ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις data centers

Μεταπτυχιακή εργασία

Ευθυμία – Ελεονώρα Μπανάκου

Αθήνα, 2023

HAROKOPIO UNIVERSITY

SCHOOL OF ENVIRONMENT, GEOGRAPHY AND APPLIED ECONOMICS

DEPARTMENT OF ECONOMICS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

POSTGRADUATE PROGRAMME SUSTAINABLE DEVELOPMENT

COURSE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Environmental impacts of data centers

Master Thesis

Efthymia – Eleonora Banakou

Athens, 2023

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Κωνσταντίνος Αμπελιώτης
Καθηγητής, Τμήμα Οικονομίας και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Κάτια Λαζαρίδη
Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Χρήστος Μιχαλακέλης
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Η Ελεονώρα Μπανάκου

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.

2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

3) Όπου υφίστανται δικαιώματα άλλων δημιουργών έχουν διασφαλιστεί όλες οι αναγκαίες άδειες χρήσης ενώ το αντίστοιχο υλικό είναι ευδιάκριτο στην υποβληθείσα εργασία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο της παρούσας εργασίας κύριο Αμπελιώτη για την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τα μέλη του ΠΜΣ για την ευκαιρία, που μου έδωσαν να ολοκληρώσω τις σπουδές μου στο Χαροκόπειο, όπως και τη Νατάσα Κυρίτση, η οποία μου σύστησε το μεταπτυχιακό.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξη και την εμπιστοσύνη, που δείχνει σε κάθε βήμα μου όλα αυτά τα χρόνια.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη 7
Abstract 9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ 10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ 11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ 12
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ 13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ 14
ΚΕΦ.1: Εισαγωγικές έννοιες κέντρου δεδομένων 16
1.1 Ορισμός Κέντρου Δεδομένων 16
1.2 Κατηγοριοποίηση Κέντρων Δεδομένων 21
1.3 Κατανάλωση Ενέργειας και Χρήση Εξοπλισμού 23
1.4 Πρακτικές Μείωσης της Απαιτούμενης Ενέργειας 24
1.5 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα κέντρου δεδομένων και Ανάλυση Κύκλου Ζωής 26
1.6 Πράσινο κέντρο δεδομένων 28
1.7 Δείκτες Αποδοτικότητας 29
1.8 Οδηγίες βέλτιστης πρακτικής 2021 για τον Κώδικα Δεοντολογίας της ΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κέντρων Δεδομένων 33
ΚΕΦ.2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση 36
2.1 Παρουσίαση Μελετών 36
2.2 Συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης μελετών ΑΚΖ συγκεκριμένου κέντρου δεδομένων 61
ΚΕΦ.3: Βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετών ΑΚΖ των εργαστηρίων της Hewlett Packard (HP Labs) 64
ΚΕΦ.4: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΚΖ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ 78
4.1 Σκοπός και Αντικείμενο της μελέτης 78
4.2 Περιγραφή του Κέντρου Δεδομένων 78
4.4 Καθορισμός των Ορίων του Συστήματος 79
4.5 Πηγές Δεδομένων 82
4.6 Απογραφή Δεδομένων 82
4.7 Παραδοχές και Περιορισμοί 95
ΚΕΦ.5: Αποτελέσματα Μελέτης 98
5.1 Αποτελέσματα 98
5.2 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Στοιχείων Εξοπλισμού και Συγκροτήματος Διακομιστών 107
5.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων με τη Βιβλιογραφία 111
Συμπεράσματα 113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' 121
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' 130
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ' 135

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας υπήρξε η πραγματοποίηση μίας μελέτης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής τύπου διαλογής του κέντρου δεδομένων του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Σκοπός της ΑΚΖ ήταν η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κέντρου. Προκειμένου να καταστεί αυτό μετρήσιμο πραγματοποιήθηκε αναγωγή ως προς την αποθηκευτική ικανότητα. Με βάση την αναγωγή ορίστηκε ως λειτουργική μονάδα το 1 TB αποθηκευτικής ικανότητας μιας μονάδας αποθήκευσης. Το χρονικό όριο προς εξέταση ήταν τα 10 έτη λειτουργίας, ίσο με τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού πληροφορικής.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση, ώστε να διερευνηθούν οι επιπτώσεις των κέντρων δεδομένων και να προσδιοριστεί αφενός ο τρόπος μελέτης των κέντρων αφετέρου αν υπάρχει σύγκλιση με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας.

Για την πραγματοποίηση της μελέτης του κέντρου δεδομένων του Πανεπιστημίου καταρτήθηκε ερωτηματολόγιο προς το προσωπικό λειτουργίας του, προκειμένου να γνωστοποιηθούν το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται, τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του και το προφίλ λειτουργίας του. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα, για να προσδιοριστούν τα άγνωστα δεδομένα και να ληφθούν τα υπολειπόμενα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού από τους κατασκευαστές. Δεδομένου, ότι ο τόπος λειτουργίας ήταν γνωστός, πραγματοποιήθηκε έρευνα και εκτιμήσεις για τα σημεία εξόρυξης των υλών, κατασκευής του εξοπλισμού και τον τρόπο μεταφοράς των συσκευών μέχρι το σημείο λειτουργίας.

Η μοντελοποίηση του συστήματος πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού SimaPro. Ο εξοπλισμός μοντελοποιήθηκε, είτε με στοιχεία από τη βάση δεδομένων, είτε με στοιχεία από τη βιβλιογραφία και το ερωτηματολόγιο σε περιπτώσεις, που οι βάσεις δεν περιείχαν τον απαραίτητο εξοπλισμό ή λειτουργίες.

Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις οφείλονται κυρίως στη λειτουργία του κέντρου δεδομένων και λιγότερο στην παρασκευή του εξοπλισμού. Οι επιπτώσεις του εξοπλισμού περιορίζονται στις κατηγορίες της εξάντλησης των πόρων. Από τα είδη εξοπλισμού, εκείνα που συνεισφέρουν περισσότερο στις επιπτώσεις είναι οι μονάδες ψύξεις και οι διακομιστές. Οι επιπτώσεις αφορούν κυρίως τις κατηγορίες της ανθρώπινης υγείας και των οικοσυστημάτων.

Λέξεις κλειδιά: κέντρο δεδομένων, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, εξοπλισμός πληροφορικής, μονάδες ψύξης, περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Abstract

The aim of this study was the realization of a screening Life Cycle Analysis of the data center of Harokopio University. The purpose of the LCA was to assess the environmental impact of subject center. In order this to be achieved an analysis was conducted in terms of storage capacity. Based on this assumption, the functional unit was defined as 1 TB of storage capacity of a storage unit. The time limit under consideration was 10 years of operation, equal to the lifetime of the IT equipment.

Initially, a literature review was carried out in order to investigate the effects of the data centers and to determine, on one hand, the way of studying the centers and, on the other hand, whether there is convergence in the results of the literature.

In order to disclose the type of equipment used, its basic technical characteristics and the operational profile of the data center, a questionnaire was created for its operational staff. A literature research was then carried out in order to identify the unknown data and obtain the remaining technical characteristics of the equipment from the manufacturers. Given that the site of operation was known, research and assessments were carried out for the points of extraction of the materials, construction of the equipment and transport of the devices to the site of operation.

Modeling of the system was performed using SimaPro software. The equipment was modeled either with data from the database or based on the literature and questionnaire in cases where the bases did not contain the necessary equipment or functions.

The results indicated that the environmental impacts are mainly due to the operation of the data center and less due to the manufacturing of the equipment. Equipment effects are limited to resource depletion categories. Among the different types of equipment, those that contribute most to the impacts are the cooling units and the servers. The impacts mainly concern the categories of human health and ecosystems.

Keywords: life cycle assessment, data center, IT equipment, HVAC, server

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΔΩΜΑΤΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (*ΠΗΓΗ:GOOGLE DATA CENTERS, 2022*) 16
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE DATA CENTERS, 2022*) 17
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΨΥΞΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ (*ΠΗΓΗ:DATA CENTER KNOWLEDGE, 2012*) 18
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΥΨΩΜΕΝΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ (*ΠΗΓΗ: BERGVIK, 2023*) 19
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΨΥΞΗΣ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE DATA CENTERS, 2022*) 20
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE DATA CENTERS, 2022*) 21
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΔΩΜΑΤΙΟ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE DATA CENTERS, 2022*) 22
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΑΠΕ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE DATA CENTERS, 2022*) 25
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE DATA CENTERS, 2022*) 27
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ (*ΠΗΓΗ: CLANCY, 2022*) 29
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΩΝ ΚΑΘΕ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ (*ΠΗΓΗ: HONEE ET AL., 2012*) 38
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΑΥΞΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΞΥ 2015 ΚΑΙ 2030 ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ (*ΠΗΓΗ: DANDRES ET AL., 2016*) 44
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ (*ΠΗΓΗ: DANDRES ET AL., 2016*) 46
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ HP (*ΠΗΓΗ: PENAHERRERA ET AL., 2019*) 47
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ (*ΠΗΓΗ: PENAHERRERA ET AL., 2019*) 48
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΚΖ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ (*ΠΗΓΗ: SHAH ET AL., 2012*) 52
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ (*ΠΗΓΗ: WHITEHEAD ET AL., 2015B*) 55
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΘΕ ΕΙΔΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ (*ΠΗΓΗ: WHITEHEAD ET AL., 2015B*) 56
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΔΟΣΕΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (*ΠΗΓΗ: WHITEHEAD ET AL., 2014*) 61
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΘΕ ΕΙΔΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ (*ΠΗΓΗ: SHAH ET AL., 2011*) 68
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΝΕΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ (*ΠΗΓΗ: MARWAH ET AL., 2010*) 70
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΝΤΕ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ. ΕΞΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ (*ΠΗΓΗ: MARWAH ET AL., 2010*) 71
ΕΙΚΟΝΑ 23 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΗ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (*ΠΗΓΗ: CHANG ET AL., 2012*) 72
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΡΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΩΝ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΞΕΡΓΕΙΑ (*ΠΗΓΗ: CHANG ET AL., 2012*) 74
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΌΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΚΖ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ 79
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (*ΠΗΓΗ: REN AND ZHAO, 2014*) 91
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΣΟΦΙΑ – ΚΑΛΛΙΘΕΑ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS, 2023*) 130
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΡΟΤΤΕΡΝΤΑΜ – ΣΟΦΙΑ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS, 2023*) 131
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΧΑΝΑΟΥ – ΚΑΛΛΙΘΕΑ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS, 2023*) 131
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΡΟΤΤΕΡΝΤΑΜ – ΧΑΝΑΟΥ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS, 2023*) 132
ΕΙΚΟΝΑ 31 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΧΕΡΤΟΓΚΕΝΜΠΟΣ – ΚΑΛΛΙΘΕΑ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS,2023*) 132
ΕΙΚΟΝΑ 32 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΡΟΤΤΕΡΝΤΑΜ – ΧΕΡΤΟΓΚΕΝΜΠΟΣ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS, 2023*) 133
ΕΙΚΟΝΑ 33 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΛΟΤΖ – ΚΑΛΛΙΘΕΑ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS,2023*) 133
ΕΙΚΟΝΑ 34 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΡΟΤΤΕΡΝΤΑΜ – ΛΟΤΖ (*ΠΗΓΗ: GOOGLE MAPS,2023*) 134

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΛΑΣΕΙΣ TIER (*ΠΗΓΗ: YUVENTI AND MEHDIZADEH, 2013*) 22
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΔΕΙΚΤΗ PUE (*ΠΗΓΗ: CHO AND KIM, 2016*) .. 31
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΤΜΗΜΑΤΑ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (*ΠΗΓΗ: ACTON ET AL., 2021*) 33
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΠΗΓΗ: SHAH ET AL., 2012) 50
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ 61
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SIMAPRO ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΟΥΣ 80
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ 83
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ (*ΠΗΓΗ: HEWLETT PACKARD, 2023*) 83
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ (*ΠΗΓΗ: HEWLETT PACKARD, 2023 ΚΑΙ HINTEMANN ET AL.,2020*) 85
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (*ΠΗΓΗ: HEWLETT PACKARD, 2023, INFORTRED, 2023, SUPERMICRO, 2021, US DELL, 2023*) 86
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ 86
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ (*ΠΗΓΗ: HINTEMANN ET AL., 2020)* 87
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΩΝ ΨΥΞΗΣ (*ΠΗΓΗ: SCHNEIDER ELECTRIC, 2023*) 88
ΠΙΝΑΚΑΣ 14 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (*ΠΗΓΗ: GHONGE AND HAKALAHTI, 2012 ΚΑΙ SCHNEIDER ELECTRIC, 2023*) 89
ΠΙΝΑΚΑΣ 15 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ (*ΠΗΓΗ: GRIGNON-MASSE ET AL., 2011 ΚΑΙ REN AND ZHAO, 2014*) 90
ΠΙΝΑΚΑΣ 16 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ (*ΠΗΓΗ: GRIGNON-MASSE ET AL., 2011 ΚΑΙ HP PRODESK, 2023*) 90
ΠΙΝΑΚΑΣ 17 ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΕ ΚΜ (*ΠΗΓΗ:BEKKERS ET AL., 2016, GOOGLE MAPS, 2022*) 92
ΠΙΝΑΚΑΣ 18 ΒΑΡΟΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΤΚΜ 92
ΠΙΝΑΚΑΣ 19 ΕΤΗΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΕΚΑΕΤΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ 94
ΠΙΝΑΚΑΣ 20 ΑΠΟΤΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ SIMAPRO (DAMAGE ASSESSMENT) 135
ΠΙΝΑΚΑΣ 21 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ SIMAPRO (IMPACT CATEGORY) 136

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

ΓΡΑΦΗΜΑ 1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ / UPS (*ΠΗΓΗ: GHONGE AND HAKALAHTI, 2012*) 89
ΓΡΑΦΗΜΑ 2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ ΕΛΛΑΔΑΣ 2020 ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (ΠΗΓΗ: *ΔΑΠΕΕΠ, 2023*) 95
ΓΡΑΦΗΜΑ 3 ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ 98
ΓΡΑΦΗΜΑ 4 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΘΕ ΕΙΔΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ. ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ 99
ΓΡΑΦΗΜΑ 5 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ 100
ΓΡΑΦΗΜΑ 6 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΘΕ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ 102
ΓΡΑΦΗΜΑ 7 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΕΣ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ 102
ΓΡΑΦΗΜΑ 9 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ 103
ΓΡΑΦΗΜΑ 8 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ 104
ΓΡΑΦΗΜΑ 10 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΜΒΟΛΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ 22 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ 105
ΓΡΑΦΗΜΑ 11 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ 22 ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ 107
ΓΡΑΦΗΜΑ 12 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ 22 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ 109
ΓΡΑΦΗΜΑ 13 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΡΑΦΕΙΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ 22 ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ 110

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ/ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

ΑΚΖ	Ανάλυση Κύκλου Ζωής
CEM	Cumulated Energy Demand
CMD	Cumulated Material Demand
COP	Coefficient of Performance
CUE	Carbon Usage Effectiveness
DC	Data Center / Κέντρο Δεδομένων
DCiE	Data Center Infrastructure Energy
DCE	Data Center Efficiency
DCP	Data Center Productivity
HVAC	Μονάδες Ψύξης και Κλιματισμού
IT	Information Technology / Πληροφορική
LCA	Life Cycle Assessment
OPEX	Operational Expenses / Λειτουργικά Έξοδα
PDU	Σύστημα Μετάδοσης Ρεύματος / Power Distribution System
PUE	Power Usage Effectiveness
PWB	Τυπωμένη Πλακέτα Καλωδίωσης / Printed Wiring Board
REF	Renewable Energy Factor
UPS	Μονάδα Αδιάλειπτης Παροχής Ρεύματος / Uninterruptible Power Supply
WUE	Water Usage Effectiveness

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ταχεία εξέλιξη των τεχνολογιών πληροφορικής και οι δυνατότητες, που προσέφεραν, σηματοδότησε τη διάδοσή τους τόσο στον επαγγελματικό χώρο όσο και στην προσωπική σφαίρα. Κάθε μέρα εκατομμύρια πληροφορίες μεταδίδονται και αποθηκεύονται σε ολόκληρο τον πλανήτη, ο οποίος πλέον αποτελεί ένα διασυνδεδεμένο σύστημα. Εξαιτίας του μεγάλου όγκου πληροφοριών, που απαιτούν διαχείριση, μεγάλα κέντρα δεδομένων έχουν κατασκευαστεί και η τάση είναι να κατασκευάζονται και άλλα με ακόμα μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα και επεξεργαστική ισχύ.

Τα κέντρα αυτά αποτελούν ενεργοβόρες εγκαταστάσεις. Η αυξανόμενη ζήτησή τους σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια οδήγησε στην αύξηση της ανησυχίας σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που ενδέχεται να έχουν.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία αποσκοπεί στον προσδιορισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του κέντρου δεδομένων, που φιλοξενούν οι εγκαταστάσεις του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου.

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, στο πρώτο κεφάλαιο επιχειρείται η περιγραφή των κέντρων δεδομένων και των ειδών εξοπλισμού από τα οποία αποτελείται. Επιχειρείται επίσης ο προσδιορισμός των ενεργειακών τους αναγκών, των δεικτών απόδοσής τους και τα περιθωρίων βελτίωσης, ώστε να καταστούν πιο πράσινα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται ανασκόπηση προηγούμενων μελετών της βιβλιογραφίας, ώστε να προσδιοριστούν τα στοιχεία, που συμβάλλουν περισσότερο στις επιπτώσεις και ο τρόπος μελέτης των κέντρων.

Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση της έρευνας της εταιρίας HP Labs, η οποία έχει εκδώσει μελέτες, οι οποίες στοχεύουν στην ανάλυση της κατανάλωσης των διακομιστών και σε καινοτόμο σχεδιασμό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η έρευνα και γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί για τη μοντελοποίηση του κέντρου δεδομένων. Η μοντελοποίηση και η εξαγωγή αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού SimaPro. Τέλος, αναφέρονται τα αποτελέσματα και πραγματοποιείται σύγκρισή τους με εκείνα της βιβλιογραφίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα της έρευνας.

ΚΕΦ.1: Εισαγωγικές έννοιες κέντρου δεδομένων

1.1 Ορισμός Κέντρου Δεδομένων

Σύμφωνα με το Green Grid, το οποίο αποτελεί κοινοπραξία εταιριών, κυβερνητικών φορέων και εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, που αποσκοπεί στην προώθηση της ενεργειακής απόδοσης των κέντρων δεδομένων, ένα κέντρο δεδομένων «είναι μία δομή ή μία ομάδα δομών αφιερωμένη στην κεντρική στέγαση, διασύνδεση και λειτουργία της πληροφορικής και του εξοπλισμού δικτύων τηλεπικοινωνιών, που παρέχει υπηρεσίες αποθήκευσης, επεξεργασίας και μεταφοράς δεδομένων». Περιλαμβάνει όλες τις υποδομές και τις εγκαταστάσεις μετάδοσης ισχύος και περιβαλλοντικού ελέγχου, παρέχοντας παράλληλα το απαραίτητο επίπεδο ανθεκτικότητας και ασφάλειας, που απαιτούνται για τη διαθεσιμότητα των επιθυμητών υπηρεσιών.» (Garnier et a., 2012)

Εικόνα 1 Δωμάτιο εξοπλισμού πληροφορικής κέντρου δεδομένων (*Πηγή:Google Data Centers, 2022*)

Σύμφωνα με τους Uddin και Rahman (2012) τα κέντρα δεδομένων αποτελούν εγκαταστάσεις με υποδομές εξοπλισμού πληροφορικής και επικοινωνιών σε μεγάλη πυκνότητα (όπως διακομιστές και συσκευές αποθήκευσης για την επεξεργασία, αποθήκευση και μετάδοση δεδομένων), καθώς επίσης υποδομές ψύξης και μετάδοσης ισχύος. Υποστηρίζουν τις δραστηριότητες εταιριών, κυβερνήσεων, οργανισμών,

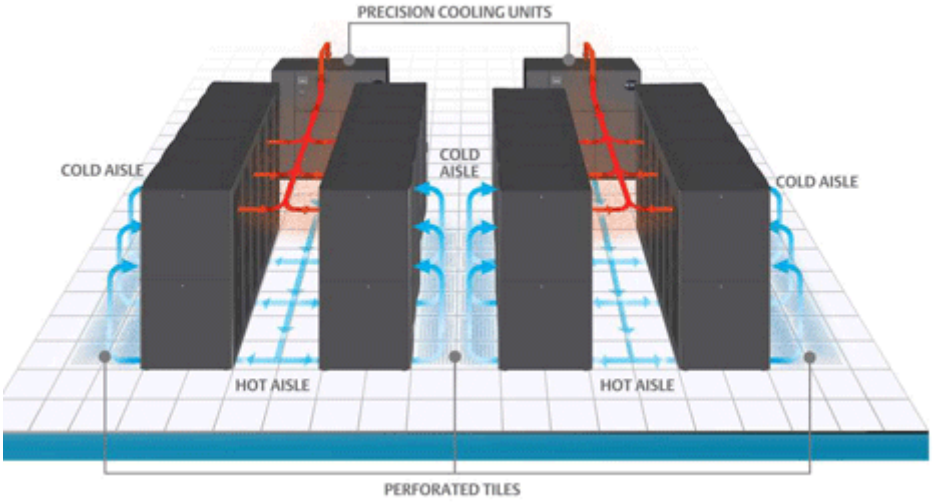
πανεπιστήμιων στον τομέα της διαχείρισης του μεγάλου όγκου δεδομένων, ιδιαίτερα στον τομέα του internet και των εμπορικών συναλλαγών (Uddin and Rahman, 2012).

Εικόνα 2 Κτιριακές εγκαταστάσεις κέντρου δεδομένων (*Πηγή: Google Data Centers, 2022*)

Οι Yuventi και Mehdizadeh (2013) ορίζουν ως κέντρο δεδομένων οποιοσδήποτε χώρο, ο οποίος αποσκοπεί στη στέγαση διακομιστών ή άλλων ηλεκτρονικών συσκευών, οι οποίες εκτελούν υπολογιστικές λειτουργίες. Συνήθως ο όρος χρησιμοποιείται για ολόκληρα κτίρια, των οποίων ο σκοπός είναι η στέγαση τέτοιου είδους εξοπλισμού. Τα κτίρια αυτά δεν είναι σχεδιασμένα, για να φιλοξενούν ανθρώπινο δυναμικό: το ανθρώπινο δυναμικό περιορίζεται στο προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης των εγκαταστάσεων. Τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα αποτελούν το 70% του κόστους κατασκευής των κέντρων αυτών. Χρησιμοποιούνται κυρίως για διαδικτυακές ή γενικότερα δικτυακές εργασίες. Φιλοξενούν διακομιστές, οι οποίοι αποθηκεύουν ή επεξεργάζονται ηλεκτρονικά δεδομένα, επικοινωνούν με άλλα δίκτυα, διαχειρίζονται αλληλεπιδράσεις με ιστοσελίδες (web portals) και λογισμικό, το οποίο είναι εγκατεστημένο σε συγκεκριμένους διακομιστές. Όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται για αποθήκευση δεδομένων εταιριών, οργανισμών και κυβερνήσεων, όπως και για προσωπικά δεδομένα, για παράδειγμα αλληλογραφία χρηστών ηλεκτρονικών υπηρεσιών (Yuventi and Mehdizadeh, 2013).

Στους παραπάνω ορισμούς αναφέρθηκε, ότι τα κέντρα δεδομένων μπορούν να περιέχουν δημόσια δεδομένα (όπως αυτά, που εμφανίζονται στις διαδικτυακές αναζητήσεις) ή ιδιωτικά, όπως δεδομένα εταιριών και οργανισμών. Ανάλογα με το πόσο σημαντικά δεδομένα φιλοξενούν είναι σχεδιασμένα με διαφορετική:

- Αξιοπιστία: δηλαδή η πιθανότητα ένα στοιχείο εξοπλισμού να αστοχήσει μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας. Όσο μικρότερη είναι αυτή η πιθανότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αξιοπιστία.
- Διαθεσιμότητα: δηλαδή ο μέσος χρόνος, κατά τον οποίο η συσκευή λειτουργεί κανονικά για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (συνήθως ένα έτος).
- Εφεδρεία: δηλαδή πρόσθετες / υποστηρικτικές συσκευές ή άλλες υποδομές, οι οποίες εγγυώνται την αδιάλειπτη λειτουργία του κέντρου δεδομένων (Whitehead et al.. 2014).



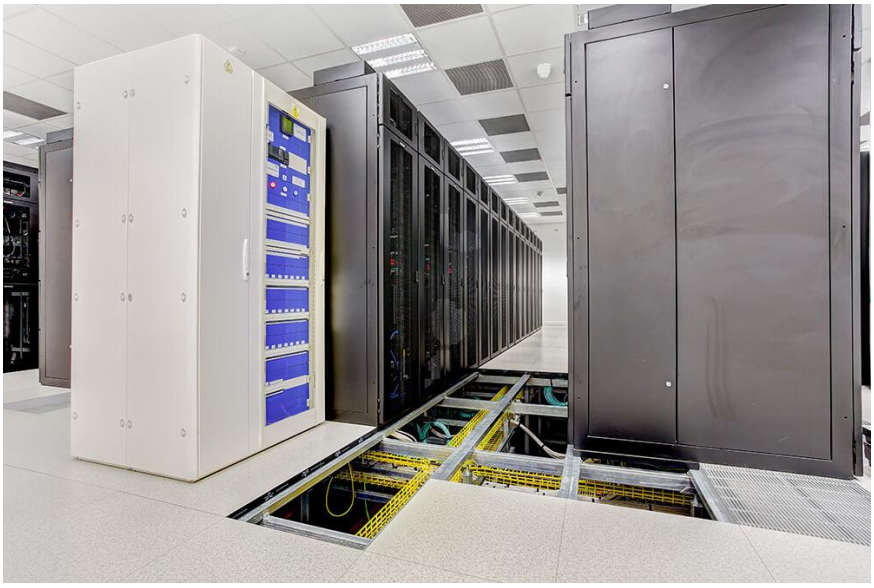
Εικόνα 3 Απεικόνιση τεχνολογίας ψύξης εξοπλισμού πληροφορικής (*Πηγή:Data Center Knowledge, 2012*)

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις, δηλαδή όταν γίνεται αναφορά σε μεγάλα κτίρια, περιέχουν αίθουσες (ή θαλάμους) δεδομένων, στις οποίες είναι τοποθετημένα ράφια γεμάτα εξοπλισμό πληροφορικής. Ο υπόλοιπος χώρος καλύπτεται από τις εγκαταστάσεις μετάδοσης ισχύος και ψύξης. Η επιφάνεια του δαπέδου, που απαιτείται, για να φιλοξενήσει τις βοηθητικές αυτές εγκαταστάσεις, μπορεί να είναι από δύο έως τέσσερις φορές η έκταση, που χρειάζονται οι υποδομές των υπηρεσιών πληροφορικής (Whitehead et al., 2014).

Επειδή η ψύξη αποτελεί σημαντικό συντελεστή της ομαλής λειτουργίας των κέντρων αυτών, έχει δοθεί μεγάλη βαρύτητα στο σχεδιασμό του συστήματος ψύξης σε συνδυασμό με τη χωροθέτηση του εξοπλισμού πληροφορικής.

Ένας χαρακτηριστικός σχεδιασμός για την ψύξη του χώρου του εξοπλισμού πληροφορικής είναι η διάταξη θερμού / ψυχρού διαδρόμου. Επειδή η πυκνότητα ισχύος και συνεπώς ο απαιτούμενος όγκος αέρα ψύξης συνεχώς αυξάνεται, χρειάστηκε ένας σχεδιασμός των διατάξεων, ο οποίος να εξασφαλίζει, ότι ο θερμός και ο ψυχρός αέρας ακολουθεί συγκεκριμένη κατεύθυνση μέσα στο δωμάτιο, ώστε η ψύξη και η απαγωγή θερμότητας να είναι ελεγχόμενη και αποτελεσματική. Επομένως ο ψυχρός αέρας εισόδου (ψύξης) ακολουθεί διαφορετικές οδούς από τον θερμό αέρα εξόδου (απαγμένης θερμότητας) (Acton et al., 2021).

Ο χαρακτηριστικός σχεδιασμός των ανυψωμένων δαπέδων στοχεύει στη διευκόλυνση της κυκλοφορίας των ροών ζεστού και κρύου αέρα. Τα ανοίγματα του υπερυψωμένου δαπέδου ρυθμίζονται έτσι, ώστε να μειώνεται η παράκαμψη και η επανακυκλοφορία αέρα. Οι σειρές απαιτείται να είναι συνεχείς για την αποτελεσματική ρύθμιση, σχεδιασμός που ενδεχομένως συνεπάγεται εγκατάσταση κενών ντουλαπιών (Acton et al., 2021).



Εικόνα 4 Τεχνολογία ανυψωμένου δαπέδου (*Πηγή: Bergvik, 2023*)

Οι εγκαταστάσεις ψύξης αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Θάλαμοι ψύξης (chillers)

- Κλιματιστικές μονάδες θαλάμου διακομιστών (Computer Room Air Conditioning Units - CRACs)
- Μονάδες διαχείρισης αέρα άμεσης εκτόνωσης (Direct Expansion Air (DX) Handler Units)
- Αντλίες (Pumps)
- Πύργοι ψύξης (cooling towers)
- Διάφορα άλλα στοιχεία όπως φωτισμός

Εικόνα 5 Εγκαταστάσεις ψύξης (*Πηγή: Google Data Centers, 2022*)

Σημαντικό τμήμα των επιφανειών καλύπτεται και από τα συστήματα διαβίβασης του ηλεκτρικού ρεύματος, για τη λειτουργία τόσο των συστημάτων πληροφορικής όσο και των λοιπών βοηθητικών συστημάτων. Οι εγκαταστάσεις μετάδοσης ισχύος αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τροφοδοτικό σύστημα αδιάλειπτης ισχύος (Uninterruptible Power Supply - UPS)
- Εξοπλισμός μεταγωγής (switch gear)
- Γεννήτριες (generators)
- Διατάξεις διανομής ισχύος (Power Distribution Units - PDUs)
- Μπαταρίες (batteries)
- Απώλειες διανομής εκτός του εξοπλισμού πληροφορικής

Εικόνα 6 Εξοπλισμός μετάδοσης ρεύματος κέντρου δεδομένων (*Πηγή: Google Data Centers, 2022*)

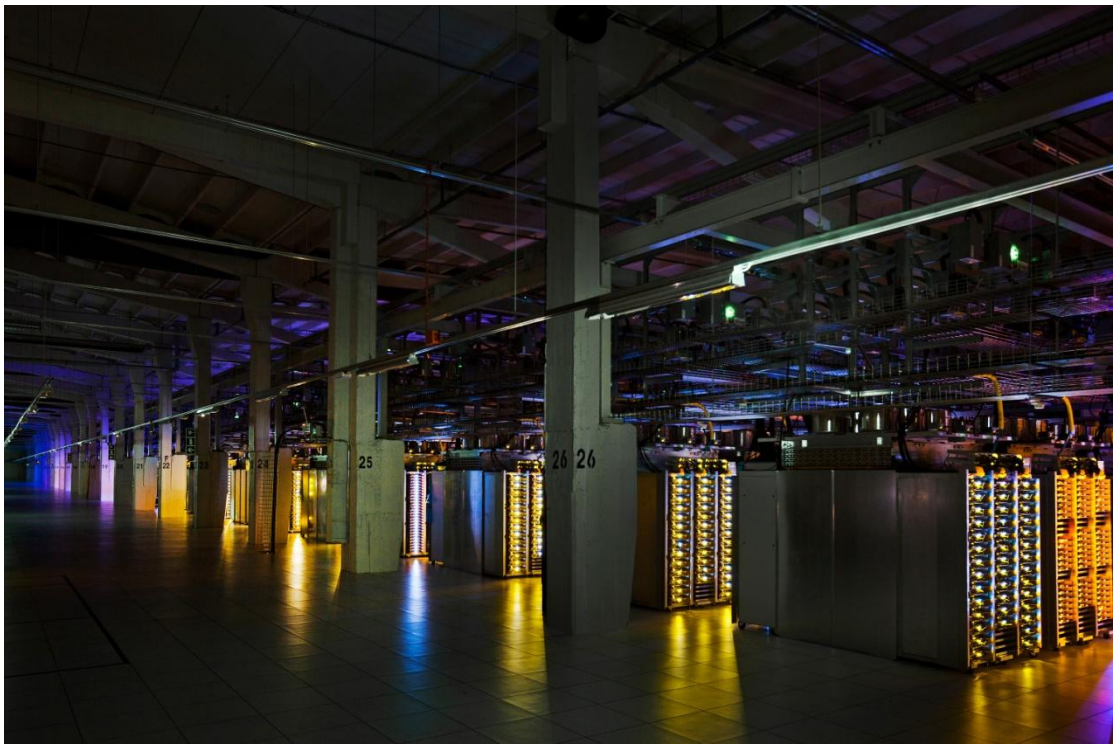
Τέλος, ο βασικός εξοπλισμός πληροφορικής, ο οποίος αποτελεί άλλωστε και το σημείο εστίασης, περιλαμβάνει:

- Συσκευές διακομιστών (server machines)
- Μηχανές πελάτη (client machines)
- Υποδομές δικτύου (network equipments)
- Συσκευές αποθήκευσης (storage equipments)
- Διακόπτες KVM
- Οθόνες (monitors)
- Σταθμοί εργασίας (workstations)/φορητοί υπολογιστές για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του κέντρου δεδομένων (Uddin and Rahman, 2012)

1.2 Κατηγοριοποίηση Κέντρων Δεδομένων

Προκειμένου να διατηρούνται όλα τα στοιχεία του εξοπλισμού πληροφορικής και ειδικότερα οι διακομιστές σε σταθερές θερμοκρασίες μικρότερες συγκεκριμένων τιμών, από τις οποίες και πάνω αυξάνονται οι πιθανότητες αστοχίας του εξοπλισμού, υπάρχει συνεχής παροχή ψύξης μέσω συστημάτων εξαερισμού και κλιματισμού. Για την αποφυγή αστοχιών υπάρχει εγκατεστημένος εφεδρικός εξοπλισμός πληροφορικής, αλλά και εφεδρικός εξοπλισμός ψύξης και μετάδοσης ισχύος. Η εφεδρεία αυξάνει την

αξιοπιστία. Γι' αυτό το λόγο τα συστήματα εφεδρείας αποτελούν μέσο αξιολόγησης και κατάταξης των κέντρων δεδομένων. Ανάλογα με την αξιοπιστία τους, τα κέντρα δεδομένων κατατάσσονται σε επίπεδα Tier (Yuventi and Mehdizadeh, 2013).



Εικόνα 7 Δωμάτιο διακομιστών και μονάδων αποθήκευσης (*Πηγή: Google Data Centers, 2022*)

Επομένως, οι κλάσεις Tier αναφέρονται στο βοηθητικό εξοπλισμό (ψύξης και μετάδοσης ισχύος) και ουσιαστικά αντανακλούν τον τρόπο με τον οποίο θα λειτουργήσει και θα συμπεριφερθεί το σύστημα σε προγραμματισμένες και απρόσμενες διακοπές. Η αντίδραση του συστήματος σε κάποιο πρόβλημα και η δυνατότητά του να συνεχίζει να εκτελεί τις λειτουργίες του αποτελεί την ενσωματωμένη στο σχεδιασμό εφεδρεία του. Τα κέντρα δεδομένων κατατάσσονται σε τέσσερις κλάσεις Tier I-IV, με τη σημασία κάθε κλάσης να αναγράφεται στον ακόλουθο πίνακα (Whitehead et al., 2014):

Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση κέντρων δεδομένων σε κλάσεις Tier (*Πηγή: Yuventi and Mehdizadeh, 2013*)

Tier		Επίπεδο υποδομών κέντρου δεδομένων
Tier I	Βασική χωρητικότητα	Η συντήρηση και οι εργασίες επισκευής του εξοπλισμού απαιτούν την παύση λειτουργίας. Αστοχίες στη χωρητικότητα ή τη διανομή επηρεάζουν τη λειτουργία.
Tier II	Χωρητικότητα με εφεδρικά	Η μεγάλης κλίμακας συντήρηση απαιτεί παύση λειτουργίας. Αστοχίες στη

	συστήματα	διανομή επηρεάζουν τη λειτουργία. Αστοχίες στη χωρητικότητα ίσως επηρεάσουν τη λειτουργία.
Tier III	Διατήρηση λειτουργίας	Κάθε στοιχείο εξοπλισμού ή διανομής μπορεί να αφαιρεθεί για προγραμματισμένη συντήρηση, χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία του συστήματος. Το σύστημα είναι εκτεθειμένο σε λάθη χειριστή και σε αστοχίες εξοπλισμού.
Tier IV	Ανοχή σε σφάλματα	Μεμονωμένες βλάβες εξοπλισμού ή διανομής δεν επηρεάζουν τη λειτουργία. Μπορεί επίσης να διατηρηθεί ένας ιστότοπος ανεκτικός σε αστοχίες.

1.3 Κατανάλωση Ενέργειας και Χρήση Εξοπλισμού

Η αυξημένες σύγχρονες ανάγκες σε αποθήκευση, επικοινωνία και υπολογιστική ισχύ οδήγησαν σε όλο και μεγαλύτερα και πολυπλοκότερα κέντρα δεδομένων, στα οποία στηρίζονται οι σημερινές οικονομικές, εμπορικές και διαδικτυακές εφαρμογές. Τα κέντρα δεδομένων αποτελούνται από χιλιάδες διακομιστές, οι οποίοι χρειάζονται μεγάλα ποσά ενέργειας προκειμένου να εκτελέσουν τις υπολογιστικές τους λειτουργίες, γεγονός, που συνεπάγεται υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Uddin and Rahman, 2012).

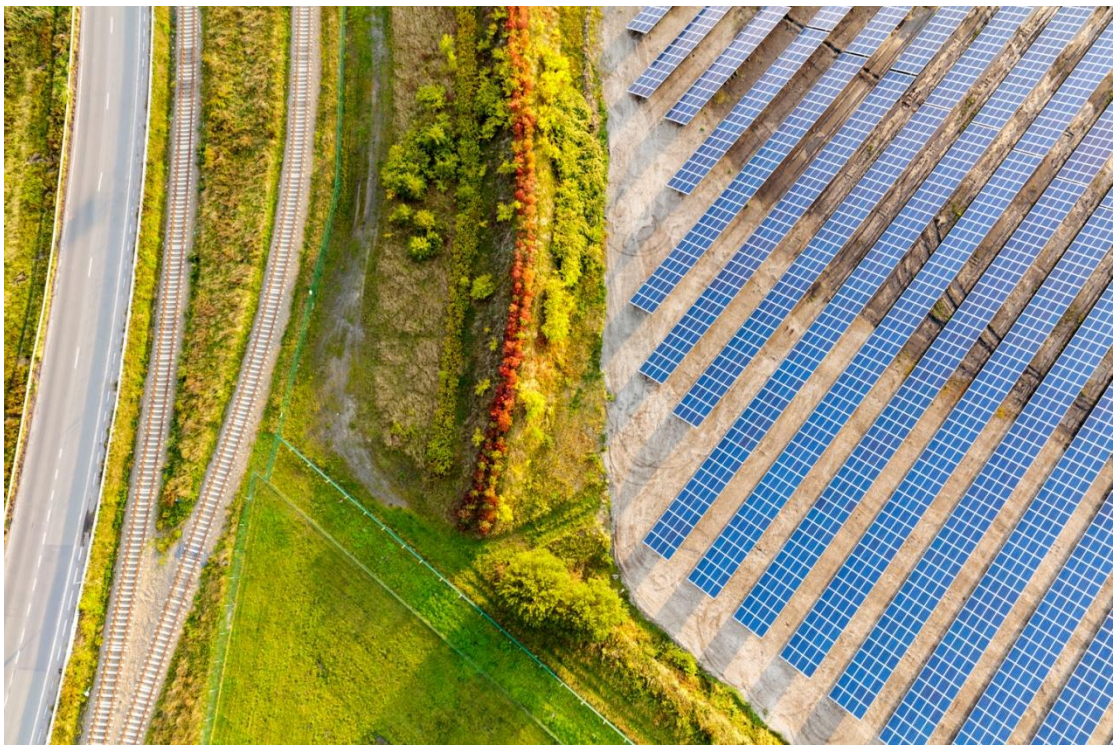
Παρότι η «καρδιά» ενός κέντρου δεδομένων είναι ο εξοπλισμός πληροφορικής, σημαντικό τμήμα των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια (εκτιμάται στο 50%) καταναλώνεται από τον βοηθητικό εξοπλισμό, δηλαδή τον εξοπλισμό ψύξης και μετάδοσης ισχύος (Uddin and Rahman, 2012). Από το 50%, το 33% καταναλώνει το σύστημα ψύξης. Ο λόγος, για τον οποίο το σύστημα ψύξης καταναλώνει τόσο μεγάλη ισχύ, είναι οι μεγάλες ποσότητες θερμότητας, οι οποίες απαιτείται να απαχθούν από τον εξοπλισμό πληροφορικής. Ο εξοπλισμός πληροφορικής ανεβάζει υψηλές θερμοκρασίες και εκλύει αυτά τα ποσά εξαιτίας της μεγάλης πυκνότητάς του (Cho and Kim, 2016). Η υψηλή ενεργειακή του πυκνότητα, περίπου 1,08 KW/m^2, οφείλεται στην ανάγκη του για μεγιστοποίηση του εξοπλισμού στο μικρότερο δυνατό χώρο (Yuventi and Mehdizadeh, 2013). Επομένως, όσο προχωρά η τεχνολογία και αυξάνεται η πυκνότητα του εξοπλισμού χωρίς να αλλάζει ο σχεδιασμός του, τόσο αυξάνονται και οι απαιτήσεις ψύξης, η οποία οφείλει να είναι συνεχώς σταθερή (σταθερό φορτίο) (Cho and Kim, 2016).

Ο ίδιος ο εξοπλισμός πληροφορικής είναι υπερδιαστασιολογημένος, δηλαδή τα κέντρα προμηθεύονται περισσότερους διακομιστές απ' ότι συνήθως χρειάζονται, προκειμένου ν' αντιμετωπίσουν επιτυχημένα αστοχίες εξοπλισμού και μέγιστα φορτία, με αποτέλεσμα κατά μέσο όρο το 30% των διακομιστών να βρίσκεται σε αδράνεια (idle) το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ποσοστό το οποίο μπορεί να φτάσει έως και 90%. Αυτό συνεπάγεται χαμηλό βαθμό χρησιμοποίησης (utilization ratio) συνήθως μεταξύ 5%-10% και αναλογικά μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με το χρήσιμο έργο που παράγουν, γεγονός το οποίο συνεπάγεται μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να αποφευχθούν. Για το λόγο αυτό γίνεται προσπάθεια να εφαρμοστούν τεχνικές μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης. Από αυτές τις τεχνικές χαρακτηριστικές είναι η χρήση δεικτών κατανάλωσης (π.χ. ενέργειας, νερού) και η χρήση τεχνολογιών cloud (Uddin and Rahman, 2012).

1.4 Πρακτικές Μείωσης της Απαιτούμενης Ενέργειας

Προκειμένου να ελαττώσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι υπεύθυνοι για τη λειτουργία των κέντρων δεδομένων έχουν αρχίσει να αξιολογούν τις διαφορετικές τοποθεσίες, ως προς τη δυνατότητα χρήσης αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος και τη δυνατότητα χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος προερχόμενου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα μεγάλα κέντρα δεδομένων μπορούν να επιλέξουν να ηλεκτροδοτούνται με ρεύμα από ανανεώσιμες πηγές, οι εγκαταστάσεις των οποίων βρίσκονται πλησίον του κέντρου ή μακρύτερα. Εναλλακτικά, μπορούν να επιλέγουν να ηλεκτροδοτούνται από συγκεκριμένους, πιστοποιημένους παραγωγούς ρεύματος (Depoorter et al., 2015).

Παραδείγματα τέτοιων πρακτικών είναι το κέντρο δεδομένων της Emerson, το οποίο εγκατέστησε ηλιακό πάρκο 100 KW στο Missouri η εταιρία Intel, η οποία εγκατέστησε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών ισχύος 10 KW δίπλα στο κέντρο δεδομένων της στο Νέο Μεξικό κι ένα μικρό κέντρο δεδομένων στο Illinois, το οποίο προμηθεύεται ρεύμα εξ' ολοκλήρου από αιολική ενέργεια ισχύος 500 KW (Depoorter et al., 2015). Οι εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών (συνήθως φωτοβολταϊκών) μπορούν να είναι ακόμα μεγαλύτερες, όπως συμβαίνει με το παράδειγμα της Apple, η οποία εγκατέστησε φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 40 MW στη Βόρεια Καρολίνα και η Mc-Graw Hill, η οποία επένδυσε σε φωτοβολταϊκό τόξο 14 MW για το κέντρο δεδομένων της. Εξάλλου, η τάση για ηλεκτροδότηση από ΑΠΕ επιταχύνεται όσο παρέχονται κίνητρα και όσο ανεβαίνουν οι τιμές ηλεκτρισμού και τα κόστη επενδύσεων (Goiri et al., 2015).



Εικόνα 8 Παραγωγή ενέργειας για λειτουργία κέντρων δεδομένων από ΑΠΕ (*Πηγή: Google Data Centers, 2022*)

Στην περίπτωση ψύξης απευθείας με εξωτερικό αέρα περιβάλλοντος, για την επιλογή της καταλληλότητας της μεθόδου και το σωστό σχεδιασμό, εκτός από τις ετήσιες θερμοκρασίες, λαμβάνονται υπ' όψη και τα επίπεδα υγρασίας του αέρα (Depoorter et al., 2015).

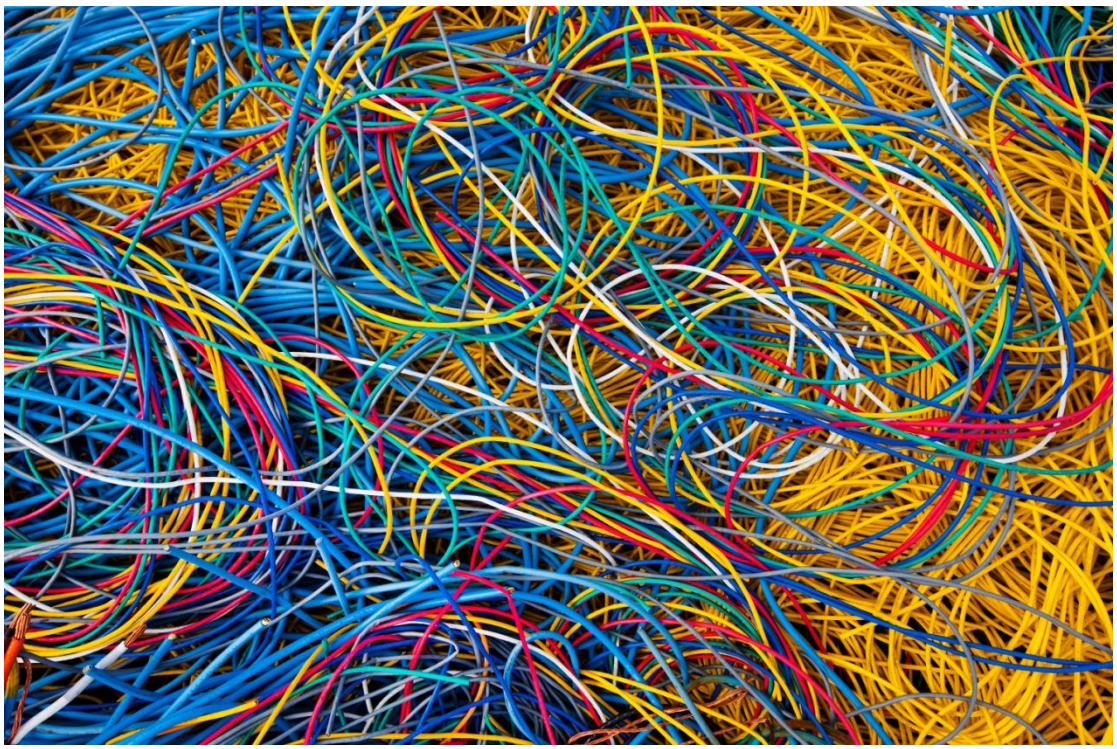
Άλλες λύσεις οι οποίες εξετάζονται, είναι η προμήθεια αέρα ψύξης και ρεύματος από εγκαταστάσεις συμπαραγωγής και από τεχνολογίες τηλεψύξης (district cooling) σε συνδυασμό με οροφές ψύξης (Depoorter et al., 2015). Για την επίτευξη υψηλότερης απόδοσης του συστήματος ψύξης χρησιμοποιούνται υπολογιστικές μέθοδοι, όπως η μοντελοποίηση μέσω της υπολογιστικής ρευστομηχανικής, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ενέργεια που παρέχουν οι συσκευές κλιματισμού. Η τοποθέτηση του εξοπλισμού πληροφορικής σε θερμούς και ψυχρούς διαδρόμους (αέρα), ο νεότερος ενεργειακά αποδοτικός σχεδιασμός διακομιστών, οι τεχνολογίες δυναμικής διαχείρισης των μονάδων ψύξης ανάλογα με το φορτίο, οι θερμικοί διάδρομοι (aisle containment) και η εικονοποίηση (virtualization) είναι άλλες λύσεις αύξησης της απόδοσης της ψύξης, που εφαρμόζονται. Μία ιδέα υπήρξε η απευθείας παροχής των κέντρων δεδομένων με συνεχές ρεύμα (DC) (HP, 2012).

Όλες αυτές οι λύσεις αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων βελτιώνει ακόμη περισσότερο την περιβαλλοντική συμπεριφορά του κτιρίου (Depoorter et al., 2015).

1.5 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα κέντρου δεδομένων και Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κέντρων δεδομένων προέρχονται τόσο από την παραγωγή του εξοπλισμού, όσο και από τη λειτουργία του. Η παραγωγή των ηλεκτρονικών και μη ηλεκτρονικών τμημάτων του εξοπλισμού καταναλώνει ενέργεια, συνήθως προερχόμενη από μη ανανεώσιμες πηγές και πρώτες ύλες, απαιτεί χημικές ουσίες και νερό και τέλος παράγει επικίνδυνα απόβλητα. Παρότι η υπερδιαστασιολόγηση των κέντρων δεδομένων συνεπάγεται πραγματική κατανάλωση ισχύος μικρότερη από την εγκατεστημένη, το μεγάλο τμήμα εξοπλισμού σε εφεδρεία καταναλώνει ενέργεια, οπότε όσο αυξάνονται οι υπολογιστικές ή αποθηκευτικές ανάγκες τόσο αυξάνεται η κατανάλωση ενέργειας και επομένως η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η συχνή αλλαγή του ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ο μέσος χρόνος ζωής είναι τρία έως πέντε έτη) συνεπάγεται παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων τοξικών αποβλήτων (Uddin and Rahman, 2012).

Προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και τα συνεπαγόμενα ολοένα και υψηλότερα λειτουργικά κόστη (ηλεκτρισμού), ο κλάδος κινείται στην κατεύθυνση της απόκτησης διαχειριστικού πλαισίου χρήσης ενέργειας, του διαφορετικού σχεδιασμού των κέντρων, της διαφορετικής διάταξης των διαφόρων εγκαταστάσεων ή σε διαφορετικές τοποθεσίες (περιοχές με ψυχρότερο κλίμα), στη χρήση βιοαποδομήσιμων υλικών, στην παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων κατανάλωσης και απόδοσης και σε σχετικές πιστοποιήσεις και σε μεθόδους υπολογισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κέντρων (Uddin and Rahman, 2012).



Εικόνα 9 Καλωδίωση (*Πηγή: Google Data Centers, 2022*)

Μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους αποτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος είναι η μέθοδος της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Ωστόσο, εξαιτίας της έλλειψης πρωτογενών και δευτερογενών δεδομένων, η υλοποίηση μιας ΑΚΖ για ένα κέντρο δεδομένων είναι ένα δύσκολο και χρονοβόρο εγχείρημα. Επειδή, όμως, έχει αναγνωριστεί η αξία της μεθοδολογίας, ο οργανισμός Green Grid προσπάθησε να αναπτύξει ένα πλαίσιο, προκειμένου να δημιουργήσει κοινό έδαφος και κοινές μεθόδους υλοποίησης μελετών ΑΚΖ για τα κέντρα δεδομένων (Garnier et al., 2012).

Η μεγάλη συμβολή της ΑΚΖ στην αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, είναι ο προσδιορισμός των επιπτώσεων, που δε συνδέονται μόνο με τη λειτουργία των κέντρων, αλλά με την κατασκευή τους και με τον παροπλισμό τους. Αυτό γιατί πολλές από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, δεν περιορίζονται στη λειτουργία και στην κατανάλωση ενέργειας, αλλά συνδέονται με την κατασκευή τους, όπως για παράδειγμα η απόθεση των παραπροϊόντων της διεργασίας φινιρίσματος μετάλλων, από τα οποία κατασκευάζονται οι συσκευές πληροφορικής και τα ηλεκτρικά κυκλώματα (Flucker et al., 2018). Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα να εκτιμηθεί ποια στοιχεία του συνολικού εξοπλισμού έχουν τις μεγαλύτερες επιπτώσεις, επομένως και τα μεγαλύτερα περιθώρια βελτίωσης των επιδόσεων.

1.6 Πράσινο κέντρο δεδομένων

Στόχος των παραπάνω μεθόδων είναι τα κέντρα δεδομένων να αποκτήσουν μία φιλικότερη προς το περιβάλλον φυσιογνωμία και λειτουργία, να ελαχιστοποιήσουν δηλαδή τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και να γίνουν πιο πράσινα.

Ένα πράσινο κέντρο δεδομένων, είναι ένα κέντρο δεδομένων στο οποίο οι μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, τα συστήματα πληροφορικής και φωτισμού έχουν σχεδιαστεί, ώστε να έχουν τη μέγιστη απόδοση με τις μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Uddin and Rahman, 2012).

Τα πράσινα κέντρα δεδομένων συνεπώς έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με καινοτόμο σχεδιασμό και υιοθετούν φιλικότερες προς το περιβάλλον πρακτικές, όπως:

- Αύξηση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού μέσω της επιλεκτικής ανανέωσης τμημάτων εξοπλισμού, αντί ολόκληρης συσκευής και της έξυπνης αξιοποίησης των ενεργειακών βαθμών απόδοσης.
- Μείωση των συνολικών ενεργειακών αναγκών μέσω αύξησης της απόδοσης των συστημάτων ψύξης και μετάδοσης ισχύος.
- Μείωση της συχνής συντήρησης του εξοπλισμού.
- Ασφαλής απόθεση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού μετά το πέρας χρήσιμης ζωής του και η έρευνα σε νέα, φιλικότερα προς το περιβάλλον υλικά.
- Μείωση των αερίων των θερμοκηπίων μέσω της χρήσης εξοπλισμού χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης και υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης.
- Μείωση της συνολικής απαιτούμενης επιφάνειας για την τοποθέτηση του εξοπλισμού πληροφορικής.
- Χρήση ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο προέρχεται αποκλειστικά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Διαφορετικός σχεδιασμός του υλιστικού (hardware). όπως χρήση πολυπύρηνων μικροεπεξεργαστών, αποδοτικής τοποθέτησης (packaging), συστήματα επεξεργασία και αποθήκευσης δεδομένων με κοινή χρήση πόρων (Uddin and Rahman, 2012).

Εικόνα 10 Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ (*Πηγή: Clancy, 2022*)

1.7 Δείκτες Αποδοτικότητας

Οργανισμοί όπως ο Green Grid και ο Energy Star προσπαθούν να σχεδιάσουν ένα πλαίσιο σχεδιασμού και λειτουργίας, το οποίο θα αφορά αποκλειστικά τα πράσινα κέντρα δεδομένων. Προς το παρόν δεν έχει αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο αξιολόγησης, το οποίο να συμπεριλαμβάνει μετρήσεις φορτίου, δείκτες και κατευθυντήριες γραμμές. Η παρακολούθηση των καταναλώσεων και αξιολόγηση των αποδόσεων στηρίζεται σε δείκτες, που χρησιμοποιεί η βιομηχανία, οι οποίοι επικεντρώνονται στη λειτουργία και στην ενεργειακή αποδοτικότητα των συστημάτων. Οι πιο σημαντικοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι δείκτες είναι ακόλουθοι (Uddin and Rahman, 2012):

- Power Usage Effectiveness (PUE)
- Data Center Efficiency (DCE)
- Data Center Productivity (DCP)

Ο απώτερος σκοπός της χρήσης των δεικτών είναι η δυνατότητα αξιολόγησης των κέντρων δεδομένων από αυτούς και η ανάπτυξη καλών πρακτικών βιομηχανίας, οδηγιών για την κατασκευή κέντρων δεδομένων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (Yuventi and Mehdizadeh, 2013).

Ο δείκτης PUE

Από τους τρείς, ο πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης της ενεργειακής αποδοτικότητας των κέντρων δεδομένων είναι ο PUE. Ο PUE είναι ο λόγος της συνολικής ενέργειας, που καταναλώνει το κέντρο δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των ψυκτικών, ηλεκτρολογικών και λοιπών φορτίων, όπως και των φορτίων φωτισμού, προς την ενέργεια, την οποία καταναλώνει αποκλειστικά ο εξοπλισμός πληροφορικής (Cho and Kim, 2016).

$$PUE = \frac{P_{inf} + P_{IT}}{P_{IT}}$$

Αυτός ο ορισμός συνεπάγεται. ότι η ιδανική τιμή, που μπορεί να λάβει ο δείκτης, είναι η τιμή 1, που σημαίνει, ότι όλη η ενέργεια από το δίκτυο καταναλώνεται από τον εξοπλισμό πληροφορικής. Για παράδειγμα, σε ένα κέντρο δεδομένων με PUE=1,79 περίπου το 56% της ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται από τους διακομιστές, το 30% από τα συστήματα ψύξης, το 13% από τα συστήματα μετάδοσης ισχύος και το 1% από τις ανάγκες φωτισμού (Yuventi and Mehdizadeh, 2013).

Μεταξύ 2000 και 2010 τα περισσότερα κέντρα δεδομένων είχαν PUE περίπου 2,0 και προς το τέλος της δεκαετίας ο PUE διαμορφωνόταν περίπου στις τιμές 1,83 έως 1,92. Τα νεόδμητα κέντρα δεδομένων γύρω στο 2015 σχεδιάζονταν με PUE 1,5 με τους υπεύθυνους για τη λειτουργία των κέντρων δεδομένων να θεωρούν επαρκή τον δείκτη PUE σε τιμές γύρω στο 1,65 (Cho and Kim, 2016).

Οι πρώτες προσπάθειες για μικρότερες τιμές PUE οφείλονται στη συνειδητοποίηση, ότι οι μικρότερες τιμές συνεπάγονται μικρότερη κατανάλωση ηλεκτρισμού, οπότε και λιγότερα λειτουργικά κόστη (OPEX costs). Για τη μείωση του PUE οι προσπάθειες επικεντρώθηκαν στο σύστημα ψύξης και στον εξοπλισμό πληροφορικής. Τα συστήματα ψύξης πετυχαίνουν μικρότερη κατανάλωση, όταν αξιοποιούνται τα χαρακτηριστικά των τόπων, όπως για παράδειγμα το ψυχρό κλίμα και η ύπαρξη ποταμιού. Όταν το κέντρο δεδομένων είναι χτισμένο σε ψυχρό κλίμα, η ψύξη πραγματοποιείται απευθείας με τον αέρα περιβάλλοντος χωρίς ενδιάμεσο εναλλάκτη (chiller). Σε άλλες περιπτώσεις η ψύξη πραγματοποιείται με νερό λίμνης ή ποταμιού, όταν το κέντρο δεδομένων είναι χτισμένο κοντά σε υδάτινη οδό, χάρη στη σταθερή θερμοκρασία της τελευταίας. Με τη χρήση αυτών των μεθόδων ο PUE μπορεί να φτάσει έως και 1,2. Τα κέντρα δεδομένων με

υπερυψηλή πυκνότητα διακομιστών και χρήση τεχνολογιών cloud μπορούν να πετύχουν PUE μέχρι και 1,1 (Cho and Kim, 2016).

Σε γενικές γραμμές ένα κέντρο δεδομένων θεωρείται πράσινο, όταν ο PUE είναι μικρότερος ή ίσος με 1,5. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας αξιολόγησης των κέντρων δεδομένων με βάση την τιμή του δείκτη PUE (Cho and Kim, 2016):

Πίνακας 2 Αξιολόγηση κέντρων δεδομένων με βάση το δείκτη PUE (*Πηγή: Cho and Kim, 2016*)

PUE	Σύστημα αξιολόγησης Green Grid	PUE	Σύστημα αξιολόγησης EPA
2,5	Ανεπαρκές	1,9	Σύγχρονη τάση
2	Μέτριο	1,7	Βελτιωμένη λειτουργία
1,5	Αποδοτικό	1,3	Βέλτιστη πρακτική
1,2	Υπεραποδοτικό	1,2	Τελευταίας τεχνολογίας

Ο δείκτης DCiE

Συμπληρωματικός δείκτης του PUE για τη μέτρηση της κατανάλωσης ισχύος από το διάφορο εξοπλισμό και επομένως για την αξιολόγηση της αποδοτικής χρήσης ενέργειας είναι ο Data Center Infrastructure Energy (DCiE), ο οποίος ορίζεται ακριβώς αντίστροφα από τον PUE, δηλαδή ορίζεται ως η ισχύς, που απορροφά ο εξοπλισμός πληροφορικής σε σχέση με την ισχύ, που απορροφά ο συνολικός εξοπλισμός (Lajevardi et al., 2015).

$$DCiE = PUE^{-1} = \frac{P_{IT}}{P_{inf} + P_{IT}}$$

Ο δείκτης Carbon Usage Effectiveness (CUE)

Ο δείκτης Carbon Usage Effectiveness (CUE) αποτελεί συμπληρωματικό του PUE ως προς την εκτίμηση της φιλικής προς το περιβάλλον συμπεριφοράς ενός κέντρου δεδομένων. Ο συγκεκριμένος δείκτης εκτιμά τις ειδικές εκπομπές άνθρακα, που συνδέονται με την κατασκευή, τη λειτουργία και τον παροπλισμό του. Η ιδανική τιμή του δείκτη είναι 0, που σημαίνει μηδενικές εκπομπές άνθρακα και δεν έχει άνω όριο τιμών. Ο δείκτης αποτιμά μόνο τη λειτουργία. Ορίζεται ως:

$$\text{CUE} = \frac{\text{συνολικές εκπομπές } CO_{2eq} \text{ από τη συνολική κατανάλωση ενέργειας}}{\text{κατανάλωση ενέργειας από τον εξοπλισμό πληροφορικής}}$$

όπου CEF είναι ο συντελεστής εκπομπών. Η μονάδα του CUE είναι κιλά ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα ανά κιλοβατώρα, $\frac{kg_{CO_{2eq}}}{KWh}$.

Ο δείκτης αυτός αποκτά περισσότερη σημασία, όταν το κέντρο δεδομένων δε χρησιμοποιεί μόνο ηλεκτρική ενέργεια από το εθνικό δίκτυο, αλλά και από ιδίες πηγές είτε γεννήτριες είτε ανανεώσιμες πηγές (Belady et al., 2010).

Ο δείκτης Water Usage Effectiveness (WUE)

Άλλο ένα τμήμα λειτουργίας του κέντρου δεδομένων που αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία, είναι η κατανάλωση νερού. Πολλά κέντρα δεδομένων προκειμένου να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας, χρησιμοποιούν νερό για τις ανάγκες τους σε ψύξη. Με αφορμή τον προβληματισμό για την κατανάλωση νερού αναπτύχθηκε ο δείκτης Water Usage Effectiveness (Flucker et al., 2018).

Ο δείκτης Water Usage Effectiveness WUE εκτιμά την κατανάλωση νερού σ' ένα κέντρο δεδομένων. Η ιδανική τιμή του είναι 0, που δηλώνει μηδενική κατανάλωση, ενώ δεν έχει άνω όριο τιμών, που μπορεί να λάβει.

Ο WUE ορίζεται ως ακολούθως:

$$\text{WUE} = \frac{\text{ετήσια κατανάλωση νερού}}{\text{κατανάλωση ενέργειας από τον εξοπλισμό πληροφορικής}}$$

Η μονάδα μέτρησής του είναι το λίτρο ανά κιλοβατώρα (l / KWh).

Ωστόσο, η χρήση αυτού του δείκτη χρειάζεται προσοχή, καθώς αλλαγές στον εξοπλισμό και μείωση της ποσότητας νερού συχνά συνεπάγεται αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για τη λειτουργία των συστημάτων, καθώς υδρόψυκτα συστήματα αντικαθίστανται με πιο ενεργοβόρα αερόψυκτα συστήματα. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός, η αύξηση της απόδοσης των συστημάτων και στη συνέχεια ο συντονισμός της λειτουργίας τους (Patterson et al., 2011).

1.8 Οδηγίες βέλτιστης πρακτικής 2021 για τον Κώδικα Δεοντολογίας της ΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κέντρων Δεδομένων

Οι περισσότεροι δείκτες εξετάζουν την αποδοτικότητα του συνολικού κέντρου δεδομένων και όχι του ίδιου του εξοπλισμού πληροφορικής. Δεν εξετάζουν δηλαδή τι ποσοστό του φορτίου χάνεται στις μετατροπές του ρεύματος και της ενέργειας και στους βαθμούς απόδοσης των διάφορων στοιχείων του εξοπλισμού. Αυτή η απόδοση μετράται από την πιστοποίηση Energy Star. Ο EU Code of Conduct for Data Center Energy Efficiency συνοψίζει και περιγράφει καλές πρακτικές της βιομηχανίας για τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και το υλιστικό (hardware) του εξοπλισμού πληροφορικής (Flucker et al., 2018).

Οι «Οδηγίες βέλτιστης πρακτικής 2021 για τον Κώδικα Δεοντολογίας της ΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση των Κέντρων Δεδομένων» χωρίζουν τα κέντρα δεδομένων ως προς την επίβλεψη και διαχείριση της λειτουργίας τους σε οκτώ τμήματα, όπως αυτά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Acton et al., 2021).

Πίνακας 3 Τμήματα κέντρου δεδομένων (*Πηγή: Acton et al., 2021*)

Τμήμα	Περιγραφή
Κτίριο	Οι κτιριακές εγκαταστάσεις συμπεριλαμβανομένων θεμάτων ασφάλειας, επιλογής τοποθεσίας και συντήρησης.
Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις	Η επιλογή, η εγκατάσταση, η σύνθεση, η συντήρηση και η διαχείριση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.
Όροφος δεδομένων	Η εγκατάσταση, η διαμόρφωση, η συντήρηση και η διαχείριση του κύριου ορόφου δεδομένων, όπου είναι εγκατεστημένος ο εξοπλισμός πληροφορικής. Περιλαμβάνει το δάπεδο (ανυψωμένο ή όχι), τη θέση των μονάδων CRAC / CRAH και τη βασική διάταξη των συστημάτων καλωδίωσης (κάτω ή πάνω από το δάπεδο).
Πλαίσια	Η εγκατάσταση, η διαμόρφωση, η συντήρηση και η διαχείριση των πλαισίων (cabinets), στα οποία είναι εγκατεστημένος εξοπλισμός πληροφορικής σε οδοντωτές σχάρες (rack).
Εξοπλισμός Πληροφορικής	Η επιλογή, η εγκατάσταση, η διαμόρφωση, η συντήρηση και η διαχείριση του εξοπλισμού πληροφορικής (των συσκευών).
Λειτουργικό Σύστημα /	Η επιλογή, η εγκατάσταση, η διαμόρφωση, η

Εικονοποίηση	συντήρηση και η διαχείριση του λογισμικού του λειτουργικού συστήματος και εικονοποίησης, που είναι εγκατεστημένα στον εξοπλισμό πληροφορικής
Λογισμικό	Η επιλογή, η εγκατάσταση, η διαμόρφωση, η συντήρηση και η διαχείριση του λογισμικού, που είναι εγκατεστημένο στον εξοπλισμό πληροφορικής.
Επιχειρηματικές Πρακτικές	Ο καθορισμός και η επικοινωνία των επιχειρηματικών απαιτήσεων για το κέντρο δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της σημασίας των συστημάτων και των προδιαγραφών διαθεσιμότητας, συντήρησης και αξιοπιστίας όπως και τις πρότυπες διαδικασίες διαχείρισης δεδομένων.

Οι οδηγίες των βέλτιστων πρακτικών περιλαμβάνουν την υιοθέτηση Περιβαλλοντικών Προτύπων και Προτύπων Ενεργειακής Διαχείρισης σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς ή Διεθνείς Κανονισμούς, όπως τα συστήματα πιστοποίησης ISO. Η πραγματοποίηση μελετών ΑΚΖ κρίνεται προαιρετική, εφόσον εστιάζει κυρίως στο ανθρακικό αποτύπωμα και όχι στην ενεργειακή απόδοση. Από τα θέματα, τα οποία αναλύει, αξίζει να σημειωθούν, ότι ζητά το υλιστικό (hardware) να είναι σύμφωνο με τις προδιαγραφές του οργανισμού Energy Star, οι μετατροπείς συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος να είναι υψηλής απόδοσης, ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός να βρίσκεται εκτός περιοχής ψύξης του εξοπλισμού πληροφορικής, ώστε να μειώνεται το θερμικό φορτίο, τα συστήματα ψύξης να έχουν υψηλό συντελεστή απόδοσης COP (Coefficient of Performance) και την ηλεκτροδότηση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για το τελευταίο χρησιμοποιεί το δείκτη ανανεώσιμων πηγών Renewable Energy Factor – REF, ο οποίος δείχνει το ποσοστό της ισχύος, η οποία προέρχεται (επίσημα και αποδεδειγμένα) από ανανεώσιμες πηγές σε σχέση με τη συνολική ισχύ, που καταναλώνεται. Ο REF ορίζεται, λοιπόν, ως ακολούθως:

$$REF = \frac{\text{κατανάλωση ενέργειας προερχόμενη από ανανεώσιμες πηγές } (KWh)}{\text{συνολική κατανάλωση ενέργειας } (KWh)}$$

Αξιοσημείωτο είναι, επίσης, ότι οι οδηγίες ζητούν έλεγχο της ποιότητας του χρησιμοποιούμενου αέρα ως προς τα σωματίδια, τη θερμοκρασία και την υγρασία, τονίζοντας, ότι οι τιμές αφορούν εργοστάσιο και βιομηχανική χρήση και όχι τιμές κατάλληλες για ανθρώπινη άνεση ή υγεία, εφόσον ο ανθρώπινος παράγοντας θεωρείται απών (Acton et al., 2021).

Ισχυρή σύσταση δίνεται και για την επιλογή της τοποθεσίας των νεόδμητων κέντρων δεδομένων, στα οποία συστήνεται να χτίζονται σε περιοχές δίπλα σε εγκαταστάσεις παραγωγής ρεύματος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κοντά σε περιοχές, στις οποίες δίνεται η δυνατότητα χρήσης της περισσευούμενης – παραγόμενης θερμικής ενέργειας μέσω τηλεθέρμανσης ή σε περιοχές με κατάλληλες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα, ώστε να είναι εφικτή η απευθείας χρήση του για ψύξη (Acton et al., 2021).

ΚΕΦ.2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Παρουσίαση Μελετών

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες μελέτες Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, οι οποίες αναφέρονται σε κάποιο υπάρχον ή πρότυπο κέντρο δεδομένων σε ένα server ή αποτελούν βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις της λειτουργίας και των τρόπων αξιολόγησης των κέντρων δεδομένων.

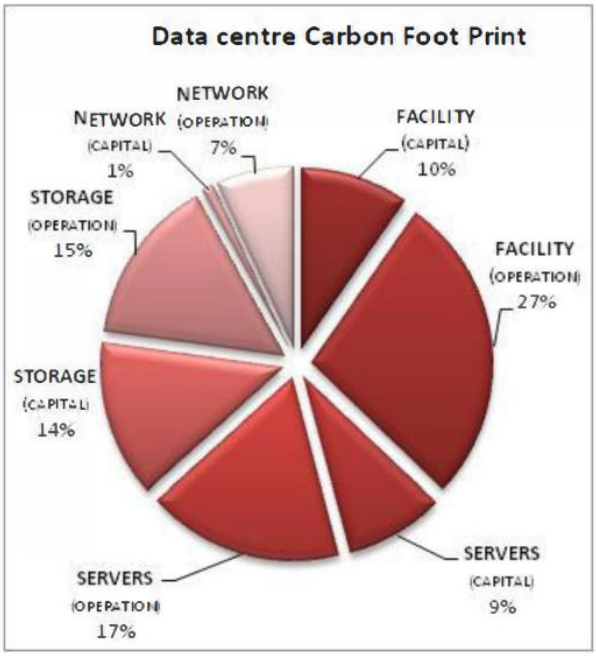
Οι Honee et al. δημοσίευσαν το 2012 μία μελέτη περίπτωσης ΑΚΖ, η οποία πραγματοποιήθηκε στη Σουηδία το 2010 και αφορά το κέντρο δεδομένων του Forsakringskassan. Σκοπός της μελέτης είναι ο προσδιορισμός του περιβαλλοντικού φορτίου του συγκεκριμένου κέντρου δεδομένων αναφορικά με την προέλευση του χρησιμοποιούμενου ηλεκτρικού ρεύματος και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Προκειμένου να αξιολογηθεί το φορτίο, λήφθηκε υπ' όψη τόσο το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κτιριακών εγκαταστάσεων, των υλικών και των μηχανημάτων του κέντρου (ενσωματωμένο αποτύπωμα), όσο και το αποτύπωμα που προκαλείται από τη λειτουργία του κέντρου δεδομένων (λειτουργικό αποτύπωμα). Η συνολική αποτίμηση περιέλαβε δηλαδή την παραγωγή των αγαθών, τη μεταφορά τους στον τόπο του κέντρου και την απόθεση ή περαιτέρω επεξεργασία των υλικών μετά το πέρας του κύκλου ζωής τους. Ως λειτουργική μονάδα επιλέχθηκε «ένας χρόνος λειτουργίας του κέντρου».

Ο εξοπλισμός πληροφορικής του κέντρου αποτελείται από 1200 επεξεργαστές ισχύος 1,1 MW, την αποθήκευση 1,1 PB και τις υποδομές του δικτύου διανομής. Το σύστημα κλιματισμού (HVAC) είναι συνδυασμός συστήματος νερού και ψύξης με εξωτερικό αέρα. Το καλοκαίρι χρησιμοποιείται σύστημα αδιαβατικής ψύξης του εξοπλισμού. Ως μηχανολογικός εξοπλισμός θεωρείται το σύστημα κλιματισμού και το σύστημα ανακυκλοφορίας αέρα και κλιματισμού του θαλάμου διακομιστών. Το ηλεκτρικό σύστημα περιλαμβάνει το σύστημα διανομής ισχύος, τη μονάδα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS) με μπαταρία και γεννήτριες ντίζελ ως εφεδρικό σύστημα. Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου είναι 1.750 τ.μ. Το κτίριο καταναλώνει συνολικά 10,04 GWh το χρόνο, ωστόσο του αποδίδονται 9,74 GWh, επειδή έχει σύστημα ανάκτησης θερμότητας (waste heat recovery). Πιο συγκεκριμένα, ο ζεστός αέρας, μετά την ψύξη των

διακομιστών και του λοιπού εξοπλισμού, απορροφάται από τις κλιματιστικές μονάδες (CRAC) και ανακτάται από ηλεκτροκίνητους ψύκτες (chiller), προκειμένου να θερμανθούν τα 2/3 των γραφείων του κτιρίου. Ο υπολογισμός των εκπομπών, που αποφεύχθηκαν, έγινε με την παραδοχή της ύπαρξης ηλεκτρικής αντλίας θερμότητας συνδεδεμένης στο εθνικό δίκτυο. Εκτιμήθηκε, ότι με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις, αποφεύγεται η χρήση 0,3 GWh ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε το κέρδος αφαιρέθηκε από τη συνολική κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Από την πραγματική συνολική κατανάλωση οι 5,7 GWh αποδίδονται στον εξοπλισμό πληροφορικής και οι 4,3 GWh στο μηχανολογικό, εκ των οποίων το 46% καταναλώνεται από τους chillers, το 44% από το σύστημα ψύξης του θαλάμου διακομιστών και το 10% από το σύστημα κλιματισμού, παρά τις ευνοϊκές συνθήκες, που προσφέρει το κλίμα της χώρας. Επομένως, το λειτουργικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, που προκύπτει από την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ανέρχεται στους 1,25 ktonCO_{2e} (κιλοτόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα). Οι εγκαταστάσεις του συγκεκριμένου κέντρου έχουν PUE= 1,75 και DCiE=57%, ενώ αν ληφθεί το κέρδος από την αντλία θερμότητας, ο PUE ισούται με 1,75. Η κατανομή του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, που βρίσκεται ενσωματωμένο στο κτίριο, δηλαδή, που προέκυψε από την κατασκευή των κτιριακών εγκαταστάσεων, τη βαφή του κτιρίου, την παραγωγή κάθε είδους εξοπλισμού και τη μεταφορά του στο κτίριο, ανέρχεται συνολικά στο 33% του συνολικού, αποτελώντας το 26% των κτιριακών εγκαταστάσεων και το 38% στου εξοπλισμού πληροφορικής.

Η μεγάλη συνεισφορά του εξοπλισμού πληροφορικής στις επιπτώσεις οφείλεται στο μικρό χρόνο ζωής κάθε στοιχείου του (κυρίως κάθε διακομιστή). Συνολικά το λειτουργικό αποτύπωμα ανέρχεται στο 67% του συνολικού. Για τον εξοπλισμό πληροφορικής αυτό το ποσοστό είναι το 62%, ενώ για τις λοιπές εγκαταστάσεις το 74%. Το μεγάλο ποσοστό του λειτουργικού κόστους στις λοιπές εγκαταστάσεις αποδίδεται στην λειτουργία του συστήματος ψύξης (σύστημα κλιματισμού και σύστημα ψύξης θαλάμου διακομιστών), το οποίο καταναλώνει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη λειτουργία του. Το συνολικό αποτύπωμα του εξοπλισμού πληροφορικής μπορεί να χωριστεί στο (α) αποτύπωμα του δικτύου επικοινωνίας, το οποίο συνεισφέρει κατά 18%, (β) στη λειτουργία της αποθήκευσης, η οποία συνεισφέρει κατά 38% και (γ) στη λειτουργία των διακομιστών, η οποία συνεισφέρει κατά 44%. Μία από τις παρατηρήσεις της έρευνας, ήταν, λοιπόν, ότι ακόμα και σε ψυχρά κλίματα, το σύστημα ψύξης καταναλώνει

σημαντικό τμήμα των λειτουργικών αναγκών σε ηλεκτρισμό. Ένα από τα βασικά συμπεράσματά της, ήταν η σημαντική συμμετοχή των υλικών του εξοπλισμού πληροφορικής στις συνολικές επιπτώσεις, αποτέλεσμα που αποδίδεται αφενός στη συχνή αντικατάσταση του εξοπλισμού και στη διαμόρφωση του τρόπου λειτουργίας του, αφετέρου στο ενεργειακό μίγμα της Σουηδίας. Η παρούσα μελέτη συστήνει περαιτέρω έρευνα στη διαμόρφωση της λειτουργίας του εξοπλισμού πληροφορικής και στην έρευνα για την εύρεση περισσότερων δυνατοτήτων ψύξης με λιγότερες ανάγκες σε ηλεκτρισμό. Η διαμόρφωση του περιβαλλοντικού κόστους πραγματοποιήθηκε με βάση στοιχεία, που συλλέχθηκαν για το ίδιο το κέντρο δεδομένων, φυλλάδια κατασκευαστών για τον εξοπλισμό, που χρησιμοποιείται και το μίγμα ηλεκτρισμού της Σουηδίας το 2005. Τα στοιχεία που έλειπαν για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος συμπληρώθηκαν από τη βιβλιογραφία (Honee et al., 2012).



Εικόνα 11 Ποσοστό συμμετοχής των ενσωματωμένων και λειτουργικών συνεπειών κάθε τμήματος εξοπλισμού στις συνολικές (*Πηγή: Honee et al., 2012*)

Οι Whitehead et al. (2012b) πραγματοποίησαν μία μελέτη ΑΚΖ διαλογής (screening LCA), με την οποία μελέτησαν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα ενός κέντρου δεδομένων ισχύος 13 MW, το οποίο βρίσκεται στη Βόρεια Ευρώπη. Η λειτουργική μονάδα της μελέτης ήταν «ένα KW εγκατεστημένου εξοπλισμού πληροφορικής το χρόνο» και τα όριά

της περιλάμβαναν τις ροές υλικών και ενέργειας από την εξαγωγή πρώτων υλών έως την τελική διάθεση του εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς των υλικών και του εξοπλισμού. Η κατασκευή του κτιρίου και η συντήρηση του εξοπλισμού δεν περιλαμβάνονταν στα όρια της μελέτης. Ο εξοπλισμός πληροφορικής είναι συνολικής ισχύος 12 MW και ανανεώνεται κάθε τρία χρόνια. Το σύστημα κλιματισμού είναι αερόψυκτο, με αέρα που δέχεται από το εξωτερικό περιβάλλον (air side free coolers). Για εφεδρεία υπάρχει υδρόψυκτο σύστημα κλιματισμού με τεχνολογία ψυκτών. Όλες οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις ανανεώνονται κάθε 20 χρόνια. Το ηλεκτρικό σύστημα περιλαμβάνει μπαταρίες, οι οποίες ανανεώνονται κάθε 10 χρόνια. Το κτίριο έχει συνολική επιφάνεια 42.500 τ.μ. και διάρκεια ζωής 60 χρόνων. Όπου δεν υπήρχαν δεδομένα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος οικονομικών εισροών – εκροών (Economic Input Output – EIO), σύμφωνα με την οποία αποδίδεται η περιβαλλοντική επιβάρυνση ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας με βάση το μέρισμά της στο συνολικό κλάδο, για τον οποίο υπάρχουν στοιχεία εκπομπών και επιπτώσεων. Επειδή δεν υπήρχαν δεδομένα για τη μεταφορά του εξοπλισμού εκτιμήθηκε, ότι μεταφέρθηκε 50 μίλια με φορτηγό 28 τόνων. Τέλος θεωρήθηκε, ότι τα υλικά κατασκευής του κτιρίου ανακυκλώνονται μετά το πέρας ζωής του κτιρίου. Για την ανακύκλωση των υλικών του κατασκευαστικού κλάδου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την έκθεση της WRAP. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων οι εγκαταστάσεις χωρίστηκαν σε επτά υποκατηγορίες: ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, μηχανολογικές, υλισμικό (hardware), πυρόσβεσης, δημόσιας υγείας, εξωτερικές και οικοδομικές.

Από τη μελέτη προέκυψε, ότι περισσότερο από το 80% του ενσωματωμένου περιβαλλοντικού αποτυπώματος, του αποτυπώματος δηλαδή που οφείλεται στην παραγωγή του εξοπλισμού, προέρχεται από τον εξοπλισμό πληροφορικής. Η παραγωγή του εξοπλισμού πληροφορικής έχει μέρισμα πάνω από 50% στις κατηγορίες της τρύπας του όζοντος, της οικοτοξικότητας και της εξόρυξης μετάλλων, ενώ συνεισφέρει κατά 45% στην κατηγορία των καρκινογόνων. Οι διακομιστές είναι υπεύθυνοι για το 95% των συνολικών συνεπειών του εξοπλισμού, εξαιτίας της συχνής αντικατάστασής τους, αλλά και των πρώτων υλών, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους. Συγκεκριμένα, για την παραγωγή του εξοπλισμού πληροφορικής, χρησιμοποιείται κασσίτερος (πλαίσιο, τρανζίστορ, πλακέτες), χαλκός (καλωδίωση) και μικρές ποσότητες παλλαδίου (ηλεκτρονικά κυκλώματα), με το τελευταίο μέταλλο να είναι ιδιαίτερο ενεργοβόρο στην

εξόρυξή του. Πιο συγκεκριμένα, ο εξοπλισμός πληροφορικής συνεισφέρει στην επιβάρυνση στο μεγαλύτερο ποσοστό σε όλες τις κατηγορίες, εκτός από την τρύπα του όζοντος, εξαιτίας των ψυκτικών υγρών, που χρησιμοποιούσε ο κλάδος κλιματισμού το 2005, χρονιά από την οποία λήφθηκαν τα δεδομένα. Η μεγάλη συμβολή των συστημάτων ψύξης είναι όμως αμφίβολη, επειδή τα στοιχεία λήφθηκαν με τη μέθοδο EIO από τον κλάδο του κλιματισμού με έτος βάσης το 2000, όταν περιβαλλοντικά επιζήμια ψυκτικά ήταν ακόμα κοινή πρακτική της συγκεκριμένης βιομηχανίας. Ωστόσο, το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα προέρχεται κυρίως από τη λειτουργία του κέντρου δεδομένων και όχι από την κατασκευή του, με το ποσοστό της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης εξαιτίας της λειτουργίας της μονάδας, να ανέρχεται στο 91,8% και να είναι μεγαλύτερο σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων.

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση της λειτουργίας αποδείχθηκε πολύ μεγαλύτερη από την ενσωματωμένη επιβάρυνση και στις τρεις κατηγορίες (ανθρώπινη υγεία, πρώτες ύλες, ποιότητα οικοσυστήματος). Οι δύο κατηγορίες, που βρέθηκε να επηρεάζονται περισσότερο από τη λειτουργία με μεγάλη διαφορά από τις επόμενες, είναι τα ορυκτά καύσιμα και οι ανόργανες αναπνευστικές ουσίες. Στο τέλος της έρευνας πραγματοποιήθηκε μια προκαταρκτική ανάλυση ευαισθησίας Monte Carlo, η οποία έδειξε επίπεδο διακύμανσης των αποτελεσμάτων 46,8%, δηλαδή αρκετά υψηλό. Οι κύριοι παράγοντες αβεβαιότητας εκτιμήθηκαν μετά από την ανάλυση ευαισθησίας, στην οποία έγιναν αλλαγές στον αριθμό των servers, στις ενεργειακές ανάγκες, στο ενεργειακό μείγμα, στην τεχνολογία ψύξης και στις απαιτούμενες αποστάσεις μεταφοράς του εξοπλισμού. Από τα αποτελέσματα της έρευνας οι συγγραφείς καταλήγουν στην ανάγκη για βελτίωση της απόδοσης των server, της μείωσης της ενεργειακής τους κατανάλωσης και της αύξησης του χρόνου ζωής τους (Whitehead at al., 2012b).

Οι Whitehead et al. στη μελέτη τους (2012a), η οποία αποτελεί μία μελέτη διαλογής (screening LCA), θέλησαν να μετρήσουν ποσοτικά το περιβαλλοντικό αντίκτυπο, που αντιστοιχεί σε ένα κέντρο δεδομένων σε όλη την αλυσίδα προμήθειας, να συγκρίνουν τη συμμετοχή κάθε υποσυστήματος στη συνολική επίπτωση και να δείξουν τόσο τον τρόπο πραγματοποίησης μιας μεθόδου AKZ σ’ ένα κέντρο δεδομένων όσο και τις δυσκολίες,

που παρουσιάζονται στη συλλογή δεδομένων. Η μελέτη αποτελεί δηλαδή μία ανάλυση κύκλου ζωής από την παραγωγή των πρώτων υλών έως την τελική απόθεση (cradle to grave). Η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιήθηκε είναι «1 KW υπολογιστικής ισχύος το χρόνο». Το κέντρο βρίσκεται στη Βόρεια Ευρώπη και η ισχύς του στο μέγιστο φορτίο είναι 18,4 MW. Το μέσο φορτίο εργασίας είναι το 30% του μέγιστου και η κατανομή εργασιών του υλιστικού είναι 70% υπολογιστική ισχύς στους διακομιστές, 20% στην αποθήκευση και 10% στα δίκτυα διανομής. Η πυκνότητα ισχύος είναι 5 KW/σχάρα (rack). Ο εξοπλισμός πληροφορικής ανανεώνεται κάθε 3 χρόνια. Το σύστημα κλιματισμού είναι αερόψυκτο και δέχεται τον αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον (air side free coolers). Για εφεδρεία υπάρχει υδρόψυκτο σύστημα κλιματισμού με ψύκτες συνολικής ισχύος 17,5 MW. Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός αποτελείται από δύο συστήματα υψηλής τάσης, κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από δύο πίνακες μεταγωγής (switchboards), γεννήτριες εκτάκτου ανάγκης ισχύος 46.000 KVA και 24 τροφοδοτικά χαμηλής τάσης, καθένα με δύο Modules ισχύος 720 KW και μπαταρίες αυτονομίας δέκα λεπτών. Οι μπαταρίες ανανεώνονται κάθε 10 χρόνια. Το κτίριο έχει συνολική επιφάνεια 42.500 τ.μ. και διάρκειας ζωής 60 χρόνων. Από τη συνολική επιφάνεια τα 8.100 τ.μ. είναι η επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι συνολικά 52.600 διακομιστές. Από τον αριθμό των διακομιστών υπολογίστηκε η συνολική μέση χρησιμοποιούμενη ισχύς. Η ισχύς των υπόλοιπων εγκαταστάσεων υπολογίστηκε ως ποσοστό της ισχύος του εξοπλισμού IT. Για το φωτισμό του χρησιμοποιούνται λάμπες υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Το κτίριο χρησιμοποιεί σύστημα όμβριων υδάτων για την κάλυψη τμήματος των αναγκών σε νερό.
Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων Ecoinvent 2.2 και το λογισμικό AKZ Simapro 7.3.2 Phd. Άλλες βιβλιοθήκες, που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ELCD v2.0, Industry Data 2.0, η Worldsteel Association και η USA Input Output Database 2002. Όπου δεν υπήρχαν δεδομένα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Economic Input Output – EIO, σύμφωνα με την οποία αποδίδεται η περιβαλλοντική επιβάρυνση ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας με βάση το μέρισμά της στο συνολικό κλάδο, για τον οποίο υπάρχουν στοιχεία εκπομπών και επιπτώσεων. Επειδή δεν υπήρχαν δεδομένα για τη μεταφορά του εξοπλισμού εκτιμήθηκε, ότι όλα τα είδη εξοπλισμού μεταφέρθηκαν 50 μίλια με φορτηγό 28 τόνων. Τέλος θεωρήθηκε, ότι τα υλικά κατασκευής του κτιρίου ανακυκλώνονται μετά το πέρας ζωής του. Για την ανακύκλωση των υλικών του κατασκευαστικού κλάδου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την έκθεση της WRAP. που δημοσιεύτηκε το 2010. Θεωρήθηκε, ότι ο εξοπλισμός ανανεώνεται κάθε 20 χρόνια. Το

υλιστικό θεωρήθηκε, ότι ανακυκλώνεται και στις περιπτώσεις που δεν υπήρχαν δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν τα σχετικά δεδομένα της βάσης δεδομένων Ecoinvent 2.2. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της διαδικασίας βαφής, θεωρήθηκε εκτός πλαισίου μελέτης. Ομοίως η συντήρηση του εξοπλισμού. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις κατηγορίες ζημιών και σε έντεκα κατηγορίες επιπτώσεων. Η μελέτη καταλήγει, στο ότι οι σχεδιαστές. ήδη από αυτό το πρώιμο στάδιο. μπορούν να προσδιορίσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός κέντρου δεδομένων σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα (Whitehead at al., 2012a).

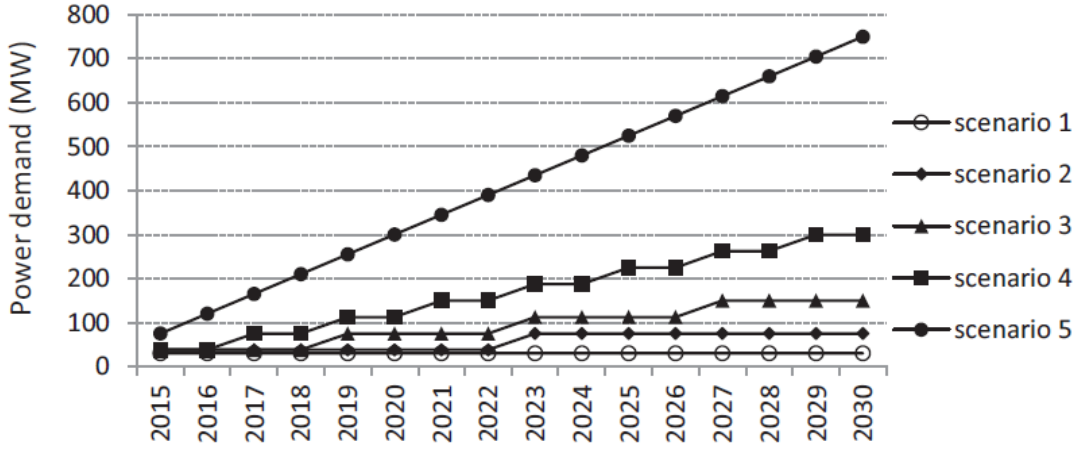
Οι Dandres et al. (2016) μελέτησαν τις επιπτώσεις μελλοντικών κέντρων δεδομένων στον Καναδά με βάση τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια και τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Η ανάλυση κύκλου ζωής που ακολουθείται, χαρακτηρίζεται ως συνεπακόλουθη με προοπτική στο μέλλον (sequential prospective LCA). Ο στόχος ήταν δηλαδή, η εκτίμηση των επιπτώσεων της λειτουργίας των μελλοντικών data centers, που θα χτιστούν στο Καναδά μεταξύ 2015 και 2030. Το κίνητρο της μελέτης υπήρξε η ανακοίνωση εταιριών του χώρου της πληροφορικής, πως σκοπεύουν να χτίσουν κέντρα δεδομένων στη χώρα, τη στιγμή που οι μελλοντικές ανάγκες αυτών των υποδομών δεν αντικατοπτρίζονται στα συνήθη σενάρια μελλοντικών ενεργειακών αναγκών της χώρας. Ως λειτουργική μονάδα επιλέχθηκε η προμήθεια ηλεκτρισμού σε όλα τα κέντρα δεδομένων μεταξύ του 2015 και του 2030. Ωστόσο, η σύγκριση των σεναρίων για την εκτίμηση των επιπτώσεων πραγματοποιήθηκε βασισμένη στα MW εγκατεστημένης ισχύος.

Για να επιτευχθεί αυτό υπολογίστηκαν οι οριακές πηγές του ηλεκτρισμού, έγινε δηλαδή προσπάθεια ν' αναγνωριστούν οι πρωτογενείς πηγές παραγωγής ηλεκτρισμού, που θα τροφοδοτήσουν αποκλειστικά τις μελλοντικές εγκαταστάσεις για κάθε πρόσθετο MW ζήτησης από αυτές. Εκτιμήθηκε, ότι οι εγκαταστάσεις θα χτιστούν κοντά στη ζήτηση, δηλαδή στο Οντάριο, στο Κεμπέκ και στην Αλμπέρτα, οπότε θα καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από το τοπικό ενεργειακό μείγμα. Πιο συγκεκριμένα, το 50% των εγκαταστάσεων θα χτιστεί πλησίον του Οντάριο, όπου οι κύριες πηγές ενέργειας είναι η πυρηνική, η υδροηλεκτρική και το φυσικό αέριο, το 25% του Κεμπέκ, όπου χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά η υδροηλεκτρική, και το 25% της Αλμπέρτας, όπου

χρησιμοποιείται κυρίως ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο. Οι εκτιμήσεις που αφορούν τα χαρακτηριστικά των κέντρων δεδομένων, είναι η λειτουργία τους σε ποσοστό 66% του συνολικού φορτίου και η χρήση του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για την ψύξη των εγκαταστάσεων.

Με βάση αυτές τις παραδοχές, στήθηκαν και αξιολογήθηκαν πέντε διαφορετικά σενάρια ανάπτυξης του τομέα των πληροφοριών, η οποία θα οδηγήσει σε αύξηση των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας από τα κέντρα δεδομένων κατά 22%, 24%, 30%, 40% και 75% τα έτη 2015-2030. Αυτό μεταφράζεται σε 30 έως 750 εγκατεστημένων MW έως το 2030. Πιο συγκεκριμένα, το σενάριο 1 θεωρεί συνολική εγκατεστημένη ισχύ 40MW έως το 2030, το σενάριο 2 θεωρεί 80MW, το σενάριο 3 θεωρεί 150MW, το σενάριο 4 θεωρεί 300MW και το σενάριο 5 θεωρεί 750MW. Όλα τα σενάρια στηρίχθηκαν στις εκτιμήσεις της καναδικής κυβέρνησης σχετικά με την ετήσια αύξηση των αναγκών ηλεκτρισμού της χώρας. Για τη μοντελοποίηση του συστήματος και των επιπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν το τεχνοοικονομικό μοντέλο Energy 2020, τα λογισμικά SimaPro 8.2.0.0, και IMPACT2002+ και η βάση δεδομένων Ecoinvent 3.2. Το Energy 2020 έχει επτά τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας (βιομάζα, λιγνίτης, πετρέλαιο, ντίζελ και βενζίνη, υδροηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο και άλλη). Ως κατηγορίες επιπτώσεων επιλέχθηκαν η ανθρώπινη υγεία, το οικοσύστημα με τον δείκτη της εξαφάνισης ειδών ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο, οι πρώτες ύλες με δείκτη το MJ της πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για την εξόρυξη των πρώτων υλών και η κλιματική αλλαγή με δείκτη τα κιλά ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα. Εκτιμήθηκε, ότι όσο αυξάνεται η χρήση των κέντρων δεδομένων μειώνονται οι επιπτώσεις ανά MW σε όλες τις κατηγορίες. Παράλληλα, μειώνονται και οι εξαγωγές ηλεκτρισμού στις Ηνωμένες Πολιτείες, γεγονός που θα τις αναγκάσει να παράγει περισσότερη ενέργεια, κάνοντας χρήση πηγών λιγότερο φιλικών προς το περιβάλλον σε σχέση με αυτές που χρησιμοποιεί ο Καναδάς. Στον Καναδά το έτος αναφοράς (2014) τα δύο τρίτα (2/3) της ενέργειας παράγονταν από ανανεώσιμες πηγές, ενώ η κατανάλωση ηλεκτρισμού των κέντρων δεδομένων ανερχόταν στο 1%. Σε αυτή τη μελέτη εξετάστηκε η αύξηση της συνολικής ενεργειακής ανάγκης στο 2% της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης. Το Energy 2020 δίνει το αποτέλεσμα της παραγόμενης ενέργειας, που παράχθηκε σε κάθε περιοχή από κάθε πηγή ενέργειας, οπότε έχοντας ως δεδομένες τις ενεργειακές ανάγκες από τα νοικοκυριά και τις λοιπές βιομηχανίες και υπηρεσίες, ήταν δυνατόν να απομονωθούν οι ανάγκες των κέντρων δεδομένων. Επειδή η αύξηση του

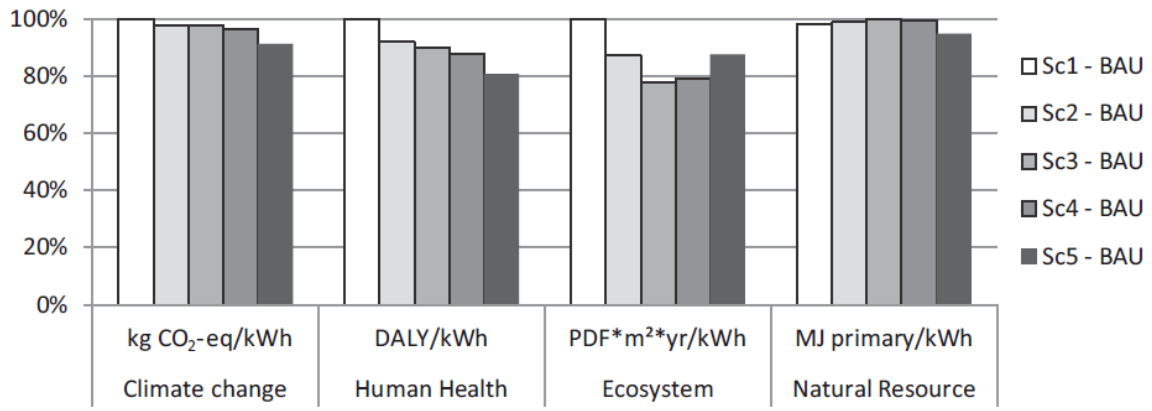
αριθμού των κέντρων σημαίνει αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και συνεπακόλουθη αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG), η σύγκριση των σεναρίων πραγματοποιήθηκε με βάση τις μέσες επιπτώσεις ανά οριακή KWh, που καταναλώθηκε αποκλειστικά από τα κέντρα δεδομένων μέσα στον οριοθετημένο χρονικό ορίζοντα. Προκειμένου να γίνει η σύγκριση, οι επιπτώσεις μετατράπηκαν σε ποσοστά. Το 100% αποδόθηκε στο σενάριο με τις μέγιστες επιπτώσεις.



Εικόνα 12 Εκτιμώμενη αύξηση ενεργειακών αναγκών των κέντρων δεδομένων μεταξύ 2015 και 2030 για κάθε σενάριο (*Πηγή: Dandres et al., 2016*)

Στα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι (α) τα σενάρια 4 και 5 είχαν περισσότερες επιπτώσεις ανά οριακή KWh από το σενάριο 3 όσον αφορά στο δείκτη του οικοσυστήματος, (β) τα σενάρια 2,3 και 4 έχουν ελάχιστα περισσότερες επιπτώσεις ανά οριακή KWh σε σχέση με το 1 όσον αφορά στο δείκτη των πρώτων υλών. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο ποσοστό συμμετοχής κάθε τεχνολογίας παραγωγής ενέργειας, καθώς τα εγκατεστημένα MW αυξάνονται. Οι δύο κύριες πηγές ενέργειας είναι ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο. Με την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος αυξάνεται η συμμετοχή του φυσικού αερίου και μειώνεται η συμμετοχή του λιγνίτη. Αυτό δίνει στα σενάρια οριακές εκπομπές 0,89-1,01 $kgCO_{2e}$/KWh, αρκετά υψηλότερες από τις μέσες Καναδικές εκπομπές, που ανήρθαν σε 0,16 $kgCO_{2e}$/KWh το έτος αναφοράς 2013. Να σημειωθεί, ότι στον Καναδά το εθνικό μείγμα περιλαμβάνει παραγωγή ενέργειας κατά 60% από υδροηλεκτρικά έργα, 15% από πυρηνική ενέργεια, 11% από φυσικό αέριο και 10% από λιγνίτη. Στα παραπάνω σενάρια η χρήση του φυσικού αερίου έναντι του λιγνίτη μειώνει τις επιπτώσεις στην κατηγορία της ανθρώπινης υγείας, της κλιματικής αλλαγής και των συνεπειών στο οικοσύστημα. Αντίθετα, η χρήση της βιομάζας, εξαιτίας της

στάχτης, αυξάνει τις επιπτώσεις την κατηγορία του οικοσυστήματος. Η μεγαλύτερη μείωση στις κατηγορίες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, της ανθρώπινης υγείας και της μείωσης των πόρων επιτυγχάνεται με την πρόσθετη χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή το σενάριο 5 συνεπάγεται αυξημένη χρήση υδροηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζει ταυτόχρονα τις μεγαλύτερες άμεσες οικολογικές συνέπειες ανά MW εγκατεστημένης ισχύος και τις μικρότερες επιπτώσεις σε σχέση με όλα τα σενάρια σε όλους τους δείκτες, οπότε θεωρείται, ότι έχει μεγαλύτερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Οι μικρότερες επιπτώσεις ανά MW σε τρεις από τις τέσσερις κατηγορίες αποδίδονται στο σενάριο της μέγιστης ζήτησης (αύξηση κατά 750 MW). Σενάρια μικρότερης αύξησης οδηγούν σε μειωμένες επιπτώσεις στην κατηγορία του οικοσυστήματος, αλλά δε μειώνουν τις επιπτώσεις στις κατηγορίες της υγείας και της κλιματικής αλλαγής. Η έρευνα καταλήγει, στο ότι ο συνδυασμός του μοντέλου Energy 2020 με την ΑΚΖ προσφέρει δυνατότητες να πραγματοποιηθούν μελλοντικές εκτιμήσεις ΑΚΖ ή προοπτικές ΑΚΖ με μικρότερα σφάλματα και μικρότερη αβεβαιότητα, επειδή εκτιμάται κάθε χρονική στιγμή η απόδοση της τεχνολογίας και η συμμετοχή της με βάση τις οικονομικές τάσεις, μειώνοντας έτσι την αβεβαιότητα των μοντέλων. Ωστόσο. συνεχίζουν να υφίστανται περιορισμοί, καθώς απρόβλεπτα γεγονότα δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν. Το ίδιο ισχύει, τόσο για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών ανά τόπο, όσο και για τη διαφορετική ένταση των επιπτώσεων ανά περιοχή (δεν υπάρχει πρόβλεψη χωρικής κατανομής). Άλλη μία πηγή αβεβαιότητας αποτελεί η πρόβλεψη σχετικά με την αύξηση της απόδοσης των τεχνολογιών, καθώς παρατηρείται, πως κάποιες τεχνολογίες δε βελτιώνονται με τον ίδιο ρυθμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι τεχνολογίες καύσης. Αυτό σημαίνει, ότι τα όποια αποτελέσματα χρειάζεται να επαναξιολογούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Dandres et al., 2016).

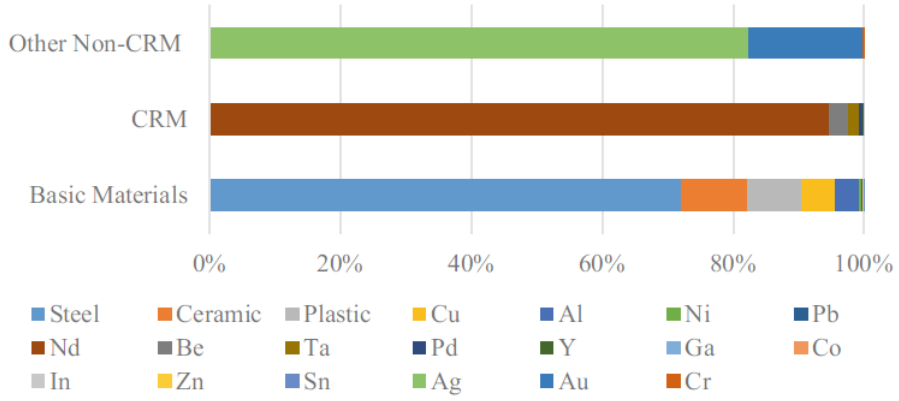


Εικόνα 13 Σύγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σεναρίων για κάθε κατηγορία επιπτώσεων (*Πηγή: Dandres et al., 2016*)

Οι Penaherrera et al. (2019) εστίασαν την έρευνά τους στους διακομιστές, που χρησιμοποιούνται στα κέντρα δεδομένων. Η αφορμή για αυτή τη μελέτη υπήρξε το ερευνητικό κενό σχετικά με την ενέργεια και τα υλικά, που απαιτούνται, προκειμένου να κατασκευαστεί ο εξοπλισμός των κέντρων δεδομένων. Οι περισσότερες μελέτες δίνουν έμφαση, στην ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των κέντρων δεδομένων και δεν εξετάζουν επισταμένα την παραγωγή των υλικών, επομένως τις επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και από την παραγωγή κι επεξεργασία των πρώτων υλών που «ενσωματώθηκαν» στο τελικό προϊόν, δηλαδή στο υλιστικό. Η παρούσα μελέτη εξετάζει, λοιπόν, μια τυπική μονάδα, που χρησιμοποιείται στα κέντρα δεδομένων αποσκοπώντας στην αποτύπωση με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής των περιβαλλοντικών συνεπειών, οι οποίες οφείλονται στη χρήση της ενέργειας και στη χρήση των πρώτων υλών. Επιχειρεί δηλαδή, να εξετάσει ολιστικά το διακομιστή περιλαμβάνοντας την παραγωγή των επιμέρους τμημάτων του, τη συναρμολόγηση και τη λειτουργία του. Για να το πετύχει αυτό χρησιμοποιεί τις μεθόδους της ενσωματωμένης ενεργειακής ζήτησης (Cumulated Energy Demand – CEM) και την ενσωματωμένης ζήτησης υλικών (Cumulated Material Demand – CMD), ενώ στα σημεία όπου συνεχίζει να υπάρχει έλλειψη δεδομένων, χρησιμοποιείται η ανάλυση Pedigree και η σύγκριση τεχνολογιών. Ως λειτουργική μονάδα της παρούσας μελέτης επιλέχθηκε η διάρκεια ζωής ενός διακομιστή, η οποία εκτιμήθηκε στα πέντε έτη. Στη μελέτη συμπεριλήφθηκε η ενέργεια, που καταναλώθηκε για τη μεταφορά των επιμέρους μερών του, την κατασκευή, τη λειτουργία και την ψύξη της συσκευής. Η τελική απόθεση παρέμεινε εκτός πλαισίου

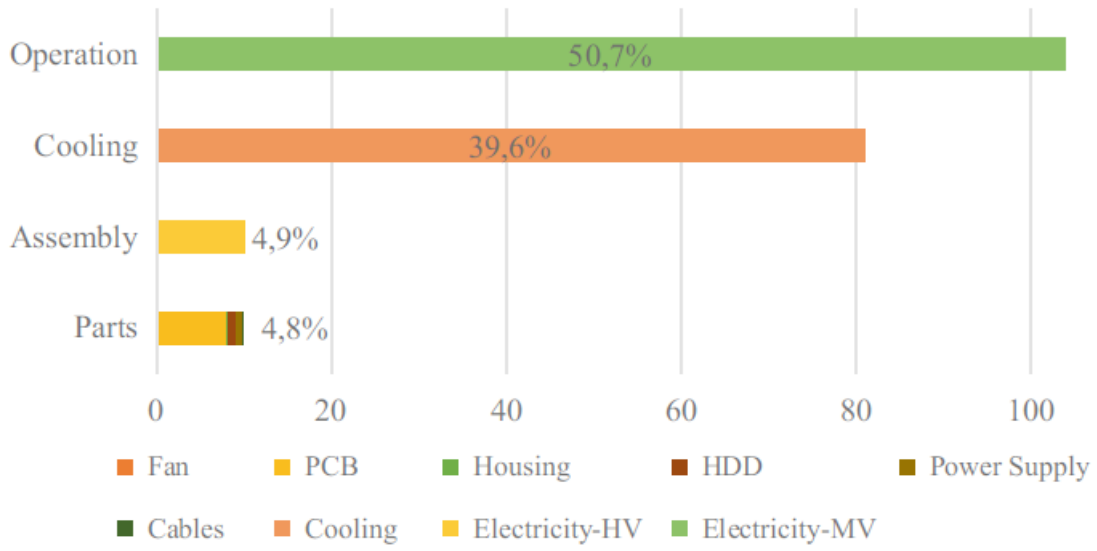
έρευνας, ομοίως και ο συναφής εξοπλισμός στον οποίο συνδέεται ο διακομιστής, όπως τροφοδοτικές μονάδες, καλώδια, ανεμιστήρες.

Ως πρότυπος διακομιστής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο HP ProLiant DL380 ισχύος 1170W. Η ανάλυση βασίστηκε στα υλικά από τα οποία κατασκευάστηκε, στα τμήματα, από τα οποία αποτελείται και στο βάρος στης συσκευής. Οι πληροφορίες αυτές ανακτήθηκαν από διάλυση του πρότυπου διακομιστή στο εργαστήριο και από μετέπειτα ανάλυση των αποτελεσμάτων. Η παραγόμενη θερμότητα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι 3.990 Btu/h. Θεωρήθηκε ότι λειτουργεί στο κατά μέσο όρο 70% του φορτίου του και μένει εκτός λειτουργίας λιγότερο από 12h/a. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Ecoinvent 3.3. Οι πληροφορίες, που έλειπαν από τη βάση δεδομένων του λογισμικού, αντιστοιχίστηκαν με υπάρχουσες διεργασίες και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση Pedigree, προκειμένου να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα και η ποιότητα των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν, ότι η περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται στο στάδιο της λειτουργίας του εξοπλισμού και εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής του. Πιο συγκεκριμένα η λειτουργία απαιτεί το 50,7% της συνολικής ενέργειας και η ψύξη το 39,6% Η κατασκευή απαίτησε μόλις το 9,7% της συνολικής ενέργειας. Για την εκτίμηση των σφαλμάτων, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ανάλυσης Monte Carlo. Η λειτουργία χρειάζεται 3,1 φορές την ηλεκτρική ενέργεια, που εισάγεται στη συσκευή, κάτι που υποδεικνύει απώλειες ενέργειας διάφορες αυτών, που παρουσιάζονται στην τροφοδοτική μονάδα και στους πίνακες μεταγωγής.



Εικόνα 14 Πρώτες ύλες διακομιστή HP (*Πηγή: Penaherrera et al., 2019*)

Η ανάλυση CMD (Cumulated Material Demand) επικεντρώνεται στην AKZ των υλικών που χρειάζεται ένας διακομιστής για να κατασκευαστεί. Κάποιες πρώτες ύλες λείπουν από τις βάσεις δεδομένων, οπότε τα υλικά στη βάση δεδομένων με τα υλικά στην εργαστηριακή μελέτη (gallium, indium, beryllium) διαφέρουν, γεγονός, που επηρεάζει τις εκτιμώμενες επιπτώσεις. Μετά από την κατανάλωση ενέργειας, δεύτερη σε επιπτώσεις έρχεται η διαδικασία παρασκευής της ηλεκτρονικής πλακέτας, με επιπτώσεις οι οποίες συνδέονται με το πέρας της ζωής του διακομιστή και την τελική απόθεση. Σημαντική πηγή αβεβαιότητας της μελέτης είναι η έλλειψη δεδομένων για ορισμένες πρώτες ύλες της συσκευής και η αναντιστοιχία των τεχνολογιών, που χρησιμοποιούνται στην πραγματικότητα σε σχέση με τις τεχνολογίες, που εκπροσωπούνται στη βάση δεδομένων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης CMD υποδεικνύουν την απώλεια υλικών κατά τη διάρκεια ζωής της συσκευής. Αυτό το σημείο χρήζει προσοχής, γιατί βελτίωσή του μπορεί να αυξήσει την απόδοση της χρήσης των υλικών, ειδικά αν συνδυαστεί με ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των πρώτων υλών ή ολόκληρων τμημάτων του διακομιστή και παράταση της διάρκειας ζωής, γιατί η κύρια αιτία της απόσυρσης των συσκευών είναι η λήξη της εγγύησης ή της εγγυημένης περιόδου συντήρησης (Penaherrera et al., 2019).



Εικόνα 15 Λειτουργικές και ενσωματωμένες επιπτώσεις διακομιστή (*Πηγή: Penaherrera et al., 2019*)

Οι Shah et al. (2012) στο πλαίσιο της έρευνας για τα κέντρα δεδομένων, που διεξάγεται στη θυγατρική εταιρία «Εργαστήρια Hewlett Packard (HP Labs)» θέλησαν να προσδιορίσουν τις παραμέτρους, που οδηγούν σε μεταβλητότητα των επιπτώσεων κατά

τη διάρκεια της ζωής ενός κέντρου δεδομένων. Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στη λειτουργία των εγκαταστάσεων, ενώ σοβαρό τμήμα των συνολικών επιπτώσεων μπορεί να οφείλεται στην παραγωγή των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού, επομένως να είναι «ενσωματωμένο» στο τελικό προϊόν. Δεδομένου ότι οι κτιριακές εγκαταστάσεις και ο εξοπλισμός των κέντρων δεδομένων δεν είναι αυστηρά τυποποιημένες, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με τα παραπάνω, παρουσιάζουν ανομοιομορφία. Επομένως αποφάσεις σχετικές με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία σε κάποιο τμήμα του κύκλου ζωής, επηρεάζουν τις συνολικές επιπτώσεις με τρόπο, ο οποίος δεν είναι πάντα εύκολα αντιληπτός. Στόχος της μελέτης υπήρξε η κατανόηση των πηγών μεταβλητότητας και η συμβολή τους στις τελικές, συνολικές επιπτώσεις, ώστε να καταστεί δυνατή στο μέλλον η σύνταξη οδηγιών για την αποτελεσματική μείωση των επιπτώσεων από τα κέντρα αυτά. Ο επιμέρους στόχος της μελέτης είναι η κατανόηση ορισμένων παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας, αλλά και του τρόπου με τον οποίο επηρεάζουν τις τελικές κατηγορίες επιπτώσεων. Απώτερος σκοπός είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων, που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η έρευνα ξεκινά με ένα πρότυπο κέντρο δεδομένων και στη συνέχεια αλλάζει παραμέτρους με βάση τις συνήθεις πρακτικές στο χώρο της πληροφορικής. Στη συνέχεια προσομοιώνονται οι επιπτώσεις, που έχει η λειτουργία και ο συνδυασμός των παραμέτρων.

Το βασικό μοντέλο αποτελεί ένα κέντρο δεδομένων σε κτίριο με τοίχο (bricks and mortar) με υπερυψωμένο δάπεδο και αερόψυκτο, καθώς αυτή η διάταξη αποτελεί αντιπροσωπευτική της αγοράς. Η απαιτούμενη ενέργεια από τον εξοπλισμό πληροφορικής προμηθεύεται από το δίκτυο και διαβιβάζεται στο υλισμικό μέσω των τροφοδοτικών μονάδων (UPS και PDU). Το μέγιστο φορτίο του εξοπλισμού πληροφορικής είναι 3MW και η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι 14,4 εκατομμύρια KWh. Επομένως το μέσο φορτίο του θαλάμου διακομιστών υπολογίζεται σε 1,8MW, 14% μέση χρήση του εξοπλισμού και δείκτη αποτελεσματικής χρήσης ισχύος ίσο με 1,8. Ο χρόνος ζωής του εξοπλισμού θεωρήθηκε 4 χρόνια και των κτιριακών εγκαταστάσεων 20 χρόνια. Η έκταση του κτιρίου μετρήθηκε 10.890 τετραγωνικά πόδια. Η μέση απαιτούμενη ισχύς των ψυκτικών εγκαταστάσεων υπολογίστηκε σε 1,3MW. Επίσης, θεωρήθηκε, ότι το 10% της μάζας των εγκαταστάσεων είναι ανακυκλωμένες και σχέση εξοπλισμού επεξεργασίας δεδομένων, αποθήκευσης και

δικτύου 80%-10%-10%. Η εκτίμηση των επιπτώσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των λογισμικών Ecoinvent 2.0 και Impact2002+.

Στα αποτελέσματα αποτυπώνεται, ότι οι περισσότερες επιπτώσεις οφείλονται στο στάδιο της λειτουργίας και όχι της κατασκευής σε όλες τις κατηγορίες. Η λειτουργία του εξοπλισμού πληροφορικής αποτελεί την κύρια πηγή επιπτώσεων, ακολουθούμενη από τη λειτουργία των ψυκτικών εγκαταστάσεων και τον εξοπλισμό διαμοιρασμού ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό υποδεικνύει, ότι η αποτελεσματικότερη χρήση του εξοπλισμού πληροφορικής θα συνεισφέρει σημαντικά στον περιορισμό των επιπτώσεων. Ως προς τις ενσωματωμένες στον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό επιπτώσεις, ο εξοπλισμός πληροφορικής αποτελεί ξανά την κύρια πηγή επιπτώσεων, εξαιτίας του μικρού χρόνου ζωής και της συνεπακόλουθης συνεχούς ανανέωσης των τμημάτων του εξοπλισμού, που έφτασαν στο πέρας της ωφέλιμης ζωής τους. Οι τέσσερις κατηγορίες επιπτώσεων, που εξετάστηκαν, είναι η κλιματική αλλαγή, η ποιότητα των οικοσυστημάτων, η ανθρώπινη υγεία και η εξάντληση των φυσικών πόρων. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα βασικά στοιχεία υποδομής του κέντρου δεδομένων θεωρήθηκαν ο εξοπλισμός πληροφορικής, οι εγκαταστάσεις ψύξης, ο εξοπλισμός διαμοιρασμού ενέργειας και οι κτιριακές εγκαταστάσεις. Οι παράμετροι, που εξετάστηκαν, σε κάθε στοιχείο υποδομής και οι λειτουργικές μονάδες, που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

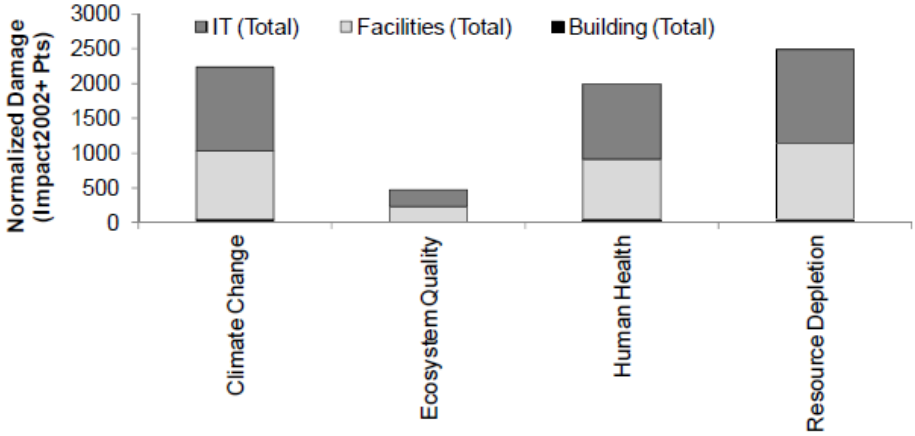
Πίνακας 4 Προτεινόμενες λειτουργικές μονάδες στοιχείων εγκαταστάσεων κέντρων δεδομένων (Πηγή: Shah et al., 2012)

Στοιχείο Εγκαταστάσεων	Στάδιο Κύκλου Ζωής	Λειτουργική Μονάδα	Εξαρτώμενες Μεταβλητές
Εξοπλισμός Πληροφορικής (IT)	Κατασκευή	Προβλεπόμενη χωρητικότητα (W)	Αριθμός μονάδων
			Μέσο μέγιστο φορτίο ανά μονάδα
			% τύπου IT εξοπλισμού
	Λειτουργία	Μέση ισχύς (W)	Μέση χρησιμοποίηση (%)
			Μέγιστο φορτίο (%)
			Φορτίο αναμονής (%)
			Εκτιμώμενος χρόνος λειτουργίας (%)
			Πηγή ισχύος (% ανά καύσιμο)
	Πέρας χρόνου	Χρόνος ζωής	% ανακυκλωμένων

	ζωής	συστήματος (years)	υλικών
Ψύξη	Κατασκευή	Προβλεπόμενη χωρητικότητα (τόνοι)	Εφεδρεία (N + k)
	Λειτουργία	Μέση ψυκτική ισχύς (W)	Εφεδρεία σε αναμονή (N + k)
			Μέση ισχύς IT (W)
			% χρήσης εξωτερικού αέρα
			Θερμοκρασία αέρα (℃)
			Πηγή ισχύος (% ανά καύσιμο)
	Πέρας χρόνου ζωής	Χρόνος ζωής συστήματος (years)	% ανακυκλωμένων υλικών
Διανομή ισχύος	Κατασκευή	Προβλεπόμενη χωρητικότητα (W)	Εφεδρεία (N + k)
			Προβλεπόμενη χωρητικότητα εξοπλισμού IT (W)
			Μέγιστη ισχύς εξοπλισμού κλιματισμού (W)
	Λειτουργία	Μέσες απώλειες ισχύος (W)	% απόδοσης διανομής
			Μέση ισχύς εξοπλισμών IT και κλιματισμού (W)
			Εφεδρεία σε αναμονή (N + k)
			Πηγή ισχύος (% ανά καύσιμο)
	Πέρας χρόνου ζωής	Χρόνος ζωής συστήματος (years)	% ανακυκλωμένων υλικών
Κτιριακές υποδομές	Κατασκευή	Επιφάνεια (ft2)	Πυκνότητα ισχύος σχεδιασμού (W/ft2)
	Λειτουργία	Διάφορα φορτία (W)	% προσαύξησης
			Πηγή ισχύος (% ανά καύσιμο)
	Πέρας χρόνου ζωής	Χρόνος ζωής συστήματος (years)	% ανακυκλωμένων υλικών

Ως παράμετροι με τη μεγαλύτερη συμβολή στις επιπτώσεις σε κάθε στοιχείο υποδομής προέκυψαν ο συνολικός χρόνος χρήσης ηλεκτρισμού (ανά KWh), η κατασκευή του εξοπλισμού IT (ανά W), η κατασκευή και ο παροπλισμός των κτιριακών εγκαταστάσεων (ανά τετραγωνικό πόδι), η κατασκευή του εξοπλισμού διαμοιρασμού ηλεκτρικής ενέργειας (ανά KW) και η κατασκευή των εγκαταστάσεων ψύξης (ανά τόνο). Η αλλαγή

των τιμών των επιλεγμένων παραμέτρων σε σχέση με το βασικό σενάριο έδειξε, ότι σημαντικό ρόλο στις συνολικές επιπτώσεις παίζει το ενεργειακό μείγμα της ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιείται. Οι σημαντικές παράμετροι, που αφορούν τον εξοπλισμό πληροφορικής, είναι το μέγιστο φορτίο, το φορτίο σε λειτουργία και το ποσοστό χρήσης του εξοπλισμού. Η επιλογή των πρώτων υλών και το ποσοστό χρήσης ανακυκλωμένων υλικών επηρεάζει σημαντικά τις επιπτώσεις στις κατηγορίες της εξόρυξης ορυκτών, της οξύνισης και της χρήσης γης. Δευτερευόντως επηρεάζει το ποσοστό εφεδρείας του εξοπλισμού πληροφορικής και η διαχείριση του συστήματος ψύξης (Shah et al., 2012).



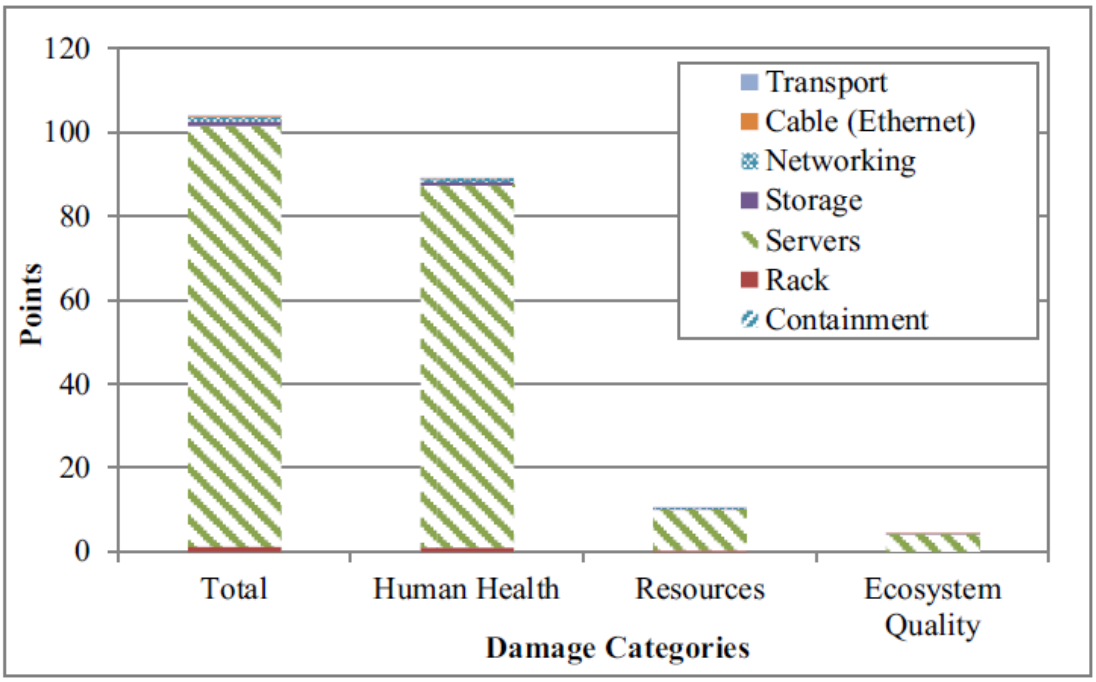
Εικόνα 16 Επιπτώσεις ΑΚΖ ανά κατηγορία επιπτώσεων και είδος εξοπλισμού (*Πηγή: Shah et al., 2012*)

Οι Whitehead et al. (2015b) πραγματοποίησαν μία ανάλυση κύκλου ζωής για ένα κέντρο δεδομένων στη Μεγάλη Βρετανία. Η προσέγγισή τους ήταν υβριδική, συνδύασαν δηλαδή δεδομένα από τη διαδικασία παραγωγής και δεδομένα από τη μέθοδο Οικονομικών Εισροών και Εκροών EIO (Economic Input Output). Σκοπός της έρευνας υπήρξε η ανάπτυξη ενός μοντέλου κύκλου ζωής για ένα υπάρχον κέντρο δεδομένων, το οποίο να περιλαμβάνει και επιμέρους τμήματα της εγκατάστασης, όπως τμήματα του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Επίσης, υπήρξε η ολοκλήρωση μιας ανάλυσης κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας δεδομένα σε βιβλιοθήκες υπαρχόντων λογισμικών, η βελτίωση της συγκριτικής αξιολόγησης των κέντρων δεδομένων με την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων ενός υπάρχοντος κέντρου, η αποτύπωση του μοτίβου των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ο προσδιορισμός των σημείων με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις, ώστε να

εστιάσει ο κλάδος σε αυτά και να κατανοηθούν τα αποτελέσματα των μέτρων, που λαμβάνονται για την αύξηση των επιδόσεων. Ο στόχος ήταν η υλοποίηση της ανάλυσης κύκλου ζωής από την εξαγωγή πρώτων υλών έως την τελική απόθεση των υλικών ενός κέντρου δεδομένων 13MW και κατηγορίας Tier III, το οποίο βρίσκεται στη Μεγάλη Βρετανία. Ως λειτουργική μονάδα της μελέτης ορίστηκε η λειτουργία 1KW εξοπλισμού IT το χρόνο σε μία εγκατάσταση κατηγορίας Tier III, το οποίο στη συγκεκριμένη περίπτωση αντιστοιχεί σε $1,28*10^{-6}$ κέντρα δεδομένων ανά KW το χρόνο. Στα όρια της μελέτης περιλαμβάνεται η τελική απόθεση των υλικών μετά το πέρας του κύκλου ζωής τους. Τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού IT είναι πυκνότητα 5KW/ράφι (rack) με μέγιστο φορτίο 18,4MW, μέσο φορτίο στο 30% του μέγιστου και φορτίο αναμονής (idling load) στο 50% του συνολικού. Τα ράφια έχουν στηριχτεί σε κιβώτια. Ο εξοπλισμός ψύχεται με απλή κυκλοφορία εξωτερικού αέρα, ενώ υπάρχουν δύο εφεδρικοί ψύκτες αέρα συνολικής ισχύος 17,5MW. Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός περιλαμβάνει μία μονάδα διανομής ισχύος και μονάδες αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (8x3x720KW), με εφεδρικές μπαταρίες ικανές να διατηρήσουν το σύστημα σε λειτουργία για δέκα λεπτά. Στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό περιλαμβάνονται επίσης δύο πίνακες μεταγωγής υψηλής τάσης και σετ ηλεκτρικών γεννητριών εκτάκτου ανάγκης ισχύος 46000KVA. Οι κτιριακές εγκαταστάσεις έχουν συνολική επιφάνεια 42.500 τ.μ.. από τα οποία τα 8.100 τετραγωνικά μέτρα χρησιμοποιούνται από τον εξοπλισμό πληροφορικής, ο οποίος διαμοιράζεται σε 8 θαλάμους, η μέγιστη χωρητικότητα των οποίων σε εξοπλισμό έχει καλυφθεί. Η διάρκεια ζωής του κτιρίου εκτιμήθηκε στα 60 χρόνια. Ο εξοπλισμός IT ανανεώνεται κάθε 3 χρόνια και οι μπαταρίες κάθε 10 χρόνια. Θεωρήθηκε, ότι οι υπόλοιπες μη δομικές εγκαταστάσεις έχουν ωφέλιμη ζωή 20 ετών. Ο φωτισμός, που χρησιμοποιείται, είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Τμήμα των αναγκών σε νερό καλύπτεται από σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων. Εκτός ορίων μελέτης βρέθηκε η διάλυση του εξοπλισμού, επειδή αποδείχθηκε, ότι έχει πολύ μικρή συνεισφορά στις συνολικές επιπτώσεις.

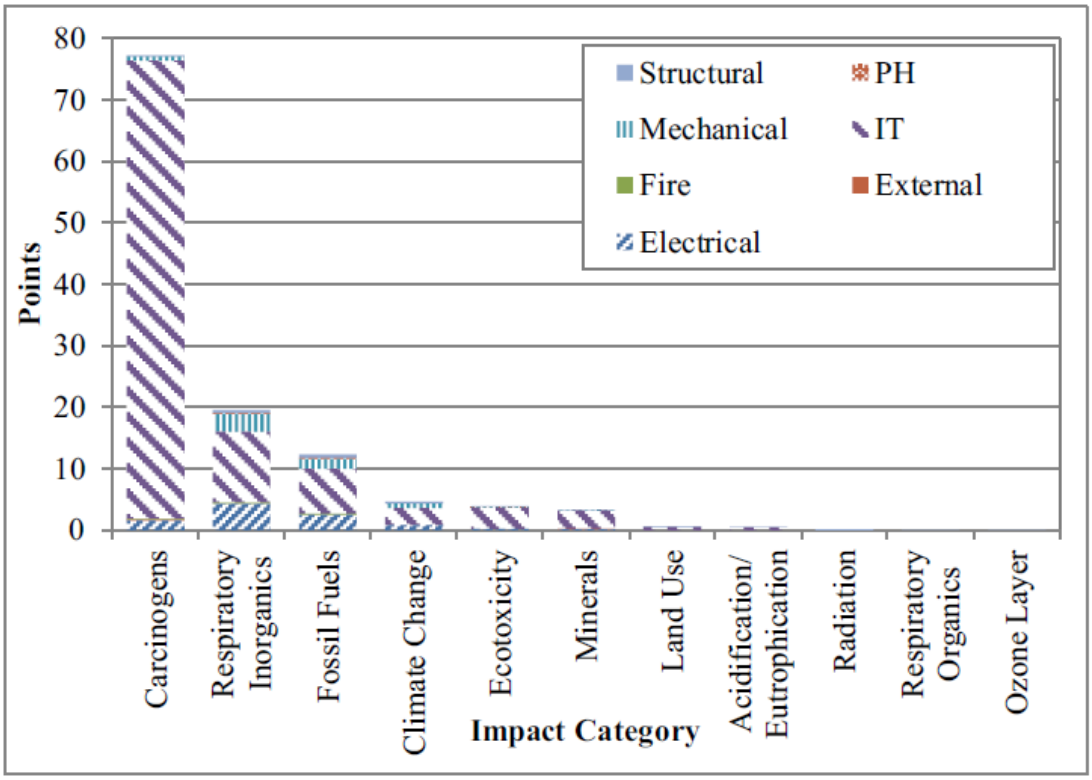
Τα περισσότερα δεδομένα προέρχονται από Ευρωπαϊκές βάσεις, ενώ σε κάποια σημεία χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση EIO. Όπου ήταν δυνατόν χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του Ηνωμένου Βασιλείου. Στις περισσότερες διεργασίες, που συμπεριλήφθηκαν, λήφθηκαν στοιχεία από τις μέσες τεχνολογίες. Τα στοιχεία των διακομιστών και του ηλεκτρισμού, πάρθηκαν από Ευρωπαϊκά δεδομένα. Τα δεδομένα που λήφθηκαν αφορούν τις χρονιές

2008 έως 2011. Το κτίριο χτίστηκε το 2008, το οποίο αποτελεί το έτος αναφοράς. Οι επιπτώσεις υπολογίστηκαν με τη χρήση του λογισμικού Eco-indicator 99. Όπου ήταν εφικτό λήφθηκαν τα ακριβή νούμερα των στοιχείων του εξοπλισμού, εναλλακτικά χρησιμοποιήθηκαν κατασκευαστικά σχέδια, τεχνικά εγχειρίδια και η οδηγία BS 648 για την εκτίμηση του βάρους ορισμένων υλικών. Οι πλαστικές σωληνώσεις μοντελοποιήθηκαν ως πλαστικό PVC. Τα υλικά θεωρήθηκε, ότι κατασκευάστηκαν απευθείας από πρώτες ύλες, εκτός από το ατσάλι. το οποίο θεωρήθηκε ανακυκλωμένο, επειδή η ανακύκλωση αποτελεί συνήθη πρακτική της βιομηχανίας. Θεωρήθηκε μεταφορά υλικών σε απόσταση 50 μιλίων με φορτηγό 28 τόνων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υποδεικνύουν, ότι επιπτώσεις επηρεάζουν πρωτίστως την ανθρώπινη υγεία (63,5%), στη συνέχεια τους πόρους (32%) και κατά πολύ λιγότερο την ποιότητα των οικοσυστημάτων (4,5%). Ως η διεργασία με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις επιπτώσεις (23%) προέκυψε η υπεράκτια άντληση φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρισμού, που χρησιμοποιούν οι διακομιστές. Ως δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας επιπτώσεων βρέθηκε η απόθεση των αποβλήτων της διύλισης των μετάλλων. Η απελευθέρωση καρκινογόνων προέρχεται τόσο από τη λειτουργία όσο και από την κατασκευή του εξοπλισμού του κέντρου. Οι επιπτώσεις, που συνδέονται με την κατασκευή του υλισμικού προέκυψαν μεγαλύτερες από το άθροισμα εκείνων, που συνδέονται με την κατασκευή του ηλεκτρονικού εξοπλισμού και των ψυκτικών εγκαταστάσεων (μηχανολογικός εξοπλισμός). Η μελέτη ανέδειξε λοιπόν, ως καίριες παραμέτρους για την ελάττωση των επιπτώσεων του εξοπλισμού πληροφορικής το ενεργειακό μείγμα, που χρησιμοποιείται και τις ανάγκες σε ενέργεια για τη λειτουργία του κέντρου. Για την εκτίμηση της αβεβαιότητας χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι της ανάλυσης Monte Carlo, της ανάλυσης Pedigree και της ανάλυσης ευαισθησίας.



Εικόνα 17 Ενσωματωμένες επιπτώσεις εξοπλισμού πληροφορικής ανά κατηγορία επιπτώσεων και στοιχείο εξοπλισμού (*Πηγή: Whitehead et al., 2015b*)

Οι κατηγορίες των επιπτώσεων με τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην ανθρώπινη υγεία βρέθηκαν τα ορυκτά καύσιμα, οι καρκινογόνες ουσίες, οι ανόργανες ενώσεις και η κλιματική αλλαγή. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν, ότι η βιομηχανία δεν πρέπει να επικεντρώνεται μόνο στην ψύξη, αλλά και στους διακομιστές. Η ανάλυση ευαισθησίας ανέδειξε τη σημασία του μείγματος, καθώς η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες οδηγεί σε μεγαλύτερη συνεισφορά του σταδίου κατασκευής (ενσωματωμένες επιπτώσεις) σε σχέση με τη λειτουργία της εγκατάστασης (Whitehead et al., 2015b).



Εικόνα 18 Ενσωματωμένες επιπτώσεις κάθε είδους εξοπλισμού ανά κατηγορία επιπτώσεων (*Πηγή: Whitehead et al., 2015b*)

Οι Whitehead et al. (2014) δημοσίευσαν μία συγκριτική μελέτη, η οποία εστίασε στους τρόπους με τους οποίους αποτιμούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των κτιρίων και στη σύνδεση τη με μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Αποτέλεσε το δεύτερο τμήμα της βιβλιογραφικής έρευνας σχετικά με την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κέντρων δεδομένων. Σε διαφορετικές περιοχές έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά μοντέλα και λογισμικά αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κτιρίων. Στόχος των μοντέλων αυτών αποτελεί ο περιορισμός των επιπτώσεων και η μείωση των λειτουργικών αναγκών (συμπεριλαμβανομένων των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια) των κτιρίων. Τελικά, σε κάθε κτίριο αποδίδεται μια βαθμολογία, ανάλογα με τη συμφωνία του σχεδιασμού του με αυτά τα κριτήρια. Συγκεκριμένο πλαίσιο για την αξιολόγηση των κέντρων δεδομένων υπάρχει μόνο στο Ηνωμένο Βασίλειο στη μεθοδολογία Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM). Και αυτή η μέθοδος, όπως και οι υπόλοιπες, δίνει μία τελική βαθμολογία, η οποία υποδεικνύει το περιθώριο βελτιώσεων για τη μείωση των συνολικών επιπτώσεων. Για την εκτίμηση της

αποδοτικότητας της λειτουργίας των κέντρων δεδομένων υπάρχει στις ΗΠΑ η σήμανση Energy Star. Το αποτέλεσμα είναι, ότι για την αξιολόγησή τους χρησιμοποιούνται ευρέως διάφορα μοντέλα, μη εξειδικευμένα στις ιδιαιτερότητες των εγκαταστάσεων αυτών. Η χρήση των μη εξειδικευμένων μεθόδων έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία πλήρους υπολογισμού και απεικόνισης των επιπτώσεων των εγκαταστάσεων σε όλη τη διάρκεια ζωής τους, οι οποίες προέρχονται από συγκεκριμένες αποφάσεις, που λήφθηκαν κατά το στάδιο του σχεδιασμού ή της λειτουργίας. Επομένως το εργαλείο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, μπορεί να καλύψει αυτή την ανάγκη.

Μεταξύ των προβλημάτων, που έχουν αναγνωριστεί στις μελέτες ΑΚΖ, απαντάται η έμφαση σε συγκεκριμένο εξοπλισμό ή υλικά του κτιρίου, όπως η θέρμανση, η ψύξη, οι διακομιστές, ο εξοπλισμός δικτύου και τα δομικά υλικά. Άλλος ένας περιορισμός είναι, ότι οι περισσότερες ΑΚΖ κτιρίων δε λαμβάνουν υπ' όψη κάποια στάδια, όπως ενσωματωμένες συνέπειες από την παραγωγή των δομικών υλικών του κτιρίου, από την αντικατάσταση τμημάτων του κτιρίου, από τυχόν ανακαινίσεις και από την τελική απόθεση των δομικών αποβλήτων μετά το πέρας του κύκλου ζωής του κτιρίου. Στην περίπτωση των κέντρων δεδομένων, σημαντικές είναι η συνέπειες από τη συχνή ανανέωση του ΙΤ εξοπλισμού (κάθε 3 με 5 χρόνια), οι οποίες γίνονται πιο εμφανείς, όταν αυξάνεται η απόδοση και συνεπώς μειώνονται οι ανάγκες σε ενέργεια. Άλλος ένας περιορισμός είναι η έλλειψη στοιχείων για την παραγωγή των εξαρτημάτων του υλισμικού. Σε αυτή την έλλειψη των δεδομένων βοήθησε για παράδειγμα η μέθοδος BREEAM, γιατί δίνει καλύτερη βαθμολογία στη χρησιμοποίηση υλικών με χαμηλές επιπτώσεις .

Οι ΑΚΖ, που έχουν υλοποιηθεί για κέντρα δεδομένων, έχουν εστιάσει κυρίως στο στάδιο της λειτουργίας και έδειξαν, ότι η λειτουργία αποτελεί το κατά πολύ στάδιο με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις (70%-90% των συνολικών). Ωστόσο, για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων, που χαρακτηρίζονται από ακρίβεια, απαιτείται έρευνα σε όλα τα στάδια ζωής των κέντρων δεδομένων. Σημαντική στον τομέα είναι η έρευνα, που διεξάγεται από τα εργαστήρια της εταιρίας Hewlett Packard. Η έρευνα εστιάζει στις ενεργειακές ανάγκες του ηλεκτρομηχανολικού εξοπλισμού και εξοπλισμού πληροφορικής, κυρίως επειδή οι ανάγκες των κτιριακών εγκαταστάσεων θεωρούνται συγκριτικά πολύ μικρές. Εξάλλου, βρέθηκε σε σχετική μελέτη, ότι η λειτουργία τους συμβάλλει σε συντριπτικά μεγάλο ποσοστό στις επιπτώσεις, που αφορούν τις

κατηγορίες της ενέργειας, του φαινομένου του θερμοκηπίου, των μικροσωματιδίων και των τοξικών ουσιών. Σε μελέτες βρέθηκε, ότι οι ενσωματωμένες επιπτώσεις κτιρίου κι εξοπλισμού παίζουν σημαντικότερο ρόλο από τις λειτουργικές όσον αφορά στις εκπομπές μικροσωματιδίων (PM-10) και στην απελευθέρωση τοξικών ουσιών. Περαιτέρω έρευνα ανέδειξε, ότι η σχετική συμμετοχή των σταδίων της κατασκευής και της λειτουργίας στις συνολικές επιπτώσεις εξαρτάται από το ενεργειακό μείγμα και τη χωρητικότητα του εξοπλισμού πληροφορικής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Σουηδία σε μελέτη κέντρου της οποίας, προέκυψε συμμετοχή από τις ενσωματωμένες στον εξοπλισμό επιπτώσεις 33%. Το μεγάλο αυτό ποσοστό αποδίδεται στο καθαρό ενεργειακό μείγμα της χώρας. Η έρευνα καταλήγει στη δυσκολία της ενσωμάτωσης των ευρημάτων των μελετών ΑΚΖ στα μοντέλα αξιολόγησης των κτιριακών εγκαταστάσεων, παρά τη μεγάλη αναγκαιότητα πραγμάτωσης της ανάγκης αυτής (Whitehead et al., 2015).

Στο πρώτο μέρος της έρευνας οι συγγραφείς επικεντρώθηκαν στην ενεργειακή κατανάλωση των κέντρων δεδομένων. Τα κέντρα δεδομένων είναι εγκαταστάσεις με τεράστιες ενεργειακές απαιτήσεις. Υπολογίζεται ότι έχουν το ταχύτερα ανερχόμενο ανθρακικό αποτύπωμα απ' όλο τον κλάδο των τεχνολογιών πληροφορικής κι επικοινωνίας. Επειδή οι ανάγκες σε ενέργεια είναι μεγάλες και συνεπάγονται μεγάλες επιπτώσεις, η κατανάλωση ενέργειας και η λειτουργία των κέντρων αυτών ήταν το πρώτο στάδιο του κύκλου ζωής, που εξετάστηκε. Λόγω του ότι τα κέντρα δεδομένων έχουν διάφορα μεγέθη, διαφέρουν και οι ενεργειακές ανάγκες καθενός. Τα μεγάλα κέντρα απαιτούν ενέργεια τόσο για την υποστήριξη της επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων όπως και για τη λειτουργία των υποστηρικτικών συστημάτων, όπως τα συστήματα ψύξης, διαμοιρασμού ηλεκτρισμού κτλ. Οι εγκαταστάσεις ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού τους και με τις ανάγκες σε ενέργεια ταξινομούνται στις κατηγορίες Tier I, II, III και IV. Η αρχική έρευνα των αναγκών σε ενέργεια στηρίχθηκε περισσότερο σε υποθέσεις παρά σε δεδομένα.

Οι πρώτες έρευνες. που στηρίχθηκαν σε δεδομένα, θεώρησαν καταναλώσεις βασισμένες στη μέγιστη ισχύ των συσκευών και οδηγήθηκαν σε λανθασμένα συμπεράσματα μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης, πολύ υψηλότερης των 1000 W/m^2 έως και 2.150-

2.690 W/m^2. Σε επόμενες μελέτες γύρω στο 2001, όταν λήφθηκε υπ' όψη η πραγματική κατανάλωση (μέσο φορτίο λειτουργίας), οι ενεργειακές ανάγκες εκτιμήθηκαν σε 355 W/m^2. Σε επόμενη μελέτη την ίδια περίοδο (2001-2002) παρατηρήθηκε αύξηση του χώρου που καταλάμβανε ο εξοπλισμός πληροφορικής, κατά 33%, ωστόσο εξαιτίας της αύξησης της απόδοσης των συσκευών, οι ενεργειακές ανάγκες εκτιμήθηκαν ίδιες. Επόμενες μελέτες, που εξέτασαν συγκεκριμένα κέντρα δεδομένων κατέληξαν σε ανάγκες 538 W/m^2 (μελέτη 2004 σε 6 DC) και σε εύρος 54-1000 W/m^2 (μελέτη του 2006 σε 22 DC). Τα αποτελέσματα ανέδειξαν την τεράστια ανομοιομορφία, τόσο μεταξύ διαφορετικών εγκαταστάσεων, όσο και μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών (νεότερα κέντρα με αποδοτικότερες τεχνολογίες).

Οι επόμενες μελέτες επικεντρώθηκαν στη συνολική κατανάλωση σε TWh των κέντρων δεδομένων σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Για παράδειγμα στην Ευρώπη υπολογίστηκε κατανάλωση 18,3 TWh το 2000, η οποία αυξήθηκε σε 41.3 TWh το 2005. Το 2007 το πρόγραμμα των ΗΠΑ EPA Energy Star υπολόγισε, ότι η συνολική εγχώρια κατανάλωση είναι 61 TWh και αντιστοιχεί στο 1,5% της συνολικής και σε εκπομπές 33.672 $kgCO_{2e}$. Σε έρευνα του Koomey (2011) αποδείχθηκε, ότι ο ρυθμός αύξησης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε σημαντικά και ήταν πολύ μικρότερος από τον αρχικά εκτιμώμενο, επειδή οι νεότερες είχαν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση. Πιο συγκεκριμένα μεταξύ 2005 και 2010 η κατανάλωση αυξήθηκε παγκοσμίως κατά 56%, δηλαδή από 152,5 TWh και 82.650 $kgCO_{2e}$ το 2005, σε 238 TWh και 125.900 $kgCO_{2e}$ το 2010. Σε σχετική έρευνα υπολογίστηκε, ότι μόνο το Ηνωμένο Βασίλειο είχε το 2011 συνολική μέγιστη κατανάλωση ανερχόμενη σε 6,4 GW κι ισοδύναμη με 24.975 $kgCO_{2e}$. Η συνολική επιφάνεια, που καταλάμβαναν τα κέντρα δεδομένων του κράτους εκτιμήθηκαν σε 7,59 εκατομμύρια τ.μ.. Η έρευνα του Koomey ως προς την κατανάλωση ενέργειας επιβεβαιώθηκε το 2012 από τον οργανισμό DataCenterDynamics (DCD) και υπολογίστηκε, ότι οι συνολικές εκπομπές ήταν 171.630 $kgCO_{2e}$. Την ίδια χρονιά σε μελέτες εκτιμήθηκε ετήσια αύξηση των data centers κατά 7% έως το 2020. Σε δημοσιευμένη μελέτη του 2020 εκτιμήθηκε, ότι οι εκπομπές του τομέα πληροφόρησης και επικοινωνιών ετησίως αντιστοιχούν στο 2,3% των συνολικών, το 23% του οποίου αποδίδεται στη λειτουργία των servers και τον εγκαταστάσεων ψύξης. Αντίστοιχη έρευνα, που περιέλαβε και τις ενσωματωμένες επιπτώσεις, κατέληξε σε ποσοστό 14%.

Επειδή οι μεγάλες ανάγκες σε ενέργεια και συνεπώς σε υψηλή απόδοση αναγνωρίστηκαν από νωρίς, σχεδιάστηκαν ορισμένοι δείκτες, οι οποίοι μετρούν την απόδοση και την κατανάλωση των εγκαταστάσεων ή του εξοπλισμού και επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ κέντρων και τεχνολογιών. Ο πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενος είναι ο PUE (Power Usage Effectiveness) και ακολουθούν οι CUE (Carbon Usage Effectiveness) και WUE (Water Usage Effectiveness). Ο δείκτης PUE δείχνει το ποσοστό απορρόφησης ισχύος από τη συνολική εγκατάσταση σε σχέση με την ισχύ, που απορροφά ο εξοπλισμός IT και έχει ιδανική τιμή 1. Οι έρευνες σε 62 κέντρα έδειξαν μέγιστη διακύμανση μεταξύ 1,25 και 3,75, ενώ η μέση τιμή του δείκτη 1,92. Αυτό ερμηνεύεται σε διπλάσια παροχή ισχύος σε σχέση με τις ανάγκες του εξοπλισμού IT για κάλυψη ψύξης, φωτισμού, απωλειών και άλλων λοιπών αναγκών. Ένας νεότερος δείκτης με δυναμική είναι ο EDE (Electronics Disposal Efficiency), ο οποίος στοχεύει στην εκτίμηση του ποσοστού του ηλεκτρονικού εξοπλισμού με υπεύθυνη και φιλική προς το περιβάλλον τελική απόθεση, Τέλος, ένας ακόμα σημαντικός δείκτης, είναι ο GEC (Green Energy Coefficient), ο οποίος εξετάσει το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών, που συμμετέχουν στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, από την οποία τροφοδοτείται το κέντρο δεδομένων. Είναι φανερό, πως οι δύο τελευταίοι δείκτες κινούνται στην κατεύθυνση της λογικής της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Σημαντική παράλειψη αποτελεί η απουσία ενός δείκτη, που θα αξιολογεί πότε χρειάζεται ν' αντικατασταθεί ο εξοπλισμός, με βάση τη μειωμένη του απόδοση και το ενεργειακό κέρδος από την αντικατάστασή του από εξοπλισμό υψηλότερης απόδοσης.

Η μελέτη καταλήγει στην αβεβαιότητα της πραγματικής κατανάλωσης και στο δυναμικό της χαρακτήρα από τη βιομηχανία, γεγονός που σημαίνει, πως οι προβλέψεις πρέπει αφενός ν' αναθεωρούνται συχνά (ιδανικά σε ετήσια βάση) και να είναι ολοένα και περισσότερο ακριβείς. Σημαντικό σημείο αβεβαιότητας είναι το ποσοστό των διακομιστών, που βρίσκονται σε λειτουργία σε σχέση με εκείνους, που βρίσκονται σε αναμονή (idling service). Για την ακριβέστερη καταμέτρηση κι εκτίμηση των αναγκών χρειάζονται οι δείκτες, οι οποίοι δυστυχώς εστιάζονται στο στάδιο της λειτουργίας και αγνοούν τις επιπτώσεις, οι οποίες κρύβονται ενσωματωμένες στα τελικά προϊόντα εξοπλισμού και στις τελικές υπηρεσίες, που χρησιμοποιούνται. Οι συγγραφείς καταλήγουν, στο ότι η μέθοδος της ανάλυσης κύκλου ζωής μπορεί να καλύψει αυτό το κενό (Whitehead et al., 2014).

Table 2
Commonly adopted metrics.

Metric		Equation
PUE	Power usage effectiveness [52–56,62]	$= \frac{\sum \text{Facility power}}{\sum \text{IT equipment power}} = \frac{P_{mechanical}+P_{electrical}+P_{miscellaneous}+P_{IT}}{P_{IT}}$
ERF	Energy reuse factor [62,64]	$= \frac{\text{Reuse energy outside of the data centre}}{\text{Total data centre source energy}}$
GEC	Green energy coefficient [62]	$= \frac{\text{Green energy used by the data centre}}{\text{Total data centre source energy}}$
SI-EER	Site infrastructure energy efficiency ratio [32]	Same as PUE
DCiE	Data centre infrastructure efficiency [53,54]	$= \frac{1}{\text{PUE}}$
DCeP	Data centre energy productivity [62,65]	$= \frac{\text{Useful work produced in the data centre}}{\text{Total data centre energy consumed producing this work}}$
ScE	Server compute efficiency	$= \frac{\text{No. of samples where server provides a primary service}}{\text{Total no. of samples over the time period}} \times 100$
A primary service is the main service provided by the server, for example the primary service of a mail server is to provide email [60]		
DCcE	Data centre compute efficiency [60]	$= \frac{\sum \text{ScE from all servers}}{\text{Total number of servers}}$
DPPE	Data centre performance per energy [59]	$= \frac{\text{IT equipment utilisation factor} \times \sum \text{IT equipment capacity}}{\sum \text{Data centre energy consumption} - \text{Green energy}}$
DC-EEP	Data centre energy efficiency and productivity [32]	$= \text{SI} - \text{EER} \times \text{IT productivity per embedded Watt}$
CUE	Carbon usage effectiveness [58,62,66]	$= \frac{CO_2 \text{ emitted } (kgCO_2e)}{\text{Unit of energy } (kWh)} \times \frac{\text{Total data centre energy}}{\text{IT equipment energy}}$
WUE	Water usage effectiveness (site) [66,67]	$= \frac{\text{Annual site water usage}}{\text{IT equipment energy}}$
WUE_{source}	Water usage effectiveness (source) [67]	$= \text{WUE} + \frac{\text{Annual source energy water usage}}{\text{IT equipment energy}}$
EDE	Electronics disposal efficiency [63]	$= \frac{\text{Weight of responsibly disposed of IT EEE}}{\text{Total weight of disposed of IT EEE}}$

Εικόνα 19 Δείκτες αξιολόγησης επιδόσεων κέντρων δεδομένων (*Πηγή: Whitehead et al., 2014*)

2.2 Συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης μελετών ΑΚΖ συγκεκριμένου κέντρου δεδομένων

Στον ακόλουθο πίνακα συγκεντρώνονται περιληπτικά τα βασικά σημεία της έρευνας των συγγραφέων, οι οποίοι εξέτασαν τον κύκλο ζωής ενός συγκεκριμένου ή πρότυπου κέντρου δεδομένων. Μόνο μία μελέτη δεν αφορά ολόκληρο το κέντρο, αλλά επικεντρώνεται στο διακομιστή.

Πίνακας 5 Συγκεντρωτικός πίνακας βασικών σημείων και αποτελεσμάτων μελετών

Μελέτη	Honee et al. (2012)	Whitehead et al. (2012b)	Whitehead et al. (2015b)	Dandres et al. (2016)	Penaherrera et al. (2019)	Shah et al. (2012)
Είδος μελέτης	LCA	Screening LCA	Screening LCA	Sequential prospective LCA	LCA	LCA
Γεωγραφικός τόπος	Σουηδία	Βόρεια Ευρώπη	Ηνωμένο Βασίλειο	Καναδάς	-	-
Λειτουργική μονάδα	1 χρόνος λειτουργίας	1 KWITeq/y	1 KWITeq/y	ετήσια προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας	διάρκεια ζωής server (5 έτη)	διάφορες
Όρια μελέτης	1.Παραγωγή πρώτων υλών 2.Μεταφορά σε τόπο κτιρίου 3.Λειτουργία	1.Παραγωγή πρώτων υλών 2.Μεταφορά σε τόπο κτιρίου 3.Λειτουργία	1.Παραγωγή πρώτων υλών 2.Μεταφορά σε τόπο κτιρίου 3.Λειτουργία 4.Τελική	Λειτουργία – Ανάγκες ενέργειας	1.Παραγωγή πρώτων υλών 2.Μεταφορά σε εργοστάσιο παρασκευής τμημάτων 3.Συναρμολόγ	1.Παραγωγή πρώτων υλών 2.Μεταφορά σε τόπο κτιρίου 3.Λειτουργία

	4.Τελική απόθεση		απόθεση		ηση 4.Λειτουργία 5.Ψύξη	
Κατηγορίες επιπτώσεων	Κλιματική Αλλαγή	Ανθρώπινη Υγεία Οικοσύστημα Πρώτες Ύλες	Ανθρώπινη Υγεία Μείωση Πόρων Ποιότητα Οικοσυστημάτων	Κλιματική Αλλαγή Μείωση Πόρων Ανθρώπινη Υγεία Ποιότητα Οικοσυστημάτων	-	Κλιματική Αλλαγή Μείωση Πόρων Ανθρώπινη Υγεία Ποιότητα Οικοσυστημάτων
Αποτελέσματα	1. 33% ενσωματωμένες επιπτώσεις 2. 67% λειτουργικές επιπτώσεις	1. 91.8% λειτουργικές επιπτώσεις 2. ΙΤ συνεισφέρει σε τρύπα όζοντος, οικοτοξικότητα, εξόρυξη μετάλλων, καρκινογόνες ουσίες 3. ΙΤ επιπτώσεις κυρίως λόγω συχνής αλλαγής server	1.Περισσότερες επιπτώσεις προέρχονται από λειτουργία. 2.Κατασκευή εξοπλισμού και λειτουργία συμβάλλει σε καρκινογόνες ουσίες 3.Πρωτίστως επηρεάζεται η ανθρώπινη υγεία. 4.Οι επιπτώσεις του εξ. ΙΤ οφείλονται στην απόθεση υπολειμμάτων μετάλλων και σε ψύξη. 5.Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κύριος παράγοντας επιπτώσεων.	1.Οι κατηγορίες επιπτώσεων εξαρτώνται από το μέρος και τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. 2.Αύξηση MW συνεπάγεται αύξησης χρήσης φυσικού αερίου 3.Η υδροηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα έχουν υψηλότερες συνέπειες στην κατηγορία του οικοσυστήματος	1.Μεγαλύτερες επιπτώσεις από τη λειτουργία του server. 2.Ακολουθούν επιπτώσεις από την παρασκευή της πλακέτας. 3.Στη συνέχεια από την απόθεση των υλικών.	1.Υψηλότερες επιπτώσεις στη μείωση των πόρων. 2.Μικρότερες επιπτώσεις στην ποιότητα των οικοσυστημάτων. 3.Λειτουργικές επιπτώσεις μεγαλύτερες των ενσωματωμένων. 4.Οι ενσωματωμένες επιπτώσεις αφορούν κυρίως τον εξοπλισμό ΙΤ. 5.Ο επιπτώσεις του ΙΤ οφείλονται κυρίως στο μικρό χρόνο ζωής.

Από τον παραπάνω συνοπτικό πίνακα γίνεται φανερό, πως η λειτουργία των κέντρων δεδομένων έχει σημαντικά μεγαλύτερες επιπτώσεις από αυτές του σταδίου κατασκευής του κτιρίου και του συνολικού εξοπλισμού. Ωστόσο, οι υποκατηγορίες επιπτώσεων, που επηρεάζονται από τα δύο στάδια δεν συμπίπτουν πάντοτε. Οι κατηγορίες των επιπτώσεων του σταδίου λειτουργίας, εξαρτώνται κυρίως από τον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας κάθε περιοχής. Σε περιοχές με φιλικότερες μεθόδους, οι επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή είναι ηπιότερες και η συμμετοχή του σταδίου κατασκευής στις επιπτώσεις μεγαλύτερη (παράδειγμα Σουηδίας). Η κύρια κατηγορία επιπτώσεων είναι η ανθρώπινη υγεία, με τις επιπτώσεις να οφείλονται τόσο στα υλικά της κατασκευής του εξοπλισμού πληροφορικής, την επιλογή του τρόπου ψύξης και τις μεθόδους παραγωγής ενέργειας. Η χρήση των υλικών για την παραγωγή του εξοπλισμού της πληροφορικής έχει συνέπειες και στην κατηγορία της ποιότητας των οικοσυστημάτων και στις υποκατηγορίες της οικοτοξικότητας και των ανόργανων αναπνευστικών ουσιών. Όλες οι μελέτες συμφωνούν, στο ότι η μεγάλη συμμετοχή του εξοπλισμού πληροφορικής οφείλεται στη συχνή αντικατάστασή του και στα υλικά παρασκευής του. Συμφωνούν επίσης, στο ότι πρέπει να γίνει περαιτέρω έρευνα στην αξιοποίηση όλης της εγκατεστημένης ισχύος, ώστε να μειωθεί το φορτίο λειτουργίας των διακομιστών, που βρίσκονται σε αναμονή. Βασικός περιορισμός των περισσότερων μελετών, είναι η έλλειψη στοιχείων στη βιβλιογραφία και στις βιβλιοθήκες, που αφορούν τη συγκεκριμένη βιομηχανία. Ομοίως η έλλειψη στοιχείων τελικής απόθεσης των ηλεκτρονικών απορριμμάτων, οπότε η τελική απόθεση έμεινε εκτός ορίων στις περισσότερες μελέτες.

1

ΚΕΦ.3: Βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετών ΑΚΖ των εργαστηρίων της Hewlett Packard (HP Labs)

Η πρώτη μελέτη των εργαστηρίων HP, που παρουσιάζεται πραγματοποιήθηκε από τους Shah et al. και καταγράφει τον τρόπο μοντελοποίησης κάποιων στοιχείων για την πραγματοποίηση της μελέτης.

Η αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρισμού οδήγησε τη βιομηχανία στη μέτρηση των ενεργειακών αναγκών και την προσπάθεια εκτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Οι τεχνικές καταμέτρησης και οι δείκτες που αναπτύχθηκαν γι' αυτό το σκοπό και χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως επικεντρώνονται στην ψύξη και στην ενεργειακή κατανάλωση των data centers, καθώς υπολογίζεται, ότι το 30% των αναγκών απορροφώνται από το σύστημα ψύξης, ενώ το 10% διαχέεται σε διάφορα λοιπά φορτία. Αυτό συνεπάγεται, ότι τους διαφεύγει το τμήμα των επιπτώσεων, που συνδέεται με την παραγωγή των υλών και των συσκευών, τη μεταφορά τους και την τελική απόθεσή τους.
Ένας από τους δείκτες που αναπτύχθηκαν, ήταν ο λόγος της ενέργειας που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό IT, προς την ενέργεια που καταναλώνεται από τα υπόλοιπα τμήματα του κέντρου δεδομένων. Στόχος είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από τον εξοπλισμό IT, δε δίνεται όμως σημασία, στον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται η ενέργεια από τον εξοπλισμό. Ένας δείκτης που έχει προταθεί αφορά στον υπολογισμό του χρήσιμου έργου του συστήματος IT, σε σχέση με τους πόρους, που απαιτούνται για την παραγωγή του. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο αριθμός των κύκλων υπολογισμών (compute cycles), που μπορούν να πραγματοποιηθούν, αν στο σύστημα απορροφήσει δεδομένο ποσό ενέργειας.

Στην παρούσα μελέτη για την εκτίμηση των επιπτώσεων χρησιμοποιείται ένα πρότυπο – χαρακτηριστικό κέντρο δεδομένων. Ένα τυπικό κέντρο δεδομένων αποτελείται από τέσσερα συστήματα / τμήματα υποδομών: 1) τα στοιχεία του εξοπλισμού πληροφορικής, 2) το σύστημα ψύξης, 3) το σύστημα παροχής ηλεκτρικής ισχύος και 4) τις κτιριακές εγκαταστάσεις. Σε κάθε σύστημα μπορούν να εντοπιστούν τα βασικά στοιχεία, από τα οποία αποτελείται.

Ο εξοπλισμός πληροφορικής θεωρείται, ότι αποτελείται από τους διακομιστές, τα στοιχεία αποθήκευσης και το δίκτυο διανομής. Το μοντέλο λειτουργίας των στοιχείων

του εξοπλισμού πληροφορικής διαμορφώνεται κατά βάση από τον αριθμό των συσκευών – μονάδων (states), την κατανάλωση ενέργειας κάθε συσκευής και το φορτίο λειτουργίας της με την πάροδο του χρόνου.

Για τη μοντελοποίηση η κύρια λειτουργική εισροή στον εξοπλισμό πληροφορικής είναι η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να προβλεφθεί ως συνάρτηση της ζήτησης υπολογιστικής ισχύος. Με αυτή την παραδοχή, η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί το άθροισμα της ηλεκτρικής ενέργειας, που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια ζωής όλων των διαφορετικών συσκευών και συστημάτων ενός κέντρου δεδομένων.

$$W_{comp,op} = \sum \dot{W}_{sys,op}$$

Εάν αυτή η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας πολλαπλασιαστεί με την τιμή του ηλεκτρισμού και γίνει χρήση της μεθόδου EIO, καθίσταται δυνατή η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της φάσης λειτουργίας του εξοπλισμού πληροφορικής.

Για την εκτίμηση του ενσωματωμένου αποτελέσματος, παρότι ένα κέντρο δεδομένων αποτελείται από διαφορετικά μοντέλα διακομιστών, επιλέχθηκε ένα χαρακτηριστικό και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υπόλοιπων μοντέλων υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της κλίμακας. Εκτιμήθηκαν δηλαδή οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των προμηθευτών των δέκα βιομηχανιών, όπως λήφθηκαν από τη μέθοδο EIO, που συνδέονται με την κατασκευή εξοπλισμού πληροφορικής. Χρησιμοποιήθηκε δηλαδή υβριδική μέθοδος για την εκτίμηση των επιπτώσεων.

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων οι συστάδες αποθήκευσης (racks), θεωρήθηκαν ως σκληροί δίσκοι, τοποθετημένοι σε πλαίσιο. Έγινε επιλογή ενός χαρακτηριστικού σκληρού δίσκου και οι επιπτώσεις του υπολογίστηκαν με τη μέθοδο EIO. Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων του δικτύου διανομής χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τον κλάδο τηλεπικοινωνιών.

Τα βασικά στοιχεία του συστήματος ψύξης είναι οι μονάδες CRAC, ο chiller, ο πύργος ψύξης και οι σωληνώσεις με τις αντλίες. Οι ανάγκες ισχύος του συστήματος ψύξης υπολογίστηκαν ως τμήμα του θερμικού φορτίου, δηλαδή της ισχύος που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό πληροφορικής, σύμφωνα με το μοντέλο COP_G.

$COP_G = \frac{\frac{Q_{dc}}{W_{comp}}}{1+A+B+C+D}$, όπου οι όροι A - D αναφέρονται σε παραμέτρους σχεδιασμού, ψυκτικού υγρού και μετρήσεις από ψυκτικά συστήματα.
Η συνολική κατανάλωση ισχύος από τη λειτουργία του ψυκτικού συστήματος υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$\dot{W}_{cooling,op} = \frac{\dot{W}_{compute,op}}{COP_G}$$

Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κλιματιστικών, εξοπλισμού της βιομηχανίας ψύξης και του κατασκευαστικού κλάδο (βιομηχανίες κατασκευής αντλιών).

Στον υπολογισμό των επιπτώσεων του δικτύου παροχής και παραγωγής ηλεκτρισμού υπολογίστηκαν οι απώλειες (βαθμός απόδοσης διαβίβασης του ρεύματος) στα διάφορα στοιχεία εξοπλισμού της διανομής ρεύματος.

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της λειτουργίας του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν οι βαθμοί απόδοσης των στοιχείων του συστήματος διανομής και η ισχύς, που απορροφά ο εξοπλισμός. Επομένως, η ισχύς που απορροφά το κέντρο δεδομένων από το δίκτυο δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{W}_{power,op} = \frac{\dot{W}_{compute,op}}{\eta_{dist} \cdot \eta_{UPS} \cdot \eta_{PDU}}$$

Τόσο η χρησιμοποιούμενη ενέργεια, όσο και οι ενσωματωμένες επιπτώσεις μετατρέπονται σε επιπτώσεις μέσω της μεθόδου EIO-LCA.

Ως λειτουργικές επιπτώσεις των κτιριακών εγκαταστάσεων θεωρήθηκαν κυρίως εκείνες, που προέρχονται από τον εξοπλισμό φωτισμού. Αντί για ακριβείς υπολογισμούς της συνολικής ισχύος που καταναλώνουν οι λάμπες και τα φωτιστικά, το φορτίο φωτισμού θεωρήθηκε ποσοστό της ισχύος του εξοπλισμού πληροφορικής (π.χ. 2%). Η σχέση, λοιπόν, με την οποία υπολογίστηκαν οι ανάγκες σε ηλεκτρισμό του κτιρίου είναι η ακόλουθη:

$$\dot{W}_{bldg,op} = x_{bldg} \cdot \dot{W}_{compute,op}$$

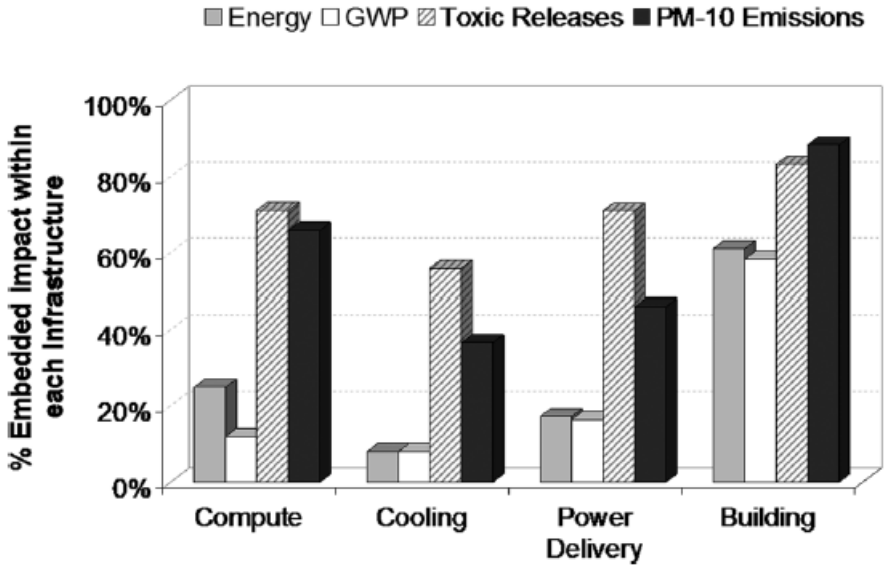
Οι επιπτώσεις του κελύφους υπολογίστηκαν λαμβάνοντας τυπικές επιπτώσεις κτιρίων από τη βιβλιογραφία.

Η παραπάνω μέθοδος μοντελοποίησης χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των επιπτώσεων ενός κέντρου δεδομένων μέγιστης ισχύος εξοπλισμού IT 2,2 MW και μέσου φορτίου στο 50% του μέγιστου. Ο αριθμός των διακομιστών της μελέτης ανήλθε σε 7.500 και το μέγεθος το κτιρίου 75.000 τετραγωνικά πόδια. Οι απώλειες ηλεκτρισμού εκτιμήθηκαν 10% επί της μέγιστης ισχύος και το φορτίο φωτισμού 2% της μέγιστης ισχύος. Ο συντελεστής COP_G λήφθηκε ως 1,8 και οι server σε εφεδρεία N+1. Η εκτίμηση των επιπτώσεων περιορίστηκε στα τρία χρόνια λειτουργίας.

Η εκτίμηση των επιπτώσεων πραγματοποιήθηκε ως προς τέσσερις κατηγορίες: την χρήση ενέργειας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τις εκπομπές τοξικών ουσιών και τις εκπομπές σωματιδίων διαμέτρου μικρότερης από 10 μm. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν, ότι οι μεγαλύτερες επιπτώσεις προέρχονται από τις εγκαταστάσεις εξοπλισμού πληροφορικής και ψύξης. Αντίθετα τα συστήματα μετάδοσης ισχύος και οι κτιριακές εγκαταστάσεις συνδυαστικά δεν ξεπερνούν το 10% των συνολικών επιπτώσεων σε καμία από τις κατηγορίες που εξετάστηκαν. Στις κατηγορίες εκπομπής τοξικών ουσιών και μικροσωματιδίων, ο εξοπλισμός πληροφορικής αποτελεί την κύρια πηγή ρύπανσης, ενώ στις κατηγορίες της χρήσης ενέργειας και του φαινομένου του θερμοκηπίου, η κύρια πηγή ρύπανσης είναι οι ψυκτικές εγκαταστάσεις. Στις κατηγορίες του φαινομένου του θερμοκηπίου και της χρήσης ενέργειας, η λειτουργία του κέντρου συνεισφέρει περισσότερο στις επιπτώσεις, ενώ το ενσωματωμένο αποτύπωμα συνεισφέρει λιγότερο από 20%. Από την άλλη, στις κατηγορίες των τοξικών ουσιών και των μικροσωματιδίων, οι ενσωματωμένες επιπτώσεις έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο της ρύπανσης.

Τα αποτελέσματα δείχνουν τους τομείς στους οποίους μπορούν να γίνουν αλλαγές, ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις. Προκειμένου να ελαττωθούν οι επιπτώσεις στις κατηγορίες των τοξικών ουσιών και των μικροσωματιδίων, απαιτούνται αλλαγές στην επιλογή των υλικών, στην αλυσίδα προμήθειας και στις διαδικασίες παραγωγής. Η χρήση εικονικών συστημάτων (virtual machines) και υποδομών cloud αντί απτών μηχανών ή η επιμήκυνση της ωφέλιμης ζωής των διακομιστών, θα μείωνε σημαντικά τις εκπομπές σωματιδίων, περισσότερο απ' ότι αλλαγές στην κατασκευή των κτιρίων. Παράλληλα, ανάγκη για μείωση χρήσης ενέργειας και για περιορισμό των εκπομπών του θερμοκηπίου δεν

προέρχεται μόνο από τη λειτουργία του κέντρου δεδομένων, αλλά και από τη βιομηχανία, που κατασκευάζει τον εξοπλισμό και τα μηχανήματα και οχήματα, που χρησιμοποιούνται σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα (Shah et al., 2011).



Εικόνα 20 Σύγκριση επιπτώσεων κάθε είδους εξοπλισμού και ανά κατηγορία επιπτώσεων (*Πηγή: Shah et al., 2011*)

Η μελέτη των Marwah et al. των εργαστηρίων της HP εκτίμησε τις επιπτώσεις της αρχιτεκτονικής (διαθεσιμότητας) των διακομιστών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της AKZ βασισμένης στην εξέργεια. Η διαθεσιμότητα εξετάστηκε με τη χρήση της μεθόδου stochastic petri net (SPN). Η μελέτη σύγκρινε πέντε διαφορετικές αρχιτεκτονικές υπαρχόντων κέντρων δεδομένων. Εφόσον αξιολογήθηκε η διαθεσιμότητα και οι επιπτώσεις των διαφορετικών αρχιτεκτονικών, εκτιμήθηκε το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (total cost of ownership -TCO) για κάθε αρχιτεκτονική, το οποίο περιλάμβανε το κόστος κεφαλαίου και τα λειτουργικά έξοδα.

Η πιο συχνή μέθοδος αύξησης της διαθεσιμότητας των διακομιστών είναι η χρήση εφεδρικού εξοπλισμού, δηλαδή η χρήση πρόσθετου εξοπλισμού (hardware) με έλεγχο λογισμικού, ο οποίος χρησιμοποιείται, όταν υπάρχουν πρόσθετες υπολογιστικές ανάγκες ή αστοχίες στον κύριο εξοπλισμό, πρακτική η οποία λειτουργεί αρνητικά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του εξοπλισμού πληροφορικής, επειδή εισάγει πρόσθετες ανάγκες σε πρώτες ύλες. Για το λόγο αυτό, οι συγγραφείς μελέτησαν τις επιπτώσεις

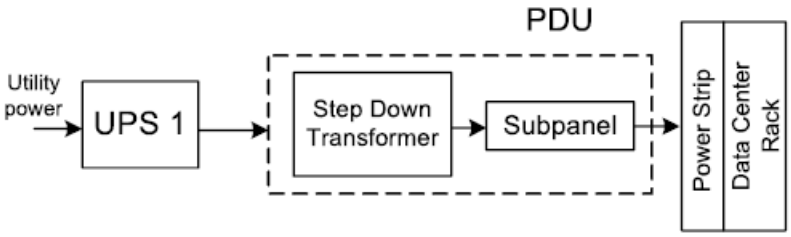
χρήσεις του πρόσθετου hardware, προκειμένου να εκτιμήσουν τη βέλτιστη σχέση διαθεσιμότητας – επιπτώσεων.

Η θεωρία SPN, που χρησιμοποιήθηκε, μοντελοποιεί και αναπαριστά αλληλεξαρτήσεις μεταξύ συσκευών και υποσυστημάτων, εφεδρικούς εξοπλισμούς εν ενεργεία και περιορισμούς χρήσης πόρων, όπως για παράδειγμα η ανάγκη συντήρησης του εξοπλισμού. Οι αλληλεξαρτήσεις εντός του συστήματος αναπαριστώνται ως διανύσματα μεταξύ θέσεων και μεταβάσεων και δείχνουν τις εξαρτημένες μεταβλητές του συστήματος. Οι θέσεις αντιπροσωπεύουν σύνθετες εξαρτημένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υποσυστημάτων. Η μοντελοποίηση βασίζεται σε μία βιβλιοθήκη παραμετροποιημένων απλούστερων, βασικών μοντέλων, τα οποία είναι ικανά να αναπαραστήσουν μεγάλο αριθμό ενεργών και ανενεργών εφεδρικών συσκευών.

Η ΑΚΖ υλοποιήθηκε με τη μέθοδο ΕΙΟ όσον αφορά στις συνέπειες, που συνδέονται με τη φάση σχεδιασμού και παραγωγής όλων των στοιχείων, που απαρτίζουν το κέντρο δεδομένων. Για τις συνέπειες, που συνδέονται με τη φάση λειτουργίας, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί, που περιλαμβάνουν το βαθμό απόδοσης και το χρόνο λειτουργίας των στοιχείων του εξοπλισμού. Η ΑΚΖ ήταν εξεργειακή, δηλαδή το μέτρο σύγκρισης των αρχιτεκτονικών εκφράστηκε σε μέτρο ενέργειας (Joule). Ο λόγος, που επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος, είναι ότι τα συστήματα πληροφορικής και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε ένα κέντρο δεδομένων, έχουν ως παραπροϊόν μεγάλα ποσά θερμότητας, τα οποία θα μπορούσαν να παράξουν μηχανικό έργο. Το ίδιο ισχύει για τα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σχετικού εξοπλισμού.

Η βασική αρχιτεκτονική Α1, η οποία αποτέλεσε το σημείο αναφοράς, δεν έχει εφεδρικό εξοπλισμό. Οι ρυθμοί αστοχίας κι ανάκτησης λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία. Τα διανύσματα μετάβασης αντιπροσωπεύουν το μέσο χρόνο αστοχίας των μονάδων UPS, του μετασχηματιστή (step down transformer –SDT), το subpanel και το rack power strip. Παράλληλα υπάρχει διάνυσμα μετάβασης, το οποίο αντιπροσωπεύει το χρόνο, που χρειάζεται κάθε στοιχείο για να επανέλθει μετά από αστοχία, όπως και θέση για κάθε στοιχείο. Όταν η θέση είναι ON σημαίνει, ότι το κάθε στοιχείο βρίσκεται σε λειτουργία, ενώ όταν είναι OFF σημαίνει, ότι το στοιχείο έχει αστοχήσει. Στην αρχιτεκτονική Α2 το στοιχείο UPS είναι διπλό, έχει προστεθεί δηλαδή μία εφεδρική μονάδα μαζί με διακόπτη σύνδεσης της εκάστοτε σε χρήση μονάδας UPS με την PDU (μετασχηματιστής και

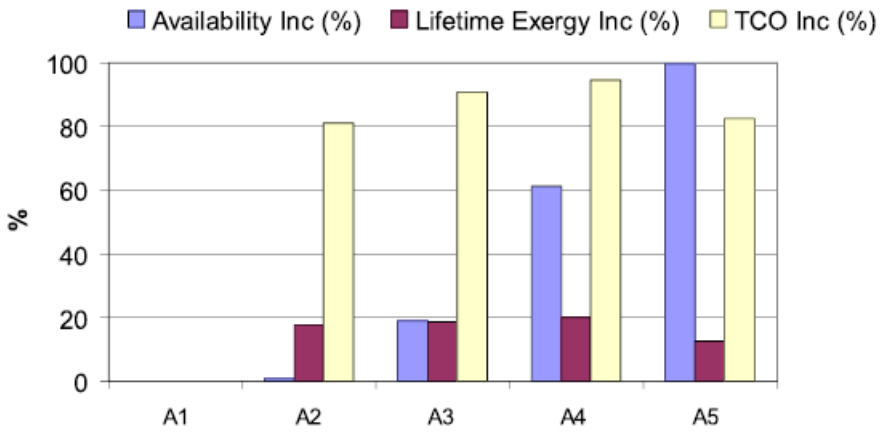
subpanel). Στις αρχιτεκτονικές A3, A4 και A5 υπάρχει εφεδρεία και για τα στοιχεία του μετασχηματιστή, του subpanel και του rack power strip αντίστοιχα. Η μοντελοποίηση παραμένει ίδια, απλώς κάθε φορά υπάρχει ένα παραπάνω διάνυσμα και πρόσθετες θέσεις, που αντιπροσωπεύουν το πρόσθετο στοιχείο του συστήματος. Επομένως, στην αρχιτεκτονική A5 όλα τα στοιχεία έχουν εφεδρικό σύστημα, αλλά έχει καταργηθεί η χρήση του διακόπτη σύνδεσης και αντί αυτού γίνεται χρήση διπλού καλωδίου.



Εικόνα 21 Νέα προτεινόμενη αρχιτεκτονική μονάδων μετάδοσης ρεύματος διακομιστών (*Πηγή: Marwah et al., 2010*)

Τα αποτελέσματα έδειξαν, όπως αναμενόταν, ότι με την αύξηση της εφεδρείας αυξάνει και η διαθεσιμότητα. Με την αύξηση της εφεδρείας αυξάνει παράλληλα και η εξέργεια του συστήματος. Μεγαλύτερη αύξηση (18%) παρατηρείται από την αρχιτεκτονική A1 στην A2, γιατί μαζί την εφεδρική μονάδα UPS προστέθηκε και ο διακόπτης. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η προσθήκη κάθε εφεδρείας οδηγεί σε σταθερή αύξηση εξέργειας κατά 2%, εκτός από την τελευταία περίπτωση, στην οποία παρατηρείται μείωση, η οποία οφείλεται στην αφαίρεση του διακόπτη από το σχεδιασμό του συστήματος. Η προσθήκη δηλαδή των μονάδων εφεδρείας έχει μικρή διαφορά ως προς τη συνολική κατανάλωσης εξέργειας του συστήματος. Ως προς το κόστος, οι αρχιτεκτονικές A2 και A5 έχουν παρόμοιο συνολικό κόστος. Ομοίως οι A3 με την A4, το κόστος των οποίων είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τις A2 και A5. Η διαφορά στο κόστος από την αρχιτεκτονική A1 στην A2 οφείλεται στο μεγάλο κόστος της μονάδας UPS. Από τα αποτελέσματα φαίνεται, ότι αύξηση στην εφεδρεία δεν οδηγεί σε όμοια αύξηση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Με την προσθήκη εφεδρικού εξοπλισμού επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση στην διαθεσιμότητα του συστήματος με πολύ μικρή συγκριτικά αύξηση των επιπτώσεων. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι η μείωση του εφεδρικού εξοπλισμού δεν αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης και δε χρειάζεται να αποτελεί προτεραιότητα στο σχεδιασμό περιβαλλοντικά φιλικότερων κέντρων δεδομένων. Παράλληλα, οι αυξήσεις στο κόστος δε συνάδουν με τις αυξημένες περιβαλλοντικές

επιπτώσεις, οπότε το κόστος δεν μπορεί να αποτελέσει σημείο αναφοράς για το σχεδιασμό περιβαλλοντικά φιλικότερων κέντρων δεδομένων (Marwah et al., 2010).

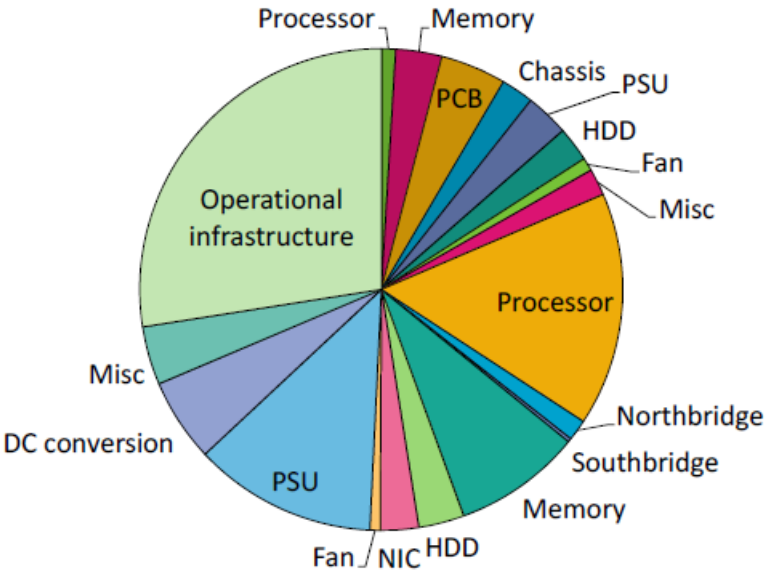


Εικόνα 22 Σύγκριση πέντε καινοτόμων συγκροτημάτων μετάδοσης ρεύματος διακομιστή ως προς αξιοπιστία. εξέργεια και κόστος (*Πηγή: Marwah et al., 2010*)

Η μελέτη των Chang et al., όπως η προηγούμενη, εκτιμά τόσο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις λειτουργίας, όσο και τις ενσωματωμένες, κάνοντας χρήση της εξεργειακής ΑΚΖ. Στόχος της μελέτης είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας, την οποία οι σχεδιαστές των συστημάτων πληροφορικής μπορούν να χρησιμοποιήσουν για ν' αποτιμήσουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των διαφόρων τύπων διακομιστών. Κάνοντας χρήση της εξεργειακής ΑΚΖ οι συγγραφείς συγκρίνουν τις επιπτώσεις συγκεκριμένων σχεδιασμών, που θεωρούνται βελτιστοποιημένοι, ως προς το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Τα βελτιστοποιημένα μοντέλα περιλαμβάνουν τεχνολογίες, όπως επεξεργαστές χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, διαχωρισμός (disaggregation), δηλαδή κατακερματισμός δομικών στοιχείων για ευκολότερη αλλαγή, αποϋλοποίηση (dematerialization), δηλαδή σχεδιασμός συσκευών με λιγότερα υλικά και χρήση εξωτερικού αέρα περιβάλλοντος για ψύξη. Ο λόγος της χρήσης βελτιστοποιημένων σχεδιασμών για τη σύγκριση είναι, ότι οι διαφοροποιήσεις στο σχεδιασμό, συχνά έχουν απρόβλεπτες (θετικές ή αρνητικές) επιπτώσεις στη λειτουργία των συστημάτων.

Οι μελετητές χρησιμοποίησαν την εξεργειακή ανάλυση, επειδή έχει αποδειχθεί, ότι για τις συνθήκες σχεδιασμού, παραγωγής και λειτουργίας του εξοπλισμού πληροφορικής, βελτιστοποίηση στο δείκτη της εξέργειας συνεπάγεται βελτιστοποίηση στην περιβαλλοντική φυσιογνωμία ως προς πλήθος κατηγοριών συνεπειών. Επίσης, η χρήση της εξέργειας ως δείκτη διευκολύνει, επειδή υπάρχουν δεδομένα εξεργειακών ροών στη βιβλιογραφία, που αφορούν την κατασκευή διακομιστών. Η μελέτη επικεντρώνεται στην

παρουσίαση της εξεργειακής χρήσης, όχι ανά υλικό, αλλά ανά στοιχείο ή είδος εξοπλισμού, ώστε να καταστεί δυνατό η ανάλυση αυτή να χρησιμοποιηθεί από τους σχεδιαστές των συστημάτων πληροφορικής.



Εικόνα 23 Σύγκριση στοιχείων συσκευής διακομιστή ως προς την εξεργειακή τους κατανάλωση (*Πηγή: Chang et al., 2012*)

Η εξέργεια από τη λειτουργία των διακομιστών υπολογίζεται από την κατανάλωση ισχύος και στο μοντέλο ονομάστηκε «εξέργεια διακομιστών». Γι' αυτό, για κάθε στοιχείο του εξοπλισμού πληροφορικής χρησιμοποιείται η μέγιστη ισχύς και εκτιμάται, με ποιο τρόπο διαφέρει η λειτουργία με βάση τη χρήση της συσκευής. Αρχικά εκτιμάται το φορτίο εργασίας, το μοντέλο χρήσης των πόρων και η περίοδος λειτουργίας και στη συνέχεια αυτές οι εκτιμήσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης εξέργειας.

Εκτός από τον εξοπλισμό πληροφορικής, εξέργεια καταναλώνουν και τα συστήματα μετάδοσης ηλεκτρισμού και τα συστήματα ψύξης. Η εξέργεια υπολογίζεται με τη βοήθεια του δείκτη PUE και ονομάστηκε «εξέργεια λειτουργικών υποδομών». Η τιμή PUE αρχικά μπορεί να ληφθεί δεδομένη, αλλά για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των συστημάτων ψύξης, υπολογίζεται αρχικά ο δείκτης COP_G και στη συνέχεια ο PUE.

Τα αποτελέσματα της εξεργειακής ανάλυσης ΑΚΖ έδειξαν, ότι η περισσότερη εξέργεια καταναλώνεται από τη λειτουργία του εξοπλισμού πληροφορικής (ποσοστό 54%). Σε ποσοστό 27% η εξέργεια καταναλώνεται από τα συστήματα μετάδοσης ισχύος και ψύξης. Τέλος, οι διαδικασίες εξαγωγής πρώτων υλών, παραγωγής του εξοπλισμού και

τελικής απόθεσης καταναλώνουν το 19% της εξέργειας, ποσό που παρόλο είναι το μικρότερο συγκριτικά, παραμένει σημαντικό. Η συνολική κατανάλωση εξέργειας κατά τη διάρκεια των τριών χρόνων λειτουργίας βρέθηκε 25,4 GJ. Το αποτέλεσμα συγκρίθηκε, με εκείνο που προέκυψε από την εξεργειακή ανάλυση βασισμένη στις πρώτες ύλες (26,8 GJ) και προέκυψε διαφορά της τάξης του 5%, οπότε θεωρήθηκε, ότι τα αποτελέσματα ήταν σε συμφωνία.

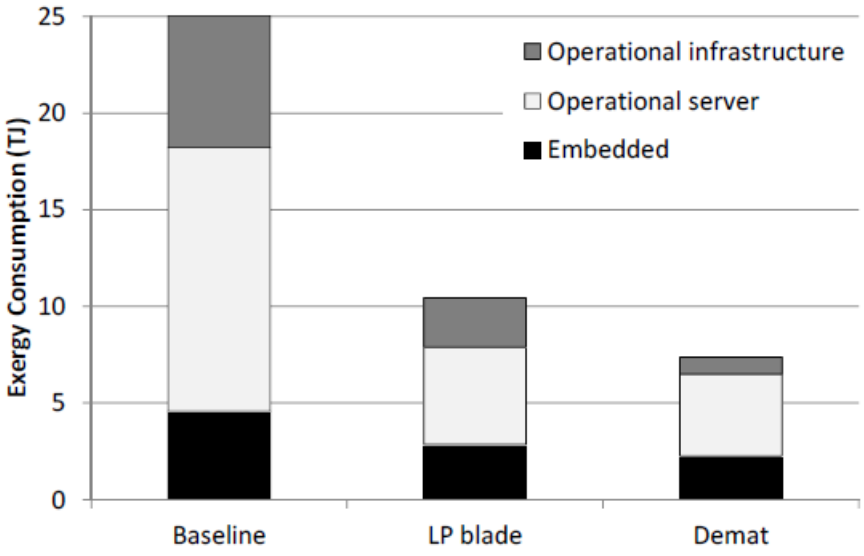
Τα βελτιστοποιημένα μοντέλα των κέντρων δεδομένων είναι όλα βασισμένα στη χρήση container πλοίων για την κατασκευή των blocks του εξοπλισμού πληροφορικής. Το βασικό σενάριο περιλαμβάνει την ευρέως χρησιμοποιούμενη διάταξη των διακομιστών τοποθετημένων πάνω σε συστοιχίες, με τη σειρά τους στερεωμένες στο container (rack-mounted servers). Τα δύο βελτιστοποιημένα σενάρια αφορούν 1) χρήση επεξεργαστών χαμηλής ισχύος από παραδοσιακούς blade servers, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση εξέργειας και 2) χρήση διαφορετικών τεχνολογιών, οι οποίες αποτελούν την τάση στον τεχνολογικό σχεδιασμό, όπως την απόσπαση (disaggregation), την αποϋλοποίηση (dematerialization) και την ψύξη με εξωτερικό αέρα περιβάλλοντος (free cooling).

Το βασικό σενάριο αφορά τον τυπικό σχεδιασμό της HP, HP POD container με containers μεγέθους 12m x 2.33m x 2.35m, κάθε ένα από τα οποία περιέχει 1056 διακομιστές σε δύο τμήματα 11 συστοιχιών έκαστο. Οι διακομιστές, που εξετάστηκαν ήταν μοντέλο DL360 με ενσωματωμένους ανεμιστήρες για ψύξη. Κάθε container έχει δικό του εναλλάκτη θερμότητας για ψύξη, ο οποίος μπαίνει σε λειτουργία. όταν οι ανεμιστήρες δεν είναι πλέον αποδοτικοί.

Το βελτιστοποιημένο σενάριο που κάνει χρήση επεξεργαστών χαμηλής ισχύος χρησιμοποιεί το μοντέλο διακομιστή LP-blade HP bc2500. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει ενσωματωμένο διπύρηνο (dual-core) επεξεργαστή Athlon 64X2 3000+. Θεωρήθηκε, ότι το νέο μοντέλο τηρεί τις μέγιστες απαιτήσεις σε ισχύ όμοιες με το βασικό σενάριο. Τα πτερύγια χρησιμοποιούνται για κοινή απαγωγή των θερμικών φορτίων και κοινή χρήση ψύξης από το σύστημα. Ο εναλλάκτης θερμότητας των container παρέμεινε ίδιος.

Στο σενάριο της αποσύνδεσης, αποϋλοποίησης και φυσικής ψύξης θεωρήθηκε, ότι η τοποθεσία του κέντρου δεδομένων βρίσκεται σε κατάλληλο τόπο, όπως το San Francisco. Η ψύξη στη συγκεκριμένη περίπτωση επιτυγχάνεται από μία σειρά ανεμιστήρων στερεωμένων στη μία πλευρά του container. Ο σχεδιασμός των διακομιστών είναι

διαφορετικός, περιλαμβάνει πτερύγια διαφορετικών λειτουργιών, ώστε παρόμοιες λειτουργίες να εκτελούνται στην ίδια πλευρά. Κάθε διακομιστής αποτελείται από δύο πτερύγια, το πτερύγιο επεξεργασίας (compute blade) και το πτερύγιο αποθήκευσης (memory blade), τα οποία συνδέονται σε ένα σημείο, τη «ραχοκοκαλιά» (spine backplane) του διακομιστή. Το σημείο σύνδεσης είναι υπεύθυνο για την ευκολότερη ροή της θερμότητας και του αέρα και τη μετάδοση του ρεύματος και των πληροφοριών. Αυτή η αρχιτεκτονική επιτρέπει τη μείωση των απαιτούμενων υλικών για την κατασκευή του εξοπλισμού.



Εικόνα 24 Σύγκριση επιπτώσεων τριών σχεδιασμών διακομιστών και των υποστηρικτικών τους εγκαταστάσεων με βάση την εξέργεια (*Πηγή: Chang et al., 2012*)

Τα αποτελέσματα της εξεργειακής ΑΚΖ των τριών αρχιτεκτονικών δείχνουν κατανάλωση 25TJ για το βασικό σενάριο, 10,5TJ για το σενάριο επεξεργαστή χαμηλής ισχύος, δηλαδή μείωση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά 58% και 7,4TJ για το σενάριο αποϋλοποίησης, δηλαδή 71% μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε σχέση με το βασικό σενάριο. Οι μειωμένες επιπτώσεις των βελτιστοποιημένων σεναρίων προέρχονται από τη μείωση χρήσης εξέργειας, τόσο από την παραγωγή του εξοπλισμού, όσο και από τη λειτουργία. Το σενάριο του επεξεργαστή χαμηλής ισχύος οδηγεί σε μείωση των συνολικών λειτουργικών αναγκών σε εξέργεια κατά 63% και των αναγκών από την κατασκευή του εξοπλισμού κατά 38%. Το σενάριο αποϋλοποίησης οδηγεί σε μείωση της χρήσης εξέργειας από τη λειτουργία του εξοπλισμού πληροφορικής κατά 69%, από τον λοιπό εξοπλισμό κατά 87% και από την κατασκευή του εξοπλισμού κατά 87%.

Παρότι δεν ήταν ο αρχικός στόχος, η αλλαγή του σχεδιασμού του διακομιστή από rack-mounted σε LP-blade, μείωσε την ενσωματωμένη χρήση εξέργειας κατά 38%. Η μείωση αυτή οφείλεται σε τμήματα του εξοπλισμού, που είναι κοινά και στα δύο πτερύγια και στα λιγότερα υλικά (πυρίτιο, υλικά ηλεκτρικών κυκλωμάτων), που απαιτούνται για την κατασκευή αυτού του τύπου διακομιστή. Στην περίπτωση της αποϋλοποίησης, οι μειωμένες επιπτώσεις προέρχονται κυρίως από τη λειτουργία διαχωρισμού της αποθήκευσης (memory disaggregation), ενώ δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στην εξεργειακή κατανάλωση σε σχέση με το δεύτερο σενάριο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει, ότι η χρήση του εξωτερικού αέρα συνεισφέρει μόνο κατά 36% στις μειωμένες επιπτώσεις λειτουργίας. Όλες οι υπόλοιπες μειώσεις προέρχονται από τις αλλαγές, που έγιναν στο σχεδιασμό του εξοπλισμού πληροφορικής, δηλαδή από τις ενσωματωμένες επιπτώσεις.

Επειδή τα αποτελέσματα υποδεικνύουν, ότι το 20% των επιπτώσεων προέρχεται από τη διαδικασία κατασκευής του εξοπλισμού και ότι επεμβάσεις στο σχεδιασμό οδηγούν σε μείωση των επιπτώσεων αυτών κατά 30-40% είναι φανερό, ότι οι προσπάθειες για μείωση των επιπτώσεων δεν πρέπει να περιορίζονται μόνο στη λειτουργία, αλλά πρέπει να επεκτείνονται και στο σχεδιασμό. Για τους παραπάνω λόγους περαιτέρω έρευνα σε τομείς, όπως χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τα συστήματα, σχεδιασμός συστημάτων με καλύτερη ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας, ανακύκλωση και upcycling χρησιμοποιούμενων υλικών και βελτιωμένης απόδοσης ανά επένδυση σε πυρίτιο, δηλαδή υλικά μεγαλύτερης απόδοσης, φαίνεται να έχουν σημαντικές προοπτικές μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Chang et al., 2012).

Η μελέτη των Meza et al. αποτελεί εξεργειακή ΑΚΖ. Επειδή είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η εξέργεια του συστήματος, όταν οι συγγραφείς αναφέρονται στη λειτουργική εξέργεια την ταυτίζουν με την ενέργεια, που καταναλώνει το σύστημα. Ο τρόπος υπολογισμού της χρήσης ενέργειας από τα διάφορα συστήματα του κέντρου δεδομένων είναι παρόμοιος με τον τρόπο, που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες μελέτες. Για την εκτίμηση της χρησιμοποιούμενης ισχύος, χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη ισχύς των συσκευών και το πραγματικό προφίλ της χρησιμοποιούμενης ισχύος υπολογίστηκε από τη βιβλιογραφία, από εσωτερικά τεστ και από συνομιλίες με

σχεδιαστές τέτοιων συστημάτων. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, είναι παρόμοιο με αυτό των προηγούμενων μελετών.

Στην ανάλυση συμπεριλαμβάνεται η εξαγωγή πρώτων υλών και η κατασκευή του εξοπλισμού πληροφορικής, η λειτουργία του εξοπλισμού πληροφορικής, η λειτουργία του εξοπλισμού μετάδοσης ισχύος και των συστημάτων ψύξης, όχι όμως η κατασκευή τους. Σε γενικές γραμμές θεωρήθηκε, ότι η κατασκευή των συστημάτων μετάδοση ισχύος και ψύξης είναι μικρή σε σχέση τόσο με την κατασκευή του εξοπλισμού πληροφορικής όσο και με τη συνολική λειτουργία του συστήματος.

Η εξεργειακή ανάλυση έγινε με βάση τα στοιχεία των συστημάτων του κέντρου δεδομένων και όχι με βάση τις πρώτες ύλες. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι η λειτουργία του εξοπλισμού πληροφορικής έχει τις κύριες επιπτώσεις (κατανάλωση εξέργειας 51%), ακολουθεί η λειτουργία των λοιπών συστημάτων με ποσοστιαία κατανάλωση 25% και οι ενσωματωμένες επιπτώσεις του εξοπλισμού πληροφορικής με ποσοστό 24%.

Στη συνέχεια θεωρήθηκε διαφορετική σχεδίαση σε τρία στάδια, που αφορούσε αλλαγές σε καθεμιά από τις τρεις πηγές επιπτώσεων. Το μέτρο για την αξιολόγηση των διαφορετικών συστημάτων είναι απόδοση ανά συνολική εξεργειακή κατανάλωση, ώστε να ελέγχεται αν οι παρεμβάσεις στο σχεδιασμό σ’ ένα σημείο της εγκατάστασης, οδηγεί σε αρνητικά αποτελέσματα άλλες λειτουργίες. Όσον αφορά στον εξοπλισμό πληροφορικής, ο βελτιστοποιημένος σχεδιασμός στοχεύει τον διαχωρισμό (disaggregation), δηλαδή τη χρήση διαφορετικού στοιχείου για κάθε λειτουργία, ώστε να διευκολύνεται η αντικατάσταση του στοιχείου έναντι ολόκληρης της συσκευής. Αυτή η λογική διευκολύνει το δεύτερο στόχο του σχεδιασμού, που είναι η ανακύκλωση ή upcycling των υλικών. Ο απώτερος στόχος είναι η χρήση λιγότερων πρώτων υλών για την παραγωγή των συσκευών. Ο σχεδιασμός που επιλέχθηκε, είναι όμοιος με την προηγούμενη μελέτη, δηλαδή ξεχωρίζει τις λειτουργίες και έχει ένα σημείο σύνδεσης, ώστε πολλά στοιχεία και υπολογιστικοί πόροι να μοιράζονται και ταυτόχρονα να διευκολύνεται η ψύξη. Άλλη μία λύση που εξετάζεται, είναι η χρήση επεξεργαστή χαμηλής ισχύος. Το σύστημα ψύχεται με αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Για καλύτερη κατανομή του θερμοκρασιακού φορτίου κάθε πτερύγιο επεξεργασίας συνδέεται μ’ ένα πτερύγιο αποθήκευσης. Επειδή σε αυτό το σχεδιασμό το υπολογιστικό τμήμα έχει διαχωριστεί από το τμήμα αποθήκευσης, έχει δημιουργηθεί ένα τμήμα με

υψηλή πυκνότητα υπολογιστικής ισχύος, οπότε με υψηλές ανάγκες σε ψύξη κι ένα τμήμα με μικρότερη πυκνότητα υπολογιστικής ισχύος, οπότε μικρότερες απαιτήσεις σε ψύξη. Για βελτιστοποίηση της ψύξης θεωρήθηκε, ότι το τμήμα χαμηλής πυκνότητας θα ψύχεται πρώτο. Για τη διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας αρχικά χρησιμοποιούνται οι ενσωματωμένοι ανεμιστήρες των container, αλλά όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα περιβάλλοντος φτάσει τους 35 βαθμούς Κελσίου, τότε μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα κλιματισμού (συστήματα διαστολής). Με βάση αυτή τη λειτουργία υπολογίζεται ο COP_G της εγκατάστασης και στη συνέχεια δεδομένου του COP_G, υπολογίζεται και ο ετήσιος δείκτης PUE. Για τον τόπο, που επιλέχθηκε ο μέσος ετήσιος PUE υπολογίστηκε 1,3. Η ίδια εγκατάσταση σε ένα διαφορετικό τόπο με μικρότερες θερμοκρασίες. όπως για παράδειγμα η Μεγάλη Βρετανία ή η δυτική Ευρώπη μπορεί να πετύχει μέσο ετήσιο PUE ίσο με 1,2.

Ο νέος σχεδιασμός των διακομιστών και των container επιτρέπει μείωση των απωλειών πίεσης κατά την ψύξη κατά 4%, μείωση των αναγκών σε ηλεκτρισμό του συστήματος ψύξης κατά 10% εξαιτίας της νέας ροής αέρα και θερμότητας με τη νέα διάταξη, ελάττωση του βοηθητικού εξοπλισμού ψύξης και των θερμικών διεργασιών κατά 14% και οδηγεί σε 16% μείωση κόστους. Η συνολική κατανάλωση εξέργειας υπολογίστηκε 31% λιγότερη, μείωση που προήλθε από πολλά στοιχεία της διάταξης. Επίσης, η λειτουργική κατανάλωση εξέργειας μειώθηκε κατά 28%.

Ο συνολικός σχεδιασμός, λοιπόν, οδηγεί σε συνολική μείωση της χρήσης εξέργειας κατά 41%. Ωστόσο, κανένα στοιχείο από μόνο του δεν παρουσιάζει μείωση χρήσης εξέργειας μεγαλύτερη από 16%, οπότε δεν μπορεί κάποιο στοιχείο να θεωρηθεί στοιχείο προτεραιότητας στο σχεδιασμό. Η απόδοση ανά συνολική εξεργειακή κατανάλωση βελτιώθηκε 1,6 φορές (Meza et al., 2010).

ΚΕΦ.4: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΚΖ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ

4.1 Σκοπός και Αντικείμενο της μελέτης

Η συγκεκριμένη εργασία καταπιάνεται με τη μελέτη του κύκλου ζωής του κέντρου δεδομένων του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου κατηγορίας Tier III. Το συγκεκριμένο κέντρο δεδομένων αποτελείται από δύο χώρους σε ξεχωριστά κτίρια διαφορετικής ηλικίας. Κάθε χώρος περιλαμβάνει δύο δωμάτια, ένα για τη στέγαση του εξοπλισμού πληροφορικής κι ένα για την εξυπηρέτηση του προσωπικού του κέντρου.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, που προκύπτει από τη λειτουργία του κέντρου δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής του εξοπλισμού, που το απαρτίζει.

4.2 Περιγραφή του Κέντρου Δεδομένων

Το κέντρο δεδομένων είναι χωρισμένο σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος (Α) βρίσκεται σε κλειστό δωμάτιο 19,3 τ.μ. κτηρίου 22 ετών στον πρώτο όροφο και το δεύτερο (μέρος Β) στο υπόγειο 27,6 τ.μ. κτηρίου 10 ετών. Στο ίδιο κτήριο βρίσκεται και το δωμάτιο της UPS, που καταλαμβάνει χώρο 6,72 τ.μ. Και τα δύο μέρη συνοδεύονται από ένα δωμάτιο προσωπικού με δύο γραφεία έκαστο. Ο εξοπλισμός πληροφορικής και των δύο τμημάτων καταλαμβάνει περίπου 7,2 τ.μ., ενώ η πυκνότητα ισχύος εκτιμάται στα 1.500 W/m^2.

Το μέρος Α στεγάζει 20 διακομιστές και 4 μονάδες αποθήκευσης σε 4 ράφια, ενώ το μέρος Β 28 διακομιστές και 6 μονάδες αποθήκευσης σε 3 ράφια. Εκτός από τους διακομιστές και τις μονάδες αποθήκευσης στα ράφια στεγάζεται και λοιπός εξοπλισμός πληροφορικής. Οι διακομιστές είναι κυρίως τύπου rack και blade. Όλοι οι διακομιστές είναι ενεργοί και σε χρήση κάθε χρονική στιγμή, εκτός από 2 ώρες κάθε χρόνο. προκειμένου να πραγματοποιηθεί η συντήρησή τους. Η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού είναι 10 χρόνια. Μετά το πέρας των 10 χρόνων ο εξοπλισμός ανακυκλώνεται.

Το σύστημα ψύξης του εξοπλισμού είναι Floor Standing Type Air Conditioner. Η ηλεκτρική ισχύς μεταδίδεται μέσω τεσσάρων μονάδων διανομής ρεύματος (Power

Distribution Units – PDU) και δύο τροφοδοτικών (Uninterruptible Power Supply – UPS). Σε περίπτωση βλάβης, το σύστημα μπορεί να ηλεκτροδοτηθεί από δύο γεννήτριες πετρελαίου έκτακτης ανάγκης.

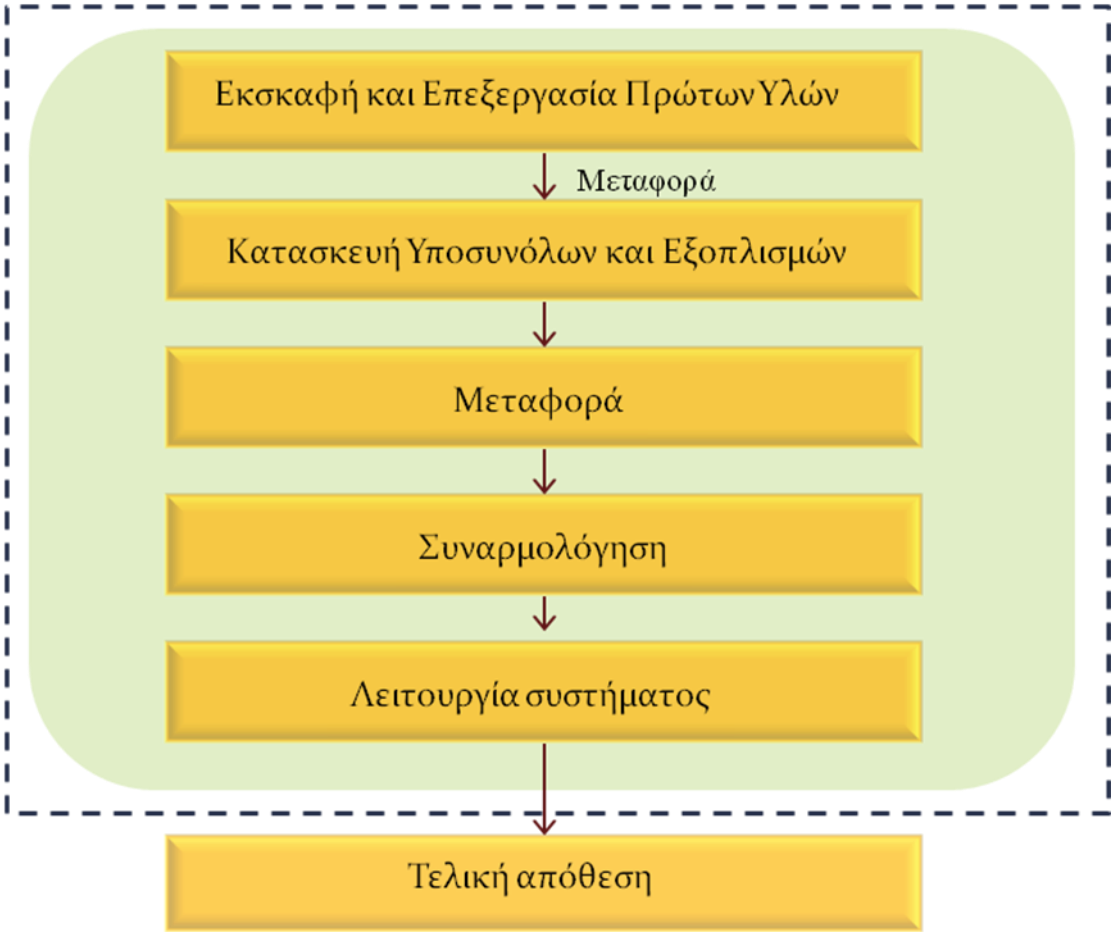
4.3 Επιλογή της Λειτουργικής Μονάδας

Ως λειτουργική μονάδα επιλέχθηκε 1 GB (Giga Byte) αποθήκευσης. Η λειτουργική μονάδα στηρίχθηκε δηλαδή στις μονάδες αποθήκευσης και όχι στους διακομιστές.

4.4 Καθορισμός των Ορίων του Συστήματος

Στα όρια του συστήματος περιλαμβάνεται η εξαγωγή πρώτων υλών του εξοπλισμού πληροφορικής, η μεταφορά του εξοπλισμού από το εργοστάσιο κατασκευής, η συναρμολόγηση στον χώρο του Πανεπιστημίου και η λειτουργία του.

Ο χρόνος λειτουργίας θεωρήθηκε 10 χρόνια, επειδή κάθε τόσα πραγματοποιείται η πρώτη αντικατάσταση του εξοπλισμού πληροφορικής (διακομιστών).



Εικόνα 25 Όρια συστήματος ΑΚΖ κέντρου δεδομένων Χαροκοπείου Πανεπιστημίου

Το κέντρο δεδομένων βρίσκεται στην Καλλιθέα Αττικής, επομένως η λειτουργία όλου του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, όπως και του εξοπλισμού πληροφορικής πραγματοποιείται με ηλεκτρικό ρεύμα παραγμένο ή εισηγμένο στην Ελλάδα. Η κατασκευή του εξοπλισμού θεωρήθηκε, ότι πραγματοποιήθηκε στα μεγάλα εργοστάσια κάθε εταιρίας πληροφορικής ή ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

Το διάγραμμα ροής της Εικόνας 25 είναι ενδεικτικό. Επειδή οι συσκευές και τα στοιχεία ή οι πρώτες ύλες του εξοπλισμού λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων του SimaPro, τα αυστηρά όρια του συστήματος εξαρτώνται από τα όρια κάθε υλικού. Στον Πίνακα 6 συνοψίζονται τα όρια των στοιχείων εξοπλισμού της βάσης δεδομένων.

Πίνακας 6 Πρώτες ύλες και στοιχεία βάσης δεδομένων SimaPro που χρησιμοποιήθηκαν στη μοντελοποίηση και τα όριά τους

Υλικό / Εξάρτημα	Πρώτη ύλη	Εξόρυξη	Μεταφορά	Επεξεργασία	Μεταφορά μετά επεξεργασίας	Απόβλητα	Σχόλια
Διακομιστής / Μονάδα Αποθήκευσης							
Εποξικά (g)	ναι	όχι	ναι	όχι			resin Al2O3
Πλαστικό PVC (g)	ναι	ναι	ναι				Δεν περιλαμβάνονται οι εκπομπές μετάλλων σε αέρα και νερό, το θείο σε μέταλλο και η χρήση αέρα
Λοιπά πλαστικά (g)	ναι			ναι		ναι	Επιλέχθηκε το «carbon fibre reinforced plastic», οι εκπομπές και η απαιτούμενη ενέργεια περιλαμβάνονται στις επιπτώσεις
Γυάλινα μέρη (e-glass) (g)	ναι		ναι	ναι			Οι συσκευασίες, η απαιτούμενη ενέργεια και οι εκπομπές επεξεργασίας περιλαμβάνονται
Οξείδιο πυριτίου (g)	ναι			ναι		ναι	Περιλαμβάνονται οι εκπομπές και η ενέργεια
Κεραμικά (g)	ναι		ναι	ναι	ναι		
Πυρίτιο (g)	ναι			ναι		ναι	Περιλαμβάνονται οι εκπομπές σε αέρα αλλά όχι σε νερό κι η απαιτούμενη ενέργεια

Σίδηρος -Fe (g)	ναι		ναι	ναι			Περιλαμβάνονται η χρήση λοιπών μετάλλων για την επεξεργασία, η ενέργεια κι οι εκπομπές
Χαλκός - Cu (g)	ναι		ναι	ναι		ναι	
Αργίλιο - Al (g)	ναι		ναι	ναι		ναι	
Νικέλιο - Ni (g)	ναι	ναι		ναι		ναι	Εκπομπές και απόβλητα διεργασιών, θείο σε απόβλητα
Κασσίτερος - Sn (g)	ναι	όχι	όχι	ναι	όχι	όχι	Sn97Cu3
Ψευδάργυρος - Zn (g)			ναι	ναι			
Μόλυβδος - Pb (g)	ναι		ναι	ναι		ναι	Απόβλητα επεξεργασίας περιλαμβάνονται
Χρυσός - Au (g)	ναι	ναι	ναι	ναι			Ενέργεια, γη, εκπομπές σε αέρα και νερό
Πλατίνα - Pt (g)	ναι	ναι		ναι			Εκπομπές από επεξεργασία και εξόρυξη, θείο σε απόβλητα
Παλάδιο - Pd (g)	ναι	ναι		ναι		ναι	Εκπομπές από επεξεργασία και εξόρυξη
Άργυρος - Ag (g)	ναι			ναι			
Μονάδα αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (UPS)							
Πλαίσιο και μεταλλικά μέρη	ναι			ναι			
Καλωδίωση	ναι		ναι	ναι		ναι	Εκπομπές σε αέρα, απαιτούμενη ενέργεια και καύσιμα
Πλαστικά	ναι			ναι			
Επαγωγείς	ναι			ναι			
Πυκνωτές	ναι		ναι	ναι			
PWBs	ναι			ναι			Μοντέλο χωρίς μόλυβδο, υποδομές περιλαμβάνονται
Διακόπτες	ναι		ναι	ναι			Απαιτούμενη ενέργεια, υποδομές
Δίοδοι	ναι			ναι			
Ανεμιστήρας	ναι		ναι	ναι			
Ολοκληρωμένα κυκλώματα	ναι		ναι	ναι			Ενέργεια
Μπαταρίες	ναι		ναι	ναι			
Μονάδες Κλιματισμού							
Πλαστικά	ναι			ναι			

Χαλκός	ναι		ναι	ναι		ναι	Λοιπά επεξεργασίας χαλκού
Αλουμίνιο	ναι		ναι	ναι		ναι	
Χάλυβας	ναι	ναι	ναι	ναι		ναι	Ενέργεια, εκπομπές σε αέρα και νερό
Λοιπός εξοπλισμός							
Καλώδια	ναι		ναι	ναι		ναι	Εκπομπές σε αέρα, απαιτούμενη ενέργεια και καύσιμα
PDU	ναι		ναι	ναι			Για ηλεκτρικό αυτοκίνητο
Υπολογιστής	ναι		ναι	ναι			
Πληκτρολόγιο	ναι		ναι	ναι			
Τυπωμένη πλακέτα καλωδίωσης	ναι		ναι	ναι			Μοντέλο χωρίς μόλυβδο
Πλαίσιο	ναι		ναι	ναι			
Λάμπα	ναι			ναι		ναι	Ενέργεια

4.5 Πηγές Δεδομένων

Τα δεδομένα αντλήθηκαν από ερωτηματολόγιο, που στάλθηκε στους υπεύθυνους λειτουργίας του κέντρου δεδομένων και από τη σχετική βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία που αφορούν τον εγκατεστημένο εξοπλισμό πληροφορικής, τις ψυκτικές του ανάγκες και τις μονάδες παροχής ρεύματος λήφθηκαν από το προσωπικό του κέντρου. Τα υπόλοιπα στοιχεία για τον εξοπλισμό λήφθηκαν από τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών, εκτός από στοιχεία για τις πρώτες ύλες του εξοπλισμού πληροφορικής, τα οποία λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία.

4.6 Απογραφή Δεδομένων

Πρώτες Ύλες κι Εξοπλισμός

Για την απογραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία, που λήφθηκαν από το προσωπικό του κέντρου. Με βάση τις απαντήσεις και τα μοντέλα του εξοπλισμού κάθε είδους λήφθηκαν πρόσθετες πληροφορίες από τα τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών ή τις πληροφορίες, που έχουν ανηρτημένες οι κατασκευαστές στις σχετικές ιστοσελίδες του διαδικτύου. Σε όποιες περιπτώσεις δεν ήταν δυνατό να βρεθούν σχετικές πληροφορίες, πραγματοποιήθηκαν εκτιμήσεις με βάση παρόμοια μοντέλα και τα χαρακτηριστικά του λοιπού εξοπλισμού, που χρησιμοποιείται.

Ο εξοπλισμός πληροφορικής, που βρίσκεται στα δύο μέρη του κέντρου δεδομένων αναγράφεται στον Πίνακα 7:

Πίνακας 7 Στοιχεία εξοπλισμού πληροφορικής κέντρου δεδομένων Χαροκοπείου Πανεπιστημίου

Μέρος Α				Μέρος Β		
Ράφι Ι	Ράφι ΙΙ	Ράφι ΙΙΙ	Ράφι IV	Ράφι Ι	Ράφι ΙΙ	Ράφι ΙΙΙ
Patch Panels ,Καλωδίωση	Εξοπλισμός δικτύου (δρομολογητής, Core Switch, Firewall)	1 διακομιστής, 2 μονάδες αποθήκευσης	2 μονάδες αποθήκευσης, 3 διακομιστές, 1 πλαίσιο με 16 Blade Servers	Patch Panels, Καλωδίωση, Εξοπλισμός δικτύου (Router, Core Switch)	Διακομιστές, 1 πλαίσιο με 5 Blade Servers, 3 μονάδες αποθήκευσης, 1 Tape Library	2 Rack Switch 5 διακομιστές, 1 πλαίσιο με 16 Blade Servers, 1 πλαίσιο με 5 Blade Servers, 3 μονάδες αποθήκευσης

Στον Πίνακα 8 αναγράφονται το είδος των διακομιστών, ο αριθμός τους, η εγκατεστημένη ισχύς τους και οι ψυκτικές τους ανάγκες, όπως δόθηκαν στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου. Το βάρος του εξοπλισμού και το βάρος του πλαισίου (chassis) συμπληρώθηκαν από τα τεχνικά φυλλάδια.

Πίνακας 8 Στοιχεία διακομιστών κέντρου δεδομένων Χαροκοπείου Πανεπιστημίου (*Πηγή: Hewlett Packard, 2023*)

	Μοντέλο Διακομιστή	Είδος Διακομιστή	# μονάδων	Εγκατεστημένη ισχύς (W)	Βάρος (kg)	Βάρος chassis (kg)	Ψυκτικές Ανάγκες (BTU/h)
A	HP ProLiant ML350 G6	tower	1	460	24,5	4	1715
	HP ProLiant DL380 G7	rack	1	750	21,45	5	2812
	HP ML350 G9	tower	2	500	26	4	1911
	HP Proliant BL460c Gen8	blade	16	15900	219	3,5	9857
	HP Proliant	blade	5	2900	10,5	3,5	1643

	BL460c Gen8						
B	HP ProLiant BL460c G7	blade	3	15900	5,22	3,5	9857
	HP Proliant BL460c Gen8	blade	13		10,5	3,5	
	HP ProLiant DL380 G6	rack	1	460	21,45	5	2812
	HP ProLiant DL160 G9	rack	3	550	10	5	2153
	HP ProLiant ML350 G6	tower	1	460	24,5	4	1715

Επειδή το SimaPro δε διαθέτει βάση δεδομένων για διακομιστές, η σύσταση των διακομιστών ως προς τα υλικά τους λήφθηκε από τη βιβλιογραφία. Υπάρχουν δύο μελέτες, οι οποίες έχουν ασχοληθεί με τη σύσταση των υλικών των διακομιστών. Η πρώτη είναι η μελέτη των Hintemann et al. (2020) και η δεύτερη η μελέτη των Penaherrera et al. (2019). Η πρώτη μελέτη, αφού συγκέντρωσε στοιχεία για τα κέντρα δεδομένων της Γερμανίας, κατηγοριοποίησε τους διακομιστές και έφτιαξε τη μονάδα του πρότυπου διακομιστή ανάλογα με το είδος του (tower, rack ή blade). Για τη σύλληψη και το σχεδιασμό αυτής της πρότυπης μονάδας αξιολογήθηκαν τα υλικά και ο επιμέρους εξοπλισμός των διακομιστών διαφορετικών εταιριών, καταξιωμένων στο χώρο. Η δεύτερη μελέτη έκανε εργαστηριακή ανάλυση σε συγκεκριμένο διακομιστή της εταιρίας HP και παρουσίασε τη σύσταση και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κατασκευής του συγκεκριμένου διακομιστή.

Παρότι το κέντρο δεδομένων του Πανεπιστημίου χρησιμοποιεί διακομιστές HP, εξαιτίας του τρόπου που παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τόσο οι πρώτες ύλες και ο επιμέρους εξοπλισμός των διακομιστών, όσο και η αναλογία των υλών λήφθηκαν από τη μελέτη των Hintemann et al.. Η αναλογία των υλικών παρέμεινε ίδια με την πρότυπη μονάδα, αλλά το βάρος τους υπολογίστηκε με βάση το πραγματικό βάρος του κάθε διακομιστή με χρήση αναλογιών. Τα υλικά και η ποσότητα των πρώτων υλών όπως υπολογίστηκε για κάθε διακομιστή παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα 9.

Πίνακας 9 Πρώτες ύλες διακομιστών (*Πηγή: Hewlett Packard, 2023 και Hintemann et al.,2020*)

Μοντέλο / Πρώτη Ύλη	HP ProLiant ML350 G6	HP ML350 G9	HP ProLiant DL380 G7	HP ProLiant DL380 G6	HP ProLiant DL160 G9	HP Proliant BL460c Gen8	HP ProLiant BL460c G7
Πλαστικά							
Εποξειδικά (g)	649,35	362,76	796,85	796,85	371,49	493,31	245,25
Πλαστικό PVC (g)	1020,04	569,85	617,58	617,58	287,91	315,87	157,03
Λοιπα πλαστικά (g)	2328,48	1300,81	2561,22	2561,22	1194,04	1030,05	512,08
Γυαλί / Κεραμικά / Αδρανή υλικά							
Γυαλί (g)	1083,33	605,21	1229,04	1229,04	572,98	734,16	364,98
Οξείδιο πυριτίου (g)	229,28	128,09	265,38	265,38	123,72	160,03	79,56
Κεραμικά (g)	797,26	445,39	1087,94	1087,94	507,2	702,7	349,34
Πυρίτιο (g)	13,96	7,8	20,42	20,42	9,52	13,51	6,72
Μέταλλα							
Fe (g)	13316,66	7439,39	9198,09	9198,09	4288,16	4280,64	2128,09
Cu (g)	2820,19	1575,51	2668,05	2668,05	1243,85	1410,55	701,25
Al (g)	1968,92	1099,94	2642,34	2642,34	1231,86	1126,79	560,17
Ni (g)	64,8	36,2	79,55	79,55	37,09	49,26	24,49
Sn (g)	98,53	55,04	146,79	146,79	68,44	97,7	48,57
Zn (g)	28,51	15,93	35,63	35,63	16,61	22,24	11,06
Pb (g)	74,23	41,47	91,26	91,26	42,54	56,56	28,12
Σπάνιες Γαίες							
Au (g)	0,79	0,44	1,21	1,21	0,56	0,82	0,41
Pt (g)	0	0	0	0	0	0	0
Pd (g)	0,35	0,19	0,53	0,53	0,25	0,35	0,18
Ag (g)	3,32	1,85	5	5	2,33	3,34	1,66
Ru (g)	0	0	0	0	0	0	0
Λοιπές γαίες (g)	2,02	1,13	3,11	3,11	1,45	2,1	1,04
Συνολικό βάρος (g)	24500	13687	21450	21450	10000	10500	5220

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται τα στοιχεία των μονάδων αποθήκευσης το κέντρου δεδομένων. Η εταιρία, η αποθηκευτική ικανότητα και ο αριθμός δόθηκαν στις απαντήσεις του ερωτηματολογίου, ενώ η εγκατεστημένη ισχύς και το βάρος τους συμπληρώθηκαν από τα τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών.

Πίνακας 10 Στοιχεία μονάδων αποθήκευσης (*Πηγή: Hewlett Packard, 2023, Infortred, 2023, Supermicro, 2021, US Dell, 2023*)

Μέρος	Μοντέλο μονάδας αποθήκευσης	Αποθηκευτική ικανότητα (TB)	Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Βάρος (kg)	Αριθμός μονάδων
A	HP StorageWorks MSA2000	4,5	432	36,1	1
	Infortrend DS 1012RE2	116,43	530	22	1
	Supermicro	69,14	600	29,7	1
B	Infortrend DS 1012GE	43,66	530	22	1
	Dell PowerVault ME4024	31,38	580	30	1
	Dell PowerVault ME4012	29	580	32	1
	Dell MD3800	36,33	600	29,3	1

Με τρόπο παρόμοιο με τους διακομιστές εκτιμήθηκε η ποσότητα πρώτων υλών και η αναλογία τους στις μονάδες αποθήκευσης. Έπειτα από σχέση αναλογίας με βάση το βάρος προέκυψε η σύσταση των μονάδων αποθήκευσης, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11 Πρώτες ύλες μονάδων αποθήκευσης

Μοντέλο / Πρώτη Ύλη	HP StorageWorks MSA2000	Infortrend DS 1012RE2	Supermicro	Infortrend DS 1012GE	Dell PowerVault ME4024	Dell PowerVault ME4012	Dell MD3800
Πλαστικά							
Εποξειδικά (g)	652,39	397,58	536,73	397,58	542,15	578,3	529,5
PVC (g)	1252,59	763,35	1030,52	763,35	1040,93	1110,33	1016,64
Λοιπα πλαστικά (g)	3517,68	2143,74	2894,05	2143,74	2923,28	3118,17	2855,07
Γυαλί / Κεραμικά / Αδρανή υλικά							
Γυαλί (g)	1085,58	661,57	893,12	661,57	902,14	962,28	881,09
Οξείδιο πυριτίου (g)	229,64	139,95	188,93	139,95	190,84	203,56	186,38
Κεραμικά (g)	793,31	483,45	652,66	483,45	659,26	703,21	643,87
Πυρίτιο (g)	13,92	8,48	11,45	8,48	11,57	12,34	11,3

Μέταλλα							
Fe (g)	15688,66	9560,96	12907,29	9560.96	13037,67	13906,85	12733,46
Cu (g)	3629,03	2211,59	2985,65	2211.59	3015,81	3216,86	2945,44
Al (g)	8964,7	5463,25	7375,39	5463.25	7449,89	7946,55	7276,06
Ni (g)	64,37	39,23	52,96	39,23	53,49	57,06	52,24
Sn (g)	104,38	63,61	85,88	63,61	86,74	92,53	84,72
Zn (g)	24,36	14,84	20,04	14,84	20,24	21,59	19,77
Pb (g)	73,07	44,53	60,11	44,53	60,72	64,77	59,3
Σπάνιες Γαίες							
Au (g)	0,7	0,42	0,57	0,42	0,58	0,62	0,56
Pt (g)	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Pd (g)	0,35	0,21	0,29	0,21	0,29	0,31	0,28
Ag (g)	3,48	2,12	2,86	2,12	2,89	3,08	2,82
Ru (g)	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Λοιπά υλικά (g)	1,74	1,06	1,43	1,06	1,45	1,54	1,41
Συνολικό βάρος (g)	36100	22000	29700	22000	30000	32000	29300

Για τον υπολογισμό της ισχύος και του βάρους του λοιπού εξοπλισμού χρησιμοποιήθηκε η νόρμα 70:20:10, η οποία λήφθηκε από τη βιβλιογραφία. Το βάρος των ραφιών λήφθηκε από τη βιβλιογραφία 100 kg. Τα ράφια είναι κατασκευασμένα από ατσάλι κι έχουν τυποποίηση 42U.

Το κέντρο έχει καλώδια δύο τύπων: χαλκού και οπτικών ινών (Πίνακας 12). Εκτιμήθηκε, ότι για τη λειτουργία του χρησιμοποιούνται 90m καλωδίων (Hintemann et al., 2020), εκ των οποίων το 95% είναι τύπου χαλκού και το 5% οπτικών ινών. Στο ερωτηματολόγιο δόθηκαν δύο μοντέλα καλωδίων κάθε τύπου, οπότε θεωρήθηκε 50% χρήση κάθε μοντέλου. Για τον υπολογισμό του βάρους, έγινε χρήση των στοιχείων των τεχνικών φυλλαδίων ή δημοσιευμένων χαρακτηριστικών κάθε καλωδίου.

Πίνακας 12 Χαρακτηριστικά καλωδίων (*Πηγή: Hintemann et al., 2020)*

Τύπος Καλωδίου	**Μοντέλο Καλωδίου**	**Μήκος (m)**	**Βάρος (kg)**
Χαλκός	UTP Cat5	42,75	1,19358
Χαλκός	SFTP Cat 6	42,75	2,26575
Οπτική ίνα	MultiMode FC	2,25	0,05625
Οπτική ίνα	Single mode	2,25	0,02475

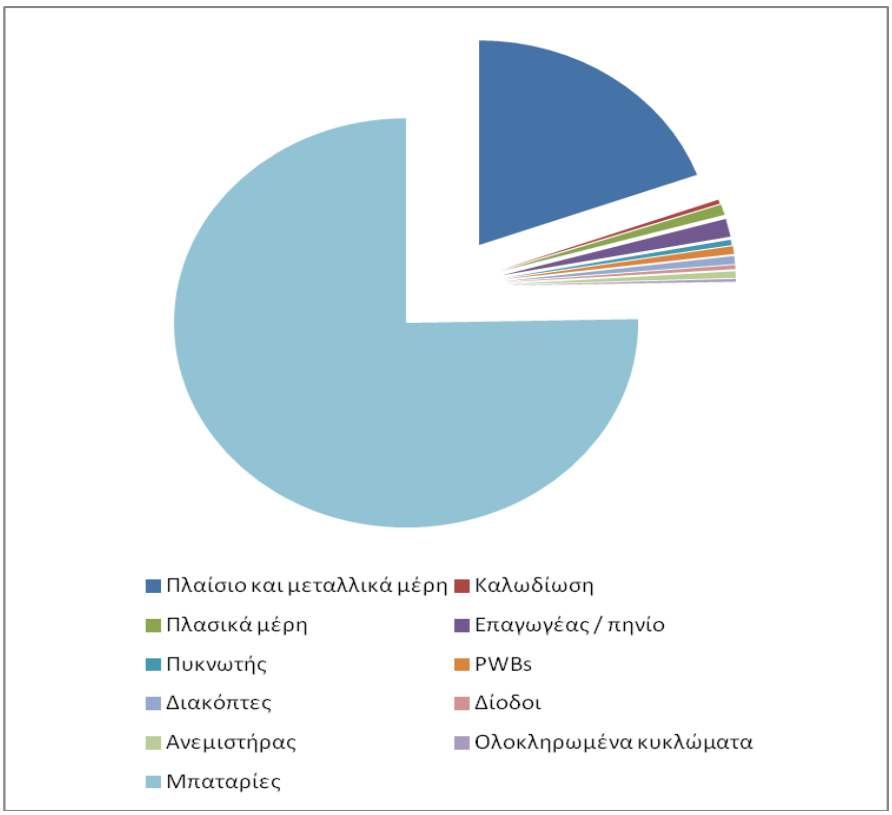
Όσον αφορά στις μονάδες PDU, UPS, τις γεννήτριες εκτάκτου ανάγκης, στις μονάδες ψύξης του εξοπλισμού πληροφορικής και στους προσωπικούς υπολογιστές, εφόσον το

μοντέλο τους και η ηλεκτρική ισχύς τους ήταν δοσμένη, βρέθηκε μόνο το βάρος από τα τεχνικά φυλλάδια.

Πίνακας 13 Χαρακτηριστικά ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και μονάδων ψύξης (*Πηγή: Schneider Electric, 2023*)

Μέρος	Είδος Εξοπλισμού	Μοντέλο Εξοπλισμού	Αριθμός μονάδων	Ισχύς (KW)	Βάρος (kg)
A	Μονάδα αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (UPS)	Schneider Electric Galaxy VS	1	15	193
	Γεννήτρια ντίζελ	TWD 740 GE (VOLVO)	1	504	3000
	Μονάδα ψύξης	-	2	6,2	56,42
B	UPS	Schneider Electric Galaxy	1	96	193
	Γεννήτρια ντίζελ	ACT AB8.3G2 (CUMMINS)	1	160	1730
	Μονάδα ψύξης	-	2	6,2	56,42
-	Μονάδα διανομής ισχύος (PDU)	Schneider Electric APC	4	2800	8,5

Το SimaPro δε διαθέτει στη βάση δεδομένων του μονάδα παροχής ρεύματος (UPS) και κλιματισμού (HVAC ή Air- Conditioner) στην κατηγορία των υλικών. Για το λόγο αυτό οι δύο αυτές συσκευές προστέθηκαν από υπάρχοντες πρώτες ύλες ή εξαρτήματα των βιβλιοθηκών του SimaPro. Οι πρώτες ύλες και τα εξαρτήματα, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των δύο συσκευών λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία. Επειδή η βιβλιογραφία έδινε ποσοστιαία αναλογία υλικών ή υλικά ανά βάρος πρότυπης συσκευής, πραγματοποιήθηκε προσαρμογή στα κιλά των συσκευών του κέντρου δεδομένων. Το ποσοστό της κατηγορίας λοιπά υλικά μοιράστηκε ομοιόμορφα στις υπόλοιπες κατηγορίες, επειδή διαφορετικά δεν ήταν δυνατό να εκτιμηθεί περιβαλλοντικό αποτύπωμα της συσκευής. Στους Πίνακες 14 και 15 παρουσιάζεται η ανάλυση υλικών κάθε συσκευής.



Γράφημα 1 Σύνθεση μονάδας αδιάλειπτης παροχής ρεύματος / UPS (*Πηγή: Ghonge and Hakalahti, 2012*)

Πίνακας 14 Εξαρτήματα μονάδας αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (*Πηγή: Ghonge and Hakalahti, 2012 και Schneider Electric, 2023*)

Εξάρτημα	Αρχικό Ποσοστό	Προσαρμοσμένο Ποσοστό	Βάρος Εξαρτήματος (kg)
Πλαίσιο και μεταλλικά μέρη	19,2%	19,42%	37,4806
Καλωδίωση	0,1%	0,32%	0,6176
Πλαστικά μέρη	0,6%	0,82%	1,5826
Επαγωγέας / πηνίο	1,2%	1,42%	2,7406
Πυκνωτής	0,2%	0,42%	0,8106
PWBs	0,4%	0,62%	1,1966
Διακόπτες	0,4%	0,62%	1,1966
Δίοδοι	0,1%	0,32%	0,6176
Ανεμιστήρας	0,3%	0,52%	1,0036
Ολοκληρωμένα κυκλώματα	0,01%	0,22%	0,4246
Μπαταρία	75,1%	75,30%	145,329
Λοιπά στοιχεία	2,5%	0,00%	0
Σύνολο	100,1%	100,00%	193

Ο υπολογισμός των λαμπτήρων των δωματίων προσωπικού στηρίχθηκε σε εκτίμηση του αριθμού τους με βάση τις ανάγκες φωτισμού επιφάνειας χώρου. Ομοίως η ισχύς και το βάρος των κλιματιστικών των γραφείων υπολογίστηκαν με βάση τις ανάγκες

κλιματισμού χώρων συγκεκριμένων διαστάσεων και ανθρώπων και με την παραδοχή, ότι κάθε κλιματιστικό στην Ευρώπη σχεδιάζεται με βάρος περίπου 13 kg/KW (Grignon-Masse et al., 2011).

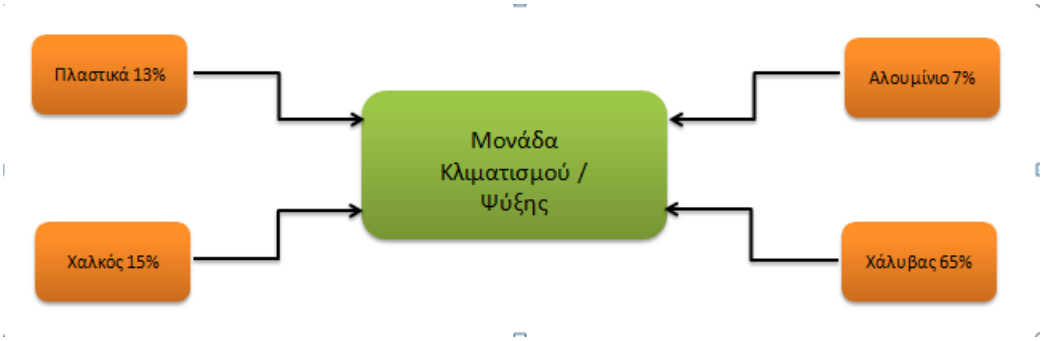
Πίνακας 15 Πρώτες ύλες κλιματιστικών και ψυκτικών μονάδων (*Πηγή: Grignon-Masse et al., 2011 και Ren and Zhao, 2014*)

Πρώτη ύλη (kg)	Πρότυπη Συσκευή	Κλιματιστικό Χώρου (air conditioner)	Μονάδα Ψύξης (floor standing type air conditioner)
Πλαστικό	6,69	4,1	7,12
Χαλκός	8,16	5	8,69
Αλουμίνιο	3,92	2,4	4,17
Ατσάλι	34,22	20,99	36,44
Σύνολο	52,99	32,5	56,42

Πίνακας 16 Χαρακτηριστικά εξοπλισμού προσωπικού (*Πηγή: Grignon-Masse et al., 2011 και HP Prodesk, 2023*)

Μέρος	Είδος συσκευής	# μονάδων	Ισχύς (W)	Βάρος (kg)
A	Προσωπικός Υπολογιστής (HP Prodesk 600 G5)	2	400	7,14
	Λαμπτήρες LED TL-D	3	18	-
	Κλιματιστικό χώρου	1	2500	32,5
B	Προσωπικός Υπολογιστής (HP Prodesk 600 G5)	2	400	7,14
	Λαμπτήρες LED TL-D	3	18	-
	Κλιματιστικό χώρου	1	2500	32,5

Από τον παραπάνω εξοπλισμό οι ενσωματωμένες επιπτώσεις των καλωδίων, της μονάδας PDU, του PWB, του πλαισίου, του πληκτρολογίου, του υπολογιστή, των λαμπτήρων και των router λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων του SimaPro. Τα όρια κάθε πρώτης ύλης και εξαρτήματος, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση, αναγράφονται στον πίνακα των ορίων των τμημάτων του συστήματος στην ενότητα «Όρια του Συστήματος».



Εικόνα 26 Ποσοστιαία σύνθεση πρώτων υλών κλιματιστικών και ψυκτικών μονάδων (*Πηγή: Ren and Zhao, 2014*)

Μεταφορά Υλικών

Προκειμένου να προσδιοριστεί η απόσταση μεταφοράς του εξοπλισμού από το εργοστάσιο κατασκευής στον τελικό καταναλωτή (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο), πραγματοποιήθηκε έρευνα για τα εργοστάσια κατασκευής των διακομιστών και μονάδων αποθήκευσης κάθε εταιρίας. Από την έρευνα προέκυψε, ότι ο εξοπλισμός κατασκευάστηκε στην Κίνα και στην Ταϊβάν (US Dell, 2023, HP, 2023c, Infortred, 2023b και Supermicro, 2023).

Θεωρήθηκε, ότι ο εξοπλισμός μεταφέρθηκε από την Κίνα και την Ταϊβάν στην Καλλιθέα αρχικά μέσω θαλάσσης με πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ship) και στη συνέχεια από το λιμάνι στην ενδοχώρα με φορτηγό.

Έγινε η παραδοχή, ότι ο εξοπλισμός μεταφέρεται στην Ευρώπη μέσω του λιμανιού του Ρότερνταμ. Από τη βιβλιογραφία λήφθηκε η απόσταση Κίνας – Ευρώπης μέσω της πλωτής οδού, η οποία διέρχεται από τη διώρυγα του Σουέζ. Η απόσταση αυτή είναι 19.942 km, ενώ η απόσταση Ταϊβάν – Ευρώπης λήφθηκε 18.822 km (Bekkers et al., 2016) από μέτρηση στην εφαρμογή Google Earth.

Η χιλιομετρική απόσταση από το λιμάνι του Ρότερνταμ στο ευρωπαϊκό κέντρο διανομής κάθε εταιρίας και στη συνέχεια στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, λήφθηκε από την ιστοσελίδα Google maps το Δεκέμβριο του 2022. Η διαδρομή, με βάση την οποία υπολογίστηκε η απόσταση παρουσιάζεται στο Παράρτημα.

Πίνακας 17 Αποστάσεις μεταφοράς προϊόντων σε km (*Πηγή:Bekkers et al., 2016, Google Maps, 2022*)

Εταιρία	Εργοστάσιο κατασκευής εξοπλισμού	Κέντρο διανομής	Θαλάσσια απόσταση (km)	Απόσταση λιμένα – κέντρου διανομής (km)	Απόσταση κέντρου διανομής – Καλλιθέας (km)
Dell	Κίνα	Λοτζ. Πολωνία	19.942	1.146	2.234
Hewlett - Packard	Κίνα	Σόφια. Βουλγαρία	19.942	2.204	799
Infortred	Ταϊβάν	Χάναου. Γερμανία	18.822	478	2.422
Supermicro	Ταϊβάν	Χερτόγκενμπος. Ολλανδία	18.822	77,4	2.836

Όσον αφορά στις μονάδες UPS και κλιματισμού έγινε η παραδοχή, ότι κατασκευάζονται στην Κίνα, οπότε λήφθηκαν οι αποστάσεις της εταιρίας Hewlett – Packard.

Με βάση τις παραπάνω χιλιομετρικές αποστάσεις και το βάρος κάθε συσκευής υπολογίστηκαν τα tkm μεταφοράς. Τα tkm παρουσιάζονται στον Πίνακα 18.

Πίνακας 18 Βάρος προϊόντων και χιλιομετρικές αποστάσεις για τη σύνθεση των tkm

Εξοπλισμός	Βάρος (t)	Θαλάσσια μεταφορά (tkm)	Οδική μεταφορά (tkm)
Διακομιστές			
HP ProLiant ML350 G6	0,0245	488,58	73,57
HP ProLiant DL380 G7	0,02145	427,76	64,41
HP ML350 G9	0,013687	272,95	41,1
HP Proliant BL460c Gen8	0,0105	209,39	31,53
HP ProLiant BL460c G7	0,00522	104,1	15,68
HP ProLiant DL380 G6	0,02145	427,76	64,41
HP ProLiant DL160 G9	0,01	199,42	30,03
Μονάδες Αποθήκευσης			
HP StorageWorks MSA2000	0,0361	719,91	108,41
Infortrend DS 1012RE2	0,022	431,68	63,8
Supermicro	0,0297	582,77	86,53
Infortrend DS 1012GE	0,022	431,68	63,8

Dell PowerVault ME4024	0,03	598,26	101,4
Dell PowerVault ME4012	0,032	638,14	108,16
Dell MD3800	0,0293	584,3	99,03
Μονάδες ψύξης			
Μονάδα ψύξης (HVAC)	0,0565	1125,13	124,35
Κλιματιστικό χώρου	0,0325	6481,15	71,63
UPS	0,193	3848,81	425,37

Στάδιο Λειτουργίας

Ο κύριος εξοπλισμός ενός κέντρου δεδομένων είναι οι διακομιστές (servers), οι μονάδες αποθήκευσης (storage units) και ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός δικτύου (networking equipment). Επειδή η διάρκεια χρήσης του ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι δέκα έτη, οι καταναλώσεις κάθε συσκευής υπολογίστηκαν για δέκα έτη λειτουργίας.

Τα προφίλ λειτουργίας κάθε είδους συσκευής παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Η καταναλισκόμενη ισχύς σε κατάσταση αναμονής σχετίζεται μόνο με τους διακομιστές. Η λειτουργική ισχύς των διακομιστών είναι μικρότερη της εγκατεστημένης. Πιο συγκεκριμένα, στην κατάσταση λειτουργίας ένας διακομιστής του κέντρου δεδομένων του Πανεπιστημίου εκτιμάται, ότι καταναλώνει 300 W, ενώ στην κατάσταση αναμονής (idling) 100 W. Επειδή το κέντρο δεδομένων είναι μικρό, το ποσοστό των διακομιστών σε κατάσταση αναμονής λήφθηκε 20%, κατά πολύ μικρότερο από εκτιμήσεις της βιβλιογραφίας, οι οποίες όμως αφορούν μεγάλα κέντρα δεδομένων.

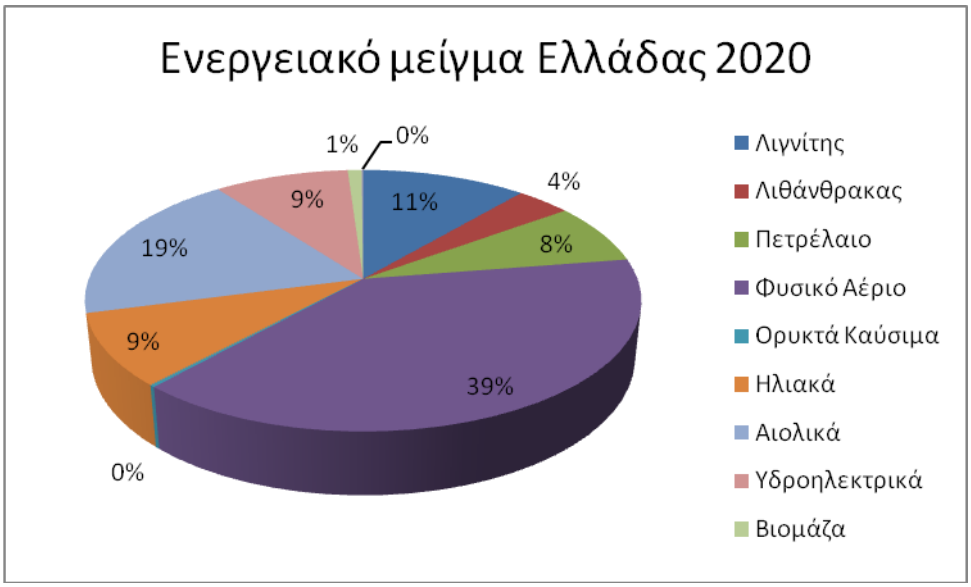
Η λειτουργική ισχύς των μονάδων αποθήκευσης εκτιμήθηκε στο 20% της λειτουργικής ισχύος των διακομιστών. Αυτή η παραδοχή οδηγεί σε ισχύ λειτουργίας μεταξύ 250 W και 300 W, η οποία είναι ρεαλιστική συγκριτικά με την εγκατεστημένη ισχύ και την ισχύ λειτουργίας των διακομιστών. Η λειτουργική ισχύς του εξοπλισμού δικτύου λήφθηκε ως το 10% εκείνης των διακομιστών. Τα δύο ποσοστά λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία και επιβεβαιώθηκαν από το προσωπικό του κέντρου δεδομένων.

Πίνακας 19 Ετήσιες και δεκαετείς καταναλώσεις συσκευών

Συσκευή	Αριθμός Μονάδων	Ισχύς Λειτουργίας	Ημέρες Λειτουργίας	Ώρες Λειτουργίας	Ετήσια Καταναλισκόμενη Ισχύς	Δεκαετής Καταναλισκόμενη Ισχύς	Παρατηρήσεις
Διακομιστής	48	0,3	365	24	109.299,85	1.092.998,5	100 W σε κατάσταση αναμονής
Μονάδα αποθήκευσης	7	0,3	365	24	31.231,03	312.310,28	2 ώρες ετησίως συντήρηση
Εξοπλισμού δικτύου	-	1,04	365	24	6.507,2	65.072	
UPS	2	-	365	24	6.915,4	69.154	η=95%, ποσοστιαία συμμετοχή
PDU	4	-	365	24	13.830,1	138.301	η=98%, ποσοστιαία συμμετοχή
Μονάδα ψύξης	4	4.885	365	24	171.158	1.711.580	Ισχύς λειτουργίας ίση με τις ψυκτικές ανάγκες
Κλιματιστικό	2	2,5	240	8	4.800	48.000	5 μέρες/βδομάδα
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	4	0,56	240	8	4.301	43.010	5 μέρες/βδομάδα
Λάμπες φθορίου	2	0,018	240	8	69.12	691,2	

Οι μονάδες διαβίβασης ηλεκτρικού ρεύματος θεωρήθηκε, ότι μεταδίδουν ρεύμα με βαθμό απόδοσης 98% και 95%. Στους δύο συντελεστές συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες μετάδοσης στη συσκευή και στα καλώδια. Η λειτουργική ισχύς θεωρήθηκε πολύ

μικρότερη της εγκατεστημένης, προκειμένου να μην υπερεκτιμηθούν οι επιπτώσεις του κέντρου δεδομένων, επειδή οι συγκεκριμένες μονάδες παρέχουν ρεύμα και σε άλλες εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου.



Γράφημα 2 Ενεργειακό μείγμα Ελλάδας 2020 μετά τις εισαγωγές (Πηγή: *ΔΑΠΕΕΠ, 2023*)

Ο εξοπλισμός πληροφορικής και οι μονάδες ψύξης και διαβίβασης ρεύματος θεωρήθηκε, ότι λειτουργούν όλο το χρόνο εκτός από τις 2 ώρες ετησίως, κατά τις οποίες πραγματοποιείται συντήρηση. Οι υπολογιστές γραφείου, τα κλιματιστικά και τα φωτιστικά λειτουργούν τις εργάσιμες ημέρες τη εβδομάδας (πέντε ημέρες) και 8 ώρες καθημερινά.

Όλος ο εξοπλισμός λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο λαμβάνεται από το εθνικό δίκτυο. Επομένως, το ενεργειακό μείγμα που λήφθηκε για την εκτίμηση των επιπτώσεων λειτουργίας είναι το ελληνικό του έτους 2020. Το ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας το έτος 2020 παρουσιάζεται στο Γράφημα 2.

4.7 Παραδοχές και Περιορισμοί

Επειδή είτε δεν ήταν όλα τα δεδομένα γνωστά, είτε κάποιες διαδικασίες μπορεί να πραγματοποιηθούν με εναλλακτικούς τρόπους (π.χ. διαδρομή μεταφοράς), πραγματοποιήθηκαν σε πολλά σημεία παραδοχές. Παρακάτω συνοψίζονται οι κυριότερες παραδοχές, που έγιναν και οι περιορισμοί, που υπήρξαν, κατά την απογραφή των υλικών.

- Οι απαντήσεις του κέντρου δεδομένων αφορούν τον εξοπλισμό, που ήταν σε χρήση την άνοιξη του 2022.
- Οι συσκευασίες μεταφοράς του εξοπλισμού θεωρούνται εκτός ορίων μελέτης.
- Η κατασκευή των διακομιστών και των μονάδων αποθήκευσης πραγματοποιήθηκε στην Κίνα και στην Ταϊβάν.
- Η κατασκευή της μονάδας UPS και των μονάδων κλιματισμού πραγματοποιήθηκε στην Κίνα.
- Η μεταφορά πραγματοποιήθηκε με πλοίο μέχρι το λιμάνι του Ρότερνταμ και με φορτηγό εντός Ευρώπης, δηλαδή από το λιμάνι έως τα κέντρα διανομής και από τα τελευταία μέχρι το Πανεπιστήμιο.
- Η ανάγκες ισχύος και το αποτύπωμα κατανέμονται μεταξύ του εξοπλισμού πληροφορικής σύμφωνα με τη νόρμα 70:20:10, δηλαδή 70% διακομιστές, 20% αποθήκευση και 10% λοιπός εξοπλισμός πληροφορικής (Whitehead et al., 2014).
- Οι γεννήτριες έκτακτης ανάγκης δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ποτέ.
- Το ενεργειακό μείγμα που καταναλώνεται, είναι αυτό του 2020.
- Κάθε στιγμή βρίσκεται σε λειτουργία αναμονής το 20% των διακομιστών. Το ποσοστό επιλέχθηκε μικρό, εξαιτίας του μικρού μεγέθους του κέντρου δεδομένων.
- Στην περίπτωση των διακομιστών η κατηγορία λοιπά υλικά δε μοντελοποιήθηκε στη συναρμολόγηση. Επειδή τα λοιπά υλικά ήταν μόνο λίγα γραμμάρια θεωρήθηκε, ότι δε συνεισφέρουν σημαντικά στην περιβαλλοντική επιβάρυνση κάθε συσκευής και μπορούν να παραληφθούν.
- Στην περίπτωση της μονάδας αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (UPS) το ποσοστό των λοιπών υλικών μοιράστηκε ομοιόμορφα στις λοιπές κατηγορίες εξαρτημάτων, προκειμένου να καταστεί εφικτή η εκτίμηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης της συσκευής.
- Το Ρουμπίνιο δεν υπήρχε στη βάση δεδομένων του SimaPro, επομένως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του δε συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη. Επειδή είναι μόνο λίγα γραμμάρια, εκτιμάται ότι η παράλειψη δεν επηρεάζει σημαντικά τ' αποτελέσματα.
- Οι επιπτώσεις της κατασκευής των διακομιστών, των μονάδων αποθήκευσης, των μονάδων κλιματισμού (εξοπλισμού πληροφορικής και χώρου) και της μονάδας

αδιάλειπτης παροχής ρεύματος) δε μοντελοποιήθηκαν. Αυτό μειώνει τις ενσωματωμένες επιπτώσεις των συσκευών στα τελικά αποτελέσματα.

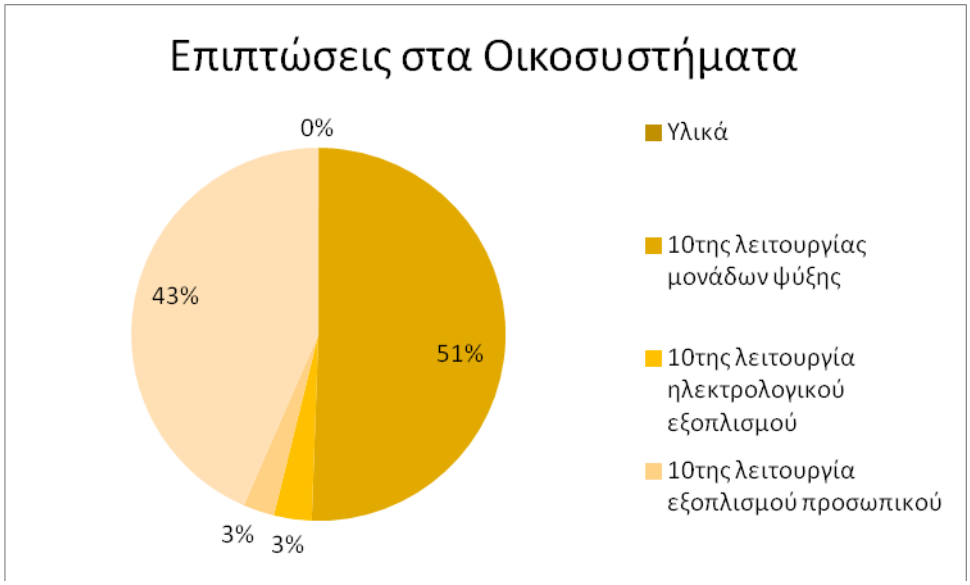
- Θεωρείται, ότι όλος ο εξοπλισμός έχει διάρκεια ζωής δέκα έτη. Αυτό οδηγεί σε υπερεκτιμημένες επιπτώσεις για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό και τις μονάδες ψύξης.
- Οι απώλειες ρεύματος μεταφοράς στα καλώδια λήφθηκαν μόνο μέσω του βαθμού απόδοσης του συστήματος μετάδοσης ρεύματος (PDU).
- Παρότι στη λειτουργία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού λήφθηκε ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος, οι επιπτώσεις της κατασκευής λήφθηκαν εξ ολοκλήρου. Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός δεν παρέχει ρεύμα μόνο στο κέντρο δεδομένων, αλλά και σε άλλες εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου.
- Εκτός από το χρόνο ζωής του εξοπλισμού της πληροφορικής, οι χρόνοι ζωής του λοιπού εξοπλισμού δεν ήταν γνωστοί. Στη μοντελοποίηση θεωρήθηκε, ότι ο χρόνος ζωής κάθε κατηγορίας εξοπλισμού είναι 10 έτη. Αυτή η παραδοχή οδηγεί σε υπερεκτίμηση των επιπτώσεων του τμήματος του εξοπλισμού με χρόνο ζωής μεγαλύτερο των δέκα ετών.

ΚΕΦ.5: Αποτελέσματα Μελέτης

5.1 Αποτελέσματα

Όπως περιγράφηκε στην ενότητα της μελέτης περίπτωσης, πραγματοποιήθηκε αναγωγή των επιπτώσεων σε 1 TB αποθήκευσης για 10 χρόνια λειτουργίας. Όλα τα αποτελέσματα εξήχθηκαν κάνοντας χρήση της μεθόδου ReCiPe 2016 Endpoint (E) V1.04 / World (2010) E.

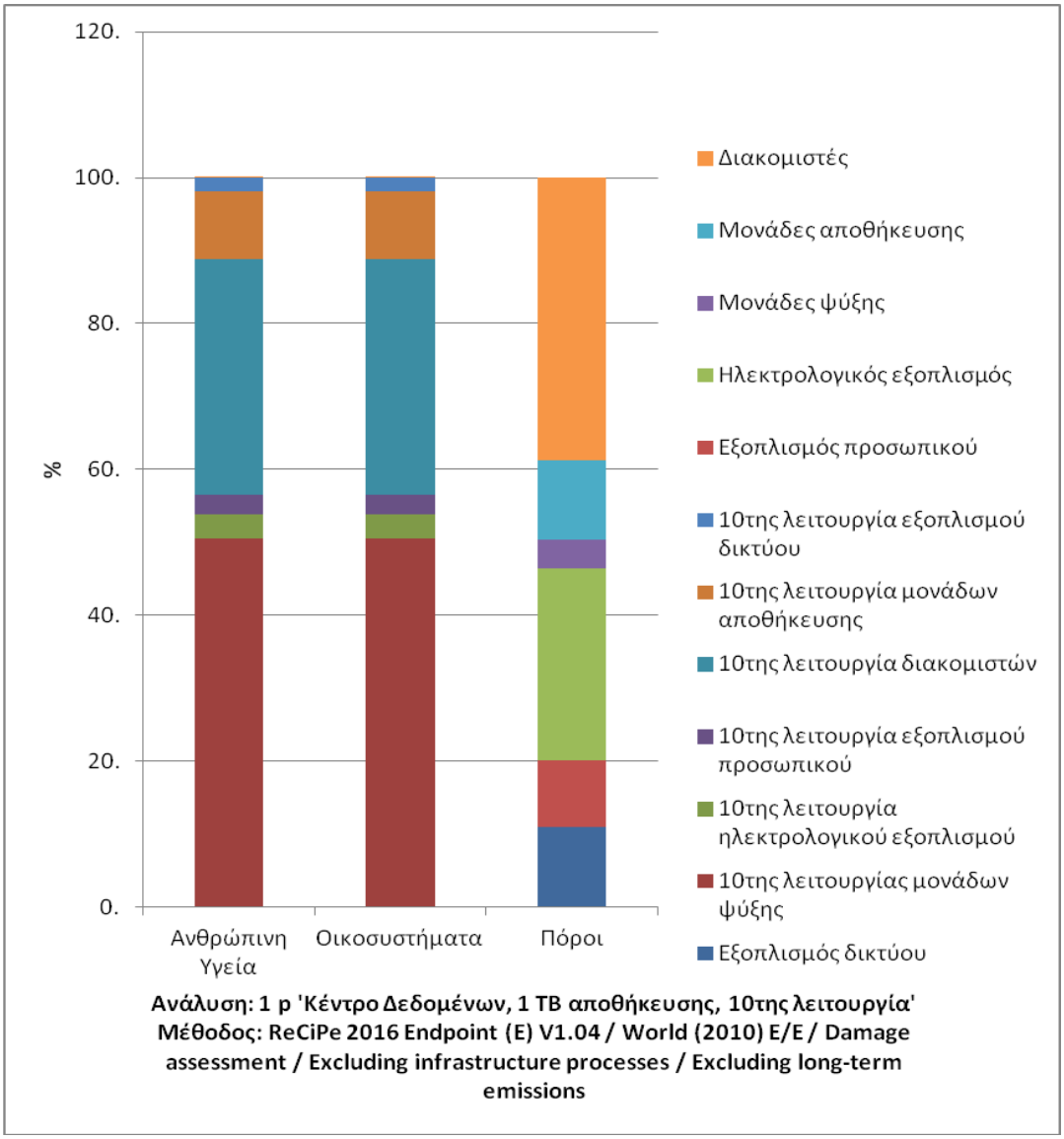
Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης έδειξαν, ότι οι επιπτώσεις του κέντρου δεδομένων είναι ορατές και τις τρεις βασικές κατηγορίες, δηλαδή στην ανθρώπινη υγεία. στα οικοσυστήματα και στους φυσικούς πόρους. Ωστόσο, η συμβολή δεν είναι ισόποση στις τρεις κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα το κέντρο δεδομένων επηρεάζει περισσότερο την κατηγορία της ανθρώπινης υγείας σε ποσοστό άνω του 70%. Ακολουθεί η κατηγορία των οικοσυστημάτων με σημαντικά μειωμένο ποσοστό, ενώ η συμμετοχή στη μείωση των φυσικών πόρων είναι ουσιαστικά αμελητέα.



Γράφημα 3 Ενσωματωμένες και λειτουργικές επιπτώσεις εξοπλισμού στα οικοσυστήματα

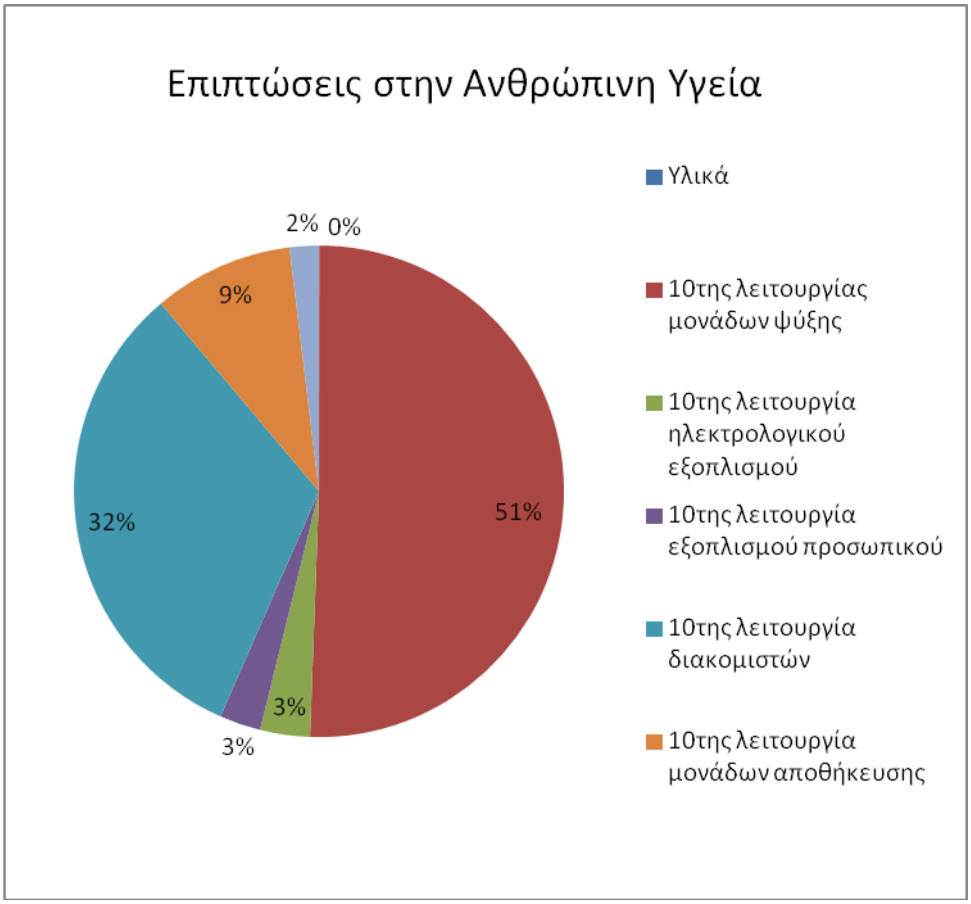
Αξιοσημείωτο είναι, ότι στις δύο κατηγορίες επιπτώσεων στις οποίες υπάρχει η μεγαλύτερη συμβολή, οι επιπτώσεις προέρχονται εξ' ολοκλήρου από τη φάση της λειτουργίας του εξοπλισμού. Τα είδη εξοπλισμού τα οποία επιβαρύνουν με τη λειτουργία τους, είναι ο εξοπλισμός πληροφορικής και οι ψυκτικές μονάδες. Ουσιαστικά

δηλαδή, οι επιπτώσεις συνδέονται με τις ανάγκες σε ρεύμα και σε ψύξη των διακομιστών, των μονάδων αποθήκευσης και του δικτύου. Από τα γραφήματα 3 και 4 φαίνεται, πως τα δύο είδη εξοπλισμού (πληροφορικής και ψύξης) συμβάλλουν σχεδόν ισόποσα στις επιπτώσεις. Οι ψυκτικές μονάδες εμφανίζονται υπεύθυνες για το 50% των επιπτώσεων, ενώ ο εξοπλισμός πληροφορικής για το 45%. Το υπόλοιπο 5% αποδίδεται στις συσκευές του γραφείου του προσωπικού και στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό. Ωστόσο, υπάρχει η πιθανότητα οι επιπτώσεις του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού να υποεκτιμήθηκαν, επειδή το ποσοστό το οποίο αποδόθηκε στην υποστήριξη του κέντρου δεδομένων, λήφθηκε αυθαίρετα μικρό. Θεωρείται, πως αυτό δεν είναι πολύ πιθανό, επειδή το αποτέλεσμα συνάδει με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας.



Γράφημα 4 Ποσοστιαία συμμετοχή των υλικών και της λειτουργίας κάθε είδους εξοπλισμού στην ανθρώπινη υγεία. στα οικοσυστήματα και στους πόρους

Ωστόσο, η τελική συμβολή κάθε τύπου συσκευής του εξοπλισμού πληροφορικής δεν είναι η ίδια. Το γράφημα 5 αναδεικνύει τη σημαντική συμμετοχή των διακομιστών στις επιπτώσεις των δύο κατηγοριών (32%). Ακολουθούν οι επιπτώσεις των μονάδων αποθήκευσης (9%). Το αποτέλεσμα οφείλεται κυρίως στον τρόπο, με τον οποίο υπολογίστηκε η καταναλισκόμενη ισχύς των συσκευών. Υπενθυμίζεται, ότι οι μονάδες αποθήκευσης μοντελοποιήθηκαν να καταναλώνουν το 20% της συνολικής ισχύος του εξοπλισμού πληροφορικής και οι συσκευές δικτύου το 10%. Όσον αφορά στις μονάδες αποθήκευσης, η εκτίμηση του 20% ελέγχθηκε με βάση τον αριθμό των μονάδων (7), την εγκατεστημένη τους ισχύ (μεταξύ 432W και 600W) και την υπόθεση φορτίου λειτουργίας περίπου 75% - 85%. Οι επιπτώσεις των συσκευών προέκυψαν προσεγγιστικά ίδιες, αποτέλεσμα που επιβεβαιώνεται στη βιβλιογραφία. Εφόσον οι συσκευές διακομιστών και αποθήκευσης είναι παρόμοιες ως προς τη σύσταση, δηλαδή τις πρώτες ύλες και τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελούνται, το μέγεθος των επιπτώσεων ουσιαστικά εξαρτάται από τον αριθμό των συσκευών, όπως και φάνηκε στ' αποτελέσματα.

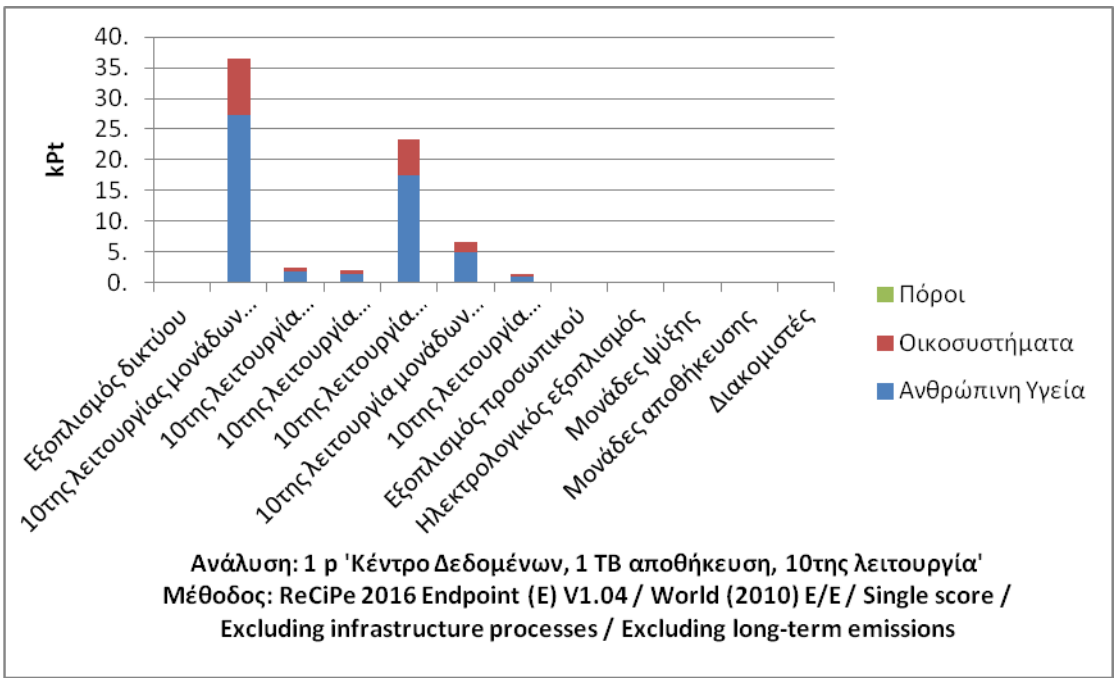


Γράφημα 5 Ποσοστιαία συμμετοχή των επιπτώσεων των υλικών και της λειτουργίας του εξοπλισμού στην ανθρώπινη υγεία

Από την άλλη, στην κατηγορία της ελάττωσης των φυσικών πόρων συμβάλλουν μόνο οι πρώτες ύλες και η κατασκευή των συσκευών (Γράφημα 4). Όπως ήταν αναμενόμενο, η κύρια συμβολή σε αυτή την κατηγορία επιπτώσεων προέρχεται από του διακομιστές (38,8%). Ο εξοπλισμός που έρχεται δεύτερος σε μέγεθος επιπτώσεων, είναι ο ηλεκτρολογικός (26,3%). Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα δεν ήταν αναμενόμενο, αλλά θεωρείται, ότι προέρχεται από την απόδοση ολόκληρων των συσκευών, αντί για τμήμα τους, στο κέντρο δεδομένων. Οι συγκεκριμένες συσκευές τροφοδοτούν και άλλες εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου, οπότε οι επιπτώσεις τους, που συνδέονται με το κέντρο δεδομένων έχουν υπερεκτιμηθεί. Ωστόσο οι συσκευές αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό (Πίνακας 14) από σίδηρο και χαλκό, πρώτες ύλες, οι οποίες είναι προϊόν εντατικής εξόρυξης.

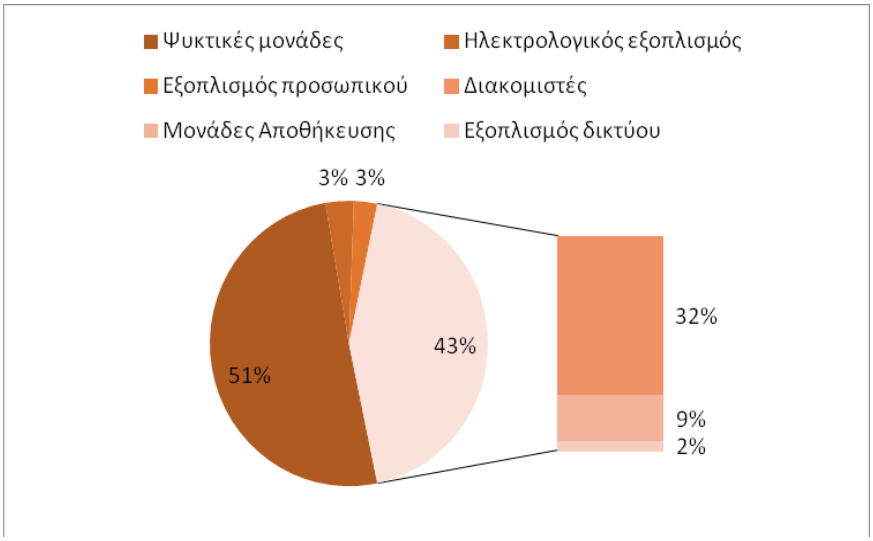
Οι επόμενες σε μέγεθος επιπτώσεις προέρχονται από τις συσκευές δικτύων και τις μονάδες αποθήκευσης, οι οποίες σύμφωνα με τα αποτελέσματα συμβάλλουν σχεδόν ισόποσα στη μείωση των πόρων με 11,1% και 10,9% αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν επίσης μη αναμενόμενο, αλλά αποδίδεται στο μικρό αριθμό μονάδων αποθήκευσης (επτά) του συγκεκριμένου κέντρου δεδομένων. Με μικρή διαφορά στις επιπτώσεις ακολουθεί ο εξοπλισμός του προσωπικού (9,1%), ο οποίος σε σύνθεση είναι παρόμοιος με τον εξοπλισμό πληροφορικής και με τις ψυκτικές μονάδες, δεδομένου ότι αποτελείται από υπολογιστές, λάμπες και κλιματιστικά.

Η μικρότερη συνεισφορά στη μείωση των πόρων προέρχεται από τις πρώτες ύλες και την κατασκευή των ψυκτικών μονάδων, σε αντίθεση με τις άλλες δύο κατηγορίες, στις οποίες η λειτουργία των μονάδων έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά. Η συνεισφορά στην εξάντληση των πόρων είναι μόλις 4%, ωστόσο κατά τη μοντελοποίηση των μονάδων δε λήφθηκαν υπόψη οι σπάνιες γαίες, οι οποίες περιλαμβάνονται στα ηλεκτρολογικά κυκλώματα των μονάδων, παρότι το ηλεκτρολογικό τους τμήμα δεν είναι μεγάλο. Αν είχαν συμπεριληφθεί ενδεχομένως το αποτέλεσμα να έδειχνε ελαφρώς αυξημένη συνεισφορά.



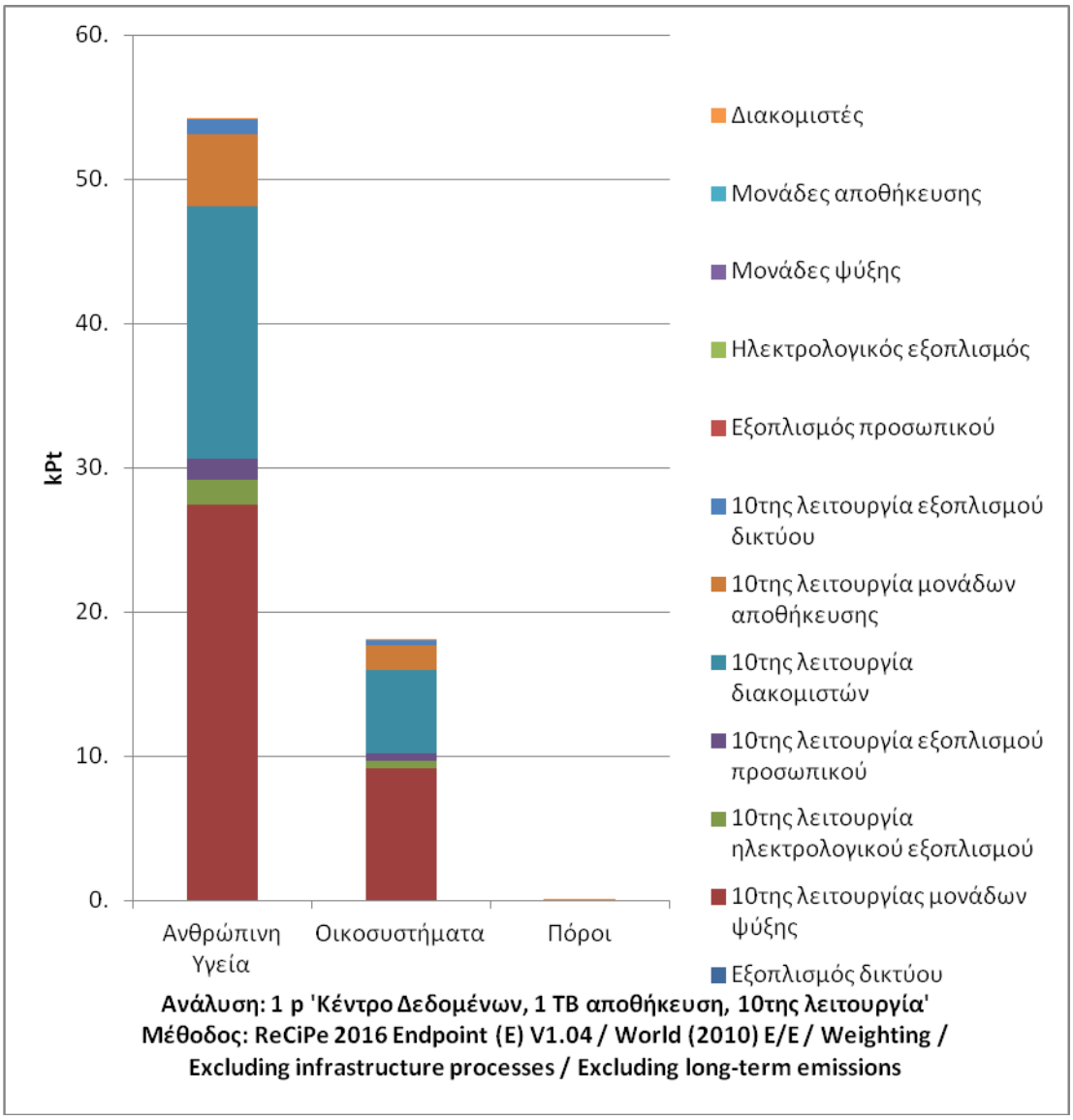
Γράφημα 6 Συνολικές επιπτώσεις των υλικών και της λειτουργίας κάθε εξοπλισμού

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 6 το τμήμα του εξοπλισμού, το οποίο συμβάλλει στις επιπτώσεις είναι οι ψυκτικές μονάδες. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, πως οι επιπτώσεις των ψυκτικών μονάδων (36,5 kPt) είναι μεγαλύτερες από τις συνολικές επιπτώσεις του εξοπλισμού πληροφορικής, δηλαδή τις αθροισμένες επιπτώσεις των διακομιστών, των μονάδων αποθήκευσης και του εξοπλισμού δικτύου (30 kPt). Όσον αφορά στις επιπτώσεις του εξοπλισμού πληροφορικής, αποδίδονται κατά βάση στους διακομιστές, οι οποίοι συμβάλλουν στη ρύπανση με 23,3 kPt, ενώ οι μονάδες αποθήκευσης με 6,7 kPt. Η συμβολή του εξοπλισμού δικτύου είναι κατά βάση αμελητέα.



Γράφημα 7 Ποσοστιαίες συνολικές επιπτώσεις εξοπλισμού

Επειδή η σύσταση των διακομιστών είναι παραπλήσια με των μονάδων αποθήκευσης και η ισχύς που καταναλώνουν παρόμοια, η ρύπανση αποδίδεται στον αριθμό των συσκευών και όχι σε ποιοτικά χαρακτηριστικά.



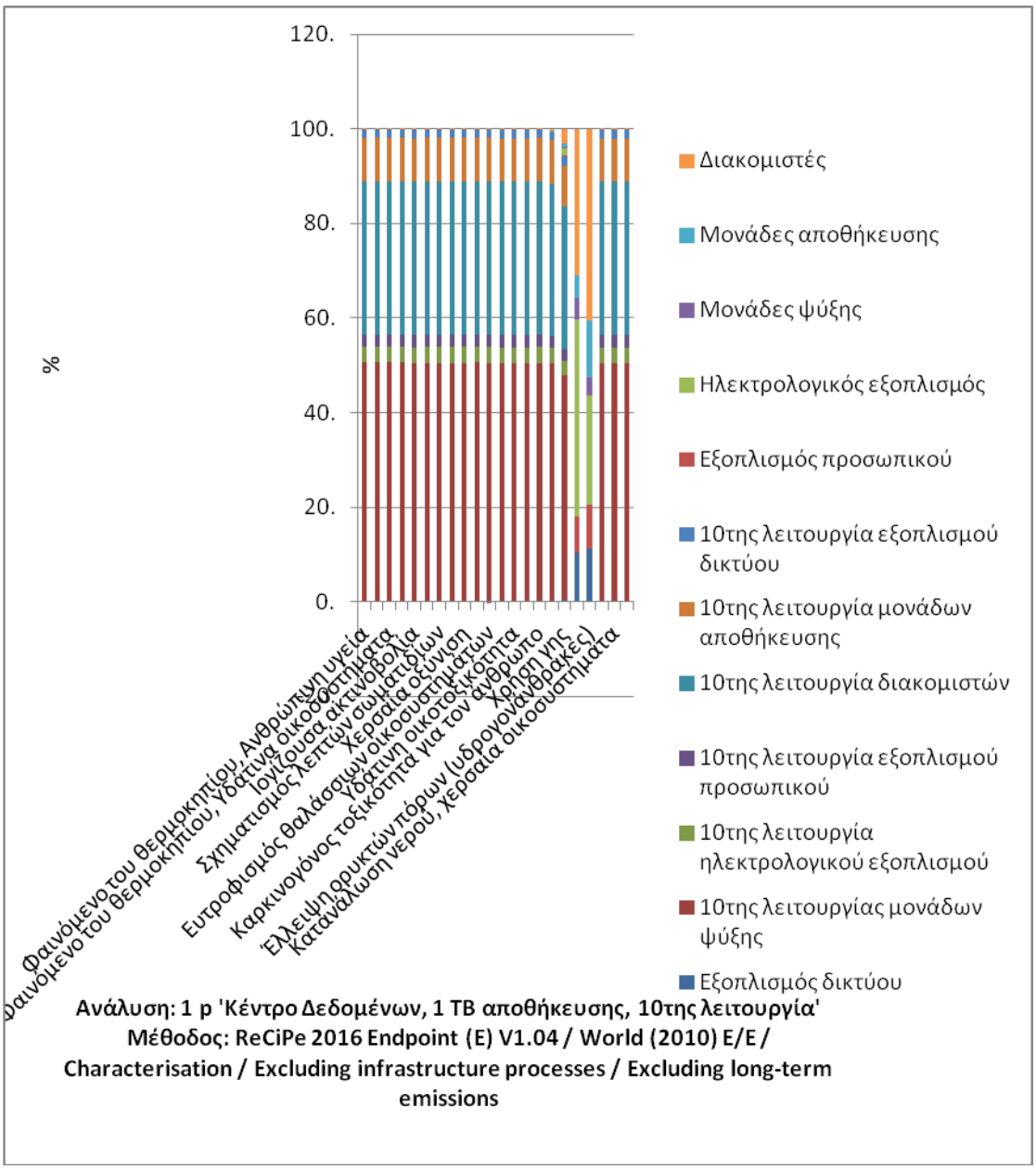
Γράφημα 8 Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία επιπτώσεων

Τέλος, στο Γράφημα 9 και στο Γράφημα 8 γίνεται καθαρά ορατό, ότι κάθε είδους εξοπλισμός έχει αμελητέα συνεισφορά στην εξάντληση των πόρων, οπότε οποιεσδήποτε ενέργειες στην κατεύθυνση της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού οφείλουν να στοχεύσουν τις άλλες δύο κατηγορίες.

Γράφημα 9 Συνολικές επιπτώσεις εξοπλισμού ανά κατηγορία επιπτώσεων

Στο Γράφημα 10 παρουσιάζεται η συνεισφορά κάθε εξοπλισμού σε είκοσι δύο κατηγορίες επιπτώσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις σε αέρα, γη και νερό και αφορούν τόσο τα οικοσυστήματα, όσο και την ανθρώπινη υγεία.

Από το διάγραμμα γίνεται φανερό, ότι η λειτουργία των ψυκτικών μονάδων συμβάλλει δραματικά στις επιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, σε 19 κατηγορίες η συνεισφορά είναι οριακά άνω του 50%, σε 1 κατηγορία 47%, ενώ στις υπόλοιπες 2 η συνεισφορά είναι μηδενική. Η συμβολή σε ποσοστό 47% παρατηρείται στην κατηγορία της χρήσης γης, ενώ η μηδενική συμβολή απαντάται στις κατηγορίες εξάλειψης ορυκτών πόρων, υδρογονανθράκων και μεταλλευμάτων. Οι κατηγορίες στις οποίες συμβάλλει σε ποσοστό 50%, αφορούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε χερσαία και σε υδάτινα οικοσυστήματα, στην τρύπα του όζοντος, στη συγκέντρωση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, την οξύνιση, τον ευτροφισμό, την οικοτοξικότητα και τη χρήση υδάτινων πόρων. Οι επιπτώσεις δηλαδή των μονάδων ψύξης είναι σημαντικές, εν μέρει επειδή δεν περιορίζονται σε ορισμένες μόνο κατηγορίες.



Γράφημα 10 Ποσοστιαία συμβολή υλικών και λειτουργίας εξοπλισμού σε 22 κατηγορίες επιπτώσεων

Η δεύτερη μεγαλύτερη συνεισφορά σε όλες τις κατηγορίες, εκτός από τις κατηγορίες εξάντλησης των πόρων (μεταλλευμάτων και υδρογονανθράκων), είναι η λειτουργία των διακομιστών. Το προφίλ επιπτώσεων είναι ανάλογο με το προφίλ της λειτουργίας των ψυκτικών μονάδων, δηλαδή η λειτουργία των διακομιστών συμβάλλει σε ποσοστό 32,3% στις 19 κατηγορίες, οι οποίες αφορούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε χερσαία και σε υδάτινα οικοσυστήματα, την τρύπα του όζοντος, τη συγκέντρωση σωματιδίων την ατμόσφαιρα, την οξύνιση, τον ευτροφισμό, την οικοτοξικότητα και τη χρήση υδάτινων πόρων και σε ποσοστό 30,2% τη χρήση (κατάληψη) της γης.

Η λειτουργία των μονάδων αποθήκευσης ακολουθεί την ίδια νόρμα με ποσοστό συμμετοχής 9,2% σε 19 κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ενώ περιορίζεται στο 8,6% στην κατηγορία της χρήσης γης και στο 0,02% στις κατηγορίες εξάντλησης των ορυκτών πόρων.

Επειδή όλες οι συσκευές λειτουργούν αφενός με ρεύμα από το ίδιο ενεργειακό μίγμα κάθε στιγμή, αφετέρου τον ίδιο χρόνο, ήταν αναμενόμενη η συμβολή τους στις ίδιες κατηγορίες. Η λειτουργία του εξοπλισμού δικτύου συμβάλει στις ίδιες κατηγορίες κατά 3%-3,2% και του εξοπλισμού του προσωπικού 2,6%-2,7%. Η λειτουργία των ψυκτικών μονάδων ως κύρια πηγή ρύπανσης και η συμμετοχή στις συγκεκριμένες κατηγορίες συνάδει με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας.

Οι επιπτώσεις στις κατηγορίες της εξάντλησης των ορυκτών πόρων προέρχονται αποκλειστικά από τα υλικά και τη διαδικασία παραγωγής του εξοπλισμού. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο. Μη αναμενόμενο ήταν, ότι ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός έχει μεγαλύτερη συμβολή στην εξάντληση των μεταλλευμάτων σε σχέση με τους διακομιστές. Πιο συγκεκριμένα, ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός συμβάλλει στις εξάντληση των μεταλλευμάτων κατά 41,6% και των υδρογονανθράκων κατά 23%. Οι διακομιστές συμμετέχουν στη συνολική εξάντληση των μεταλλευμάτων με ποσοστό 30,9% και στην εξάντληση των υδρογονανθράκων με 40,4%. Το αποτέλεσμα αυτό μάλλον οφείλεται στην υπερδιαστασιολόγηση του συγκεκριμένου εξοπλισμού, δεδομένου ότι δε λήφθηκε ποσοστό υλικού, παρότι έχει διαστασιολογηθεί για εξυπηρέτηση και άλλων εγκαταστάσεων του Πανεπιστημίου. Επίσης, μη αναμενόμενο ήταν το αποτέλεσμα της μεγαλύτερης συνεισφοράς του εξοπλισμού δικτύου και προσωπικού σε σχέση με τις μονάδες αποθήκευσης στην ίδια κατηγορία. Επιπτώσεις των συσκευών δικτύου στην εξάντληση των μεταλλευμάτων ανέρχονται σε 10,6% και 7,5% αντίστοιχα, έναντι του 4,9% των μονάδων αποθήκευσης. Τέλος, στην ίδια κατηγορία οι ψυκτικές μονάδες συμβάλλουν κατά 4,4%.

Στην εξάντληση των υδρογονανθράκων οι μονάδες αποθήκευσης συμβάλλουν κατά 12,1%, ο εξοπλισμός δικτύου κατά 11,1%, ο εξοπλισμός του προσωπικού κατά 9,4% και οι μονάδες ψύξης κατά 3,9%.

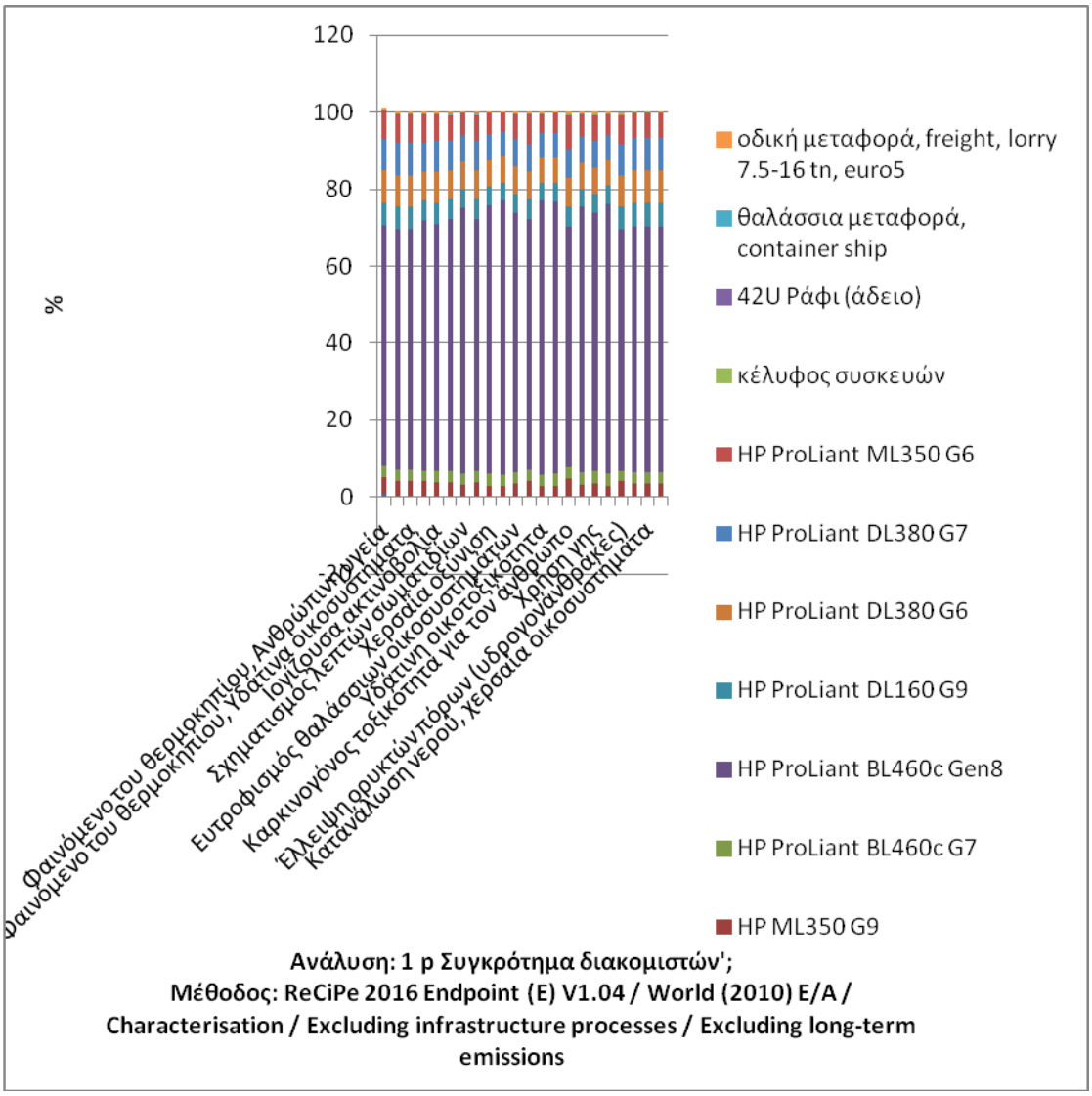
Αν αθροιστούν οι επιπτώσεις όλων των συσκευών του εξοπλισμού πληροφορικής, τότε οι επιπτώσεις του είναι μεγαλύτερες από τις άλλες κατηγορίες εξοπλισμού και στις δύο

κατηγορίες ορυκτών πόρων, με συνεισφορά 46,4% στην εξάντληση των μεταλλευμάτων και 63,6% στην εξάντληση των υδρογονανθράκων.

5.2 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Στοιχείων Εξοπλισμού και Συγκροτήματος Διακομιστών

Σύστημα διακομιστών

Στο Γράφημα 11 παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συγκροτήματος των διακομιστών στις 22 κατηγορίες, που αφορούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε χερσαία και σε υδάτινα οικοσυστήματα, την τρύπα του όζοντος, τη συγκέντρωση σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. την οξύνιση, τον ευτροφισμό, την οικοτοξικότητα, τη χρήση υδάτινων πόρων και την εξάντληση των ορυκτών πόρων.

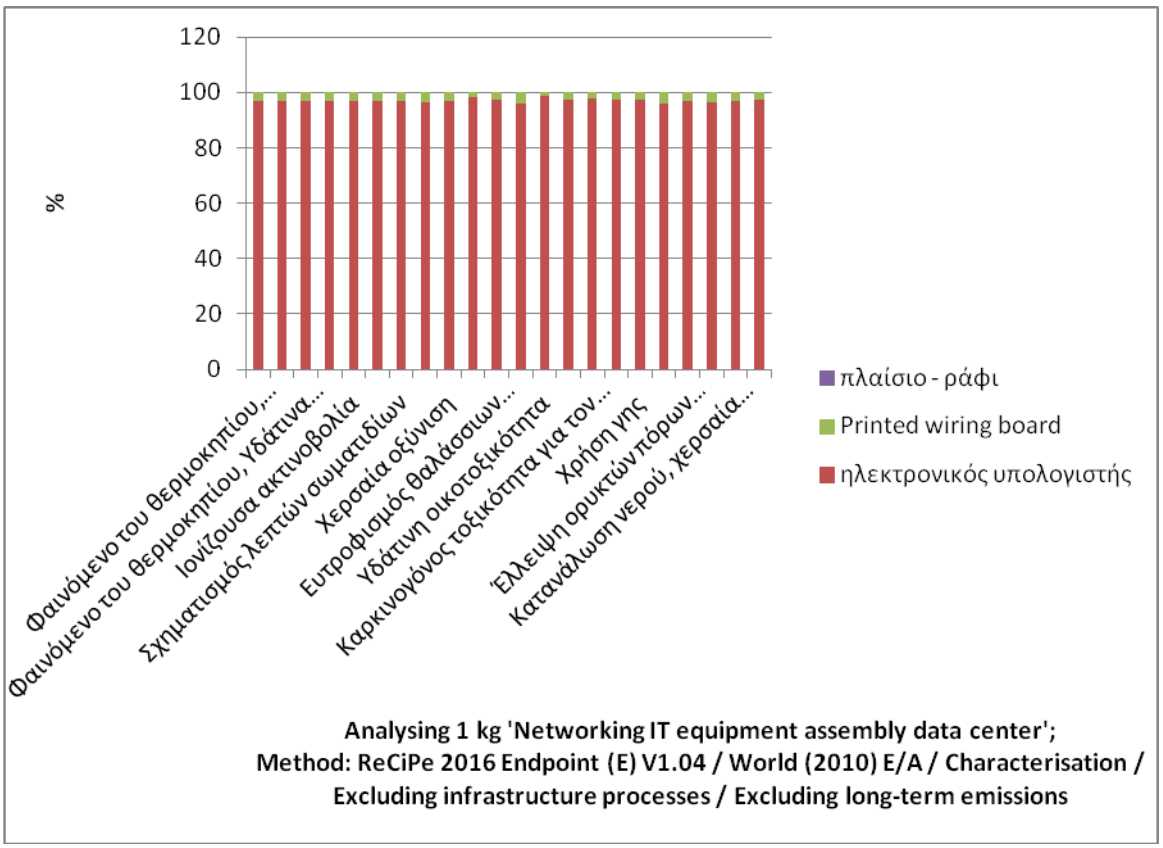


Γράφημα 11 Ποσοστιαία συμμετοχή των στοιχείων του συγκροτήματος των διακομιστών στις επιπτώσεις 22 κατηγορίων

Δεδομένου, ότι όλοι οι διακομιστές μοντελοποιήθηκαν με βάση μία πρότυπη μονάδα, η οποία δε διέφερε σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών σχεδιασμών διακομιστών (tower, rack και blade), η διαφορά στο ποσοστό συνεισφοράς τους οφείλεται μόνο στον αριθμό των συσκευών κάθε τύπου ή μοντέλου διακομιστή, που χρησιμοποιείται. Αξιοσημείωτο στο διάγραμμα είναι η μηδαμινή συνεισφορά της συνολικής μεταφοράς, δηλαδή του αθροίσματος της θαλάσσιας και της χερσαίας, σε σχέση με τις συνέπειες από τη χρήση των υλικών κάθε διακομιστή. Για παράδειγμα στο διάγραμμα φαίνεται, ότι η συνεισφορά του διακομιστή HP Proliant DL380 G7 (μόνο μία συσκευή στο συγκρότημα) συμβάλλει σε κάθε κατηγορία με ποσοστό 6,6%-8,6%, ενώ η μεταφορά συμβάλλει λιγότερο από 1% σε κάθε κατηγορία. Από αυτό το διάγραμμα καθίσταται, λοιπόν, σαφές, ότι η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των διακομιστών πρέπει να είναι προτεραιότητα έναντι της εύρεσης φιλικότερου τρόπου μεταφοράς.

Εξοπλισμός δικτύου

Στο Γράφημα 12 παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του εξοπλισμού δικτύου. Όπως έχει περιγραφεί στην απογραφή των υλικών, ο εξοπλισμός δικτύου μοντελοποιήθηκε με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, το πλαίσιο - ράφι και τις τυπωμένες πλακέτες καλωδίωσης (PWB), ώστε να αντιπροσωπεύονται τα ηλεκτρονικά του συστήματα και συσκευές. Δεδομένου του μεγάλου αριθμού υπολογιστών που χρειάστηκαν, ήταν αναμενόμενο ο ηλεκτρονικός υπολογιστής (ως στοιχείο, που χρησιμοποιήθηκε στη μοντελοποίηση του εξοπλισμού δικτύου) να συμμετέχει στη διαμόρφωση των επιπτώσεων. Ωστόσο, οι τυπωμένες πλακέτες καλωδίωσης, παρά το σαφώς μικρότερο αριθμό συσκευών τους, συμμετέχουν με ποσοστό 3% και 4% σταθερά σε όλες τις κατηγορίες, οπότε αποδεικνύονται στοιχείο εξοπλισμού με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επειδή το ράφι (rack) είναι κατασκευασμένο μόνο από ατσάλι και δεν περιλαμβάνει ηλεκτρονικά μέρη, έχει μηδαμινή συνεισφορά στις επιπτώσεις παρά το βάρος του. Από το διάγραμμα εξάγεται, λοιπόν, το συμπέρασμα, ότι τα ηλεκτρονικά κυκλώματα έχουν μεγαλύτερες συνέπειες στη ρύπανση από τα μεταλλεύματα.



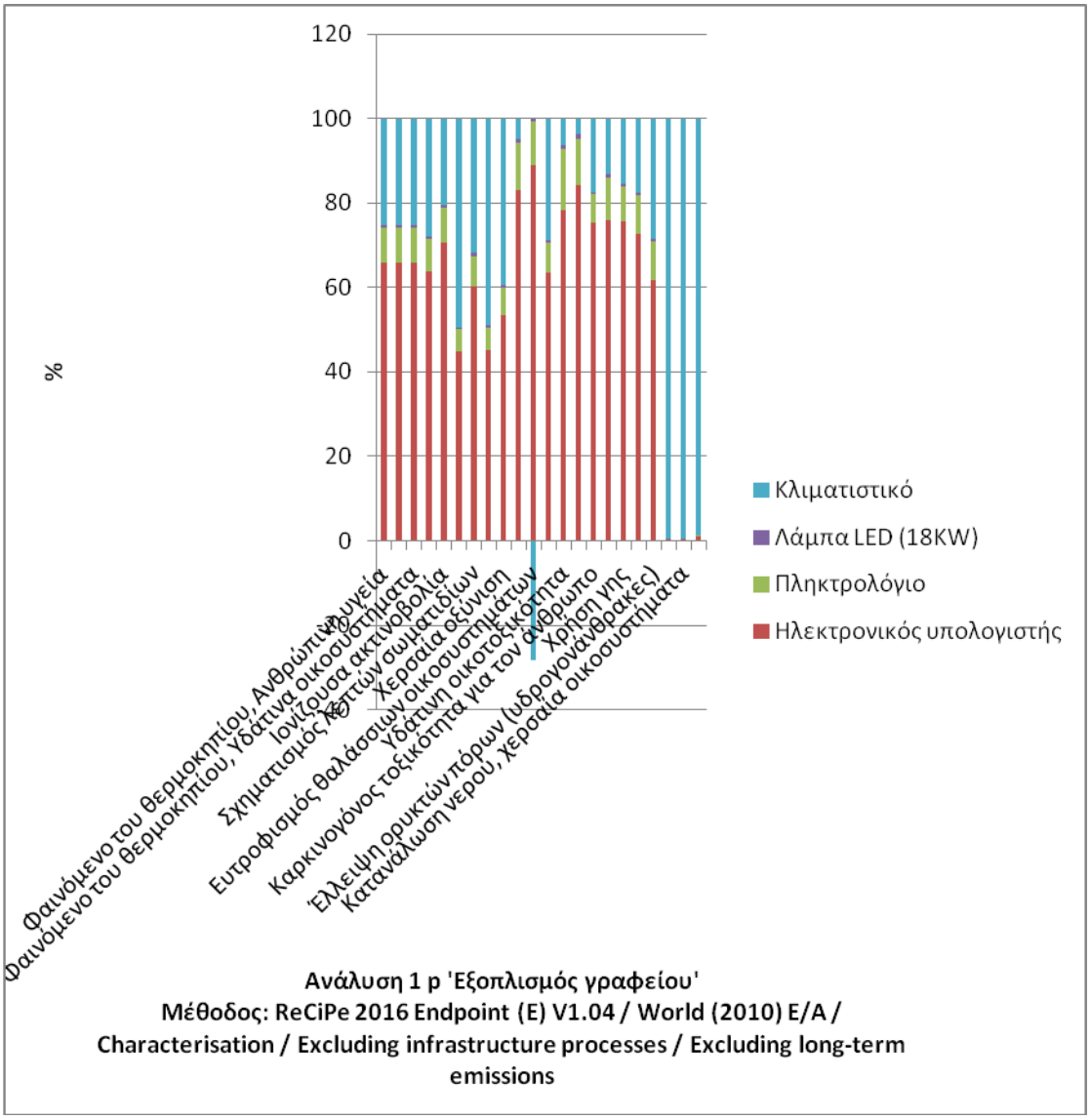
Γράφημα 12 Ποσοστιαία συμμετοχή των στοιχείων του εξοπλισμού δικτύου σε 22 κατηγορίες επιπτώσεων

Εξοπλισμός προσωπικού

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του εξοπλισμού του προσωπικού στις 22 κατηγορίες παρουσιάζονται στο Γράφημα 13. Από το διάγραμμα φαίνεται, ότι ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός (ηλεκτρονικός υπολογιστής και πληκτρολόγιο), έχει γενικά μεγαλύτερες επιπτώσεις από τις μονάδες κλιματισμού χώρου. Ωστόσο, το προφίλ δεν είναι ίδιο για όλες τις κατηγορίες.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα του ηλεκτρονικού υπολογιστή γραφείου έχει τη μεγαλύτερη συμβολή στις κατηγορίες συνεπειών του φαινομένου του θερμοκηπίου, της ακτινοβολίας, του ευτροφισμού, της οικοτοξικότητας, της καρκινογόνου τοξικότητας, της κατάληψης γης και της εξάντλησης των πόρων. Σε αυτές τις κατηγορίες η συμβολή κυμαίνεται μεταξύ 68% και 98%. Στην κατηγορία της οξύνισης ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός συμμετέχει με ποσοστό 59,8%, ενώ οι μονάδες κλιματισμού με 39,5%. Αντίθετα, στις κατηγορίες επιπτώσεων, οι οποίες συνδέονται με την κατανάλωση νερού, οι κλιματιστικές μονάδες συμμετέχουν με ποσοστά 98,7% έως 99,7%, ουσιαστικά αποτελώντας τη μόνη πηγή επιπτώσεων.

Μη αναμενόμενο ήταν το αποτέλεσμα των κατηγοριών της δημιουργίας της τρύπας του όζοντος, στις οποίες παρατηρείται ισοβαθμία στη συμμετοχή στις συνέπειες. Οι κλιματιστικές μονάδες συμμετέχουν με ποσοστό 49% και 49,5% και το συγκρότημα του υπολογιστή γραφείου με 50% και 50,5%. Το μη αναμενόμενο αυτό αποτέλεσμα θεωρήθηκε, ότι οφείλεται στη μοντελοποίηση των κλιματιστικών μονάδων, η οποία βασίστηκε στα μεταλλεύματα και τα πλαστικά και δεν περιέλαβε τις σπάνιες γαίες και το ψυκτικό υγρό. που συμπεριλαμβάνονται στη συσκευή. Τέλος, μη αναμενόμενη ήταν η θετική περιβαλλοντική επίπτωση (κατά 28%), την οποία έχουν οι κλιματιστικές μονάδες στην αναχαίτιση του ευτροφισμού των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Δυστυχώς, σε αυτό το θέμα δεν μπορεί να διευκρινιστεί ο λόγος, οπότε το αποτέλεσμα χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.



Γράφημα 13 Ποσοστιαία συμβολή στοιχείων συγκροτήματος εξοπλισμού γραφείου στις επιπτώσεις 22 κατηγοριών

5.3 Σύγκριση Αποτελεσμάτων με τη Βιβλιογραφία

Τα αποτελέσματα της παρούσας ΑΚΖ συνάδουν με τα αποτελέσματα αντίστοιχων μελετών της βιβλιογραφίας. Πιο συγκεκριμένα, το κέντρο δεδομένων προκαλεί περιβαλλοντικές επιπτώσεις και στις τρεις κύριες κατηγορίες (ανθρώπινη υγεία, εξάντληση πρώτων υλών και υποβάθμιση ποιότητας οικοσυστημάτων), ωστόσο οι δύο κατηγορίες που κυρίως πλήττονται είναι η ανθρώπινη υγεία και η ποιότητα των οικοσυστημάτων. Οι επιπτώσεις επιβαρύνουν πρωτίστως την ανθρώπινη υγεία και δευτερευόντως την ποιότητα των οικοσυστημάτων, όπως αναδείχθηκε και στη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Στην ανάλυση των 22 κατηγοριών επιπτώσεων παρατηρήθηκε συμβολή στις συνέπειες στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής (φαινόμενο του θερμοκηπίου), όπως ανέδειξε και η βιβλιογραφία. Η κλιματική αλλαγή επιβαρύνεται από τη λειτουργία του κέντρου δεδομένων, ενώ η εξάντληση των πόρων από τα υλικά, αποτελεί δηλαδή ενσωματωμένη επίπτωση.

Όπως στη βιβλιογραφία, έτσι και στην παρούσα μελέτη αναδείχθηκε, ότι η λειτουργικές επιπτώσεις του κέντρου δεδομένων είναι μεγαλύτερες από τις ενσωματωμένες, δηλαδή τις επιπτώσεις από την εξαγωγή των πρώτων υλών και την παραγωγή των κεφαλαιουχικών αγαθών (υλικών και εξοπλισμού). Όσον αφορά στις λειτουργικές επιπτώσεις του εξοπλισμού πληροφορικής, η λειτουργία των διακομιστών έχει ελαφρώς μεγαλύτερες επιπτώσεις από τη λειτουργία των μονάδων αποθήκευσης. Η σχέση αυτή επιβεβαιώνεται στη βιβλιογραφία.

Και στην παρούσα μελέτη οι ενσωματωμένες επιπτώσεις κυριαρχούν στις κατηγορίες της εξάντλησης των ορυκτών πόρων (μεταλλευμάτων και υδρογονανθράκων), με τον εξοπλισμό πληροφορικής να αποτελεί την κύρια πηγή της ρύπανσης. Η συμφωνία αυτού του αποτελέσματος με τη βιβλιογραφία είναι πολύ σημαντική, δεδομένου ότι χρησιμοποιήθηκε διαφορετική μοντελοποίηση για τη συγκρότηση της μονάδας του διακομιστή και της αποθήκευσης. Στη βιβλιογραφία ο διακομιστής συνήθως μοντελοποιείται ως ηλεκτρονικός υπολογιστής, ενώ στην παρούσα μελέτη με βάση πρότυπη μονάδα διακομιστή.

Στην παρούσα μελέτη οι κατηγορίες των καρκινογόνων ουσιών, της οικοτοξικότητας και της τρύπας του όζοντος δεν επηρεάζονται έντονα. Η συμβολή οφείλεται στη λειτουργία των διακομιστών και περιορίζεται σε ποσοστό 32%, σε αντίθεση με τη βιβλιογραφία,

στην οποία φαίνεται οι διακομιστές να συμβάλλουν περισσότερο. Η απόκλιση από το αποτέλεσμα της βιβλιογραφίας μπορεί να οφείλεται στο γεγονός, ότι δεν υπήρχαν στοιχεία για την κατασκευή των διακομιστών, οπότε η διαδικασία παραγωγής τους στο εργοστάσιο δε μοντελοποιήθηκε, αλλά αφέθηκε εκτός ορίων συστήματος. Άλλος ένας παράγοντας που μπορεί να επέδρασε στην απόκλιση είναι η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των διακομιστών. Επειδή το κέντρο δεδομένων της παρούσας μελέτης είναι μικρό κι εξυπηρετεί μόνο το Πανεπιστήμιο, οι διακομιστές χρησιμοποιούνται για περισσότερα χρόνια. Επίσης εκτιμήθηκε, ότι σε κατάσταση αναμονής βρίσκεται κάθε στιγμή μόνο το 20% του συνόλου. Οι μελέτες της βιβλιογραφίας μελετούν μεγάλα κι επαγγελματικά κέντρα δεδομένων, τα οποία παρέχουν υπηρεσίες αποθήκευσης δεδομένων, οπότε για την ελαχιστοποίηση των βλαβών και την ικανοποίηση των πελατών αλλάζουν συχνότερα διακομιστές κι έχουν περίσσεια διακομιστών από την απαιτούμενη. Αυτό οδηγεί σε μικρότερο ποσοστό αξιοποίησης κάθε διακομιστή, απ’ ότι πραγματοποιείται στο Πανεπιστήμιο.

Σημαντική διαφορά ήταν η οριακά ίση συμβολή της λειτουργίας των ψυκτικών μονάδων και του εξοπλισμού πληροφορικής στις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στη βιβλιογραφία συνήθως η λειτουργία των διακομιστών συμβάλλει περισσότερο στις επιπτώσεις και η λειτουργία των ψυκτικών μονάδων έρχεται δεύτερη σε συμβολή. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην τοποθεσία των κέντρων δεδομένων. Όλες οι μελέτες της βιβλιογραφίας έχουν πραγματοποιηθεί για κέντρα σε χώρες, οι οποίες βρίσκονται είτε στη βόρεια Ευρώπη (Ηνωμένο Βασίλειο, Σουηδία) είτε στη βόρεια Αμερική, όπου χρησιμοποιείται η δυνατότητα ψύξης με χρήση του ψυχρού αέρα περιβάλλοντος και η λειτουργία των μονάδων περιορίζεται μόνο στους θερινούς μήνες. Αυτή η πρακτική είναι αδύνατο να εφαρμοστεί στην Αθήνα, πόλη με ξηρό μεσογειακό κλίμα. Τέλος, στην παρούσα μελέτη η απόρριψη μετά το τέλος ζωής έμεινε εκτός ορίων μελέτης, οπότε αυτό εισήγαγε πιθανές αποκλίσεις σε σχέση με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας.

Ποσοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί, εξαιτίας της διαφορετικής λειτουργικής μονάδας που χρησιμοποιήθηκε.

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά το κέντρο δεδομένων του Πανεπιστημίου έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες αφορούν κυρίως τις κατηγορίες της ανθρώπινης υγείας και της ποιότητας των οικοσυστημάτων. Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία προέκυψαν διπλάσιες από εκείνες στην υποβάθμιση των οικοσυστημάτων και επηρεάζονται σχεδόν αποκλειστικά από τη λειτουργία του κέντρου, παρά από την κατασκευή των υλικών. Τα είδη εξοπλισμού, που επιβαρύνουν περισσότερο με τη λειτουργία τους, είναι οι ψυκτικές μονάδες και ο εξοπλισμός πληροφορικής. Τα δύο αυτά είδη εξοπλισμού συμβάλουν ουσιαστικά ισόποσα στις επιπτώσεις. Παρατηρείται ότι παρά τη μετατόπιση του ενεργειακού μίγματος τα τελευταία έτη σε μίγμα φιλικότερο προς το περιβάλλον, οι επιπτώσεις της λειτουργίας επικρατούν. Οι αμελητέες συνέπειες στην κατηγορία των φυσικών πόρων οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι οποιεσδήποτε ενέργειες στην κατεύθυνση της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού των συσκευών οφείλουν να στοχεύσουν τις άλλες δύο κατηγορίες.

Όπως περιγράφηκε, οι επιπτώσεις των ψυκτικών μονάδων (36,5 kPt) είναι οριακά μεγαλύτερες από τις συνολικές επιπτώσεις του εξοπλισμού πληροφορικής, δηλαδή τις αθροισμένες επιπτώσεις των διακομιστών, των μονάδων αποθήκευσης και του εξοπλισμού δικτύου (30 kPt). Ωστόσο, αν ο εξοπλισμός πληροφορικής δεν αντιμετωπιστεί ως ενιαίο σύνολο, αλλά κάθε είδος συσκευής αντιμετωπιστεί ως ξεχωριστή κατηγορία, τότε ο εξοπλισμός, που έρχεται δεύτερος σε μέγεθος επιπτώσεων, είναι ο ηλεκτρολογικός με ποσοστό 26,3%. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα δεν ήταν αναμενόμενο, αλλά θεωρείται, ότι προέρχεται από τη μέτρηση ολόκληρων των ενσωματωμένων επιπτώσεων των συσκευών στο κέντρο δεδομένων, αντί για τμήμα τους. Ενδέχεται επίσης, να προέρχεται από τη μη συμπερίληψη της διαδικασίας παραγωγής των διακομιστών και των μονάδων αποθήκευσης στα όρια του συστήματος. Εκτιμάται ότι η συμπερίληψή της θα αυξήσει ορατά τις συνολικές επιπτώσεις των συσκευών. Σε γενικές γραμμές η συμβολή του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού στις συνολικές επιπτώσεις είναι πολύ μικρή, αποτέλεσμα που επιβεβαιώνει μεν τη βιβλιογραφία, μπορεί δε να οφείλεται στο μικρό ποσοστό ισχύος, που επιλέχθηκε ότι αφορά τη διαβίβαση ρεύματος στο κέντρο δεδομένων.

Όσον αφορά στον εξοπλισμό πληροφορικής, οι επιπτώσεις σε όλες τις κατηγορίες οφείλονται στα υλικά ή στη λειτουργία των διακομιστών και των μονάδων αποθήκευσης. Οι επιπτώσεις του εξοπλισμού δικτύου είναι σημαντικά μικρότερες. Μεγαλύτερες είναι οι επιπτώσεις των διακομιστών, αλλά με μικρή διαφορά, παρά τον πολύ μικρότερο αριθμό μονάδων αποθήκευσης, αποτέλεσμα που επιβεβαιώνει τη βιβλιογραφία και φαίνεται να είναι η νόρμα στα κέντρα δεδομένων.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων με γνώμονα τις 22 περιβαλλοντικές κατηγορίες, οδηγεί στο συμπέρασμα, πως η λειτουργία των ψυκτικών μονάδων είναι η πιο επιζήμια περιβαλλοντικά διαδικασία, αφού οι επιπτώσεις τους απαντώνται σε 19 κατηγορίες σε ποσοστό λίγο άνω του 50%. Δεύτερες σε πρόκληση περιβαλλοντικής ζημίας, επομένως και σε σημασία είναι οι συσκευές των διακομιστών. Το αποτέλεσμα αυτό αναδεικνύει τη σημασία της επιλογής φιλικού προς το περιβάλλον συστήματος ψύξης και της ανεύρεσης μεθόδων ελαχιστοποίησης των αναγκών ψύξης στις περιοχές, όπου το κλίμα δεν είναι ψυχρό κι οι ψυκτικές ανάγκες είναι σημαντικές.

Παρά το γεγονός, ότι η Ελλάδα χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα στο ενεργειακό της μείγμα, οι κατηγορίες εξάντλησης των φυσικών πόρων (μεταλλευμάτων και υδρογονανθράκων) επηρεάζονται αποκλειστικά από την κατασκευή των συσκευών. Τις υψηλότερες ενσωματωμένες επιπτώσεις έχουν οι διακομιστές και ακολουθούν οι μονάδες αποθήκευσης. Αυτό υποδεικνύει την ανάγκη για φιλικότερο προς το περιβάλλον σχεδιασμό και την ανάπτυξη λειτουργικού συστήματος ανακύκλωσης και διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων.

Παρότι τα παραπάνω αποτελέσματα και τα σχετικά με αυτά συμπεράσματα είναι σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες, θεωρείται ότι οι ενσωματωμένες επιπτώσεις των διακομιστών, των μονάδων αποθήκευσης, της μονάδας αδιάλειπτης παροχής και των ψυκτικών μονάδων έχουν υποτιμηθεί, εξαιτίας της αδυναμίας συμπερίληψης της κατασκευής τους στη μοντελοποίηση. Επίσης, η κατηγορία λοιπά υλικά, που δε συμπεριλήφθηκε στη μοντελοποίηση, ενδέχεται να περιλαμβάνει πρώτες ύλες κι εξοπλισμό ιδιαίτερα επιβλαβή για το περιβάλλον. Παράλληλα, η παραδοχή ότι οι ενσωματωμένες επιπτώσεις όλων των συσκευών ανάγονται σε δέκα έτη λειτουργίας, ενδέχεται να οδήγησε σε υπερεκτίμηση των επιπτώσεων των ψυκτικών μονάδων και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, συσκευών με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Επειδή στη μελέτη όλοι οι διακομιστές μοντελοποιήθηκαν με βάση μία πρότυπη μονάδα, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη συνέχεια να διερευνηθούν διαφορές στη σύσταση και στη λειτουργία τόσο μεταξύ των τύπων διακομιστών (tower, rack και blade) όσο και μεταξύ προϊόντων διαφορετικών εταιριών. Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής μελέτης. Ομοίως, ενδιαφέρον θα είχε να γίνει μία ανάλυση ευαισθησίας, ώστε διερευνηθεί η ανταπόκριση των συνολικών και επιμέρους επιπτώσεων σε διαφορετικά ενεργειακά μείγματα, ώστε να υπολογιστούν οι δυνατότητες και τα όρια μείωσης των λειτουργικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

42U (2012): 42U Rack Dimensions & Specifications. In *42U - Data Center Solutions*, 3/20/2012. Available online at https://www.42u.com/42U-cabinets.htm, checked on 1/23/2023.

Acton, M.; Bertoldi, P.; Booth, L. (2021): Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency. Edited by European Commission. European Union. Available online at https://e3p.jrc.ec.europa.eu/publications/2021-best-practice-guidelines-eu-code-conduct-data-centre-energy-efficiency, checked on 1/23/2023.

Arlitt, Martin; Bash, Cullen; Blagodurov, Sergey; Chen, Yuan; Christian, Tom; Gmach, Daniel et al. (Eds.) (2012): Towards the design and operation of net-zero energy data centers. 13th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems. San Diego, CA, USA, 30 May - 1 June: IEEE. Available online at https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6231479, checked on 1/23/2023.

Bekkers, Eddy; Francois, Joseph F.; Rojas-Romagosa, Hugo (2018): Melting ice Caps and the Economic Impact of Opening the Northern Sea Route. In *The Economic Journal* 128 (610), pp. 1095–1127. DOI: 10.1111/ecoj.12460.

Belady, C.; Azevedo, D.; Patterson, M.; Pouchet, J.; Tipley, R. (2010): Carbon Usage Effectiveness (CUE): A Green Grid Data Center Sustainability Metric. Edited by The Green Grid (White Paper, 32), checked on 7/4/2022.

Bergvik (2023): Iso Floor For data centres | Bergvik. Available online at https://www.bergvik.com/products/floor/iso-floor-for-data-centres/, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes (November, 2020): Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland - Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz. Dessau-Roßlau. Available online at http://www.uba.de/uba-info-medien/4037.html, checked on 10/20/2021.

Caspar Honee; Daniel Hedin; Jasmin St-Laurent; Morgan Froling (Eds.) (2012): Environmental performance of data centres - A case study of the Swedish National Insurance Administration. Berlin, Germany, 9-12 September 2012. 2012 Electronics Goes Green 2012+: IEEE. Available online at https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6360435.

Chang, Jichuan; Meza, Justin; Ranganathan, Parthasarathy; Shah, Amip; Shih, Rocky; Bash, Cullen (2012): Totally green: evaluating and designing servers for lifecycle environmental impact. In *ACM SIGPLAN Notices* 47 (4), pp. 25–36. Available online at https://doi.org/10.1145/2248487.2150980, checked on 1/23/2023.

Cho, Jinkyun; Kim, Yundeok (2016): Improving energy efficiency of dedicated cooling system and its contribution towards meeting an energy-optimized data center. In *Applied Energy* 165, pp. 967–982. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.12.099.

Clancy, Heather (2022): Lessons from Google's clean energy agenda | Greenbiz. Available online at https://www.greenbiz.com/article/lessons-googles-clean-energy-agenda, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Dandres, Thomas; Vandromme, Nathan; Obrekht, Glasha; Wong, Andy; Nguyen, Kim Khoa; Lemieux, Yves et al. (2017): Consequences of Future Data Center Deployment in Canada on Electricity Generation and Environmental Impacts: A 2015-2030 Prospective Study. In *Journal of Industrial Ecology* 21 (5), pp. 1312–1322. DOI: 10.1111/jiec.12515.

Data Center Knowledge data center industry (2012): Smart Data Center Design for More Effective Cooling. News and analysis for the data center industry. Available online at https://www.datacenterknowledge.com/archives/2012/03/27/smart-data-center-design-for-more-effective-cooling, updated on 3/27/2012, checked on 1/23/2023.

Depoorter, Victor; Oró, Eduard; Salom, Jaume (2015): The location as an energy efficiency and renewable energy supply measure for data centres in Europe. In *Applied Energy* 140, pp. 338–349. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.11.067.

Enterprise, Hewlett Packard (2023a): HPE ProLiant ML350 G6 Server - Overview. Available online at https://support.hpe.com/hpesc/public/docDisplay?docId=emr_na-c01713311, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Flucker, Sophia; Tozer, Robert; Whitehead, Beth (2018): Data centre sustainability – Beyond energy efficiency. In *Building Services Engineering Research and Technology* 39 (2), pp. 173–182. DOI: 10.1177/0143624417753022.

Garnier, C.; Aggar, M.; Banks, M.; Dietrich, J.; Shatten, B.; Stutz, M.; Tong-Viet, E. (2012): DATA CENTRE LIFE CYCLE ASSESSMENT GUIDELINES. 2nd ed. Edited by The Green Grid (White Paper, 45). Available online at https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools, checked on 7/4/2022.

Ghonge, Sagar; Hakalahti, Kirsi (2012): Environmental Life Cycle Assessment of 93PM Uninterruptible Power Supplies: EATON. Available online at https://bps-eaton.hu/docs/eaton93pmlcasummaryreport.096g9gwpim0cm.pdf.

Goiri, Íñigo; Haque, Md E.; Le, Kien; Beauchea, Ryan; Nguyen, Thu D.; Guitart, Jordi et al. (2015): Matching renewable energy supply and demand in green datacenters. In *Ad Hoc Networks* 25, pp. 520–534. DOI: 10.1016/j.adhoc.2014.11.012.

Google Data Centers (2022): Data centers – Google Data centers. Available online at https://www.google.com/about/datacenters/gallery/, updated on 4/19/2022, checked on 1/23/2023.

Grignon-Massé, Laurent; Rivière, Philippe; Adnot, Jérôme (2011): Strategies for reducing the environmental impacts of room air conditioners in Europe. In *Energy Policy* 39 (4), pp. 2152–2164. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.02.004.

Hewlett Packard (2023c): Global Delivery Centre Locations. Available online at https://www.hpe.com/emea_europe/en/privacy/global-delivery-centers.html, updated on 1/21/2023, checked on 1/23/2023.

Hewlett Packard (2023): HP ProDesk 600 G5-Microtower-Business-PC - Technische Daten | HP® Kundensupport. Available online at https://support.hp.com/ch-de/document/c06407812, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Infortred (2023a): https://www.infortrend.com/id/products/models/EonNAS%201012. Available online at https://www.infortrend.com/id/products/models/EonNAS%201012, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Infortred (2023b): Worldwide Offices | Infortrend. Available online at https://www.infortrend.com/us/about/worldwide, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Infortrend Deutschland GmbH, Hanau | Firmenauskunft (2023). Available online at https://firmeneintrag.creditreform.de/63450/8170756148/INFORTREND_DEUTSCHLAND_GMBH, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Lajevardi, Babak; Haapala, Karl R.; Junker, Joseph F. (2015): Real-time monitoring and evaluation of energy efficiency and thermal management of data centers. In *Journal of Manufacturing Systems* 37, pp. 511–516. DOI: 10.1016/j.jmsy.2014.06.008.

Marwah, Manish; Maciel, Paulo; Shah, Amip; Sharma, Ratnesh; Christian, Tom; Almeida, Virgilio et al. (2010): Quantifying the sustainability impact of data center availability. In *SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.* 37 (4), pp. 64–68. DOI: 10.1145/1773394.1773405.

Meza, Justin; Shih, Rocky; Shah, Amip; Ranganathan, Parthasarathy; Chang, Jichuan; Bash, Cullen (Eds.) (2010): Lifecycle-Based Data Center Design. Proceedings of the ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. Vancouver, British Columbia, Canada, 12-18 November.

Patterson, M.; Azevedo, D.; Belady, C.; Pouchet, J. (2011): WATER USAGE EFFECTIVENESS (WUE™): A GREEN GRID DATA CENTER SUSTAINABILITY METRIC,. Edited by The Green Grid (White Paper, 35). Available online at https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools, checked on 7/4/2022.

Peñaherrera, F.; Hobohm, J.; Szczepaniak, K. (2019): LCA of Energy and Material Demands in Professional Data Centers: Case Study of a Server. In *Springer Nature Switzerland AG 2019*, pp. 79–88. DOI: 10.1007/978-3-319-92237-9_9.

Ren, Yue; Zhao, Yue (2014): Studies on the Environmental Impact of the HVAC Equipments Based on the LCA Theory. In *AMM* 694, pp. 417–421. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.694.417.

Schneider Electric (2023): UPS Weights and Dimensions - Easy UPS 3M Manuals. Easy UPS 3M For Internal and External Batteries – Technical Specifications. Available online at https://www.productinfo.schneider-electric.com/easyups3m/5d162dba183e8500013dd0c4/990-5998B%20Easy%20UPS%203M%20Technical%20Specifications/English/990-5998%20Easy%20UPS%203M%2060-100%20kVA%20400%20V%20Technical%20Specifications_0000249635.xml/$/UPSWeightsandDimensionsREF_0000289023, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Shah, A. J.; Chen, Yuan; Bash, C. E. (Eds.) (2012): Sources of variability in data center lifecycle assessment. 2012 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST). Boston, MA, USA, 16-18 May 2012: IEEE. Available online at https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6227975, checked on 1/23/2023.

Shah, Amip; Bash, Cullen; Sharma, Ratnesh; Christian, Tom; Watson, Brian J.; Patel, Chandrakant (2011): Evaluating Life-Cycle Environmental Impact of Data Centers. In *Journal of Electronic Packaging* 133 (3), Article 031005. DOI: 10.1115/1.4004096.

SUPERMICRO (2021): SuperStorage Systems. Scalable and Flexible NVMe and Hybrid Storage Architectures. In *Superserver Solutions*. Available online at

https://www.supermicro.com/manuals/brochure/Brochure_Storage_systems.pdf, checked on 1/23/2023.

Supermicro Expands European Manufacturing Facilities to Support Increased Server and Storage Volume in EMEA Markets - PR Newswire APAC (2023). Available online at https://en.prnasia.com/releases/apac/supermicro-expands-european-manufacturing-facilities-to-support-increased-server-and-storage-volume-in-emea-markets-259622.shtml, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Uddin, Mueen; Rahman, Azizah Abdul (2012): Energy efficiency and low carbon enabler green IT framework for data centers considering green metrics. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (6), pp. 4078–4094. DOI: 10.1016/j.rser.2012.03.014.

US, Dell (2023): Handbücher | Dell Deutschland. Available online at https://www.dell.com/support/home/de-de?app=manuals, updated on 1/23/2023, checked on 1/23/2023.

Whitehead, Beth; Andrews, Deborah; Maidment, Graeme; Dunn, A. (Eds.) (2012a): THE SCREENING LIFE CYCLE ASSESSMENT OF A DATA CENTRE. 2nd LCA Conference. Lille, France, 6-7 November 2012.

Whitehead, Beth; Andrews, Deborah; Shah, Amip (2015b): The life cycle assessment of a UK data centre. In *Int J Life Cycle Assess* 20 (3), pp. 332–349. DOI: 10.1007/s11367-014-0838-7.

Whitehead, Beth; Andrews, Deborah; Shah, Amip; Maidment, Graeme (2015a): Assessing the environmental impact of data centres part 2: Building environmental assessment methods and life cycle assessment. In *Building and Environment* 93, pp. 395–405. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.08.015.

Whitehead, Beth; Andrews, Deborah; Shah, Amip; Maidment, Graeme (2014): Assessing the environmental impact of data centres part 1: Background, energy use and metrics. In *Building and Environment* 82, pp. 151–159. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.08.021.

Whitehead, Beth; Tozer, Robert; Shah, Amip; Kosik, Bill; Maidment, Graeme; Andrews, Deborah; Dunn, Alan (Eds.) (2012b): The Environmental Burden of Data Centres – A Screening LCA Methodology. CIBSE ASHRAE Technical Symposium, Imperial College, London UK. London, UK, 18-19 April 2012. Available online at https://www.researchgate.net/profile/Graeme-Maidment-2/publication/282848812_The_Environmental_Burden_of_Data_Centres_-_A_Screening_LCA_Methodology/links/561e469108aef097132b3ac9/The-Environmental-Burden-of-Data-Centres-A-Screening-LCA-Methodology.pdf, checked on 1/23/2023.

Wires, Rp News (2008): Dell opens second European manufacturing plant. In *Noria Corporation*, 1/23/2008. Available online at https://www.reliableplant.com/Read/10151/dell-opens-second-european-manufacturing-plant, checked on 1/23/2023.

Yuventi, Jumie; Mehdizadeh, Roshan (2013): A critical analysis of Power Usage Effectiveness and its use in communicating data center energy consumption. In *Energy and Buildings* 64, pp. 90–94. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.04.015.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΕΓΓΥΗΣΕΩΝ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ: ΥΠΟΛΕΙΠΟΜΕΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΜΕΙΓΜΑ 2020. Available online at https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/2021/06/%CE%A5%CE%A0%CE%9F%CE%9B%CE%95%CE%99%CE%A0%CE%9F%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%9F%20%CE%95%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%95%CE%99

%CE%91%CE%9A%CE%9F%20%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%93%CE%9C%CE%91%202020.pdf?_t=1624011847, checked on 1/23/2023.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α’

Κτιριακές εγκαταστάσεις και φωτισμός

Σε τι είδους κτίριο εδράζεται το data center (τσιμεντένια πολυκατοικία. τύπου container κτλ); Χωρισμένο σε 2 μέρη. Μέρος Α- Κλειστό Κτήριο (Τσιμεντένιο) Μέρος Β – Υπόγειο Κλειστού Κτηρίου (Τσιμεντένιο)
Πόσων ετών είναι το κτίριο; Μέρος Α: 22 Μέρος Β:10
Πόση είναι η συνολική επιφάνεια (δάπεδο) του κτιρίου; Μέρος Α: 19,3m^2 Μέρος Β: 27,6m^2 + Χώρος UPS 6,72m^2
Ποιες λάμπες χρησιμοποιούνται για το φωτισμό του κτιρίου; Μέρος Α: λάμπες φθορίου TL-D 18W Μερος Β:
Πόση επιφάνεια καταλαμβάνει ο εξοπλισμός IT; Μέρος Α :~7,2m^2 (4 Rack) Μέρος Β :~7,2m^2 (3 Rack)
Φωτίζεται ο χώρος του εξοπλισμού IT; Ναι
Υπάρχουν δωμάτια για το προσωπικό του data center (DC); Αν ναι. πόσα και περίπου με πόσα γραφεία; 2 Δωμάτια . Σύνολο 4 Γραφεία

Τι είδους υπολογιστές και πόσοι χρησιμοποιούνται σε κάθε γραφείο; 1 Tower Υπολογιστής / Γραφείο
Σε ποια κατηγορία ανήκει το DC (Tier I. II. III); Tier III
Μετά το πέρας της ωφέλιμης ζωής τους. οι λάμπες και οι υπολογιστές απορρίπτονται ή ανακυκλώνονται; Ανακυκλώνονται
Ποιο είναι το σύστημα κλιματισμού των γραφείων (π.χ. air-conditioners. HVAC με chiller); Air-Conditioners

Εξοπλισμός IT

Πόσους servers συνολικά έχει εγκατεστημένους το data center; Μέρος Α: 20 Server Μέρος Β: 28 Server
Ποια είναι η πυκνότητα του εξοπλισμού (W/m2); 1500 watt /m2
Χρησιμοποιούνται όλοι κάθε στιγμή ή κάποιοι είναι για redundancy; Όλοι κάθε στιγμή

Ποια είναι τι είδους server χρησιμοποιούνται (tower. blade. rack) και ποια είναι τα χαρακτηριστικά τους; Συνδυασμός Rack Servers & Blades (μέσα σε Chassis)
Ποιο είναι το μέγιστο. το μέσο και το idling φορτίο ενός server (σε KW ή %); 100 watt idling 300 watt max
Ποια είναι η πυκνότητα φορτίου (KW/rack) ή αριθμός server/rack; Μέρος Α: 4 Rack Rack I : Patch Panels & Καλωδίωση Rack II : Networking (Router. Core Switch . Firewall) Rack III : 1 Server. 2 Storage Rack IV : 2 Storage. 3 Servers. 1 Chassis με 16 Blade Servers Μέρος Β: 3 Rack Rack I : Patch Panels. Καλωδίωση & Networking (Router. Core Switch) Rack II : 1 Server. 1 Chassis με 5 Blade Servers. 3 Storage .1 Tape Library Rack III : 2 Top of the Rack Switch. 5 Servers. 1 Chassis με 16 Blade Servers. 1 Chassis με 5 Blade Servers . 3 Storage
Αν η πυκνότητα είναι άγνωστη. μπορεί να εκτιμηθεί κοντά στο τυπικό 5KW/rack με κατανομή 70:20:10 (servers:storage:networking); Ναι
Ποιο είναι το μοντέλο του server; Μέρος Α: Servers:

HP ProLiant ML350 G6
HP ProLiant DL380 G7
HP ML350 G9 x2
HP BladeSystem C7000 Enclosure (HP Proliant BL460c Gen8 x16)

Μέρος Β:

Servers:
HP BladeSystem C7000 Enclosure (HP Proliant BL460c Gen8 x5)
HP BladeSystem C7000 Enclosure (HP ProLiant BL460c G7 x3. HP Proliant BL460c Gen8 x13)
HP ProLiant DL380 G6
HP ProLiant DL160 G9 x3
HP ProLiant ML350 G6

Πόσο χρόνο κάθε έτος βρίσκεται ο server εκτός λειτουργίας;

2 Ώρες

Πόση θερμότητα παράγει ο server (BTU/h);

- HP ProLiant ML350 G6 : 460 W - 1715 BTU / hr (at 240 V ac)
- HP ProLiant DL380 G7 : 750 W Power Supply: 2812 BTU/hr (At 200 V ac)
- HP ProLiant ML350 G9 : For 500 W Power Supply: 1911 BTU/hr (at 200 V ac)
- HP BladeSystem C7000 Enclosure: For 2650Wx6 : 9857 BTU/hr
- HP ProLiant DL160 G9 : 2153 BTU/hr (at 200 VAC)
- HP ProLiant DL380 G6 : 2812 BTU/hr (at 200 VAC)

Πόσες μονάδες αποθήκευσης έχει το DC;
Storage:
Μέρος Α:
HP StorageWorks MSA2000
Infotrend DS 1012RE2
Supermicro
Μέρος Β:
Infotrend DS 1012GE
Dell PowerVault ME4024
Dell PowerVault ME4012
Dell MD3800

Ποια είναι η αποθηκευτική ικανότητα των μονάδων αποθήκευσης (σε KB); HP StorageWorks MSA2000 : 4.5TB Infotrend DS1012RE2: 116.43 TB SuperMicro : 64.19 TB Infotrend DS1012GE : 43.66 TB Dell PowerVault ME4024 : 31.38TB Dell PowerVault ME4012: 29TB Dell MD3800 : 36.33TB
Από τι υλικό είναι φτιαγμένα τα κουτιά; Μέταλλο
Κάθε πότε ανανεώνεται ο εξοπλισμός IT; 10 έτη
Μετά το πέρας της ωφέλιμης ζωής του. ο εξοπλισμός IT απορρίπτεται ή ανακυκλώνεται; Αν είναι εφικτή η ανακύκλωση. διαφορετικά απόρριψη
Πόση ενέργεια από το δίκτυο καταναλώνει το έτος ή το μήνα;
Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού δικτύου (networking equipment) που χρησιμοποιείται (copper cables. fiber optics cables. switches/ports for storage. server ports κτλ); Copper Cables: UTP Cat5. SFTP Cat 6 Fiber Optics Cables: MultiMode FC & Single mode

Σύστημα ψύξης

Ποιο είναι το σύστημα ψύξης του εξοπλισμού (raised floor με CRAC units κτλ); Είναι αερόψυκτο; Μέρος A : 2x Floor Standing Type Air Conditioner Μέρος B:

2x Floor Standing Type Air Conditioner
Ποια είναι η ισχύς του; 6200W ανά AirCondition
Υπάρχει σύστημα για redundancy; Αν ναι. ποια η ισχύς του;
Πόση ενέργεια από το δίκτυο καταναλώνει το έτος ή το μήνα;
Υπάρχει εκτίμηση του συνολικού μήκους ή της ποιότητας των σωληνώσεων. που χρησιμοποιούνται;
Πόσες αντλίες υποστηρίζουν τη λειτουργία του συστήματος ψύξης; Ποια είναι η ισχύς τους; Λειτουργούν με καύσιμο ή με ηλεκτρικό ρεύμα;
Κάθε πότε ανανεώνονται τμήματα του συστήματος ψύξης; Απορρίπτονται ή ανακυκλώνονται; Στο τέλος ζωής τους / Ανακυκλώνονται

Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός

Πόσα KVA είναι το σύστημα PDU; 3500 x 4
Το DC περιλαμβάνει HV και LV Switchboards; Αν ναι. πόσα και πόσα KVA το καθένα;
Το DC έχει Transformers; Αν ναι. πόσα και ποια είναι η ισχύς τους;

Πόσες μονάδες UPS έχει το DC και ποια ισχύς τους; Μέρος Α : Schneider Electric Galaxy VS 15kW Μέρος Β: Schneider Electric Galaxy 120 KVA
Πόσες μπαταρίες έχει η καθεμία;
Κάθε πότε ανανεώνονται οι μπαταρίες; 5 έτη
Υπάρχει εκτίμηση του συνολικού μήκους ή της ποιότητας των καλωδίων. που χρησιμοποιούνται;
Το DC έχει γεννήτρια έκτακτης ανάγκης για παροχή ρεύματος; Αν ναι. είναι ηλεκτρική ή πετρελαίου και ποια είναι η ισχύς της; Μέρος Α: Πετρελαίου / 630KVA Μέρος Β: Πετρελαίου / 200KVA
Μετά το πέρας της ωφέλιμης ζωής τους. τα στοιχεία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού απορρίπτονται ή ανακυκλώνονται; Ανακυκλώνονται

Γενικές

Από που προμηθεύτηκε το DC τον εξοπλισμό;

Παρακαλώ συμπληρώστε το μοντέλο και τον κατασκευαστή για τα ακόλουθα στοιχεία:

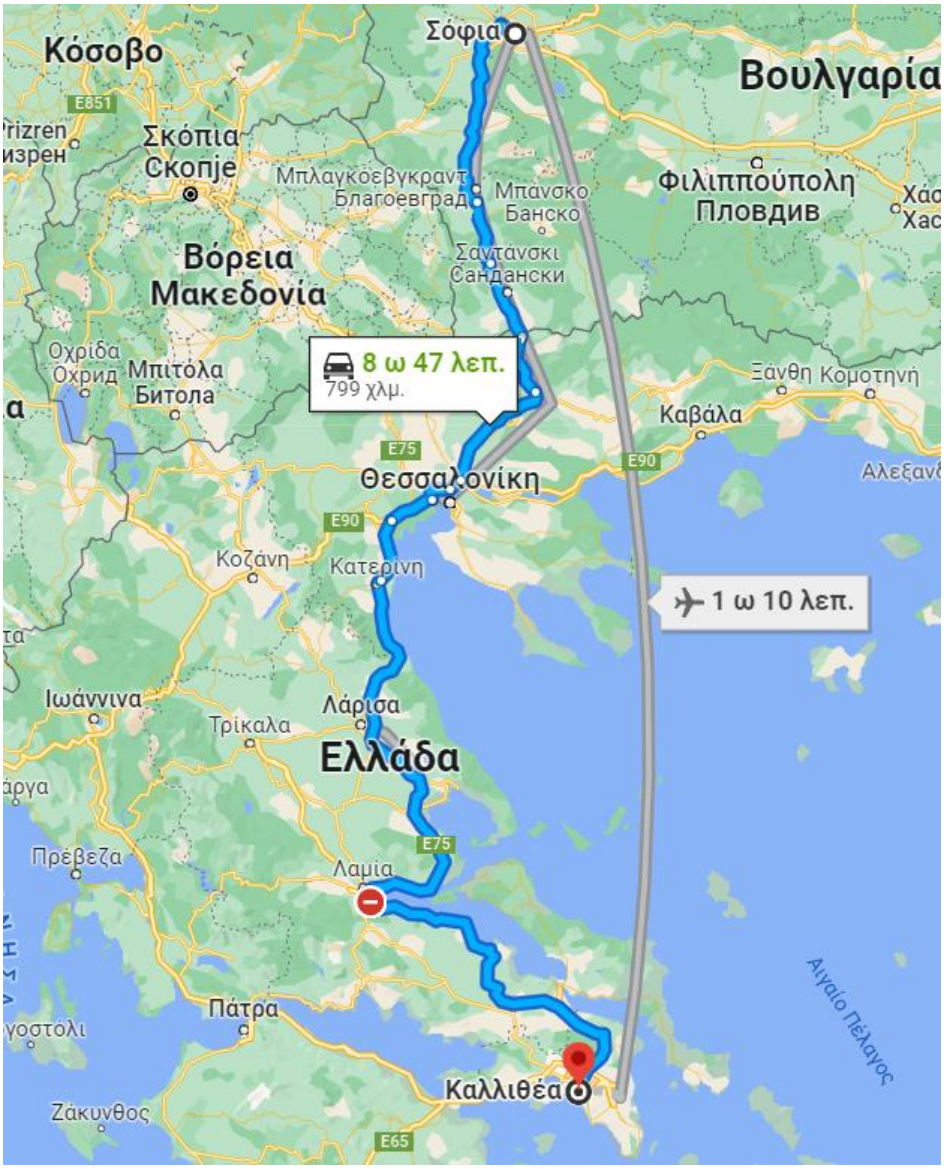
Εξοπλισμός	Μοντέλο	Κατασκευαστής	Διαθέσιμο σχέδιο / manual

Server	HP ProLiant DL380 G6 HP ProLiant DL160 G9 x3 HP ProLiant ML350 G6 HP BladeSystem C7000 Enclosure (HP Proliant BL460c Gen8 x5) HP BladeSystem C7000 Enclosure (HP ProLiant BL460c G7 x3. HP Proliant BL460c Gen8 x13) HP ProLiant ML350 G6 HP ProLiant DL380 G7 HP ML350 G9 x2 HP BladeSystem C7000 Enclosure (HP Proliant BL460c Gen8 x16)	Hewlett Packard	☐ NAI
UPS UPS battery	Μέρος A:Schneider Electric Galaxy VS 15kW Μέρος B: Schneider Electric Galaxy 120 KVA		☐ NAI ☐ OXI
PDU	Schneider Electric APC PDU		☐ NAI ☐ OXI

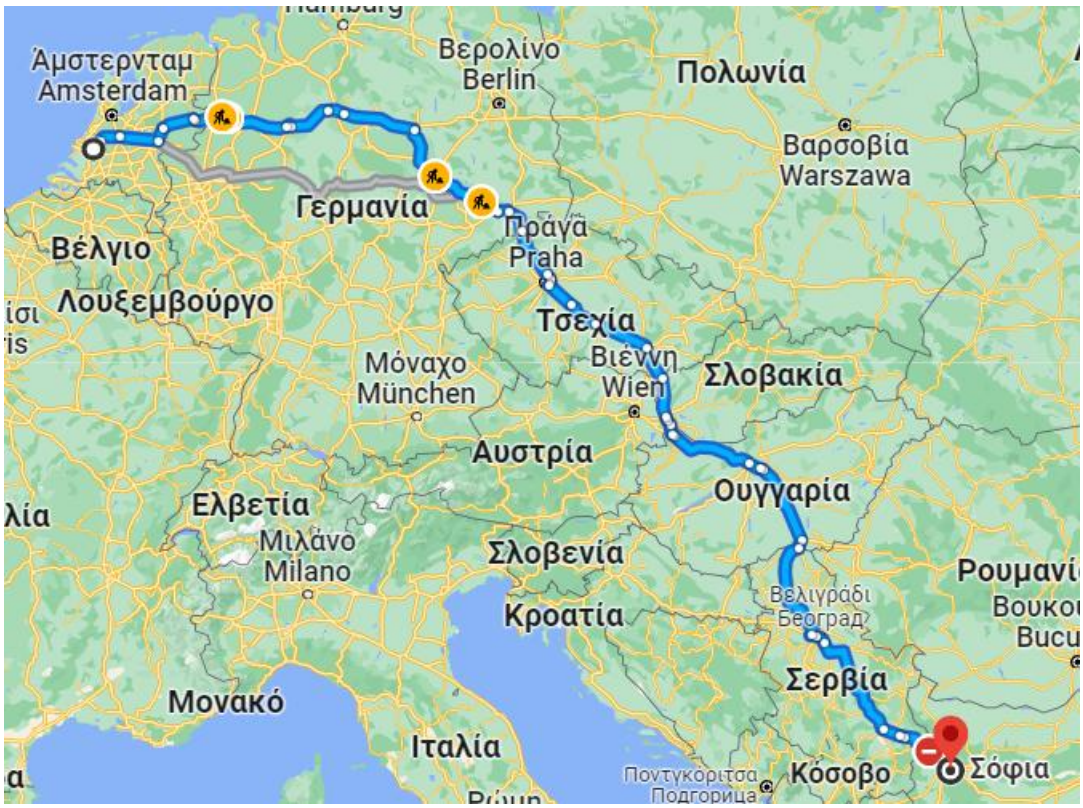
HV Switchboard			☐ NAI ☐ OXI
LV Switchboard			☐ NAI ☐ OXI
Diesel Generator	Μέρος Α: TWD 740 GE Μέρος Β: ACT AB8.3G2	Μέρος Α: VOLVO Μέρος Β: CUMMINS	☐ NAI ☐ OXI
Cabling			☐ NAI ☐ OXI
Lighting equip.			☐ NAI ☐ OXI
PCs	HP Prodesk 600 G5		☐ NAI ☐ OXI
HVAC System			☐ NAI ☐ OXI

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β’

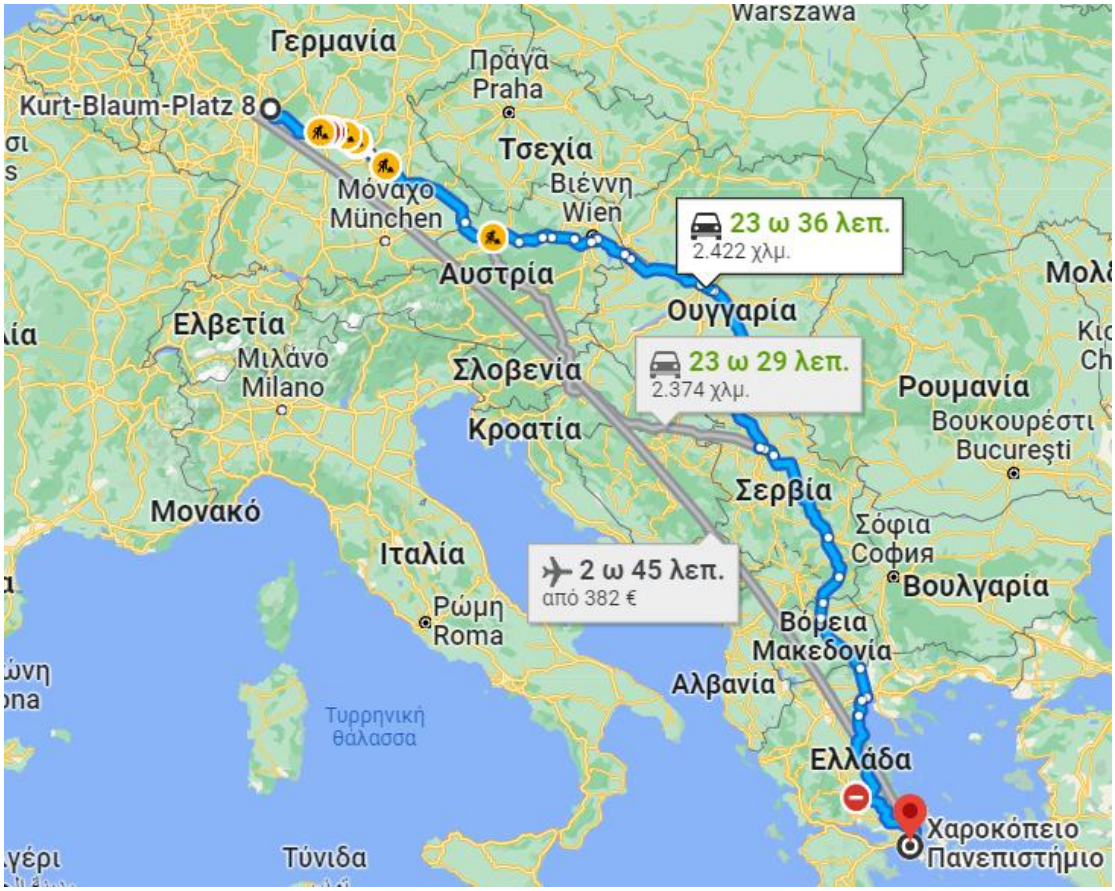
Στο συγκεκριμένο τμήμα παρουσιάζονται οι αποστάσεις μεταφοράς του εξοπλισμού και οι επιλεγμένες διαδρομές, όπως υπολογίστηκαν κι επιλέχθηκαν από το maps.google.com.



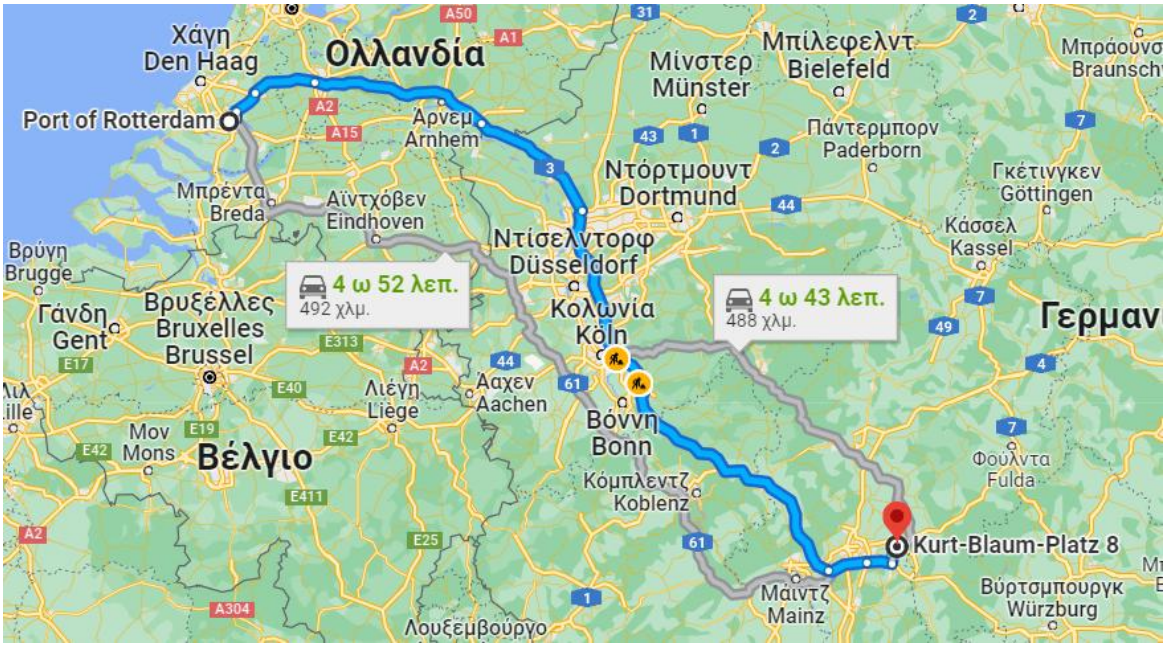
Εικόνα 27 Διαδρομή Σόφια – Καλλιθέα (*Πηγή: Google Maps, 2023*)



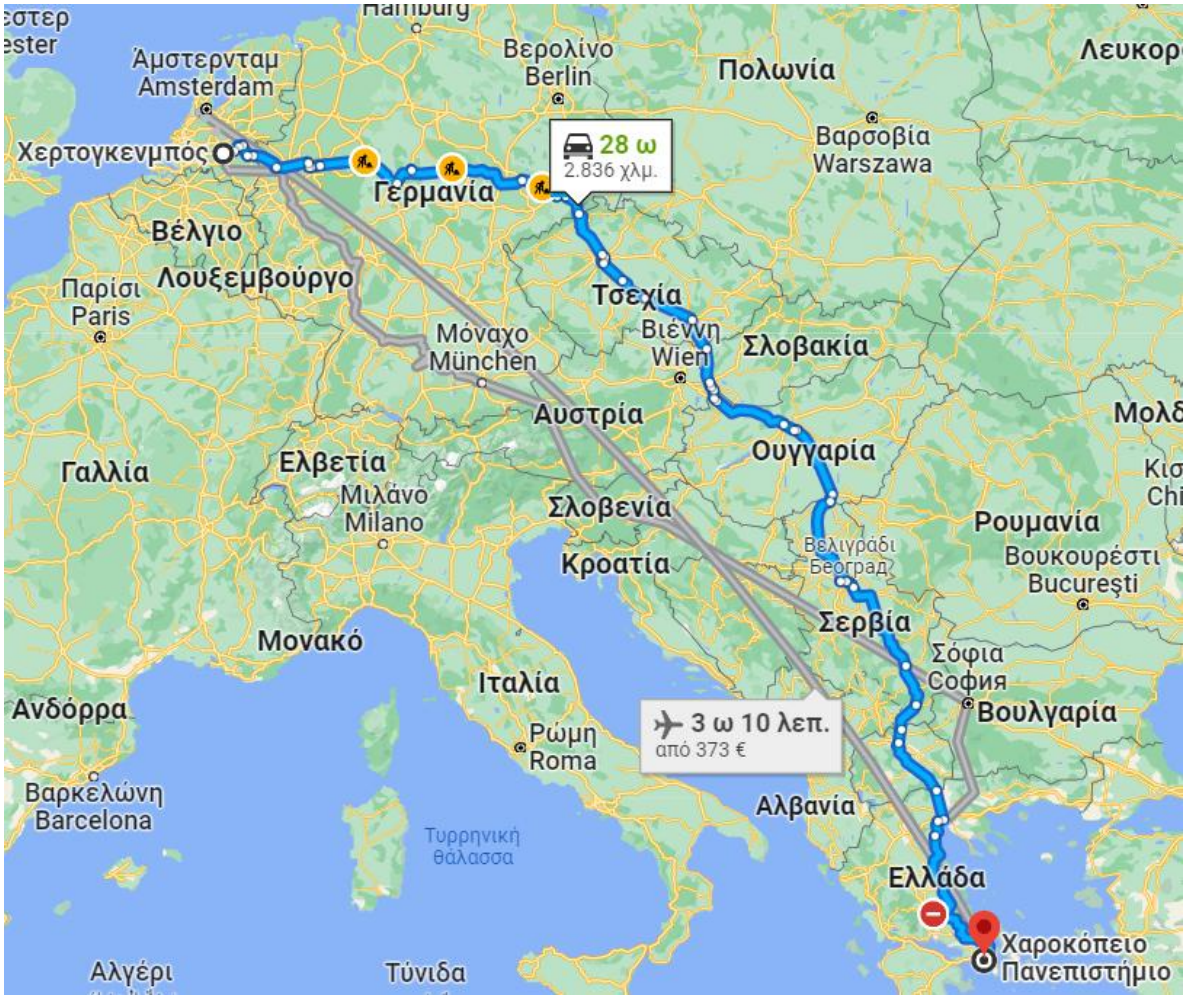
Εικόνα 28 Διαδρομή Ρόττερνταμ – Σόφια (*Πηγή: Google Maps, 2023*)



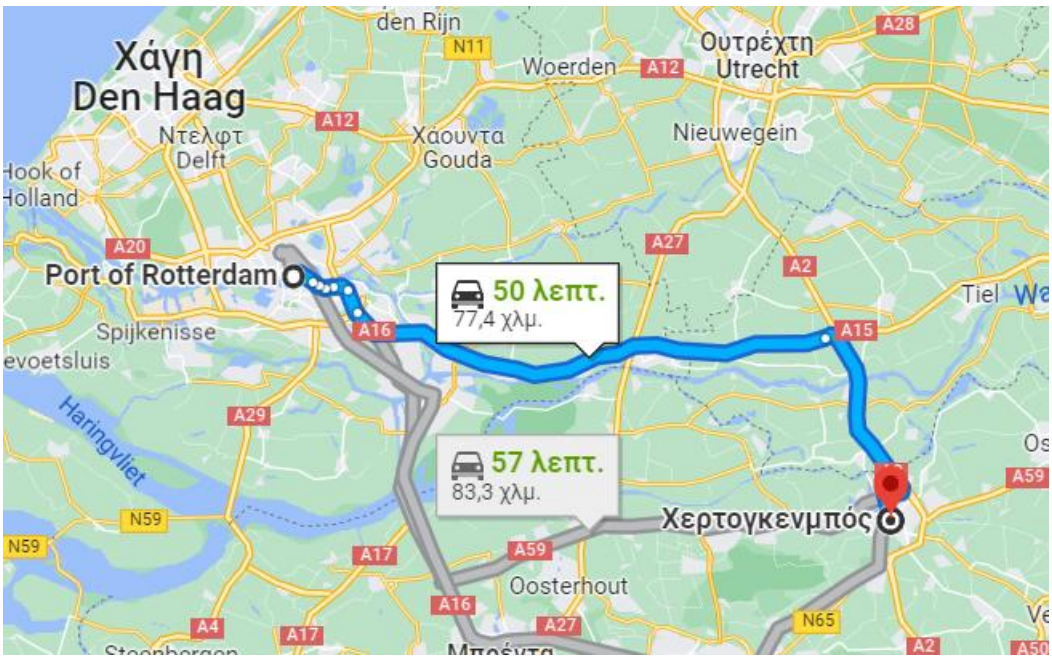
Εικόνα 29 Διαδρομή Χάναου – Καλλιθέα (*Πηγή: Google Maps, 2023*)



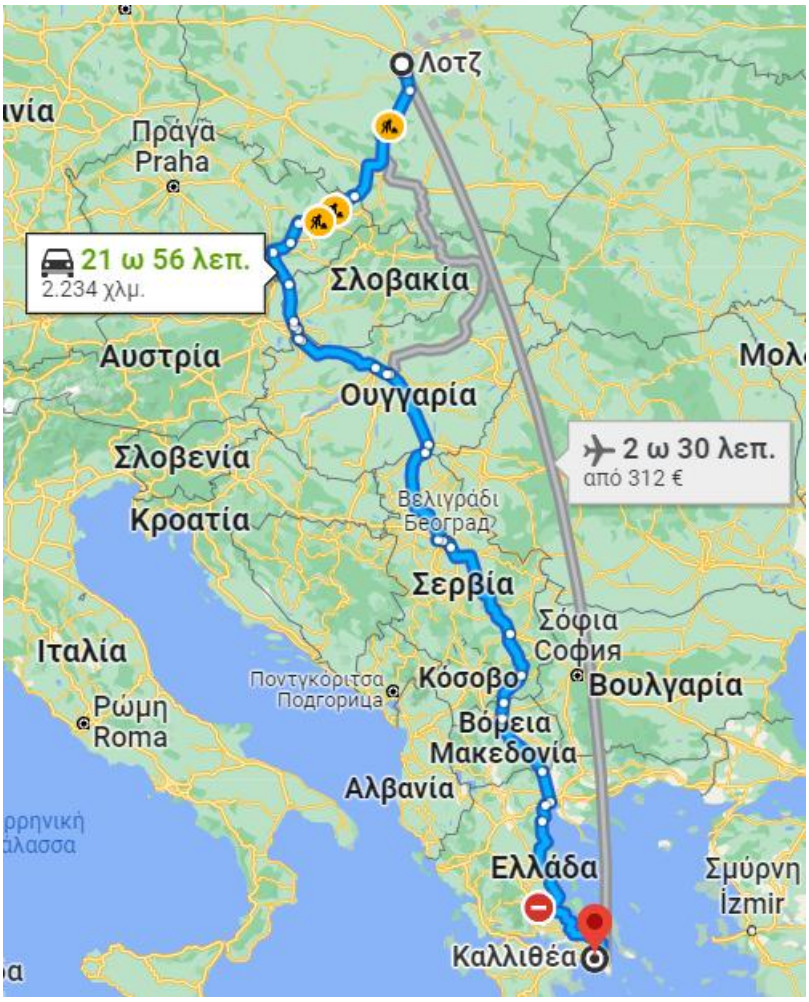
Εικόνα 30 Διαδρομή Ρόττερνταμ – Χάναου (*Πηγή: Google Maps, 2023*)



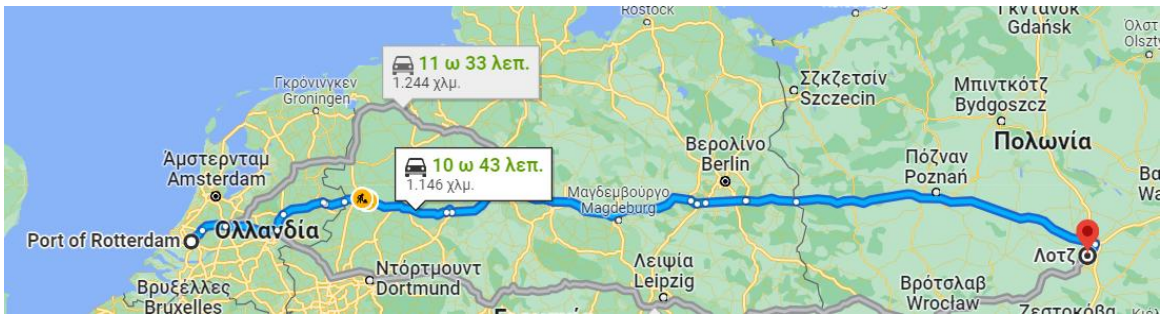
Εικόνα 31 Διαδρομή Χερτογκενμπός – Καλλιθέα (*Πηγή: Google Maps,2023*)



Εικόνα 32 Διαδρομή Ρόττερνταμ – Χερτογκενμπός (*Πηγή: Google Maps, 2023*)



Εικόνα 33 Διαδρομή Λοτζ – Καλλιθέα (*Πηγή: Google Maps,2023*)



Εικόνα 34 Διαδρομή Ρόττερνταμ – Λοτζ (*Πηγή: Google Maps,2023*)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ’

Στο συγκεκριμένο παράρτημα παρατίθενται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης μέσω του software SimaPro.

Πίνακας 20 Αποτέσματα μοντελοποίησης SimaPro (damage assessment)

Damage ca	Unit	Total	Networkin	HVAC for I	Electrical e	Personnel	Server ass	Storage as	Networkin	Personel e	electrical e	HVAC data	Storage eq	Server equ
Human hea	DALY	16.12527	0.000376	8.152411	0.528364	0.436773	5.206063	1.487566	0.309944	0.000277	0.000816	0.00016	0.000543	0.001977
Ecosystem	species.yr	0.03037	2.94E-07	0.015356	0.000995	0.000823	0.009806	0.002802	0.000584	2.74E-07	8.39E-07	3E-07	1.02E-06	2.22E-06
Resources	USD2013	3.398983	0.376063	0	0	0	0	0	0	0.307889	0.892265	0.134164	0.369077	1.319525

Πίνακας 21 Αποτελέσματα μοντελοποίησης SimaPro (impact category)

Impact cat	Unit	Total	Networkin	HVAC for I	Electrical e	Personnel	Server ass	Storage as	Networkin	Personel e	electrical e	HVAC data	Storage eq	Server equ
Global war	DALY	13.03021	6.26E-05	6.589009	0.427039	0.353012	4.207688	1.202293	0.250506	4.94E-05	0.000152	2.52E-05	9.86E-05	0.000273
Global war	species.yr	0.02606	1.25E-07	0.013178	0.000854	0.000706	0.008415	0.002405	0.000501	9.88E-08	3.04E-07	5.03E-08	1.97E-07	5.47E-07
Global war	species.yr	7.11E-07	3.41E-12	3.59E-07	2.33E-08	1.93E-08	2.3E-07	6.56E-08	1.37E-08	2.7E-12	8.3E-12	1.37E-12	5.38E-12	1.49E-11
Stratosphe	DALY	0.001084	6.59E-09	0.000548	3.55E-05	2.94E-05	0.00035	0.0001	2.08E-05	5.37E-09	1.82E-08	2.81E-09	9.3E-09	3.22E-08
Ionizing ra	DALY	0.000123	4.84E-09	6.22E-05	4.03E-06	3.33E-06	3.97E-05	1.14E-05	2.37E-06	3.56E-09	1.58E-08	1.38E-09	7.19E-09	1.95E-08
Ozone for	DALY	0.001203	1.52E-08	0.000608	3.94E-05	3.26E-05	0.000388	0.000111	2.31E-05	1.76E-08	4.21E-08	7.33E-09	2.09E-08	7.55E-08
Fine partic	DALY	1.103659	8.89E-06	0.558004	0.036165	0.029896	0.356337	0.101819	0.021215	7.64E-06	2.66E-05	3.39E-06	3.03E-05	0.000148
Ozone for	species.yr	0.000174	2.23E-09	8.81E-05	5.71E-06	4.72E-06	5.62E-05	1.61E-05	3.35E-06	2.54E-09	6.1E-09	1.05E-09	3.01E-09	1.09E-08
Terrestrial	species.yr	0.001027	6.07E-09	0.000519	3.37E-05	2.78E-05	0.000332	9.48E-05	1.97E-05	5.89E-09	2.26E-08	2.87E-09	2.9E-08	1.51E-07
Freshwate	species.yr	0.000103	5.97E-10	5.23E-05	3.39E-06	2.8E-06	3.34E-05	9.55E-06	1.99E-06	3.78E-10	3.33E-09	5.78E-11	1.12E-09	7.53E-09
Marine eu	species.yr	1.76E-08	2.64E-13	8.88E-09	5.76E-10	4.76E-10	5.67E-09	1.62E-09	3.38E-10	1.11E-13	7.33E-13	-1.6E-13	3.39E-13	1.49E-12
Terrestrial	species.yr	3.32E-05	9.52E-10	1.68E-05	1.09E-06	8.98E-07	1.07E-05	3.06E-06	6.37E-07	7.72E-10	4.57E-09	7.04E-10	4.69E-09	1.72E-08
Freshwate	species.yr	5.22E-07	3.36E-11	2.64E-07	1.71E-08	1.41E-08	1.68E-07	4.81E-08	1E-08	2.27E-11	5.87E-11	4.09E-12	3.29E-11	2.26E-10
Marine ec	species.yr	0.000919	1.3E-07	0.000464	3.01E-05	2.49E-05	0.000297	8.48E-05	1.77E-05	8.07E-08	2.37E-07	8.17E-09	6.58E-08	4.38E-07
Human ca	DALY	1.21273	3.42E-05	0.613088	0.039735	0.032847	0.391513	0.11187	0.023309	2.37E-05	5.37E-05	1.37E-05	6.6E-05	0.000178
Human no	DALY	0.439815	0.00027	0.221119	0.014331	0.011847	0.141205	0.040348	0.008407	0.000185	0.000555	8.07E-05	0.000236	0.001232
Land use	species.yr	5.37E-06	2.76E-08	2.54E-06	1.65E-07	1.36E-07	1.62E-06	4.64E-07	9.66E-08	1.9E-08	8.4E-08	1.01E-08	3.79E-08	1.69E-07
Mineral re	USD2013	0.585403	0.061948	0	0	0	0	0	0	0.043881	0.243778	0.02584	0.028815	0.181141
Fossil reso	USD2013	2.81358	0.314115	0	0	0	0	0	0	0.264007	0.648487	0.108324	0.340263	1.138384
Water con	DALY	0.336447	6.06E-08	0.169971	0.011016	0.009106	0.108542	0.031015	0.006462	1.08E-05	2.9E-05	3.73E-05	0.000113	0.000145
Water con	species.yr	0.002046	4.43E-10	0.001034	6.7E-05	5.54E-05	0.00066	0.000189	3.93E-05	6.57E-08	1.76E-07	2.27E-07	6.84E-07	8.83E-07
Water con	species.yr	9.15E-08	6.32E-14	4.62E-08	3E-09	2.48E-09	2.95E-08	8.44E-09	1.76E-09	2.97E-12	7.96E-12	1.02E-11	3.06E-11	3.96E-11