



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ**  
UNIVERSITY OF PATRAS

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ CLOUD COMPUTING  
ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (5G) ΚΑΙ ΕΞΗΣ**

**ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΧΑΤΖΗΓΕΩΡΓΙΟΥ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ, ΑΜ: 1050749**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΜΠΟΥΡΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2021**



**CEID @ UNIVERSITY of PATRAS**  
Computer Engineering & Informatics Department

Copyright © Χατζηγεωργίου Χαράλαμπος, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

# Περίληψη

Στην εργασία αυτή, παρουσιάζεται μια τεχνοοικονομική μελέτη για την ενσωμάτωση τεχνολογιών αιχμής στο σχεδιασμό 5G δικτύων και του Cloud Computing.

Έτσι, στο **Κεφάλαιο 1** αναλύεται η πρόοδος της τεχνολογίας από το 1G έως και την προοπτική του 6G, καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτής της εξέλιξης. Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται παρουσίαση της τεχνολογίας του Cloud Computing, των χαρακτηριστικών που το διέπουν, καθώς και παραδείγματα παρόχων και εφαρμογών που κυριαρχούν στον χώρο, ενώ επεξηγούνται και οι διαφορετικές υλοποιήσεις του Cloud. Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται μια περιληπτική αναφορά σε αντίστοιχες εργασίες επιστημόνων του κλάδου, ενώ παρουσιάζεται η δομή και τα χαρακτηριστικά που διέπουν μια τεχνοοικονομική μελέτη ως προς την υλοποίηση ενός έργου πληροφορικής. Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται μια σχετική τεχνοοικονομική μελέτη που υλοποιήθηκε από τον συγγραφέα, με σκοπό την υποθετική υλοποίηση ενός έργου για λογαριασμό μια μικρομεσαίας επιχείρησης και γίνεται σύγκριση ανάμεσα στις δύο δυνατές υλοποιήσεις, *on premise* και *cloud based*. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης και αναλύονται με τη βοήθεια γραφημάτων.

Στο τελευταίο μέρος αναλύονται τα συμπεράσματα της εργασίας, καθώς και το αποτέλεσμα της τεχνοοικονομικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε, με σκοπό να εξηγηθούν τα συνολικά οφέλη που παρέχονται στους χρήστες με την εκμετάλλευση της τεχνολογίας Υπολογιστικού Νέφους.

**Λέξεις-κλειδιά:** 5G, Υπολογιστικό Νέφος, Τεχνοοικονομική Ανάλυση, Μελέτη Κόστους

# Abstract

In this dissertation, a techno-economic study upon the integration of cutting-edge technologies in the design of 5G networks and Cloud Computing is presented.

Thus, **Chapter 1** analyzes the progress of technology, from 1G to the perspective of 6G, as well as the characteristics of this development. **Chapter 2** presents the technology of Cloud Computing, the features that govern it, as well as examples of providers and applications that dominate the field, while explaining the different implementations of Cloud. In **Chapter 3** a brief reference is made to corresponding scientific works, along with the presentation of structure and characteristics that govern a techno-economic study regarding the implementation of an IT project. **Chapter 4** presents a relevant techno-economic study carried out by the author, with the aim of hypothetically implementing a project on behalf of a medium IT company and comparing the two possible implementations, on premise and cloud based. The findings of this study are presented and analyzed through graphs for comparison.

The last part analyzes the conclusions of the work, as well as the result of the techno-economic study carried out, in order to explain to the reader the overall benefits provided to users by exploiting the Cloud Computing technology.

**Keywords:** *5G, Cloud Computing, Techno-Economic Analysis, Cost Study*

# Πρόλογος – Ευχαριστίες

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών κ. **Χρήστο Ι. Μπούρα**, για την ανάθεση και επίβλεψη της εργασίας, την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου και τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον και σύγχρονο ερευνητικό θέμα όπως αυτό των δικτύων **5ης γενιάς** και του **Cloud Computing**.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τη διδάκτορα κ. **Αναστασία Κόλλια**, για την βοήθεια και την υποστήριξή της στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Οι οδηγίες και οι συμβουλές της ήταν πολύτιμες για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τον αδερφό μου **Μάκη** και την σύντροφο μου **Ιωάννα**, για την βοήθεια και συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

*Πάτρα, Μάρτιος 2021,*

*Χατζηγεωργίου Χαράλαμπος*

# Ακρωνύμια

**AI:** Artificial Intelligence

**AMPS:** Advanced Mobile Phone System

**AR:** Augmented Reality

**CDMA:** Code-Division Multiple Access

**eMBB:** enhanced Mobile Broadband

**FDMA:** Frequency-Division Multiple Access

**GPRS:** General Packet Radio Services

**GSM:** Global System for Mobile

**IoE:** Internet of Everything

**ISP:** Internet Service Provider

**LTE:** Long-Term Evolution

**MR:** Mixed Reality

**OPA:** Open Wireless Architecture

**OTP:** One-Time Password

**TDMA:** Time-Division Multiple Access

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications Service

**URLLC:** Ultra Reliable Low Latency Communications

**VR:** Virtual Reality

**WCDMA:** Wideband Code Division Multiple Access

**WIET:** Workforce Inventory of Education and Training

**XR:** Extended Reality

# Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων .....	vi
<b>1.1 Ιστορική Αναδρομή Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Δίκτυα πρώτης γενιάς «1G» .....	3
1.1.2 Δίκτυα δεύτερης γενιάς «2G» .....	4
1.1.3 Δίκτυα τρίτης γενιάς «3G» .....	6
1.1.4 Δίκτυα τέταρτης γενιάς «4G» .....	7
1.1.5 Δίκτυα πέμπτης γενιάς «5G» .....	10
1.1.6 Σύγκριση 5G και 4G τεχνολογιών .....	15
1.1.7 Δίκτυα έκτης γενιάς «6G» .....	18
1.1.8 Συμπεράσματα .....	19
<b>2 Cloud Computing .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Εισαγωγή στο Cloud Computing (Υπολογιστικό Νέφος) .....</b>	<b>21</b>
2.1.1 Ιστορική αναδρομή .....	23
2.1.2 Βασικά χαρακτηριστικά .....	24
2.1.3 Μοντέλα Υπηρεσιών .....	26
2.1.4 Μοντέλα Ανάπτυξης .....	28
2.1.5 Πλεονεκτήματα .....	33
2.1.6 Μειονεκτήματα .....	35
2.1.7 Κόστος Cloud Computing .....	36
2.1.8 Βασικοί Πάροχοι Υπηρεσιών Cloud .....	37
2.1.9 Δημοφιλέστερες Εφαρμογές Cloud .....	41
<b>2.2 Χρήση του Cloud Computing σε συστήματα 5G .....</b>	<b>46</b>
2.2.1 Cloud-RAN: Radio Access μέσω Cloud .....	46
2.2.2 Ασφάλεια και αξιοπιστία δεδομένων στο Cloud .....	49
2.2.3 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα .....	52
2.2.4 Αρχιτεκτονική Cloud Computing .....	54
2.2.5 Τεχνικά στοιχεία ενός μοντέλου αρχιτεκτονικής Cloud Computing. ..	56

3	Τεχνοοικονομικές Μελέτες και Επιχειρηματικά Μοντέλα .....	61
3.1	Σχετική Έρευνα .....	61
3.2	Βασικές Οικονομικές Έννοιες .....	64
3.3	Total Cost of Ownership (TCO) .....	68
3.4	Τεχνοοικονομικές Μελέτες στο Cloud Computing.....	69
4	Τεχνοοικονομική Μελέτη Εργασίας .....	73
4.1	Συγκριτική μελέτη εγκατάστασης on-premise vs cloud based.....	73
4.2	Υλοποίηση .....	75
4.3	Υπολογισμός CAPEX / OPEX .....	76
4.4	Υπολογισμός TCO .....	82
5	Συμπεράσματα.....	86
6	Επίλογος.....	89
7	Βιβλιογραφία.....	90





# Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Η εξέλιξη των κινητών δικτύων .....	2
Σχήμα 2: Η Εξέλιξη ασύρματων δικτύων με βάση 4 διαφορετικά κριτήρια .....	10
Σχήμα 3: Εκτίμησεις CISCO για την εξέλιξη των διασυνδεδεμένων συσκευών ...	11
Σχήμα 4: Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων από 3G έως 5G.....	14
Σχήμα 5: Βασικά Χαρακτηριστικά 5G .....	15
Σχήμα 6: Εξέλιξη του 5G δικτύου .....	17
Σχήμα 7: Δομή του Cloud Computing .....	23
Σχήμα 8: Απεικόνιση ορισμού NIST για την αρχιτεκτονική του cloud computing	25
Σχήμα 9: Λογισμικό ως Υπηρεσία (SaaS) .....	26
Σχήμα 10: Πλατφόρμα ως Υπηρεσία (PaaS) .....	27
Σχήμα 11: Υποδομή ως Υπηρεσία (SaaS) .....	28
Σχήμα 12: Private Cloud .....	29
Σχήμα 13: Community Cloud .....	30
Σχήμα 14: Public Cloud.....	31
Σχήμα 15: Hybrid Cloud.....	32
Σχήμα 16: Αγορά Cloud Computing .....	40
Σχήμα 17: Δημοφιλέστερες εφαρμογές Cloud Computing.....	45
Σχήμα 18: Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής Cloud-RAN.....	48
Σχήμα 19: Αρχιτεκτονική Cloud Computing .....	54
Σχήμα 20: Front End.....	55
Σχήμα 21: Back End.....	56
Σχήμα 22: Τεχνικά Στοιχεία Αρχιτεκτονικής Cloud .....	57
Σχήμα 23: Στοιχεία OPEX / CAPEX.....	67
Σχήμα 24: Pie Chart του μηνιαίου λειτουργικού κόστους ενός Data Center [51]	72
Σχήμα 25: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Cloud Based και On Premise υλοποιήσεων .....	75

# Ευρετήριο Πινάκων - Γραφημάτων

Πίνακας 1 .....	76
Πίνακας 2 .....	77
Πίνακας 3 .....	78
Γράφημα 4 .....	78
Γράφημα 5 .....	79
Γράφημα 6 .....	79
Γράφημα 7 .....	80
Γράφημα 8 .....	80
Γράφημα 9 .....	81
Γράφημα 10 .....	81
Γράφημα 11 .....	82
Γράφημα 12 .....	83
Γράφημα 13 .....	83
Γράφημα 14 .....	84
Γράφημα 15 .....	84
Πίνακας 16 .....	85
Γράφημα 17 .....	85
Πίνακας 18 .....	88



# 1. Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας

## 1.1 Ιστορική Αναδρομή Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας

Με την αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας το σύνολο των δικτυακών συσκευών που έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο αυξάνεται με σημαντικούς ρυθμούς πράγμα το οποίο καθιστά αναγκαίο την επέκταση των δικτύων της κινητής τηλεφωνίας. Οι δικτυακές διευθύνσεις που υπάρχουν στο πρωτόκολλο IPv4 αρχίζουν να εξαντλούνται και γι' αυτό στα σύγχρονα δίκτυα θα επικρατήσει το πρωτόκολλο IPv6 ως μια λύση για το παραπάνω πρόβλημα. Επίσης, οι κινητές επικοινωνίες και συσκευές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την καθημερινότητα των ανθρώπων γι' αυτό και ο ρυθμός εξέλιξής τους είναι πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με αυτόν των περασμένων ετών. Στην αρχή η ανάπτυξή τους πραγματοποιήθηκε στα στενά πλαίσια κάθε χώρας, όμως με την πάροδο του χρόνου και τη συμμετοχή διεθνών οργανισμών, όπως το 3GPP (3rd Generation Partnership Project), η ανάπτυξή τους πραγματοποιήθηκε σε παγκόσμιο επίπεδο.

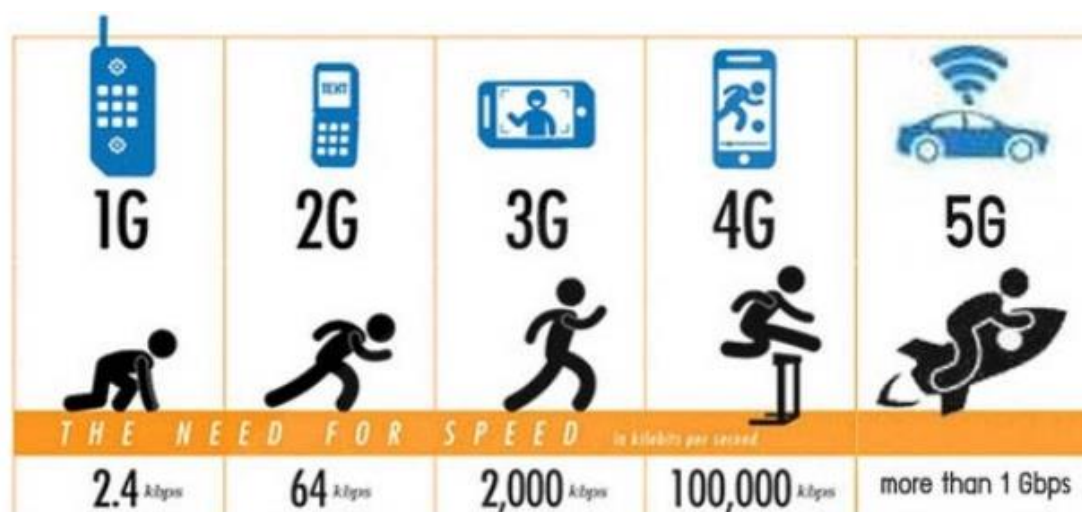
Η πρώτη γενιά (1G) κυψελωτών δικτύων εμφανίστηκε στις αρχές του 1980 και είχε αναλογική βάση. Υποστήριζε φωνητική επικοινωνία και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μεταφορά δεδομένων μέσω modem [1]. Τα κυψελωτά δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G) εμφανίστηκαν περίπου μετά από 10 χρόνια με τη χρήση των ψηφιακών δικτύων. Τα δίκτυα 2G παρείχαν καλύτερη ποιότητα φωνής, μπορούσαν να υποστηρίξουν υπηρεσίες δεδομένων όπως τα μηνύματα και είχαν την δυνατότητα της παγκόσμιας περιαγωγής. Τα δίκτυα 2G μπορούσαν να υποστηρίξουν μετάδοση δεδομένων από 9,6 έως 14,4 Kbps, πράγμα που σημαίνει ότι αυτή η ταχύτητα μετάδοσης ήταν αρκετά αργή για χρήση Internet.

Τα κυψελωτά δίκτυα τρίτης γενιάς (3G) βασίζονται στην τεχνολογία μεταγωγής πακέτων όπου μπορούν να φτάσουν σε ταχύτητες 22 Mbps για uplink και σε 168 Mbps για downlink. Οι υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης επιτρέπουν την μεταφορά video, γραφικών και άλλων μέσων ενημέρωσης. Αυτό καθιστά κατάλληλα τα 3G

δίκτυα για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο και τη μετάδοση των δεδομένων.

Σήμερα έχουμε μεταβεί στα δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G). Τα 4G δίκτυα εμφανίστηκαν το 2011 και σχεδιάστηκαν με στόχο να καλύψουν τις απαιτήσεις των πολυμεσικών εφαρμογών βασισμένων στο Internet, οι οποίες χρειάζονται μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης, για μεγάλο όγκο δεδομένων, με μικρή καθυστέρηση. Έτσι τα 4G δίκτυα χρησιμοποιούν IP σε όλες τις υπηρεσίες, σε συνδυασμό με την χρήση τεχνικών πολυπλεξίας όπως ορθογώνια διαίρεση συχνότητας (ODFM), τεχνολογία πολλαπλής εισόδου και εξόδου (MIMO). Τα 4G δίκτυα διαθέτουν ρυθμούς μετάδοσης από 100Mb/s μέχρι 1Gb/s, μικρότερη καθυστέρηση στις διαδραστικές εφαρμογές, πλήρη αξιοποίηση του δοθέντος φάσματος, εξυπηρέτηση των χρηστών ανεξαρτήτως ώρα αιχμής χωρίς να υπάρχει υποβάθμιση των υπηρεσιών που προσφέρουν (QoS), επαρκής εξυπηρέτηση χρηστών που βρίσκονται σε κίνηση ακόμα και με μεγάλες ταχύτητες.

Η νέα γενιά των προτύπων 5G αναμένεται να εισαχθεί πλήρως στις αρχές του 2021. Στη συνέχεια γίνεται μια μικρή αναφορά στα δίκτυα προηγούμενης γενιάς, παρουσιάζονται τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς (5G) και γίνεται τέλος αναφορά στα μελλοντικά δίκτυα 6<sup>ης</sup> γενιάς (6G).



Σχήμα 1: Η εξέλιξη των κινητών δικτύων

### 1.1.1 Δίκτυα πρώτης γενιάς «1G»

Τα δίκτυα πρώτης γενιάς (First Generation), γνωστά και ως «1G» είναι κυψελωτά δίκτυα που σκοπό έχουν την πλήρη κάλυψη. Εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1970 και διαιρούν γεωγραφικά τα δίκτυα. Διαθέτουν το σύστημα AMPS (Advanced Mobile Phone System – Προηγμένο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας) μέσω του οποίου οι γεωγραφικές περιοχές χωρίζονται σε διαδοχικές εξάγωνες κυψελίδες. Το αντίστοιχο αμερικάνικο σύστημα οδήγησε στην ανάπτυξη συστημάτων στην Ευρώπη και την Ασία. Η προηγούμενη τεχνολογία από την 1G είναι το κινητό ραδιοτηλέφωνο. Το πρώτο εμπορικά αυτοματοποιημένο κινητό δίκτυο (η γενιά 1G) ξεκίνησε στην Ιαπωνία από τη Nippon Telegraph and Telephone (NTT) το 1979, αρχικά στην μητροπολιτική περιοχή του Τόκιο. Σε μια πενταετία, το δίκτυο NTT επεκτάθηκε για να καλύψει όλο τον πληθυσμό της Ιαπωνίας και έγινε το πρώτο εθνικό δίκτυο 1G.

Το 1981, το σύστημα NMT ξεκίνησε ταυτόχρονα στη Δανία, τη Φινλανδία, τη Νορβηγία και τη Σουηδία. Το NMT ήταν το πρώτο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με διεθνή περιαγωγή. Ήταν το πρώτο πλήρως αυτοματοποιημένο κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας, ταχείας διάδοσης. Το 1983, το πρώτο δίκτυο 1G που ξεκίνησε στις ΗΠΑ ήταν η Ameritech με έδρα το Σικάγο, χρησιμοποιώντας το κινητό τηλέφωνο Motorola DynaTAC. Στη συνέχεια ακολούθησαν αρκετές χώρες στις αρχές της δεκαετίας του 1980, συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου, του Μεξικού και του Καναδά. Από το 2018, μια περιορισμένη υπηρεσία NMT στη Ρωσία παραμένει το μόνο 1G κινητό δίκτυο που λειτουργεί ακόμα. Άλλα δίκτυα βασίζονται στο σύστημα Advanced Mobile Phone System (AMPS) που χρησιμοποιείται στην Βόρεια Αμερική και στην Αυστραλία ("AMTA". [amta.org.au](http://amta.org.au)), το TACS (Total Access Communications System) στο Ηνωμένο Βασίλειο, το C-450 στη Δυτική Γερμανία, Πορτογαλία και Νότια Αφρική, το Radiocom 2000 στη Γαλλία, το TMA στην Ισπανία και το RTMI στην Ιταλία. Στην Ιαπωνία υπήρχαν πολλά συστήματα. Τρία πρότυπα, TZ-801, TZ-802 και TZ-803 αναπτύχθηκαν από την NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation, ("Answers – The Most Trusted Place for Answering Life's Questions". [Answers.com](http://Answers.com)), ενώ ένα ανταγωνιστικό σύστημα που λειτουργούσε η

Daini-Denden Planning, Inc. Το (DDI) χρησιμοποίησε το σύστημα Επικοινωνιών πλήρους Πρόσβασης της Ιαπωνίας (JTACS). Όσον αφορά τις δυνατότητες των 1G, υποστήριζαν κυρίως κλήσεις, ενώ λίγες εξελιγμένες συσκευές έστελναν και μηνύματα. Ωστόσο, η ποιότητα των κλήσεων δεν ήταν καλή, υπήρχε μεγάλος θόρυβος και απουσίαζε η ασφάλεια στην μετάδοση. Παρόλα αυτά, τα αναλογικά δίκτυα πρώτης γενιάς εισήγαγαν την φορητότητα και έδωσαν την δυνατότητα σε πολλούς χρήστες να μιλούν ταυτόχρονα.

### 1.1.2 Δίκτυα δεύτερης γενιάς «2G»

Μία δεκαετία μετά, το 1991 στη Φινλανδία έκανε την εμφάνισή του το δίκτυο δεύτερης γενιάς. Το 2G (ή το 2-G) είναι συντομογραφία για την τεχνολογία κινητής δεύτερης γενιάς. Το δίκτυο αυτό εξέλιξε τα δίκτυα πρώτης γενιάς και χρησιμοποίησε το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Groupe Spécial Mobile, GSM). Τα δεύτερης γενιάς συστήματα είναι η εξέλιξη της πρώτης γενιάς αναλογικών συστημάτων που παρείχαν στον χρήστη φωνητικές υπηρεσίες, μηνύματα κειμένου και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας όπως τα μηνύματα πολυμέσων, γνωστά και ως MMS (Multimedia Messaging Service).

Αποτέλεσμα του 2G ήταν η έλευση νέων τεχνολογιών όπως τα GPRS (2.5G), EDGE (2.75G) και HSCSD. Οι τεχνολογίες αυτές επέτρεψαν στον χρήστη να μεταφέρει δεδομένα ταχύτερα και αναβάθμισαν την κινητή τηλεφωνία στο σύνολο της. Ενδεικτικές ταχύτητες μεταφοράς με τη χρήση του GPRS ήταν 50 Kbit/s (40 Kbit/s στην πράξη), ενώ με τη χρήση του GSM, η ταχύτητα μεταφοράς ήταν 250 Kbit/s (150 Kbit/s στην πράξη). Με τα 2G δίκτυα βελτιώθηκε η ποιότητα των κλήσεων και η μεταφορά φωνής σε μακρινές αποστάσεις. Τα συστήματα 2G ήταν αρκετά πιο αποτελεσματικά στο φάσμα και επέτρεψαν πολύ μεγαλύτερα επίπεδα ασύρματης διείσδυσης ενώ εισήγαγαν υπηρεσίες δεδομένων για κινητά, ξεκινώντας με μηνύματα SMS. Οι τεχνολογίες 2G επέτρεψαν στα διάφορα δίκτυα να παρέχουν υπηρεσίες όπως μηνύματα κειμένου, εικονομηνύματα και μηνύματα πολυμέσων (MMS). Όλα τα μηνύματα κειμένου που αποστέλλονται μέσω 2G είναι ψηφιακά κρυπτογραφημένα, επιτρέποντας τη μεταφορά δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε μόνο ο προοριζόμενος δέκτης να μπορεί να τα λάβει και να τα διαβάσει. Μετά την



είσοδο της 2G, τα προηγούμενα συστήματα ασύρματων δικτύων κινητής τηλεφωνίας αναθεωρήθηκαν αναδρομικά. Ενώ τα ραδιοφωνικά σήματα σε δίκτυα 1G είναι αναλογικά, τα ραδιοφωνικά σήματα σε δίκτυα 2G είναι ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους πύργους ραδιοφώνου (που ακούν τις συσκευές) με το υπόλοιπο σύστημα κινητής. Το πρότυπο GSM, ενώ αρχικά δημιουργήθηκε για να χρησιμοποιηθεί εντός των ορίων της Ευρώπης, διαδόθηκε στο 80% του παγκόσμιου πληθυσμού. Ταυτόχρονα υπάρχουν 4 ακόμη πρότυπα. Τα 3 πρώτα, το IS-136 (D-AMPS), το PDC (JDC) και το iDEN μαζί με το GSM είχαν ως βάση το πρότυπο TDMA. Το τέταρτο πρότυπο, το IS-95 είχε το CDMA. Από αυτά, το IS-136 ήταν διαδεδομένο στην Αμερική. Αργότερα όμως ενσωματώθηκε στο GSM. Το PDC χρησιμοποιείται μόνο στην Ιαπωνία και το iDEN στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και στον Καναδά. Τέλος, το IS-95 χρησιμοποιείται στην Αμερική και σε χώρες της Ασίας, κατέχοντας το 17% των χρηστών παγκοσμίως.

Το 2G έχει πλέον αντικατασταθεί από νεώτερες τεχνολογίες όπως 2.5G, 2.75G, 3G, 4G και 5G. Ωστόσο, τα δίκτυα 2G εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται στα περισσότερα μέρη του κόσμου. Διάφοροι πάροχοι ανακοίνωσαν ότι η τεχνολογία 2G στις Ηνωμένες Πολιτείες βρίσκεται στο στάδιο της διακοπής, ώστε οι πάροχοι να μπορούν να ανακτήσουν αυτές τις ραδιοφωνικές ζώνες και να τις επαναχρησιμοποιήσουν για νέες τεχνολογίες (π.χ. 4GLTE).

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως τα GPRS (2.5G) και το EDGE (2.75G) ήταν το πέρασμα στα δίκτυα τρίτης γενιάς. Η 2.5G ("δεύτερη και μισή γενιά") χρησιμοποιείται για την περιγραφή 2G συστημάτων που έχουν υλοποιήσει έναν τομέα μεταγωγής πακέτων εκτός από τον τομέα μεταγωγής κυκλώματος. Δεν παρέχει απαραίτητα ταχύτερη εξυπηρέτηση, διότι η ομαδοποίηση χρονικών μηνυμάτων χρησιμοποιείται επίσης για υπηρεσίες δεδομένων μεταγωγής κυκλωμάτων (HSCSD). Τα δίκτυα GPRS εξελίχθηκαν σε δίκτυα EDGE με την εισαγωγή κωδικοποίησης 8PSK. Ενώ ο ρυθμός συμβόλων παρέμεινε ο ίδιος στα 270.833 δείγματα ανά δευτερόλεπτο, κάθε σύμβολο φέρει τρία δυαδικά ψηφία αντί για ένα. Τα βελτιωμένα ποσοστά δεδομένων για το GSM Evolution (EDGE), το Enhanced GPRS (EGPRS) ή το IMT-SingleCarrier (IMT-SC) είναι μια τεχνολογία ψηφιακού κινητού

τηλεφώνου συμβατότητας προς τα πίσω που επιτρέπει βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης ως μία επέκταση της GSM. Το EDGE αναπτύχθηκε σε δίκτυα GSM ξεκινώντας το 2003, αρχικά από την AT&T στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το 2016 ανακοινώθηκε από πολλούς παρόχους στις ΗΠΑ, στην Αυστραλία και τον Καναδά ανακοινώθηκε πως θα καταργήσουν τα δίκτυα δεύτερης γενιάς προκειμένου να ελευθερωθούν οι δεσμευμένες συχνότητες για νεότερες τεχνολογίες.

### 1.1.3 Δίκτυα τρίτης γενιάς «3G»

Η έρευνα για τα δίκτυα τρίτης γενιάς, έπειτα από απαίτηση των χρηστών για καλύτερες συνδέσεις δικτύου είχε ξεκινήσει ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), παρουσιάστηκε όμως το 1998. Με την τεχνολογική ανάπτυξη και τους χρήστες να ζητούν καλύτερες συνδέσεις διαδικτύου, δημιουργήθηκε το δίκτυο τρίτη γενιάς γνωστό και ως «3G». Το δίκτυο 3G έχει εφαρμογή στην κινητή τηλεφωνία, στις βίντεο κλήσεις και στα κινητά modem για φορητούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Το 3G βασίζεται σε πρότυπα σύμφωνα με τις προδιαγραφές IMT2000 και τα κριτήρια της ITU, με σκοπό την αξιοπιστία και την ταχύτητα στις μεταφορές των δεδομένων. Τονίζεται ότι μια υπηρεσία πρέπει να παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων τουλάχιστον στα 200 Kbit/s, με παρόχους να προσφέρουν αρκετά καλύτερες επιδόσεις από τις προτεινόμενες. Τα πρότυπα στα οποία βασίζονται τα δίκτυα τρίτης γενιάς είναι το UMTS, το HSPA+, και το σύστημα CDMA2000. Από αυτά το πρώτο εμφανίστηκε το 2001 και χρησιμοποιήθηκε στην Ευρώπη, στην Ιαπωνία και στην Κίνα. Πέντε χρόνια αργότερα, το 2006, εμφανίστηκε το HSPA+ το οποίο αποτελεί εξέλιξη του προηγούμενου, γνωστή ως 3.5G και παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων μέχρι 168 Mbit/s λήψης (28 Mbit/s στην 21 πράξη) και 22 Mbit/s αποστολής. Το σύστημα CDMA2000 είναι νεότερο από αυτό, αφού εμφανίστηκε το 2002. Αυτό ήταν επέκταση του IS-95. Χρησιμοποιήθηκε στην Βόρεια Αμερική και στην Νότιο Κορέα με την τελευταία του έκδοση, την EVDO Rev B, να παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στα 14.7 Mbit/s.

Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών, το οποίο δημιουργήθηκε και αναθεωρήθηκε από το 3GPP είναι μια πλήρης αναθεώρηση από το GSM όσον

αφορά τις μεθόδους κωδικοποίησης και το υλικό, παρόλο που κάποιες τοποθεσίες GSM μπορούν να τροποποιηθούν εκ των υστέρων για να μεταδοθούν στη μορφή UMTS / W-CDMA. Τα ερευνητικά και αναπτυξιακά έργα 3G (UMTS και CDMA2000) άρχισαν το 1992. Το 1999, η ITU ενέκρινε πέντε ραδιοδιεπαφές για το IMT2000 ως μέρος της σύστασης ITU-RM.1457. Το WiMAX προστέθηκε το 2007.

Τον Μάρτιο του 2008, ο Διεθνής Τηλεπικοινωνιακός Σύνδεσμος Ραδιοεπικοινωνίες (ITU-R) καθόρισε ένα σύνολο απαιτήσεων για τα πρότυπα 4G, με την ονομασία International Mobile Telecommunications Advanced (IMT Advanced), που καθορίζει απαιτήσεις αιχμής για την υπηρεσία 4G στα 100 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbit/s) (= 12,5 megabytes ανά δευτερόλεπτο) για επικοινωνία υψηλής κινητικότητας (όπως από τρένα και αυτοκίνητα) και 1 Gigabit ανά δευτερόλεπτο για επικοινωνία χαμηλής κινητικότητας (όπως πεζούς και σταθερούς χρήστες).

#### 1.1.4 Δίκτυα τέταρτης γενιάς «4G»

Το πρότυπο Mobile WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), που έκανε την εμφάνισή του το 2009 στην Ν. Κορέα, αποτέλεσε την βάση για τα δίκτυα τέταρτης γενιάς. Τον ίδιο ρόλο έπαιξε και το πρότυπο LTE (Long Term Evolution) στο Νορβηγία το 2009. Οι πρώτες συσκευές με τα πρότυπα αυτά κυκλοφόρησαν το 2010 και το 2011 αντίστοιχα. Το 2011 κυκλοφόρησαν αναθεωρημένες εκδόσεις και για τα δύο πρότυπα που ανταποκρίνονταν καλύτερα στα χαρακτηριστικά των 4G δικτύων (WirelessMAN-Advanced και LTE-Advanced).

Τα δίκτυα τέταρτης γενιάς εγγυώνται ταχύτητα λήψης 1 Gbit/s και 500 Mbit/s αποστολής. Δεν υστερούν σε τίποτα από τα δίκτυα της προηγούμενης γενιάς αλλά εστιάζουν στην μεγαλύτερη ταχύτητα και στην αξιοπιστία μεταφοράς δεδομένων που εναρμονίζονται με τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών. Ωστόσο, παρατηρείται σε αυτά ένα σημαντικό μειονέκτημα που αφορά την διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές, ένα σύστημα 4G δεν υποστηρίζει την παραδοσιακή υπηρεσία τηλεφωνίας με εναλασσόμενα κυκλώματα αλλά βασίζεται στην επικοινωνία βασισμένη στο πρωτόκολλο Internet (IP), όπως στην τηλεφωνία IP. Η ραδιοφωνική τεχνολογία εξάπλωσης φάσματος που χρησιμοποιείται στα συστήματα 3G εγκαταλείπεται σε όλα τα υποψήφια

συστήματα 4G και αντικαθίσταται από τη μετάδοση πολλαπλών παρόχων OFDMA και άλλα συστήματα εξισορρόπησης περιοχών συχνοτήτων (FDE), καθιστώντας δυνατή τη μεταφορά πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων παρά την εκτεταμένη πολλαπλών διαδρομών ραδιοφωνική διάδοση (ηχώ). Ο ρυθμός bit κορυφής βελτιώνεται περαιτέρω από έξυπνες συστοιχίες κεραιάς για επικοινωνίες πολλαπλών εισόδων -πολλαπλών εξόδων (MIMO).

Το 4G εισήγαγε μια πιθανή ταλαιπωρία για όσους ταξιδεύουν διεθνώς ή επιθυμούν να αλλάξουν παρόχους. Για να πραγματοποιηθεί και να γίνει λήψη 4G φωνητικών κλήσεων, η συσκευή του συνδρομητή πρέπει να έχει παραπάνω από μια ζώνη συχνοτήτων που ταιριάζει (και σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτεί ξεκλείδωμα). Πρέπει επίσης να έχει τις ρυθμίσεις ενεργοποίησης αντιστοιχίας για τον τοπικό πάροχο ή / και χώρα. Ενώ ένα τηλέφωνο που αγοράζεται από έναν συγκεκριμένο πάροχο μπορεί να συνεργαστεί με τον συγκεκριμένο πάροχο, η πραγματοποίηση φωνητικών κλήσεων 4G στο δίκτυο άλλης εταιρείας (συμπεριλαμβανομένης της διεθνούς περιαγωγής) μπορεί να είναι αδύνατη χωρίς ενημερωμένη έκδοση λογισμικού ειδικά για τον τοπικό πάροχο και το εν λόγω μοντέλο τηλεφώνου μπορεί να είναι διαθέσιμο ή όχι (αν και μπορεί να είναι δυνατή η εναλλαγή του 3G για φωνητικές κλήσεις εάν υπάρχει διαθέσιμο δίκτυο 3G με εύρος ζώνης συχνοτήτων).

Το LTE είναι ένα δίκτυο αρχιτεκτονικής IP. Είναι εξέλιξη του πρότυπου GSM/UMTS. Έχει την δυνατότητα να λειτουργεί ακόμα και αν η συσκευή που το υποστηρίζει ταξιδεύει με ταχύτητα 500 χιλιόμετρα την ώρα. Η μεταφορά δεδομένων γίνεται με ταχύτητες 299.6 Mbps σε λήψη και 75.4 Mbps σε αποστολή. Το LTE-Advanced υποστηρίζει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων ύψους 1 Gbit/s σε λήψη και 500 Mbit/s σε αποστολή.

### **Εφαρμογές και Υπηρεσίες δικτύων 4G**

Πολλές από τις υπάρχουσες εφαρμογές και υπηρεσίες έχουν ήδη αρχίσει να επηρεάζονται από την έλευση της 4G ασύρματης επικοινωνίας και ο τομέας που προβλέπεται να επωφεληθεί περισσότερο είναι αυτός του ηλεκτρονικού εμπορίου. Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένες από τις υπηρεσίες που θα βελτιωθούν στο

άμεσο μέλλον και θα αλλάξουν σε σημαντικό βαθμό την καθημερινότητα των ανθρώπων που είναι οι εξής:

- **Τηλεϊατρική:** λαμβάνοντας υπόψη την εκτιμώμενη αύξηση της γήρανσης του πληθυσμού ανά την υφήλιο, οι εφαρμογές 4G διαδραματίζουν και αναμένεται να διαδραματίσουν ένα ακόμη πιο κρίσιμο ρόλο στον έλεγχο του διαρκώς αυξανόμενου κόστους της υγειονομικής περίθαλψης. Επίσης, θα επιτρέψει έγκαιρες και υψηλού επιπέδου λύσεις υγειονομικής περίθαλψης σε πολύ μεγαλύτερο πληθυσμό που περιλαμβάνει χωριά σε απομακρυσμένες περιοχές.
- **Ασφάλιση:** η τεχνολογία 4G βοηθά στη μέτρηση, παρακολούθηση, συλλογή και διάδοση δεδομένων αναφορικά με τα προφίλ ατόμων που είναι περισσότερο εκτεθειμένοι σε κινδύνους από άλλους, για τις ασφαλιστικές εταιρίες. Αυτό θα δημιουργήσει ευέλικτες επιλογές πριμοδότησης και επίλυση βασικών δυσαρμονιών των πελατών, καθότι δεν θα πρέπει όλοι να πληρώνουν τις ίδιες ασφαλιστικές εισφορές, από την στιγμή που όλοι οι άνθρωποι δεν είναι το ίδιο επιρρεπείς σε διαφορετικούς κινδύνους.
- **Μετάδοση και ασφάλεια δεδομένων:** με την συγκεκριμένη τεχνολογία αυξάνεται η ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ διαφορετικών μηχανών με πολλαπλούς τρόπους, κάτι που θα επιτρέψει την απομακρυσμένη επεξεργασία των δεδομένων με εκπομπή εντολών για μηχανές (π.χ. για οχήματα). Παράλληλα θα βελτιωθεί και η ασφάλεια στην μετάδοση δεδομένων με αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση των ηλεκτρονικών τραπεζικών συναλλαγών.
- **Εκπαίδευση και εργασία εξ αποστάσεως:** η χρήση πολυμεσικού υλικού και φορητών πολυμεσικών συσκευών βελτιώνει την αποτελεσματικότητα τόσο της εκπαίδευσης όσο και της εργασίας, καταργώντας ακόμα περισσότερο τους χρονικούς και χωρικούς περιορισμούς. Τρανό παράδειγμα η υγειονομική κρίση που ξέσπασε στις αρχές του 2020 με τον Covid-19 που εκτόξευσε την ανάγκη για τηλεργασία και τηλεεκπαίδευση η οποία αρχίζει και παγιώνεται ένα χρόνο μετά και δείχνει σαφέστατα ότι μπορεί να αποτελέσει την εν μέρει, νέα πραγματικότητα σε πάρα πολλούς τομείς της καθημερινότητας.

Τεχνολογική Εξέλιξη	Εξέλιξη Αλληλεπίδρασης	Εξέλιξη Υπηρεσιών	Εξέλιξη Καταναλωτών
1G	Αλληλεπίδραση Πραγματικού Χρόνου Μεταξύ Ανθρώπων	Φωνή	Άνθρωποι
2G	Αλληλεπίδραση Ανθρώπων σε Δεύτερο Χρόνο	Μηνύματα & Internet	Πάροχοι Υπηρεσιών Internet & Εφαρμογών
3G	Αλληλεπίδραση Ανθρώπων - Εφαρμογών (Apps)	Ψυχαγωγία	Πάροχοι Περιεχομένου και Mobile Εφαρμογών
4G	Αλληλεπίδραση Μεταξύ Εφαρμογών - Μηχανών	Τηλεματική	Πάροχοι Υπηρεσιών & Λύσεων Συγκεκριμένων Κλάδων

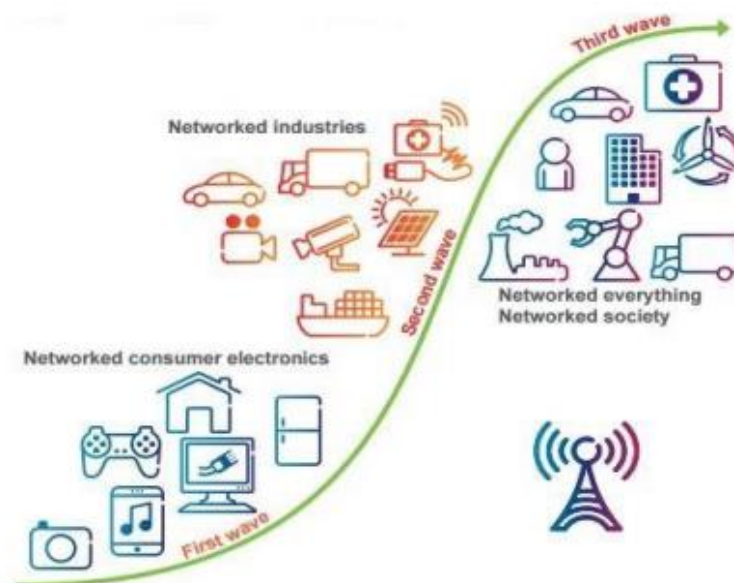
Σχήμα 2: Η Εξέλιξη ασύρματων δικτύων με βάση 4 διαφορετικά κριτήρια

### 1.1.5 Δίκτυα πέμπτης γενιάς «5G»

Η νέα πολύ σημαντική φάση στην κινητή τηλεφωνία είναι τα δίκτυα πέμπτης γενιάς. Πρόκειται για πολύ πιο αυστηρά πρότυπα τηλεφωνίας συγκριτικά με το 4G. Αυτή η νέα τεχνολογία για την κινητή τηλεφωνία αναμένεται από το 2020 με κορύφωση και εμπορική πλέον χρήση το 2021.

Ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός των κινητών έξυπνων συσκευών, του όγκου δεδομένων και της αύξησης του ρυθμού διακίνησης δεδομένων, μας υποχρεώνουν να δούμε υπό διαφορετικό πρίσμα τα 5ης γενιάς cellular δίκτυα. Τα δίκτυα 5ης γενιάς ή αλλιώς τα 5G δίκτυα με μια πρώτη ανάγνωση θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από τρία βασικά γνωρίσματα: α) αδιάκοπη συνδεσιμότητα, β) ελάχιστο latency και γ) πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Υπολογίζεται ότι το 2020 θα έχουμε περισσότερες από 50 δισεκατομμύρια συσκευές οι οποίες σκοπεύουν να χρησιμοποιούν τα cellular δίκτυα για τη διασύνδεσή τους. Αυτό θα αποτελέσει έκρηξη στον όγκο των διακινούμενων δεδομένων (data traffic) και θα οδηγήσει σε κατάρρευση το δίκτυο, αν παραμείνει με τη σημερινή του μορφή. Το παραπάνω γεγονός θα μας οδηγήσει στο να εξετάσουμε διαφορετικές και προσανατολισμένες στο software τεχνικές για να υλοποιήσουμε τα δίκτυα 5ης γενιάς. Η ανάγκη αυτή φαίνεται και από το γεγονός ότι

το 5G δεν θα είναι απλά μια επέκταση του 4G -όπως οι προηγούμενες γενιές των cellular δικτύων- αλλά θα εισαγάγει πολλές νέες τεχνολογίες όπως π.χ. Network Function Virtualization, Software Defined Networking, cloud-based communication κ.α. Η εποχή του 5G αναμένεται να φέρει επαναστατικές αλλαγές στον κόσμο των επικοινωνιών, υποστηρίζοντας πάρα πολύ 25 υψηλές ταχύτητες, πάρα πολύ μικρές καθυστερήσεις, αποδοτική εκμετάλλευση τόσο του φάσματος, όσο και της ενέργειας του δικτύου, ενώ θα κάνει πραγματικότητα και το λεγόμενο Internet of Things (IoT). Το IoT συνδέει τις έξυπνες συσκευές στο Internet. Μπορεί να εγκαθιδρύσει την ανταλλαγή στοιχείων μεταξύ των συσκευών και πηγαίνει την διασύνδεση των συσκευών σε άλλο επίπεδο. Η Cisco εκτιμά, ότι το IoT θα αποτελείται από 50 δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες στο Internet έως το 2021, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3 που ακολουθεί. Με άλλα λόγια βλέπουμε το 5G ως το μέσο το οποίο θα εξασφαλίσει ένα καθολικό περιβάλλον επικοινωνίας και θα ανοίξει το δρόμο για την ενασχόληση με νέες καινοτομίες στο χώρο των μεταφορών, της ενέργειας και των αυτοματισμών. Αυτά θα πραγματοποιηθούν, σχεδιάζοντας τα δίκτυα της 5ης γενιάς με δυνατότητες όπως flexibility, programmability, μειωμένα κεφαλαιακά και λειτουργικά κόστη, καθώς και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.



Σχήμα 3: Εκτιμήσεις CISCO για την εξέλιξη των διασυνδεδεμένων συσκευών

Πιο συγκεκριμένα, σε σχέση με τα 4G cellular δίκτυα, τα δίκτυα πέμπτης γενιάς, σύμφωνα με τον οργανισμό 5G Infrastructure Public Private Partnership (5GPPP) θα πρέπει να ικανοποιούν:

1. 10-100\*πλάσιο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών.
2. 1000 φορές υψηλότερο εύρος ζώνης ανά περιοχή.
3. 10-100\*φορές υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.
4. Latency 1 millisecond.
5. 99.99% διαθεσιμότητα δικτύου. 26
6. 100% κάλυψη.
7. 90% μείωση στην κατανάλωση ενέργειας του δικτύου.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιήσουν τα 5G cellular δίκτυα είναι μεγάλες. Ωστόσο, τι είναι αυτό που καθιστά αδύνατη την ικανοποίηση τους από τα 4G δίκτυα και γιατί μια επέκταση του δικτύου -κατά τα πρότυπα των προηγούμενων γενεών- δεν είναι ικανή για την ικανοποίηση των στόχων;

- **Δεν υποστηρίζονται bursts κατά τη διακίνηση δεδομένων:** Υπάρχουν πολλές εφαρμογές οι οποίες κατά την εκτέλεση τους μπορούν να στείλουν σήμα ζητώντας ένα μεγάλο αριθμό πόρων (π.χ. ρυθμό μετάδοσης) για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Όταν παρατηρείται αυτό το φαινόμενο κατά τη μετάδοση, έχουμε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας της συσκευής χρήστη και επίσης λόγω του bursting υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθούν προβλήματα στο δίκτυο κορμού. Επομένως το γεγονός ότι δεν υπάρχει πρόβλεψη στη σηματοδότηση ελέγχου ανάλογα με την κίνηση που δημιουργείται και η απουσία μηχανισμού για δυναμική δέσμευση πόρων ανάλογα με την κίνηση, αποτελεί ένα πρόβλημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό του 5G.
- **Μη-βέλτιστη χρησιμοποίηση της επεξεργαστικής ισχύος του σταθμού βάσης:** Στα σημερινά cellular δίκτυα, η επεξεργαστική ισχύς του σταθμού βάσης χρησιμοποιείται μόνο από τους χρήστες που συνδέονται με αυτόν και



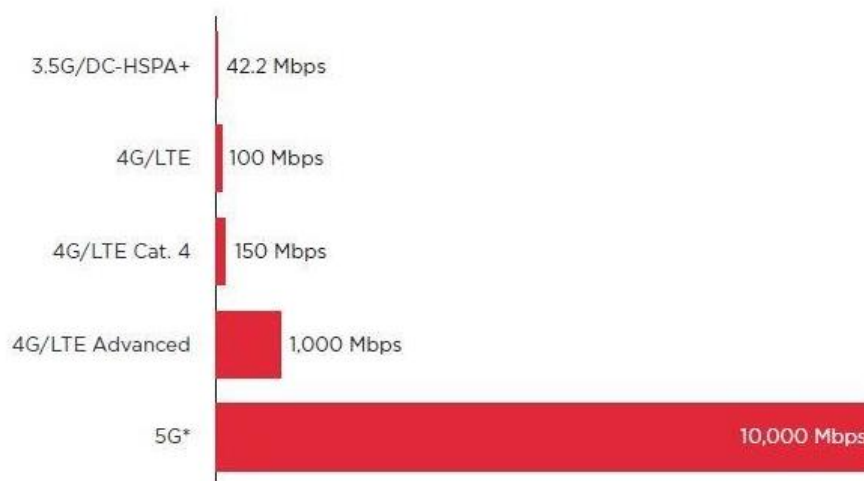
διαμοιράζεται ομοιόμορφα σε αυτούς. Έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει διακύμανση στην κίνηση που ανατίθεται στους σταθμούς βάσης π.χ. σε κάποιες ώρες τις μέρες κάποιοι σταθμοί μπορεί να έχουν μεγάλη κίνηση ενώ κάποιοι άλλοι να παρουσιάζουν μηδενική κίνηση. Ωστόσο, ανεξαρτήτως της κίνησης σε ένα σταθμό, οι σταθμοί καταναλώνουν το ίδιο ποσό ενέργειας πράγμα το οποίο αυξάνει το συνολικό κόστος δικτύου.

- **Παρεμβολές μεταξύ των καναλιών:** Τα συμβατικά cellular δίκτυα, χρησιμοποιούν δύο ξεχωριστά κανάλια, ένα για uplink όπου υπάρχει μετάδοση από το χρήστη στο σταθμό βάσης και ένα για downlink που πραγματοποιείται το αντίστροφο. Ωστόσο η χρήση δύο διαφορετικών καναλιών για έναν χρήστη δεν αποτελεί βέλτιστη χρησιμοποίηση της διαθέσιμης μπάντας συχνοτήτων, ενώ το πρόβλημα με την έλλειψη διαθέσιμου φάσματος στα cellular δίκτυα είναι καίριο. Από την άλλη, αν και τα δύο κανάλια λειτουργούν στην ίδια συχνότητα τότε υπάρχει το πρόβλημα των παρεμβολών, πράγμα το οποίο παρεμποδίζει την εγκατάσταση πολλών σταθμών βάσης σε μια γεωγραφική περιοχή, η οποία σκοπό έχει να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου. Ακόμη και στα σημερινά δίκτυα το διαθέσιμο φάσμα δεν χρησιμοποιείται με το βέλτιστο τρόπο. Επομένως, είναι απαραίτητο για το 5G να υλοποιήσουμε μια μέθοδο πρόσβασης η οποία θα λαμβάνει υπόψιν την βέλτιστη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η διεύρυνση του φάσματος πάνω από τα 3 GHz
- **Latency:** Στα δίκτυα 4ης γενιάς, για να αποκτήσει ένας χρήστης πρόσβαση στον «καλύτερο» διαθέσιμο σταθμό βάσης, απαιτούνται μερικές εκατοντάδες milliseconds, γεγονός το οποίο δεν εξυπηρετεί το μηδενικό latency που 27 θέλουμε να πετύχουμε στο 5G. Τα μελλοντικά cellular δίκτυα, προορίζονται για να τρέχουν real-time εφαρμογές και υπηρεσίες με διάφορα επίπεδα QoS (όσο αφορά το bandwidth, το latency, τα χαμένα πακέτα). Για το λόγο αυτό, τα 5G δίκτυα πρέπει να σχεδιαστούν με zero-latency προοπτική στο βαθμό που αυτό είναι δυνατό.

## Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Νέες Τεχνολογίες 5G

Ο οργανισμός 5GPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) είναι αποτέλεσμα μιας συντονισμένης ευρωπαϊκής προσπάθειας της ICT βιομηχανίας με σκοπό να συνεισφέρει στην έρευνα για τη νέα εποχή των ICT υποδομών, προκειμένου να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην παγκόσμια αγορά. Σύμφωνα λοιπόν με το 5GPPP, τα τεχνικά χαρακτηριστικά ή αλλιώς οι στόχοι των δικτύων 5ης γενιάς αναμένεται να είναι οι εξής:

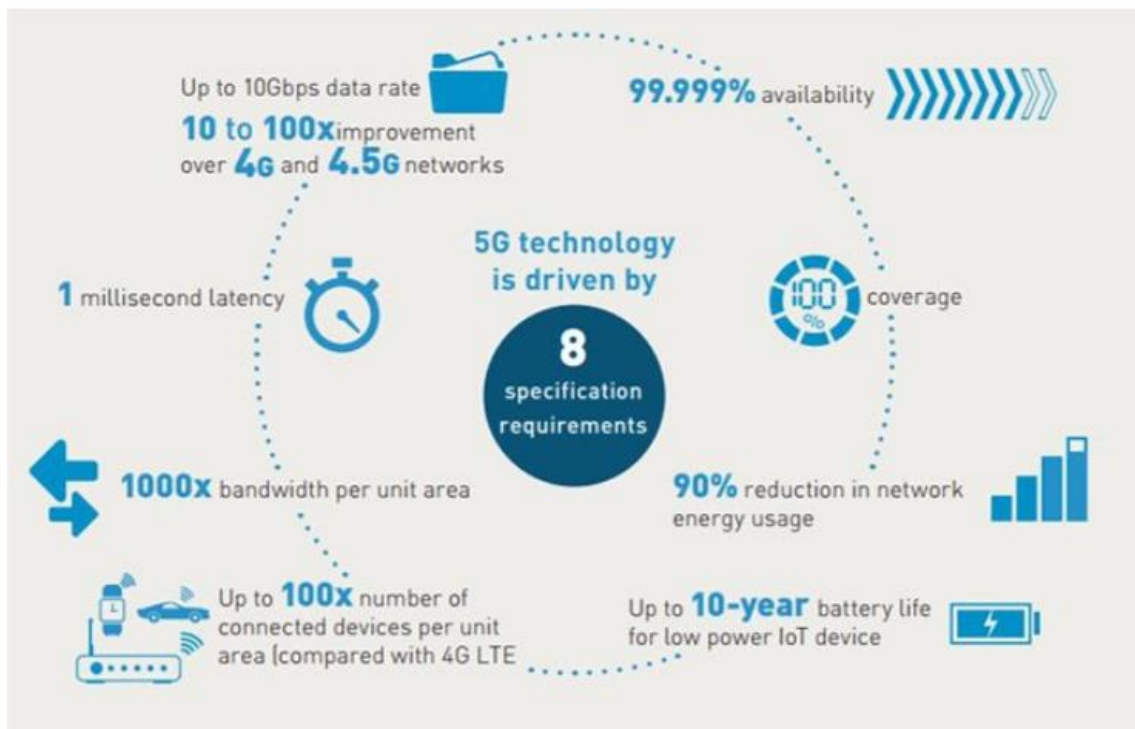
- Αύξηση του όγκου των δεδομένων που διακινούνται μέσω των κινητών δικτύων ανά γεωγραφική περιοχή. Εκτιμάται ότι το ποσό αυτό θα είναι της τάξης του 10TB/s/km<sup>2</sup>.
- Μεγάλη αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών στο δίκτυο. Υπολογίζεται ότι θα έχουμε 1.000.000 συνδεδεμένα τερματικά ανά km<sup>2</sup>.
- Αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, πιάνοντας ταχύτητες από 1-10 Gb/s. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται ένα γράφημα που απεικονίζει τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων των προηγούμενων τεχνολογιών σε σχέση με το 5G.



Σχήμα 4: Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων από 3G έως 5G

- 90% μείωση στην κατανάλωση ενέργειας του δικτύου σε σχέση με το 2010.
- 80% μείωση του λειτουργικού κόστους του δικτύου (OPEX).
- Σημαντική μείωση του latency σε τιμές από 5ms έως 1ms.
- Σημαντική μείωση του απαιτούμενου χρόνου δημιουργίας και εγκατάστασης κάποιας υπηρεσίας. Εκτιμάται ότι θα μπορούμε να δημιουργήσουμε εξ 'αρχής

μια υπηρεσία και να την παραδώσουμε σε λειτουργική μορφή σε λιγότερο από 90 λεπτά.



Σχήμα 5: Βασικά Χαρακτηριστικά 5G

### 1.1.6 Σύγκριση 5G και 4G τεχνολογιών

Η τεχνολογία 4G φαίνεται πως θα δώσει τη θέση της στα δίκτυα 5G. Το 5G θα χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz για λιγότερο συνωστισμό και λιγότερες παρεμβολές. Οι χρήστες έχουν αυξηθεί γεγονός που δημιουργεί πιθανώς πιο πολλές διακοπές στη ζώνη συχνοτήτων. Επίσης, οι χρήστες θα χρησιμοποιούν όλο και περισσότερες εφαρμογές οι οποίες προκαλούν παράσιτα. Τέτοιες είναι οι εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης, το βίντεο HD, η online ροή ραδιοφώνου και οι διαδικτυακές συσκέψεις.

Έτσι, οι κυριότερες διαφορές που έχει το 5G συγκριτικά με το 4G είναι πρώτα από όλα πως θα είναι γρηγορότερο και θα χρησιμοποιεί μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων από ότι το 4G. Για αυτό το 5G παραδείγματος χάριν θα κατεβαίνουν ταχύτερα τα βίντεο καθώς οι νεκρές ζώνες θα είναι πολύ λιγότερες.

Μια ακόμη διαφορά είναι ότι το 5G θα έχει πολύ λιγότερες παρεμβολές. Η ζώνη των 5GHz έχει πιο πολύ χώρο για μετάδοση δεδομένων, συνεπώς η ποιότητα θα είναι

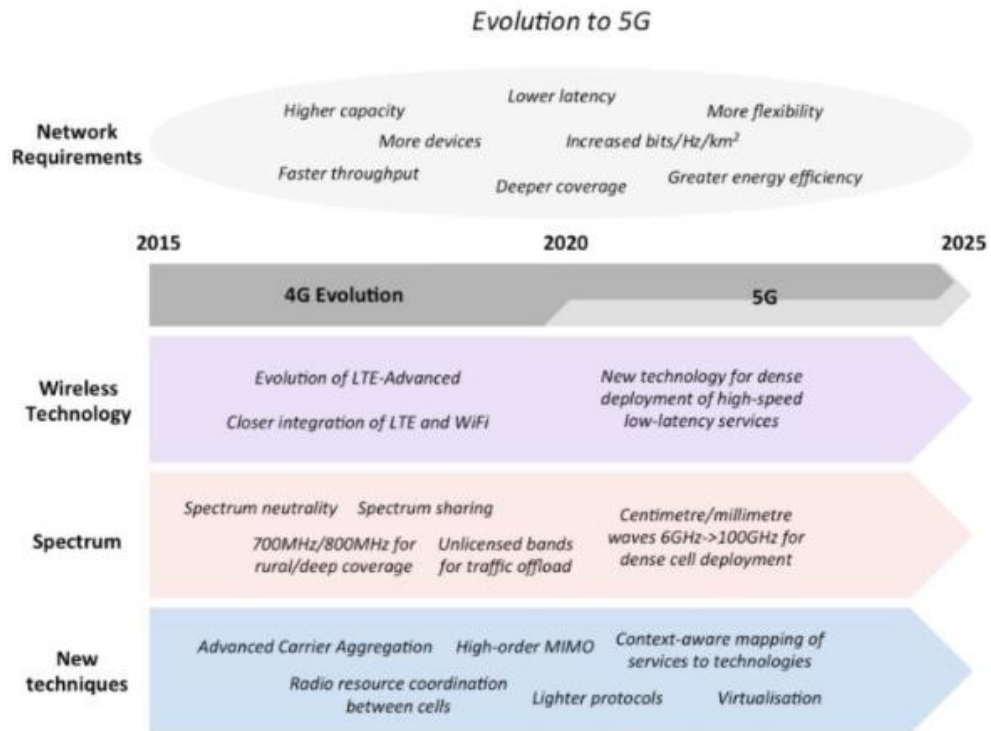
καλύτερη και δεν θα υπάρχουν κακές συνδέσεις. Ακόμη, το 5G δεν θα έχει νεκρά σημεία και άρα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί το τηλέφωνο σε περιοχές του δικτύου που ήταν δύσκολο ως σήμερα.

Σαφώς όμως το 5G είναι πολύ ακριβότερο από το 4G. Για κάθε χώρα, ανάλογα βέβαια με το μέγεθος και την πληθυσμιακή κάλυψη το κόστος για κάτι τέτοιο θα είναι πολύ μεγάλο και είναι δύσκολο να βρεθούν και να δοθούν μεγάλα ποσά σε μια τέτοια επένδυση, ιδίως εν μέσω οικονομικής κρίσης.

Όπως επισημάνθηκε το 5G θα λειτουργεί στη ζώνη των 5GHz. Αντίθετα, το 4G λειτουργεί στη ζώνη της συχνότητας των 2,4 GHz η οποία παρουσιάζει πια πολυκοσμία αφού χρησιμοποιείται από πολλές συσκευές σε κάθε σπίτι και γραφείο.

Έτσι το 5G θα μπορέσει να εξασφαλίσει στους χρήστες τηλεδιασκέψεις χωρίς προβλήματα και διακοπές. Αυτό θα γίνει γιατί η ροή βίντεο απαιτεί τεράστιο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Αυτός είναι και ο λόγος που η παρακολούθηση βίντεο στα σημερινά ασύρματα δίκτυα ίσως να δημιουργεί προβλήματα. Το ασύρματο δίκτυο μπορεί να δυσκολεύεται να μεταδώσει με ακρίβεια για αυτό και προκύπτει πάγωμα της εικόνας ή του ήχου. Με αυτόν τον τρόπο το 5G μπορεί να εξαλείψει τις κακές και προβληματικές εικόνες.

Τέλος, μέσω του 5G είναι επίσης δυνατό να δημιουργηθούν αντίγραφα ασφαλείας πιο γρήγορα. Η μεταφορά αρχείων και ο συγχρονισμός των δεδομένων μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Επίσης είναι σχεδόν τάχιστα η δημιουργία αντιγράφου ασφαλείας των κινητών συσκευών είτε πρόκειται για κείμενα, είτε για φωτογραφίες είτε για επαφές είτε για βίντεο, ακόμη και για εφαρμογές.



Σχήμα 6: Εξέλιξη του 5G δικτύου

### Αλλαγές στα σύγχρονα δίκτυα

Συνεπώς, γίνεται κατανοητό πως η τεχνολογία του 5G πρόκειται να αλλάξει συνολικά τα σύγχρονα δίκτυα καθώς θα υπάρξουν σημαντικά οφέλη σε σύγκριση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Η τεχνολογία 5G θα έχει πολύ χαμηλότερο κόστος, θα έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, θα είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον και θα επιτρέπει να συνδεθεί πολύ μεγάλος αριθμός συσκευών της κινητής επικοινωνίας.

Για αυτό και οι εταιρείες που ασχολούνται με την τηλεφωνία και τις τηλεπικοινωνίες κάνουν μελέτες πάνω σε αυτή την τεχνολογία με σκοπό να μπορέσουν να την εφαρμόσουν στο άμεσο μέλλον. Η νέα τεχνολογία θα διευκολύνει ακόμη περισσότερο τον κόσμο, όμως θα υπάρξουν και αλλαγές στις απαιτήσεις μέσα από την εξέλιξη των συσκευών και τις γρήγορες ταχύτητες.

Αν και δεν είναι γνωστό πότε ακριβώς θα εφαρμοστεί, σίγουρα η έλευση του τοποθετείται από το 2020 και μετά παρόλο που πιλοτικά έχουν ξεκινήσει κάποιες υλοποιήσεις ήδη. Υπάρχει σαφώς και η περίπτωση της καθυστέρησης εξαιτίας των συνθηκών που έχει δημιουργήσει η οικονομική κρίση αλλά και η

υγειονομική κρίση που ξέσπασε το 2020. Εξαιτίας του κόστους που θα έχει η αναβάθμιση του δικτύου, φαίνεται πως και οι συσκευές θα είναι αρκετά ακριβές για να μπορέσουν να δεχτούν το νέο δίκτυο. Επομένως, αντιλαμβάνεται κανείς ότι στα επόμενα χρόνια η τεχνολογία 5G θα απασχολήσει πολύ τις τηλεπικοινωνίες και τους χρήστες, καθώς επίσης και τις εταιρείες ανάπτυξής του.

### 1.1.7 Δίκτυα έκτης γενιάς «6G»

Το επόμενο βήμα μετά το 5G. Το δίκτυο κινητής και ασύρματης επικοινωνίας έκτης γενιάς (6G) θα μπορεί να ενσωματώσει τα δίκτυα δορυφορικών επικοινωνιών και το 5G για να παρέχει παγκόσμια κάλυψη. Το δίκτυο δορυφορικών επικοινωνιών μπορεί να αποτελείται από δορυφορικά δίκτυα τηλεπικοινωνιών, δίκτυα απεικόνισης γης και δίκτυα πλοήγησης. Ο στόχος του 6G είναι η ενσωμάτωση αυτών των ειδών δορυφορικών δικτύων για την παροχή αναγνωριστικού θέσης δικτύου, πολυμέσων και σύνδεσης στο διαδίκτυο, καθώς και υπηρεσιών πληροφοριών καιρού στους χρήστες κινητών συσκευών. Οι τέσσερις χώρες που διαθέτουν αυτά τα δορυφορικά συστήματα είναι: το Παγκόσμιο Σύστημα Θέσης (GPS) των ΗΠΑ, το Galileo στην Ευρώπη, το COMPASS της Κίνας και η GLONASS από τη Ρωσία. Εάν το 6G ενσωματωθεί με το 5G με αυτά τα δορυφορικά δίκτυα, θα έχει τέσσερα διαφορετικά πρότυπα. Έτσι, η παράδοση και η περιαγωγή θα είναι ένα μεγάλο θέμα στο 6G. Το ραδιόφωνο πάνω από το σύστημα ινών είναι ήδη υπό ύπαρξη, αλλά με την έλευση της τεχνολογίας 6G, η ανθρωπότητα θα είναι πιο κοντά σε κάθε εξωγήινο πολιτισμό στο σύμπαν.

#### **Χαρακτηριστικά:**

- Εξαιρετικά γρήγορη πρόσβαση στο Διαδίκτυο σε σχέση με σήμερα.
- Τα ποσοστά δεδομένων θα ανοιχθούν έως 10-11 Gbps.
- Έξυπνα σπίτια, πόλεις και χωριά και οχήματα.
- Παραγωγή ενέργειας από γαλαξιακό κόσμο.
- Οικιακός αυτοματισμός
- Δορυφορική προς δορυφορική επικοινωνία
- Οι φυσικές καταστροφές θα ελέγχονται με δίκτυα 6G.
- Επικοινωνία από θάλασσα σε διάστημα.
- Αμυντική βιομηχανία

### 1.1.8 Συμπεράσματα

Υπάρχουν πολλά αλληλεξαρτώμενα και πολύπλοκα επιμέρους τμήματα που εργάζονται από κοινού για τα 4G δίκτυα. Τα οφέλη για τους Παρόχους υπηρεσιών και τους τελικούς χρήστες οδήγησαν στην έγκριση των υπηρεσιών 3G, που με τη σειρά τους, οδηγούν στην απαίτηση για ακόμα πιο προηγμένες υπηρεσίες. Η υλοποίηση των 4G γκρέμισε το τείχος που χωρίζει ασύρματες και ενσύρματες υπηρεσίες, το οποίο για αρκετά χρόνια αποτελούσε ένα δύσκολο εγχείρημα. Με τη χρήση των προαναφερόμενων τεχνολογιών και τεχνικών, τα 4G δίκτυα επιτυγχάνουν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν μεγάλη κινητικότητα μέσα στο δίκτυο παραμένοντας συνδεδεμένοι. Με την έμφασή τους στις πολυμεσικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου, άνοιξαν ένα νέο παράθυρο δυνατοτήτων σε καταναλωτές και αγορές, προκειμένου να διευκολυνθούν οι on-line αγορές, οι οποίες άλλωστε τα τελευταία χρόνια έχουν σημειώσει και σημειώνουν μεγάλα άλματα προόδου. Τα δίκτυα 4ης γενιάς βρίσκονται στο χρονικό μεταίχμιο των δικτύων επικοινωνιών καθότι από τη μια μεριά αποτελούν τη βελτίωση των δικτύων 3ης γενιάς (από την άποψη του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, με αποτέλεσμα να είναι πιο προσιτές κάποιες υπηρεσίες που μέχρι πρότινος δεν ήταν εφικτές) και από την άλλη εισάγουν καινοτόμες τεχνολογίες όπως αυτο-οργάνωση κυψελών, χρήση Femtocell [52] κυττάρων, τα οποία χρησιμοποιούνται στα ετερογενή δίκτυα με στόχο τη χαμηλότερη σπατάλη ενέργειας για τους σταθμούς βάσης. Αυτά είναι ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία ο χρήστης δεν τα αντιλαμβάνεται, αποτελούν όμως τη βάση για τις επόμενες γενιές δικτύων.

Ο κόσμος της κινητής ασύρματης επικοινωνίας αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς. Τα τελευταία χρόνια έχουν βιώσει μια αξιοσημείωτη ανάπτυξη στην ασύρματη βιομηχανία. Γίνονται προσπάθειες για τη μείωση του αριθμού των τεχνολογιών σε ένα ενιαίο παγκόσμιο πρότυπο με αποτέλεσμα τα 5G, 6G και 7G. Το 5G στοχεύει σε έναν πραγματικό ασύρματο κόσμο χωρίς περιορισμούς, ενώ το 6G ενσωματώνει το 5G με δορυφορικά δίκτυα. Λόγω μεταβλητών τεχνολογιών και προτύπων, με το 6G handoff/περιαγωγής θα είναι ένα ζήτημα. Αυτό οδηγεί το 7G των κινητών

ασύρματων δικτύων που στοχεύει στην απόκτηση περιαγωγής χώρου. Οι δοκιμές έχουν ήδη ξεκινήσει στο 5G μέσα στο 2020. Ο κόσμος προσπαθεί να γίνει εντελώς ασύρματος, απαιτώντας αδιάλειπτη πρόσβαση σε πληροφορίες οποτεδήποτε και οπουδήποτε με καλύτερη ποιότητα, υψηλή ταχύτητα, αυξημένο εύρος ζώνης και μείωση του κόστους. Άλλωστε η υγειονομική κρίση του Covid-19 που ξέσπασε στις αρχές του 2020 και συνεχίζει να απασχολεί την καθημερινότητα με κάθε τρόπο απέδειξε ότι οι ανάγκες για ταχύτερα, ποιοτικότερα, ασφαλέστερα και ανεξάρτητα δίκτυα ήρθε για να μείνει και να γίνει σημαντικός παράγοντας για την επόμενη μέρα της ανθρωπότητας και κάθε της δραστηριότητας.



# 2 Cloud Computing

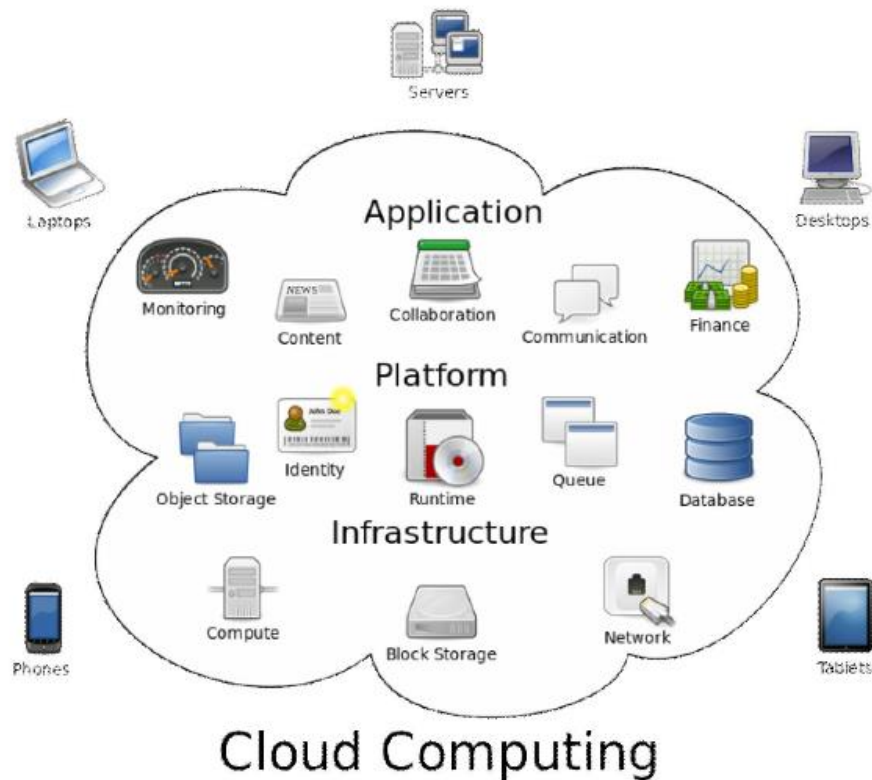
## 2.1 Εισαγωγή στο Cloud Computing (Υπολογιστικό Νέφος)

Το cloud computing (υπολογιστικό νέφος ή νέφος) αποτελεί ένα επιχειρηματικό μοντέλο παροχής υπηρεσιών, το οποίο απασχολεί σε μεγάλο βαθμό την Τεχνολογία Πληροφοριών (Information Technology). Παρέχει υπηρεσίες υπολογισμού, λογισμικού, διαμοιρασμού πόρων, πρόσβασης σε πληροφορίες και αποθήκευσης δεδομένων χωρίς να απαιτείται η γνώση της γεωγραφικής θέσης και της διαμόρφωσης του συστήματος από τον τελικό χρήστη. Το cloud computing συνιστά μια τεράστια αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο παρέχονται οι υπολογιστικοί πόροι, καθώς επιτρέπει την ανάκτηση πληροφοριών, την επεξεργασία και την αποθήκευση δεδομένων και τη χρήση εφαρμογών όπου και αν βρισκόμαστε χωρίς ανάγκη για αγορά και εγκατάσταση των συγκεκριμένων υπηρεσιών. Η λειτουργία του παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με αυτή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, όπου οι τελικοί χρήστες καταναλώνουν ενέργεια δίχως να χρειάζεται να κατανοήσουν τις υποδομές που απαιτούνται για την παροχή της υπηρεσίας.

Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες σχετικά με τον ακριβή ορισμό της έννοιας, οι οποίες ωστόσο δεν καλύπτουν εξ ολοκλήρου τις πτυχές του μοντέλου με αποτέλεσμα τη σύγχυση γύρω από τον πλήρη προσδιορισμό των υπηρεσιών νέφους. Πληρέστερος και ακριβέστερος θεωρείται ο ορισμός που δίνει το **National Institute of Standards and Technology** δημιουργώντας έναν πρότυπο κοινό κώδικα επικοινωνίας σχετικά με το cloud computing, που συμβάλλει στην ευκολότερη και αποτελεσματικότερη ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των ενδιαφερομένων γύρω από το συγκεκριμένο θέμα: *Το cloud computing είναι ένα μοντέλο που επιτρέπει ευέλικτη, on-demand δικτυακή πρόσβαση σε ένα κοινόχρηστο σύνολο παραμετροποιήσιμων υπολογιστικών πόρων (όπως δίκτυα, εξυπηρετητές, αποθηκευτικό χώρο, εφαρμογές και υπηρεσίες), το οποίο μπορεί να τροφοδοτηθεί γρήγορα και να είναι διαθέσιμο με την ελάχιστη προσπάθεια διαχείρισης και αλληλεπίδρασης από τον πάροχο της συγκεκριμένης υπηρεσίας. Το συγκεκριμένο*

*μοντέλο προωθεί την διαθεσιμότητα και αποτελείται από πέντε σημαντικά χαρακτηριστικά, τρία μοντέλα παροχής υπηρεσιών και τέσσερα μοντέλα ανάπτυξης.*

Πρόκειται στην ουσία για ένα μοντέλο εύκολης πρόσβασης σε απομακρυσμένα sites, η οποία παρέχεται μέσω του Διαδικτύου. Συχνά παίρνει τη μορφή εργαλείων που βασίζονται στο Web (web-based εφαρμογών), όπου οι χρήστες μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση μέσα από ένα πρόγραμμα περιήγησης (web browser). Πιο απλά, αντί να διατηρεί ο χρήστης το δικό του περιβάλλον υλικού (hardware) και λογισμικού (software), το νέφος παρέχει υπολογιστικούς πόρους σύμφωνα με τη ζήτηση (on-demand) μέσω ενός παρόχου υπηρεσιών. Συνεπώς, οι υπολογιστικοί πόροι μπορούν να διαμορφώνονται δυναμικά ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη κάθε φορά. Έτσι, οι χρήστες πληρώνουν αποκλειστικά και μόνο για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν και δεν απαιτείται καμία γνώση σχετικά με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στο σύστημα, η διαχείριση του οποίου γίνεται από τον πάροχο. Το cloud computing περιλαμβάνει κάθε υπηρεσία την οποία πληρώνουμε ανάλογα με την χρήση (pay-per-use) των υπολογιστικών πόρων σε πραγματικό χρόνο (real-time εφαρμογές). Η ανάγκη επέκτασης τέτοιων συστημάτων προβάλλει ως μονόδρομος αν λάβουμε υπόψη τις δυνατότητες που προσφέρονται με την ανάπτυξη του cloud computing τόσο όσον αφορά την αντικατάσταση της συνεχούς χρέωσης υπηρεσιών από αυτή της χρέωσης σύμφωνα με τη χρήση της εκάστοτε υπηρεσίας όσο και από την επιθυμία των εταιριών να μειώσουν σημαντικά τα έξοδα που σχετίζονται με τη διαχείριση των πόρων υλικού και λογισμικού.



Σχήμα 7: Δομή του Cloud Computing

### 2.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η πρωταρχική ιδέα της διανομής υπολογιστικών πόρων μέσω ενός παγκόσμιου δικτύου έχει τις ρίζες της στη δεκαετία του 1960. Σχεδόν όλα τα σύγχρονα χαρακτηριστικά του cloud, η σύγκρισή του με τη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας και οι διάφορες μορφές του είχαν διερευνηθεί στο βιβλίο του **Douglas Parkhill's, The Challenge of the Computer Utility** το 1966. Ο όρος cloud προέρχεται από τον κλάδο της τηλεφωνίας όπου οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες, οι οποίες μέχρι το 1990 προσέφεραν αποκλειστικά point-to-point συνδέσεις, άρχισαν να προσφέρουν υπηρεσίες Εικονικών Ιδιωτικών Δικτύων (Virtual Private Network - VPN) με συγκρίσιμη ποιότητα υπηρεσίας αλλά με χαμηλότερο κόστος. Το σύμβολο του cloud (σύννεφο) χρησιμοποιήθηκε για να υποδηλώσει το σημείο οριοθέτησης ανάμεσα στο πεδίο ευθύνης του παρόχου και σε αυτό του καταναλωτή. Το cloud επεκτείνει αυτό το όριο για να καλύψει τους servers καθώς και την υποδομή του δικτύου. Η πρώτη επιστημονική χρήση του όρου "**cloud computing**" έγινε σε μια διάλεξη το 1997 από τον **Ramnath Chellappa**.

Η ιδέα ενός παγκόσμιου δικτύου υπολογιστών παρουσιάστηκε πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960 από τον **JCR Licklider**, ο οποίος ήταν υπεύθυνος για την ανάπτυξη του **ARPANET** (*Advanced Research Projects Agency Network*). Το όραμά του ήταν όλοι στον πλανήτη να μπορούν να διασυνδεθούν και να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα και εφαρμογές σε κάθε δικτυακό τόπο από οπουδήποτε. Ήταν, λοιπόν, ένα όραμα που μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με αυτό που σήμερα ονομάζουμε «νέφος».

Άλλοι ειδικοί αποδίδουν την αρχική προέλευση της έννοιας στον **John McCarthy**, καθηγητή στο MIT, ο οποίος το 1961 πρότεινε την ιδέα οι υπολογιστικοί πόροι να μπορούν να διανέμονται σαν υπηρεσίες κοινής ωφέλειας και παρουσίασε την πληροφορική ως ένα εργαλείο παρόμοιο με τον ηλεκτρισμό.

### 2.1.2 Βασικά χαρακτηριστικά

Τα κύρια λειτουργικά χαρακτηριστικά του cloud computing είναι τα εξής:

- **On-demand self-service:** Παρέχονται στον καταναλωτή μονομερώς υπολογιστικοί πόροι, όπως ο χρόνος χρήσης του server και το μέγεθος του αποθηκευτικού χώρου, οι οποίοι δεσμεύονται μέσω του δικτύου αυτόματα ανάλογα με τις ανάγκες του χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη αλληλεπίδραση με το φορέα παροχής κάθε υπηρεσίας.
- **Broad network access:** Οι υπολογιστικοί πόροι είναι διαθέσιμοι μέσω του δικτύου και προσβάσιμοι μέσω τυποποιημένων μηχανισμών που προωθούν τη χρήση ετερογενών τερματικών συσκευών στην πλευρά του τελικού χρήστη, όπως κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, PDAs.
- **Resource pooling:** Οι υπολογιστικοί πόροι του παρόχου χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετήσουν παράλληλα πολλούς καταναλωτές ακολουθώντας το μοντέλο πολλαπλών εκμισθωτών (multi-tenant), με τους διάφορους φυσικούς και εικονικούς πόρους να ανατίθενται δυναμικά και εκ νέου ανάλογα με τη ζήτηση των καταναλωτών. Δίνεται μια αίσθηση ανεξαρτησίας όσον αφορά τη φυσική τοποθεσία, καθώς ο καταναλωτής δεν έχει κανέναν έλεγχο ή γνώση σχετικά με την ακριβή τοποθεσία των παρεχόμενων πόρων, αλλά μπορεί να

είναι σε θέση να προσδιορίσει σε ένα πιο αφηρημένο επίπεδο την τοποθεσία, όπως χώρα, περιοχή, πόλη ή data center. Παραδείγματα παρεχόμενων πόρων αποτελούν η επεξεργαστική ισχύς, η μνήμη, το εύρος ζώνης (bandwidth) του δικτύου και οι εικονικές μηχανές (virtual machines).

- **Rapid elasticity:** Οι πόροι μπορούν να δεσμευτούν προς χρήση γρήγορα και με ευέλικτο τρόπο, σχεδόν άμεσα και αυτόματα, έτσι ώστε να εμφανίζονται στον καταναλωτή ως απεριόριστοι και διαθέσιμοι προς αγορά ανά πάσα στιγμή.
- Τα συστήματα cloud έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν και να βελτιστοποιούν αυτόματα τη χρήση των υπολογιστικών πόρων αξιοποιώντας μηχανισμούς μέτρησης ανάλογα με τον τύπο της προσφερόμενης υπηρεσίας. Η χρήση των πόρων μπορεί να παρακολουθείται, να ελέγχεται και να καταγράφεται παρέχοντας διαφάνεια και στις δύο πλευρές, τόσο του καταναλωτή-χρήστη όσο και του παρόχου της υπηρεσίας.



Σχήμα 8: Απεικόνιση ορισμού NIST για την αρχιτεκτονική του cloud computing

### 2.1.3 Μοντέλα Υπηρεσιών

Το cloud computing μπορεί να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες με βάση το είδος της προσφερόμενης υπηρεσίας:

- **Software as a Service (SaaS):** Το Software as a Service, γνωστό στα ελληνικά ως Λογισμικό ως Υπηρεσία, είναι ένα μοντέλο παροχής λογισμικού κατά το οποίο το λογισμικό και τα σχετικά δεδομένα φιλοξενούνται στο Νέφος. Οι υπηρεσίες SaaS είναι προσβάσιμες από τους χρήστες διαδικτυακά και απομακρυσμένα, χωρίς να απαιτείται δηλαδή, η τοπική εγκατάσταση και συντήρηση λογισμικού, εξυπηρετητών ή άλλων συστημάτων και υποδομών. Καθώς αυξάνονται οι χρήστες, μειώνεται το κόστος παροχής και συντήρησης της υπηρεσίας και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται οικονομία κλίμακας στη χρήση των εργαλείων και υπηρεσιών που προσφέρονται από το λογισμικό.



Σχήμα 9: Λογισμικό ως Υπηρεσία (SaaS)

- **Platform as a Service (PaaS):** Η Πλατφόρμα ως Υπηρεσία (Platform as a Service – PaaS) είναι ένας τρόπος ενοικίασης υλικού, λειτουργικών συστημάτων, αποθηκευτικού χώρου και δικτυακής υποδομής μέσω του Διαδικτύου. Αυτό το είδος υπηρεσιών επιτρέπει στο πελάτη να ενοικιάζει εικονικοποιημένους (Virtualized) διακομιστές και συνεργαζόμενες υπηρεσίες με

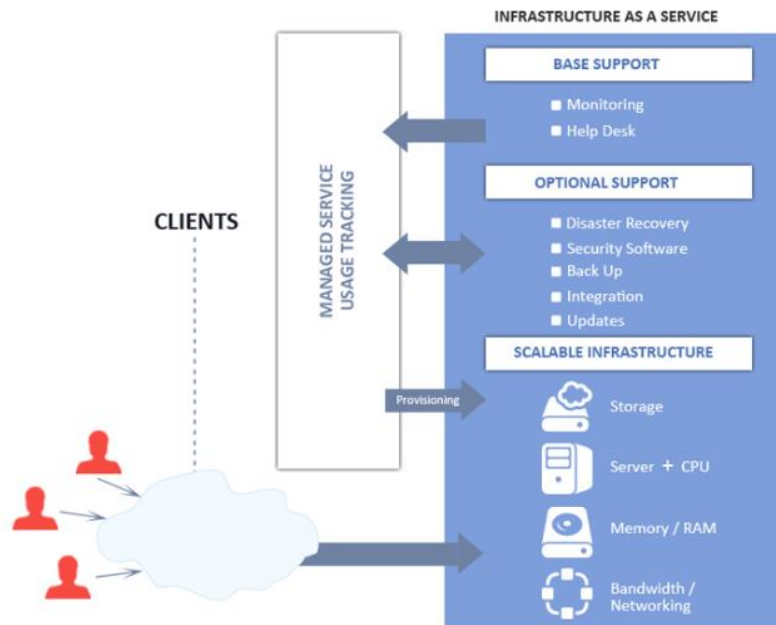
σκοπό να φιλοξενήσουν υπάρχουσες εφαρμογές ή να αναπτύξουν και να δοκιμάσουν νέες. Η Πλατφόρμα ως Υπηρεσία (PaaS) είναι η απόφυση του Λογισμικού ως Υπηρεσία (Software as a Service – SaaS), ενός μοντέλου διαμοιρασμού λογισμικού στο οποίο οι εφαρμογές που φιλοξενούνται είναι διαθέσιμες στους πελάτες μέσω Διαδικτύου. Η PaaS έχει αρκετά πλεονεκτήματα για τους προγραμματιστές. Με τη PaaS, το συστατικά του λειτουργικού συστήματος μπορούν να παραμετροποιηθούν και να αλλάξουν συχνά. Οι ομάδες ανάπτυξης μπορούν να εργάζονται από διαφορετική γεωγραφική τοποθεσία σε projects ανάπτυξης λογισμικού χρησιμοποιώντας υπηρεσίες που εκτείνονται πέρα από τα εθνικά σύνορα. Όσο αφορά το κόστος, ελαχιστοποιείται καθώς γίνεται καλύτερη αξιοποίηση των υλικών υποδομών. Επίσης, το κόστος μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την ενοποίηση των προσπαθειών ανάπτυξης προγραμματισμού.



Σχήμα 10: Πλατφόρμα ως Υπηρεσία (PaaS)

- **Infrastructure as a Service (IaaS):** Η Υποδομή ως Υπηρεσία (IaaS) αποτελεί ένα μοντέλο προμήθειας υλικού, βάση του οποίου η εταιρεία αξιοποιεί απομακρυσμένα υλικές υποδομές συμπεριλαμβανομένων του αποθηκευτικού χώρου, διακομιστών και δικτυακό εξοπλισμό. Η υλική υποδομή ανήκει στον πάροχο της υπηρεσίας ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη φύλαξη, λειτουργία και

συντήρηση της. Ο πελάτης πληρώνει συνήθως με βάση τη χρήση αυτής της υποδομής.



Σχήμα 11: Υποδομή ως Υπηρεσία (SaaS)

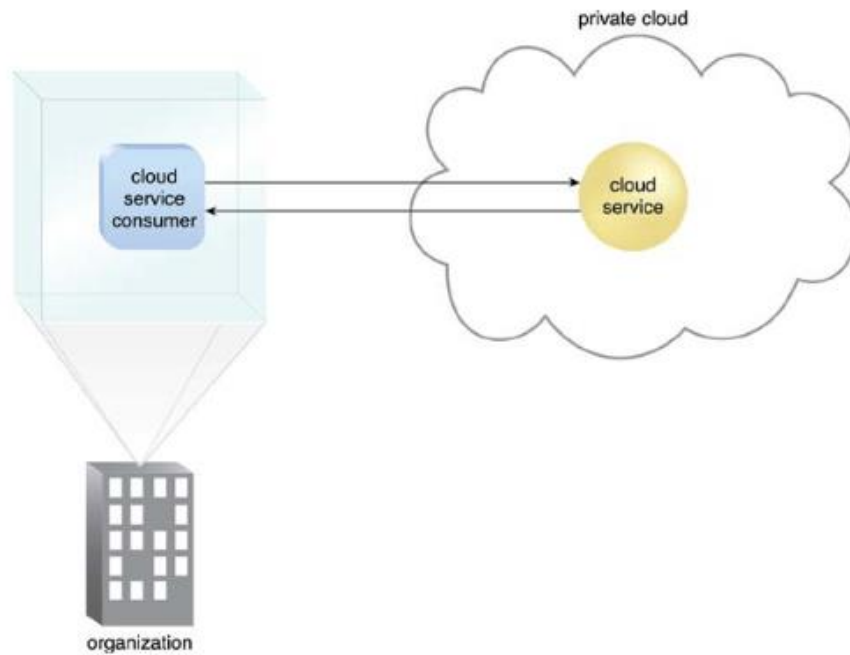
#### 2.1.4 Μοντέλα Ανάπτυξης

Το cloud computing με βάση την αποκλειστικότητα χρήσης διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες:

- **Private cloud (Ιδιωτικό cloud):** πρόκειται για ένα σύνολο υπολογιστικών πόρων που προσφέρονται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχεδιάζονται, να καθορίζονται και να ελέγχονται από έναν συγκεκριμένο οργανισμό. Ένα σημαντικό μειονέκτημά του είναι το υψηλό κόστος απόκτησης και λειτουργίας του. Πολύ συχνά συγχέεται με το Virtualization το οποίο ωστόσο αποτελεί μόνο ένα μικρό κομμάτι του. Τα Private Cloud ωστόσο, υπόκειται στους περιορισμούς ασφαλείας του οργανισμού λόγω της εφαρμογής του στο πλαίσιο ενός ήδη υπάρχοντος data center ενός οργανισμού, παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη ασφάλεια σε ευαίσθητα δεδομένα. Τέλος, τα Private Cloud σταθεροποιούν και βελτιστοποιούν την απόδοση ενός ήδη υπάρχοντος hardware σε ένα συγκεκριμένο data center μέσω των τεχνολογιών Virtualization που

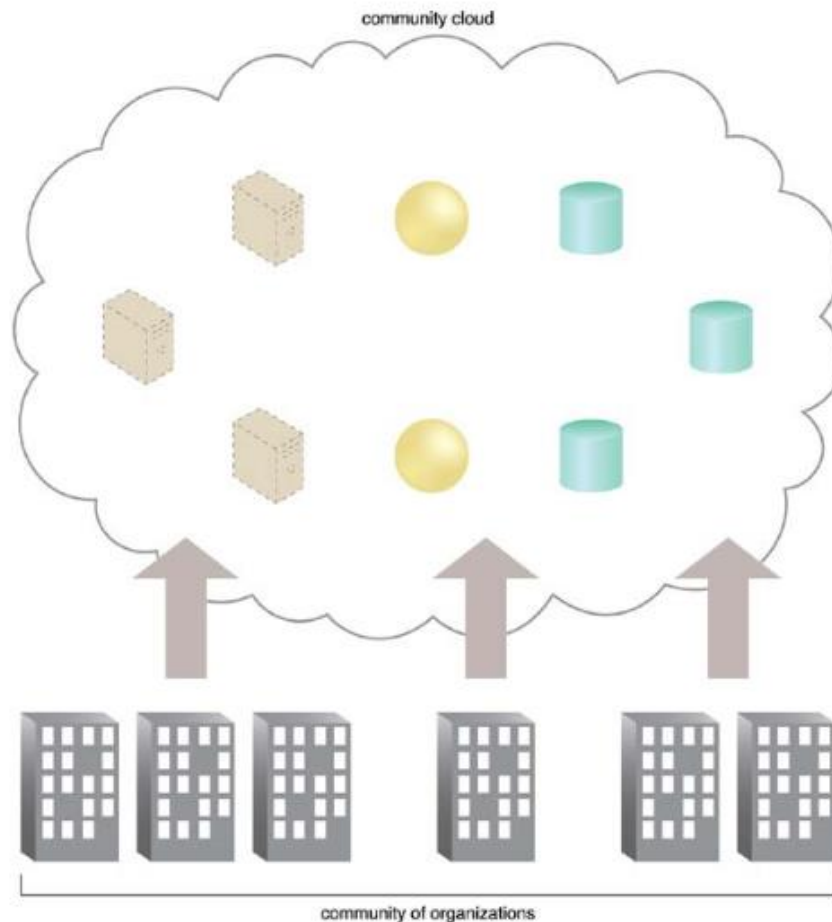


χρησιμοποιούν, μειώνοντας έτσι τα λειτουργικά κόστη και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα του data center.



Σχήμα 12: Private Cloud

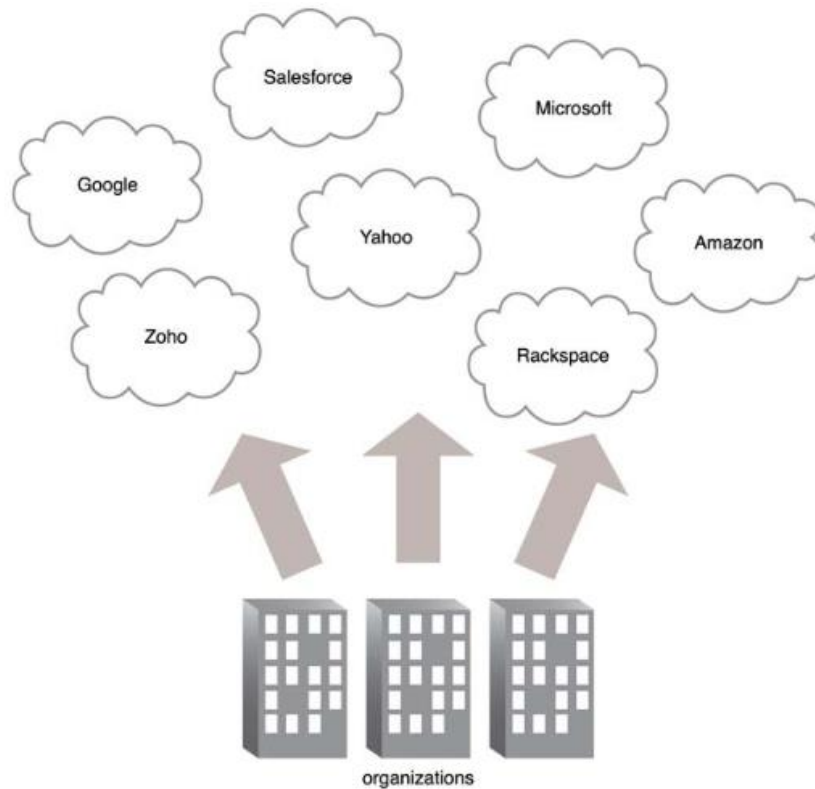
- **Community Cloud (Κοινοτικό cloud):** Το συγκεκριμένο μοντέλο διαθέτει υποδομή η οποία είναι διαμοιρασμένη από πολλούς οργανισμούς και εξυπηρετεί συγκεκριμένη κοινότητα. Η κοινότητα αυτή έχει ως κοινό τόπο κάποιο συγκεκριμένο στόχο ή ενδιαφέρον. Αυτό το μοντέλο έχει σαν χαρακτηριστικό να μπορεί να το διαχειρίζεται ένας οργανισμός ή την εποπτεία του να την έχει ένας τρίτος οργανισμός ή επιχείρηση.



Σχήμα 13: Community Cloud

- Public cloud (Δημόσιο cloud):** Με τον όρο Public Cloud εννοούμε ένα σύνολο πόρων από υπολογιστές και δίκτυα υπολογιστών, οι οποίοι είναι βασισμένοι στο πρότυπο cloud computing και διατίθενται μέσω διαδικτύου ενώ τις περισσότερες φορές παρέχονται από έναν πάροχο. Σαν μοντέλο χαρακτηρίζεται από πολλά πλεονεκτήματα μερικά από τα ποία είναι τα εξής: οι υπηρεσίες προσφέρονται στους χρήστες με ασφάλεια, ελαστικότητα και συνεχή διαθεσιμότητα, χαρακτηρίζεται από μεγάλη ευελιξία λόγω της άμεσης διάθεσης υπηρεσιών και η χρέωση αφορά μόνο τις υπηρεσίες που θα χρησιμοποιηθούν. Οι πάροχοι τέτοιων υπηρεσιών διαμορφώνουν, επομένως, μια υποδομής τεράστιας δυναμικότητας που απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα πελατών. Τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευθούν σε κοινά μέσα αποθήκευσης, πράγμα που καθιστά απαραίτητη την κωδικοποίηση των δεδομένων για μεγαλύτερη ασφάλεια. Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει

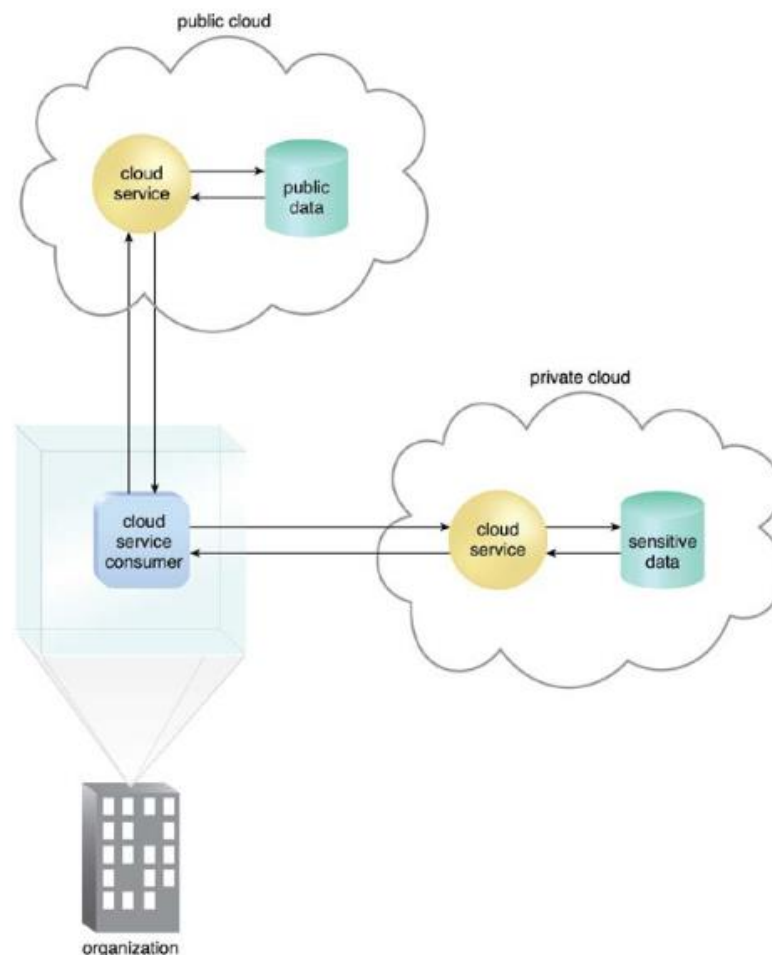
τεράστια ανάπτυξη του public cloud με αποτέλεσμα την προσφορά μεγάλου πλήθους υπηρεσιών από εταιρίες όπως η Amazon με την υπηρεσία EC2 (IaaS) και η Google με την υπηρεσία Google Apps Engine (PaaS).



Σχήμα 14: Public Cloud

- **Hybrid cloud (Υβριδικό cloud):** Το μοντέλο αυτό συνδυάζει τους πόρους που προέρχονται από το Public Cloud, ή τους πόρους που προέρχονται από ένα ή περισσότερα Private Cloud, ακόμα και κάνοντας συνδυασμό αυτών των δύο. Ένα μοντέλο Hybrid Cloud μπορεί να προσφέρει στους χρήστες του τα ακόλουθα: **Επεκτασιμότητα** : Ενώ τα private clouds προσφέρουν ένα ορισμένο επίπεδο κλιμάκωσης, ανάλογα με τις ρυθμίσεις τους (είτε φιλοξενούνται εσωτερικά ή εξωτερικά, για παράδειγμα), τα public clouds προσφέρουν επεκτασιμότητα με λιγότερα όρια, διότι οι πόροι αποσπώνται από τη μεγαλύτερη υποδομή cloud . **Εξοικονομήσεις κόστους** : Τα public clouds είναι πιθανό να προσφέρουν πιο σημαντικές οικονομίες κλίμακας (όπως η κεντρική διαχείριση), και έτσι μεγαλύτερη αποδοτικότητα του κόστους από τα private

clouds. Ως εκ τούτου, τα υβριδικά σύννεφα επιτρέπουν στους οργανισμούς να έχουν πρόσβαση σε αυτές τις εξοικονομήσεις για όσες επιχειρηματικές λειτουργίες κατά το δυνατόν, διατηρώντας ωστόσο ασφαλείς τις ευαίσθητες επιχειρήσεις. **Ασφάλεια** : Το private cloud ως στοιχείο του hybrid cloud δεν παρέχει μόνο την ασφάλεια, όπου αυτό είναι αναγκαίο για τις ευαίσθητες λειτουργίες, αλλά μπορεί επίσης να εκπληρώσει τις κανονιστικές απαιτήσεις για το χειρισμό και την αποθήκευση όταν μπορεί να εφαρμοστεί. **Ευελιξία** : Η διαθεσιμότητα των πόρων μπορεί να παρέχει στους οργανισμούς περισσότερες ευκαιρίες για να εξερευνήσουν διάφορες επιχειρησιακές κατευθύνσεις.



Σχήμα 15: Hybrid Cloud

### 2.1.5 Πλεονεκτήματα

Το cloud computing είναι ένα σχετικά νέο επιχειρηματικό μοντέλο που δεν έχει εδραιωθεί ακόμη σε μεγάλο βαθμό. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα που προσφέρει είναι ιδιαίτερα σημαντικά και, για αυτό το λόγο, θεωρείται σήμερα ως μια εικόνα από το μέλλον όσον αφορά τον τρόπο πρόσβασης και χρήσης των υπολογιστικών πόρων. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται παρακάτω δεν είναι τα μοναδικά, καθώς το υπολογιστικό νέφος αποτελεί ένα νέο αντικείμενο στο χώρο της Πληροφορικής, με συνεχή εξέλιξη όπου με το καιρό προκύπτουν συνεχώς καινούρια δεδομένα. Ξεκινώντας με τα κυριότερα οφέλη του cloud computing το συγκεκριμένο μοντέλο παροχής υπηρεσιών παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- **Τιμολόγηση υπηρεσίας:** Οι χρήστες καταναλώνουν υπολογιστικούς πόρους on-demand πληρώνοντας ανάλογα με τη χρήση που κάνουν. Έτσι, όσον αφορά εταιρικά περιβάλλοντα, πληρώνουν χρήματα από τον προϋπολογισμό για τις λειτουργικές δαπάνες (OPEX) αντί να πληρώνουν εξ αρχής για πόρους που θα ανήκαν στις κεφαλαιακές δαπάνες (CAPEX). Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα ελκυστικό για πολλές νέες επιχειρήσεις, καθώς με τον τρόπο αυτό διαθέτουν υπολογιστικούς πόρους που δεν θα είχαν σε διαφορετική περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, η προσέγγιση pay-per-use προσελκύει αρκετές μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις που δεν έχουν τη δυνατότητα να επενδύσουν σε πολύπλοκες και δαπανηρές υποδομές που κοστίζουν ακριβά. Δίνεται, επομένως, η δυνατότητα να αγοράζουν μόνο τις υπηρεσίες που χρειάζονται και μόνο για το χρονικό διάστημα που απαιτείται καταβάλλοντας το σχετικό αντίτιμο αποφεύγοντας άσκοπα έξοδα και πάγιες δαπάνες που επιβαρύνουν τον οικονομικό προϋπολογισμό τους. Με άλλα λόγια, οι εταιρίες αντί να διατηρούν ένα data center με ακριβό εξοπλισμό και λογισμικό που ενδέχεται να μένουν αχρησιμοποίητα για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα μπορούν να «νοικιάζουν» υπολογιστικούς πόρους, όταν και όσους χρειάζονται και για το διάστημα που αυτοί είναι απαραίτητοι. Έτσι, αντί για μεγάλες επενδύσεις σε

συστήματα πληροφορικής, πληρώνουν μια μικρή, μηνιαία ή ετήσια, συνδρομή στρέφοντας τις επενδύσεις τους σε πραγματικές ευκαιρίες ανάπτυξής τους.

- **Αυξημένη ευελιξία:** Μακροπρόθεσμες υποχρεώσεις όπως η αγορά λογισμικού ή υλικού απαιτούν ακριβή σχεδιασμό για μακροπρόθεσμες ανάγκες. Αντίθετα, στην περίπτωση του cloud computing ο προγραμματισμός γίνεται για μικρότερες χρονικές περιόδους, επομένως οι αυξομειώσεις στη ζήτηση υπολογιστικών πόρων καλύπτονται επαρκώς τη χρονική στιγμή που παρουσιάζονται και για όσο οι πόροι αυτοί είναι αναγκαίοι.
- **Ταχύτητα υλοποίησης:** Σε μια εγκατάσταση ενός νέου πληροφοριακού συστήματος υπάρχουν διάφορες χρονοβόρες εργασίες που απαιτούνται να γίνουν όπως καθορισμός προδιαγραφών, παραγγελία, παραλαβή, εγκατάσταση, ρυθμίσεις, έλεγχοι, κλπ που μπορεί να διαρκέσουν αρκετά μεγάλα χρονικά διαστήματα, ακόμη και μήνες σε ορισμένες περιπτώσεις. Στο cloud αντίστοιχες υποδομές μπορούν να αρχίσουν να λειτουργούν σε λίγα λεπτά και το «στήσιμο» ολόκληρης της λύσης μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε κάποιες ώρες.
- **Πρόσβαση από παντού:** Οι διαδικτυακές εφαρμογές παρέχουν τη δυνατότητα πρόσβασης από οποιοδήποτε σημείο χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση λογισμικού VPN. Το cloud computing, δηλαδή, υπόσχεται πρόσβαση σε υψηλής ισχύος υπολογιστικούς πόρους σε οποιονδήποτε διαθέτει μια συσκευή με πρόσβαση στο διαδίκτυο, γεγονός που βοηθά στη διευκόλυνση ανάληψης πρωτοβουλιών τηλεργασίας.
- **Υψηλός ανταγωνισμός – χαμηλότερες τιμές:** Όταν ξεκίνησαν οι υπηρεσίες cloud της Amazon προσέφεραν on-line storage σε ένα data center. Σήμερα, η Amazon προσφέρει περισσότερες υπηρεσίες σε σημαντικά χαμηλότερες τιμές. Πλέον στο χώρο δραστηριοποιούνται δυναμικά εταιρείες-κολοσσοί όπως η Microsoft και η Google που διαθέτουν cloud offerings στο καταναλωτικό κοινό.

Επομένως, αυτός που κερδίζει από όλο αυτό είναι φυσικά ο πελάτης, οι μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις μια και οι προσφερόμενες επιλογές συνεχώς αυξάνονται και γίνονται πιο ελκυστικές.

- **Οικολογική Προσέγγιση:** Το cloud computing πιστεύεται ότι μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, καθώς υπηρεσίες πληροφορικής για επιχειρήσεις και οργανισμούς φιλοξενούνται στο «νέφος» και έτσι δεν υπάρχει ανάγκη για τοπικούς servers στο φυσικό τους χώρο, μιας και οι υπολογιστές βρίσκονται σε datacenters σχεδιασμένα για βέλτιστη ενεργειακή αποδοτικότητα.

### 2.1.6 Μειονεκτήματα

Κατά την εξερεύνηση της υπηρεσίας για αποθήκευση δεδομένων Amazon S3 ώστε να εξετάσουν πώς ανταποκρίνεται σε επιστημονικές εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων, οι Magur et al (2008) διαπίστωσαν πως η εν λόγω υπηρεσία παρέχει μία μέθοδο τιμολόγησης για την παροχή και υποστήριξη των τριών χαρακτηριστικών δεδομένων, τα οποία είναι η υψηλή αντοχή (durability), η υψηλή διαθεσιμότητα (availability) και η γρήγορη πρόσβαση (access), μολονότι οι περισσότερες εφαρμογές δεν καλύπτουν και τις τρεις απαιτήσεις. Για παράδειγμα, η αποθήκευση αρχείων απαιτεί υψηλή αντοχή-όπως αυτή μεταφράζεται ως μεγάλος όγκος δεδομένων, αλλά δεν χρειάζεται υψηλή διαθεσιμότητα ούτε ταχεία πρόσβαση. Επομένως, συστήνεται στην υπηρεσία να παρέχει υπηρεσίες και να τις κοστολογεί κλιμακωτά βάσει της απαιτούμενης αναλογίας αντοχής, διαθεσιμότητας, πρόσβασης. Άρα, **παρέχονται υπηρεσίες που δεν χρειάζονται και το κόστος είναι υψηλότερο.**

Ο Lublinsky (2009) στην αναφορά του “Clearing the air on Cloud Computing” κάνει λόγο για **υψηλότερα κόστη της χρήσης του cloud computing συγκριτικά με αυτά στέγασης εντός της επιχείρησης ενός κέντρου πληροφοριών.** Παρόλα αυτά, αυτό είναι ένα ζήτημα που προκύπτει μόνο για τις μεγάλες επιχειρήσεις, ενώ οι μικρομεσαίες δείχνουν να μην επηρεάζονται απολαμβάνοντας τα οφέλη του cloud.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις δεν έχουν τη δυνατότητα να επενδύσουν σε ένα τεράστιο κέντρο πληροφοριών, το οποίο σχετίζεται με επενδύσεις σε software και hardware. Η μεταβλητότητα του κόστους είναι το κλειδί για τη μεταφορά των επιχειρηματικών διαδικασιών σε υπηρεσίες νέφους, όταν οι επιχειρήσεις επιθυμούν τη βελτιστοποίηση της διαχείρισής του και τη δυνατότητα επεκτασιμότητας των εφαρμογών διαχείρισής του.

Ένα, επίσης, ζήτημα που αναφέρεται ως μειονέκτημα και πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα είναι η **ασφάλεια των εφαρμογών** που βρίσκονται σε υποδομές cloud. Όπως, άλλωστε, λένε οι ειδικοί καταδεικνύοντας την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση: *«Τα προσωπικά δεδομένα είναι το πετρέλαιο της νέας εποχής»*. Εγείρονται, επομένως, συνεχώς ενστάσεις γύρω από θέματα που άπτονται της ασφάλειας των προσωπικών δεδομένων. Οι χρήστες εμφανίζονται διστακτικοί καθώς το επίπεδο εμπιστοσύνης, ιδιαίτερα μετά τις τελευταίες αποκαλύψεις περί προστασίας των προσωπικών δεδομένων, έχει κλονιστεί και απαιτείται συνεχής προσπάθεια για εξέλιξη και βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Εδώ, ωστόσο, βρίσκεται και η μεγάλη ευκαιρία της αγοράς υπηρεσιών cloud. Πολλές επιχειρήσεις ανησυχούν για την ασφάλεια και την αξιοπιστία των cloud υπηρεσιών. Παρόλα αυτά, είναι σαφές ότι οι πάροχοι υπηρεσιών cloud είναι πολύ ευκολότερο να σχεδιάσουν καλύτερες πολιτικές ασφάλειας από μια μικρομεσαία επιχείρηση γιατί αφενός μεν χρησιμοποιούν ειδικούς εμπειρογνώμονες και αφετέρου ακολουθούν πιστοποιημένες διαδικασίες ασφαλείας. Επειδή ακριβώς εξειδικεύονται στο συγκεκριμένο αντικείμενο, είναι ευκολότερο να κατασκευάσουν συστήματα υψηλής αξιοπιστίας ώστε να προστατεύουν και να υποστηρίζουν τα συστήματα χιλιάδων αντίστοιχων επιχειρήσεων.

### 2.1.7 Κόστος Cloud Computing

Το cloud computing έρχεται συχνά μαζί με την οικονομική έφεση η οποία ορίζει ότι «μετατρέπει έξοδα κεφαλαίου σε λειτουργικά έξοδα» (Armbrust et al., 2009). Οι επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν το cloud computing πληρώνουν διαφορετικά ανάλογα με τη συμφωνία μεταξύ αυτών και των παρόχων της υπηρεσίας. Οι



πάροχοι χρησιμοποιούν συνήθως οικονομικά μοντέλα που διαθέτουν ώστε να κοστολογούν ανάλογα με τη χρήση των υπηρεσιών που προσφέρουν (Khajeh-Hosseini et al., 2010β). Υπάρχουν διαθέσιμα στην αγορά τέτοιων υπηρεσιών αρκετά διαφορετικά μοντέλα κοστολόγησης. Το συνηθέστερο μοντέλο κοστολόγησης είναι αυτό που προτείνει ο Armbrust, το οποίο είναι ένα μοντέλο βραχυπρόθεσμης χρέωσης. Ο ίδιος περιγράφει το μοντέλο αυτό ως ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και καινοτόμα χαρακτηριστικά του cloud computing. Τα οικονομικά ζητήματα που εγείρονται από την ανάπτυξη του cloud computing αποτελούν αντικείμενο εκτενούς και διαρκούς συζήτησης. Από την πλευρά των πελατών αναλύονται τα μοντέλα που υιοθετούνται από τους παρόχους και βάσει των οποίων καλείται ο καταναλωτής να πληρώσει. Γίνονται, έρευνα για δεδομένα κόστη που επιβαρύνουν το χρήστη. Σύμφωνα με τον Armbrust το cloud computing παρέχει ένα μοντέλο κοστολόγησης το οποίο ακολουθεί τον κανόνα πληρωμής ανάλογα με τη χρήση των υπολογιστικών πόρων σε μια βραχυπρόθεσμη βάση οπότε απαιτείται και απαλλαγή από οποιαδήποτε οικονομική δέσμευση όταν οι πόροι δεν είναι πλέον απαραίτητοι. Επομένως, όποτε δεν χρειάζονται οι μηχανές και οι αποθηκευτικοί χώροι, αποδεσμεύονται (Armbrust et al., 2009). Ο Armbrust αποκαλεί αυτή τη μέθοδο κοστολόγησης «πληρώνεις όσο χρησιμοποιείς» (“pay as you go”).

### 2.1.8 Βασικοί Πάροχοι Υπηρεσιών Cloud

Η ζήτηση στην αγορά αυξάνεται συνεχώς με ραγδαίους ρυθμούς και ταυτόχρονα αυξάνονται και οι πάροχοι που προσφέρουν υπηρεσίες cloud. Καθημερινά νέες εταιρίες ανά τον κόσμο προσανατολίζονται σε αυτή την κατεύθυνση και δραστηριοποιούνται στο συγκεκριμένο τομέα. Υπάρχουν, ωστόσο, εταιρίες κολοσσοί οι οποίες κυριαρχούν στα συστήματα cloud computing και παρέχουν αντίστοιχες υπηρεσίες. Οι συγκεκριμένες εταιρίες έχουν καθιερωθεί στο χώρο και έχουν εξειδικευθεί στην παροχή υπηρεσιών cloud.

Παρακάτω γίνεται μια σύντομη επισκόπηση διάφορων αντιπροσωπευτικών παρόχων που δραστηριοποιούνται στο συγκεκριμένο τομέα στις μέρες μας.

## **Amazon**

Η Amazon αποτελεί κορυφαίο εμπορικό σήμα στο χώρο του ηλεκτρονικού εμπορίου. Στο χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από την ίδρυσή της, η Amazon έχει εξελιχθεί από ένα on-line ηλεκτρονικό βιβλιοπωλείο σε μια πλατφόρμα λιανικής πώλησης και έπειτα στον κορυφαίο προμηθευτή cloud computing. Τόσο με την υπηρεσία απλής αποθήκευσης Amazon S3 (Simple Storage Service) αρχικά όσο και με την υπηρεσία EC2 (Elastic Compute Cloud) στη συνέχεια, η Amazon κατόρθωσε να καταστεί ηγέτιδα δύναμη στην παροχή υπηρεσιών cloud. Μάλιστα, η καινοτομία της Amazon και η πρωτοπορία της με την παρουσίαση των δύο προαναφερθέντων υπηρεσιών εισέπραξε από τον οικονομικό και τεχνολογικό τύπο της εποχής διθυραμβικές και επαινετικές σχόλια. Η εταιρία σήμερα παρέχει την υποδομή cloud της επιτρέποντας στους χρήστες της να προσαρμόζουν τους υπολογιστικούς πόρους στις ανάγκες τους φιλοξενώντας εφαρμογές με ένα ελκυστικό μοντέλο τιμολόγησης και την εγγυημένη αξιοπιστία που προσδίδει το brand name της Amazon.

## **Microsoft**

Η είσοδος της Microsoft στο cloud computing αποτελεί σαφέστατη ένδειξη ανάπτυξης του συγκεκριμένου χώρου. Για μεγάλο χρονικό διάστημα επικεντρωνόταν στην αγορά του προσωπικού υπολογιστή (personal computer) θεωρώντας τις υπηρεσίες Διαδικτύου ως μη υποσχόμενη αγορά και θέτοντας άλλες προτεραιότητες. Ωστόσο, η σημαντική στροφή και η αλλαγή της στάσης έπειτα από τη συνειδητοποίηση της σπουδαιότητας του cloud computing καταδεικνύει με τον πιο ξεκάθαρο τρόπο την τεράστια ανάπτυξη του τομέα αυτού και την αυξανόμενη είσοδο νέων ανταγωνιστών στο χώρο. Η εμφάνιση, επομένως, του Windows Azure αποτελεί ένα γεγονός-σταθμό στην ιστορία του cloud computing, καθώς η μεγαλύτερη εταιρία λογισμικού παγκοσμίως έκανε μια ιδιαίτερα σημαντική επιλογή για το μέλλον επενδύοντας στην αγορά των υπηρεσιών cloud. Η υπηρεσία Windows Azure είναι μια πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους που επιτρέπει στους χρήστες της να αναπτύσσουν εφαρμογές και να αποθηκεύουν δεδομένα. Ταξινομείται ως PaaS και αποτελείται από διάφορες υπηρεσίες που φιλοξενούνται σε βάσεις δεδομένων της Microsoft. Παρά τη σημαντική υποδομή και τη λειτουργική εμπειρία που

διαθέτει η Microsoft, οι προσπάθειές της για πιο δυναμική είσοδο στο χώρο του cloud computing και αύξηση του μεριδίου αγοράς έχουν επισκιαστεί σε μεγάλο βαθμό από τους ανταγωνιστές της.

## **IBM**

Στη βιομηχανία της πληροφορικής η IBM διαθέτει αναγνωρισμένο κύρος και σημαντική φήμη ιδιαίτερα ως προς την αξιοπιστία της. Έχει αποκτήσει τεράστια εμπειρία, καθώς η ίδρυσή της προηγείται χρονικά των άλλων εταιριών, και η σημαντική σταθερότητα που έχει επιδείξει όλα αυτά τα χρόνια αποτελεί ένα σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα. Η πρωτοβουλία BlueCloud της IBM θέλοντας να συμβάλει στην ανάπτυξη της καινοτομίας παρέχει datacenters στους πελάτες της έχοντας ως στόχο να προσφέρει υπηρεσίες τέτοιες ώστε να προσαρμόζονται οι λύσεις απόλυτα στις εκάστοτε ανάγκες των πελατών. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού έχει έρθει, μάλιστα, σε επαφή με άλλες μεγάλες εταιρίες του κλάδου, όπως η Amazon, προσφέροντας το λογισμικό και τα εργαλεία της στις εφαρμογές που φιλοξενούνται στο νέφος άλλων προμηθευτών cloud.

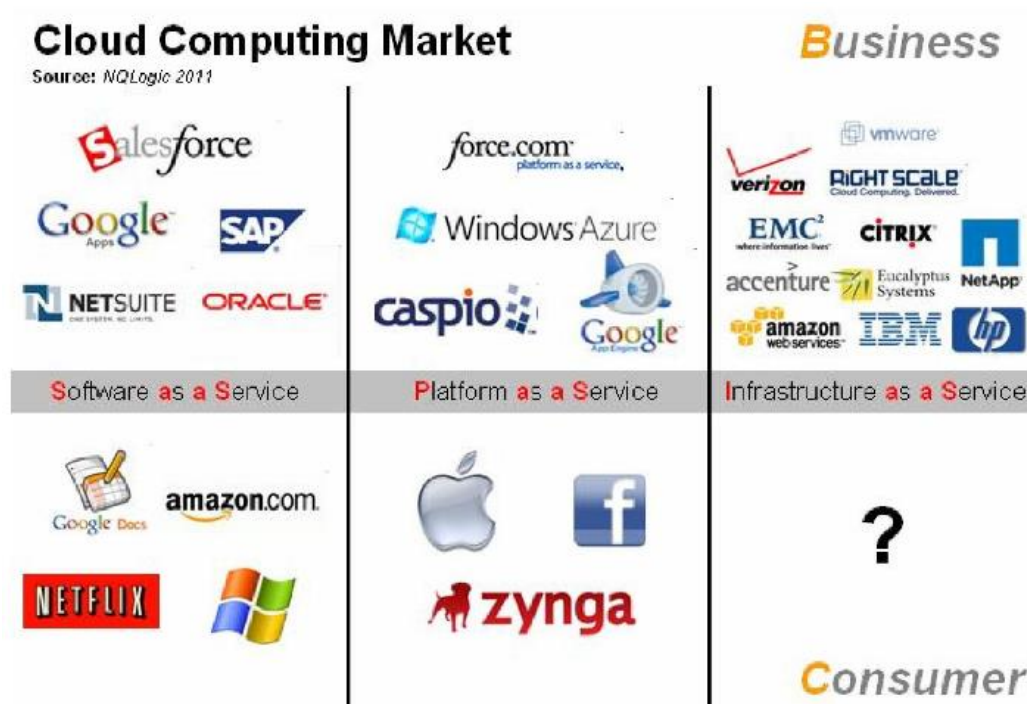
## **Google**

Η είσοδος της κυρίαρχης εταιρίας στο πεδίο του Internet στην αναπτυσσόμενη αγορά του cloud computing ήταν ένα ξεκάθαρο βήμα προς την ευρύτατη αποδοχή και υιοθέτηση του. Με την αδιαμφισβήτητη πείρα της στο χώρο των υπηρεσιών web και την αδιαπραγμάτευτη κυριαρχία της στις μηχανές αναζήτησης, η Google έκανε το σημαντικό βήμα στην παροχή υπηρεσιών cloud με την παρουσίαση της Google App Engine. Η GAE είναι μια πλατφόρμα για φιλοξενία και ανάπτυξη διαδικτυακών εφαρμογών σε datacenters που διαχειρίζεται η Google. Ταξινομείται στην κατηγορία PaaS και είναι δωρεάν μέχρι ενός συγκεκριμένου σημείου χρησιμοποιούμενων υπολογιστικών πόρων. Μετά την υπέρβαση του ορίου αυτού υπάρχουν extra χρεώσεις για επιπλέον χρήση αποθηκευτικού χώρου, υπολογιστικής ισχύος, κτλ ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χρήστη. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πλήρης αποδοχή της Google ως κορυφαίας εταιρίας στο χώρο της διαδικτυακής αναζήτησης δεν μεταφράζεται άμεσα σε αυτόματη ηγεσία στον τομέα του cloud computing, γεγονός που, εκτός των άλλων, αποδεικνύει και τον τεράστιο

ανταγωνισμό που αναπτύσσεται μεταξύ των εταιριών που δραστηριοποιούνται στο χώρο.

## Salesforce

Η Salesforce ιδρύθηκε το 1999 και σήμερα είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρίες παγκοσμίως στην αγορά λογισμικού. Θεωρείται πρωτοπόρος στην παροχή υπηρεσιών cloud και πιο συγκεκριμένα στις υπηρεσίες SaaS. Με την παρουσίαση της πλατφόρμας Force.com το 2007 η Salesforce είχε ως στόχο να παρέχει ένα υψηλότερου επιπέδου πλαίσιο web εφαρμογών και να κατασκευάσει προϊόντα SaaS προσανατολισμένα στις επιχειρήσεις που φιλοξενούνται στο νέφος της προσφέροντας μοναδικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους ανταγωνιστές της. Όπως, όμως, συμβαίνει και με το λογισμικό γενικότερα, έτσι και όσον αφορά τις υπηρεσίες cloud, υπάρχουν εφαρμογές Open Source που διευκολύνουν το χρήστη να προσαρμόσει τις ανάγκες στα μέτρα του. Μάλιστα, οι Open Source πλατφόρμες παρέχουν την ευελιξία διαμόρφωσης από τον ίδιο το χρήστη, καθώς δεν υφίστανται σε προτυποποιημένη μορφή και δεν απαιτούνται αυστηροί περιορισμοί σε σχέση με τους παρόχους που προαναφέρθηκαν.



Σχήμα 16: Αγορά Cloud Computing

## 2.1.9 Δημοφιλέστερες Εφαρμογές Cloud

Ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις στρέφονται στις cloud εφαρμογές, με μια πρόσφατη έρευνα να αναφέρει ότι κατά μέσο όρο, μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις χρησιμοποιούν 16 cloud εφαρμογές.

- **Google Analytics**

Μια δωρεάν υπηρεσία της Google, που μετράει και αναφέρει την κίνηση ιστοσελίδων. Επίσης ενσωματωμένη είναι και η υπηρεσία AdWords (διαφημίσεις). Οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν την ποιότητα της ιστοσελίδας τους και αν έχουν πετύχει συγκεκριμένους στόχους. Οι στόχοι μπορεί να είναι πωλήσεις, θεάσεις συγκεκριμένης σελίδας ή κατέβασμα συγκεκριμένου αρχείου. Το Google Analytics θεωρείται το καλύτερο και πιο διαδεδομένο εργαλείο για ανάλυση ιστοσελίδων στο Διαδίκτυο.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Yammer**

Το Yammer είναι ένα δωρεάν εταιρικό κοινωνικό δίκτυο που χρησιμοποιείται, για προσωπική επικοινωνία μέσα σε οργανισμούς. Η πρόσβαση καθορίζεται από το Internet domain, έτσι ώστε μόνο τα άτομα με εγκεκριμένες διευθύνσεις ηλεκτρονικού ταχυδρομείου να έχουν πρόσβαση. Μέσα από το κοινωνικό δίκτυο μπορούν να επικοινωνούν σαν ομάδες, να στέλνουν φωτογραφίες, έγγραφα, βίντεο και να επεξεργάζονται έγγραφα ομαδικά.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **NetSuite**

Το NetSuite, μια σουίτα επαγγελματικών εφαρμογών, προσφέρει παρακολούθηση οικονομικών αποτελεσμάτων, διαχείριση πωλήσεων, εξυπηρέτηση πελατών και ηλεκτρονικό εμπόριο. Η πρόσβαση σε αυτές τις υπηρεσίες γίνεται, με μηνιαία συνδρομή. Κυρίως οι εφαρμογές αυτές απευθύνονται σε μεσαίες επιχειρήσεις.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Jira**

Το Jira που έχει πάρει το όνομα του από τη λέξη Gojira (το Ιαπωνικό όνομα του Godzilla), είναι ένα λογισμικό ανάπτυξης εφαρμογών που προσφέρει εντοπισμό σφαλμάτων και άλλων θεμάτων, καθώς και δυνατότητες διαχείρισης έργου. Αναπτύσσεται από την εταιρία Atlassian, από το 2002.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Adobe Creative**

Το Adobe Creative είναι μια cloud σουίτα, των γνωστών εφαρμογών της Adobe. Περιλαμβάνει εφαρμογές δημιουργίας γραφικών, επεξεργασίας βίντεο, ανάπτυξης ιστοσελίδων και φωτογραφίας. Όλες είναι διαθέσιμες με μια μηνιαία συνδρομή. Ο χρήστης κατεβάζει τις εφαρμογές από την ιστοσελίδα της εταιρία και τις χρησιμοποιεί μέχρι τη λήξη της συνδρομής.

**Λειτουργικό σύστημα:** Windows, OS X

- **WebEx**

Μια εφαρμογή της Cisco που προσφέρει συνεργασία κατ' απαίτηση, ηλεκτρονικές συναντήσεις, τηλεδιάσκεψη μέσω διαδικτύου και τηλεδιάσκεψη με βίντεο.

**Λειτουργικό σύστημα:** Windows

- **DocuSign**

Το DocuSign είναι μια εφαρμογή που σου επιτρέπει να υπογράψεις ηλεκτρονικά βοηθώντας τις εταιρίες να αντικαταστήσουν τις έντυπες φόρμες με ηλεκτρονικές. Επίσης προσφέρει υπηρεσίες ταυτοποίησης και διαχείρισης ταυτότητας χρήστη.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Workday**

Το Workday είναι μια σουίτα εφαρμογών για διαχείριση οικονομικών και διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού μιας επιχείρησης.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Dropbox**

Το Dropbox είναι μια εφαρμογή αποθήκευσης στο cloud, διαμοιρασμού αρχείων, συγχρονισμού και συνεργασίας. Επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν ένα φάκελο, ο οποίος θα περιέχει τα ίδια δεδομένα ανεξάρτητα την συσκευή. Επίσης θα έχει πρόσβαση στο φάκελο και διαδικτυακά, από την ιστοσελίδα της εταιρίας.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Zendesk**

Το Zendesk είναι μια υπηρεσία cloud, για εξυπηρέτηση πελατών, που προσφέρει ευκολότερη αλληλεπίδραση μεταξύ εταιριών και πελατών.

**Λειτουργικό σύστημα:** Windows, OS X

- **Amazon Web Services**

Μια από τις παλαιότερες cloud εφαρμογές. Η ιστοσελίδα τους επιτρέπει την φιλοξενία εφαρμογών, από τις εφαρμογές που έχει φτιάξει μια εταιρία, μέχρι εμπορικές εκδόσεις σχεδόν κάθε εφαρμογής που μπορείς να σκεφτείς.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Concur**

Το Concur, μια εφαρμογή της εταιρίας SAP, προσφέρει υπηρεσίες διαχείρισης ταξιδιού και εξόδων για επιχειρήσεις. Περιλαμβάνει κράτηση εισιτηρίων, ξενοδοχείου, αυτόματη αναφορά εξόδων, αποζημίωση, λογιστικό έλεγχο και ενσωμάτωση επαγγελματικής κάρτας.

**Λειτουργικό σύστημα:** Windows, OS X

- **Google Apps**

Το Google Apps είναι μια σουίτα εφαρμογών, περισσότερη γνωστή για την συνεργατική επεξεργασία δεδομένων. Περιλαμβάνει εφαρμογές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (Gmail), επεξεργαστή κειμένου (Docs), λογιστικά φύλλα (Sheets), λογισμικό παρουσίασης (Slides), αποθήκευση στο cloud (Drive), ημερολόγιο (Calendar) κ.ά..

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Box**

Το Box είναι μια εφαρμογή αποθήκευσης και διαμοιρασμού αρχείων στο cloud για εταιρίες. Επίσης υποστηρίζει διαχείριση περιεχομένου. Η υπηρεσία είναι δωρεάν και είναι διαθέσιμη και για απλούς χρήστες.

**Λειτουργικό σύστημα:** Windows, OS X

- **Salesforce**

Το Salesforce είναι μια σουίτα εφαρμογών που χρησιμοποιείται συνήθως από τα τμήματα πωλήσεων και μάρκετινγκ, για παρακολούθηση πελατών και συμβολαίων (μια κατηγορία 37 προϊόντων γνωστή ως διαχείριση πελατειακών σχέσεων), καθώς και στην δημιουργία μάρκετινγκ εκστρατειών και στην εξυπηρέτηση πελατών.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Microsoft Office 365**

Το Office 365 είναι μια σουίτα εφαρμογών με μηνιαία συνδρομή. Για τους απλούς χρήστες περιλαμβάνει την χρήση των Office εφαρμογών (Word, Excel, PowerPoint, Access, Outlook, OneNote), αποθηκευτικό χώρο στο OneDrive και 60 λεπτά ομιλίας στο Skype. Για τις εταιρίες προσφέρει επιπλέον, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, υπηρεσίες κοινωνικού δικτύου μέσω Skype και Exchange Server και ενσωμάτωση με το Yammer.

**Λειτουργικό σύστημα:** Windows, OS X

- **iCloud**

Η εφαρμογή cloud της Apple είναι από τις πιο διαδεδομένες στον επιχειρηματικό κόσμο. Παρέχει αποθηκευτικό χώρο και δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας σε 320 εκατομμύρια χρήστες, ενώ μοιράζονται φωτογραφίες, μουσική και επιχειρηματικά έγγραφα.

**Λειτουργικό σύστημα:** Windows, OS X

- **Evernote**

Το Evernote είναι μια δωρεάν εφαρμογή αποθήκευσης και οργάνωσης σημειώσεων. Οι σημειώσεις μπορεί να είναι ένα κομμάτι κειμένου, μια πλήρης



ιστοσελίδα ή κομμάτι της, μια φωτογραφία, ένα ηχητικό μήνυμα ή ένα χειρόγραφο κείμενο.

**Λειτουργικό σύστημα:** ανεξάρτητο λειτουργικού

- **Microsoft Azure**

Το Azure είναι η δημόσια πλατφόρμα cloud της Microsoft και προσφέρει υπηρεσίες υπολογισμού, ανάλυσης, αποθήκευσης και δικτύωσης. Οι χρήστες μπορούν να διαλέξουν από αυτές τις υπηρεσίες και να αναπτύξουν νέες εφαρμογές ή να τρέξουν δικές τους εφαρμογές στο cloud.

**Λειτουργικό σύστημα:** Windows, Linux (The 24 most popular cloud apps used at work 2016) (Most Used Cloud Apps in Enterprises 2016)

Όνομα	Εταιρία ανάπτυξης	Είδος υπηρεσίας	Λειτουργικό σύστημα
Google Analytics	Google	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Yammer	Yammer	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
NetSuite	NetSuite	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Jira	Atlassian	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Adobe Creative	Adobe Systems	SaaS	Windows, OS X
WebEx	Cisco WebEx	SaaS	Windows
DocuSign	DocuSign	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Workday	Workday, Inc.	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Dropbox	Dropbox, Inc.	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Zendesk	Zendesk, Inc.	SaaS	Windows, OS X
Amazon Web Services	Amazon.com, Inc.	SaaS, PaaS, IaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Concur	Concur Technologies	SaaS	Windows, OS X
Google Apps	Google	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Box	Box, Inc.	SaaS	Windows, OS X
Salesforce	Salesforce.com	SaaS, PaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Microsoft Office 365	Microsoft Corporation	SaaS	Windows, OS X
iCloud	Apple Inc.	SaaS	Windows, OS X
Evernote	Evernote Corporation	SaaS	Ανεξάρτητο λειτουργικού
Microsoft Azure	Microsoft Corporation	PaaS, IaaS	Windows, Linux

Σχήμα 17: Δημοφιλέστερες εφαρμογές Cloud Computing

## 2.2 Χρήση του Cloud Computing σε συστήματα 5G

Οι συνδέσεις δικτύου 3G και 4G για κινητά τηλέφωνα αποτελούν παραδείγματα δικτύων ραδιοεπικοινωνίας (Radio Access Network, RAN) Ένα δίκτυο ασύρματης πρόσβασης είναι μια τεχνολογία που συνδέει μεμονωμένες συσκευές με άλλα μέρη ενός δικτύου μέσω ραδιοφωνικών συνδέσεων και αποτελεί μείζον τμήμα των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών. Συγχωνεύοντας την Υπολογιστική Νέφος (Cloud) στο Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης (Radio Access Network, RAN), το C-RAN έχει προβλεφθεί ως μελλοντική 5G ασύρματη αρχιτεκτονική συστημάτων. Χάρη στην πρωτοποριακή κίνηση της μετεγκατάστασης των λειτουργιών επεξεργασίας βασικής ζώνης σε μια μονάδα κεντροποιημένου νέφους βασικής ζώνης, το C-RAN αναμένεται να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας ώστε να είναι ένα πράσινο RAN. Επιπλέον, με την βασισμένη στο νέφος αρχιτεκτονική, πολλές νέες λειτουργικότητες και RAN σχέδια είναι έτοιμα να ενσωματωθούν τα οποία επαναπροσδιορίζουν το RAN ως ευέλικτο RAN.

### 2.2.1 Cloud-RAN: Radio Access μέσω Cloud

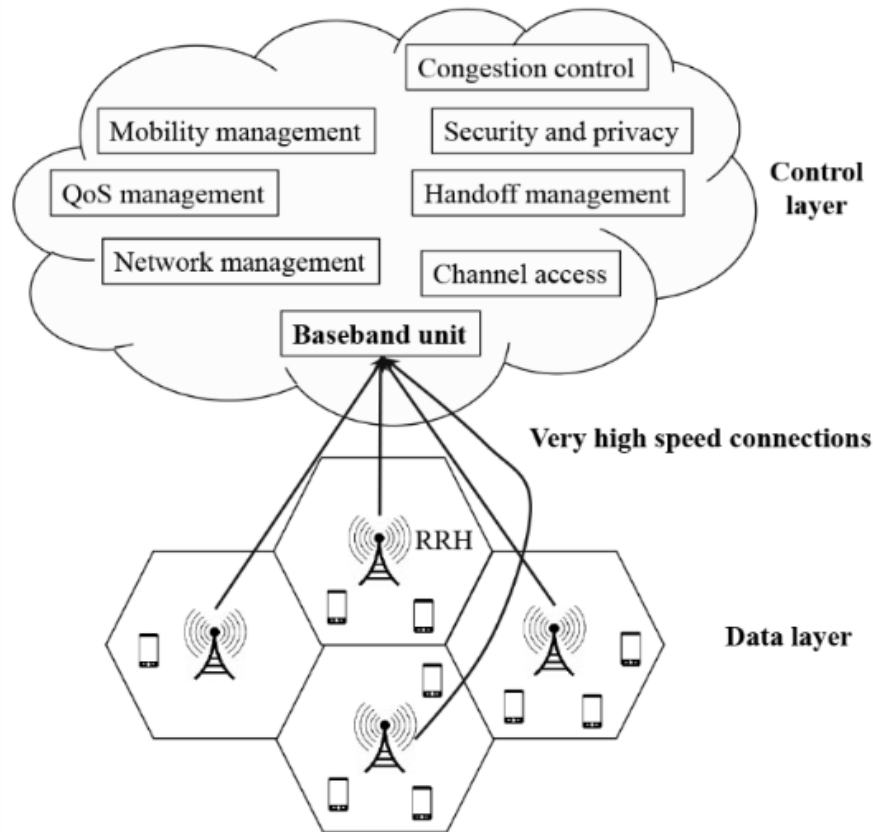
Τα 5G δίκτυα, αναμένεται να είναι αρκετά πυκνά προκειμένου να επιτύχουν την απαραίτητη χωρητικότητα στο δίκτυο η οποία επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση SmallCells. Ωστόσο αυτό πρέπει να γίνει προσέχοντας το κεφαλαιακό κόστος της επένδυσης και λαμβάνοντας υπόψιν την παρεμβολή μεταξύ των σημάτων των επικαλυπτόμενων cells, καθώς και την εποικοδομητική συνεργασία των cells. Επιπλέον, λόγω των ανεξάρτητων σταθμών βάσης που υπάρχουν και λόγω του συντονισμού που απαιτείται μεταξύ τους δημιουργείται το πρόβλημα των καθυστερήσεων [12]. Για να μπορέσουμε να ελαττώσουμε το κόστος αυτό, θα μπορούσαμε να μοιράζουμε με αποδοτικό τρόπο την διαθέσιμη υποδομή/πόρους του δικτύου σε διαφορετικούς πελάτες, πράγμα το οποίο δεν είναι δυνατό με τους σημερινούς μηχανισμούς διαμοιρασμού δικτυακών πόρων. Οι υποδομές Cloud, προσφέρουν στους χρήστες εύκολη on-demand πρόσβαση σε ένα κοινό σύνολο παραμετροποιημένων πόρων, χωρίς να χρειάζεται οι χρήστες να ασχοληθούν με τη διαχείριση των πόρων αυτών. Τα κεντροποιημένα ομογενή cellular δίκτυα,

βασίζουν βασικές λειτουργίες όπως ο χειρισμός των συνδέσεων, η σηματοδότηση, η δέσμευση πόρων κ.α., στην υπόθεση πως πραγματοποιούνται ομοιόμορφα για κάθε σταθμό βάσης. Ωστόσο, στην πραγματικότητα αυτό δεν είναι εφικτό. Η χρήση ετερογενών συσκευών με αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες, προσμετρώντας παράλληλα την ανάγκη για μικρές καθυστερήσεις και για QoS, απαιτούν να φέρουμε τους υπολογιστικούς πόρους πιο κοντά στον τελικό χρήστη [29]. Η τεχνολογία του Cloud Computing δίνει λύση στο παραπάνω πρόβλημα, καθώς με το virtualization του RAN, προσφέρονται ιδεατά απομονωμένα κομμάτια των υποδομών πρόσβασης του δικτύου σε ξεχωριστούς πελάτες, δίνοντας τους τη δυνατότητα να χειρίζονται αυτά τα ιδεατά κομμάτια σαν να ήταν πραγματικοί σταθμοί βάσης.

### **Αρχιτεκτονική του Cloud-RAN**

Τα Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης (RAN), αποτελούν το πιο δαπανηρό μέρος του δικτύου (70%-80% του συνολικού κόστους) τόσο σε ενέργεια όσο και σε πόρους. Τα κεντροποιημένα RANs που βασίζονται σε τεχνολογίες Cloud, οδηγούν στη μείωση του κόστους όσο αφορά πολύ πυκνά δίκτυα -όπως αναμένεται να είναι τα δίκτυα της 5ης γενιάς-, αφού εναποθέτουν τις υπολογιστικές διαδικασίες (π.χ. δρομολόγηση, δέσμευση πόρων κλπ.) στο Cloud. Ο συνδυασμός του Cloud Computing και της κεντροποιημένης αρχιτεκτονικής του RAN, είναι ιδανικός για τον προγραμματισμό του διαμορισμού των κοινών δικτυακών πόρων ραδιοπρόσβασης, για τον χειρισμό των παρεμβολών μεταξύ των κοντινών cells και για την γρήγορη και εύκολη αναβάθμιση του δικτύου. Η βασική ιδέα πίσω από το C-RAN (Cloud Based-Radio Access Network), είναι η εκτέλεση των περισσότερων λειτουργιών ενός σταθμού βάσης στο Cloud, χωρίζοντας έτσι τη λειτουργία του σε ένα Control Layer και ένα Data Layer. Οι λειτουργίες που αφορούν το Control Layer εκτελούνται στο Cloud, ενώ οι λειτουργίες που αφορούν το Data Layer εκτελούνται στους σταθμούς βάσης. Πιο συγκεκριμένα, η βασική ιδέα είναι να χωρίσουμε τις μονάδες επεξεργασίας των σημάτων (BBUs) από τους σταθμούς βάσης των σημερινών cells και να τους μεταφέρουμε στο Cloud προκειμένου να επιτύχουμε

κεντρική επεξεργασία και διαχείριση των σημάτων. Στο Σχήμα 18 , παραθέτουμε ένα παράδειγμα αρχιτεκτονικής η οποία ενσωματώνει την τεχνολογία Cloud-RAN.



Σχήμα 18: Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής Cloud-RAN

Τα οφέλη της κεντροποιημένης αρχιτεκτονικής (Cloud-RAN) είναι πολλαπλά:

- Επιτρέπει την καλύτερη εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας και τη βελτίωση της διαχείρισης και κατ' επέκταση και της απόδοσης του δικτύου λόγω της κεντρικής και συντονισμένης σηματοδότησης.
- Έχουμε εξοικονόμηση χρημάτων. Το λειτουργικό κόστος (OPEX) μειώνεται λόγω της κεντροποιημένης και συνάμα απομακρυσμένης διαχείρισης. Επιπλέον, μειώνει δραστικά και το κεφαλαιακό κόστος (CAPEX) αφού η επένδυση για την εγκατάσταση MacroBaseStations(MBSs) είναι πολύ μεγαλύτερη από το να τοποθετήσουμε RRHs(όπως συμβαίνει στο C-RAN), τα οποία μας παρέχουν την

ίδιες δυνατότητες. Ακόμη, παρατηρείται και εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της δυνατότητας που παρέχεται να εκτελούνται υψηλού επιπέδου διεργασίες στο Cloud.

- Ο φυσικός περιορισμός που απέτρεπε την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των σταθμών βάσης πλέον εξαλείφεται, μέσω της κεντρικοποίησης, δίνοντας παράλληλα τη δυνατότητα ανάπτυξης λειτουργιών συνεργασίας μεταξύ των σταθμών. Αυτό αποφέρει και αποδοτικότερη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.
- Δυνατότητα εύκολης παροχής υπολογιστικών πόρων on-demand από το Cloud για την πραγμάτωση διάφορων εργασιών υψηλού επιπέδου. Παρέχουν τη δυνατότητα πρόσβασης σε μεγάλα datacenters για μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (SME), δίνοντας τους πρόσβαση σε μεγάλη γκάμα υπολογιστικών πόρων προκειμένου να υλοποιήσουν τις υπηρεσίες τους.
- Ο βαθμός χρησιμοποίησης (utilizationratio) των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων, μπορεί να αυξηθεί χάρη στη δυνατότητα στατικής πολυπλεξίας των υπολογιστικών διεργασιών.

Οι κεντρικοποιημένοι υπολογιστικοί πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως Virtual πόροι και να υποστηρίξουν software-defined BSs (σταθμούς βάσης), απλοποιώντας κατά πολύ την ανάπτυξη και τη συντήρηση των cellular δικτύων. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το virtualization του ασύρματου δικτύου πρόσβασης (RAN) που βασίζεται στην κεντρικοποίησή του και στη χρήση του Cloud, αποτελούν μοχλό ανάπτυξης της τεχνολογίας Network Function Virtualizationη οποία αναλύθηκε πιο πάνω.

### 2.2.2 Ασφάλεια και αξιοπιστία δεδομένων στο Cloud

Όσο αυξάνεται η χρήση του cloud computing, τόσο αυξάνεται και το ενδιαφέρον πιθανών επιθέσεων στις υπηρεσίες του από χάκερς ή άλλους εισβολείς για υποκλοπή δεδομένων ή άλλων βλαβερών επιθέσεων. Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουν οι πολιτικές και τεχνολογίες ασφάλειας που χρησιμοποιούνται για την ασφάλεια δεδομένων, εφαρμογών και γενικά της υποδομής του cloud computing.

## **Θέματα ασφάλειας που σχετίζονται με το cloud.**

Υπάρχουν πολλά θέματα ασφάλειας που σχετίζονται με το cloud. Μπορούμε όμως να τα χωρίσουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες: θέματα ασφάλειας που αντιμετωπίζουν οι πάροχοι cloud (οι οργανώσεις που προσφέρουν υπηρεσίες λογισμικού, πλατφόρμας και υποδομής) και στα θέματα ασφάλειας που αντιμετωπίζουν οι πελάτες (εταιρίες ή οργανισμοί που φιλοξενούν εφαρμογές ή αποθηκεύουν δεδομένα στο cloud). Και οι δύο πλευρές πρέπει να είναι προσεκτικές. Οι πάροχοι πρέπει να εξασφαλίζουν ότι η υποδομή τους είναι ασφαλής και τα δεδομένα και οι εφαρμογές των πελατών προστατεύονται επαρκώς. Οι πελάτες από την πλευρά τους πρέπει να ενισχύσουν την ασφάλεια των εφαρμογών τους, να χρησιμοποιούν δυνατούς κωδικούς και μέτρα πιστοποίησης. Όταν μια οργάνωση επιλέγει να αποθηκεύσει τα δεδομένα της ή να φιλοξενήσει τις εφαρμογές της στο δημόσιο cloud, χάνει την δυνατότητα να έχει πρόσβαση στους διακομιστές που περιέχουν αυτή τη γνώση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ευαίσθητα δεδομένα να βρίσκονται σε κίνδυνο από εσωτερικές επιθέσεις, την τρίτη μεγαλύτερη απειλή στο χώρο του cloud computing. Για να αποτραπούν τέτοιες επιθέσεις, οι πάροχοι πρέπει να πραγματοποιούν ελέγχους στους εργαζόμενους που έρχονται σε επαφή με τους διακομιστές και να υπάρχει συχνή παρακολούθηση για τυχόν ύποπτη δραστηριότητα. Με σκοπό τη μείωση του κόστους, τη διατήρηση πόρων και την διατήρηση της παραγωγικότητας, οι πάροχοι συχνά αποθηκεύουν τα δεδομένα πολλών πελατών σε ένα διακομιστή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να υπάρχει η δυνατότητα τα ιδιωτικά δεδομένα ενός πελάτη να είναι ορατά σε άλλους (ακόμη και ανταγωνιστών). Για να αποτραπούν τέτοιες καταστάσεις οι πάροχοι πρέπει να εξασφαλίζουν καλή απομόνωση δεδομένων και διαχωρισμό λογικής αποθήκευσης. Η εκτεταμένη χρήση του virtualization στις υποδομές του cloud computing παρουσιάζει μοναδικά θέματα ασφάλειας για τους πελάτες του δημόσιου cloud. Το virtualization αλλάζει την σχέση μεταξύ του λειτουργικού συστήματος και του υλικού (υπολογιστικού, αποθηκευτικού ή δικτυακού). Προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο, που πρέπει να ρυθμιστεί, διαχειριστεί και ασφαλιστεί πολύ προσεκτικά. Υπάρχει η πιθανότητα (θεωρητική αλλά υπαρκτή) να πέσει υπό τον έλεγχο χάκερ το λογισμικό virtualization ή ο

hypervisor. Αν συμβεί αυτό σε ένα σταθμό διαχειριστή με το λογισμικό διαχείρισης του virtualization, τότε ο εισβολέας μπορεί να καταστρέψει το data center ή να το πάρει υπό τον έλεγχο του και να το χρησιμοποιήσει για τους δικούς του σκοπούς.

### **Έλεγχοι ασφάλειας cloud**

Η αρχιτεκτονική ασφάλειας cloud είναι αποτελεσματική μόνο αν οι σωστές αμυντικές ρυθμίσεις είναι εγκατεστημένες. Μια αποδοτική ασφάλεια cloud πρέπει να αναγνωρίζει τα θέματα που προκύπτουν με σωστή διαχείριση ασφάλειας. Η διαχείριση ασφάλειας αντιμετωπίζει τα θέματα αυτά με ελέγχους ασφάλειας. Οι έλεγχοι αυτοί τοποθετούνται για να διασφαλίζουν τυχόν αδυναμίες στο σύστημα και για να μειώσουν το αποτέλεσμα μιας επίθεσης. Υπάρχουν πολλοί τύποι ελέγχων σε μια αρχιτεκτονική ασφάλειας cloud, αλλά συνήθως χωρίζονται σε μια από τις εξής κατηγορίες:

- **Αποτρεπτικοί έλεγχοι:** Αυτοί οι έλεγχοι αποσκοπούν στην μείωση επιθέσεων σε ένα cloud σύστημα. Όπως μια προειδοποιητική πινακίδα σε ένα φράχτη, οι αποτρεπτικοί έλεγχοι μειώνουν τις απειλές, προειδοποιώντας τους πιθανούς εισβολείς ότι θα υπάρξουν δυσμενείς συνέπειες αν συνεχίσουν (μερικοί τις θεωρούν υποκατηγορία των προληπτικών ελέγχων).
- **Προληπτικοί έλεγχοι:** Οι προληπτικοί έλεγχοι δυναμώνουν το σύστημα ενάντια σε συμβάντα, μειώνοντας ή εξαλείφοντας τρωτά σημεία. Δυνατή πιστοποίηση cloud χρηστών, για παράδειγμα, μειώνει τις πιθανότητες για είσοδο στο cloud σύστημα ανεξουσιοδοτητών χρηστών και αυξάνει τις πιθανότητες για είσοδο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες.
- **Ανιχνευτικοί έλεγχοι:** Οι ανιχνευτικοί έλεγχοι αποσκοπούν στον εντοπισμό και την κατάλληλη αντίδραση σε συμβάντα που προκύπτουν. Στην περίπτωση μιας επίθεσης, ένας ανιχνευτικός έλεγχος θα ειδοποιήσει τον προληπτικό έλεγχο ή τον διορθωτικό έλεγχο για να επιλύσει το θέμα. Η παρακολούθηση συστήματος και δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης εισβολών, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση επιθέσεων στα cloud συστήματα και την βοηθητική υποδομή επικοινωνίας.

- **Διορθωτικοί έλεγχοι:** Οι διορθωτικοί έλεγχοι μειώνουν τις συνέπειες ενός συμβάντος, περιορίζοντας την ζημιά. Ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια ή μετά από ένα συμβάν. Η χρησιμοποίηση αντιγράφων ασφάλειας για την επαναφορά ενός συστήματος σε κίνδυνο είναι ένα παράδειγμα ενός διορθωτικού ελέγχου.

### 2.2.3 Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα

**Διαχείριση ταυτότητας:** Κάθε εταιρία έχει το δικό της σύστημα διαχείρισης ταυτότητας για έλεγχο πρόσβασης σε πληροφορίες και υπολογιστικούς πόρους. Οι πάροχοι cloud είτε ενσωματώνουν το σύστημα διαχείρισης ταυτότητας στην δικιά τους υποδομή (χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες federation και SSO ή ένα βιομετρικό σύστημα αναγνώρισης), είτε προσφέρουν ένα δικό τους σύστημα διαχείρισης ταυτότητας. Το CloudID, για παράδειγμα, προσφέρει λύσεις βιομετρικής αναγνώρισης που διασφαλίζουν την ιδιωτικότητα και λειτουργούν σε πολλές και διαφορετικές εταιρίες. Συνδέει τις εμπιστευτικές πληροφορίες των χρηστών με τα βιομετρικά χαρακτηριστικά τους και τα αποθηκεύει κρυπτογραφημένα. Με την χρήση μιας κρυπτογραφημένης αναζήτησης, ο πάροχος cloud και πιθανοί εισβολείς δεν έχουν πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα, ούτε στα περιεχόμενα των αναζητήσεων.

**Φυσική ασφάλεια:** Οι πάροχοι υπηρεσιών cloud έχουν πάρει τα κατάλληλα μέτρα για να προστατεύσουν τα φυσικά μέσα και υλικά (π.χ. διακομιστές, routers, καλώδια κ.ά.), ενάντια σε μη εξουσιοδοτημένες εισόδους, παρεμβάσεις, κλοπές, πυρκαγιές, πλημμύρες και άλλες καταστροφές. Επίσης εξασφαλίζουν την συνεχή ροή προμηθειών (όπως είναι ο ηλεκτρισμός), για να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα διακοπής των υπηρεσιών. Αυτό το πετυχαίνουν προσφέροντας τις υπηρεσίες τους από κορυφαία data centers (σχεδιασμένα, χτισμένα, διαχειριζόμενα, παρακολουθούμενα και συντηρούμενα από επαγγελματίες).

**Ασφάλεια δεδομένων:** Ο αριθμός των απειλών ασφάλειας που σχετίζονται με τις υπηρεσίες δεδομένων cloud είναι μεγάλος, από τις παραδοσιακές απειλές: υποκλοπές δικτύου, παράνομη εισβολή και άρνηση υπηρεσίας, μέχρι ειδικές απειλές που στοχεύουν τα cloud συστήματα: επιθέσεις side channel, τρωτά σημεία



στο virtualization και κατάχρηση cloud υπηρεσιών. Για να καταπολεμήσουν αυτές τις απειλές , πρέπει να εφαρμοστούν τα παρακάτω μέτρα ασφάλειας σε μια υπηρεσία δεδομένων cloud.

**Εμπιστευτικότητα δεδομένων:** Η εμπιστευτικότητα δεδομένων ορίζεται ως η προστασία των περιεχομένων των δεδομένων από παράνομους χρήστες. Δεδομένα που έχουν ανατεθεί σε εξωτερικούς συνεργάτες είναι αποθηκευμένα στο cloud, μακριά από τον απευθείας έλεγχο του ιδιοκτήτη. Μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα ευαίσθητα δεδομένα, ενώ άλλοι μαζί με τους παρόχους, δεν πρέπει να συλλέξουν καμία πληροφορία από τα δεδομένα. Εντωμεταξύ οι ιδιοκτήτες των δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιήσουν πλήρως τις υπηρεσίες δεδομένων cloud, όπως είναι η αναζήτηση δεδομένων, επεξεργασία δεδομένων και διαμοιρασμό δεδομένων, χωρίς να υπάρχει διαρροή δεδομένων σε παρόχους ή σε τρίτους.

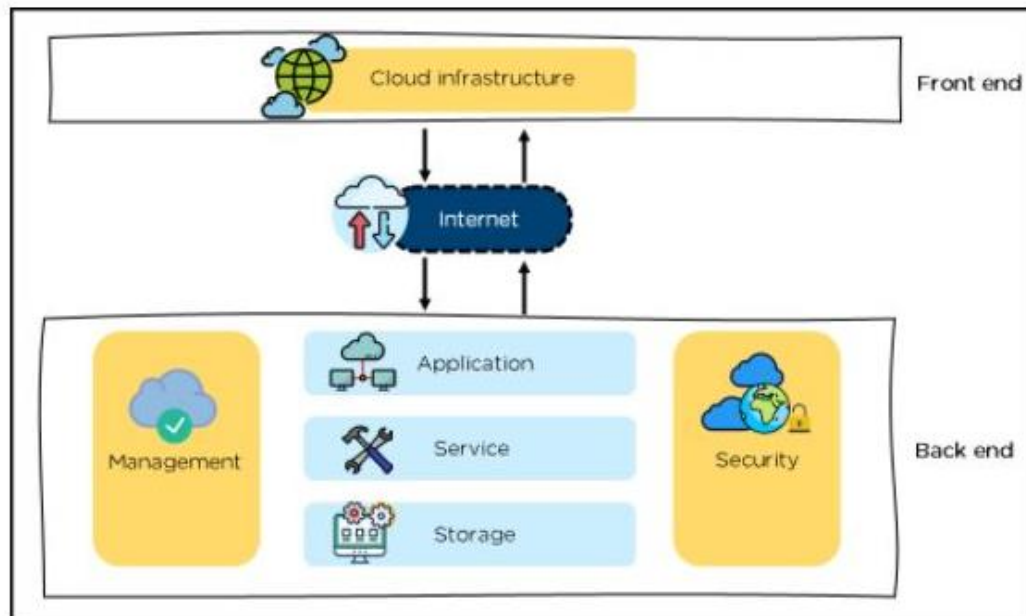
**Έλεγχος πρόσβασης δεδομένων:** Έλεγχος πρόσβασης σημαίνει ότι ο ιδιοκτήτης δεδομένων μπορεί να επιλέξει μερικό περιορισμό πρόσβασης στα δεδομένα που έχουν ανατεθεί στο cloud. Νόμιμοι χρήστες μπορούν να πιστοποιηθούν από τον ιδιοκτήτη για να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα, ενώ άλλοι δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση χωρίς τα απαραίτητα δικαιώματα. Επίσης είναι επιθυμητό να επιβληθεί εξειδικευμένη πρόσβαση στα cloud δεδομένα. Διαφορετικοί χρήστες να έχουν διαφορετικά δικαιώματα πρόσβασης στα σχετικά κομμάτια δεδομένων. Η πιστοποίηση πρόσβασης πρέπει να χειρίζεται μόνο από τον ιδιοκτήτη σε μη έμπιστα περιβάλλοντα cloud.

**Ακεραιότητα δεδομένων:** Η ακεραιότητα δεδομένων απαιτεί την συντήρηση και εξασφάλιση της ακρίβειας και της πληρότητας των δεδομένων. Ένας ιδιοκτήτης δεδομένων αναμένει ότι τα δεδομένα του που βρίσκονται στο cloud μπορούν να αποθηκευτούν σωστά και αξιόπιστα. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα δεν έχουν αλλοιωθεί παράνομα, τροποποιηθεί εσφαλμένα, διαγραφτεί επίτηδες ή δεν έχουν επεξεργαστεί κακόβουλα. Αν κάποια μη επιθυμητή εργασία διαφθείρει ή διαγράψει τα δεδομένα, τότε ο ιδιοκτήτης πρέπει να είναι ικανός να εντοπίσει τη διαφθορά ή διαγραφή. Επίσης όταν ένα κομμάτι από τα δεδομένα έχει υποστεί διαφθορά ή έχει

χαθεί, πρέπει να είναι δυνατή η επαναφορά τους από τους χρήστες των δεδομένων.  
(Cloud computing security 2016)

## 2.2.4 Αρχιτεκτονική Cloud Computing

Η αρχιτεκτονική του Cloud Computing χωρίζεται σε δύο μέρη, δηλαδή, front-end και back-end. Το front-end και το back-end επικοινωνούν μέσω δικτύου ή διαδικτύου. Παρακάτω παρουσιάζεται μια διαγραμματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής υπολογιστικού νέφους:

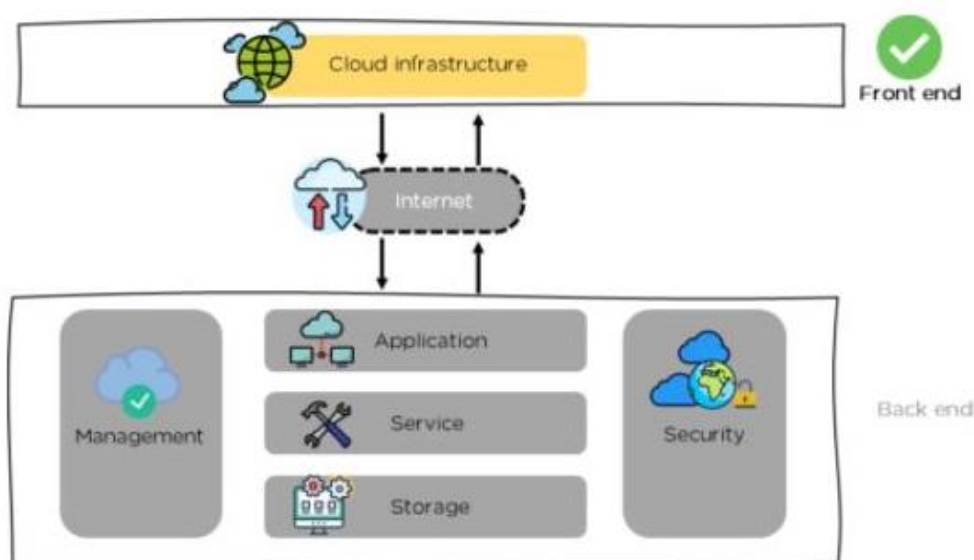


Σχήμα 19: Αρχιτεκτονική Cloud Computing

## Front End

Παρέχει εφαρμογές και διεπαφές που απαιτούνται για την υπηρεσία που βασίζεται σε σύννεφο. Αποτελείται από πλευρικές εφαρμογές του πελάτη, οι οποίες είναι προγράμματα περιήγησης ιστού όπως το Google Chrome και ο Internet Explorer.

Η υποδομή Cloud είναι το μόνο συστατικό του front-end.

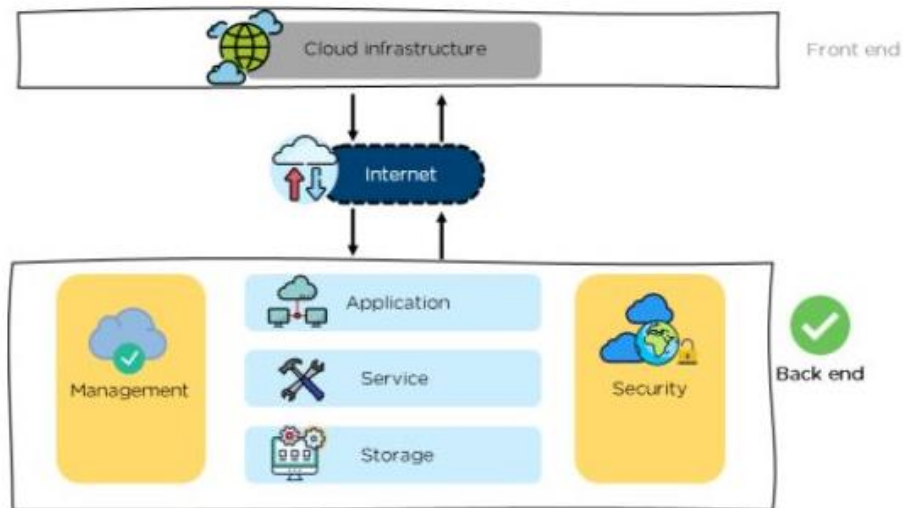


Σχήμα 20: Front End

Η υποδομή Cloud αποτελείται από στοιχεία υλικού και λογισμικού όπως αποθήκευση δεδομένων, διακομιστής, λογισμικό εικονικοποίησης κ.λπ. Παρέχει επίσης μια γραφική διεπαφή χρήστη στους τελικούς χρήστες για την εκτέλεση των αντίστοιχων εργασιών.

## **Back End**

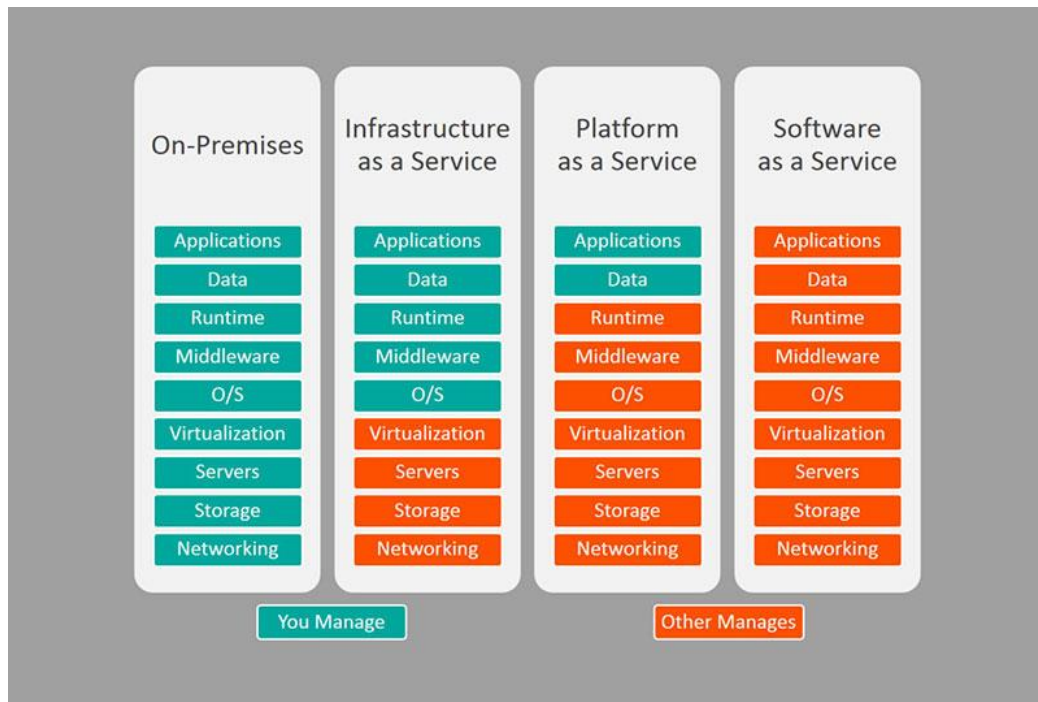
Είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση όλων των προγραμμάτων που εκτελούν την εφαρμογή στο front-end. Διαθέτει μεγάλο αριθμό συστημάτων αποθήκευσης δεδομένων και διακομιστών. Το back-end είναι ένα σημαντικό και τεράστιο μέρος ολόκληρης της αρχιτεκτονικής cloud computing, όπως φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 21: Back End

### 2.2.5 Τεχνικά στοιχεία ενός μοντέλου αρχιτεκτονικής Cloud Computing.

Στην παρακάτω εικόνα αναφέρονται τα τεχνικά στοιχεία ενός μοντέλου αρχιτεκτονικής Cloud Computing. Ανάλογα το μοντέλο που χρησιμοποιείται, διαφοροποιείται και ο έλεγχος του κάθε μέρους. Αν θα είναι δηλαδή από την πλευρά του χρήστη ή όχι.



Σχήμα 22: Τεχνικά Στοιχεία Αρχιτεκτονικής Cloud

Τα τεχνικά αυτά μέρη αφορούν:

### Application

Μια εφαρμογή cloud είναι ένα πρόγραμμα λογισμικού όπου λειτουργούν μαζί τοπικά στοιχεία που βασίζονται σε σύννεφο. Αυτό το μοντέλο βασίζεται σε απομακρυσμένους διακομιστές για την επεξεργασία λογικής που έχει πρόσβαση μέσω ενός προγράμματος περιήγησης ιστού με συνεχή σύνδεση στο Διαδίκτυο. Μπορεί να είναι είτε λογισμικό είτε πλατφόρμα. Ανάλογα με την απαίτηση του πελάτη, η εφαρμογή παρέχει το αποτέλεσμα στον τελικό χρήστη (με πόρους) στο back end.

### Data

Τα δεδομένα προς αποθήκευση στο cloud.

### Runtime Cloud

Το σύννεφο χρόνου εκτέλεσης (runtime cloud) καθορίζει το περιβάλλον εκτέλεσης και χρόνου εκτέλεσης για τη λειτουργία εικονικών μηχανών (Virtual Machines). Είναι

ένα λειτουργικό σύστημα cloud, όπου οι υπηρεσίες εκτελούνται σύμφωνα με την τεχνολογία εικονικοποίησης (virtualization) που βοηθά σε πολλούς χρόνους εκτέλεσης στον ίδιο διακομιστή.

### **Middleware**

Ένας απλός ορισμός middleware: λογισμικό που συνδέει υπολογιστές και συσκευές με άλλες εφαρμογές. Μπορεί επίσης να αναφέρεται ως κάθετο ή σημείο σύνδεσης στον πελάτη / διακομιστή. Ένας άλλος τρόπος για να ορίσετε το middleware είναι να πούμε ότι είναι λογισμικό που λειτουργεί ως σύνδεσμος μεταξύ εφαρμογών και δικτύων. Ο όρος χρησιμοποιείται συχνά στο πλαίσιο του cloud computing, όπως δημόσιο ή ιδιωτικό cloud. Ένας άλλος ορισμός middleware είναι να πούμε ότι λειτουργεί ως ενδιάμεσος. Χρησιμοποιείται συχνά για την υποστήριξη πολύπλοκων και καταναμημένων εφαρμογών. Μπορεί να είναι διακομιστής ιστού, διακομιστής εφαρμογών, σύστημα διαχείρισης περιεχομένου ή άλλο εργαλείο που υποστηρίζει την ανάπτυξη και παράδοση εφαρμογών. Μπορεί επίσης να είναι μια εφαρμογή λογισμικού που συνδέει δύο ή περισσότερες εφαρμογές, έτσι ώστε να μπορούν να μοιράζονται δεδομένα μεταξύ τους.

### **O/S**

Ένα λειτουργικό σύστημα cloud είναι ένας τύπος λειτουργικού συστήματος που έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε περιβάλλοντα υπολογιστικού νέφους και εικονικοποίησης. Ένα λειτουργικό σύστημα cloud διαχειρίζεται τη λειτουργία, την εκτέλεση και τις διαδικασίες εικονικών μηχανών, εικονικών διακομιστών και εικονικής υποδομής, καθώς και πόρων υλικού και λογισμικού υποστήριξης. Ένα λειτουργικό σύστημα cloud μπορεί επίσης να ονομαστεί εικονικό λειτουργικό σύστημα.

### **Virtualization**

Virtualization είναι η τεχνολογία που διαχωρίζει τις υπηρεσίες και τις λειτουργίες πληροφορικής από το υλικό (hardware).

Το λογισμικό που ονομάζεται hypervisor βρίσκεται πάνω από φυσικό υλικό (hardware) και αφαιρεί τους πόρους του μηχανήματος, όπως μνήμη, υπολογιστική ισχύ και αποθήκευση. Μόλις αυτοί οι εικονικοί πόροι διατεθούν σε συγκεντρωτικές ομάδες, θεωρούνται σύννεφα(cloud). Έτσι, απολαμβάνουμε τα οφέλη της αυτοεξυπηρέτησης, της αυτοματοποιημένης κλιμάκωσης υποδομής και των δυναμικών ομάδων πόρων.

### **Servers**

Ο διακομιστής είναι απλώς ένας υπολογιστής ή μια συσκευή που έχει προγραμματιστεί για να παρέχει μια υπηρεσία σε έναν πελάτη ή χρήστη. Υπάρχουν διακομιστές ιστού που εξυπηρετούν αρχεία HTML ή PHP χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HTTP, διακομιστές αρχείων που αποθηκεύουν μεγάλους όγκους πληροφοριών, διακομιστές αλληλογραφίας που στέλνουν e-mail μέσω του Διαδικτύου και πολλούς άλλους τύπους. Σε ιδιωτικές εφαρμογές cloud, οι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιούν αποκλειστικούς διακομιστές για την αποθήκευση πληροφοριών, ενώ οι δημόσιοι πάροχοι cloud χρησιμοποιούν το μοντέλο multi-tenant και ενδέχεται να χρησιμοποιούν τον ίδιο διακομιστή για την παροχή υπηρεσιών για περισσότερους από έναν πελάτες.

### **Storage**

Μέσα σε ένα data center, τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν σε πολλούς δίσκους σε έναν μόνο πίνακα αποθήκευσης. Η διαχείριση αποθήκευσης διασφαλίζει τη σωστή δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας των δεδομένων, ότι τα παλιά αντίγραφα ασφαλείας αφαιρούνται τακτικά και ότι τα δεδομένα ευρετηριάζονται για ανάκτηση σε περίπτωση αποτυχίας οποιουδήποτε στοιχείου αποθήκευσης. Η εικονικοποίηση (virtualization) αφαιρεί χώρο αποθήκευσης από συστήματα υλικού έτσι ώστε να είναι προσβάσιμη από τους χρήστες ως αποθήκευση cloud. Όταν ο χώρος αποθήκευσης μετατραπεί σε πόρο cloud, μπορείτε να προσθέσετε ή να καταργήσετε μονάδες δίσκου, να επαναχρησιμοποιήσετε υλικό και να απαντήσετε σε αλλαγές χωρίς να παρέχετε χειροκίνητα ξεχωριστούς διακομιστές αποθήκευσης για κάθε νέα πρωτοβουλία.

## **Networking**

Το δίκτυο αποτελείται από φυσικά καλώδια, διακόπτες, δρομολογητές και άλλο εξοπλισμό. Τα εικονικά δίκτυα δημιουργούνται πάνω από αυτούς τους φυσικούς πόρους. Μια τυπική διαμόρφωση δικτύου cloud αποτελείται από πολλά υποδίκτυα, το καθένα με διαφορετικά επίπεδα ορατότητας. Το σύννεφο επιτρέπει τη δημιουργία εικονικών τοπικών δικτύων (VLAN) και εκχωρεί στατικές ή / και δυναμικές διευθύνσεις όπως απαιτείται για όλους τους πόρους του δικτύου. Οι πόροι του cloud παραδίδονται σε χρήστες μέσω ενός δικτύου, όπως το Διαδίκτυο ή ένα intranet, ώστε να μπορείτε να έχετε πρόσβαση σε υπηρεσίες ή εφαρμογές cloud εξ αποστάσεως κατόπιν αιτήματος.



# 3 Τεχνοοικονομικές Μελέτες και Επιχειρηματικά Μοντέλα

## 3.1 Σχετική Έρευνα

Για το συγκεκριμένο θέμα μελέτης αυτής της εργασίας έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εργασίες σχετικά. Μερικές από αυτές, αξιοποιήθηκαν για την συγγραφή της παρούσας εργασίας και αναφέρονται εδώ:

### **Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks (23)**

Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζεται μια τεχνο-οικονομική ανάλυση σχετικά με την ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G, προκειμένου να πληρούν τις απαιτήσεις που παρέχει ο οργανισμός ETSI. Επισημαίνεται ότι το «softwarization» των δικτύων 5G είναι επιτακτικό και γίνεται πραγματικότητα μέσω νέων τεχνολογιών, όπως το Network Defined Networking (SDN), το Network Function Virtualization (NFV) και το Cloud Computing. Σε αυτό το πλαίσιο, αυτή η εργασία παρέχει ένα μοντέλο κόστους για την εκτίμηση των κεφαλαιουχικών δαπανών (CAPEX), τις επιχειρησιακές δαπάνες (OPEX) και το συνολικό κόστος Ιδιοκτησίας (TCO) για την προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Επιπλέον, το προτεινόμενο τεχνοοικονομικό μοντέλο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του προαναφερθέντος κόστους δικτύου για το προτεινόμενο δίκτυο αρχιτεκτονικής και αυτά τα κόστη συγκρίνονται με τα αντίστοιχα με το κόστος μιας παραδοσιακής αρχιτεκτονικής δικτύου. Τα πειραματικά αποτελέσματα επαληθεύουν και μάλιστα υπερβαίνουν τις φιλόδοξες προβλέψεις για μείωση του κόστους, λόγω της χρήσης αυτών των προηγμένων τεχνικών σε αρχιτεκτονικές επόμενης γενιάς.

### **SDN and NFV in 5G: Advancements and Challenges (24)**

Σε αυτό το άρθρο γίνεται αναφορά στο ότι οι νέες γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας ανταποκρίνονται στις προσδοκίες και προκάλεσαν μια εντελώς νέα τεχνική στο μέλλον της δικτύωσης. Αυτή η μελέτη παρέχει βέλτιστες λύσεις που πληρούν όλες τις υπάρχουσες απαιτήσεις συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών SDN

και NFV στα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Η κύρια συμβολή αυτής της ερευνητικής ανάλυσης είναι ότι αποτελεί πόρο για τη βιβλιογραφία αναφοράς για ερευνητές και μηχανικούς γιατί δίνει και συγκρίνει τις πιο βασικές λύσεις που υπάρχουν σήμερα και κατά συνέπεια το μέλλον. Σε αυτό το άρθρο, τα κύρια χαρακτηριστικά του SDN & NFV συνοψίζονται ως θεμελιώδεις εναλλακτικές λύσεις για να επιτευχθούν οι στόχοι που έθεσε το 5G. Γίνεται αναφορά στις βασικές ανάγκες και οι απαιτητικές καταστάσεις που αντιμετωπίζονται μέσω αυτών των λύσεων και ορίζονται οι πιο χρήσιμες εφαρμογές του συνδυασμού SDN με NFV.

### **Cloud Computing Pricing Models: A Survey (25)**

Σε αυτό το άρθρο γίνεται αναφορά στο ότι το cloud computing αναδύεται ως ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο που προσφέρει μια ποικιλία υπηρεσιών πληροφορικής στους τελικούς χρήστες. Αυτές οι υπηρεσίες προσφέρονται σε διαφορετικές τιμές χρησιμοποιώντας διάφορα συστήματα τιμολόγησης και τεχνικές. Οι τελικοί χρήστες θα ευνοήσουν τον πάροχο υπηρεσιών που προσφέρει το καλύτερο QoS με το χαμηλότερο κόστος. Επομένως, η εφαρμογή ενός μοντέλου δίκαιης τιμολόγησης θα προσελκύσει περισσότερους πελάτες και θα επιτύχει υψηλότερα έσοδα για τους παρόχους υπηρεσιών. Αυτή η εργασία επικεντρώνεται στη σύγκριση πολλών ενεργών αλλά και προτεινόμενων τεχνικών μοντέλων τιμολόγησης και επισημαίνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθενός. Η σύγκριση βασίζεται σε πολλές πτυχές όπως η δικαιοσύνη, η προσέγγιση των τιμών και άλλα. Μια τέτοια προσέγγιση παρέχει ένα σταθερό έδαφος για το σχεδιασμό καλύτερων μοντέλων στο μέλλον. Καταλήγοντας όμως διαπιστώνουν ότι οι περισσότερες προσεγγίσεις είναι θεωρητικές και δεν εφαρμόζονται στην πραγματική αγορά, αν και τα αποτελέσματα προσομοίωσης είναι πολύ ελπιδοφόρα.

### **Cloud Computing in Mobile Networks – Case MVNO (26)**

Σε αυτό το άρθρο, πραγματοποιήθηκε μια τεχνικοοικονομική ανάλυση για την ανάλυση της εφαρμογής των συστημάτων τηλεπικοινωνιών στο cloud στον τομέα Business Support Systems (BSS). Η έρευνα επικεντρώνεται στη στρατηγική χαρτογράφησης αρχιτεκτονικών εφαρμογών που απαιτούνται και στα οικονομικά οφέλη κόστους που αποκτήθηκαν για ένα MVNO εάν τα συστήματα BSS εφαρμόζονται στο cloud. Η έρευνα περιλαμβάνει την μέθοδο των Δελφών, στην

οποία πραγματοποιούνται συνεντεύξεις από ειδικούς σε δύο γύρους για να συγκεντρώσει απόψεις εμπειρογνομόνων για το θέμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι ειδικοί πιστεύουν ότι το cloud computing μπορεί να αποφέρει οφέλη κόστους. Ωστόσο, η απόδοση και η ασφάλεια παραμένουν ως οι κύριες ανησυχίες μεταξύ των συμμετεχόντων και αυτές οι ερωτήσεις πρέπει να λυθούν πριν υλοποιηθούν σημαντικές εφαρμογές cloud στην πλευρά των τηλεπικοινωνιών. Για να επικυρώσει τα αποτελέσματα και για την απόδειξη της επιχειρηματολογίας υλοποιήθηκε μια λύση CRM, που βασίζεται στην υβριδική αρχιτεκτονική cloud. Επιπλέον, οι συγγραφείς παρουσίασαν μια καινοτόμο λύση Billing-as-a-Service που μπορεί να εφαρμοστεί με PaaS τρόπο, χρησιμοποιώντας επίσης αυτή την υβριδική πρόταση cloud.

### **Device-to-device-based heterogeneous radio access network architecture for mobile cloud computing (27)**

Σε αυτό το άρθρο προτείνεται μια αρχιτεκτονική cloud computing HetNet που διαφέρει από τον παραδοσιακό στατικό cloud computing . Η νέα αρχιτεκτονική αποτελείται από δύο επίπεδα, ένα GSC και ένα MDC. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί τα πλεονεκτήματα των επικοινωνιών D2D που χρησιμοποιούν ετερογενή δίκτυα, Wi-Fi και Bluetooth στο cloudlet. Μετρήθηκε η απόδοση της χωρητικότητας HetNet με και χωρίς εκφόρτωση κίνησης στο MDC. Διαπιστώνεται ότι όταν επιτρέπεται η εκφόρτωση κίνησης από GSC σε MDC, η χωρητικότητα δικτύου αυξάνεται αυτόματα. Αξιολογήθηκε επίσης η πιθανότητα εκφόρτωσης με HetNet σε δύο παραμέτρους, στην ομοιότητα περιεχομένου και στον αριθμό χρηστών. Το επίπεδο ομοιότητας περιεχομένου βρέθηκε να επηρεάζει τη συχνότητα εκφόρτωσης πολύ περισσότερο από τον αριθμό των χρηστών στο cloud.

### **Techno Economic Analysis of MMWave Vs Mid Band Spectrum In 5G Networks (53)**

Σε αυτό το άρθρο, αναπτύσσεται μια τεχνοοικονομική ανάλυση του MMWave σε σύγκριση με το Mid-Band Spectrum (MBS). Οι τεχνολογίες αναλύονται με τεχνικό τρόπο. Αναλύονται τα μαθηματικά μοντέλα που βοηθούν στον προσδιορισμό της τιμολόγησης των μοντέλων. Επιπλέον, διεξάγονται διάφορα πειράματα χρησιμοποιώντας την τεχνική Sensitivity Analysis (SA) που καθορίζει εάν τα πλεονεκτήματα και τα κέρδη υπερτερούν των μειονεκτημάτων.

### **Techno-Economic Analysis Of Cognitive Radio Models In 5G Networks (54)**

Τα πρώτα εμπορικά προϊόντα του 5G θα κυκλοφορήσουν εντός του 2021 και, ως εκ τούτου, καθίσταται απόλυτη ανάγκη να ερευνηθεί εάν οι βασικές τεχνολογίες ενεργοποίησης είναι επωφελείς για να επενδύσουν οι φορείς εκμετάλλευσης. Μία από τις πιο θεμελιώδεις τεχνολογίες είναι η Cognitive Radio (CR), καθώς δεν υπάρχει πολύ έρευνα στον τομέα. Αυτό το έγγραφο αναπτύσσει ένα τεχνο-οικονομικό πλαίσιο για την τεχνολογία CR και έρχεται σε σύγκριση με ένα ήδη υπάρχον μοντέλο για δίκτυα καθορισμένα από λογισμικό (SDN).

### **The Techno-Economic Models For CR And SDN In 5G (55)**

Σε αυτό το άρθρο, οι συγγραφείς παρουσιάζουν μοντέλα Cognitive Radio (CR) και Software Defined Networking (SDN). Αναπτύσσουν οικονομικά μοντέλα με βάση το μοντέλο Stackelberg, επιλέγουν τις παραμέτρους πειραματισμού και διεξάγουν πειράματα Ανάλυσης Ευαισθησίας (SA) που δείχνουν ποιοι είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες για κάθε τεχνολογία που και προτείνουν τρόπους περιορισμού τους.

## **3.2 Βασικές Οικονομικές Έννοιες**

Στην προσπάθεια σχεδιασμού και υλοποίησης του 5G δικτύου και εφόσον η κύρια πρόκληση είναι η ικανοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών που έχουν τεθεί από τον οργανισμό 5GPPP αλλά με γνώμονα την μείωση του κεφαλαιακού και του λειτουργικού κόστους, πραγματοποιήθηκαν πολλές τεχνοοικονομικές μελέτες για τις προτεινόμενες τεχνολογίες. Στις επόμενες σελίδες θα γίνει μια σύντομη ανασκόπηση σε οικονομικές έννοιες των δικτύων και θα παρουσιάσουμε μερικές από τις μελέτες αυτές.

Ένα επιχειρηματικό μοντέλο αποτελείται από ροές υπηρεσιών και πληροφορίας, οι οποίες περιλαμβάνουν:

- Τις περιγραφές των παικτών της αγοράς.
- Τους ρόλους και τις μεταξύ τους σχέσεις.
- Τη σχετική τους θέση σε ένα δίκτυο αξίας.
- Την κοστολογική τους δομή και τις πηγές εσόδων τους.

Στα επιχειρηματικά μοντέλα των δικτύων, παρατηρούμε διαφορετικά σενάρια υλοποίησης όπως π.χ. τα δίκτυα να υπόκεινται σε πλήρη κρατικό έλεγχο μέσω κοινοπραξιών μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, να ανήκουν σε ένα δημόσιο τηλεπικοινωνιακό οργανισμό, να πραγματοποιούνται κοινοπραξίες μεταξύ ιδιωτικών οργανισμών και δημοσίου χωρίς την ύπαρξη κρατικού ελέγχου κ.α.

Τα δίκτυα επικοινωνιών σε οικονομικό επίπεδο χαρακτηρίζονται από δύο βασικά οικονομικά μεγέθη το κεφαλαιακό κόστος (**Capital Expenditure-CAPEX**) και το λειτουργικό κόστος (**Operational Expenditure-OPEX**).

Το κεφαλαιακό κόστος (**CAPEX**) αντιπροσωπεύει το κόστος κατασκευής του ευρυζωνικού δικτύου. Το κεφαλαιακό κόστος αποτελείται από το κόστος για αγορά α) παθητικού εξοπλισμού (π.χ. οπτικές ίνες, κατανεμητές κ.λπ.) β) ενεργού εξοπλισμού (μεταγωγείς, δρομολογητές κ.λπ.) και το κόστος για την πληρωμή γ) εργασιών που είναι απαραίτητες για την εγκατάσταση του δικτύου (π.χ. εκσκαφές, αποκαταστάσεις κλπ.). Παρατηρούμε λοιπόν ότι το κεφαλαιακό κόστος έχει να κάνει πιο πολύ με τη hardware υποδομή του δικτύου. Στα παρακάτω κεφάλαια, θα ασχοληθούμε διεξοδικά με το πώς ο προσεκτικός σχεδιασμός του δικτύου και η εισαγωγή τεχνολογιών όπως αυτές που αναφέρονται παραπάνω θα συμβάλλουν στη μείωση του κεφαλαιακού κόστους.

Το λειτουργικό κόστος (**OPEX**) αντιπροσωπεύει το κόστος που δημιουργείται από τις απαραίτητες διαδικασίες για τη λειτουργία και τη διαχείριση του δικτύου. Το OPEX αποτελεί μια αρκετά ευρεία έννοια, ενώ παράλληλα δεν υπάρχει συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση για το ποια έξοδα ανήκουν στο OPEX.

Για την καλύτερη κατανόηση θα χωρίσουμε το OPEX σε 9 κατηγορίες οι οποίες φαίνονται παρακάτω:

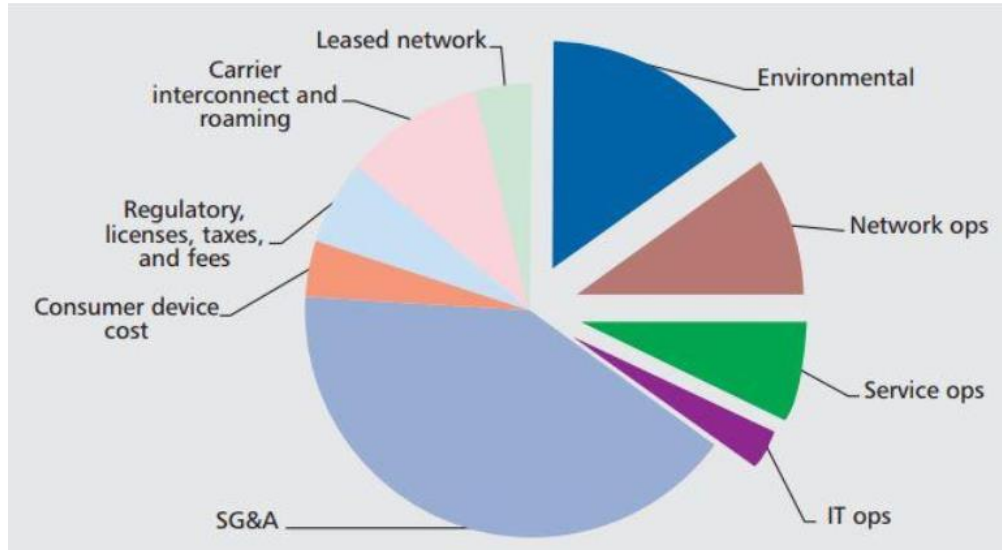
- **Μάρκετινγκ, Πωλήσεις και Απόκτηση Πελατών:** Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται κόστη που αφορούν το marketing, την προσέλευση πελατών και τη γενική υποστήριξη και διαχείριση που χρειάζεται για να λειτουργήσει μια επιχείρηση. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να περιλαμβάνει κόστη που αφορούν διαφημιστικές καμπάνιες, marketing, διαπραγματεύσεις SLA, επιδοτήσεις κ.α.

- **Ετήσιο Κόστος Αδειών Ραδιοφάσματος, Ρυθμίσεις, Φόροι κλπ.:** Αυτή η κατηγορία αφορά κόστη τα οποία αφορούν τις συναλλαγές που πρέπει να έχει ο τηλεπικοινωνιακός οργανισμός με το κράτος. Τέτοια έξοδα μπορεί να είναι το ετήσιο κόστος για τις άδειες συχνότητας, έξοδα που μπορεί να αφορούν τη μίσθωση του φάσματος, το κόστος πληροφοριών ή ακόμα και πρόστιμα τα οποία μπορεί να βασίζονται σε αποφάσεις των ρυθμιστικών αρχών.
- **Κόστος Αγοράς Εξοπλισμού για τους Πελάτες:** Αυτά τα έξοδα αφορούν την αγορά εξοπλισμού (π.χ. routers), ο οποίος μετέπειτα θα πωληθεί στους πελάτες προκειμένου να αποκτήσουν συνδεσιμότητα.
- **Roaming:** Στην κατηγορία αυτή ανήκουν έξοδα που αφορούν το roaming ή την πληρωμή άλλων παρόχων για ενοικίαση υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα, το κόστος σε αυτή την κατηγορία αφορά το κόστος διαπραγμάτευσης, συμφωνιών και οικονομικών τακτοποιήσεων και ονομάζεται settlement cost. Ακόμη ένα μέρος του κόστους είναι τα έξοδα για τη διεξαγωγή δοκιμών διαλειτουργικότητας.
- **Κόστος για ενοικίαση φυσικών δικτυακών πόρων:** Αφορά το κόστος για την ενοικίαση γραμμών ή εξοπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, αφορά τους παρόχους υπηρεσιών που δεν κατέχουν τις δικτυακές πλατφόρμες αλλά τις ενοικιάζουν π.χ. μισθωμένες γραμμές, hosting, πρόσβαση DSL κ.α.
- **Περιβαλλοντολογικά κόστη:** Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται κόστη που αφορούν την μίσθωση χώρου για την εγκατάσταση της υποδομής του δικτύου, την κατανάλωση ενέργειας κ.α.
- **Κόστος για τη λειτουργία και συντήρηση των δικτυακών συσκευών:** Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται έξοδα που έχουν να κάνουν με τη συντήρηση των δικτυακών συσκευών καθώς και με τη μισθοδοσία των υπαλλήλων που ασχολούνται με αυτή. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει όλες τις επαναλαμβανόμενες δαπάνες που είναι περιοδικά απαραίτητες για τη λειτουργία των δικτύων και των υπηρεσιών, την προληπτική συντήρηση ή την επιδιόρθωση του εξοπλισμού, την αναβάθμιση παλαιού εξοπλισμού κ.α.
- **Κόστος για τη λειτουργία και διαχείριση των δικτυακών υπηρεσιών:** Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται έξοδα που σχετίζονται με τη σχεδίαση και τη

διαχείριση υπηρεσιών, την δημιουργία συνδέσεων και τερματισμού και την υποστήριξη των πελατών που χρησιμοποιούν το δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα εδώ δημιουργούνται έξοδα, που σχετίζονται με παροχές προς τους πελάτες όπως π.χ. εξυπηρέτηση πελατών, λειτουργία διαχείρισης σχέσεων πελατών κ.α.

- **Κόστος για τη λειτουργία των IT λειτουργιών:** Εδώ εντάσσονται έξοδα που έχουν να κάνουν με τη διαχείριση των δικτύων, την ανάπτυξη πλατφορμών προκειμένου να υποστηρίξουν τις υπηρεσίες που προσφέρονται στους πελάτες καθώς και υπηρεσίες που σχετίζονται με την επίβλεψη και τον έλεγχο των αστοχιών του δικτύου. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και τα συστήματα υποστήριξης λειτουργίας-OSS(Operation Support Systems) και τα συστήματα χρέωσης υπηρεσιών-BSS(Billing Support Systems)

Στο σχήμα που ακολουθεί, παραθέτουμε μια γραφική απεικόνιση των παραπάνω κατηγοριών και μια ποιοτική μέτρηση του μέρους του συνολικού λειτουργικού κόστους του δικτύου που καταλαμβάνουν.



Σχήμα 23: Στοιχεία OPEX / CAPEX

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα το OPEX καταλαμβάνει μεγαλύτερο μέρος στο συνολικό budget σε σχέση με το CAPEX. Αυτό γεγονός που οδήγησε τους SPs να επικεντρωθούν στο πως θα μειώσουν το OPEX.

Τα δύο είδη κόστους είναι πολύ διαφορετικά και για αυτόν τον λόγο είναι δύσκολο να υπολογιστεί το πραγματικό κόστος της κάθε κατηγορίας. Επίσης υπάρχουν και μερικά άλλα σημαντικά ζητήματα που πρέπει να συνυπολογιστούν για παράδειγμα πόσο θα στοιχίζει κάθε συστατικό του δικτύου σε 2 – 5 χρόνια ;

Τα έξοδα κεφαλαίου και τα λειτουργικά έξοδα πληρώνονται σε ετήσια βάση και αποτελούν μία μορφή δανείου. Επειδή το κυρίο ποσό του εξόδου αποπληρώνεται σε ετήσια βάση, ο τύπος της επαναλαμβανόμενης αποπληρωμής έντοκου δανείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη πρόβλεψη των εξόδων για τα επόμενα χρόνια. Αυτό είναι χρήσιμο για το κόστος κεφαλαίου, το λειτουργικό κόστος και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO) αφού αποτελεί έναν τρόπο πρόβλεψης των ποσών που θα πρέπει να πληρώνονται σε ετήσια βάση. Θεωρώντας ότι **P** είναι το ποσό που θα πρέπει να αποπληρώνεται κάθε χρόνο, το ολικό ετήσιο έξοδο **A** για το λόγο αυτό θα δίνεται από:

$$A = P \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

όπου **r** είναι ο ετήσιος τόκος και **n** τα χρόνια των πληρωμών, η διάρκεια δηλαδή των δόσεων σε χρόνια.

### 3.3 Total Cost of Ownership (TCO)

Γενικά, Total Cost of Ownership (TCO) είναι μια οικονομική εκτίμηση, που προορίζεται να βοηθήσει τους αγοραστές και τους ιδιοκτήτες να καθορίσουν το άμεσο και έμμεσο κόστος ενός προϊόντος ή συστήματος. Το TCO για ένα δικτυακό προϊόν, ορίζεται ως το συνολικό κόστος που δαπανήθηκε για την απόκτηση του εξοπλισμού και το κόστος που δαπανάται για τη λειτουργία και συντήρηση του εξοπλισμού αυτού. Κατά συνέπεια, το κόστος, για την ιδιοκτησία του συστήματος, είναι το άθροισμα των επί μέρους δύο τύπων κόστους, δηλαδή του CAPEX και του OPEX.



### 3.4 Τεχνοοικονομικές Μελέτες στο Cloud Computing

Η τεχνολογία Cloud Computing επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιήσουν υπολογιστικούς πόρους που βρίσκονται διαθέσιμοι σε ένα public Cloud, κοστολογώντας τους με βάση ένα “pay-as-you-go” μοντέλο, όπου οι χρήστες χρεώνονται ανάλογα με τον αριθμό των υπολογιστικών πόρων που χρησιμοποίησαν. Αυτό το μοντέλο επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν τους κοινόχρηστους διατιθέμενους πόρους, με κόστος πολύ μικρότερο από το να διέθεταν ένα ιδιωτικό Cloud ενώ παράλληλα οι πάροχοι κερδίζουν εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι εξυπηρετούν ένα μεγάλο αριθμό πελατών. Σε θεωρητικό επίπεδο η τεχνολογία Cloud Computing, συγκεντρώνει όλα τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη στην υλοποίηση των δικτύων 5ης γενιάς, ωστόσο το ερώτημα είναι αν το ποσό που θα έχουμε εξοικονομήσει λόγω της υιοθέτησης της τεχνολογίας Cloud Computing, θα ξεπερνά τα απαιτούμενα έξοδα για την ενσωμάτωσή του.

Η χρέωση των υπηρεσιών στο Cloud διαθέτει δύο πτυχές. Αρχικά, οι παροχές του Cloud είναι άμεσα συνδεδεμένες με το σχεδιασμό του συστήματος. Η παροχή και κατανάλωση των πόρων είναι αλληλένδετες με τον τρόπο που ένα σύστημα σχεδιάζεται, ρυθμίζεται και ελέγχεται. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει άμεση σύνδεση του Cloud με τον τομέα των οικονομικών, αφού οικονομικές έννοιες όπως fairness [48] και competitive pricing, δημιουργούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για κάποιους παρόχους. Συνήθως οι πάροχοι και οι χρήστες του Cloud έχουν διαφορετικά και πολλές φορές ακόμη και αντικρουόμενα κίνητρα. Με τον όρο fairness αναφερόμαστε στην ισορροπία που πρέπει να υπάρχει ανάμεσα στο κέρδος του παρόχου και στο κόστος με το οποίο επιβαρύνεται ο πελάτης για τη χρήση του Cloud [49].

Η εργασία [50], προσπαθεί να δώσει απάντηση στο ερώτημα “To Cloud or Not To Cloud”. Το γεγονός ότι ο αριθμός των παρόχων υπηρεσιών, οι οποίοι αρχίζουν να χρησιμοποιούν το Cloud Computing αυξάνεται συνεχώς, δείχνει το νέο ρεύμα που έχει διαμορφωθεί στην αγορά υπέρ αυτής της τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα, πολύ μεγάλες εταιρείες όπως η Google, η Amazon, η Yahoo έχουν αρχίσει να προσφέρουν

αποθηκευτικό χώρο και υπολογιστικούς πόρους υπό τη μορφή υπηρεσιών Cloud. Με άλλα λόγια οι κύκλοι CPU, έχουν γίνει καταναλωτικό προϊόν στη διάθεση των χρηστών. Στην εργασία αυτή, παρατίθεται ένα οικονομικό μοντέλο βάση του οποίου θα «στήσουμε» το data center πάνω στο οποίο θα υλοποιηθεί το Cloud για μια μεγάλη επιχείρηση. Ένα Cloud μιας μεγάλης επιχείρησης αποτελείται από περισσότερους από 10000 servers, κατανεμημένους σε διαφορετικές χώρες και διαφορετικές ηπείρους.

Επειδή ωστόσο όπως είπαμε μας ενδιαφέρει η οικονομική βιωσιμότητα του Cloud, στη συνέχεια δίνεται το σύνολο των παραγόντων δαπανών, που απαιτούνται για το στήσιμο του Data Center:

- **To Hardware του Server:** Το κόστος για την αγορά hardware περιλαμβάνει την αγορά servers, εξοπλισμού τροφοδοσίας, εξοπλισμού δικτύου, μηχανισμού ψύξης κ.α. Στα μεγάλα Data Centers χρησιμοποιούνται custom συστήματα με 4 CPUs συνολικής αξίας 3000\$, ενώ οι μελλοντικές προβλέψεις για το κόστος μιας CPU για ένα μεγάλο Data Center κάνουν λόγο για 500\$ ανά CPU.
- **Ενέργεια:** Η ενεργειακή δαπάνη στα Data Centers, δεν περιλαμβάνει μόνο την ενέργεια που καταναλώνουν οι υπολογιστικοί πόροι, αλλά την ενέργεια που καταναλώνει συνολικά ολόκληρη η υποδομή.

Μια μετρική απόδοσης για να υπολογίσουμε την ενέργεια ενός Data Center είναι η

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

Η ενέργεια σε ένα Data Center, καταναλώνει το 60%-70% του συνολικού κόστους του Data Center.

- **Service:** Το κόστος για τη συντήρηση, την επισκευή και την αναβάθμιση του εξοπλισμού των Data Centers.
- **To Hardware του Δικτύου:** Το κόστος που απαιτείται για την αγορά εξοπλισμού που αφορά τη συνδεσιμότητα του δικτύου όπως routers, switches κ.λπ.
- **Η ενοικίαση του χώρου:** Οι χρεώσεις για την ενοικίαση του χώρου, διαφέρουν ανάλογα με την τοποθεσία και τη χρήση. Οι μεγάλες εταιρείες όπως η Google και η Microsoft, στήνουν τα Data Centers σε κτήρια τα οποία τους ανήκουν, σε περιοχές οι

οποίες είναι αραιοκατοικημένες και σε περιοχές όπου η τιμή του τετραγωνικού μέτρου είναι χαμηλή.

Στην εργασία [49], μελετήθηκε και αναπτύχθηκε ένα οικονομικό μοντέλο που αφορά την χρέωση των υπηρεσιών του EC2 Cloud της εταιρείας Amazon. Σύμφωνα λοιπόν με τους συγγραφείς της εργασίας, το κόστος που επιβαρύνει τον πελάτη δίνεται από τον τύπο  $COST_{user} = Price * t$ , όπου  $t$  είναι ο χρόνος σε ώρες που ο χρήστης χρησιμοποιεί τους πόρους του Cloud ενώ  $Price$  είναι η χρέωση για κάθε ώρα χρήσης μιας Virtual Machine. Τα κόστη για αποθηκευτικό χώρο και για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ πελάτη και Cloud γιατί είναι αμελητέα σύμφωνα με τους συγγραφείς (λιγότερο από 1% του συνολικού κόστους).

Προκειμένου να αξιολογηθεί το κόστος του Data Center στο οποίο τρέχουν οι Virtual Machines που προσφέρονται στους χρήστες, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν το μοντέλο Hamilton [51], σύμφωνα με το οποίο το συνολικό κόστος κατανάλωσης ενέργειας δίνεται από τον τύπο:

$$COST_{full-energy} = (p * P_{raw} * PUE),$$

όπου  $p$  είναι η τιμή της κιλοβατώρας,  $P_{raw}$  είναι η συνολική κατανάλωση ενέργειας του IT εξοπλισμού (π.χ. servers, routers) και  $PUE$  η μετρική απόδοσης που αναφέραμε πιο πάνω.

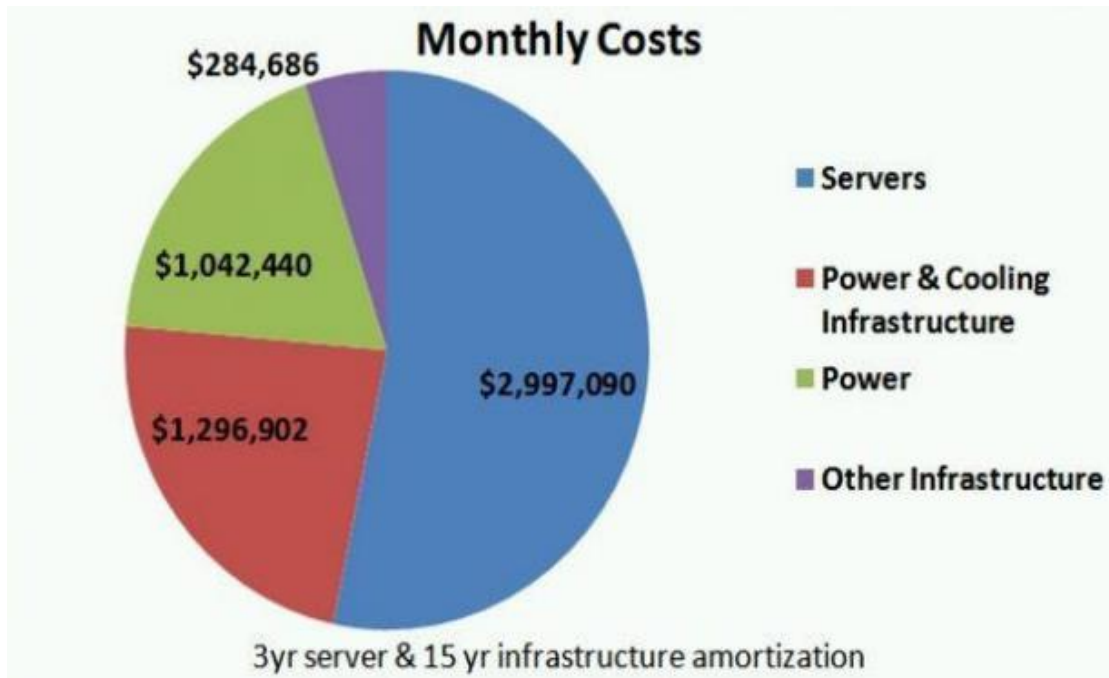
Το συνολικό κόστος του παρόχου υπολογίζεται από τον τύπο,

$$COST_{provider} = (COST_{full-energy} + COST_{amortized}) * Scale$$

όπου  $Scale$  είναι ο λόγος του συνολικού κόστους προς το άθροισμα  $COST_{full-energy} + COST_{amortized}$  και το  $COST_{amortized}$  για κάθε server ισούται με  $COST_{amortized-Unit} * t_{server}$ , όπου  $t_{server}$  ο χρόνος που έχει παρέλθει στο server σε ώρες. Τέλος το  $P_{raw}$  είναι η συνολική κατανάλωση ενέργειας στους servers και τα routers.

Με χρήση του παραπάνω οικονομικού μοντέλου, μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος για τη δημιουργία και τη συντήρηση ενός Data Center πάνω στο οποίο θα στηριχθεί το Cloud και προκειμένου να πάρουμε μια ποσοτική εκτίμηση του

κόστους αυτού, μπορούμε να στηριχθούμε στο γράφημα του Σχήματος XX το οποίο απεικονίζει το μηνιαίο OPEX ενός μεγάλου Data Center, οι τιμές του οποίου φαίνονται στο [51].



Σχήμα 24: Pie Chart του μηνιαίου λειτουργικού κόστους ενός Data Center [51]

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό, συμπεραίνουμε ότι η εισαγωγή του Cloud Computing είναι επιβεβλημένη στα δίκτυα 5ης γενιάς, γεγονός που επιβεβαιώνεται όχι μόνο από τις μελέτες που παραθέσαμε παραπάνω αλλά και από το γεγονός ότι όλες οι μεγάλες εταιρείες στο χώρο της τεχνολογίας (π.χ. Microsoft, Google, Amazon, Yahoo) έχουν δείξει ήδη το δρόμο και έχουν δημιουργήσει τα δικά τους Clouds τα οποία τους αποφέρουν τεράστια κέρδη με σχετικά μικρό κόστος.

# 4 Τεχνοοικονομική Μελέτη Εργασίας

## 4.1 Συγκριτική μελέτη εγκατάστασης on-premise vs cloud based

Σε προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκαν οι διαφορετικές εκδοχές εγκατάστασης με τις οποίες μπορεί να προσφέρεται ένα σύστημα. Αν αναλυθούν περισσότερο οι πέντε κατηγορίες (on-premise, hosted, public cloud, private cloud, hybrid) εντοπίζεται ότι οι βασικές επιλογές που προσφέρονται στην εταιρεία-πελάτη είναι η εγκατάσταση στο δικό της εταιρικό περιβάλλον (on premises) ή σε ένα cloud περιβάλλον κάποιας μορφής (hosted ή SaaS). Θα επιχειρήσουμε να εντοπίσουμε τις βασικές διαφορές και τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μοντέλων αυτών ενώ θα προχωρήσουμε και σε μια πιο αναλυτική σύγκριση για το σενάριο μας, το οποίο θα αφορά την τεχνο-οικονομική μελέτη σε μια μεσαία επιχείρηση που ενδιαφέρεται να υλοποιήσει δραστηριότητα και πρέπει να διαλέξει ανάμεσα σε on premise υλοποίηση data center και cloud based υλοποίηση μέσω κάποιου παρόχου. Όπως εξηγήσαμε και πιο πριν, οι τεχνολογίες cloud είναι ένα προχωρημένο μοντέλο εκχώρησης αρμοδιοτήτων και υπηρεσιών IT σε τρίτους το οποίο επιτρέπει σε έναν οργανισμό να χρησιμοποιήσει πόρους τρίτων σαν υπηρεσίες μέσω του διαδικτύου χωρίς να χρειάζεται να φιλοξενεί του πόρους αυτούς σε φυσική μορφή εσωτερικά του οργανισμού. Ακριβώς λόγω αυτής της εκχώρησης των αρμοδιοτήτων και της παροχής κάποιων υπηρεσιών εκτός εταιρείας το μεγάλο πλεονέκτημα των cloud υπηρεσιών είναι ότι μία σειρά από κοστοβόρα σε χρήματα, ανθρωποώρες και ενέργεια ζητήματα όπως η συντήρηση των φυσικών μηχανών, η εξασφάλιση διαθεσιμότητας των προγραμμάτων, ενημερώσεις λειτουργικών συστημάτων, η διασφάλιση αντιγράφων ασφαλείας, cyber security ζητήματα κ.α. περνούν στην ευθύνη τρίτων οργανισμών ελευθερώνοντας εταιρικούς πόρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εταιρικές διαδικασίες.

Ένα επιπλέον σημείο ελέγχου των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε μοντέλου είναι σίγουρα το οικονομικό σκέλος του κάθε σεναρίου υλοποίησης. Στο σενάριο της on-premise εγκατάστασης η εταιρεία πρέπει να αγοράσει τις άδειες χρήσης του software καθώς και τους servers που θα το φιλοξενήσουν όπως επίσης

και το λογισμικό που θα χρησιμοποιούν οι servers. Σε σχέση με μία cloud υλοποίηση το κόστος στην on-premise εγκατάσταση είναι πολύ μεγαλύτερο στην αρχική επένδυση λόγω της ανάγκης για αγορά των φυσικών μηχανημάτων όπως επίσης και του παρελκόμενου απαραίτητου εξοπλισμού (μονάδες UPS, συστήματα ψύξης κλπ.). Στην cloud εγκατάσταση ο πελάτης ουσιαστικά ενοικιάζει τμήματα φυσικών μηχανών που φιλοξενούνται σε άλλα data centers μηδενίζοντας την ανάγκη για αρχική επένδυση σε hardware.

Εκτός της αρχικής επένδυσης υπάρχει και ένα μηνιαίο κόστος για την χρήση το οποίο αφορά την άδεια χρήσης του συστήματος (το κόστος αυτό είναι ίδιο και στα δύο σενάρια υλοποίησης) και το μηνιαίο κόστος των μηχανών που το φιλοξενούν. Στην on-premise εγκατάσταση το κόστος αυτό συνίσταται στα έξοδα συντήρησης του εξοπλισμού και στο κόστος της ενέργειας για τη λειτουργία του ενώ στην cloud εγκατάσταση το κόστος αυτό συνοψίζεται στο αντίτιμο που η εταιρεία πληρώνει στον πάροχο των cloud υπηρεσιών. Στην κατηγορία της cloud εγκατάστασης εκτός της επιλογής μίας hosted λύσης σε αρκετές περιπτώσεις (εξαρτάται από τον πάροχο του Cloud) υπάρχει η δυνατότητα χρήσης του συστήματος σαν Software as a Service (SaaS). Στο σενάριο αυτό ο πελάτης απαλλάσσεται και από το κόστος της ενοικίασης των μηχανών που θα φιλοξενήσουν το σύστημα και πληρώνει στον πάροχο (που είναι ο ίδιος ο κατασκευαστής του συστήματος) ένα αντίτιμο για την χρήση του προσφερόμενου μέσω διαδικτύου συστήματος και το οποίο είναι ανάλογο με τη χρήση που κάνει.

Περαιτέρω, ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο που απασχολεί τους IT experts των εταιρειών σε σχέση με την μετάβαση από μία παραδοσιακή on-premise εγκατάσταση σε μία cloud είναι η ασφάλεια των δεδομένων της εταιρείας. Οι ενστάσεις των υπεύθυνων στον χώρο του IT στελεχών έχει να κάνει με την δυσκολία τους να εμπιστευθούν τρίτες εταιρείες με τα δεδομένα τους γενικά και κυρίως με τα ευαίσθητα εταιρικά δεδομένα.

Η μη φυσική πρόσβαση στα δεδομένα και η εκτός του δικού τους ελέγχου διασφάλιση της διαβαθμισμένης πρόσβασης στα δεδομένα τους είναι οι βασικοί λόγοι για αυτούς τους ενδιαασμούς οι οποίοι ωστόσο συνεχώς και κάμπτονται και

όλο και περισσότερες εταιρείες μεταφέρουν τις υποδομές τους σε cloud περιβάλλοντα.

Στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 25) μπορούμε να δούμε συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και αντίστοιχα τα μειονεκτήματα που προκύπτουν μεταξύ της υλοποίησης on-premise και της Software as a Service λύσης (Cloud Based).

Software				
SaaS		VS	On-Premise	
Pros	Cons	Pros	Cons	
• Lower cost upfront	• Annual fee to use software	• Data physically stored somewhere	• Ongoing upgrade and maintenance fees	
• System upgrades are automatically installed	• Data isn't physically stored anywhere	• Offline access	• Data vulnerable to natural disasters	
• Environmentally friendly	• Costs increase as your business grows	• No annual fee to use software	• Someone can steal your system and data	
• Data is secure if your computer is stolen		• If you don't trust the cloud, you'll feel safer	• Not good for the environment	
• Data immune to natural disasters			• Lack of ongoing support by Microsoft	

Σχήμα 25: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Cloud Based και On Premise υλοποιήσεων

## 4.2 Υλοποίηση

Το σενάριο αφορά την τεchnο-οικονομική μελέτη σε μια μεσαία επιχείρηση που ενδιαφέρεται να υλοποιήσει δραστηριότητα και πρέπει να επιλέξει μεταξύ των on premise υλοποίηση data center και cloud based υλοποίηση μέσω κάποιου παρόχου. Θα μελετηθεί θεωρητικά η ανάπτυξη ενός μοντέλου/συστήματος και τα κόστη του σε δυο περιπτώσεις:

**On premise** υλοποίηση και **cloud based** υλοποίηση.

Σκοπός της ανάλυσης είναι να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που προκύπτουν από την υλοποίηση ενός μοντέλου **cloud based**. Με βάση τη σχετική βιβλιογραφία (ερευνητικές εργασίες, αναλύσεις και αρθρογραφία), η αρχική μελέτη καταλήγει στον παρακάτω πίνακα όπου γίνεται σύγκριση κόστους ανάμεσα στις δύο υλοποιήσεις.

	On-premises				Cloud Based			
	Unit	Quantity	Per Unit	Total	Unit	Quantity	Per Unit	Total
<b>CAPEX (initial)</b>				<b>3.110.000,00 €</b>				<b>90.000,00 €</b>
Server	Nos	100	4.000 €	400.000 €	Nos	0	0 €	€ 0
Network Equipments	Nos	50	1.000 €	50.000 €	Nos	0	0 €	€ 0
Storage	TB	50	3.500 €	175.000 €	TB	0	0 €	€ 0
Storage (Backup)	TB	350	1.500 €	525.000 €	TB	0	0 €	€ 0
Software (OS + IIS)	Nos	100	2.500 €	250.000 €	Nos	0	0 €	€ 0
Software (DB)	Nos	100	15.000 €	1.500.000 €	Nos	0	0 €	€ 0
Software (AV + Mgmt)	Nos	100	300 €	30.000 €	Nos	0	0 €	€ 0
Labor for Start	€/resource	10	18.000 €	180.000 €	€/resource	5	18.000 €	€ 90.000
Real Estate	€/sft	0	1.000 €	0 €	€/sft		0 €	€ 0
				0				0
<b>OPEX (annual)</b>				<b>999.000,00 €</b>				<b>717.000,00 €</b>
Computing Power		0	0 €	0 €	€/hr	3000000	0,16 €	480.000,00 €
Storage	TB	0	0 €	0 €	€/GB		0,12 €	0,00 €
Bandwith	€/annum	3	20.000 €	60.000 €	€/GB		0,18 €	0,00 €
Staff Salary	staff/annum	8	28.000 €	224.000 €	staff/annum	4	28.000 €	112.000,00 €
Infrastructure Maintenance	% of total cost	35	7.000 €	245.000 €	% of total cost		0 €	0,00 €
Software Maintenance	% of total cost	35	5.000 €	175.000 €	% of total cost		0 €	0,00 €
Electricity	€/annum	1	90.000 €	90.000 €	€/annum		0 €	0,00 €
Rent for Real Estate	€/sft/annum	1000	100 €	100.000 €	€/sft/annum		0 €	0,00 €
Other Maintenance	€/annum	3	35.000 €	105.000 €	€/annum		0 €	0,00 €
Pay-per-Use Savings		0	0 €	0 €	%	25	5.000 €	125.000 €
<b>TOTAL</b>				<b>4.109.000,00 €</b>				<b>807.000,00 €</b>
<b>Savings</b>								<b>3.302.000,00 €</b>

Πίνακας 1: Ανάλυση εξόδων για CAPEX/OPEX στις 2 υλοποιήσεις του πειράματος

### 4.3 Υπολογισμός CAPEX / OPEX

Οι τιμές του πίνακα είναι θεωρητικές και αποτέλεσμα έρευνας. Παρουσιάζουν αποκλίσεις από την αναλυτική προσέγγιση μιας τέτοιας μελέτης που όμως εδώ δεν είναι το ζητούμενο. Οι αναλυτικές αυτές τιμές προκύπτουν και με ακρίβεια από τα αποτελέσματα των παρακάτω πράξεων:

Για το **CAPEX (On premises)**:  $C_{server} * N_{oS} + C_{ne} * N_{ne} + C_{st} * N_{st} + C_{stb} * N_{stb} + C_{st(os)} * N_{st(os)} + C_{stB} * N_{stB} + C_{st(mg)} * N_{st(mg)} + C_{labor} * N_{labor} + C_{estate} * N_{estate} = \dots \approx 3.110.000,00 \text{ €}$



Για το **CAPEX (Cloud Based)**:  $C_{server} * NoS + C_{ne} * N_{ne} + C_{st} * N_{st} + C_{stb} * N_{stb} + C_{st(os)} * N_{st(os)} + C_{stB} * N_{stB} + C_{st(mg)} * N_{st(mg)} + Clabor * Nlabor + C_{estate} * Nestate = \dots \approx 90.000,00 \text{ €}$

\*Όπου :

$C_{server} * NoS$	Το κόστος κάθε server επί το πλήθος
$C_{ne} * N_{ne}$	Το κόστος κάθε είδους network equipment επί το πλήθος
$C_{st} * N_{st}$	Το κόστος κάθε μέσου storage επί το πλήθος
$C_{stb} * N_{stb}$	Το κόστος κάθε μέσου backup storage επί το πλήθος
$C_{st(os)} * N_{st(os)}$	Το κόστος software λειτουργικού συστήματος επί το πλήθος
$C_{stB} * N_{stB}$	Το κόστος database software επί το πλήθος
$C_{st(mg)} * N_{st(mg)}$	Το κόστος software διαχείρισης επί το πλήθος
$Clabor * Nlabor$	Το κόστος εργασίας ατόμου επί το πλήθος ατόμων
$C_{estate} * Nestate$	Το κόστος ανά τετραγωνικό έκτασης επί το σύνολο

Πίνακας 2: Στοιχεία εξίσωσης υπολογισμού CAPEX

Αντίστοιχα:

Για το **OPEX (On premises)**:  $C_{cp} * N_{hr} + C_{st} * N_{st} + C_{bw} * N_{bw} + C_{ss} * N_{ss} + C_{im} * N_{im} + C_{sm} * N_{sm} + C_e * N_e + C_{rent} * N_{rent} + C_{om} * N_{om} + C_{ppu} * N_{ppu} = \dots \approx 999.000,00 \text{ €}$

Για το **OPEX (Cloud Based)**:  $C_{cp} * N_{hr} + C_{st} * N_{st} + C_{bw} * N_{bw} + C_{ss} * N_{ss} + C_{im} * N_{im} + C_{sm} * N_{sm} + C_e * N_e + C_{rent} * N_{rent} + C_{om} * N_{om} + C_{ppu} * N_{ppu} = \dots \approx 717.000,00 \text{ €}$

\*Όπου :

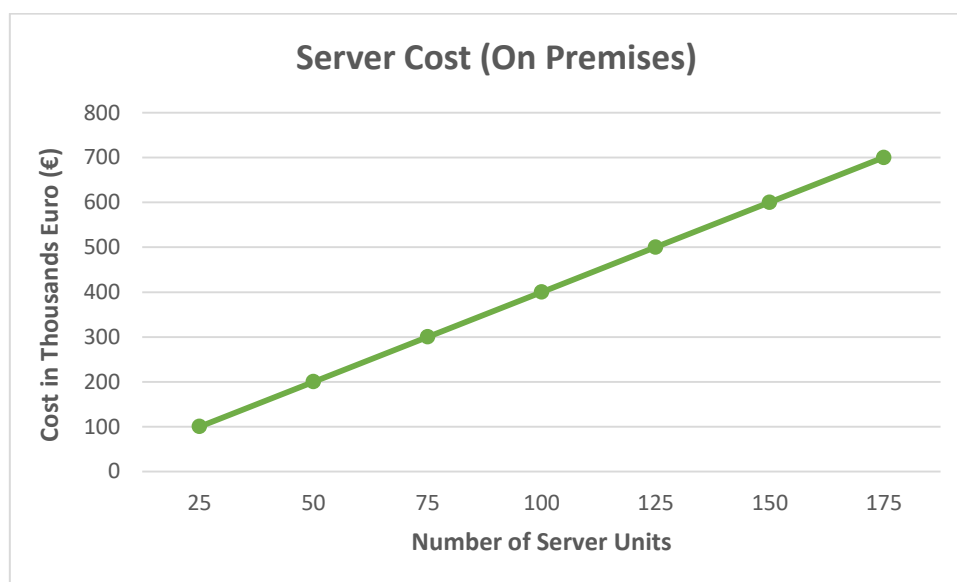
$C_{cp} * N_{hr}$	Το κόστος υπολογιστικής ισχύς επί κιλοβατώρα
$C_{st} * N_{st}$	Το κόστος κάθε είδους network equipment επί το πλήθος
$C_{bw} * N_{bw}$	Το κόστος storage επί τιμή μονάδας

Css * Nss	Το κόστος μισθού υπαλλήλου επί το πλήθος υπαλλήλων
Cim * Nim	Το κόστος συντήρησης υποδομής επί του συνολικού κόστους
Csm * Nsm	Το κόστος συντήρησης λογισμικού επί του συνολικού κόστους
Ce* Ne	Το κόστος ηλεκτρικού ρεύματος επί έτος
Crent * Nrent	Το κόστος ενοικίασης ανά τ.μ επί το πλήθος των τ.μ
Com * Nom	Το κόστος άλλων συντηρήσεων ανά έτος
Crru * Nrru	Το ποσοστό κέρδους από τις υπηρεσίες pay per use

Πίνακας 3: Στοιχεία εξίσωσης υπολογισμού OPEX

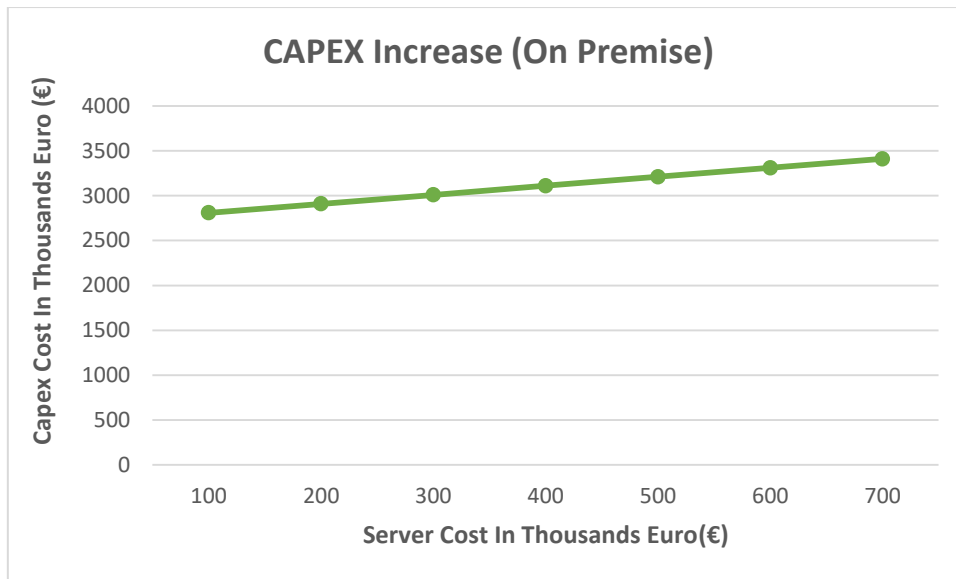
Μελετώντας τον πίνακα παρατηρείται ότι τα διάφορα κόστη και για τις 2 υλοποιήσεις μπορούν και επηρεάζουν σημαντικά το τελικό κόστος τόσο σε CAPEX, όσο και σε OPEX αφού, αν τα δει κάποιος και ξεχωριστά, μπορεί να αντιληφθεί πιο σωστά την σημασία τους:

**Για παράδειγμα:** Στην **On Premise** υλοποίηση το κόστος των **Server** αυξάνεται αναλογικά αν υπάρχει ανάγκη για περισσότερους servers:



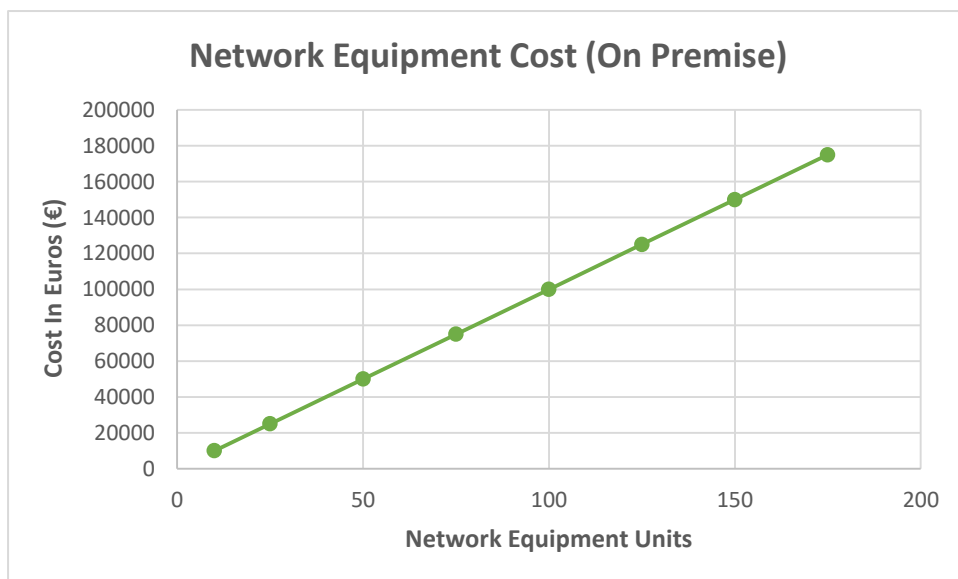
Γράφημα 4

Κάτι που τελικά προκαλεί αύξηση του κόστους CAPEX αντίστοιχα:



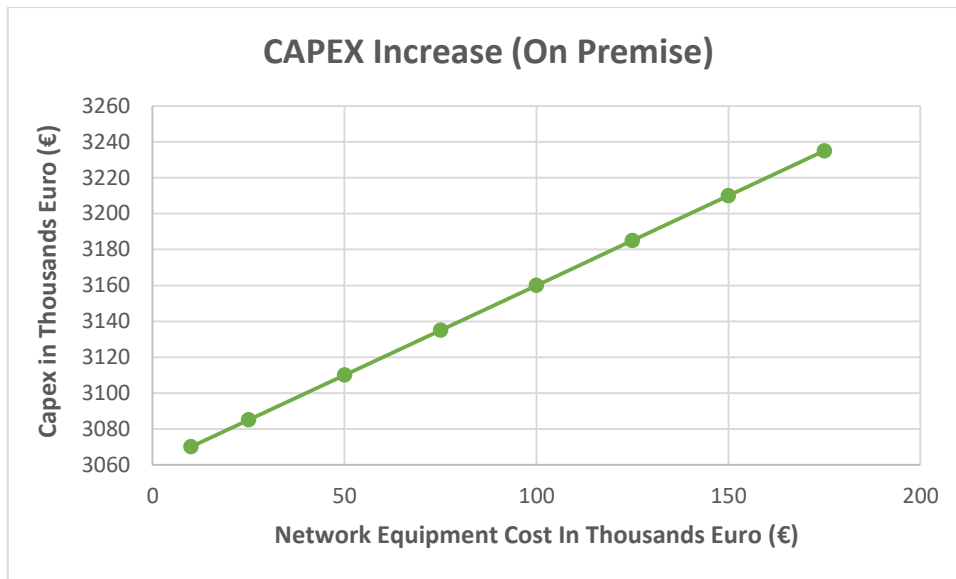
Γράφημα 5

Αντίστοιχα για το **Network Equipment** υπάρχει αύξηση κόστους ανάλογη της ποσότητας μονάδων που απαιτούνται:



Γράφημα 6

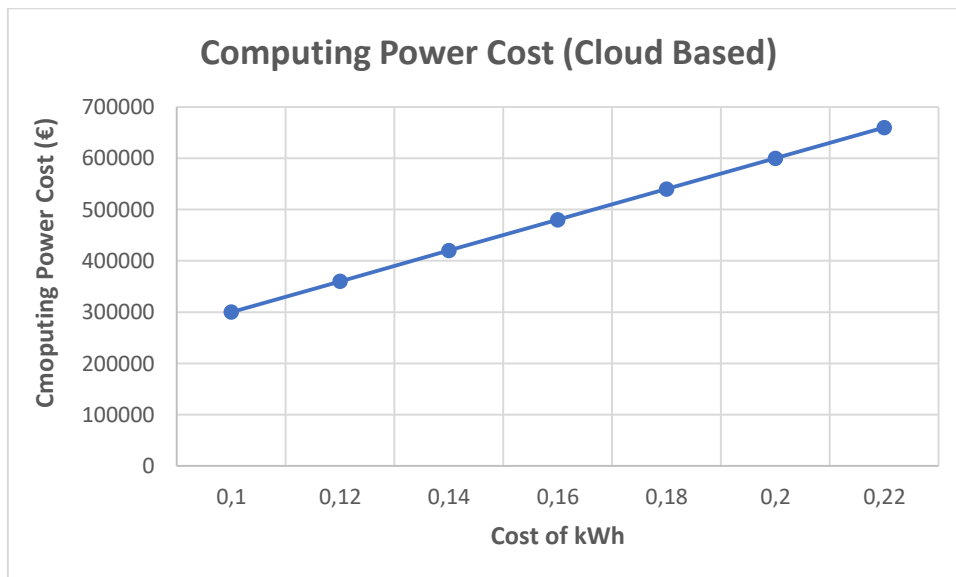
Κάτι που επίσης προκαλεί **αύξηση** του κόστους CAPEX αντίστοιχα:



Γράφημα 7

Αντίστοιχες αυξήσεις μπορούν να επέλθουν στο OPEX αν αυξάνονται οι απαιτήσεις για περισσότερους πόρους, εξοπλισμό κλπ.

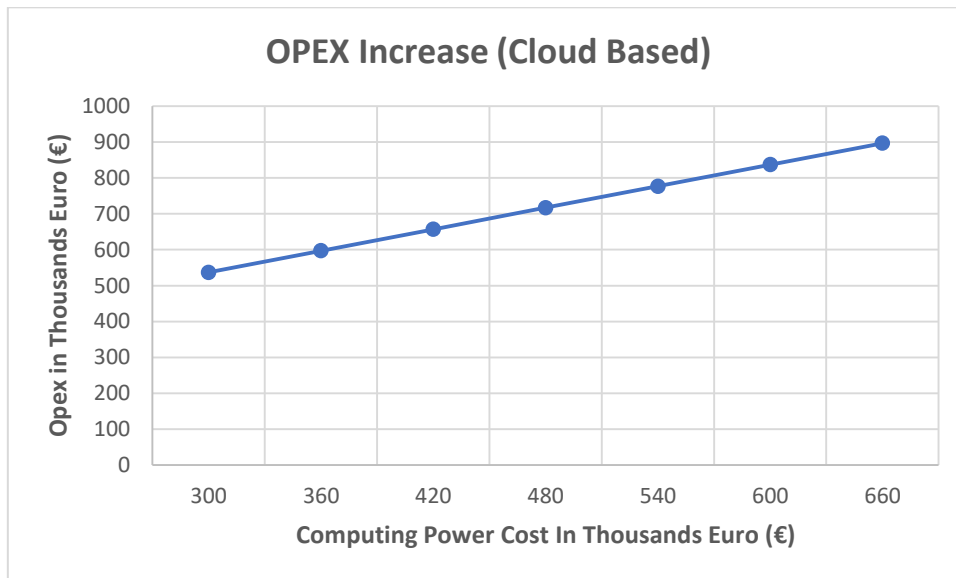
**Για παράδειγμα:** Στην **Cloud Based** υλοποίηση το κόστος του **Computing Power** είναι άμεσα συνδεδεμένο με την τιμή της Κιλοβατώρας (kWh) η οποία μπορεί να διαφέρει σε κάθε περιοχή λειτουργίας



Γράφημα 8

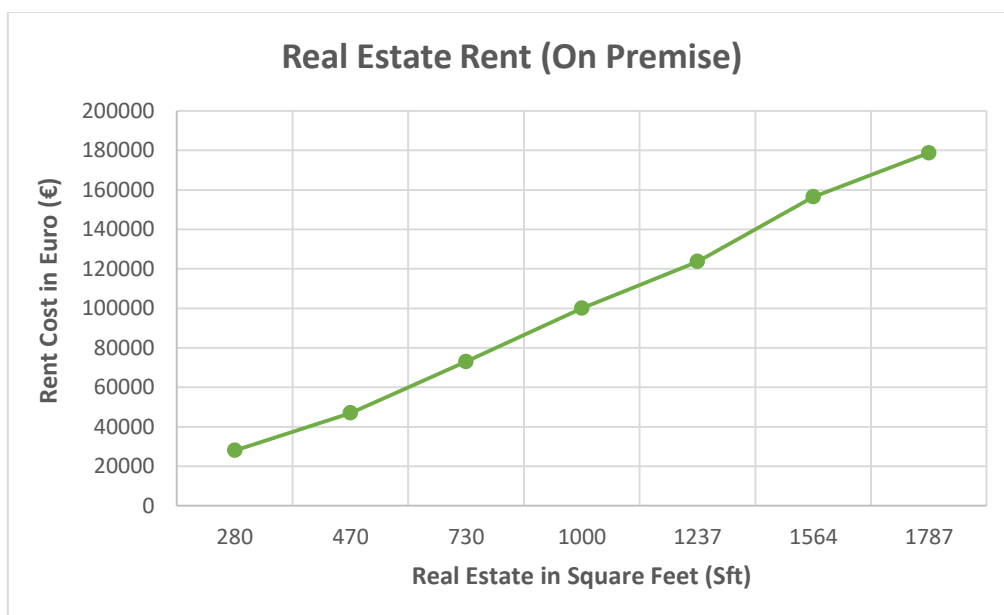
Στο παραπάνω γράφημα παρατηρείται ότι η τιμή της κιλοβατώρας μπορεί να επιφέρει σημαντικές αυξήσεις στο συνολικό κόστος του Computing Power, κάτι το

οποίο με την σειρά του μπορεί να επιφέρει σημαντικές αυξήσεις και στο συνολικό OPEX, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα:



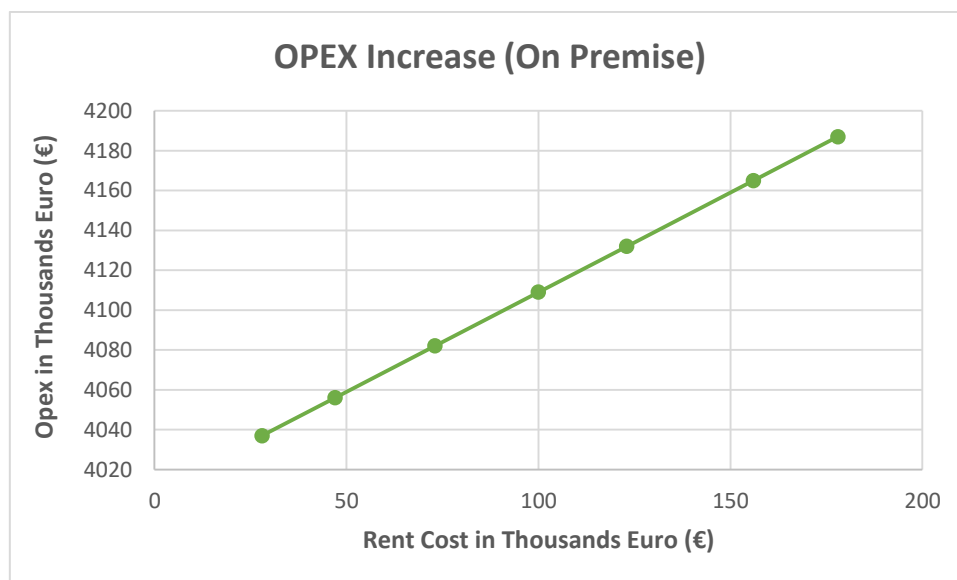
Γράφημα 9

Παρόμοια, η μεταβολή των απαιτούμενων τ.μ προς ενοικίαση (Rent for Real Estate) σε μια On Premise υλοποίηση αυξάνει αντιστοίχως το κόστος, αφού το ενοίκιο είναι συνδεδεμένο με τα τ.μ και το κόστος/ τ.μ. :



Γράφημα 10

Αντίστοιχα θα επηρεαστεί και το συνολικό **OPEX**, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα:



Γράφημα 11

#### 4.4 Υπολογισμός TCO

Τα τελικά συνολικά κόστη TCO διαμορφώνονται ως εξής:

Για το TCO (On premises):

**TCO (On premises): CAPEX (On premises) + OPEX (On premises) =...**

**= 4.109.000,00 €**

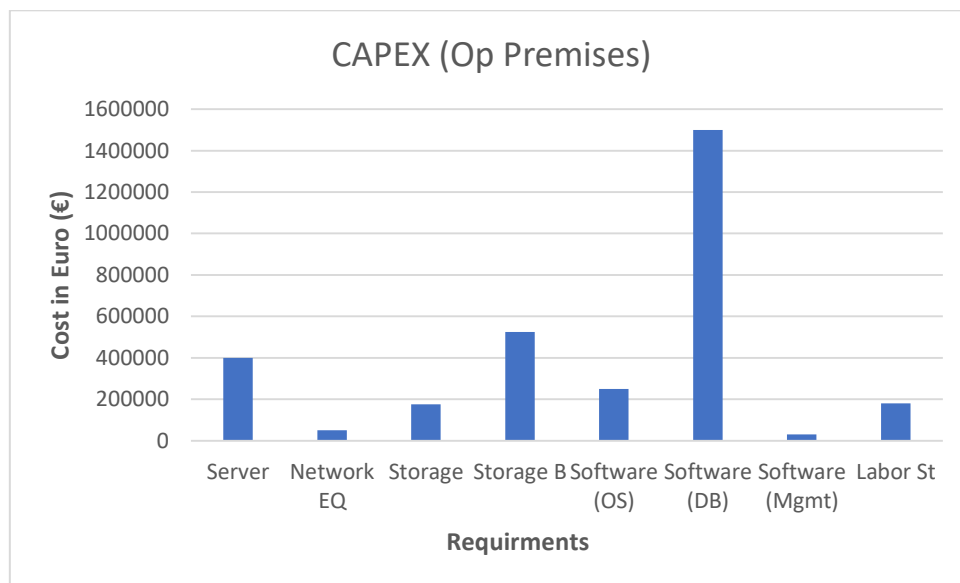
Για το TCO (Cloud Based):

**TCO (Cloud Based): CAPEX (Cloud Based) + OPEX (Cloud Based) =...**

**= 807.000,00€**

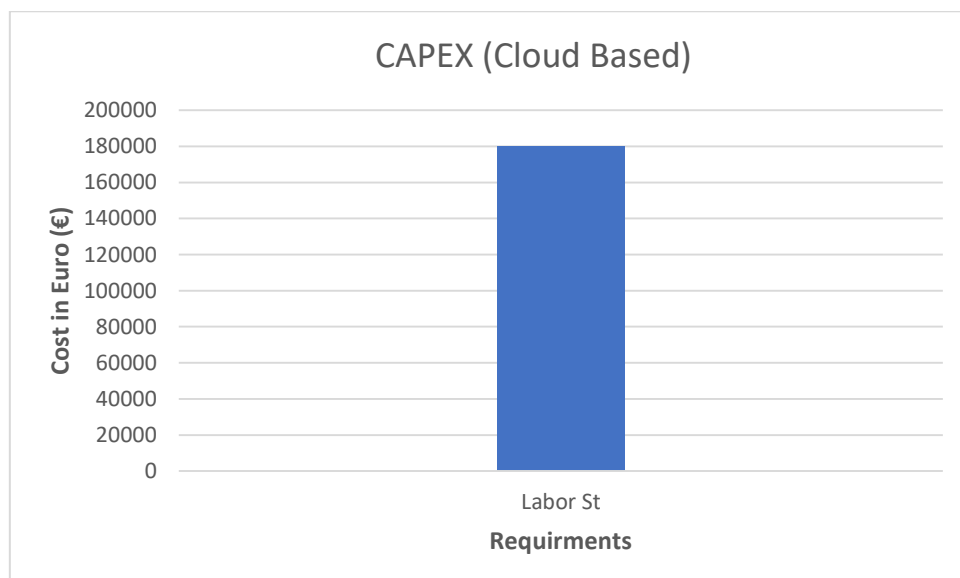
Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται και η γραφική αναπαράσταση της σύγκρισης που περιεγράφηκε στον παραπάνω πίνακα ανάμεσα σε On premise υλοποίηση και cloud-based υλοποίηση:

Ανάλυση κόστους για **On Premise** υλοποίηση (επιπέδου **CAPEX**):



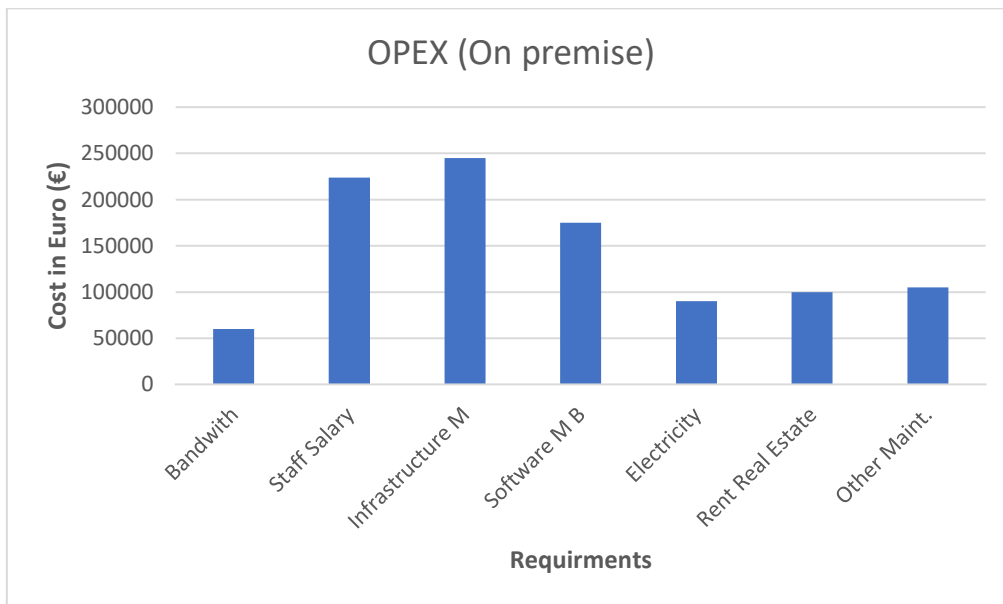
Γράφημα 12

Ανάλυση κόστους για **Cloud Based** υλοποίηση (επιπέδου **CAPEX**) όπου φαίνεται ότι το κόστος εργασίας για το στήσιμο είναι αυτό που κυριαρχεί στο συνολικό κόστος:



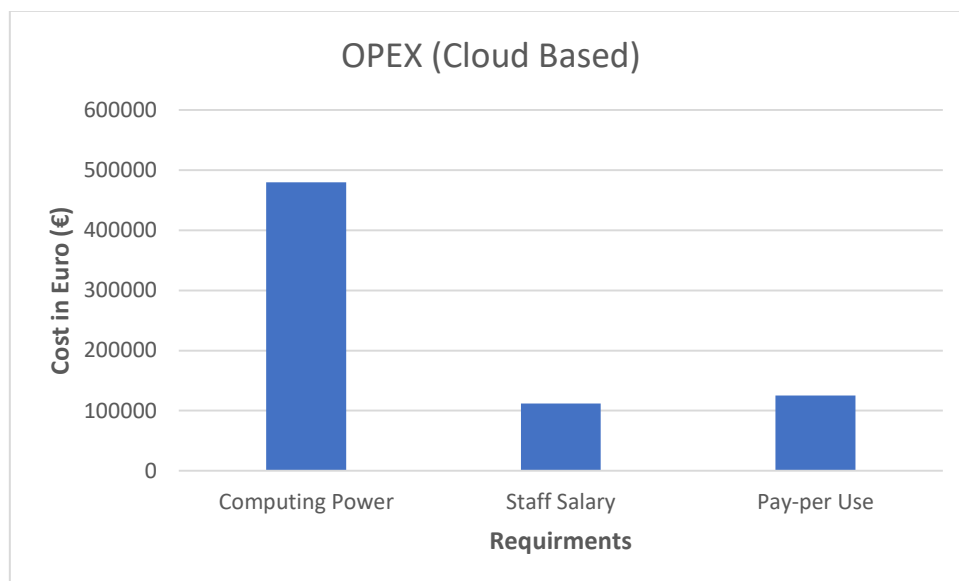
Γράφημα 13

Ανάλυση κόστους για **On Premise** υλοποίηση (επιπέδου **OPEX**):



Γράφημα 14

Ανάλυση κόστους για **Cloud Based** υλοποίηση (επιπέδου **OPEX**) όπου εντοπίζεται σαφέστατα ότι το κόστος Υπολογιστικής Ισχύος είναι το βασικότερο στοιχείο που επηρεάζει το OPEX στην Cloud Based υλοποίηση :



Γράφημα 15

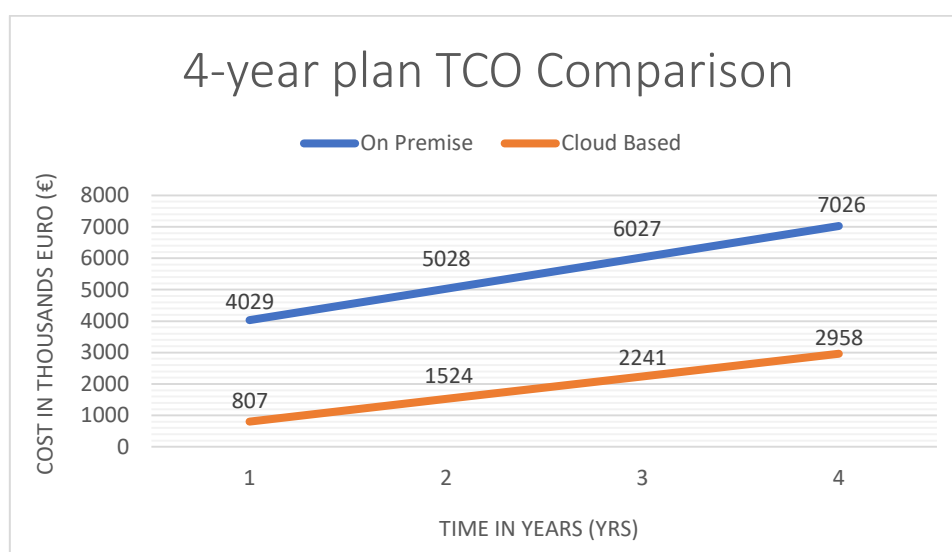


Ενώ τελικά γίνεται και μια γενικότερη σύγκριση του συνολικού TCO για τις δύο υλοποιήσεις σε βάθος 4 ετών:

	On-premises			Cloud Based		
	CAPEX	OPEX	Cost	CAPEX	OPEX	Cost
YEAR - 1	3.030.000 €	999.000 €	4.029.000 €	90.000 €	717.000 €	807.000 €
YEAR - 2	-	999.000 €	5.028.000 €	-	717.000 €	1.524.000 €
YEAR - 3	-	999.000 €	6.027.000 €	-	717.000 €	2.241.000 €
YEAR - 4	-	999.000 €	7.026.000 €	-	717.000 €	2.958.000 €

Πίνακας 16

Σύγκριση TCO υλοποιήσεων σε βάθος 4 ετών:



Γράφημα 17

Διαπιστώνεται τελικά ότι η διαφορά στις δύο υλοποιήσεις είναι σημαντική από άποψη κόστους, ειδικά αν παρατηρηθεί αυτό σε βάθος 4ετίας. Η Cloud Based υλοποίηση υπερτερεί σημαντικά της On Premise κάτι το οποίο αποτυπώνεται και στο παραπάνω γράφημα.

## 5 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας αναλύθηκαν τα χαρακτηριστικά, οι απαιτήσεις και τα ζητήματα που αφορούν την ανάπτυξη των δικτύων 5ης γενιάς (5G), τα οποία προσφέρουν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και συνεχή συνδεσιμότητα. Πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση των τεχνολογιών αιχμής οι οποίες θεωρείται ότι θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση των δικτύων 5ης γενιάς, όπως οι Ultra-Dense Deployments, το NFV, το SDN και το Cloud Computing. Οι τεχνολογίες αυτές θα αποτελέσουν τη λύση για την ενοποίηση του δικτύου, την βέλτιστη διαχείριση και το δυναμικό διαμοιρασμό των διαθέσιμων πόρων.

Οι ανάγκες του χρήστη για real-time υπηρεσίες, αναγκάζουν τους παρόχους υπηρεσιών να ερευνήσουν για νέους και πιο ευέλικτους τρόπους να παρέχουν υπηρεσίες, έχοντας ως γνώμονα τη μείωση του CAPEX και του OPEX. Η χρήση του Cloud Computing, γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ παρόχων και χρηστών με τη χρήση του μοντέλου κοστολόγησης “pay per-use”. Επιπλέον, η ενσωμάτωση του τομέα ICT στα δίκτυα 5ης γενιάς δημιουργεί νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για νέους παίκτες, ενώ ανοίγει το δρόμο για νέους τρόπους συνεργασίας αλλά και ανταγωνισμού μεταξύ των παρόχων. Ο ανταγωνισμός πλέον μεταφέρεται στο επίπεδο του software, ενώ το hardware προοπτικά θα πάψει να αποτελεί την κύρια αιτία διαφοροποίησης μεταξύ παρόχων.

Στη εργασία αυτή, παρουσιάστηκε μια συγκριτική μελέτη ανάμεσα σε δυο διαφορετικές υλοποιήσεις του για την δημιουργία και λειτουργία ενός data center. Παρουσιάστηκαν τα πλεονεκτήματα που αποκτά μια Cloud Based αρχιτεκτονική σε συνδυασμό με τις δυνατότητες των δικτύων 5G, η οποία όπως είπαμε ενσωματώνει διάφορες τεχνολογίες αιχμής. Με την προτεινόμενη αρχιτεκτονική αποφεύγουμε τα μειονεκτήματα της on premise υλοποίησης τα οποία συνοψίζονται κυρίως στα οικονομικά κόστη αυτής της επιλογής.

Η συγκριτική μελέτη του 4<sup>ου</sup> κεφαλαίου μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η cloud based υλοποίηση είναι εμφανώς οικονομικότερη της on premise αφού, για το

συγκεκριμένο παράδειγμα αποφέρει κέρδος της τάξης των 4.000.000€. Ακόμα και εάν στην cloud based υλοποίηση προσθέταμε και ένα σημαντικό μεγάλο ποσό – της τάξης των 500.000€ ενδεικτικά – ως migration cost, πάλι η διαφορά στα κόστη, ειδικά σε ένα τετραετές πλάνο όπως περιεγράφηκε παραπάνω, είναι σημαντική. Παράλληλα ακόμα και οι όποιες αποκλίσεις μπορεί να προκύπτουν από τα ποσά και τα νούμερα που περιγράφονται στον Πίνακα 1 – καθώς τα νούμερα είναι με βάση τιμές βιβλιογραφίας και έρευνας στο διαδίκτυο– δεν είναι ικανές να μειώσουν την οικονομική διαφορά κόστους που υπάρχει ανάμεσα στις δύο υλοποιήσεις.

Συμπερασματικά μιλώντας, το επιχειρηματικό τοπίο στον τομέα του IT έχει αλλάξει ταχύτατα την τελευταία δεκαετία, με οργανισμούς που επιλέγουν τα πλεονεκτήματα μιας cloud based υλοποίησης έναντι των κέντρων δεδομένων εσωτερικής εγκατάστασης (on premises). Σύμφωνα με μια έκθεση της Gartner, [47], το 40% των οργανισμών στη Βόρεια Αμερική σκοπεύουν να δαπανήσουν το μεγαλύτερο μέρος της νέας ή πρόσθετης χρηματοδότησης στο cloud. Με αυτή τη μετατόπιση, οι επιχειρήσεις βλέπουν αύξηση στο OpEx και μείωση του CapEx.

Για οποιονδήποτε οργανισμό σκέφτεται να μετεγκατασταθεί στο cloud ή να επεκτείνει τη χρήση του cloud, υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ του CapEx και του OpEx που πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν την τελική απόφαση. Αυτές συνοψίζονται και στον παρακάτω πίνακα:

<b>CAPEX</b>	<b>OPEX</b>
Μεγαλύτερη εκ των προτέρων δαπάνη σημαίνει λιγότερα μετρητά για καθημερινές δραστηριότητες ή νέες επενδύσεις.	Χωρίς μεγάλα αρχικά έξοδα, οι επιχειρήσεις έχουν περισσότερες ταμειακές ροές καθημερινά και μπορούν να επενδύσουν σε νέες υπηρεσίες ή προϊόντα, όπως απαιτείται.
Οι επιχειρήσεις είναι υποχρεωμένες σε μια μακροπρόθεσμη δέσμευση και δεν μπορούν να κάνουν αλλαγές εύκολα.	Τα χρονοδιαγράμματα πληρωμής είναι συντομότερα, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις να μπορούν να περιστρέφουν τις επενδύσεις τους εύκολα, όπως απαιτείται.
Επειδή το CapEx συνεπάγεται συνήθως σημαντικό κόστος, η εσωτερική διαδικασία έγκρισης για την αγορά μπορεί να	Το OpEx είναι γενικά μικρότερο κόστος, επομένως η διαδικασία έγκρισης για αγορά δεν διαρκεί τόσο πολύ.

διαρκέσει πολύ.	
Οι επιχειρήσεις έχουν πλήρη έλεγχο της υποδομής τους, αλλά οι εσωτερικοί πόροι πρέπει να αφιερωθούν στη λειτουργία, συντήρηση και επισκευή της υποδομής αυτής.	Εξωτερικοί εμπειρογνώμονες (πάροχοι cloud και / ή MSP) διαχειρίζονται και συντηρούν την υποδομή cloud. Οι εσωτερικοί πόροι μπορούν να επικεντρωθούν στην αύξηση της αξίας για την επιχείρηση.
Ενδέχεται να χρειαστούν επιπλέον μη αναμενόμενα κόστη για τη συντήρηση και επισκευή υποδομής.	Ο πάροχος cloud είναι υπεύθυνος για τυχόν έξοδα συντήρησης ή επισκευής.
Το CapEx θεωρείται ως επένδυση στη βελτίωση της επιχείρησης που θα αποφέρει αξία στο μέλλον. Αυτό είναι συνήθως έ.να καλό σημάδι για πιθανούς επενδυτές	Μπορεί να είναι δύσκολο για μια επιχείρηση να δείξει μελλοντική αξία σε έναν πιθανό επενδυτή, επειδή το μοντέλο είναι πληρώνουν ανάλογα την χρήση.
Με τον ταχέως μεταβαλλόμενο κόσμο της τεχνολογίας, οι τεχνολογικές επενδύσεις ενδέχεται να καταστούν άνευ αντικειμένου ή ξεπερασμένες πριν από το τέλος της διάρκειας ζωής.	Εάν πρέπει να γίνουν αλλαγές, η επιχείρηση μπορεί να προσαρμοστεί γρήγορα ακυρώνοντας, τροποποιώντας ή αναβαθμίζοντας το σχέδιό τους σε σύντομο χρονικό διάστημα.
Η απόδοση επένδυσης (ROI) δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί παρά μόνο πολύ καιρό μετά την πραγματοποίηση της αγοράς, επειδή η υποδομή πρέπει να ρυθμιστεί και οι εργαζόμενοι πρέπει να εκπαιδευτούν.	Η επιχείρηση μπορεί να επιτύχει άμεση απόδοση επένδυσης (ROI) σε πολλές περιπτώσεις, αφού την υποδομή διαχειρίζεται ο πάροχος cloud.
Οι επιχειρήσεις συχνά ξοδεύουν υπερβολικά για να διασφαλίσουν ότι έχουν αρκετούς πόρους για τις ανάγκες τους (ή μπορούν να υποτιμήσουν τα έξοδα επειδή υποτιμούσαν τις ανάγκες τους).	Η επιχείρηση μπορεί να κάνει πιο ακριβείς προβλέψεις για τον αριθμό των πόρων που χρειάζονται βραχυπρόθεσμα. Εάν πρέπει να προσαρμοστούν, μπορούν γρήγορα να κάνουν αλλαγές με τον ένα ή τον άλλο τρόπο.

Πίνακας 18

Η δυνατότητα μετάβασης στο OpEx για επενδύσεις σε υποδομές IT, οδηγεί πολλούς οργανισμούς να μεταφέρουν το φόρτο εργασίας από υλικό εσωτερικής εγκατάστασης (on premise) στο cloud based μοντέλο. Οι πάροχοι cloud προσφέρουν διάφορες επιλογές πληρωμής OpEx για την καλύτερη κάλυψη των αναγκών των πελατών τους, τόσο όσο αφορά την τιμολόγηση όσο και τις λειτουργίες. Αυτές οι επιλογές βασίζονται σε διαφορετικές μεταβλητές, όπως ο τύπος υπηρεσίας cloud, το επίπεδο υπηρεσίας και το χρονικό διάστημα για αυτήν την υπηρεσία.

## 6 Επίλογος

Αναλύσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια τις δυνατότητες και λειτουργικότητες των 5G δικτύων και παρουσιάσαμε αναλυτικά, με τη βοήθεια τεχνο-οικονομικής μελέτης, τις δυνατότητες του Cloud Computing. Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός αυτών των δύο τεχνολογιών (5G και Cloud Computing) μπορεί να αποφέρει σημαντικά κέρδη σε επιχειρήσεις και οργανισμούς.

Ενδεικτικά αναφέρουμε:

### **Οφέλη για τους χειριστές (operators)**

Οι χειριστές βελτιστοποιούν τα δίκτυα για 5G και θα είναι σε θέση να παρέχουν γρήγορα καινοτόμες νέες υπηρεσίες για να ανταποκρίνονται στις εξελισσόμενες προσδοκίες των πελατών και να μεγιστοποιούν τα έσοδα.

### **Οφέλη για επιχειρήσεις**

Οι επιχειρήσεις θα μπορούν να έχουν δυναμική πρόσβαση σε πόρους δικτύου 5G προσαρμοσμένες για εφαρμογές συγκεκριμένης βιομηχανίας, οδηγώντας σε νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες.

### **Οφέλη για τους καταναλωτές**

Η κοινωνία μας θα γίνει έξυπνη και πλήρως συνδεδεμένη - παρέχοντας καινοτομία που ουσιαστικά μεταμορφώνει τον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε και διασκεδάζουμε.

Το cloud computing ήρθε για να γίνει η «νέα πραγματικότητα». Σε συνδυασμό με τις υπερυψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων που προσφέρουν οι τεχνολογίες 5G και οι επόμενες. Το μέλλον είναι στο νέφος, με δικλίδες όμως ασφαλείας και σεβασμό στα προσωπικά δεδομένα.

Με αφορμή την κατάσταση που βιώνει η ανθρωπότητα εδώ και ένα περίπου χρόνο εξαιτίας της υγειονομικής κρίσης του Covid-19, έγινε φανερό η αξία της τεχνολογίας, των υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων, της ασφάλειας των δεδομένων και της απομακρυσμένης πρόσβασης (τηλεργασία, τηλεεκπαίδευση κλπ). Ο τομέας της Πληροφορικής και των Δικτύων απέδειξε και αποδεικνύει – πλέον καθημερινά – τον σημαντικό του ρόλο στην νέα εποχή και τη σπουδαία συμβολή του στις παραγωγικές και καθημερινές δραστηριότητες ανθρώπων και επιχειρήσεων.

# 7 Βιβλιογραφία

1. Ahokangas, P., Matinmikko, M., Yrjölä, S., Mustonen, M., Posti, H., Luttinen, E., & Kivimäki, A. (2014, April). Business models for mobile network operators in Licensed Shared Access (LSA). In 2014 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN) (pp. 263-270). IEEE.
2. AMTA. amta.org.au. Archived from the original on 17 April 2008.
3. Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C., & Zhang, J. C. (2014). What will 5G be?. IEEE Journal on selected areas in communications, 32(6), 1065-1082.
4. Answers - The Most Trusted Place for Answering Life's Questions. Answers.com.
5. Bogale, T. E., & Le, L. B. (2016). Massive MIMO and mm-Wave for 5G wireless HetNet: Potential benefits and challenges. IEEE Vehicular Technology Magazine, 11(1), 64-75.
6. Bouras C., Kokkalis S., Kollia A., Papazois A., “Techno – economic analysis of MIMO and DAS in 5G”, 11th IFIP Wireless and Mobile Conference, Prague, Czech Republic, September 3-5, 2018, pp. 73-80.
7. Bouras C., Kokkalis S., Kollia A., Papazois A., “Techno – economic comparison of MIMO and DAS cost models in 5G networks”, Wireless Networks, Springer Verlag, 2018 (to appear).
8. Bouras, C., Kokkinos, V., Kollia, A., & Papazois, A. (2015, August). Techno-economic analysis of ultra-dense and DAS deployments in mobile 5G. In 2015 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS) (pp. 241-245). IEEE.
9. Bouras, C., Kollia, A., & Papazois, A. (2016, April). Sensitivity analysis of small cells and DAS techno-economic models in mobile 5G. In 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (pp. 1-6). IEEE.
10. Bouras, C., Kollia, A., & Papazois, A. (2017). Dense deployments and DAS in 5G: A techno-economic comparison. Wireless Personal Communications, 94(3), 1777-1797.
11. Bouras, C., Kollia, A., & Papazois, A. (2017, March). SDN & NFV in 5G: Advancements and challenges. In 2017 20th Conference on Innovations in Clouds, Internet and Networks (ICIN) (pp. 107-111). IEEE.

12. Bouras, C., Ntarzanos, P., & Papazois, A. (2016, October). Cost modeling for SDN/NFV based mobile 5G networks. In 2016 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT) (pp. 56-61). IEEE.
13. CDMA Worldwide. Archived from the original on 30 January 2010. Retrieved 23 December 2009.
14. Deng, N., Zhou, W., & Haenggi, M. (2015). Heterogeneous cellular network models with dependence. *IEEE Journal on selected Areas in Communications*, 33(10), 2167-2181.
15. Elijah, O., Leow, C. Y., Rahman, T. A., Nunoo, S., & Iliya, S. Z. (2016). A comprehensive survey of pilot contamination in massive MIMO—5G system. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(2), 905-923.
16. Elmannai, W., & Elleithy, K. M. (2014). Cost analysis of 5th generation technology. International Society for Computers and Their Applications, Inc.
17. Farooq, M., Ahmed, M. I., & Al, U. M. (2013). Future generations of mobile communication networks. *Academy of Contemporary Research Journal*, 2(1), 24-30.
18. The 10 Most Important Companies In Cloud Computing, 2016. (<http://www.businessinsider.com/10-most-important-in-cloud-computing-2013-4?op=1/#wordabout-clouds-1>)
19. The 24 most popular cloud apps used at work, 2016. (<http://www.businessinsider.com/the-most-popular-cloud-apps-used-at-work-2015-8/#no-24-google-analytics-afreemium-service-that-tracks-and-reports-website-and-mobile-website-traffic1>)
20. Open Source Cloud Computing Apps, 2016. (<http://www.datamation.com/cloud-computing/75-open-source-cloud-computing-apps-1.html>).
21. Most Used Cloud Apps in Enterprises, 2016. (<https://www.rickscloud.com/most-used-cloud-apps-in-enterprises>).
22. Cloud computing security, 2016. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing\\_security](https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing_security))
23. Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks. (<http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/publications/p87-bouras.pdf>)
24. SDN and NFV in 5G: Advancements and Challenges (<https://ijcsmc.com/docs/papers/May2018/V7I5201816.pdf>)

25. Cloud Computing Pricing Models: A Survey  
([http://article.nadiapub.com/IJGDC/vol6\\_no5/9.pdf](http://article.nadiapub.com/IJGDC/vol6_no5/9.pdf))
26. Cloud Computing in Mobile Networks – Case MVNO  
(<http://www.cse.hut.fi/fi/opinnot/T-110.5121/2011/lisatty-files/Raivio%20Yrjo%20MVNO.pdf> )
27. Device-to-device-based heterogeneous radio access network architecture  
([https://www.researchgate.net/publication/279865707\\_Device-to-device-based\\_heterogeneous\\_radio\\_access\\_network\\_architecture\\_for\\_mobile\\_cloud\\_computing](https://www.researchgate.net/publication/279865707_Device-to-device-based_heterogeneous_radio_access_network_architecture_for_mobile_cloud_computing))
28. Antunes, C., & Vardasca, R. (2013). Building low cost cloud computing systems. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4, 48-52. Ανακτήθηκε από: [http://thesai.org/Downloads/Volume4No5/Paper\\_8](http://thesai.org/Downloads/Volume4No5/Paper_8)
29. OBuilding\_Low\_Cost\_Cloud\_Computing\_Systems.pdf Assunção, M., Costanzo, A., & Buyya, R. (2010). A cost-benefit analysis of using cloud computing to extend the capacity of clusters. *Cluster Computing*, 13, 335–347. doi: 10.1007/s10586-010-0131-x
30. Belanger, F., & Slyke, C. (2012). *Information systems for business: an experimental approach*. US: Willey.
31. Bogataj, K., & Pucihar, A. (2013). Business Model Factors Influencing Cloud Computing Adoption: Differences in Opinion. 26th Bled eConference eInnovations: Challenges and Impacts for Individuals, Organizations and Society. 443-455. Ανακτήθηκε από: [https://domino.fov.unimb.si/proceedings.nsf/Proceedings/D73B87F43B53744AC1257B6E003B342A/\\$File/05\\_bogataj.pdf](https://domino.fov.unimb.si/proceedings.nsf/Proceedings/D73B87F43B53744AC1257B6E003B342A/$File/05_bogataj.pdf)
32. Cerviño, J., Rodríguez, P., Trajkovska, I., Escribano, F., & Salvachúa, J. (2013). A cost-effective methodology applied to videoconference services over hybrid clouds. *Mobile Networks and Applications*, 18:1, 103–109. doi: 10.1007/s11036-012-0380-4
33. Chandra, D.G., & Borah, M.D. (2012). Cost benefit analysis of cloud computing in education. *Computing, Communication and Applications (ICCCA), 2012 International Conference on*. 1-6. doi: 10.1109/ICCCA.2012.6179142
34. Chun, S.-H. , & Choi, B.-S. (2013). Service models and pricing schemes for cloud computing. *Cluster Computing*. doi: 10.1007/s10586-013-0296-117
35. Deelman, E., Singh, G., Livny, M., Berriman, B., & Good, J. (2008). The cost of doing science on the cloud: the Montage example. *High Performance Computing, Networking,*



- Storage and Analysis, 2008. SC 2008. International Conference for. 1-12. doi: 10.1109/SC.2008.5217932
36. Durkee, D. (2010). Why Cloud Computing Will Never Be Free :The competition among cloud providers may drive prices downward, but at what cost? *Communications of the ACM*. 53:5, 62-69. doi: 10.1145/1735223.1735242
37. Greenberg, A., Hamilton, J., Maltz, D. A., & Patel, P. (2009). The cost of a cloud: research problems in data center networks. *Computer Communication Review*.
38. Huth, A., & Cebula, J. (2011). *The Basics of Cloud Computing*.
39. Jiao, L., Li, j., ; Xu, T., & Fu, X. (2012). Cost optimization for Online Social Networks on geo-distributed clouds. *Network Protocols (ICNP)*, 2012
40. Jin, Y., Wen, Y., Guan, K., Kilper, D., & Xie, X. (2013). Toward monetary cost effective content placement in cloud centric media network. *Multimedia and Expo (ICME)*, 2013 IEEE International Conference on. 1-6. doi:10.1109/ICME.2013.6607582
41. Kondo, D., Javandi, B., Malecot, P., Capello, F., & Anderson, D. P. (2009) .Costbenefit analysis of cloud computing versus desktop grids. *Parallel & Distributed Processing, 2009. IPDPS 2009. IEEE International Symposium on*. 1-12. doi: 10.1109/IPDPS.2009.5160911
42. Lee, Y.- C., & Hanh, T. N. (2012). A Study on Decision Making Factors of Cloud Computing Adoption Using BCOR Approach. *Journal of the Korea society of IT services*. 11:1, 155-171. doi: 10.9716/KITS.2012.11.1.15518
43. Li, X., Li, Y., Liu, T., Qiu, J., & Wang, F. (2009). The method and tool of cost analysis for cloud computing. *Cloud Computing, 2009. CLOUD '09. IEEE International Conference on*. 93-100. doi: 10.1109/CLOUD.2009.84
44. Liew, S.H., & Su, Y.Y. (2012). CloudGuide: Helping users estimate cloud deployment cost and performance for legacy web applications. *Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2012 IEEE 4th International Conference on*. 90 – 98. doi: 10.1109/CloudCom.2012.6427577
45. Martens, M., Walterbusch, M., & Teuteberg, F. (2012). Evaluating cloud computing services from a total cost of ownership perspective. *Management Research Review*. 36:6, 613-638. doi: 10.1108/01409171311325769

46. Sai Kiran M., Anusha A., Gowtham Kumar N., & Praveen Kumar Rao K. (2013). Selection of multi-cloud storage using cost based approach. *International Journal of Computer & Electronics Research*. 2:2, 160-168.
47. Suleiman, B., Sakr, S., Jeffery, R., & Liu, A. (2011). On understanding the economics and elasticity challenges of deploying business applications on public cloud infrastructure. *Journal of Internet Services and Applications*.
48. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-04-02-gartner-forecasts-worldwide-public-cloud-revenue-to-g>
49. [https://en.wikipedia.org/wiki/Equity\\_\(economics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Equity_(economics))
50. H. Wang, Q. Jing, R. Chen, B. He, Z. Qian, and L. Zhou. Distributed Systems Meet Economics: Pricing in the Cloud. Microsoft Research Asia, June 2010.
51. Y. Chien, and R. Sion. To Cloud or Not to Cloud? Musings On Costs and Viability. SOCC '11 Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Cloud Computing, Article No. 29 ,2011.
52. J. Hamilton. Cost of Power in Large-Scale Data Centers.  
<http://perspectives.mvdirona.com/2008/11/cost-of-power-in-large-scale-datacenters/>
53. 5G Enablers for Network and System Security and Resilience, 5G – Ensure D2.1 Use cases, 01/02/2016.
54. Techno - Economic Analysis Of MMWave Vs Mid - Band Spectrum In 5G Networks Bouras, C, Kollia, A. The 34th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA - 2020), Caserta, Italy
55. C. Bouras, Kollia, A., and Papazois, A., “Techno-economic analysis of cognitive radio models in 5G networks”, in 15th International Conference on Future Networks and Communications (FNC 2020), 2020
56. C. Bouras, Kollia, A., and Maligianni, E., “The techno-economic models for CR and SDN in 5G”, in 12th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2019) Paris, France, 2019.