

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



**UNIVERSITY OF
PATRAS**
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Θέμα: Τεχνοοικονομική Ανάλυση της D2D Επικοινωνίας σε
Δίκτυα 5G**

**Συγγραφέας: Ευάγγελος Μ. Παππάς,
ΑΜ: 6178**

**Υπεύθυνος καθηγητής: Καθ. Χρήστος Ι. Μπούρας
Πάτρα, 2021**

**Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών
Υπολογιστών και Πληροφορικής**

Ευάγγελος Μ. Παππάς

© 2020-2021 Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη διπλωματική μου εργασία στα πλαίσια του προπτυχιακού κύκλου σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής (ΤΜΗΥΠ) της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών. Ο τίτλος της εργασίας είναι “Τεχνοοικονομική Ανάλυση της D2D Επικοινωνίας σε Δίκτυα 5G”.

Πριν όμως την παρουσίαση της διπλωματικής αυτής, θα ήθελα με μεγάλη μου τιμή να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Χρήστο Ι. Μπούρα για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα τόσο επίκαιρο και ενδιαφέρον θέμα. Πέραν αυτών όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ίδιο, αλλά και όλους τους διδάσκοντες στο τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν σε ολόκληρη την πορεία μου στο τμήμα. Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής, τον κ. Κυριάκο Βλάχο και τον κ. Ιωάννη Γαροφαλάκη. Επίσης, θα ήθελα να αποδώσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Αναστασία Κόλλια, της οποίας η καθοδήγηση και οι συμβουλές κατά την εκπόνηση της διπλωματικής ήταν πολύτιμες και με βοήθησαν σημαντικά στην ολοκλήρωσή της. Η υποστήριξή της και η συνεχής της παρουσία για οποιαδήποτε απορία ή ερώτηση ήταν ουσιώδεις.

Τέλος, επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για τη συνεχή οικονομική αλλά πάνω απ’όλα ψυχολογική στήριξη, αλλά και τους φίλους μου για τα πολύ ωραία και αξέχαστα φοιτητικά χρόνια.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται μία τεχνο-οικονομική ανάλυση της D2D επικοινωνίας στα δίκτυα 5G, η οποία συγκρίνεται με μία αντίστοιχη για τα Distributed Antenna Systems (DAS). Αρχικά, παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής. Στην συνέχεια, αναλύονται οι βασικές εργασίες, μελέτες και επιστημονικές προσεγγίσεις, που αυτή βασίστηκε ή ο συγγραφέας στηρίχθηκε για να αναπτύξει το δικό του μοντέλο.

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά στοιχεία για τις πρώτες τέσσερις γενιές των Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας. Αναλύεται πώς αυτά λειτουργούν και ποιοι είναι οι θεμέλιοι λίθοι τους. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στο 5G, όπου παρατίθενται στοιχεία για τις απαιτήσεις και τα πρότυπά του ή τις υπηρεσίες και τις τεχνολογίες που μπορεί αυτό να προσφέρει, όπως και κάποια βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Επιπροσθέτως, παρατίθενται οι βασικοί λόγοι για τους οποίους θεωρείται σημαντικό να μελετήσει κανείς τεχνικά και οικονομικά τις δύο βασικές τεχνολογίες.

Ακόμα, παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών D2D και DAS. Αναλύεται η αρχιτεκτονική κάθε μίας τεχνολογίας, γίνεται μία ανασκόπηση στους βασικούς σταθμούς της ιστορίας τους, παρουσιάζονται τα θεμελιώδη πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών, ενώ τέλος, σκιαγραφείται το μοντέλο μελέτης για την οικονομική ανάλυση. Ακολούθως, αναλύεται το κόστος κάθε τεχνολογίας καταστρώνοντας τύπους αντίστοιχα με άλλες παρόμοιες προσπάθειες και μελέτες. Το συνολικό κόστος για το D2D αναλύεται σε κόστος κεφαλαίου και κόστος λειτουργίας, ενώ στην περίπτωση των DAS διαιρείται σε κόστος κεφαλαίου, λειτουργικό κόστος και κόστος υλοποίησης. Με εφαρμογή των μαθηματικών τύπων και με τιμές, που προέκυψαν μετά από έρευνα σε παρόμοιες μελέτες για την ελληνική αγορά, υπολογίζονται τα πιο πάνω κόστη για κάθε μία περίπτωση και συγκρίνονται τα κόστη κεφαλαίου, λειτουργίας και το συνολικό κόστος για τις δύο τεχνολογίες. Επίσης, πραγματοποιείται και σύγκριση με βάση το εύρος ζώνης, την διάρκεια του σχεδίου επένδυσης και άλλων παραγόντων.

Executive Summary

This thesis deals with a techno-economic analysis of D2D communication in 5G networks, which is compared to a corresponding one for Distributed Antenna Systems (DAS). First, the structure of the thesis is presented. Then, the basic works, studies and scientific approaches are analyzed, on which it was based or the author was supported to develop his own model.

Moreover, there is a presentation of the key points for the first four generations of Mobile Communication Networks. It analyzes how they work and what their cornerstones are. There is a special mention made about 5G, which provides information on its requirements and standards or the services and technologies that it can offer, as well as some key advantages and disadvantages. In addition, the main reasons why it is considered important to study technically and economically the two basic technologies are listed.

Also, the technical characteristics of D2D and DAS technologies are presented. The architecture of each technology is analyzed, a review of the main stations of their history is made, their fundamental advantages and disadvantages are presented, and finally, the study model for the economic analysis is outlined.

Next, the cost of each technology is analyzed by formulating formulas according to other similar efforts and studies. The total cost for D2D is broken down into capital costs and operating costs, while in the case of DAS it is divided into capital costs, operating costs and implementation costs. By applying the mathematical formulas and prices, which emerged after research in similar studies for the Greek market, the above costs are calculated for each case and the costs of capital, operation and the total cost for the two technologies are compared. Also, a comparison is made based on the bandwidth, the duration of the investment plan and other factors.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Executive Summary.....	5
Κατάλογος Σχημάτων.....	8
Λίστα Πινάκων.....	9
Ακρωνύμια.....	10
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
2. ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ 5G.....	14
2.1. 1G-3G ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	15
2.2. 4G/LTE.....	16
2.3. 5G.....	19
2.4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ 5G.....	20
2.5. ΠΡΟΤΥΠΑ 5G.....	21
2.6. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 5G.....	26
2.7. ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΤΩΡΑ.....	30
2.8. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ 5G.....	31
3. D2D.....	33
3.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	33
3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	37
3.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	38
3.4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	40
4. Distributed Antenna Systems (DAS).....	43
4.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	45
4.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	47
4.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ/ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	50
4.4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	51
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	53
5.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ D2D.....	54
5.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ DAS.....	56
6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	62
6.1 ΚΕΦΑΛΑΪΑΚΗ ΔΑΠΑΝΗ.....	66
6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ.....	67
6.3 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ.....	68
6.4 ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ.....	69

6.5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ f_{site}	72
6.6	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΡC.....	74
6.7	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΧΕΔΙΟ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	76
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78
8.	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	81
	Βιβλιογραφία	83
	Παράρτημα Α: Κώδικας Υπολογισμού Του Κόστους Για Τα Οικονομικά Μοντέλα των D2D & DAS.	87

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Σχήμα σύγκρισης γενιών κινητών επικοινωνιών.

Σχήμα 2.2: Σχήμα αρχιτεκτονικής 4G δικτύου.

Σχήμα 2.3 Σχήμα υπηρεσιών 5G.

Σχήμα 3.1: Σχήμα παραδοσιακής έναντι D2D επικοινωνίας.

Σχήμα 3.2: Σχήμα 5G δικτύου με D2D.

Σχήμα 3.3: Σχήμα κατηγοριοποίησης D2D επικοινωνιών.

Σχήμα 3.4: Σχήμα προτεινόμενου μοντέλου.

Σχήμα 4.1: Σχήμα βασικής δομής DAS δικτύου.

Σχήμα 4.2: Σχήμα βασικού DAS κόμβου.

Σχήμα 6.1: Δαπάνες κεφαλαίου για τις τεχνολογίες D2D και DAS.

Σχήμα 6.2: Λειτουργικές δαπάνες για τις τεχνολογίες D2D και DAS.

Σχήμα 6.3: Συνολικές δαπάνες για τις τεχνολογίες D2D και DAS.

Σχήμα 6.4.1: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το BW.

Σχήμα 6.4.2: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το εύρος ζώνης.

Σχήμα 6.4.3: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το fBW.

Σχήμα 6.4.4: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το fBW.

Σχήμα 6.5.1: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το f_{site} .

Σχήμα 6.5.2: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το f_{site} .

Σχήμα 6.6.1: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το EPC.

Σχήμα 6.6.2: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το EPC.

Σχήμα 6.7.1: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το σχέδιο επένδυσης.

Σχήμα 6.7.2: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το σχέδιο επένδυσης.

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2.1: Πίνακας για την σύγκριση των κινητών γενιών επικοινωνίας.

Πίνακας 2.2: Πίνακας για το 5th percentile user spectral efficiency.

Πίνακας 2.3: Πίνακας μέσης φασματικής αποδοτικότητας.

Πίνακας 2.4: Πίνακας περιβαλλόντων ελέγχου για eMBB.

Πίνακας 2.5: Πίνακας μέγιστων ταχυτήτων για την επίτευξη συγκεκριμένου data rate σε κάθε περιβάλλον.

Πίνακας 6.1: Βασικά κόστη, παράμετροι και μεταβλητές, που προκύπτουν από τη λειτουργία, από το κεφάλαιο και από την υλοποίηση του D2D.

Πίνακας 6.2: Βασικά κόστη, παράμετροι και μεταβλητές, που προκύπτουν από τη λειτουργία, από το κεφάλαιο και από την υλοποίηση του DAS.

Ακρωνύμια

- 1G:** Πρώτη γενιά (First generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- 2.5G:** 2,5 (Second and a half generation) γενιά τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας (GPRS)
- 2G:** Δεύτερη γενιά (Second generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- 3G:** Τρίτη γενιά (Third generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- 3GPP:** 3rd Generation Partnership Project
- 4G:** Τέταρτη γενιά (Fourth generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- 4G+:** LTE Advanced
- 4K:** 4K resolution
- 5G:** Πέμπτη γενιά (Fifth generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- AMTS:** Advanced Mobile Telephone System
- AR:** Augmented Reality
- B2B:** Business to Business
- BS:** Base Station
- CAPEX:** Capital Expenditure
- CDF:** Cumulative distribution function
- CR:** Cognitive Radio
- CUE:** Cellular User Equipment
- D2B:** Device to Business
- D2D:** Device to Device
- DAS:** Distributed Antenna Systems
- DoF:** Degrees of Freedom
- DUE:** D2D User Equipment
- Embb:** Enhanced Mobile Broadband
- eNB:** Node B
- FDMA:** Frequency Division Multiple Access
- FFT:** Fast Fourier Transformation
- GSM:** Groupe Special Mobile
- i-DAS:** Indoor DAS

IMPEX: Implementation Expenditure

IMT: International Mobile Telecommunications

IoT: Internet of Things

IP: Internet Protocol

ITU: International Telecommunication Union

KT: Korean Telecom

LoS: Line of Sight

LTE: Long Term Evolution

M2M: Machine to Machine

MAC: Medium Access Control

MIMO: Multiple Input Multiple Output

OC-D2D: Operator Controlled-D2D

o-DAS: Outdoor DAS

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

OPEX: Operational Expenditure

P2P: Peer To Peer

PCs: Personal Computers

PDU: Protocol Data Unit

PHY: Physical layer

PSTN: Public Switched Telephone Network

RF: Radio Frequency

SD: Standard Dimension

SINR: Signal to Interference plus Noise Ratio

SMS: Short Message Service

TCO: Total Cost of Ownership

UHD: Ultra High Definition

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

URLLC: Ultra Reliable Low Latency Communications

VoD: Video on Demand

VOIP: Voice Over IP

VR: Virtual Reality

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με το μοντέλο πρόβλεψης της CISCO[12], γίνεται εύκολα αντιληπτό πως τα κινητά δίκτυα αναμένεται να έχουν ολοένα και μεγαλύτερο αντίκτυπο, όχι μόνο αριθμητικά σαν ποσοστό της κίνησης στο διαδίκτυο, αλλά και πραγματικά στην ανθρώπινη ζωή, καθιστώντας διαθέσιμες νέες εφαρμογές, εγείροντας όμως και κάποια ζητήματα.

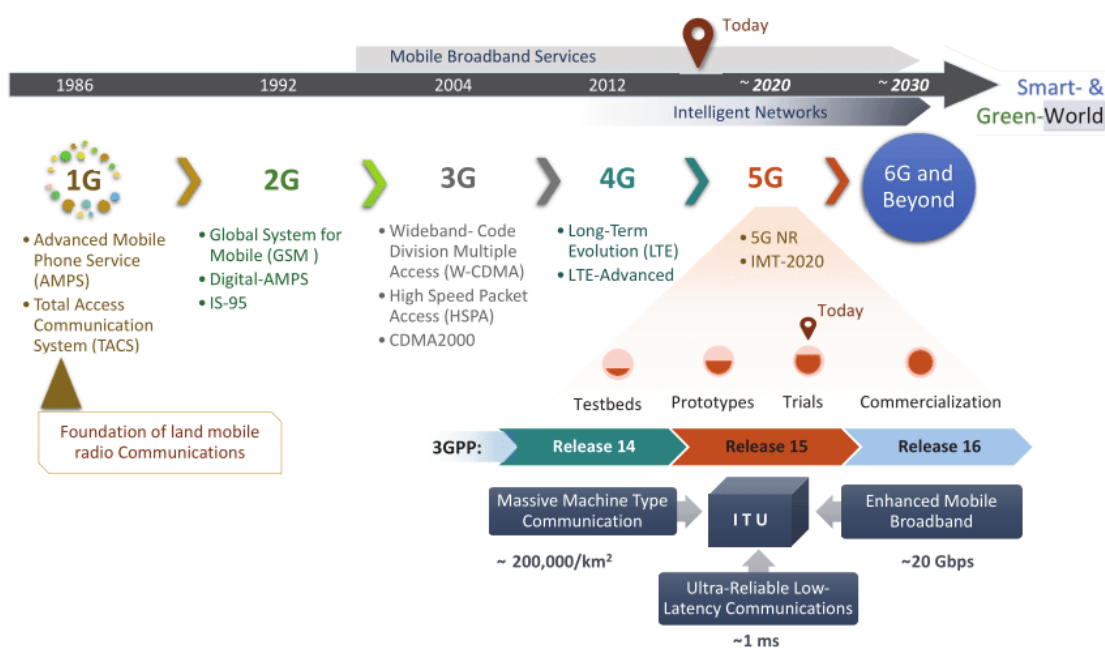
Εκτιμάται αύξηση τόσο σε παγκόσμια IP(Internet Protocol) κίνηση, όσο και σε αριθμό συνδεδεμένων συσκευών και χρηστών με τα smartphones να ξεπερνούν τα PCs(Personal Computers). Πιο συγκεκριμένα, οι προβλέψεις έχουν να κάνουν με τριπλάσια IP κίνηση το 2022 σε σχέση με το 2017, που καθοδηγείται από το ολοένα και μεγαλύτερο ποσοστό, που καταλαμβάνει η mobile κίνηση σαν ποσοστό της παγκόσμιας IP κίνησης. Όσον αφορά την IP κίνηση σαν νούμερο, από 46,600 GB ανά δευτερόλεπτο, που ήταν το 2017 αναμένεται να φτάσει στα 150,700 GB ανά δευτερόλεπτο το 2022. Πρέπει να σημειωθεί, πως η κίνηση από ασύρματες συσκευές μέχρι το 2022 θα αποτελεί το 71% της συνολικής IP κίνησης, μεγαλώνοντας τις τιμές, που είχε το 2017 κατά 7 φορές.

Για τις mobile ταχύτητες γίνεται πρόβλεψη ότι αναμένεται να φτάσουν τα 28.5 Mbps μέχρι το 2022. Σημαντική απήχηση καταλαμβάνουν οι 4G συνδέσεις συμπεριλαμβανομένων των WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access) και LTE(Long Term Evolution), παράγοντας ένα διόλου αμελητέο ποσό mobile κίνησης. Επιπροσθέτως, μέχρι το 2022, το 22% της συνολικής κίνησης στο διαδίκτυο θα προέρχεται από τα κυψελωτά δίκτυα, αύξηση 10% από το 2017. Όσον αφορά το 5G, εκτιμάται ότι περίπου το 3% των συσκευών θα διαθέτει 5G δυνατότητες και το 12% της mobile κίνησης θα αποτελεί 5G κίνηση. Πολλοί ειδικοί πάνω στη κινητή βιομηχανία υποστηρίζουν ότι μεγάλης κλίμακας 5G αναπτύξεις θα ξεκινούν το 2020 όταν θέματα σχετικά με τα πρότυπα, το φάσμα, ή επιχειρησιακά σχέδια έχουν δρομολογηθεί.

Για το κομμάτι των εφαρμογών φαίνεται η κυριαρχία του video σε όλες τις μορφές του: Internet video, Video on Demand, video, που ανταλλάσσονται μέσω file sharing, video-streamed gaming κ.α., καθώς το 81% της συνολικής IP κίνησης θα οφείλεται σε αυτό μέχρι το 2022. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται σε παράγοντες όπως η εισαγωγή Ultra-High- Definition (UHD), ή το 4K video streaming. Το bitrate για τα 4K video που παίρνει τιμές από 15-18 Mbps είναι 9 φορές μεγαλύτερο από ένα video κανονικής ανάλυσης (SD). Κάποια ακόμη στοιχεία που το επιβεβαιώνουν αυτό είναι ότι: η κίνηση από κάμερες ασφαλείας το 2022 θα είναι 7πλάσια από το 2017, η κίνηση από Internet video το TV θα είναι τριπλάσια, η κίνηση Video-on-Demand (VoD) αναμένεται να διπλασιαστεί.

2. ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ 5G

Ο όρος 5G αναφέρεται στην πέμπτη γενιά των «κυψελωτών» ασύρματων επικοινωνιών. Γενικότερα, σαν όρος χρησιμοποιείται για το μέλλον των τηλεπικοινωνιών και αναμένεται να αλλάξει ριζικά τον τρόπο ζωής προσφέροντας νέες υπηρεσίες και αγαθά σχεδόν σε όλους τους τομείς της καθημερινότητας. Τα 5G δίκτυα, είναι αυτά που θα επιτρέψουν έναν πλήρως συνδεδεμένο κόσμο μεταξύ των πάντων (άνθρωποι και μηχανές) οπουδήποτε και οποτεδήποτε, εμπλουτίζοντας το περιβάλλον με νοημοσύνη που επικοινωνεί με τους ανθρώπους αλλάζοντας τον τρόπο αλληλεπίδρασης με αυτό. Αναμένεται να αποκτηθούν δισεκατομμύρια δολάρια μέσα από τα νέα αγαθά και τις υπηρεσίες στους επιπλέον 4 δισεκατομμύρια χρήστες σε σχέση με προηγούμενες γενιές τηλεπικοινωνιών. Επίσης θα είναι πιο εύκολα προσβάσιμο, πιο γρήγορο και πιο αξιόπιστο σε σχέση με τους προκατόχους του.[1],[2],[3]



Σχήμα 2.1: Σχήμα σύγκρισης γενιών κινητών επικοινωνιών.[50]

2.1. 1G-3G ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί ραγδαία πρόοδος στις κινητές ασύρματες επικοινωνίες συγκεντρώνοντας ολοένα και αυξανόμενο αριθμό χρηστών. Η αρχή έγινε την δεκαετία του '80 με την πρώτη γενιά 1G, ακολουθούμενη από τις 2G, 3G, 4G και την 5G γενιά που βρίσκεται ακόμη υπό έρευνα. Κάθε νέα γενιά με τα δικά της πρότυπα φέρνει αλλαγές στις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες, τις ταχύτητες, τις μπάντες συχνοτήτων, την χωρητικότητα των δικτύων κ.α.

Η πρώτη γενιά κινητών δικτύων επικοινωνιών, γνωστή και ως 1G συστήθηκε το 1981, βασισμένη στο αναλογικό σύστημα ήταν η πρώτη για μαζικές ασύρματες επικοινωνίες, επιτρέποντας απλές κλήσεις μεταξύ κινητών τηλεφώνων. Οι κλήσεις μεταδίδονταν στα 150 MHz μεταξύ δύο πύργων ασύρματων συχνοτήτων και οι ταχύτητες για τα δεδομένα ήταν περίπου 0.01 MB/s. Κάποια από τα χαρακτηριστικά της πρώτης γενιάς ήταν: χρήση αναλογικού σήματος, μεγάλος μέγεθος συσκευής, περιορισμένη χωρητικότητα, χαμηλή ποιότητα φωνής, χαμηλή διάρκεια μπαταρίας. Εισήχθησαν οι πρώτες κυψελωτές τεχνολογίες όπως MTS, AMTS(Advanced Mobile Telephone System), PTT και FDMA(Frequency Division Multiple Access). [20]

Το 2G παρουσιάστηκε το 1991 χρησιμοποιώντας ψηφιακά σήματα για την μετάδοση της φωνής. Προσέφερε ψηφιακές υπηρεσίες όπως ψηφιακή κρυπτογράφηση. Ακόμη παρείχε καλύτερη ασφάλεια από τον προκάτοχό του λόγω της προαναφερθείσας ψηφιακής κρυπτογράφησης, λιγότερη κατανάλωση μπαταρίας, βελτίωση στη ποιότητα της φωνής και ασφάλεια στη μεταφορά τόσο των δεδομένων όσο και της φωνής. Παρείχε ταχύτητες 3.1 MBps και προσέφερε επιπλέον υπηρεσία μηνυμάτων (μόνο κειμένου) SMS. Τα κινητά δίκτυα 2G χρησιμοποιούσαν εύρος ζώνης 30 με 200 KHz. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα 2.5G συστήματα, δηλαδή τα ενδιάμεσα της 2G και 3G γενιάς προσέδιδαν ρυθμούς της τάξης των 144 kbps, βελτίωση από τα 64kbps της 2G γενιάς, αλλά και την δυνατότητα για web browsing και ανταλλαγή emails. [2],[3],[20]

Το 3G εμφανίστηκε το 2001 στοχεύοντας στην προσφορά υψηλών ταχυτήτων δεδομένων και βοήθησε στην ξαφνική επανάσταση των smartphones. Χρησιμοποιήθηκε η packet switching τεχνολογία, όπου τα δεδομένα οργανώνονται και μεταδίδονται σε πακέτα. Έτσι παρήχθησαν ακόμη υψηλότερες ταχύτητες, περίπου 14.4 MBps, δίνοντας την ευκαιρία στις κινητές συσκευές για σύνδεση στο Internet, ενώ οι κλήσεις πραγματοποιούνταν μέσω Circuit Switching, όπου μία αποκλειστική διαδρομή ανατίθεται ανάμεσα στη πηγή και τον προορισμό και το μήνυμα μεταφέρεται μέσω αυτής. Ο κύριος στόχος του 3G ήταν να επιτρέψει μέγιστη κάλυψη με ελάχιστη επένδυση. [2],[3],[20]

2.2. 4G/LTE

Ο ΙΤU(International Telecommunication Union) έθεσε ένα σύνολο από απαιτήσεις για τα 4G πρότυπα, γνωστές ως IMT-Advanced(International Mobile Telecommunications-Advanced), που συμπεριλάμβαναν ταχύτητες 100 Mbit/s για υψηλή κινητικότητα και 1 Gbit/s για χαμηλή κινητικότητα. Οι πρώτες εκδόσεις του WiMax και του LTE υποστήριζαν πολύ μικρότερες ταχύτητες από αυτές ,αλλά η προώθηση τους από τις εταιρίες γινόταν ως 4G υπηρεσίες. Ένα 4G σύστημα δεν υποστηρίζει παραδοσιακές τηλεφωνικές υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος, αλλά πλήρως IP επικοινωνίες, όπως η IP τηλεφωνία. Ενώ το IP δίκτυο κορμού (IP Core Network) έχει αυστηρότερους περιορισμούς και βελτιώνεται για την υποστήριξη μεγαλύτερων ρυθμών δεδομένων.[22]

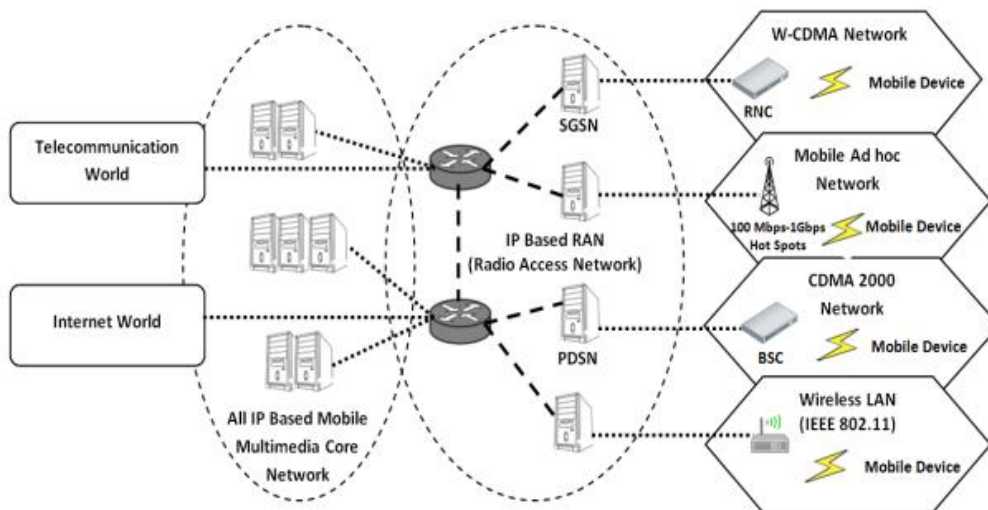
Το τρέχον πρότυπο(4G/LTE) κυκλοφόρησε το 2008 για να ξεπεραστούν τα ελαττώματα της προηγούμενης γενιά και να αυξηθεί την χωρητικότητα και την ταχύτητα των υφιστάμενων δικτύων, δίνοντας ταχύτητες download από 100 Mbps έως 1Gbps. Στο τέλος του 2009, έγινε για πρώτη φορά χρήση του 4G από τον πάροχο Teliasonera στην Στοκχόλμη και το Όσλο. Ενώ ένα χρόνο αργότερα το ίδιο έγινε και στην Φινλανδία. Η 4G τεχνολογία βασίζεται κυρίως στην LTE τεχνολογία, που αποτελεί ένα διεθνές πρότυπο και μία βασισμένη στο IP τεχνολογία για μετάδοση δεδομένων στις ασύρματες επικοινωνίες.[20],[21]

Τα χαρακτηριστικά του 4G είναι σχεδόν ίδια με του 3G επιτρέποντας υπηρεσίες όπως Multi-Media εφημερίδες ή streaming πολυμέσων υψηλής ποιότητας πολύ γρηγορότερα από τις προηγούμενες γενιές. Παρείχε τέλος υψηλότερη χωρητικότητα, καλύτερο QoS, αλλά και μεγαλύτερη ασφάλεια και ιδιωτικότητα. Ενώ χρησιμοποιήθηκε OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), μία τεχνική όπου το σήμα χωρίζεται σε πολλαπλά μικρότερα υπο-σήματα, τα οποία έπειτα μεταδίδονται ταυτόχρονα σε διαφορετικές (ορθογώνιες) συχνότητες και βοηθάει στην μείωση των παρεμβολών. Κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά είναι:

- υψηλή ασφάλεια,
- συνδυασμός Wi-Fi και Wi-Max,
- χαμηλό κόστος/bit,
- streaming videouψηλής ποιότητας,
- δυσκολία υλοποίησης,
- πολύπλοκο hardware.[20],[21]

Το LTE πρότυπο βασίζεται κυρίως στα υπάρχοντα δίκτυα GSM(Groupe Special Mobile) και UMTS(Universal Mobile Telecommunications System) και στις τεχνολογίες MIMO(Multiple Input Multiple Output) και OFDMA. Στην MIMO τεχνολογία στα κυκλώματα, που βρίσκονται στα άκρα αποστολής και λήψης των σημάτων χρησιμοποιούνται πολλαπλές κεραιές σαν μία, που συνδυάζονται για την ελαχιστοποίηση των λαθών και την βελτιστοποίηση της ταχύτητας. Αφού η OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) τεχνολογία υποστηρίζει την χρήση πολλαπλών κεραιών, μπορεί να γίνει η μίξη των MIMO και OFDM τεχνολογιών για την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων. Η MIMO-OFDM τεχνολογία βασίζεται στον αλγόριθμο FFT(Fast Fourier Transformation) και στο MIMO σύστημα κωδικοποίησης.[20],[21]

Όλη η κίνηση φωνής διαχειρίζεται από τον σταθμό βάσης (BS). Η προς τα πίσω συμβατότητα διατηρείται κατανέμοντας τα δεδομένα φωνής σε πακέτα και κατευθύνοντάς τα μέσω του IP δικτύου ραχοκοκαλιάς χρησιμοποιώντας τεχνολογία Voice Over IP(VOIP). Μία VOIP πύλη χρησιμοποιείται για την σύνδεση στο PSTN(Public Switched Telephone Network) δίκτυο.[22]



Σχήμα 2.2: Σχήμα αρχιτεκτονικής 4G δικτύου. [20]

Πίνακας 2.1: Σύγκριση γενιών κινητών επικοινωνιών. [22]

Technology	1G	2G	3G	4G	5G
Start/Deployment	1970-80	1990-2004	2004-10	Now	Soon (probably by 2020)
Data Bandwidth	2Kbps	64 Kbps	2 Mbps	1 Gbps	Higher than 1 Gbps
Technology	Analog	Digital	CDMA 2000, UMTS,EDGE	Wi-Max, Wi-Fi, LTE	WWW
Core Network	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet
Multiplexing	FDMA	TDMA/CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Switching	Circuit	Circuit,Packet	Packet	All Packet	All Packet
Primary Service	Analog Phone Calls	Digital Phone Calls and Messaging	Phone calls, Messaging, Data	All-IP Service (including Voice Messages)	High speed, High capacity and provide large broadcasting of data in Gbps
Key differentiator	Mobility	Secure, Mass adoption	Better Internet experience	Faster Broadband Internet, Lower Latency	Better coverage and no dropped calls, much lower latency, Better performance
Weakness	Poor spectral efficiency, major security issue	Limited data rates, difficult to support demand for internet and e-mail	Real performance fail to match type, failure of WAP for internet access	Battery use is more, Required complicated and expensive hardware	?

2.3. 5G

Στις τηλεπικοινωνίες, το 5G είναι το πρότυπο τεχνολογίας πέμπτης γενιάς για ευρυζωνικά κινητά δίκτυα, τα οποία οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας άρχισαν να αναπτύσσουν παγκοσμίως το 2019 και είναι ο προγραμματισμένος διάδοχος των δικτύων 4G που παρέχουν συνδεσιμότητα στα περισσότερα τρέχοντα κινητά τηλέφωνα. Τα δίκτυα 5G προβλέπεται να έχουν περισσότερους από 1,7 δισεκατομμύρια συνδρομητές παγκοσμίως μέχρι το 2025, σύμφωνα με την GSM. Όπως και οι προκάτοχοί του, τα δίκτυα 5G είναι κυψελοειδή δίκτυα, στα οποία η περιοχή εξυπηρέτησης χωρίζεται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται κελιά. Όλες οι ασύρματες συσκευές 5G σε ένα κελί συνδέονται στο Διαδίκτυο και το τηλεφωνικό δίκτυο μέσω ραδιοκυμάτων μέσω μιας τοπικής κεραίας στο κελί. Το κύριο πλεονέκτημα των νέων δικτύων είναι ότι θα έχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης, δίνοντας υψηλότερες ταχύτητες λήψης, φτάνοντας έως και 10 gigabits ανά δευτερόλεπτο.[51]

Η αυξημένη ταχύτητα επιτυγχάνεται εν μέρει χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα υψηλότερης συχνότητας από τα προηγούμενα κυψελοειδή δίκτυα. Ωστόσο, τα ραδιοκύματα υψηλότερης συχνότητας μπορούν να καλύπτουν μικρότερες φυσικές αποστάσεις, απαιτώντας μικρότερα γεωγραφικά κελιά. Για ευρεία υπηρεσία, τα δίκτυα 5G λειτουργούν σε έως και τρεις ζώνες συχνοτήτων - χαμηλή, μεσαία και υψηλή. Ένα δίκτυο 5G θα αποτελείται από δίκτυα έως και τριών διαφορετικών τύπων κυψελών, καθένα από τα οποία απαιτεί συγκεκριμένα σχέδια κεραίας, το καθένα παρέχει διαφορετική αντιστάθμιση της ταχύτητας λήψης έναντι της απόστασης και της περιοχής εξυπηρέτησης. Τα κινητά τηλέφωνα και οι ασύρματες συσκευές 5G συνδέονται στο δίκτυο μέσω της κεραίας υψηλότερης ταχύτητας εντός εμβέλειας στην τοποθεσία τους.[51]

Το 5G προφανώς, παρέχει τα ίδια στοιχειώδη χαρακτηριστικά με τις προηγούμενες γενιές όπως SMS, κυψελωτές αναλογικές κλήσεις και συνδεσιμότητα στο Internet. Παρουσιάζει όμως 4 σπουδαίες αλλαγές. Το εύρος ζώνης το οποίο αναμένεται να φτάσει το 1 Gbps και να είναι κομβικό για μελλοντικές υπηρεσίες, όπως τα self-driving οχήματα. Την καθυστέρηση, η οποία αναμένεται να είναι μικρότερη του 1 ms και να αποτελέσει το κλειδί για τις περισσότερες μελλοντικές υπηρεσίες. Την ενεργειακή αποδοτικότητα, η οποία σημαίνει δύο πράγματα: μικρότερη κατανάλωση ενέργειας στις συσκευές και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στις μπαταρίες. Και τέλος, η μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου σημαίνει δυνατότητα για τη φιλοξενία περισσότερων συσκευών στο δίκτυο, οδηγώντας στην πραγματοποίηση του InternetOfThings (IoT).[3]

2.4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ 5G

Υπάρχουν δύο πόροι κλειδιά, που απαιτούνται για να γίνει το 5G πραγματικότητα, το φάσμα συχνοτήτων (spectrum) και η οπτική ίνα. Το φάσμα συχνοτήτων είναι η συλλογή των συχνοτήτων που μπορούν τα ασύρματα σήματα μεταξύ σταθμού βάσης και συσκευής να μεταφέρονται. Το spectrum θεωρείται γενικά σπάνιος πόρος και για αυτό κοστολογείται ακριβά. Το αδειοδοτούμενο φάσμα, δηλαδή οι συχνότητες μετάδοσης που δίδονται στους παρόχους για ανεξάρτητη χρήση παρέχεται μέσω δημοπρασιών από τις κυβερνήσεις. Και αυτό γίνεται ώστε κάθε εταιρεία να χρησιμοποιεί αυτό που θέλει ανάλογα με τις προθέσεις της και όχι να υπάρχει παρεμβολή μεταξύ όλων. [3]

Το δεύτερο που χρειάζονται οι πάροχοι για τη διάθεση του 5G είναι η οπτική ίνα. Μέσα από αυτές γίνεται μετάδοση παλμών φωτός και παρέχονται ταχύτητες σύνδεσης στο Internet σχεδόν ίσες με αυτές του 5G. Γενικά για να επιτευχθούν οι υψηλές ταχύτητες του 5G απαιτείται τα σήματα να μεταδίδονται σε πολύ υψηλές συχνότητες. Όμως, όσο πιο υψηλή είναι η συχνότητα τόσο πιο μικρό το μήκος κύματος. Έτσι τα 5G σήματα μπορούν να ταξιδέψουν περίπου 100 μέτρα χωρίς εμπόδια στο δρόμο τους και πολύ λιγότερα όταν πρόκειται για ενδιάμεσα εμπόδια. Άρα, κάθε χώρα χρειάζεται εκατομμύρια σταθμούς. Και οι σταθμοί αυτοί να βρίσκονται ακόμα και μέσα στα σπίτια για να αποφευχθούν οι διακοπές σύνδεσιμότητας. Τέλος, θα πρέπει οι σταθμοί αυτοί να συνδέονται μεταξύ τους με οπτικές ίνες για την εξασφάλιση γρήγορης σύνδεσης. Έτσι, οι υπόγειες αυτές οπτικές ίνες θα μεταφέρουν την πληροφορία στους 5G σταθμούς και αυτοί θα ξεκινούν την μετάδοση για τη συσκευή του χρήστη. Άρα, για να γίνει το 5G διαθέσιμο, χρειάζεται πρώτα μια υποδομή οπτικών ινών κατά μήκος της χώρας και όχι μόνο σε μεγάλες πόλεις, όπως συμβαίνει τώρα. Επίσης, χρειάζονται και επιπλέον σταθμοί, που μπορούν να προστεθούν στην υπάρχουσα υποδομή, όπως σε κολόνες της ΔΕΗ, καθώς για μικρότερο μήκος κύματος απαιτείται και μικρότερο μέγεθος κεραίας. Και επίσης γίνεται αντιληπτό ότι το 5G θα γίνει διαθέσιμο πρώτα στα αστικά κέντρα, μετά στις ημιαστικές περιοχές και μετά στις υπόλοιπες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η 3GPP, η οποία συντάσσει και τα πρότυπα των τηλεπικοινωνιών λέει ότι το 5G θα παραμείνει ακόμη ένας όρος marketing, τον οποίο οι εταιρείες θα χρησιμοποιούν για τους σκοπούς τους. [3]

2.5. ΠΡΟΤΥΠΑ 5G

Όσον αφορά τα πρότυπα αυτά θα πρέπει να συμβαδίζουν με τις ελάχιστες απαιτήσεις των IMT-2020 συστημάτων. Τα IMT-2020 συστήματα είναι συστήματα κινητής επικοινωνίας, που περιλαμβάνουν νέες ασύρματες διασυνδέσεις και δυνατότητες πέρα από εκείνες των προηγούμενων IMT-2000 και IMT-Advanced συστημάτων. Η αναφορά στο [4] περιέχει τις μετρικές και τις ελάχιστες απαιτήσεις απόδοσης για τις υποψήφιες IMT-2020 τεχνολογίες ασύρματης διασύνδεσης. Τα IMT-2020 συστήματα μπορούν να μελετηθούν από πολλές οπτικές όπως εκείνες των χρηστών, κατασκευαστών ή των πάροχων περιεχομένου. Ενώ ακόμη, οι τεχνολογίες, που θα συμβαδίζουν με τις IMT-2020 απαιτήσεις μπορούν να εφαρμοστούν σε μία ευρεία γκάμα υπηρεσιών και σεναρίων. Παρακάτω παρατίθενται οι μετρικές μαζί με τις ελάχιστες απαιτήσεις.

- **PEAK DATA RATE(Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων):**Είναι το μέγιστο επιτεύξιμο datarate κάτω από βέλτιστες συνθήκες (μετριέται σε bit/s), δηλαδή τα λαμβανόμενα bits δεδομένων υποθέτοντας μετάδοση χωρίς σφάλματα εκχωρητέα σε έναν συγκεκριμένο κινητό σταθμό, όταν όλοι οι ασύρματοι πόροι που έχουν ανατεθεί για την συγκεκριμένη σύνδεση αξιοποιούνται. Το peak data rate ορίζεται για έναν σταθμό και ο τύπος για μονή μπάντα συχνοτήτων είναι $R_p = W \times SE_p$, όπου W το εύρος ζώνης του καναλιού και SE_p το μέγιστο της φασματικής αποδοτικότητας (peak spectral efficiency). Αυτά τα δύο μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές σε διαφορετικά εύρη από συχνότητες. Οι ελάχιστες απαιτήσεις είναι: 20Gb/s peak data rate για downlink και 10Gb/s data rate για uplink μεταδόσεις.
- **PEAK SPECTRAL EFFICIENCY(Μέγιστη Φασματική αποδοτικότητα):** Είναι ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων κάτω από βέλτιστες συνθήκες, κανονικοποιημένος από το εύρος του καναλιού (μετριέται σε bits/s/Hz), όπου μέγιστος ρυθμός δεδομένων είναι τα μεταδιδόμενα bits χωρίς λάθη εκχωρητέα σε έναν κινητό σταθμό, όταν όλοι οι ασύρματοι πόροι που έχουν ανατεθεί στην σύνδεση χρησιμοποιούνται. Οι ελάχιστες απαιτήσεις είναι: μέγιστη φασματική αποδοτικότητα των 300 bits/s/Hz για downlink μέγιστη φασματική αποδοτικότητα για uplinkτων 15bits/s/Hz.
- **USER EXPERIENCED DATA RATE (Ρυθμός Δεδομένων του Χρήστη):** Είναι το 5% της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής της ρυθμαπόδοσης (throughput) του χρήστη. Το throughput του χρήστη είναι ο αριθμός των σωστά λαμβανόμενων bits σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για μία μπάντα συχνοτήτων $R_{user} = W \times SE_{user}$, όπου W το εύρος ζώνης του καναλιού και SE_{user} το 5% της φασματικής αποδοτικότητας του

χρήστη. Για περισσότερες μπάντες αυτό αθροίζεται. Τιμές στόχοι: downlink user experienced data rate των 100 Mbit/s και uplink experienced data rate των 50 Mbit/s.

- **5% της φασματικής αποδοτικότητας του χρήστη**

Είναι το 5 % σημείο της CDF(Cumulative distribution function) του κανονικοποιημένου throughput του χρήστη. Το κανονικοποιημένο throughput του χρήστη είναι ο αριθμός των σωστά λαμβανόμενων bits/διααιρεμένος με το εύρος ζώνης του καναλιού και μετρούμενος σε bits/s/Hz. Το εύρος ζώνης του καναλιού για αυτό το σκοπό ορίζεται ως το αποδοτικό εύρος ζώνης πολλαπλασιασμένο με τον

παράγοντα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Στον τύπο $r_i = \frac{R_i(T_i)}{T_i \cdot W}$ το $R_i(T_i)$

δηλώνει τον αριθμό των σωστά λαμβανόμενων bits του χρήστη i , το T_i τον χρόνο συνεδρίας του χρήστη i και W το εύρος ζώνης. Οι ελάχιστες απαιτήσεις για το 5th percentile user spectral efficiency στα διάφορα περιβάλλοντα ελέγχου είναι:

Πίνακας 2.2: 5th percentile user spectral efficiency. [4]

Test environment	Downlink (bit/s/Hz)	Uplink (bit/s/Hz)
Indoor Hotspot – eMBB	0.3	0.21
Dense Urban – eMBB (NOTE 1)	0.225	0.15
Rural – eMBB	0.12	0.045

- **AVERAGE SPECTRAL EFFICIENCY (Μέση Φασματική Αποδοτικότητα):** Είναι το συνολικό throughput των χρηστών διααιρεμένο με το εύρος ζώνης καναλιού μιας συγκεκριμένης μπάντας διααιρεμένο με τον αριθμό των TRxP και μετριέται σε bit/s/Hz/TRxP. Το εύρος ζώνης καναλιού ορίζεται ως το αποδοτικό εύρος ζώνης επί τον παράγοντα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, ενώ αποδοτικό εύρος ζώνης είναι το λειτουργικό εύρος ζώνης κανονικοποιημένο λαμβάνοντας υπόψη τα uplink/downlink ποσοστά. Αν $R_i(T)$ είναι ο αριθμός των σωστά λαμβανόμενων bits από έναν χρήστη i σε ένα σύστημα N χρηστών και $MTRxP$, W το εύρος ζώνης του

καναλιού και T ο χρόνος στον οποίο λαμβάνονται τα bits, τότε $SE_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N R_i(T)}{T \cdot W \cdot M}$

Οι ελάχιστες απαιτήσεις στα διάφορα περιβάλλοντα είναι:

Πίνακας 2.3: Μέση φασματική αποδοτικότητα. [4]

• Test environment	• Downlink (bit/s/Hz/TRxP)	• Uplink (bit/s/Hz/TRxP)
• Indoor Hotspot – eMBB	9	6.75
• Dense Urban – eMBB (Note 1)	7.8	5.4
• Rural – eMBB	3.3	1.6

- **AREA TRAFFIC CAPACITY (Χωρητικότητα κίνησης της περιοχής):** Είναι το συνολικό throughput ανά γεωγραφική περιοχή(μετριέται σε Mbits/s/m²). Ο στόχος είναι 10Mbit/s/ m² στο Indoor Hotspot eMBB(Enhanced Mobile Broadband) περιβάλλον. Για μία μπάντα συχνοτήτων και ένα TRxPlayer , $C_{area} = \rho \times W \times SE_{avg}$, όπου ρ η πυκνότητα TRxP (TRxP/m²). Σε περίπτωση που το εύρος ζώνης αθροίζεται από πολλαπλές μπάντες θα γίνεται άθροισμα της χωρητικότητας ανά μπάντες συχνοτήτων.
- **USER PLANE LATENCY:** Είναι η συνεισφορά του ασύρματου δικτύου στον χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο να σταλεί από την πηγή σε έναν προορισμό, μετριέται σε ms. Ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για την επιτυχή παράδοση ενός πακέτου του layer των εφαρμογών, από το σημείο εισόδου του layer ασύρματου πρωτοκόλλου στο σημείο εξόδου της ασύρματης διασύνδεσης υποθέτοντας ότι ο σταθμός είναι ενεργός. Ελάχιστες απαιτήσεις για καθυστέρηση: 4ms για eMBB, 1ms για URLLC(Ultra Reliable Low Latency Communications) περιβάλλοντα.
- **CONTROL PLANE LATENCY:** Αναφέρεται στον χρόνο μετάβασης από μία αποδοτική για την μπαταρία κατάσταση(πχ. Idle state) έως την αρχή μετάδοσης δεδομένων (Active state). Ελάχιστες απαιτήσεις:20 ms με προοπτικές και για 10 ms.
- **CONNECTION DENSITY (Πυκνότητα Σύνδεσης):** Ο αριθμός των συσκευών που εκπληρώνουν συγκεκριμένες QoS απαιτήσεις ανά περιοχή (ανάkm²). Ελάχιστη απαίτηση: 1.000.000 συσκευές /km².
- **ENERGY EFFICIENCY (Ενεργειακή Αποδοτικότητα):** Ενεργειακή αποδοτικότητα δικτύου είναι η ικανότητα των ασύρματων διασυνδέσεων να μειώσουν την κατανάλωση του δικτύου ασύρματης πρόσβασης σε σχέση με την χωρητικότητα της κίνησης στο δίκτυο . Ενεργειακή αποδοτικότητα της συσκευής είναι η ικανότητα των ασύρματων διασυνδέσεων να μειώνουν την ενέργεια που καταναλώνεται από την συσκευή σε σχέση με την κίνηση. Αυτά τα δύο σχετίζονται με την υποστήριξη για: αποδοτική μετάδοση σε loaded περίπτωση κίνησης και χαμηλή κατανάλωση όταν

δεν υπάρχουν δεδομένα. Το δεύτερο μπορεί να υπολογιστεί μέσω του sleep ratio. Αυτό, για το δίκτυο είναι ένα κλάσμα των μη-απασχολούμενων time πόρων προς τον κύκλο της σηματοδότησης ελέγχου, ενώ για την συσκευή είναι ένα κλάσμα του sleeping time της συσκευής προς τον κύκλο της ασυνεχούς λήψης. Άρα, η προτεινόμενη ασύρματη διασύνδεση θα πρέπει να έχει υψηλό sleep ratio και μεγάλης διάρκειας χρόνο sleep όταν δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων.

- **RELIABILITY (Αξιοπιστία):** Είναι η πιθανότητα επιτυχής μετάδοσης ενός πακέτου του 2^{ου} ή 3^{ου} layer μέσα σε έναν απαιτούμενο μέγιστο χρόνο από το σημείο εισόδου του ασύρματου πρωτοκόλλου του 2^{ου} ή 3^{ου} layer έως το σημείο εξόδου. Η ελάχιστη απαίτηση για αξιοπιστία είναι: $1-10^{-5}$ πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης ενός PDU(Protocol Data Unit) των 32 bytes του επιπέδου 2 εντός 1 ms για το UrbanMacro-URLLC περιβάλλον ελέγχου.
- **MOBILITY (Κινητικότητα):** Είναι η μέγιστη ταχύτητα κινητού σταθμού (συσκευής χρήστη) για την επίτευξη συγκεκριμένων Quality of Service(QoS) απαιτήσεων. Υπάρχουν οι εξής κατηγορίες κινητικότητας. Ακίνητος: 0 km/h, πεζός: 0-10 km/h, σε όχημα: 10-120 km/h και σε όχημα υψηλής ταχύτητας: 120-500 km/h. Η τελευταία κατηγορία αναφέρεται κυρίως σε τρένα υψηλής ταχύτητας. Παρακάτω ορίζονται οι κατηγορίες που πρέπει να υποστηρίζονται για κάθε περιβάλλον:

Πίνακας 2.4: Περιβάλλοντα ελέγχου για eMBB. [4]

	Test environments for eMBB		
	Indoor Hotspot – eMBB	Dense Urban – eMBB	Rural – eMBB
Mobility classes supported	Stationary, Pedestrian	Stationary, Pedestrian, Vehicular (up to 30 km/h)	Pedestrian, Vehicular, High speed vehicular

Πίνακας 2.5: Μέγιστες ταχύτητες για την επίτευξη συγκεκριμένου datarate σε κάθε περιβάλλον. [4]

Test environment	Normalized traffic channel link data rate (bit/s/Hz)	Mobility (km/h)
Indoor Hotspot – eMBB	1.5	10
Dense Urban – eMBB	1.12	30
Rural – eMBB	0.8	120
	0.45	500

- **MOBILITY INTERRUPTION TIME (Χρόνος Διακοπής Κινητικότητας):** Είναι ο ελάχιστος χρόνος, που υποστηρίζει το σύστημα για τον οποίο μία συσκευή χρήστη δεν μπορεί να ανταλλάξει πακέτα με κανένα σταθμό βάσης κατά τις μεταβάσεις σε άλλη κυψέλη. Σε αυτόν περιλαμβάνονται οι χρόνοι για σηματοδότηση των πρωτοκόλλων ελέγχου καθώς και για τα μηνύματα μεταξύ συσκευής και δικτύου κ.α. Η ελάχιστη απαίτηση είναι 0 ms.
- **BANDWIDTH (Εύρος Ζώνης):** Είναι το μέγιστο αθροιζόμενο εύρος ζώνης του συστήματος. Η απαίτηση για εύρος ζώνης είναι τουλάχιστον 100 MHz και οι προτεινόμενες ασύρματες διασυνδέσεις για το IMT-2020 θα πρέπει να υποστηρίζουν εύρη ζώνης έως 1 GHz για τις υψηλότερες μπάντες συχνοτήτων (πχ. άνω των 6 GHz).

2.6. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ-ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 5G

Υπάρχουν πολλές νέες τεχνολογίες και υπηρεσίες, οι οποίες συζητιούνται για δεκαετίες. Περιορίζονταν όμως λόγω των ταχυτήτων, που απαιτούν σε σχέση με τις ταχύτητες που ήταν διαθέσιμες. Φαίνεται πως η χαμηλή καθυστέρηση, αλλά και οι υψηλές ταχύτητες που προσφέρουν τα 5G δίκτυα αποτελούν το κλειδί για αυτές. [3]

Ήδη κάποιες ευρείας κλίμακας επιδείξεις της τεχνολογίας 5G και των δυνατοτήτων της έχουν πραγματοποιηθεί. Συγκεκριμένα, το demo της Verizon για το SuperBowl της Minneapolis περιλάμβανε μετάδοση 4K VR(Virtual Reality) περιεχομένου σε headsets στη Νέα Υόρκη. Ενώ Intel, Samsung και KT(Korean Telecom) συνεργάστηκαν για την επίδειξη αυτοκινούμενων οχημάτων αλλά και το ice skate streaming στο Ολυμπιακό 5G δίκτυο μέσα από 100 κάμερες λήψης 360 μοιρών. [1]

Η εφαρμογή και η ευρεία χρήση των 5G δικτύων αναμένεται να αλλάξει ριζικά και να οδηγήσει σε νέες υπηρεσίες και αγαθά στον τομέα της υγείας, της ψυχαγωγίας, της εκπαίδευσης, αλλά και σχεδόν σε κάθε πτυχή της καθημερινής μας ζωής (μέσα από τις «έξυπνες πόλεις»).

Το 5G θα ξεκινήσει μία νέα εποχή ψυχαγωγίας, και όχι μόνο, με βάση την εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, επαναπροσδιορίζοντάς την έτσι σε μεγάλο βαθμό. Σε μερικά χρόνια θα υπάρχει η δυνατότητα για παιχνίδια, που θα λαμβάνουν χώρα συγχρόνως σε φυσικούς και τεχνητούς κόσμους. Επίσης, θα αλλάξει και η κινηματογραφική εμπειρία των χρηστών μέσω των ειδικών headsets. Ακόμη, μέσω 5G σύνδεσης η live ψυχαγωγία θα αλλάξει και αυτή δραστικά, δίνοντας για παράδειγμα στους θεατές τη δυνατότητα να παρακολουθούν έναν αγώνα από κάποια οπτική εντός του γηπέδου. Τέλος, θα υπάρχει η ευκαιρία για την καταγραφή βιωμάτων της ανθρώπινης ζωής βρίσκοντας εφαρμογή από γονείς έως δημοσιογράφους. Ας διαχωρίσουμε όμως πρώτα τις έννοιες εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα. Εικονική πραγματικότητα(VR) είναι η τοποθέτηση του χρήστη σε έναν τελείως ψηφιακό κόσμο, συνήθως με τη χρήση κάποιου headset. Ενώ επαυξημένη πραγματικότητα(AR) είναι η τοποθέτηση ψηφιακών κατασκευασμάτων στον πραγματικό κόσμο. Για αυτές τις τεχνολογίες απαιτείται κυρίως real-time αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον μέσω της κυψελωτής σύνδεσης, και αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω της πολύς χαμηλής καθυστέρησης των 5G δικτύων δίνοντας έτσι στους χρήστες μία αξιοπρεπή και αποκριτική εμπειρία.[2],[5],[6]

Για να γίνουν όμως αυτά πραγματικότητα οι απαιτήσεις για συνδεσιμότητα θα πιεστούν στο έπακρο. Για την ίδια «ακαριαία» και ομοιόμορφη εμπειρία παντού απαιτείται επαρκές throughput ακόμα και στην άκρη κάποιας κυψέλης, περισσότερη χωρητικότητα και

πολύ χαμηλό latency. Καμία μείωση της ποιότητας ή διακοπή δεν γίνεται δεκτή. Η χρήση θα πρέπει να είναι αξιόπιστη παντού, σε αστικές περιοχές και μη, αλλά να υποστηρίζεται και η κινητικότητα (mobility) σε υψηλές ταχύτητες. Γίνεται στόχευση σε μία ενιαία πλατφόρμα συνδεσιμότητας με διαφορετικές υπηρεσίες και μπάντες συχνοτήτων για την υποστήριξη των νέων τεχνολογιών κάνοντας έτσι υπηρεσίες streaming 360 μοιρών 8K video και 6 DoF(6 Degrees of Freedom) video πραγματικότητα. Άρα είναι εύκολα αντιληπτό ότι το 5G είναι αυτό, που απαιτείται για την υποστήριξη AR, VR και των απαιτήσεων τους. Η Qualcomm επιταχύνει τις διαδικασίες προς αυτήν την κατεύθυνση στοχεύοντας στην εγκαθίδρυση συχνοτήτων λειτουργίας άνω των 20 GHz, προσφέροντας έτσι μεγαλύτερο εύρος ζώνης και throughput. Εκτός από αυτό προσφέρει εργαλεία τόσο στο hardware με τον Qualcomm Snapdragon 845 Soc και το headset Snapdragon 845 VRHMD, όσο και στο software με το Snapdragon VRSDK για εφαρμογές.[2],[6]

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την Qualcomm έρχονται νέες AR και VR βασισμένες στο 5G εμπειρίες. Οι χιλιάδες θεατές ενός event θα μπορούν να μοιραστούν ταυτόχρονα την εμπειρία τους στα social media. Να σημειωθεί ότι εδώ γίνεται υπόθεση ταυτόχρονου streaming από 50.000 άτομα 4K video 360 μοιρών με 12.5 Tbps/m² χωρητικότητα, με την ελάχιστη 50 Mbps upload ταχύτητα και 10 Tbps/m² χωρητικότητα να είναι IMT-2020 απαιτήσεις. Μέσω του 6 DoF(βαθμοί ελευθερίας της κίνησης) περιεχομένου που θα είναι εφικτό θα υπάρχει η δυνατότητα για επόμενης γενιάς video που θα μπορείς να κινείσαι ελεύθερα στον χώρο και εκεί θα γίνεται ανταλλαγή latency και bandwidth ανάλογα με τις απαιτήσεις σου. [6]

Εκτός όμως από τα παραπάνω, οι νέες υπηρεσίες που θα προσφέρει το 5G βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στην καθημερινότητα των ανθρώπων μέσω των «έξυπνων» πόλεων. «Έξυπνη» πόλη, είναι μια πόλη, που χρησιμοποιεί μία βασική υποδομή σε συνδυασμό με έξυπνες λύσεις ώστε οι υπηρεσίες που παρέχει να είναι καλύτερες για κάθε τομέα. Στις «έξυπνες» πόλεις εφαρμόζονται οι Internet of Things(IoT) δυνατότητες σε κάθε τομέα της πόλης, όπως το δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος ή οι δημόσιες μεταφορές συνδυάζοντας όλα τα πλεονεκτήματα του 5G. Στο IoT, χιλιάδες συσκευές χαμηλής κατανάλωσης θα είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους για την διαχείριση σπιτιών, γραφείων κλπ. Επειδή χρειάζεται πολύ μεγάλος όγκος δεδομένων αυτό θα γίνει εφικτό μόνο με το 5G, καθώς μεγαλύτερες ταχύτητες και μεγαλύτερη χωρητικότητα σημαίνει περισσότερες συσκευές να επικοινωνούν η μία με την άλλη. Μέσω του Cognitive Radio(CR), θα χρησιμοποιείται το μη-χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων και θα αποφεύγονται τυχόν παρεμβολές που είναι ένα από τα βασικά προβλήματα του concept των «έξυπνων» πόλεων

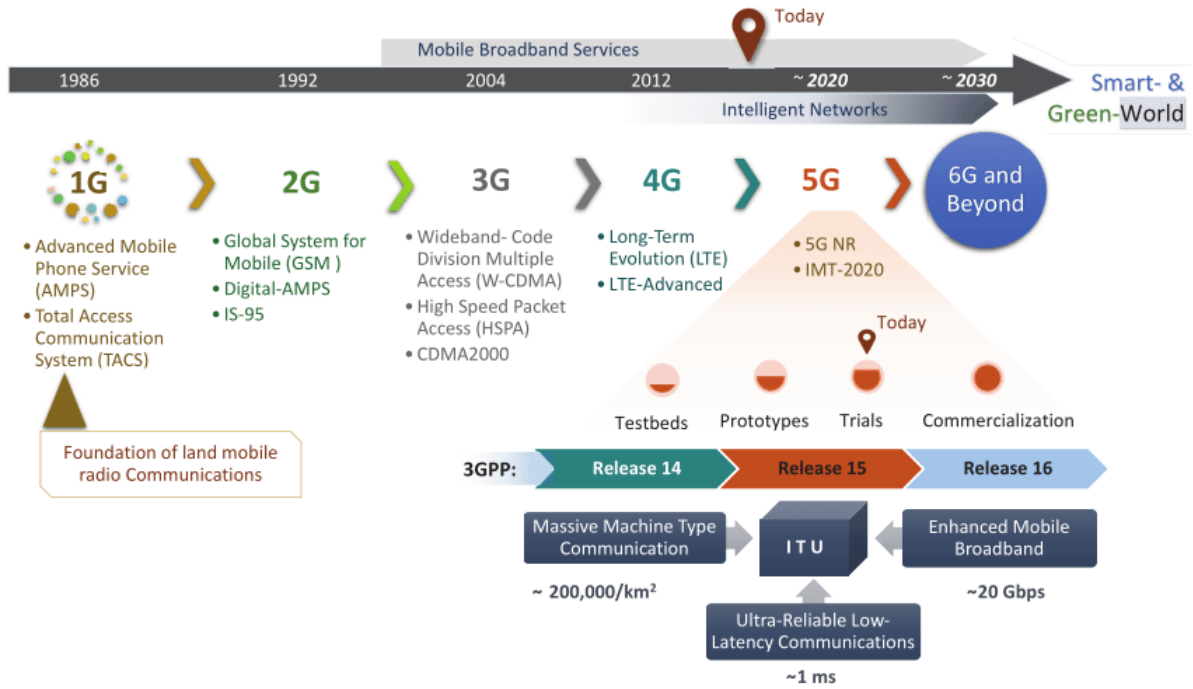
χωρίς το 5G. Το όλο concept της «έξυπνης» πόλης σε συνδυασμό με το IoT θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στη διαχείριση ενέργειας, κίνησης αλλά και στο σώσιμο πόρων στις πόλεις.[2],[7]

Θα δούμε όμως μεγάλες αλλαγές και στον τομέα των μεταφορών είτε αυτές γίνονται με τα MME είτε με τα αυτοκίνητα. Τα έξυπνα φώτα που αναφέρθηκαν παραπάνω θα παρακολουθούν και τη ροή της κίνησης στους δρόμους. Τα MME, που θα είναι συνδεδεμένα στο σύστημα θα έχουν άμεσα πληροφορίες για τους χρήστες, που χρησιμοποιούν το σύστημα ή αυτούς που σκοπεύουν να το χρησιμοποιήσουν επιτρέποντας έτσι το δυναμικό προγραμματισμό της διαδρομής που θα ακολουθήσουν. Αξίζει να σημειωθεί ότι Ericsson και Nokia εργάζονται στο να διασφαλίσουν ότι το 5G θα έχει αντίκτυπο στη μετατροπή των MME σε έξυπνα. Από τη διαχείριση της κίνησης θα επωφεληθούν και τα ΙΧ σώζοντας ενέργεια. Ενώ ένας 5G αισθητήρας θα τα βοηθάει να παρκάρουν απευθείας και χωρίς καθυστέρηση. Ακόμη η τόσο χαμηλή καθυστέρηση μπορεί να γίνει το κλειδί για τα αυτοκινούμενα οχήματα. Λόγω αυτής, θα υπάρχει η δυνατότητα αυτόνομα οχήματα να επικοινωνούν με κοντινότερα για βελτιστοποίηση της συνολικής κίνησης, αλλά και να αναγνωρίζουν σχεδόν άμεσα οποιαδήποτε αλλαγή συμβαίνει γύρω τους.[7],[9]

Τα 5G δίκτυα αναμένεται να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον τομέα της ενέργειας γενικότερα. Συσκευές, που σήμερα καταναλώνουν πολύ ενέργεια, θα συνδέονται μέσω των 5G χαμηλού κόστους συνδέσεων και θα παρακολουθούνται έτσι καλύτερα ώστε να γίνεται πιο σωστή πρόβλεψη για τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια, οδηγώντας τόσο σε μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται όσο και σε μείωση της τιμής της ενέργειας αυτής. Ενώ ακόμη, η αναγνώριση μιας διακοπής στο ηλεκτρικό δίκτυο θα είναι πολύ πιο γρήγορη καθώς τα δεδομένα θα περνάνε από τις γρήγορες και χαμηλής καθυστέρησης 5G συνδέσεις. Τέλος, ακόμη και ο φωτισμός θα γίνει πιο «έξυπνος», καθώς 5G αισθητήρες θα μπορούν να ρυθμίσουν την ένταση των LED στους δρόμους ανάλογα με τον κόσμο που είναι κοντά.[7]

Η ανθρώπινη ζωή αναμένεται να γίνει γενικότερα ευκολότερη και ασφαλέστερη. Λόγω των υψηλών ταχυτήτων, που προσφέρει το 5G όλες οι συσκευές καθημερινής χρήσης όπως πλυντήρια, ψυγεία κλπ. θα είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και θα διαχειρίζονται από τα smartphones. Ενώ όσον αφορά την ασφάλεια, 5G αισθητήρες θα ειδοποιούν αυτούς που οδεύουν από πλημμυρισμένες περιοχές, ή για παράδειγμα όταν εκτυρωσκροτεί ένα όπλο αυτοί θα μπορούν να ανιχνεύσουν την τοποθεσία ή ακόμα και τον τύπο του όπλου. Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως από τις πιο σημαντικές εφαρμογές του 5G θα είναι η βελτίωση της

ιατρικής περίθαλψης με την ιατρική παρακολούθηση εξ 'αποστάσεως να αποτελεί ένα παράδειγμα.[7]



Σχήμα 2.3: Σχήμα υπηρεσιών 5G. [52]

2.7. ΤΙ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΤΩΡΑ

Έχει αποδειχθεί ότι η χώρα η οποία αναπτύσσει και καθιστά διαθέσιμη πρώτη κάποια τηλεπικοινωνιακή γενιά είναι αυτή, που έχει και τα περισσότερα οφέλη, κυρίως επενδυτικά και εργασιακά. Η Αμερική, η οποία ήταν η πρωτοπόρος στην τέταρτη γενιά γνώρισε αύξηση τόσο στο ΑΕΠ της, όσο και σε θέσεις εργασίας στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών. Χώρες, που δεν είχαν το προβάδισμα αυτό, όπως η Ιαπωνία γνώρισαν απώλειες θέσεων εργασίας, αλλά και συρρίκνωση των ασύρματων τηλεπικοινωνιακών παρόχων τους.[8],[9]

Σύμφωνα με την μελέτη αυτή [10], που πραγματοποιήθηκε για δέκα χώρες, η Κίνα είναι η χώρα που σήμερα κατέχει το προβάδισμα στην «ετοιμότητα» για το 5G, με τις Νότια Κορέα, ΗΠΑ και Ιαπωνία να ακολουθούν. Για να γίνει πραγματικότητα η εκτεταμένη χρήση του 5G οι εταιρίες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών θα πρέπει να επενδύσουν στον τομέα της έρευνας και της ανάπτυξης (R&D). Ενώ οι κυβερνήσεις, θα πρέπει να αναθέσουν επιπλέον ασύρματους πόρους, δηλαδή φάσματα από συχνότητες στους παρόχους, εφόσον απαιτείται μεγαλύτερο εύρος ζώνης για το νέο δίκτυο. Η Κίνα κατέχει το προβάδισμα αυτό για αυτούς τους δύο λόγους. Πιο συγκεκριμένα, η κινεζική κυβέρνηση έχει παραδώσει τουλάχιστον 100 MHz υψηλής μπάντας και 2000 MHz χαμηλής μπάντας συχνοτήτων σε κάθε ασύρματο πάροχο, που δραστηριοποιείται στην χώρα. Στην Κίνα, οι πάροχοι οι οποίοι συμμετέχουν στις δημοπρασίες ανήκουν στην κυβέρνηση, οπότε μπορούν να επενδύσουν μεγάλα ποσά στην ανάπτυξη σταθμών κατά μήκος της χώρας. Όσον αφορά την Ευρώπη, είναι αρκετά πίσω, αλλά αρκετές χώρες προχωράνε σε δημοπρασίες για φάσματα συχνοτήτων και στον εκμοντερνισμό της υπάρχουσας υποδομής.

Η ασύρματη βιομηχανία των ΗΠΑ είναι έτοιμη για επενδύσεις ύψους 275 δισεκατομμυρίων \$ για τον σκοπό αυτό. Χρήματα που θα μπορούσαν να αποφέρουν κέρδη όπως αύξηση του ΑΕΠ κατά 500 δις και 3 εκατομμύρια νέες θέσεις εργασίας, όμως χρειάζεται να γίνει πιο ξεκάθαρο το θέμα της ανάθεσης ασύρματων πόρων. Στην Νότια Κορέα, η οποία έρχεται δεύτερη παρουσιάζεται μεγάλη κινητικότητα λόγω των χειμερινών Ολυμπιακών Αγώνων του 2018, που αποτέλεσαν αφορμή για πρώιμη έρευνα, καθώς και δοκιμαστικά.[3],[8],[9]

Ο πραγματικός λόγος, που οι χώρες παίρνουν το ζήτημα του 5G τόσο σοβαρά είναι η τεχνητή νοημοσύνη. Όποια χώρα εδραιώσει τα 5G δίκτυα πρώτη, θα έχει βραχεία κεφαλή σε αυτόν τον τομέα, καθώς οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης βασίζονται και βελτιώνονται πάνω σε δεδομένα. Άρα, όσο πιο πολλά δεδομένα θα χρησιμοποιούν (εδώ έρχεται το 5G), τόσο πιο γρήγορα και πολύ θα βελτιώνονται. [3]

2.8. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ 5G

Το 5G προσφέρει μια ευρεία γκάμα χαρακτηριστικών, που έχουν οφέλη για όλες τις ομάδες ανθρώπων όπως μαθητές, γιατροί, μηχανικοί, δάσκαλοι ή ακόμη και «απλοί» χρήστες. Γενικότερα πλεονεκτήματα 5G τεχνολογίας:

- Ρυθμοί δεδομένων της τάξης των 10 Gbps, που θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερες upload και download ταχύτητες.
- Βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη(καλύτερο QoS).
- Η ελάχιστη καθυστέρηση θα οδηγήσει σε μικρότερο φόρτο εργασίας στους σταθμούς βάσης λόγω της άμεσης εγκαθίδρυσης σύνδεσης στο 5G δίκτυο.
- Μεγαλύτερο εύρος ζώνης λόγω του carrier aggregation, τεχνικής, όπου πολλαπλά blocksυχνότητας ανατίθενται στον ίδιο χρήστη. Το μικρότερο μέγεθος κεραίας, που απαιτείται σε υψηλότερες συχνότητες, θα οδηγήσει σε MIMO κεραίες για την επίτευξη υψηλότερων data rates.
- Το handoff(δηλαδή η μετάβαση του χρήστη σε διαφορετική τηλεπικοινωνιακή κυψέλη) θα είναι πιο ομαλό και δεν θα επηρεάζει την μετάδοση δεδομένων.
- Πιθανή παροχή ενιαίας, αδιάκοπης, σταθερής συνδεσιμότητας σε όλα τα μήκη και τα πλάτη του κόσμου.
- Τεχνολογική υποστήριξη για ετερογενής υπηρεσίες.
- Πιο αποδοτική σε όλους τους τομείς τεχνολογία σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές.
- Συγκέντρωση όλων των δικτύων σε μία πλατφόρμα.
- Τυπικά το 5G θα προσφέρει 10 φορές μεγαλύτερο throughput, 10 φορές μικρότερη καθυστέρηση, 10 φορές μεγαλύτερη πυκνότητα σύνδεσης, 3 φορές μεγαλύτερη φασματική αποδοτικότητα, 100 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα κίνησης και 100 φορές μεγαλύτερη αποδοτικότητα δικτύου.[10],[11]

Πλεονεκτήματα για τους «απλούς» χρήστες:

- Ευκολότερη εκπαίδευση, καθώς ένας μαθητής από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου θα μπορεί να παρακολουθεί μαθήματα.
- Παράλληλες πολλαπλές υπηρεσίες.
- Ευκολότερη παροχή ιατρικής περίθαλψης. Για παράδειγμα, ένας γιατρός θα μπορεί να περιθάλπει ασθενή από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.
- Ευκολότερη παρακολούθηση οποιουδήποτε μέρους του κόσμου που θα οδηγήσει σε μείωση της εγκληματικότητας αλλά και στην εύρεση αγνοουμένων.

- Οπτικοποίηση πλανητών, γαλαξιών.
- Κάποια πιθανή οικολογική καταστροφή θα είναι πιο γρήγορα ανιχνεύσιμη.[10],[11]

Όμως, για λόγους ασφαλείας, αλλά και έλλειψης της απαιτούμενης τεχνολογικής υποδομής και εξέλιξης στα περισσότερα μέρη του κόσμου υπάρχουν και τα αναμενόμενα μειονεκτήματα.

Μειονεκτήματα 5G τεχνολογίας:

- Η έρευνα και η ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι ακόμη υπό εξέλιξη γι' αυτό και δεν μπορεί να είναι ακόμη πλήρως λειτουργική και χωρίς προβλήματα.
- Η ταχύτητα, που υπόσχεται αυτή η τεχνολογία φαίνεται δύσκολο να επιτευχθεί κυρίως λόγω της ελλιπούς τεχνολογικής υποστήριξης στην πλειοψηφία του πλανήτη.
- Απαιτείται η αλλαγή του εξοπλισμού του χρήστη (smartphones, tablets κλπ.) με νέο που θα είναι συμβατός με το 5G. Ο εξοπλισμός του χρήστη για τα 5G δίκτυα όμως είναι ακριβός.
- Η ανάπτυξη της απαιτούμενης υποδομής είναι κοστολογείται ακριβά.
- Υπάρχουν ακόμη θέματα ασφαλείας και privacy, για τα οποία θα υπάρξει κάποιος χρόνος μέχρι να λυθούν.
- Απαιτούνται έμπειροι μηχανικοί για την εγκατάσταση και την συντήρηση των 5G δικτύων.
- Στις υψηλές συχνότητες τα τηλεπικοινωνιακά σήματα παρουσιάζουν μεγάλες απώλειες για αυτό και η 5G mmWave μετάδοση, δηλαδή η μετάδοση κυμάτων της τάξης των millimeters παρουσιάζει διάφορες απώλειες όπως αυτές που οφείλονται στην βροχή ή την ανικανότητα διάτρησης στερεών αντικειμένων, επειδή το μήκος κύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας.[10],[11]

3. D2D

3.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Οι Device-to-device (D2D) επικοινωνίες αναφέρονται στις τεχνολογίες και τις αρχιτεκτονικές που επιτρέπουν στις συσκευές να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους χωρίς την ανάμειξη των σταθμών βάσεων, επαναχρησιμοποιώντας κυψελωτούς πόρους. Σε ένα παραδοσιακό κυψελωτό δίκτυο, όλες οι επικοινωνίες περνούν από τον σταθμό βάσης, ο οποίος κάνει την αναμετάδοση (relay) στους παραλήπτες. Έτσι, καθώς μειώνεται η κίνηση των παραδοσιακών κυψελωτών επικοινωνιών, η χωρητικότητα στις κυψέλες του δικτύου αυξάνεται. Οι επικοινωνίες αυτές υπόσχονται βελτιωμένη φασματική αποδοτικότητα, βελτιωμένη ρυθμαπόδοση, αυξημένη χωρητικότητα δικτύου και επέκταση της διάρκειας ζωής των μπαταριών στις συσκευές. Κάποια παραδείγματα εφαρμογών του D2D είναι κατέβασμα πολυμέσων, video streaming, online gaming, και peer-to-peer (P2P) διαμοίραση αρχείων. Γενικά, οι D2D επικοινωνίες επιτρέπουν γρήγορη πρόσβαση στο ασύρματο φάσμα και υπόσχονται τέσσερα είδη κέρδους:

- Κέρδος εγγύτητας, όταν οι συσκευές είναι κοντά μεταξύ τους.
- Κέρδος σε hop, επειδή δεν γίνεται επικοινωνία με τον σταθμό βάσης.
- Κέρδος επαναχρησιμοποίησης, από την επαναχρησιμοποίηση των ασύρματων συχνοτήτων.
- Κέρδος ζευγαριού, όταν επιτρέπεται η D2D επικοινωνία σε ένα ζευγάρι συσκευών.[13],[14],[15],[16],[17]

Οι παραδοσιακές D2D τεχνολογίες είναι το Bluetooth και το WiFi, λειτουργώντας στο μη αδειοδοτούμενο φάσμα των 2.4 GHz. Κρίνονται όμως ανεπαρκείς για τους εξής λόγους:

- Δεν αποτελούν ακέραιο μέρος των κυψελωτών δικτύων.
- Απαιτείται χειροκίνητη αντιστοίχιση μεταξύ δύο συσκευών.
- Οι παρεμβολές είναι μη ελεγχόμενες λόγω του συνωστισμού σε αυτό το φάσμα συχνοτήτων.
- Δεν μπορούν να προσφέρουν ασφάλεια και Quality Of Service(QoS).

Οι D2D επικοινωνίες μπορούν να είναι πιο βολικές για τους χρήστες, επειδή οι σταθμοί βάσης μπορούν να διαχειριστούν την αντιστοίχιση μεταξύ των ζευγαριών των συσκευών και να παρέχουν καλύτερη εμπειρία συνολικά. [13],[14],[18]

Στην αγορά σήμερα, πέραν του γεγονότος ότι οι χρήστες των κυψελωτών επικοινωνιών αυξάνονται εκθετικά χρησιμοποιώντας διάφορες υπηρεσίες υπάρχουν δύο νέες τάσεις. Πρώτον, οι context-aware εφαρμογές, που απαιτούν την ανακάλυψη και την

επικοινωνία με κοντινές συσκευές. Σε αυτές τις εφαρμογές, ο ασύρματος πάροχος μπορεί να παρέχει πληθώρα υπηρεσιών στους χρήστες ανάλογα με την τοποθεσία και την κατάσταση που βρίσκονται. Δεύτερον, Machine-to-Machine(M2M) εφαρμογές, όπου πραγματοποιείται επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών χωρίς να είναι απαραίτητη η ανθρώπινη ανάμειξη. Παρουσιάζεται ευκαιρία για τους παρόχους να συνδέουν ηλεκτρονικές συσκευές όπως φούρνοι στα δίκτυα τους. Το κινητό τηλέφωνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν gateway των συσκευών αυτών στα κυψελωτά δίκτυα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η M2M(Machine to Machine) επικοινωνία δεν έχει απαιτήσεις ως προς την απόσταση των συσκευών οπότε είναι τεχνολογικώς ανεξάρτητη ενώ η D2D επικοινωνία στοχεύει στην εγγύτητα των συσκευών και είναι τεχνολογικώς εξαρτώμενη. [13],[17]

Όταν επιτρέπονται οι D2D επικοινωνίες στα κυψελωτά δίκτυα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε οι uplink ή οι downlink πόροι των δικτύων. Ανάλογα με την επιλογή θα υπάρξουν και διαφορετικά αποτελέσματα ως προς την παρεμβολή. Αν και οι κυψελωτές επικοινωνίες προσδίδουν αρκετά πλεονεκτήματα σε τοπικές υπηρεσίες στα κυψελωτά δίκτυα, η εκτεταμένη χρήση τους μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στους κυψελωτούς χρήστες, εφόσον μοιράζονται τους ίδιους ασύρματους πόρους. Έτσι, η διαχείριση των παρεμβολών είναι μια διαδικασία ιδιαίτερως κρίσιμη. Οι παραδοσιακοί εξοπλισμοί χρήστη CUEs(Cellular User Equipment) μπορούν να θεωρηθούν ως οι κύριοι χρήστες, ενώ οι D2D εξοπλισμοί χρήστη (DUEs) δεν θα πρέπει να μειώνουν την επίδοση αυτών. [16]

Όσον αφορά το κομμάτι του 5G και τα τα mmWave 5G δίκτυα, το κομμάτι της D2D επικοινωνίας αναμένεται να έχει σημαντικό ρόλο στην συνύπαρξη με τους micro και macro σταθμούς βάσεως. Έτσι, τοπικές D2D επικοινωνίες, δηλαδή επικοινωνίες όπου δύο ασύρματες συσκευές της ίδιας κυψέλης επικοινωνούν άμεσα ή έμμεσα μέσω relaying από άλλη συσκευή, μπορούν να σχηματιστούν για την μείωση της κίνησης στα κυψελωτά δίκτυα, υποστηρίζοντας περισσότερους ταυτόχρονους χρήστες. Ενώ, global D2D επικοινωνίες μπορούν να πραγματοποιηθούν για multihop μεταδόσεις μέσω των σταθμών βάσεων ανάμεσα σε συσκευές διαφορετικών κελιών. Αυτές περιλαμβάνουν D2B (επικοινωνία συσκευής με σταθμό βάσης) και B2B(Business to Business) επικοινωνίες (επικοινωνία σταθμού βάσης με σταθμό βάσης). [15]

Ακόμη, στο [18] γίνεται αναφορά στις συνεργατικές επικοινωνίες όπου οι κόμβοι σε ένα δίκτυο αλληλοβοηθούνται κάνοντας relaying των δεδομένων, δηλαδή αναμετάδοση των δεδομένων από τους πομπούς μέχρι να φτάσουν στους δέκτες κάτι που παραδοσιακά γίνεται από τους σταθμούς βάσης.

Πριν ακόμη όμως πραγματοποιηθεί η D2D επικοινωνία οι D2D συσκευές θα πρέπει να ανακαλύψουν η μία την άλλη και με κάποιο τρόπο να εγκαθιδρύσουν μία σύνδεση μεταξύ τους δεσμεύοντας τους κατάλληλους πόρους. Γενικά, υπάρχουν πολλά ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν, όπως και η ανάγκη για προτυποποίηση. Κάποια από αυτά είναι:

- Κατανάλωση ενέργειας των συσκευών.
- Επιλογή φάσματος λειτουργίας.
- Επιλογή mode λειτουργίας (cellular έναντι D2D).
- Διαχείριση παρεμβολών.
- Έλεγχος ισχύος των συσκευών.
- IDs χρηστών/συσκευών.
- Συγχρονισμός σε επίπεδο cluster και μη.
- Ασφάλεια.
- Διατήρηση ιδιωτικότητας.
- Ανοιχτή έναντι αυστηρής ανακάλυψης συσκευών.
- Κινητικότητα χρήστη.
- Multihop D2D.
- D2D επικοινωνία στα ετερογενή δίκτυα.[16]

Όσον αφορά την επιλογή του φάσματος λειτουργίας, η πλειοψηφία στις βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με D2D επικοινωνίες έχει να κάνει με χρήση του κυψελωτού φάσματος τόσο για κυψελωτές, όσο και για D2D επικοινωνίες, όρος γνωστός ως underlay inband D2D, κάτι που προσφέρει υψηλό επίπεδο ελέγχου. Έτσι όμως, εγείρεται το θέμα της παρεμβολής μεταξύ αυτών των χρηστών, πόσο μάλλον όταν οι CUEs έχουν προτεραιότητα σε σχέση με ταυτόχρονη όμως ικανοποίηση των QoS απαιτήσεων των DUEs. Για την αποφυγή της παρεμβολής, που προκύπτει από την χρήση κοινού φάσματος συχνοτήτων υπάρχει και η πρόταση να χρησιμοποιείται ένα αποκλειστικό κομμάτι των κυψελωτών πόρων μόνο σε D2D επικοινωνίες, όρος γνωστός ως overlay inband D2D. Επίσης υπάρχει και η περίπτωση όπου χρησιμοποιείται φάσμα συχνοτήτων έξω από αυτές των κυψελωτών δικτύων συνήθως στο μη αδειοδοτούμενο φάσμα, όρος γνωστός ως outband D2D, κάτι που εγείρει δυσκολίες στον συντονισμό των δύο διαφορετικών καναλιών επικοινωνίας.[17]

Επίσης, όσον αφορά το ποιος κάνει την ανάθεση των πόρων, πάλι παρατηρώντας την βιβλιογραφία προκύπτει ότι η πλειοψηφία αναφέρεται σε κεντροποιημένη ανάθεση πόρων, δηλαδή ανάθεση την οποία αναλαμβάνει ο σταθμός βάσης (eNB) τόσο για τους CUEs, όσο και για τους DUEs. Όμως, τα κεντροποιημένα σχήματα δεν ενδείκνυνται για δίκτυα τα

οποία είναι μεγάλα. Για αυτό και η ανάθεση θα πρέπει να γίνεται με κατανεμημένο τρόπο έτσι ώστε οι DUEs να αναγνωρίζουν το περιβάλλον τους και η ανάθεση να γίνεται κατανεμημένα χωρίς όμως παρεμβολή στους CUEs. Αυτό γίνεται είτε πλήρως κατανεμημένα, όπου ο κάθε DUE κόμβος δεν επικοινωνεί με κανέναν γύρω του και απλά πραγματοποιεί κάποιες μετρήσεις στο κανάλι, είτε με ένα μοντέλο περάσματος μηνυμάτων το οποίο να μην είναι λιγότερο κατανεμημένο λόγω της επικοινωνίας των κόμβων, αλλά προσφέρει καλύτερες λύσεις. [14]

Για την επιλογή του mode λειτουργίας, οι DUEs θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα λειτουργίας σε πολλαπλά modes, όπως:

- Silent mode: Mode όπου οι D2D συσκευές θα πρέπει να παραμείνουν «σιωπηλές», όταν δεν υπάρχουν αρκετοί πόροι διαθέσιμοι για την υποστήριξη της D2D επικοινωνίας.
- Reuse mode: Mode όπου οι D2D συσκευές επικοινωνούν απευθείας, επαναχρησιμοποιώντας πόρους του κυψελωτού δικτύου, παρέχοντας καλύτερη φασματική αποδοτικότητα.
- Dedicated mode: Mode, όπου οι D2D χρησιμοποιούν πόρους, που διατίθενται αποκλειστικά από το δίκτυο για τις επικοινωνίες τους, διευκολύνοντας τη διαχείριση των παρεμβολών.
- Cellular mode: Mode, όπου η D2D επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω relaying από τον σταθμό βάσης (eNB), διευκολύνοντας την διαχείριση των παρεμβολών. [14]

Επιπρόσθετα, ο σωστός έλεγχος ισχύος μετάδοσης των συσκευών είναι πολύ σημαντικός για τον περιορισμό των παρεμβολών. Θα πρέπει να ανατίθεται έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι QoS απαιτήσεις των χρηστών, όπως για παράδειγμα ο λόγος του σήματος προς παρεμβολής και θορύβου SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio). Θα πρέπει ακόμη να υπάρχει ισορροπία σε αυτή την ανταλλαγή ενέργειας και QoS. [14] Επίσης, υπάρχει και η δυνατότητα οι D2D επικοινωνίες να ελέγχονται από τον πάροχο ή από το κυψελωτό δίκτυο γνωστή ως operator controlled D2D (OC-D2D). Ο έλεγχος αυτός έχει να κάνει με:

- Επιβεβαίωση της πρόσβασης.
- Έλεγχο της σύνδεσης.
- Ανάθεση πόρων.
- Νόμιμη ανάκτηση των πληροφοριών επικοινωνίας, ιδιαίτερα δύσκολο εφόσον η πληροφορία ανταλλάσσεται απευθείας μεταξύ των χρηστών.

Υπάρχουν 2 είδη OC-D2D επικοινωνίας:

- Πλήρως ελεγχόμενη, όπου η D2D σύνδεση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των κυψελωτών δικτύων και το δίκτυο έχει τον πλήρη έλεγχο για εγκαθίδρυση και συντήρηση σύνδεσης, ανάθεση πόρων κλπ. Οι πόροι μοιράζονται με τις κυψελωτές συνδέσεις και η χρέωση μπορεί να γίνει ανάλογα με τα λεπτά ή το εύρος ζώνης που καταναλώνει ο χρήστης στην υπηρεσία.
- Χαλαρά ελεγχόμενη, όπου το μόνο που πραγματοποιεί ο πάροχος είναι η επιβεβαίωση της πρόσβασης. Για την μετάδοση των δεδομένων γίνεται χρήση μη αδειοδοτούμενου φάσματος με Bluetooth ή WiFi ή μία αποκλειστική ζώνη συχνοτήτων στο αδειοδοτούμενο φάσμα. Η χρέωση μπορεί να γίνει με ένα σταθερό ποσό ανά μήνα.[13]

3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

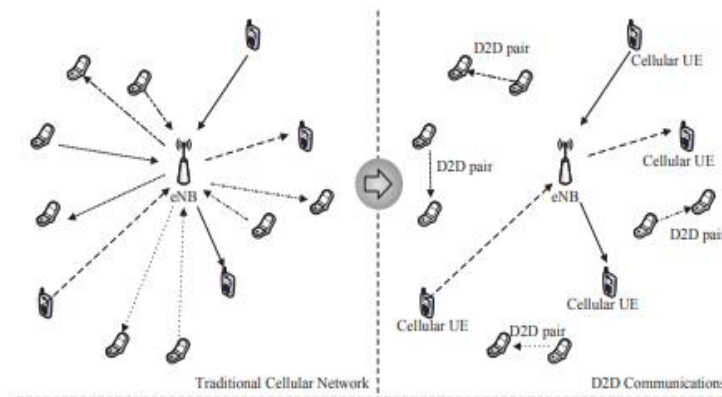
Σε ερευνητικό επίπεδο οι D2D επικοινωνίες εξετάστηκαν πρωτίστως για την δυνατότητα multihop relaying στα κυψελωτά δίκτυα. Ενώ αργότερα ερευνήθηκε το ενδεχόμενο της χρήσης D2D επικοινωνιών για βελτίωση της φασματικής αποδοτικότητας. Ακόμη πιο μετά, διερευνήθηκαν και άλλες περιπτώσεις χρήσης, όπως το multicasting ή M2M επικοινωνίες.[17]

Στην 3GPP Release 12, συμφωνήθηκε ότι οι D2D υπηρεσίες αποτελούν υψηλού ενδιαφέροντος αντικείμενα για έρευνα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι στα IMT-Advanced συστήματα, που προτάθηκαν από την 3GPP, κάποιοι από τους κύριους στόχους αποτελούν η βελτίωση της παροχής τοπικών υπηρεσιών, αλλά και της φασματικής αποδοτικότητας.[14]

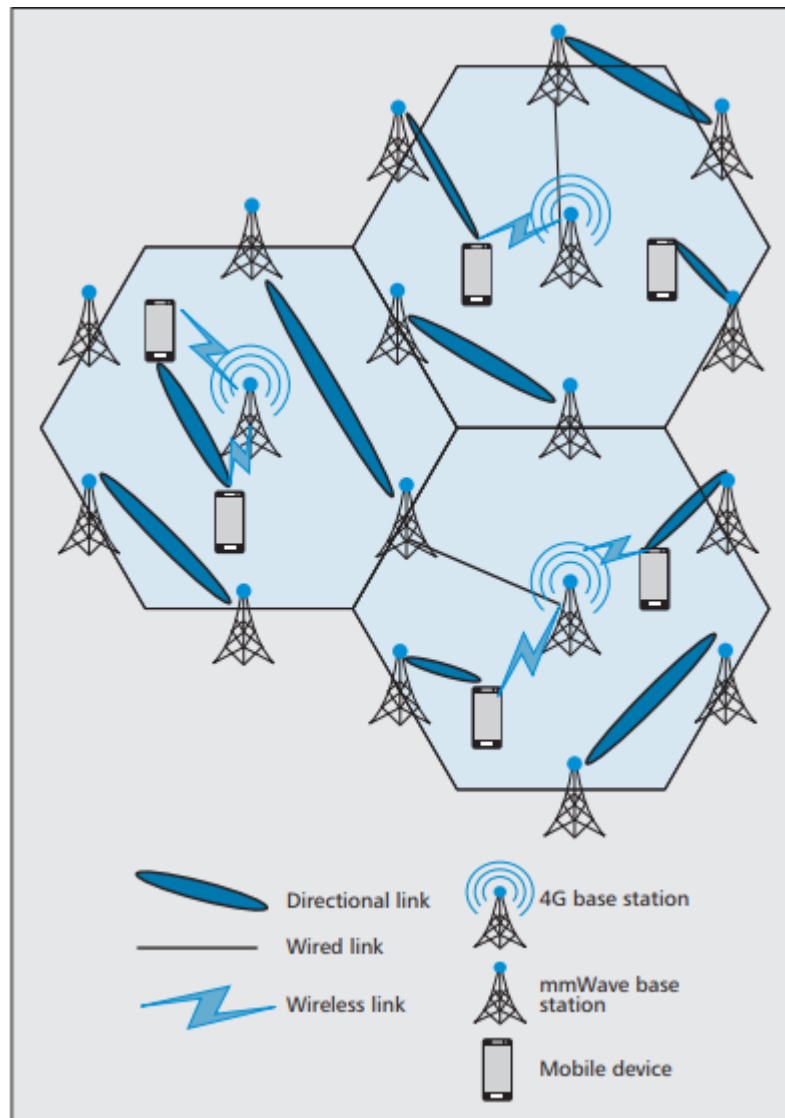
Η πρώτη απόπειρα για υλοποίηση D2D επικοινωνίας σε ένα κυψελωτό δίκτυο πραγματοποιήθηκε από την Qualcomm με το FlashLinQ. Το FlashLinQ υλοποιήθηκε για την απευθείας επικοινωνία των συσκευών με βάση την αναγνώριση της εγγύτητάς τους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο αδειοδοτούμενο φάσμα ως συμπληρωματικό ενός WAN. Αποτελεί μία PHY/MAC αρχιτεκτονική δικτύου για D2D επικοινωνίες στα κυψελωτά δίκτυα. Χρησιμοποιεί τα πλεονεκτήματα των OFDM/OFDMA τεχνολογιών και με καταμετρημένο τρόπο δημιουργεί μία μέθοδο για τον συγχρονισμό, την ανακάλυψη και την διαχείριση της σύνδεσης.[13], [16], [19]

3.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

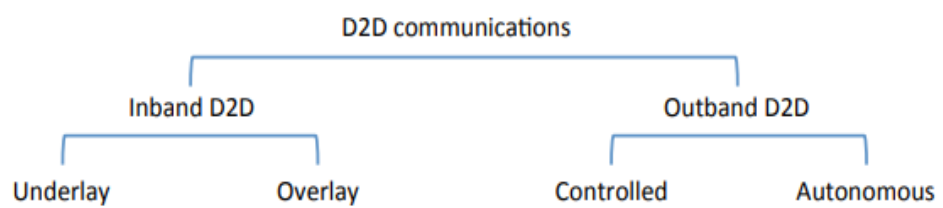
- Βελτιωμένη φασματική αποδοτικότητα.
- Βελτιωμένη ρυθμαπόδοση.
- Ενεργειακή αποδοτικότητα, εφόσον οι επικοινωνούντες συσκευές είναι κοντά, όποτε μπορεί να ρυθμιστεί μικρότερη ισχύς.
- Χαμηλή καθυστέρηση εφόσον δεν χρειάζεται relaying μέσω του σταθμού βάσης.
- Υψηλός τοπικός ρυθμός δεδομένων.
- Μείωση του φόρτου της κίνησης στον κεντρικό σταθμό βάσης.
- Συνύπαρξη περισσότερων ταυτόχρονων χρηστών.
- Αυξημένη κυψελωτή χωρητικότητα. [16], [17]



Σχήμα 3.1: Σχήμα παραδοσιακής έναντι D2D επικοινωνίας. [14]



Σχήμα 3.2: Σχήμα 5G δικτύου με D2D. [15]



Σχήμα 3.3: Σχήμα κατηγοριοποίησης D2D επικοινωνιών. [14]

3.4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

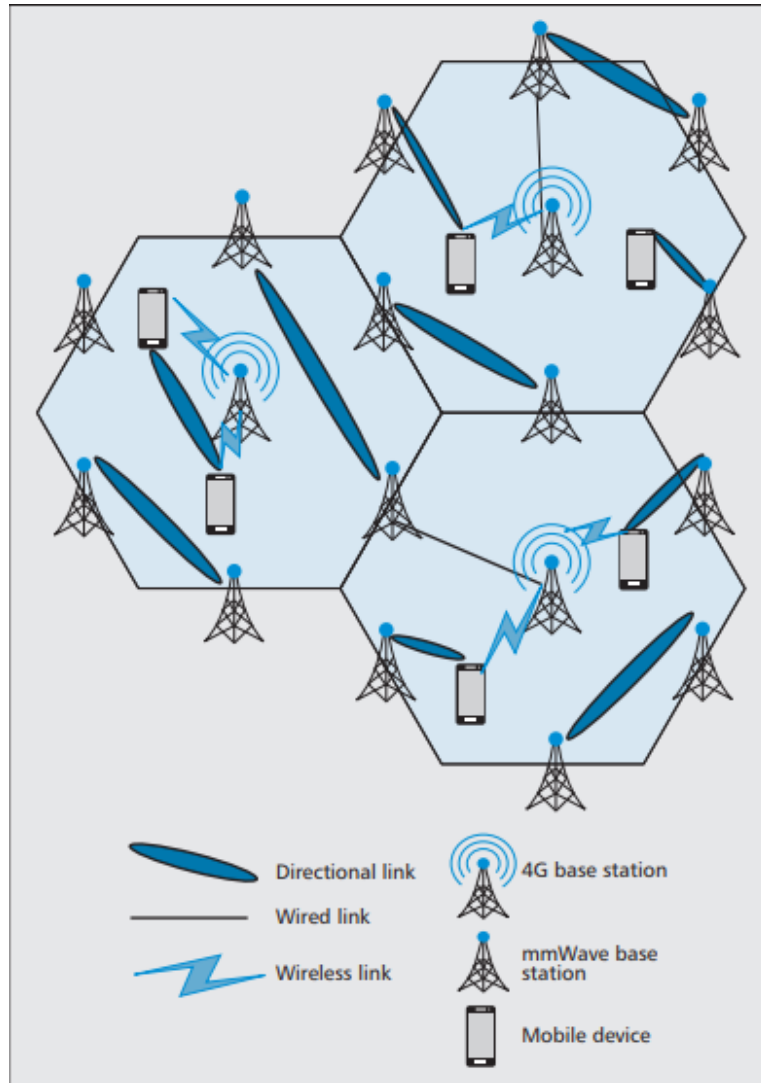
Στο μοντέλο που προτείνεται ο σταθμός βάσης, γνωστός και ως eNB λειτουργεί ως ελεγκτής(controller) για την D2D επικοινωνία και ως εκ τούτου, είναι υπεύθυνος για τα ακόλουθα: το D2D RA(Resource Allocation), δηλαδή την ανάθεση των πόρων του συστήματος στις συσκευές των χρηστών του δικτύου και το PC(Power Control), δηλαδή τον έλεγχο της ισχύος του συστήματος. Επίσης, ο σταθμός βάσης είναι και υπεύθυνος τόσο για την ανακάλυψη όσο και για τον και συντονισμό των D2D κόμβων του συστήματος, δηλαδή αυτών με την δυνατότητα D2D επικοινωνίας. Ενδεχομένως, η δυνατότητα D2D επικοινωνίας παρέχεται σε όλα τα UEs(User Equipments) του δικτύου. Ωστόσο, στο εξής, για να απλοποιήσουμε την περιγραφή μας, τα UE που εφαρμόζουν το σχέδιο D2D θα αναφέρονται ως eUE (enhanced UE).

Παρόμοια με τα κλασικά UEs, τα eUE απαιτούν πόρους για επικοινωνίες D2D από τον σταθμό βάσης eNB. Για κάθε ένα από αυτά τα αιτήματα D2D επικοινωνίας, ο eNB εκκινεί μια διαδικασία ομαδικής ανακάλυψης (peer discovery), ενώ μόνο τα έγκυρα ζεύγη D2D (με επιτυχημένη διαδικασία ανακάλυψης) εξετάζονται για τις διαδικασίες D2D Resource Allocation και Power Control που προαναφέρθηκαν. Στο D2D Resource Allocation ο eNB ενημερώνει τόσο τον πομπό D2D όσο και τον δέκτη για την ανάθεση των πόρων, συντονίζοντάς τους στους κατανεμημένους πόρους συχνότητας. Ωστόσο, αυτός ο συντονισμός απαιτεί από το eNB να γνωρίζει την ταυτότητα του D2D δέκτη. Αναγνωριστικά, όπως οι διευθύνσεις IP προορισμού ή οι ταυτότητες προορισμού IMSI/S-TMSI (International-/Subscriber-Temporary Mobile Subscriber Identity), ή άλλες (π.χ. διευθύνσεις SIP), δεν είναι διαθέσιμες τοπικά στον σταθμό βάσης eNB και επομένως, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς τη συμμετοχή του κεντρικού δικτύου. Έτσι, απαιτείται η εισαγωγή μιας νέας ταυτότητας για κάθε eUE. Όπως εξηγήθηκε αργότερα, αυτή η νέα ταυτότητα δημιουργείται από κάθε eUE κατά την αρχική του πρόσβαση στο δίκτυο και οποιαδήποτε συσκευή μετάδοσης eUE έχει τη δυνατότητα να παράγει την ταυτότητα D2D του eUE-στόχου. Όταν ένα eUE θέλει να δημιουργήσει μια σύνδεση D2D, η ταυτότητα D2D του eUE στόχου περιλαμβάνεται στο αίτημα πόρου D2D. Ο eNB που εξυπηρετεί, έχει μια αντιστοίχιση ένα προς ένα μεταξύ τυποποιημένων και D2D ταυτοτήτων, χρησιμοποιεί τις προηγούμενες ταυτότητες για να ενημερώσει τόσο τον πομπό όσο και τον δέκτη D2D για την κατανομή των πόρων.

Το προτεινόμενο μοντέλο D2D μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- Κάθε eUE παράγει την D2D ταυτότητά του και τη μεταδίδει στον eNB κατά την πρώτη του πρόσβαση στο δίκτυο.
- Οι eUE κάνουν αιτήματα για ανάθεση φάσματος D2D χρησιμοποιώντας την τυπική διαδικασία αιτήματος φάσματος, συμπεριλαμβανομένης, ωστόσο, της ταυτότητας D2D του D2D στόχου-δέκτη.
- Ο eNB δρομολογεί μια διαδικασία ομότιμης ανακάλυψης(peer discovery) για το ζητούμενο ζεύγος D2D.
- Ο eNB κατανέμει τους κυψελωτούς πόρους σε έγκυρα ζεύγη D2D (δηλαδή αυτά που ο ένας κόμβος έχει ανακαλύψει τον άλλον) και ενημερώνει και τους δύο ομότιμους D2D, συντονίζοντάς τους στο ίδιο τμήμα συχνοτήτων του φάσματος. Το D2D RA σε συνδυασμό με το PC εγγυάται την λειτουργία χωρίς παρεμβολές μεταξύ κυψελοειδούς και D2D συστήματος.
- Ο πομπός eUE στέλνει τα δεδομένα του χρησιμοποιώντας την περιοχή φάσματος(spectrum) που έχει εκχωρηθεί από τον eNB, ενώ ο δέκτης eUE συντονίζεται στην ίδια περιοχή φάσματος(spectrum) για να λάβει τα μεταδιδόμενα δεδομένα.
- Ο δέκτης eUE αναγνωρίζει τη λήψη (ή όχι) των δεδομένων μέσω του eNB ακολουθώντας τη συμβατική τυποποιημένη διαδικασία.

Το προτεινόμενο μοντέλο συστήματος απαιτεί βελτιωμένη λειτουργικότητα μόνο στο δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή στα τυπικά UE (αναβάθμιση σε eUE) και στους eNBs.



Σχήμα 3.4: Σχήμα προτεινόμενου μοντέλου.[15]

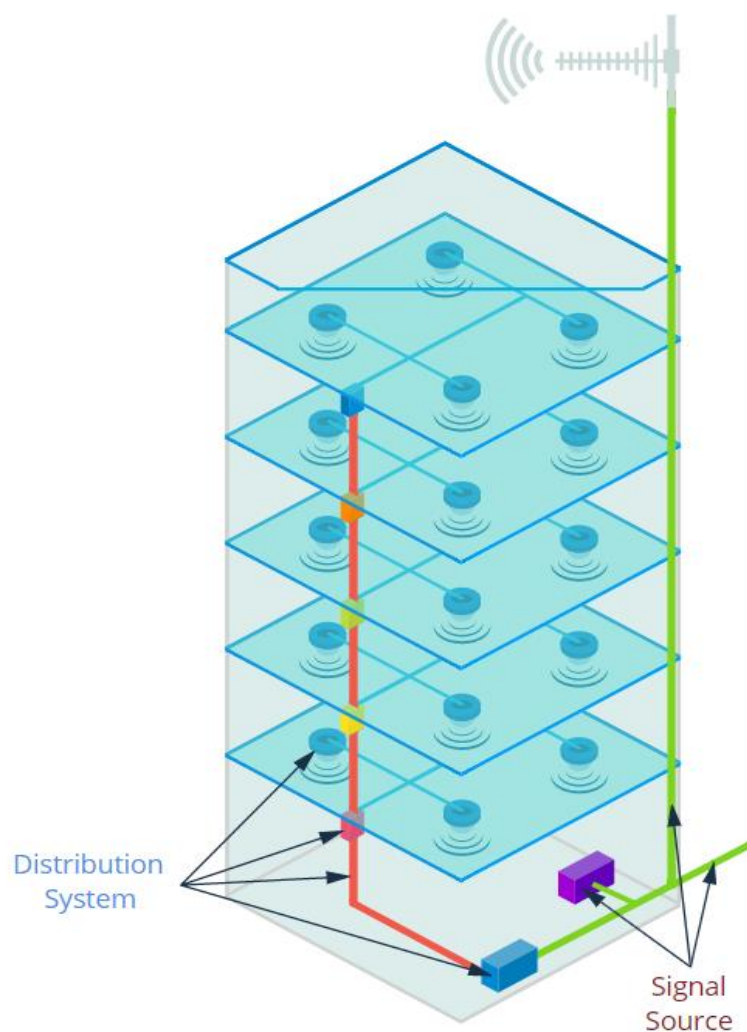
4. Distributed Antenna Systems (DAS)

Ένα καταναμημένο σύστημα κεραίας, αλλιώς γνωστό ως Distributed Antenna System ή DAS ,όπως υποδηλώνει και το όνομα του κατανέμει ένα σήμα, αλλά γενικώς δεν το παράγει.[26] Καθώς οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι θέλουν να υποστηρίξουν όλο και περισσότερους συνδρομητές με όλο και μεγαλύτερες απαιτήσεις για εύρος ζώνης και όχι μόνο, τα small cell δίκτυα, δηλαδή αυτά που χωρίζονται σε μικρότερες κυψέλες, γίνονται απαραίτητα για επαρκή κάλυψη και χωρητικότητα. Έτσι, οι πάροχοι στρέφονται στα DAS συστήματα για την υλοποίηση των μικρών κυψέλων που επιθυμούν. Η τεχνολογία αυτή υπάρχει εδώ και πάνω από 20 χρόνια αλλά οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας επιθυμούν να εφαρμόσουν τις τελευταίες τεχνολογίες DAS και ινών για να δημιουργήσουν πιο λιτές, οικονομικά αποδοτικές εφαρμογές.[27]

Πιο συγκεκριμένα, ένα καταναμημένο σύστημα κεραίας είναι ένα δίκτυο που χωρίζει κόμβους κεραίας, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το ίδιο μέσο μετάδοσης σε μία κτιριακή εγκατάσταση η σε μία περιοχή για την βελτίωση παραγόντων όπως η κάλυψη και η χωρητικότητα. Ένα καταναμημένο σύστημα κεραίας μπορεί να αναπτυχθεί σε εσωτερικούς χώρους (indoors-iDAS) ή σε εξωτερικούς χώρους (outdoors-oDAS). Η απόσταση μεταξύ των κεραίων είναι τέτοια ώστε να υπάρχει πλήρης κάλυψη χωρίς όμως επικάλυψη με άλλες κεραίες, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των κεραίων που απαιτούνται για την κάλυψη της κτιριακής εγκατάστασης ή της περιοχής. Αυτό το δίκτυο από κεραίες είναι επίσης αποδοτικό και όσον αφορά την ενέργεια σε σχέση με εκείνο όπου θα υπήρχε απλώς μια μεγάλη κεραία.[27]

Τα DAS συστήματα είναι ένας τρόπος για να αντιμετωπιστούν απομονωμένα σημεία ανεπαρκούς κάλυψης σε έναν γεωγραφικό χώρο ή σε ένα μεγάλο κτίριο, εγκαθιστώντας ένα δίκτυο σχετικά μικρών κεραίων για να έχουν τον ρόλο των επαναληπτών σήματος.[29] Επίσης, κάποιες τοποθεσίες παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη χρήση δεδομένων από κάποιες άλλες. Ένα στάδιο για παράδειγμα όπου φιλοξενείται κάποιο μεγάλο αθλητικό γεγονός ή μία συναυλία. Αν όλοι αυτοί οι θεατές χρησιμοποιήσουν τον παραδοσιακό πύργο κινητής τηλεφωνίας τότε το τοπικό δίκτυο θα υπερφορτωνόταν και θα γινόταν ασταθές πολύ γρήγορα. Σε αυτές τις περιπτώσεις ένα DAS δίκτυο είναι αυτό που χρειάζεται. Ένα καταναμημένο σύστημα κεραίας μπορεί να σχεδιαστεί για χρήση τόσο εσωτερική όσο και εξωτερική σε ξενοδοχεία, σταθμούς, αεροδρόμια, νοσοκομεία, επιχειρήσεις κ.α. Οι ασύρματες υπηρεσίες που τυπικώς παρέχονται από τα καταναμημένα συστήματα κεραίας περιλαμβάνουν PCS, κυψελωτές υπηρεσίες αστυνομίας, πυρκαγιάς και έκτακτης ανάγκης. [26]

Η κύρια ιδέα που υπάρχει για τα DAS δίκτυα είναι να διαχωριστεί η μεταδιδόμενη ισχύς, μεταξύ των διαφόρων στοιχείων κεραίας, και με μορφή κατανεμημένη στο χώρο, να παρέχουν κάλυψη πάνω από την ίδια περιοχή ως μία ενιαία κεραία, αλλά με μειωμένη συνολική ισχύ και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Μία ενιαία κεραία, που ακτινοβολεί σε υψηλή ισχύ αντικαθίσταται από μία ομάδα κεραιών χαμηλής ισχύος για να καλύψει την ίδια περιοχή. Η ιδέα αυτή, περιγράφεται σε ένα έγγραφο από τον Saleh το 1987. Αυτές οι κεραίες έχουν πρόσφατα χρησιμοποιηθεί από διάφορους φορείς παροχής υπηρεσιών σε πολλές περιοχές γύρω από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Το DAS, συχνά, χρησιμοποιείται σε σενάρια, όπου εναλλάσσονται τεχνολογίες και είναι ανέφικτο λόγω της μορφολογίας τους να οριοθετηθούν σε συγκεκριμένα όρια. Η ιδέα λειτουργεί, επειδή, λιγότερη ενέργεια σπαταλιέται, υπερνικούνται οι απώλειες διείσδυσης και σκίασης, και επειδή, ένα κανάλι line-of-sight υπάρχει πιο συχνά, οδηγώντας σε μειωμένα βάρη, συνεπώς, δεν ξεθωριάζει και αποφεύγεται η εξάπλωση της καθυστέρησης.[28]



Σχήμα 4.1: Σχήμα βασικής δομής DAS δικτύου.[42]

4.1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Το DAS είναι ένα σύστημα διαχειριζόμενων κόμβων και κεραιών που διανέμει ένα ασύρματο σήμα σε μια σειρά συνδεδεμένων εσωτερικών ή εξωτερικών πολλαπλών συχνοτικών ζωνών. Στην κεφαλή του DAS, οι πάροχοι υπηρεσιών τοποθετούν συνήθως τους σταθμούς βάσης για να παρέχουν το κυψελοειδές σήμα. Ένας κεντρικός κόμβος παίρνει αυτό το σήμα, το ψηφιοποιεί και το διανέμει σε άλλους κόμβους και ασύρματες κεφαλές μέσω ενός δικτύου οπτικών ινών υψηλού εύρους ζώνης. Στην κεραία, τα σήματα μετατρέπονται από ψηφιακό σε RF και RF σε ψηφιακό. Ψηφιοποιώντας το σήμα στην ίνα, το DAS μπορεί να μεταφέρει το σήμα σε πλήρη ισχύ σε οποιαδήποτε απομακρυσμένη κεραία που είναι συνδεδεμένη ανεξάρτητα από το πόσο μακριά βρίσκεται από τον κεντρικό κόμβο και τον σταθμό βάσης.

Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα παλαιότερα, αναλογικά συστήματα που μετέφεραν σήματα RF μέσω ομοαξονικής καλωδίωσης και των οποίων η απόδοση μειωνόταν ανάλογα με την απόσταση της απομακρυσμένης κεραίας από τον κεντρικό κόμβο. Τα DAS χρησιμοποιούνται σε προάστια πόλεων, αεροδρόμια, στάδια, κτίρια γραφείων και άλλους χώρους όπου οι πάροχοι υπηρεσιών πρέπει να βελτιώσουν την κάλυψη ή την χωρητικότητα του δικτύου τους. Εστιάζοντας το σήμα ενός σταθμού βάσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή μέσω των κεραιών, το DAS προσφέρει μεγαλύτερη χωρητικότητα και συνεπή κάλυψη στην περιοχή που εξυπηρετεί. Ορισμένα έργα DAS εκτείνονται για μίλια και υποστηρίζουν χιλιάδες συνδρομητές. Ακόμη, κεραίες DAS μπορούν να τοποθετηθούν σε λαμπτήρες, τηλεφωνικούς στύλους κλπ.[27]

Ένα καταναμημένο σύστημα κεραιών μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση παθητικών εξαρτημάτων όπως διαιρετών και τροφοδοτών, ή με ενισχυτές δραστικής επανάληψης, που μπορεί να συμπεριληφθούν για να ξεπεραστούν οι απώλειες τροφοδοσίας. Σε κάποια συστήματα, μπορεί να είναι επιθυμητό να εισαχθούν οι καθυστερήσεις μεταξύ των στοιχείων της κεραίας. Αυτό αυξάνει τεχνητά την επιβράδυνση του ρυθμού εξάπλωσης σε περιοχές των επικαλυπτόμενων καλύψεων, επιτρέποντας τη βελτίωση της ποιότητας μέσω της ποικιλομορφίας του χρόνου.[28]

Εάν μια δεδομένη περιοχή καλύπτεται από πολλά καταναμημένα στοιχεία κεραίας αντί για μία ενιαία κεραία, τότε η συνολική ακτινοβολούμενη ισχύς μειώνεται κατά περίπου ένα συντελεστή $N^{(1-n/2)}$ και η ισχύς ανά κεραία μειώνεται κατά ένα συντελεστή $N^{n/2}$, σε μία απλή υπόθεση απωλειών ισχύος σε μονοπάτι με εκθέτη απώλειας όδευσης n . Ως εναλλακτική λύση, η συνολική καλυμμένη επιφάνεια θα μπορούσε να παραταθεί για ένα δεδομένο όριο της ενεργούς ακτινοβολούμενης ισχύος, η οποία μπορεί να είναι σημαντική

για να εξασφαλιστεί η συμμόρφωση με τα όρια ασφαλείας για την ακτινοβολία στο ανθρώπινο σώμα. [28]

Ένα DAS αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία, μία πηγή σήματος και ένα σύστημα κατανομής (DS). Η πηγή σήματος αποτελεί την είσοδο στο δίκτυο DAS. Το δεύτερο μέρος ενός δικτύου DAS είναι το σύστημα διανομής. Μόλις ληφθεί το σήμα από την πηγή σήματος, πρέπει να διανεμηθεί. Υπάρχουν τέσσερις τύποι συστημάτων διανομής: ενεργό (χρησιμοποιώντας καλώδιο οπτικών ινών ή ethernet), παθητικό, υβριδικό και ψηφιακό.[30]

- Παθητικό DAS: Ένα παθητικό DAS χρησιμοποιεί παθητικά εξαρτήματα RF(Radio Frequency) όπως το κλασσικό ομοαξονικό καλώδιο ή διαιρέτες για τη διανομή σήματος μέσα σε ένα κτίριο.
- Ενεργό DAS: Ένα ενεργό σύστημα DAS μετατρέπει το αναλογικό σήμα RF από την πηγή σήματος σε ψηφιακό σήμα για διανομή. Μετά τη μετατροπή, αυτό το ψηφιακό σήμα μεταδίδεται μέσω καλωδίων οπτικών ινών ή Ethernet στα συστήματα κεραιών, τα οποία μετατρέπουν το σήμα σε αναλογικό και το μεταδίδουν σε όλο το κτίριο. Εδώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ενισχυτές.
- Υβριδικό DAS: Ένα υβριδικό σύστημα DAS χρησιμοποιεί καλώδια οπτικών ινών αλλά και ομοαξονικά καλώδια για τη διανομή του σήματος σε ένα κτίριο. Σε αυτό το σύστημα, το αναλογικό σήμα RF από την πηγή σήματος μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα για διανομή. Αυτό το ψηφιακό σήμα μεταδίδεται μέσω καλωδίων οπτικών ινών ή Ethernet σε μια απομακρυσμένη ασύρματη κεφαλή(RRU) εγκατεστημένη σε κάθε όροφο ενός κτιρίου. Στη συνέχεια, το RRU μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε αναλογικό σήμα RF. Αυτό το αναλογικό σήμα RF στη συνέχεια συνδέεται με πολλαπλές κεραιές στο δάπεδο με ομοαξονικά καλώδια και άλλα παθητικά εξαρτήματα.
- Ψηφιακό DAS: Αυτό το σύστημα λειτουργεί ώστε να επικοινωνεί απευθείας με τον κύρια κόμβο DAS χωρίς καμία μετατροπή σε αναλογική διεπαφή RF. [30]

Η DAS τεχνολογία απαιτείται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Γραφεία επιχειρήσεων.
- Πανεπιστημιακές εστίες.
- Παραγωγικές και κατασκευαστικές μονάδες.
- Νοσοκομεία και εγκαταστάσεις υγείας.
- Θρησκευτικά μνημεία όπως η Μέκκα.
- Καζίνο.
- Κέντρα εκδηλώσεων.
- Ξενοδοχεία.
- Ομοσπονδιακές ή κρατικές εγκαταστάσεις.[31]

4.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Το DAS προτάθηκε για πρώτη φορά σε ένα paper το 1987 από τον Saleh. Πριν την έλευση αυτής της πρότασης χρησιμοποιούνταν πομποί τούνελ και διαρροές τροφοδοτών για την παροχή ασύρματης λήψης σε σήραγγες, ορυχεία, στις γραμμές του μετρό, αλλά και σε άλλους εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Δηλαδή, δεν πρόκειται για κάτι νέο αλλά για μία τεχνολογία που υπάρχει εδώ και δεκαετίες. Οι ανάγκες όμως για μεγαλύτερη κάλυψη και χωρητικότητα στα δίκτυα κυρίως λόγω των smartphones είναι αυτές που την έχουν φέρει στην επικαιρότητα για την εξυπηρέτηση των νέων αναγκών.[34]

Ιστορικές ρυθμιστικές προκλήσεις ανακύπτουν τόσο σε ομοσπονδιακό, όσο και σε πολιτειακό και δημοτικό επίπεδο. Όμως, οι κανονισμοί εκδίδονται από το κράτος και σε ομοσπονδιακό επίπεδο. Κάποιες πηγές της βιομηχανίας, όπως το HetNet forum, ασχολούνται με ρυθμιστικά θέματα σε συνέδρια τους και παρουσιάζουν τα εκάστοτε αποτελέσματα στις αντίστοιχες ιστοσελίδες. Η πρώτη απόπειρα για πιο διαδεδομένη χρήση έγινε στο υπόγειο μετρό του Michigan. Η πρόσβαση εκεί ρυθμίζεται με βάση το σταθερό δίκτυο υποδομής με τρόπο, που υπόκειται σε κρατική ρύθμιση δια μέσου διοικητικής απόφασης. Αργότερα, στο Ohio η επιτροπή κοινής ωφέλειας αποφάσισε για την ορθή χρησιμότητά του τον Αύγουστο του 2014.[34]

Ο Allen Noguee, αναλυτής της In-Stat δήλωσε για το DAS ότι «Χρησιμοποιείται για να γεμίσει τα κενά που οι μεγάλες κυψέλες ίσως δεν φτάνουν, αλλά προχωρώντας θα αντικαταστήσει πολλές μεγάλες κυψέλες σε πολλές περιπτώσεις όπου απαιτούν μεγάλη χωρητικότητα». Είπε ακόμη πως σήμερα, υπάρχουν οκτώ ή εννέα παίκτες που δραστηριοποιούνται στο τομέα της DAS αγοράς, συμπεριλαμβανομένων των ADC, NextG, Newpath Networks και άλλων μεγαλύτερων επιχειρήσεων, όπως η American Tower και η

Crown Castle. Όλοι αυτοί προσπαθούν να καλύψουν τις ανάγκες των πάροχων, που θέλουν να φέρουν το σήμα τους πιο κοντά στο σημείο, όπου πραγματικά είναι οι χρήστες και να προσφέρουν υπηρεσίες χωρίς διακοπές.

Η Connie Durcsak, στέλεχος της PCIA, είπε πως «Το DAS χρησιμοποιείται κυρίως ως “μια χειρουργική λύση” για τη βελτίωση της κάλυψης σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αλλά, η μηχανική του δικτύου για την ενίσχυση της κάλυψης του γίνεται εξίσου σημαντική. Η συγκεκριμένη ανάγκη έχει εξελιχθεί από την ανάγκη ανάπτυξης σε μια ανάγκη μηχανικής διαχείρισης», δήλωσε η Durcsak, η οποία είναι εκτελεστικός διευθυντής του Φόρουμ DAS μέσα στην PCIA, στον ασύρματο κλάδο των υποδομών της εμπορικής ομάδας της επιχείρησης. «Η αγορά του DAS είναι ακόμα εν τη γενέσει της, και δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία σχετικά με το πόσο μεγάλη είναι». Η Durcsak, είπε επίσης, ότι στην PCIA δεν παρακολουθούνται ακριβή αριθμητικά στοιχεία, επειδή, είναι δύσκολο να εντοπιστούν οι διαφορές μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών συστημάτων DAS». Ωστόσο, πρόσθεσε ότι η βιομηχανία αυτή «πιθανώς να εξελιχθεί ραγδαία.»

Ο Dave Cutrer, CEO της NextG, που είναι ένας υπαίθριος DAS πάροχος, δήλωσε ότι «Μέχρι τα τελευταία πρόσφατα χρόνια, ήταν μία εξειδικευμένη αγορά. Οι πάροχοι χρησιμοποιούσαν την τεχνολογία αυτή για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων.» Ακόμη, ο Cutrer έκανε λόγο ότι η αγορά για το υπαίθριο DAS είναι πιθανώς, μια αγορά \$500 εκατομμύριων. Τέλος, ο Tony Lefebvre, διευθυντής της ADC, για τη διαχείριση προϊόντων για προϊόντα DAS εξωτερικού χώρου, είπε πως η αγορά είναι κατά πάσα πιθανότητα μεταξύ \$400 εκατομμυρίων και \$450 εκατομμυρίων όσον αφορά τα DAS εξωτερικού χώρου.[35]

Η παγκόσμια αγορά DAS εκτιμήθηκε σε \$7,9 δισεκατομμύρια το 2020 και αναμένεται να φτάσει τα \$10,7 δισεκατομμύρια έως το 2025 σε έναν ρυθμό ετήσιας ανάπτυξης 6,2%. Ο αντίκτυπος του COVID-19 στη συνολική αγορά DAS ποικίλλει μέχρι τώρα. Οι εμπορικοί κλάδοι όπως οι δημόσιοι χώροι, τα αεροδρόμια ή τα κέντρα φιλοξενίας έχουν επηρεαστεί αρνητικά, ενώ οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης και οι οργανισμοί δημόσιας ασφάλειας έχουν επηρεαστεί λιγότερο. Πολλά νοσοκομεία σε όλο τον κόσμο βλέπουν αύξηση ρεκόρ στον όγκο των ασθενών και η επικοινωνία μέσω ψηφιακών πλατφορμών επιτρέπει το social distancing. Για παράδειγμα, το Mercy Hospital που βρίσκεται στην Οκλαχόμα(ΗΠΑ) με έκταση 228.000 τ.μ εγκατέστησε το QUATRA DAS της Celat Fi για να βελτιώσει την εσωτερική του συνδεσιμότητα. Τον Απρίλιο του 2020, ακολούθησε το Hatcher Station Health Clinic, μέρος του Parkland Health and Hospital με βάση το Ντάλας (ΗΠΑ), με έκταση 43.000 τετραγωνικά πόδια. Ομοίως, τον Νοέμβριο του 2019, το Παιδικό

Νοσοκομείο CHOC (Καλιφόρνια, ΗΠΑ) ανέπτυξε ένα παθητικό σύστημα DAS για την βελτίωση της κάλυψης στην πανεπιστημιούπολη 450.000+ τετραγωνικών μέτρων.

Η Βόρεια Αμερική είναι μια από τις τεχνολογικά προηγμένες περιοχές στον κόσμο. Οι καταναλωτές που εδρεύουν σε αυτήν την περιοχή διαθέτουν smartphones με δυνατότητα 4G, τα οποία την έχουν καθιερώσει ως μια από τις πιο πυκνές περιοχές στον κόσμο με προηγμένα κινητά τηλέφωνα. Σύμφωνα με την έκθεση φορητότητας της Ericsson που δημοσιεύθηκε το 2019, η Βόρεια Αμερική καταγράφει την υψηλότερη χρήση smartphone και η κίνηση ανά smartphone αναμένεται να φτάσει τα 45 GB έως το τέλος του 2025. Ο αυξανόμενος αριθμός συνδρομητών στο διαδίκτυο, η επέκταση της κίνησης δεδομένων κινητής τηλεφωνίας και η αυξανόμενη έμφαση των κυβερνητικών γραφείων για την ενίσχυση της τηλεπικοινωνιακής υποδομής για την κάλυψη της ζήτησης των χρηστών για αδιάλειπτη συνδεσιμότητα θα οδηγήσει την αγορά DAS στην περιοχή. Η περιοχή αναμένεται επίσης να είναι η πρώτη που υιοθετεί τις υπηρεσίες 5G σε τομείς όπως AR ή VR, αυτόνομη οδήγηση και τεχνητή νοημοσύνη.

Η αγορά DAS κυριαρχείται από μερικούς παγκοσμίως καθιερωμένους παράγοντες όπως οι CommScope (ΗΠΑ), Corning (ΗΠΑ), Axell Wireless (UK), Comba Telecom (Κίνα) και SOLiD Technologies (Νότια Κορέα). Αυτές οι εταιρείες επικεντρώνονται στην υιοθέτηση στρατηγικών ανάπτυξης, όπως συνεργασίες, επεκτάσεις και νέες εκκινήσεις προϊόντων για την ενίσχυση της θέσης τους στην αγορά. Κάποιες από αυτές αναφέρονται παρακάτω. Για παράδειγμα τον Ιούλιο του 2020, η Boingo Wireless κέρδισε τα ασύρματα δικαιώματα στο νέο γήπεδο του αμερικανικού πρωταθλήματος ποδοσφαίρου που βρίσκεται υπό κατασκευή στο Ώστιν του Τέξας. Η εταιρεία θα σχεδιάσει, θα εγκαταστήσει και θα συντηρήσει δίκτυα κινητής τηλεφωνίας DAS και Wi-Fi σε όλο το γήπεδο, για να παρέχει μια υψηλά συνδεδεμένη εμπειρία.[36]

4.3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ/ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Ένα DAS δίκτυο περιλαμβάνει πλεονεκτήματα, μερικά από τα πιο σημαντικά συνοψίζονται παρακάτω:

- Το DAS είναι ένα επεκτάσιμο δίκτυο που μπορεί να ικανοποιήσει μελλοντικές απαιτήσεις χωρητικότητας ή πρόσθετες υπηρεσίες και φορείς, προσθέτοντας επιπλέον κόμβους.
- Το DAS μπορεί να ανταποκριθεί στη δυναμική της αγοράς, στις αλλαγές αρχιτεκτονικής εξοπλισμού αλλά και στις νέες τεχνολογίες.
- Το DAS μπορεί να ευθυγραμμίσει στενά την ικανότητα με τις πραγματικές απαιτήσεις της αγοράς, διαχειρίζοντας τους διαθέσιμους πόρους συχνοτήτων.
- Η αρχιτεκτονική DAS παρέχει κάλυψη σε περιοχές που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με παραδοσιακούς τρόπους.
- Το DAS μειώνει τις παρεμβολές μέσω κόμβων χαμηλής ακτινοβολίας και χαμηλότερης ισχύος εξόδου.
- Το φάσμα συχνοτήτων χρησιμοποιείται αποτελεσματικά μέσω πολλαπλών σημείων μετάδοσης χαμηλής ισχύος.
- Ορίζεται υψηλότερη κάλυψη.
- Παρέχεται αύξηση της χωρητικότητας.
- Τα νεκρά σημεία κάλυψης εντός των κτιρίων εξαλείφονται.
- Βοηθάει στη βελτίωση της ταχύτητας της επικοινωνίας χρησιμοποιώντας MIMO τεχνικές.
- Παρέχεται καλύτερη απόδοση δεδομένων, δεδομένης της ισχύος σήματος και της εγγύτητας των σημείων μετάδοσης στον εξοπλισμό χρήστη.
- Οι αποτυχίες πρόσβασης στο δίκτυο είναι λιγότερες.

Παράλληλα όμως υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα τα οποία θα πρέπει να αντιμετωπιστούν:

- Υψηλότερο κόστος ως αποτέλεσμα της πρόσθετης υποδομής που απαιτείται.
- Η πιθανά μεγαλύτερη οπτική επίδραση για μερικές εφαρμογές, ως αποτέλεσμα του μεγαλύτερου αριθμού των κεραιών, αν και είναι πιθανό να είναι πολύ χαμηλότερη σε ύψος.
- Η τεχνολογία DAS απαιτεί σύνθετη εργασία διαχείρισης καλωδίων. [26],[31],[32],[33]



Σχήμα 4.2: Ένας βασικός DAS κόμβος.[34]

4.4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το DAS είναι ένα δίκτυο από κεραιές-κόμβους που συνδέονται με ένα κοινό μέσο, κατανεμημένες σε ένα κτίριο ή μία περιοχή, έτσι ώστε να βελτιώσουν την απόδοση του δικτύου. Η απόσταση μεταξύ των κεραιών είναι τέτοια έτσι ώστε κάθε μία να δίνει πλήρης κάλυψη, χωρίς οι κεραιές να καλύπτουν η μία την άλλη. Αυτό το δίκτυο κεραιών είναι και πιο αποδοτικό όσον αφορά την ενέργεια σε σύγκριση με μία μεγάλη κεραιά που καλύπτει κάποια περιοχή. Επιπρόσθετα, το DAS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χρήση τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους.[37]

Μια τυπική λύση DAS αποτελείται από έναν κεντρικό ασύρματο εξοπλισμό ή κεφαλής, απομακρυσμένους κόμβους επικοινωνίας και ένα δίκτυο μεταφοράς υψηλής χωρητικότητας, συνήθως οπτικών ινών για τη σύνδεση των κόμβων με τον κεντρικό εξοπλισμό. Οι κεραιές διανέμονται σε ολόκληρη την εγκατάσταση και συνδέονται στους

απομακρυσμένες κόμβους μέσω ομοαξονικού καλωδίου (αν και υπάρχουν και άλλες διαθέσιμες επιλογές μέσω καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών ή οπτικές ίνες).[38]

Το DAS σύστημα που προτείνεται είναι αυτό από το [39] και περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

- Έναν αριθμό από κόμβους επικοινωνίας, καθένας από τους οποίους περιέχει τουλάχιστον μία κεραία για την εκπομπή και μία άλλη για τη λήψη ενός ασύρματου δικτύου. Ανάλογα με τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική και το περιβάλλον, είναι πιθανό να συμπεριλαμβάνεται επιπρόσθετος εξοπλισμός, εκτός από τις κεραίες, όπως ενισχυτές, κεφαλές, μετατροπείς σήματος και παροχές ισχύος. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται ότι υπάρχουν δύο τουλάχιστον κεραίες.
- Ένα μέσο μετάδοσης σήματος υψηλής συχνότητας, -συνήθως επιδιώκεται η χρήση οπτικής ίνας, αλλά συχνά, ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν πιο οικονομικές λύσεις λόγω αυξημένου κόστους της ίνας,- που επιτρέπει την επικοινωνία των επί μέρους κόμβων με ένα κεντρικό.
- Πομποδέκτες ή άλλος εξοπλισμός, που βρίσκεται στον κεντρικό σταθμό και εκπέμπει ή μετατρέπει τις διαδικασίες ή σε άλλες περιπτώσεις, ελέγχει τα μεταδιδόμενα σήματα επικοινωνίας. Ένα βασικό σύστημα DAS περιλαμβάνει δύο κεραίες και δύο τροφοδότες. Ένα DAS εσωτερικού χώρου, επίσης, περιλαμβάνει δύο κεραίες μία για τη λήψη και μία για την μετάδοση ενός παρόχου ασύρματων υπηρεσιών σήματος RF. Σε κάθε λήψη υπάρχει, επίσης, ένας παθητικός τροφοδότης. Είναι πιθανό να επεκταθεί η βασική δομή DAS σε πολύ μεγάλα κτήρια ή εγκαταστάσεις, προσθέτοντας περισσότερα υποσυστήματα στο κτήριο. Όσο μεγαλύτερο το κτήριο, τόσο περισσότερα πρέπει να είναι και τα υποσυστήματα, που θα προστεθούν. Σε κάθε όροφο του κτηρίου περιλαμβάνεται μία εσωτερική κεραία και επίσης, συνδέεται μία εξωτερική κεραία με μεγάλη ποικιλία διαχωριστών και ενισχυτών, που αναδιανέμουν το φάσμα, το οποίο αποστέλλεται από τον πάροχο δικτύου.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Για την παρουσίαση μίας τεχνολογίας και κατ'επέκταση την χρήση της από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους για το ευρύ κοινό, δεν αρκεί μόνο η παρουσίαση πρωτοκόλλων, αρχιτεκτονικών ή η παράθεση πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Θα πρέπει να παρουσιαστεί επαρκώς και αναλυτικά ένα οικονομικό μοντέλο μέσα από μαθηματικούς τύπους, έτσι ώστε να υπολογιστεί το κόστος της εκάστοτε τεχνολογίας για την υιοθέτηση της από κάποια πόλη της Ευρώπης. Η ανάλυση κόστους με την χρήση οικονομικών μοντέλων είναι μία μέθοδος για την σύγκριση των καθαρών αναμενόμενων οφελών από διαφορετικές τεχνολογίες. Το μέγιστο καθαρό κέρδος γίνεται αν από τα οφέλη αφαιρεθεί το κόστος, δηλαδή **μέγιστο καθαρό κέρδος=όφελος-κόστος**. Αυτός είναι και ένας σημαντικός παράγοντας που μία κυβέρνηση ή κάποιος τηλεπικοινωνιακός πάροχος λαμβάνει υπόψη για την υλοποίηση κάποιου έργου.

Το κόστος χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: κεφαλαιακή δαπάνη ή CAPEX και λειτουργική δαπάνη ή OPEX. Το CAPEX αφορά τα χρήματα που ξοδεύονται για την εγκατάσταση του νέου εξοπλισμού, την τοποθεσία κλπ. Αντίθετα, το OPEX αφορά το επαναλαμβανόμενο κόστος που έχει να κάνει με συντήρηση ή δραστηριότητες όπως η κατανάλωση ρεύματος κλπ. Οι δύο αυτές διαφορετικές μορφές κόστους διαφέρουν θεμελιωδώς. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται μία μεθοδολογία που έχει χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες μελέτες όπως στις [23], [24], [25]. Σύμφωνα με αυτή η εκτίμηση για τα OPEX και CAPEX γίνεται σε ετήσια βάση. Γίνεται αντιληπτό ότι όσον αφορά το OPEX ο υπολογισμός αυτός είναι εύκολος, αφού αφορά στα χρήματα, που δαπανώνται ετησίως για τη λειτουργία και την συντήρηση του συνολικού έργου. Από την άλλη μεριά, το CAPEX είναι ένα κόστος, που πρέπει να βασιστεί σε υπόθεση, εφόσον, αποτελεί το δαπανώμενο κεφάλαιο και σχετίζεται έντονα με φαινόμενα τραπεζικής, που έχουν να κάνουν με μετοχές και ενδεχομένως, κυμαινόμενο επιτόκιο. Άρα το CAPEX είναι η εκτίμηση για το ετήσιο κόστος, που επιτυγχάνεται με τη μορφή δανείων. Στη συνέχεια, το αντίστοιχο ετήσιο κόστος είναι το αποτέλεσμα του υπολογισμού των ετήσιων πληρωμών δόσης, που αντιστοιχεί στην εξόφληση του δανείου αυτού.. Σε γενικές γραμμές, υποτίθεται ότι για ένα δάνειο, υπάρχει ένα μεγάλο, κύριο ποσό P , που επιστρέφεται σε ετήσια βάση. Στη συνέχεια, το αντίστοιχο ποσό εξισώνεται σε ετήσια δόση πληρωμής, εκπροσωπούμενη από τον παράγοντα A . Αυτό το ποσό της επαναλαμβανόμενης πληρωμής μπορεί να εκφραστεί ως εξής: $A = P \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ (1), όπου το r αναπαριστά το περιοδικό επιτόκιο, το οποίο τίθεται για την αποπληρωμή του δανείου και το n αναπαριστά τον αριθμό των πληρωμών, όπως για παράδειγμα το μέγεθος του σχεδίου επενδύσεων σε έτη, όπου στην εν λόγω ανάλυση θεωρείται φυσιολογικό η

συγκεκριμένη χρονική περίοδος να τεθεί ως τα 10 χρόνια. Το Total Cost of Ownership (TCO) είναι η συνολική δαπάνη, που καλείται κανείς να μπορεί να εκπληρώνει, ώστε να μπορεί να εγκαθιστά, να επενδύει, να συντηρεί το σύστημα, που επιδιώκει να χρησιμοποιεί.

5.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ D2D

Οι κεφαλαιακές δαπάνες ή CAPEX είναι οι δαπάνες, που πραγματοποιούνται, όταν μία επιχείρηση αγοράζει πάγια στοιχεία του εξοπλισμού ή για την αγορά κάποιου περιουσιακού στοιχείου με διάρκεια ζωής, που εκτείνεται πέρα από το τρέχον φορολογικό έτος.[23] Αφορούν χρήματα που έχουν να κάνουν με την αγορά και την εγκατάσταση του νέου εξοπλισμού και υποδομών. Αλλά αφορούν και χρήματα που έχουν να κάνουν με την βελτίωση της ήδη υπάρχουσας υποδομής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, περιλαμβάνουν το κόστος για την αγορά του απαραίτητου δικτυακού εξοπλισμού, όπως είναι οι κεραίες 5G για την τοποθέτησή τους στο υπάρχον 4G+ δίκτυο. Άρα γίνεται αντιληπτό ότι το κεφαλαιακό κόστος επιβαρύνει μόνο τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο. Προφανώς, οι συσκευές που θα παρέχουν την δυνατότητα D2D επικοινωνίας, αλλιώς αναφερόμενες ως eUEs, δεν επιβαρύνουν τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο, αλλά τους ίδιους τους χρήστες. Το CAPEX επικεντρώνεται στον προϋπολογισμό ενός δικτυακού και τηλεπικοινωνιακού δικτύου, που επενδύεται για να αποκτηθεί και να υλοποιηθεί νέος εξοπλισμός, θέση, κλπ. , όπως προαναφέρθηκε, αλλά κι ένα επιπλέον κόστος. Το κόστος, το οποίο απαιτείται επιπλέον εξασφαλίζει χρήματα, τα οποία επενδύονται, ώστε να αναβαθμίζονται οι υπάρχουσες υποδομές.

Το κόστος εγκατάστασης για τους BS κόμβους παράλληλα με το δίκτυο πυρήνα, επομένως ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία. Άρα, η αξιολόγηση του κεφαλαιακού κόστους μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη εξίσωση: $C_{ENB} + C_{EPC}$. Η ποσότητα C_{EPC} περιλαμβάνει κάθε κόστος, το οποίο σχετίζεται με το δίκτυο κορμού. Η ποσότητα C_{ENB} παριστάνει τα κόστη για κάθε κόμβο eNB του δικτύου, αλλά και κάθε πιθανό επιπρόσθετο κόστος. Επομένως, για N συνολικά κόμβους στου δίκτυο και δεδομένου ότι η εκτίμηση κεφαλαιακού κόστους πρέπει να γίνεται ετησίως, σύμφωνα με τον τύπο **(1)** η εκτίμηση για το κόστος κεφαλαίου σε ετήσια βάση δίνεται από την εξής εξίσωση:

$$C_{BS}^{CX} = (N \times C_{ENB} + C_{EPC}) \times \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (2),$$

όπου n είναι η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης σε έτη και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο.

Ακόμα, είναι πιθανό να εισαχθεί μία σταθερά C_{eq} για την υποστήριξη του συστήματος. Η C_{eq} αφορά τον εξοπλισμό που απαιτείται να υπάρχει σε κάθε σταθμό βάσης, έτσι ώστε να λειτουργεί και ως ελεγκτής ολόκληρης της διαδικασίας της D2D επικοινωνίας

και να παρέχει όλη την λειτουργικότητα που απαιτείται για την πραγματοποίησή της, αλλά να εκπέμπει και στο mmWave φάσμα. Έτσι, η εκτίμηση για τον υπολογισμό του CAPEX σε ετήσια βάση χρήση της εξίσωσης (1) , δίνοντας την πιο κάτω σχέση: $C^{cx}_{5GEQ} = C_{eq}N \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ (3), όπου C^{cx}_{5GEQ} είναι το συνολικό κόστος του κεφαλαίου, που απαιτείται ετησίως για τον τον εξοπλισμό των κεραιών στους κόμβους του συστήματος, η η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο. Το συνολικό κόστος CAPEX είναι το άθροισμα των επιμέρους, δηλαδή του κόστους για το σταθμό βάσης, καθώς και το κόστος για τις κεραιές και τον υποστηρικτικό εξοπλισμό, αφού αυτά είναι τα στοιχεία, που πρέπει να έχει κανείς για να ξεκινήσει το σύστημά του και όπως αναφέρθηκε στην αρχή, εμπλέκονται με τον υπολογισμό του διατεθειμένου κεφαλαίου. Συνεπώς, το συνολικό κεφάλαιο, αξιοποιώντας τις εξισώσεις (1), (2), (3) δίνεται από την εξίσωση:

$C^{cx}_{5G} = C_{BS}^{CX} + C^{cx}_{5GEQ} = [NC_{ENB} + C_{EPC} + C_{eq}N] \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ (4), όπου το C^{CX}_{5G} αποτελεί το συνολικό ετήσιο κεφαλαιακό κόστος για το δίκτυο 5G, η η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο.

Οι λειτουργικές δαπάνες περιλαμβάνουν τα κόστη που έχουν να κάνουν με τις ημέρα με την ημέρα δραστηριότητες, αλλά και δραστηριότητες σχετικές με την συντήρηση. Υπάρχουνε κόστη για την ενέργεια, την υποστήριξη εντός και εκτός τοποθεσίας και την συντήρηση που εκφράζονται από τη σταθερά C_{run} και κόστη για την καλωδίωση που εκφράζονται με την C_{bh} .

Έτσι, το OPEX κόστος, για τους σταθμούς βάσης του συστήματος, δίνεται από την εξίσωση : $C_{5GBS}^{OX} = N(C_{run} + C_{bh}) = (B + D)(C_{run} + C_{bh})$ (5) , όπου C_{5GBS}^{OX} , οι λειτουργικές δαπάνες για τους N σταθμούς βάσης, C_{run} υποδηλώνει το ετήσιο κόστος για τη λειτουργία, όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας του σταθμού βάσης, η υποστήριξη και η συντήρηση του σταθμού, ενώ το C_{bh} εκφράζει το κόστος καλωδίωσης, που είναι γραμμικά ανάλογο με το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης. Το εύρος ζώνης δίνεται από την παράμετρο BW , ενώ το κόστος δίνεται από μία σχετιζόμενη γραμμική σταθερά f_{BW} , η οποία σχετίζει το καταβαλλόμενο ποσό με το διαθέσιμο εύρος ζώνης, έτσι το συνολικό κόστος, λόγω της κατάληψης του εύρους ζώνης είναι $f_{bw}BW$. Ακόμη, κόστη που έχουν να κάνουν με την συντήρηση της τοποθεσίας μπορούν να εκφραστούν από την σταθερά cst . Επειδή υπάρχουν N συνολικά σταθμοί βάσης, το NC_{st} εκφράζει τα συγκεκριμένα κόστη για όλους τους σταθμούς. Οπότε έχουμε: $C_{5GBS}^{OX} = (NC_{ENB} + C_{EPC})(C_{run} + C_{bh}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + NC_{st} + f_{BW}BW$ (6).

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (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. Είναι μια λογιστική αντίληψη της διαχείρισης, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήρη λογιστική ανάπτυξη κόστους ή ακόμα, και οικολογικής οικονομίας, όπου σε εκείνη την περίπτωση, περιλαμβάνεται το κοινωνικό κόστος.[43] Έτσι, το συνολικό κόστος για το σύστημα, με βάση την εξίσωση (1) και σύμφωνα με τις αναλύσεις για τα επιμέρους κόστη δίνεται από την εξίσωση: $C_{5G}^{TCO} = C_{5G}^{CX} + C_{5GBS}^{OX} = C_{BS}^{CX} + C_{5G}^{CX} = [NC_{ENB} + C_{EPC} + C_{eqN}] \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + (NC_{ENB} + C_{EPC})(C_{run} + C_{bh}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + NC_{st} + f_{BW}BW$ (7)

5.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ DAS

Όσον αφορά τις κεφαλαιακές δαπάνες για το DAS αυτές περιλαμβάνουν το κόστος για την αγορά του απαραίτητου δικτυακού εξοπλισμού, όπως κεραιές, τροφοδότες, κλπ. Σε αυτή την περίπτωση, το κόστος του κεφαλαίου επιβαρύνει μόνο τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο. Το CAPEX επικεντρώνεται στον προϋπολογισμό ενός δικτυακού και τηλεπικοινωνιακού δικτύου, που επενδύεται για να αποκτηθεί και να υλοποιηθεί νέος εξοπλισμός, θέση, κλπ, αλλά κι ένα επιπλέον κόστος. Το κόστος, το οποίο απαιτείται επιπλέον εξασφαλίζει χρήματα, τα οποία επενδύονται, ώστε να αναβαθμίζονται οι υπάρχουσες υποδομές. Στη βιβλιογραφία, για τις ασύρματες επικοινωνίες, που βασίζονται σε DAS συστήματα, έχει αναλυθεί ότι περιλαμβάνονται τα κόστη, τα οποία σχετίζονται με τα εξής στοιχεία: [40], [41]

- Με το σταθμό βάσης (BS),
- Με το καταμεμημένο σύστημα (Distributed System-DS), όπως απομακρυσμένες κεραιές, με το διαχωριστή τροφοδοσίας, με το συνδυαστικό κύκλωμα ευρείας ζώνης, με το ομοαξονικό καλώδιο, με το σύνδεσμο καλωδίων κλπ,
- Με το συνολικό εξοπλισμό, καθώς και με το κόστος εξοπλισμού,
- Με τον εξοπλισμό υποστήριξης, που περιλαμβάνει, τον εξοπλισμό υποστήριξης στον τοίχο, τα καλώδια τροφοδοσίας ρεύματος, τη μπαταρία, το σύστημα συναγερμού, κλπ.

Ως αποτέλεσμα, πριν τον υπολογισμό του συνολικού κόστους κεφαλαίου (CAPEX) για το DAS, είναι σημαντικό να υπολογιστεί το κόστος για ένα μόνο κόμβο eNB, ο οποίος είναι ο βασικός DAS κόμβος. Η αξιολόγηση του κόστους είναι άμεση, εφόσον, αποτελείται από το κόστος του εξοπλισμού για το δίκτυο και συνεπώς, μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη

εξίσωση: $C_{eNB} + C_{EPC}$. Οι εμπλεκόμενες ποσότητες C_{eNB} και C_{EPC} παριστάνουν τα κόστη για τον κόμβο eNB και EPC (Evolved Packet Core) αντίστοιχα, που αποτελούν τα στοιχειώδη τμήματα του LTE-A δικτύου κορμού για το συγκεκριμένο σύστημα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος C_{eNB} εκτός από τα κόστη, που σχετίζονται με τον eNB εξοπλισμό και την υλοποίηση του τμήματος αυτού, επίσης, περιλαμβάνει κάθε πιθανό επιπρόσθετο κόστος, όπως για παράδειγμα, για την απόκτηση και κατασκευή του συστήματος, καθώς και κάθε κόστος, που σχετίζεται με την καλωδίωση για το eNB. Η ποσότητα C_{EPC} περιλαμβάνει κάθε κόστος, το οποίο σχετίζεται με το δίκτυο κορμού, όπως τα κόστη του πακέτου δρομολογητών του κορμού, κλπ. Πρέπει να τονιστεί ότι η εκτίμηση για το DAS πρέπει να γίνεται ετησίως και να λαμβάνει υπόψη τις πληρωμές για τις επενδύσεις. Συνεπώς, μία συνολική επένδυση κεφαλαίου για N κόμβους, οι οποίοι υπάρχουν συνολικά στο σύστημα, θα εκφράζεται ως ακολούθως: $N(C_{eNB} + C_{EPC})$. Άρα, με βάση τον τύπο (1), η εκτίμηση για το κόστος κεφαλαίου σε ετήσια βάση δίνεται από την εξής εξίσωση: $C_{BS}^{CX} = N(C_{eNB} + C_{EPC}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ (8), όπου C_{BS}^{CX} το συνολικό κόστος κεφαλαίου, που απαιτείται για το σταθμό βάσης του DAS σε ετήσια βάση, n είναι η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης σε έτη και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο. Επίσης, πρέπει να εισαχθεί και ένα άλλο κόστος, το οποίο αναπαριστά τον εξοπλισμό, που απαιτείται για την υποστήριξη του DAS συστήματος. Αυτό αναπαρίσταται από μία σταθερά C_{eq} και μία παράμετρο d, που είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το πλήθος των δομών του DAS. Επομένως, η εκτίμηση για τον υπολογισμό του CAPEX σε ετήσια βάση για τις κεραιές, που περιλαμβάνει το DAS επιπλέον, λόγω της δομής του, που κατανέμονται σε όλο το κτήριο, καθώς και ο βασικός εξοπλισμός, που απαιτείται για την υποστήριξη αυτών είναι δυνατό να περιγραφεί, με χρήση της εξίσωσης (1), δίνοντας την πιο κάτω σχέση: $C_{DASEQ}^{CX} = C_{eq} d \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ (9), όπου C_{DASEQ}^{CX} είναι το συνολικό κόστος του κεφαλαίου, που απαιτείται ετησίως για τον εξοπλισμό καταμετρημένων κεραιών στο DAS, n η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο. Το συνολικό κόστος CAPEX είναι το άθροισμα των επιμέρους, δηλαδή του κόστους για το σταθμό βάσης, αλλά και το κόστος για τις κεραιές και τον υποστηρικτικό εξοπλισμό, αφού αυτά είναι τα στοιχεία, που πρέπει να έχει κανείς για να ξεκινήσει το σύστημά του και όπως αναφέρθηκε στην αρχή, εμπλέκονται με τον υπολογισμό του διατεθειμένου κεφαλαίου. Συνεπώς, το συνολικό κεφάλαιο, αξιοποιώντας τις εξισώσεις (1), (8), (9) δίνεται από την εξίσωση: $C_{DAS}^{CX} = C_{BS}^{CX} + C_{DASEQ}^{CX} = [N(C_{eNB} + C_{EPC}) + C_{eq} d] \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ (10), όπου C_{DAS}^{CX} αποτελεί το συνολικό ετήσιο κεφαλαιακό κόστος για το DAS, n η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο.

Οι λειτουργικές δαπάνες ή OPEX είναι ένα συνεχές κόστος, που καταβάλλεται για τη λειτουργία ενός προϊόντος, μίας επιχείρησης, ή στη συγκεκριμένη περίπτωση, για να λειτουργήσει το DAS σύστημα. Τα κόστη, που συμπεριλαμβάνονται στο OPEX, στην περίπτωση του DAS, σχετίζονται με το κόστος λειτουργίας του, και όπως έχει καταγραφεί στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, σχετίζονται με τα πιο κάτω γεγονότα: [40], [41]

- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της καλωδίωσης από άκρη σε άκρη του δικτύου.
- Το χρηματικό ποσό, που πληρώνεται για τη θέση, για το εύρος ζώνης, που διατίθεται κλπ.
- Την υποστήριξη του συνολικού συστήματος.
- Την επίλυση προβλημάτων.
- Τα κόστη μίσθωσης σε περίπτωση, που πραγματοποιείται κάτι τέτοιο.

Σε μία οποιαδήποτε επιχείρηση, η λειτουργική δαπάνη (OPEX) είναι ένα βάρος ημερήσιο και διημερές. Εν ολίγοις, αυτό το κόστος περιλαμβάνει τα χρήματα, που δαπανά η επιχείρηση, ώστε να πετύχει την απόδοση. Τα λειτουργικά έξοδα μπορεί να περιλαμβάνουν, για παράδειγμα: λογιστικά έξοδα, τέλη αδείας, τέλη συντήρησης και επισκευών, προμήθειες χρηματοδοτικής μίσθωσης κλπ. Συνεπώς, πρόκειται για μία ιδιαίτερα ετερογενή ομάδα τελών. Σε ένα δικτυακό σύστημα, συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι σχετίζεται με θέματα, που άπτονται της λειτουργίας και της συντήρησης των επί μέρους θεμελιωδών μονάδων, που το αποτελούν, αλλά και με την κατανάλωση ισχύος από το σύστημα, αφού πρέπει να εξασφαλίζεται το ποσό για την κάλυψη αυτής της δαπάνης. [44]

Το κόστος OPEX, κατά συνέπεια, για το σταθμό βάσης του DAS, δίνεται από την εξίσωση: $C_{DASBS}^{OX} = N(C_{rn} + C_{bc})$ (11), όπου C_{DASBS}^{OX} , οι λειτουργικές δαπάνες για τον DAS σταθμό βάσης, C_{rn} υποδηλώνει το ετήσιο κόστος για τη λειτουργία, όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας του σταθμού βάσης, η υποστήριξη και η συντήρηση του σταθμού, ενώ το C_{bc} εκφράζει το κόστος καλωδίωσης, που είναι γραμμικά ανάλογο με το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης και με μία παράμετρο f , που σχετίζεται με τη συχνότητα λειτουργίας. Το κόστος λειτουργίας είναι γραμμικό με το κόστος CAPEX πολλαπλασιασμένο με την παράμετρο f_{st} και όλα τα υπόλοιπα κόστη, που συμπεριλαμβάνονται εκφράζονται από τη σταθερά C_{st} . Συνεπώς, το συνολικό κόστος λειτουργίας μπορεί να γραφεί ως: $NC_{st} = f_{st}C_{DAS}^{CX}$ (12). Ένα DAS εσωτερικού χώρου περιλαμβάνει, επίσης ένα OPEX κόστος, που πηγάζει από την συντήρηση του συστήματος κεραιάς, δηλαδή των τροφοδοτών και των κεραιών, που υπάρχουν σε κάθε όροφο του κτηρίου, αλλά και από τη χρηματική υποστήριξη, για την κάλυψη επιπλέον απαραίτητων ενεργειών, που προκύπτουν σε κάθε έτος και έχουν

να κάνουν με τη λειτουργία, τη συντήρηση, τη διαχείριση του συστήματος της κεραίας. Συνεπώς, το κόστος OPEX για το σύστημα κεραίας, με χρήση της σχέσης (1), εκφράζεται από την πιο κάτω εξίσωση: $C_{DASEQ}^{OX} = C_{eq} \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ (13), όπου C_{DASEQ}^{OX} , το κόστος, που πηγάζει συνολικά από τα λειτουργικά έξοδα για τον εξοπλισμό κεραίας, C_{eq} περιλαμβάνει τα λειτουργικά κόστη του εξοπλισμού DAS, που σχετίζονται με το κατανεμημένο σύστημα, δηλαδή τα κόστη λειτουργίας από τις κεραίες και τους τροφοδότες, η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης σε έτη και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο.

Θα πρέπει επίσης να συμπεριληφθεί το κόστος της κατανάλωσης ενέργειας ετησίως, λόγω της ισχύος, που απαιτείται από τα κυκλώματα της κεραίας, τις ίδιες τις κεραίες και τις λοιπές πιθανές συσκευές. Το κόστος αυτό αναπαρίσταται από την μεταβλητή C_{pw} και έχει να κάνει με την ισχύ, που καταναλώνεται και τα χρήματα, που πληρώνονται στον πάροχο της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπροσθέτως, πρέπει να ληφθεί υπόψη και το κόστος, το οποίο συνδέεται με το εύρος ζώνης, που μπορεί να εξασφαλίζει, ο κάθε τηλεπικοινωνιακός πάροχος και για το σκοπό αυτό καταλαμβάνεται ένα ετήσιο ποσό, σαν ενοίκιο χρήσης της συγκεκριμένης συχνοτικής ζώνης. Το εύρος ζώνης δίνεται από την παράμετρο BW , ενώ το κόστος δίνεται από μία σχετιζόμενη γραμμική σταθερά f_{BW} , η οποία σχετίζει το καταβαλλόμενο ποσό με το διαθέσιμο εύρος ζώνης, έτσι το συνολικό κόστος, λόγω της κατάληψης του εύρους ζώνης είναι: $f_{BW} \times BW$ (14).

Συμπερασματικά, με χρήση της σχέσης (1), και χρησιμοποιώντας την ανάλυση για το λειτουργικό κόστος του DAS, δηλαδή τις σχέσεις (11), (12), (13), (14), το συνολικό κόστος OPEX ετησίως, καταλήγει να υπολογίζεται ως εξής: $C_{DAS}^{OX} = C_{DASBS}^{OX} + NC_{st} + C_{DASEQ}^{OX} + f_{BW}BW + C_{pw} = N(C_{rn} + C_{bc}) + f_{st}C_{DAS}^{CX} \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + NC_{st} + f_{BW}BW + C_{eq}d \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + C_{pw}$ (15), όπου C_{DAS}^{OX} το λειτουργικό κόστος, που συνδέεται με τη λειτουργία του DAS σταθμού βάσης και του κατανεμημένου συστήματος σε ετήσια βάση, n η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο.

Οι δαπάνες υλοποίησης ή IMPEX (Implementation Expenditure) είναι το απαραίτητο κεφάλαιο, που πρέπει να δαπανείται σε κάθε επιχείρηση για να υλοποιηθούν ορισμένες δραστηριότητες. Δεν συμπεριλαμβάνονται στο κόστος κεφαλαίου, διότι δεν έχουν σχέση με τον εξοπλισμό, που πρέπει να τοποθετηθεί για να ξεκινήσει, η λειτουργία του συστήματος ή με τον εκσυγχρονισμό και την συντήρηση του υπάρχοντος συστήματος. Αντίθετα, έχουν να κάνουν με το κόστος υλοποίησης και προσαρμογής, κατά μία έννοια, στα νέα δεδομένα και συνθήκες. Για παράδειγμα, τέτοιου είδους κόστος, θα εμφανιζόταν, εάν άλλαζε η θέση της κυψέλης. Οπότε, γίνεται αντιληπτό ότι αναπαριστά το κεφάλαιο, που δαπανάται για την

εγκατάσταση και το συντονισμό του συστήματος, ώστε να προσαρμοστεί στο νέο δεδομένο, που στο προαναφερθέν παράδειγμα είναι η νέα θέση, και σε αυτή τη λογική, θα μπορούσε να περιλαμβάνεται νέα εγκατάσταση, νέος υποστηρικτικός εξοπλισμός, νέα ηλεκτρική εγκατάσταση κλπ. Σύμφωνα, με τη βιβλιογραφία, στη γενική περίπτωση, αυτό το είδος κόστους περιλαμβάνει τα ακόλουθα επιμέρους κόστη: [40], [41]

- Το κόστος εγκατάστασης ενός σταθμού βάσης.
- Το κόστος εγκατάστασης του κατανεμημένου συστήματος και των κεραιών.
- Και κόστη, σχετικά με τον συντονισμό, τις εργασίες κατασκευής κλπ.

Το κόστος εγκατάστασης τόσο για το σταθμό όσο και για τις κεραιές έχει, ήδη, περιληφθεί στο κόστος CAPEX, διότι η εξίσωση (1) περιλαμβάνει το μελλοντικό κόστος για κάθε στοιχείο από αυτά και κατά συνέπεια δεν είναι απαραίτητο να υπολογιστεί εκ νέου. Το κόστος, το οποίο, δεν έχει ακόμα εισαχθεί είναι αυτό για το συντονισμό, το οποίο πηγάζει από το γεγονός ότι είναι πιθανό, όταν εγκατασταθεί ο εξοπλισμός DAS στο σύστημα να πραγματοποιηθούν συγκεκριμένες θεμελιώδεις προσαρμογές με βασικό στόχο, να αλληλοεπιδρά με ορθό τρόπο με το ήδη υπάρχων σύστημα. Θα πρέπει να υπάρξει συντονισμός με το σύστημα για να γίνονται με ομαλό τρόπο διάφορες ενέργειες, όπως για παράδειγμα τα handovers. Με αυτόν τον τρόπο, θα επιτευχθεί η ορθή λειτουργία του δικτύου. Επίσης είναι σημαντικό να περιληφθούν κόστη εγκατάστασης, που μπορεί να εμφανιστούν, ειδικά αν απαιτηθεί προσωπικό για να πραγματοποιήσει όλες αυτές τις ρυθμίσεις, ή αν χρειαστεί επιπρόσθετος εξοπλισμός. Αυτό το κόστος αναπαρίσταται από την παράμετρο C_{inc} και ονομάζεται κόστος εγκατάστασης και συντονισμού (Installation and Coordination Cost). Συνεπώς, το συνολικό IMPEX κόστος για το DAS περιγράφεται από την πιο κάτω εξίσωση: $C_{DAS}^{IX} = C_{inc}$ (16), όπου το κόστος C_{DAS}^{IX} αποτελεί το κόστος υλοποίησης για το συνολικό DAS σύστημα.

Όσον αφορά το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (TCO) για να κατέχει ένας τηλεπικοινωνιακός πάροχος το σύστημα DAS πρέπει να επενδύσει κεφάλαια για την απόκτηση, δημιουργία, εγκατάσταση, για το εύρος ζώνης, επίσης, πρέπει να δαπανήσει ποσά για τη λειτουργία, συντήρηση και διαχείριση του συστήματος, για τη δαπανώμενη ενέργεια, αλλά και χρήματα για την εγκατάσταση και το συντονισμό του συστήματος. Από τα πιο πάνω, γίνεται αντιληπτό ότι το συνολικό κόστος για το DAS, περιλαμβάνει τα πιο πάνω κόστη, που σχετίζονται τόσο με το σταθμό βάσης, αλλά και με το κατανεμημένο σύστημα κεραιάς, κάτι το οποίο σημαίνει, πως το κόστος αυτό, θα ισούται με το άθροισμα των επιμέρους υπολογισμένων δαπανών. [40], [41]

Έτσι, το συνολικό κόστος για το DAS, με βάση την εξίσωση **(1)** και σύμφωνα με τις αναλύσεις για τα επιμέρους κόστη, που δίνονται από τις σχέσεις **(10)**, **(15)**, **(16)** δίνεται από

$$\text{την εξίσωση: } C_{DAS}^{TCO} = C_{DAS}^{CX} + C_{DAS}^{OX} + C_{DAS}^{IX} = [N(C_{eNB} + C_{EPC}) + C_{eq}d] \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + N(C_{eNB} + C_{EPC})C_{DAS}^{CX} + f_{st} \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + NC_{st} + f_{BW}BW + C_{pw}C_{eq}d \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + C_{inc} \quad (17)$$

,όπου C_{DAS}^{TCO} είναι το συνολικό κόστος, το οποίο απαιτείται για την κατοχή από έναν πάροχο, του συνολικού DAS συστήματος και περιλαμβάνει κάθε στοιχείο του, όπως, το κόστος λειτουργίας και υλοποίησης για το καταναμημένο σύστημα, το σταθμό βάσης κλπ. και μελετάται σε ένα πλαίσιο n ετών με περιοδικό επιτόκιο r .

6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Το επόμενο βήμα που πρέπει να γίνει για τα ανωτέρω κόστη είναι μία μαθηματική αναπαράσταση. Η παραπάνω ανάλυση είναι δυνατό να χρησιμοποιείται από οποιονδήποτε επιστήμονα, ερευνητή ή τηλεπικοινωνιακό πάροχο επιδιώκει να εντάξει αυτές τις νέες τεχνολογίες στην δική του επιχείρηση ή να ασχοληθεί με αυτές στην δική του έρευνα ή ανάλυση. Οι παραπάνω εξισώσεις μπορεί να οδηγήσουν στον υπολογισμό του κόστους, αν στις παράμετρούς τους εφαρμοστούν οι τιμές, που προσδοκά η αγορά, για τις αντίστοιχες παραμέτρους.

Επιπροσθέτως, θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός πως πρόκειται για εκτιμήσεις διαχρονικές. Δηλαδή, αυτό σημαίνει ότι με το πέρασμα των ετών, δεν θα αλλάξουν οι τύποι. Είτε οι τιμές των παραμέτρων αυτών θα μειώνονται, αφού ανάλογα θα μειώνονται και οι τιμές των προϊόντων, λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης, ή θα αυξάνονται βάση κάποιων άλλων οικονομικών παραγόντων, όπως για παράδειγμα, με την αύξηση του πληθωρισμού ή με την ύπαρξη ύφεσης στην οικονομία κάποιας χώρας. Σε κάθε περίπτωση, εφαρμόζοντας κάποιος τις τιμές του κόστους για τα αντίστοιχα έτη, θα καταλήγει σε ουσιώδη οικονομικά συμπεράσματα.

Επίσης, πέραν της διαχρονικότητας των εκτιμήσεων, θα πρέπει να τονιστεί ότι είναι και διακρατικές. Δηλαδή, με τις παραμέτρους, που έχουν τεθεί δεν ακολουθείται κάποια συγκεκριμένη λογική ως προς κάποια συγκεκριμένη χώρα. Οπότε, η πιο πάνω ανάλυση θα μπορούσε με την ίδια επιτυχία και ευκολία να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε αγορά της παγκόσμιας οικονομίας. Εφόσον, κάθε φορά εφαρμόζονται οι τιμές, που ισχύουν για κάθε χώρα ή περιοχή, τότε θα προκύπτουν τα αντίστοιχα κόστη, για αυτήν.

Για να πραγματοποιηθεί μία τεχνοοικονομική ανάλυση, όμως, δεν αρκεί μόνο να γίνει η μαθηματική απεικόνιση των μεθόδων κόστους, αλλά είναι απαραίτητο να γίνει η ανάλυση ποσοτικά, έτσι ώστε να προκύψουν κάποια σημαντικά συμπεράσματα, για τις τεχνολογίες και για τα εκάστοτε κόστη, που αυτές εμπλέκουν. Θα πρέπει δηλαδή να γίνουν κάποια πειράματα σε συνδυασμό με την ανάλυσή τους, έτσι ώστε να σημειωθούν οι βασικές οικονομικές ιδιότητες για κάθε μία από τις τεχνολογίες, που παρουσιάζονται και να δοθούν κίνητρα για την αξιοποίησή τους. Από την άλλη, είναι σημαντικό, διότι η πειραματική διαδικασία, μπορεί να δώσει βασικά συμπεράσματα για την οικονομική πρόοδο κάθε τεχνολογίας.

Προς αυτή την κατεύθυνση είναι σημαντικό να επιλεγούν οι τιμές κόστους για τις μεταβλητές και για τις παραμέτρους, που υπάρχουν στην ανωτέρω μελέτη. Αυτή η διαδικασία είναι θεμελιώδης και απαιτεί ενδελεχή έρευνα. Έτσι, η επιλογή των παραμέτρων

είναι ουσιώδους σημασίας. Οι τιμές και τα κόστη έχουν να κάνουν άμεσα με τη χρονική περίοδο του πειράματος, αλλά και με την αγορά στην οποία γίνεται το πείραμα. Για παράδειγμα, σε μία ασιατική αγορά με φτηνά εργατικά χέρια το κόστος εγκατάστασης θα είναι χαμηλότερο, από ότι σε μία ευρωπαϊκή αγορά με ακριβά εργατικά χέρια, δηλαδή υψηλότερους μισθούς.

Μετά από ενδελεχή έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, βρέθηκαν οι τυπικές τιμές, που επιλέχθηκαν και κατέστησαν το θεμέλιο για τη συγκεκριμένη μελέτη σχετικά με τις παραμέτρους των μοντέλων, οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά στους Πίνακες 6.1 και 6.2.

Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 6.1 καταγράφονται όλες οι τιμές των μεταβλητών και παραμέτρων, οι οποίες είναι απαραίτητες για το προτεινόμενο σύστημα. Περιλαμβάνουν τις μεταβλητές για την αγορά, την εγκατάστασή του, τη λειτουργία του, το εύρος ζώνης, το υλικό καλωδίωσης κλπ. Όσα κόστη, δηλαδή περιλαμβάνονται στις σχέσεις, που δόθηκαν. Αυτά σύμφωνα, με την παραπάνω ανάλυση επιτρέπουν να υπολογίσει κανείς τα επί μέρους CAPEX, OPEX, IMPEX, καθώς και συνολικά το TCO.

Πίνακας 6.1: Βασικά κόστη, παράμετροι και μεταβλητές, που προκύπτουν από τη λειτουργία, από το κεφάλαιο και από την υλοποίηση του D2D.

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή	Εύρος Τιμών
C_{ENB5G}	Κεφάλαιο, που δαπανάται για τον eNB 5G κόμβο.	1000€[45]	[250, 1750]
C_{EPC}	Κεφάλαιο, που δαπανάται για το πακέτο EPC στο δίκτυο κορμού για έναν κόμβο e NB.	110€[46]	[55, 165]
N	Πλήθος κόμβων-σταθμών βάσεων του δικτύου.	1	[1, 100]
r	Ετήσιο επιτόκιο.	6%[45]	[2, 12]
n	Διάρκεια του σχεδίου επένδυσης σε έτη.	10 έτη[45]	[1,20]
C_{eq}	Κόστος του εξοπλισμού.	12.500€	[5000, 20000]
C_{run}	Κόστη λειτουργίας.	892.5€[47]	[223, 1561]
C_{bh}	Κόστος μέσου (οπτική ίνα).	4800€[40]	
C_{st}	Κόστη για τη θέση, την ισχύ και την υποστήριξη.	3100€	[775, 5425]
f_{st}	Γραμμική σταθερά, που σχετίζει το	0.8[49]	[0.2, 1.2]

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή	Εύρος Τιμών
	κόστος συντήρησης με το κεφάλαιο.		
f_{BW}	Γραμμική σταθερά, που σχετίζεται με το ετήσιο κόστος λόγω του παρεχόμενου εύρους ζώνης και μετριέται σε €/Gbps.	1170€[45]	[877, 2047]
BW	Εύρος ζώνης.	135 Gbps[47]	[30, 300]

Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 6.2 καταγράφονται όλες οι τιμές των μεταβλητών και παραμέτρων, οι οποίες είναι απαραίτητες για το DAS σύστημα. Περιλαμβάνουν τις μεταβλητές για την αγορά, την εγκατάστασή του, τη λειτουργία του, το εύρος ζώνης, τα υλικά καλωδίωσης, το κόστος ενέργειας και το κόστος συντονισμού. Όσα κόστη, δηλαδή περιλαμβάνονται στις σχέσεις, που δόθηκαν. Αυτά σύμφωνα, με την παραπάνω ανάλυση επιτρέπουν να υπολογίσει κανείς τα επί μέρους CAPEX, OPEX, IMPEX, καθώς και συνολικά το TCO.

Πίνακας 6.2: Πίνακας 6.2: Βασικά κόστη, παράμετροι και μεταβλητές, που προκύπτουν από τη λειτουργία, από το κεφάλαιο και από την υλοποίηση του DAS.

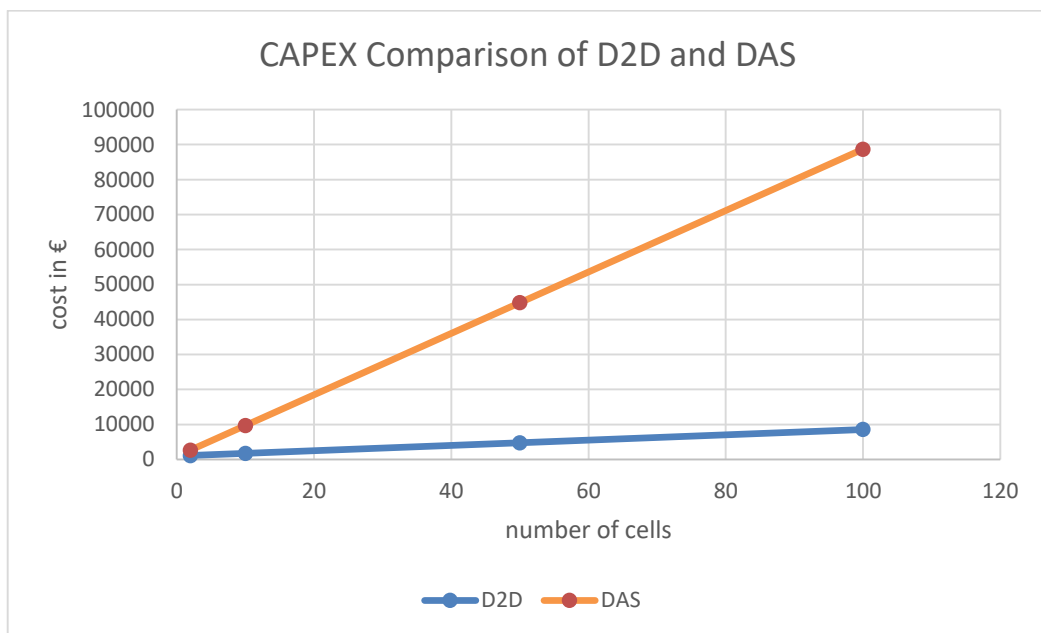
Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή	Εύρος Τιμών
C_{ENB}	Κεφάλαιο, που δαπανάται για τον e NB κόμβο.	1000€[45]	[250, 1750]
C_{EPC}	Κεφάλαιο, που δαπανάται για το πακέτο EPC στο δίκτυο κορμού για έναν κόμβο e NB.	110€[46]	[55, 165]
N	Πλήθος κόμβων e NB και EPC.	1[45]	[1,10]
r	Ετήσιο επιτόκιο.	6%[45]	[2, 12]
C_{eq}	Κόστος του DAS εξοπλισμού.	11.900€ [40]	[11.900]
d	Παράγων που σχετίζεται με το πλήθος των DAS δομών.	0.002	[0.02]
f_{st}	Γραμμική σταθερά, που σχετίζει το κόστος συντήρησης με το κεφάλαιο.	0.8[49]	[0.2, 1.2]
C_{st}	Κόστη για τη θέση, την ισχύ και την υποστήριξη.	3.100€ [48]	[775, 5425]
C_{rn}	Κόστη λειτουργίας.	892.5€[47]	[223, 1561]
C_{bc}	Κόστος μέσου(μικροκύματος).	3800€ [40]	[3800]

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή	Εύρος Τιμών
C_{bc}	Κόστος μέσου(οπτική ίνα).	4800€ [40]	[4800]
BW	Εύρος ζώνης.	10 Gbps[45]	[5, 20]
f_{BW}	Γραμμική σταθερά, που σχετίζεται με το ετήσιο κόστος λόγω του παρεχόμενου εύρους ζώνης και μετριέται σε €/Gbps.	1170€[45]	[877, 2047]
C_{pw}	Κόστος λειτουργίας σχετικό με την κατανάλωση ενέργειας.	157,68€[40]	[157,68]
C_{inc}	Κόστος υλοποίησης για την εγκατάσταση και το συντονισμό του συστήματος.	2800€[40]	[2800]

Με βάση τα δεδομένα των παραμέτρων και των τιμών στους ανωτέρω πίνακες, και με βάση την εφαρμογή τους στις εξισώσεις, που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, στα επόμενα κεφάλαια υπολογίζονται τα πιο σημαντικά κόστη CAPEX, OPEX και TCO, θέτοντας ως μεταβλητές κάθε φορά διαφορετικές παραμέτρους, ούτως ώστε να καταλήξει κανείς σε σημαντικά συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των δαπανών για κάθε μία από τις τεχνολογίες αυτές.

6.1 ΚΕΦΑΛΑΙΑΚΗ ΔΑΠΑΝΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο, διεξάγονται πειράματα σχετικά με το κόστος κεφαλαίου, τα οποία είναι σημαντικά για κάποιον, που θέλει να εισάγει οποιαδήποτε τεχνολογία στο σύστημά του, αφού είναι χρήματα, που θα καταβάλει με σκοπό να αποκτήσει τον εξοπλισμό, συνεπώς, απασχολεί οικονομικά τον επενδυτή. Εφαρμόζοντας, από το Κεφάλαιο 5, τους αντίστοιχους τύπους για τα κόστη κεφαλαίου για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή τη σχέση (10) για τη δαπάνη κεφαλαίου του DAS θεωρώντας ότι πρέπει να κατασκευαστεί σταθμός βάσης από την αρχή ή όχι. Επιπροσθέτως γίνεται αξιοποίηση της σχέσης (4) για το κόστος κεφαλαίου της D2D τεχνολογίας. Τελικά, εφαρμόζοντας τα, με τα δεδομένα, που παρατίθενται στους Πίνακες 6.1 και 6.2, είναι δυνατό να προκύψουν ορισμένες γραφικές παραστάσεις, που δίνουν εξαιρετικά στοιχεία για τις δύο τεχνολογίες. Αρχικά, υπολογίζεται το κόστος κεφαλαίου για την DAS τεχνολογία και το κόστος κεφαλαίου για το D2D μεταβάλλοντας το πλήθος των κελιών στο σύστημα. Κάθε φορά μεταβάλλεται το συνολικό πλήθος κελιών για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 2, 10, 50, 100 κελιών, και προκύπτει το γράφημα του σχήματος 6.1:

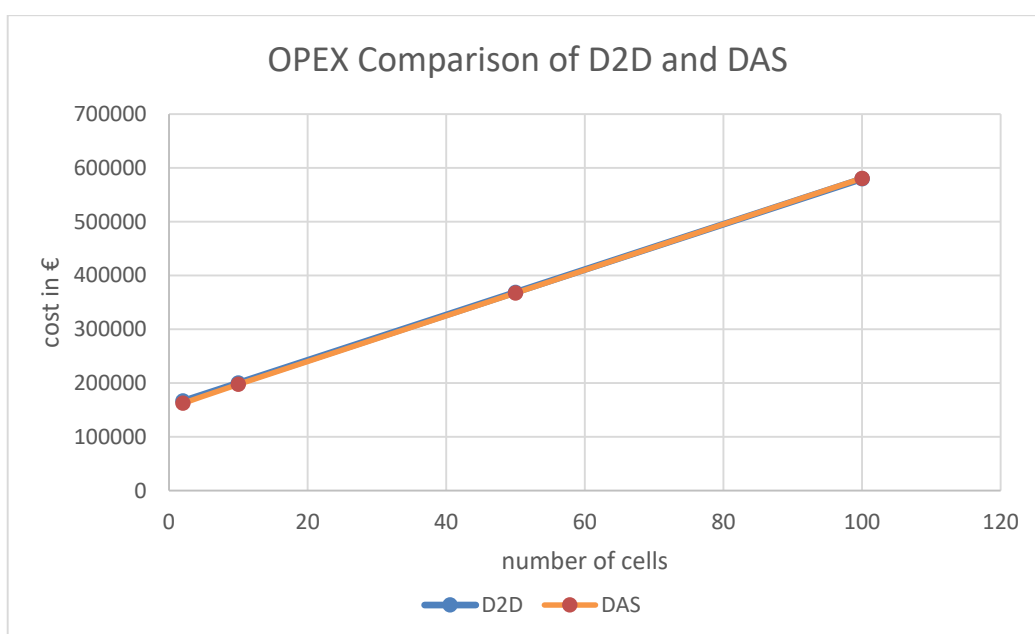


Σχήμα 6.1: Δαπάνες κεφαλαίου για τις τεχνολογίες D2D και DAS.

Από το γράφημα στο σχήμα 6.1, παρατηρείται ότι και στις δύο περιπτώσεις οι κεφαλαιακές δαπάνες αυξάνονται με την προσθήκη κελιών στο σύστημα. Όμως είναι προφανές ότι στα DAS συστήματα η αύξηση αυτή του κόστους κεφαλαίου είναι σημαντικά μεγαλύτερη όσο προστίθενται κελιά σε αυτά, σε σύγκριση με τα D2D συστήματα. Αντιθέτως, στα D2D συστήματα η αύξηση του κόστους κεφαλαίου είναι ελάχιστη τόσο προσθέτοντας κελιά στο σύστημα, αλλά και συγκριτικά με το DAS σύστημα.

6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιούνται πειράματα σχετικά με το λειτουργικό κόστος. Όπως προαναφέρθηκε, είναι πολύ σημαντικό να εξάγει κανείς σημαντικά συμπεράσματα για το λειτουργικό κόστος, αφού είναι και αυτό το είδος δαπάνης, που επιβαρύνει τον εκάστοτε οργανισμό ημερησίως. Έτσι, είναι σημαντικό να εξεταστεί για να βρεθούν τρόποι να μειωθεί η τιμή του. Σε αυτή την περίπτωση, εφαρμόζονται, από το προηγούμενο κεφάλαιο, οι αντίστοιχοι τύποι για τα λειτουργικά κόστη για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή η σχέση (15) για το λειτουργικό κόστος του DAS και η σχέση (6) για το λειτουργικό κόστος της D2D τεχνολογίας. Επίσης, συνδυάζονται με τα δεδομένα από τους Πίνακες 6.1 και 6.2. Στο συγκεκριμένο σχήμα, μεταβάλλεται, κάθε φορά το συνολικό πλήθος κελιών για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 2, 10, 50, 100 κελιών, και προκύπτει το γράφημα του σχήματος 6.2:

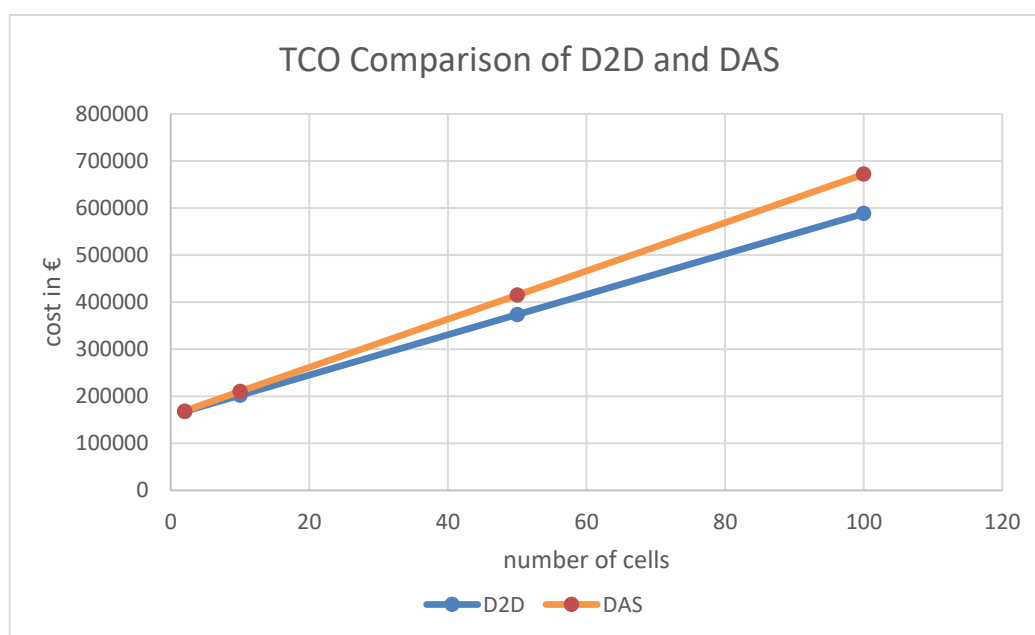


Σχήμα 6.2: Λειτουργικές δαπάνες για τις τεχνολογίες D2D και DAS.

Από το γράφημα 6.2, παρατηρείται ότι με την προσθήκη κελιών σε κάθε σύστημα οι λειτουργικές δαπάνες παρουσιάζουν αύξηση σε κάθε περίπτωση. Το ενδιαφέρον είναι πως οι λειτουργικές δαπάνες αυτές είναι σχεδόν ίσες σε κάθε περίπτωση, με αυτές που αφορούν το DAS να είναι ελάχιστα μεγαλύτερες αν προσέξει κανείς καλύτερα το γράφημα. Αυτό είναι κάτι που αναμενόταν αφού και στους δύο τύπους που προαναφέρθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν υπάρχουν κόστη που είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα αυτά που έχουν να κάνουν με την τοποθεσία.

6.3 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ

Σε αυτή την περίπτωση, ελέγχεται ο συνδυασμός των δύο πιο πάνω τύπων κόστους, δηλαδή, το κόστος για την συνολική κατοχή του συστήματος, που όπως αναφέρθηκε, είναι το άθροισμα του κόστους κεφαλαίου και των λειτουργικών δαπανών. Αυτό το είδος του κόστους είναι σημαντικό να εξεταστεί, διότι ωθεί κάποιον φορέα ή κάποια επιχείρηση να αποκτήσουν ή όχι την συγκεκριμένη επιδιωκόμενη τεχνολογία. Αρχικά, εφαρμόζονται, από το προηγούμενο κεφάλαιο, οι αντίστοιχοι τύποι για τα συνολικά κόστη για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή τη σχέση (17) για το συνολικό κόστος του DAS και την σχέση (7) για το συνολικό κόστος της D2D τεχνολογίας, τοποθετώντας τα δεδομένα από τους Πίνακες 6.1 και 6.2, διεξάγονται κάποια πειράματα. Στο συγκεκριμένο σχήμα, μεταβάλλεται, κάθε φορά το συνολικό πλήθος κελιών για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 2, 10, 50, 100 κελιών, και προκύπτει το γράφημα του σχήματος 6.3

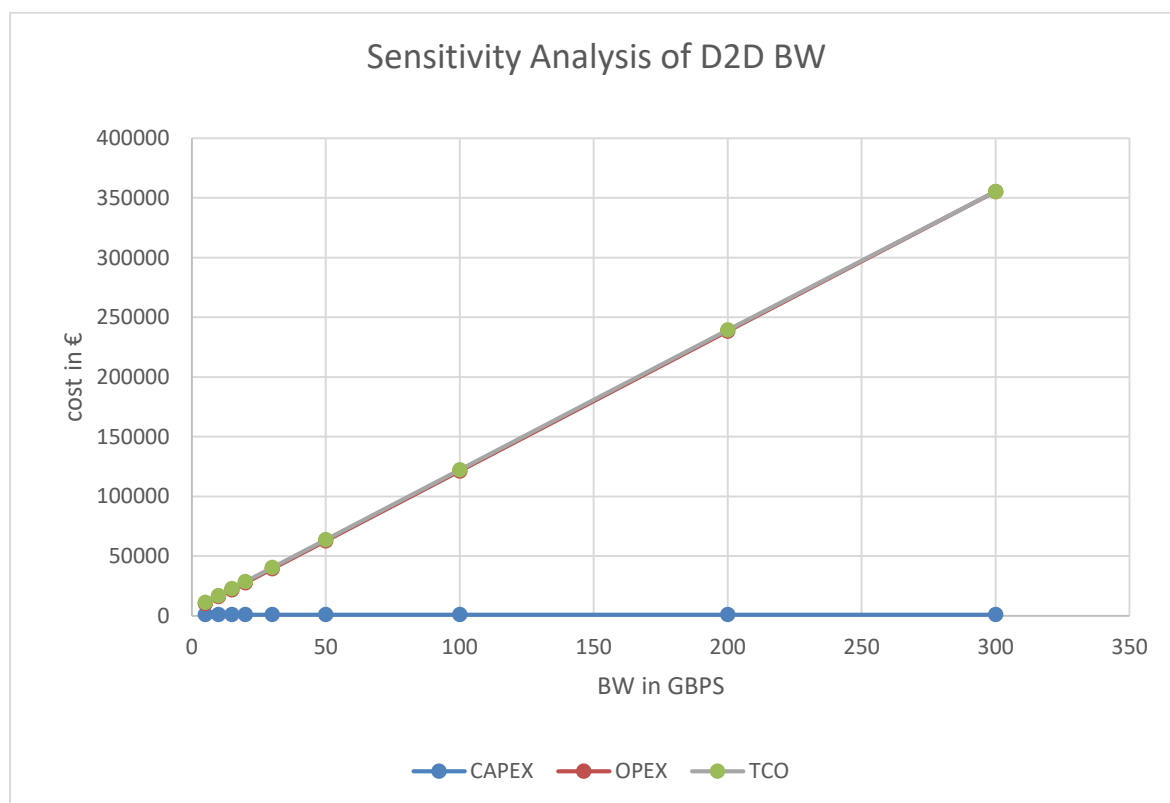


Σχήμα 6.3: Συνολικές δαπάνες για τις τεχνολογίες D2D και DAS.

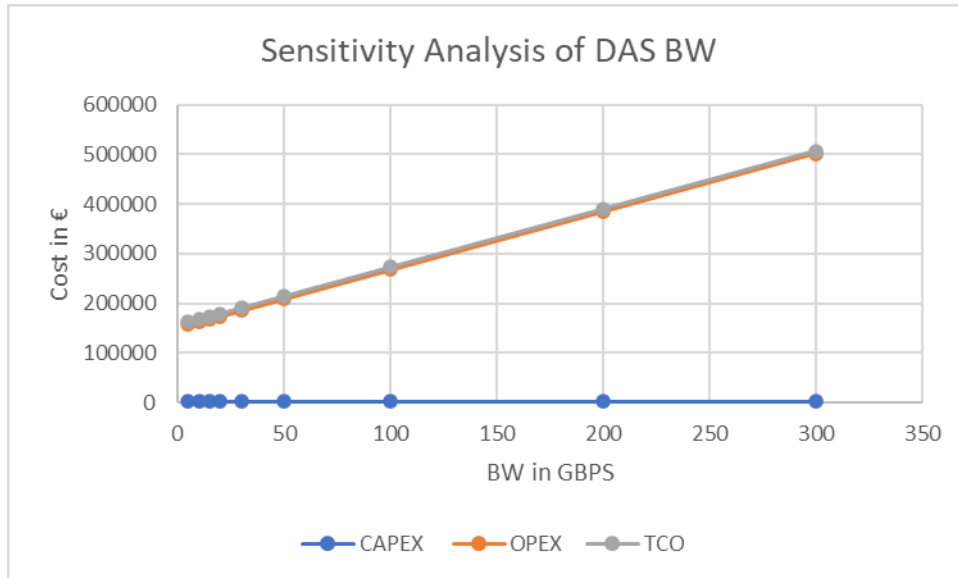
Από το γράφημα 6.3, παρατηρείται κάτι που ήταν αναμενόμενο από τα δύο προηγούμενα γραφήματα 6.1 και 6.2. Πιο συγκεκριμένα, να είναι ευδιάκριτη η υπεροχή, δηλαδή οι λιγότερες συνολικές δαπάνες του D2D σε σχέση με το DAS σύστημα, σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στις λειτουργικές δαπάνες. Αυτό οφείλεται στην διαφορά που έχουν οι κεφαλαιακές δαπάνες των δύο συστημάτων μεταξύ τους, που είναι εμφανής στο γράφημα, 6.1 αλλά υπάρχει επίσης και το κόστος υλοποίησης, το οποίο προστίθεται στις συνολικές δαπάνες του DAS συστήματος.

6.4 ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο, διεξάγονται πειράματα σχετικά με το εύρος ζώνης, τα οποία είναι σημαντικά για κάποιον, που θέλει να εξετάσει ενδεχομένως κάτω από ποιες τιμές του θα παρουσιάζονται μεταπτώσεις στα κόστη, αλλά και να συγκρίνει τις δύο τεχνολογίες με βάση αυτές τις τιμές. Εφαρμόζονται, από το Κεφάλαιο 5, οι αντίστοιχοι τύποι για τα κόστη κεφαλαίου, τις λειτουργικές δαπάνες και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή τις σχέσεις (10), (15), (17) για το DAS και τις σχέσεις (4), (6), (7) για το D2D. Τελικά, εφαρμόζοντας τα, με τα δεδομένα, που παρατίθενται στους Πίνακες 6.1 και 6.2, είναι δυνατό να προκύψουν ορισμένες γραφικές παραστάσεις, που δίνουν εξαιρετικά στοιχεία για τις δύο τεχνολογίες. Αρχικά, υπολογίζονται τα τρία βασικά κόστη για το D2D και στην συνέχεια για το DAS μεταβάλλοντας το εύρος ζώνης στο σύστημα. Κάθε φορά μεταβάλλεται το συνολικό εύρος ζώνης για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 200, 300 , και προκύπτουν τα γραφήματα των σχημάτων 6.4.1 και 6.4.2:



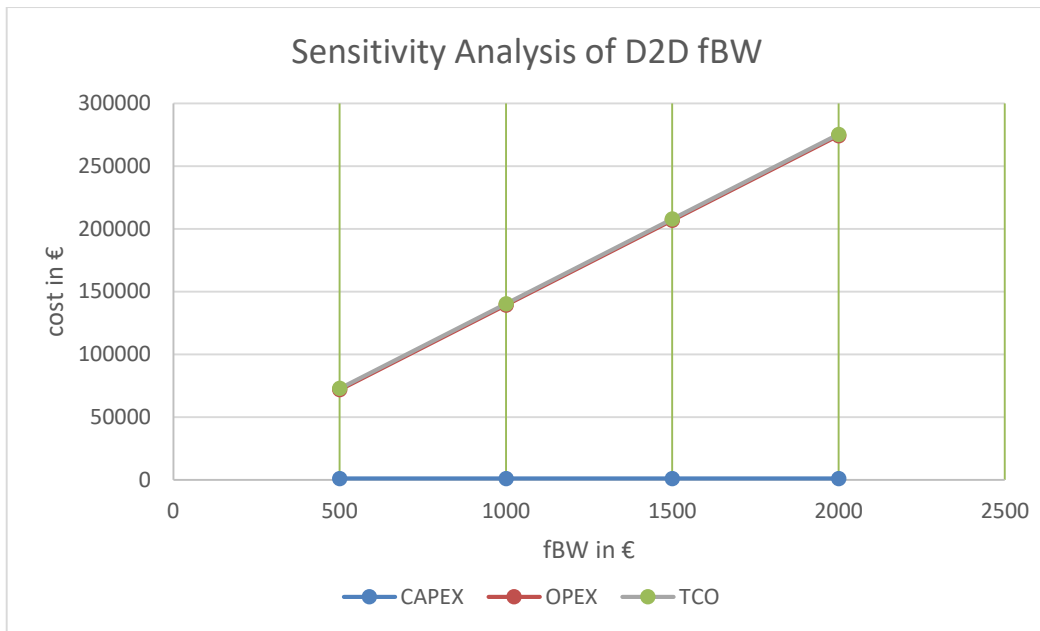
Σχήμα 6.4.1: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το BW.



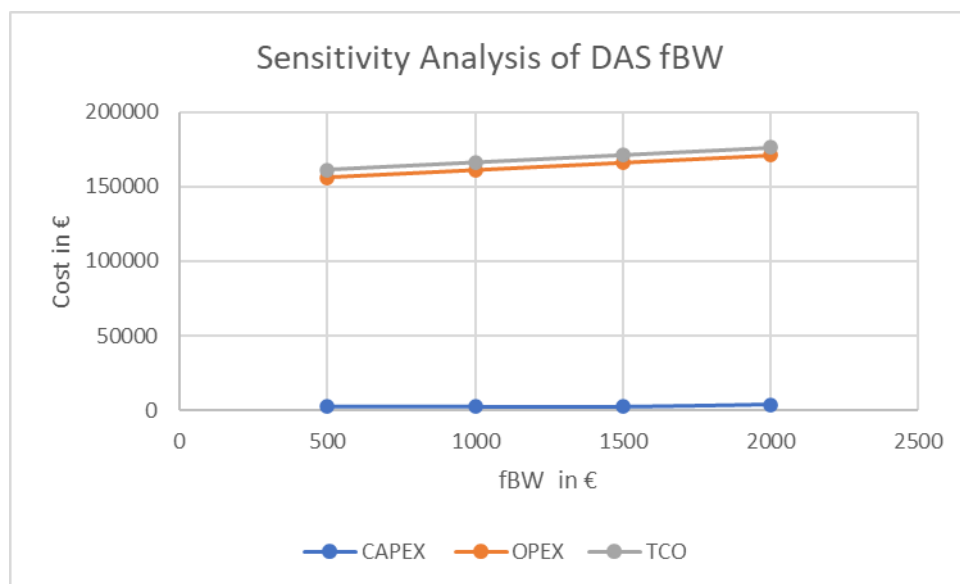
Σχήμα 6.4.2: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το εύρος ζώνης.

Από τα γραφήματα 6.4.1 και 6.4.2, παρατηρείται κάτι που ήταν αναμενόμενο, αν εξετάσει προσεκτικά κάποιος τους τύπους που προαναφέρθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για τα συγκεκριμένα πειράματα. Δηλαδή είναι ευδιάκριτη και στις δύο περιπτώσεις που εξετάζουμε, τόσο στο D2D, όσο και στο DAS, η άνοδος του κόστους ανάλογα με την άνοδο του εύρους ζώνης. Βέβαια, παρόλο που η αύξηση για τα τρία βασικά κόστη φαίνεται να γίνεται με μεγαλύτερο ρυθμό για την περίπτωση του D2D, οι επιμέρους τιμές για αυτά είναι χαμηλότερες από αυτές του DAS σε κάθε περίπτωση.

Στην συνέχεια, διεξάγονται πειράματα σχετικά με την παράμετρο f_{bw} , που ουσιαστικά είναι αυτή που κοστολογεί το εύρος ζώνης. Πρόκειται για μία γραμμική σταθερά, που σχετίζεται με το ετήσιο κόστος λόγω του παρεχόμενου εύρους ζώνης και μετριέται σε €/Gbps. Εφαρμόζονται, από το Κεφάλαιο 5, οι αντίστοιχοι τύποι για τα κόστη κεφαλαίου, τις λειτουργικές δαπάνες και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή τις σχέσεις (10), (15), (17) για το DAS και τις σχέσεις (4), (6), (7) για το D2D. Τελικά, εφαρμόζοντας τα, με τα δεδομένα, που παρατίθενται στους Πίνακες 6.1 και 6.2, είναι δυνατό να προκύψουν ορισμένες γραφικές παραστάσεις, που δίνουν εξαιρετικά στοιχεία για τις δύο τεχνολογίες. Αρχικά, υπολογίζονται τα τρία βασικά κόστη για το D2D και στην συνέχεια για το DAS. Κάθε φορά μεταβάλλεται το f_{bw} για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 500, 1000, 1500, 2000, και προκύπτουν τα γράφημα των σχημάτων 6.4.3 και 6.4.3:



Σχήμα 6.4.3: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το fBW.

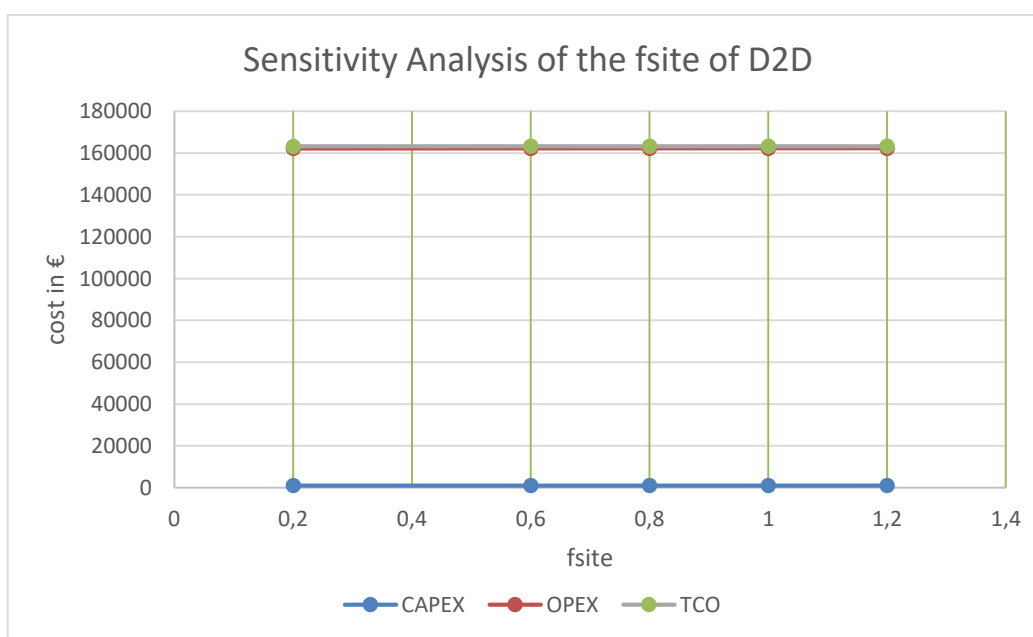


Σχήμα 6.4.4: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το fBW.

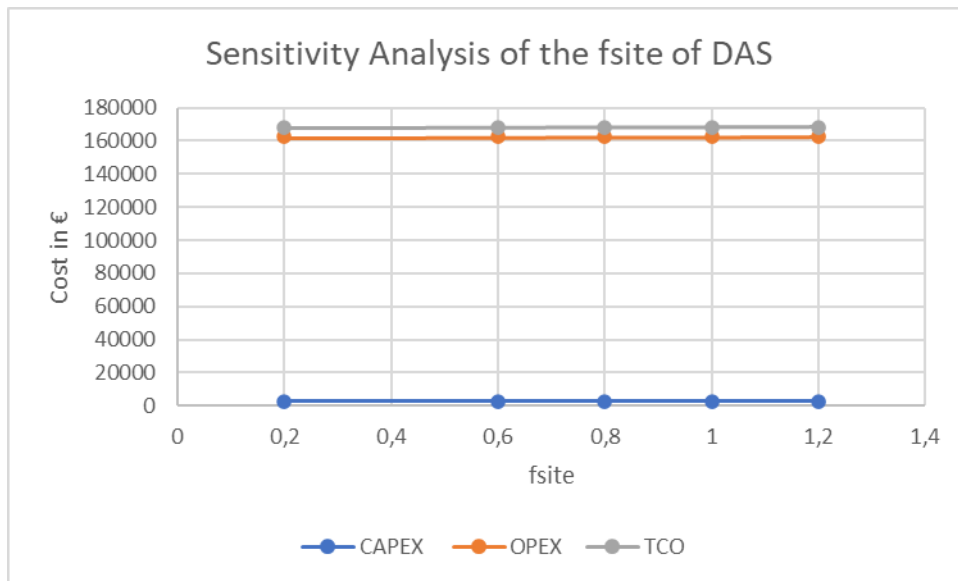
Από το γράφημα 6.4.3 που αφορά τα D2D συστήματα παρατηρείται αύξηση στα κόστη ανάλογα με την αύξηση του f_{bw} , και ειδικά όταν η παράμετρος αυτή πάρει την τιμή των 1500 ευρώ, φαίνεται ότι ο ρυθμός της αύξησης αυτής μεγαλώνει. Αντίθετα στο γράφημα 6.4.4, που αφορά τα DAS συστήματα, η αύξηση στα επιμέρους κόστη υπάρχει, αλλά με πολύ μικρότερο ρυθμό και δεν φαίνεται να επηρεάζεται από κάποια συγκεκριμένη τιμή του f_{bw} . Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο περιπτώσεων, οφείλεται στο ότι στα DAS συστήματα για το συγκεκριμένο πείραμα το εύρος ζώνης είναι 10GB, ενώ στα D2D συστήματα είναι 135GB.

6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ f_{site}

Σε αυτό το κεφάλαιο, διεξάγονται πειράματα σχετικά με το f_{site} , τα οποία είναι σημαντικά για κάποιον, που θέλει να εξετάσει ενδεχομένως κάτω από ποιες τιμές του θα παρουσιάζονται μεταπτώσεις στα κόστη, αλλά και να συγκρίνει τις δύο τεχνολογίες με βάση αυτές τις τιμές. Πρόκειται για μία γραμμική σταθερά, που σχετίζει το κόστος συντήρησης με το κεφάλαιο. Εφαρμόζονται, από το Κεφάλαιο 5, οι αντίστοιχοι τύποι για τα κόστη κεφαλαίου, τις λειτουργικές δαπάνες και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή τις σχέσεις (10), (15), (17) για το DAS και τις σχέσεις (4), (6), (7) για το D2D . Τελικά, εφαρμόζοντας τα, με τα δεδομένα, που παρατίθενται στους Πίνακες 6.1 και 6.2, είναι δυνατό να προκύψουν ορισμένες γραφικές παραστάσεις, που δίνουν εξαιρετικά στοιχεία για τις δύο τεχνολογίες. Αρχικά, υπολογίζονται τα τρία βασικά κόστη για το DAS και στην συνέχεια για το D2D . Κάθε φορά μεταβάλλεται το f_{site} για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 0.2, 0.6, 0.8, 1, 1.2 και προκύπτουν τα γραφήματα των σχημάτων 6.5.1 και 6.5.2:



Σχήμα 6.5.1: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το f_{site} .

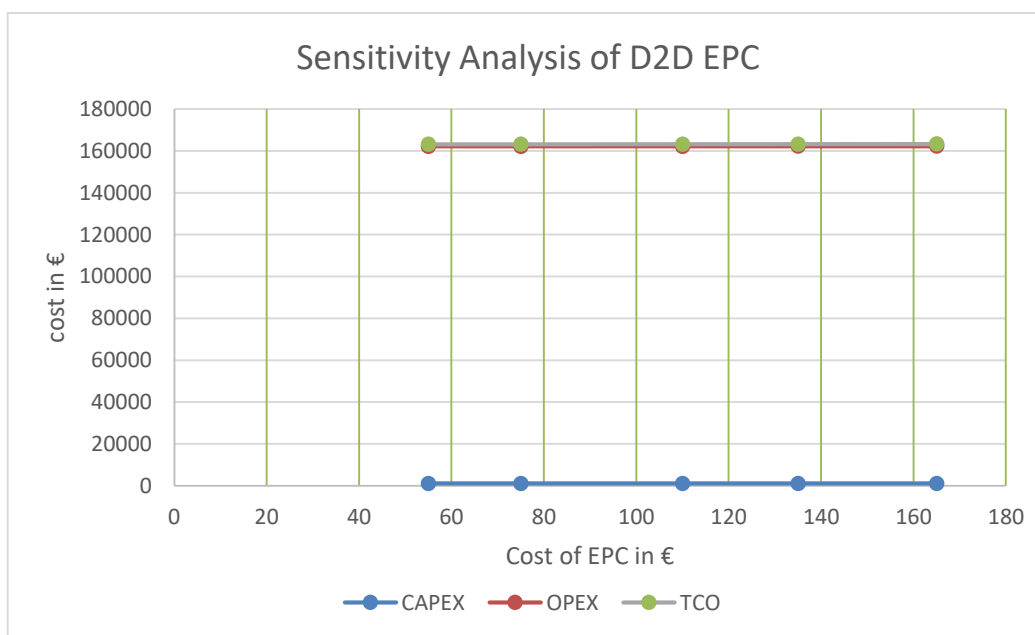


Σχήμα 6.5.2: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το f_{site} .

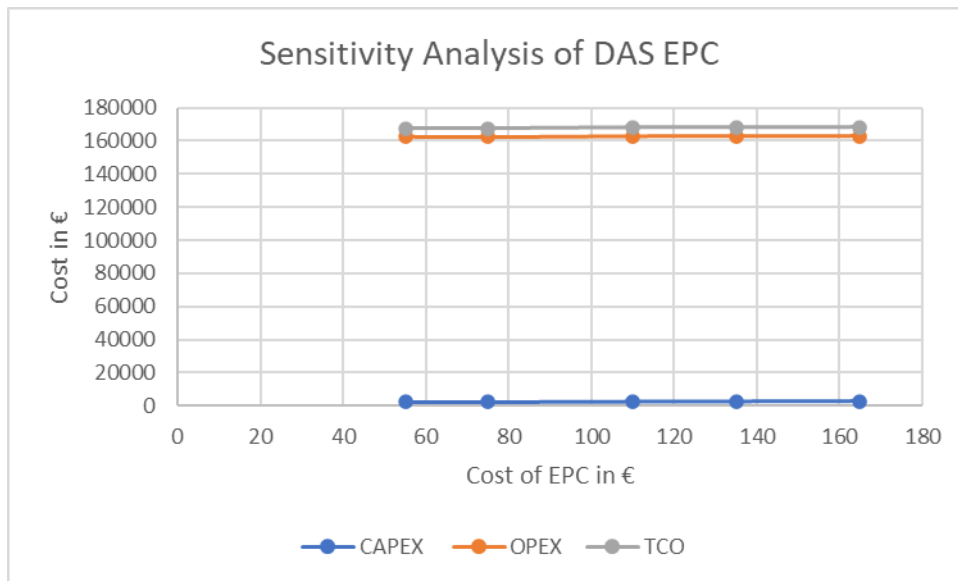
Από τα γραφήματα 6.5.1 και 6.5.2 παρατηρείται ότι και τα τρία επιμέρους κόστη δεν μεταβάλλονται σε καμία από τις δύο περιπτώσεις.

6.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ EPC

Σε αυτό το κεφάλαιο, διεξάγονται πειράματα σχετικά με το κεφάλαιο, που δαπανάται για το πακέτο EPC, τα οποία είναι σημαντικά για κάποιον, που θέλει να εξετάσει ενδεχομένως κάτω από ποιες τιμές του θα παρουσιάζονται μεταπτώσεις στα κόστη, αλλά και να συγκρίνει τις δύο τεχνολογίες με βάση αυτές τις τιμές. Εφαρμόζονται, από το Κεφάλαιο 5, οι αντίστοιχοι τύποι για τα κόστη κεφαλαίου, τις λειτουργικές δαπάνες και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή τις σχέσεις (10), (15), (17) για το DAS και τις σχέσεις (4), (6), (7) για το D2D. Τελικά, εφαρμόζοντας τα, με τα δεδομένα, που παρατίθενται στους Πίνακες 6.1 και 6.2, είναι δυνατό να προκύψουν ορισμένες γραφικές παραστάσεις, που δίνουν εξαιρετικά στοιχεία για τις δύο τεχνολογίες. Αρχικά, υπολογίζονται τα τρία βασικά κόστη για το D2D και στην συνέχεια για το DAS. Κάθε φορά μεταβάλλεται το f_{site} για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 0.2, 0.6, 0.8, 1, 1.2 και προκύπτουν τα γραφήματα των σχημάτων 6.6.1 και 6.6.2:



Σχήμα 6.6.1: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το EPC.

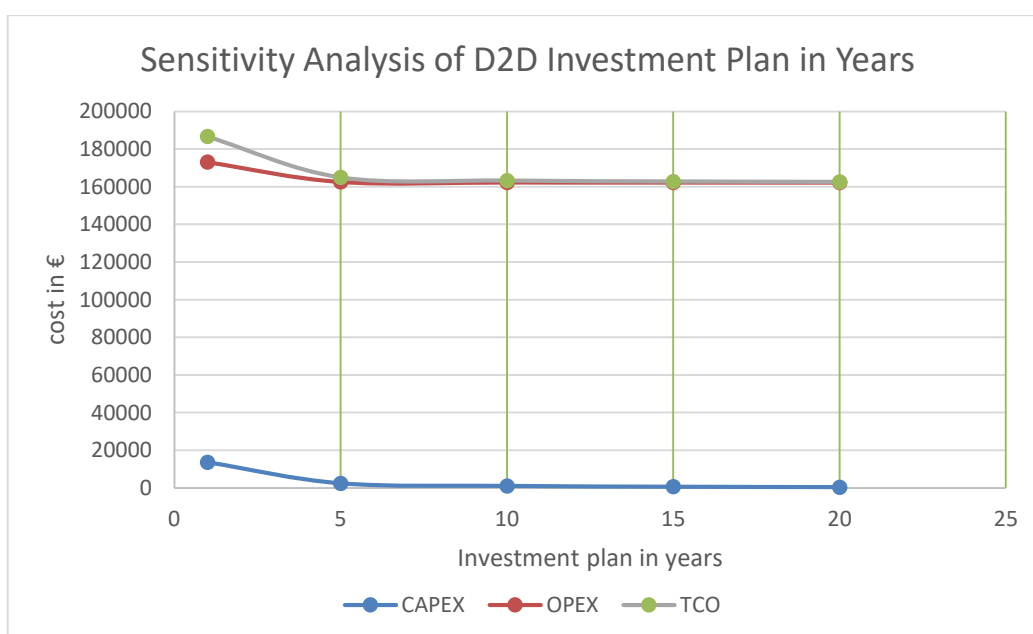


Σχήμα 6.6.2: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το EPC.

Από τα γραφήματα 6.6.1 και 6.6.2 παρατηρείται ότι και τα τρία επιμέρους κόστη δεν μεταβάλλονται σε καμία από τις δύο περιπτώσεις.

6.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΣΧΕΔΙΟ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο, διεξάγονται πειράματα σχετικά με το σχέδιο επένδυσης και πιο συγκεκριμένα με την διάρκεια του. Εφαρμόζονται, από το Κεφάλαιο 5, οι αντίστοιχοι τύποι για τα κόστη κεφαλαίου, τις λειτουργικές δαπάνες και το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή τις σχέσεις (10), (15), (17) για το DAS και τις σχέσεις (4), (6), (7) για το D2D. Τελικά, εφαρμόζοντας τα, με τα δεδομένα, που παρατίθενται στους Πίνακες 6.1 και 6.2, είναι δυνατό να προκύψουν ορισμένες γραφικές παραστάσεις, που δίνουν εξαιρετικά στοιχεία για τις δύο τεχνολογίες. Αρχικά, υπολογίζονται τα τρία βασικά κόστη για το D2D και στην συνέχεια για το DAS. Κάθε φορά μεταβάλλεται η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 1, 5, 10, 15, 20 και προκύπτουν τα γραφήματα των σχημάτων 6.7.1 και 6.7.2:



Σχήμα 6.7.1: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία D2D με βάση το σχέδιο επένδυσης.

Sensitivity Analysis of DAS Investment Plan in Years



Σχήμα 6.7.2: Συνολικές δαπάνες για την τεχνολογία DAS με βάση το σχέδιο επένδυσης.

Από το γράφημα 6.7.2 που αφορά τα DAS συστήματα παρατηρείται κατακόρυφη πτώση για τις λειτουργικές και κεφαλαιακές δαπάνες όταν η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης φτάσει τα 5 έτη, κάτι που είναι λογικό γιατί αν παρατηρήσει κανείς, όταν η διάρκεια είναι 1 έτος αυτές οι δαπάνες φτάνουν σχεδόν τα 2 εκατομμύρια ευρώ. Ομοίως, στη περίπτωση του D2D συστήματος στο γράφημα 6.7.1, υπάρχει και εκεί πτώση στα 5 έτη για τις κεφαλαιακές και λειτουργικές δαπάνες, αλλά είναι πολύ μικρότερης κλίμακας, καθώς όταν η διάρκεια του σχεδίου είναι στο 1 έτος αυτές δεν ξεπερνούν τις 200.000 ευρώ.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά, τα επιστημονικά στοιχεία είναι αυτά που χρησιμεύουν είτε για να στηρίξουν ή να απορρίψουν την επιστημονική θεωρία ή μία επιστημονική υπόθεση. Τέτοια στοιχεία αναμένεται να είναι στοιχεία, που προκύπτουν με βάση την εμπειρία ή τις αποδεικτικές μεθόδους της επιστήμης, σύμφωνα με τη βασική επιστημονική μέθοδο διαλογής τους. Τα πρότυπα, που ακολουθούνται με στόχο να προκύψουν οι επιστημονικές αποδείξεις ποικίλλουν ανάλογα με τον τομέα της έρευνας, αλλά και τη δύναμη των επιστημονικών στοιχείων, η οποία στηρίζεται στα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης και στη δύναμη των επιστημονικών ελέγχων.

Σε κάθε μελέτη και ανάλυση είναι υψίστης σημασίας να παρουσιαστούν τα βασικά συμπεράσματα, τα οποία έχουν εξαχθεί από την ερευνητική και πειραματική διαδικασία, ώστε να επιβεβαιώσει κανείς αν και κατά πόσο αυτό το οποίο γνώριζε θεωρητικά συμπληρώνεται και ενισχύεται μέσα από την έρευνα, που διεξάγεται ή καταρρίπτεται η θεωρητική προσέγγιση, η οποία είχε αναπτυχθεί και σχετιζόταν άμεσα με το συγκεκριμένο τεχνολογικό τομέα.

Συνεπώς, είναι σημαντικό να παρουσιαστούν τα σημαντικότερα συμπεράσματα, τα οποία προκύπτουν όσον αφορά τις δύο συγκρινόμενες τεχνολογίες και με τον τρόπο αυτό να καταλήξει κανείς σε ποιον τομέα δικτυακής δραστηριότητας θα υιοθετούνταν και θα αποτελούσε μία αποδοτικότερη λύση συγκρίνοντας τα με το αντίστοιχο κόστος και τα σημαντικότερα οφέλη, που προσδίδει καθεμία τεχνολογία στο δίκτυο.

Στο Κεφάλαιο 5 υπάρχουν σημαντικές εξισώσεις, στις οποίες εφαρμόζοντας τις τιμές για τις παραμέτρους και για τις μεταβλητές, που υπάρχουν στο Κεφάλαιο 6 προκύπτουν τα πειράματα για τα διάφορα κόστη CAPEX, OPEX και TCO, που φαίνονται παραπάνω. Παρατηρώντας, λοιπόν, τα διαγράμματα στο Κεφάλαιο 6, που προκύπτουν από την οικονομική ανάλυση είναι πιθανό να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για το κόστος συναρτήσει διαφόρων παραγόντων, αλλά και για τις δύο τεχνολογίες συνολικά.

Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της τυπικής χρήσης παρουσιάζουν όλα τα είδη κόστους, που προκύπτουν σύμφωνα με τις τρεις πιθανές αναπτύξεις, που παρουσιάζονται στη μελέτη. Όπως προαναφέρθηκε, αρχικά αναπτύσσεται το κόστος για το D2D και το κόστος για το DAS με βάση τον αριθμό των κελιών.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το κόστος CAPEX παρατηρείται ότι και στις δύο περιπτώσεις αυτό αυξάνεται με την προσθήκη κελιών στο σύστημα. Όμως, στα DAS συστήματα η αύξηση αυτή του κόστους κεφαλαίου είναι σημαντικά μεγαλύτερη όσο προστίθενται κελιά σε αυτά, σε σύγκριση με τα D2D συστήματα. Αντιθέτως, στα D2D συστήματα η αύξηση του κόστους κεφαλαίου είναι ελάχιστη τόσο προσθέτοντας κελιά στο σύστημα, αλλά και συγκριτικά με το DAS σύστημα.

Όσον αφορά το κόστος OPEX, παρατηρείται ότι με την προσθήκη κελιών σε κάθε σύστημα οι λειτουργικές δαπάνες παρουσιάζουν αύξηση σε κάθε περίπτωση. Το ενδιαφέρον όμως είναι πως οι λειτουργικές δαπάνες αυτές είναι σχεδόν ίσες σε κάθε περίπτωση, με αυτές που αφορούν το DAS να είναι ελάχιστα μεγαλύτερες. Αυτό είναι κάτι που αναμενόταν αφού και στους δύο τύπους που χρησιμοποιήθηκαν υπάρχουν κόστη που είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα αυτά που έχουν να κάνουν με την τοποθεσία.

Για το συνολικό κόστος, προκύπτει το συμπέρασμα ότι όσον αφορά το D2D, αυτό είναι μικρότερο σε σχέση με το DAS σύστημα, σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στις λειτουργικές δαπάνες. Αυτό οφείλεται στην διαφορά που έχουν οι κεφαλαιακές δαπάνες των δύο συστημάτων μεταξύ τους, αλλά υπάρχει επίσης και το κόστος υλοποίησης, το οποίο προστίθεται στις συνολικές δαπάνες του DAS συστήματος.

Εν συνεχεία, όσον αφορά το εύρος ζώνης και τις μεταβολές των τιμών του, τόσο στο D2D, όσο και στο DAS, το κόστος αυξάνεται ανάλογα με την άνοδο του εύρους ζώνης. Βέβαια, παρόλο που η αύξηση για τα τρία βασικά κόστη γίνεται με μεγαλύτερο ρυθμό για την περίπτωση του D2D, οι επιμέρους τιμές για αυτά είναι χαμηλότερες από αυτές του DAS σε κάθε περίπτωση.

Σχετικά με την παράμετρο f_{bw} , που ουσιαστικά κοστολογεί το εύρος ζώνης, στα D2D συστήματα παρατηρείται αύξηση στα κόστη ανάλογα με την αύξηση του και ειδικά όταν η παράμετρος αυτή πάρει την τιμή των 1500 ευρώ, ο ρυθμός της αύξησης αυτής μεγαλώνει. Αντίθετα, στα DAS συστήματα, η αύξηση στα επιμέρους κόστη υπάρχει, αλλά με πολύ μικρότερο ρυθμό και δεν φαίνεται να επηρεάζεται από κάποια συγκεκριμένη τιμή του f_{bw} , όπως συμβαίνει στην περίπτωση του D2D. Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο περιπτώσεων, οφείλεται στο ότι στα DAS συστήματα για το συγκεκριμένο πείραμα του κεφαλαίου 6 το εύρος ζώνης είναι 10GB, ενώ στα D2D συστήματα είναι 135GB.

Επίσης, όσον αφορά τις μεταβολές της παραμέτρου f_{site} και του κόστους για το πακέτο EPC, τα τρία επιμέρους κόστη δεν μεταβάλλονται σε καμία από τις δύο περιπτώσεις για τις δύο τεχνολογίες.

Τέλος, όσον αφορά το σχέδιο επένδυσης και πιο συγκεκριμένα την διάρκειά του, στα DAS συστήματα παρατηρείται κατακόρυφη πτώση για τις λειτουργικές και κεφαλαιακές δαπάνες όταν η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης φτάσει τα 5 έτη, καθώς όταν η διάρκεια είναι 1 έτος αυτές οι δαπάνες φτάνουν σχεδόν τα 2 εκατομμύρια ευρώ. Επίσης, στη περίπτωση του D2D συστήματος υπάρχει και εκεί πτώση στα 5 έτη για τις κεφαλαιακές και λειτουργικές δαπάνες, αλλά είναι πολύ μικρότερης κλίμακας, καθώς όταν η διάρκεια του σχεδίου είναι στο 1 έτος αυτές δεν ξεπερνούν τις 200.000 ευρώ.

8. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Μελλοντικά, είναι πολύ πιθανό κάποια εκ των δύο τεχνολογιών που αναλύθηκαν στη συγκεκριμένη εργασία να κινήσει το ενδιαφέρον ενός μεγάλου μέρους της επιστημονικής κοινότητας, έχοντας ως αποτέλεσμα την περαιτέρω εξέλιξη της ερευνητικής δραστηριότητας στη συγκεκριμένη τεχνολογία. Έτσι, οποιοσδήποτε ερευνητικές προτάσεις ή προσπάθειες για βελτίωση, ή περαιτέρω ανάλυση της υπάρχουσας έρευνας είναι καλοδεχούμενες από την μελλοντική έρευνα.

Αρχικά, θεωρείται ζωτικής σημασίας, να ασχοληθεί κανείς στην έρευνά του με τον σταθμό βάσης, ο οποίος αποτελεί και το σημαντικότερο τμήμα του δικτύου. Κατά συνέπεια, ο μελετητής θα πρέπει να ελέγξει κατά πόσο είναι δυνατό να μειωθεί το κόστος του, να ενσωματωθούν σε αυτόν νέες πιο αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες, να επιλυθούν προβλήματα που έχουν να κάνουν με την δρομολόγηση και την κάλυψη και τέλος, να ελαττωθούν τα παραγόμενα σφάλματα σε κάθε περίπτωση. Όλα τα παραπάνω πρέπει να ελέγχονται έχοντας πάντα ως γνώμονα την διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα. Τέλος θα πρέπει να υπάρξει έρευνα για να γίνει όσο το δυνατόν φιλικότερο το σύστημα προς το χρήστη, αλλά και να γίνει προσπάθεια ώστε να ελαττωθούν οι δαπάνες που αφορούν τόσο την εγκατάσταση όσο και την επιδιόρθωση σε περιπτώσεις βλάβης.[39]

Ακόμη, όσον αφορά την ενίσχυση και βελτίωση της D2D τεχνολογίας, η οποία είναι μία σημαντική και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία απαιτείται να γίνουν περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες στηριζόμενες σε δύο βασικούς άξονες. Ο ένας άξονας έχει να κάνει με την μείωση κατανάλωσης της ενέργειας, καθώς όπως προαναφέρθηκε θα πρέπει οι συσκευές να υποστηρίζουν κι ένα επιπλέον mode, το D2D mode για την επικοινωνία με τις υπόλοιπες συσκευές του δικτύου, πέραν του ότι θα εκπέμπουν σε φάσματα της 5G τεχνολογίας. Ο δεύτερος άξονας έχει να κάνει με την ασφάλεια των δεδομένων των χρηστών, καθώς ανά πάσα στιγμή αυτά μπορεί να βρίσκονται σε συσκευή κάποιου άλλου χρήστη του δικτύου που θα λειτουργεί σαν ενδιάμεσος κόμβος για την μεταφορά των δεδομένων στον παραλήπτη. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ανάλογα βήματα που αφορούν την μείωση κατανάλωσης της ενέργειας μπορούν να πραγματοποιηθούν και προς την κατεύθυνση των σταθμών βάσης, όπως προαναφέρθηκε.

Επίσης, να τονίσουμε και ότι θα πρέπει να γίνουν κάποια βήματα και από την μεριά των τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Το βασικό πρόβλημα που φαίνεται πως θέλει περαιτέρω μελέτη έχει να κάνει με την κοστολόγηση της υπηρεσίας. Είναι σημαντικό να γίνουν βήματα ώστε να δημιουργηθεί ένα μοντέλο το οποίο θα επιβραβεύει και τις δύο πλευρές. Την πλευρά των χρηστών με φθηνότερες τιμές, μεγαλύτερες ταχύτητες, καθώς θα χρησιμοποιούν τμήμα

από το διαθέσιμο εύρος ζώνης τους για την μεταφορά των δεδομένων άλλων χρηστών του δικτύου. Τέλος, η πλευρά των παρόχων θα επιβραβεύεται μέσω της αποσυμφόρησης της κίνησης από τους σταθμούς βάσης και την βελτίωση της συνολικής ποιότητας παροχής υπηρεσιών προς τους χρήστες.

Επιπλέον όσον αφορά το DAS , είναι σημαντικό να ελαττωθεί το κόστος λειτουργίας του. Άρα, είναι ουσιώδους σημασίας να βρεθούν μέθοδοι, έτσι ώστε να μειωθεί το συνολικό κόστος λειτουργίας και ως αποτέλεσμα, θα πρέπει να σημειωθούν έρευνες και κατάλληλες μελέτες προς αυτή την κατεύθυνση. [39]

Επίσης, κάτι ακόμα αναγκαίο που χρήζει μελλοντικής έρευνας και προσπάθειας έχει να κάνει με την κοστολόγηση των μοντέλων και χωρίζεται σε δύο βασικούς άξονες. Ο πρώτος άξονας έχει να κάνει με την τροποποίηση των ήδη υπάρχοντων μοντέλων, είτε με την προσθήκη νέων παραμέτρων ή τύπων, είτε με την αλλαγή των υπάρχοντων παραμέτρων, λόγω κάποιας βελτιωμένης τιμής στην αγορά για κάποια από αυτές. Ο δεύτερος άξονας πάνω στην κοστολόγηση έχει να κάνει με την κατασκευή εξολοκλήρου νέων μοντέλων κοστολόγησης, με σκοπό όχι απαραίτητα την μείωση του κόστους, αλλά μια πιο πλήρη ανάλυση.

Συμπερασματικά, αυτό που γίνεται αντιληπτό είναι πως η υπάρχουσα ερευνητική προσπάθεια στην αντίστοιχη βιβλιογραφία για τις παραπάνω τεχνολογίες δεν έχει καλυφτεί και εξεταστεί πλήρως και έτσι κρίνεται ελλιπής, έχοντας ως αποτέλεσμα την ανάγκη για περαιτέρω μελέτη αυτών με αποκλειστικό στόχο την ενίσχυση της απόδοσης των δικτύων, την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, την βελτίωση εμπειρίας των χρηστών για την προώθηση των τεχνολογιών. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, μπορεί να αξιοποιηθούν οι παραπάνω προτάσεις, αλλά ακόμα καλύτερα να δημιουργηθούν νέες, πάντοτε ευθυγραμμισμένες με τα θέλω και τις ανάγκες που θα υπάρχουν στην αγορά για τους χρήστες και τους παρόχους την συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Βιβλιογραφία

1. TECHSPOT, "The state of 5g : When it's coming, how fast it will be & the sci-fi future it will enable," 2018. <https://www.techspot.com/article/1582-state-of-5g-wireless/>
2. Aman Grover, "Everything you need to know about 5g technology (non technical)," 2018. <https://hackernoon.com/everything-you-need-to-know-about-5g-technology-non-technical-99cb095bde7f>.
3. M. A. Panhwar, M. Sulleman Memon, S. Saddar, and U. Rajput, "5g future technology: Research challenges for an emerging wireless network," INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE AND NETWORK SECURITY, vol. 17, no. 12, pp. 201–206, 2017.
4. I. WP5D, "Minimum requirements related to technical performance for 5g radio interface (s)," 2017.
5. Qualcomm.com, "Entertainment in 5g," 2018. <https://partners.wsj.com/qualcomm/transforming-entertainment/>.
6. Qualcomm Technologies, "Vr and ar pushing connectivity limits," 2018. <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/vr-and-ar-pushing-connectivity-limits.pdf?fbclid=IwAR0eucCdmhHwZ6BCETKjf7Yo8xipklQaub09IHebkBZ2oXCLMUFOJ-bUBE8>
7. Anh Phan & Shoaib Tahir Qureshi, "5g impact on smart cities," 2017. https://www.researchgate.net/publication/315804922_5G_impact_On_Smart_Cities.
8. Analysys Mason and Recon Analytics, "Vision impairment and blindness, Fact Sheet No 282 china holds narrow lead in global race to 5g, report finds maintaining us wireless leadership is vital to American economy," 2018. <http://www.analysismason.com/About-Us/News/Press-releases/>
9. Julia Horowitz, "China is beating the united states in the race for 5g," 2018. <https://money.cnn.com/2018/04/16/technology/china-united-states-5g-technology-study/index.html>.
10. RF Wireless World, "Advantages of 5g — disadvantages of 5g technology," 2018. <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-5G.html>

11. TECHSPOT, "The state of 5g : When it's coming, how fast it will be & the sci-fi future it will enable," 2018. <https://www.techspot.com/article/1582-state-of-5g-wireless/>
12. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf>
13. L. Lei, Z. Zhong, C. Lin, and X. Shen, "Operator controlled device-to-device communications in lte-advanced networks," IEEE Wireless Communications, vol. 19, no. 3, 2012.
14. P. Phunchongharn, E. Hossain, and D. I. Kim, "Resource allocation for device-to-device communications underlying lte-advanced networks," IEEE Wireless Communications, vol. 20, no. 4, pp. 91–100, 2013.
15. J. Qiao, X. S. Shen, J. W. Mark, Q. Shen, Y. He, and L. Lei, "Enabling device-to-device communications in millimeter-wave 5g cellular networks," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 1, pp. 209–215, 2015.
16. L. Wei, R. Hu, Y. Qian, and G. Wu, "Enable device-to-device communications underlying cellular networks: challenges and research aspects," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 6, pp. 90–96, 2014.
17. A. Asadi, Q. Wang, and V. Mancuso, "A survey on device-to-device communication in cellular networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 4, pp. 1801–1819, 2014.
18. M. N. Tehrani, M. Uysal, and H. Yanikomeroglu, "Device-to-device communication in 5g cellular networks: challenges, solutions, and future directions," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 86–92, 2014.
19. X. Lin, J. Andrews, A. Ghosh, and R. Ratasuk, "An overview of 3gpp device-to-device proximity services," IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 4, pp. 40–48, 2014.
20. Ms. Lopa J. Vora, "EVOLUTION OF MOBILE GENERATION TECHNOLOGY: 1G TO 5G AND REVIEW OF UPCOMING WIRELESS TECHNOLOGY 5G" <https://pdfs.semanticscholar.org/4dfd/40cc3a386573ee861c5329ab4c6711210819.pdf>
21. Nitesh, Garsha & Kakkar, Ashna. (2016). "Generations of Mobile Communication."

22. Kumar Singh, Ranjan Singh, "4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and Mobile Standards Rakesh" <http://pdfs.semanticscholar.org/b2ab/1c503c76a4b3870feaec5c3a6a157972a555.pdf>
23. Techno-economic Analysis of Ultra-dense and DAS Deployments in Mobile 5G <http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/publications/ICWCS2015.pdf>
24. Cost Modeling for SDN/NFV Based Mobile 5G Networks <http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/publications/p87-bouras.pdf>
25. Techno-economic analysis of MIMO & DAS in 5G <http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/publications/WMNC%20paper.pdf>
26. <https://www.waveform.com/pages/das-distributed-antenna-systems>
27. <https://www.electronicdesign.com/technologies/communications/article/21798919/understanding-distributed-antenna-systems-dass>
28. https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_antenna_system#Placement_of_distributed_antenna_systems
29. the DAS forum, DISTRIBUTED ANTENNA SYSTEMS (DAS) AND SMALL CELL TECHNOLOGIES DISTINGUISHED, February 4, 2013.
30. <https://www.everythingrf.com/community/what-are-distributed-antenna-systems>
31. <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-Distributed-Antenna-System-DAS.html>
32. <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/das-distributed-antenna-systems/what-is-a-das-technology.php>
33. <http://www.techplayon.com/das-distributed-antenna-system-basic-concept-different-types-benefits/>
34. https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_antenna_system
35. <https://www.fiercewireless.com/wireless/distributed-antenna-systems-from-niche-to-necessity>
36. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/distributed-antenna-system-equipment-market-25689918.html>
37. <https://www.everythingrf.com/community/what-are-distributed-antenna-systems>
38. <https://blog.commscopetraining.com/das-and-small-cells/>

39. https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/10970/3/Nemertes_Kollia%28com%29.pdf
40. Z. Liu. Techno-economical Analysis of Indoor Enterprise Solutions. PhD thesis, Aalborg University, December 2013.
41. Z. Liu, T. Kolding, P. Mogensen, B. Vejgaard, and T. Sorensen. Economical comparison of enterprise in-building wireless solutions using DAS and femto. In Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2012 IEEE, pages 1–5, Sept 2012
42. <https://rfdassolutions.com/what-is-das/>
43. https://en.wikipedia.org/wiki/Total_cost_of_ownership
44. https://en.wikipedia.org/wiki/Operating_expense
45. C. Bouras, V. Kokkinos, and A. Papazois. Financing and pricing small cells in next-generation mobile networks. In Wired/Wireless Internet Communications, Lecture Notes in Computer Science. Springer BerlinHeidelberg, 2014
46. J. Markendahl and O. Mkitalo. A comparative study of deployment options, capacity and cost structure for macrocellular and femtocell networks. In Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops (PIMRC Workshops), 2010 IEEE 21st International Symposium on, pages 145–150, 2010.
47. http://telematics.upatras.gr/telematics/system/files/publications/Bouras-Kollia2020_Chapter_Techno-EconomicAnalysisOfMMWav.pdf
48. L. Correia, D. Zeller, O. Blume, D. Ferling, Y. Jading, I. Gdor, G. Auer, and L. Van der Perre. Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks. Communications Magazine, IEEE, 48(11):66–72, 2010.
49. K. Johansson and A. Furuskar. Cost efficient capacity expansion strategies using multi-access networks. In Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st, volume 5, pages 2989–2993 Vol. 5, 2005.
50. <https://www.researchgate.net/profile/Junaid-Nawaz-Syed/publication/332219159/figure/fig4/AS:751939017007105@155628764086/1/Evolution-of-land-mobile-radio-communication-networks-across-several-generations.png>
51. <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
52. <https://www.etsi.org/technologies/5G>

Παράρτημα Α: Κώδικας Υπολογισμού Του Κόστους Για Τα Οικονομικά Μοντέλα των D2D & DAS.

Στο παρακάτω παράρτημα παρατίθεται ο c κώδικας, που αναπτύχθηκε με σκοπό τη δημιουργία συστήματος για τον υπολογισμό του κόστους για την περίπτωση του mmWave και του DAS δικτύου, σύμφωνα με τους τύπους, που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 5 και σχετίζονται με τα CAPEX, OPEX και TCO κόστη.

Η μεταγλώττιση λόγω της χρήσης της βιβλιοθήκης #include για τις μαθηματικές συναρτήσεις της ύψωσης σε δύναμη, γίνεται με την εντολή: gcc -o cost cost.c -lm σε λειτουργικό σύστημα Linux.

```
#include<stdio.h>
#include<string.h>
#include<math.h>

int main(void)
{

//Declarations
char type[10]; // Network type (D2Dor DAS)
int mm; //mmWave function caller
int d; //DAS function caller

printf(" Calculation programm the network's cost! \n");
printf(" Give the network's type you want to calculate the cost: \n");

gets(type);

//DAS CASE
if(!strcmp(type,"DAS"))
{ d=DAS();}

//mmWave CASE
if(!strcmp(type,"D2D"))
```

```

{ mm=D2D (); }

//error CASE
else
{ printf("Not known type written!");}
return 0;
}

//DAS cost calculation function
int DAS(void)

{
//types of costs declaration
int eNB; //eNB nodes
int EPC; // evolved packet core
int N; // number of nodes
double i; //interest rate
double n; //investment plan in years
int equip; //equipment
float d; //number of DAS antennas
float fst; // maintnance cost
int cst; // site/ support/power
float crn; // running
int bc; // backhaul costs
int bw; // bandwidth
int fbw; // euros/Gbps
float pw; //power
int cinc; // installation-coordination
double k; // A loan calculation
double c; // power calculation

// declarations of the results costs

```



```
double CAPEX=0.0;
double OPEX=0.0;
int IMPEX=0;
double TCO=0.0;

printf(" Give the system's parameters and variables for DAS:\n");

printf("Give the Number of Nodes:");
scanf("%d", &N);

printf(" Give the interest rate:");
scanf("%lf", &i);

printf(" Give the years of investment plan:");
scanf("%lf", &n);

printf(" Give the cost of the core network:");
scanf("%d", &EPC);

printf(" Give the cost of nodes NB:");
scanf("%d", &eNB);

printf(" Give the equipment cost:");
scanf("%d", &equip);

printf(" Give the maintenance parameter:");
scanf("%f", &fst);

printf(" Give the number of DAS nodes:");
scanf("%f", &d);
```

```

printf(" Give the site parameter:");
scanf("%d", &cst);

printf(" Give the running cost:");
scanf("%f", &crn);

printf(" Give the backhaul cost:");
scanf("%d", &bc);

printf(" Give the bandwidth:");
scanf("%d", &bw);

printf(" Give the bandwidth per euros:");
scanf("%d", &fbw);

printf(" Give the power consumption cost:");
scanf("%f", &pw);

printf(" Give the coordination cost:");
scanf("%d", &cinc);

c=pow(1+i,n); // power calculation
k=c-1; // loan calculation

//Computation of expenditures:

//Capital
CAPEX= (i/k)*d*equip+k*N*(eNB+EPC);

printf("The Capital expenditure of DAS is: %.2lf,\n", CAPEX);

//Operational

```

```

OPEX=N*(eNB+EPC)+
(i/k)*fst*CAPEX+N*cst+fbw*bw+pw*equip*d*(i/k);

printf("The Operational expenditure of DAS is: %.2lf,\n", OPEX);

//Implementation cost
IMPEX=cinc;

printf("The Implementation expenditure of DAS is: %d,\n", IMPEX);

//Total cost of ownership
TCO=(CAPEX+OPEX+IMPEX);

printf("The total cost of ownership for DAS is: %.2lf,\n", TCO);
return 0;
}

//proposed model cost calculation function
int D2D(void)
{
//types of costs declaration
int N; //number of nodes
int d2dcost; //cost variable for 5G D2D nodes
int EPC; // evolved packet core
double r; //interest rate
double n; //investment plan in years
int equip; //equipment
int cst; // site/ support/power
float crun; // running
float fst;
int cbh; // backhaul costs
int bw; // bandwidth

```

```

int fbw; // euros/Gbps

double c; // power calculation
double k; // A loan calculation

// declaration for the costs results
double CAPEX=0.0;
double OPEX=0.0;
double TCO=0.0;

printf(" Give the system's parameters and variables for the 5G D2D network:\n");

printf(" Give the Number of total Nodes:");
scanf("%d", &N);

printf(" Give the cost of 5G D2D nodes:");
scanf("%d", &d2dcost);

printf(" Give the cost of the core network:");
scanf("%d", &EPC);

printf(" Give the interest rate:");
scanf("%lf", &r);

printf(" Give the years of investment plan:");
scanf("%lf", &n);

printf(" Give the equipment cost:");
scanf("%d", &equip);

printf(" Give the running cost:");

```

```

scanf("%f", &crun);

printf(" Give the backhaul cost:");
scanf("%d", &cbh);

printf(" Give the site parameter:");
scanf("%d", &cst);

printf(" Give the maintenance parameter:");
scanf("%f", &fst);

printf(" Give the bandwidth:");
scanf("%d", &bw);

printf(" Give the bandwidth per euros:");
scanf("%d", &fbw);

c=pow(1+r,n); // power calculation
k=c-1; // loan calculation

//Computation of expenditures:

//Capital
CAPEX=(N*d2dcost+EPC+N*equip)*(r/k) ;

printf("The Capital expenditure of D2D 5G model is: %.2lf,\n", CAPEX);

//Operational

OPEX=(N *d2dcost +N*EPC)+ (r/k)*fst*CAPEX+N*cst+fbw*bw;

```

```
printf("The Operational expenditure of D2D 5G model is: %.2lf,\n", OPEX);

//Total cost of ownership
TCO=OPEX+CAPEX;

printf("The total cost of ownership for D2D 5G model is: %.2lf,\n", TCO);
return 0;

}
```