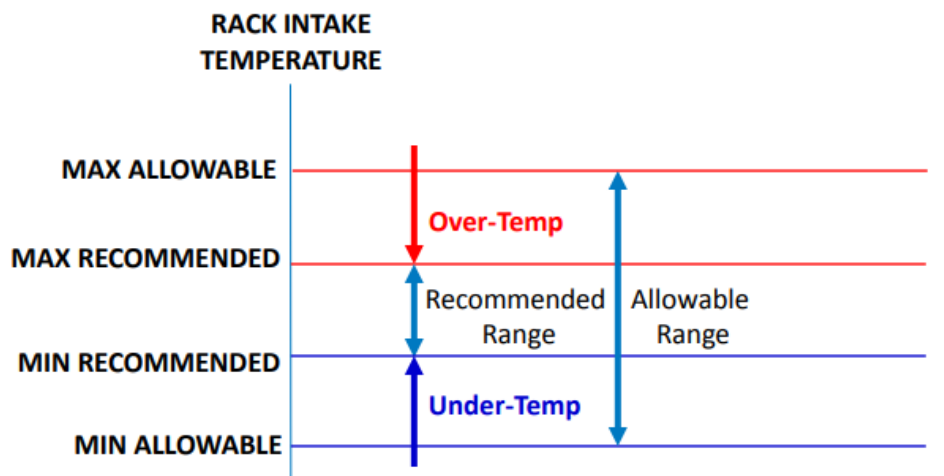
A/A	Συνιστώμενες	Επιτρεπόμενες
<b>Θερμοκρασία</b>	18,3°C – 26,6 °C	15 °C– 32,2 °C(A1 κλάση) 5 °C – 45 °C (A4 κλάση)
<b>Υγρασία</b>	5,55 °Cσημείο δρόσου – 60% ή 15 °Cσημείο δρόσου	20% - 80% και 17,22 °C σημείο δρόσου

Στην συνέχεια, με νέα έκδοση θερμικών οδηγιών από την ASHRAE για το 2015 οι τιμές των επιτρεπόμενων τιμών θερμοκρασιακού εύρους αλλά και τα επιτρεπόμενα επίπεδα υγρασίας διαμορφώνονται σύμφωνα με τον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 3 Θερμικές οδηγίες ASHRAE 2015

Class <sup>a</sup>	Equipment Environmental Specifications for Air Cooling						
	Product Operations <sup>b,c</sup>					Product Power Off <sup>c,d</sup>	
	Dry-Bulb Temperature <sup>a,e</sup> °C	Humidity Range, Non-Condensing <sup>h,i,k,l</sup>	Maximum Dew Point <sup>k</sup> °C	Maximum Elevation <sup>e,j,m</sup> m	Maximum Temperature Change <sup>l</sup> in an Hour (°C)	Dry-Bulb Temperature °C	Relative Humidity <sup>k</sup> %
<b>Recommended</b> (Suitable for all 4 classes)							
A1 to A4	18 to 27	-9°C DP to 15°C DP and 60% RH					
<b>Allowable</b>							
A1	15 to 32	-12°C DP & 8% RH to 17°C DP and 80% RH <sup>k</sup>	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A2	10 to 35	-12°C DP & 8% RH to 21°C DP and 80% RH <sup>k</sup>	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 24°C DP and 85% RH <sup>k</sup>	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 24°C DP and 90% RH <sup>k</sup>	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 80
B	5 to 35	8% to 28°C DP and 80% RH <sup>k</sup>	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80
C	5 to 40	8% to 28°C DP and 80% RH <sup>k</sup>	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80

Για τα επιτρεπόμενα όρια θερμοκρασίας εισροής αέρα στα racks, υπάρχει το επόμενο γράφημα, το οποίο παρουσιάζει σχηματικά τα ελάχιστα και μέγιστα επιτρεπτά όρια.

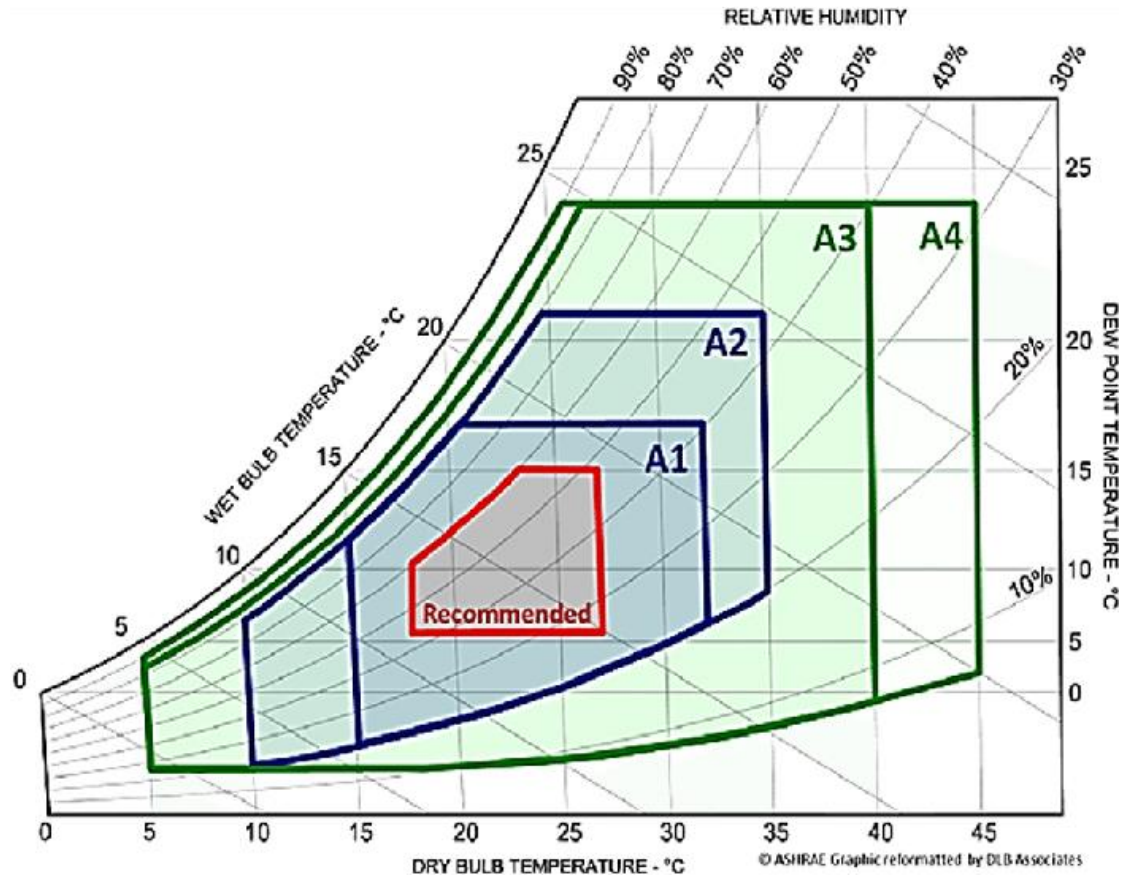


Γράφημα 2 Επιτρεπόμενα όρια θερμοκρασίας εισροής αέρα

Σύμφωνα με το γράφημα, τα συνιστώμενα όρια για την προτιμώμενη λειτουργία της εγκατάστασης, οι περισσότερες τιμές πρέπει να βρίσκονται εντός του εύρους MinRecommended– MaxRecommended. Τα επιτρεπόμενα όρια για την σταθερότητα του εξοπλισμού επιτρέπουν τιμές οι οποίες βρίσκονται μόνο μέσα στο εύρος MinAllowable – MaxAllowable.

Οι νέες κατευθυντήριες γραμμές αναπτύχθηκαν με επίκεντρο την παροχή όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών ώστε να μπορούν να λειτουργούν με τον πλέον ενεργειακά αποδοτικό τρόπο και να επιτυγχάνουν την απαιτούμενη αξιοπιστία, όπως απαιτείται από μια τέτοια επιχείρηση. Δύο νέες κατηγορίες κέντρων δεδομένων δημιουργούνται για την επίτευξη της μεγαλύτερης ευελιξίας στη λειτουργία του κέντρου δεδομένων. Οι τέσσερις κατηγορίες κέντρων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των δύο νέων (A3 και A4), εμφανίζονται στο ψυχομετρικό διάγραμμα παρακάτω.

Πίνακας 4 Ψυχομετρικό διάγραμμα



Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στο ψυχομετρικό διάγραμμα, είναι τα επιτρεπόμενα όρια μέσα στα οποία ένα κέντρο δεδομένων μπορεί να λειτουργήσει με την βέλτιστη ενεργειακή απόδοση. Ουσιαστικά το διάγραμμα αποτελείται από 4 φακέλους (envelops) οι οποίοι περιστρέφονται γύρο από τον συνιστώμενο φάκελο (βλέπε κόκκινη περιοχή στο κέντρο του διαγράμματος).

Κάθε φάκελος ορίζει τα επιτρεπόμενα όρια για τις τιμές:

- Θερμοκρασία υγρού βολβού ή κορεσμού
- Θερμοκρασία ξηρού βολβού
- Θερμοκρασία σημείου δρόσου

Όταν δημιουργήθηκε για πρώτη φορά το ψυχομετρικό διάγραμμα, είχε προβλεφθεί ότι εντός αυτού του φακέλου θα μπορούσε να επιτευχθεί η πιο αξιόπιστη, αποδεκτή και λογική ενέργεια αποδοτική λειτουργία. Τα δεδομένα από τους κατασκευαστές χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του συνιστώμενου φακέλου. Ποτέ δεν είχε προβλεφθεί ότι ο συνιστώμενος φάκελος θα ήταν τα απόλυτα όρια της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα εισόδου για τον εξοπλισμό πληροφορικής. Όπως αναφέρεται στο βιβλίο για τις θερμικές οδηγίες, ο συνιστώμενος φάκελος καθόρισε τα όρια κάτω από τα οποία ο εξοπλισμός πληροφορικής θα λειτουργούσε με τον πιο αξιόπιστο τρόπο, επιτυγχάνοντας παράλληλα μια λογικά ενεργειακά αποδοτική λειτουργία του κέντρου δεδομένων.

Ωστόσο, όπως αναφέρεται στο βιβλίο θερμικών οδηγιών, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι economizers για την εξοικονόμηση ενέργειας σε ορισμένες χρονικές περιόδους του έτους, οι συνθήκες του διακομιστή εισόδου μπορεί να πέσουν εκτός του συνιστώμενου φακέλου αλλά να βρίσκονται ακόμα μέσα στον επιτρεπόμενο φάκελο. Γενικά, είναι αποδεκτό να λειτουργούν εκτός του συνιστώμενου φακέλου για σύντομα χρονικά διαστήματα χωρίς να επηρεάζεται η συνολική αξιοπιστία και η λειτουργία του εξοπλισμού πληροφορικής.

### **3.3 Συστήματα Παρακολούθησης και Διαχείρισης Υποδομών**

Καθώς τα κέντρα δεδομένων εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου και αναπτύσσονται καινούργιοι και πιο δυνατοί επεξεργαστές και διακομιστές, αυξάνονται παράλληλα και οι απαιτήσεις ισχύος Συνεπώς και ψύξης του περιβάλλοντος ενός Data Center. Έτσι αυξάνεται ακόμα περισσότερο ο κίνδυνος για κάποιο ατύχημα και δημιουργείτε μεγαλύτερη ανάγκη για εξελιγμένα συστήματα παρακολούθησης και προειδοποίησης στον φυσικό εξοπλισμό όπως στο UPS το σύστημα κλιματισμού αίθουσας υπολογιστών (CRAC) και τα συστήματα καταστολής πυρκαγιάς. Με την τεχνολογία που υπάρχει σήμερα τα συστήματα παρακολούθησης μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μεγάλο βαθμό στις απαιτήσεις ενός κέντρου δεδομένων. Η παρακολούθηση του εξοπλισμού σε ένα περιβάλλον που λειτουργεί συνέχεια δεν είναι ποτέ αρκετή και πρέπει να παρακολουθείτε διαρκώς προληπτικά για απειλές και εισβολές. Κυρίαρχο ρόλο στην παρακολούθηση έχει πλέον η αυτοματοποιημένη παρακολούθηση ειδικά σε μέρη όπου είναι ανέφικτο και αναξιόπιστο να υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση.

Οι απειλές που ενδέχεται να αντιμετωπίσει ένα κέντρο δεδομένων χωρίζονται σε δύο είδη τις ψηφιακές απειλές και τις φυσικές απειλές.

- Ψηφιακές απειλές

Στις ψηφιακές απειλές συγκαταλέγονται οι χάκερ, οι ιοί, τα σημεία συμφόρησης δικτύου και άλλες τυχαίες οι κακόβουλες επιθέσεις σχετικά με την ασφάλεια ή τη ροή δεδομένων. Έχει δοθεί μεγάλη βάση σε ψηφιακές απειλές και τα περισσότερα data Center έχουν ισχυρά συστήματα προστασίας firewalls και ελεγκτές ιών. Δεν θα γίνει εμβάθυνση στις ψηφιακές απειλές στην παρούσα εργασία διότι αποτελεί αντικείμενο άλλης έρευνας

- Φυσικές απειλές

Στις φυσικές απειλές συμπεριλαμβάνονται προβλήματα όπως η ηλεκτρικές βλάβες η ψύξη το ανθρώπινο λάθος εκ προθέσεως ή όχι η φωτιά οι διαρροές και η ποιότητα του αέρα. κάποιες από αυτές τις απειλές όπως της λανθασμένης ισχύος της ψύξης και της παρουσίας φωτιάς ανιχνεύονται από υπάρχοντα ενσωματωμένα συστήματα.

Για παράδειγμα τα συστήματα UPS παρακολουθούν την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, τα φορτία και την υγεία των μπαταριών. άλλο ένα παράδειγμα είναι ότι η πιθανότητα φωτιάς ή καπνού ανιχνεύεται από τα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς και καπνού αντίστοιχα τα οποία πρέπει να είναι εγκατεστημένα σύμφωνα με τη νομοθεσία πυρασφάλειας. Ωστόσο δεν υπάρχουν πάντα ενσωματωμένες λύσεις παρακολουθήσεις απειλών και μερικές από αυτές τις απειλές είναι σοβαρές, για παράδειγμα τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας τα οποία μπορεί να είναι οπουδήποτε μέσα στο χώρο. στο παραπάνω παράδειγμα η λύση θα ήταν να διανεμηθούν σχεδόν σε όλο το χώρο αισθητήρες υγρασίας και συμπεραίνουμε ότι ο αριθμός και η σποραδικότητα αισθητήρων στο χώρο αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ανεύρεση κινδύνων Συνεπώς και για την αποφυγή ατυχημάτων

Καταγράφοντας τις φυσικές απειλές σε γενικές κατηγορίες παρατηρούμε ότι είναι οι εξής:

1. διαρροές υγρών
2. Ανθρώπινη Παρουσία ή ασυνήθιστη δραστηριότητα στον χώρο

### 3. Απειλές για την ποιότητα του αέρα

#### 4. καπνός και πυρκαγιά

Πιο αναλυτικά:

Διαρροές υγρών

Μπορούν να υπάρξουν από τα διάφορα υγρά που χρησιμοποιούνται για την ψύξη από πιθανή διαρροή ή από κάποια παροχή νερού. Σε περίπτωση τέτοιου συμβάντος μπορούν να δημιουργηθούν βλάβες στα ηλεκτρονικά συστήματα (βραχυκυκλώματα) και να οδηγήσει σε πυρκαγιά. Αυτό μπορεί να προληφθεί με την τοποθέτηση αισθητήρων διαρροής leak rope sensor και διαρροής σημείου

Ανθρώπινη παρουσία

Η παρουσία στο χώρο μπορεί να είναι αναγκαία μπορεί να είναι με σκόπιμη κακόβουλη πρόθεση μπορεί να υπάρξει και η είσοδος κατά λάθος όλες αυτές οι παρουσίες μπορεί να επιφέρουν βλάβη εξοπλισμού Συνεπώς απώλεια δεδομένων κλοπή εξοπλισμού και βλάβη εξοπλισμού εκ προθέσεως. Για την αποφυγή ανεπιθύμητων εισόδων ο χορός μπορεί να προμηθευτεί με κάμερες καταγραφής αισθητήρες κίνησης αισθητήρες σπασίματος γυαλιού και αισθητήρες δόνησης εκτός από αυτά μπορεί να υπάρξουν ασφάλειες στις πόρτες ώστε να γίνει δυσπρόσιτη η είσοδος σε στους μη έχοντες εργασία

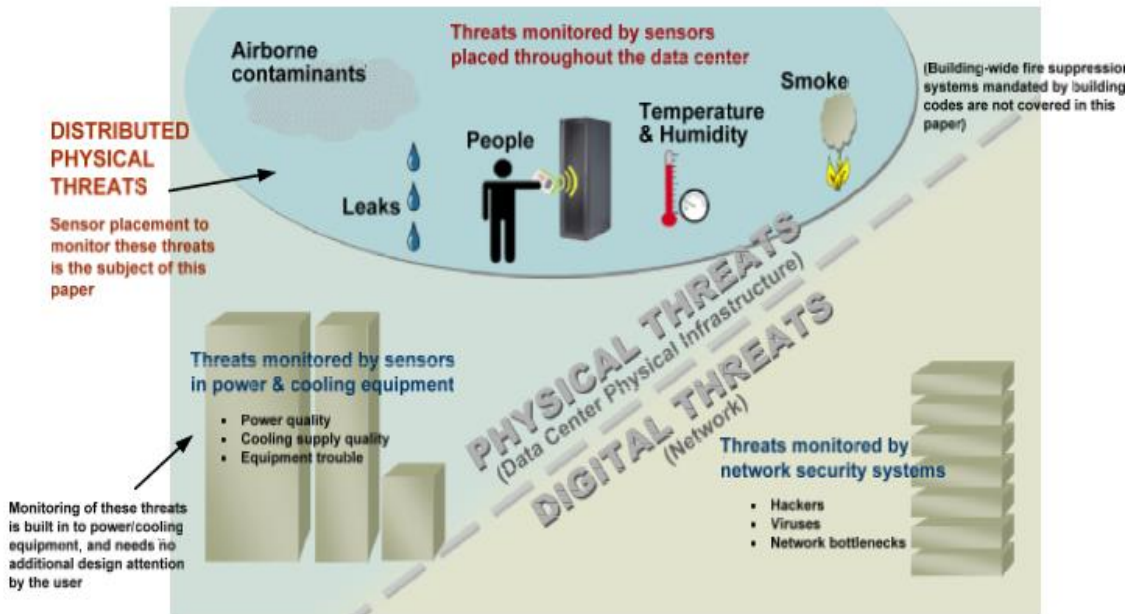
Απειλές για την ποιότητα του αέρα

Χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, στις συνθήκες αέρα και στην ποιότητα του αέρα. Στις συνθήκες του αέρα εντάσσονται η υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα, οι οποίες πρέπει να έχουν συγκεκριμένες τιμές και αν δεν κυμαίνονται μεταξύ αυτών των τιμών τότε μπορεί να υπάρξει αποτυχία του εξοπλισμού και περιορισμένη διάρκεια ζωής. Στην ποιότητα του αέρα δε εντάσσονται η ύπαρξη χημικών, όπως υδρογόνου από μπαταρίες και σωματίδια, όπως σκόνη και αυτό είναι επικίνδυνο για το προσωπικό. Επιπροσθέτως μπορεί να προκαλέσει αποτυχία στην UPS από την απελευθέρωση υδρογόνου καθώς και αποτυχία εξοπλισμού από αυξημένο στατικό ηλεκτρισμό λόγω της δημιουργίας σκόνης από τυχόν φραγμένα φίλτρα. Και τα δύο είδη μπορούν να αποφευχθούν χρησιμοποιώντας αισθητήρες του αέρα, όπως θερμοκρασίας υγρασίας χημικούς και αισθητήρες σκόνης.

Καπνός και πυρκαγιά



Threats to the data center



Μια πυρκαγιά μπορεί να προκληθεί από ηλεκτρικούς ή από υλικούς λόγους μία πυρκαγιά μπορεί να αποδειχθεί καταστροφική παρόλο που η νομοθεσία της πυρασφάλειας στα κτίρια υποχρεώνει την την ύπαρξη αισθητήρων καπνών και φωτιάς καλό θα ήταν να υπήρχανε συμπληρωματικοί αισθητήρες

Εικόνα 15. Απειλές ενός Data Center

Οι αισθητήρες παίρνουν πληροφορίες και παρέχουν ανεπεξέργαστα δεδομένα. Με τη σωστή ερμηνεία αυτών των δεδομένων γίνεται η πραγματοποίηση ειδοποιήσεων και συνεπώς η σωστή αντιμετώπιση όπου είναι απαραίτητο. Αφού όμως υπάρχει μεγάλος αριθμός αισθητήρων το έργο της παρακολούθησης γίνεται πιο περίπλοκο, καθώς η επεξεργασία αυτού του όγκου δεδομένων γίνεται δυσκολότερη. Ο αποτελεσματικότερος τρόπος συλλογής και ανάλυσης δεδομένων αισθητήρων άρα και της ενεργοποίησης της κατάλληλης δράσης είναι μέσω της χρήσης συγκεντρωτών (aggregators). Το πλεονέκτημα είναι ότι ο κάθε συγκεντρωτής ασχολείται με μία συγκεκριμένη ομάδα αισθητήρων, οπότε είναι πιο εύκολο να αναγνωριστεί το πρόβλημα.

Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να σχεδιάσουμε ένα ιδανικό σύστημα παρακολούθησης, όπου θα μπορούσαν οι αισθητήρες να παίρνουν τις μετρήσεις, να έχουμε ορίσει ένα εύρος τιμών με βάση τις προεπιλεγμένες τιμές παγκοσμίως και να έχουμε δημιουργήσει ένα σύστημα συναγερμού με επίπεδα. Αναλόγως την εκάστοτε μέτρηση που δίνουν οι αισθητήρες και το εύρος τιμών να υπάρχει ή όχι συναγερμός και σε τι επίπεδο παραδείγματος χάρη: Ομαλή λειτουργία, Κίνδυνος, Αυξημένος κίνδυνος . Θα δίνει εντολή αν χρειαστεί να ειδοποιείται αμέσως είτε η κατάλληλη υπηρεσία είτε το αρμόδιο άτομο, ώστε να ανταποκριθεί σε αυτή τη βλάβη ή περιστατικό. Ακόμα σε περίπτωση πυρκαγιάς να υπάρχει η δυνατότητα να καλείται αυτόματα η πυροσβεστική. Άλλο ένα καλό παράδειγμα θα ήταν σε περίπτωση παραβίασης του χώρου να ειδοποιείται η υπηρεσία φύλαξης της εγκατάστασης ώστε να μπορέσει να υπάρξει άμεση επέμβαση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αισθητήρες ίδιας χρησιμότητας που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη συνεπώς διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας να έχουν προσαρμοστεί στις συνθήκες που πρέπει ώστε να δώσουν σωστά την ένδειξη κινδύνου όποτε αυτή χρειαστεί. Για παράδειγμα ένας αισθητήρας θερμοκρασίας ενός διακομιστή στην είσοδο του αέρα με έναν ίδιο που βρίσκεται κοντά στο τροφοδοτικό του θα πρέπει ο δεύτερος να ειδοποιεί σε υψηλότερη θερμοκρασία από τον πρώτο. Με την τεχνολογία που είναι διαθέσιμη σήμερα αυτό είναι εφικτό. Μέσα στα επόμενα χρόνια η ανθρώπινη παρουσία στην επίβλεψη και στην επιδιόρθωση τεχνικών προβλημάτων, θα ελαχιστοποιηθεί σχεδόν σε μηδενικό βαθμό καθιστώντας έτσι τη νασφάλεια ενός κέντρου δεδομένων αξιόπιστη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 4.1 Γενικά Συμπεράσματα για την Εξοικονόμηση Ενέργειας

Ένα τυπικό κέντρο δεδομένων χρησιμοποιεί πολύ περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζεται. Ο σχεδιασμός και οι λειτουργίες των κέντρων δεδομένων επικεντρώνονται στην αξιοπιστία και την παραγωγική ικανότητα. Αυτό δυστυχώς έχει ως αποτέλεσμα ότι τα

κέντρα δεδομένων δεν έχουν βελτιστοποιηθεί με γνώμονα την αποδοτικότητα. Η κατανάλωση ενέργειας αντιστοιχεί σε σημαντικό ποσοστό του κόστους των λειτουργιών IT, σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα υπερβαίνει το κόστος του ίδιου του εξοπλισμού IT. Αυτή η οικονομική πίεση, σε συνδυασμό με τη διαπίστωση ότι τα κέντρα δεδομένων μπορούν να καταναλώνουν ενέργεια πολύ πιο αποδοτικά, έχει οδηγήσει στον ορισμό της διαχείρισης ενέργειας ως προτεραιότητα.

Υπάρχουν τεράστια περιθώρια μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας των κέντρων δεδομένων, εξοικονόμησης ενέργειας και άνθρακα της τάξης του 20% έως 90%, μέσω της συγχρονισμένης διαχείρισης τόσο των συμπεριφορών στα τμήματα IT όσο και των υλικών υποδομών.

Οι μετρήσεις απόδοσης, από μόνες τους, δεν βελτιώνουν τίποτα. Δεν μπορούν να θεωρηθούν ότι αποτελούν την καρδιά ενός σχεδίου μείωσης της ενέργειας και του άνθρακα. Χρησιμεύουν κυρίως στον ποσοτικό προσδιορισμό των πόρων που θα χρησιμοποιηθούν στη διαχείριση ενέργειας.

Η κατανομή ενέργειας και άνθρακα στους χρήστες IT τους παρέχει τα εργαλεία για να λάβουν ορθολογικές αποφάσεις εξοικονόμησης ενέργειας όσον αφορά τις εφαρμογές IT. Τόσο η κατανομή του ενεργειακού κόστους στους χρήστες IT όσο και η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας των υλικών υποδομών παρέχουν σημαντικές ευκαιρίες εξοικονόμησης, ωστόσο αυτοί οι στόχοι, εφόσον συνδυαστούν, προσφέρουν μεγαλύτερες ευκαιρίες απ' ότι καθένας τους ξεχωριστά.

Για την επίτευξη της ορθής διαχείρισης της κατανάλωσης ενέργειας σε ένα κέντρο δεδομένων βοηθούν τα μοντέλα βελτίωσης, όπως το DVFS, το DPM και το DENS και άλλα. Αυτά τα μοντέλα έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας από τον εξοπλισμό αλλά και την εκτέλεση διαγνωστικών ώστε να εντοπίζουν την βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργεια για κάθε στιγμή.

Μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, προκύπτει ότι η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί να κυμανθεί ανάμεσα στο 10% με 80%, μειώνοντας κατά πολύ το κόστος λειτουργίας των κέντρων δεδομένων.

Επίσης, ένας ακόμα τρόπος μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης στα κέντρα δεδομένων, είναι η διαχείριση του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται από την λειτουργία του εξοπλισμού σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες που αφορούν την ποιότητα του αέρα όπως η υγρασία, η ξηρότητα του αέρα και τα μικροσωματίδια σκόνης μπορούν να οδηγήσουν σε πολλά προβλήματα.

Προβλήματα όπως η μειωμένη απόδοση, η έλλειψη διαθεσιμότητας του συστήματος αλλά και μείωση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού καθιστούν αναγκαίο τον σχεδιασμό ενός κατάλληλου συστήματος ψύξης. Η ψύξη είναι σημαντικός παράγοντας κόστους στα κέντρα δεδομένων. Εάν η ψύξη είναι ανεπαρκής, η ισχύς που απαιτείται για την ψύξη ενός κέντρου δεδομένων μπορεί να υπερβεί την ισχύ που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση εργασιών του ίδιου του εξοπλισμού πληροφορικής. Η ψύξη είναι επίσης συχνά ο περιοριστικός παράγοντας της χωρητικότητας του κέντρου δεδομένων.

Τα συστήματα ψύξης θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα και να ακολουθούν τους κανονισμούς περί αποδοτικής λειτουργίας. Επίσης με την διαρκή ανάπτυξη της τεχνολογίας, τα νέα συστήματα ψύξης μπορούν να εξοικονομήσουν ενέργεια σε μεγάλα ποσοστά που μπορεί να φτάσει και στο 90%.

### **4.2 Γενικά Συμπεράσματα για τον Σχεδιασμό Συστημάτων Ενεργειακής Παρακολούθησης**

Οι πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, τον τρόπο κατανομής της αλλά και την λειτουργία του εξοπλισμού, αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την ορθή παρακολούθηση ενός συστήματος ενεργειακής κατανάλωσης. Σε αυτές τις πληροφορίες μπορεί ένα σύστημα να βασιστεί για την παρακολούθηση του εξοπλισμού αλλά και την συμβολή του στην αύξηση της αποδοτικότητας του.

Εξαιτίας του ότι η ποιότητα του εσωτερικού αέρα είναι μεγίστης σημασίας, πρέπει κάθε σύστημα να μπορεί να είναι αυτόνομο, να μπορεί να αφομοιώνει πληροφορίες για την κατάσταση του εξοπλισμού αλλά και να μπορεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα την κατανάλωση ενέργειας ώστε να είναι σε θέση να εκτελεί τις κατάλληλες βελτιωτικές επεμβάσεις, όπου και όποτε αυτό είναι απαραίτητο.

Με τον σχεδιασμό του κατάλληλου συστήματος παρακολούθησης μπορούν να προκύψουν θετικά αποτελέσματα, μειώνοντας τα λειτουργικά κόστη στα κέντρα δεδομένων αλλά και οικονομική βελτίωση στις επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες των κέντρων αυτών. Επίσης, οι βελτιωτικές ενέργειες έχουν και ως αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών άνθρακα, μειώνοντας έτσι το ενεργειακό αποτύπωμα των κέντρων δεδομένων και των επιχειρήσεων.

Σήμερα υπάρχουν κατανοητά εργαλεία και ενεργειακοί δείκτες για τον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης των κέντρων δεδομένων. Η εφαρμογή τους είναι απλή και τα αποτελέσματά που προκύπτουν είναι πολύτιμα για ανάλυση και αξιολόγηση των εγκαταστάσεων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Berl, A., Gelenbe, E., Di Girolamo, M., Giuliani, G., De Meer, H., Dang, M.Q., Pentikousis, K., (2009), “Energy-efficient cloud computing”, *The Computer Journal* 53(7), pages: 1045–1051.

- Boru, D., Kliazovich, D., Granelli, F., Bouvry, P., Zomaya, A.Y., (2013), “Energy-Efficient Data Replication in Cloud Computing Datacenters”, Workshop - Cloud Computing Systems, Networks, and Applications, Globecom, pages: 446-451
- Bouton, S., Creyts, J., Livingston, J. and Naclér, T., (2010), “Energy efficiency: A compelling global resource”, McKinsey Sustainability & Resource Productivity, McKinsey & Company, pp 45-52.
- Brown, R., et al. (2008), “Report to congress on server and data center energy efficiency: public law”, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, pages: 109-431.
- Buyya, R., Beloglazov, A. and Abawajy, J., (2010), “Energy-Efficient Management of Data Center Resources for Cloud Computing: A Vision, Architectural Elements, and Open Challenges”, Proceedings of the 2010 International Conference on PDPTA 2010, Las Vegas, USA, July 12-15.
- Campaniço, H., Hollmuller, P., Soares, P.M.M., (2014), “Assessing energy savings in cooling demand of buildings using passive cooling systems based on ventilation”, Appl Energy, 134, pages: 426–38.
- Ebrahimi, K., Jones, G.F., Fleischer, A.S., (2014), “A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities”, Renew Sust Energy, 31:622 – 38.
- Evans, T., (2015), “The Different Technologies for Cooling Data Centers”, White Paper 59, Schneider Electric – Data Center Science Center, pages: 1 – 16.
- Fan, X., Weber, W.D., Barroso, L.A., (2007), “Power provisioning for a warehouse-sized computer”, Proceedings of the ACM International Symposium on Computer Architecture, San Diego, CA.
- Gandhi, A., Harchol-Balter, M., Das, R. and Lefurgy, C., (2009), “Optimal power allocation in server farms”, In Proceedings of the 11th international joint conference on Measurement and modeling of computer systems, ACM, New York, NY, USA, pages 157-168.
- Gartner Group, (2011): available at: <http://www.gartner.com/>
- Gómez, V.E., González, A.T., Martínez, R.F.J., (2012), “Experimental characterisation of an indirect evaporative cooling prototype in two operating modes”, Appl Energy, 97, pages: 340–6.

- Kusic, D., Kephart, J.O., Hanson, J.E., Kandasamy, N. and Jiang, G., (2009), “Power and performance management of virtualized computing environments via lookahead control”, *Cluster Computing*, 12(1), pages: 1-15.
- Li, B., Li, J., Huai, J., Tianyu, W., Li, Q., Zhong, L., (2009), “EnaCloud: an energy-saving application live placement approach for cloud computing environments”, *IEEE International Conference on Cloud Computing*, Bangalore, India.
- Maheshwari, G.P., Al-Ragom, F., Suri, R.K., (2001) “Energy-saving potential of an indirect evaporative cooler”, *Appl Energy*, 69, pages: 69–76.
- Malmodin, J., Moberg, A., Lundén, D., Finnveden, G., Lövehagen, N., (2010), “Greenhouse Gas Emissions and Operational Electricity Use in the ICT and Entertainment & Media Sectors”, *Environmental Applications of Information & Communication Technology*, Volume 14, Issue 5, pages: 770–790.
- Mathew, P., Ganguly, S., Greenberg, S., Sartor, D., (2009) «Self-benchmarking Guide for Data Centers: Metrics, Benchmarks, Actions», *Environmental Energy Technologies Division*, website: <http://gaia.lbl.gov/btech/papers/3393.pdf> (τελευταία επίσκεψη: 20/8/2017)
- Mishra, A. and Khare, N., (2015), “Analysis of DVFS Techniques for Improving the GPU Energy Efficiency”, *Open Journal of Energy Efficiency*, 4, 77-86. Website: <http://dx.doi.org/10.4236/ojee.2015.44009> (τελευταία επίσκεψη: 20/8/2017)
- Mitchell, R.L., (2007), “Seven steps to a green data center”, *Computerworld*, website:<http://www.computerworld.com/>, (Τελευταία επίσκεψη: 18/7/2017)
- Rad, P., Thoene, M. and Webb, T., (2008), “Best Practices for Increasing Data Center Energy Efficiency” Reprinted from *Dell Power Solutions*, ιστοσελίδα: <http://www.dell.com/Downloads/Global/Power/ps1q08-20080185-Rad.pdf> (Τελευταία επίσκεψη: 11/8/2017)
- Raghavendra, R., Ranganathan, P., Talwar, V., Wang, Z. and Zhu, X, (2008), “No power struggles: Coordinated multi-level power management for the data center”, *SIGARCH Comput. Archit. News*, 36(1), pages: 48-59.
- Shah, J.M., Agonafer, D., Gebrehiwot, B., Singh, P., Awe, O., Kannan, N., Kaler, M.,(2017), “Qualitative Study of Cumulative Corrosion Damage of Information Technology Equipment in a Data Center Utilizing Air-Side Economizer Operating in Recommended and Expanded ASHRAE Envelope”, *Journal of Electronic Packaging*, Vol. 139, pages: 1-11.

- Shang, L., Peh, L.-S., Jha, K.N., (2003), “Dynamic voltage scaling with links for power optimization of interconnection networks”, Proceedings of the 9th International Symposium on HighPerformance Computer Architecture.
- Verma, A., Ahuja, P., and Neogi, A., (2008), “pMapper: power and migration cost aware application placement in virtualized systems”, In Proceedings of the 9th ACM/IFIP/USENIX International Conference on Middleware, Springer-Verlag New York, pages: 243-264.
- Zhao, X., Li, J.M., Riffat, S.B., (2008), “Numerical study of a novel counter-flow heat and mass exchanger for dew point evaporative cooling”, Appl Therm Eng, 28, pages :1942–51.

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2011/Cool%20IT/dirty-data-report-greenpeace.pdf>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_center](https://en.wikipedia.org/wiki/Data_center)
- [http://blox.rmi.org/blog\\_making\\_big\\_cuts\\_in\\_data\\_center\\_energy\\_use](http://blox.rmi.org/blog_making_big_cuts_in_data_center_energy_use)