



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Π.Μ.Σ.: "ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ"**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΕ ΚΕΝΤΡΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ***

Συγγραφέας: ΑΝΔΡΕΑΣ Β. ΜΠΟΥΣΙΟΣ(Α.Μ.: ΜΤΕ 1247)

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Άγγελος Ρούσкас

ΠΕΙΡΑΙΑΣ , ΜΑΡΤΙΟΣ 2014



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

UNIVERSITY OF PIRAEUS

DEPARTMENT OF DIGITAL SYSTEMS

**POSTGRADUATE PROGRAMME: "TECHNO-ECONOMIC
MANAGEMENT OF DIGITAL SYSTEMS"**

MASTER THESIS

***TECHNO-ECONOMIC EVALUATION OF ENERGY
CONSUMPTION OPTIMIZATION SOLUTIONS IN
DATA CENTERS***

Author: ANDREAS V. BOUSIOS (registry number: MTE 1247)

Thesis advisor: Associate Professor Angelos Rouskas

Piraeus, March 2014

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Άγγελο Ρούσκα που μου ανέθεσε την συγκεκριμένη εργασία. Επίσης, τους συναδέλφους μου και τα άτομα που με βοήθησαν στη συλλογή πληροφοριών και υλικού για την ολοκλήρωση της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη που μου προσέφεραν σε ολόκληρη τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού προγράμματος.

Copyright © ΑΝΔΡΕΑΣ Β. ΜΠΟΥΣΙΟΣ, 2014 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Περίληψη

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να επισημάνει τις βασικές παρεμβάσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν σε ένα Κέντρο Αποθήκευσης Δεδομένων, προκειμένου να επιτευχθεί μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τη λειτουργία του καθώς και η εναρμόνισή του με τα διεθνή πρότυπα και απαιτήσεις της "Πράσινη Πληροφορικής".

Σε ένα σύγχρονο ΚΑΔ τα σημεία στα οποία πραγματοποιούνται βελτιστοποιήσεις ή αναβαθμίσεις περιλαμβάνουν τόσο τον μηχανολογικό εξοπλισμό υποστήριξης, τον εξοπλισμό Πληροφορικής και τα λειτουργικά συστήματα. Έτσι, στη παρούσα εργασία οι προτεινόμενες ενέργειες εστιάζονται στα σημεία στα οποία η ενεργειακή τους κατανάλωση επιβαρύνει περισσότερο το κόστος λειτουργίας του ΚΑΔ, αλλά είναι και η αιτία για αυξημένα ποσοστά εκπομπής διοξειδίου του Άνθρακα.

Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται οι λύσεις βελτιστοποίησης (α) στο σύστημα διανομής ενέργειας, (β) στο σύστημα κλιματισμού και (γ) στην τεχνολογία Εικονικοποίησης. Ο τρόπος ανάλυσης που ακολουθείται σε καθένα από τους παραπάνω τομείς λειτουργίας περιλαμβάνει εκτός από το θεωρητικό κομμάτι, και μία μελέτη περίπτωσης ώστε να επιτευχθεί η τεχνοοικονομική αξιολόγηση, με χρήση αντίστοιχων εργαλείων.

Executive Summary

The purpose of this particular thesis is to indicate the basic amendments that have to be introduced in a Data Center, so that energy consumption is reduced while its operation is lined up with the relative international standards and requirements for "Green Computing".

The components of a contemporary Data Center where improvements or optimization actions are necessary, include the supporting mechanical equipment as well as the IT equipment and software systems. Therefore, in this thesis our proposed actions focus on the elements whose energy consumption not only increases the operational cost of the Data Center, but also yields substantial percentages of carbon dioxide emissions.

More specifically, the optimization solutions for Data Center on (a) the energy distribution system, (b) the air conditioning system and (c) the Virtualization technology are examined. The study performed in any of these sectors includes not only a theoretical analysis, but also a relative case study so that a techno-economic assessment is also achieved by using a set of corresponding tools.

Εισαγωγή

Η τρέχουσα περίοδος χαρακτηρίζεται από μια τεράστια προσπάθεια για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας παράλληλα με τη χρησιμοποίηση τεχνολογιών, μεθόδων και πόρων φιλικότερα προς το περιβάλλον. Αυτή η τάση δεν θα μπορούσε να αφήσει ανεπηρέαστο και τον κλάδο των Τηλεπικοινωνιών και Πληροφορικής(ΤΠΕ). Ως εκ τούτου τα τελευταία χρόνια όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς εταιρείες, μηχανικοί λογισμικού και εξοπλισμού, διεθνείς και κρατικοί οργανισμοί συμμετέχουν σε έναν αγώνα έρευνας και ανάπτυξης νέων σύγχρονων τεχνολογιών και εξοπλισμού με λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

Πιο συγκεκριμένα, για την παρούσα εργασία, παρομοιάζοντας ένα ΚΑΔ ως έναν ζωντανό οργανισμό κατανοούμε ότι τόσο ο εξοπλισμός πληροφορικής(hardware και software),όσο και ο εξοπλισμός υποστήριξης αποτελούν τα ζωτικά του μέρη. Έτσι οι εταιρείες έχουν αντιληφθεί ότι απαιτείται συνεχής αναβάθμιση και συντήρηση των στοιχείων ενός ΚΑΔ. Ο βασικός άξονας της παρούσας μελέτης είναι από τη σκοπιά μίας εταιρείας που θέλει να κατασκευάσει το δικό της ΚΑΔ, αξιολογώντας ποιους παράγοντες και ποιες παραμέτρους πρέπει να εξετάσει για να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες και οι περιορισμοί της και παράλληλα η μείωση ενεργειακής κατανάλωσης.

Αναλυτικότερα, τα σημεία που εξετάστηκαν είναι αυτά που επιβαρύνουν το αρχικό κόστος και το κόστος συντήρησης ενός ΚΑΔ και αποτελούν τη ραχοκοκαλιά για την εύρυθμη και αδιάλειπτη λειτουργία του. Το σύνολο των μεθόδων και των παρεμβάσεων που μπορούν να γίνουν κατά την ανάπτυξη του ΚΑΔ ποικίλουν και εξαρτώνται πολλές φορές από τη γεωγραφική θέση, την επεκτασιμότητα και το βαθμό ευαισθησίας των δεδομένων προς διαχείριση. Έτσι, στη παρούσα εργασία εξετάζουμε λύσεις και παρεμβάσεις στο σύστημα διανομής ενέργειας, στο σύστημα κλιματισμού και της τεχνολογίας Εικονικοποίησης με έμφαση στη χρησιμοποίηση τεχνοοικονομικών εργαλείων (δείκτες TCO-Roi) και μεθόδων αξιολόγησης που βοηθούν τη διοίκηση στη λήψη ορθών λύσεων και διασφάλισης υψηλού επιπέδου υπηρεσιών.

Στο πρώτο κομμάτι της μελέτης έχει δοθεί μία ευρύτερη έννοια της "Πράσινης Πληροφορικής" και των κύριων στοιχείων και παραμέτρων που απαρτίζουν και επηρεάζουν την απόδοση ενός ΚΑΔ. Αναλύθηκαν οι σημαντικότεροι δείκτες και παράγοντες που εξετάζουν οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί των ΚΑΔ παραθέτοντας παράλληλα κάποια παραδείγματα.

Εν συνεχεία, ο κύριος κορμός της εργασίας παρουσιάζει την ενότητα της Τεχνοοικονομικής Αξιολόγησης των προτεινόμενων Λύσεων Βελτιστοποίησης. Πρώτον, εξετάζουμε την οικονομική εφικτότητα και απόδοση των μεθόδων διανομής ενέργειας και την σύγκριση της εναέριας με την ενδοδαπέδια καλωδίωση συμπεριλαμβάνοντας και μία μελέτη περίπτωσης αλλά και παραδείγματα από το όφελος λόγω μείωσης των εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Δεύτερον, εξετάζεται το σύστημα κλιματισμού και οι τρόποι με τους οποίους αυξάνεται η απόδοσή του αλλά και τα κριτήρια της σωστής επιλογής του. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνεται μία μελέτη περίπτωσης και παραδείγματα από οφέλη μείωσης των εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα.

Στην τελευταία ενότητα, εξετάζεται η τεχνολογία της Εικονικοποίησης(Virtualization) με έμφαση στην γενική αρχιτεκτονική της αλλά και στα ποικίλα οφέλη που προκύπτουν από την υιοθέτησή της. Αναλύθηκαν τρεις μελέτες περίπτωσης εγκατάστασής της σε ΚΑΔ εταιρειών διαφορετικών κλάδων και παράλληλα τα οφέλη μείωσης των εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα.

Στο τέλος, παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τα δεδομένα της εκάστοτε ενότητας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Abstract

Nowadays a huge effort is being placed on the limitation of energy consumption along with the use of technology, methods and resources more environmentally friendly. This current trend could not leave the sector of ICT unaffected. Therefore, over the last years, all the carriers involved, such as companies, computer software and hardware engineers, national and international organisations have been taking part in a race of research and development of new modern technologies and equipment with less energy requirements.

More specifically, in the present thesis we look at a Data Center as a living organism and conclude that the IT equipment (hardware and software) and the supporting equipment constitute its vital parts. All companies have now realised that continuous upgrading and maintenance of the contents of a Data Center are required. Our study is conducted from the perspective of a company which wants to develop its own Data Center and assesses the factors and aspects that have to be examined so that the company's demands and restrictions are fulfilled while the energy consumption is also reduced.

More specifically, all the examined issues are related and adversely affect the initial cost as well as the maintenance cost of a Data Center and make up the spine for its well behaviour and uninterrupted function. The methods and interventions that can be imposed during the development of a Data Center depends on the location, the extensibility and sensitivity of data to be administered. Thus, in the present study we examine the solutions and interventions to the energy distribution system, the air conditioning system and virtualization technology with emphasis on and the use of techno-economic tools (TCO-Rol indicators) as well as the assessment methods which help the management team to obtain the best solutions and ensure a high level of service.

In the first part of the study, a broader meaning of "Green Computing" has been introduced as well as emphasis on the most important elements and parameters which compose and influence the efficiency of a Data Center. The most important indicators and factors examined by the designers and engineers of Data Center have been analysed with necessary clarification examples.

Next, the main body of the thesis comprises of the techno-economic evaluation of the optimization solutions. Initially, we examine the financial feasibility of the energy efficiency of distribution methods and the comparison of the air wiring with underfloor wiring, including a case study with examples that depict the benefit from the reduction in the carbon dioxide emissions.

Secondly, we examine the air conditioning system, as well as ways that improve its performance and criteria that are helpful for proper selection. In addition, a survey is included where examples of the benefits from the reduction of Carbon Dioxide emissions are mentioned.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

In the last part of the thesis, the technology of Virtualization is examined with emphasis on its general structure and the various benefits which result from its adoption. Three surveys regarding to its installation into a Data Center of companies of different sectors were analysed, along with the benefits on the reduction of the Carbon Dioxide emissions.

Finally, the concluding remarks that were drawn from the study of three optimization solutions for Data Center proposed in this thesis are given.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Executive Summary	5
Εισαγωγή	6
Abstract	8
1. Έννοια της Πράσινης Πληροφορικής - "Green IT".....	16
2.Περιγραφή των χαρακτηριστικών ενός Κέντρου Αποθήκευσης Δεδομένων.....	18
2.1 Φυσική σύσταση των ΚΑΔ.....	18
2.2 Κριτήρια κατά τον σχεδιασμό των ΚΑΔ.....	20
2.3 Μελλοντικές τάσεις στην εξέλιξη των ΚΑΔ	25
3. Προσέγγιση των Πράσινων Κέντρων Αποθήκευσης Δεδομένων.....	28
3.1 Μύθοι και πραγματικότητες που σχετίζονται με τα Πράσινα ΚΑΔ	29
3.2 Δείκτες και τρόποι μέτρησης αποδοτικότητας των ΚΑΔ.....	30
3.2.1 Power Usage Effectiveness(PUE).....	31
3.2.2 Data Center Infrastructure Efficiency(DCIE).....	32
3.2.3 Data Center Performance Efficiency(DCPE)	33
Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Λύσεων Βελτιστοποίησης σε ΚΑΔ.....	35
4 Αξιολόγηση Μεθόδων Τοπολογιών Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	36
4.1 Διανομή ενέργειας με χρήση εγκατάστασης ηλεκτρικού πίνακα(panel board).....	37
4.2 Εγκατάσταση Μονάδων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας-PDUs.....	38
4.3 Εγκατάσταση Συστήματος Σπονδυλωτής Διανομής Ενέργειας(Modular Power Distribution).....	42
4.4 Σύγκριση Κόστους	46
4.5 Εξοικονομώντας ενέργεια μέσω καλωδίωσης.....	49
4.5.1 Σύγκριση εναέριας και ενδοδαπέδια καλωδίωσης	49
4.5.2 Ενδεικτικά παραδείγματα από τα οφέλη της μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης	51
5. Βελτιστοποίηση Συστήματος Ψύξης ΚΑΔ.....	54
5.1 Ανάλυση και αξιολόγηση συστημάτων ψύξης των ΚΑΔ	55
5.1.1 Κρίσιμοι παράγοντες επιλογής κατάλληλου συστήματος ψύξης.....	56
5.2 Διαφορές μεταξύ συμβατών και με ακρίβεια συστημάτων ψύξης.....	57

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

5.2.1 CRAC vs CRAH	58
5.2.2 Εξέταση διαφοράς στα λειτουργικά τους κόστη	59
5.3 Μελέτη περίπτωσης βελτιστοποίησης και εξοικονόμησης ενέργειας	60
5.3.1 Παρεμβάσεις βελτιστοποίησης που πραγματοποιήθηκαν	64
5.3.2 Υπολογισμός δείκτη Απόδοσης Επένδυσης(Return on Investment)	68
5.3.3 Ενδεικτικά παραδείγματα από τα οφέλη της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης.....	69
6. Βελτιστοποίηση με χρήση της τεχνολογίας Εικονικοποίησης(Virtualization)	72
6.1 Ανάγκη υιοθέτησης νέων αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών.....	73
6.2 Η έννοια της Εικονικοποίησης(Virtualization)	73
6.3 Κατηγορίες Εικονικοποίησης	74
6.4 Προσέγγιση οικονομικής απόδοσης της Εικονικοποίησης.....	76
6.4.1 Πτυχές και παρατηρήσεις για την μελέτη του δείκτη RoI.....	76
6.5 Μελέτη περίπτωσης βελτιστοποίησης και εξοικονόμησης ενέργειας	80
6.5.1 Ενδεικτικά παραδείγματα από τα οφέλη της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης.....	87
7. Συμπεράσματα	88
Βιβλιογραφία-Αναφορές.....	90

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1 Κέντρο Αποθήκευσης Δεδομένων-Data Center	18
Εικόνα 3 Παράδειγμα τυπολογίας Tier II, με περιττά στοιχεία ή μη	23
Εικόνα 4 Παράδειγμα που χρησιμοποιείται συνήθως για τη παραλληλίζουσα διαμόρφωση στα ΚΑΔ με πολλαπλά ζεύγη μεταφοράς.....	24
Εικόνα 5 Αρχιτεκτονική δομή σύγχρονου ΚΑΔ.....	27
Εικόνα 6 Η έννοια του "Πράσινου" στα ΚΑΔ.....	29
Εικόνα 7 Ενδεικτικό διάγραμμα σχέσης PUE και κόστους.....	32
Εικόνα 8 Αρχιτεκτονικές Διανομής Ενέργειας.....	36
Εικόνα 9 Πίνακες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	37
Εικόνα 10 Παράδειγμα διανομής μέσω χρήση PDU's	38

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Εικόνα 11 Μονάδα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας-PDU	39
Εικόνα 12 Ενδοδαπέδιος και εναέριος τρόπος καλωδίωσης	40
Εικόνα 13 Προ-ρυθμισμένη PDU(factory-configured)	41
Εικόνα 14 Μέθοδος Σπονδυλωτή Διανομή Ενέργειας(Busway Modular Distribution)	42
Εικόνα 15 Τρόποι διασύνδεσης της μονάδας παροχής ενέργειας	43
Εικόνα 16 Παράδειγμα τοπολογίας	45
Εικόνα 17 Τύποι ενσωματωμένων σπονδυλωτών PDU	46
Εικόνα 18 Απαιτήσεις ποσοστού του SHR	56
Εικόνα 19 Διάγραμμα Ζώνης 1.....	61
Εικόνα 20 Διάγραμμα Ζώνης 2.....	61
Εικόνα 21 Διάγραμμα ροής αέρα από τις μονάδες CRAH	62
Εικόνα 22 Διάγραμμα διανομής ισχύος στο ΚΑΔ.....	63
Εικόνα 23 Βασικό διάγραμμα υποδομής ψύξης του ΚΑΔ.....	63
Εικόνα 24 Rack με τοποθετημένα εμπόδια διέλευσης αέρα.....	67
Εικόνα 25 Γενική απεικόνιση δομής τεχνολογίας Εικονικοποίησης(Virtualization).....	74
Εικόνα 26 Πιθανή επίδραση Εικονικοποίησης	77

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1 Διευκρίνιση μεγέθους ΚΑΔ	19
Πίνακας 2 Σύγκριση Κόστους μεθόδων διανομής ενέργειας	48
Πίνακας 3 Απώλειες λόγω εγκοπών καλωδίωσης	50
Πίνακας 4 Συγκεντρωτική ανάλυση κόστους.....	51
Πίνακας 5 Απόδοση αναβαθμισμένων μονάδων CRAH	65
Πίνακας 6 Σύγκριση μονάδων CRAHs και κατανάλωση ενέργειας.....	66
Πίνακας 7 Οφέλη Εικονικοποίησης ανά εταιρεία.....	81
Πίνακας 8 Αξιολόγηση επένδυσης σε εταιρεία στο κλάδο Υγείας	82
Πίνακας 9 Αξιολόγηση επένδυσης σε εταιρεία Ασφάλισης	84
Πίνακας 10 Αξιολόγηση επένδυσης σε εταιρεία Μεταφορών	86

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΠΡΑΣΙΝΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ



1. Έννοια της Πράσινης Πληροφορικής - "Green IT"

Στην καθημερινότητά μας, όλο και περισσότερο χρησιμοποιούμε τον όρο "Πράσινο"(Green), με τον οποίο θέλουμε να εκφράσουμε τις φιλικές προς το περιβάλλον δραστηριότητες/ διαδικασίες που ασχολούμαστε. Έτσι και στον κλάδο της Πληροφορικής, η έννοια της "Πράσινης Πληροφορικής"(Green IT) έχει διεισδύσει για τα καλά στους επαγγελματίες και τις εταιρείες του κλάδου. Μάλιστα, οι εταιρείες που υιοθετούν σήμερα άμεσα πράσινες τεχνικές και μεθόδους, θα έχουν το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στο μέλλον έναντι των ανταγωνιστών τους.

Πιο συγκεκριμένα, η έννοια της "Πράσινης Πληροφορικής" περιγράφει τις μελέτες, το σχεδιασμό, τη χρήση και την επαναχρησιμοποίηση υπολογιστών, εξυπηρετητών (servers) αλλά και υποσυστημάτων όπως οθόνες, εκτυπωτές, αποθηκευτικών μέσων και επικοινωνιακών δικτύων ώστε να περιορίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, χωρίς όμως να επηρεάζεται η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα των συστημάτων πληροφορικής.[1][2]

Με άλλα λόγια, η "Πράσινη Πληροφορική" έχει απώτερο σκοπό τη βέλτιστη διαχείριση ενεργειακών αναγκών με τέτοιο τρόπο που αξιοποιεί τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας και μεριμνά για το φυσικό περιβάλλον. Ειδικότερα, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να υπάρξει ευθυγράμμιση και σύγκλιση των απαιτούμενων για την υιοθέτηση της "Πράσινης Πληροφορικής" στα πεδία της κοινωνικής και ηθικής ευθύνης που απορρέουν από την ανάγκη μείωσης του ενεργειακού και περιβαλλοντικού αποτυπώματος(Green Footprint) με αυτά της οικονομικής βιωσιμότητας και της βέλτιστης αποδοτικότητας των υποδομών των επιχειρήσεων και των οργανισμών. Έτσι τα τελευταία χρόνια, αναπτύσσονται τεχνολογίες και λογισμικά εργαλεία φιλικά προς το περιβάλλον όπως είναι η εικονική ενεργειακή διαχείριση (Virtualization), ανακύκλωση(Recycling) και τηλεργασία(Telecommuting).

Θα πρέπει να αναφερθεί η σημαντική συνεισφορά του κλάδου της Πληροφορικής για τη παγκόσμια προσπάθεια μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Για παράδειγμα το λειτουργικό για προσωπικούς υπολογιστές Windows Vista, όταν βρίσκονται σε "κατάσταση αναμονής" καταναλώνουν 33 φορές λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα Windows XP. Σύμφωνα με διεθνώς αναγνωρισμένες μελέτες, οι υποδομές πληροφοριακών συστημάτων ευθύνονται για το 2-3% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας, ποσοστό που διαρκώς αυξάνεται και είναι αντίστοιχο και με το ποσοστό για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα(CO₂). [3]

Θα πρέπει να συνυπολογιστεί ότι στην ενέργεια που καταναλώνει για τη λειτουργία του ένα πληροφοριακό σύστημα για συνεχόμενη και αδιάλειπτη λειτουργία εμπεριέχονται οι παροχές ισχύος στον υπολογιστικό εξοπλισμό, οι ανάγκες ψύξης και άλλες απώλειες.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Γίνεται εύκολα αντιληπτό τα μεγάλα ποσοστά ενέργειας που καταναλώνονται καθημερινά από ένα Κέντρο Αποθήκευσης Δεδομένων-ΚΑΔ- (Data Center), στο εξής θα χρησιμοποιείται η συντομογραφία του.

Σήμερα, είμαστε σε θέση να ισχυριστούμε ότι είναι εφικτή η ανάπτυξη και λειτουργία πληροφοριακών συστημάτων φιλικά προς το περιβάλλον. Όσο η χρήση των υπολογιστών αυξάνεται παράλληλα με τις απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας τόσο πιο καθοριστικός είναι ο ρόλος της "Πράσινης Πληροφορικής" και των επαγγελματιών του κλάδου. Επιπροσθέτως, η "Πράσινη Πληροφορική" αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματική στη μείωση του κόστους παροχής ηλεκτρικής ισχύος για τη λειτουργία των υποδομών πληροφοριακών συστημάτων.

Εν κατακλείδι σε διεθνές επίπεδο έχει δοθεί μεγάλη σημασία στα οφέλη της "Πράσινης Πληροφορικής". Η διεθνής κοινότητα έχει αναπτύξει σχήματα και φορείς για την πρόωθηση και την εφαρμογή των αρχών της "Πράσινης Πληροφορικής". Ο οργανισμός "Green Grid"¹, ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που αποτελείται από κορυφαίους φορείς στον χώρο της πληροφορικής έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στις εξελίξεις. Δραστηριοποιείται ως ένας όμιλος τελικών χρηστών, φορέων, βιομηχανιών, εγκαταστάσεων και εταιρειών κοινής ωφέλειας οι οποίες συνεργάζονται για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των υποδομών πληροφορικής και ειδικότερα των ΚΑΔ, όπου συνήθως λειτουργούν μεγάλης κλίμακας πληροφοριακά συστήματα.

Τέλος, σε πολιτικό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει συστήσει το **European Code of Conduct for Data Centres**² στο οποίο περιγράφονται καλές πρακτικές για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης υποδομών των ΚΑΔ. Σημαντικό πολιτικό βήμα για την εξάπλωση της "Πράσινης Πληροφορικής" υπήρξε και η δέσμευση της **Ευρωπαϊκής Ένωσης** για τη μείωση των εκπομπών επιβλαβών αερίων μέχρι το 2020 (σε ποσοστό τουλάχιστον 20% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990) και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας (επίσης κατά 20%).

¹ Διεθνής μη κερδοσκοπικός οργανισμός που αποτελεί μία κοινοπραξία του κλάδου με μέλη τους τελικούς χρήστες, φορείς χάραξης πολιτικής, παρόχους τεχνολογίας, μηχανικούς εγκαταστάσεων καθώς και εταιρείες κοινής ωφέλειας με σκοπό της συνεργασία για βελτίωση της αποδοτικότητας των πόρων των ΚΑΔ

² Αποτελεί εθελοντική πρωτοβουλία της Ε.Ε για την ενεργειακή απόδοση της Ευρώπης που στοχεύει στη μείωση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και των επιπτώσεων της ενεργειακής κατανάλωσης των ΚΑΔ .

2. Περιγραφή των χαρακτηριστικών ενός Κέντρου Αποθήκευσης Δεδομένων

2.1 Φυσική σύσταση των ΚΑΔ

Τα ΚΑΔ αποτελούν τη ραχοκοκαλιά μιας ευρείας γκάμας υπηρεσιών που προσφέρονται μέσω Διαδικτύου, συμπεριλαμβανομένων των Web-hosting, το ηλεκτρονικό εμπόριο, τη κοινωνική δικτύωση καθώς και μία ποικιλία γενικότερων υπηρεσιών όπως το λογισμικό ως υπηρεσία(SaaS³), την πλατφόρμα ως υπηρεσία(PaaS⁴) και το υπολογιστικό νέφος(cloud computing). Μερικά παραδείγματα τέτοιων πλατφορμών υπηρεσιών είναι η πλατφόρμα Azure της Microsoft, η Google App engine κ.α. Η Εικονικοποίηση (Virtualization) είναι το κλειδί για την παροχή πολλών από τις προαναφερθείσες υπηρεσίες και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στα ΚΑΔ για να επιτευχθεί η καλύτερη αξιοποίηση του server και η βέλτιστη κατανομή των πόρων. Ωστόσο το Virtualization πετυχαίνει να κάνει διάφορες πτυχές στη διαχείριση του ΚΑΔ πιο προκλητική.

Δεδομένου ότι η πολυπλοκότητα, η ποικιλία και η διείδυση των εν λόγω υπηρεσιών αυξάνει ραγδαία, τα ΚΑΔ θα συνεχίσουν να αυξάνονται και να πολλαπλασιάζονται. Ποικίλες αιτίες διαμορφώνουν τις τάσεις στα ΚΑΔ και αναμένεται τα μελλοντικά ΚΑΔ να είναι πολύ περισσότερο από απλές μεγαλύτερες εκδόσεις από τα υπάρχον.



Εικόνα 1 Κέντρο Αποθήκευσης Δεδομένων-Data Center

Εν συνεχεία, παρατηρούμε δύο κύριες τάσεις που λαμβάνουν χώρα στα ΚΑΔ και θα επηρεάσουν την Αγορά. Αρχικά είναι η αύξηση του *cloud computing* που συνδέεται με το

³ Συντομογραφία του όρου Software as a Service

⁴ Συντομογραφία του όρου Platform as a Service

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

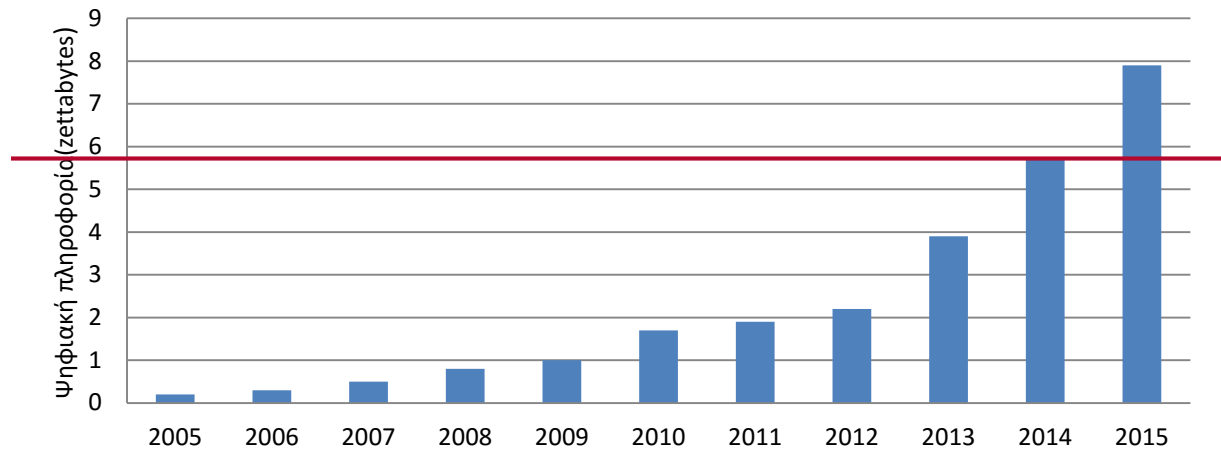
virtualization-outsourcing-collocation και της κινητής μετάπτωσης πληροφοριών, η οποία έχει ως επακόλουθο τη τεράστια αύξηση των ΚΑΔ που θα οδηγήσει να ξεπεραστούν τα μικρά και μεσαία ΚΑΔ. Δεύτερον, παρατηρείται η τάση για τον αποδοτικότερο σχεδιασμό του ΙΤ εξοπλισμού ως προς την μείωση της εκπεμπόμενης θερμότητας και την καλύτερη εκμετάλλευση των περιβαλλοντικών συνθηκών ώστε να μειωθεί το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη ψύξη του ΚΑΔ. Η οποία εκτός της δαπάνης για τη λειτουργία των servers είναι η μεγαλύτερη.

Για να γίνουμε πιο σαφής, αναμένεται τα μικρομεσαία μεγέθους ΚΑΔ να συνεχίζουν να παρουσιάζουν ανάπτυξη αλλά λόγω αναβαθμίσεων στο εσωτερικό τους και όχι εν μέσω επενδύσεων για δημιουργία νέων. Στην πραγματικότητα, θα μπορούσαμε να περιγράψουμε μία κατάσταση όπου τα μικρομεσαία ΚΑΔ θα κλείνουν σταδιακά αλλά παράλληλα θα υπάρχουν υψηλές επενδύσεις στις ανακατασκευές καθώς οι εταιρείες θα γίνουν αποδοτικότερες στην διαχείριση των ΙΤ περιουσιακών τους στοιχείων. Αυτό το σενάριο έχει ήδη υιοθετηθεί από πολλές κυβερνήσεις, με πρώτη τη κυβέρνηση των ΗΠΑ, η οποία έχει θέσει ως στόχο το κλείσιμο του 40% των μικρομεσαίων ΚΑΔ της μέχρι το 2015. Ομοίως η IDC-εταιρεία τεχνολογικών προβλέψεων-, αναμένει ότι ο συνολικός αριθμός των ΚΑΔ να μειώνεται μεταξύ 2012 και 2016, αν και συνολικά ο δείκτης "συνολικά τετραγωνικά μέτρα ΚΑΔ" αναμένεται να αυξηθεί, γεγονός που υποδηλώνει ότι στην Αγορά θα κυριαρχήσουν τα μεγάλα και πολύ μεγάλα ΚΑΔ.[4][5]

Μέγεθος ΚΑΔ	Πλήθος servers	Τετραγωνικά μέτρα(τ.μ)	Είδη server και αρχιτεκτονική
Μικρού μεγέθους	350-500	≈1400	1-3 high end server systems
Μεσαίου -//-	1500-1700	≈1900	4-5 high end server systems
Μεγάλου -//-	2000-2500	≈3300	Πάνω από 7 high end server systems
Πολύ μεγάλου -//-	Πάνω από 25000	≈9300	Πάνω από 83high end server systems

Πίνακας 1 Διευκρίνιση μεγέθους ΚΑΔ

Ψηφιακή πληροφορία που έχει δημιουργηθεί και μοιραστεί (zettabytes)



Εικόνα 2 Εκτίμηση όγκου ψηφιακής πληροφορίας, παραγόμενης και διαμοιρασμένης

2.2 Κριτήρια κατά τον σχεδιασμό των ΚΑΔ

Πολύ συχνά ο σκοπός για τον οποίο κατασκευάζεται ένα ΚΑΔ καθορίζει και τον σχεδιασμό του. Θα πρέπει να εξυπηρετεί τις ανάγκες της εταιρείας αλλά και να είναι εντός των χρηματικών περιορισμών όπου θέλει να επενδύσει η εταιρεία. Κατά την εκτέλεση του έργου απαιτείται η στενή συνεργασία των μηχανικών, σχεδιαστών, αρχιτεκτόνων και αυτών που είναι υπεύθυνοι για τον προϋπολογισμό του.

Μερικές από τις πιο κρίσιμες σχεδιαστικές αποφάσεις αφορούν για την καλύτερη διανομή ενέργειας για τις υπάρχουσες ανάγκες του κέντρου. Έτσι παρακάτω θα αναλύσουμε τρεις παράγοντες "κλειδιά" τους οποίους εξετάζουμε κατά το σχεδιασμό της διανομής ενέργειας για την υποδομή του συστήματος: *το μέγεθος του συστήματος, την αξιοπιστία της αρχιτεκτονικής που έχει επιλεγεί και της λειτουργικής πολυπλοκότητας της διανομής ενέργειας στα κρίσιμα φορτία*. Όταν η ομάδα έχει ορίσει τους παραπάνω παράγοντες είναι σε θέση να κατασκευάσει ένα ολοκληρωμένο και αποδοτικό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

1ος παράγοντας: Μέγεθος υποδομής που απαιτεί διανομή ενέργειας

Γίνεται δύσκολα αντιληπτό αλλά η θερμότητα η οποία παράγεται από τον IT εξοπλισμό σε ένα ΚΑΔ αποτελεί κύριο στοιχείο για τη μελέτη κατασκευής του δικτύου διανομής ενέργειας ολόκληρης της εγκατάστασης. Επειδή ο τεχνολογικός και μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για να κρατηθεί δροσερή η εγκατάσταση είναι και τα σημεία όπου καταναλώνεται το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας αυτό παράλληλα αυξάνει και τις ανάγκες για ενέργεια του ΚΑΔ.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής κατανάλωσης παραδοσιακά χρησιμοποιείται από τους σχεδιαστές η φόρμουλα του *watt ανά τετραγωνικό μέτρο* (επιφάνεια δαπέδου που καλύπτει ο IT εξοπλισμός) όταν θέλουμε να περιγράψουμε το φορτίο θερμότητας που παράγεται από τον εξοπλισμό. Πρόσφατα, μερικοί σχεδιαστές έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν και μία δεύτερη μέθοδο, αυτή της *kilowatts ανά rack*. Είτε έτσι είτε αλλιώς, για να είναι χρήσιμος ο υπολογισμός του ηλεκτρικού φορτίου πρέπει να μετατρέψουμε αυτά τα νούμερα σε watts.

- *Μέθοδος πρώτη* - φορτίο θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας (m^2) επί τη συνολική επιφάνεια

Αφού έχουμε υπολογίσει την επιφάνεια που καταλαμβάνει ο IT εξοπλισμός σε τετραγωνικά μέτρα (τ.μ), με ένα απλό πολλαπλασιασμό των watts ανά τετραγωνικό μέτρο με τη συνολική επιφάνεια, μπορούμε πολύ εύκολα να καθορίσουμε την απαιτούμενη ενέργεια που χρειαζόμαστε για να υποστηρίξουμε τον εξοπλισμό μας.

παράδειγμα

φορτίο θερμότητας ανά τετραγωνικό μέτρο	1500 <i>watt/m²</i>
συνολική επιφάνεια	<u>X 500 τετραγωνικά μέτρα</u>
Απαιτούμενη ενέργεια	750000 watts → 750 kilowatts

- *Μέθοδος δεύτερη* - φορτίο θερμότητας ανά rack επί τον συνολικό αριθμό των racks

Ο υπολογισμός των watts ανά rack είναι κάτι τελείως ανεξάρτητο από την επιφάνεια. Επικεντρώνεται στο φορτίο που παράγεται σε κάθε rack και εκφράζεται ως τιμή kilowatt ανά rack. Αυτή η προσέγγιση απαιτεί να έχει καθοριστεί ο αριθμός των racks που χρειάζονται όταν το ΚΑΔ θα είναι σε πλήρη λειτουργία. Έτσι πολλαπλασιάζοντας τα kilowatt ανά rack με το πλήθος των rack, υπολογίζοντας την απαιτούμενη ενέργεια παρόμοια με τη προηγούμενη μέθοδο.

παράδειγμα

φορτίο ισχύος ανά rack	3 kilowatt ανά rack (kw/rack)
πλήθος racks	<u>X 250</u>
Απαιτούμενη ενέργεια	750 kilowatt

Εν συνεχεία, για να υπολογίσουμε τη συνολική κατανάλωση ενέργειας του ΚΑΔ και αφού έχει καθοριστεί η κατανάλωση του IT εξοπλισμού, υπάρχει ο κανόνας που μας λέει ότι αν

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

πολλαπλασιάσουμε επί δύο αυτό το νούμερο βρίσκουμε τη συνολική κατανάλωση του κέντρου. Δηλαδή σύμφωνα με τα προηγούμενα παραδείγματα κατά προσέγγιση η συνολική κατανάλωση ενέργειας του ΚΑΔ θα ήταν $750\text{kilowatt} \times 2 = 1500\text{kilowatt} = 1.5\text{MW}$. Αυτός ο κανόνας μας δείχνει ότι η ενέργεια που χρειάζεται ο υπόλοιπος τεχνολογικός και μηχανολογικός εξοπλισμός όπως αντλίες, ψύκτες, κλιματιστικά, computer room air system/handlers (CRACs/CRAHs) είναι ισομεγέθους με την κατανάλωση του IT εξοπλισμού. Ο συνδυασμός αυτών των δύο φορτίων (IT εξοπλισμός και υπόλοιπος εξοπλισμός) αποτελεί το 95% της ενεργειακής κατανάλωσης ενός Πράσινου ΚΑΔ.

2ος παράγοντας: Η αξιοπιστία της αρχιτεκτονικής

Η δεύτερη απόφαση "κλειδί" για την υλοποίηση ενός ΚΑΔ είναι η αξιοπιστία της επιλεγόμενης αρχιτεκτονικής. Στα μέσα του 1990, το UpTime Institute^{TM5} δημοσίευσε τη πρώτη έκδοση της αναφοράς "*Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance*". Η οποία ενημερώνεται τακτικά και μας παράσχει τις κατευθυντήριες αρχές για την αξιοπιστία των υποδομών εγκατάστασης σε πολλά ΚΑΔ. Επίσης πολύ συχνά χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης των υποδομών των ΚΑΔ.

Η αναφορά ορίζει τέσσερα επίπεδα απόδοσης ή σειρές που σχετίζονται με την υποδομή των εγκαταστάσεων των ΚΑΔ. Από μία εγκατάσταση με την αναγκαία ελάχιστη ή βασική υποδομή για να υποστηρίξει ένα ΚΑΔ (Tier 1) μέχρι σε μία ανεκτή αρχιτεκτονική με το διπλάσιο της υποδομής που απαιτείται για να υποστηρίξει ένα ΚΑΔ (Tier IV). Σε κάθε διαδοχικό επίπεδο από το I έως IV, το μέσο χρονικό διάστημα εκτός σύνδεσης μειώνεται, δηλαδή όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο βαθμίδας-θεωρητικά-τόσο πιο αξιόπιστη είναι η εγκατάσταση του ΚΑΔ. Αν και αυτός δεν είναι ο μόνος τρόπος για να καθορίσουμε την αρχιτεκτονική αξιοπιστία ενός κέντρου δεδομένων, είναι ένας αποδεκτός τρόπος για να ρυθμίσουμε τις παραμέτρους που καθορίζουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της υποδομής.

Αφού έχει επιλεγεί η αρχιτεκτονική αξιοπιστία του ΚΑΔ, ορισμένα χαρακτηριστικά της υποδομής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πιο εύκολα να προσδιοριστούν. Για παράδειγμα, εάν μία αρχιτεκτονική αξιοπιστία που επιλεγεί πληροί τις κατευθυντήριες γραμμές της βαθμίδας Tier II, ορισμένα δομικά στοιχεία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι περιττά, δηλαδή ένα N+1 στοιχείο. Όπως στο σχήμα που ακολουθεί, αν μία εγκατάσταση χρειάζεται μία γεννήτρια 2000kW για να υποστηρίξει το ηλεκτρικό φορτίο, θα πρέπει να αγοραστεί και να εγκατασταθεί και μία δεύτερη γεννήτρια 2000kW που θα αντιπροσωπεύει το περιττό στοιχείο.

Συνεχίζοντας με το ίδιο παράδειγμα, η απόφαση για την αρχιτεκτονική αξιοπιστία θα οδηγήσει και την περαιτέρω υποδομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο

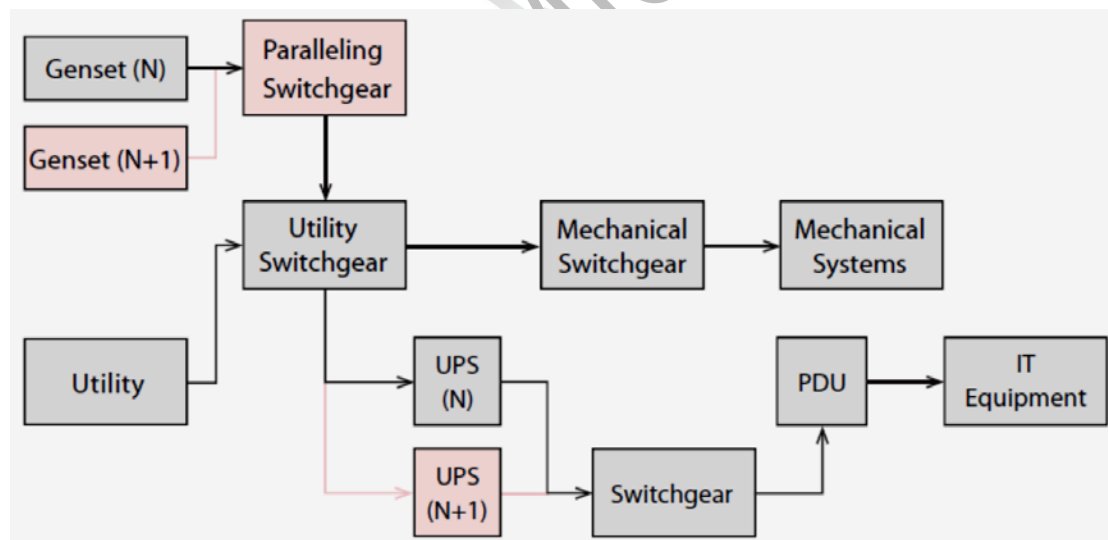
⁵ Αποτελεί μία κοινοπραξία εταιρειών που συμμετέχουν στην εκπαίδευση, εκδόσεις, συμβουλευτικές υπηρεσίες, πιστοποιήσεις, συνέδρια και σεμινάρια των επιχειρήσεων του κλάδου των ΚΑΔ και των επαγγελματιών.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

συγκεκριμένα αντί να χρησιμοποιηθεί ένας διακόπτης μεταφοράς για την ενσωμάτωση της γεννήτριας, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας παράλληλος συνδυασμός που θα ενσωματώνει και τις δύο γεννήτριες στο σύστημα.

Γίνεται αντιληπτό ότι το κόστος μίας εγκατάστασης αυξάνεται αναλογικά με το βαθμό αξιοπιστίας. Σε γενικές γραμμές, αν η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί για να είναι πιο αξιόπιστη, απαιτούνται περισσότερες υποδομές στον εξοπλισμό για να καλυφθούν οι ανάγκες της αρχιτεκτονικής αξιοπιστίας. Με άλλα λόγια περισσότερος εξοπλισμός σημαίνει μεγαλύτερο αρχικό κόστος που συνδέεται με την κατασκευή της εγκατάστασης του ΚΑΔ καθώς και μεγαλύτερες δαπάνες για τη διατήρηση του εξοπλισμού.

Επιπρόσθετα, η επιλογή της τάσης λειτουργίας της υποδομής ενέργειας επηρεάζει την αρχιτεκτονική του συστήματος και το αρχικό κόστος εγκατάστασης. Ο αντίκτυπος στο κόστος εξοπλισμού μπορεί να είναι αρκετά μεταβλητός, όμως δεν υπάρχει κάποιος αντίστοιχος κανόνας που περιγράφηκε προηγουμένως σχετικά με τη τάση λειτουργίας και το αρχικό κόστος εξοπλισμού. Αν η τάση λειτουργίας είναι μία μεταβλητή στο σχεδιασμό των υποδομών ενέργειας, συνίσταται η σύγκριση του κόστους των σχεδίων στις διαφορετικές τάσεις λειτουργίας για να είναι πιο εμπειριστατωμένη η απόφαση για το τι είναι καλύτερο για τα ΚΑΔ.



Εικόνα 3 Παράδειγμα τυπολογίας Tier II, με περιττά στοιχεία ή μη

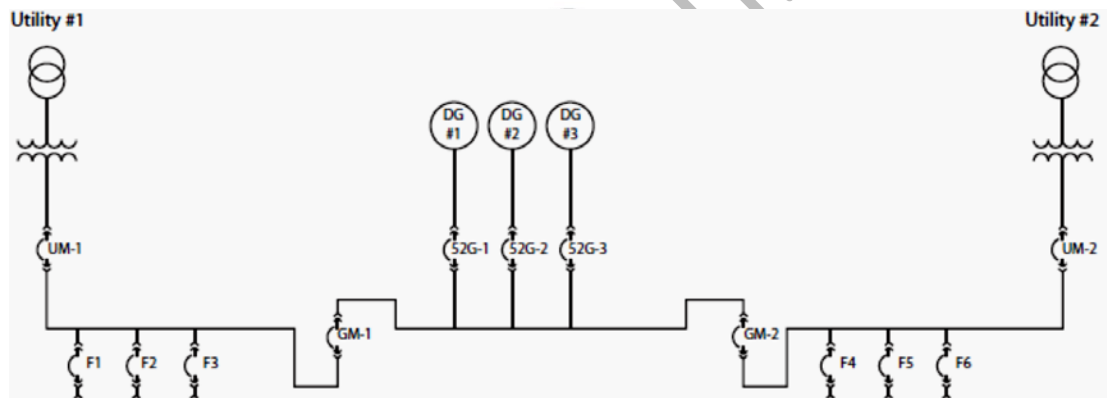
3ος παράγοντας: Λειτουργική πολυπλοκότητα

Ο τρίτος παράγοντας που επηρεάζει τον σχεδιασμό της υποδομής του συστήματος ενέργειας έγκειται στην λειτουργική πολυπλοκότητα του συστήματος. Αν έχει επιλεγεί μία υψηλή βαθμίδα, αυτό μας οδηγεί σε άλλες αποφάσεις, όπως η εφαρμογή παραλληλισμού διακοπών μεταγωγής και άλλες συσκευές με αυτόματο έλεγχο εντός της αρχιτεκτονικής

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

του συστήματος ισχύος. Ως επακόλουθο είναι να προστίθεται πολυπλοκότητα στην ακολουθία των πράξεων και σε ιδιαίτερες καταστάσεις όπως η διακοπή παροχής ηλεκτρισμού να είναι πιο έντονο. Μόλις η απόφαση για τη βαθμίδα της αρχιτεκτονικής αξιοπιστίας επιλεγεί, το εύρος των επιλογών μας αυτομάτως μειώνεται όμως εξακολουθεί να εφίσταται μία σειρά από κρίσιμες επιλογές.

Συνήθως επιλέγονται σχέδια για την αρχιτεκτονική του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να απλοποιείται η λειτουργική πολυπλοκότητα. Αυτό το οποίο ταιριάζει καλύτερα στις σχεδιαστικές ανάγκες ενός συγκεκριμένου ΚΑΔ καθορίζεται από προγενέστερες αποφάσεις, όπως προαναφέρθηκε. Οι ρυθμίσεις στην αρχιτεκτονική του συστήματος ενέργειας είναι κοινώς γνωστές με ονόματα όπως *isolated bus*, *multiple transfer pairs*, or *main-tie-main split generator bus* και είναι ενσωματωμένες στο γενικότερο σχέδιο του συστήματος της εγκατάστασης και μπορεί να περιλαμβάνει πρόσθετο σύστημα εποπτικού ελέγχου με τη μορφή συστήματος SCADA⁶, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4 Παράδειγμα που χρησιμοποιείται συνήθως για τη παραλληλίζουσα διαμόρφωση στα ΚΑΔ με πολλαπλά ζεύγη μεταφοράς

Η επιλογή προτύπων αρχιτεκτονικών πλεονεκτούν σε σχέση με τις προσαρμοσμένες στην εκάστοτε περίπτωση. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι ο προγραμματισμός που συνδέεται με μία τυπική αλληλουχία των εργασιών έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλές εφαρμογές, αυτού του είδους αρχιτεκτονικής του συστήματος ενέργειας. Δηλαδή η πρότυπη ακολουθία εργασιών έχει υποβληθεί σε πολλές ώρες λειτουργίας που σημαίνει ότι αν είχε κάποια σημαντικά δυσλειτουργικά θέματα θα τα είχε αποκαλύψει. Για να το θέσουμε διαφορετικά, εφαρμόζοντας ένα πρότυπο για την αρχιτεκτονική του συστήματος ενέργειας υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία εν αντιθέσει με τα ειδικά σχεδιασμένα, επειδή ο

⁶ Ο όρος **SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition) περιγράφει μια κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτόματου ελέγχου και τηλεμετρίας.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

προγραμματισμός που συνδέεται με την αλληλουχία των λειτουργιών είναι πιο σταθερός, χάρη στις πολλές ώρες λειτουργίας.

Τέλος, τα ειδικά σχεδιασμένα συστήματα λόγω της λειτουργικής πολυπλοκότητας τους, απαιτούν κάποιες λιγότερες εμφανείς δαπάνες. Η πολυπλοκότητα αυξάνει το κόστος για την απόκτηση των υλικών γιατί έτσι συμβαίνει από τη φύση του άλλα προσθέτει και κάποια επιπλέον κόστη που συνδέονται με τον έλεγχο της λειτουργικής ικανότητας και με το μακροπρόθεσμο κόστος συντήρησης. Αυτές οι παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων για το επίπεδο πολυπλοκότητας του συστήματος διανομής ενέργειας.

2.3 Μελλοντικές τάσεις στην εξέλιξη των ΚΑΔ

Τα παραδοσιακά ΚΑΔ έχουν αναπτυχθεί και εξελιχθεί ως μία μεγάλη υπολογιστική υποδομή, η οποία περιγράφεται από την αποκλειστική ιδιοκτησία και λειτουργία από μία οντότητα για εμπορικούς ή άλλους λόγους. Ωστόσο, οι δυνάμεις που ασκούν επιρροή στις εξελίξεις των ΚΑΔ μας οδηγούν σε πιο πολύπλοκα σενάρια ιδιοκτησίας. Για παράδειγμα, στη περίπτωση του *Virtualization* επιτρέπει την ενοποίηση και εξοικονόμηση του κόστους ανάπτυξης ενός ιδιωτικού(*private*) ΚΑΔ. Αυτό έχει ως επακόλουθο πολλοί ιδιώτες/εταιρείες να οδηγούνται στη λύση του *outsourcing*, που τους επιτρέπει να αναπτύξουν και να οργανώσουν ένα δικό τους ΚΑΔ χωρίς να απαιτείται η επένδυση σε φυσική υποδομή. Στην πραγματικότητα, το *υπολογιστικό νέφος*(*cloud computing*) μας παρέχει μία τέτοια δυνατότητα όπου οι πόροι λαμβάνονται δυναμικά σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες του πελάτη και η διαχείριση αυτών παραμένει εντελώς κρυμμένη από τον χρήστη. Συνήθως οι συνδρομητές εικονικών ΚΑΔ ενδιαφέρονται για μακροπρόθεσμες διευθετήσεις, για την ενοποίηση με τις δικές τους IT υποδομές και την ασφάλεια των πληροφοριών τους παρά με την υποδομή του φυσικού επιπέδου του παρόχου της υπηρεσίας.[6]

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρουμε τα τέσσερα επίπεδα του εννοιολογικού μοντέλου των μελλοντικών ΚΑΔ, στα οποία εμπεριέχονται ένα ευρύ φάσμα των αναδυόμενων εφαρμογών τους.

Στη βάση αυτού του εννοιολογικού μοντέλου βρίσκεται το πρώτο επίπεδο-*φυσικό επίπεδο-Physical Infrastructure Layer*(PIL). Το συγκεκριμένο επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση της φυσικής υποδομής που έχει εγκατασταθεί σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Λόγου του μεγάλου κόστους της απαιτούμενης ενέργειας που χρειάζεται αυτός ο χώρος, την έκταση που καταλαμβάνει και το προσωπικό που απαιτείται για την διαχείριση του συνήθως για την εγκατάστασή του προτιμώνται περιοχές κοντά σε πηγές φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας, νερού, γης και εργατικού δυναμικού. Αυτές οι τοποθεσίες είναι από τη φύση τους γεωγραφικά απομακρυσμένες από τις περιοχές που παρέχονται οι υπηρεσίες και έτσι είναι προαπαιτούμενο η διασύνδεση τους με πολύ υψηλές ταχύτητες. Εκτός από τη διαχείριση του IT εξοπλισμού, το φυσικό επίπεδο PIL μπορεί να επιτρέψει την παροχή δυνατοτήτων για μεγαλύτερη και κλιμακωτή ενοποίηση. Σε αυτή τη περίπτωση το PIL θα είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των πεδίων σε ότι αφορά τους *server* της ασφάλειας, της

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

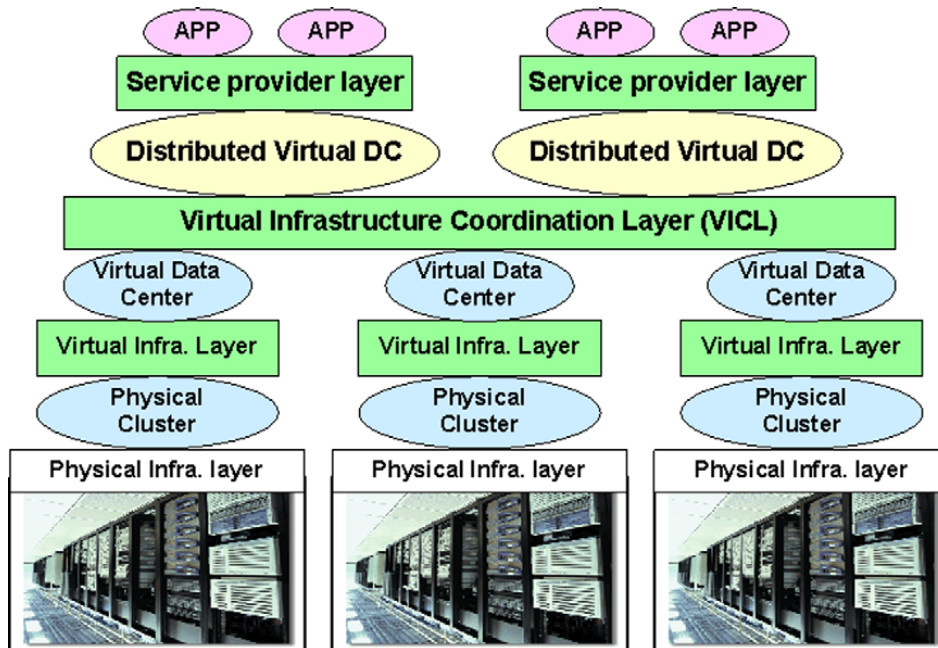
κυκλοφορίας firewalling και της διασφάλισης του εύρους ζώνης πρόσβασης. Για παράδειγμα, η δημιουργία και διαχείριση εικονικών δικτύων LAN θα υλοποιηθεί σε αυτό το επίπεδο.

Το επόμενο επίπεδο είναι αυτό της *εικονικής υποδομής-Virtual Infrastructure Layer(VIL)*, το οποίο εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες του virtualization που διατίθενται σε μεμονωμένους servers και στοιχείων του δικτύου και της αποθήκευσης για τη δημιουργία ενός εικονικού cluster(συστάδα). Δηλαδή μία σειρά από εικονικούς και πραγματικούς κόμβους που μαζί με συστήματα QoS ελέγχονται οι διαδρομές που ικανοποιούν τις ανάγκες επικοινωνίας. Σε πολλές περιπτώσεις, το επίπεδο VIL θα είναι εσωτερικό σε έναν οργανισμό, ο οποίος θα έχει μισθώσει ένα ολόκληρο κομμάτι από φυσικούς servers για την ικανοποίηση των αναγκών του. Ωστόσο, είναι κατανοητό ότι οι υπηρεσίες του VIL είναι πραγματικά υπό τον έλεγχο του παρόχου υποδομής, ο οποίος παρουσιάζει μία πλατφόρμα για άντληση εικονικών servers από τους πελάτες του.

Το τρίτο επίπεδο στο μοντέλο μας είναι το *Virtual Infrastructure Coordination Layer (VICL)*, του οποίου ο σκοπός είναι η διασύνδεση των εικονικών τμημάτων των servers με τα φυσικά τμήματα servers, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα γεωγραφικά κατανεμημένο κέντρο εικονικών στοιχείων κέντρο-*Distributed Virtualized Data Center(DVDC)*. Σε αυτό το επίπεδο πρέπει να ορίζονται και να διαχειρίζονται οι εικονικές ροές δεδομένων μεταξύ των εικονικών ΚΑΔ. Επίσης, αυτό το επίπεδο θα είναι υπεύθυνο για την πολλαπλή γεωγραφική θέση για την ανάπτυξη εφαρμογών, την αναπαραγωγή και την μετάπτωση όποτε αυτό χρειάζεται. Ανάλογα με τις δυνατότητες του VICL, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν και για άλλους σκοπούς, όπως για τη μείωση του ενεργειακού κόστους μέσω διασποράς του φορτίου των πληροφοριών με χρονικές ζώνες, παρέχοντας δυνατότητα καταστροφής ή μεγάλη ανοχή σε βλάβες ακόμη και επιτρέποντας ευρέως κατανεμημένους υπολογισμούς.

Τέλος, το τέταρτο επίπεδο του μοντέλου μας είναι αυτό του *Παρόχου Υπηρεσιών-Service Provider Layer(SPL)*-το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση και τη σωστή λειτουργία των εφαρμογών, οι οποίες τρέχουν στο DVDC και έχουν κατασκευαστεί στο προηγούμενο επίπεδο VICL. Το SPL θα παρέχει την ορατότητα και τη φυσική διαμόρφωση, τον έλεγχο επιδόσεων και διαθεσιμότητας καθώς και άλλων παραμέτρων των DVDC ώστε να μπορούμε να διαχειριζόμαστε αποτελεσματικά τις εφαρμογές. Αναμένεται ότι ο έλεγχος του SPL θα περάσει σταδιακά στον πελάτη πολύ άμεσα.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων



Εικόνα 5 Αρχιτεκτονική δομή σύγχρονου ΚΑΔ

Αυτό που μας δείχνει το παραπάνω σχήμα είναι η μορφή του εννοιολογικού μας μοντέλου που έχουμε ήδη αναλύσει. Απεικονίζει τα επίπεδα ολοκλήρωσης από ένα φυσικό ΚΑΔ με υλική δομή και τοποθεσία μέχρι το εξολοκλήρου εικονικό(virtual) ΚΑΔ, όπου το κάθε επίπεδο μπορεί να έχει διαφορετικό ιδιοκτήτη. Αυτό το μοντέλο ανάπτυξης μας παρέχει πληθώρα πλεονεκτημάτων όσο αφορά την ενοποίηση, την ευκινησία και την ευελιξία αλλά θέτει και μία σειρά από δύσκολες προκλήσεις από την άποψη της ασφάλειας, τον καθορισμό του SLA, την αποδοτικότητα και διαχωρισμό των επιπέδων. Για αυτό τον λόγο τα πραγματικά ΚΑΔ είναι πιθανό να είναι περιορισμένες περιπτώσεις αυτού του γενικού μοντέλου.

3. Προσέγγιση των Πράσινων Κέντρων Αποθήκευσης Δεδομένων



Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Η έννοια του *Πράσινου ΚΑΔ* περιλαμβάνει το σύνολο των τεχνολογιών και στρατηγικών που χρησιμοποιούνται σε όλα τα μέρη του ΚΑΔ, όπως στα μηχανολογικά-φωτισμός-ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά, με απώτερο σκοπό τη βέλτιστη ενεργειακή απόδοση και τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



Εικόνα 6 Η έννοια του "Πράσινου" στα ΚΑΔ

Στην συγκεκριμένη μελέτη, τα σημεία τα οποία θα γίνει η τεχνοοικονομική αξιολόγηση στα επόμενα κεφάλαια, εστιάζονται σε τρία σημεία. Αρχικά θα μελετήσουμε το σύστημα διανομής ενέργειας που είναι η ραχοκοκαλιά της ομαλής και ασφαλούς λειτουργίας του ΚΑΔ με σκοπό να εξετάσουμε την οικονομική του εφικτότητα και αποδοτικότητα σε σχέση με τις ανάγκες κάθε ΚΑΔ. Έπειτα θα μελετηθεί με παρόμοια κριτήρια το σύστημα κλιματισμού του ΚΑΔ και τέλος θα αναφερθούμε στην τεχνολογία της Εικονικοποίησης αναδεικνύοντας τα τεράστια οικονομικά και λειτουργικά οφέλη της σε περίπτωση εγκατάστασης της στο ΚΑΔ.

3.1 Μύθοι και πραγματικότητες που σχετίζονται με τα Πράσινα ΚΑΔ

1. Μύθος: Τα ΚΑΔ καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας.

- **Πραγματικότητα:** Ισχύει αλλά όχι σε τόσο μεγάλη κλίμακα που πιστεύουμε
- **-//-** : Ωστόσο, τα ΚΑΔ έχουν υψηλές ενεργειακές ανάγκες

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

- **-//-** : Τα ΚΑΔ χρειάζονται αξιόπιστη και σταθερή ενέργεια
2. **Μύθος:** Η κατάργηση/απενεργοποίηση συσκευών είναι το χρυσό σημείο.
- **Πραγματικότητα:** Η διατήρηση παίζει τον ίδιο ρόλο όπως και τα άλλα μέτρα
 - **-//-** : Ωστόσο, δεν πρέπει να γίνεται εις βάρος την απόδοσης.
3. **Μύθος:** Οι εκπομπές CO₂ είναι πρωτεύον ζήτημα για την ενεργειακή αποδοτικότητα
- **Πραγματικότητα:** Μπορεί να ισχύει, ωστόσο είναι θέμα προσφοράς και ζήτησης
 - **-//-** : Όπως προαναφέρθηκε τα data centers έχουν υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις και χρειάζονται σταθερή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας.
4. **Μύθος:** Η "Πράσινη" λογική εστιάζει στην ελάττωση της απαιτούμενης ενέργειας και στις απαιτήσεις για τον κλιματισμό
- **Πραγματικότητα:** Μπορεί να ισχύει αλλά και για άλλους λόγους όπως προσφοράς και ζήτησης
5. **Μύθος:** Το κόστος της ενεργειακής κατανάλωσης του IT εξοπλισμού είναι υψηλότερο από το κόστος απόκτησης του.
- **Πραγματικότητα:** Πιθανώς για κάποιο εξοπλισμό μεμονωμένα και όχι για ολόκληρο το σύστημα
 - **-//-** : Η νέα γενιά ΚΑΔ μπορεί να αλλάξει τις προσδοκίες
Για παράδειγμα ένα ΚΑΔ αξίας 21 εκατ. δοκαριών απαιτεί 10 εκατ. δολάρια IT εξοπλισμό. [7]

3.2 Δείκτες και τρόποι μέτρησης αποδοτικότητας των ΚΑΔ

Λόγω της σημαντικής βαρύτητας των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την ενεργειακή κατανάλωση των ΚΑΔ έχουν αναπτυχθεί από διεθνείς οργανισμούς ορισμένα δείκτες για ευκολότερη κατηγοριοποίηση αυτών ως προς την αποδοτικότητά τους. Έτσι παρακάτω θα παρατεθούν οι σημαντικότεροι εξ αυτών, ώστε να γίνεται πιο κατανοητή η αναφορά τους στη συνέχεια της μελέτης.

3.2.1 Power Usage Effectiveness(PUE)

Είναι η μονάδα μέτρησης της αποτελεσματικότητας χρήσης της ισχύος του ΚΑΔ για τον IT εξοπλισμό. Συγκεκριμένα, ορίζει την ποσότητα της ενέργειας που χρησιμοποιείται στην πραγματικότητα από τον εξοπλισμό πληροφορικής. Το PUE προκύπτει εάν διαιρέσουμε τη συνολική ενεργειακή ζήτηση ενός ΚΑΔ με την ενεργειακή ζήτηση του IT εξοπλισμού (εξυπηρετητές, δίσκοι, εξοπλισμός δικτύου, κλπ.). Αυτό σημαίνει ότι για τιμή PUE ίση με 1 τότε η απαιτούμενη ισχύς του ΚΑΔ θα έχει προέλθει αποκλειστικά και μόνο από τη λειτουργία του IT στοιχείων.

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

Τι είναι σωστό και τι όχι;

- PUE= 1 Θεωρητικά ολόκληρη η ισχύς χρησιμοποιείται για την λειτουργία του IT εξοπλισμού
- PUE= 1.6 Βέλτιστο, εφικτό όταν παίρνουμε τα κατάλληλα μέτρα
- PUE= 2 Αποτελεσματικό, πρέπει να είναι ο αρχικός μας στόχος
- PUE= 2.4 Μέσος όρος, απαιτούνται περισσότερα μέτρα βελτίωσης
- PUE= Μη αποδοτικό, πολλά περιθώρια βελτιστοποίησης

Παράδειγμα

Περιγραφή

300 racks

Μέση κατανάλωση ανά rack 26.280kw/έτος

➔Συνολικό φορτίο IT εξοπλισμού 7884MW

Μέσο κόστος ενέργειας 0,08 €/kwh

Συνολικό κόστος λειτουργίας υποθέτοντας PUE=2

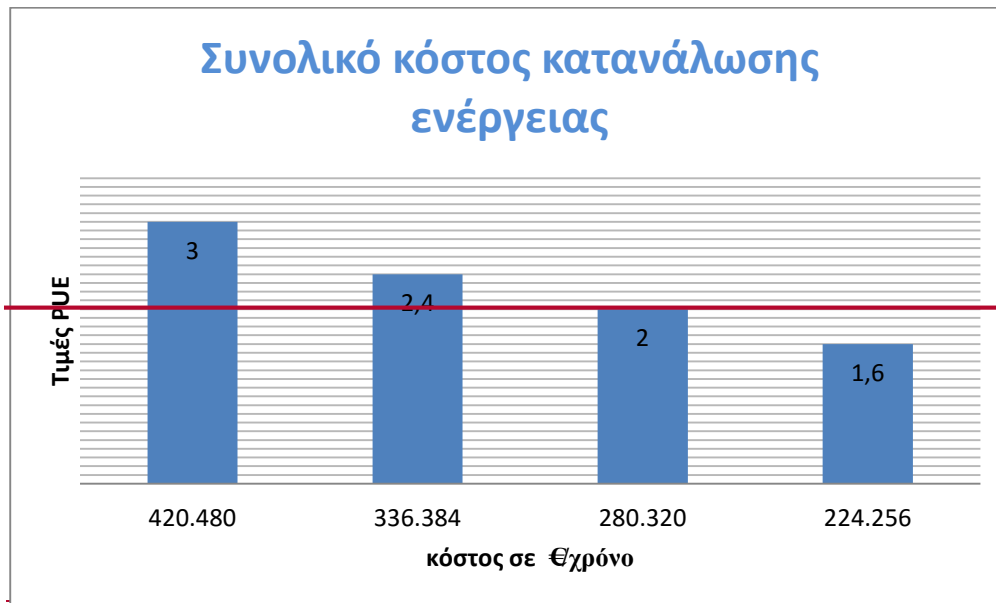
$$PUE = \frac{\text{Total Facility Power}}{\text{Total IT Equipment Power}}$$

$$2 = \frac{\text{Total Facility Power}}{7884MW}$$

Άρα η συνολική ενέργεια που απαιτείται για όλη την εγκατάσταση είναι

15768MW ετησίως δηλαδή **1,3εκ €/χρόνο.**

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

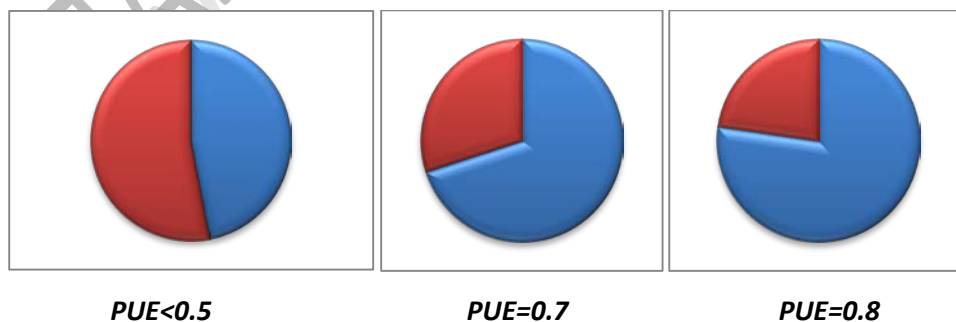


Εικόνα 7 Ενδεικτικό διάγραμμα σχέσης PUE και κόστους

3.2.2 Data Center Infrastructure Efficiency(DCiE)

Με τη χρήση του συγκεκριμένου δείκτη μπορούμε να υπολογίσουμε την ενεργειακή απόδοση του ΚΑΔ. Είναι αντίστροφος με τον προηγούμενο δείκτη PUE και εκφράζεται ποσοστιαία ως το πηλίκο της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του IT εξοπλισμού προς τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια του ΚΑΔ. Συνήθως, οι τιμές του δείκτη για τυπικά ΚΑΔ είναι περίπου **DCiE<0.5**

$$DCiE = \frac{\text{Total IT equipment power}}{\text{Total facility power}}$$



3.2.3 Data Center Performance Efficiency(DCPE)

Ένας άλλος δείκτης που έχει αίσθηση να περιγράψουμε είναι ο DCPE, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του το πόσο χρήσιμη και αποτελεσματική εργασία εκτελείται από τον IT εξοπλισμό και στο ΚΑΔ ανά ποσοστό ενέργειας που καταναλώνεται. Ο δείκτης ορίζεται ως το πηλίκο του χρήσιμου έργου ως προς τη συνολική ισχύ της εγκατάστασης. Ένα τέτοιο παράδειγμα μπορεί να είναι το πλήθος των συναλλαγών που εκτελούνται με τη χρήση διακομιστών, δικτύων και συστημάτων αποθήκευσης διαιρεμένο με την συνολική ενέργεια που απαιτείται για την ισχύ και ψύξη του IT εξοπλισμού. Μια σχετικά εύκολη και απλή εφαρμογή του δείκτη DCPE είναι ο υπολογισμός των *IOPS(I/O per second)* ανά *watt* που εξετάζει το πόσα πολλά IOPS μπορούν να εκτελεστούν, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή το είδος όπως διαβάζει ή γράφει, ανά μονάδα ενέργειας που στη δική μας περίπτωση είναι τα watts.

$$DCPE = \frac{Useful\ Work}{Total\ Facility\ Power}$$

για παράδειγμα IOPS/watt χρησιμοποιούμενης ενέργειας και

IOPS / watt = πλήθος των *IOPS*/χρησιμοποιούμενη ενέργεια από το σύστημα αποθήκευσης

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

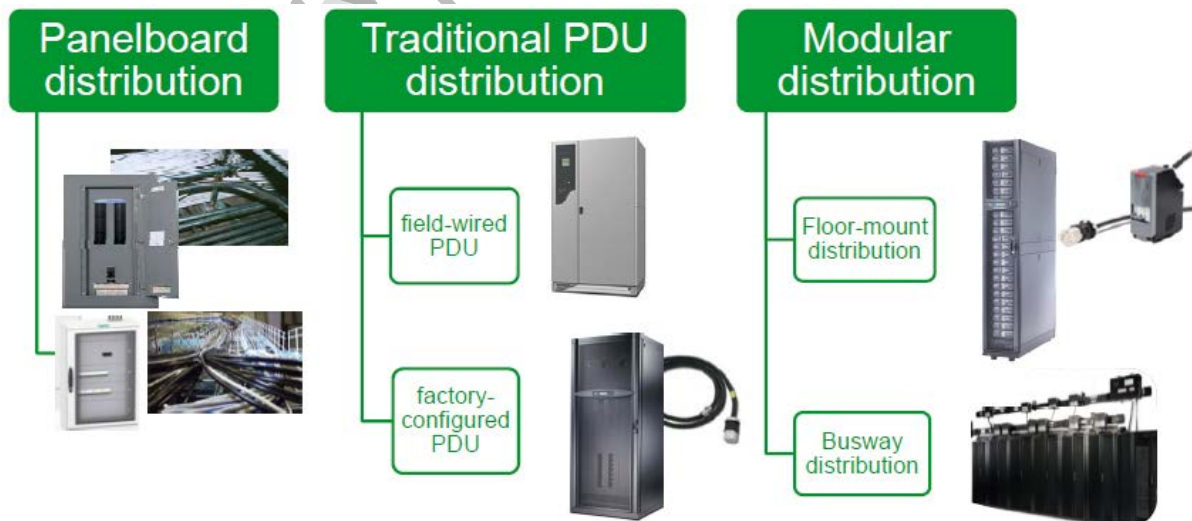
Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Λύσεων
Βελτιστοποίησης σε ΚΑΔ



4 Αξιολόγηση Μεθόδων Τοπολογιών Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Πριν αναλύσουμε τις μεθόδους διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι έχει παρατηρηθεί ότι η πληθώρα των υπαρχόντων ΚΑΔ χρησιμοποιούν την ίδια αρχιτεκτονική για τη τροφοδοσία του IT εξοπλισμού τους που έχει αναπτυχθεί εδώ και 40 χρόνια. Ωστόσο, έχουν πραγματοποιηθεί δραματικές αλλαγές στη δομή και στις λειτουργίες των ΚΑΔ όπου έχουν σαν επακόλουθο να αμφισβητούνται οι υφιστάμενες αρχιτεκτονικές. Αυτό συμβαίνει λόγω ότι έχουμε αύξηση απαίτησης τροφοδοσίας, αυξανόμενο αριθμό ξεχωριστών συσκευών πληροφορικής εντός του ΚΑΔ, καθώς και η ανάγκη για προσθαφαίρεση IT συσκευών σε συνεχή βάση. Παράλληλα με την βελτίωση των συστημάτων πληροφορικής, δίνεται η δυνατότητα να εγκατασταθούν ή να αλλάξουν ράφια χωρίς να απαιτείται νέα καλωδίωση. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα εναέριας διανομής ενέργειας, υποστήριξη rack με απαίτηση μέχρι και 30 Kw με ενιαία τροφοδοσία, καθώς και να έχουμε ένα πρότυπο σύστημα διαχείρισης διανομής ενέργειας.

Έτσι παρακάτω θα αναλύσουμε τις 5 κύριες αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται σήμερα για το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές είναι η διανομή με εγκατάσταση ηλεκτρολογικού πίνακα(panelboard), οι παραδοσιακές α)με την εγκατάσταση μονάδων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας(Power Distribution Units-PDUs) και β)η εργοστασιακή διαμορφωμένη PDU και τέλος οι α)σπονδυλωτή με χρήση πλακέτα βάσης(floor-mount modular) και β)η ενδοδαπέδια/εναέρια σπονδυλωτή διανομή ενέργειας. Όπως αυτές φαίνονται στην παρακάτω εικόνα(εικ.7)[8]



Εικόνα 8 Αρχιτεκτονικές Διανομής Ενέργειας

4.1 Διανομή ενέργειας με χρήση εγκατάστασης ηλεκτρικού πίνακα(*panel board*)

Αυτή η περίπτωση της διανομής ενέργειας προϋποθέτει την εγκατάσταση πολλών επιτοίχιων πινάκων, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, συνήθως με δυνατότητα παροχής από 1,5kVA έως 75kVA. Ο πίνακας μπορεί να έχει έρθει συναρμολογημένος από τον προμηθευτή ή να συναρμολογηθεί κατά την τοποθέτησή από τεχνικό του ΚΑΔ. Έτσι τα καλώδια που ξεκινούν από τον πίνακα τερματίζουν σε κάθε παροχή του rack για να τροφοδοτηθεί ο IT εξοπλισμός. Αποτελεί έναν πολύ απλό τρόπο με χαμηλό κόστος και απαιτεί λίγες μόνο μέρες για τη πλήρη εγκατάσταση του. Από την άλλη, όμως μειονεκτεί επειδή είναι προσαρμοσμένος για να ικανοποιεί τις ιδιαίτερες ανάγκες ενός συγκεκριμένου ΚΑΔ.



Εικόνα 9 Πίνακες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Πλεονεκτήματα

- Μικρότερα αρχικά κόστη, λόγω των φθηνότερων υλικών που απαιτούνται
- Διαθέτει περιορισμένο χώρο για μετέπειτα ανάπτυξη του.
- Παρέχει ευελιξία στον ηλεκτρολόγο εγκατάστασης για την καλωδίωση, επειδή μπορεί να παραμετροποιηθεί από τον ίδιο.
- Τα διάφορα μέρη είναι πολύ εύκολα προσβάσιμα, από τον εκάστοτε τοπικό ηλεκτρολογικό πίνακα.

Μειονεκτήματα

- Αυξάνει τις πιθανότητες για ανθρώπινα λάθη, δεδομένου ότι η ποιότητα της εγκατάστασης εξαρτάται από τις δεξιότητες και ικανότητες του συνεργείου εγκατάστασης.
- Οι εγκαταστάσεις των πινάκων και η καλωδίωση υπάρχει πιθανότητα να εμποδίζουν την κυκλοφορία του αέρα, που χρησιμοποιείται για την ψύξη του IT εξοπλισμού με άμεσο επακόλουθο τη μείωση της αποτελεσματικότητας του συστήματος ψύξης .

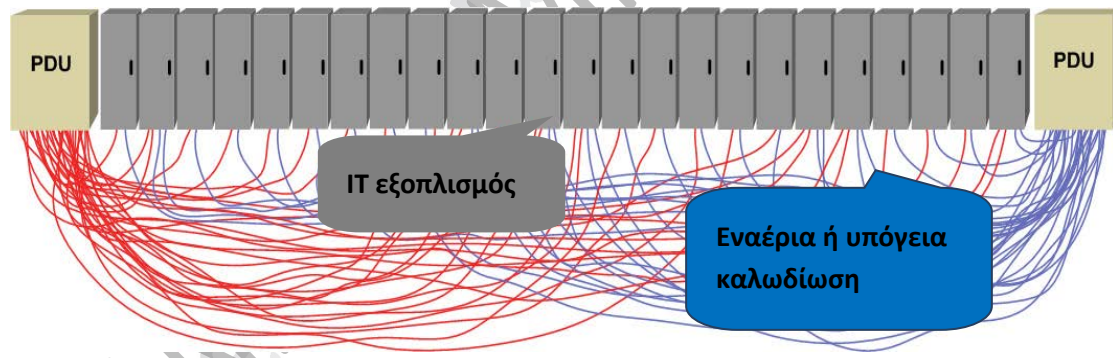
Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

- Δημιουργείται ένα περιβάλλον που δεν είναι εύκολο μεταβλητό.
- Ο εντοπισμός και η αφαίρεση καλωδίων υφίσταται πολύ δύσκολη.

Συνοψίζοντας, ο συγκεκριμένος τρόπος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να επιλέγεται για εγκαταστάσεις μικρής περιεκτικότητας και όταν το κύριο μέλημα μας είναι το χαμηλό αρχικό κόστος. Επίσης, όταν οι αλλαγές στον ΙΤ εξοπλισμό δεν είναι συχνές ή απίθανες και όταν οι απαιτήσεις ανά rack είναι χαμηλές.

4.2 Εγκατάσταση Μονάδων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας-PDUs

Με την επιλογή της συγκεκριμένης τεχνικής, η ενέργεια που χρειάζεται για το ΚΑΔ διανέμεται μέσω των μονάδων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας-PDU's. Ενδεικτικά τα φορτία που μπορεί να εξυπηρετήσει κυμαίνονται μεταξύ 50kVA έως 500kVA για όλο τον ΙΤ εξοπλισμό. Οι PDU's τροφοδοτούνται από την κεντρική παροχή και γενικά τοποθετούνται κατά μήκος του χώρου, σε ολόκληρο το δωμάτιο. Μερικές έχουν τη μορφή ενός IT rack, με μία σειρά από ράφια που βελτιώνουν την αισθητική του χώρου και καθιστούν ευκολότερη τη καλωδίωση και τροφοδοσία των διάφορων ΙΤ στοιχείων.



Εικόνα 10 Παράδειγμα διανομής μέσω χρήση PDU's

Πολλές φορές η παραδοσιακή μέθοδος έχει σαν επακόλουθο να μας φέρνει αντιμέτωπους με κάποιες μη αρεστές καταστάσεις. Μερικές από αυτές αναφέρονται παρακάτω:

- Η δυσκολία από τη μεριά των τεχνικών του ΚΑΔ να κάνουν κάποιες υποχρεωτικές αλλαγές, όπου αυξάνουν την επικινδυνότητα και παρακάμπτουν τους κανόνες ασφαλείας.
- Οι PDU's καταλαμβάνουν μεγάλη επιφάνεια του χώρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και το ποσοστό του βάρους του φορτίου ανά όροφο.
- Οι μεγάλοι μετασχηματιστές που απαιτούνται, εκλύουν σημαντικά ποσοστά θερμότητας και οι οποίοι πρέπει να ψύχονται, μειώνοντας έτσι την αποδοτικότητα των ΚΑΔ.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Όπως προαναφέραμε, υπάρχουν **δύο κύριες κατηγορίες** των παραδοσιακών συστημάτων PDU's. Η μία είναι η καλωδίωση και η ανάπτυξή του να πραγματοποιείται στο χώρο του ΚΑΔ με τη χρήση των καλωδίων τροφοδοσίας σε σχάρες ή με εύκαμπτους/ άκαμπτους αγωγούς(*field-wired*) και να συνδέεται με τον IT εξοπλισμό εναέρια ή υπογείως. Και η δεύτερη είναι όταν η PDU είναι προ-ρυθμισμένη από τον κατασκευαστή(*factory-configured*), όπου υπάρχουν έτοιμες οι παροχές καλωδίωσης για τον IT εξοπλισμό.

A) Σύστημα Διανομής Ενέργειας με χρήση field-wired PDU

Παρόμοια και με το σύστημα καλωδίωσης που χρησιμοποιείται και στην περίπτωση που έχουμε τη χρήση ηλεκτρολογικού πίνακα, έτσι και εδώ τα καλώδια τροφοδοσίας από τη PDU καταλήγουν στον IT εξοπλισμό μέσω αγωγών ή ενδοδαπέδια. Η μέθοδος αυτή επιλέγεται αρκετά συχνά και ποικίλλει ανάλογα με τις απαιτήσεις.



Εικόνα 11 Μονάδα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας-PDU

Πολύ σημαντικό ρόλο για την αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου είναι σωστή επιλογή των τεχνικών που θα την υλοποιήσουν, καθώς όλες οι εργασίες για τη διακλάδωση, τερματισμό και διασύνδεση με τον IT εξοπλισμό γίνεται επί τόπου. Επίσης, και ο τρόπος κατασκευής του δαπέδου και στήριξης του που θα επιλεγούν στη περίπτωση που η καλωδίωση γίνεται σε υπερυψωμένο δάπεδο.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων



Εικόνα 12 Ενδοδαπέδιος και εναέριος τρόπος καλωδίωσης

Πλεονεκτήματα

- Μεγαλύτερος ευελιξία ως προς τις δυνατότητες παρακολούθησης σε σχέση με τη μέθοδο του ηλεκτρολογικού πίνακα.
- Χαμηλό αρχικό κόστος, κυρίως χαμηλότερο και από τη προ-ρυθμισμένη PDU.
- Επιτρέπει την πιο αξιόπιστη στρατηγική διανομής σε σχέση με τους επιτοίχιους πίνακες.
- Παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία ως προς του τεχνικούς για την ανάπτυξη της καλωδίωσης

Μειονεκτήματα

- Αυξημένος κίνδυνος πραγματοποίησης λάθους λόγω της μεγάλης συμμετοχής του ανθρώπινου παράγοντα.
- Επηρεάζει διαχρονικά το σύστημα ψύξης του IT εξοπλισμού, αφού η καλωδίωση επηρεάζει την αποτελεσματική διανομή του αέρα
- Μεγάλη δυσκολία στην εντόπιση ή αντικατάσταση κάποιου ελαττωματικού καλωδίου

Καταλήγοντας στην περιγραφή της συγκεκριμένης μεθόδου, θα πρέπει να επιλέγεται όταν το κύριο μέλημα μας είναι το χαμηλό αρχικό κόστος σε σχέση με την προ-ρυθμισμένη PDU και την σπονδυλωτή(modular) διανομή. Επίσης, όταν οι αλλαγές και οι επεκτάσεις του IT εξοπλισμού δεν είναι συχνές. Τέλος, πρέπει να επιλέγεται όταν μας είναι άγνωστη η διάταξη του IT εξοπλισμού την στιγμή της επιλογής της PDU.

B) Σύστημα Διανομής Ενέργειας με χρήση factory-configured PDU

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, δηλαδή όταν έχει επιλεγεί η εγκατάσταση της προ-ρυθμισμένης PDU οι περισσότερες εργασίες καλωδίωσης και τοποθέτησης παροχών για τη τροφοδοσία του IT εξοπλισμού έχει γίνει στο εργοστάσιο του κατασκευαστή. Η PDU έχει διαμορφωθεί στο εργοστάσιο με βάση τις απαιτήσεις του ΚΑΔ και το μόνο που υπολείπεται είναι η σύνδεση των παροχών τροφοδοσίας με το κάθε ένα στοιχείο του IT rack. Με αυτή τη λύση της τυποποιημένης PDU, το συνολικό κόστος για το σύστημα

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

διανομής ενέργειας μπορεί να περιοριστεί σημαντικά και να εξοικονομηθεί αρκετός χρόνος από τις εργασίες για την καλωδίωση.



Εικόνα 13 Προ-ρυθμισμένη PDU(factory-configured)

Πλεονεκτήματα

- Βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος και ελαχιστοποίηση του χρόνου που απαιτείται για την καλωδίωση
- Παρέχεται ικανότερη διαχείριση αλλαγής, παράδειγμα όταν απαιτείται αλλαγή στη διανομή φορτίων ή πρόσθεση/κατάργηση κάποιων.
- Εγγυάται υψηλό επίπεδο λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος διανομής ενέργειας, επειδή όλα τα στοιχεία και υλικά έχουν σχεδιαστεί, δοκιμαστεί και συναρμολογηθεί στο εργοστάσιο.
- Χαμηλότερο αρχικό κόστος σε σχέση με τη χρήση της σπονδυλωτής(modular) διανομής ενέργειας.

Μειονεκτήματα

- Ολόκληρη η διάταξη του IT εξοπλισμού πρέπει να γίνει κατανοητή νωρίτερα στον προγραμματισμό του έργου, καθώς όλοι οι διακόπτες και τα μήκη των καλωδίων τοποθετούνται στο εργοστάσιο. Απαιτείται άρτιος συντονισμός μεταξύ του IT τμήματος και των τεχνικών εγκατάστασης.
- Υψηλότερο κόστος εγκατάστασης νέας καλωδίωσης και διακοπών, στη περίπτωση που χρειαστεί αλλαγή στο φορτίο.
- Δυσκολία στον εντοπισμό καλωδίου ή κατάργησή του λόγω του μεγάλου όγκου των καλωδίων.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Η χρήση της ενδείκνυται στις περιπτώσεις που τα ΚΑΔ μελλοντικά θα χρειαστούν αναβάθμιση στον IT εξοπλισμό σε επίπεδο λοβού(rod). Τέλος, όταν υπάρχει περίπτωση μετεγκατάστασης και διευκολύνει η ύπαρξη φορητού εξοπλισμού.

4.3 Εγκατάσταση Συστήματος Σπονδυλωτής Διανομής Ενέργειας(Modular Power Distribution)

Προκειμένου οι σχεδιαστές ΚΑΔ να ανταποκριθούν στις σύγχρονες απαιτήσεις και όλο αυξανόμενες ανάγκες του IT τομέα, αναπτύσσονται εναλλακτικές μέθοδοι για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προσεγγίσεις αυτές που εφαρμόζονται στα ΚΑΔ είναι πιο ευέλικτες, πιο διαχειρίσιμες, πιο αποτελεσματικές και πιο αξιόπιστες. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνουν τα κάτωθι γνωρίσματα:

- Παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου και μέτρησης σε κάθε κύκλωμα. Δηλαδή τη χωρητικότητά του και την υπερφόρτωση αυτών.
- Ευελιξία στην αλλαγή των καλωδίων και την διασύνδεση με επεκτάσιμες IT ζώνες που μπορεί να γίνουν στο μέλλον και από τον οποιοδήποτε.
- Καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο σε σχέση με τις παραδοσιακές PDU
- Υψηλής απόδοσης. Επιτρέποντας τη δυνατότητα λειτουργίας μετασχηματιστή και ελαχιστοποιεί τις απαιτήσεις σε χαλκό.



Εικόνα 14 Μέθοδος Σπονδυλωτής Διανομής Ενέργειας(Busway Modular Distribution)

Γενικά, δύο συστήματα σπονδυλωτής(modular) διανομής μπορούν να επιτευχθούν με αυτά τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Το ένα είναι η *εναέρια/ενδοδαπέδια διανομή* με χρήση μονάδων με ενσωματωμένες παροχές τροφοδοσίας, όπου απαιτείται μόνο το καλώδιο μέχρι τη παροχή του IT στοιχείου. Και το δεύτερο είναι η *επιδαπέδια σπονδυλωτή*

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

διανομή(*floor mount modular distribution*), η οποία γίνεται με τη διακλάδωση των καλωδίων εναέρια μέσω των σχαρών ή αγωγών και τερματίζονται στις ειδικές μονάδες που είναι συνδεδεμένες με τα στοιχεία του IT rack.

Σε γενικές γραμμές, αυτές οι μέθοδοι έχουν υψηλότερο αρχικό κόστος ανά watt από ότι η διανομή με παραδοσιακές μεθόδους. Από την άλλη όμως, σε σχέση με τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, έχουν χαμηλότερο κόστος ιδιοκτησίας(Total Cost of Ownership-TCO) λόγω της ικανότητάς τους να πραγματοποιούνται οι αλλαγές πιο γρήγορα, με καλύτερη ικανότητα διαχείρισης, βέλτιστης αποτελεσματικότητας και μείωσης εξόδων συντήρησης.

Α) Εναέρια/Ενδοδαπέδια μέθοδος σπονδυλωτής διανομής με χρήση μεμονωμένων παροχών τροφοδοσίας

Όπως προαναφέραμε και παραπάνω, με την επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου επιτυγχάνουμε ένα πιο ευέλικτο και ευπροσάρμοστο σύστημα διανομής ενέργειας έναντι της παραδοσιακής μεθόδου διανομής με PDU. Γενικά, οι δίαυλοι μεταφοράς ενέργειας τοποθετούνται πάνω από τον χώρο που είναι ο IT εξοπλισμός σε σειρές. Έπειτα, αφού έχουν τοποθετηθεί πάνω από το κάθε ένα IT rack μία μονάδα παροχής τροφοδοσίας(διάφορων τύπων πρίζες, ασφάλειες, κλπ) με ένα καλώδιο συνδέεται απευθείας με το σημείο τροφοδοσίας του εκάστοτε IT στοιχείου του rack, όπως μπορούμε να δούμε στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 15 Τρόποι διασύνδεσης της μονάδας παροχής ενέργειας

Πλεονεκτήματα

- Μηδενική κατάληψη χώρου, αφήνοντας περισσότερο ωφέλιμο χώρο για τον IT εξοπλισμό.
- Βελτιωμένη διαχείριση και εντοπισμό καλωδίων λόγω ότι η μονάδα βρίσκεται πάνω ή κάτω από το εκάστοτε IT rack.
- Η ποσότητα των καλωδίων μπορεί να μειωθεί δραματικά, αφού η απόσταση της μονάδας από το κάθε IT rack είναι ελάχιστη.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

- Βελτιώνει την αξιοπιστία του συστήματος αφού απαιτούνται πολύ λιγότερες διασύνδεσης και τερματισμού καλωδίων.
- Αυξημένη εγγύηση ολόκληρου του συστήματος διανομής ενέργειας λόγω ότι όλα τα στοιχεία και υλικά έχουν σχεδιαστεί, δοκιμαστεί και συναρμολογηθεί στο εργοστάσιο.
- Ευρεία γκάμα δυνατοτήτων που μπορούν να εφαρμοστούν στο σύστημα και κυκλοφορούν στην αγορά σε περίπτωση που απαιτηθεί μεγαλύτερο φορτίο.
- Απλούστερη πρόσθεση ή κατάργηση καλωδίων επειδή δεν είναι στοιβαγμένα το ένα πάνω στο άλλο.

Μειονεκτήματα

- Το ύψος της οροφής θέτει κάποιους περιορισμούς για την υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου(απαιτείται διάστημα 0,6m πάνω από τα IT racks) καθώς και αν ο χώρος από το υπερυψωμένο δάπεδο χρησιμοποιείται για τον κλιματισμό του χώρου.
- Μπορεί να επηρεάσει το σύστημα κλιματισμού αν επιλεγεί ο εναέριος τρόπος εγκατάστασης.
- Υπάρχει η πιθανότητα της υπερπληθώρας των μονάδων διανομής ενέργειας επειδή έχουν υπολογιστεί από τον αρχικό σχεδιασμό του ΚΑΔ.

Συνήθως πρέπει να χρησιμοποιείται όταν ο χώρος είναι περιορισμένος και σε μεγάλες εγκαταστάσεις με ενιαία διαρρύθμιση και πολύ καλά καθορισμένες οι θέσεις του IT εξοπλισμού. Επίσης όταν είμαστε πολύ σίγουροι για το τελικό μέγεθος του IT φορτίου και όταν έχουμε πολύ συχνά αλλαγές στις απαιτήσεις IT φορτίου όπως για παράδειγμα σε εργαστηριακό περιβάλλον.

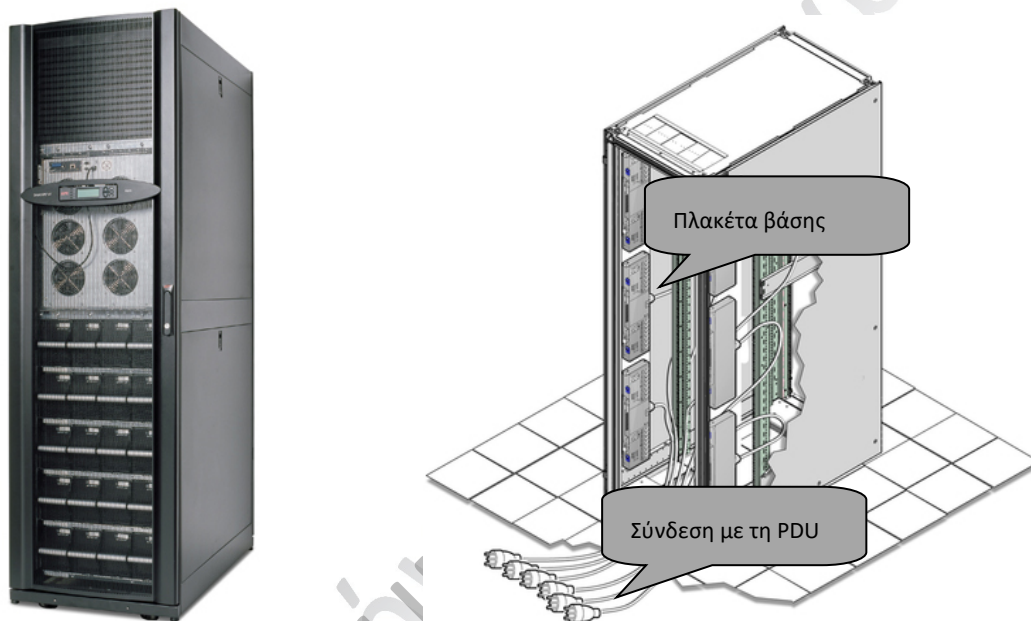
B) Σπονδυλωτή Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας με πλακέτα βάσης εντός του IT rack

Όταν αναφερόμαστε σε αυτή την επιλογή για τη διανομή ενέργειας πρέπει να γίνει κατανοητό ότι πρόκειται για μία άκρως επαγγελματική λύση και ενδείκνυται για μεγάλες εγκαταστάσεις με υψηλές αποδόσεις και προδιαγραφές.

Έτσι, ο τρόπος εγκατάστασης και σύνδεσης της με τον IT εξοπλισμό είναι πολύ απλός και απαιτεί ελάχιστο χρόνο. Η εγκατάστασή της προϋποθέτει αρχικά τη τοποθέτηση σημείων παροχών-διακοπών(πλακέτα βάσης), έπειτα την τοποθέτηση στο δάπεδο των υπομονάδων διανομής(PDUs) και καλωδιακή σύνδεση τους με προ-συναρμολογημένα κυκλώματα και τέλος τη δρομολόγησή τους στο IT rack. Με αυτή την τοπολογία δίνεται η δυνατότητα να εγκατασταθεί και να τεθεί σε λειτουργία σε λιγότερο από μία ώρα μία νέα σειρά από 24 IT στοιχεία, χωρίς να απαιτείται το κόψιμο και ο τερματισμός καλωδίων.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Μεγάλος αριθμός από έργα σε ΚΑΔ περιλαμβάνει την αναβάθμιση του υπάρχοντος ΚΑΔ, δηλαδή την αύξηση της χωρητικότητας τους ή την πρόσθεση κάποιου επιπλέον εξοπλισμού. Η χρήση της συγκεκριμένης τοπολογίας είναι η πιο αποτελεσματική και ενδείκνυται για περιπτώσεις επεκτασιμότητας, αφού η εγκατάστασή της είναι η λιγότερη πολύπλοκη και χρονοβόρα σε σχέση με τις παραδοσιακού τύπου PDU. Εξάλλου, καθώς το ΚΑΔ αναπτύσσεται μπορεί να συνεργαστεί με τις παραδοσιακές PDU.

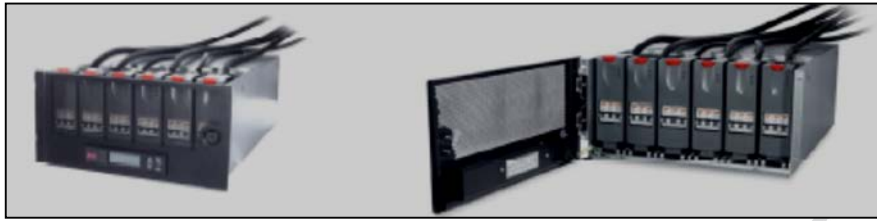


Εικόνα 16 Παράδειγμα τοπολογίας

Στην περίπτωση που έχουμε μικρά ΚΑΔ, η σπονδυλωτή PDU μπορεί να ενσωματωθεί άμεσα με το σύστημα UPS⁷ σε μία ενιαία διάταξη που μπορεί να βρίσκονται στην αίθουσα πληροφορικής και να ενσωματωθούν σε ένα IT περίβλημα. Έτσι, σε αυτή τη περίπτωση η ανάγκη για ένα ξεχωριστό δωμάτιο UPS αποβάλλεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρχουν μία ή περισσότερες ζώνες εντός ενός ΚΑΔ, όπου να απαιτείται μόνο ένα μικρό μέρος επιπλέον τροφοδοσία. Σε αυτές τις περιπτώσεις, υπάρχουν μικρότερες εκδόσεις των σπονδυλωτών PDU που τοποθετούνται κατευθείαν στο IT rack, καταλαμβάνοντας μηδενικό χώρο στο δάπεδο, όπως απεικονίζεται παρακάτω.

⁷ Η μονάδα UPS(Uninterruptible Power Supply) δηλαδή Αδιάλειπτη Παροχή Ενέργειας, είναι μία συσκευή που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε περίπτωση διακοπής ρεύματος

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων



Εικόνα 17 Τύποι ενσωματωμένων σπονδυλωτών PDU

Πλεονεκτήματα

- Οι προκατασκευασμένες πλακέτες βάσεις και τα κυκλώματα διακλάδωσης εξασφαλίζουν ένα ολοκληρωμένο και αξιόπιστο σύστημα.
- Ταχύτερος χρόνος εγκατάστασης και λιγότερη απαίτηση εργασίας.
- Ολοκληρωμένος σχεδιασμός για άμεση τοποθέτηση και διαχείριση της χωρητικότητας στις απαιτήσεις αλλαγής του φορτίου.
- Αυξημένη εγγύηση ολόκληρου του συστήματος διανομής ενέργειας λόγω ότι όλα τα στοιχεία και υλικά έχουν σχεδιαστεί, δοκιμαστεί και συναρμολογηθεί στο εργοστάσιο.
- Βελτιωμένη αισθητική, καθώς όλα τα απαιτούμενα στοιχεία τοποθετούνται πιο κοντά στα IT φορτία.
- Ευκολία στην πρόσθεση επιπλέον PDU υπό την απαίτηση αύξησης IT φορτίων.

Μειονεκτήματα

- Δύσκολος υπολογισμός των απαιτήσεων σε καλώδια λόγω ότι οι αποστάσεις από τις PDU ποικίλουν, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερο απόθεμα από το πραγματικό.
- Δύσκολος ο εντοπισμός καλωδίων, καθώς η επεκτασιμότητα και οι αλλαγές καθιστούν μεγάλο αριθμό καλωδίων, ιδίως όταν στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν πληθώρα από φορτία και η καλωδίωση είναι ενδοδαπέδια.
- Καταλαμβάνει χώρο στο IT δωμάτιο.

Η συγκεκριμένη τοπολογία ενδείκνυται στις περιπτώσεις όπου το σχέδιο ανάπτυξης του ΚΑΔ δεν ορίζεται λεπτομερώς εκ των πρότερων και απαιτείται ευελιξία. Επίσης, όταν υπάρχουν περιορισμοί ως προς το ύψος ή το σχήμα του IT δωματίου και παρεμβάλλονται εμπόδια. Και όταν η πρώτη μας προτεραιότητα είναι η γρήγορη ανάπτυξη του ΚΑΔ. Τέλος, όταν θέλουμε μετά τη κατασκευή του ΚΑΔ να υπάρχει η δυνατότητα μελλοντικής επεκτασιμότητας του στη χωρητικότητα και στα φορτία.

4.4 Σύγκριση Κόστους

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Αφού έχουμε περιγράψει τις πέντε(5) διαφορετικές μεθόδους ή συνδυασμός αυτών, στις οποίες μπορεί να δομηθεί το ολοκληρωμένο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο ΚΑΔ, αυτό που πρέπει να απασχολεί τους ιδιοκτήτες των εκάστοτε ΚΑΔ είναι η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες τους αλλά και το συνολικό κόστος εγκατάστασης. Αν και έχει υπολογισθεί ότι το τελικό σύστημα διανομής ενέργειας αντιστοιχεί σε λιγότερο από το 5% του συνολικού κόστους κεφαλαίου της φυσικής υποδομής ενός ΚΑΔ, είναι σημαντικό να γίνουν κατανοητές οι διαφορές στο κόστος του συστήματος, το κόστος εγκατάστασης και στο συνολικό κόστος κτήσης(*Total Cost of Ownership-TCO*).

Συγκρίνοντας με βάση το κόστος ανά watt, δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στο κόστος εγκατάστασης. Ωστόσο, τα ΚΑΔ συνήθως είναι προκαθορισμένα στον αρχικό σχεδιασμό η τελική δυνατότητα και χωρητικότητά τους και όταν τα κόστη για αυτήν συνυπολογίζονται, η μέθοδος αρχιτεκτονική **3B** φαντάζει η καλύτερη. Από την άλλη μερικές αρχιτεκτονικές παρέχουν τη δυνατότητα επεκτασιμότητας, πράγμα που σημαίνει ότι αρκετές δαπάνες κεφαλαίων μπορούν να μεταφερθούν σε επόμενα έτη ή αποφεύγονται εντελώς. Ενώ άλλες επιβαρύνουν το αρχικό κόστος αρκετά, χωρίς να είναι βέβαιο ότι θα χρησιμοποιηθούν οι δυνατότητες τους στο μέλλον.

Από τη σκοπιά του λειτουργικού κόστους, μπορεί να προκύψει αναποτελεσματικότητα στο σύστημα ψύξης λόγω ότι αν η καλωδίωση γίνει ενδοδαπέδια θα εμποδίζει τη διέλευση του αέρα ο οποίος διέρχεται κάτω από το υπερυψωμένο δάπεδο και ψύχει τα IT racks. Επίσης και τα ανοίγματα που θα υπάρχουν στο δάπεδο για τη σύνδεση των καλωδίων με τα IT στοιχεία θα παρεμποδίζουν τη ροή του αέρα με επακόλουθο την αποτελεσματικότητα του συστήματος ψύξης και την επιβάρυνση του φορτίου ψύξης. Κάτι που θα μελετηθεί στην επόμενη ενότητα.

Χαρακτηριστικά	Μέθοδος 1	Μέθοδος 2A	Μέθοδος 2B	Μέθοδος 3A	Μέθοδος 3B
Κόστος Κεφαλαίου	Χαμηλότερη προσέγγιση στα 0,10€-0,25€/W. Έχει εγκατασταθεί εκ των προτέρων για μέγιστη αναμενόμενη ικανότητα, με αποτέλεσμα αυξημένο αρχικό κόστος. Οι εργασίες εγκατάστασης είναι σχεδόν το ήμισυ του	Χαμηλού κόστους προσέγγιση στα 0,15€-0,35€/W. Οι εργασίες εγκατάστασης επιβαρύνουν πιο πολύ το ποσοστό στο συνολικό κόστος, το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερη διακύμανση στο σύνολο	Χαμηλού κόστους στα 0,25€-0,45€/W. Είναι εξαιρετικά επεκτάσιμο και οι εργασίες εγκατάστασης είναι περίπου το 20% του συνολικού	Κόστος 0,35€-0,55€/W. Αυξημένο αρχικό κόστος και οι εργασίες εγκατάστασης αποτελούν το 20% του συνολικού κόστους.	Κόστος 0,40€-0,70€/W. Το σύστημα είναι εξαιρετικά επεκτάσιμο και απαιτεί δαπάνες μόνο όταν γίνουν επεκτάσεις.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

	συνολικού κόστους που σημαίνει μεγαλύτερο συνολικό κόστος	οποιοδήποτε κόστος.	κόστους.			
Λειτουργικό Κόστος	Η ενδοδαπέδια καλωδίωση μειώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος ψύξης. Τυχόν αλλαγές απαιτούν περισσότερες εργατοώρες	Η ενδοδαπέδια καλωδίωση μειώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος ψύξης. Τυχόν αλλαγές απαιτούν περισσότερες εργατοώρες	Η καλωδίωση είναι γενικά εναέρια, κάτι που δεν επηρεάζει το σύστημα ψύξης. Σε περίπτωση αλλαγών απαιτεί μεγαλύτερες δαπάνες εργασίας σε σχέση με τη σπονδυλωτή διανομή.	Η καλωδίωση είναι εναέρια με αποτέλεσμα αποδοτικότερο σύστημα ψύξης και απαιτεί λιγότερες εργασίες σε περίπτωση αλλαγών.	Η καλωδίωση είναι εναέρια με αποτέλεσμα αποδοτικότερο σύστημα ψύξης και απαιτεί λιγότερες εργασίες σε περίπτωση αλλαγών.	

Πίνακας 2 Σύγκριση Κόστους μεθόδων διανομής ενέργειας

Συμπεράσματα

Αφού έχουμε περιγράψει με σαφήνεια και λεπτομέρειες τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες κάθε μίας από τις πέντε αρχιτεκτονικές για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούμε με ασφάλεια να καταλήξουμε στα κάτωθι συμπεράσματα.

Επομένως, η χρήση για διανομή ενέργειας ηλεκτρολογικού πίνακα και παραδοσιακής PDU φαίνεται να είναι η καλύτερη προσέγγιση όταν προτεραιότητα μας είναι το χαμηλό αρχικό κόστος, όταν υπάρχουν περιορισμοί στο δωμάτιο πληροφορικής και δεν είναι πιθανές μελλοντικές αλλαγές. Απεναντίας, οι εργοστασιακά διαμορφωμένες PDU είναι η καλύτερη προσέγγιση όταν επιθυμούμε να έχουμε ευελιξία στις μετακινήσεις των IT στοιχείων και στις μελλοντικές αλλαγές ενώ πάλι προϋποθέτει υψηλή προτεραιότητα το χαμηλό αρχικό κόστος.

Τέλος, η προσέγγιση της σπονδυλωτής διανομής προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία, καλύτερη επίπεδο διαχείρισης και αυξημένη αποδοτικότητα, ενώ ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες των σύγχρονων αναγκών ΚΑΔ. Η πρώτη αρχιτεκτονική είναι ιδανική όταν υπάρχουν περιορισμοί χώρου, όταν έχει γίνει πολύ καλός υπολογισμός στον αριθμό των IT στοιχείων και της τελικής χωρητικότητας του ΚΑΔ. Από την άλλη η δεύτερη αρχιτεκτονική είναι ιδανική όταν το σχέδιο ανάπτυξης του ΚΑΔ είναι αποσαφηνισμένο και μπορεί να υπάρξουν αλλαγές στο μέλλον, λόγω ότι προσφέρει τη δυνατότητα να τοποθετηθούν μονάδες όταν παραστεί ανάγκη.

4.5 Εξοικονομώντας ενέργεια μέσω καλωδίωσης

4.5.1 Σύγκριση εναέριας και ενδοδαπέδια καλωδίωσης

Αν και δεν θεωρείται η καλύτερη πρακτική από την άποψη της ενεργειακής απόδοσης, μία συνηθισμένη μέθοδος για τη ψύξη του IT εξοπλισμού είναι να χρησιμοποιείτε το υπερυψωμένο δάπεδο ως ένας συλλέκτης κρύου αέρα, ο οποίος μετά προωθείται προς τα IT στοιχεία. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν είναι η μόνη επιλογή. Αρκετά από τα σύγχρονα ΚΑΔ έχουν καταργήσει το υπερυψωμένο δάπεδο και τοποθετούν τον IT εξοπλισμό σε συμπαγές πάτωμα. Έτσι, για να ψύξουν το δωμάτιο πληροφορικής εγκαθιστούν συστήματα κλιματισμού χώρου δημιουργώντας διαδρόμους ζεστού και ψυχρού αέρα. Αυτή η προσέγγιση προϋποθέτει την υλοποίηση της καλωδίωσης εναέρια.

Και στις δύο περιπτώσεις, αυτό που καλούνται να λύσουν οι τεχνικοί των ΚΑΔ είναι πως θα εξαλείψουν τις επιπτώσεις της καλωδίωσης στην αποτελεσματικότητα του συστήματος ψύξης. Έτσι, όταν ένα ΚΑΔ υλοποιείται με ενδοδαπέδια καλωδίωση αυτό μπορεί να προκαλέσει την παρεμπόδιση του ψυχρού αέρα να φτάσει στα IT στοιχεία και να δημιουργήσει ζώνες θερμού αέρα, μειώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα, η ενδοδαπέδια καλωδίωση συμβάλλει στη μείωση της αποδοτικότητας με τρεις(3)τρόπους:

- Με την παρεμπόδιση του αέρα λόγω της πυκνότητας της καλωδίωσης.
- Παράκαμψη του αέρα λόγω των εγκοπών για την διασύνδεση του IT rack.
- Παράκαμψη του αέρα από τις εγκοπές για την διασύνδεση της PDU.

Μελέτη περίπτωσης

Η εξοικονόμηση ενέργειας στην εναέρια καλωδίωση μπορεί να επιτευχθεί από μικρότερες απώλειες του ανεμιστήρα προώθησης αέρα και τις μικρότερες απώλειες της αντλίας ψύξης. Έτσι παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα ενός ΚΑΔ που συγκρίνουμε και τους δύο τρόπους καλωδίωσης για να κατανοήσουμε την ενεργειακή κατανάλωση και εξοικονόμηση της κάθε μίας.

Περιγραφή χαρακτηριστικών του ΚΑΔ-Παράμετροι

- Χωρητικότητα 1MW
- 500 IT racks
- Μέση κατανάλωση ανά rack \approx 2KW
- Υδρόψυκτο σύστημα
- Σταθερής ταχύτητας CRAH ανεμιστήρων
- Θερμοκρασία εισόδου rack ενδοδαπέδιας καλωδίωσης-18°C

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

- Θερμοκρασία εισόδου rack εναέριας καλωδίωσης-20°C
- Συνολική επιφάνεια εγκοπών δαπέδου για καλώδιωση-15m²
- Ελάχιστη ποσότητα ροής αέρα για τον IT εξοπλισμό 56,652 L/s (120,038 CFM)
- Επανακυκλοφορία θερμού αέρα -5% του ποσοστού ροής αέρα για τον IT εξοπλισμό
- Μέση τιμή του δείκτη CFM μπροστά από κάθε rack 113 L/s (240 CFM)
- Μέση ταχύτητα στο μπροστινό μέρος κάθε rack 73 m/minute

Τοποθεσία	Ενδοδαπέδια καλωδίωση		Εναέρια καλωδίωση	
	m ²	% διαρροή	m ²	% διαρροή
Πίσω όψη IT racks	15	33	0	0
Κάτω από τις PDU's	2	4	0	0
Πίσω όψη μονάδων CRAH's	8	18	6	13
Συνολική επιφάνεια	25	55	6	13

Πίνακας 3 Απώλειες λόγω εγκοπών καλωδίωσης

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε μία σημαντική μείωση των απωλειών στη περίπτωση της εναέριας καλωδίωσης. Αυτό έχει σαν επακόλουθο την αποδοτικότερη ψύξη κάθε μίας μονάδας CRAH, γεγονός που μας οδηγεί και στην μείωση του αριθμού του συνόλου των μονάδων CRAH. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται απολύτως εμφανές αυτό και τα ενεργειακά οφέλη από την υλοποίηση εναέριας καλωδίωσης.

	Ενδοδαπέδια καλωδίωση	Εναέρια καλωδίωση
Θερμοκρασία εισαγωγής αέρα στο rack	18,3°C	20°C
Παροχή αέρα από μονάδα CRAH	17,7°C	19,4°C

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Επιστρεφόμενος αέρας στη μονάδα CRAH	23°C	29,6°C
Πλήθος μονάδων CRACH	42	31
Κατανάλωση ενέργειας από τους ανεμιστήρες	160kW	118kW
Κατανάλωση ενέργειας αντλίας ψύξης	20kW	19kW
Συνολική ενεργειακή κατανάλωση	180kW	137kW
% ενεργειακό όφελος	24%	
Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας	371520kwh	
Ετήσια εξοικονόμηση δαπάνης	≈30.000€ και ≈85.000€(11λιγότερες μονάδες CRAH)	

Πίνακας 4 Συγκεντρωτική ανάλυση κόστους

4.5.2 Ενδεικτικά παραδείγματα από τα οφέλη της μείωσης ενεργειακής κατανάλωσης

Συνολικό όφελος: 262 τόνοι Διοξειδίου του Άνθρακα(βάση των παραπάνω στοιχείων)[9]

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

5. Βελτιστοποίηση Συστήματος Ψύξης ΚΑΔ



5.1 Ανάλυση και αξιολόγηση συστημάτων ψύξης των ΚΑΔ

Γενικά, οι διαχειριστές των ΚΑΔ και κατ' επέκταση οι εταιρείες είναι στην αρμοδιότητά τους η παροχή ιδανικών περιβαλλοντικών συνθηκών που επιτρέπουν στον IT εξοπλισμό να λειτουργεί αξιόπιστα και σε μέγιστα επίπεδα απόδοσης ανεξάρτητα από τις εξωτερικές μεταβολές του περιβάλλοντος πέριξ του κτιρίου. Η παρεχόμενη ισχύς μετασχηματίζεται σε τάση, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις ανάγκες του IT εξοπλισμού. Ταυτοχρόνως ο αέρας έχει κλιματιστεί και αλλαχθεί αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας για να επιτευχθούν ιδανικές συνθήκες εντός του ΚΑΔ καθώς επίσης και το νερό που χρησιμοποιείται για την απαγωγή της θερμότητας από το εσωτερικό του ΚΑΔ προς το εξωτερικό περιβάλλον.

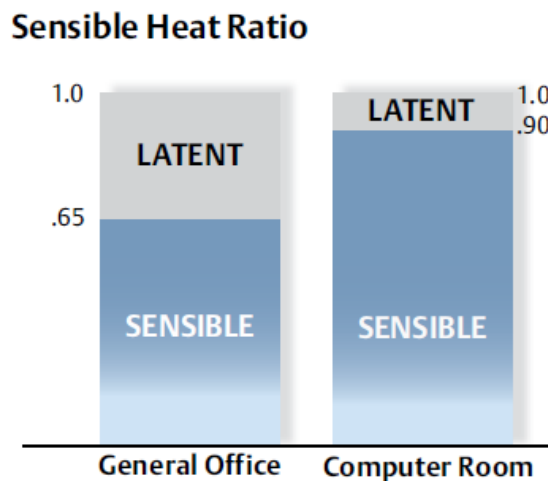
Επιπροσθέτως, η διασφάλιση της αποδοτικής λειτουργίας χωρίς να διακυβεύεται η αξιοπιστία για την επιτυχία της, οι εταιρείες εξαρτώνται από την επίτευξη της συνεχόμενης και αδιάλειπτης επιχειρηματικής λειτουργίας, στο χώρο της πληροφορικής έχει επικρατήσει ο αγγλικός όρος που είναι *Business Continuity*. Δυστυχώς, λόγω της ταχείας ανάπτυξης και εμφάνισης απρόβλεπτων καταστάσεων ή έλλειψη ενημέρωσης των απαιτήσεων του ευαίσθητου ηλεκτρονικού εξοπλισμού για επίτευξη ιδανικών συνθηκών κλιματισμού, ορισμένοι διαχειριστές μικρών ή μεσαίων ΚΑΔ δεν είναι σε θέση να παράσχουν επαρκή προσοχή στον σχεδιασμό του συστήματος ψύξεως του ΚΑΔ.

Όπως ήδη προαναφέραμε, ο εξοπλισμός πληροφορικής είναι αρκετά ευαίσθητος στις ακραίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Η υψηλή θερμοκρασία ή υγρασία μπορεί να προκαλέσει βλάβη, να υποβαθμίσει την απόδοση και να συντομεύσει τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συστημάτων ψύξεως με ακρίβεια (*precision cooling systems*) και των συμβατών συστημάτων ψύξεως (*comfort cooling systems*). Οι διαφορές αυτές επηρεάζουν κυρίως το κόστος της απόκτησης, εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος ψύξης. Στις επόμενες ενότητες θα αναφερθούμε στη σύγκριση της ικανότητας των δύο συστημάτων ψύξης στη διατήρηση ιδανικών συνθηκών, στην ενεργειακή τους απόδοση και στο ετήσιο κόστος λειτουργίας τους.

Για να γίνει αντιληπτό πόσο σημαντικό είναι η απομάκρυνση της θερμότητας για την αποτελεσματικότητα των συστημάτων κλιματισμού, θα αναφερθούμε στα δύο είδη ψύξης. Τα οποία είναι το ένα το αφανές (*latent cooling*) και το δεύτερο το ευαίσθητο (*sensible cooling*). Για το μεν πρώτο, η αφανής ψύξη είναι η ικανότητα του συστήματος κλιματισμού να αφαιρεί την υγρασία που δημιουργείται από την ανθρώπινη παρουσία και η ευαίσθητη ψύξη είναι η ικανότητα του συστήματος κλιματισμού να απομακρύνει τη θερμότητα που μπορεί να μετρηθεί με ένα θερμόμετρο. Η ξερή θερμότητα που παράγεται από τον εξοπλισμό πληροφορικής περιλαμβάνεται σε αυτή τη κατηγορία. Οι ειδικοί προτείνουν ότι η θερμοκρασία σε ένα ΚΑΔ πρέπει να κυμαίνεται από 18 έως 27 βαθμούς Κελσίου και η υγρασία να μετρηθεί με σημείο υγροποίησης και να πέσει μεταξύ 5,5 και 15 βαθμών Κελσίου. [10]

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Πιο συγκεκριμένα, τα συμβατά συστήματα ψύξης έχουν συντελεστή αισθητής θερμότητας(Sensible Heat Ratio-SHR) από 0.60 έως 0.70. Αυτό σημαίνει ότι το 60 έως 70 τοις εκατό της ενέργειας τους που χρησιμοποιείται είναι αφιερωμένο στη μείωση της θερμοκρασίας και το 30 έως 40 τοις εκατό είναι αφιερωμένο στην απομάκρυνση της υγρασίας. Οι χώροι πληροφορικής απαιτούν συντελεστή αισθητής θερμότητας(SHR) 80-90 για αποτελεσματική και αποδοτική ψύξη. Τα συστήματα ψύξης ακριβείας έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να πετυχαίνουν συντελεστή αισθητής θερμότητας μεταξύ 0.85 και 1.0. Δηλαδή, το 85 έως 100 τοις εκατό της προσπάθειάς τους αφιερώνεται για την ψύξη και μόνο το 0 έως 15 τοις εκατό για την αφαίρεση της υγρασίας. Ως εκ τούτου, για την ψύξη του ίδιου χώρου πληροφορικής θα χρειαστεί μεγαλύτερη μονάδα συμβατού συστήματος εν αντιθέσει του συστήματος ψύξης με ακρίβεια. Σε γενικές γραμμές, χρειάζονται τρεις τόνοι συμβατής ψύξης για να ισοσταθμίσουν την ψύξη από δύο τόνους των συστημάτων ακριβείας. Τέλος, συγκρίνοντας το κόστος απομάκρυνσης της θερμότητας μεταξύ των δύο συστημάτων παρατηρείται σημαντική εξοικονόμηση στα λειτουργικά κόστη χρησιμοποιώντας συστήματα ακριβείας, ακόμα και για μικρά ή μεσαία ΚΑΔ.



Εικόνα 18 Απαιτήσεις ποσοστού του SHR

5.1.1 Κρίσιμοι παράγοντες επιλογής κατάλληλου συστήματος ψύξης

Αρχικά, πολλοί διαχειριστές και σχεδιαστές ΚΑΔ επιλέγουν την εγκατάσταση των συμβατών συστημάτων ψύξης για την επίτευξη του ελέγχου των περιβαλλοντικών αναγκών τους, πράγμα που σημαίνει ότι αυτή η λύση αποτελεί μία απλοποιημένη και με μικρά κόστη εγκατάστασης επιλογή. Ωστόσο, επειδή αυτά τα συστήματα δεν έχουν σχεδιαστεί για να ανταποκρίνονται στις μοναδικές ανάγκες του IT εξοπλισμού, όπου η αδιάλειπτη εξάρτησή τους από αυτά τα συστήματα ψύξης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κίνδυνο για πρόωρες

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

αποτυχίες του συστήματος καθώς και σε διόγκωση των δαπανών λειτουργίας. Σε αντίθεση με τα συστήματα ψύξης ακριβείας, τα οποία είναι σχεδιασμένα για να καλύπτουν τις ανάγκες θερμότητας από τα πυκνά ηλεκτρικά φορτία.

Αξίζει να επισημάνουμε ότι, η εξοικονόμηση ενέργειας δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να θέτει σε κίνδυνο τον IT εξοπλισμό και την άρτια λειτουργία του. Πολλοί διαχειριστές πιστεύουν ότι η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα ΚΑΔ μπορεί να επιτευχθεί με την ορθή επένδυση του κεφαλαίου και του εργατικού δυναμικού. Τα ενεργειακά κόστη, η διαθεσιμότητα και η βιωσιμότητα αποτελούν τις κρίσιμες παραμέτρους και ανησυχίας των περισσότερων εταιρειών.

Η απόφαση που οδηγεί στην επιλογή εγκατάστασης των συμβατών συστημάτων ψύξης, η οποία αυξάνει και το ρίσκο είναι συνήθως το χαμηλό αρχικό κόστος. Ωστόσο, όταν βασικό κριτήριο επιλογής είναι το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership-TCO), τα συστήματα ψύξης με ακρίβεια αποτελούν την ιδανική επιλογή αφού προσφέρουν τις πιο οικονομικά αποδοτικές λύσεις.

Τέλος, πρέπει να εστιάσουμε σε δύο σημεία πριν αναφερθούμε στις βασικές διαφορές των δύο συστημάτων ψύξης.

- Πρώτον, κατά μέσο όρο το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας(TCO) για τα συμβατά συστήματα ψύξης είναι εξαιρετικά υψηλότερο, περίπου 60 τοις εκατό, σε σχέση με τα συστήματα ψύξης με ακρίβεια για όλη τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού και
- δεύτερον, το κόστος διακοπής λειτουργίας αυξάνεται ραγδαία όσο οι επιχειρήσεις στηρίζουν τη λειτουργία τους σε IT επιχειρήσεις και συστήματα. Πράγμα που σημαίνει ότι τυχόν αποτυχία των συστημάτων του ΚΑΔ μεταφράζεται σε απώλεια παροχής υψηλού επιπέδου υπηρεσιών και πελατών, η οποία μπορεί να φτάσει κατά μέσο όρο τις 40.000€ ανά ώρα.

5.2 Διαφορές μεταξύ συμβατών και με ακρίβεια συστημάτων ψύξης.

Σε μικρές ή μεσαίες εγκαταστάσεις, παρατηρείται συχνά η ελλιπής εξέταση του υποστηρικτικού εξοπλισμού που είναι απαραίτητος για την αξιόπιστη λειτουργία του ΚΑΔ προς χάρη των άλλων πτυχών της διαδικασίας σχεδιασμού του IT εξοπλισμού. Το οποίο έχει ως αποτέλεσμα οι αποφάσεις για ζητήματα όπως του περιβαλλοντικού ελέγχου, της αδιάλειπτης παροχής ενέργειας και την παρακολούθηση των κρίσιμων υποστηρικτικών συστημάτων να λαμβάνουν λιγότερη προσοχή από ότι οι αποφάσεις για τους εξυπηρετητές, των λειτουργικών συστημάτων και άλλων στοιχείων για την IT υποδομή. Ωστόσο, η επίτευξη του Business Continuity εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ ,τα περιβαλλοντικά συστήματα υποστήριξης και την προηγμένη δικτύωση του εξοπλισμού.

Η υψηλή ευαισθησία του εξοπλισμού πληροφορικής στο ΚΑΔ και η δικτύωση, περιβαλλοντικά σημαίνει ότι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ροή του αέρα και η καθαρότητα

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

του πρέπει να διατηρηθούν εντός συγκεκριμένων ορίων ώστε να αποφευχθούν οι πρόωρες βλάβες του εξοπλισμού και η δαπανηρή διακοπή λειτουργίας. Τα συμβατά συστήματα ψύξης, συμπεριλαμβανομένου των κλιματιστικών οροφής, των οικιακών συστημάτων ψύξης χρησιμοποιούνται σε γραφεία και εμπορικά κτήρια και σπάνια χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις των ΚΑΔ.

Πιο συγκεκριμένα, τα συμβατά συστήματα είναι κατασκευασμένα για να λειτουργούν συνέχεια διατηρώντας περιβαλλοντικές συνθήκες ιδανικές για ανθρώπους στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων με μέτρια κίνηση ροής αέρα από εντός προς εκτός και αντιθέτως. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα είναι ιδανικά για την αποτελεσματική διατήρηση των συνθηκών για την ανθρώπινη παρουσία, αλλά δεν είναι σχεδιασμένα για να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία και την υγρασία εντός ακριβών περιθωρίων.

Από την άλλη, τα συστήματα ακριβείας έχουν κατασκευαστεί για εφαρμογές οι οποίες απαιτούν όλο το χρόνο σταθερή ψύξη, ακριβή έλεγχο της υγρασίας και υψηλή χωρητικότητα ψύξης ανά τετραγωνικό μέτρο. Αυτού του τύπου η ψύξη μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα ευρύ φάσμα από μέσα ψύξεως όπως αέρα, παγωμένο νερό και αντλίες ψυκτικών υγρών.[11]

5.2.1 CRAC vs CRAH

CRAC: Computer Room Air Conditioner

Όταν αναφερόμαστε σε μονάδα ψύξης CRAC εννοούμε ακριβώς τον τύπο κλιματιστικού το οποίο έχουμε για οικιακή χρήση. Η διαδικασία του ψυκτικού κύκλου γίνεται ενσωματωμένα στη μονάδα. Ως εκ τούτου, οι συμπιεστές που απαιτούνται για την τροφοδότηση του κύκλου ψύξης βρίσκονται επίσης εντός της μονάδας. Η ψύξη επιτυγχάνεται με εμφύσηση αέρα πάνω από ένα πηνίο ψύξης γεμάτο με ψυκτικό μέσο. Μια μονάδα CRAC έχει συνήθως σταθερό όγκο και μπορεί να δύο καταστάσεις λειτουργίες on/off. Πρόσφατα, ορισμένοι κατασκευαστές έχουν κατασκευάσει μονάδες CRAC που μπορεί να τροποποιούν τη ροή αέρα με τη χρήση πολλαπλών σταδίων συμπιεστών, αλλά

και πάλι οι περισσότερες υπάρχουσες μονάδες CRAC έχουν έλεγχο μόνο on/off.

CRAH: Computer Room Air Handler

Από την άλλη, μία μονάδα CRAH λειτουργεί ακριβώς όπως το υδρόψυκτο σύστημα ψύξης που υπάρχει σε όλα τις μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις. Η ψύξη επιτυγχάνεται με εμφύσηση αέρα πάνω από ένα πηνίο ψύξης γεμάτο με παγωμένο νερό. Τυπικά το ψυχρό νερό παρέχεται στις μονάδες CRAH μέσω μίας μονάδας η οποία το ψύχει. Επιπλέον στις μονάδες CRAH μπορούμε να τοποθετήσουμε VFDs(Variable Fan Disks) που ρυθμίζουν την ταχύτητα του ανεμιστήρα για να διατηρήσουμε μία στατική πίεση είτε κάτω από το πάτωμα ή σε εναέριους αγωγούς.[12]

5.2.2 Εξέταση διαφοράς στα λειτουργικά τους κόστη

Γενικά, εστιάζοντας στα μηχανικά μέρη, στον σχεδιασμό και τον τεχνολογικό εξοπλισμό των δύο συστημάτων και συγκρίνοντάς τα σε σχέση με τη τιμή αγοράς δεν γίνονται εύκολα κατανοητές οι διαφορές τους. Έτσι, πρέπει να γίνει μία πιο ακριβέστερη σύγκριση με κύριο άξονα τα λειτουργικά κόστη των δύο συστημάτων. Όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.

Παράδειγμα σύγκρισης κόστους λειτουργίας

Αποδοχές:

- κάθε τόνος ψύξης απαιτεί ενέργεια 1 ίππου ή 0.747kW
- τα μοτέρ κινητήρα αέρα και του ανεμιστήρα είναι 90 τοις εκατό αποδοτικοί
- κόστος κιλοβατώρας 0.10€/kWh
- η εφύγρανση απαιτείται από τους μήνες Νοέμβριο μέχρι Μάρτιο (3650 ώρες)
- το σύστημα ψύξης με ακρίβεια έχει δείκτη SHR 0.90, ενώ το συμβατό σύστημα έχει δείκτη SHR 0.60

Αρχικά, πρέπει να υπολογίσουμε το ετήσιο κόστος ανά τόνο ψύξης. Έτσι έχουμε τη κάτωθι μαθηματική εξίσωση:

$$\frac{0.747kW}{ton} * \frac{8760hrs}{year} * 0.10€/kWh$$
$$\underline{\hspace{10em}}$$
$$0.90 \text{ αποδοτικότητα}$$

Άρα το αποτέλεσμα είναι **727€** κάθε τόνος ψύξης το χρόνο.

Έπειτα πρέπει να καθορίσουμε το λογικό κόστος για κάθε τόνο ψύξης διαιρώντας το συνολικό κόστος με το δείκτη SHR του κάθε συστήματος. Έτσι, έχουμε πρώτα για τα συστήματα ψύξης με ακρίβεια

$$\frac{727€}{0.90} = 808€ \text{ ο κάθε τόνος ανά έτος}$$

και αντίστοιχα για τα συμβατά συστήματα

$$\frac{727€}{0.60} = 1,212€ \text{ ο κάθε τόνος ανά έτος}$$

Σε αυτό το παράδειγμα, γίνεται ξεκάθαρο ότι τα ετήσια λειτουργικά κόστη για τη λειτουργία ενός συμβατού συστήματος ψύξης υπερβαίνει κατά **404€** ανά τόνο ψύξης με λογικό φορτίο, σε σχέση με το λειτουργικό κόστος του συστήματος ψύξης με ακρίβεια. Το παραπάνω αποτέλεσμα είναι σύμφωνο με τις γενικά αποδεκτές αρχές που θέλουν να ισούνται τρεις τόνοι ψύξης με συμβατά συστήματα με δύο τόνους ψύξης με σύστημα ακριβείας.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Ένα δεύτερο σημείο σύγκρισης, είναι αυτό του κόστους εφύγρανσης το οποίο καθορίζεται από τον υπολογισμό της αφανής ψύξης(latent cooling) που γίνεται ανά τόνο αισθητής ψύξης. Έτσι για τα συστήματα ακριβείας έχουμε:

$$\frac{12000\text{BTU}/\text{τόνο}}{0.90\text{SHR} * 12000\text{BTU}/\text{τόνο}} = 1,333 \text{ αφανής ψύξη BTU}/\text{τόνο}$$

και αντίστοιχα για τα συμβατά συστήματα:

$$\frac{12000\text{BTU}/\text{τόνο}}{0.60\text{SHR} * 12000\text{BTU}/\text{τόνο}} = 8000 \text{ αφανής ψύξη BTU}/\text{τόνο}$$

*SHR= sensible heat(kW or BTU/hr) per total heat - sensible heat and latent heat(kW, Btu/hr)

Σύμφωνα με το αποτέλεσμα, βλέπουμε ότι τα συμβατά συστήματα δαπανούν 6,667 BTU επιπλέον της ενέργειας ανά τόνο αισθητής ψύξης για να αφαιρεθεί η υγρασία, ώστε να επιτευχθεί το ιδανικό ποσοστό υγρασίας στο ΚΑΔ, μεταξύ 40-45 τοις εκατό.

Άρα έχουμε το κόστους να ανέρχεται σε

$$\frac{\frac{6,667\text{BTU}}{\text{τόνο}} * \frac{3.650\text{hrs}}{\text{χρόνο}} * \frac{0,10\text{€}}{\text{κ}} \text{kWh}}{3.413\text{BTU}/\text{hr}/\text{kW}} = 713\text{€ ο τόνος ανά έτος}$$

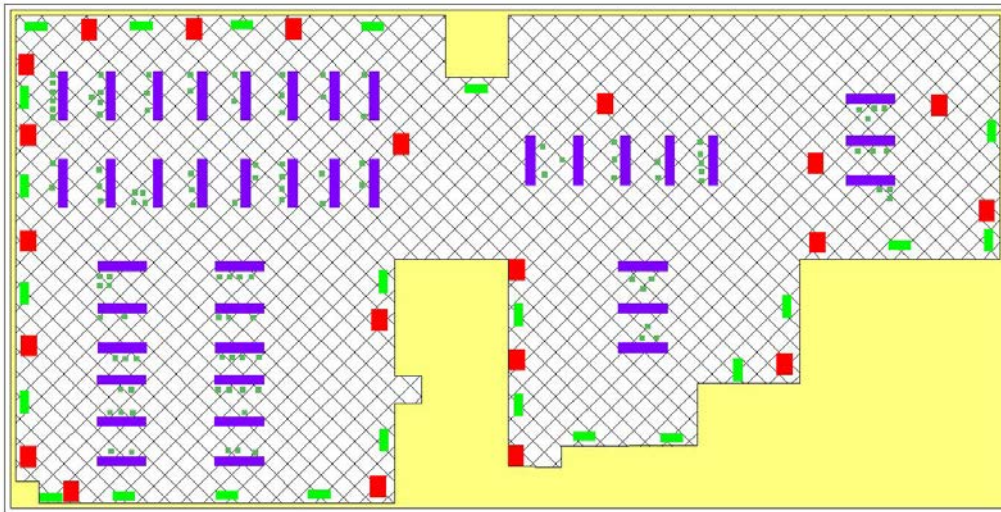
Συμπερασματικά, παρατηρούμε ότι όταν υπολογίσουμε και τα δύο κόστη ψύξης και εφύγρανσης, τα λειτουργικά κόστη για τα συμβατά συστήματα ψύξης ξεπερνούν τα κόστη των συστημάτων με ακρίβεια κατά 1.119€ ανά τόνο αισθητής ψύξης.

5.3 Μελέτη περίπτωσης βελτιστοποίησης και εξοικονόμησης ενέργειας

Περιγραφή του ΚΑΔ προς μελέτη [13]

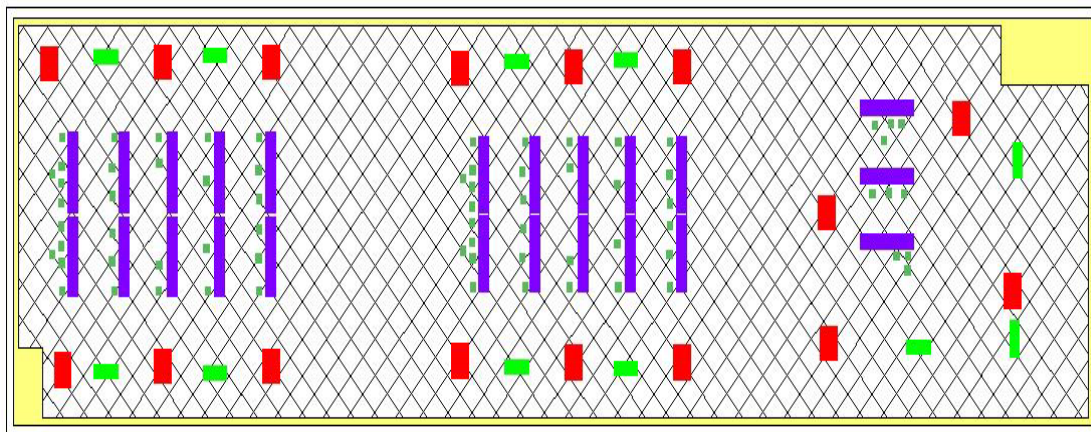
- Συνολική επιφάνεια ΚΑΔ περίπου 3.066 τ.μ
- Μέγεθος Επιφάνεια 1ης ζώνης περίπου 1.486 τ.μ
- Μέγεθος επιφάνειας 2ης ζώνης περίπου 1.115 τ.μ
- Απόσταση υπερυψωμένου δαπέδου από το έδαφος 60-90 εκατοστά
- Πλήθος ΙΤ εξοπλισμού 900 racks, όπου τα 765 είναι server racks και 175 άλλος τεχνολογικός εξοπλισμός
- Μέση ισχύς ανά ΙΤ rack περίπου 2,1 kW

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων



Εικόνα 19 Διάγραμμα Ζώνης 1

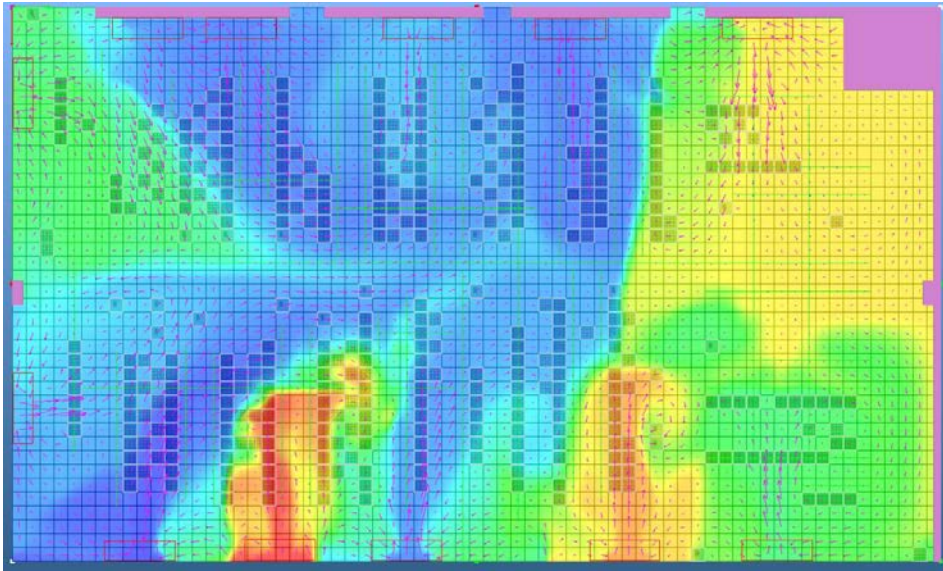
■ Μονάδες CRAH ■ Power equipment ■ ICT racks



Εικόνα 20 Διάγραμμα Ζώνης 2

■ Μονάδες CRAH ■ Power equipment ■ ICT racks

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

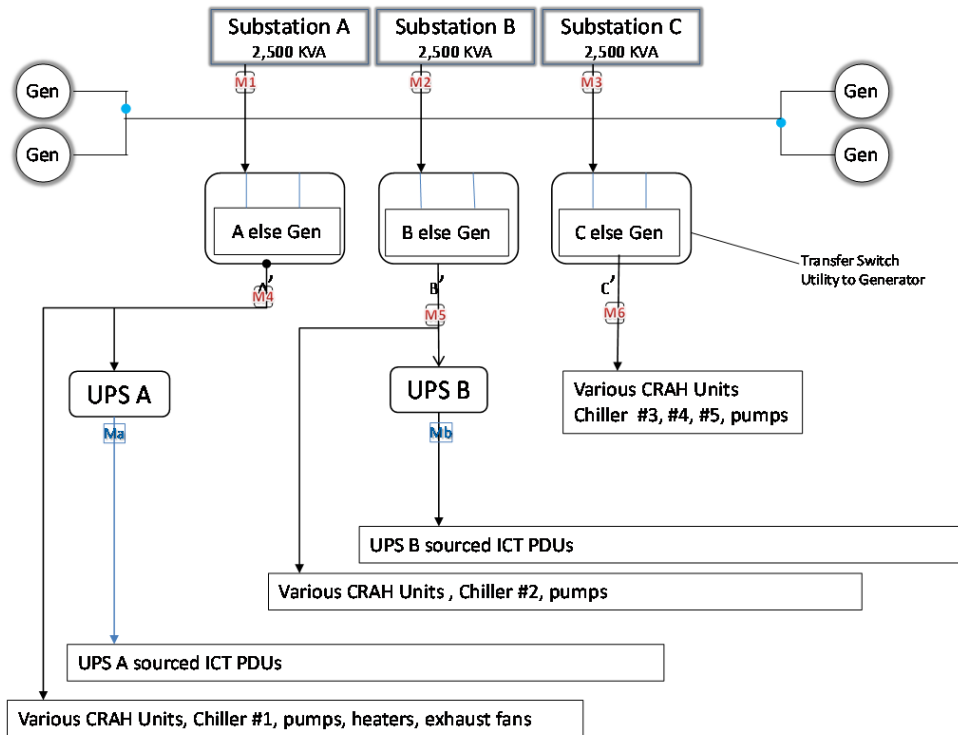


Εικόνα 21 Διάγραμμα ροής αέρα από τις μονάδες CRAH

Περιγραφή ηλεκτρολογικής και μηχανολογικής υποδομής

Όπως θα δούμε και στο σχήμα που ακολουθεί, η ισχύς παρέχεται στο ΚΑΔ μέσω τριών σημείων παροχών συμπεριλαμβανομένου και εφεδρικών γεννητριών που συνδέονται μέσω ενός αυτόματου διακόπτη μεταφοράς (Automatic Transmission Switcher-ATS). Κατόπιν, η ισχύς διανέμεται στο σύστημα ψύξης και στον εξοπλισμό πληροφορικής μέσω των μονάδων διανομής ενέργειας (Power Distribution Units-PDUs). Επίσης, η διαδρομή που περιέχει τον εξοπλισμό πληροφορικής περιέχει και τις μονάδες αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (Uninterruptible Power Supply-UPS) οι οποίες παρέχουν εφεδρική ισχύ κατά τη διάρκεια που υπάρξει διακοπή παροχής ισχύς και μέχρι ενεργοποιηθούν οι εφεδρικές γεννήτριες.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

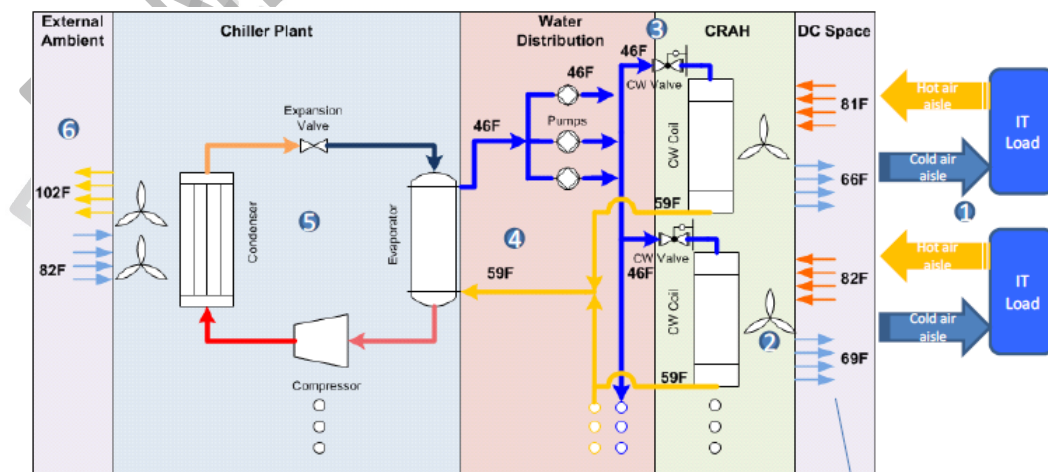


M = Power Meters for Data Center Ma = Power Meters for ICT equipment

$$PUE = (M4 + M5 + M6) + (Ma + Mb)$$

Εικόνα 22 Διάγραμμα διανομής ισχύος στο ΚΑΔ

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα, τα σημεία στα οποία έγινε η μέτρηση για τον δείκτη PUE του ΚΑΔ είναι τα M4, M5, M6, Ma, Mb. Πιο συγκεκριμένα ο δείκτης PUE ισούται με το πηλίκο $(M4 + M5 + M6) / (Ma + Mb)$ δηλαδή τη **Συνολική ενέργεια του ΚΑΔ/Ενέργεια IT εξοπλισμού**



Εικόνα 23 Βασικό διάγραμμα υποδομής ψύξης του ΚΑΔ

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Πληροφορίες για την μηχανολογική και ηλεκτρολογική υποδομή του ΚΑΔ:

Φορτίο θερμότητα IT εξοπλισμού: Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο μέσος όρος φορτίου ισχύος ανά IT rack είναι 2,1kW και το πλήθος αυτών είναι 900 IT racks, άρα το συνολικό φορτίο ισχύος του IT εξοπλισμού είναι περίπου 1.900kW. Υποθέτοντας ότι φορτίο 3.5kW απαιτεί 1 τόνο ψύξης τότε για 1.900kW απαιτούνται $1.900/3.5 = 543$ τόνοι ψύξης.

Μονάδες διαχείρισης αέρα(Control Room Air Handle-CRAH): Αρχικά, στο ΚΑΔ είναι εγκαταστημένες 44 μονάδες CRAH περιμετρικά του κυρίου χώρου. Πιο συγκεκριμένα, στο χώρο που υπάρχει ο IT εξοπλισμός είναι τοποθετημένες 32 μονάδες CRAH με δυνατότητα ψύξης 30 τόνων η κάθε μία και 6 μονάδες με δυνατότητα 20 τόνων ψύξης η κάθε μία. Ενώ οι υπόλοιπες 6 με δυνατότητα 30 τόνων ψύξης βρίσκονται στην αίθουσα που είναι εγκατεστημένο η υποδομή του UPS. Η κάθε μονάδα CRAH έχει σταθερής ταχύτητας κινητήρες για τον έλεγχο της βαλβίδας νερού και την ανατροφοδότηση με βάση την θερμοκρασία και την υγρασία. Κατά τη διαδικασία της αναβάθμισης του συστήματος ψύξης σε όλες τις μονάδες CRAH τοποθετήθηκαν μεταβλητής ταχύτητας κινητήρες(Variable Speed Drivers-VSD's) με δυνατότητα ελέγχου ταχύτητας ανεμιστήρα καθώς και του ελέγχου της βαλβίδας νερού. Επίσης, οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας μετακινήθηκαν από το σημείο επιστροφής αέρα στη μονάδα CRAH στο σημείο εισαγωγής αέρα στον IT εξοπλισμό.

Ψύκτες: Στην υποδομή του ΚΑΔ συμπεριλαμβάνονται και πέντε ψύκτες αέρα με δυνατότητα 225 τόνων σε συνδεσμολογία N+1, δηλαδή μόνο οι τέσσερις λειτουργούν κανονικά. Ενώ όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή λειτουργούν μόνο οι τρεις.

Εφεδρικές γεννήτριες παροχής ισχύος: Είναι εγκαταστημένες τέσσερις γεννήτριες των 1750kW σε συνδεσμολογία N+1 που μπορούν να αποδώσουν συνολικά 5250kW.

Σύστημα UPS: Εγκαταστημένα τέσσερα συστήματα UPS των 1200kW, δύο(N+1) αποδίδοντας συνολικά 2160kW για τον IT εξοπλισμό.

5.3.1 Παρεμβάσεις βελτιστοποίησης που πραγματοποιήθηκαν

i. Ενσωμάτωση συστήματος μεταβλητής ταχύτητας(Variable Speed Drives-VSD's)

Η πρώτη παρέμβαση η οποία απαιτήθηκε από τη μελέτη ήταν η τοποθέτηση VSD συστήματος στις αντλίες αέρα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η εναρμόνιση της απαιτούμενης ροής αέρα στον IT εξοπλισμό με εκείνη που παρέχεται από τις μονάδες CRAH. Έτσι όταν το σύστημα ψύξης του ΚΑΔ έχει πλεονάζουσα ικανότητα ψύξης, η ταχύτητα του ανεμιστήρα της μονάδας CRAH μπορεί να μειωθεί, ώστε η ψύξη προσφοράς να ανταποκρίνεται στη ζήτηση ψύξης του IT εξοπλισμού. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε τελικά εξοικονόμηση ενέργειας μειώνοντας τη ταχύτητα του ανεμιστήρα χωρίς να θέτουμε σε κίνδυνο τη λειτουργία του ΚΑΔ.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

ii. Αναβάθμιση των μονάδων CRAH

Για την περαιτέρω αποδοτικότερη λειτουργία του ΚΑΔ χρήστηκε αναγκαία και η αναβάθμιση των μονάδων CRAH. Έτσι, σύμφωνα με την εικ.19 βλέπουμε ότι υπάρχουν 14 μονάδες CRAH(προστέθηκαν ακόμα δύο για τις ανάγκες της μελέτης) περιμετρικά της Ζώνης 2, οι οποίες μπορούν να παρέχουν το μέγιστο 5119.7 κυβικά μέτρα ροής αέρα ανά λεπτό (Cubic Meter per Minute-CMM) και φορτίο ψύξης 4MBTUH. Για να αυξήσουμε τη χωρητικότητα και να βελτιώσουμε την αποδοτικότητα θα πρέπει να αναβαθμίσουμε τις μονάδες CRAH ακόμα πιο πολύ μέσω την τοποθέτησης συστημάτων μεταβλητής ταχύτητας για την αύξηση της ροής αέρα και για να παρέχουν μεγαλύτερη σπείρα αέρα από τις προηγούμενες μονάδες. Έτσι οι νέες μονάδες μπορούν να λειτουργήσουν με συστήματα VSD σε πολύ χαμηλότερη ταχύτητα του ανεμιστήρα και να εξακολουθούν να παρέχουν το ίδιο φορτίο ψύξης με τις αρχικές μονάδες. Γίνεται αντιληπτό ότι οι διαχειριστές των ΚΑΔ μπορούν να έχουν πλεονάζουσα δυνατότητα ψύξης, μέσω των μονάδων VSD CRAH, χωρίς να σπαταλούν ενέργεια όταν δεν τη χρειάζονται. Τέλος, οι ειδικοί έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι είναι πιο αποδοτικό να λειτουργούν πολλές μονάδες ψύξης με χαμηλή ταχύτητα ανεμιστήρα αντί να λειτουργούν περισσότερες μονάδες με υψηλότερη ταχύτητα.

Ακολουθεί παρακάτω ένας πίνακας που μας βοηθάει να προσδιορίσουμε τις διαφορές στις ικανότητες των νέων CRAH σε σχέση με τη ταχύτητα ανεμιστήρα, όπου έχουμε ορίσει να παρέχει τις ίδιες δυνατότητες ροής αέρα ανά λεπτό(CMM) με το προηγούμενο σύστημα.

Μονάδα CRAH με δυνατότητα 30 τόνων και με 3 κινητήρες			
RPM *(στροφές ανά λεπτό)	CMM	ΙΣΧΥΣ(kW)	Ποσοστό λειτουργίας %
1400	484	7,44	100
1300	450	5,96	92,9
1200	415	4,69	85,7
1100	380	3,61	78,6
1000	346	2,71	71,4
900	310	1,98	64,3
800	277	1,39	57,1

Πίνακας 5 Απόδοση αναβαθμισμένων μονάδων CRAH

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Σύμφωνα με τον πίνακα, βλέπουμε ότι οι αρχικές 14 μονάδες CRAH εξυπηρετούν συνολικά 5.119,7 CMM με συνολική ισχύ 86kW. Χρησιμοποιώντας αντίστοιχα 11 αναβαθμισμένες μονάδες CRAH 30 τόνων στο 100% της λειτουργίας τους ή 14 στο 75% της λειτουργίας τους μπορούμε να επιτύχουμε την ίδια ποσότητα ροής αέρα και με πολλή λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

Μονάδες	Ροή Αέρα CMM	Ταχύτητα ανεμιστήρα(rpm)	Συνολική κατανάλωση ενέργειας
14 αρχικές CRAH	5.119,7	Χωρίς VSDs	86kW
11 αναβαθμισμένες CRAH	5326,4	100% ή 1400rpm/ μονάδα	82kW
14 αναβαθμισμένες CRAH	5.119,7	75% ή 1000rpm/ μονάδα	44kW

Πίνακας 6 Σύγκριση μονάδων CRAHs και κατανάλωση ενέργειας

iii. Διαχείριση ροής αέρα στο IT rack

Σε πολλά ΚΑΔ παρατηρούμε ότι τα rack που περιέχουν τον εξοπλισμό πληροφορικής συχνά λειτουργούν ως εμπόδια ανάμεσα στις ζώνες ψυχρού και ζεστού αέρα. Είναι γνωστό ότι ο επιτυχής διαχωρισμός ψυχρού και θερμού αέρα αυξάνει την απόδοση ψύξης ενός ΚΑΔ. Ως εκ τούτου, απομονώνοντας τον θερμό αέρα από τον ψυχρό επιτρέπουμε στις μονάδες CRAH να είναι πιο αποδοτικές ενεργειακά κατά τη μετακίνηση λιγότερης έντασης θερμού αέρα εντός του υγρού των σπειρών των μονάδων CRAH.

Πιο συγκεκριμένα, στη παρούσα μελέτη τοποθετήθηκαν στο περίβλημα του κάθε rack εμπόδια από υλικά που δεν επιτρέπουν να διαπεράσει ο ψυχρός αέρας που εισέρχεται στο rack, ώστε να μην αναμειχθεί ο θερμός και ο ψυχρός αέρας ανάμεσα στους διαδρόμους του ΚΑΔ, κάτι που είναι και ο βασικός μας στόχος. Η παρέμβαση αυτή θεωρείται θεμελιώδες και είναι σημαντικό στοιχείο για την ενεργειακή απόδοση όλων των ΚΑΔ. Έτσι, όταν ο ψυχρός αέρας δεν θα περάσει εύκολα στον διάδρομο με θερμό αέρα, πετυχαίνουμε την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους από την κίνηση του αέρα χωρίς ψύξη του IT εξοπλισμού.

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων



Εικόνα 24 Rack με τοποθετημένα εμπόδια διέλευσης αέρα

iv. Τοποθέτηση αισθητήρα ελέγχου θερμοκρασίας και υγρασίας εντός του IT rack

Εν συνεχεία, η επόμενη παρέμβαση είναι η αλλαγή τοποθεσίας των αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας. Όπου καταργηθήκανε οι αισθητήρες οι οποίοι ήταν στη μονάδα CRAH και τοποθετήθηκαν καινούριοι στα σημεία κοντά στον εξοπλισμό πληροφορικής, δηλαδή εντός του IT rack. Με αυτό τον τρόπο μας παρέχεται μεγαλύτερη ακρίβεια μέτρησης ακριβώς στο σημείο όπου χρησιμοποιείται ο αέρας για ψύξη, που συνεπάγεται και αποδοτικότερη λειτουργία και μείωση του κόστους ενέργειας αφού και με την παράλληλη τοποθέτηση VSDs στις μονάδες CRAH θα μειωθεί η άσκοπη λειτουργία τους.

**Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής
Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων**

5.3.2 Υπολογισμός δείκτη Απόδοσης Επένδυσης(Return on Investment)

<u>Κεφαλαιακές Δαπάνες</u>			
<i>Περιγραφή</i>	Κόστος ανά μονάδα(€)	Ποσότητα	Συνολικό κόστος(€)
VSD	6000	24	144.000
CRAH	6000	14	84.000
Υλικά διαμόρφωσης rack	325	1530	248.625
Αισθητήρες	525	47	24.675
			501.300

<u>Εξοικονομήσεις</u>				
<i>Περιγραφή</i>	Εξοικονόμηση ενέργειας(kW)	Εξοικονόμηση kWh/έτος	Ετήσια εξοικονόμηση(€)	Περίοδος αποπληρωμής σε μήνες
Εγκατάσταση VSDs	110	963.600	108.887	16
Αναβάθμιση CRAHs	22	192.720	21.777	46
Βελτιστοποίηση ροής αέρα/ τοποθέτηση αισθητήρων	230	1.007.400	227.673	13

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

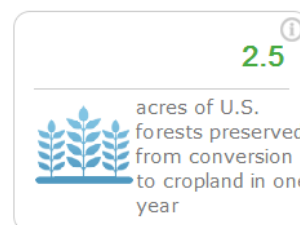
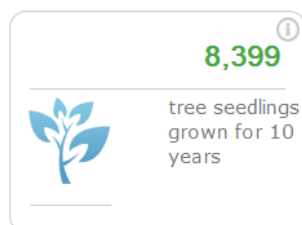
Εξισορρόπηση βελτιστοποίησης	53	464.280	52.464	
			410.800	
Αποπληρωμή				
Roi/ έτος	410.800			
Κόστος βελτιστοποίησης	501.300			
Περίοδος αποπληρωμής	14,6 μήνες			

5.3.3 Ενδεικτικά παραδείγματα από τα οφέλη της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης

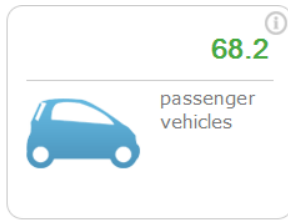
Συνολικό ετήσιο όφελος: 328 τόνοι Διοξειδίου του Άνθρακα(βάση των παραπάνω στοιχείων) [9]



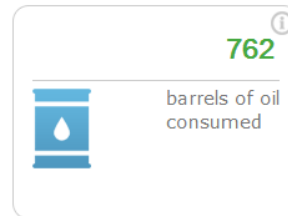
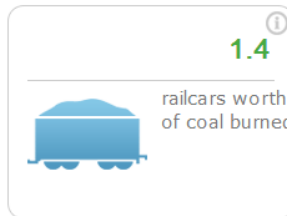
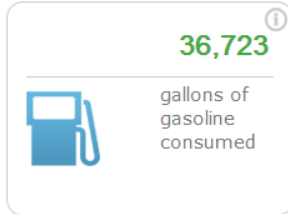
Carbon sequestered by ^{-or-}



Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων



CO₂ emissions from



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

6. Βελτιστοποίηση με χρήση της τεχνολογίας Εικονικοποίησης(Virtualization)



6.1 Ανάγκη υιοθέτησης νέων αρχιτεκτονικών και τεχνολογιών

Αρχικά, πριν αναφερθούμε στην κεντρική ιδέα και δομή της συγκεκριμένης τεχνολογίας και πως αυτή μειώνει τα λειτουργικά και απόκτησης κόστη, είναι σημαντικό να επισημάνουμε τις μελλοντικές τάσεις και ανάγκες που θα έχει το Διαδίκτυο ή αλλιώς το Future Internet, όπως έχει επικρατήσει να λέγεται. Πιο συγκεκριμένα, θέλοντας να διασφαλιστεί η εύρωστη λειτουργία των υφισταμένων δικτύων αλλά και το υψηλό επίπεδο παραχωμένων υπηρεσιών από τη μεριά των παρόχων και να συνεχιστεί η ανάπτυξη καινοτόμων υπηρεσιών και εφαρμογών η αρχιτεκτονική του Future Internet θα είναι πολυμορφική.

Υπό αυτή την έννοια, θα είναι εφικτή η συνύπαρξη της παρούσας δικτυακής αρχιτεκτονικής μαζί με νέα πρωτόκολλα, υπηρεσίες και αρχιτεκτονικές. Λόγω των παραπάνω μελλοντικών τάσεων του Future Internet, για να είναι δυνατόν να επιτευχθούν πρέπει να δομηθεί με την τεχνολογία της Εικονικοποίησης(Virtualization).

Με τον όρο Virtualization, ορίζεται η δυνατότητα διαχωρισμού και καταμερισμού των πόρων ενός φυσικού κόμβου σε ένα πλήθος από εικονικούς κόμβους(virtual nodes). Έτσι, με τις πολυμορφικές αρχιτεκτονικές σε συνδυασμό με την ευρεία εφαρμογή της τεχνολογίας Virtualization, μεταβάλλεται ολόκληρη η φιλοσοφία πάνω στην οποία είναι δομημένο το Διαδίκτυο.

6.2 Η έννοια της Εικονικοποίησης(Virtualization)

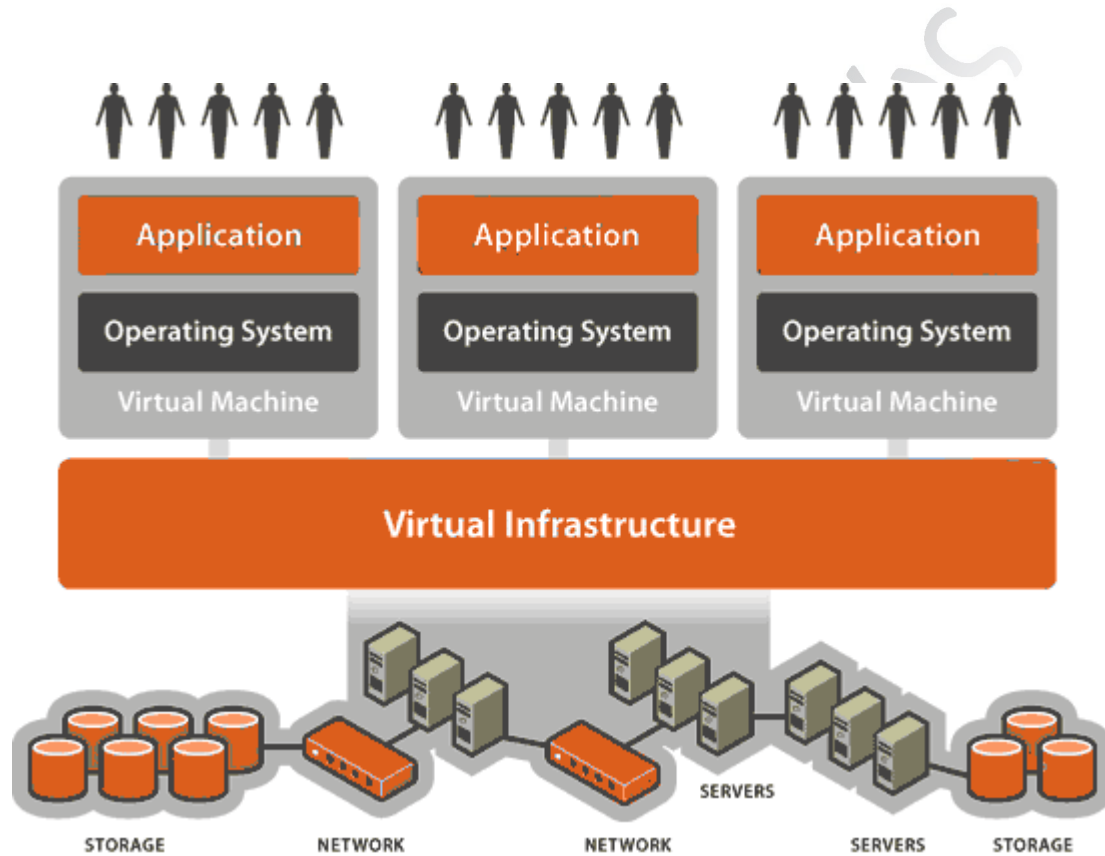
Όπως ήδη αναφέραμε, η τεχνολογία Virtualization συνίσταται στον διαμερισμό των πόρων ενός υπάρχοντος φυσικού συστήματος σε πολλά εικονικά μηχανήματα(virtual machines). Μπορεί στις μέρες μας να γίνεται πολύ λόγος για την ανάγκη ανάπτυξης της συγκεκριμένης τεχνολογίας αλλά η Εικονικοποίηση συναντάται από τις απαρχές της Πληροφορικής και βρίσκει εφαρμογές στους υπολογιστές, στα δίκτυα, στα μέσα αποθήκευσης προσωρινού(RAM) και μόνιμου χαρακτήρα(σκληροί δίσκοι, RAID) και σε διάφορες εφαρμογές.

Εν συνεχεία, η Εικονικοποίηση δικτύου αποτελείται από δύο βασικά μέρη: α) την εικονικοποίηση ζεύξης(link virtualization) και β) την εικονικοποίηση κόμβου(node virtualization). Η μεν εικονικοποίηση ζεύξης επιτρέπει τη μεταφορά πολλαπλών ξεχωριστών εικονικών ζεύξεων πάνω από μία κοινή φυσική ζεύξη. Η εικονική ζεύξη χαρακτηρίζεται, αυστηρά από μία ετικέτα ή, μπορεί να αφορά μια γενικότερη προσέγγιση, μια χρονοθυρίδα ή ένα μήκος κύματος. Για αυτό το σκοπό, στο διαδίκτυο χρησιμοποιούνται τα πρωτόκολλα ATM και MPLS.

Ενώ από την άλλη, η εικονικοποίηση κόμβου βασίζεται στο διαχωρισμό και στην κατάτμηση των πόρων υλικού. Δηλαδή, οι φυσικοί πόροι ενός κόμβου(CPU, μνήμη, χωρητικότητα, εύρος ζώνης) χωρίζονται σε slices και έπειτα κάθε slice εκχωρείται στον εικονικό κόμβο σύμφωνα με ένα σύνολο απαιτήσεων. Με αποτέλεσμα ο συνδυασμός αυτών των δύο

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

λειτουργιών να δημιουργεί τα εικονικά δίκτυα, τα οποία από λειτουργική άποψη είναι τα ίδια με τα φυσικά. Τέλος, η υιοθέτηση τεχνολογιών εικονικοποίησης αυξάνει χρόνο με το χρόνο με αποτέλεσμα να καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος του IT καλύπτοντας και το πεδίο των μέσων αποθήκευσης(storage virtualization).[15]



Εικόνα 25 Γενική απεικόνιση δομής τεχνολογίας Εικονικοποίησης(Virtualization)

6.3 Κατηγορίες Εικονικοποίησης

Αρχικά, εκτός από την εφαρμογή της Εικονικοποίησης για τη δημιουργία της καινούριας μορφής του διαδικτύου, μέσω των εικονικών δικτύων(Virtual Networks), η συγκεκριμένη τεχνολογία εφαρμόζεται ευρέως και σε άλλους τομείς του IT. Ως εκ τούτου, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε την Εικονικοποίηση ανάλογα με το στοιχείο/υλικό που εφαρμόζεται. Έτσι έχουμε την εικονικοποίηση εξυπηρετητή(server virtualization), την εικονικοποίηση μνήμης(memory virtualization) και την εικονικοποίηση χωρητικότητας(storage virtualization).

— **Server Virtualization**

Σε αυτή την κατηγορία, το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι το χρησιμοποιούμενο λογισμικό εξομοιώνει διαφορετικές τεχνολογικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή της είναι ότι η επιχείρηση μπορεί να αποκτήσει σημαντική

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ και επίσης της παρέχεται η δυνατότητα να χρησιμοποιεί παλαιότερες εφαρμογές (legacy), να προσομοιώνει καταμεμημένες εφαρμογές δικτύου πάνω στον ίδιο φυσικό διακομιστή, αφού και παλαιότερης γενιάς διακομιστές μπορούν να αξιοποιηθούν. Προκειμένου να μειωθεί περαιτέρω το αρχικό κόστος απόκτησης των συστημάτων, χρησιμοποιείται η δυνατότητα εκτέλεσης εικονικών μηχανών(virtual machines) εντός αυτών, όπου η κάθε μία έχει το δικό της λειτουργικό σύστημα. Τέλος, η εικονικοποίηση εξυπηρετητή υλοποιείται με τέσσερις τρόπους, οι οποίοι είναι:1) πλήρης εικονικοποίηση(full virtualization) 2) μερική εικονικοποίηση(partial virtualization) 3) παραεικονικοποίηση(paravirtualization) και 4) container-based virtualization.

— **Memory Virtualization**

Μέσω αυτής της περίπτωσης επιτυγχάνεται η ενοποίηση της μνήμης RAM κάθε μεμονωμένου συστήματος ενός ΚΑΔ σε μία εικονική μνήμη, η οποία είναι προσπελάσιμη από κάθε υπολογιστικό σύστημα σε ένα δεδομένο υπολογιστικό σύμπλεγμα(cluster). Η κοινή μνήμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως cache memory, ως μέσο διάδοσης μηνυμάτων(messaging layer) ή ως μνήμη για τη CPU. Επιπρόσθετα, παρόλο που τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα στις μνήμες RAM και στους σκληρούς δίσκους περισσότερων του ενός συστημάτων, για την εικονική μνήμη είναι αποθηκευμένα συνεχόμενα και σε σειρά.

Εν συνεχεία, από τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας προκύπτουν ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα, τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

Πρώτον, αυξάνει τη χρησιμοποίηση της μνήμης, λόγω του διαμερισμού της σε πολλά υπολογιστικά συστήματα. Δεύτερον, μπορεί να μεταβάλλεται δυναμικά με τη προσθήκη ή αφαίρεση πόρων στο υπολογιστικό σύμπλεγμα(cluster). Παρέχεται η δυνατότητα σε εφαρμογές ή εξυπηρετητές που χρειάζονται κοινά δεδομένα να μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν χωρίς να απαιτούνται αντίγραφα αυτών, μειώνοντας έτσι τις συνολικές ανάγκες για μνήμη. Τέλος, επιτυγχάνεται μικρότερη καθυστέρηση από άλλες λύσεις όπως SSD, SAN και NAS.

— **Storage Virtualization**

Είναι εύκολα αντιληπτό όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις και εδώ εικονικοποιούμε τον χώρο αποθήκευσης. Έτσι οι διάφοροι χώροι αποθήκευσης που υπάρχουν σε έναν cluster εμφανίζονται ως μία οντότητα όπου μπορούμε να τη διαχειριζόμαστε από μία πλατφόρμα. Δηλαδή, δημιουργούμε ένα εικονικό χώρο που αποτελείται από blocks, τα οποία μπορούν να προσπελαστούν με χρήση δύο αναγνωριστικών, του LUN(Logical Unit Identifier) και ενός offset(LBA-Logical Block Address) για το δεδομένο LUN. Κατά τον ίδιο τρόπο τακτοποιούνται τα δεδομένα στα φυσικά μέσα αποθήκευσης. Με τη χρήση ενός λογισμικού εικονικοποίησης μπορούμε να έχουμε πρόσβαση σε ολόκληρο τον χώρο αποθήκευσης, εικονικό και φυσικό.

Αναφέροντας τα πλεονεκτήματα του storage virtualization, τα πιο σημαντικά είναι ότι καθίσταται δυνατή η μετάπτωση(migration) δεδομένων από ένα αποθηκευτικό μέσο σε ένα άλλο μέσο του εικονικοποιημένου cluster και η απλούστευση των διαδικασιών των

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

αντιγράφων ασφαλείας(backup) και της ανάκτησης(recovery) δεδομένων για τον διαχειριστή. Σημαντικό είναι επιπρόσθετα το πλεονέκτημα της ελεύθερης αποθήκευσης των δεδομένων στο μέσο επιλογής, χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον χρήστη. Αλλά επιτρέπει και την αποθήκευση δεδομένων σε διάφορα φυσικά μέσα αποθήκευσης που το καθένα βασίζεται σε διαφορετικές τεχνολογίες. Με άλλα λόγια, με την εφαρμογή της εικονικοποίησης επιτυγχάνεται η ενοποίηση του χώρου δεδομένων κάθε φυσικού μέσου αποθήκευσης και όταν προστίθεται ένα φυσικό μέσο αποθήκευσης με μία συγκεκριμένη χωρητικότητα αυξάνει το ίδιο και εικονικός χώρος αποθήκευσης. Τέλος, εξασφαλίζεται η μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διάφορων μέσων αποθήκευσης και η αδιάλειπτη λειτουργία λόγω στο ότι τα δεδομένα διατηρούν το LUN και το LBA που είχαν και αντικαθίστανται με το καινούριο που αποκτούν στον νέο χώρο αποθήκευσης.[16]

6.4 Προσέγγιση οικονομικής απόδοσης της Εικονικοποίησης

Γενικά, όπως τις περισσότερες φορές κάθε εταιρεία ή οργανισμός που παίρνει την απόφαση για μία επένδυση καταλυτικό ρόλο για την αποδοχή της είναι κατά πόσο αυτή είναι αποδοτική και αν επιτυγχάνεται κάποια εξοικονόμηση στα έξοδα της εταιρείας. Έτσι και εδώ το βασικό κίνητρο για τις εταιρείες στην μετάβαση και υιοθέτηση της τεχνολογίας Virtualization είναι η μείωση του κόστους μέσω της αποδοτικότερης αξιοποίησης των φυσικών IT πόρων. Γίνεται επιτακτική η ανάγκη, όπως και των προηγούμενων λύσεων βελτιστοποίησης που έχουμε αναφέρει στη παρούσα μελέτη, η εξέταση της απόδοσης της επένδυσης δηλαδή του δείκτη Return on Investment(RoI) και η αξιολόγηση των παραμέτρων του.

6.4.1 Πτυχές και παρατηρήσεις για την μελέτη του δείκτη RoI

1. **Ιδανικό Περιβάλλον για υλοποίηση**

Το αποτέλεσμα της μελέτης της απόδοσης της επένδυσης(RoI) για την Εικονικοποίηση εξαρτάται κατά κόρον από το πόσο είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ότι ταιριάζει με την κατάσταση της εταιρείας και κατά πόσο αυτή έχει υλοποιηθεί σωστά. Όπως και στις περισσότερες τεχνολογικές δυνατότητες και η Εικονικοποίηση δεν μας παρέχει εξ' αρχής την εγγύηση της άρτιας απόδοσης λειτουργίας. Θα πρέπει αρχικά να εστιάσουμε στα κάτωθι χαρακτηριστικά για να αποφανθούμε με ακρίβεια για τις δυνατότητες της Εικονικοποίησης που ταιριάζουν με τις ανάγκες και το περιβάλλον του οργανισμού.

— Συγκεκριμένης Λειτουργίας εξυπηρετητές

Ιστορικά οι οργανισμοί χρησιμοποιούν τους φυσικούς τους server για συγκεκριμένες εργασίες(dedicated e-mail servers κτλ) και σε τέτοιες περιπτώσεις

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

μπορεί να προκύψει σημαντική εξοικονόμηση κόστους με την υιοθέτηση της Εικονικοποίησης.

— *Διακυμάνσεις στη κίνηση φορτίου*

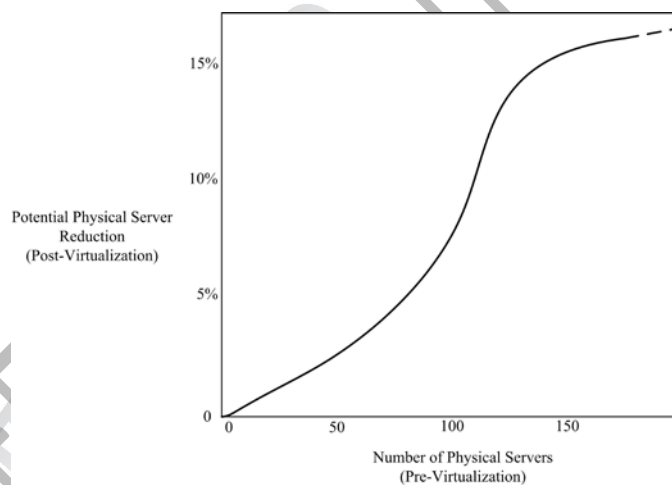
Εταιρείες με σημαντικά λειτουργικά φορτία αιχμής και βαριά χρήση μπορούν να παρέχουν πολύ καλές ευκαιρίες ROI μέσω της Εικονικοποίησης.

— *Περιορισμένοι Πόροι*

Οι εταιρείες με περιορισμένο προσωπικό Πληροφορικής ή έχουν εργαζόμενους με περιορισμένες τεχνικές δεξιότητες, συχνά η λύση της Εικονικοποίησης αποτελεί ευκαιρία για σημαντικό ROI.

— *Ενιαίος χώρος εγκατάστασης*

Συνήθως οργανισμοί που έχουν ένα ενοποιημένο ΚΑΔ, με συγκεντρωμένους όλους τους εξυπηρετητές παρέχουν μία σταθερή απόδοση της επένδυσης. Αν και τα περισσότερα περιβάλλοντα πλούσια σε εξυπηρετητές αποτελούν ευκαιρίες για την εφαρμογή Εικονικοποίησης η απόδοση της επένδυσης τείνει να είναι καλύτερη όταν και οι παραπάνω παράμετροι υφίστανται.



Εικόνα 26 Πιθανή επίδραση Εικονικοποίησης

II. Πρωταρχική εξοικονόμηση κόστους

Τα οικονομικά οφέλη από την Εικονικοποίηση τείνουν να προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από την άμεση εξοικονόμηση. Η πρωταρχική εξοικονόμηση προφανώς επικεντρώνεται στην ικανότητα της μείωσης των φυσικών εξυπηρετητών. Έτσι τα οφέλη προκύπτουν από τα ακόλουθα:

- χαμηλότερα κόστη απόκτησης του εξοπλισμού
- μείωση εξόδων συντήρησης
- περικοπή τελών του λειτουργικού συστήματος

Σε πολλές περιπτώσεις, με τη μείωση των φυσικών εξυπηρετητών συνεπάγεται και η αναλογική μείωση του κόστους αδειοδότησης της εφαρμογής και της βάσης δεδομένων. Λαμβάνοντας υπ' όψιν μας ότι μεγάλος αριθμός οργανισμών έχει άνω

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

των 100 εξυπηρετητών, αυτό και μόνο μπορεί να παράσχει σημαντική απόδοση της επένδυσης.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

III. Δευτερεύον εξοικονόμηση κόστους

Η δευτερεύουσα εξοικονόμηση προέρχεται μέσα από μία ποικιλία από οφέλη της Εικονικοποίησης που σχετίζονται με τη μείωση του κόστους. Αρχικά επειδή υπάρχει λιγότερος φυσικός εξοπλισμός συνεπάγεται και ανάλογη μείωση του απαιτούμενου χώρου του ΚΑΔ, στις δαπάνες για ενέργεια και κλιματισμό και στο εργατικό δυναμικό. Ένα άλλο έμμεσο όφελος είναι η αύξηση της αποδοτικότητας ως προς τους χρήστες που προέρχεται από τη ταχύτερη απόδοση και τη βελτίωση της διαθεσιμότητας. Το τελικό έμμεσο όφελος όμως προκύπτει από τη δυνατότητα μεταφοράς των εικονικών εξυπηρετητών που μας επιτρέπουν έτσι τις αποτελεσματικότερες μετεγκαταστάσεις(relocations) και μεταπτώσεις(transitions). Στην πραγματικότητα μια εικονική μετακίνηση εξυπηρετητή γίνεται πιο απλή από οποιαδήποτε άλλα μετακίνηση λογισμικού.

IV. Εξοικονόμηση συσχετιζόμενη με τον χώρο αποθήκευσης

Ενώ η τεχνολογία της Εικονικοποίησης χρησιμοποιείται κυρίως για τη βελτιστοποίηση της πλατφόρμας επεξεργασίας μπορούν να προκύψουν σημαντικές βελτιώσεις που αφορούν τις διεργασίες και τις δαπάνες αποθήκευσης. Με τη χρησιμοποίηση των εικονικών εξυπηρετητών για την αποθήκευση μπορούμε να αποκομίσουμε τα παρακάτω οφέλη:

- Με τη δυναμική διαχείριση των εικονικών εξυπηρετητών μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι καθυστερήσεις στην πρόσβαση που προκαλούνται κατά την ακανόνιστη ζήτηση αιχμής.
- Πολλαπλά αντίγραφα δεδομένων μπορούν να διαχειρίζονται αυτόματα για λόγους εφεδρείας(back-up).
- Όσο αφορά για το δίκτυο SAN(Storage Area Network), αυτό υλοποιείται ως ένα στοιχείο με αποτέλεσμα τη περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης.

Συνοψίζοντας, δεν πετυχαίνουμε μόνο βελτίωση τη απόδοσης των εφαρμογών με την καλύτερη διαχείριση των εξυπηρετητών, αλλά επίσης η Εικονικοποίηση μας προσφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη στους τομείς της αποθήκευσης και λειτουργίας του ΚΑΔ.

v. Άλλα οφέλη της Εικονικοποίησης

Εκτός από τα άμεσα και έμμεσα οφέλη από την εξοικονόμηση ενέργειας από την υιοθέτηση της Εικονικοποίησης που μόλις αναφέραμε, υπάρχουν και κάποια άλλα σημαντικά πρόσθετα οφέλη που προσθέτουν αξία στην λειτουργία της επιχείρησης, τα οποία επισημαίνονται παρακάτω:

- τη δυνατότητα της γρήγορης δημιουργίας και διαχείρισης πολλαπλών περιβαλλόντων που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο και αδιάλειπτη λειτουργία,
- ένα πιο δομημένο περιβάλλον με αποτέλεσμα λιγότερα επιχειρησιακά σφάλματα και καλύτερη διαχείριση,

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

- υψηλότερο επίπεδο διαχειριστικής ικανότητας με πολύ πιο γρήγορες προσαρμογές στις μεταβολές φορτίου,
- λειτουργική ευελιξία όσο αφορά την αλλαγή, μετεγκατάσταση του φυσικού εξοπλισμού ενός ΚΑΔ, κάτι το οποίο είναι σημείο κλειδί κατά τον αρχικό σχεδιασμό του,
- ενίσχυση του επιπέδου ασφαλείας λόγω της ελεγχόμενης πρόσβασης του συστήματος,
- καλύτερη πιστοποίηση του συστήματος και συμμόρφωση με την αδειοδότηση εφαρμογής υπό την σωστότερη δομημένη λειτουργία
- αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και υποβολή αναφορών SLA σε πραγματικό χρόνο,
- ανταποκρίνεται στην "πράσινη" πολιτική των οργανισμών και στους μακροπροθέσμους στόχους για μείωση της ενεργειακής τους κατανάλωσης λόγω της μείωσης των φυσικών εξυπηρετητών.[17]

6.5 Μελέτη περίπτωσης βελτιστοποίησης και εξοικονόμησης ενέργειας

Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης εξετάζεται και αναδεικνύεται η εξαιρετική μείωση του συνολικού κόστους απόκτησης(TCO) της τεχνολογίας Εικονικοποίησης άλλα και ο πολύ αποδοτικός δείκτης Roi, κάτι που έχουμε εξετάσει σε κάθε προηγούμενη λύση βελτιστοποίησης. Για την καλύτερη κατανόηση και εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων θα μελετηθούν τα οφέλη και η απόδοση της Εικονικοποίησης σε τρία διαφορετικά επιχειρηματικά περιβάλλοντα. Αυτά θα είναι η εγκατάσταση σε εταιρεία που δραστηριοποιείται στον κλάδο της Υγείας, στον κλάδο της Ασφάλισης και στον κλάδο των Μεταφορών. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται συγκεντρωτικά τα οφέλη που προκύπτουν από την βελτιστοποίηση μας ανά οργανισμό.[18]

χωρίς Εικονικοποίηση

με Εικονικοποίηση

Κύρια Οφέλη	Εταιρεία Υγείας		Εταιρεία Ασφάλισης		Εταιρεία Μεταφορών	
Απαιτούμενο πλήθος φυσικών server	62	6	92	8	58	8

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Χρόνος Ανάπτυξης server	960	120	450	300	247	7
Δείκτης Ενοποίησης server*	10	1	12	1	7	1
Μ.Ο χρησιμοποίηση CPU	5%	80%	<10%	60-70%	<10%	60-65%
Χρόνος Ανάκτησης(ώρες)	12	1	N/A	N/A	6	0.17

Πίνακας 7 Οφέλη Εικονικοποίησης ανά εταιρεία

*ο δείκτης ενοποίησης server δείχνει το πλήθος των εικονικών server που φιλοξενούνται σε κάθε φυσικό.

Χαρακτηριστικά της εταιρείας στον κλάδο της Υγείας

Η εγκατάσταση και η υλοποίηση της τεχνολογίας Εικονικοποίησης αφορά το ΚΑΔ μίας εταιρείας παροχής υπηρεσιών υγείας που υποστηρίζει το δίκτυο έξι νοσοκομείων με 12000 ιατρούς και επαγγελματιών υγείας όπου οι server του εξυπηρετούν μία ποικιλία από λειτουργικά συστήματα. Το κύριο πρόβλημα που επιδιώκουν να λύσουν με την Εικονικοποίηση είναι της επεκτασιμότητας του ΚΑΔ λόγω του περιορισμένου χώρου των εγκαταστάσεων.

Σύγκριση δείκτη TCO	Χωρίς Εικονικοποίηση	Με Εικονικοποίηση
Hardware & software κόστη		
Απαιτούμενος αριθμός φυσικών server	62	6
Συνολικά hardware κόστη	319.000€	28.350€
Συντήρηση hardware	32.000€	12.300€
Εγκατάσταση λογισμικού	0€	15.435€
Υποστήριξη λογισμικού	0€	3.860€

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Εκπαίδευση	0€	14.300€
Συνολικά Hardware & software κόστη	351.000€	74.245€
Ποσοστό Hardware & software μείωσης κόστους		79%
IT Λειτουργίες		
Επηρεαζόμενα κόστη του ΚΑΔ(SAN θύρα& κόστη ενέργειας)	6.350€	23.172€
Συνολικά κόστη ανάπτυξης server	43.750€	5.468€
Απαιτούμενος χρόνος ανάπτυξης(εργάσιμες ώρες)	1488	186
Μ.Ο κόστους εργάσιμης ώρας	40€	40€
Συνολικά κόστη IT Λειτουργιών	50.100€	28.640€
Μείωση δείκτη TCO IT Λειτουργιών		43%
Συνολικά κόστη	401.100€	102.885€
Συνολική μείωση δείκτη TCO		74%
Roi(<6 μήνες) οικονομικό όφελος/κόστος επένδυσης		289%
Άλλα Οφέλη		
Χρόνος Ανάκτησης(ώρες)	12	1
Δείκτης ενοποίησης server	10	1
Ποσοστό χρησιμοποίησης CPU	5%	80%

Πίνακας 8 Αξιολόγηση επένδυσης σε εταιρεία στο κλάδο Υγείας

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Χαρακτηριστικά της εταιρείας στον κλάδο των Ασφάλισης

Πρόκειται για μία ασφαλιστική εταιρεία η οποία έχει δεκάδες γραφεία και χιλιάδες εργαζομένους σε διάφορα μέρη στις Ηνωμένες Πολιτείες. Έχει δικό της τμήμα Πληροφορικής και ΚΑΔ για να εξυπηρετεί τις ανάγκες της. Ο λόγος που πάρθηκε η απόφαση για την υιοθέτηση της Εικονικοποίησης είναι καθαρά για αναβάθμιση των πληροφοριακών της συστημάτων και για παροχή υψηλότερου επιπέδου υπηρεσιών. Στόχος είναι η εταιρεία να γίνει πιο ανταγωνιστή μέσω της διάθεσης νέων χρηματοπιστωτικών προϊόντων.

Σύγκριση δείκτη TCO	Χωρίς Εικονικοποίηση	Με Εικονικοποίηση
Hardware & software κόστη		
Απαιτούμενος αριθμός φυσικών server	92	8
Συνολικά hardware κόστη	507.150€	148.470€
Συντήρηση hardware	N/A	N/A
Εγκατάσταση λογισμικού	0€	29.400€
Υποστήριξη λογισμικού	0€	9.555€
Εκπαίδευση	0€	2.205€
Συνολικά Hardware & software κόστη	507.150€	189.630€
Ποσοστό Hardware & software μείωσης κόστους		63%
IT Λειτουργίες		
Επηρεαζόμενα κόστη του ΚΑΔ(δικτύωση και κόστη ενέργειας)	124.950€	10.820€
Συνολικά κόστη ανάπτυξης server	30.430€	20.286€

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

Απαιτούμενος χρόνος ανάπτυξης(εργάσιμες ώρες)	552	368
Μ.Ο κόστους εργάσιμης ώρας	55€	55€
Υποστήριξη server	162.950€	64.423€
Συνολικά κόστη IT Λειτουργιών	318.330€	95.529€
Μείωση δείκτη TCO IT Λειτουργιών		70%
Συνολικά κόστη	825.480€	285.160€
Συνολική μείωση δείκτη TCO		65%
Roi(<6 μήνες) οικονομικό όφελος/κόστος επένδυσης		189%
Άλλα Οφέλη		
Χρόνος Ανάκτησης(ώρες)	N/A	N/A
Δείκτης ενοποίησης server	12	1
Ποσοστό χρησιμοποίησης CPU	<10%	60-70%

Πίνακας 9 Αξιολόγηση επένδυσης σε εταιρεία Ασφάλισης

Χαρακτηριστικά της εταιρείας στον κλάδο των Μεταφορών/Logistics

Πρόκειται για μία πολυεθνική εταιρεία μεταφορών/logistics, η οποία έχει 50 γραφεία σε διάφορες πολιτείες των Η.Π.Α και περίπου 10.000 εργαζομένους. Επομένως το τμήμα IT είναι η ραχοκοκαλιά του ομίλου για την διασφάλιση του υψηλού επιπέδου υπηρεσιών της. Το πρόβλημα δημιουργήθηκε όταν η εταιρεία θέλησε να προσφέρει στους πελάτες της καινούρια projects και υπηρεσίες που απαιτούσαν περισσότερους IT πόρους. Αυτό όμως δεν ήταν εφικτό λόγω ότι δεν υπήρχε η δυνατότητα επεκτασιμότητας του υπάρχοντος ΚΑΔ. Ως εκ τούτου επιλέχθηκε η τεχνολογία της Εικονικοποίησης για να αξιοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι IT πόροι του συστήματος.

**Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής
Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων**

Σύγκριση δείκτη TCO	<i>Χωρίς Εικονικοποίηση</i>	<i>Με Εικονικοποίηση</i>
Hardware & software κόστη		
Απαιτούμενος αριθμός φυσικών server	58	8
Συνολικά hardware κόστη	277.095€	38.220€
Συντήρηση hardware	N/A	N/A
Εγκατάσταση λογισμικού	0€	12.642€
Υποστήριξη λογισμικού	0€	3.160€
Εκπαίδευση	0€	0€
Συνολικά Hardware & software κόστη	277.095€	54.022€
Ποσοστό Hardware & software μείωσης κόστους		80%
IT Λειτουργίες		
Επηρεαζόμενα κόστη του ΚΑΔ(SAN θύρα και κόστη ενέργειας)	26.435€	3.759€
Συνολικά κόστη ανάπτυξης server	10.440€	300€
Απαιτούμενος χρόνος ανάπτυξης(εργάσιμες ώρες)	348	10
Μ.Ο κόστους εργάσιμης ώρας	30€	30€

**Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής
Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων**

Υποστήριξη server	20.462€	2.822€
Συνολικά κόστη IT Λειτουργιών	57.517€	6.881€
Μείωση δείκτη TCO IT Λειτουργιών		88%
Συνολικά κόστη	334.612€	60.903€
Συνολική μείωση δείκτη TCO		82%
Roi(<6 μήνες) οικονομικό όφελος/κόστος επένδυσης		449%
Άλλα Οφέλη		
Χρόνος Ανάκτησης(ώρες)	6	.30
Δείκτης ενοποίησης server	7	1
Ποσοστό χρησιμοποίησης CPU	<10%	60-65%

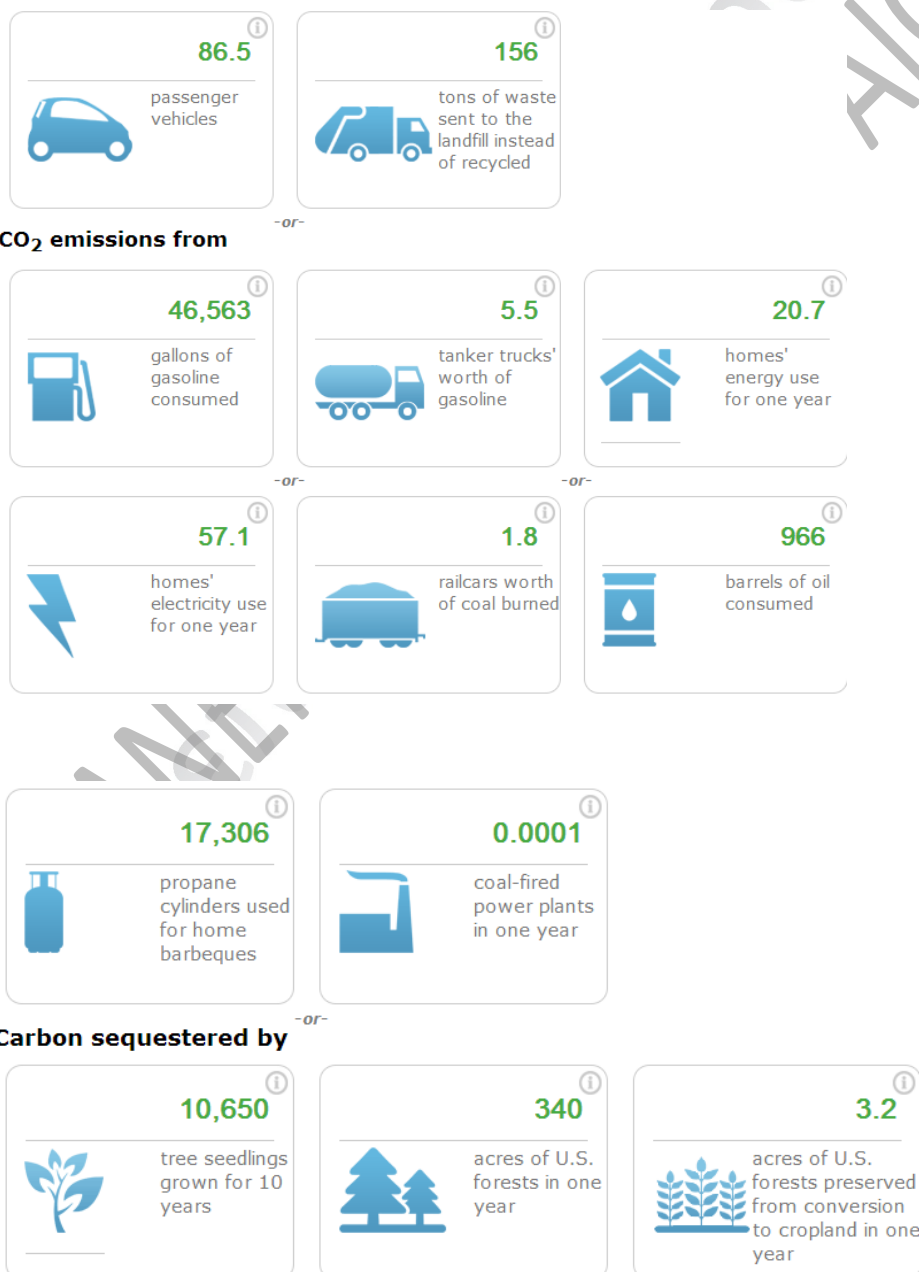
Πίνακας 10 Αξιολόγηση επένδυσης σε εταιρεία Μεταφορών

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

6.5.1 Ενδεικτικά παραδείγματα από τα οφέλη της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης

Ο υπολογισμός θα γίνει με τα δεδομένα της δεύτερης περίπτωσης δηλαδή της εταιρείας Ασφάλισης και την παραδοχή ότι η μέση κατανάλωση ανά server είναι 800W/ώρα. Πιο συγκεκριμένα πετυχαίνουμε μείωση στο πλήθος των φυσικών server κατά 84 δηλαδή μειώνουμε την απαίτηση σε ενέργεια κατά $84 * 800W * 24 \text{ώρες} * 365 \text{ημέρες} = 588.672 \text{kWh}$

Συνολικό ετήσιο όφελος: 415 τόνοι Διοξειδίου του Άνθρακα



7. Συμπεράσματα

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στην παρούσα μελέτη αλλά και των οικονομικών στοιχείων που παρουσιάστηκαν σε κάθε μία από τις παρεμβάσεις βελτιστοποίησης, είμαστε σε θέση να προβούμε σε ασφαλή συμπεράσματα. Έτσι αρχικά, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η εναρμόνιση και η αναβάθμιση των ΚΑΔ πρέπει να συγκλίνουν και με τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και απαιτήσεις που έχουν θεσμοθετηθεί διεθνώς. Είναι ιδιαίτερος σημαντικό να επισημάνουμε ότι στα επόμενα χρόνια τα ΚΑΔ, θα διαδραματίσουν τον πρωταρχικό ρόλο στον χάρτη για την εξοικονόμηση ενέργειας και απόδοσης της "Πράσινης Πληροφορικής". Διότι οι τάσεις που υπογραμμίσαμε είναι η ραγδαία αύξηση των μεγάλων ΚΑΔ(2000 servers και άνω) λόγω της τεράστιας ανάπτυξης του κλάδου της Πληροφορικής και ιδιαίτερα του *cloud computing* που συνδέεται με το *virtualization-outsourcing-collocation* και της *κινητής μετάπτωσης πληροφοριών*, που θα οδηγήσει να ξεπεραστούν τα μικρά και μεσαία ΚΑΔ.

Αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι η οποιαδήποτε παρέμβαση για βελτιστοποίηση και μετατροπής ενός ΚΑΔ σε "Πράσινο", προϋποθέτει να έχει προηγηθεί ο λεπτομερέστατος σχεδιασμός και να έχουν οριστεί με ακρίβεια οι υπάρχουσες και μελλοντικές ανάγκες του ΚΑΔ. Καμία παρέμβαση δεν πρέπει να θέτει σε κίνδυνο την ομαλή και συνεχόμενη λειτουργία του.

Όσο αφορά για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος διανομής ενέργειας, συμπεράνουμε ότι εξαρτάται από τις εξής συνιστώσες: την επιθυμία μας για χαμηλό αρχικό κόστος, την ευελιξία ως προς την προσθαφείρεση IT στοιχείων, την πιθανότητα μελλοντικής επεκτασιμότητας και τους περιορισμούς στο μέγεθος του κτηρίου. Ως εκ τούτου, για τις ανάγκες ενός μεγάλου σύγχρονου ΚΑΔ, ιδανική λύση αποτελεί η αρχιτεκτονική της σπονδυλωτής διανομής με εναέρια καλωδίωση. Αποκομίζοντας τεράστια οικονομικά-περιβαλλοντικά οφέλη αλλά και υψηλό επίπεδο απόδοσης και διαχειριστικότητας.

Εν συνεχεία, τα αποτελέσματα από τη αναβάθμιση και βελτιστοποίηση του συστήματος κλιματισμού του ΚΑΔ είναι παραπάνω από ενθαρρυντικά. Στο υπό εξέταση ΚΑΔ επιτεύχθηκε υψηλό ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας(464.280kW/έτος δηλαδή 410.800€ ετησίως) και πολύ χαμηλή περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης περίπου 15 μήνες. Η εγκατάσταση ενός σύγχρονου συστήματος κλιματισμού μπορεί να έχει αρχικά υψηλά κόστη αλλά διαχρονικά τα οφέλη από τα λειτουργικά κόστη, την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας downtime είναι τεράστια.

Τέλος, γίνονται κατανοητά τα τεράστια και σημαντικά οφέλη από την υιοθέτηση της τεχνολογίας Εικονικοποίησης για την κατασκευή ή αναβάθμιση ενός ΚΑΔ. Τα οφέλη είναι πρωταρχικά οικονομικά και προκύπτουν από την μείωση του αναγκαίου φυσικού εξοπλισμού και παράλληλα από τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας και του κόστους συντήρησης. Επίσης, παρέχεται πολύ υψηλό επίπεδο διαχειριστικότητας του ΚΑΔ και δυνατότητες επεκτασιμότητας και recovery σε ελάχιστο χρόνο. Και στις τρεις περιπτώσεις

Τεχνοοικονομική Αξιολόγηση Βελτιστοποιήσεων Ενεργειακής Κατανάλωσης σε Κέντρα Αποθήκευσης Δεδομένων

που εξετάστηκαν προκύπτουν τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη αλλά και υψηλά ποσοστά του δείκτη Roi.

Συνοψίζοντας, είμαστε σε θέση να πούμε ότι πραγματοποιώντας τις παραπάνω λύσεις βελτιστοποίησης στο ΚΑΔ, μπορεί πλέον να ονομάζεται "Πράσινο" και να ανταποκρίνεται στις σύγχρονες και μελλοντικές ανάγκες του INTERNET αλλά και να εναρμονίζεται στις διεθνείς οδηγίες.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Βιβλιογραφία-Αναφορές

- [1] S. Murugesan, "Going Green with IT: Your responsibility toward Environmental Sustainability", Gutter Business- IT strategies Executive report 2011
- [2] S. Pritchard, "IT Going Green: Forces Pulling in Different Directions", Financial Times 30 May 2007
- [3] Jonathan G. Koomey, PhD "Study of data Center electricity Use in 2010" 31 July 2011
- [4] Rob Snevely, "Enterprise Data Center Design and Methology" , Sun Microsystems 2002
- [5] The Green Grid Association – White papers on metrics
[http:// www.the greengrid. org](http://www.thegreengrid.org)
- [6] Uptime Institute white papers
www.uptimeinstitute.org
- [7] Greg Schulz, "The Green and Virtual Data Center", 2008
- [8] Neil Rasmussen & Wendy Torell, "Comparing Data Center Power Distribution Architectures" Schneider Electric – Data Center Science Center- white paper
- [9] <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html>
- [10] ASHRAE 90427, "*Datacom Equipment Power Trends and Cooling Applications*" ,2005
[https://eweb.ashrae.org/eweb/DynamicPage.aspx?Site=ASHRAE&WebKey=69c74d61-facd-4ca4-ad83-8063ea2de20a&listwhere=\(prd_etab_ext%20LIKE%20%25datacom%25'\)](https://eweb.ashrae.org/eweb/DynamicPage.aspx?Site=ASHRAE&WebKey=69c74d61-facd-4ca4-ad83-8063ea2de20a&listwhere=(prd_etab_ext%20LIKE%20%25datacom%25')).
- [12] <http://www.dchuddle.com/2011/crac-v-crah/>
- [13] EmersonNetworkPower.com, "Choosing a Cooling System to Support Business-Critical IT Environments"-white paper
- [14] The Green Grid, www.thegreengrid.org-white paper
- [15] N.M. Mosharaf Kabir Chowdhury and Raouf Boutaba, A survey of Network Virtualization
- [16] www.vmware.com/whitepaper
- [17] Brian R. Blackmarr, "Cost savings with Virtualization", Fusion LAB SA-white paper/ 2010
- [18] VMware, Survey "Reducing Server Total Cost of Ownership with Virtualization Software" ,2012