

---

INDUSTRY 4.0: ΝΕΕΣ/ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ  
ΓΙΑ ΜΙΑ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ  
ΣΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ DATA CENTER

---

ΜΑΡΙΑΝΝΑ ΝΤΕΛΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΛΑΣΚΑΡΗΣ Ν.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2024

## Επιτροπή Αξιολόγησης

Λάσκαρης Ν.	
Παπακίτσος Ε.	
Δρόσος Χ.	



## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαριάννα Ντελή, με αριθμό μητρώου 70147141 φοιτήτριας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.»

Η Δηλούσα,

Μαριάννα Ντελή

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της. Ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου, κύριο Νικόλαο Λάσκαρη, και τα μέλη της επιτροπής, κύριο Παπακίτσο Ευάγγελο και κύριο Δρόσο Χρήστο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν εξ' αρχής όσον αφορά το συγκεκριμένο θέμα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια και τους φίλους μου για τη διαρκή αγάπη, την υπομονή και την υποστήριξή τους αυτά τα τελευταία χρόνια. Αυτή η διπλωματική εργασία δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί χωρίς αυτούς τους καταπληκτικούς ανθρώπους. Ευχαριστώ.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ως βιομηχανική επανάσταση ορίζεται μια περίοδος όπου σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις άνοιξαν τον δρόμο προς νέους τρόπους εργασίας, πιο αποτελεσματικούς, που μεταμόρφωσαν την κοινωνία συνολικά. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και η ψηφιοποίηση σημαίνουν την έναρξη της τρίτης βιομηχανικής επανάστασης που διαμόρφωσε τον κόσμο όπως τον γνωρίζουμε, με περισσότερη πληροφορία διαθέσιμη και προσπελάσιμη από ποτέ. Η τέταρτη επανάσταση πρόκειται να δημιουργήσει ακόμα περισσότερες ευκαιρίες για την ανθρωπότητα, με την εισαγωγή τεχνολογιών όπως η επαυξημένη πραγματικότητα, η προηγμένη ρομποτική, τα μαζικά δεδομένα, το υπολογιστικό νέφος, η κυβερνοασφάλεια και η τεχνητή νοημοσύνη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, τα data centers, θα εξεταστούν τόσο ως απαραίτητη συνθήκη όσο ως καταναλωτές του Industry 4.0, με την προοπτική κατανόησης του αντικτύπου τους στο περιβάλλον, καθώς και τις πρακτικές και τεχνολογίες διαθέσιμες σε αυτά ώστε να γίνουν πιο βιώσιμα. Αν και με σχετικούς όρους, τα data centers καταναλώνουν ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας, οι ανάλογες επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι αρκετά σημαντικές σε απόλυτους όρους ώστε να δικαιολογούν προσπάθειες ελαχιστοποίησης, ειδικά εν όψει της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης για ψηφιακές υπηρεσίες.

### **Λέξεις-κλειδιά**

Data centers, Industry 4.0, Βιωσιμότητα, Τεχνολογικές εξελίξεις, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, Ψηφιακές υπηρεσίες, Κατανάλωση ενέργειας.

## ABSTRACT

An industrial revolution is defined as an era when significant technological advancements created new ways of working, more efficiently, thus transforming society as a whole.

Computers and digitization mark the beginning of the third industrial revolution that shaped the world as we now know it, where more information than ever before is available and accessible. The fourth revolution is going to create even more opportunity for humanity, with the introduction of technologies such as augmented reality, advanced robotics, big data, computing cloud, cybersecurity and artificial intelligence.

In this dissertation, data centers will be considered, as both enablers and consumers of Industry 4.0, with a view towards understanding their environmental impact and the practices and technology available to them to become more sustainable. While in relative terms, data centers consume only a small percentage of the world's total energy, the associated impact is significant enough in absolute terms to warrant minimization efforts, especially in light of our constantly increasing demand for digital services.

### **Keywords**

Data centers, Industry 4.0, Sustainability, Technological advancements, Environmental impact, Digital services, Energy consumption.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
2 ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΣΤΟΝ 21ο ΑΙΩΝΑ .....	15
2.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ .....	15
2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ .....	19
2.3 ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ DATA CENTERS.....	21
3 ΔΟΜΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ DATA CENTER .....	26
3.1 ΔΟΜΗ & ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ DATA CENTER.....	31
3.1.1 ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΕΣ .....	32
3.1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	33
3.1.3 ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΥΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΕΔΡΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ.....	34
3.1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ .....	34
3.1.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ .....	36
3.1.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	36
3.2 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΕ DATA CENTERS.....	36
3.2.1 ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΑ .....	37
3.2.2 ΠΟΛΥΜΕΡΗ .....	37
3.2.3 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ.....	38
3.2.4 ΚΕΡΑΜΙΚΑ .....	38
3.2.5 ΓΥΑΛΙ .....	39
3.2.6 ΤΟΞΙΚΑ ΥΛΙΚΑ .....	40
4 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΑ DATA CENTERS: ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ .....	43
4.1 ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	49
4.2 ΜΕΙΩΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ.....	53

4.3	ΥΔΡΟΨΥΞΗ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ .....	55
4.4	ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ.....	62
4.5	ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	63
4.6	ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ.....	64
4.7	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΩΝ DATA CENTER .....	67
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΩΝ DATA CENTER.....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ. ΠΗΓΗ: WILEY.....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΨΥΞΗΣ ΒΑΣΕΙ ΜΟΝΑΔΙΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ (CDU). .....	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ. ....	70

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: PDP-8 MINICOMPUTER (1965). ΠΗΓΗ: SCIENCE MUSEUM GROUP. ....	17
ΕΙΚΟΝΑ 2: ENIAC (1946). ΠΗΓΗ: UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA. ....	18
ΕΙΚΟΝΑ 3: HARVARD MARK I (1943). ΠΗΓΗ: BRITANNICA, HARVARD MARK I. ....	19
ΕΙΚΟΝΑ 4: ALTAIR 8800 (1975). ΠΗΓΗ: NATIONAL MUSEUM OF AMERICAN HISTORY. ....	19
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ DATA CENTER. ΠΗΓΗ: MIT TECHNOLOGY REVIEWS. ....	25
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΟΜΗΣ ΕΝΟΣ DATA CENTER. ΠΗΓΗ: VIANOVA.IT. ....	31
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗΣ DELL POWEREDGE R630 10 BAY SFF WITH 4X NVME BAY 1U. ΠΗΓΗ: METSERVICES.COM.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΥΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΕΣ DELL MX7000. ΠΗΓΗ: RACKSOLUTIONS.COM. 35	
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ DATA CENTER. ΠΗΓΗ: TECHTARGET.....	36
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ PUE. ΠΗΓΗ: UPTIME INSTITUTE. ....	44
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΧΕΙΡΙΣΤΕΣ DATA CENTERS ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΕΔΕΙΓΜΕΝΗ Η ΜΗ ΑΞΙΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ INDUSTRY 4.0 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ. ΠΗΓΗ: DATACENTERDYNAMICS: TRENDS IN DATA CENTER AUTOMATION.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ/ΕΡΓΑΣΙΕΣ DATA CENTER ΠΟΥ ΕΠΩΦΕΛΟΥΝΤΑΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΑΙ. ΠΗΓΗ: DATACENTERDYNAMICS. ....	48
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ DATA CENTERS ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΘΑ ΕΠΙΦΕΡΟΥΝ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ. ΠΗΓΗ: UPTIME INSTITUTE. ....	48
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΗΠΑ ΤΟ 2022. ΠΗΓΗ: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. ....	50
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΑΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟ. ΠΗΓΗ: ARXIV.ORG. ....	54
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΤΑΣΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ (TDP) ΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ. ΠΗΓΗ: DELL TECHNOLOGIES. ....	55
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟ ΛΟΝΔΙΝΟ, ΟΠΟΥ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΤΕ ΔΕΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΠΛΗΡΩΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ. ΠΗΓΗ: DATA CENTRE DYNAMICS.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΚΛΑΣΜΑ ΙΣΧΥΟΣ ΠΡΟΣ ΨΥΞΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΕΣ. ΠΗΓΗ: ASHRAE.58	

ΕΙΚΟΝΑ 19: ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ DATA CENTERS ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΡΑΦΙΩΝ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ. ΠΗΓΗ: UPTIME INSTITUTE 2022 DATA CENTER INDUSTRY SURVEY.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΑΕΡΟΨΥΞΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΨΥΞΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΝΑ ΨΥΞΟΥΝ ΡΑΦΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ. ΠΗΓΗ: VERTIV.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΚΥΚΛΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ. ΠΗΓΗ: UPTIME INSTITUTE.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΕ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΙΔΙΟΚΤΗΤΑ DATA CENTERS ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΟΔΟ ΤΟΥΣ ΠΡΟΣ ΜΗΔΕΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟ. ΠΗΓΗ: DATACENTERDYNAMICS. ....	72
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΕ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΙΔΙΟΚΤΗΤΑ DATA CENTERS ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΚΙΝΗΤΡΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ. ΠΗΓΗ: DATACENTERDYNAMICS. ....	73

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος «βιομηχανική επανάσταση» αναφέρεται σε περιόδους της ανθρώπινης ιστορίας όπου σημειώθηκαν σημαντικές μεταβολές στις μεθόδους παραγωγής καθώς και στην οργάνωση της κοινωνικής οικονομίας που σχετίζεται με τη βιομηχανία.

Ως τώρα, έχουν σημειωθεί τέσσερις περίοδοι που πληρούν τα κριτήρια αυτά και έχουν επωμιστεί τον τίτλο της βιομηχανικής επανάστασης. Με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών, μηχανημάτων και διαδικασιών παραγωγής, προκύπτουν σημαντικές επιπτώσεις στην κοινωνία και σηματοδοτείται η μετάβαση από παλαιότερες, πιο χειρωνακτικές μεθόδους παραγωγής σε νέες, μηχανοποιημένες διαδικασίες (Toynbee, 2011).

Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση, διαδραματίστηκε στη Βρετανία μεταξύ του 18ου και 19ου αιώνα με τα εργοστάσια να αντικαθιστούν τις χειροτεχνικές μεθόδους με κινητήριο δύναμη, τόσο κυριολεκτικά όσο και μεταφορικά, την ατμομηχανή. Μαζί με την εφεύρεση των κλωστοϋφαντουργικών μηχανών, οι ατμομηχανές οδήγησαν στην αύξηση της παραγωγικότητας. Γενικότερα, η αντικατάσταση του ξυλάνθρακα με άνθρακα, η τήξη και επεξεργασία του σιδήρου, η κατασκευή των πρώτων σιδηροδρόμων και η αύξηση της εργατικής δύναμης οδήγησαν στην άνθηση της βιομηχανίας, ειδικά σε τομείς όπως η βιομηχανία σιδήρου και η κλωστοϋφαντουργία.

Σε κοινωνικό επίπεδο, η ανάπτυξη της βιομηχανίας οδήγησε στο να μεγαλώσουν οι αστικές περιοχές, καθώς οι άνθρωποι μετατοπίστηκαν από τη γεωργία στη βιομηχανία και το εμπόριο. Η βιομηχανική επανάσταση αποτέλεσε το αποκορύφωμα δύο αιώνων οικονομικής εξέλιξης καθώς η εκμηχάνιση αύξησε σημαντικά την παραγωγικότητα (Allen, 2017).

Η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση, που εντοπίζεται περίπου στην μετάβαση από τον 19<sup>ο</sup> στον 20<sup>ο</sup> αιώνα, συνδέεται με την χρήση ηλεκτρισμού και την επέκταση των σιδηροδρόμων.

Οι υπολογιστές και η ψηφιακή τεχνολογία συνδέονται με την τρίτη βιομηχανική επανάσταση, γνωστή και ως επανάσταση της πληροφορίας, που σηματοδοτείται από την ανάπτυξη και ευρεία χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών, των υπολογιστών, του διαδικτύου

και των ευφυών συστημάτων. Ειδικά οι υπολογιστές είναι κεντρικοί στην ανάπτυξη αυτής της περιόδου καθώς διευκολύνουν την αυτοματοποίηση, τη διαχείριση δεδομένων, την ανάλυση πληροφοριών και την ανάπτυξη νέων τεχνολογικών εφαρμογών. Σε πολλούς τομείς όπως η κατασκευή, η υγεία, οι μεταφορές και η ψυχαγωγία, έχουν έναν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και την αποδοτικότητα των διαδικασιών.

Η αρχή της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, την οποία διανύουμε τώρα, φαίνεται να ξεκινάει στις αρχές της δεκαετίας του 2000, με κινητήριες δυνάμεις το πρότυπο ηλεκτροδότησης μέσω ενσύρματων δικτύων (power over Ethernet) και την πλαισίωση των τέταρτης γενιάς ασύρματων τηλεφωνικών δικτύων, που επέτρεψε την παράταξη εκατομμυρίων αισθητήρων και την γέννηση του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things ή IoT). Οι πρώτες αναφορές στον όρο Industry 4.0 εντοπίζονται σε ένα πλάνο της Γερμανικής κυβέρνησης, με σκοπό την εισαγωγή υπολογιστών στην βιομηχανία, που χρονολογείται το 2011.

Ενώ η τρίτη βιομηχανική επανάσταση αφορούσε την ψηφιοποίηση, η τέταρτη αφορά την συνένωση ψηφιακών, φυσικών και εικονικών πόρων, με σκοπό την δημιουργία έξυπνων διαδικασιών που έχουν καλύτερη, πιο γρήγορη και πιο ακριβή ανταπόκριση από αυτή των ανθρώπων χωρίς τη βοήθεια της τεχνολογίας.

Τα επόμενα χρόνια, η περαιτέρω ανάπτυξη του Industry 4.0 θα δημιουργήσει πολλές ευκαιρίες για την ανθρωπότητα, ακόμα και πέραν του ίδιου του τομέα της βιομηχανίας. Κάποιες από τις τεχνολογίες που περιλαμβάνονται είναι: επαυξημένη πραγματικότητα, προηγμένη ρομποτική, μαζικά δεδομένα, υπολογιστικό νέφος, κυβερνοασφάλεια και τεχνητή νοημοσύνη (Alsharif, 2024).

Βασικός παράγοντας στην τρίτη και τέταρτη βιομηχανική επανάσταση είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Σε πρώτο επίπεδο, ως προσωπικές υπολογιστικές μηχανές μας επέτρεψαν να διαχειριστούμε δεδομένα πιο αποδοτικά από πριν. Περαιτέρω, με την ανάπτυξη των δικτύων, μας επιτρέπουν την προσπέλαση πληροφοριών από διαφορετικά σημεία του κόσμου σε κλάσματα του δευτερολέπτου καθώς και την πραγματοποίηση ολοένα και περισσότερων συναλλαγών σε πραγματικό χρόνο.

Πλέον, σχεδόν όλες οι επιχειρήσεις επιτάσσουν υπολογιστική δύναμη κάποιας μορφής για να εξυπηρετήσουν τους πελάτες τους είτε αυτό σημαίνει κάτι βασικό όπως η ψηφιακή προβολή τους σε κάποιον ιστότοπο στο διαδίκτυο, είτε πολλαπλές και πολύπλοκες συναλλαγές με έλεγχο ρίσκου όπως αυτές που διεξάγει ένας σύγχρονος τραπεζικός οργανισμός κάθε λεπτό. Χωρίς αυτό να είναι ορατό, η υποδομή που υποστηρίζει κάθε τύπο ψηφιακής υπηρεσίας απαιτεί την συντήρηση ειδικά σχεδιασμένων ηλεκτρονικών υπολογιστών, οι οποίοι ονομάζονται διακομιστές, και στεγάζονται σε περίτεχνες κατασκευές, τα data centers.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και δικτύων, καθώς και την ανάπτυξη των ψηφιακών υπηρεσιών και data centers (Κεφάλαιο 2). Στην συνέχεια, αναπτύσσεται η δομή και οι λειτουργίες ενός data center καθώς και των υλικών που χρησιμοποιούνται (Κεφάλαιο 3). Στο Κεφάλαιο 4, εξετάζεται η βιωσιμότητα των data center από την άποψη των πρακτικών και τεχνολογιών που συμβάλλουν στην κατανάλωση ενέργειας και ως συνέπεια διαμορφώνουν το αντίκτυπο του στο περιβάλλον. Τέλος στο Κεφάλαιο 5, προσφέρονται συμπεράσματα από την έρευνα που διεξάχθηκε.

## 2 ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΣΤΟΝ 21ο ΑΙΩΝΑ

### 2.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Οι αριθμητικές μηχανές απασχόλησαν τους ανθρώπους από πολύ νωρίς, με την πρώτη γνωστή μηχανή, τον άβακα, να εντοπίζεται χιλιάδες χρόνια πριν (Goodstein, 2016). Τον 19ο αιώνα, ο Charles Babbage σχεδίασε τις πρώτες προγραμματιζόμενες υπολογιστικές μηχανές και παρόλο που δεν κατόρθωσε να κατασκευάσει ένα πρωτότυπο μηχάνημα το οποίο να είναι λειτουργικό, θέσπισε τις θεωρητικές αρχές για την ψηφιακή επανάσταση που ακολούθησε τον 20ο αιώνα.

Το 1930 ο Vannevar Bush στο Massachusetts Institute of Technology δημιούργησε μια μηχανή προορισμένη για να λύνει διαφορικές εξισώσεις για μελέτες σε φυσική και μηχανολογία. Την ίδια περίοδο, ο Howard Aiken στο πανεπιστήμιο του Harvard προσπάθησε να αναπτύξει ψηφιακές υπολογιστικές μηχανές και σε συνεργασία με την IBM, οδήγησε στην δημιουργία του Harvard Mark I, μια ογκώδη ηλεκτρομηχανική μηχανή που αποτελούταν από τουλάχιστον 750.000 μέρη (Freiberger & Swaine, Harvard Mark I, 2014).

Κατά την διάρκεια του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου, το πρόγραμμα Ultra στην Βρετανία οδήγησε στην δημιουργία του Κολοσσού, που αποτελούταν από 1.800 σωλήνες κενού και συνείσφερε σημαντικά στην αποκωδικοποίηση των επικοινωνιών των Γερμανών κατά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο, ένα πολύ σημαντικό ορόσημο στην πρακτική χρήση των υπολογιστικών μηχανών. Στην ομάδα του Bletchley Park που κατάφερε αυτό το σημαντικό επίτευγμα, συμμετείχε και ο Alan Turing, ο οποίος με το γνωστό του έργο "Περί υπολογίσιμων αριθμών, με εφαρμογή στο πρόβλημα αποφάσεων» (1936) και άλλα έργα που ακολούθησαν, έθεσε τις θεωρητικές βάσεις για τους υπολογιστές όπως τους ξέρουμε σήμερα αφού περιέγραψε μια μηχανή που μπορεί να κάνει αυθαίρετους υπολογισμούς βάσει κανόνων γραμμένων σε μαγνητική ταινία, που μπορούσε να αποθηκεύσει και να επεξεργαστεί προσωρινά δεδομένα στην μνήμη του. Επίσης, με την δουλειά του, εξερεύνησε τα όρια των αλγοριθμικών λύσεων σε μαθηματικά προβλήματα.

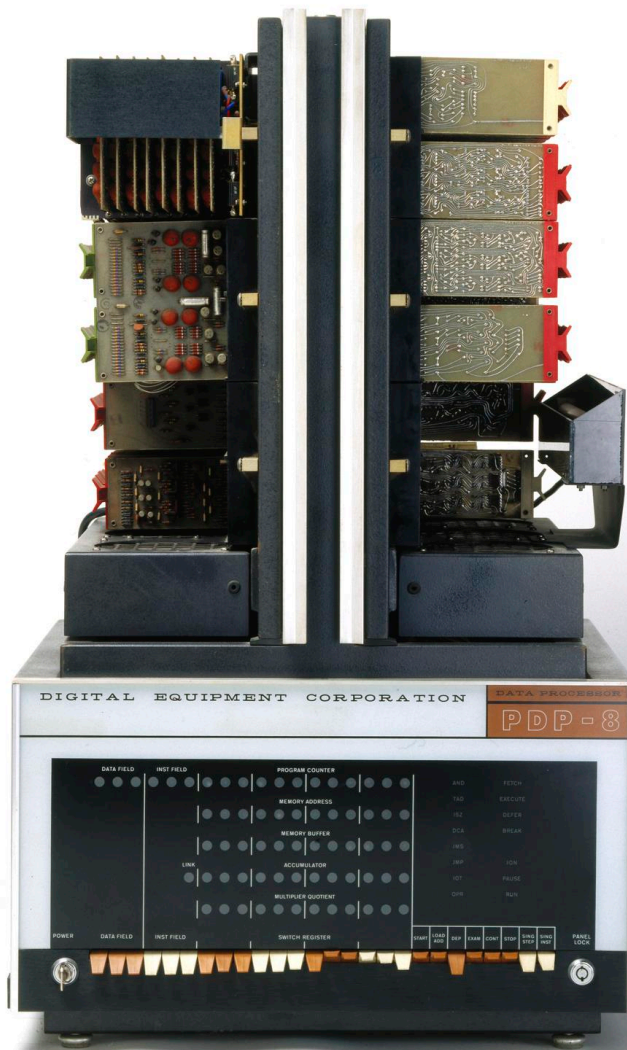
Στην άλλη όχθη του Ατλαντικού ωκεανού, στο πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια και κατά την ίδια πολεμική περίοδο, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ο ENIAC, ένας επίσης ογκώδης

υπολογιστής που κάλυπτε μια επιφάνεια περίπου δεκαπέντε επί δέκα μέτρα και αποτελούταν από περίπου 18.000 σωλήνες κενού. Κατά την διάρκεια του πολέμου χρησιμοποιήθηκε για υπολογισμούς σχετικούς με την εμβέλεια του πυροβολικού. Παρά την μεγάλη υπολογιστική του ισχύ για τα δεδομένα της εποχής, ο ENIAC δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε εργασία και χρειαζόταν αλλαγές στα κυκλώματα του για κάθε νέα εργασία. Μετά το πέρας του πολέμου, χρησιμοποιήθηκε για υπολογισμούς σχετικούς με την μελέτη για την κατασκευή της βόμβας υδρογόνου.

Τα τρανζίστορ, ένα είδος ημιαγωγού που μπορεί να ενισχύσει ή να εναλλάξει το ρεύμα, εφευρέθηκε το 1947 στα εργαστήρια της Bell (Bellis, 2020). Σε σχέση με τους σωλήνες κενού, τα τρανζίστορ είναι σημαντικά πιο μικρά, πιο γρήγορα, καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και απαιτούν λιγότερη ψύξη (Maliniak, 2002). Σταδιακά, αντικατέστησαν τους σωλήνες κενού κατά τις δεκαετίες του 1940 και 1950. Για παράδειγμα, ο UNIVAC, ένας υπολογιστής που κατασκευάστηκε το 1951 και χρησιμοποιούσε 5.000 σωλήνες κενού, ανακατασκευάστηκε το 1958 με τρανζίστορ, ως UNIVAC Model 80 (Freiberger & Swaine, History of computing, 2023).

Η εποχή των μίνι υπολογιστών ξεκινάει στα μέσα της δεκαετίας του 1960, τα οποία ήταν πολύ πιο μικρές εκδοχές των μέχρι τότε υπολογιστών, μέσω της χρήσης των τρανζίστορ και ενσωματωμένων κυκλωμάτων. Χαρακτηριστική είναι η σειρά μίνι υπολογιστών της DEC, με ονόματα PDP-1 (1959), PDP-8 (1965) και PDP-11 (1970). Ενώ οι δυνατότητες των υπολογιστών αυτών ήταν σχετικά περιορισμένες, έδιναν την δυνατότητα στους ερευνητές να τους ανήκουν τα υπολογιστικά τους εργαλεία. Το 1975, ο Altair 8800 ήταν ο πρώτος εμπορικά επιτυχημένος προσωπικός υπολογιστής, ο οποίος χρησιμοποιούσε διακόπτες και φώτα για την εισαγωγή και εξαγωγή των δεδομένων (Bell, Mudge, & McNamara, 1978).





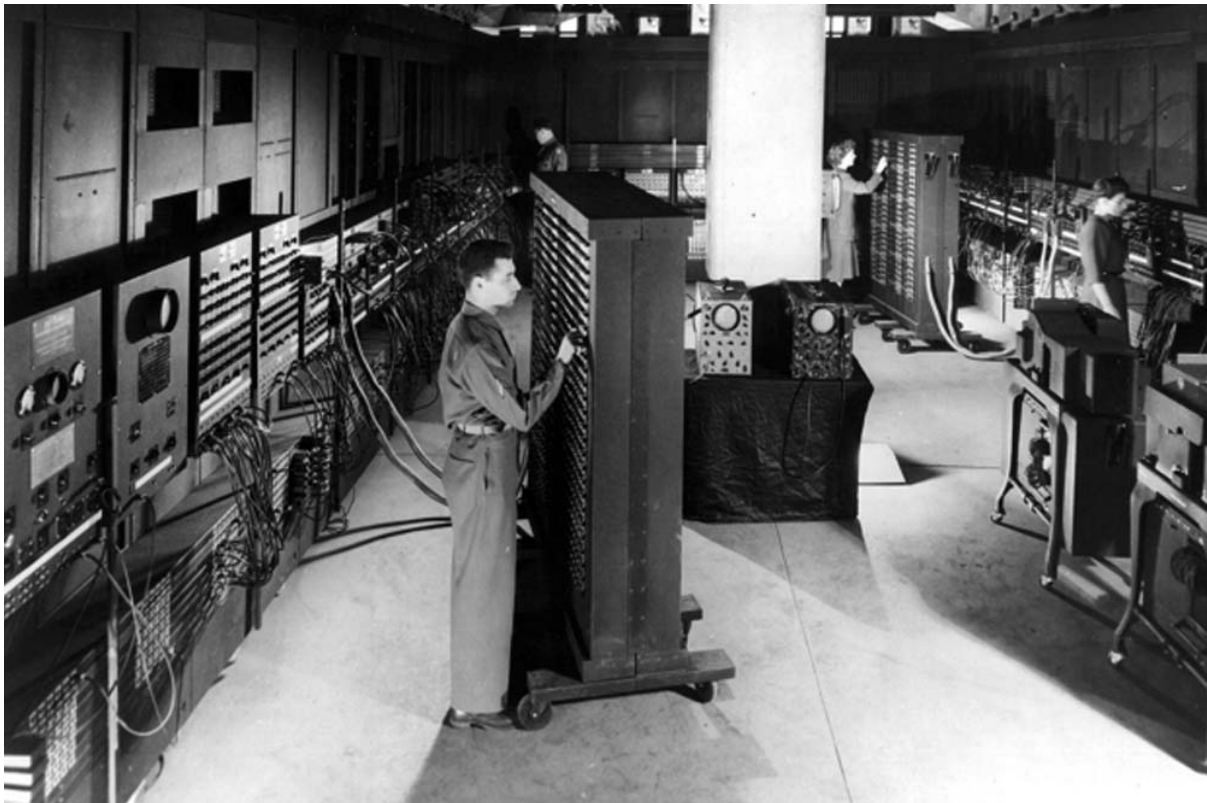
ΕΙΚΟΝΑ 1: PDP-8 MINICOMPUTER (1965). ΠΗΓΗ: SCIENCE MUSEUM GROUP.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, η εξέλιξη των ενσωματωμένων κυκλωμάτων άνοιξαν τον δρόμο για τους προσωπικούς υπολογιστές που ήταν πλέον ακόμα πιο μικροί και από τους μίνι υπολογιστές και οδήγησαν στην επανάσταση των προσωπικών υπολογιστών όπως τους ξέρουμε μέχρι και σήμερα. Τα ενσωματωμένα κυκλώματα ήταν μια σημαντική εξέλιξη στα ηλεκτρονικά κυκλώματα ενοποιώντας πολλαπλά εξαρτήματα σε ένα μικροσίπ. Αυτή η περίοδος οδήγησε στην ανάπτυξη των μικροεπεξεργαστών, με τον πρώτο μικροεπεξεργαστή να είναι ο Intel 4004.

Στα επόμενα δέκα περίπου χρόνια εντοπίζεται η έναρξη της Apple που εισήγαγε τους Apple I (1976) και Apple II (1977), καθώς και της IBM με το Personal Computer (PC) το 1981. Οι προαναφερόμενοι υπολογιστές οδήγησαν σε εκθετική αύξηση πωλήσεων των υπολογιστών

για προσωπική χρήση (Freiberger & Swaine, History of computing, 2023). Ενδεικτικά, μέχρι το τέλος της παραγωγής του το 1993, ο υπολογιστής Apple II σημείωσε πωλήσεις μεταξύ 5 και 6 εκατομμυρίων υπολογιστών (Forster, 2005).

Στη συνέχεια, οι συσκευές χειρός άρχισαν να εμφανίζονται για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και αρχές της δεκαετίας του 1990 με τους προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDAs), το Palm Pilot (1996) και το iPhone της Apple (2007).



ΕΙΚΟΝΑ 2: ENIAC (1946). ΠΗΓΗ: UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA.



ΕΙΚΟΝΑ 3: HARVARD MARK I (1943). ΠΗΓΗ: BRITANNICA, HARVARD MARK I.



ΕΙΚΟΝΑ 4: ALTAIR 8800 (1975). ΠΗΓΗ: NATIONAL MUSEUM OF AMERICAN HISTORY.

## 2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ

Σε ένα βασικό επίπεδο, οι υπολογιστές είναι μηχανές που δέχονται κάποια δεδομένα, τα οποία επεξεργάζονται με κάποιον τρόπο και παράγουν ένα αποτέλεσμα βάσει της επεξεργασίας αυτής. Τα δεδομένα, τα προϊόντα της επεξεργασίας, και σε πολλές περιπτώσεις η ίδια η λογική της επεξεργασίας τους χρειάζεται να αποθηκευτεί προσωρινά ή μακροπρόθεσμα και να είναι προσπελάσιμη. Την σήμερα ημέρα, είμαστε συνηθισμένοι

να «κατεβάζουμε» προγράμματα από το διαδίκτυο, τα οποία εκτελούμε στους υπολογιστές μας, για να επεξεργαστούμε δεδομένα που έχουμε συνθέσει από διάφορες πηγές.

Έτσι, εφόσον οι περισσότερες ανθρώπινες εργασίες βασίζονται στην επικοινωνία και την συνεργασία με άλλους ανθρώπους, οργανισμούς ή επιχειρήσεις, η ανάγκη για δικτύωση των υπολογιστών έγινε αντιληπτή πολύ νωρίς, με τις πρώτες προσπάθειες για δικτύωση να γίνουν την δεκαετία του 1940 στα εργαστήρια της Bell, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των τηλεφώνων, που ήταν βασισμένη σε ηλεκτρομηχανικά ρελέ. Οι δικτυωμένοι αυτοί υπολογιστές, μπορούσαν να εξυπηρετήσουν πολλαπλούς χρήστες ταυτόχρονα αλλά η τεχνολογία αυτή δεν προχώρησε λόγω της αργής ταχύτητας των ρελέ.

Την δεκαετία του 1960, στις ΗΠΑ, στον οργανισμό Advanced Research Projects Agency (ARPA, αργότερα Defense Advanced Research Projects Agency ή DARPA), δημιουργήθηκε ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ κυβερνητικών και ακαδημαϊκών εργαστηρίων που έκαναν έρευνες σε υπολογιστές με όνομα ARPANET. Το ARPANET έγινε λειτουργικό το 1969 και συμπεριλάμβανε μόνο δεκαπέντε τόπους ακαδημαϊκού χαρακτήρα στο δίκτυο του (Aaron, Internet, 2023).

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και μετά την εφεύρεση του πρωτοκόλλου ελέγχου μετάδοσης TCP/IP, που επέτρεπε σε διαφορετικά είδη υπολογιστών να επικοινωνούν, ακολούθησαν προσπάθειες ώστε το δίκτυο να διευρυνθεί σε όλη την ακαδημαϊκή κοινότητα, ξεκινώντας από την διασύνδεση των μεγάλων υπολογιστικών κέντρων της εποχής. Ο συνδυασμός της εξέλιξης των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ταυτόχρονα με την αύξηση του ενδιαφέροντος από εμπορικούς χρήστες, οδήγησε στην απελευθέρωση του δικτύου το 1993, που μέχρι τότε ήταν προσπελάσιμο μόνο από ερευνητές και ακαδημαϊκούς.

Το διαδίκτυο, όπως το ξέρουμε σήμερα (Aaron, Tim Berners-Lee, 2023), χρειάστηκε ένα ακόμα βασικό συστατικό πέραν της υποδομής του δικτύου και το πρωτόκολλο TCP/IP, το οποίο ήταν το πρωτόκολλο ελέγχου μεταφοράς υπερκειμένου (HyperText Transfer Protocol, HTTP) που δημιουργήθηκε από τον Tim-Berners Lee και την ομάδα του στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για Πυρηνική Έρευνα (CERN), το 1991. Το πρωτόκολλο είχε σαν

βασική ιδέα τους υπερσυνδέσμους (hyperlink), που επέτρεπαν κώδικα μέσα σε ένα έγγραφο να οδηγήσουν στην λήψη και εμφάνιση άλλων, σχετικών εγγράφων.

Από το σύνολο των παραπάνω τεχνολογιών προκύπτει το διαδίκτυο (World Wide Web), το οποίο διευκόλυνε την πρόσβαση σε πληροφορίες και άλλαξε ριζικά τον τρόπο αποθήκευσης και προσπέλασης των πληροφοριών. Για παράδειγμα, προηγουμένως, για να μεταφερθεί οποιαδήποτε πληροφορία από έναν ερευνητικό οργανισμό σε έναν άλλο, έπρεπε να αποθηκευτούν σε μια δισκέτα ή σε άλλο μαγνητικό μέσο αποθήκευσης και να σταλούν με φυσικά μέσα (οδικώς ή αεροπορικώς). Με το διαδίκτυο, μία τέτοια μεταφορά δεδομένων μπορούσε πια να γίνει απλά, οικονομικά και ενδεχομένως, ανάλογα με τον όγκο των δεδομένων, πιο γρήγορα.

Η εξέλιξη των υπολογιστικών συσκευών και των δικτύων από τη δεκαετία του '70 έως τη δεκαετία του '90 αναδείχθηκε ως ένα θεμέλιο για τη σημερινή κατάσταση, όπου οι υπηρεσίες βασίζονται στο μοντέλο "request-response", όπου οι χρήστες στέλνουν αιτήματα σε έναν διακομιστή και λαμβάνουν απαντήσεις σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση αυτού του είδους υπηρεσιών έχει επιταχύνει την επικοινωνία μεταξύ χρηστών και διακομιστών και χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως οι ηλεκτρονικές αγορές, οι τραπεζικές συναλλαγές και οι τηλεπικοινωνίες (LiveScience, 2023).

## **2.3 ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ DATA CENTERS**

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως (2.1), η επινόηση και η εφαρμογή νέων τεχνολογιών, όπως οι μικροεπεξεργαστές, επέτρεψαν τη δημιουργία υπολογιστικών συσκευών που ήταν σημαντικά μικρότερες σε μέγεθος από τους προκατόχους τους. Αυτή η μείωση σε μέγεθος επέτρεψε στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε υπολογιστική ισχύ παντού και πάντα, ανοίγοντας τον δρόμο για την ευρεία διάδοση των ψηφιακών υπηρεσιών.

Παράλληλα με την εξέλιξη των συσκευών, τα δίκτυα εξελίχθηκαν από αργές συνδέσεις μεγάλου κόστους σε γρήγορες συνδέσεις και σε προσιτές τιμές. Η ευρεία χρήση των ψηφιακών υπηρεσιών απαιτεί αποτελεσματικά και αξιόπιστα δίκτυα, με την εξέλιξη των τεχνολογιών δικτύωσης να έχει φέρει ένα νέο επίπεδο συνδεσιμότητας.

Αυτός ο συνδυασμός υπολογιστικών συσκευών που έγιναν μικρές και προσιτές, μαζί με τα αποτελεσματικά δίκτυα, επιτέλεσε έναν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της σύγχρονης ψηφιακής επικοινωνίας. Από τις ηλεκτρονικές αγορές και τις τραπεζικές συναλλαγές έως τις τηλεπικοινωνίες, η άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ χρηστών και διακομιστών σε πραγματικό χρόνο, παγκοσμίως, έχει γίνει το θεμέλιο της σύγχρονης ψηφιακής εποχής, ακόμα και για συναλλαγές οι οποίες λάμβαναν χώρα κατά κύριο λόγο χωρίς την χρήση υπολογιστή, όπως οι πωλήσεις λιανικής.

Οι παγκόσμιες πωλήσεις λιανικής μέσω διαδικτύου εκτιμάται ότι θα υπερβούν τα 6,3 τρισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2024, και αυτός ο αριθμός αναμένεται να φτάσει σε νέα ύψη τα επόμενα χρόνια (Keenan, 2023). Το 2023, οι ηλεκτρονικές πωλήσεις αντιπροσώπευαν πάνω από το 19% των λιανικών πωλήσεων παγκοσμίως. Οι προβλέψεις δείχνουν ότι έως το 2027, οι πωλήσεις μέσω διαδικτύου θα αποτελούν σχεδόν το ένα τέταρτο των συνολικών παγκόσμιων πωλήσεων λιανικής (Lin Y. , 2024). Στα τέλη του 2023, τα κινητά τηλέφωνα αντιπροσώπευαν σχεδόν το 80% όλων των επισκέψεων σε ιστοσελίδες λιανικής παγκοσμίως και αποτελούσαν την πλειοψηφία των διαδικτυακών παραγγελιών (Gelder, 2024). Οι πωλήσεις μέσω κινητών παγκοσμίως προβλέπεται να αυξηθούν κατά 16,3% το 2024 σε σύγκριση με το 2023 (Oberlo, 2024). Καθώς οι διαδικτυακές πωλήσεις αυξάνονται, οι πελάτες σε όλο τον κόσμο έχουν διαφορετικά γούστα, προτιμήσεις και τρόπο ζωής.

Η τάση της αύξησης των ψηφιακών συναλλαγών και η μετάβαση χρήσης υπηρεσιών σε ψηφιακή μορφή αντικατοπτρίζεται τόσο στην αυξημένη ζήτηση από τους χρήστες, οι οποίοι χρησιμοποιούν υπολογιστές και κινητές συσκευές για την πρόσβαση σε ψηφιακές υπηρεσίες, όσο και στην αύξηση της προσφοράς με την εμφάνιση νέων ψηφιακών υπηρεσιών.

Πρόκειται για προϊόντα και υπηρεσίες που παρέχονται μέσω ψηφιακών καναλιών, όπως ιστοσελίδες, κινητές εφαρμογές και μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Αυτές οι υπηρεσίες σχεδιάζονται για να ανταποκριθούν στις ανάγκες των καταναλωτών, οι οποίοι εξαρτώνται όλο και περισσότερο από την ψηφιακή τεχνολογία για επικοινωνία, πληροφόρηση και ψυχαγωγία. Οι καταναλωτές θεωρούν δεδομένη την πρόσβαση σε ψηφιακές υπηρεσίες παντού, πάντα και σε οποιαδήποτε συσκευή, κάτι που έχει οδηγήσει τις επιχειρήσεις να

επενδύουν στην ανάπτυξη κινητών εφαρμογών και αποκρίσιμων ιστοσελίδων για να ανταποκριθούν σε αυτές τις ανάγκες.

Όπως προαναφέρθηκε, κάποιες από αυτές τις ψηφιακές υπηρεσίες είναι ψηφιακές εκδοχές αντίστοιχων αναλογικών υπηρεσιών. Παρόλα αυτά, ο γρήγορος ρυθμός της τεχνολογικής καινοτομίας συμβάλει στην ανάπτυξη καθολικά νέων υπηρεσιών. Η πρόοδος στον τομέα του υπολογιστικού νέφους, της ανάλυσης δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα, της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης, σε συνδυασμό με την ανάγκη για βελτιωμένη εμπειρία των χρηστών και την έμφαση στην κυβερνοασφάλεια, επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αναπτύσσουν νέες και καινοτόμες ψηφιακές υπηρεσίες, οι οποίες είναι πιο αποδοτικές, οικονομικές και εύχρηστες για τον χρήστη. Αυτό έχει οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των ψηφιακών υπηρεσιών που προσφέρονται σε διαφορετικές βιομηχανίες. Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς ψηφιακής μεταμόρφωσης ήταν αναμενόμενο να φτάσει τα 880,28 δισεκατομμύρια δολάρια το 2023, με τον σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) να φτάνει το 27,6% από το 2024 έως το 2030 (Grand View Research, 2023).

Περαιτέρω, η πανδημία του COVID-19 επιτάχυνε την υιοθέτηση των ψηφιακών τεχνολογιών κατά περίπου πέντε χρόνια (Wheeler, 2020), καθώς περισσότεροι άνθρωποι μετακινήθηκαν σε διαδικτυακά κανάλια για την εκτέλεση εργασιών, την παροχή εκπαίδευσης και την αναζήτηση διασκέδασης. Η εξ αποστάσεως εργασία, οι εικονικές συναντήσεις, οι διαδικτυακές αγορές και η ηλεκτρονική μάθηση έχουν γίνει πιο διαδεδομένες ως πρακτικές, επισημαίνοντας την ανάγκη για αξιόπιστες και αποτελεσματικές ψηφιακές υπηρεσίες (Fletcher & Griffiths, 2020), (Nagel, 2020), (Priyono, Moin, & Putri, 2020), (Döhring, Hristov, Maier, Roeger, & Thum-Thysen, 2021). Επομένως, αντίθετα από οποιαδήποτε άλλη εποχή στην ιστορία, ο τομέας του ηλεκτρονικού εμπορίου έπαιξε έναν καθοριστικό ρόλο στην κοινωνία, επιτρέποντας στους καταναλωτές να αποκτούν με ασφάλεια αγαθά κατά τη διάρκεια αυστηρών κανονισμών που είχαν ως στόχο τη διαφύλαξη της δημόσιας υγείας (Lone, Harboul, & Weltevreden, 2021).

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι οι τεχνικές που είναι απαραίτητες για την παροχή των παραπάνω υπηρεσιών παραμένουν αδιαφανείς προς τους περισσότερους καταναλωτές τους. Για παράδειγμα, για να έχουμε την εμπειρία μιας αγοράς από ηλεκτρονικό

κατάστημα, μια σειρά από ηλεκτρονικές διαδικασίες πρέπει να λάβουν χώρα σε τεχνικό επίπεδο:

1. Ο χρήστης πληκτρολογεί την ηλεκτρονική διεύθυνση του καταστήματος,
2. το πρόγραμμα περιήγησης αιτείται την ιστοσελίδα από τον διακομιστή που αντιστοιχεί στη διεύθυνση,
3. ο διακομιστής στέλνει πίσω τα απαραίτητα αρχεία,
4. το πρόγραμμα περιήγησης απεικονίζει το αποτέλεσμα στην οθόνη.

Οι παραπάνω διαδικασίες αντιστοιχούν μονάχα στην αρχική επίσκεψη. Η ροή εργασιών όπου ο χρήστης προσθέτει ένα προϊόν στο καλάθι και πληρώνει, περιλαμβάνει τις ακόμα διαδικασίες ισοδύναμης ή μεγαλύτερης πολυπλοκότητας. Τέτοιες διαδικασίες επαναλαμβάνονται εκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο καθώς άνθρωποι σε όλο τον κόσμο προσπελάσουν πληροφορίες ή αλληλοεπιδρούν με υπηρεσίες στο διαδίκτυο. Η φιλοξενία διακομιστών που επιτρέπουν αυτές τις συναλλαγές να λάβουν χώρα γίνεται σε υπολογιστικά κέντρα data centers. Τα data centers είναι εγκαταστάσεις που εμπεριέχουν έναν μεγάλο αριθμό υπολογιστών και άλλο, σχετικό, εξοπλισμό, τις συστήματα αποθήκευσης, εξοπλισμό δικτύωσης και συσκευές εφεδρικής παροχής ενέργειας.

Τα data centers και τα δίκτυα των παροχών σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, σε συνδυασμό με τις προσωπικές συσκευές (ηλεκτρονικούς υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα), αποτελούν το άθροισμα των συσκευών με υπολογιστικές ικανότητες και δικτύωση, και που συμμετέχουν στο διαδίκτυο.

Ο αυξανόμενος όγκος δεδομένων που παράγεται και διαβιβάζεται λόγω της ανάπτυξης των ψηφιακών υπηρεσιών δημιουργεί την ανάγκη για πιο εξελιγμένες και αποδοτικές υπολογιστικές υποδομές. Περαιτέρω, πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη και ειδικά τα μεγάλα μοντέλα γλώσσας (Large Language Models, LLMs) τα οποία χρειάζονται τεράστια υπολογιστική δύναμη για να εκπαιδευτούν αλλά και για να εκτελεστούν (Samsi, 2023), αυξάνουν ακόμα περισσότερο την ζήτηση για υπολογιστική δύναμη από οργανισμούς παγκοσμίως.

Ενδεικτικά, το GPT-2 της OpenAI, με 1,5 δις παραμέτρους, χρειάστηκε 355 χρόνια υπολογιστικού χρόνου από ένα πυρήνα επεξεργαστή και κατανάλωσε 28,000 kWh



ενέργειας για να εκπαιδευτεί. Η επόμενη έκδοση, GPT-3, με 175 δις παραμέτρους κατανάλωσε περίπου δέκα φορές παραπάνω ενέργεια, δηλαδή 284,000kWh, η οποία αντιστοιχεί σε ρύπους 500 τόνους διοξειδίου του άνθρακα (Heikkilä, 2022).

Τα data centers παρέχουν αυτήν την υπολογιστική υποδομή και λειτουργούν ως κέντρα επεξεργασίας, αποθήκευσης και διανομής των δεδομένων αυτών. Έτσι, είναι φυσικό να σημειώνεται αύξηση στην κατασκευή νέων data centers και την επέκταση της χωρητικότητας των υπάρχοντων. Στην Βόρεια Αμερική, η κατασκευή νέων data center αυξήθηκε 25% σε ιστορικά υψηλούς αριθμούς στο πρώτο μισό του 2023 (CBRE, 2023). Συγκεκριμένα, data centers με συνολική χωρητικότητα 2,287 MW είναι υπό κατασκευή με 70% αυτών να είναι ήδη μισθωμένα.

Εκτιμάται ότι η συνολική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε μεταξύ 20% και 70% μεταξύ του 2015 και του 2022 (Εικόνα 5). Σήμερα εκτιμάται πως η κατανάλωση των data center παγκοσμίως ανέρχεται στα 200 tWh ή 1% της συνολικής κατανάλωσης από την ανθρωπότητα, αν και προηγούμενες προβολές της κατανάλωσης είχαν τεράστια απόκλιση μεταξύ τους (Hintemann, 2020). Με την ανάπτυξη των δικτύων 5G η ολική κατανάλωση αναμένεται να αυξηθεί 150%-170% (Gillin, 2020).

**Increasing global digital traffic and data center energy use**  
While energy use is growing, efficiency gains have moderated the increase, even as internet traffic soars

	2015	2022	CHANGE
Internet users	<b>3 billion</b>	<b>5.3 billion</b>	<b>+78%</b>
Internet traffic	<b>0.6 zettabytes</b>	<b>4.4 zettabytes</b>	<b>+600%</b>
Data center workloads	<b>180 million</b>	<b>800 million</b>	<b>+340%</b>
Data center energy use*	<b>200 terawatt-hours</b>	<b>240-340 terawatt-hours</b>	<b>+20%-70%</b>

\*excluding crypto  
Source: Compiled by MIT Technology Review Insights, based on data from "Data Centres and Data Transmission Networks," IEA, July 11, 2023

ΕΙΚΟΝΑ 5: ΑΥΞΗΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ DATA CENTER. ΠΗΓΗ: MIT TECHNOLOGY REVIEWS.

### 3 ΔΟΜΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ DATA CENTER

Σε κάποιες περιπτώσεις μικρομεσαίων επιχειρήσεων με περιορισμένες ανάγκες, μπορεί να δημιουργηθεί ένα data center σε έναν χώρο λίγων τετραγωνικών μέτρων, εφόσον είναι απαραίτητο.

Αντίθετα, μεγαλύτερες επιχειρήσεις απαιτούν έναν ειδικά διαμορφωμένο και εκτεταμένο χώρο που πρέπει να είναι ειδικά διαμορφωμένος για τη διάταξη του απαραίτητου εξοπλισμού και μπορεί να καλύψει τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια, ψύξη και ασφάλεια. Αυτές οι επιχειρήσεις μπορούν να επιλέξουν να κατασκευάσουν ένα data center για την εξυπηρέτηση των αναγκών τους ή να μισθώσουν υπηρεσίες σε διάφορα επίπεδα από τρίτους.

Στην κατηγορία της παροχής υπηρεσιών από data center τρίτων, εντοπίζονται οι παρακάτω υποκατηγορίες, οι οποίες ανταποκρίνονται σε διαφορετικές ανάγκες και τις προτιμήσεις των πελατών:

- «Data centers συνεγκατάστασης» (co-located data centers) τα οποία υπενοικιάζουν φυσικό χώρο και πόρους, συνήθως ηλεκτρική ενέργεια και υποδομές δικτύου, στους πελάτες τους. Ο απαραίτητος εξοπλισμός, όπως διακομιστές και ενσωματωμένα συστήματα, παρέχονται από τον ίδιο τον πελάτη και στεγάζεται στο data center τρίτου.
- «Διαχειρίσιμες υπηρεσίες» όπου η υπολογιστική δύναμη, ο αποθηκευτικός χώρος και άλλοι πόροι παρέχονται ως υπηρεσίες στον πελάτη, χωρίς ο ίδιος να χρειάζεται να εμπλακεί στην αγορά ή τη συντήρηση του εξοπλισμού.
- «Υπολογιστικό νέφος» (cloud data centers) τα οποία παρέχουν υπηρεσίες σε ένα πιο αφηρημένο επίπεδο από αυτό του εξοπλισμού. Για παράδειγμα, προσφέρουν εικονικές μηχανές και άλλες υπηρεσίες υπολογιστικής ισχύος, επιτρέποντας στους πελάτες να δημιουργούν και να διαχειρίζονται εφαρμογές χωρίς να ανησυχούν για την υποδομή.

Ανεξάρτητα από τον ιδιοκτήτη ή το επιχειρηματικό μοντέλο τους, κάθε data center προσφέρει στις επιχειρήσεις την δυνατότητα να εκτελέσουν ψηφιακές εφαρμογές που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία τους.

Ορισμένα παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Φιλοξενία Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου ή Διαμοιρασμός Εγγράφων. Υποδομή για τη φιλοξενία του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου των επιχειρήσεων και την ασφαλή αποθήκευση και διαμοιρασμό ηλεκτρονικών εγγράφων.
- Σύστημα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων (ERP - Enterprise Resource Planning). Υποστήριξη της εκτέλεσης συστημάτων ERP, τα οποία επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τους πόρους τους, όπως το απόθεμα, τις χρηματοοικονομικές διαδικασίες τους και την παραγωγή.
- Σύστημα Διαχείρισης Σχέσεων με τους Πελάτες (CRM – Customer Relationship Management). Λειτουργία συστημάτων CRM που βοηθούν τις επιχειρήσεις να διαχειρίζονται την επικοινωνία και τις σχέσεις τους με τους πελάτες, προσφέροντας πληροφορίες σχετικές με το πελατολόγιό τους.
- Ηλεκτρονικό Εμπόριο. Διαδικτυακά καταστήματα και διαδικασίες πληρωμής, που βοηθούν στην επεξεργασία παραγγελιών και την παράδοση προϊόντων ή υπηρεσιών.
- Βιντεοδιάσκεψη. Υπηρεσίες που υποστηρίζουν τις βιντεοδιασκέψεις, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να επικοινωνούν αποτελεσματικά με συνεργάτες, πελάτες και συνεργαζόμενους σε παγκόσμια κλίμακα.

Για την εκτέλεση ψηφιακών εφαρμογών όπως οι παραπάνω, απαιτείται επαρκής υπολογιστική ισχύ, η οποία πρέπει να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής και τον φόρτο εργασίας, όπως αυτός διακυμαίνεται με τον χρόνο. Πρακτικά, αυτό επιτυγχάνεται μέσω ισχυρών διακομιστών με πολυπύρηνους επεξεργαστές και υψηλής ταχύτητας μνήμη. Η απαίτηση για αυτούς τους πόρους υπόκειται σε εποχικές διακυμάνσεις και συνήθως αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, εφόσον μια επιχείρηση σημειώνει ανάπτυξη. Για παράδειγμα, μια σελίδα που δημοσιεύει τα νέα, μπορεί να δέχεται ελάχιστο αριθμό επισκέψεων τον περισσότερο καιρό και πολλές παραπάνω επισκέψεις όταν συμβεί κάτι σημαντικό. Έτσι, είναι πολύ αναγκαίο για τα data centers να μπορούν να προσαρμόζουν τους πόρους που διαθέτουν ανάλογα με την ζήτηση.

Επιπλέον, τα δεδομένα των χρηστών για κάθε εφαρμογή πρέπει να αποθηκεύονται με ασφάλεια προκειμένου να αποφεύγονται απώλειες λόγω βλάβης του εξοπλισμού. Σε αυτό το πλαίσιο, αναπτύσσονται αξιόπιστα και υψηλής απόδοσης συστήματα αποθήκευσης με

χρήση σκληρών δίσκων (HDD) ή δίσκων Solid State (SSD), που διαθέτουν επαρκή χωρητικότητα και υψηλές ταχύτητες για την αποτελεσματική πρόσβαση στα δεδομένα. Τα data centers χρησιμοποιούν επίσης τεχνολογίες όπως το RAID (Redundant Array of Independent Disks) για τη δημιουργία αντιγράφων των δεδομένων και την προστασία από βλάβες των δίσκων.

Για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας στη σύνδεση με το διαδίκτυο, τα data centers στηρίζονται σε ισχυρή δικτυακή υποδομή, η οποία απαιτεί μεταγωγείς υψηλής ταχύτητας, δρομολογητές και οπτικές ίνες. Τα δίκτυα εκτείνονται επίσης και εσωτερικά των data center, ώστε να γίνεται δυνατή η μεταφορά δεδομένων μεταξύ διακομιστών, συστημάτων αποθήκευσης και εξωτερικών δικτύων. Αντίστοιχα με τη συνεχή αύξηση ζήτησης των υπολογιστικών πόρων και των συστημάτων αποθήκευσης, η εξασφάλιση επαρκούς εύρους ζώνης δικτύου είναι αναγκαία για την υποστήριξη της αυξανόμενης κίνησης δεδομένων και τη διασφάλιση της ομαλής επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων.

Κατά την λειτουργία των διακομιστών και του υπόλοιπου υπολογιστικού εξοπλισμού, είναι αναπόφευκτη η παραγωγή θερμότητας ως αποτέλεσμα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Για την βέλτιστη, αποδοτική και μακροχρόνια λειτουργία τους, είναι απαραίτητη η διατήρηση της θερμοκρασίας στην οποία λειτουργούν αυτά και η αποφυγή υπερθέρμανσης. Έτσι, είναι απαραίτητη η επίταξη αποτελεσματικών συστημάτων ψύξης, όπως μονάδων κλιματισμού και συστημάτων υδρόψυξης.

Το επιπλέον κόστος που απαιτείται για την λειτουργία των συστημάτων ψύξης και το αντίστοιχο αντίκτυπο στο περιβάλλον κινητοποιεί τα data centers ώστε να προσπαθούν συνέχεια να βελτιώσουν την ολική απόδοση της λειτουργίας των συστημάτων. Δηλαδή, είτε μέσω της μείωσης της κατανάλωσης των ίδιων ηλεκτρονικών συσκευών, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για ψύξη, είτε μέσω της καλύτερης απόδοσης των συστημάτων ψύξης.

Η ασφάλεια και η προστασία των δεδομένων αποτελούν εξίσου σημαντικές ανάγκες, καθώς τα data centers λειτουργούν ως θεματοφύλακες αυτών των δεδομένων. Για αυτόν τον λόγο, απαιτούνται ισχυρά μέτρα ασφαλείας, όπως ο έλεγχος πρόσβασης, τα συστήματα επιτήρησης και η βιομετρική ταυτοποίηση για την αποτροπή μη

εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Πιστοποιήσεις σχετικές με την ασφάλεια, όπως το πρότυπο ISO 27001, συμβάλλουν στη συστηματοποίηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας (ISO, 2022).

Φυσικά, όλα αυτά τα μέτρα ασφαλείας αφορούν την κανονική λειτουργία των συστημάτων, αλλά τα data centers πρέπει επίσης να είναι σε θέση να αντιμετωπίζουν ένα ευρύ φάσμα αστάθμητων παραγόντων, από προσωρινή διακοπή ηλεκτροδότησης μέχρι και καταστροφικά συμβάντα, όπως φωτιά, ακραία καιρικά φαινόμενα ή ακόμα και πόλεμο. Επίσης, είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη τα ενδεχόμενα μιας πυρκαγιάς στο εσωτερικό ενός data center, παρόλο που δεν μπορεί ποτέ να αποκλειστεί απολύτως λόγω του μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών συσκευών που λειτουργούν εκεί. Ένα πρόσφατο παράδειγμα φωτιάς σε data center στη Γαλλία προκάλεσε σημαντικές ζημιές και για την εταιρία αλλά και για τους πελάτες της (Reuters, 2021).

Η αξιοπιστία των συστημάτων εξασφαλίζεται με την ανάπτυξη πλεοναζόντων συστημάτων, ιδανικά σε κάθε είδους εξοπλισμού που είναι απαραίτητος για την ομαλή λειτουργία ενός data center (ηλεκτροδότηση, δίκτυο, ψύξη και λοιπά). Ο πλεονασμός διασφαλίζει ότι, ακόμη και αν ένα εξάρτημα αποτύχει, υπάρχουν εφεδρικοί μηχανισμοί για τη διατήρηση της αδιάλειπτης λειτουργίας. Το θέμα της εφεδρικότητας είναι πράγματι κρίσιμο για την επιχειρηματική συνέχεια και παράλληλα αρκετά πολύπλοκο. Το πρότυπο ANSI/TIA-942 καθορίζει διάφορα επίπεδα πλεονασμού και όρια ανοχής σφαλμάτων και επιβεβαιώνει ότι η εγκατάσταση πληρεί όλες τις ανάγκες για ένα από τα παρακάτω επίπεδα (Velimirovic, 2021).

- Επίπεδο 1: Αποτελεί την πιο απλή υποδομή data center με μία και μοναδική οδό τροφοδοσίας και ψύξης και δεν διαθέτει εφεδρικά εξαρτήματα. Ένα data center επιπέδου 1 αναμένεται να εξασφαλίζει τουλάχιστον 99,671% χρόνο λειτουργίας ανά έτος.
- Επίπεδο 2: Διαθέτει μία και μοναδική οδό τροφοδοσίας και ψύξης, αλλά και ορισμένα εφεδρικά εξαρτήματα όπως γεννήτριες ή αδιάλειπτη παροχή ενέργειας (UPS), με αναμενόμενο χρόνο λειτουργίας 99,741% ετησίως.
- Επίπεδο 3: Διαθέτει πολλαπλούς δρόμους τροφοδοσίας και ψύξης, καθώς και εφεδρικά συστήματα που εξασφαλίζουν αδιάκοπη λειτουργία ακόμη και σε

περίπτωση διακοπής ρεύματος. Ο αναμενόμενος χρόνος λειτουργίας του επιπέδου 3 ανέρχεται σε ποσοστό 99,982% ετησίως.

- Επίπεδο 4: Προσφέρει το υψηλότερο ποσοστό σε ανοχή σφαλμάτων και διαθέτει πλεονασμό για κάθε απαραίτητο εξάρτημα. Ο αναμενόμενος χρόνος λειτουργίας αυτού του επιπέδου φτάνει σε ποσοστό 99,995%, ανά έτος.

Η ακόλουθη σημειογραφία χρησιμοποιείται όσον αφορά τον πλεονασμό των εξαρτημάτων:

- N+1 διαθεσιμότητα: Το "N" αναφέρεται στην απαιτούμενη απόδοση για την υποστήριξη του πλήρους υπολογιστικού φορτίου. Το "+1" αντιπροσωπεύει ένα επιπλέον εφεδρικό εξάρτημα. Ο πλεονασμός "N+1" διασφαλίζει ότι ένα πρόσθετο εξάρτημα ξεκινά τη λειτουργία του εάν το αρχικό εξάρτημα παρουσιάσει βλάβη ή αν το αφαιρέσουν για κάποια προγραμματισμένη συντήρηση.
- 2N ή 2N+1 πλεονασμός: Ο πλεονασμός 2N (ή N+N) σημαίνει ότι η εγκατάσταση έχει ένα ακριβώς ίδιο, ανεξάρτητο σύστημα σε κατάσταση αναμονής. Το μοντέλο 2N+1 παρέχει διπλάσια λειτουργική χωρητικότητα (2N) και ένα πρόσθετο εφεδρικό εξάρτημα (+1) σε περίπτωση που παρουσιαστεί βλάβη ενώ ένα δευτερεύον σύστημα είναι ενεργό.

Τα βασικότερα σημεία των επιπέδων 1-4 συνοψίζονται παρακάτω:

Παράμετροι	Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4
<b>Εγγυημένος χρόνος λειτουργίας</b>	99,671%	99,741%	99,982%	99,995%
<b>Χρόνος εκτός λειτουργίας ανά έτος</b>	Έως 28,8 ώρες	Έως 22 ώρες	Έως 1,6 ώρες	Έως 26,3 λεπτά
<b>Πλεονασμός εξαρτημάτων</b>	Κανένας	Μερικός πλεονασμός τροφοδοσίας και ψύξης (μερικώς N+1)	Πλήρες N+1	Ανεκτικότητα σε σφάλματα (2N ή 2N+1)

<b>Ταυτόχρονα συντηρήσιμο</b>	Όχι	Όχι	Μερικώς	Ναι
-----------------------------------	-----	-----	---------	-----

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΩΝ DATA CENTER.

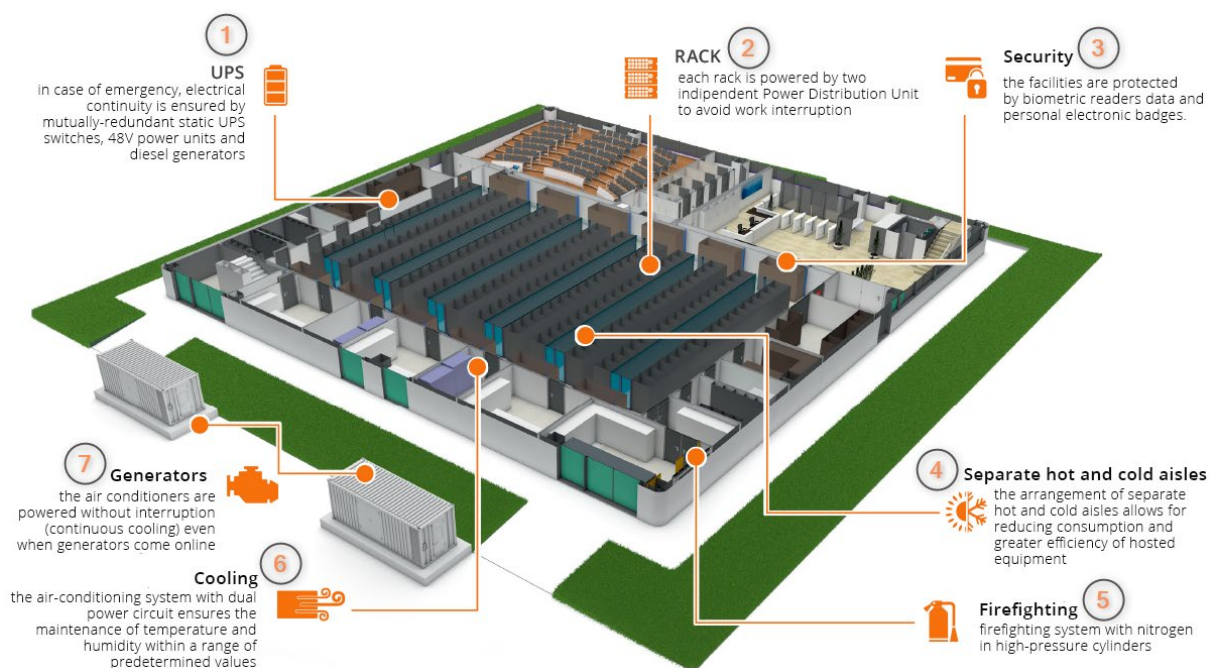
### 3.1 ΔΟΜΗ & ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ DATA CENTER

Η υποδομή του data center μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Το υλικό πληροφορικής, που περιλαμβάνει διακομιστές, αποθηκευτικούς χώρους και υλικό δικτύου και
2. Το υποστηρικτικό υλικό, που περιλαμβάνει συστήματα ψύξης και ποιότητας αέρα, υποδομές ισχύος και υποδομές καλωδίωσης.

Η εκάστοτε δομή ενός data center εξαρτάται από το επίπεδο πλεονασμού (ANSI/TIA-942, 3 ΔΟΜΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ DATA CENTER) καθώς και από τις αρχιτεκτονικές επιλογές ως προς τα διάφορα συστήματα ηλεκτροδότησης, ψύξης και λοιπά. Η Εικόνα 6 παρουσιάζει ένα τυπικό παράδειγμα δομής data center που αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- α. Διακομιστές που στεγάζονται σε ράφια (Σημείο 2, Εικόνα 6).
- β. Συστήματα εφεδρικής ηλεκτροδότησης (Σημεία 1 και 7, Εικόνα 6).
- γ. Συστήματα ψύξης (Σημεία 4 και 6, Εικόνα 6).
- δ. Συστήματα ασφάλειας και πυρασφάλειας (Σημεία 3 και 5, Εικόνα 6).



ΕΙΚΟΝΑ 6: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΟΜΗΣ ΕΝΟΣ DATA CENTER. ΠΗΓΗ: VIANOVA.IT.

Τα στοιχεία τα οποία δεν απεικονίζονται στην παραπάνω δομή (Εικόνα 6) είναι:

- α. Εξοπλισμός δικτύου, ο οποίος απαιτεί πολύ λιγότερο χώρο από τα υπόλοιπα συστήματα μιας και αποτελείται κυρίως από καλωδιώσεις που συνδέουν τους διακομιστές μεταξύ τους και με το διαδίκτυο.
- β. Συστήματα αποθήκευσης, τα οποία μπορεί να είναι συνδεδεμένα απευθείας με τους διακομιστές ή μέσω του δικτύου.

Στις επόμενες υποενότητες θα αναλυθεί το κάθε στοιχείο συγκεκριμένα.

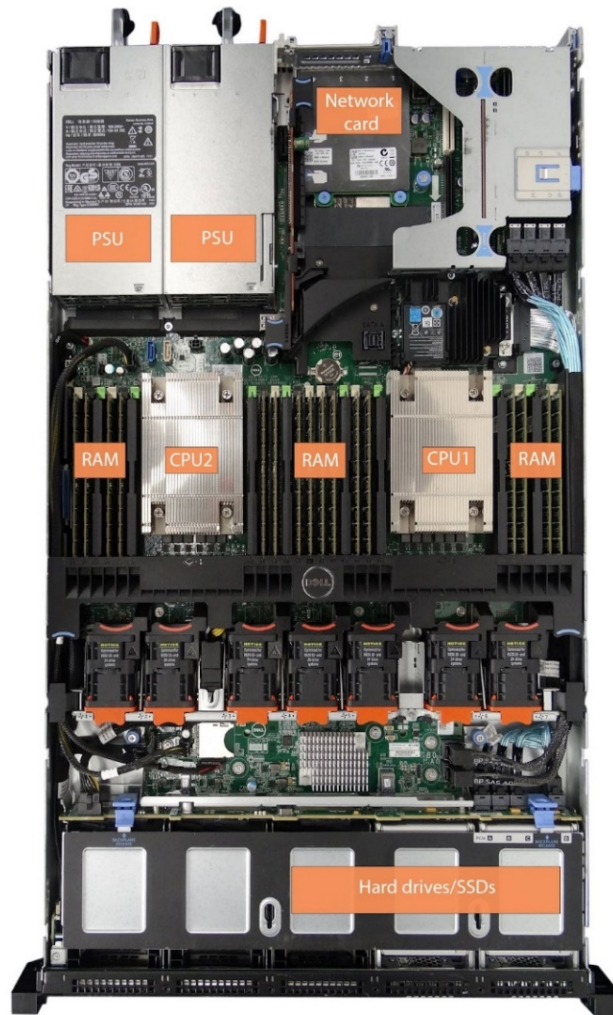
### 3.1.1 ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΕΣ

Οι διακομιστές (servers) είναι ο πυρήνας ενός data center αφού πρόκειται για τις υπολογιστικές μηχανές όπου γίνεται η επεξεργασία και η αποθήκευση δεδομένων, καθώς και η εκτέλεση εφαρμογών. Κάθε διακομιστής αποτελείται από μία μητρική πλακέτα, τουλάχιστον έναν επεξεργαστή, μνήμη RAM και εσωτερικό χώρο αποθήκευσης (Εικόνα 7).

Η μητρική πλακέτα είναι το κύριο κύκλωμα που συνδέει και διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των υποσυστημάτων του υπολογιστή. Συγκεκριμένα, επιτρέπει τη σύνδεση της μονάδας κεντρικής επεξεργασίας (CPU), της μνήμης τυχαίας προσπέλασης (RAM) και του εσωτερικού αποθηκευτικού χώρου. Το CPU εκτελεί υπολογισμούς και εντολές για την εκτέλεση του λογισμικού, ενώ η RAM παρέχει προσωρινό χώρο αποθήκευσης για ενεργές εργασίες, επιτρέποντας τη γρήγορη πρόσβαση σε δεδομένα. Τέλος, ο εσωτερικός αποθηκευτικός χώρος, όπως σκληροί δίσκοι (HDD) και οι μονάδες δίσκου στερεάς κατάστασης (SSD), χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δεδομένων και του λειτουργικού συστήματος για μακροχρόνια χρήση.

Σε ένα data center, οι διακομιστές στεγάζονται σε ειδικά ράφια (racks) τα οποία, ανάλογα με το ύψος τους μπορούν να φιλοξενήσουν πολλαπλούς διακομιστές. Τόσο οι ίδιοι οι διακομιστές όσο και τα ράφια αυτά είναι ειδικά τυποποιημένα όσον αφορά τις διαστάσεις ώστε να εξασφαλίζεται η συμβατότητα μεταξύ τους, βάσει του πρότυπου IEC 60297 (IEC, 2014). Συγκεκριμένα, μία μονάδα ραφιού (συντομογραφία: U) ορίζεται με ύψος 1 ¾ ίντσες και οι κατασκευαστές φροντίζουν οι διακομιστές να καταλαμβάνουν ένα ή παραπάνω U (ακέραιο αριθμό).





ΕΙΚΟΝΑ 7: ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗΣ DELL POWEREDGE R630 10 BAY SFF WITH 4X NVME BAY 1U.  
ΠΗΓΗ: METSERVERS.COM.

### 3.1.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Ο εξοπλισμός δικτύου συνδέει τους διακομιστές μεταξύ τους και με τον εξωτερικό κόσμο μέσω του διαδικτύου. Με σωστή διαμόρφωση και δομή, μπορούν να διαχειριστούν μεγάλο όγκο δεδομένων. Τυπικά, περιλαμβάνει τους ακόλουθους τύπους συσκευών και στοιχείων:

- Καλωδιώσεις: χάλκινη καλωδίωση και οπτικές ίνες. Η σωστή διαχείριση της καλωδίωσης είναι πολύ σημαντική γιατί έχει αντίκτυπο στην ροή του αέρα ανάμεσα στα ράφια και άρα στην απόδοση της ψύξης, στην ευκολία συντήρησης και επίλυσης προβλημάτων, την ασφάλεια από ατυχήματα καθώς και την δυνατότητα επέκτασης των εγκαταστάσεων. Πρότυπα όπως το ANSI/TIA-942 και το ISO/IEC 24764 παρέχουν κατευθυντήριες γραμμές για τις βέλτιστες πρακτικές (Margaret, 2023).

- Μεταγωγείς και δρομολογητές: εξειδικευμένες συσκευές δικτύου που αναλαμβάνουν την μεταφορά δεδομένων μεταξύ των συσκευών που συμμετέχουν στο εσωτερικό δίκτυο και το διαδίκτυο ή άλλα εξωτερικά δίκτυα, αντίστοιχα (Fitzpatrick, 2023).
- Τείχη προστασίας: εξίσου εξειδικευμένες συσκευές δικτύου που με τις απαραίτητες ρυθμίσεις εξασφαλίζουν την ασφαλή έκθεση των διακομιστών σε αναξιόπιστα δίκτυα.

### 3.1.3 ΥΠΟΔΟΜΗ ΚΥΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΦΕΔΡΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ

Η υποδομή τροφοδοσίας περιλαμβάνει συστήματα ισχύος, εφεδρικές γεννήτριες και αδιάλειπτα τροφοδοτικά (Howard, 2020):

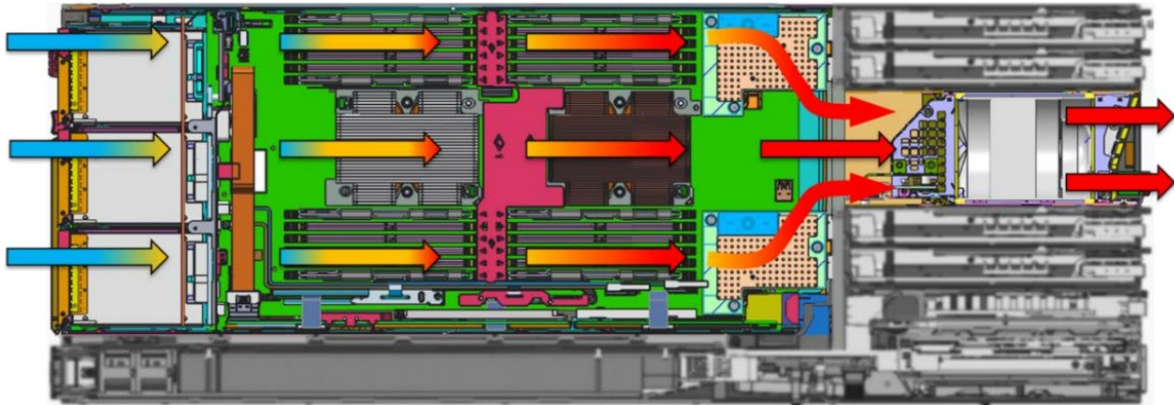
- Συστήματα ισχύος: μετασχηματιστές που μετατρέπουν ή/και ρυθμίζουν το ρεύμα που παρέχεται από το δίκτυο ηλεκτροδότησης μέσω αυτόματων διακόπτων μεταφοράς (Automatic Transfer Switches, ATS)
- Εφεδρικές γεννήτριες: επειδή το δίκτυο ηλεκτροδότησης δεν μπορεί να εγγυηθεί παροχή ρεύματος χωρίς καμία διακύμανση ή διακοπή, παντού και πάντα, εφεδρικές γεννήτριες που τροφοδοτούνται με καύσιμο diesel ή φυσικό αέριο είναι πάντα έτοιμες για να τροφοδοτήσουν το data center, αντί ή συμπληρωματικά του δικτύου ηλεκτροδότησης.
- Αδιάλειπτα τροφοδοτικά (Uninterrupted Power Supply, UPS): συστήματα που λειτουργούν συνήθως με μπαταρίες και μπορούν να παρέχουν ρεύμα στο σύστημα που υποστηρίζουν, για μερικά λεπτά, μέχρι να ξεκινήσουν οι εφεδρικές γεννήτριες να παράγουν ρεύμα.

### 3.1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ

Όπως έχει προαναφερθεί, οι συσκευές που αποτελούν ένα data center γενικότερα, αλλά κατά κύριο λόγο οι διακομιστές και τα μικροσίπ επεξεργασίας δεδομένων, παράγουν μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας. Για την κανονική λειτουργία τους χωρίς προβλήματα, είναι απαραίτητο να διατηρείται η θερμοκρασία σε συγκεκριμένα επίπεδα, μέσω συστημάτων ψύξης.

Κάθε διακομιστής είναι εξοπλισμένος με ισχυρούς ανεμιστήρες που εισάγουν αέρα από το πίσω μέρος του και τον σπρώχνουν προς το εσωτερικό του, σπρώχνοντας τον ζεστό αέρα

που παράγεται κατά την λειτουργία του προς την μπροστινή μεριά (Εικόνα 8). Όπως φαίνεται, το εσωτερικό κάθε διακομιστή και η διάταξη της μητρικής κάρτας είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να μην υπάρχουν σημεία όπου η αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται ανομοιόμορφα ή δεν μπορεί να μειωθεί εύκολα λόγω περιορισμένης ροής αέρα.

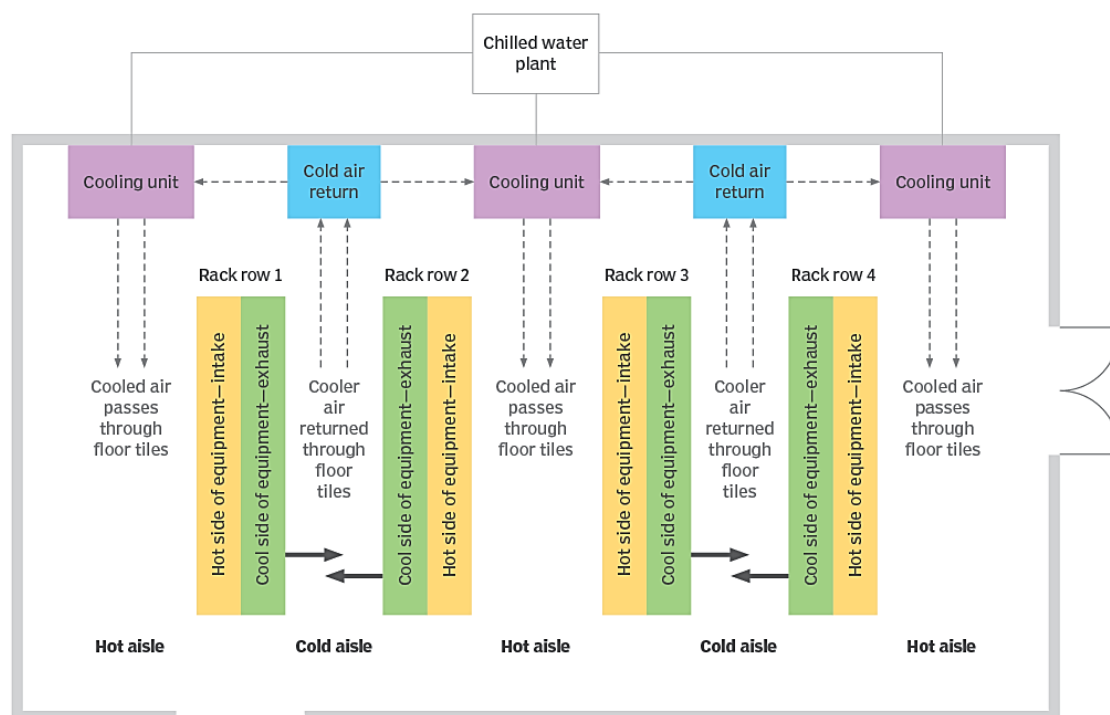


ΕΙΚΟΝΑ 8: ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΥΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΕΣ DELL MX7000. ΠΗΓΗ: RACKSOLUTIONS.COM.

Ωστόσο, η αποδοτικότητα των ανεμιστήρων αυτών εξαρτάται από την διαθεσιμότητα κρύου αέρα στο πίσω μέρος του διακομιστή. Σε μικρά data centers, αυτό εξασφαλίζεται με μονάδες κλιματιστικών εφάμιλλες με αυτές που προορίζονται για οικιακή χρήση.

Για μεγαλύτερα data centers απαιτούνται υποδομές ψύξης με απαιτήσεις στην διάταξη του κτηρίου και των ραφιών (Borgini, 2022). Τα ράφια υπερυψώνονται ώστε να μπορεί να περάσει κρύος αέρας από κάτω και το σύστημα ψύξης διαμορφώνει διαδρόμους ζεστού και κρύου αέρα.

# Data center with hot and cold aisles



ΕΙΚΟΝΑ 9: ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ DATA CENTER. ΠΗΓΗ: TECHTARGET.

## 3.1.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΥΡΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Όλοι οι διακομιστές και ο εξοπλισμός των data centers περιέχουν ευαίσθητα δεδομένα και για την προστασία τους χρησιμοποιούνται μέτρα όπως 24ωρη παρακολούθηση, CCTV, βιομετρική αναγνώριση, συστήματα συναγερμού και πολλά άλλα μέτρα ασφαλείας για την προστασία των δεδομένων και της υποδομής.

## 3.1.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Τα data centers απαιτούν συστήματα αποθήκευσης για την αποθήκευση δεδομένων και εφαρμογών. Αυτά τα συστήματα αποθήκευσης διαφέρουν από τους εσωτερικούς δίσκους των διακομιστών και παρέχουν πλεονασμό και επεκτασιμότητα.

## 3.2 ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΕ DATA CENTERS

Στον κόσμο της σύγχρονης πληροφορικής και της διαχείρισης δεδομένων, η επιλογή των υλικών για τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, τις υποδομές και τα data centers παίζει

καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό της αποδοτικότητας, της ανθεκτικότητας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών των τεχνολογικών συστημάτων. Αυτό το κεφάλαιο εμβαθύνει στο ευρύ φάσμα των υλικών που χρησιμοποιούνται στους υπολογιστές και τα data centers, εξερευνώντας τους λόγους που οδηγούν στην επιλογή τους και τις μοναδικές ιδιότητές τους.

### 3.2.1 ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΑ

Τα μέταλλα αποτελούν βασικά υλικά στην κατασκευή υπολογιστών και ηλεκτρονικών συσκευών, προσφέροντας ανθεκτικούς σκελετούς υπολογιστών και διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με το είδος του μετάλλου. Ο χαλκός και το αλουμίνιο, λειτουργούν ως εξαιρετικοί αγωγοί ηλεκτρισμού, επιτρέποντας την ροή των ηλεκτρονίων στα ηλεκτρονικά κυκλώματα και παρέχοντας δομική ακεραιότητα στις ηλεκτρονικές συσκευές, εξασφαλίζοντας τη σταθερότητά τους και την αντοχή τους σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Ο ανοξειδωτος χάλυβας, λόγω της αντοχής του στη διάβρωση, χρησιμοποιείται για εξαρτήματα που απαιτούν αντοχή στο χρόνο. Ο χρυσός και το ασήμι χρησιμοποιούνται για αξιόπιστες ηλεκτρικές συνδέσεις (Goodman, 2002).

Ενώ τα μέταλλα είναι απαραίτητα για την ηλεκτρονική, η εξόρυξη των μετάλλων προκαλεί οικολογικά προβλήματα όπως διάβρωση του εδάφους και ρύπανση των υδάτων, επηρεάζοντας τα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα. Ωστόσο, η ανακύκλωση των μετάλλων συμβάλλει στη μείωση της εξόρυξης και της κατανάλωσης ενέργειας (Bleiwass & Kelly, 2001).

### 3.2.2 ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Τα πολυμερή χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρονική κυρίως για μόνωση, περίβλημα και εσωτερικά εξαρτήματα. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, όπως η ελαφρότητα και η ευελιξία στον σχεδιασμό, καθώς και η καλή μόνωση, τα καθιστούν απαραίτητα για την ασφάλεια και τη λειτουργία των ηλεκτρονικών συσκευών. Υλικά όπως το πολυκαρβονικό και η εποξική ρητίνη χρησιμοποιούνται ευρέως για την προστασία και τη μόνωση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, λόγω της ανθεκτικότητάς τους και των καλών ιδιοτήτων μόνωσης που προσφέρουν. Τα πολυμερή, ως υλικά περιβλήματος, παρέχουν προστασία από εξωτερικές επιδράσεις, υγρασία και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται στην κατασκευή συνδέσμων και εξαρτημάτων διεπαφής,

διευκολύνοντας ασφαλείς και αποτελεσματικές συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών ηλεκτρονικών στοιχείων (Ahmad, Abdullah, Ali, & Zawawi, 2023).

Τα περισσότερα πολυμερή προέρχονται από πηγές με βάση το πετρέλαιο, συμβάλλοντας στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, στις εκπομπές άνθρακα και στην εξάντληση των πόρων. Η ανακύκλωση πολυμερών από ηλεκτρονικές συσκευές συχνά παρεμποδίζεται από τεχνικές προκλήσεις, όπως μόλυνση υλικών, πολυπλοκότητα ταξινόμησης και περιορισμένη υποδομή ανακύκλωσης. Η ακατάλληλη διάθεση και αποικοδόμηση υλικών με βάση το πολυμερές μπορεί να οδηγήσει στην απελευθέρωση μικροπλαστικών στο περιβάλλον, θέτοντας κινδύνους για τα οικοσυστήματα, την άγρια ζωή και την ανθρώπινη υγεία (Bleiwas & Kelly, 2001).

### 3.2.3 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

Το πυρίτιο αποτελεί ένα από τα κορυφαία υλικά στην ηλεκτρονική βιομηχανία λόγω της υψηλής καθαρότητάς του και των εξαιρετικών ιδιοτήτων του. Η δυνατότητα ελέγχου των προσμίξεων κατά την παραγωγή του έχει επιτρέψει τη δημιουργία πολύ αποδοτικών ημιαγωγών, τα οποία αποτελούν το κύριο συστατικό σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές και συστήματα. Οι ημιαγωγοί, συμπεριλαμβανομένων των τσιπ πυριτίου και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, είναι θεμελιώδεις για τη λειτουργία των υπολογιστικών συσκευών. Η συνεχής πρόοδος στην τεχνολογία των ημιαγωγών έχει οδηγήσει σε συσκευές όπως οι υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα να γίνονται πιο ισχυρά και ενεργειακά αποδοτικά (Ohring & Kasprzak, 2014).

Ωστόσο, η παραγωγή ημιαγωγών απαιτεί ενέργεια και εκπομπή χημικών ουσιών που μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Επομένως, η έρευνα και η ανάπτυξη εναλλακτικών υλικών και διαδικασιών παραγωγής είναι σημαντικές για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Παρά τις προκλήσεις, η έρευνα στον τομέα των ημιαγωγών έχει σημαντική συμβολή στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και έχει μετασχηματίσει τον κόσμο μας με τις καινοτόμες λύσεις που προσφέρει.

### 3.2.4 ΚΕΡΑΜΙΚΑ

Τα κεραμικά προσφέρουν μοναδικές ιδιότητες στους υπολογιστές και τις ηλεκτρονικές συσκευές, όπως θερμομόνωση, ηλεκτρική μόνωση και ανθεκτικότητα. Τα κεραμικά

λειτουργούν ως μονωτές σε εξαρτήματα όπως πυκνωτές, κυκλώματα και αντιστάτες. Μπορούν επίσης να αντέξουν τις υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές χωρίς να υποβαθμίζονται χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για τη μακροπρόθεσμη απόδοση και ασφάλεια. Επιπλέον, η μηχανική τους αντοχή και η ανθεκτικότητά τους παρέχουν μακροπρόθεσμη σταθερότητα και αξιοπιστία σε δύσκολες συνθήκες λειτουργίας (Gao, Li, & Sammes, 2011).

Παρά τις ωφέλιμες τους ιδιότητες, τα κεραμικά θέτουν περιβαλλοντικές προκλήσεις σε όλο τον κύκλο ζωής τους. Οι διαδικασίες παραγωγής κεραμικών απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες και ενέργεια, συμβάλλοντας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στην εξάντληση των πόρων.

### 3.2.5 ΓΥΑΛΙ

Το γυαλί αναδεικνύεται ως ένα κορυφαίο υλικό στον χώρο της τεχνολογίας, προσφέροντας μια πληθώρα ιδιοτήτων που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία πολλών ηλεκτρονικών συσκευών. Η διαφάνεια του γυαλιού επιτρέπει τη διέλευση του φωτός χωρίς παραμόρφωση, κάνοντάς το ιδανικό για τη χρήση σε οθόνες υπολογιστών και άλλες συσκευές που απαιτούν οπτική διαύγεια. Ταυτόχρονα, λειτουργεί ως αποτελεσματικό μονωτικό υλικό, αποτρέποντας τη ροή του ηλεκτρισμού και προστατεύοντας ηλεκτρονικά εξαρτήματα από ηλεκτρικές παρεμβολές. Οι γυάλινες επιφάνειες είναι γνωστές για την υψηλή τους αντοχή στις γρατσουνιές, εξασφαλίζοντας έτσι τη διάρκεια ζωής των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Οι οπτικές ίνες, κατασκευασμένες από γυαλί πυριτίου υψηλής ποιότητας, παρέχουν χαμηλή εξασθένηση σήματος και υψηλό εύρος ζώνης, καθιστώντας το γυαλί ιδανικό για τη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις. Επιπλέον, το γυαλί σε μορφή κρυστάλλων ζαφείρι χρησιμοποιείται σε μονάδες SSD και HDD για ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων, εξαιτίας της οπτικής διαύγειας και της αντοχής του.

Συνολικά, το γυαλί προσφέρει ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων, όπως διαφάνεια, αντοχή και μόνωση, καθιστώντας το ένα αναπόσπαστο κομμάτι της τεχνολογικής βιομηχανίας. Παράλληλα, οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η παραγωγή του, όπως η ενεργειακή κατανάλωση και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, απαιτούν συνεχείς προσπάθειες για τη βελτίωση των διαδικασιών και την ενίσχυση της βιωσιμότητας (Bleiwas & Kelly, 2001).

### 3.2.6 ΤΟΞΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Οι ηλεκτρονικές συσκευές μπορεί να περιέχουν υλικά τα οποία είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο και το περιβάλλον όπως μόλυβδος (Pb), κάδμιο (Cd), υδράργυρο (Hg), εξασθενές χρώμιο (Cr6+), πολυβρωμιωμένα διφαινύλια (PBBs), πολυβρωμιωμένοι διφαιθυλαίθρες (PBDEs), αρσενικό και πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC). Είναι σημαντικό να μειωθούν αυτά τα υλικά τόσο στην ίδια τη συσκευή όσο και στη διαδικασία κατασκευής.

Γι' αυτόν τον λόγο, η οδηγία για τον περιορισμό των επικίνδυνων ουσιών (RoHS) έχει θεσπίσει περιορισμούς σχετικά με τη χρήση αυτών των ουσιών σε ηλεκτρονικά προϊόντα. Αυτή η οδηγία αποτελεί σημαντικό μέσο για την προστασία της υγείας του κοινού και του περιβάλλοντος, περιορίζοντας τη χρήση επικίνδυνων ουσιών και προωθώντας την ανάπτυξη πιο φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών και υλικών (Murugesan & Gangadharan, 2012).

<b>Χημική Ουσία</b>	<b>Εφαρμογή</b>	<b>Επιπτώσεις στην υγεία</b>
<i>Μόλυβδος</i>	Κυκλώματα, μητρικές πλακέτες και γυάλινες οθόνες.	Επηρεάζει το νευρικό σύστημα, το αιμοποιητικό σύστημα και τα νεφρά.
<i>Κάδμιο</i>	Συγκολλήσεις χαμηλής θερμοκρασίας, επιμετάλλωση για αντιδιαβρωτική προστασία, χρωστικές ουσίες σε πλαστικά και διακόπτες επαφής σε ρελέ.	Επηρεάζει το συκώτι και τα νεφρά.
<i>Υδράργυρος</i>	Οθόνες και μπαταρίες.	Επηρεάζει το ανοσοποιητικό σύστημα, αλλάζει το γενετικό και ενζυμικό σύστημα και βλάπτει το νευρικό σύστημα.
<i>Πολυβρωμιωμένοι διφαιθυλαίθρες (PBDEs) και πολυβρωμιωμένο διφαινύλια (PBBs)</i>	Επιβραδυντικά φωτιάς.	Εξαιρετικά τοξικές.



<i>Αρσενικό</i>	Κατασκευή ημιαγωγών.	Επηρεάζει τη μακροζωία των κυττάρων.
<i>Πολυβινυλοχλωρίδιο</i>	Κατασκευή ανταλλακτικών υπολογιστή.	Καρκινογόνο και έχει επίδραση στο ανθρώπινο αναπαραγωγικό σύστημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ. ΠΗΓΗ: WILEY.

Ο μόλυβδος είναι ένα υλικό που συχνά χρησιμοποιείται σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων και γυάλινες οθόνες, ωστόσο, οι επιδράσεις του στην υγεία είναι ιδιαίτερα ανησυχητικές. Ο μόλυβδος μπορεί να επηρεάσει το νευρικό σύστημα, το αιμοποιητικό σύστημα και τα νεφρά. Λόγω των ανησυχιών για τις επιπτώσεις του μολύβδου στην υγεία, έχει διεξαχθεί εκτεταμένη έρευνα για την αναζήτηση εναλλακτικών υλικών που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν (The Norwegian University of Science and Technology, 2010). Επιπλέον, υπάρχουν συνεχείς προσπάθειες για την ανάκτηση και ανακύκλωση του από ηλεκτρονικά απόβλητα, με στόχο τη μείωση της εκπομπής αυτής της επικίνδυνης ουσίας στο περιβάλλον και τη μείωση του κινδύνου για την υγεία του ανθρώπου (Black, 2005).

Το κάδμιο είναι ένα χημικό στοιχείο που συχνά χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως σε συγκολλήσεις χαμηλής θερμοκρασίας, επιμετάλλωση για αντιδιαβρωτική προστασία, και χρωστικές σε πλαστικά και κουμπιά επαφής σε ρελέ. Ωστόσο, η έκθεση σε κάδμιο μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, ειδικά στο ήπαρ και τα νεφρά. Λόγω των ανησυχιών για τις επιπτώσεις του στην υγεία, το κάδμιο βρίσκεται σε έρευνα για αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων για τις διάφορες χρήσεις του, με στόχο την αντικατάστασή του με λιγότερο επιβλαβή υλικά ή τη μείωση της χρήσης του (Omari, Penafiel, & McIndoe, 2020).

Ο υδράργυρος είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται κυρίως σε οθόνες και μπαταρίες. Ωστόσο, ο υδράργυρος έχει γνωστές αρνητικές επιδράσεις στην υγεία και το περιβάλλον (U.S. Geological Survey, 2000). Η έκθεση στον υδράργυρο μπορεί να επηρεάσει το ανοσοποιητικό σύστημα, να προκαλέσει αλλοιώσεις στο γενετικό και ενζυμικό σύστημα και να βλάψει το νευρικό σύστημα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογίες χωρίς τη χρήση υδραργύρου. Επιπλέον, η χρήση υδραργύρου

στις μπαταρίες έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Τα PBDES και PBBs είναι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ως επιβραδυντικά φλόγας (Fromme, B. Hilger, Misserok, & Völkel, 2013). Αυτά τα υλικά είναι εξαιρετικά τοξικά και απαγορεύονται σε πολλές χώρες λόγω των επιπτώσεών τους στην υγεία και το περιβάλλον. Συνεπώς, συνεχίζονται οι προσπάθειες για την αναζήτηση εναλλακτικών υλικών και την αφαίρεση αυτών των επικίνδυνων ουσιών από την κατασκευή υπολογιστών, προκειμένου να περιοριστεί η επίδρασή τους στην υγεία και το περιβάλλον.

Το αρσενικό είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται σε γυαλιά και στην κατασκευή ημιαγωγών. Ωστόσο, το αρσενικό παρεμβαίνει στη μακροζωία των κυττάρων του ανθρώπου. Για τη μείωση της χρήσης του αρσενικού στη διαδικασία παραγωγής, έχουν επινοηθεί πολλές μεθοδολογίες πρόληψης και ανάκτησης. Είναι σημαντικό να αναπτυχθούν ενεργά αυτές οι μέθοδοι προκειμένου να μειωθεί η επίδραση του αρσενικού στην υγεία και το περιβάλλον.

Το PVC είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα πλαστικά παγκοσμίως και έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην κατασκευή εξαρτημάτων υπολογιστών. Ωστόσο, το χλωριούχο βινύλιο, ένα από τα βασικά συστατικά του PVC, έχει δείξει ότι είναι καρκινογόνο και επηρεάζει το ανθρώπινο αναπαραγωγικό σύστημα. Λόγω αυτών των ανησυχιών, πολλές εταιρείες έχουν αποφασίσει να καταργήσουν τη χρήση PVC στα προϊόντα τους (U.S. Environmental Protection Agency, 2011).

## 4 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΑ DATA CENTERS: ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Η ιδέα της βιωσιμότητας απέκτησε απήχηση το 1987, όταν η επιτροπή του Brundtland το όρισε ως «ανάπτυξη που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες». Μεταγενέστερες αναλύσεις προσδιορίζουν το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία ως τρία στοιχεία με σχετικές διαστάσεις που συμβάλλουν στην επίτευξη της βιωσιμότητας (Nishant, Kennedy, & Corbet, 2020).

Όπως αναλύθηκε και στην ενότητα 1.3, η αύξηση της ζήτησης για ψηφιακές υπηρεσίες και η χρήση του AI συμβαδίζει με την αύξηση των data centers παγκοσμίως αλλά και η ολική κατανάλωση ενέργειας από data centers. Το περιβαλλοντικό αντίκτυπο αποτελεί ολοένα και μεγαλύτερη ανησυχία, καθώς περιλαμβάνει διάφορες πτυχές όπως την κατανάλωση ενέργειας, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, την χρήση νερού και τα ηλεκτρονικά απόβλητα (e-waste).

Μέχρι τώρα, η αποδοτικότητα της ενεργειακής δαπάνης σε ένα data center μετριέται με τον δείκτη αποτελεσματικότητας χρήσης ενέργειας (Power Usage Effectiveness, PUE) (Avelar, Schneider, Dan, & Alan, 2012), ο οποίος ορίζεται ως:

$$PUE = \frac{\text{Ολική ενέργεια data center}}{\text{Ενέργεια εξοπλισμού IT}}$$

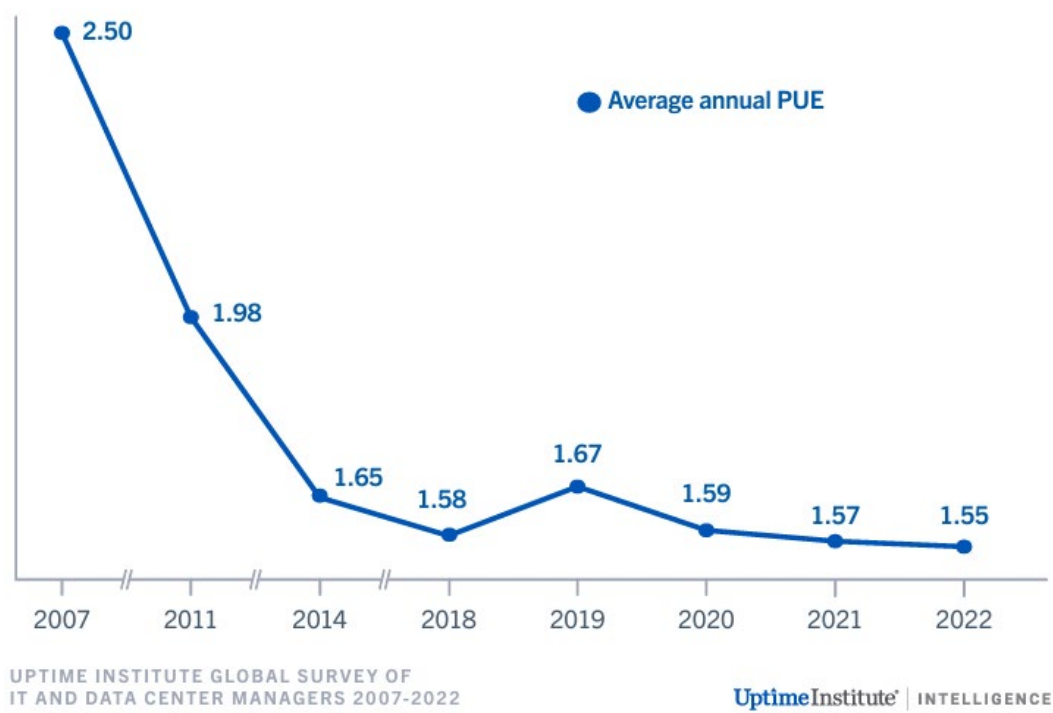
Όπου:

- Η ενέργεια εξοπλισμού IT περιλαμβάνει ενέργεια που καταναλώνεται από διακομιστές, μονάδες αποθήκευσης δεδομένων και εξοπλισμό δικτύων, καθώς και άλλου εξοπλισμού που τυχόν χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του data center.
- Η ολική ενέργεια data center περιλαμβάνει την ενέργεια εξοπλισμού IT όπως ορίζεται παραπάνω, καθώς και όλα τα είδη εξοπλισμού που χρειάζονται για την υποστήριξη τους, όπως UPS, γεννήτριες, μπαταρίες, σύστημα ψύξης, φωτισμός χώρου και λοιπά.

Η χρήση του δείκτη PUE σήμανε μια σημαντική εξέλιξη στην μεθοδολογία των data center αφού επέτρεψε την μέτρηση της αποδοτικότητας και έτσι εισήγαγε έναν ξεκάθαρο μετρό για εξέλιξη. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Uptime Institute, από το 2007 έως το 2014, σημειώθηκε δραματική πτώση του δείκτη από μέσο όρο 2.50 το 2007 σε 1.65 το 2014. Το 2022 ωστόσο ο μέσος όρος μετρήθηκε στο 1.55<sup>1</sup>, σημαίνοντας έτσι βελτίωση μόνο 0.10, έναντι 0.85 την προηγούμενη εφταετία όπως φαίνεται στην Εικόνα 10 (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022). Η μεγάλη αρχική πτώση οφείλεται στην υιοθεσία τεχνικών που δεν χρειάζονται μεγάλες αλλαγές στην υποδομή και έτσι μπόρεσαν να εφαρμοστούν και σε παλαιότερα data centers, όπως ο διαχωρισμός ζεστού και κρύου αέρα, ο βέλτιστος έλεγχος της ψύξης και η αυξημένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα. Νεότερα data centers τείνουν προς τιμές PUE γύρω στο 1.3.

### PUE progress has stalled

What is the average annual PUE for your largest data center? (n=669)



ΕΙΚΟΝΑ 10: ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ PUE. ΠΗΓΗ: UPTIME INSTITUTE.

Βάσει των γενικότερων πρωτοβουλιών παγκοσμίως για την μείωση των ρύπων και της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, τα data centers έχουν γίνει στόχος ρυθμιστικών

<sup>1</sup> PUE = 1.55 σημαίνει ότι τα data centers ξόδεψαν 55% επιπλέον ενέργεια για ψύξη, διανομή ενέργειας και άλλες λειτουργίες, σε σχέση με την ενέργεια του IT.

προσπαθειών. Το Green Deal στην Ευρωπαϊκή Ένωση, που εγκρίθηκε το 2020, είναι μια σειρά πρωτοβουλιών πολιτικής από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή με τον στόχο να γίνει η ΕΕ κλιματικά ουδέτερη μέχρι το 2050 (European Commission, 2024).

Επιπλέον, υπάρχουν δύο προγράμματα από διαφορετικά υπουργεία της Ευρωπαϊκής ένωσης που αφορούν τη βιωσιμότητα και είναι σχετικά με data centers.

Πρώτον, από το Directorate General Connect, το πρόγραμμα αναφοράς εταιρικής βιωσιμότητας (Corporate Sustainability Reporting) και το πρόγραμμα Ευρωπαϊκής Ταξονομίας (EU Taxonomy). Η ταξονομία αυτή ορίζει ένα πλαίσιο αξιολόγησης για τη βιωσιμότητα των data center και βασίζεται στις βέλτιστες πρακτικές από τον Ευρωπαϊκό κώδικα δεοντολογίας για data center (Code of Conduct for Data Centers, CoC, REF), η οποία δημοσιεύθηκε το 2008. Μεγάλες εταιρίες που συντηρούν ιδιόκτητα data centers αλλά και πάροχοι συνεγκατάστασης που έχουν πελάτες που ικανοποιούν τα κριτήρια απαίτησης αναφοράς πρέπει να συμμορφωθούν (Lukas & Odeh, 2023).

Δεύτερον, από το Directorate General ENER, η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση (Energy Efficiency Directive), η οποία δημοσιεύθηκε στο τέλος του 2023 και ορίζει ότι τα data centers πρέπει να συμμορφωθούν με κάποιες βασικές αρχές:

- α. Data centers με συνολική ονομαστική ισχύ άνω των 500 kW, πρέπει να δημοσιεύουν αναφορές με τα δεδομένα σχετικά με την ενεργειακή τους απόδοση δημοσίως. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν ενεργειακή κατανάλωση, τον δείκτη PUE, σημεία ρύθμισης της θερμοκρασίας, αξιοποίηση της απόβλητης θερμότητας, χρήση νερού και χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Matte, 2024).
- β. Αξιοποίηση της απόβλητης θερμότητας για θέρμανση χώρων ή άλλες εφαρμογές, εφόσον ένα data center έχει ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη του 1MW και αυτό δεν κρίνεται τεχνικά ή οικονομικά αδύνατον.
- γ. Ενσωμάτωση πηγών ανανεώσιμης ενέργειας για την κατανάλωσή τους.
- δ. Βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας, μέσω της βελτιστοποίησης των συστημάτων ψύξης, χρησιμοποιώντας πιο αποδοτικό εξοπλισμό καθώς και μέσω της εικονικοποίησης και ενοποίησης των διακομιστών.

Ξεκάθαρα, η αύξηση στην απόδοση της ενέργειας στα data centers είναι ένα πολυδιάστατο πρόβλημα το οποίο εξαρτάται σημαντικά και από παράγοντες έξω από την τεχνολογία. Για παράδειγμα, data centers τα οποία έχουν ήδη χτιστεί και βρίσκονται σε λειτουργία, χρειάζονται μεγάλες και κοστοφόρες αναβαθμίσεις στην υποδομή τους για να μπορέσουν να υιοθετήσουν πιο σύγχρονες και αποδοτικές τεχνολογίες.

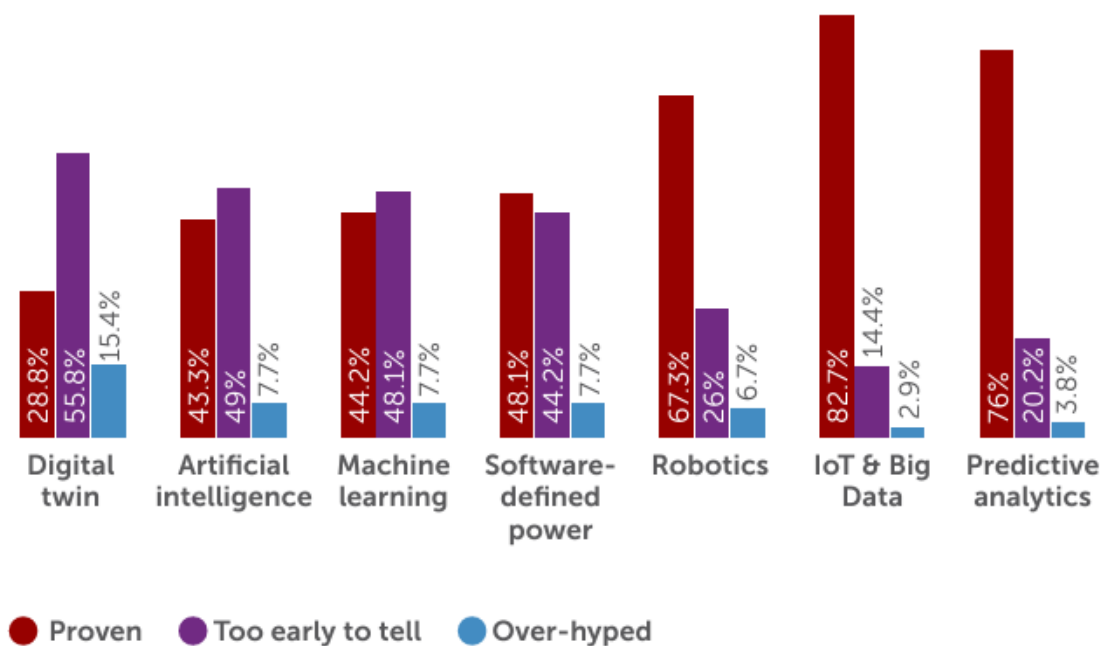
Παράλληλα, κοινωνικοί παράγοντες, όπως αντίδραση από τις τοπικές κοινότητες ενάντια στην μόλυνση του βιοτόπου τους από data centers μπορούν να ασκήσουν πίεση στους παρόχους να αυξήσουν τη βιωσιμότητά τους (Loosemore, Panfil, Madara, Stover, & Sanghi, 2023). Χαρακτηριστικό παράδειγμα η Microsoft και το data center της εταιρίας στο Quincey, που δέχθηκε κριτική το 2012 για την χρήση γεννητριών diesel (Welch, 2012).

Σε ένα πιο πρόσφατο παράδειγμα, το 2021, αποκαλύφθηκε ότι το data center της Microsoft στην βόρεια Ολλανδία κατανάλωσε 84 εκατομμύρια λίτρα νερό, έναντι των 12-20 εκατομμυρίων λίτρων που είχε εκτιμηθεί αρχικά. Η ιστορία πήρε έκταση αφού καλύφθηκε στον εθνικό τύπο και επειδή εκείνη την χρονική περίοδο η Ολλανδία αντιμετώπιζε περίοδο εκτεταμένης ξηρασίας και έλλειψης πόσιμου νερού. Στην απάντηση της Microsoft εξηγείται ότι 36 εκατομμύρια λίτρα νερό επιστράφηκαν στους υδροφόρους ορίζοντες, χωρίς αυτό όμως να λάβει την αντίστοιχη προσοχή από τον τύπο (Judge, Drought-stricken Holland discovers Microsoft data center slurped 84m liters of drinking water last year, 2022).

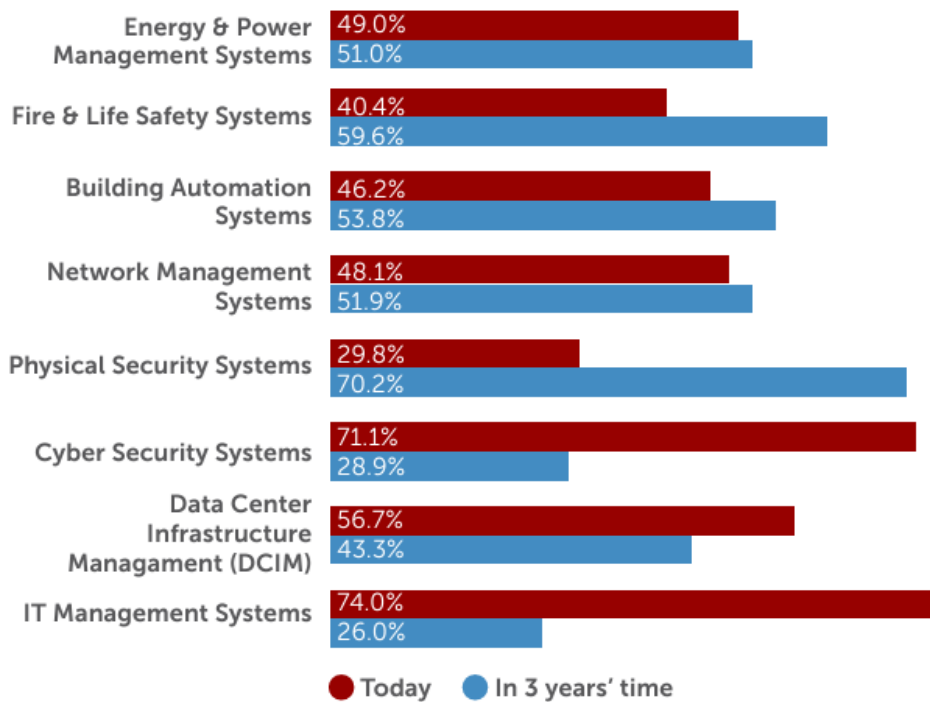
Σε αυτό το κεφάλαιο, εξερευνούμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια το πολύπλοκο αυτό χάρτη με τις περιβαλλοντικές προκλήσεις που δημιουργούν τα data centers, καθώς και πρακτικές και τεχνολογίες που μπορούν να αυξήσουν τη βιωσιμότητά τους. Στη συνέχεια, απεικονίζεται ο Πίνακας 4 όπου γίνεται σύγκριση των τεχνικών βιωσιμότητας ανά κατηγορία.

Είναι αξιοσημείωτο πως οι περισσότερες σαφείς αναφορές στο Industry 4.0 στην βιβλιογραφία αναφέρουν τα data centers ως υποκινητές του παρά ως καταναλωτές του (Matt, 2018). Ωστόσο, στην Εικόνα 11 παρατηρείται μεγάλη διεύδυση από τεχνολογίες ρομποτικής, διαδίκτυο των πραγμάτων, μηχανική μάθηση και AI, αν και τα τελευταία δύο πρέπει ακόμα να αποδείξουν την πρακτική αξία τους προς τους χειριστές data centers (DataCenterDynamics, 2021). Η δυσπιστία των χειριστών στρέφεται προς την ικανότητα της

μηχανικής μάθησης και AI να πάρουν αξιόπιστες αποφάσεις όσον αφορά την λειτουργία των data centers (Donnellan, et al., 2023). Ωστόσο, φαίνεται πως η πεποίθηση στο AI αυξάνεται, με 57% των όσων απάντησαν να αναφέρει ότι θα εμπιστευόντουσαν ένα επαρκώς εκπαιδευμένο μοντέλο μηχανικής μάθησης να λάβει επιχειρησιακές αποφάσεις, από 49% τον προηγούμενο χρόνο (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022). Στην ίδια έρευνα, το AI πήρε τον δεύτερη θέση στις τεχνολογίες που οι χειριστές περιμένουν να επιφέρουν βελτιώσεις στην αποδοτικότητα των data centers όπως φαίνεται στην Εικόνα 13. Επιπλέον, η διαχείριση του IT (74%), η κυβερνοασφάλεια (71.1%) και η παρακολούθηση υποδομής (56.7%) ήταν οι τομείς που οι περισσότεροι χειριστές πιστεύουν πως αυτοματισμοί βασισμένοι στο AI θα έχουν άμεσο όφελος. Οι απαντήσεις ήταν μοιρασμένες όσον αφορά την αμεσότητα βελτιώσεων σε συστήματα ενέργειας (49%) και δικτύων (48.1%) και μακροχρόνιες για φυσικά συστήματα ασφαλείας και αυτοματισμούς σχετικούς με το κτίριο του data center (Εικόνα 12).



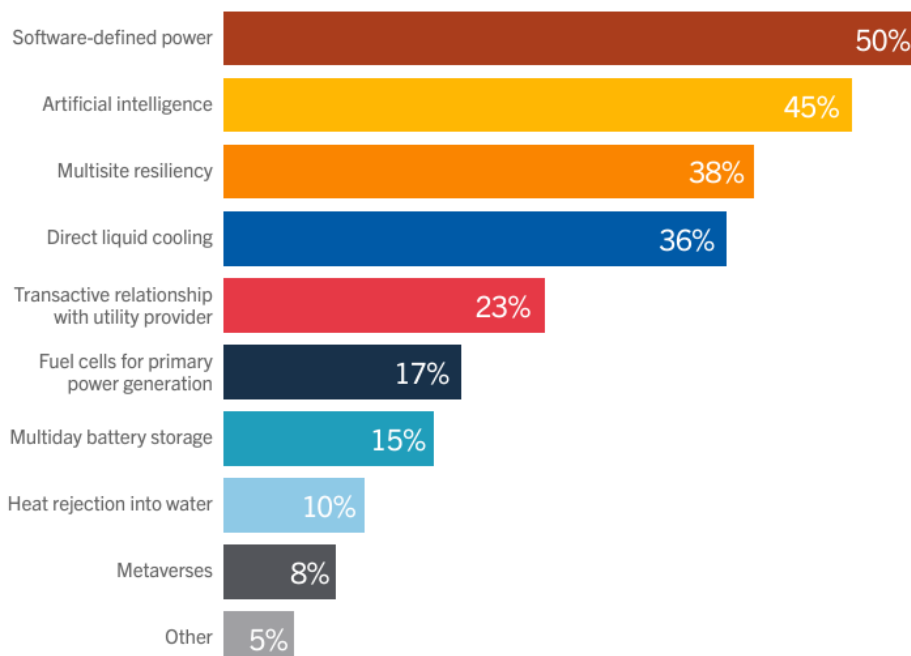
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΧΕΙΡΙΣΤΕΣ DATA CENTERS ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΗΝ ΑΠΟΔΕΔΙΓΜΕΝΗ Η ΜΗ ΑΞΙΑ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ INDUSTRY 4.0 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ. ΠΗΓΗ: DATACENTERDYNAMICS: TRENDS IN DATA CENTER AUTOMATION.



ΕΙΚΟΝΑ 12: ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ/ΕΡΓΑΣΙΕΣ DATA CENTER ΠΟΥ ΕΠΩΦΕΛΟΥΝΤΑΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΑΙ. ΠΗΓΗ: DATACENTERDYNAMICS.

### Operators expect power and cooling to deliver better efficiency

Thinking about the next five years, which of these innovations is likely to deliver the most significant improvements in the efficiency of the data centers? Choose no more than three. (n=744)



UPTIME INSTITUTE GLOBAL SURVEY OF IT AND DATA CENTER MANAGERS 2022

UptimeInstitute® | INTELLIGENCE

ΕΙΚΟΝΑ 13: ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ DATA CENTERS ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΘΑ ΕΠΙΦΕΡΟΥΝ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ. ΠΗΓΗ: UPTIME INSTITUTE.



Κάποιες από τις πρακτικές που θα αναλυθούν στις επόμενες ενότητες είναι σχετικά εύκολες στην υλοποίησή τους και αποδίδουν ευθείς βελτιώσεις βιωσιμότητας, επειδή η αλληλεπίδρασή τους με άλλους παράγοντες είναι περιορισμένη. Άλλες πρακτικές ωστόσο, όταν αναλυθούν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, αναδεικνύονται ως λιγότερο εφαρμόσιμες, ειδικά σε κλίμακα. Για παράδειγμα, όπως θα δούμε και στην ενότητα 1.6, η biodiesel έχει χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική πηγή ενέργειας έναντι της συμβατικής diesel που προέρχεται από την εξόρυξη πετρελαίου, μπορεί να είναι επίσης επιβλαβής στο περιβάλλον ανάλογα από το πως παράγεται και η ξεκάθαρα «πράσινη» πηγή biodiesel (μαγειρικά λίπη) εγείρει αμφιβολίες για το πόσο εύκολα κλιμακώνεται (Judge, Powering sustainability, 2023).

Έτσι, οι επόμενες ενότητες έχουν αναπτυχθεί με γνώμονα την πολυπλοκότητα του συστήματος και των επιδράσεων με εξωτερικούς παράγοντες, ξεκινώντας από το μερικό και ανάγοντας προς το σύνολο. Όπου ενδείκνυται, η περιγραφή ξεκινάει από πρακτικές ή τεχνολογίες που αφορούν συγκεκριμένα στοιχεία και προχωράει σε υψηλότερα επίπεδα, δηλαδή τους διακομιστές ως μονάδα, το data center σαν ένα σύστημα και τελικώς, συστήματα συστημάτων (Dayarathna, Wen, & Fan, 2016).

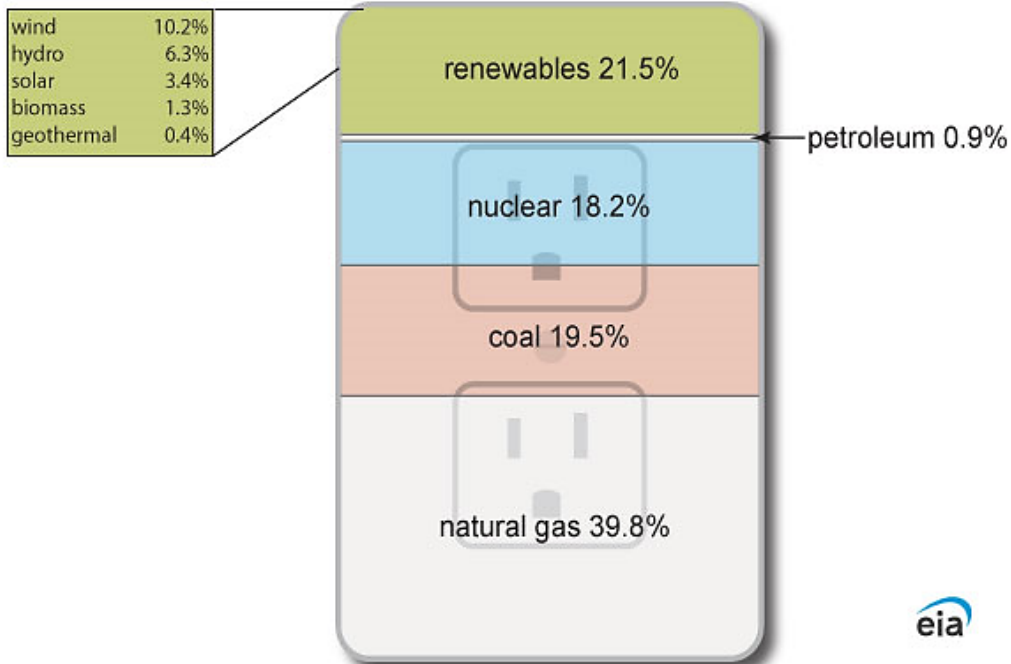
#### **4.1 ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Τα περισσότερα data centers βασίζονται στο εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για την ηλεκτροδότησή τους, με γεννήτριες diesel ως εναλλακτική πηγή και UPS για να διευκολύνουν την μετάβαση από την μια πηγή στην άλλη.

Η ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι αδύνατον να διαχωριστεί σε ηλεκτρισμό που προκύπτει από ανανεώσιμες πηγές ή όχι εφόσον υπάρχει μόνο ένα δίκτυο διανομής στο οποίο συμμετέχουν όλες οι πηγές, συμπεριλαμβανομένου πυρηνικών εργοστασίων, εργοστάσια άνθρακα και εργοστάσια φυσικού αερίου. Ενδεικτικά, στην Εικόνα 14 φαίνεται ότι για το 2022 στις ΗΠΑ, το σύνολο των 4.24 τρισεκατομμυρίων kWh που καταναλώθηκε προήλθε σε ποσοστό 39.8% από καύση φυσικού αερίου, 19.5% από καύση άνθρακα, 18.2% από πυρηνική διάσπαση, 0.9% από πετρέλαιο και 21.5% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (γεννήτριες αέρα, υδρογεννήτριες, ηλιακούς συλλέκτες και λοιπά) (Administration, 2023).

## Sources of U.S. electricity generation, 2022

Total = 4.24 trillion kilowatthours



Data source: U.S. Energy Information Administration, *Electric Power Monthly*, February 2023, preliminary data  
Note: Includes generation from power plants with at least 1,000 kilowatts of electric generation capacity (utility-scale). Hydro is conventional hydroelectric. Petroleum includes petroleum liquids, petroleum coke, other gases, hydroelectric pumped storage, and other sources.

ΕΙΚΟΝΑ 14: ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΗΠΑ ΤΟ 2022. ΠΗΓΗ: U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.

Για να αντιμετωπιστεί αυτή η βασική πρόκληση, δημιουργήθηκε ένα νομικό και οικονομικό πλαίσιο ώστε να είναι δυνατή αλλά και βιώσιμη, η παραγωγή και πώληση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Συγκεκριμένα, για κάθε 1 mWh που παράγεται από κάποια ανανεώσιμη πηγή και παρέχεται στο εθνικό δίκτυο, ο παραγωγός εκδίδει ένα πιστοποιητικό ενεργειακών χαρακτηριστικών (energy attribute certificate, EAC), το οποίο μετά μπορεί να αγοραστεί ως πιστοποιητικό ανανεώσιμης ενέργειας (renewable energy certificate, REC). Έτσι οι καταναλωτές ενέργειας, όπως τα data centers μπορούν να αγοράσουν τα πιστοποιητικά που τους δίνουν το δικαίωμα, ως κάτοχοι, να ισχυριστούν ότι κάποιο ποσοστό της ενέργειας που κατανάλωσαν ήταν από ανανεώσιμες πηγές.

Η εξάρτηση στο diesel ως εναλλακτική πηγή ενέργειας αποτελεί εμπόδιο στον στόχο των data center να είναι ουδέτερα ως προς την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Ως τεχνολογίες, υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές, που ωστόσο δεν έχουν βρει ευρεία υιοθέτηση. Οι κύριοι διεκδικητές είναι οι μπαταρίες λιθίου και οι κυψέλες καυσίμου

υδρογόνου, λύσεις οι οποίες χρειάζονται μεγάλες επενδύσεις, με τις μπαταρίες λιθίου να έχουν ένα προβάδισμα στην οικονομία κλίμακας (Lawrence, 2019).

Συμβάντα όπως η διαμαρτυρία ενάντια στην Microsoft για το data center της στο Quincey που πήρε έκταση σε εθνικό επίπεδο μέσω του τύπου (Welch, 2012) φαίνεται να ασκούν πίεση στους χειριστές data center αλλά δεν μπορούν πρακτικά να φέρουν αποτέλεσμα εφόσον οι εναλλακτικές είναι λίγες ή μη βιώσιμες. Στο συγκεκριμένο συμβάν, επτά χρόνια αργότερα, η Microsoft ξανά εγκατέστησε γεννήτριες diesel στο εν λόγω data center (Lawrence, 2019).

Το προφανές πρόβλημα με τις μπαταρίες είναι ότι αποθηκεύουν ενέργεια αλλά δεν μπορούν να την παράξουν από κάποιο καύσιμο. Έτσι αν μια διακοπή ρεύματος κρατήσει για πάνω από μερικές ώρες όπως μπορεί να συμβεί σε ακραίες καταστάσεις όπως σεισμοί, πυρκαγιές και φωτιές ένα data center με γεννήτρια diesel μπορεί απλά να εφοδιάζεται με καύσιμο. Στην περίπτωση της μπαταρίας οι χειριστές πρέπει να είναι σίγουροι ότι η διακοπή δεν θα εξαντλήσει την αποθηκευμένη ενέργεια στην μπαταρία (Judge, Powering sustainability, 2023).

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να υποδεχθούν, εκτός από υδρογόνο και διάφορα άλλα αέρια καύσιμα, όπως μεθάνιο. Η κυψέλη, συνδυάζοντας το καύσιμο με οξυγόνο, προκαλεί καύση η οποία παράγει διοξείδιο του άνθρακα το οποίο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά θεωρείται «πράσινο» εφόσον το μεθάνιο προέρχεται από βιολογική πηγή. Δηλαδή, θεωρείται πως η καύση αυτή έχει μικρότερη επίπτωση στο περιβάλλον έναντι της καύσης ορυκτών καυσίμων γιατί το διοξείδιο που παράγεται έχει αποθηκευτεί στο έδαφος εκατομμύρια χρόνια πριν και δεν θα απελευθερωνόταν στην ατμόσφαιρα χωρίς να έχει προηγηθεί εξόρυξη (Judge, Powering sustainability, 2023).

Στην περίπτωση του υδρογόνου, η καύση παράγει μόνο νερό, αλλά ως πηγή ενέργειας δεν είναι άμεσα διαθέσιμο και ίσως έχει χρειαστεί επεξεργασία που απαιτεί ορυκτά καύσιμα (Lawrence, 2019). Το υδρογόνο θεωρείται βιώσιμη πηγή μόνο εφόσον έχει παραχθεί μέσω ηλεκτρόλυσης νερού, χρησιμοποιώντας κάποια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και αυτό δεν είναι ευρέως εφικτό ακόμα. Σε ένα πρωτότυπο σύστημα, η Microsoft (2022), χρησιμοποίησε υδρογόνο που προκύπτει ως απόβλητο από εργοστασιακή επεξεργασία

χλωρίνης και υδροξείδιο του νατρίου (Roach, Hydrogen fuel cells could provide emission free backup power at datacenters, Microsoft says, 2022).

Στο επίπεδο του καυσίμου, οι εναλλακτικές που υπάρχουν είναι το biodiesel και το φυσικό αέριο, και τα δύο με τις ιδιαιτερότητές τους. Συγκεκριμένα, το φυσικό αέριο μπορεί να αιχμαλωτιστεί από απόβλητα τροφίμων που αποσυντίθενται ή αγροτικές επιχειρήσεις το οποίο σημαίνει ότι η διαθεσιμότητα σε πολλά αστικά κέντρα είναι περιορισμένη και τίθενται ερωτήματα στην κλίμακα που είναι εφικτή με αυτή την τεχνική (Judge, Powering sustainability, 2023).

Η χρήση biodiesel επιτρέπει στους χειριστές να μην αντικαταστήσουν τις γεννήτριες και να επωμιστούν το ανάλογο κόστος. Ως biodiesel θεωρούνται έλαια φυτικής προέλευσης τα οποία αποδεσμεύουν διοξείδιο του άνθρακα που έχει προηγουμένως απορροφήσει από φυτά, και έτσι είναι μια βιώσιμη πηγή.

Η πρώτη γενιά καυσίμων βασισμένων σε φυτά (biodiesel EN14214) δημιουργούσε προβλήματα στους καυστήρες, ενώ η δεύτερη γενιά υδροεπεξεργασμένου φυτικού ελαίου (EN15940) έχει αντίστοιχη απόδοση και μπορεί να αναμιχθεί ελεύθερα με την diesel από πετρέλαιο αν δεν υπάρχει διαθέσιμο. Ενώ το κόστος του biodiesel είναι περίπου διπλάσιο αυτού του πετρελαίου, οι γεννήτριες είναι συνήθως σε λειτουργία λίγες ώρες τον χρόνο για δοκιμές και κατά τη διάρκεια κρίσεων, οπότε δεν έχουν σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο (Judge, Powering sustainability, 2023).

Ακόμα και στην περίπτωση του biodiesel ο διαχωρισμός μεταξύ βιώσιμης ενέργειας και μη, είναι λεπτός. Σε κάποιες περιπτώσεις το καύσιμο αυτό παράγεται από φυτά μεγαλωμένα συγκεκριμένα για αυτή τη χρήση και αυτό σημαίνει ότι η γη αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τροφίμων. Επίσης, πολλές φορές παράγεται με πρώτη ύλη το φοινικέλαιο που συχνά φυτεύεται σε γη που προηγουμένως φιλοξενούσε τροπικά δάση. Έτσι η μόνη ξεκάθαρα βιώσιμη πρακτική παραγωγής biodiesel είναι αυτή όπου η πρώτη ύλη είναι απόβλητα έλαια και μετατρέπει την αγορά του biodiesel σε κυκλική οικονομία (Judge, Powering sustainability, 2023).

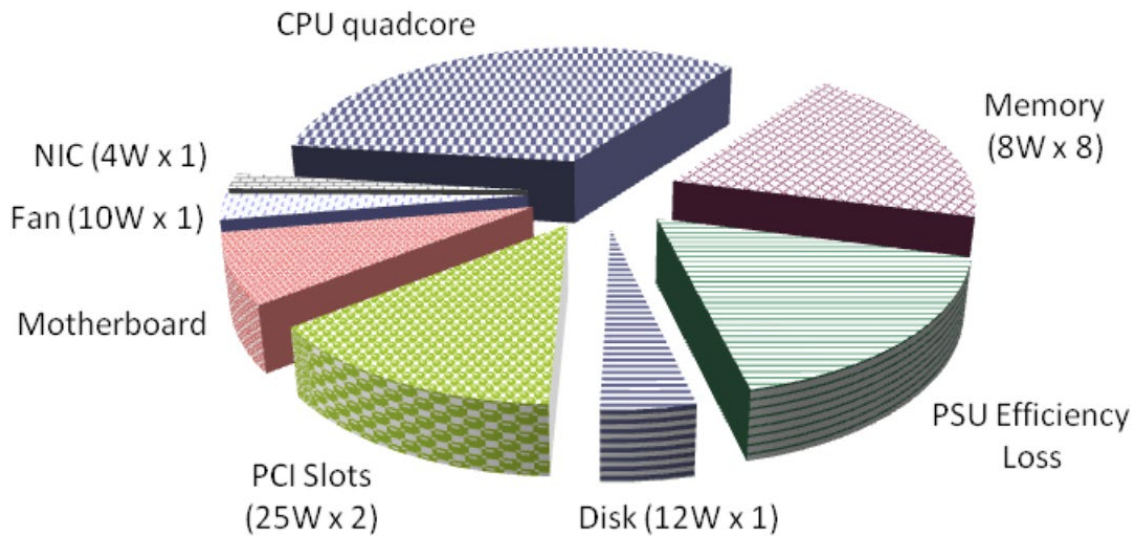
Ίσως, ακόμα πιο αμφιλεγόμενη σαν πηγή ενέργειας είναι η πυρηνική ενέργεια. Βάσει του Αμερικάνικου Γραφείου Πυρηνικής ενέργειας, είναι μία βιώσιμη και «καθαρή» πηγή ενέργειας (Energy, 2021), αν θεωρηθεί ότι:

- α. Έχει μηδενικούς ρύπους, ειδικά διοξειδίου του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα. Η θερμότητα που παράγεται από την πυρηνική διάσπαση χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού που κινεί τουρμπίνες και με την σειρά τους παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.
- β. Απαιτεί λιγότερη γη από οποιαδήποτε άλλη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Ένας τυπικός πυρηνικός αντιδραστήρας με ικανότητα παραγωγής 1.000 MW χρειάζεται περίπου 640 στρέμματα γης με γεννήτριες αέρα να απαιτούν 360 φορές παραπάνω χώρο ή 75 φορές παραπάνω στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών.
- γ. Παράγει ελάχιστα απόβλητα σε σχέση με την ενέργεια που παράγει. Ενδεικτικά, ένα κομμάτι ουρανίου 2.5 εκατοστά μπορεί να παράξει την ίδια ποσότητα ενέργειας που αντιστοιχεί στην καύση 480 κυβικών μέτρων φυσικού αερίου, ή 450 λίτρα πετρελαίου, ή ένας τόνος κάρβουνο.

Η έρευνα του Uptime Institute το 2022, έδειξε ότι οι χειριστές data centers τείνουν υπέρ της πυρηνικής ενέργειας, διατηρώντας επιφυλάξεις. Το 75% περίπου των όσων απάντησαν δήλωσε πως η πυρηνική ενέργεια έχει θέση είτε μακροπρόθεσμα είτε για μια μεταβατική περίοδο. Ωστόσο, οι Ευρωπαίοι απάντησαν κατά 35% ότι ο ρόλος πρέπει να είναι προσωρινός, έναντι 23% στην Βόρεια Αμερική. Εικάζεται ότι αυτή η διαφορά άποψης συνδέεται με τα ατυχήματα σε Τσέρνομπιλ και Φουκουσίμα, καθώς και στην απόφαση της Γερμανίας να κλείσει τα πυρηνικά της εργοστάσια και να συμπληρώσει την διαφορά στην παραγωγή ενέργειας με καύση ορυκτών καυσίμων (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022).

## **4.2 ΜΕΙΩΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ**

Σε ένα τυπικό διακομιστή, και χωρίς τις τελευταίες τεχνικές μείωσης της κατανάλωσης, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται χρησιμοποιείται από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας, ακολουθούμενη από την μνήμη RAM και την ενέργεια που χάνεται από το τροφοδοτικό του διακομιστή όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 15 (Beloglazov, Buyya, Lee, & Zomaya, 2011).



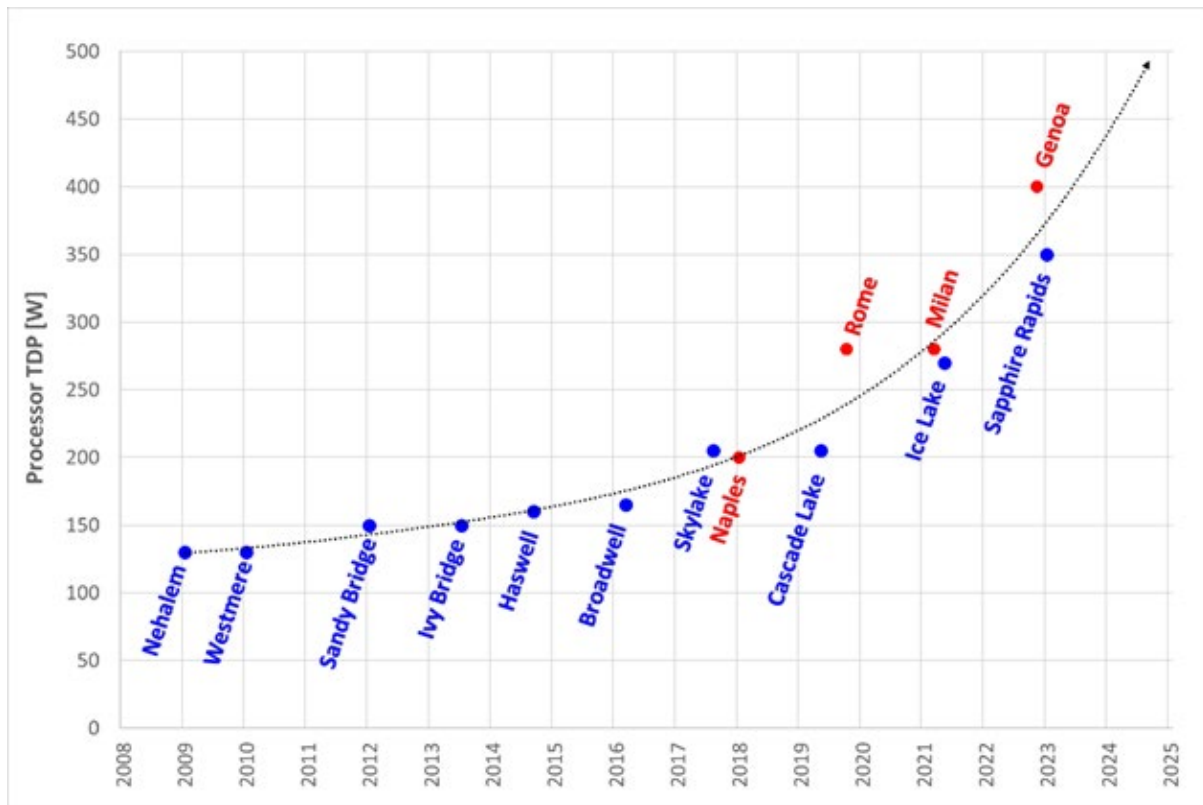
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΑΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟ. ΠΗΓΗ: ARXIV.ORG.

Την τελευταία δεκαετία, προσπάθειες από τους κατασκευαστές επεξεργαστών να μειώσουν περαιτέρω την κατανάλωσή τους, οδήγησαν στην ανάπτυξη της δυναμικής κλιμάκωσης τάσης και συχνότητας (Dynamic Voltage and Frequency Scaling, DVFS). Η τεχνική DVFS επιτρέπει στο λειτουργικό σύστημα να μειώσει την τάση ή και συχνότητα του επεξεργαστή (υψηλές συχνότητες απαιτούν και υψηλές τάσεις) ώστε η κατανάλωση να ρυθμίζεται βάσει του φόρτου εργασίας ανά πάσα στιγμή, καταναλώνοντας έτσι ένα κλάσμα της ενέργειας που αντιστοιχεί στην μέγιστη συχνότητα/τάση (Wolf, 2017).

Σαν αποτέλεσμα, μοντέρνοι επεξεργαστές μπορεί να καταναλώνουν 30% ή και λιγότερο από την μέγιστη κατανάλωσή τους, ένα εύρος 70%. Παρόμοιες τεχνικές εφαρμόζονται και σε άλλα στοιχεία των διακομιστών αλλά επιτυγχάνουν μικρότερο εύρος: λιγότερο από 50% για την μνήμη RAM, 25% για μαγνητικούς δίσκους, 15% για διακόπτες δικτύων και αμελητέο για άλλα στοιχεία.

Εν μέρει, ο λόγος είναι ότι οι επεξεργαστές έχουν την δυνατότητα να είναι ενεργοί αλλά σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενώ για παράδειγμα ο μαγνητικός δίσκος πρέπει να σταματήσει τις περιστροφές του και όταν είναι ανενεργός θα καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια, αλλά για να ξαναμπει σε λειτουργία θα υπάρχει καθυστέρηση χίλιες φορές μεγαλύτερη από τον μέσο χρόνο προσπέλασης (Beloglazov, Buyya, Lee, & Zomaya, 2011). Λόγω αυτής της ανεπιθύμητης συνέπειας, η μείωση της κατανάλωσης αυτών των στοιχείων ανάγεται σε πρόβλημα που αφορά την προσβασιμότητά τους.

Ενώ οι επεξεργαστές έχουν γίνει πιο αποδοτικοί όσον αφορά την υπολογιστική δύναμη ανά Wh, η κατανάλωσή τους ως στοιχείο και κατά συνέπεια το θερμικό τους αποτύπωμα έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια (Εικόνα 16). Αυτό σημαίνει περισσότερη παραγόμενη θερμότητα και μεγαλύτερη ανάγκη για ψύξη.



ΕΙΚΟΝΑ 16: ΤΑΣΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ (TDP) ΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ. ΠΗΓΗ: DELL TECHNOLOGIES.

### 4.3 ΥΔΡΟΨΥΞΗ ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα (1.4.4), τα περισσότερα data centers βασίζονται στην εναλλαγή ζεστού αέρα με κρύο αέρα για την διατήρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των διακομιστών σε επίπεδα που εξασφαλίζουν την ασφάλεια και καλή λειτουργία τους. Ενώ οι μοντέρνοι επεξεργαστές έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες θερμοκρασίας και κυκλώματα που μειώνουν την ταχύτητα επεξεργασίας αν η θερμοκρασία υπερβεί κάποιο όριο, για τα data centers, η αποδοτική λειτουργία των επεξεργαστών έχει οικονομικό αντίκτυπο.

Το 2008, η Αμερικανική Εταιρία Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (ASHRAE) ανανέωσε την προηγούμενη οδηγία της (2004) όσον αφορά την θερμοκρασία του

περιβάλλοντος αέρα, από 20-25°C, σε 18-27°C (Winterford, 210). Αυτή η διαφορά δύο βαθμών μπορεί να είναι ουσιαστική για την κατανάλωση ενέργειας που αφορά την ψύξη των διακομιστών.

Το θέμα ωστόσο είναι κι εδώ πολυδιάστατο, αφού οι κατασκευαστές διακομιστών συμπεριλαμβάνουν ειδικές ρήτρες στις εγγυήσεις των διακομιστών που την ακυρώνουν αν ο διακομιστής δεν λειτουργεί στις προκαθορισμένες παραμέτρους. Η Google ήταν μια από τις πρώτες μεγάλες εταιρίες που αύξησε την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, πέραν των 27°C, έως και 35°C (Miller, 2012). Αργότερα, η Dell, μια από τις μεγαλύτερες κατασκευαστικές εταιρίες διακομιστών δήλωσε ότι θα ανανεώσει τις ρήτρες ώστε να υποστηρίζουν την λειτουργία των διακομιστών της με εισαγόμενο αέρα έως και 45°C, για περιορισμένο αριθμό ορών ανά έτος.

Πριν εξεταστούν πιο εξελιγμένες μορφές συστήματος ψύξης, είναι χρήσιμο να γίνει ποσοτικοποίηση της δυνατής βελτίωσης. Σε μελέτη από τον κατασκευαστή τεχνολογίας Vertiv σε data center στο Λονδίνο (Πίνακας 3) με αρχικό δείκτη PUE 1,212, ο δείκτης βελτιώθηκε 0,098 μονάδες μόνο ανεβάζοντας την θερμοκρασία του περιβαλλοντικού αέρα στους 27°C. Η διαφορά στην θερμοκρασία αυτή με το εξωτερικό άνοιξε δρόμο για ψύξη χωρίς χρήση συμπιεστή με αποτέλεσμα ο δείκτης PUE να μειωθεί στο 1,094. Τέλος, με την αξιοποίηση ενός αδιαβατικού συστήματος που ψύχει τον αέρα πιέζοντας τον μέσα από κυψέλες με υγρασία, ο δείκτης PUE κατέληξε στην τιμή 1,082, δηλαδή 0,130 μονάδες κάτω από την αρχική τιμή, χωρίς μεγάλη επένδυση (Butler, Gore, Rebarber, & Moscheni, 2023).

London 12MW	pPUE	WUE [l/kWh]	TEWI (10y) - total ton of CO <sub>2</sub>			Freecooling hours [h]	FC + Mixed mode [h]
			Direct	Indirect	Total		
Baseline	1.212	0.000	689	102277	102966	0	0
Increasing air and water temperatures	1.114	0.000	344	55248	55592	5416	8515
Optimization of the chilled water system control	1.100	0.000	344	48493	48837	5416	8678
Improved compressor technology and low-GWP refrigerant	1.094	0.000	1	45231	45231	5416	8678
Adiabatic system	1.082	0.162	1	39805	39805	6849	8760

ΕΙΚΟΝΑ 17: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟ ΛΟΝΔΙΝΟ, ΟΠΟΥ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΤΕ ΔΕΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΠΛΗΡΩΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΜΕΣΗΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ. ΠΗΓΗ: DATA CENTRE DYNAMICS.

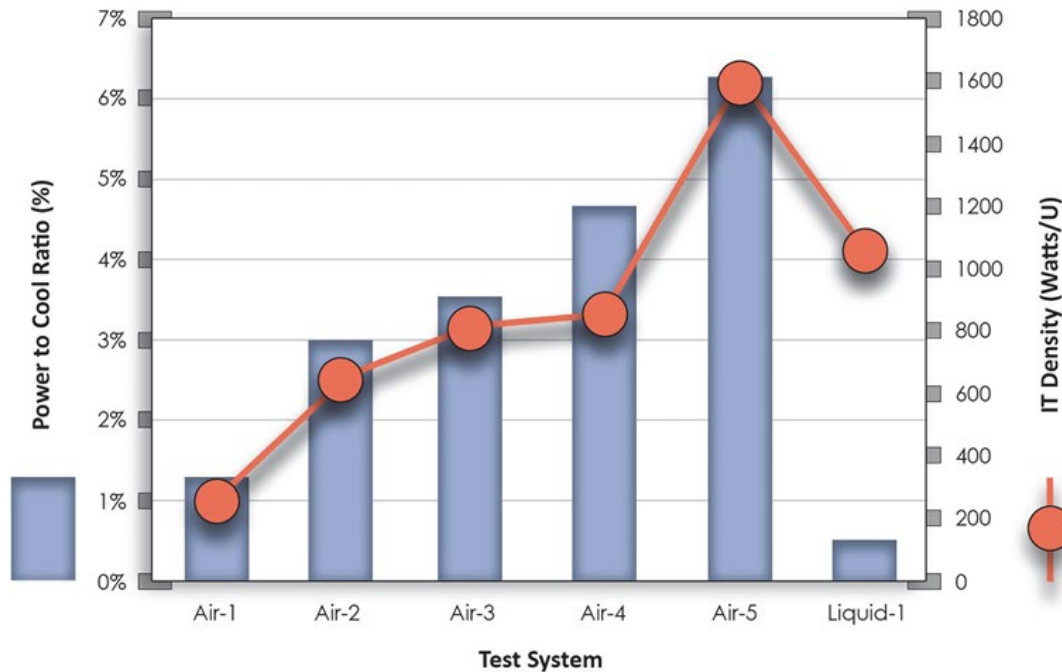


Η απόδοση των συστημάτων ψύξης μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω σε περιοχές όπου το κλίμα κυμαίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και ο κρύος αέρας μπορεί να εισαχθεί από τον εξωτερικό χώρο του data center. Άλλες τεχνικές που αυξάνουν την απόδοση της ψύξης με φυσικούς τρόπους περιλαμβάνουν (Borgini, 2022):

- α. Γεωθερμική ψύξη. Η θερμοκρασία κάτω από την επιφάνεια της γης είναι χαμηλότερη από την επιφάνεια και σταθερή. Στα data centers που εκμεταλλεύονται την φυσική ιδιότητα αυτή, ένα κλειστό σύστημα με σωλήνες που μεταφέρουν νερό ή κάποιο ψυκτικό υγρό, περνάει σε βάθος πριν επανέλθει στο εσωτερικό του data center.
- β. Ψύξη με εξάτμιση. Όταν νερό εκτίθεται σε κινούμενο αέρα, αρχίζει να εξατμίζεται και να μετατρέπεται σε αέριο, απελευθερώνοντας θερμότητα. Τα συστήματα που εκμεταλλεύονται την φυσική ιδιότητα αυτή, έχουν έναν ανεμιστήρα να εξαγάγει ζεστό αέρα από το data center που περνάει μέσα από κάποιο υλικό που έχει υγρανθεί με νερό ή ψυκτικό υγρό και όπως το υγρό εξατμίζεται η θερμοκρασία του αέρα πέφτει και ο αέρας εισάγεται πάλι στο data center (Chu & Huang, 2023).

Η υδρόψυξη ήταν η 4<sup>η</sup> τεχνολογία που πιστεύουν οι χειριστές data centers ότι θα επιφέρει βελτιώσεις στην αποδοτικότητα (Εικόνα 19). Σαν τεχνολογία υπάρχει για πάνω από 50 χρόνια αλλά η μικρή ζήτηση δεν κατέληξε στην τυποποίηση της (ASHRAE, 2019). Η ανάπτυξη της ζήτησης λόγω της εξέλιξης του AI άνοιξε δρόμο για αυτό και η εφαρμογή φαίνεται πλέον μονόδρομος αν αναλογιστούμε τις παρακάτω συνθήκες.

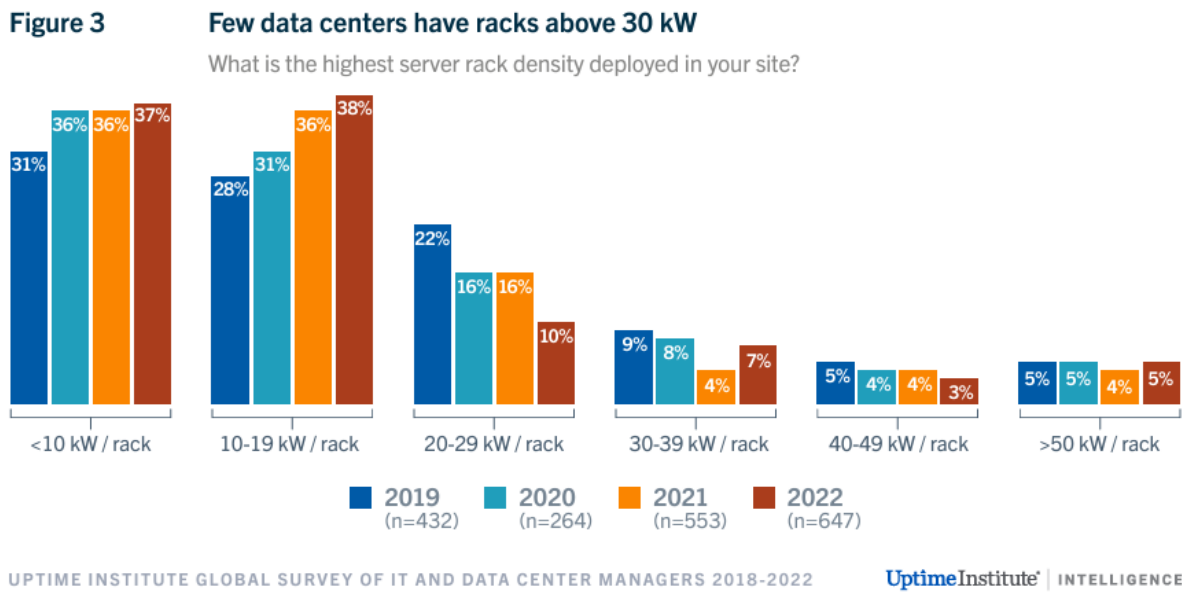
Η πυκνότητα των ραφιών των διακομιστών αυξάνεται σταθερά με ένα μεγάλο ποσοστό data centers να αναφέρουν ράφια άνω των 20kW το 2022 (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022) και τον μέσο όρο να ξεπερνάει τα 20 kW το 2023 (Donnellan, et al., 2023). Η αύξηση της πυκνότητας όχι μόνο αυξάνει την κατανάλωση αλλά παράλληλα αυξάνει την ενέργεια που απαιτείται για να μεταφερθεί ο αέρας και μειώνει την αποδοτικότητα της ψύξης (Εικόνα 18).



ΕΙΚΟΝΑ 18: ΚΛΑΣΜΑ ΙΣΧΥΟΣ ΠΡΟΣ ΨΥΞΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΕΣ. ΠΗΓΗ: ASHRAE.

Η αερόψυξη ως τεχνολογία εφαρμόζεται εδώ και πάρα πολλά χρόνια και είχε την ευκαιρία να ωριμάσει σε σημείο που περιορίζεται από τις φυσικές ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας του αέρα (Butler, Gore, Rebarber, & Moscheni, 2023). Το νερό έχει 3500 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα θερμότητας από τον αέρα και έτσι μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερες ποσότητες της.

Ενώ τα τελευταία χρόνια οι χειριστές data centers είχαν ανεβάσει την θερμοκρασία στην οποία λειτουργούσαν τα data centers, παρατηρείται πως αν συνεχιστεί η αύξηση του TDP των επεξεργαστών θα πρέπει να χαμηλώσει και η θερμοκρασία του αέρα για να μπορέσει να έχει αποδοτικότητα η αερόψυξη, με την αντίστοιχη ποινή όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και τον δείκτη PUE (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022).



ΕΙΚΟΝΑ 19: ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΧΕΙΡΙΣΤΩΝ DATA CENTERS ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΡΑΦΙΩΝ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ. ΠΗΓΗ: UPTIME INSTITUTE 2022 DATA CENTER INDUSTRY SURVEY.

Πέραν της αποδοτικότερης ψύξης, σε σχέση με τεχνολογίες αερόψυξης που χρησιμοποιούν νερό, η υδρόψυξη μπορεί να καταναλώσει ακόμα λιγότερο νερό, εφόσον το νερό ανακυκλώνεται αντί να απελευθερώνεται στο περιβάλλον, όπως στην ψύξη μέσω της εξάτμισης, συμβάλλοντας περαιτέρω στη βιωσιμότητα ενός data center. Ένα τυπικό data center που χρησιμοποιεί ψύξη μέσω εξάτμισης μπορεί να καταναλώσει όσα λίτρα νερού χρειάζεται μια μικρή πόλη 50,000 κατοίκων (Judge, Powering sustainability, 2023).

Παρατηρούνται τρεις κύριοι τύποι υδρόψυξης με διαφορετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τον τύπο μονάδας διανομής ψυκτικού υγρού Πίνακας 3 (Lin, Bungler, & Avelar, Navigating Liquid Cooling Architectures for Data Centers with AI Workloads, 2024).

Τύπος CDU	Αποδοτικότητα	Απαιτήσεις υποδομής
Αποβολή θερμότητας στον αέρα του data center.	Μικρή.	Καμία. Μπορεί να εφαρμοστεί σε υπάρχοντα data centers.

Αποβολή θερμότητας στα συστήματα νερού του data center.	Μεγάλη.	Απαιτεί εγκαταστάσεις ψύξης.
Αποβολή θερμότητας σε ανεξάρτητα συστήματα νερού.	Πολύ μεγάλη.	Απαιτεί σωληνώσεις .

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΚΥΡΙΟΙ ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΨΥΞΗΣ ΒΑΣΕΙ ΜΟΝΑΔΙΑΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΥΓΡΟΥ (CDU).

Ο πρώτος τύπος υδρόψυξης που αρμόζει και σε διακομιστές παλαιότερης γενιάς που ψύχονται με αέρα εσωτερικά είναι οι εναλλάκτες θερμότητας που προσαρμόζονται στο πίσω μέρος του διακομιστή. Μια σπείρα γεμισμένη με υγρό απορροφάει και μεταφέρει την θερμότητα που εξάγεται από τον διακομιστή (Butler, Gore, Rebarber, & Moscheni, 2023).

Ο δεύτερος τύπος υδρόψυξης προϋποθέτει διακομιστές αποκλειστικά σχεδιασμένους για υδρόψυξη αφού μεταφέρει το υγρό κατευθείαν στον επεξεργαστή και αλλά μικροτσιπ. Το υγρό μεταφέρεται είτε σε κρύα πλάκα που απορροφά την θερμότητα ή μεταφέρεται σε σημείο όπου μπορεί να εξατμιστεί και να απελευθερωθεί στο περιβάλλον (Butler, Gore, Rebarber, & Moscheni, 2023).

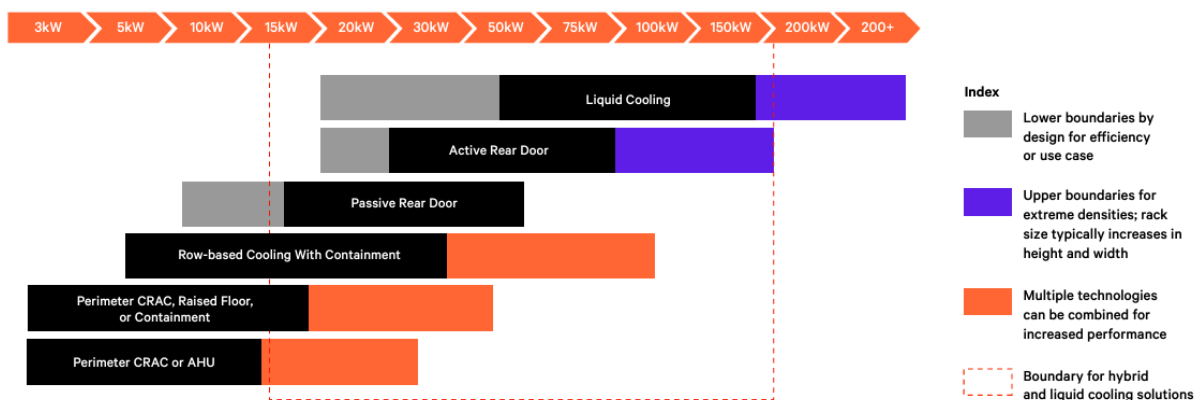
Μια εφαρμογή της υδρόψυξης που πλαισιώθηκε στα πλαίσια της επεξεργασίας που είναι απαραίτητη για την παραγωγή των κρυπτονομισμάτων είναι η ψύξη μέσω βύθισης (immersion cooling), όπου τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και οι πλακέτες των διακομιστών, αντί να στεγάζονται σε σασί αλουμινίου, είναι βυθισμένα σε κάποιο διηλεκτρικό υγρό του οποίου ο ρόλος είναι η ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας.

Σε αντίθεση με το νερό, το υγρό μέσα στις δεξαμενές που στεγάζονται οι διακομιστές δεν είναι επιβλαβής προς τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και σχεδιασμένο να φτάνει το σημείο βρασμού στους 50 βαθμούς Κελσίου, 50 βαθμούς λιγότερο από το σημείο βρασμού του νερού. Το αποτέλεσμα του βρασμού είναι να μεταφέρει θερμότητα μακριά από τους επεξεργαστές και οι ατμοί έρχονται σε επαφή με το καπάκι της δεξαμενής που ψύχεται κι έτσι μετατρέπει τον ατμό πάλι σε υγρό για να επιστρέψει στην δεξαμενή, δημιουργώντας ένα κλειστό κύκλωμα. Έτσι οι διακομιστές μπορούν να συνεχίσουν να δουλεύουν χωρίς

ρίσκο υπερθέρμανσης (Roach, To cool datacenter servers, Microsoft turns to boiling liquid, 2021).

Σε πρώτες δοκιμές από την Microsoft, βρέθηκε ότι η τεχνική αυτή θα μπορούσε να σημάνει μειώσεις 5-15% στην κατανάλωση ανά διακομιστή. Το σχήμα χρησιμοποιήθηκε στους διακομιστές που παράγουν κρυπτονομίσματα, λόγω της απαίτησης για επεξεργασία με κάρτες γραφικών που αυξάνουν δραματικά την κατανάλωση ρεύματος αλλά και διατηρούν την χρησιμοποίηση του διακομιστή σε υψηλά επίπεδα (Quirk & Stabinski, 2021). Σαν συνθήκες, είναι όμοιες με αυτές των διακομιστών που εκπαιδεύουν ή εκτελούν μοντέλα AI.

Τέλος, έχουν μελετηθεί συνδυασμοί αερόψυξη και υδρόψυξης που μπορούν να περιορίσουν την επένδυση που χρειάζεται για να αυξηθεί η απόδοση της ψύξης όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 21 (Vertiv, 2023).



ΕΙΚΟΝΑ 20: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΑΕΡΟΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΨΥΞΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΝΑ ΨΥΞΟΥΝ ΡΑΦΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ. ΠΗΓΗ: VERTIV.

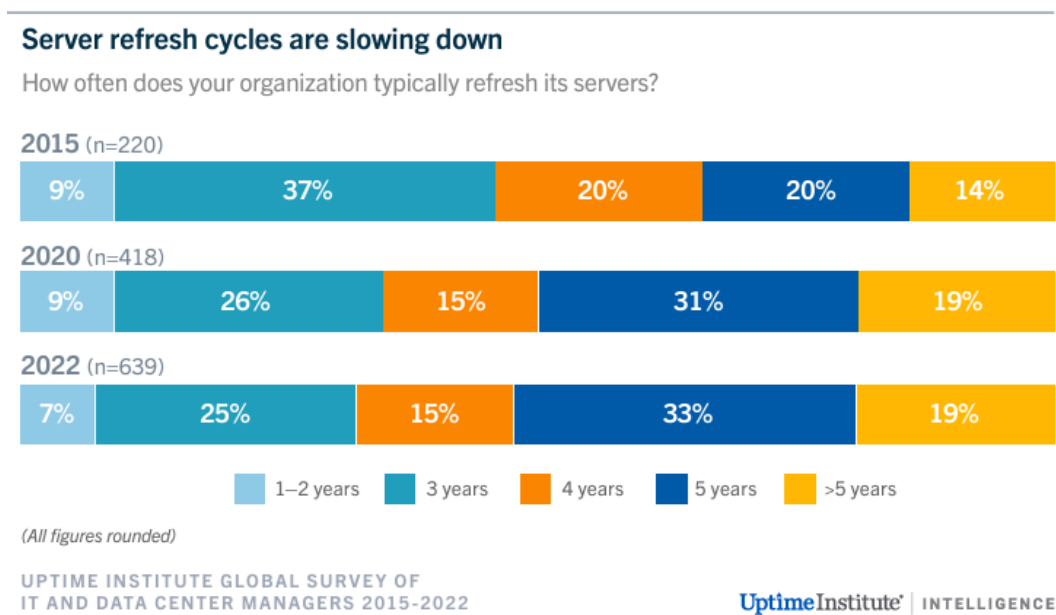
Πέραν της μεγαλύτερης απόδοσης στην ψύξη, τα συστήματα υδρόψυξης ανοίγουν την πόρτα και στην αξιοποίηση της θερμότητας για άλλες εφαρμογές. Ενώ ο αέρας δεν διατηρεί εύκολα την θερμοκρασία του ώστε να μεταφερθεί σε άλλες εγκαταστάσεις που χρειάζονται θερμότητα ώστε να χρησιμοποιηθεί, το νερό και άλλα υγρά είναι πιο κατάλληλοι μεταγωγείς. Επίσης, ο απόβλητος αέρας από συστήματα αερόψυξης βρίσκεται στους 30-40°C σε αντίθεση με την υδρόψυξη που μπορεί να φτάσει και τους 60°C (Butler, Gore, Rebarber, & Moscheni, 2023).

#### 4.4 ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ

Την τελευταία δεκαετία περίπου, παρατηρείται αύξηση στους κύκλους ανανέωσης των διακομιστών, που σημαίνει ότι χειριστές data centers διατηρούν τους διακομιστές σε λειτουργία για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα πριν τους αντικαταστήσουν (Εικόνα 22) (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022). Από μέσο όρο τα 3 χρόνια το 2015, ο μέσος όρος το 2020 πλαισιώθηκε στα 5 χρόνια (DCD, 2023). Οι λόγοι για αυτήν την τάση δεν είναι μόνο τεχνολογικοί αλλά και οικονομικοί.

Για πολλά χρόνια, η πρόοδος των μικροεπεξεργαστών ακολουθούσαν τον νόμο του Moore, που αποτυπώνει την παρατήρηση ότι ο αριθμός των τρανζίστορ σε ένα μικροσίπ διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια (Intel, 2023). Δηλαδή, ότι κάθε δύο χρόνια οι επεξεργαστές θα ήταν μικρότεροι, πιο γρήγοροι και θα απαιτούσαν λιγότερη ενέργεια. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, και οι δυο μεγάλοι κατασκευαστές επεξεργαστών, Intel και AMD, δεν έχουν επιτύχει να συνεχίσουν αυτήν την τάση.

Έτσι, κρίνοντας από την απόδοση ανά Watt, ένας διακομιστής που εγκαταστάθηκε το 2008 και αναβαθμίστηκε το 2012, μπορούσε να επιτύχει δύο με τρεις φορές καλύτερη απόδοση. Από την άλλη, ένας διακομιστής που εγκαταστάθηκε το 2015 και αναβαθμίστηκε το 2019, μπορούσε να επιτύχει μια βελτίωση της τάξεως του 20% (Bashroush, 2020).



ΕΙΚΟΝΑ 21: ΚΥΚΛΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΩΝ. ΠΗΓΗ: UPTIME INSTITUTE.

Πέρα λοιπόν της απόδοσης, οικονομικοί λόγοι υποστηρίζουν αυτήν την τάση. Από τις αρχές του 2020 που παρατηρούνται ελλείψεις σε ημιαγωγούς, οι τιμές αυξήθηκαν μαζί με τους χρόνους παράδοσης για διάφορα στοιχεία. Έτσι, οι εταιρίες αναγκάστηκαν να ζυγίσουν με μεγαλύτερη προσοχή αν οι τελευταίες εξελίξεις στα μοντέλα των διακομιστών θα επέφεραν την αντίστοιχη επιχειρηματική αξία ώστε να δικαιολογήσουν το αυξημένο κόστος (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022).

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να τονίσουμε πως έρευνες αποκαλύπτουν ότι τα ποσοστά αστοχίας υλικού για διακομιστές είναι λιγότερο από 0.5%, ακόμα και σε μια περίοδο 10-15 ετών (DCD, 2023), οπότε ένας κύκλος ανανέωσης μικρότερος από αυτό το διάστημα θα έπρεπε να βασίζεται σε ξεκάθαρα κριτήρια που σχετίζονται με την απόδοση ανά Watt ή/και το περιβαλλοντολογικό αντίκτυπο. Σύμφωνα με την τελευταία αναφορά για τα ηλεκτρονικά απόβλητα, 53,6 εκατομμύρια τόνοι ηλεκτρονικών αποβλήτων δημιουργήθηκαν το 2019, με μόνο 17.4% αυτών επίσημα τεκμηριωμένα ως ανακυκλωμένα (DCD, 2023).

Τέλος, η τάση προς το υπολογιστικό νέφος σημαίνει ότι πλέον οι διακομιστές ανήκουν στον χειριστή του data center, και έτσι έχουν ισχυρό κίνητρο να αντλήσουν όσο δυνατόν μεγαλύτερη αξία γίνεται από την επένδυσή τους αυτή. Σε ένα μοντέλο συνεγκατάστασης, ο διακομιστής ανήκει στον πελάτη, οπότε το data center δεν έχει λόγο στον κύκλο ανανέωσης ή στην μοίρα του διακομιστή μετά το τέλος ζωής του.

#### **4.5 ΕΙΚΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ως εικονικοποίηση ορίζεται η μέθοδος διαχωρισμού ενός διακομιστή, μέσω ειδικού λογισμικού, σε πολλαπλούς εικονικούς υπολογιστές, που συνήθως ονομάζονται εικονικές μηχανές (IBM, 2024). Η εικονικοποίηση προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα στην διαχείριση φόρτων εργασίας, με το πιο σημαντικό στα πλαίσια της βιωσιμότητας να είναι η αποτελεσματική αξιοποίηση των διακομιστών, δεδομένου ότι ο μέσος φόρτος ενός επεξεργαστή σε ένα data center είναι 30% (Katal, Dahiya, & Choudhury, 2022). Μέσω της εικονικοποίησης, πολλαπλοί φόρτοι εργασίας μπορούν να εκτελεστούν στον ίδιο διακομιστή χωρίς ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Περαιτέρω, η εικονικοποίηση εισάγει ένα ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ του λειτουργικού συστήματος που διαχειρίζεται τους πόρους του διακομιστή και τις εφαρμογές τις οποίες εκτελούνται σε αυτόν. Έτσι καθίσταται δυνατή η μεταφορά ενός φόρτου εργασίας από έναν διακομιστή σε άλλον ώστε να υπάρχει αποδοτικός προγραμματισμός, και έτσι μικρότερη κατανάλωση μεταξύ μιας ομάδας διακομιστών.

Η τακτική μεταφοράς και ενοποίησης εικονικών μηχανών, μπορεί να μειώσει, αλλά δυστυχώς όχι να εξαλείψει και το πρόβλημα που εντοπίζεται με τους διακομιστές «ζόμπι» (Katal, Dahiya, & Choudhury, 2022). Η ονομασία αυτή έχει αποδοθεί σε διακομιστές οι οποίοι λειτουργούν χωρίς όμως να χρησιμοποιούνται πρακτικά. Με άλλα λόγια, ο φόρτος εργασίας τους είναι απαρχαιωμένος αλλά για λόγους κακής οργάνωσης δεν τέθηκαν εκτός λειτουργίας επειδή το ρίσκο κάποιας ανεπιθύμητης παρενέργειας είναι μεγαλύτερο του κόστους.

Για εταιρίες με πολλαπλά data centers σε διαφορετικές περιοχές που μπορεί να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά την ηλεκτροδότηση, κάποιοι φόρτοι εργασίας για τους οποίους έχει καθυστέρηση σε επικοινωνίες δικτύου δεν έχουν μεγάλο αντίκτυπο, μπορούν να μεταφερθούν σε άλλη περιοχή για εκτέλεση. Για παράδειγμα, έστω ότι μια εταιρία λειτουργεί δύο data centers με ηλιακή ενέργεια, η οποία εκμηδενίζεται αποδίδει μετά την δύση του ηλίου, μπορεί να εκτελεί κατάλληλους φόρτους εργασίας με προτεραιότητα το data center που έχει την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια την δεδομένη στιγμή (Beloglazov, Buyya, Lee, & Zomaya, 2011).

Όπως και με τις περισσότερες πρακτικές, υπάρχουν φυσικά και μειονεκτήματα, αφού η μεταφορά ενός φόρτου εργασίας από έναν διακομιστή σε έναν άλλο έχει κόστος, σε μορφή καθυστέρησης.

#### **4.6 ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ**

Ενώ μέχρι τώρα οι περισσότερες βελτιώσεις στη βιωσιμότητα των data center ήρθαν κυρίως μέσω της εξέλιξης της υποδομής των data center και των επεξεργασιών, η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση ως τεχνολογίες λογισμικού ανοίγουν νέους δρόμους προς τη βιωσιμότητα.



Βελτιώσεις μέσω του λογισμικού είναι δυνατές και χωρίς την τεχνητή νοημοσύνη ή την μηχανική μάθηση, αλλά πολλές φορές αυτό απαιτεί το λογισμικό να χάσει την γενικοποίησή του. Για παράδειγμα, ενώ με το σχήμα του DVFS (ενότητα 1.7) θα ήταν τεχνολογικά εφικτό μια εφαρμογή να συμμετέχει στις αποφάσεις για την διαχείριση της συχνότητας/τάσης του επεξεργαστή, αυτή η αλλαγή θα απαιτούσε παραμετροποίηση για κάθε εφαρμογή και ενδεχομένως κάθε διαφορετικό διακομιστή ξεχωριστά, κάτι που δεν είναι εύκολα εφικτό (Beloglazov, Buyya, Lee, & Zomaya, 2011).

Αντίθετα, αυτές οι τεχνολογίες είναι πιο κατάλληλες προς εφαρμογή στο επίπεδο του data center και όχι του διακομιστή γιατί μπορούν να συντονίσουν πολλαπλά συστήματα λαμβάνοντας υπόψη του περισσότερες μεταβλητές και δεδομένα από ότι μπορεί να λάβει υπόψη του ένας άνθρωπος (Yang, et al., 2021).

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τον προγραμματισμό των φόρτων εργασιών για ένα ολόκληρο ή και πολλαπλά data centers, απαιτείται θεώρηση των μοτίβων κίνησης του δικτύου, τις συμφωνίες σε επίπεδο υπηρεσιών των πελατών, την καθυστέρηση του δικτύου και γενικότερα την απαιτούμενη επίδοση καθώς και την αντιγραφή δεδομένων (Katal, Dahiya, & Choudhury, 2022), δηλαδή ένα τεράστιο χώρο ανάλυσης και πεδίο εφαρμογής (Isaev, Kornilov, & Grigoriev, 2023). Γενικώς, όσο μικρότερη αστάθεια υπάρχει στην ζήτηση, τόσο πιο εύκολες είναι οι προβλέψεις και έτσι η εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, αυτό είναι σπάνια εφικτό.

Μια συστηματική αξιολόγηση της βιβλιογραφίας μερικά χρόνια πριν, το 2016, εντόπισε τουλάχιστον 200 μοντέλα που μπορούν να προβλέψουν την κατανάλωση διάφορων στοιχείων (κυκλώματα γενικότερα, διακομιστές, επεξεργαστές, κάρτες γραφικών, και ούτω καθεξής) (Panwar, Rauthan, & Barthwal, 2022).

Σε επίπεδο συστήματος, η απόδοση της ψύξης έχει μοντελοποιηθεί μέσω θερμοδυναμικής, για την πρόβλεψη της διανομής θερμοκρασίας σε αερόψυκτα data centers (Moazamigoodarzi, Tsai, Pal, Ghosh, & Puri, 2019). Ένα μοντέλο με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας προσπαθεί να εξισορροπήσει την ισχύ που δαπανείται για επεξεργασία έναντι ψύξης, μέσω γενετικών αλγορίθμων (Lin & Deng, 2017).

Μοντέλα που δεν μπορούν να προβλέψουν την αλληλεπίδραση μεταξύ πολλαπλών στοιχείων ή συστημάτων και βάσει εξωτερικών παραγόντων, έχουν περιορισμένη χρησιμότητα σε ένα πολύπλοκο οικοσύστημα όπως ένα data center και για το λόγο αυτό υπάρχουν αρκετά μοντέλα που συμπεριλαμβάνουν πάνω από ένα υποσύστημα (Yang, et al., 2021). Κάποια μοντέλα μάλιστα προσπαθούν να μοντελοποιήσουν μόνο αυτές τις σχέσεις χωρίς λεπτομερή μοντέλα για το εσωτερικό κάθε στοιχείου, ώστε να είναι πιο προσβάσιμα σε ερευνητές (Zhabelova, Vesterlund, Eschmann, & Berezovskaya, 2018).

Εν τέλει, ίσως η πιο επιτυχημένη και ευρεία εφαρμογή της μηχανικής μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης στην μείωση του περιβαλλοντικού αντικτύπου ενός data center είναι η περίπτωση του DeepMind της Google. Το 2006, η εταιρία ανέφερε ότι χρησιμοποίησαν το DeepMind για να βελτιστοποιήσουν και να αυτοματοποιήσουν τα data centers της. Το μοντέλο εκπαιδεύτηκε με δεδομένα πέντε ετών από προηγούμενη χρήση και δέχεται πάνω από 120 παραμέτρους, βάσει εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων, όπως θερμοκρασίες, κατανάλωση ενέργειας, ρύθμιση του κλιματισμού, το άνοιγμα ή κλείσιμο παραθύρων, ταχύτητα ανεμιστήρων και άλλα (Isaev, Kornilov, & Grigoriev, 2023). Ανάλογα με τον φόρτο των διακομιστών, το σύστημα ρυθμίζει αντίστοιχα την ψύξη, σε πραγματικό χρόνο, για την μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Μέσω αυτής της τεχνολογίας, η Google κατάφερε να ξοδεύει 40% ενέργεια για ψύξη (Burgess, 2016) χαμηλώνοντας έτσι τον δείκτη PUE στην τιμή 1.1 (Kelechi, και συν., 2020).

Ένας τομέας που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια είναι η μηχανική μάθηση στα πλαίσια της συντήρησης βάσει συνθηκών (condition-based maintenance, CBM). Το CBM είναι μια τεχνική συντήρησης που απαιτεί παρακολούθηση της κατάστασης ενός βιομηχανικού στοιχείου ώστε να καθορίσει πότε πρέπει να υποστεί συντήρηση ώστε να αποφευχθούν βλάβες (Sharma, Mittal, & Soni, 2022), (Ahmed, Mourin, & Ahmed, 2021). Οι τεχνικές αυτές έχουν ευρύ φάσμα και αφορούν το Industry 4.0, ωστόσο έχουν μόνο έμμεση σχέση με τη βιωσιμότητα, εφόσον μηχανές που συντηρούνται καλύτερα έχουν λιγότερες βλάβες και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μειώνοντας έτσι τα ηλεκτρονικά απόβλητα.

## 4.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΩΝ DATA CENTER

Από τις προηγούμενες ενότητες φαίνεται πως η εξέλιξη ενός data center ώστε να είναι πιο βιώσιμο μπορεί να είναι δύσκολο και κοστοβόρο, όχι μονάχα λόγω της απαραίτητης επένδυσης αλλά και δεδομένου του ρίσκου που έχουν μεγάλες αλλαγές σε έναν τόσο ανταγωνιστικό χώρο. Υπό αυτήν την έννοια, η κατασκευή ενός data center από το μηδέν, έναντι της μετατροπής ενός υπάρχοντος κτηρίου προσφέρει πολλές ευκαιρίες για την βελτίωση της βιωσιμότητάς του.

Ενώ η μεγαλύτερη έμφαση ως τώρα δίνεται στην μείωση των ρύπων διοξειδίου του άνθρακα, οι βελτιώσεις στην αποδοτικότητα της ενέργειας θα αρχίσουν να φθίνουν, αργά ή γρήγορα. Αντίθετα, αυτό στο οποίο δεν δίνεται ιδιαίτερη σημασία ακόμα, είναι το αντίκτυπο του άνθρακα των δομικών υλικών. Ο λεγόμενος «ενσωματωμένος άνθρακας» είναι το άθροισμα όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που είναι αποτέλεσμα της εξόρυξης, συγκομιδής, επεξεργασίας, κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης δομικών υλικών, τα οποία αποτελούν σημαντική πηγή εκπομπών παγκοσμίως, περίπου 11% (DCD, 2023).

Συγκεκριμένα, το τσιμέντο και το ατσάλι είναι δύο δομικά υλικά με μεγάλο ενεργειακό αντίκτυπο που απαρτίζουν μεγάλο ποσοστό ενός data center. Κατά μέσο όρο, από το σύνολο του αποτυπώματος άνθρακα της ανέγερσης ενός data center, 40% αυτού αντιστοιχεί στο τσιμέντο, 25% τα ορυκτά καύσιμα και 20% αντιστοιχεί στο ατσάλι που χρησιμοποιείται (DCD, 2023). Ενδεικτικά, ένας τόνος τσιμέντο αντιστοιχεί σε αποτύπωμα ίσο με 1.25 τόνους διοξειδίου του άνθρακα.

Αν και το θέμα του ενσωματωμένου άνθρακα είναι αρκετά νέο, υπάρχουν ήδη κάποιες εμπορικές εξελίξεις που προσφέρουν πιο βιώσιμες εναλλακτικές, όπως τα οικολογικά τούβλα τα οποία προέρχονται από ανακυκλωμένο πλαστικό που έχει συμπιεστεί σε σημείο που είναι συμπαγές (Hopkins, 2014).

Ωστόσο, επειδή οι χειριστές data centers έχουν σαν πρώτες προτεραιότητες την ανθεκτικότητα και τον πλεονασμό αντί της βιωσιμότητας, ακόμα δεν υπάρχει ευρεία χρήση αυτών των υλικών (DCD, 2023).

**ΤΕΧΝΙΚΗ**

**ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ**

**ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

**ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

**ΕΥΚΟΛΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ**

<i>Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας</i>	Ηλεκτροδότηση – κύρια	Μέσω πιστοποιητικών ανανεώσιμης ενέργειας, μέρος της κατανάλωσης του data center υποστηρίζει την παραγωγή και την επιπλέον επένδυση σε υποδομές ανανεώσιμων πηγών.	Μεγάλο κόστος για ανάπτυξη ιδιόκτητης υποδομής και προϋποθέτει μεγάλες εκτάσεις γης, συνήθως. Απρόβλεπτη παραγωγή.	Εύκολη υλοποίηση εφόσον γίνει μέσω πιστοποιητικών ανανεώσιμης ενέργειας. Δύσκολη για ιδιόκτητη υποδομή.
<i>Biodiesel</i>	Ηλεκτροδότηση – εφεδρική	Δεν απαιτεί ορυκτά καύσιμα.	Μεγαλύτερο κόστος. Μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην καύση αν δεν είναι καλής ποιότητας.	Εύκολη εφόσον υπάρχει τοπικός προμηθευτής υψηλής ποιότητας biodiesel.
<i>Μπαταρίες λιθίου</i>	Ηλεκτροδότηση – εφεδρική	Δεν απαιτεί ορυκτά καύσιμα.	Κόστος αντικατάστασης για υπάρχουσες υποδομές. Περιορισμένη παροχή ενέργειας έναντι γεννητριών.	Μέτρια.
<i>Κυψέλες καύσιμου</i>	Ηλεκτροδότηση – εφεδρική	Δεν απαιτεί ορυκτά καύσιμα. Με βάση το υδρογόνο, το απόβλητο είναι νερό.	Περιορισμένες πηγές καυσίμου που έχουνε παραχθεί με βιώσιμο τρόπο.	Δύσκολη, εκτός αν το data center τοποθετηθεί κοντά σε επιχείρηση της οποίας τα απόβλητα μπορούν να αποτελέσουν καύσιμο.
<i>Υδρόψυξη</i>	Ψύξη	Μεγαλύτερη απόδοση ψύξης και επίτευξη μεγαλύτερης πυκνότητας. Μπορεί να συνδυαστεί με υπάρχοντα συστήματα αερόψυξης.	Ανάλογα με τον τύπο, απαιτεί νέες υποδομές για την μεγαλύτερη απόδοση. Σχετικά νέα τεχνολογία, λιγότερη ώριμη από αερόψυξη.	Μέτρια έως δύσκολη για υπάρχουσες υποδομές, ανάλογα με το απαιτούμενο αποτέλεσμα. Μέτρια για νέες υποδομές.

<i>Ψύξη με φυσικό τρόπο (γεωθερμική, με εξάτμιση)</i>	Ψύξη	Μεγαλύτερη απόδοση ψύξης και μείωση κόστους.	Απαιτεί επένδυση σε νέες υποδομές.	Μέτρια προς δύσκολη.
<i>Αύξηση θερμοκρασίας περιβαλλοντικού αέρα</i>	Ψύξη	Μικρότερη απαίτηση ψύξης.	Κάνει πιο δύσκολη την αύξηση της πυκνότητας. Μπορεί να έχει αντίκτυπο στις εργοστασιακές εγγυήσεις των διακομιστών.	Εύκολη.
<i>Αξιοποίηση της απόβλητης θερμότητας</i>	Κυκλική οικονομία	Η θερμότητα βρίσκει χρήση αντί να απορρίπτεται στο περιβάλλον.	Απαιτεί υποδομές για την μεταφορά της θερμότητας. Περιορισμένη δυνατότητα εφαρμογής σε αερόψυκτα data center.	Μέτρια.
<i>Αναβάθμιση διακομιστών σε πιο αποδοτικούς επεξεργαστές</i>	Υλικό	Χαμηλή πολυπλοκότητα.	Δημιουργεί ηλεκτρονικά απόβλητα.	Εύκολη.
<i>Αύξηση κύκλου ανανέωσης διακομιστών</i>	Υλικό	Χαμηλή πολυπλοκότητα.	Ίσως προκύπτει σε μείωση ανταγωνιστικότητας.	Εύκολη.
<i>Εικονικοποίηση και προγραμματισμός φόρτου</i>	Λογισμικό και οργάνωση	Μεγαλύτερη αξιοποίηση του υλικού.	Απαιτεί επιχειρηματικό μοντέλο βασισμένο σε εικονικοποιημένες υπηρεσίες και αυξάνει την απαιτούμενη διαχείριση.	Μέτρια.
<i>Τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση</i>	Λογισμικό και οργάνωση	Δυνατότητα βελτιστοποίησης σε πολλαπλά συστήματα συνδυαστικά. Γρήγορη ανταπόκριση σε	Απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό ή έτοιμες λύσεις τρίτων.	Μέτρια με δύσκολη.

		περιβαλλοντολογικές αλλαγές. Αυτοματοποίηση.		
<i>Μείωση αντίκτυπου κατασκευής data center</i>	Κατασκευή	Μείωση περιβαλλοντολογικού αντίκτυπου της ίδιας της κατασκευής data center.	Νέες, λιγότερο ώριμες τεχνολογίες. Αφορά κυρίως το αρχικό αντίκτυπο, εκτός αν συνδυαστεί και με άλλες τεχνολογίες.	Δύσκολη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ.

## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως αναλύθηκε στην ενότητα 1.1, οι υπολογιστές είχαν μια εντυπωσιακή πορεία τις τελευταίες τρεις περίπου δεκαετίες, από τότε δηλαδή που ο προσωπικός υπολογιστής βρήκε τον δρόμο του στα σπίτια μας. Φτάνοντας στο τώρα, τον 21<sup>ο</sup> αιώνα, που έχει σημάνει την παράλληλη άνθηση της τρίτης και τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, ο κάθε ένας και μία από εμάς κατέχει πάνω από μια συσκευές με μεγάλη υπολογιστική δύναμη – μεγαλύτερη σε μια συσκευή τσέπης το 2024, σε σχέση με ένα υπερυπολογιστή της δεκαετίας του '80.

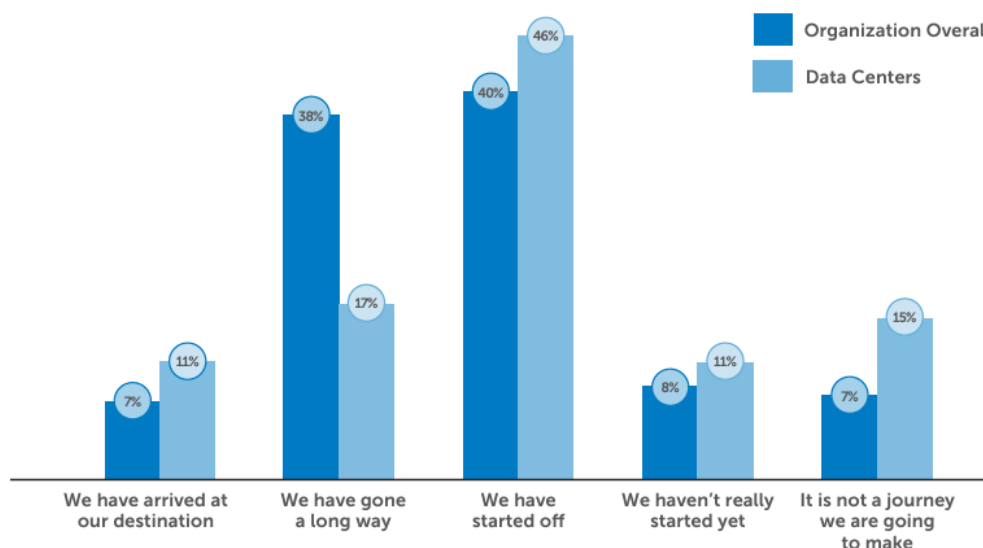
Ευρύτερα, ο κόσμος μας εξελίχθηκε με τρόπους που διαπλέκονται τους υπολογιστές και είναι πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μας ζωής. Αναμφίβολα, βάσει της ανάπτυξης των ψηφιακών υπηρεσιών που έχει υπάρξει ήδη και που αναμένεται τα επόμενα χρόνια (ενότητα 1.3), το μέλλον των data center αφορά όλους μας. Ως οργανισμοί, τα data centers είναι πολύπλοκα και πολυδιάστατα (ενότητα 1.4) και απαιτούν πολλούς φυσικούς πόρους για την υλοποίησή τους (ενότητα 1.5).

Ωστόσο, δεν είναι μόνο τα data centers που αφορούν όλους μας, αλλά και το ολικό αντίκτυπο μας στον πλανήτη, κυρίως μέσω της ενέργειας που απαιτείται να καταναλώσουμε για να συντηρήσουμε τον κόσμο όπως τον γνωρίζουμε. Αν και τα data centers, στο σύνολό τους, ευθύνονται μόνο για περίπου 2% των συνολικών ρύπων διοξειδίου του άνθρακα (Monserrate S. G., 2022), το απόλυτο νούμερο είναι αρκετά μεγάλο για να μετράει, ειδικά εν όψει της αναμενόμενης αύξησής τους. Έτσι, η βιωσιμότητά τους είναι εξίσου σημαντική για όλους.

Στο θέμα αυτό, της κατανάλωσης ενέργειας από τα data centers, συναντάμε και την θεώρηση ότι ενώ υπάρχουν ψηφιακές υπηρεσίες με μηδενικό κοινωνικό χαρακτήρα ή τεχνολογίες που ευθύνονται για δυσανάλογη κατανάλωση ενέργειας (π.χ. τεχνολογίες blockchain), οι ψηφιακές υπηρεσίες γενικότερα επιτρέπουν την αύξηση της απόδοσης σε άλλους τομείς, όπως για παράδειγμα την μείωση των ταξιδιών για επαγγελματικούς λόγους μέσω υπηρεσιών τηλεδιάσκεψης. Με άλλα λόγια, υποστηρίζεται ότι το όφελος υπερτερεί του κόστους. Μάλιστα, οι περισσότεροι χειριστές data center πιστεύουν ότι είναι μέρος της λύσης και όχι του προβλήματος (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022).

Εντούτοις, αν πρόκειται να έχουμε ένα λαμπρό μέλλον ως ανθρωπότητα, χρειάζεται να φύγουμε από την λογική του ισοζυγίου και να περάσουμε στην λογική των μηδενικών αποβλήτων. Επίσης, δεδομένου ότι η παραγωγή των μικροσίπ ευθύνεται για περίπου ένα τρίτο των ρύπων ενός μοντέρνου data center και ότι η πτώση της κατανάλωσης των επεξεργαστών με κάθε νέο μοντέλο φθίνει σημαντικά, δεν μπορούμε να βασιζόμαστε στις περαιτέρω μειώσεις για την αύξηση της βιωσιμότητας (Anderson, Belay, Chowdhury, Cidon, & Zhang, 2022).

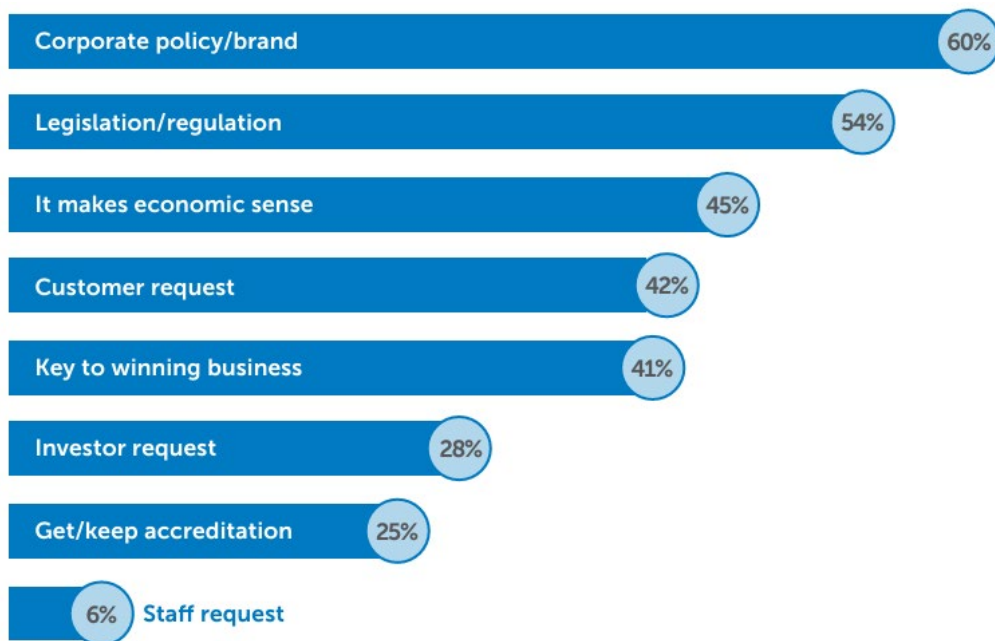
Φυσικά, η βιωσιμότητα είναι κάτι που αφορά όλες τις επιχειρήσεις, όχι μόνο τα data centers, ωστόσο φαίνεται πως τα data centers υστερούν σε σχέση με άλλες επιχειρήσεις στην πρόδοό τους προς τον προορισμό του μηδενικού αντικτύπου (Εικόνα 23). Ίσως αυτό να είναι λογικό, εφόσον η εξέλιξη προς αυτή την κατεύθυνση, χρειάζεται σημαντική επένδυση, αυξάνει το λειτουργικό ρίσκο<sup>2</sup> βραχυπρόθεσμα και τις περισσότερες φορές χρειάζεται να συμφωνηθεί και με τους πελάτες και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη (Data Centre Dynamics, 2022).



ΕΙΚΟΝΑ 22: ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΕ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΙΔΙΟΚΤΗΤΑ DATA CENTERS ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΟΔΟ ΤΟΥΣ ΠΡΟΣ ΜΗΔΕΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟ. ΠΗΓΗ: DATACENTERDYNAMICS.

<sup>2</sup> Οι χειριστές αναφέρουν λιγότερες διακοπές με υψηλό αντίκτυπο το 2022 από προηγούμενα χρόνια, αλλά μεγαλύτερο κόστος ανά διακοπή, με μια διακοπή να κοστίζει κατά μέσο όρο μεταξύ \$100.000 και \$1.000.000, ενώ κάποιες φορές υπερβαίνει και αυτό το νούμερο [Uptime 2022 report].





ΕΙΚΟΝΑ 23: ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΣΕ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΙΔΙΟΚΤΗΤΑ DATA CENTERS ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΚΙΝΗΤΡΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ. ΠΗΓΗ: DATACENTERDYNAMICS.

Σε αυτό το σημείο, είναι καλό να αναλογιστούμε τους λογούς για τους οποίους ένα data center θα επενδύσει προς τη βιωσιμότητα, σε πιο συγκεκριμένο φάσμα από το καλό του πλανήτη. Σε πρόσφατη έρευνα, οι τρεις πιο ισχυρές δυνάμεις είναι η πολιτική της επιχείρησης και η διατήρηση της επωνυμίας (60%), οι νομοθεσίες και οι κανονισμοί (54%) και οι οικονομικοί παράγοντες (45%) όπως παρουσιάζεται στο Εικόνα 24. Ως ένα βαθμό, αυτό συνεπάγεται ότι για τα καλύτερα αποτελέσματα πρέπει να συνεχιστεί να ασκείται κοινωνική και νομοθετική πίεση στα data centers, αλλά και η αύξηση της βιωσιμότητας να συνδέεται με αύξηση της κερδοφορίας (DCD, 2023) ή έστω του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

Από την άλλη, το τωρινό οικονομικό κλίμα στην Ευρώπη και σε σχέση με την ενεργειακή κρίση είναι μια σημαντική πρόκληση και αυτό οδήγησε στην πτώση των νέων προγραμμάτων βιωσιμότητας που περνάνε στη φάση της υλοποίησης, κατά 8% (Google, 2023). Επιπλέον, οι παραπάνω πιέσεις πολλές φορές οδηγούν στους χειριστές να ισχυρίζονται ότι οι πρωτοβουλίες βιωσιμότητάς τους είναι πιο εξελιγμένες από ότι στην πραγματικότητα. Ενώ εννέα στις δέκα επιχειρήσεις μιλούν δημόσια για τις πρωτοβουλίες τους, μονάχα 58% αυτών των προγραμμάτων προβαίνουν σε υλοποίηση και ακόμα λιγότερα (22%) μετρούν την αποτελεσματικότητά τους έναντι των στόχων (Google, 2023).

Ο δείκτης PUE έχει μέχρι τώρα χρησιμοποιηθεί ευρέως ως μέτρηση της αποδοτικότητας ενός data center - ωστόσο, έχει δεχθεί αρκετή κριτική. Λόγω της υπερβολικής απλότητάς του, είναι εύκολο να αλλοιωθεί το αποτέλεσμα, βάζοντας για παράδειγμα την κατανάλωση του UPS ως ενέργεια που καταναλώνεται από τον εξοπλισμό IT και άρα κάτι που μειώνει τον δείκτη, αντί να τον αυξάνει (Judge, Powering sustainability, 2023).

Όχι μόνο αυτό, αλλά αν συνεχιστεί ο δείκτης PUE να είναι η κύρια μέτρηση, ίσως να μην υπάρχει ισχυρό κίνητρο για τους χειριστές να επιδιώξουν περαιτέρω βελτιώσεις. Η χρήση πιο πολύπλοκων μετρήσεων προϋποθέτει περισσότερα σημεία μέτρησης το οποίο χρειάζεται περαιτέρω επένδυση και είναι πρακτικά δύσκολο σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. για να απομονωθεί η κατανάλωση των ανεμιστήρων σε ένα αερόψυκτο διακομιστή) (Davis, Bizo, Lawrence, Rogers, & Smolaks, 2022).

Εν ολίγοις, οι μετρήσεις γύρω από τη βιωσιμότητα πρέπει να μπορούν να αποτυπώσουν την πολυπλοκότητα και τις πολλαπλές πτυχές του θέματος. Έτσι, υπάρχουν πρόσφατες προτάσεις για πιο ολοκληρωμένες προτάσεις με στόχο τη βιωσιμότητα (Lin, Bungler, & Avelar, Guide to Environmental Sustainability Metrics for Data Centers, 2023), (Reddy, Setz, Rao, Gangadharan, & Aiello, 2017), (Gandhi, et al., 2023) και συμπεριλαμβάνουν μεταξύ άλλων τους ρύπους θερμοκηπίου, την απαιτούμενη ποσότητα νερού, ηλεκτρονικά και μη απόβλητα, ακόμα και την βιοποικιλότητα στη γη γύρω από τις εγκαταστάσεις του data center.

Όσο η αναζήτηση για πρακτικές που μειώνουν το αποτύπωμα των data center στο μηδέν ή και το αναστρέφουν ώστε να έχει θετικό πρόσημο συνεχίζεται, οι χειριστές των data center καλούνται να αποκτήσουν ακόμα πιο λεπτομερή έλεγχο των επιχειρήσεών τους, κάτι που μοιραία θα αυξήσει τις μεταβλητές και την απαραίτητη ανάλυση για την αποδοτική καθοδήγηση των στοιχείων του data center. Με την εξέλιξη της μηχανικής μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης, υπάρχουν οι βασικές προϋποθέσεις για ένα άλμα προς το ιδανικό της βιωσιμότητας στα data centers.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aaron, D. M. (2023). *Internet*. Ανάκτηση από Britannica:  
<https://www.britannica.com/technology/Internet/Foundation-of-the-Internet>
- Aaron, D. M. (2023). *Tim Berners-Lee*. Ανάκτηση από Britannica:  
<https://www.britannica.com/biography/Tim-Berners-Lee>
- Administration, U. E. (2023). *Electricity in the United States*. Ανάκτηση από U.S. Energy Information Administration:  
<https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php>
- Ahmad, Z., Abdullah, M. K., Ali, M. Z., & Zawawi, M. A. (2023). *Polymers in Electronics*. Elsevier.
- Ahmed, K. P., Mourin, A., & Ahmed, K. M. (2021). Application of Predictive Maintenance in Industry 4.0: A Use-Case Study for Datacenters. *Semantic Scholar*.  
doi:<https://doi.org/10.1109/STI53101.2021.9732590>
- Allen, R. C. (2017). *The Industrial Revolution: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Alsharif, A. (2024). *Understanding Technology*. Utah Valley: Utah Valley University.
- Anderson, T., Belay, A., Chowdhury, M., Cidon, A., & Zhang, I. (2022). Treehouse: A Case For Carbon-Aware Datacenter Software. *arXiv*.  
doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.02120>
- ASHRAE. (2019). *Water-Cooled Servers Common Designs, Components, and Processes*. ASHRAE.
- Avelar, V., Schneider, E., Dan, A., & Alan, F. D. (2012). *PUE: A COMPREHENSIVE EXAMINATION OF THE METRIC*. Ανάκτηση από The Green Grid:  
<https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/20-PUE:-A-Comprehensive-Examination-of-the-Metric>

- Bashroush, R. (2020). *Optimizing server refresh cycles with an aging Moore's law*. Ανάκτηση από Uptime Institute: <https://journal.uptimeinstitute.com/optimizing-server-refresh-cycles-with-an-aging-moores-law/>
- Bell, G. C., Mudge, C. J., & McNamara, J. E. (1978). *Rise and Fall of Minicomputers*. Digital Press. doi:<https://doi.org/10.1016/C2013-0-07693-1>
- Bellis, M. (2020). *The History of the Transistor*. Ανάκτηση από ThoughtCo: <https://www.thoughtco.com/the-history-of-the-transistor-1992547>
- Beloglazov, A., Buyya, R., Lee, Y. C., & Zomaya, A. (2011). Chapter 3 - A Taxonomy and Survey of Energy-Efficient Data Centers and Cloud Computing Systems. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385512-1.00003-7>
- Black, H. (2005). Getting the Lead Out of Electronics. *National Library of Medicine*. doi:<https://doi.org/10.1289%2Fehp.113-a682>
- Bleiwas, D., & Kelly, T. (2001). *Obsolete Computers, "Gold Mine," or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling*. USGS Numbered Series. Ανάκτηση από [10.3133/fs06001](https://pubs.usgs.gov/of/1999/10.3133/fs06001)
- Borgini, J. (2022). *Data center cooling systems and technologies and how they work*. Ανάκτηση από TechTarget: <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/tip/Data-center-cooling-systems-and-technologies-and-how-they-work>
- Britannica. (2023). *Materials for computers and communications*. Ανάκτηση 2023, από Britannica: <https://www.britannica.com/technology/materials-science/Materials-for-computers-and-communications>
- Burgess, M. (2016). *Google's DeepMind trains AI to cut its energy bills by 40%*. Ανάκτηση από WIRED: <https://www.wired.co.uk/article/google-deepmind-data-centres-efficiency>
- Butler, G., Gore, N., Rebarber, F., & Moscheni, A. (2023). *Cooling Transformation*. Data Centre Dynamics.

- CBRE. (2023). *North American data center construction rises 25% to record high in first half of 2023, driven by growth of artificial intelligence*. Ανάκτηση από Building Design+Construction: <https://www.bdcnetwork.com/north-american-data-center-construction-rises-25-record-high-first-half-2023-driven-growth>
- Chu, J., & Huang, X. (2023). Research status and development trends of evaporative cooling air-conditioning technology in data centers. *ScienceDirect*, 86-110.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.08.004>
- Data Centre Dynamics. (2022). *Sustainability: Attitudes and Trends*. DataCenterDynamics.
- DataCenterDynamics. (2021). *Trends in data center automation*. DataCenterDynamics.  
Ανάκτηση από [https://media.datacenterdynamics.com/media/documents/ABB\\_-\\_Trends\\_in\\_data\\_center\\_automation.pdf](https://media.datacenterdynamics.com/media/documents/ABB_-_Trends_in_data_center_automation.pdf)
- Davis, J., Bizo, D., Lawrence, A., Rogers, O., & Smolaks, M. (2022). *Uptime Institute Global Data Center Survey Results 2022*. New York: Uptime Institute.
- Dayarathna, M., Wen, Y., & Fan, R. (2016). Data Center Energy Consumption Modeling: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.
- DCD. (2023). *Sustainability: A Holistic Approach*. Data Centre Dynamics (DCD). Ανάκτηση από [https://issuu.com/dcdmagazine/docs/honeywell\\_ebook](https://issuu.com/dcdmagazine/docs/honeywell_ebook)
- Döhring, B., Hristov, A., Maier, C., Roeger, W., & Thum-Thysen, A. (2021). COVID-19 acceleration in digitalisation, aggregate productivity growth and the functional income distribution. *Int Econ Econ Policy*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10368-021-00511-8>
- Donnellan, D., Bizo, D., Davis, J., Lawrence, A., Rogers, D. O., Simon, L., & Smolaks, M. (2023). *Uptime's 13th Annual Global Data Center Survey Shows Widening Range of Challenges*. Ανάκτηση από Uptime Institute: <https://uptimeinstitute.com/about-ui/press-releases/uptimes-13th-annual-global-data-center-survey-shows-widening-range-of-challenges>

- Energy, O. o. (2021). *3 Reasons Why Nuclear is Clean and Sustainable*. Ανάκτηση από U.S. Department of Energy (DOE): <https://www.energy.gov/ne/articles/3-reasons-why-nuclear-clean-and-sustainable>
- EuropeanCommission. (2024). *The European Green Deal*. Ανάκτηση από European Commission: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- Feichtinger S, G. M. (2021). The Environmental Impact of Transport Activities for Online and In-Store Shopping: A Systematic Literature Review to Identify Relevant Factors for Quantitative Assessments. *MDPI*. doi:<https://doi.org/10.3390/su13052981>
- Fitzpatrick, J. (2023). *Understanding Routers, Switches, and Network Hardware*. Ανάκτηση από howtogeek: <https://www.howtogeek.com/99001/htg-explains-routers-and-switches/>
- Fletcher, G., & Griffiths, M. (2020). Digital transformation during a lockdown. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102185>
- Forster, W. E. (2005). The Encyclopedia of Consoles, Handhelds and Home Computers 1972-2005. Στο W. E. Forster, *The Encyclopedia of Consoles, Handhelds and Home Computers* (σ. 18). Hagen Schmid.
- Freiberger, P. A., & Swaine, M. R. (2014). *Harvard Mark I*. Ανάκτηση 2023, από Britannica: <https://www.britannica.com/technology/Harvard-Mark-I>
- Freiberger, P. A., & Swaine, M. R. (2023). *History of computing*. Ανάκτηση 2023, από Britannica: <https://www.britannica.com/technology/computer/History-of-computing>
- Fromme, H., B. Hilger, E. K., Miserok, M., & Völkel, W. (2013). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), hexabromocyclododecane (HBCD) and “novel” brominated flame retardants in house dust in Germany. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.11.017>

- Gandhi, A., Ghose, K., Gopalan, K., Hussain, S. R., Lee, D., Liu, D., . . . Zadok, E. (2023). Metrics for Sustainability in Data Centers. *ACM SIGENERGY Energy Informatics Review*. doi:<https://doi.org/10.1145/3630614.3630622>
- Gao, W., Li, Z., & Sammes, N. M. (2011). *An Introduction to Electronic Materials for Engineers*. World Scientific.
- Gelder, K. v. (2024). *E-commerce worldwide - statistics & facts*. Statista.
- Gillin, P. (2020). *The Rise of the Sustainable Data Center*. Data Center Frontier Special Report. Ανάκτηση από Vertiv: <https://www.datacenterfrontier.com/energy/whitepaper/11431783/the-rise-of-the-sustainable-data-center>
- Goodman, P. (2002). Current and future uses of gold in electronics. *Springer Nature*. doi:<https://doi.org/10.1007/BF03214833>
- Goodstein, R. L. (2016). Number words and Number Symbols. *A Cultural History of Numbers*. Cambridge University Press. doi:10.2307/3615053
- Google. (2023). *Google Cloud Sustainability Survey 2023*. Google Cloud. Ανάκτηση από [https://services.google.com/fh/files/misc/google\\_cloud\\_cxo\\_sustainability\\_survey\\_final\\_2023.pdf](https://services.google.com/fh/files/misc/google_cloud_cxo_sustainability_survey_final_2023.pdf)
- Grand View Research. (2023). *Digital Transformation Market Size, Share, Growth & Trends Analysis Report By Solution, By Deployment, By Service, By Enterprise Size, By End-use, By Region, And Segment Forecasts, 2024 - 2030*. Grand View Research.
- GreenPeace. (2024). *HFCs and other F-gases: The Worst Greenhouse Gases You've Never Heard of*. Ανάκτηση από Green Peace - HFCs and other F-gases: The Worst Greenhouse Gases You've Never Heard of: <https://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/legacy/Global/usa/planet3/PDFs/hfc-fact-sheet.pdf>
- Heikkilä, M. (2022). *We're getting a better idea of AI's true carbon footprint*. Ανάκτηση από MIT Technology Review:

<https://www.technologyreview.com/2022/11/14/1063192/were-getting-a-better-idea-of-ais-true-carbon-footprint/>

Hintemann, R. (2020). *Data centers 2018. Efficiency gains are not enough: Data center energy consumption continues to rise significantly - Cloud computing boosts growth*. Borderstep Institute for Innovation and Sustainability.  
doi:10.13140/RG.2.2.26033.40800

Hohpe, G. (2003). *Enterprise integration patterns : designing, building, and deploying messaging solutions*. Addison-Wesley Professional.

Hopkins, R. (2014). *EcoBricks and education: how plastic bottle rubbish is helping build schools*. Ανάκτηση από Guardian :  
<https://theguardian.com/lifeandstyle/2014/may/29/ecobricks-and-education-how-plastic-bottle-rubbish-is-helping-build-schools>

Howard. (2020). *Things You Should Know About Data Center Power System*. Ανάκτηση από FS.COM: <https://community.fs.com/article/things-you-should-know-about-data-center-power-system.html>

IBM. (2024). *What is virtualization?* Ανάκτηση από IBM:  
<https://www.ibm.com/topics/virtualization>

IEC. (2014). *IEC 60297-3-108*. Ανάκτηση από IEC Webstore:  
<https://webstore.iec.ch/publication/1291>

Intel. (2023). *Moore's Law*. Ανάκτηση από Intel:  
<https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/resources/moores-law.html#gs.6l8xfn>

Isaev, E. A., Kornilov, V. V., & Grigoriev, A. A. (2023). Data Center Efficiency Model: A New Approach and the Role of Artificial Intelligence. *Mathematical Biology and Bioinformatics*. doi:10.17537/2023.18.215

ISO. (2022). *ISO/IEC 27001*. Ανάκτηση από ISO: <https://www.iso.org/standard/27001>



- Judge, P. (2022). *Drought-stricken Holland discovers Microsoft data center slurped 84m liters of drinking water last year*. Data Centre Dynamics Ltd (DCD).
- Judge, P. (2023). Powering sustainability. *DCD*. Ανάκτηση από <https://www.datacenterdynamics.com/en/magazines/powering-sustainability/>
- Katal, A., Dahiya, S., & Choudhury, T. (2022). Energy efficiency in cloud computing data centers: a survey on software technologies. *Springer Nature*.  
doi:<https://doi.org/10.1007/s10586-022-03713-0>
- Keenan, M. (2023). *Global Ecommerce Statistics: Trends to Guide Your Store in 2024*. Ανάκτηση από Shopify: <https://www.shopify.com/enterprise/blog/global-ecommerce-statistics#5>
- Kelechi, A. H., Alsharif, M. H., Bameyi, O. J., Ezra, P. J., Joseph, I. K., Atayero, A.-A., . . . Hong, J. (2020). Artificial Intelligence: An Energy Efficiency Tool for Enhanced High performance computing. *Symmetry*. doi:<https://doi.org/10.3390/sym12061029>
- Laurent, A., & Maso, M. D. (2020). *Environmental sustainability of data centres: A need for a multi-impact and life cycle approach*. Copenhagen: Copenhagen Centre on Energy Efficiency. Ανάκτηση από [https://c2e2.unepccc.org/kms\\_object/environmental-sustainability-of-data-centres-a-need-for-a-multi-impact-and-life-cycle-approach/](https://c2e2.unepccc.org/kms_object/environmental-sustainability-of-data-centres-a-need-for-a-multi-impact-and-life-cycle-approach/)
- Lawrence, A. (2019). *Data centers without diesel generators: The groundwork is being laid*. Ανάκτηση από Uptime Institute: <https://journal.uptimeinstitute.com/data-centers-without-generators-the-groundwork-is-being-laid/>
- Lin, P., Bunger, R., & Avelar, V. (2023). *Guide to Environmental Sustainability Metrics for Data Centers*. Schneider Electric.
- Lin, P., Bunger, R., & Avelar, V. (2024). *Navigating Liquid Cooling Architectures for Data Centers with AI Workloads*. Schneider Electric.
- Lin, R., & Deng, Y. (2017). Allocating workload to minimize the power consumption of data centers. *Springer Nature*.

- Lin, Y. (2024). *Global Ecommerce Sales Growth Report*. Ανάκτηση από Shopify:  
<https://www.shopify.com/blog/global-ecommerce-sales>
- LiveScience. (2023). *History of computers: A brief timeline*. Ανάκτηση 2023, από Live Science: <https://www.livescience.com/20718-computer-history.html>
- Lone, S., Harboul, N., & Weltevreden, J. (2021). *2021 European E-Commerce Report*. European E-commerce Report. Ανάκτηση από <https://ecommerce-europe.eu/wp-content/uploads/2021/09/2021-European-E-commerce-Report-LIGHT-VERSION.pdf>
- Loosemore, D., Panfil, P. A., Madara, S., Stover, G., & Sanghi, A. (2023). *Panel: How to balance AI enablement and sustainability in 2024*. Ανάκτηση από Data Centre Dynamics Ltd (DCD): <https://www.datacenterdynamics.com/en/broadcasts/data-center-trends-in-2024/2023/episode-3/>
- Lukas, M., & Odeh, K. M. (2023). *Data Center Sustainability – CSRD, EU Taxonomy and EED*. tuvit. Ανάκτηση από [https://media.datacenterdynamics.com/media/documents/Whitepaper\\_-\\_EU\\_Taxonomy.pdf](https://media.datacenterdynamics.com/media/documents/Whitepaper_-_EU_Taxonomy.pdf)
- Maliniak, L. (2002, 10 21). *1950s: Transistors Fill The Vacuum: The Digital Age Begins*. Ανάκτηση από <https://www.electronicdesign.com/markets/defense/article/21772292/1950s-transistors-fill-the-vacuum-the-digital-age-begins>
- Margaret. (2023). *Data Center Cabling Guide*. Ανάκτηση από FS Community: <https://community.fs.com/article/basic-knowledge-tips-of-data-center-fiber-cabling.html>
- Matt, C. (2018). *Fog Computing Complementing Cloud Computing to Facilitate Industry 4.0*. Springer.
- Matte, A. (2024). *The EU Energy Efficiency Directive and its impact on CIOs, Data Centre Owners and Operators*. Ανάκτηση από Schneider Electric SE:

<https://blog.se.com/datacenter/2024/02/07/the-eu-energy-efficiency-directive-and-its-impact-on-cios-data-centre-owners-and-operators/>

Miller, R. (2012). *Too Hot for Humans, But Google Servers Keep Humming*. Ανάκτηση από Data Center Knowledge:

<https://www.datacenterknowledge.com/archives/2012/03/23/too-hot-for-humans-but-google-servers-keep-humming#close-modal>

Moazamigoodarzi, H., Tsai, P. J., Pal, S., Ghosh, S., & Puri, I. K. (2019). Influence of cooling architecture on data center power consumption. *Elsevier*.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.140>

Monserrate, & Gonzalez, S. (2022). The Staggering Ecological Impacts of Computation and the Cloud. *The MIT Press*.

Monserrate, S. G. (2022). The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage. *MIT Case Studies in Social and Ethical*

*Responsibilities of Computing*. doi:<https://doi.org/10.21428/2c646de5.031d4553>

Murugesan, S., & Gangadharan, G. R. (2012). *Harnessing Green IT: Principles and Practices*. Wiley-IEEE Computer Society Pr.

Nagel, L. (2020). The influence of the COVID-19 pandemic on the digital transformation of work. *International Journal of Sociology and Social Policy*.

Nishant, R., Kennedy, M., & Corbet, J. (2020). Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda. *Elsevier*.

Oberlo. (2024). *MOBILE COMMERCE SALES (2018–2027)*. Oberlo.

Ohring, M., & Kasprzak, L. (2014). *Reliability and Failure of Electronic Materials and Devices*. Elsevier Science.

Omari, I., Penafiel, J., & McIndoe, J. S. (2020). *Chromate Conversion Coating and Alternatives as Corrosion-Resistant*. ChemRxiv.

doi:<https://doi.org/10.26434/chemrxiv.12451208.v1>

- Panwar, S. S., Rauthan, M. M., & Barthwal, V. (2022). A systematic review on effective energy utilization management strategies in cloud data centers. *Springer Nature*. doi:<https://doi.org/10.1186/s13677-022-00368-5>
- PCTech, M. (2023). *The Evolution of Computers: From Room-Sized Machines to Pocket-Sized Wonders*. Ανάκτηση 2023, από PC Tech Magazine: <https://pctechmag.com/2018/07/the-evolution-of-computers-from-room-sized-machines-to-pocket-sized-wonders/>
- Priyono, A., Moin, A., & Putri, V. N. (2020). Identifying digital transformation paths in the business model of SMEs during the COVID-19 pandemic. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. doi:<https://doi.org/10.3390/joitmc6040104>
- Quirk, D., & Stabinski, M. (2021). Cryptocurrency Drives Data Center Innovation. *ASHRAE Journal*.
- Reddy, V. D., Setz, B., Rao, G. S., Gangadharan, G. R., & Aiello, M. (2017). Metrics for Sustainable Data Centers. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*. doi:[10.1109/TSUSC.2017.2701883](https://doi.org/10.1109/TSUSC.2017.2701883)
- Reuters. (2021). *Millions of websites offline after fire at French cloud services firm*. Ανάκτηση από Reuters: <https://www.reuters.com/article/us-france-ovh-fire-idUSKBN2B20NU/>
- Roach, J. (2021). *To cool datacenter servers, Microsoft turns to boiling liquid*. Ανάκτηση από Microsoft: <https://news.microsoft.com/source/features/innovation/datacenter-liquid-cooling/>
- Roach, J. (2022). *Hydrogen fuel cells could provide emission free backup power at datacenters, Microsoft says*. Ανάκτηση από Microsoft: <https://news.microsoft.com/source/features/sustainability/hydrogen-fuel-cells-could-provide-emission-free-backup-power-at-datacenters-microsoft-says/>
- Roundy, J. (2023). *Assess the environmental impact of data centers*. Ανάκτηση από TechTarget: <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/feature/Assess-the-environmental-impact-of-data->

centers#:~:text=Data%20centers%20and%20data%20transmission,cut%20in%20half%20by%202030

Samsi, S. Z. (2023). From Words to Watts: Benchmarking the Energy Costs of Large Language Model Inference. *IEEE Conference on High Performance Extreme Computing*.

Shah, A. B. (2011). Evaluating Life-Cycle Environmental Impact of Data Centers. *ASME*.  
doi:<https://doi.org/10.1115/1.4004096>

Sharma, J., Mittal, M. L., & Soni, G. (2022). Condition-based maintenance using machine learning and role of interpretability: a review. *Springer Nature*.  
doi:<https://doi.org/10.1007/s13198-022-01843-7>

The Norwegian University of Science and Technology. (2010). *An alchemist's dream: Lead-free electronics*. Ανάκτηση 2024, από ScienceDaily:  
[www.sciencedaily.com/releases/2010/06/100610095047.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2010/06/100610095047.htm)

Toynbee, A. (2011). *Lectures on the Industrial Revolution in England: Popular Addresses, Notes and Other Fragments*. Cambridge: Cambridge University Press.

Trueman, C. (2019). *Why data centres are the new frontier in the fight against climate change*. Ανάκτηση από ComputerWorld:  
<https://www.computerworld.com/article/3431148/why-data-centres-are-the-new-frontier-in-the-fight-against-climate-change.html>

U.S. Environmental Protection Agency. (2011). *EPA: U.S. Environmental Protection Agency*.  
Ανάκτηση από EPA: <https://www.epa.gov/>

U.S. Geological Survey. (2000). *Mercury in the Environment*. U.S. Geological Survey.  
doi:10.3133/fs14600

Velimirovic, A. (2021). *Data Center Tiers Explained*. Ανάκτηση από phoenixNAP:  
<https://phoenixnap.com/blog/data-center-tiers-classification>

Vertiv. (2023). *Deploying Liquid Cooling in the Data Center*. Vertiv.

- Welch, C. (2012). *Former Quincy mayor battles tech firms over potential server-farm pollution*. Ανάκτηση από The Seattle Times: <https://www.seattletimes.com/seattle-news/former-quincy-mayor-battles-tech-firms-over-potential-server-farm-pollution/>
- Wheeler, B. (2020). *Post COVID-19, self-service kiosks will play a bigger role in limited service restaurants*. Ανάκτηση από Kiosk Marketplace: <https://www.kioskmarketplace.com/blogs/post-covid-19-self-service-kiosks-will-play-a-bigger-role-in-limited-service-restaurants/>
- Winterford, B. (210). *iTnews asks: How hot should you run your data centre?* Ανάκτηση από itnews: <https://www.itnews.com.au/news/itnews-asks-how-hot-should-you-run-your-data-centre-170620>
- Wolf, M. (2017). *The Physics of Computing*. Elsevier. Ανάκτηση από <https://www.sciencedirect.com/book/9780128093818/the-physics-of-computing#book-description>
- Yang, Z., Du, J., Lin, Y., Du, Z., Xia, L., Zhao, Q., & Guan, X. (2021). Increasing the energy efficiency of a data center based on machine learning. *John Wiley & Sons*. doi:<https://doi.org/10.1111/jiec.13155>
- Zhabelova, G., Vesterlund, M., Eschmann, S., & Berezovskaya, Y. (2018). A Comprehensive Model of Data Center: from CPU to Cooling Tower. *IEEE Access*. doi:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2875623>