

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα: Τεχνοοικονομική Ανάλυση της Χρήσης Femtocells σε Κινητά
Δίκτυα Επικοινωνιών

Συγγραφέας: Αναστασία Α. Κόλλια,

ΑΜ: 5004

Υπεύθυνος καθηγητής: Καθ. Χρήστος Ι. Μπούρας

Επιβλέπων: Δρ. Ανδρέας Παπαζώης

Πάτρα, Οκτώβριος 2015

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

Αναστασία Α. Κόλλια

© 2015- Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Πρόλογος

Αρχικά, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής και καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Χρήστο Ι. Μπούρα, για τις θεμελιώδους σημασίας συμβουλές του και την καθοδήγηση, που μου παρείχε σε ολόκληρο το διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, καθώς, επίσης, για τις γνώσεις, που μου μετέδωσε στην πενταετή μου πορεία στο τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, αλλά και για την ευκαιρία, που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πραγματικά ενδιαφέρον ζήτημα.

Επίσης, θέλω να σημειώσω ιδιαίτερα τη συνεχή παρουσία, την αμέριστη συμβολή και υποστήριξη του επιβλέποντος καθηγητή μου και Διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής Δρ. Ανδρέα Παπαζώη, αλλά και την προθυμία του να απαντά στις ερωτήσεις και να επιλύει τις απορίες μου.

Επιπρόσθετα, δεν είναι δυνατό να ξεχάσω τους διδάσκοντες στο τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, που με ιδιαίτερο ζήλο κατάφεραν να μεταλαμπαδεύσουν πλήθος από τις γνώσεις τους και μεταδώσουν την αγάπη τους για τον τομέα των υπολογιστών σε πολλές γενιές μηχανικών, αλλά και σε εμένα προσωπικά.

Τέλος, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας και με βάση το θέμα αυτής πραγματοποιήθηκε δημοσίευση επιστημονικού άρθρου με τίτλο «Techno-economic Analysis of Ultra-dense and DAS Deployment in Mobile 5G», Christos Bouras, Vasileios Kokkinos, Anastasia Kollia, Andreas Papazois, που παρουσιάστηκε στο συνέδριο ISWCS2015 τον Αύγουστο του 2015. [87]

Πάτρα, Οκτώβριος 2015

Αναστασία Α. Κόλλια

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται μία τεχνο-οικονομική ανάλυση των Femtocells και Distributed Antenna Systems (DAS), δύο τεχνολογιών με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αρχικά, παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής. Επιπλέον, αναλύονται οι βασικές εργασίες, μελέτες και επιστημονικές προσεγγίσεις, που αυτή βασίστηκε ή η συγγραφέας στηρίχθηκε για να αναπτύξει τα δικά της μοντέλα.

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα στοιχεία των Κινητών Δικτύων Επικοινωνίας. Αναλύεται πώς αυτά λειτουργούν, ποιοί είναι οι θεμέλιοι λίθοι τους. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στα διάφορα είδη κυψελών (cells), που είναι δυνατό να συνυπάρχουν σε ένα συνολικό δίκτυο και ποιό το μέγεθος της περιοχής, που είναι δυνατό να καλύψουν αυτές. Επιπρόσθετα, 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 Femtocells 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 τα Femtocells 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 το DAS με ή χωρίς την κατασκευή νέου σταθμού βάσης και για τα Femtocells με γνώμονα το πλήθος κεραιών, τα χρόνια επένδυσης και την υφιστάμενη τεχνολογία καλωδίωσης.

Επίσης, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα, όπως ότι τα Femtocells πάντα έχουν χαμηλότερο κόστος από τα DAS, λόγω του αυξημένου λειτουργικού κόστους των DAS. Από την άλλη μεριά, όταν επιδιώκεται η κάλυψη ευρύτερων περιοχών τα Femtocells δεν είναι πολύ προσφιλής λύση, εφόσον, αυξάνουν γραμμικά το κόστος τους με την αύξηση του πλήθους των απαραίτητων κεραιών. Τέλος, καταγράφονται ιδέες και προτάσεις για μελλοντική έρευνα στον τομέα των Femtocells, των DAS και γενικότερα στον τομέα κινητής επικοινωνίας.

Executive Summary

This thesis refers to a techno-economic analysis of Femtocells and Distributed Antenna Systems (DAS), that are technologically interesting. In the beginning, the structure of the thesis is being analysed. Furthermore, there are presented the most important works, reports and papers that the writer is based on, while writing the thesis or consulted in her own cost model analysis.

Moreover, there is a presentation of the most fundamental characteristics of the Mobile Communication Networks. There is an analysis on how they function and there are presented their fundamental structures. There are described the most vital species of network cells, that it is possible to co-exist in a mobile network, nowadays. What is more, there are discussed the main reasons why it is believed that there should be a thorough research in technical and financial activity in the particular field and namely of these two technologies.

Furthermore, there are presented the technical characteristics of Femtocells and DAS. There is an analysis in the architecture of such technologies, there is a presentation of their historical routes, there is a thorough analysis of their main advantages and disadvantages and finally, there is a presentation in the particular model that is taken into account for the economic analysis.

After that, there is a cost analysis for each technology by creating mathematical economical types, like those who exist in similar studies. The total cost of ownership is divided for Femtocells' case in capital and operational expenditure, whereas, in the DAS case it is divided into capital, operational and implementation expenditure.

By applying the mathematical types and prices, that occurred after thorough research activity from the greek market, there is a calculation of the upper costs for every case and there is a comparison of the capital, operational and the total cost of ownership for DAS without and with the creation of a brand new base station and for Femtocells by considering the number of antennas, the years of investment and the backhaul technology.

Moreover, there are conducted several important conclusions, such as that Femtocells always cost less than DAS due to DAS' augmented operational expenditure. On the other hand, when a wide area coverage is needed Femtocells are not an appealing solution, because their costs linearly augment to the augmentation of the number of antennas. Finally, there are several suggestions and ideas for future research activity in the field of Femtocells, DAS and mobile telecommunications, in general.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Executive Summary.....	5
Πίνακας Περιεχομένων.....	6
Κατάλογος Σχημάτων.....	8
Λίστα Πινάκων.....	10
Ακρωνύμια.....	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
2. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	17
3. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	20
3.1 Εισαγωγή στα Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας.....	20
3.2 Είδη Κυψελών & DAS.....	23
3.2.1 Macrocell.....	25
3.2.2 Microcell.....	26
3.2.3 Picocell.....	27
3.2.4 Femtocells.....	28
3.2.5 Distributed Antenna Systems.....	29
3.3 Κίνητρα Μελέτης Femtocells & DAS.....	30
4. DAS.....	32
4.1 Τεχνολογία & Αρχιτεκτονική.....	35
4.2 Ιστορική Ανασκόπηση.....	40
4.3 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα.....	42
4.4 Μοντέλο Λειτουργίας.....	44
5. FEMTOCELLS.....	46
5.1 Τεχνολογία & Αρχιτεκτονική.....	48
5.2 Ιστορική Ανασκόπηση.....	53
5.3 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα.....	55
5.4 Μοντέλο Λειτουργίας.....	57
6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	60
6.1 Ανάλυση Κόστους DAS.....	62
Κεφαλαιακές Δαπάνες.....	64
Λειτουργικές Δαπάνες.....	66
Κόστος Υλοποίησης.....	68

Συνολικό Κόστος.....	69
6.2 Ανάλυση Κόστους Femtocells.....	70
Κεφαλαιακές Δαπάνες.....	71
Λειτουργικές Δαπάνες.....	72
Συνολικό Κόστος.....	73
7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	74
7.1 Κεφαλαιακή Δαπάνη.....	77
7.2 Λειτουργική Δαπάνη.....	81
7.3 Συνολική Δαπάνη.....	83
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	87
9. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	90
Βιβλιογραφία.....	94
Παράρτημα Α: Κώδικας Υπολογισμού Του Κόστους Για Τα Οικονομικά Μοντέλα των DAS & Femtocells.....	99

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3.2: Σχήμα σύγκρισης κυψελών.

Σχήμα 3.2.1: Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης Macrocells.

Σχήμα 3.2.3: Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης Picocells.

Σχήμα 3.2.4: Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης Femtocells.

Σχήμα 3.2.5: Σχήμα κατανομής κεραιών DAS.

Σχήμα 4.1: Σχήμα δομής DAS.

Σχήμα 4.1.1: Σχήμα δομής DAS.

Σχήμα 4.1.2: Σχήμα συσκευής DAS.

Σχήμα 4.1.3: Σχήμα συσκευής DAS.

Σχήμα 4.1.4: Σχήμα συσκευής DAS.

Σχήμα 4.4: Μοντέλο κτηρίου για το DAS.

Σχήμα 5.1.1: Αρχιτεκτονική Femtocells.

Σχήμα 5.1.2: Σχήμα συσκευής Femtocells.

Σχήμα 5.1.3: Σχήμα συσκευής Femtocells.

Σχήμα 5.1.4: Σχήμα συσκευής Femtocells.

Σχήμα 5.1.5: Σχήμα συσκευής Femtocells.

Σχήμα 5.4.1: Μοντέλο για την Ultra-density με κυψέλες και συσκευές.

Σχήμα 5.4.2: Μοντέλο Ultra-density με κυψέλη και κεραιές.

Σχήμα 7.1.1: CAPEX για τεχνολογίες Femtocells, DAS με νέο σταθμό βάσης, DAS χωρίς νέο σταθμό βάσης.

Σχήμα 7.1.2: CAPEX για διαφορετικές τεχνολογίες καλωδίωσης.

Σχήμα 7.1.3: CAPEX για τεράστια κτήρια.

Σχήμα 7.1.4: CAPEX για τα έτη επένδυσης.

Σχήμα 7.2: OPEX για τεχνολογίες Femtocells, DAS με νέο σταθμό βάσης, DAS χωρίς νέο σταθμό βάσης.

Σχήμα 7.3.1: TCO για τεχνολογίες Femtocells, DAS με νέο σταθμό βάσης, DAS χωρίς νέο σταθμό βάσης.

Σχήμα 7.3.2: TCO για τεχνολογίες Femtocells, DAS με νέο σταθμό βάσης, DAS χωρίς νέο σταθμό βάσης για διαφορετικές τεχνολογίες καλωδίωσης.

Σχήμα 7.3.3: TCO για τεράστια κτήρια και για τεχνολογίες Femtocells, DAS με νέο σταθμό βάσης, DAS χωρίς νέο σταθμό βάσης.

Σχήμα 7.3.4: TCO για τεχνολογίες Femtocells, DAS με νέο σταθμό βάσης, DAS χωρίς νέο σταθμό βάσης για τα έτη επένδυσης.

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 7.1: Παράμετροι, μεταβλητές, κόστη για το DAS.

Πίνακας 7.2: Παράμετροι, μεταβλητές, κόστη για την Ultra-density (Femtocells).

Ακρωνύμια

2.5G: 2,5 (Second and a half generation) γενιά τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας (GPRS)

2.75G: 2.75G γενιά τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας (EDGE)

3G: Τρίτη γενιά (Third generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

4G: Τέταρτη γενιά (Fourth generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας

5G: Πέμπτη γενιά (Fifth generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας

BS: Base Station

BSC: Base Station Controller

BW: Bandwidth

CAPEX: Capital Expenditure

C_{bc} : Backhaul Costs

C_{HeNB} : HeNB's Costs

C_{rn} : Running Costs

C_{BSDAS}^{CX} : Capital Expenditure for the Base station of DAS

C_{DASEQ}^{CX} : Capital Expenditure for DAS' equipment

C_{DAS}^{CX} : Capital Expenditure for DAS

C_{dense}^{CX} : Capital Expenditure for Ultra-dense deployment

C_{if} : Interface Costs

C_{inc} : Installation and Coordination costs

C^{IX} : Implementation Expenditure

C_{BSDAS}^{OX} : Operational Expenditure for the Base station of DAS

C_{DAS}^{OX} : Operational Expenditure for DAS

C_{dense}^{OX} : Operational Expenditure for Ultra-dense deployment

C_{pw} : Power costs

C_{st} : Site costs

CDMA: Code Division Multiple Access

DAS: Distributed Antenna Systems

DSL: Digital Subscriber Loop/Line

eNB: Node B

EPC: Evolved Packet Core

FDMA: Frequency Division Multiple Access

GSM: Groupe Special Mobile

HNB: Home Node B

HNB-GW: Home Node B GateWay

i-DAS: Indoor DAS

IMPEX: Implementation Expenditure

IP: Internet Protocol

IPsec: Internet Protocol Security

KM: KiloMeter

LIPA: Local IP Access

LTE: Long Term Evolution

m: Meters

MIMO: Multiple Input Multiple Output

MSC: Mobile Switching Center

NB: New Base Station

o-DAS: Outdoor DAS

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OPEX: Operational Expenditure

PROW: Public Rights Of Way

QOS: Quality Of Service

RF: Radio Frequency

RNC: Radio Network Controller

SIPTO: Selected IP Traffic Offload

SGSN: Serving GPRS Support Node

SS-CDMA: Spread Spectrum Code Division Multiple Access

TCO: Total Cost Of Ownership

TCO_{DAS}: Total Cost Of Ownership for DAS

TCO_{dense}: Total Cost Of Ownership for Ultra-dense deployments

TDMA: Time Division Multiple Access

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

WiMax: Worldwide Interoperability for Microwave Access

WWAN: Wireless Wide Area Network

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά την οικονομική κρίση πολλές μελέτες στράφηκαν στο κόστος και πήραν χαρακτήρα τεχνοοικονομικής ανάλυσης, εφόσον, πέρα από την παρουσίαση των τεχνολογικών ιδιοτήτων αναλύουν εις βάθος οικονομικές πλευρές της εκάστοτε τεχνολογίας. Θα έλεγε κανείς ότι έχουν λάβει και ένα χαρακτήρα μελέτης εφικτότητας (feasibility study), αφού δεν αρκεί μία τεχνολογική πρόταση να είναι άρτια τεχνολογικά και σχεδιαστικά, αλλά πρέπει να ανταποκρίνεται και στις οικονομικές ανάγκες και περικοπές των τελευταίων ετών.

Ένα έργο, που αναλαμβάνεται από μία δικτυακή επιχείρηση, πρέπει να είναι δυνατό να καλυφθεί και να υποστηριχτεί από τα μέσα της επιχείρησης και να δίνει προοπτικές στην ανάπτυξη και επέκταση των επιχειρηματικών σχεδίων της εταιρείας, αλλιώς, κινδυνεύει με αποτυχία. Είναι ιδιαίτερα ζωτικής σημασίας, η οικονομική ανάλυση κάθε μοντέλου επικοινωνίας, διότι το κόστος, συχνά, μπορεί να λειτουργήσει ως αποτρεπτικός ή ενθαρρυντικός παράγων για την υιοθέτηση και την επιβίωση οποιουδήποτε επιχειρηματικού σχεδίου. [30], [31]

Τα δίκτυα 5G είναι τα δίκτυα, που αναμένεται να διαδραματίσουν σπουδαίο ρόλο τη δεκαετία 2020-2030. Είναι νέας γενιάς κινητά δίκτυα επικοινωνίας, τα οποία είναι πολλά υποσχόμενα και έχουν ήδη σχολιαστεί σε πολλά συνέδρια και επιστημονικά άρθρα, ενώ έχει ξεκινήσει από το 2009 προσπάθεια προτυποποίησής τους. Επειδή, υπάρχουν σημαντικές υποσχέσεις και προαπαιτούμενα από την εν λόγω γενιά δικτύων, είναι σημαντικό να ξεπεραστούν σημαντικά προβλήματα, που περιλαμβάνουν γενικότερα τα κινητά δίκτυα επικοινωνίας.

Η νέα τεχνολογία, σύμφωνα, με τις εκτιμήσεις, που περιγράφονται στα [4], [5], [6], [12] θα είναι περισσότερο φιλική στο περιβάλλον, αφού είναι βασικός στόχος των σύγχρονων εταιρειών δημιουργίας κινητών συσκευών η περιστολή της κατανάλωσης ενέργειας και η επέκταση της «ζωής» της μπαταρίας των κινητών συσκευών. Επίσης, υποτίθεται πως θα περιλαμβάνουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης, κάτι, που ακούγεται εξαιρετικά δύσκολο αν σκεφτεί κανείς πώς είναι ακριβό να εξασφαλίσει κάποιος περισσότερες συχνοτικές ζώνες. Επιπλέον, θα πρέπει να υποστηρίζουν τη σύνδεση ολοένα και αυξανόμενου πλήθους συσκευών, αφού εκτός από τις κινητές συσκευές, τους κινητούς υπολογιστές, τα έξυπνα κινητά, τις ταμπλέτες κλπ, θα προστεθούν τα επόμενα χρόνια και άλλες έξυπνες συσκευές, όπως οικιακές, αυτοκίνητα κλπ, εφόσον, ολοένα αυξάνεται ο λόγος για το Internet of Things και την αλληλεπίδραση και επικοινωνία μεταξύ μηχανών (Machine-to-Machine).

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να έχει χαμηλότερο κόστος, διότι, ήδη, οι επενδύσεις για την μελέτη των προηγούμενων γενιών κινητής επικοινωνίας δεν έχουν αποδώσει οικονομικά τα μέγιστα και οι εταιρείες κατασκευής τηλεφώνων δεν έχουν αποσβέσει τα χρήματα τους από τη 4G τεχνολογία. Συνεπώς, θα βλέπουν με σκεπτικισμό μία νέα προσέγγιση. Τέλος, πρέπει να γίνει ένας αγώνας δρόμου να προλάβει κανείς την εξάπλωση του 5G, αφού ακόμα δεν έχουν αντικατασταθεί οι παλιότερες τεχνολογίες

με τις LTE, δηλαδή αυτές της τέταρτης γενιάς και συχνά, σε ένα ασύρματο δίκτυο συνυπάρχουν παλαιότερες και ενδιάμεσες γενιές τεχνολογίας, όπως 2.5G, 2.75G, 3G, 4G κλπ. [30], [31]

Συνεπώς, ανακύπτει το ζήτημα του ποιές τεχνολογίες περιλαμβάνουν αυτά τα χαρακτηριστικά ούτως ώστε, να είναι δυνατόν να επιφέρουν τις υψηλές απαιτήσεις της νέας γενιάς κινητής επικοινωνίας. Από τα παραπάνω, λοιπόν, γίνεται αντιληπτό ότι τα Femtocells είναι ιδανικά να απαντήσουν σε πολλές από τις απαιτήσεις των 5G δικτύων. Αρχικά, με χρήση των Femtocells είναι δυνατό να συνδεθεί πλήθος συσκευών στο διαδίκτυο. Επίσης, είναι μία πράσινη τεχνολογία, αφού καταναλώνει μικρό ποσοστό ενέργειας. Επιπλέον, κοστίζει λίγο και άρα είναι μία προσφιλή προσέγγιση για τους χρήστες, όπως αποδεικνύεται κι όλες στα [1], [7], [10], [11]. Τέλος, η αναδιανομή του εύρους ζώνης, που πραγματοποιεί, την καθιστά πολύ σημαντικό παράγοντα για τη βελτιστοποίηση των δικτύων. Συνάμα, με τα ανωτέρω έχει κι άλλα πλεονεκτήματα, αφού είναι κατά κάποιο τρόπο έξυπνη τεχνολογία, εφόσον, έχει τη δυνατότητα να αυτό-συγχρονίζεται στο δίκτυο, που εισάγεται χωρίς την ανάγκη χειρισμού από ειδικούς και προσδίδει μεγαλύτερα ποσοστά ασφάλειας στο δίκτυο, εφόσον, είναι δυνατό να υπάρχουν μία ή περισσότερες ομάδες χρηστών, που να είναι προεπιλεγμένα απαγορευμένες για το δίκτυο. [30], [31]

Ακόμα, τα Femtocells αναμένεται να είναι η βασική μέθοδος για την αντιμετώπιση των αυξανόμενων απαιτήσεων των χρηστών δικτύων κινητών επικοινωνιών. Θα προσφέρουν υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, αλλά και αποτελεσματική κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους, όπου το σήμα, που φτάνει από τις συμβατικές κυψέλες είναι αδύναμο. Η τεχνολογία των Femtocells έχει, επίσης, ισχυρές δυνατότητες για τη βελτίωση της κάλυψης του δικτύου, αλλά και της συνολικής χωρητικότητάς του, μέσω της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων και της αποσυμφόρησης του δικτύου Macrocells.

Επιπλέον, τα Distributed Antenna System (DAS) θα μπορούσαν να αποτελέσουν μία ισχυρή πρόταση. Ο διαχωρισμός ενός δικτύου σε μικρότερα υποδίκτυα και οι διάφορες κεραιές, που είναι απαραίτητες για να καλύπτουν μία περιοχή, είναι πολύ σημαντικές, διότι φαίνεται να ικανοποιούν τις ανάγκες, που προκύπτουν σε ένα τοπικό δίκτυο.

Βασικός σκοπός της διπλωματικής είναι να αναλύσει τεchnοοικονομικά τη χρήση των Femtocells, να εντοπίσει και να περιγράψει αναλυτικά τα κίνητρα των συνδρομητών και των παρόχων προκειμένου να επιλέξουν Femtocells, αντί για άλλους τύπους πρόσβασης σε εσωτερικούς χώρους ή να συνδυάσουν τα Femtocells με άλλες λύσεις, όπως τα πρότυπα 802.11. Επιπλέον, στόχος είναι να εξετάσει τα δύο μοντέλα τιμολόγησης του Femtocell και του DAS, που δίνουν κίνητρα στους συνδρομητές να τα χρησιμοποιήσουν και τα οποία μπορούν να επιταχύνουν τη διείσδυση των Femtocells στην αγορά, έτσι ώστε να καταστήσουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία μία οικονομικά βιώσιμη λύση.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύονται βασικές ερευνητικές εργασίες και ενέργειες, που έχουν συντελεστεί και σχετίζονται με το ζήτημα των Femtocells, του DAS, καθώς και των κινητών δικτύων επικοινωνίας επόμενης γενιάς. Αυτές οι εργασίες είτε αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης για προβληματισμό όσον αφορά στη συγκεκριμένη

θεματολογία, είτε υπήρξαν θεμέλιοι λίθοι για την ανάλυση, επέκταση και κατάστρωση των τεχνοοικονομικών μοντέλων.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η δομή των σύγχρονων κινητών δικτύων επικοινωνίας, καθώς και πώς αυτά υλοποιούνται στις μέρες μας, ώστε να υπάρχει μία βασική αναφορά σε θεμελιώδεις έννοιες, όπως οι κυψέλες, οι σταθμοί βάσης κλπ. Επιπρόσθετα, πρέπει να ανατρέξει κανείς στις σημαντικότερες λύσεις για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, όπως είναι για παράδειγμα οι Macrocells, οι Microcells, οι Pico cells, οι Femtocells και τα DAS, ενώ θα πρέπει να αναλυθούν σε βάθος οι λόγοι, που οδηγούν στο ενδιαφέρον των τηλεπικοινωνιακών παρόχων και χρηστών για τις τεχνολογίες αυτές.

Στα Κεφάλαια 4 και 5 περιγράφονται οι τεχνολογίες των DAS και Femtocells αντίστοιχα. Αναλύεται η αρχιτεκτονική τους, ποιά είναι τα βασικά στοιχεία, που συγκροτούν κάθε ένα από τα δίκτυα αυτά, πώς αυτά δομούνται, παρατίθενται εικόνες για βέλτιστη κατανόηση κλπ. Ακόμα, σημειώνεται η ιστορική τους πορεία, δηλαδή, πότε και από ποιους δημιουργήθηκαν με ποιά αφορμή και πότε κέρδισαν έδαφος σε σημαντικό βαθμό. Επίσης, αναπτύσσονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους με σκοπό να κατανοηθεί περαιτέρω, γιατί αποτελούν θεμελιώδεις λίθους στη νέα τεχνολογική πραγματικότητα. Έπειτα, παρουσιάζεται αναλυτικά, για κάθε υλοποίηση το μοντέλο μελέτης, δηλαδή ποιές θεωρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί για το εν λόγω σύστημα.

Στο Κεφάλαιο 6 αναλύεται οικονομικά το μοντέλο τιμολόγησης για το κεφάλαιο, που απαιτείται να δοθεί, για τις δαπάνες λειτουργίας τους, καθώς και το κόστος υλοποίησης τους, αν και εφόσον υπάρχει και για τις δύο βασικές τεχνολογίες. Εκεί σημειώνονται οι βασικές διαφορές κόστους για κάθε μία θεώρηση. Καταστρώνονται οι μαθηματικές εξισώσεις και εξηγούνται αναλυτικά οι μέθοδοι, με τις οποίες αυτές έχουν εξαχθεί.

Στο Κεφάλαιο 7 με χρήση των μαθηματικών περιγραφών του Κεφαλαίου 6 και με χρήση γνωστών τιμών από την ελληνική και ευρωπαϊκή αγορά, πραγματοποιούνται μετρήσεις και πειράματα, ώστε να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για τις συγκεκριμένες τεχνολογίες. Δηλαδή, να γίνει κατανοητό πότε και πώς αυτές πραγματοποιούν σημαντικές και αξιοποιήσιμες λύσεις, υπό ποιές παραμέτρους κλπ. Αναλύονται ξεχωριστά περιπτώσεις για τα κόστη κεφαλαίου, λειτουργίας και για το συνολικό κόστος κατοχής της υπηρεσίας.

Στο Κεφάλαιο 8 σημειώνονται θεμελιώδη συμπεράσματα από τα διενεργούμενα πειράματα του Κεφαλαίου 7. Στο τέλος, σημειώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα και προβληματισμό, με την παρουσίαση θεμάτων, που αναμένεται να απασχολήσουν τους επιστήμονες τα επόμενα έτη, όσον αφορά στις συγκεκριμένες τεχνολογίες, καθώς και τις κινητές τηλεπικοινωνίες γενικότερα.

Τέλος, στο Παράρτημα Α περιγράφεται ένας κώδικας υπολογισμού των περιγραφόμενων μαθηματικοποιημένων συναρτήσεων κόστους για τις ανωτέρω τεχνολογίες, υλοποιημένος σε διαδικαστικό προγραμματισμό και συγκεκριμένα σε γλώσσα C.

2. ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Είναι σημαντικό να συνοψιστούν οι σημαντικότερες μελέτες στον τομέα των τεχνικών και οικονομικών αναλύσεων και προβλέψεων για τα Femtocells και τα DAS. Πολλές από αυτές τις μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί συμβουλευτικά στην εν λόγω εργασία, ενώ η συγκεκριμένη ανάλυση αποτελεί μία πιο επικαιροποιημένη εκδοχή κάποιων από αυτές τις αναλύσεις. Από τη βιβλιογραφική έρευνα προέκυψε ότι τα Femtocells έχουν αναλυθεί σε πολλές προσπάθειες σε σχέση με καθαρά τεχνολογικές και αρχιτεκτονικές, αλλά και με καθαρά οικονομικές παραμέτρους, συνδυάζοντας συχνά και οικονομικές θεωρητικές προσεγγίσεις, όπως η θεωρία των παιγνίων. Από την άλλη μεριά, η κάλυψη του DAS είναι ελλιπής, καθώς, υπάρχουν μόνο δύο πολύ σημαντικές μελέτες για την τεχνοοικονομική του ανάλυση. Οι πιο σημαντικές εργασίες σχετικά με την τεχνοοικονομική ανάλυση των παραπάνω παρατίθενται ακολούθως.

Στα [8] και [9] περιλαμβάνονται οι πιο σημαντικές αναλύσεις σχετικά με τη σύγκριση των Femtocells και των DAS. Στις μελέτες αυτές, καταστρώνονται κόστη για τα κεφάλαια, το λειτουργικό και το συνολικό κόστος και συγκρίνονται για τις δύο τεχνολογίες, καταλήγωντας ότι τα Femtocells είναι μία οικονομικότερη και αρκετά ενδιαφέρουσα λύση για τα δίκτυα στο μέλλον.

Στην [61] αναλύεται θεωρητικά η λογική και τα βασικά χαρακτηριστικά των DAS, τα είδη αυτού, δηλαδή η διάκριση σε εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Επιπρόσθετα, τονίζονται οι πιο θεμελιώδεις διαφορές με τα βασικά είδη κυψελών, δηλαδή με τις Macrocells, Microcells, Picocells και Femtocells.

Η μελέτη [1] περιλαμβάνει τον υπολογισμό κόστους για το Femtocell και για την υλοποίηση του Macrocell ούτως ώστε, να ενθαρρύνονται οι χρήστες να εισαγάγουν τη συγκεκριμένη τεχνολογική πρόταση στο συνολικό τους δίκτυο, αφού παρουσιάζει συγκριτικά πλεονεκτήματα, σε σχέση με άλλες παραπλήσιες λύσεις για εσωτερικούς χώρους.

Στη μελέτη [2] αναλύεται το κόστος, το οποίο περιλαμβάνεται, όταν σε ένα δίκτυο υιοθετείται ο προκάτοχος του Femtocell, το Picocell. Κάτι τέτοιο είναι πολύ σημαντικό, αφού συχνά, είναι δυσδιάκριτες οι περιπτώσεις των Picocells και των Femtocells και έτσι, ο υπολογισμός του κόστους τους, συνάδει σημαντικά.

Η μελέτη [3] είναι πολύ σημαντική, διότι παρουσιάζει βασικούς τρόπους, σύμφωνα με τους οποίους είναι δυνατό να σημειωθεί χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος σε ένα δίκτυο. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς τρόπους είναι η βέλτιστη διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης του δικτύου και η μη συνεχής μετάδοση από τους σταθμούς βάσης για να αποτραπεί η κατανάλωση ενέργειας από το υλικό του σταθμού.

Οι μελέτες [4] και [5] συνοψίζουν τις σημαντικότερες απαιτήσεις και βασικότερες προκλήσεις, που πρέπει να καλυφτούν πριν την έλευση και την ευρεία διάδοση της πέμπτης γενιάς κινητής τηλεπικοινωνίας. Σχετίζονται άμεσα με τις

παρουσιαζόμενες τεχνολογίες, αφού αποτελούν σημαντικές προτάσεις, σχετικά με τις νέες γενιές κινητών δικτύων για καλύτερη διαχείριση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Η μελέτη [12] πραγματεύεται ζητήματα σχετικά με το κόστος, την κυκλοφορία των δεδομένων στο δίκτυο, την καθυστέρηση, την αξιοπιστία, τα ετερογενή δίκτυα, την ασφάλεια των δικτύων, τη μειωμένη κατανάλωση μπαταρίας συσκευών και σταθμών βάσης, την υψηλή πυκνότητα κυψελών και τη βελτίωση της χωρητικότητας.

Η ανάλυση [47] εστιάζει σε περισσότερο τεχνικά ζητήματα, που αφορούν στα ετερογενή δίκτυα. Εξετάζονται, κυρίως, θέματα σχετικά με την παρεμβολή, την ενέργεια και το διαθέσιμο φάσμα. Μετά από πλήθος πειραμάτων καταλήγεται ότι η συνύπαρξη διαφορετικών τεχνολογιών σε ένα δίκτυο συμβάλει τα μέγιστα στην αύξηση της απόδοσης, αφού συντελεί στη βελτίωση των παραπάνω παραγόντων.

Η μελέτη [48] εξετάζει τις πιο σημαντικές εναλλακτικές προσπάθειες, που μπορούν να σημειωθούν για δίκτυα LTE-A και 802.11, όπως τα Macrocells και τα Femtocells. Από την άλλη μεριά, επικετρώνεται στην υπερβολική χρήση του δικτύου, δηλαδή πάνω από τα 80GB ανά χρήστη μηνιαίως και καταλήγει ότι και στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα Femtocell κινούνται σε πλεονεκτικές θέσεις έναντι εναλλακτικών τεχνολογικών προτάσεων.

Στη συγκεκριμένη μελέτη [10] παρουσιάζεται μία σύγκριση μεταξύ Macrocells και Femtocells. Τελικά, καταλήγει ότι τα Femtocells είναι μία αποδοτικότερη λύση αν δεν απαιτείται η κατασκευή νέου σταθμού βάσης Macrocells. Στην αντίθετη περίπτωση, τα Macrocells παραμένουν μία σημαντική λύση και παρουσιάζουν πελονεκτήματα συγκριτικά με τα Femtocells.

Επίσης, στην [11] παρουσιάζεται ένα σύστημα ετερογενούς δικτύου, που συνδέει τις τεχνολογίες Femtocell και Macrocell. Επίσης, συμπεραίνεται ότι είναι πιο αποδοτικό ένα τέτοιο σύστημα και αυτό βασίζεται στην ιδέα της βέλτιστης διαχείρισης της δικτυακής συμφόρησης, που περνάει από το Macrocell στο Small Cell δίκτυο.

Στο βιβλίο [49] αναδεικνύεται πώς μπορεί να αξιοποιηθεί κατάλληλα η θεωρία παιγνίων και πιο συγκεκριμένα, το γνωστό “Stackelberg game” αναθέτωντας ως παίκτες τη χρήση Femtocells και Macrocells, ούτως ώστε να υπολογιστεί το κόστος για κάθε περίπτωση. Καταλήγει ότι όταν το κόστος αυξηθεί σημαντικά, περισσότεροι χρήστες είναι δυνατό να εξυπηρετούνται και κατά συνέπεια, μειώνεται σημαντικά το όφελος για τον πάροχο. Κάτι παραπλήσιο με το ανωτέρω συμβαίνει και στην περίπτωση της μελέτης [50], μολονότι στη συγκεκριμένη ανάλυση αξιοποιείται το Nash ισοζύγιο για τον υπολογισμό του κόστους σε ένα δίκτυο.

Η [51] κινείται σε πιο τεχνικά ζητήματα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος για τη διαχείριση των handovers σε ένα ασύρματο δίκτυο και καταλήγεται ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος εμφανίζει καλύτερη απόδοση σε σχέση με την ισχύουσα μέθοδο.

Στην [52] αναλύονται βάση οικονομικής θεωρίας και θεωρίας παιγνίων, οι πιο σημαντικές οικονομικές προβλέψεις για τις τιμές του διαθέσιμου ανά χρήστη εύρους

και πώς καθίσταται δυνατή η αύξηση του κέρδους, συγκριτικά με την σταθερή πρόβλεψη της τιμής.

Η ενδιαφέρουσα μελέτη [53], που ασχολείται με τα ζητήματα του close και open subscriber group, καταλήγει στο σημαντικό συμπέρασμα, ότι το close subscriber group υπερέχει πολύ σε σχέση με τον ανταγωνιστή του και εξοικονομεί σημαντικά κέρδη, αφού αναδιανέμει το εύρος ζώνης και δεν απαιτείται η ενοικίαση περισσότερου φάσματος. Από την άλλη μεριά, είναι σημαντικό πως σε κάθε περίπτωση, σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο, υπάρχουν συγκριτικά πλεονεκτήματα και εξοικονομούνται χρήματα.

Στην εν λόγω ανάλυση [54] βρίσκεται το ελάχιστο κόστος για ένα ετερογενές δίκτυο, με στόχο να ενθαρρυνθούν και να στραφούν σε αυτά, οι πάροχοι. Αυτό είναι δυνατό να συμβεί με στοχαστικά γεωμετρικά εργαλεία, τα οποία υπολογίζουν το πιο χαμηλό κόστος, δοθείσης μίας σταθερής πιθανότητας κάλυψης σε ότι αναφορά στο δίκτυο.

Η έρευνα [55] αναδεικνύει το συνολικό κόστος για την απόκτηση ενός δικτύου συγκριτικά με την ενεργειακή απόδοση. Για να είναι περισσότερο αποδοτική η μελέτη συγκρίνονται διάφοροι τύποι καλωδίωσης, όπως η οπτική ίνα και οι παραδοσιακές μέθοδοι. Τελικά, καταλήγεται ότι στην περίπτωση ετερογενών δικτύων επιτυγχάνεται μείωση στην κατανάλωση και συνεπώς, στο κόστος της ενέργειας, ενώ με γνώμονα τα επόμενα έτη, το 2018-2020 αναμένεται η κατανάλωση της ενέργειας και το κόστος αυτής να είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες και να απαιτείται μείωση τους.

Η τεχνοοικονομική ανάλυση [56] σχετίζεται άμεσα με τη σύγκριση του κόστους για τις περιπτώσεις των Microcells, Macrocells και Small Cells και μελετά την απόδοσή τους σε σχέση με παράγοντες, όπως η κάλυψη, η χωρητικότητα, η ενεργειακή απόδοση και το κόστος. Καταλήγει ότι οι Ultra-dense τεχνολογίες κατέχουν περισσότερα πλεονεκτήματα και συνεπώς, είναι σημαντικό για τη 5G να στραφεί κανείς προς την κατεύθυνση αυτή.

3. ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή στα Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας

Τα ασύρματα κυψελωτά δίκτυα, όπως και το σύνολο των λοιπών ασύρματων δικτύων, έχουν συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες, όπως χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, λόγω του μέσου στο οποίο διαδίδονται, δηλαδή τον αέρα, υψηλή μεταβλητότητα ρυθμού μετάδοσης, πάλι λόγω του αέρα, αλλά και λόγω παρεμβολών από άλλες συσκευές από φυσικά φαινόμενα, από σύγκρουση με επιφάνειες κλπ. Παρουσιάζουν κινητικότητα και άρα, φαινόμενο Doppler, με αποτέλεσμα να είναι επιθυμητό να συγχρονιστούν πομπός και δέκτης, κάτι που είναι εξαιρετικά δύσκολο ειδικά, αν είναι και οι δύο κινούμενοι, κάτι διόλου απίθανο.

Ακόμα, σημειώνεται μεγάλη ετερογένεια στον τύπο αυτών των δικτύων, αλλά και των συσκευών, που εξυπηρετούν. Αν αναλογιστεί κανείς ένα δημόσιο χώρο μπορεί να εξυπηρετούνται από φανάρια για παράδειγμα, έως υπολογιστές και κινητά, κλπ. Ακόμα, εγείρονται θέματα ασφάλειας, δηλαδή κατά πόσο κακόβουλοι χρήστες «ακούνε» το δίκτυο υποκλέπτοντας δεδομένα. Επιπλέον, υπάρχει περιορισμένη ενέργεια στις κινητές συσκευές, αφού οι πιο πολλές λειτουργούν με μπαταρία και χρειάζεται να εξοικονομείται ενέργεια. Επιπρόσθετα, είναι αυξημένοι οι κίνδυνοι απώλειας δεδομένων, αφού τα ποσοστά τους στον αέρα είναι πολύ μεγαλύτερα από ότι στα άλλα μέσα μετάδοσης. Τέλος, η επιφάνεια διεπαφής είναι μικρή. [16], [57], [58]

Τα κυψελωτά δίκτυα δομούνται χρησιμοποιώντας χαμηλής ενέργειας και ισχύος μεταδότες, συχνά, καταναλώνουν ισχύ χαμηλότερη των 100 W. Η συνολική περιοχή, που επιδιώκεται να καλυφτεί ασύρματα, για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες κινητής επικοινωνίας, διαιρείται σε κυψέλες, καθεμία από τις οποίες εξυπηρετείται από τη δική της κεραία. Όλες οι κυψέλες εξυπηρετούνται από ένα σταθμό βάσης, που περιλαμβάνει ένα μεγάλο πλήθος πομπών, ληπτών και ελεγκτών. Πάντοτε, κάποια συγκεκριμένα κανάλια συχνοτήτων αποδίδονται σε κάθε κυψέλη. Αυτό γίνεται με διάφορους τρόπους, ώστε να μην προκύπτει το πρόβλημα παρεμβολής των γειτονικών κυψελών. Οι κυψέλες εγκαθίστανται, έτσι ώστε, οι κεραίες σε κάθε γειτονική περιοχή να δομούνται σε κανονικά εξάγωνα. [16], [57], [58]

Κάθε κινητό δίκτυο επικοινωνίας αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- Το σταθμό βάσης, ο οποίος περιλαμβάνει μία κεραία, έναν ελεγκτή δικτύου και ένα πλήθος από δέκτες σήματος.
- Τον κινητό σταθμό,
- Και το κινητό κέντρο μεταγωγής, το οποίο είναι υπεύθυνο για τις κλήσεις ανάμεσα στις κινητές μονάδες και είναι υπεύθυνο για το handoff. Το handoff είναι το φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο, κατά τη μεταφορά ενός κινητού από μία κυψέλη σε μία γειτονική του αποφασίζεται ποιά κυψέλη θα εξυπηρετεί τις ανάγκες επικοινωνίας για το συγκεκριμένο κινητό.

Στα κυψελωτά δίκτυα πραγματοποιείται επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Αυτό συμβαίνει, εφόσον, είναι συστήματα, τα οποία περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό από την παρεμβολή και όχι από το θόρυβο. Στις γειτονικές κυψέλες αποδίδονται διαφορετικές συχνότητες, με σκοπό να αποφεύγεται η παρεμβολή. Ο βασικός στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων σε γειτονικές κυψέλες. Με στόχο να αποφευχθεί η παρεμβολή μεταξύ των γειτονικών κυψελών, σε γειτονικές κυψέλες δεν ανατίθενται ποτέ ίδιες συχνοτικές ζώνες. Αυτό συμβαίνει με αξιοποίηση των αλγορίθμων χρωματισμού γειτονικών περιοχών, ώστε να μην υπάρχουν ποτέ γειτονικές κυψέλες με τα ίδια χρώματα, στη συγκεκριμένη περίπτωση, με το ίδιο συχνοτικό εύρος, και άρα, να μην δημιουργούνται προβλήματα παρεμβολών. Έτσι, πρέπει να λυθούν προβλήματα, που σχετίζονται άμεσα με την αύξηση ή την αξιοποίηση της χωρητικότητας. [16], [25], [57], [58]

Η αύξηση χωρητικότητας συντελείται με την προσθήκη νέων καναλιών, αφού αυτά εξασφαλιστούν, με το δανεισμό καναλιών από γειτονικές κυψέλες, οι οποίες δεν παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά συμφόρησης και περιλαμβάνουν αχρησιμοποίητες συχνότητες και άρα, μπορούν να εξυπηρετήσουν άλλες ανάγκες, με το διαχωρισμό της κυψέλης σε μικρότερες κυψέλες, με το διαχωρισμό των κυψελών σε τομείς με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών, δηλαδή κεραιών, που στρέφονται προς συγκεκριμένη κατεύθυνση και εξυπηρετούν μόνο αυτή την περιοχή, στην οποία είναι στραμμένες, καθώς και τη χρήση Small Cells, όπου περιλαμβάνει την εισαγωγή Microcells, Picocells, Femtocells κλπ. [16], [57], [58]

Επίσης, ακολουθούνται λογικές πολυπλεξίας στο κανάλι επικοινωνίας, ώστε να εξυπηρετούνται κάθε φορά επί μέρους ανάγκες. Η πολυπλεξία είναι μία μέθοδος, με την οποία, πολλαπλά αναλογικά σήματα μηνύματος ή ψηφιακές ροές δεδομένων συνδυάζονται σε ένα σήμα, ώστε να μεταδοθούν σε ένα κοινό μέσο. Οι σημαντικότερες μέθοδοι πολυπλεξίας, που συναντώνται στα κινητά δίκτυα επικοινωνίας, είναι TDMA (Time Division Multiple Access), FDMA (Frequency Division Multiple Access), CDMA (Code-Division Multiple Access), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), δηλαδή πολυπλεξία βάση χρόνου, βάση συχνότητας, βάση κώδικα και ορθογώνια πολυπλεξία, αλλά και διάφορες πιο εξελιγμένες παραλλαγές αυτών των βασικών τεχνικών. [16], [25], [57], [58]

Τα κανάλια, τα οποία, συνήθως, συναντώνται μεταξύ των κινητών σταθμών και του σταθμού βάσης είναι δύο τύπων είναι δηλαδή, κανάλια ελέγχου και κανάλια κίνησης. Τα κανάλια ελέγχου χρησιμοποιούνται, με σκοπό την ανταλλαγή της πληροφορίας για την εγκατάσταση και διατήρηση των κλήσεων σε κινητές συσκευές, ενέργειες, που είναι σημαντικές, τόσο για να εγκατασταθούν νέες κλήσεις από χρήστες, αλλά και να υπάρχει αδιάκοπη εξυπηρέτηση των υπαρχουσών. Τα κανάλια κίνησης διατηρούν τη φωνή ή τα δεδομένα μεταξύ των διαφόρων χρηστών, κάτι, το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για να κατανοείται πλήρως το περιεχόμενο της επικοινωνίας και να μην διακόπτεται, ειδικά, για παράδειγμα για τη φωνή, που δεν είναι δυνατό να διακόπτεται σε μία κλήση. [16]

Σε ένα κυψελωτό δίκτυο, ο έλεγχος επικοινωνίας πραγματοποιείται δυναμικά, αφού κατά κάποιον τρόπο είναι δυναμικό και το συνολικό δίκτυο, μίας και οι

συσκευές δεν παραμένουν στατικά σε ένα συγκεκριμένο τόπο, αλλά μετακινούνται. Γενικά, η λαμβανόμενη ισχύς πρέπει να είναι αρκετά πάνω από το θόρυβο υποβάθρου για να είναι όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη η επικοινωνία. Ο θόρυβος υποβάθρου είναι ένα ποσοστό θορύβου, που τίθεται από το διαχειριστή του δικτύου ως κατώφλι και κάτω από αυτό, κάθε κλήση δεν είναι καλής ποιότητας. [16], [25]

Η ελαχιστοποίηση της ισχύος του μεταδιδόμενου σήματος από το κινητό είναι επιθυμητή και στοχεύει στο να ελαττωθούν οι παρεμβολές μεταξύ των διαφόρων διαύλων, αφού είναι εξαιρετικά πιθανό να υπερκαλύπτουν κλήσεις χρηστών κοντά στο κέντρο της κυψέλης, άλλες κλήσεις, που είναι πιο μακριά και συνεπώς, αυτές να μην εξυπηρετούνται ποτέ ή να εξυπηρετούνται με εξαιρετικά χαμηλή ποιότητα. Είναι σημαντικό ότι χαμηλής ισχύος σήματα συντελούν στο να αμβλυνθούν οι ανησυχίες για τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, αλλά και για να εξοικονομηθεί ενέργεια στις μπαταρίες των κινητών συσκευών, θέμα, που δυσσχετεί μεγάλο ποσοστό των χρηστών κινητών συσκευών επικοινωνίας. [16]

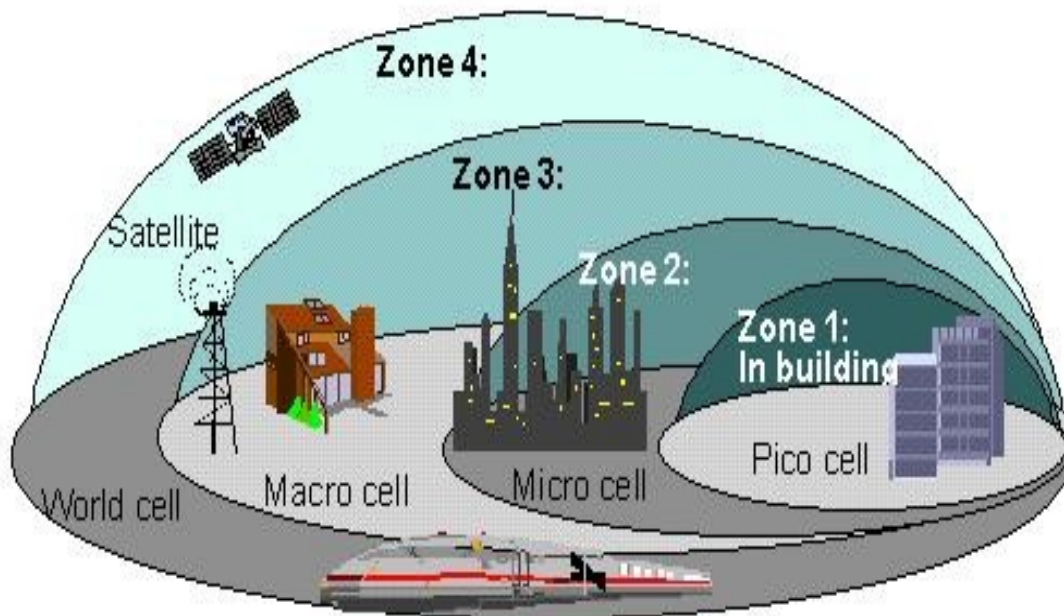
Σε συστήματα, που χρησιμοποιούν πολυπλεξία τύπου (Spread Spectrum Code Division Multiple Access) SS-CDMA, δηλαδή μία εξελιγμένης μορφής πολυπλεξία βάση κώδικα για διευρυμένο εύρος ζώνης, είναι επιθυμητό να εξισώσενεται το λαμβανόμενο επίπεδο ισχύος από όλες τις κινητές μονάδες στο BS (Base Station) , το λεγόμενο κοντά-μακριά πρόβλημα ή Near -Far problem. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ελέγχου για το βρόγχο, αυτός του ανοικτού και αυτός του κλειστού βρόγχου, που είναι θεμελιωδώς διαφορετικοί. Ο έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόγχου, εξαρτάται αποκλειστικά από την κινητή μονάδα και δεν είναι τόσο ακριβής, όσο του κλειστού βρόγχου, αλλά μπορεί να αντιδράσει γρηγορότερα στις διακυμάνσεις της ισχύος του σήματος. Από την άλλη μεριά, στον κλειστού βρόγχου έλεγχο ισχύος, ο σταθμός βάσης αποφασίζει για τη ρύθμιση της ισχύος και επικοινωνεί με το κινητό στο κανάλι ελέγχου. [16]

3.2 Είδη Κυψελών & DAS

Στις μέρες μας, οι χρήστες κινητών και δικτυακών συσκευών είναι πολλοί και κατέχουν πολλές και διαφορετικές συσκευές, διότι δε νοείται η έλλειψη σύνδεσης στο διαδίκτυο. Αυτές οι συσκευές, για να λειτουργήσουν και να συνδεθούν στο διαδίκτυο απαιτούν τη δέσμευση πόρων, εύρους ζώνης, χωρητικότητας, υψηλή ταχύτητα μεταγωγής δεδομένων κλπ. από το δίκτυο.

Υπάρχουν πολλές πιθανές λύσεις συνδεσιμότητας, ανάλογα με το γεωγραφικό χώρο, που μπορούν να καλύψουν. Κάθε μία από τις λύσεις σχετίζεται με το μέγεθος του χώρου, που μπορεί να καλύψει. Σε εξωτερικούς χώρους καλύπτεται το δίκτυο με επιμέρους Macrocells. Σε δύσβατες περιοχές, ψηλά βουνά, βραχώδη εδάφη, θάλασσες, ωκεανούς κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό και επιδιώκεται η κάλυψη να γίνεται δορυφορικά με οτιδήποτε μειονεκτήματα για την ταχύτητα και το κόστος της επικοινωνίας ενδέχεται να εμφανίζονται. Σε κέντρα πυκνοκατοικημένων περιοχών τοποθετούνται Microcells για να συμβάλουν στην αποσυμφόρηση του δικτύου των Macrocells. Επίσης, σε μέρη όπως γήπεδα, νοσοκομεία, εμπορικά κέντρα, βιβλιοθήκες, που συγκεντρώνεται πλήθος κόσμου χρειάζονται Pico cells ή DAS. Σε σπίτια, γραφεία, και σε άλλους μικρούς εσωτερικούς χώρους είναι σημαντικό να μπορεί να εξασφαλιστεί ότι θα ικανοποιούνται αδιάλειπτα, οι απαιτήσεις των χρηστών και θα εξυπηρετούνται οι ανάγκες των παρεχόμενων υπηρεσιών, για το σκοπό αυτό τοποθετούνται Femtocells. [61]

Έτσι, είναι σημαντικό να υπάρχουν λύσεις, σύμφωνα με τις οποίες, να αναδιανέμεται το εύρος ζώνης, ώστε να πραγματοποιείται, η βέλτιστη διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση του, βελτιστοποιώντας τις παρεχόμενες υπηρεσίες, υπακούοντας στους βασικούς κανόνες για την παροχή Quality Of Service (QOS), δηλαδή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω συσκευών, που έχουν τέτοιες δυνατότητες και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές εφαρμογές, όπως είναι και οι προαναφερθείσες. Συνεπώς, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής του δικτύου, που επιδιώκεται να υλοποιηθεί είναι δυνατό να επιλέξει κανείς έναν από τους ανωτέρω τύπους κυψελών. Αυτές παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με αποτέλεσμα κάθε μία από τις λύσεις να φαίνεται ελκυστική για συγκεκριμένο τύπο εφαρμοζόμενου δικτύου, αλλά και για συγκεκριμένο μέγεθος χώρου. Οι πιο σημαντικές λύσεις για δίκτυα διαφόρων χώρων είναι οι ακόλουθες:



Σχήμα 3.2: Σχήμα σύγκρισης εύρους κάλυψης κάθε είδους κυψελών. [40]

3.2.1 Macrocell

Μία Macrocell είναι μία κυψέλη σε ένα κινητό δίκτυο επικοινωνίας ή τηλεφωνίας, που παρέχει ραδιοκάλυψη και εξυπηρετείται από ένα υψηλής ισχύος σταθμό βάσης, που καλείται πύργος. Σε γενικές γραμμές, οι Macrocells παρέχουν κάλυψη μεγαλύτερη από αυτή, που περιλαμβάνουν οι Microcells. Οι κεραιές για τις Macrocells είναι τοποθετημένες σε διάφορα μέρη, όπως είναι οι επίγειες κεραιές, σε πολλές στέγες και σε άλλες υπάρχουσες δομές, σε μεγάλο υψόμετρο, που παρέχει μία σαφή άποψη, πάνω από τα γύρω κτίρια, αλλά και από το έδαφος. [61]

Οι σταθμοί βάσης μίας Macrocell περιλαμβάνουν υποδύναμη, συνήθως, δεκάδων Watt, συνεπώς, είναι σχετικά πράσινες λύσεις. Η απόδοση της Macrocell μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση της αποτελεσματικότητας του λήπτη, κάτι που δεν είναι ιδιαίτερα εύκολο. Ο όρος Macrocell χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ευρύτερο φάσμα, όσον αφορά το μέγεθος των κυψελών. Οι Macrocells βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές ή κατά μήκος των εθνικών οδών, με βασικό στόχο την κάλυψη των αγροτικών περιοχών, με σήμα, για την πραγματοποίηση κλήσεων και μετάδοση δεδομένων στο επαρχιακό δίκτυο.

Σε αντιπαραβολή, μία μικρότερης περιοχής κυψέλη, η Microcell χρησιμοποιείται σε μία πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή. Για παράδειγμα θα μπορούσε να υπάρχει στο κέντρο μίας μεγάλης πόλης, όπως είναι για παράδειγμα η Πάτρα. Θα μπορούσε να υπάρχει μία στο κεντρικότερο σημείο αυτής, δηλαδή την πλατεία Γεωργίου. Οι Picosells χρησιμοποιούνται για τις περιοχές, που απαιτούν λύσεις, ακόμα μικρότερες από τις Microcells. Ένα παράδειγμα της χρήσης τους, θα ήταν ένα μεγάλο εταιρικό συγκρότημα, ένα εμπορικό κέντρο, ή ένας σιδηροδρομικός σταθμός, που διακινούνται εκατοντάδες άνθρωποι καθημερινά. Επί του παρόντος, η μικρότερη περιοχή κάλυψης, που μπορούν να εφαρμοστεί είναι αυτή του Femtocell και περιλαμβάνει ένα σπίτι ή μικρό γραφείο. [32], [61]

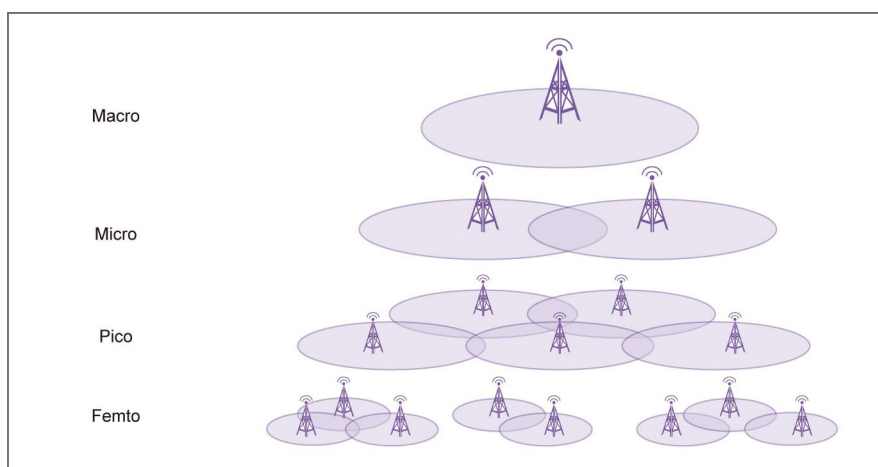


Figure 2. WiMAX layered architecture.

Σχήμα 3.2.1 Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης Macrocell. [41]

3.2.2 Microcell

Μία Microcell είναι μία κυψέλη σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, που εξυπηρετείται από ένα χαμηλής ισχύος σταθμό βάσης τον λεγόμενο, πύργο, η οποία καλύπτει μία περιορισμένη γεωγραφικά περιοχή, όπως ένα εμπορικό κέντρο, ένα ξενοδοχείο ή ένα καθορισμένο κομβικό σημείο. Μία Microcell είναι, συνήθως, μεγαλύτερη από μία Picocell, αν και η διάκριση ενδέχεται να είναι δύσκολη και δεν είναι πάντα σαφής. Μία Microcell χρησιμοποιεί έλεγχο ισχύος για να περιορίσει την ακτίνα της περιοχής κάλυψης της. Όπως οι Picocells, οι Microcells, συνήθως, χρησιμοποιούνται για την προσθήκη χωρητικότητας στο δίκτυο, σε περιοχές με πολύ πυκνή χρήση του τηλεφώνου ή του δικτύου, όπως οι σιδηροδρομικοί σταθμοί, τα γήπεδα, πανεπιστήμια, νοσοκομεία. [33], [61]

Οι Microcells, συχνά, αναπτύσσονται προσωρινά κατά τη διάρκεια αθλητικών εκδηλώσεων, συναυλιών, συνεδρίων και σε άλλες περιπτώσεις, στις οποίες επιπλέον χωρητικότητα είναι γνωστό ότι είναι αναγκαία εκ των προτέρων, σε μια συγκεκριμένη θέση, αφού εκτάκτως συγκεντρώνεται εκεί πλήθος κόσμου. Παράδειγμα, ένα γήπεδο τη μέρα του αγώνα έχει χιλιάδες κόσμο, ένα συνέδριο, επίσης, ή μία οποιαδήποτε συναυλία. Σε ένα σταθμό σε ώρες αιχμής υπάρχουν χιλιάδες άτομα. Επίσης, σε ένα συνέδριο τη μέρα του συνεδρίου, σε ένα νοσοκομείο τη μέρα της εφημερίας κλπ υπάρχει συνωστισμός.

Η ευελιξία, ως προς το μέγεθος των κυψελών είναι ένα χαρακτηριστικό των τεχνολογιών από τη 2G γενιά για τα κινητά δίκτυα και πέρα, και αποτελεί ένα σημαντικό μέρος του τρόπου με τον οποίον, τα εν λόγω δίκτυα, έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την γενικότερη κατάστασή τους. Οι διάφορες μονάδες ελέγχου, που εφαρμόζονται στα ψηφιακά δίκτυα διευκολύνουν την αποφυγή παρεμβολών από γειτονικές κυψέλες, που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες.

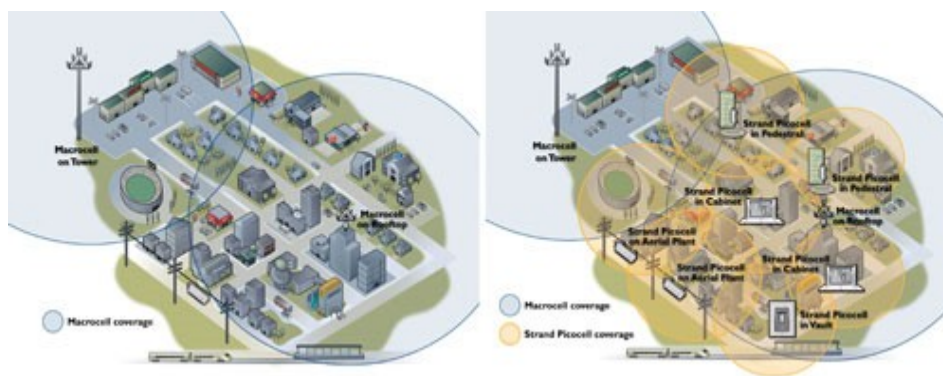
Με την υποδιαίρεση των κυψελών και τη δημιουργία περισσότερων περιοχών συντελείται η εξυπηρέτηση περιοχών υψηλής πυκνότητας. Για παράδειγμα, μια εταιρεία κινητής τηλεφωνίας ή δικτύου μπορεί να βελτιστοποιήσει τη χρήση του ραδιοφάσματος και έτσι, να εξασφαλιστεί ότι η χωρητικότητα μπορεί να αυξηθεί. Συγκριτικά, παλαιότερα αναλογικά συστήματα έχουν σταθερά όρια πέρα από τα οποία, επιχειρείται να υποδιαιρεθούν σε κυψέλες. Κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό και αποδοτικό, καθώς, απλά θα οδηγούσε σε ένα απaráδεκτο επίπεδο παρεμβολών.

3.2.3 Picocell

Picocell είναι ένας μικρός κυψελωτός σταθμός βάσης, που, συνήθως, καλύπτει μια μικρή περιοχή, όπως για παράδειγμα, μεγάλα οικοδομήματα, δηλαδή, γραφεία, εμπορικά κέντρα, σταθμούς τρένων, χρηματιστήρια, κλπ. Πιο πρόσφατα, χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορα αεροσκάφη. Στα κυψελοειδή δίκτυα, οι Picocells χρησιμοποιούνται, συνήθως, για την επέκταση της κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους, όπου υπαίθρια σήματα δεν φτάνουν καλά, ή για την προσθήκη χωρητικότητας στο υπάρχων δίκτυο, σε περιοχές με πολύ πυκνή χρήση τηλεφωνικών και δικτυακών υπηρεσιών, όπως σε σιδηροδρομικούς σταθμούς ή στάδια. Οι Picocells παρέχουν κάλυψη και χωρητικότητα σε περιοχές, που καθίσταται δύσκολο ή δαπανηρό να επιτευχθεί, χρησιμοποιώντας την πιο παραδοσιακή προσέγγιση της Macrocell.

Σε κυψελωτά ασύρματα δίκτυα, όπως το GSM (Groupe Spécial Mobile), ο σταθμός βάσης της Picocell είναι, συνήθως, μία χαμηλού κόστους, μικρή, απλή μονάδα, που συνδέεται με έναν ελεγκτή σταθμού βάσης (Base Station Controller-BSC). Οι πιο πρόσφατες μελέτες έχουν αναπτύξει μια κεντρική μονάδα, που περιέχει μία Picocell, αλλά και πολλές από τις λειτουργίες του BSC. Αυτή η μορφή της Picocell ονομάζεται μερικές φορές, σταθμός βάσης σημείου πρόσβασης ή «Femtocell της επιχείρησης». Σε αυτήν την περίπτωση, η μονάδα περιέχει όλα όσα απαιτούνται, ώστε να έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί απευθείας στο Διαδίκτυο, χωρίς την ανάγκη για την υποδομή BSC. Μία τέτοια λογική είναι πιθανώς μία πιο αποδοτική προσέγγιση. [34], [61]

Οι Picocells προσφέρουν πολλά από τα πλεονεκτήματα των μικρών κυψελών, όπως και τα Femtocells σε ότι αφορά, στην βελτίωση της απόδοσης των δεδομένων για τους χρήστες κινητών και στην αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Ειδικότερα, η ενσωμάτωση των Picocells με Macrocells, μέσω ενός ετερογενούς δικτύου, μπορεί να είναι χρήσιμη για το αδιάκοπο Handoff και για την επίτευξη αυξημένης χωρητικότητας δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Οι Picocells είναι διαθέσιμες για τις περισσότερες γενιές κινητών τεχνολογιών και επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των GSM, CDMA, UMTS και LTE. Συνήθως, κατασκευάζονται από τις εταιρείες ip.access, ZTE, Huawei και Airwalk. Μία Picocell, τέλος, έχει ακτίνα κάλυψης περίπου έως 200 m.

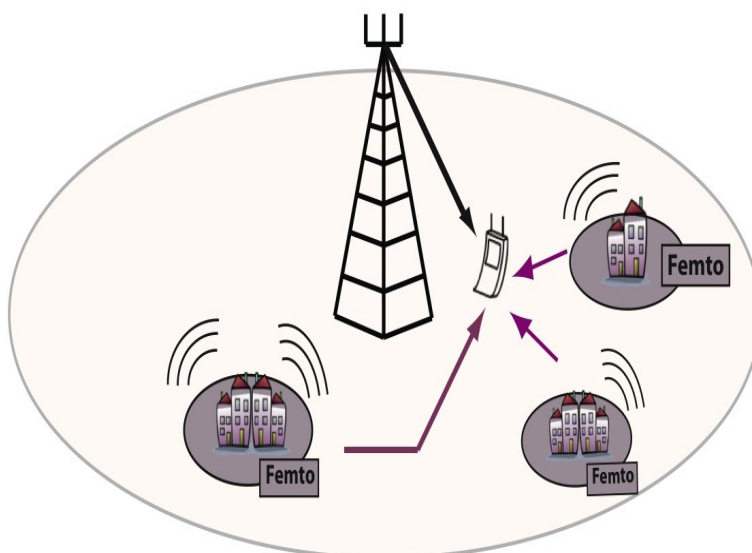


Σχήμα 3.2.3 Γεωγραφική κάλυψη Picocell σε δίκτυο, που συνδυάζεται με Macrocell. [42]

3.2.4 Femtocells

Για τις ακόλουθες λύσεις υπάρχει λεπτομερής και εκτενέστατη ανάλυση σε επόμενο κεφάλαιο, συνεπώς, κρίνεται αναγκαίο να μην αναλυθούν εις βάθος σε αυτό το σημείο. Παρ' όλα αυτά, σημειώνονται οι βασικοί τους ορισμοί, με σκοπό, να υπάρχει μία κοινή αναφορά και σύνδεση με τις προηγούμενες τεχνολογίες.

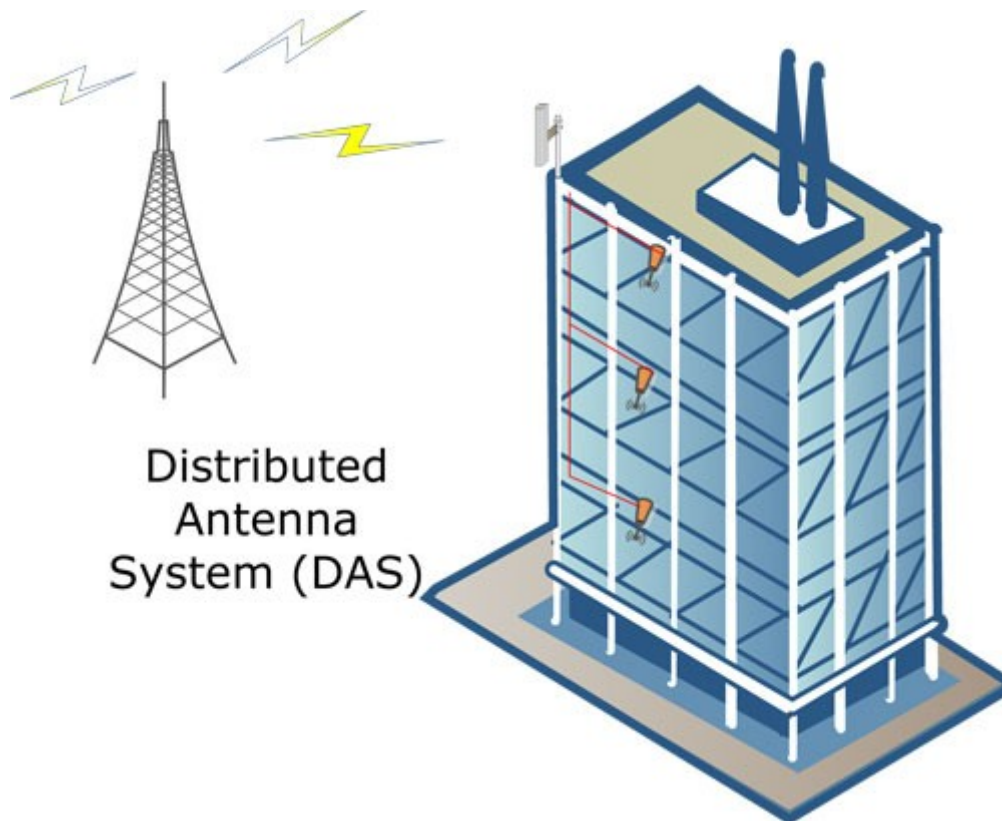
Μία Femtocell είναι μία μικρή κυψέλη, χαμηλής ισχύος του σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας, συνήθως, σχεδιάζεται για χρήση στο σπίτι ή σε μικρές επιχειρήσεις. Ένας ευρύτερος όρος, με τον οποίον είναι πιο διαδεδομένη στον κλάδο, το Small Cell, συμβαίνει, επειδή πρόκειται για μικρή κυψέλη, και συνήθως, η Femtocell λειτουργεί ως υποσύνολο του συνολικού δικτύου ή σε συνδυασμό με άλλες προαναφερθείσες τεχνολογίες. Συνδέεται με το δίκτυο του παρόχου υπηρεσιών μέσω ευρυζωνικών συνδέσεων. [35], [61]



Σχήμα 3.2.4 : Γεωγραφική κάλυψη των Femtocells. [43]

3.2.5 Distributed Antenna Systems

Distributed Antenna System (DAS) είναι ένα δίκτυο, το οποίο τέμνει το χώρο σε κόμβους κεραίας, που είναι συνδεδεμένοι με μία κοινή πηγή μέσω ενός μέσου μεταφοράς, που παρέχει ασύρματη υπηρεσία σε μια γεωγραφική περιοχή. Ένα καταναμημένο σύστημα κεραίας μπορεί να αναπτυχθεί σε εσωτερικούς χώρους ή σε εξωτερικούς χώρους, ανάλογα με τις ανάγκες που επιδιώκεται να καλυφθούν. [35], [61]



Σχήμα 3.2.5: Η κατανομή των κεραιών στο DAS σύστημα σε αντιδιαστολή με την κατανομή της μίας κεραίας. [44]

3.3 Κίνητρα Μελέτης Femtocells & DAS

Στις μέρες μας, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι ψάχνουν τον τρόπο να δώσουν στους πελάτες τους νέα κίνητρα, εφόσον, ήδη έχουν μειωθεί αρκετά οι τιμές, προσπαθούν με νέες και βελτιωμένες υπηρεσίες να επιλεγούν από τους χρήστες, συγκριτικά με άλλους διαθέσιμους παρόχους. Εν συνεχεία, οι χρήστες είναι ιδιαίτερα απαιτητικοί, όσον αφορά στην ποιότητα παρεχόμενων δικτυακών υπηρεσιών και την ποιότητα των κλήσεων τους. Στα επόμενα χρόνια, αναμένεται να δίνεται από τους παρόχους η δυνατότητα να στέλνονται και μηνύματα από και προς το οικιακό τηλέφωνο. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος, που οι πάροχοι αναζητούν νέους τρόπους να βελτιώσουν την εμπειρία κλήσεων στο δίκτυο τους και πλοήγησης στο διαδίκτυο. Η αύξηση του πλήθους των συσκευών σε ένα χώρο σήμερα, αλλά και στα επόμενα έτη, αφού θα αυξάνεται ολοένα το πλήθος των έξυπνων συσκευών, οδηγεί στο σκεπτικισμό σχετικά με το προσφιλές και διάσημο 802.11.

Όσον αφορά σε εσωτερικούς χώρους, γραφεία, οικίες, δηλαδή γενικά περιορισμένους χώρους τα Femtocells είναι ιδανικές λύσεις. Όχι εφαρμοζόμενα αφ' εαυτού, αλλά είναι ιδανικές λύσεις για να δημιουργηθούν ετερογενή δίκτυα συνδυάζοντας περισσότερες τεχνολογίες. Για παράδειγμα, μπορεί να συνδυαστεί σε ένα 802.11 δίκτυο. Επίσης, μπορεί να λειτουργήσουν καλά παράλληλα με μία Microcell ή Macrocell. Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό, ότι τα Femtocells είναι επιτεύγματα, που απασχόλησαν, που θα απασχολήσουν μελλοντικά, αλλά απασχολούν και σήμερα, έντονα την επιστημονική κοινότητα και τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους.

Για το σκοπό αυτό, την ερευνητική δηλαδή δραστηριοποίηση, σχετικά με τα Femtocells, το Femto Forum δημιουργήθηκε από 7 ερευνητικές εταιρείες για την Femto τεχνολογία ιδιαίτερα στο Ηνωμένο Βασίλειο και εκτός από τις IPAccess και Ubiquisys συμμετέχουν και οι ZTE, NEC, Alcatel-Lucent, Nokia Siemens Networks, Motorola and ZTE. Το φόρουμ σήμερα περιλαμβάνει 50 μέλη. Έχουν, πλέον, δημιουργηθεί τέσσερις ομάδες εργασίας, ώστε να ενισχυθεί τεχνικά, επιχειρηματικά και διαφημιστικά η συγκεκριμένη λύση. Συνεπώς, βασικός στόχος του φόρουμ είναι να προωθείται η ελκυστική αυτή τεχνολογία.

Για κάθε χρήστη είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται ότι οι υπηρεσίες, που παρέχονται είναι συνεχείς και αδιάλειπτες. Για να συμβεί αυτό πρέπει να διασφαλίζεται ότι αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου. Ο πιο αποδοτικός τρόπος για να αυξηθεί η χωρητικότητα του κυψελωτού δικτύου είναι να συρρικνωθεί το μέγεθος της κυψέλης, συμπεριλαμβανομένου της ανάληψης νέου φάσματος. Τα Femtocells σε σχέση με άλλες μικρές κυψέλες είναι πιο μικρά, παρέχουν έλεγχο σφαλμάτων, τύπου riggyback σε ευρυζωνικές συνδέσεις, είναι σχετικά οικονομικά, και ως αποτέλεσμα είναι δυνατό να δομήσουν ένα δίκτυο υψηλής χωρητικότητας.

Γενικά, μερικοί από τους τρόπους, σύμφωνα με τους οποίους αναμένεται ότι θα ενισχυθεί το ενδιαφέρον από τους παρόχους, αλλά και από τους τελικούς χρήστες και για αυτό κρίνεται αναγκαία η μελέτη των διαστάσεων για τη συγκεκριμένη τεχνολογία είναι:

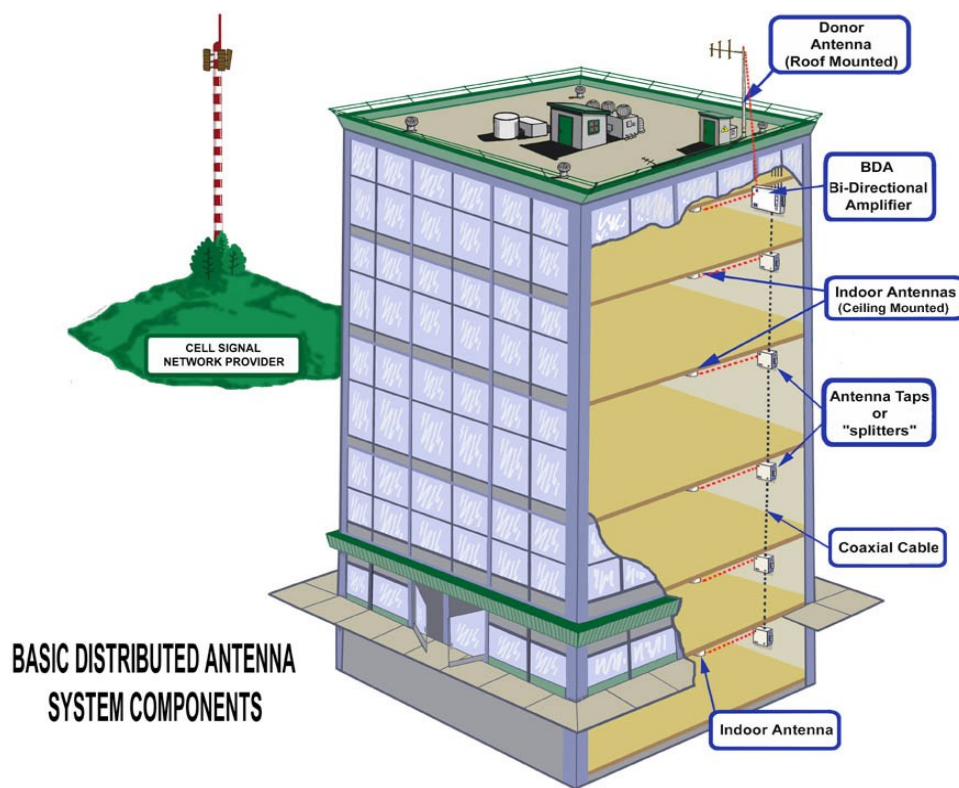
- Νέες υπηρεσίες: Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι μπορούν να δημιουργήσουν νέες υπηρεσίες, που απαιτούν ταχύτατες συνδέσεις.
- Νέα τερματικά: Αυτή είναι μία πιο ριζική προσέγγιση. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι μπορούν να προωθήσουν συσκευές με αυξημένη εικόνα και δυνατότητες εισόδου για να κατανοούν ή να καταγράφουν την κατάσταση του δικτύου, ώστε να χρησιμοποιούνται για τα Femtocells, αλλά και εξωτερικά σε άλλες εφαρμογές.
- Χαμηλότερα κόστη κεφαλαίων, που διατίθενται λόγω του χαμηλού κόστους αγοράς τους.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας τους, εφόσον, είναι πράσινη τεχνολογία.
- Αυξημένη επαναχρησιμοποίηση φάσματος, δια μέσου της επαναχρησιμοποίησης των διαθέσιμων συχνοτήτων.
- Υψηλότερη χωρητικότητα δικτύου, ως απόρροια του ανωτέρω.
- Χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, αφού καταναλώνει χαμηλά ποσοστά ρεύματος ο σταθμός.
- Ευκολότερη διαχείριση κυψέλης, εφόσον, μπορεί να γίνει απομακρυσμένα ή συχνά και αυτόματα από την ίδια την κυψέλη.
- Βελτιωμένη ασφάλεια, σε σχέση με άλλες τεχνολογίες.

Τα πιο πάνω σημαίνουν ότι τα Femtocells αναμένεται να απασχολήσουν πολύ ιδιαίτερα τους παρόχους, τους χρήστες και την επιστημονική κοινότητα, διότι είναι πιθανώς μία οικονομικά βιώσιμη λύση, που συνάμα θα ταιριάζει και θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις των δικτύων κινητής επικοινωνίας της επόμενης γενιάς, δηλαδή το 5G. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις για την πέμπτη γενιά, γίνεται αντιληπτό ότι θα αυξηθούν ιδιαίτερα οι διασυνδεδεμένες συσκευές σε ένα τοπικό δίκτυο και έτσι, θα είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται τέτοιου είδους συσκευές, όπως είναι οι Microcells, με σκοπό να εξυπηρετούνται οι ανάγκες των χρηστών, αλλά και να εξασφαλίζουν σημαντικά οφέλη. Για τους παραπάνω λόγους θεωρείται εύλογο ότι τα Femtocells έχουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον και αποτελούν μία πολύ σημαντική προσέγγιση για τα σύγχρονα κινητά δίκτυα επικοινωνίας. [26]

Από την άλλη μεριά, όσον αφορά το DAS θα πρέπει να θεωρηθεί μία εξίσου βασική και βιώσιμη λύση, διότι, σε ότι αναφορά πολύ μεγάλους χώρους είναι μία πρόταση, που παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα στους παρόχους και κατανέμει καλύτερα το δίκτυο. Είναι σημαντικό, διότι αυξάνει τη χωρητικότητα του δικτύου με τις μικρές κατανεμημένες κεραιές και είναι δυνατό να αποσυμφορήσει το φόρτο του δικτύου από την συνολική κεραία στις μικρότερες. Ένα DAS εσωτερικού χώρου είναι δυνατό να χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο, που χρησιμοποιείται και μία Femtocell, αφού μπορεί να τοποθετηθεί σε γραφεία κλπ. Οι συγκεκριμένοι λόγοι είναι εκείνοι, για τους οποίους είναι δυνατό να συγκριθεί με την τεχνολογία της Femtocell, παρόλο, που μοιάζουν ανόμοιες και φαινομενικά ασύνδετες ως υλοποιήσεις. Εντούτοις, το γεγονός ότι έχουν τους ίδιους βασικούς στόχους τις καθιστούν πιθανές λογικές και προσεγγίσεις για μελέτη και αντιπαραβολή. [37]

4. DAS

Ένα καταναμημένο σύστημα κεραίας, Distributed Antenna System ή DAS, είναι ένα δίκτυο, που δομείται στο χώρο και χωρίζει κόμβους κεραίας, που είναι συνδεδεμένοι με μια κοινή πηγή μέσω ενός μέσου μεταφοράς, που παρέχει ασύρματη υπηρεσία σε μια γεωγραφική περιοχή, δηλαδή ένα μεγάλο χώρο γεωγραφικά καθορισμένο ή μία κτηριακή εγκατάσταση, όπως, για παράδειγμα ένα μεγάλο κτήριο, γραφείο, νοσοκομείο, βιβλιοθήκη, στάδιο, γήπεδο, συνέδριο κλπ. Ένα καταναμημένο σύστημα κεραίας μπορεί να αναπτυχθεί σε εσωτερικούς χώρους (indoors-iDAS) ή σε εξωτερικούς χώρους (outdoors-oDAS) και στις δύο, όμως, περιπτώσεις η βασική ιδέα είναι η ίδια. [61]



Σχήμα 4.1: Η διανομή της καλωδίωσης και κεραίων σε ένα DAS σύστημα εσωτερικού χώρου. [45]

Η ιδέα είναι να διαχωριστεί η μεταδιδόμενη ισχύς, μεταξύ των διαφόρων στοιχείων κεραίας, και με μορφή καταναμημένη στο χώρο, να παρέχουν κάλυψη πάνω από την ίδια περιοχή ως μία ενιαία κεραία, αλλά με μειωμένη συνολική ισχύ και βελτιωμένη αξιοπιστία. Μία ενιαία κεραία, που ακτινοβολεί σε υψηλή ισχύ αντικαθίσταται από μία ομάδα κεραίων 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. [36], [45], [61]

Ένα καταναμημένο σύστημα κεραιών μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση παθητικών διαιρετών και τροφοδοτών, ή με ενισχυτές δραστηκής 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 κεραιάς. Αυτό αυξάνει τεχνητά την επιβράδυνση του ρυθμού εξάπλωσης σε περιοχές των επικαλυπτόμενων καλύψεων, επιτρέποντας τη βελτίωση της ποιότητας μέσω της ποικιλομορφίας του χρόνου. [8], [9], [61]

Για τους προαναφερθέντες λόγους είναι σημαντικό να περιγραφεί το DAS, με σκοπό να φανούν τα βασικά στοιχεία, που σχετίζονται με την τεχνολογία και την αρχιτεκτονική του, το ιστορικό πλαίσιο ανάπτυξής του, τα σημαντικά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματά του, καθώς και τα διάφορα είδη DAS, που υπάρχουν. Τέλος, είναι σημαντικό να περιγραφεί το μοντέλο, που σχετίζεται με το DAS.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα βασικά συστατικά του DAS δικτύου, με ποιά μέσα μετάδοσης είναι δυνατό να σχετίζονται, πού ακριβώς χρησιμοποιούνται σε ποιά τμήματα, σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο. Για ποιό λόγο αποτελούν εναλλακτική λύση σε σχέση με τα Macrocells. Επίσης, πώς αλληλοεπιδρούν με τα 802.11 πρωτόκολλα. Εν συνεχεία, συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του DAS δικτύου, δηλαδή το εύρος ζώνης του, η απόσταση, που καλύπτει καθώς και πόσες ταυτόχρονες συνδέσεις είναι δυνατό να υποστηρίζονται.

Εάν μια δεδομένη περιοχή καλύπτεται από πολλά καταναμημένα στοιχεία κεραιάς αντί για μία ενιαία κεραιά, τότε η συνολική ακτινοβολούμενη ισχύς μειώνεται κατά περίπου ένα συντελεστή $N_1 - n / 2$ και η ισχύς ανά κεραιά μειώνεται κατά ένα συντελεστή $N_n / 2$, όπου μια απλή δύναμη μοντέλο απώλειας όδευσης 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. [36],[61]

Χρησιμοποιώντας ένα καταναμημένο σύστημα κεραιάς για τη δημιουργία ενός χώρου ασύρματης κάλυψης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσει την τεχνική αυτή για να διαδώσει εσωτερικά το WiFi για εμπορικές χρήσεις. Εκτιμάται ότι μόνο περίπου 5% των εμπορικών WiFi χρησιμοποιούν ένα καταναμημένο σύστημα κεραιάς. Κάτι τέτοιο γίνεται για λόγους κόστους. Αφού όταν αναλυθεί πιο κάτω το κόστος θα κατανοηθεί ότι για περιορισμένους χώρους το κόστος του DAS είναι αυξημένο.

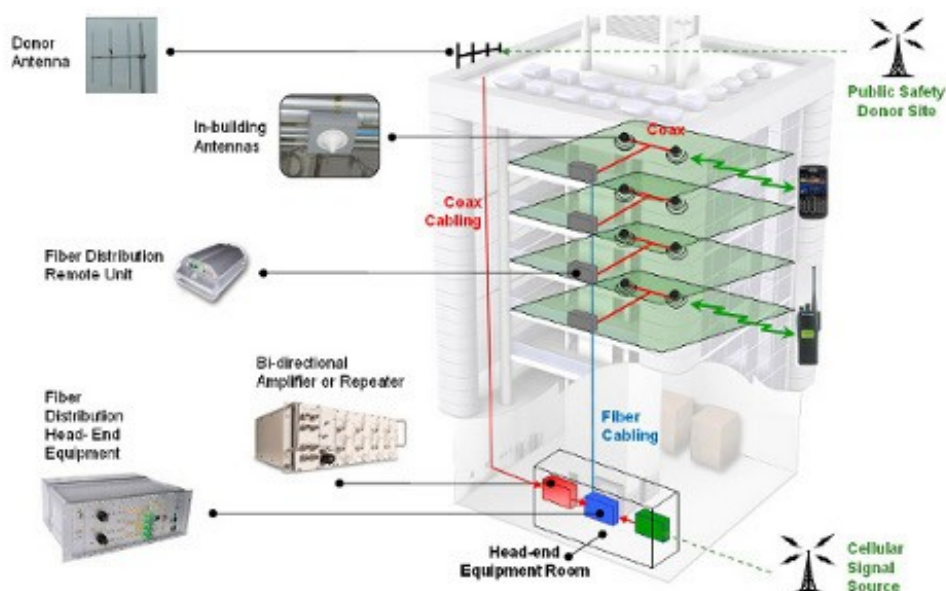
Τα καταναμημένα συστήματα κεραιάς μπορεί να τοποθετηθούν στο εσωτερικό των κτηρίων για την αύξηση ασύρματων σημάτων στο εσωτερικό τους.

Συχνά, τοποθετούνται μέσα σε μεγάλες δομές, όπως γήπεδα, σε μία εταιρική έδρα, σε εμπορικό κέντρο, σε κέντρο μίας πόλης, σε νοσοκομεία, σε πανεπιστήμια και σε άλλες περιοχές, που έχουν ανάγκη από μεγάλη κάλυψη δεδομένων μέσα στην ημέρα.

4.1 Τεχνολογία & Αρχιτεκτονική

Κάθε DAS σύστημα, όπως άλλα ασύρματα δίκτυα αποτελούνται από ένα πλήθος κυψελών, αποτελείται από ένα πλήθος κεραιών, που υπάρχουν στο δίκτυο και κατανέμουν το εύρος ζώνης, ούτως ώστε, να διαμοιράζεται σύμφωνα με τις ανάγκες του δικτύου και να εξυπηρετούνται όσο το δυνατόν καλύτερα οι διάφοροι χρήστες, που υπάρχουν σταθεροί ή διακινούμενοι στη συγκεκριμένη περιοχή, που έχει καθοριστεί να εξυπηρετείται από αυτό, κάθε χρονική στιγμή. [46], [61]

Οι θεμελιώδεις δομές ενός συστήματος DAS υλοποιούνται με βασικό στόχο να παρέχουν μεγάλη χωρητικότητα σε συγκεκριμένες περιοχές, που είναι απαραίτητο, μεταφέροντας τη συχνότητα εγγύτερα στο χρήστη και παρέχοντας επιπλέον, χωρητικότητα για κλήσεις, μεταφορά δεδομένων σε περιοχές με υψηλές ανάγκες για ασύρματες δικτυακές υπηρεσίες κλπ.



Σχήμα 4.1.1 Δομή ενός DAS με παρουσίαση των βασικών συστατικών μερών του. [46]

Ένα δίκτυο DAS αποτελείται από 3 βασικά συστατικά: [8],[9]

- έναν αριθμό από κόμβους επικοινωνίας, καθένας 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 κεραιές, όπως ενισχυτές, κεφαλές, μετατροπείς σήματος και πάροχοι ισχύος.
- ένα μέσο μετάδοσης σήματος υψηλής συχνότητας, -συνήθως, επιδιώκεται η χρήση οπτικής ίνας, αλλά συχνά ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν πιο

οικονομικές λύσεις λόγω αυξημένου κόστους,- 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.

Συχνά, ανάλογα με την αρχιτεκτονική του DAS δικτύου και το περιβάλλον στο οποίο υλοποιείται, οι κόμβοι του ενδέχεται να περιέχουν επιπλέον εξοπλισμό στις κεραίες, όπως για παράδειγμα ενισχυτές, κεφαλές, μετατροπείς σήματος και παροχές ισχύος, αλλά και ειδικό υποστηρικτικό εξοπλισμό για την εγκατάσταση, ή άλλον εξοπλισμό δευτερεύων, όπως συναγερμούς, αισθητήρες κλπ, που ενδέχεται να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, εντούτοις αυξάνουν το κόστος της υιοθέτησης του DAS. [61], [62], [64], [65]

Το δίκτυο DAS μπορεί να υλοποιηθεί εντός ή εκτός μεγάλων κτηρίων και μερικώς εσώκλειστων δομών. Ένα δίκτυο DAS ποικίλει από 2 έως 100 κόμβους DAS. Κάθε κόμβος DAS εκπέμπει σήματα σε χαμηλότερη ισχύ από ότι οι μεγαλύτερες κεραίες, σε επίπεδα παρόμοια με αυτά, που παρέχονται από τις Macrocells. Οι εξωτερικοί DAS κόμβοι είναι συνδεδεμένοι σε στύλους από επιχειρήσεις δημόσιας ωφέλειας, σε φωτεινούς σηματοδότες, ή παρόμοιες δομές σε σχετικά χαμηλά ύψη, συγκριτικά με τις μεγαλύτερες κεραίες, ώστε να παρέχεται μικρή χωρητικότητα σε κάθε DAS κόμβο. [61], [62], [64], [65]

Το DAS δίκτυο είναι ελκυστική λύση, διότι είναι ευέλικτο και εύκολα επεκτάσιμο. Όπως και οι Macrocells, τα δίκτυα DAS μπορεί να εξασφαλίσουν ότι υποστηρίζεται μεγάλο πλήθος παρόχων κινητής επικοινωνίας, αφού υπάρχουν πολλές συχνοτικές ζώνες και ασύρματες υπηρεσίες και τεχνολογίες σε ένα μικρό τομέα. Ενώ, τα δίκτυα DAS, συχνά, χρησιμοποιούν τον ίδιο εξοπλισμό, που απαιτείται για τις Macrocells, εντούτοις, τα DAS επιτρέπουν στις πηγές να λειτουργούν σε συγκεκριμένο χώρο, που υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για κάλυψη από μεγάλη χωρητικότητα, με αποτέλεσμα να αλλάζουν σε διαφορετικά τμήματα του DAS δικτύου. Κάθε δίκτυο DAS χρησιμοποιείται ως μέθοδος διανομής του εκπεμπόμενου σήματος από ένα κεντρικό hub σε συγκεκριμένες περιοχές με φτωχή κάλυψη ή μη επαρκή χωρητικότητα και επιστρέφουν τα σήματα πίσω στον κόμβο, ώστε να επιτευχθεί επικοινωνία με το αρχικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. [61], [62], [64], [65]

Τα σύγχρονα DAS είναι, συνήθως, συστήματα, τα οποία υλοποιούνται με μέσα μετάδοσης τύπου RF-optical-RF. Αυτό σημαίνει ότι ο βασικός εξοπλισμός μετατρέπει σήματα RF (RadioFrequency), που παράγονται από έναν τηλεπικοινωνιακό δέκτη σε οπτικά σήματα, που εκπέμπονται δια μέσου οπτικής ίνας στους DAS κόμβους, όπου τα οπτικά σήματα μετατρέπονται ξανά σε RF, με σκοπό να μεταδίδονται στην απομακρυσμένη κεραία. Άλλες λύσεις, που χρησιμοποιούνται από τα LTE ή από WiMax, χρησιμοποιούν έναν οπτικό οδηγό, που καταλήγει σε ένα RF σύστημα. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση, η οπτική έξοδος οδηγεί το φως μέσα στην οπτική ίνα σε απομακρυσμένες περιοχές και τελικά, για πρώτη φορά το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε RF. Η μεταφορά του σήματος από τον ασύρματο πάροχο μπορεί να

γίνει σε πολύ μακρινές αποστάσεις ανάλογα φυσικά και με τον εκάστοτε σχεδιασμό του συστήματος, χάρη στην οπτική ίνα. [61], [62], [64], [65]

Γενικά, πλήθος πολιτών επιδιώκει υπηρεσίες υψηλής χωρητικότητας, αφού έχουν στην κατοχή τους ψηφιακές συσκευές, όπως έξυπνα τηλέφωνα, υπολογιστές και ταμπλέτες. Τα DAS δίκτυα εφαρμόζονται ως ένα μέσο μεγάλου φόρτου δεδομένων, με αποτέλεσμα, να είναι απαραίτητο να εξαπλωθούν τα δεδομένα στο σύνολο της χωρητικότητας, ώστε να παρέχεται περισσότερο ανομοιόμορφη κάλυψη. Τα πιο πολλά DAS δίκτυα, δε γνωρίζουν την τεχνολογία, που θα συνυπάρξει μαζί τους στο συνολικό δίκτυο. Άρα, οι λύσεις επικοινωνίας με χρήση DAS είναι ιδιαίτερα ελκυστικές στον ασύρματο πάροχο, που διατηρεί την άδεια για το φάσμα εκπομπής RF ανάμεσα σε πολλές συχνοτικές ζώνες και χρησιμοποιεί πολλαπλές τεχνολογίες μετάδοσης, ακόμα και σε όσους παρόχους, δεν έχουν εντάξει ακόμα τα 4G δίκτυα και επιδιώκουν να το πράξουν στα επόμενα έτη. Ένα DAS δίκτυο ενδέχεται να υλοποιείται και να ανήκει σε έναν συγκεκριμένο ασύρματο πάροχο, σε ένα τρίτο ουδέτερο DAS δίκτυο του παρόχου υπηρεσίας, ή σε ένα πελάτη επιχειρήσεων ή σε έναν ιδιοκτήτη κτηριακών εγκαταστάσεων. [61], [62], [64], [65]

Όπως, σημειώνεται πιο πάνω, ένα δίκτυο DAS μπορεί να υλοποιείται και εντός και εκτός ενός κτηρίου. Εσωτερικά, η υλοποιούμενη τεχνολογία υπάρχει σε χώρους, όπου πλήθος ανθρώπων συνωστίζονται, όπως στάδια, γυμναστήρια, συνέδρια, βιβλιοθήκες και διάφορες άλλες μεγάλες εγκαταστάσεις. Τυπικά, αυτά τα μέρη δεν είναι δυνατό να εξυπηρετηθούν από Macrocells, που υπάρχουν εκτός του κτηρίου. Τα εξωτερικά DAS δίκτυα έχουν υλοποιηθεί σε συγκεκριμένες τοποθεσίες μέσα σε μία περιοχή, που ήδη έχει κάλυψη από Macrocells, ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα. Κάποια άλλα δίκτυα DAS ενδέχεται να υποστηρίζουν ακόμα και το 802.11 πρότυπο, το οποίο χρησιμοποιείται συνδυαστικά, με σκοπό να ελαττωθεί η κίνηση από τα Macrocells συσσωρευμένης χωρητικότητας. [61], [62], [64], [65]

Ένας εξωτερικός DAS κόμβος μπορεί να υποστηρίξει ως και 16 συχνοτικές ζώνες σε μία απόσταση 0.80467 km και μπορεί να υποστηρίξει 300 ταυτόχρονες συνδέσεις. Οι DAS κόμβοι συνορεύουν με το PROW στην υπάρχουσα υποδομή, όπως οι στύλοι χρησιμότητας και τα φανάρια. Ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων και τη χωρητικότητα του ασύρματου μέσου, που συνυπάρχει στο δίκτυο, είναι δυνατό η αρχιτεκτονική να υποστηρίξει την κάλυψη μεγάλης γεωγραφικά περιοχής και να διαχειρίζεται χιλιάδες ταυτόχρονες συνδέσεις χρηστών. Όπως, ένα εξωτερικό σύστημα, το εσωτερικό DAS μπορεί να υποστηρίξει ως και 16 συχνοτικές ζώνες. Παρόλου, που η κάλυψη ποικίλει το DAS μπορεί να καλύπτει από 464,52m έως 2322,58m. Για τεράστια κτήρια μπορούν να τοποθετηθούν περισσότεροι DAS κόμβοι ανά όροφο, αυξάνοντας, παράλληλα αισθητά το κόστος της υλοποίησης. [61], [62], [64], [65]

Ακολουθεί η απεικόνιση των συσκευών DAS και πώς φαίνονται αυτές στον φυσικό κόσμο:



Σχήμα 4.1.2 Δομή ενός DAS στο φυσικό κόσμο. [82]



Σχήμα 4.1.3 Δομή ενός DAS στο φυσικό κόσμο. [83]



Σχήμα 4.1.4 Δομή ενός DAS στο φυσικό κόσμο.[84]

4.2 Ιστορική Ανασκόπηση

Το καταναμημένο σύστημα κεραίας προτάθηκε το 1987 από τον Saleh. Πριν από την εφεύρεση του Saleh χρησιμοποιήθηκαν πομποί τούνελ και διαρροές τροφοδοτών για να παρέχουν ραδιοφωνική λήψη σε σήραγγες, ορυχεία, στις γραμμές του μετρό, και άλλους εσωτερικούς και υπόγειους χώρους. Η τεχνολογία πίσω από το DAS, συνεπώς, δεν είναι νέα, και οι πάροχοι την έχουν χρησιμοποιήσει για χρόνια. Αλλά τον τελευταίο καιρό, λόγω του αυξανόμενου πλήθους απαιτήσεων, στα κινητά δίκτυα δεδομένων από την πλευρά των συνδρομητών, τα δίκτυα έχουν μετατραπεί σε DAS ως μια αναγκαία ώθηση στις δυνατότητες εξυπηρέτησης αναγκών στο δίκτυο.

Ιστορικές ρυθμιστικές προκλήσεις προκύπτουν σε ομοσπονδιακό, πολιτειακό και δημοτικό επίπεδο. Ωστόσο, οι κανονισμοί εκδίδονται από το κράτος και σε ομοσπονδιακό επίπεδο. Οι Πανεπιστημιακές εργασίες αντιμετωπίζουν το παραπάνω ζήτημα. Άλλες πηγές της βιομηχανίας, όπως το DAS forum, αντιμετωπίζουν, επίσης, ρυθμιστικά θέματα σε συνέδρια τους. Αποτέλεσμα αυτού είναι και ό,τι δήλωσε ο Dave Cutrer, ο διευθύνων σύμβουλος της NextG, πως «Μέχρι τα τελευταία δύο χρόνια, απευθυνόταν σε μια εξειδικευμένη αγορά» και ότι όσον αφορά στον εξωτερικό πάροχο του DAS: «Οι πάροχοι θα χρησιμοποιήσετε την τεχνολογία αυτή για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων.» Εφόσον, δηλαδή δομείται το νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο δίνεται η δυναμική ανάπτυξης και υιοθέτησής της τεχνολογίας από όσο το δυνατό μεγαλύτερο μέρος της δικτυακής κοινότητας.

Η αρχή για την ευρεία χρήση έγινε στο μετρό του Michigan. Η πρόσβαση εκεί ρυθμίζεται με βάση το σταθερό δίκτυο υποδομής με τρόπο, που υπόκειται σε κρατική ρύθμιση δια μέσου διοικητικής απόφασης. Εν συνεχεία, στο Ohio η επιτροπή κοινής ωφέλειας έχει εκδώσει απόφαση για την ορθή χρησιμότητά του κατά τον Αύγουστο του 2014. Όλα τα πιο πάνω, όπως γίνεται αντιληπτό είναι μέρη, που απαιτούν υψηλή κάλυψη και καλείται κανείς να λύσει ζητήματα χωρητικότητας στο δίκτυο, εφόσον, υπάρχουν πολλοί διακινούμενοι σε έναν σιδηροδρομικό σταθμό κάθε πρωί και απόγευμα, ειδικά, όταν, δηλαδή, οι άνθρωποι εργάζονται και ξεκινούν να μετακινούνται ή γυρνάνε από τις εργασίες στην οικογενειακή εστία.

Σήμερα, οι πιο σημαντικοί παράγοντες, που υπάρχουν στον τομέα αριθμούνται οκτώ ή εννέα και δραστηριοποιούνται σημαντικά στην αγορά του DAS, περιλαμβανομένων των ADC, NextG, Newpath Networks και άλλες μεγαλύτερες επιχειρήσεις, όπως η American Tower και η Crown Castle. Όλες αυτές οι επιχειρήσεις προσπαθούν να καλύψουν τις ανάγκες των φορέων, που θέλουν να πάρουν το σήμα τους πιο κοντά στο σημείο, όπου πραγματικά είναι οι χρήστες και να αποδώσουν αδιάλειπτες υπηρεσίες.

Η Connie Durcsak, στέλεχος της PCIA, δήλωσε ότι “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 ακόμα, ότι στην PCIA δεν παρακολουθούνται ακριβή αριθμητικά στοιχεία, επειδή, είναι δύσκολο να παρακολουθούνται οι διαφορές μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών συστημάτων DAS». Ωστόσο, πρόσθεσε ότι η βιομηχανία πρόκειται «πιθανώς να εξελιχθεί ραγδαία.»

Τέλος, ο Cutrer στέλεχος του NextG είπε ότι η αγορά για το υπαίθριο DAS είναι πιθανώς, μια αγορά \$500 εκατομμυρίων. Ο Tony Lefebvre, από την άλλη, διευθυντής της ADC, για τη διαχείριση προϊόντων για προϊόντα DAS εξωτερικού χώρου, δήλωσε ότι η αγορά είναι κατά πάσα πιθανότητα μεταξύ \$400 εκατομμυρίων και \$450 εκατομμυρίων για τα DAS εξωτερικού χώρου.

Από τα παραπάνω παραδείγματα, που απηχούν τα λόγια σημαντικών ανθρώπων της αγοράς, καθίσταται σαφές ότι μία λύση, που προτάθηκε για πρώτη φορά το 1987 δεν είχε κερδίσει σημαντικό έδαφος, διότι οι δικτυακές ανάγκες ως τώρα, δεν ήταν τόσο αυξημένες, ώστε να σημειωθεί η απαραίτητη ώθηση και να ξεπεραστεί το νομικό κενό, που υπήρχε, αλλά και η υψηλή οικονομική τιμή του DAS. Από το παρελθόν έτος, παρατηρείται μία στροφή προς την τεχνολογία αυτή, ειδικά με την αναμονή για την έλευση της 5G τεχνολογίας. Ακόμα, σημειώνονται σημαντικές προσπάθειες ένταξης της σε δίκτυα υψηλών απαιτήσεων σε εύρος και χωρητικότητα, όπως στα παραδείγματα του Michigan και του Ohio.

Συνοψίζοντας, παρατηρώντας τον απόηχο των δηλώσεων σημαντικών στελεχών σε εταιρείες γίνεται κατανοητό ότι στα επίπεδα της αμερικανικής οικονομίας θα δαπανηθούν μεγάλα ποσά για την αξιοποίηση της τεχνολογίας και την παράκαμψη προβλημάτων σχετικών με τα δίκτυα, που ήδη υπάρχουν. Ενώ, τέλος, από τις τελευταίες δηλώσεις κατανοείται ότι ενώ, το DAS θα είναι μία επικερδής αγορά, δεν έχουν καθοριστεί ακόμα, ούτε τα οικονομικά όρια, ούτε τα οικονομικά κέρδη. Αναμένεται, λοιπόν, το ιστορικό μελλοντικό πλαίσιο του DAS να είναι λαμπρό και να υιοθετηθεί από πολλούς παρόχους. [64], [65]

4.3 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

Τα DAS συστήματα είναι πολύ σημαντικά, διότι περιλαμβάνουν θεμελιώδη πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες ασύρματες λύσεις, τα οποία τα καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικά για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, καθώς και για τους χρήστες. Ένα DAS περιλαμβάνει πλεονεκτήματα, μερικά από τα πιο σημαντικά συνοψίζονται παρακάτω:

- Ορίζει υψηλότερη κάλυψη.
- Ένα DAS επιτρέπει στον πάροχο πρόσβαση στην κυψέλη σε όλες τις εφαρμογές.
- Το DAS εξαλείφει τα νεκρά σημεία κάλυψης στα κτίρια.
- Το DAS είναι Carrier Agnostic, δηλαδή δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζει κάποιον συγκεκριμένο πάροχο ή τεχνολογία, που λειτουργεί συνδυαστικά.
- Το DAS παρέχει ίδια κάλυψη χρησιμοποιώντας χαμηλότερη συνολική ισχύ.
- Αυξάνει το εσωτερικό σήμα σε όλους τους τομείς εντός της εμβέλειας του DAS (αποφεύγονται οι χαμένες κλήσεις).
- Προσφέρει υπεραστική συνδεσιμότητα υψηλής συχνότητας.
- Κυμαίνονται από 10.000 ft² έως εκατομμύρια ft².
- Είναι εύκολη η προσθήκη, επιπλέον, χωρητικότητας με τη σύνδεση με τον κεντρικό κόμβο.
- Εξαλείφει την ανάγκη για έναν πύργο και συμβατικές κεραιές.
- Μεμονωμένες κεραιές δεν χρειάζεται να είναι τόσο ψηλά όσο μια ενιαία κεραία για ισοδύναμη κάλυψη.

Από την άλλη μεριά, η χρήση ενός κατανεμημένου συστήματος κεραιών περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος μειονεκτημάτων, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να χρησιμοποιούνται σε κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές. Μερικά από τα προβλήματα, που επιφέρει αναλύονται πιο κάτω:

- Το υψηλότερο κόστος, ως αποτέλεσμα των πρόσθετων υποδομών, που απαιτούνται για την υλοποίηση του. Τα δίκτυα απαιτούν υψηλά επενδυτικά κεφάλαια, λόγω του σχεδιασμού, της εγκατάστασης και της διατήρησης πολλαπλών κόμβων και εγκατάστασης καλωδίωσης οπτικής ίνας.
- 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.
- Ο σχεδιασμός των DAS είναι διαφορετικός σε σχέση με τα παραδοσιακά δίκτυα και χρειάζεται ιδιαίτερη διαχείριση.
- Οι μηχανικοί σχεδιασμού πρέπει να είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι στα διάφορα είδη δικτύου και ιδιαίτερα στο DAS, καθώς, σε αντίθεση με τα συμβατικά κυψελωτά συστήματα η εγκατάστασή του απαιτεί γνώσεις δικτύων και επικοινωνιών.

Επίσης, όσον αφορά σε σχεδιαστικά, πρακτικά, νομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά και θέματα υγείας ένας επιστήμονας στον τομέα των DAS πρέπει να

αναλογιστεί άλλα σημαντικά ερωτήματα, που εγείρονται και αποτελούν σημαντικές προκλήσεις. Μερικά από τα οποία είναι τα παρακάτω:

- Ποιές είναι οι ανάγκες του δικτύου, καθώς και πώς αξιολογούνται αυτές;
- Πώς θα πραγματοποιηθεί ο συντονισμός των ενδιαφερόμενων μερών;
- Με ποιόν τρόπο θα οριστούν οι απαιτούμενες υποδομές;
- Την πιθανή ανάπτυξη του προϋπολογισμού για μία ασύρματη επικοινωνία.
- Τη χαρτογράφηση της μετάδοσης τύπου RF.
- Τις απαραίτητες προδιαγραφές, που πρέπει να καλύπτει ο εξοπλισμός.
- Την υλοποίηση νομοσχεδίου για τον ορισμό των υλικών.
- Αποφάσεις σχετικές με την καλωδίωση χαμηλής τάσης και εγκατάσταση μέσων μετάδοσης.
- Την εγκατάσταση συστήματος κεραίας.
- Τη βελτιστοποίηση του συστήματος, την πραγματοποίηση δοκιμών και την ενδεχόμενη πιστοποίηση.
- Σημεία πρόσβασης κεραίας Wireless Wide Area Network (WWAN).
- Τη συμμόρφωση με κανόνες για τη δημόσια ασφάλεια και υγεία.
- Την αντιμετώπιση φαινομένων, όπως η συμφόρηση και ο συντονισμός στο δίκτυο.

Υποθέτει κανείς, λοιπόν, ότι οι πλέον ενδιαφερόμενοι τομείς για ένα σύστημα με τα συγκεκριμένα θετικά χαρακτηριστικά, θα είναι κυρίως φορείς σχετικοί με τους πιο κάτω:

- Φιλοξενία: Για παράδειγμα, σε αυτά εντάσσονται ξενοδοχεία, θέρετρα, ξενοδοχειακά συγκροτήματα, συνεδριακά κέντρα.
- Δημόσιοι χώροι: Όπως, πανεπιστήμια, γήπεδα, αερολιμένες, λιμένες κλπ.
- Κυβέρνηση & Εκπαίδευση: Δηλαδή, κυβερνητικά γραφεία, δημοτικά γραφεία και επιχειρήσεις, εφορίες, πανεπιστημιούπολεις.
- Νοσοκομεία: τα οποία είναι μεσαία ή μεγαλύτερα νοσοκομεία, παρέχουν περισσότερα από 100 κρεβάτια και δυσκολεύονται να καλύψουν τις ανάγκες τους.
- Χώροι μικτής χρήσης: Εμπορικά κέντρα, οικίες, χώροι ψυχαγωγίας, και χώροι λιανικής πώλησης.

Από τα παραπάνω, συνεπάγεται πώς μπορεί κανείς να διαλέξει ανάλογα με το δίκτυο, που έχει να υλοποιήσει το DAS για τα πλεονεκτήματά του, αλλά και να αξιολογήσει τα μειονεκτήματά του, έτσι ώστε να διαχειριστεί κατάλληλα τη δικτυακή υποδομή του, ούτως ώστε να αποφεύγονται τα σημαντικότερα προβλήματα, που περιλαμβάνει. Επίσης, είναι υψίστης σημασίας να απαντηθούν οι σημαντικότερες προκλήσεις, καθορίζοντας το νομικό πλαίσιο, αναπτύσσοντας συγκεκριμένα πρωτόκολλα και πρότυπα λειτουργίας και σκιαγραφώντας την πιστοποίηση, που θα καταστήσει το DAS ακράδαντο εργαλείο για δικτυακές υποδομές. Τέλος, είναι σημαντικό να προωθηθεί με διαφημιστικά μέσα η τεχνολογία στοχευμένα, σε τομείς, που παρουσιάζουν υψηλό ενδιαφέρον και έχουν εκδηλώσει δυσαρέσκεια από τις τωρινές δικτυακές τους υπηρεσίες. [66]

4.4 Μοντέλο Λειτουργίας

Είναι υψίστης σημασίας να περιγράψει κανείς το μοντέλο DAS, που μελετήθηκε σύμφωνα με το οποίο, υλοποιήθηκε το οικονομικό μοντέλο παρακάτω. Ένα DAS σύστημα είναι ένα δίκτυο με καταναμημένους κόμβους κεραίας, οι οποίοι συνδέονται μέσω ενός μέσου μετάδοσης, που παρέχει ασύρματες υπηρεσίες μέσα σε μία δομή. Η κύρια ιδέα είναι η υιοθέτηση του συστήματος DAS μαζί με ένα σύστημα Microcell, με σκοπό να αυξηθεί ο συνολικός αριθμός συσκευών, που μπορεί να εξυπηρετηθούν και μπορούν να αποκτήσουν μία αξιόπιστη σύνδεση στο διαδίκτυο. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα, κατά τη χρήση του DAS, όπως είναι :

- Βέλτιστα καθορισμένη χωρητικότητα.
- Περισσότεροι κόμβοι κάλυψης.
- Χαμηλότερη καταναλισκόμενη ενέργεια.

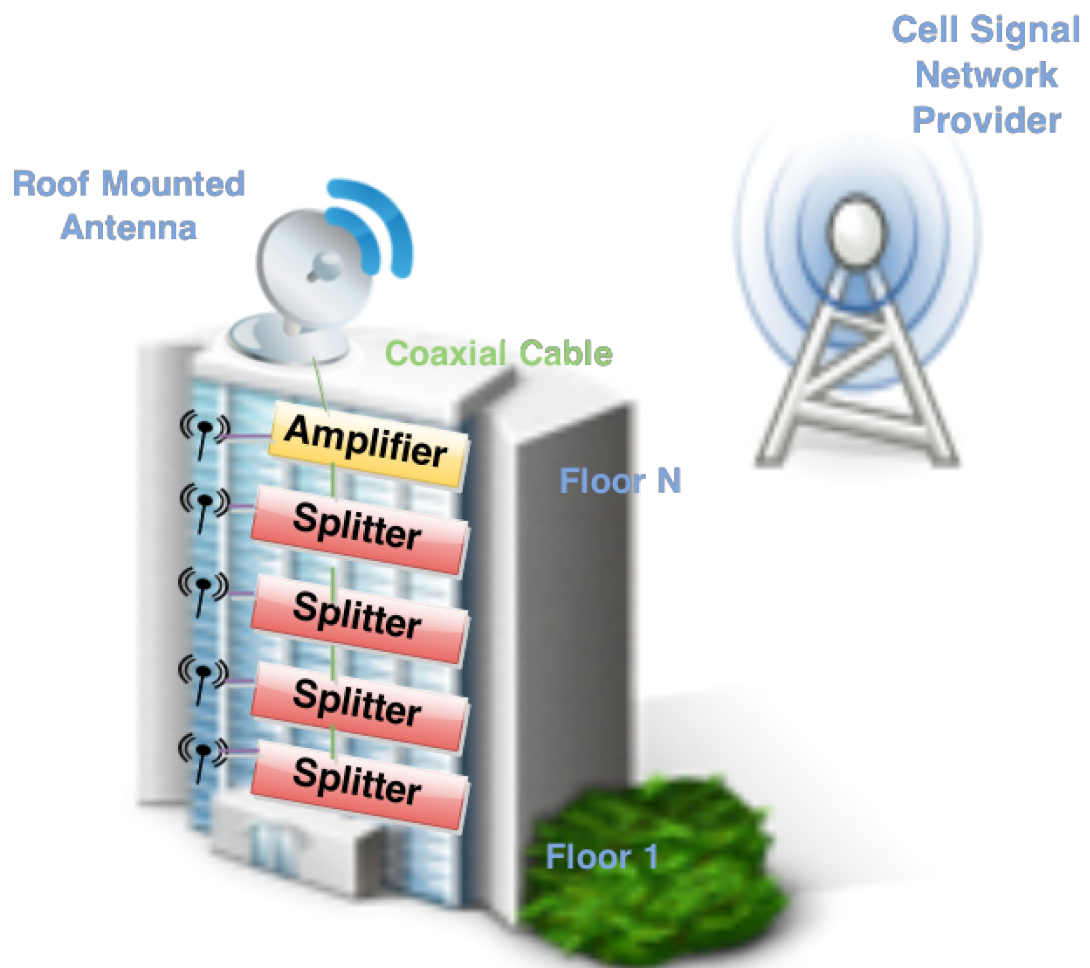
Ένα DAS σύστημα, δεν συμπεριλαμβάνει μόνο μία βάση με Microcells, αλλά περιλαμβάνει και ένα άλλο σύστημα, που συνδέεται στις κεραίες. Αναλυτικά, το DAS σύστημα περιλαμβάνει τα πιο κάτω στοιχεία: [8], [9]

- έναν αριθμό από κόμβους επικοινωνίας, καθένας 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 παροχείς 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 υποσύστημα στο κτήριο.

Όσο μεγαλύτερο το κτήριο, τόσο περισσότερα πρέπει να είναι και τα υποσύστημα, 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. Το DAS μπορεί να περιλαμβάνει τη δυνατότητα να λειτουργεί χρησιμοποιώντας έναν λήπτη παρόμοιο με αυτόν της Macrocell. Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται πλήθος κεραιών ίσο με 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 κεραιές και έπειτα για την περίπτωση πολύ μεγάλων κτηριακών υποδομών με 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 και 100 κεραιές.



Σχήμα 4.4: Η δομή ενός κτηρίου με ενσωματωμένους DAS κόμβους σε κάθε όροφο του.

5. FEMTOCELLS

Η χρήση των Femtocells έχει ιδιαίτερη σημασία και τα ίδια τα Femtocells είναι τεχνολογικά επιτεύγματα ειδικού ενδιαφέροντος. Η χρήση των Femtocells είναι μέρος μίας γενικότερης τάσης, που επικρατεί στα κινητά δίκτυα σε σχέση, με τη μείωση του μεγέθους των κυψελών. Αφού εστιάζουν στην ιδέα ότι μειώνοντας το μέγεθος της βασικής κυψέλης, μπορεί να αναλαμβάνεται από κάθε κυψέλη εξυπηρέτηση κάποιου τμήματος του εύρους ζώνης. Ενόσω, υπάρχουν μειονεκτήματα σε αυτές τις προσεγγίσεις, είναι σημαντικά τα πλεονεκτήματά τους για μικρούς χώρους, όπως τα σπίτια ή τα μικρά γραφεία, όπου πλέον θα συνδέονται ολοένα και περισσότερες συσκευές. Σε λίγα χρόνια θα υπάρχουν έξυπνες συσκευές, που θα είναι δυνατό, κάθε χρήστης να τις ελέγχει εκ του μακρόθεν, ακόμα και όταν λείπει από το σπίτι του δια μέσου του έξυπνου τηλεφώνου του. [5]

Ένας από τους παράγοντες κλειδιά υπέρ των Femtocells είναι ότι είναι σχεδιασμένα να αγοράζονται και να εγκαθίστανται από τον καταναλωτή, που δεν έχει τεχνική γνώση. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη επαρκούς ευφυίας από τα Femtocell, ώστε να ενημερώνονται και να ρυθμίζονται στο περιβάλλον πριν την εγκατάσταση, να προσαρμόζονται σε οτιδήποτε αλλαγές συμβαίνουν στο περιβάλλον με την καθημερινή χρήση και να προσαρμόζονται σε κάθε ελαττωματική κατάσταση, που ενδέχεται να συμβεί κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε λειτουργίας με το να αποτρέπουν σφάλματα. Ένα Femtocell πρέπει να μπορεί να αυτορυθμίζεται να αυτοβελτιστοποιείται και να αναγνωρίζει και να διορθώνει τα σφάλματα, ώστε να είναι εύκολη η εγκατάστασή του. Αυτά είναι άλλωστε, τα σημαντικότερα, από τα θέματα, που έχουν ήδη προβλεφθεί, εφόσον, περιλαμβάνονται εντός της αρχιτεκτονικής τους αρκετοί αλγόριθμοι αυτό-οργάνωσης. Τα δίκτυα αυτό-οργάνωσης αποτελούν σήμερα το βασικό θέμα έρευνας και προτυποποίησης στο 3GPP (3rd Generation Partnership Project). [4]

Η ίδια τεχνολογία και αρχιτεκτονική είναι ευρέως διαδεδομένη και σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Τυπικά, μία Microcell έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα και υψηλότερη ισχύ, ώστε να δώσει μεγαλύτερο εύρος κάλυψης. Ορισμένες επιχειρήσεις, που πουλούν Microcells, έχουν καταλήξει σε λύσεις, σύμφωνα με τις οποίες, τα Small Cells συνεργάζονται ανά ομάδες, με κεντρικό στόχο να παρέχουν στους χρήστες αδιάκοπες υπηρεσίες. Για μεγάλες επιχειρήσεις, είναι πιθανό να απαιτείται ένας ελεγκτής Microcell, ούτως ώστε να παρέχονται επιπρόσθετες τοπικές υπηρεσίες συμπεριλαμβανομένου απευθείας σύνδεση στο εταιρικό δίκτυο ή το διαδίκτυο και αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων τμημάτων στο δίκτυο.

Κατά τον ίδιο τρόπο, που περιεγράφηκε το DAS, πρέπει να περιγραφεί και η αντίστοιχη τεχνολογική δομή του Femtocell. Αυτό αρχικά, διότι είναι σημαντικό να υπάρχει ενιαία δομή σε ό,τι αναφορά την αντιδιαστολή στις δύο βασικές αυτές τεχνολογίες. Δεύτερον, εφόσον, αργότερα παρουσιάζεται οικονομική ανάλυση είναι θεμελιώδες να παρουσιαστεί σε ποιιά στοιχεία ομοιάζουν και σε ποιιά στοιχεία διαφέρουν οι τεχνολογίες, με σκοπό να κατανοηθεί πλήρως, γιατί τα κόστη, που περιλαμβάνουν σε καμία των περιπτώσεων δεν είναι εφάμιλλα. Συνεπώς, είναι

σημαντικό να περιγραφούν οι σημαντικότερες πλευρές της τεχνολογίας, που κρύβεται πίσω από τα Femtocells.

Αναλυτικά, οφείλει να στοιχειοθετείται η βασική αρχιτεκτονική του Femtocell, ποιές οι βασικές απαιτήσεις, που υπάρχουν για την εγκατάστασή του, τη συντήρησή του κλπ, ποιά τα δομικά στοιχεία του συστήματος, πώς εγκαθίστανται, τι χώρους καλύπτουν, πόση χωρητικότητα αναμένεται να έχουν κλπ. Ποιά ήταν τα ιστορικά δρώμενα και οι εξελίξεις, που σχετίζονται άμεσα και συνετέλεσαν στη δημιουργία και εξάπλωση των Femtocells.

Ακόμα, είναι σημαντικό να τονιστούν τα σημαντικότερα μειονεκτήματα και προκλήσεις, που συνδέονται με αυτά ώστε να βρεθούν λύσεις και απαντήσεις σε αυτά στο άμεσο μέλλον. Επιπλέον, είναι ζωτικό να σημειωθούν τα πλεονεκτήματα, που διέπουν την συγκεκριμένη τεχνολογία, ώστε να ωθήσει τους χρήστες και τους παρόχους να εντάξουν στα συστήματά τους την συγκεκριμένη πρόταση. Από την άλλη μεριά, η αντιδιαστολή θετικών και αρνητικών μπορεί να καταδεικνύει ποιά υπερισχύουν ποιών, με αποτέλεσμα να μπορεί κανείς να υποστηρίξει τα μεν εναντίον των δε, σε περίπτωση αντιπαράθεσης για την κρισιμότητα ή τη βιωσιμότητα της συγκεκριμένης πρότασης.

Τέλος, είναι λογικό να σκιαγραφηθεί το μοντέλο μελέτης, που πραγματοποιήθηκε για ένα δίκτυο με Femtocells, με σκοπό να κατανοηθεί για ποιούς λόγους ανακύπτουν ορισμένα κόστη, ποιά στοιχεία λήφθηκαν υπόψη κατά το σχεδιασμό του δικτύου και την ανάπτυξη της οικονομικής πρότασης. Κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, στα επόμενα κεφάλαια ανάλυσης κόστους να κατανοηθεί με ποιά συλλογιστική πορεία εργάστηκε κανείς για να καταλήξει να αποφασίσει ότι απαιτείται ο υπολογισμός του ενός ή του άλλου κόστους.

5.1 Τεχνολογία & Αρχιτεκτονική

Ένα Femtocell είναι ένας μικρός 3G σταθμός βάσης, που σχεδιάστηκε για να εφαρμόζεται μέσα σε οικίες ή μικρές επιχειρήσεις. Η μεγάλη χωρητικότητα και η υψηλή κάλυψη είναι διαθέσιμες χρησιμοποιώντας τη λογική της μικρής κυψέλης εντός ενός κτηρίου και επιτυγχάνει μία καλύτερη εμπειρία χρήσης, συγκριτικά με αυτή, που επιτυγχάνεται συμβατικά με τη χρήση Macrocells. Οι βελτιωμένοι ρυθμοί δεδομένων συμβάλλουν στην ανάπτυξη νέων πολυμεσικών υπηρεσιών, που παράγουν νέα εισοδήματα για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, που μπορούν να προσφέρουν περισσότερες παροχές, πλέον, στους πελάτες τους. Τα Femtocells είναι σχεδιασμένα να εγκαθίστανται από τον χρήστη χωρίς τεχνικές γνώσεις. [35]

Σύμφωνα με το 3GPP δομημένο πρότυπο για το Femtocell, η αρχιτεκτονική Femtocell περιγράφεται από τρία θεμελιώδη στοιχεία:

- το Home Node B (HNB) επικοινωνεί με την πύλη του Home Node B (HNB-GateWay-HNB-GW) πάνω από τη σύνδεση του καταναλωτή δια μέσου της επιφάνειας lu-b.
- Το HNB-GW εξυπηρετεί το σκοπό ενός RNC (Radio Network Controller), που παρουσιάζεται από μόνο του στο δίκτυο πυρήνα του παρόχου ως συγκεντρωτής των συνδέσεων HNB.
- Κάθε HNB εξυπηρετεί μία κυψέλη και υπάρχει μία σχέση 1-N μεταξύ των HNB-GW πυλών και HNB κόμβων.

Ένα σύστημα 3G UMTS κινητής επικοινωνίας είναι ευρέως διαδεδομένο, ακόμα και στις μέρες μας, αφού οικονομικοί και τεχνολογικοί παράγοντες δεν έχουν ακόμα, επιτρέψει την αντικατάσταση όλων των υπάρχοντων δικτύων με 4G. Τα Femtocells είναι σημαντικός τύπος κυψέλης σημείου πρόσβασης (Access Point Cell). Τα Femtocells παρέχουν συνδεσιμότητα μεταξύ των τοπικών κινητών συσκευών και ενός δικτυακού δρομολογητή. Όμως, αυτό είναι μόνο ένα τμήμα του γενικότερου συστήματος, που απαιτείται για την κυψέλη. Κάποια από τα βασικά απαραίτητα τμήματα της είναι τα ακόλουθα:

- Το ίδιο το Femtocell.
- Ένας διαδικτυακός δρομολογητής, που δρομολογεί τα δεδομένα να περνάνε από και προς το Femtocell, δια μέσου του δικτύου.
- Μία σύνδεση στο διαδίκτυο.
- Μία πύλη στο δίκτυο πυρήνα του τηλεπικοινωνιακού παρόχου.

Τα βασικά σημεία κλειδιά ενός συστήματος είναι τα Femtocells, που εγκαθίσταται εντός των κτηριακών εγκαταστάσεων του χρήστη, καθώς και η πύλη σύνδεσης στο δίκτυο, που παρέχει συνδεσιμότητα μέσω του διαδικτύου, στο δίκτυο τηλεπικοινωνίας. Τα Femtocells εμφανίζονται στο πρότυπο 3G ασύρματων επικοινωνιών, ως ένα εναλλακτικό δίκτυο συσκευών από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο και μπορεί να χρησιμοποιηθούν, αν επιτρέπεται, από σχεδόν οποιοδήποτε 3G τηλέφωνο ακόμα, κι αν πρόκειται για διεθνή περιαγωγή χρηστών-επισκεπτών από άλλες χώρες.

Ο διακόπτης φορέα κινητής τηλεφωνίας (Mobile Switching Center-MSC) και ο διακόπτης δεδομένων (Serving GPRS Support node-SGSN), επίσης, είναι δυνατό να επικοινωνούν δια μέσου της πύλης των Femtocells με τον ίδιο τρόπο, όπως άλλες κλήσεις κινητών. Συνεπώς, όλες οι υπηρεσίες, ακόμα και οι αριθμοί τηλεφώνων, η εκτροπή κλήσεων, ο τηλεφωνητής κλπ. είναι δυνατό να λειτουργήσουν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και εμφανίζονται, όπως και παλαιότερα, στον τελικό χρήστη. Η σύνδεση μεταξύ του Femtocell και της πύλης του, που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο κρυπτογράφησης IPsec (Internet Protocol Security), το οποίο συμβάλει στο να αποφευχθεί η υποκλοπή και επίσης, ευνοεί στο να επιβεβαιώνεται ότι το ίδιο το Femtocell είναι ένα έγκυρο σημείο πρόσβασης.

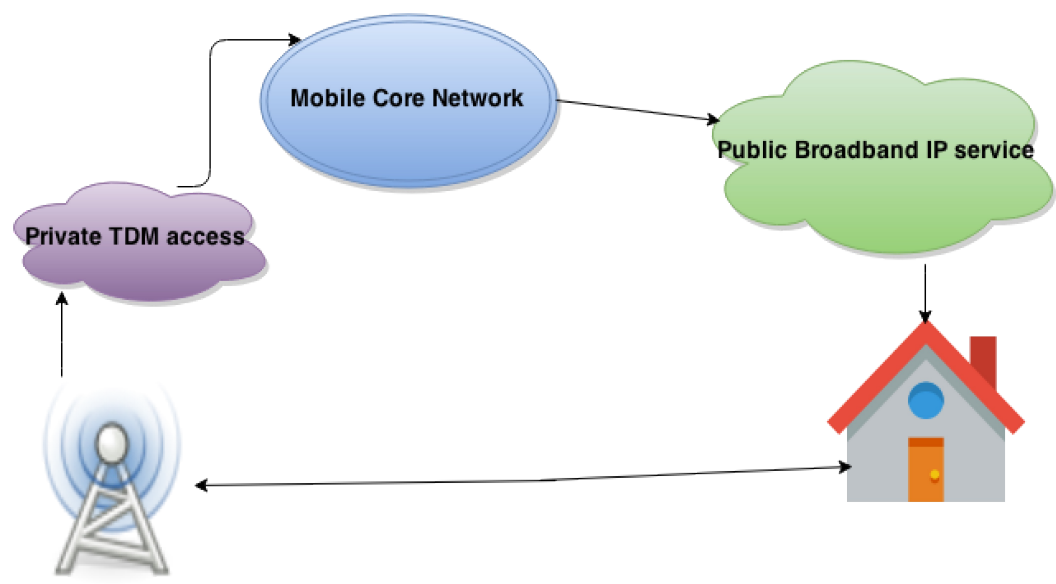
Εντός του Femtocell, υπάρχει πλήρης λειτουργία ενός σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας. Επίσης, συμπεριλαμβάνονται επιπρόσθετες λειτουργίες, όπως η επεξεργασία βάση RNC, που παραδοσιακά βρίσκεται στο κέντρο διακόπτη του κινητού. Κάποιες κυψέλες, επίσης, περιέχουν το δίκτυο πυρήνα, έτσι ώστε οι σύνοδοι δεδομένων να είναι δυνατό να διαχειρίζονται τοπικά, χωρίς να είναι απαραίτητο να μεταβαίνει κανείς στα κέντρα διακοπής των παρόχων. Οι συναρτήσεις κλειδιά ενσωματώνονται σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα, όπως για παράδειγμα το BCM61670 από την Broadcom ή το TCI6630 από την Texas Instruments. Αυτοί καθώς, επίσης και άλλοι κατασκευαστές ολοκληρωμένων κυκλωμάτων περιγράφουν λεπτομερώς τα διάφορα τμήματα στα σχέδιά τους.

Οι επιπλέον δυνατότητες του Femtocell απαιτούν να εγκαθίσταται και να ρυθμίζεται από μόνο του. Αυτό απαιτεί σημαντικό επιπλέον λογισμικό, το οποίο σαρώνει το περιβάλλον, με σκοπό να αποφανθεί για διαθέσιμες συχνότητες, για το επίπεδο ενέργειας και αν υπάρχουν αναρριχώμενοι κώδικες, οι οποίοι να χρησιμοποιούνται. Αυτή η συνεχής διαδικασία προσαρμόζεται για την αλλαγή των συνθηκών εκπομπής, όπως για παράδειγμα, αν τα παράθυρα ανοίγουν σε ένα δωμάτιο, που περιέχει ένα Femtocell. Εντός ενός δικτύου παρόχου, οι πύλες των Femtocell περιλαμβάνουν μεγάλα πλήθη συνδέσεων Femtocells (από 100.000 έως 300.000), τα οποία αποτελούν το πρώτο υψηλής χωρητικότητας IP τείχος προστασίας (IP firewalls).

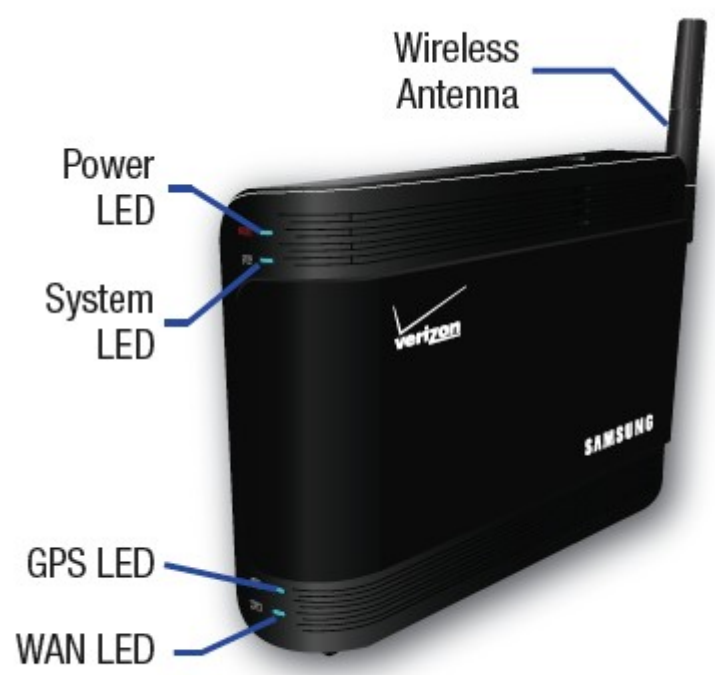
Τα Femtocells αποτελούν ένα βασικό στοιχείο του μοντέλου επιχειρήσεων για εξέλιξη του τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Ενώ, λειτουργεί καλά με την πολυπλεξία τύπου CDMA, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και με την LTE τεχνολογία. Παρόλο, που η LTE χρησιμοποιεί γενικά OFDM πολυπλεξία για το σήμα, και συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω έρευνα, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι επιτυγχάνεται η βέλτιστη χρήση ή να διατυπωθούν λύσεις να συνδυαστούν οι τεχνολογικές προτάσεις ώστε να βελτιστοποιείται η χρήση, τελικά.

Ένα Femtocell είναι η μικρότερη μονάδα ως τώρα, που μπορεί να συναντήσει κανείς σε ένα κυψελωτό δίκτυο. Σχεδιάστηκε για να τοποθετείται σε κάθε σπίτι και επιτρέπει σε άλλες κινητές συσκευές να επικοινωνούν μέσα από ευρυζωνικές συνδέσεις μέσω καλωδίου ή διαφόρων τύπων DSL. Τα Femtocells λειτουργούν με το ίδιο αδειοδοτούμενο φάσμα, όπως οι Microcells και οι Macrocells, όμως, είναι δυνατό να καλύψουν μόνο κάποιες δεκάδες μέτρα και να καλύψουν μία μικρή περιοχή εντός της οικίας. Αυτή η νέα πρόταση επιτρέπει να επωφελείται ο πάροχος

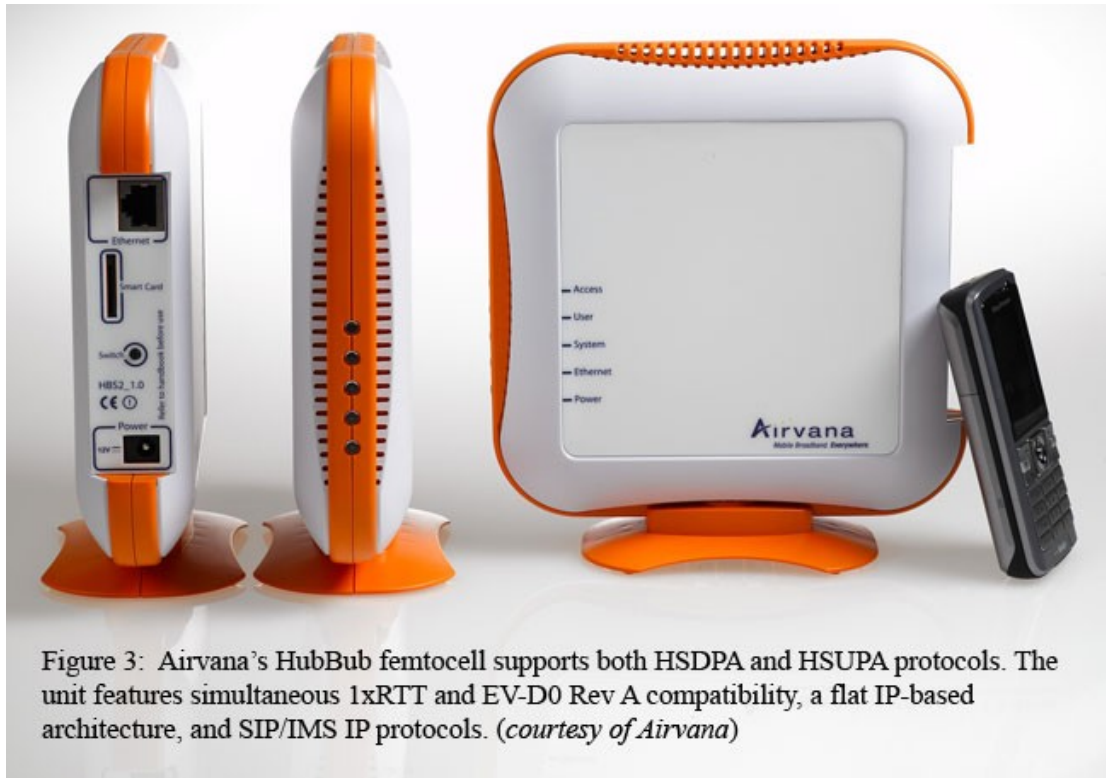
και από το οικιακό δίκτυο, κάτι που παλαιότερα δεν εξασφάλιζε σημαντικά οφέλη. Τα Femtocells καλύπτουν δεκάδες μέτρα, σίγουρα κάτω από εκατοντάδες. Συνήθως θεωρείται ότι είναι ικανά να καλύψουν επαρκώς μέχρι περίπου 100m. [26], [30], [35], [61], [70] Ακολουθούν εικόνες αρχιτεκτονικής του Femtocell, καθώς και συσκευές Femtocell από διάφορες διάσημες εταιρείες.



Σχήμα 5.1.1: Αρχιτεκτονική Femtocells σε οικιακό δίκτυο.



Σχήμα 5.1.2: Σχήμα συσκευής Femtocell. [78]



Σχήμα 5.1.3: Σχήμα συσκευής Femtocell. [79]



Σχήμα 5.1.4: Σχήμα συσκευής Femtocell. [80]



Σχήμα 5.1.5: Σχήμα συσκευής Femtocell. [81]

5.2 Ιστορική Ανασκόπηση

Αρχικά, το ενδιαφέρον για τη δημιουργία και έρευνα πάνω στις κυψέλες τύπου Femto σημειώθηκε περίπου το 2002, όταν μία ομάδα μηχανικών της διάσημης εταιρείας Motorola, ερευνούσε νέες πιθανές εφαρμογές και μεθόδους, που ήταν δυνατό να εφαρμοστούν στις κινητές επικοινωνίες. Παράλληλα με τη δημιουργία ενός σχεδιαγράμματος κινητής τηλεόρασης, αποφάσισαν να εντάξουν στο σχεδιασμό τους και ένα πολύ μικρό σταθμό βάσης τύπου UMTS. [35]

Το 2004 περίπου, η παραπάνω ιδέα άρχισε να κερδίζει έδαφος και να ερευνάται και από άλλες εταιρείες. Πιο συγκεκριμένα, την εποχή εκείνη ενεργό ρόλο στη συγκεκριμένη προσπάθεια αποκτούν δύο εταιρείες από το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ubiquisys και η 3WayNetworks, οι οποίες δημιουργήθηκαν με στόχο να μελετήσουν την περιοχή των κυψελών αυτών. Η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας ήρθε το 2007, όταν ιδρύθηκε το Femto Forum το μήνα Ιούλιο, με βασικό σκοπό την ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας. Συνάμα, με το ρόλο της προώθησης της τεχνολογίας, διαδραμάτισε και ενεργό ρόλο, ως προς την ταχεία διασφάλιση για την έγκαιρη κυκλοφορία επιβεβαιωμένων και υψηλών προτύπων για την τεχνολογία. [35]

Το 2009 επετεύχθη μία τριμερής συνεργασία στον τομέα από το Femto Forum, το 3GPP και το Forum ευρυζωνικότητας ανακοινώνοντας ένα πρότυπο Femtocell, που δημοσιεύεται από το 3GPP. Το πρότυπο περιλαμβάνει τέσσερις κύριες περιοχές, δηλαδή την αρχιτεκτονική του δικτύου, τις παρεμβολές, τη διαχείριση και πρόβλεψη του Femtocell και την ασφάλεια. Το πρότυπο ήταν τμήμα του 3GPP έκδοσης 8 και ανοίγει το δρόμο της λειτουργικότητας του εξοπλισμού και ακολούθως, θέτει τις γραμμές για την ανάπτυξη της οικονομικής κλίμακας τους.

Σύμφωνα με την έρευνα αγοράς για την εταιρεία Informa και το Femto Forum, το Δεκέμβριο του 2010, 18 επιχειρήσεις ξεκίνησαν την εμπορική χρήση Femtocell υπηρεσιών, με ένα σύνολο 30 επιχειρήσεων να δεσμεύεται με βασικό στόχο την περαιτέρω ανάπτυξη.

Μέσα στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι πιο σημαντικές προσπάθειες μέχρι το Δεκέμβριο του 2010, ήταν από την Sprint Nextel, τη Verizon Wireless και την AT & T Wireless. Η Sprint ξεκίνησε το τρίτο τρίμηνο του 2007 ως μια περιορισμένη εγκατάσταση (Denver και Indianapolis) από ένα σπίτι, με βάση τα Femtocell, που χτίστηκε από τη Samsung Electronics και ονομάζεται Sprint Airave. Αυτό λειτουργεί με οποιαδήποτε συσκευή Sprint. Από τις 17 Αυγούστου 2008, η Airave επεκτάθηκε εκτός αυτού σε εθνική βάση. Άλλοι φορείς, στις Ηνωμένες Πολιτείες, επίσης, ακολούθησαν το παράδειγμά της. Τον Ιανουάριο του 2009, η Verizon επέκτεινε το ασύρματο δίκτυο της, με βάση το ίδιο σχέδιο με το σύστημα Sprint της Samsung. Στα τέλη Μαρτίου του 2010, η AT & T ανακοίνωσε εθνική ή και διεθνή ακόμα, ανάπτυξη των 3G Smallcell της, η οποία ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2010. Ο εξοπλισμός, που χρησιμοποιήθηκε κατασκευάστηκε από τη Cisco Systems και την ip.access, και ήταν το πρώτο 3G femtocell στις ΗΠΑ, που υποστηρίζει τόσο φωνή όσο και δεδομένα HSPA. Τόσο η Sprint και η Verizon αναβαθμίστηκαν σε 3G CDMA femtocells, κατά

τη διάρκεια του 2010, με ικανότητα για περισσότερες ταυτόχρονες κλήσεις και πολύ υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. [71]

Στο τέλος του 2011, οι αποστολές Femtocell είχαν φτάσει περίπου τα 2 εκατομμύρια μονάδες, τα οποία εν γένει αναπτύσσονταν σε ετήσια βάση, και η αγορά αναμένεται να αναπτυχθεί ταχέως με την ύπαρξη διακριτών ειδών Femtocell για τους καταναλωτές, τις επιχειρήσεις, και για τους παρόχους. Οι πωλήσεις Femtocell εκτιμάται ότι ανήλθαν σε σχεδόν 2 εκατομμύρια, στο τέλος του 2010. Η εταιρεία ερευνών Berg Insight εκτιμά ότι οι μεταφορές αυξήθηκαν σε 12 εκατομμύρια μονάδες σε όλο τον κόσμο για το 2014.

Στην Ασία, αρκετοί πάροχοι υπηρεσιών έχουν εφαρμόσει τα Femtocell σε διάφορα δίκτυα. Στην Ιαπωνία, η SoftBank ξεκίνησε την εδραίωση της υπηρεσίας του 3G Femtocell, τον Ιανουάριο του 2009, με τις συσκευές, που παρέχονται από τη Ubiquisys. Κατά το ίδιο έτος, ξεκίνησε ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη Femtocells, ώστε να δύναται να αποδώσει υπηρεσίες εξωτερικά σε αγροτικές περιοχές, όπου η υπάρχουσα κάλυψη είναι περιορισμένη. Τον Μάιο του 2010, η SoftBank Mobile ξεκίνησε την πρώτη ελεύθερη Femtocell προσφορά, παρέχοντας ανοικτή πρόσβαση Femtocells, δωρεάν σε οικιακούς και εταιρικούς πελάτες της. Στη Σιγκαπούρη, η StarHub επεκτάθηκε στην πρώτη διεθνή εμπορική 3G Femtocell προσπάθεια, αυξάνοντας τις παρεχόμενες υπηρεσίες της, με συσκευές της Huawei Technologies, αν και δεν είχε επιτυχία το εγχείρημα, αφού οι πωλήσεις ήταν χαμηλές. Το 2009, η Κίνα με την Unicom, ανακοίνωσε το δικό της δίκτυο Femtocell. Η NTT DoCoMo, στην Ιαπωνία ξεκίνησε τη δική της υπηρεσία Femtocell, στις 10 Νοεμβρίου 2009.

Τον Ιούλιο του 2009, η Vodafone κυκλοφόρησε το πρώτο δίκτυο Femtocell στην Ευρώπη. Η πρόσβαση στην πύλη της Vodafone, που παρέχεται από την Alcatel-Lucent. Αυτή η προσπάθεια μετονομάστηκε ως SureSignal τον Ιανουάριο του 2010, μετά την οποία, η Vodafone ξεκίνησε την παροχή υπηρεσιών στην Ισπανία, την Ελλάδα, τη Νέα Ζηλανδία, την Ιταλία, την Ιρλανδία, την Ουγγαρία και τις Κάτω Χώρες. Τέλος, άλλες επιχειρήσεις στην Ευρώπη έχουν ακολουθήσει αυτή την πορεία από τότε. [35], [71]

5.3 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

Οι Femtocells περιλαμβάνουν σημαντικά πλεονεκτήματα, που ωθούν στην ευρεία υιοθέτησή τους τόσο από τους παρόχους, όσο και από τους απλούς χρήστες. Μερικά, από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της υλοποίησης αυτής, συνοψίζονται πιο κάτω: [69]

- Η αυξημένη χωρητικότητα, που παρέχεται και η οποία παραμένει σταθερή, ενόσω κανείς βρίσκεται στο σπίτι ή το γραφείο.
- Υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.
- Καλύτερη εμπειρία χρήσης και παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (QOS).
- Οικονομική λύση με καλύτερη εκμετάλλευση του υπάρχοντος ευρυζωνικού δικτύου.
- Ευκαιρία για νέες πηγές εισοδήματος, από εξοικονόμηση χρημάτων από τους χρήστες ή ακόμα και από την παροχή σύνδεσης σε άλλους γειτονικούς χρήστες με κάποια χρηματική αποζημίωση.
- Μεγαλύτερη τοπικότητα υπηρεσιών, αφού το σύστημα μεταφέρεται από τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο στην μικρή αυτή κυψέλη.
- Η ελάττωση και η αποσυμφόρηση της κυκλοφορίας από το δίκτυο Macrocell στο επίπεδο Femtocell.
- Αξιοποίηση της χωρητικότητας εκεί, που είναι απαραίτητη κι όχι σε άλλα σημεία, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η μη αξιοποίηση του συνόλου του διαθέσιμου εύρους ζώνης.
- Η χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος δίνει μεγαλύτερη ζωή στην μπαταρία του κινητού, κάτι, που επιδιώκεται όλο και περισσότερο από τους χρήστες και τους κατασκευαστές τηλεφώνων.
- Ένα κινητό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί, όπως τα σταθερά τηλέφωνα και αντίστροφα. Είναι πιθανό στο μέλλον να στέλνει κανείς γραπτά μηνύματα και σε σταθερά τηλέφωνα.
- Ένα Femtocell περιορίζει το πλήθος των ατόμων-χρηστών, που συνδέονται, αφού μπορεί κανείς να δημιουργήσει ένα προαποφασισμένο group.
- Ευκαιρία για LIPA (Local Ip Access) και SIPTO (Selected Ip Traffic Offload).

Τα πιο θεμελιώδη μειονεκτήματα, τα οποία αυτά εμφανίζουν και ενισχύουν την θέση, που προβάλλουν οι πολέμιοι τους, συνοψίζονται πιο κάτω: [69]

- Τα Femtocells χρησιμοποιούν ευρυζωνικές συνδέσεις, που ενδέχεται να χρησιμοποιούνται και για άλλες εφαρμογές, όπως το Video streaming.
- Ενδέχεται να σημειώνονται προβλήματα, όταν διαφέρει ο πάροχος της υπηρεσίας από τον πάροχο του κινητού δικτύου, αφού δε διασφαλίζεται η ποιότητα υπηρεσίας (QOS).
- Σημειώνεται παρεμβολή μεταξύ διαφορετικών Femtocells, αλλά και μεταξύ Femtocells και Macrocells, ειδικά, αν υπάρχει εγκατεστημένη υποδομή στο δίκτυο.

Μέσα στα μειονεκτήματα, που αναφέρονται, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για την ευρεία χρήση και εγκατάσταση τους πρέπει να επιλυθεί πλήθος σημαντικών ζητημάτων σχεδιασμού και εγκατάστασης, τα οποία αναλύονται πιο κάτω: [69]

- Αρχικά, πρέπει να επιλυθούν τα ζητήματα της παρεμβολής. Ένα σημαντικό θέμα, που σχετίζεται με τα Femtocells είναι αυτό της παρεμβολής. Υπάρχει μόνο περιορισμένο φάσμα, στο οποίο ένα κυψελωτό σύστημα μπορεί να λειτουργήσει. Κάποιοι πάροχοι κινητών δικτύων 3G, για παράδειγμα, μπορεί να έχουν μόνο ένα κανάλι σε μερικά μέρη. Συνεπώς, είναι απαραίτητο ότι οι κυψέλες είναι ικανές να λειτουργούν εντός του φυσιολογικού φάσματος διαμοιραζόμενες σε πολλούς άλλους σταθμούς βάσης. Υπάρχει ένας αριθμός τρόπων, σύμφωνα με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί το να μειωθεί η παρεμβολή των συστημάτων, μέσω σχεδιασμού φάσματος αν είναι δυνατό.
- Επιπρόσθετα, είναι απαραίτητη η επίλυση ζητημάτων σχετικών με το φάσμα, διότι, όταν είναι απαραίτητη μεγάλη ποσότητα δεδομένων, χρειάζεται διαφορετικός χειρισμός ως προς το φάσμα. Έτσι, οργανώνοντας κατάλληλα το διαθέσιμο φάσμα, ώστε να χρησιμοποιείται από μεγάλο πλήθος κυψελών χρειάζεται προσοχή, ειδικά όταν απαιτούνται κάποια μονά κανάλια με κύριους σταθμούς βάσης.
- Επιπλέον, είναι αναγκαίο να βρεθεί λύση για τα ζητήματα κυκλοφορίας των Femtocells, διότι λειτουργούν σε αδειοδοτούμενο φάσμα, άρα, χρειάζονται έγκριση κυκλοφορίας. Το φάσμα και η εκπομπή ποικίλουν από χώρα σε χώρα και άρα, οι διάφορες ρυθμίσεις ενδέχεται να διαφέρουν σημαντικά παγκοσμίως. Ενδέχεται να απαιτείται διεθνής συμφωνία και επικύρωση, διότι ιδιώτες πιθανόν μεταφέρουν τις κυψέλες σε διάφορες χώρες. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι παρέχουν μία λύση κόστους αρκετά αποδοτική, κατά την οποία, μπορούν να βελτιώσουν την κάλυψη και να κερδίσουν επιπλέον εισόδημα από την πρόβλεψη για παροχή επιπλέον υπηρεσιών. Τοιουτοτρόπως, γίνεται αντιληπτό ότι στο μέλλον αναμένεται να πρωταγωνιστήσουν στον τομέα αυτές οι τεχνολογίες.
- Εξίσου, είναι δυνατό να εγείρονται ζητήματα υγείας από τα Femtocells, διότι σημειώνονται κίνδυνοι για την υγεία και την ασφάλεια των πολιτών, λόγω της ραδιοεκπομπής. Εφόσον, ένα Femtocell είναι ένας κυψελωτός σταθμός βάσης είναι δυνατόν να εγείρονται ανησυχίες για τα επίπεδα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, που μεταδίδει. Όμως, τα επίπεδα ισχύος, που εκπέμπονται από τα Femtocells είναι μικρά, σχετικά σε κοντινά επίπεδα, με τα αντίστοιχα σημεία πρόσβασης των 802.11 πρωτοκόλλων, που υπάρχουν σε πολλά σπίτια. Ως αποτέλεσμα, δεν είναι επιβεβαιωμένη η αντίληψη, γενικά, ότι υφίσταται ανησυχία λόγω κινδύνων για τη δημόσια υγεία, εφόσον, είναι σχετικά όμοιες με τις μέχρι τώρα υιοθετούμενες λύσεις.

5.4 Μοντέλο Λειτουργίας

Όσον αφορά το μοντέλο των Femtocells, που ακολουθείται για την εν λόγω εργασία, είναι βασισμένο στην υψηλή πυκνότητα κυψελών, δηλαδή στην Ultra-density τεχνολογία, που αποτελεί μία σημαντική ιδιότητα για τα συστήματα κινητής επικοινωνίας και ολόένα κερδίζει έδαφος με την επικείμενη έλευση της 5G. Οι σημαντικότερες απαιτήσεις της 5G τεχνολογίας είναι:

- 50 φορές περισσότερη χωρητικότητα,
- Ρυθμοί δεδομένων των 10 Gbit/s,
- Χαμηλή καθυστέρηση, ενδεχομένως χαμηλότερη από 1msec.

Γενικά, η αύξηση της χωρητικότητας θα πολλαπλασιαστεί σε 5 φορές περισσότερο της σημερινής, λόγω της αύξησης της απόδοσης του φάσματος και 20 φορές περισσότερο, λόγω του ευρύτερου φάσματος και θα οδηγήσει σε 5000 φορές περισσότερη χωρητικότητα για το συνολικό σύστημα. Η ιδιότητα αυτή προσφέρει αυξημένα οφέλη στους τελικούς χρήστες:

- Υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερους χρόνους μετάδοσης.
- Βελτιωμένη κάλυψη και χωρητικότητα.
- Αδιάκοπο handover από εξωτερικές σε εσωτερικές υπηρεσίες.
- Βελτιωμένη ασφάλεια συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες.

Επιπρόσθετα, από τη συγκεκριμένη τεχνολογία και οι πάροχοι βιώνουν πολύ σημαντικά οφέλη, όπως:

- Χαμηλότερα κόστη,
- Υλοποίηση κόμβων, όπου επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου,
- Αυξημένη επαναχρησιμοποίηση του φάσματος και συνεπώς, μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου,
- Παράκαμψη νομικών και διαχειριστικών θεμάτων των Macrocells.

Συνεπώς, καθίσταται κατανοητό ότι είναι εξαιρετικά σημαντικό να αναλυθεί το μοντέλο, το οποίο ακολουθήθηκε με σκοπό την οικονομική ανάλυση. Αρχικά, πρέπει να μπορεί να αντιπαραβληθεί με το DAS, που έχει ήδη παρουσιαστεί ανωτέρω και κατά δεύτερον, πρέπει να είναι δυνατή η κατανόηση της ανάπτυξης και ανάλυσης κόστους για τα θεμελιώδη συστήματα πιο κάτω. [1], [8], [9]

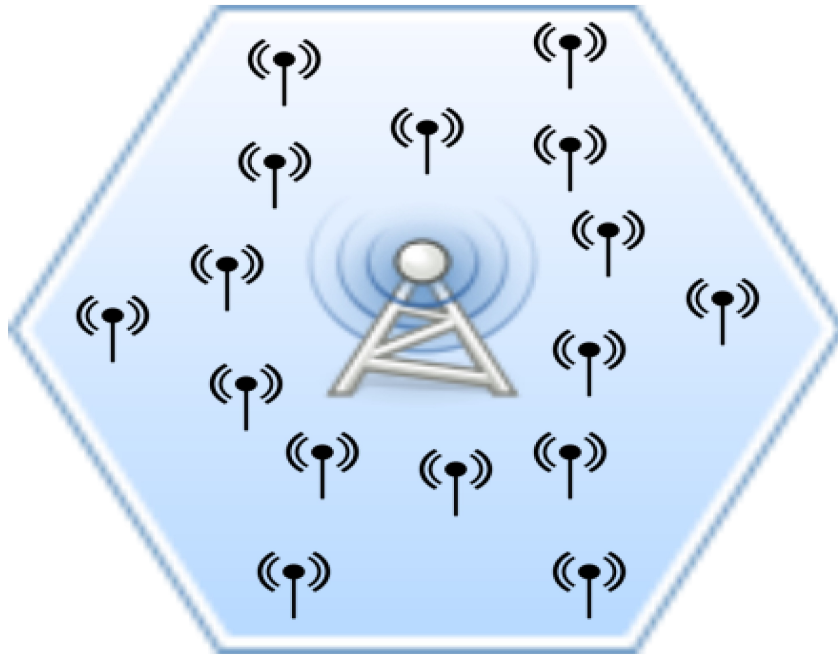
Η βασική ιδέα, που σχετίζεται με την ανάπτυξη του εν λόγω μοντέλου, είναι η προσθήκη διαφόρων κυψελών τύπου Femto, όπως αυτές, που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο για την αρχιτεκτονική τους. Θέτουν ως θεμελιώδη σκοπό την ανακατανομή του σήματος, με βασικό στόχο τη βελτίωση της χωρητικότητας και την αύξηση της ικανοποίησης των χρηστών. Συνεπώς, όπως με το DAS, σε κάθε τοπικό σταθμό προστίθενται κεραίες στην περίπτωση αυτή προστίθενται κυψέλες. Στο εν λόγω μοντέλο, η τηρούμενη αναλογία είναι όμοια με αυτή, που υπάρχει και στα DAS, δηλαδή 2 κυψέλες. Επίσης, εξετάζονται και περιπτώσεις για 4, 6, 8, 10, 12, 14

κυψέλες και έπειτα, για πολύ μεγάλα κτήρια με 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 και 100 κυψέλες. [1], [8], [9]

Τα πιο κάτω σχήματα ουσιαστικά, εμμέσως πλην σαφώς, υποδηλώνουν την αρχιτεκτονική της Ultra-Density μέσα σε μία ολική μεγαλύτερη κυψέλη, η οποία περιλαμβάνει περισσότερες μικρές κυψέλες και κεραιές, εφόσον, αξιοποιείται η Ultra-density τεχνολογία.



Σχήμα 5.4.1 Πυκνότητα συσκευών κεραιών και κυψελών στην ευρύτερη κυψέλη.



Σχήμα 5.4.2 Μπορούν να υπάρχουν πολλές επιμέρους κεραίες στην ίδια κυψέλη μικρότερης εμβέλειας, ώστε να αναδιανέμεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Για την ευρεία υιοθέτηση των τεχνολογιών από τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και από χρήστες, δεν αρκεί μόνο η παρουσίαση των συγκριτικών πλεονεκτημάτων, μειονεκτημάτων, προβλημάτων και προκλήσεων της κάθε τεχνολογίας, αλλά είναι αναγκαία η παρουσίαση ενός οικονομικού μοντέλου και η ανάπτυξη μαθηματικών τύπων περιγραφής για την ανάλυση κόστους, σύμφωνα, με την οποία θα υπολογιστεί το κόστος, το οποίο περιλαμβάνει κάθε τεχνολογία για την υλοποίηση και υιοθέτησή της, στην ευρωπαϊκή αγορά.

Η ανάλυση κόστους, γενικότερα, είναι μία τεχνική οικονομικής εκτίμησης, που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των αναμενόμενων οφελών από προτεινόμενες επενδύσεις, με τα σχετικά μεγέθη κόστους, ώστε να επικουρούνται οι χρήστες στον προσδιορισμό της εναλλακτικής λύσης, που παρέχει τελικά, το μέγιστο καθαρό όφελος. Το μέγιστο καθαρό κόστος δίνεται, αν από τα οφέλη αφαιρεθεί το κόστος, δηλαδή **Μέγιστο καθαρό κέρδος = όφελος-κόστος**. Όσο περισσότερο τα οφέλη υπερβαίνουν το κόστος, τόσο περισσότερο θα ωφεληθούν οι τελικοί χρήστες από τη δραστηριότητα ή την υλοποίηση του έργου και θα κινητοποιηθούν οι πάροχοι να χρησιμοποιήσουν τα πιο πάνω αρχιτεκτονικά πρότυπα.

Η παρουσίαση του κόστους είναι εκείνη, που δίνει επιπλέον κίνητρα σε όλες τις πλευρές για να αποφασίσουν υπέρ κάποιας τεχνολογίας. Μπορεί τα συγκριτικά πλεονεκτήματα να είναι σημαντικά για την τεχνολογία, όμως, στον πραγματικό κόσμο των επιχειρήσεων κάθε επένδυση ζυγίζεται, ούτως ώστε επιβεβαιωμένα να αποδίδει τα μέγιστα στον επενδυτή. Από τη μία μεριά, το αυξημένο κόστος είναι αποτρεπτικός παράγων για την εγκατάσταση της μίας τεχνολογίας. Ακόμα, όμως, είναι πιθανό να μην υπάρχει εφάμιλλη τεχνολογική πρόταση, που να καλύπτει συγκεκριμένα σχετικά πλεονεκτήματα και άρα, να υιοθετείται κάποια λύση, ακόμα και αν φαίνεται ασύμφορη οικονομικά. Επιπρόσθετα, μία οικονομικά ασύμφορη πρόταση ενδέχεται να παρέχει τη δυνατότητα της οικονομικής απόσβεσης, πολύ γρήγορα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, πιο φτηνές οικονομικά. [29]

Πιο συγκεκριμένα, με σκοπό να υπάρχει κοινή αναφορά, και για τις δύο τεχνολογίες ακολουθείται η ίδια συλλογιστική πορεία. Το κόστος κατανέμεται σε δύο βασικούς άξονες στο κεφάλαιο, που δαπανάται η κεφαλαιακή, δηλαδή, δαπάνη ή capital expenditure (CAPEX) και η λειτουργική δαπάνη κάθε τεχνολογίας ή operational expenditure (OPEX). Το CAPEX περιλαμβάνει τον προϋπολογισμό ενός ασύρματου τηλεπικοινωνιακού δικτύου, που επενδύεται για να αποκτηθεί και να υλοποιηθεί νέος εξοπλισμός, θέση, κλπ. Σε αντίθεση, το OPEX συνδέεται με το επαναλαμβανόμενο κόστος λειτουργίας και με τις δραστηριότητες λειτουργίας, όπως η κατανάλωση ρεύματος, κόστη συντήρησης και ούτω καθεξής. Γενικότερα, η φύση των δύο αυτών ειδών κόστους, ακόμα και ο κύκλος ζωής τους είναι θεμελιωδώς διαφορετικά, όπως γίνεται αντιληπτό, αν αναλογιστεί κανείς τι αναπαριστούν. [18], [19], [20]

Με βασικό στόχο, να ξεπεραστούν οι ασυμβατότητες, που προφανώς εμφανίζονται λόγω των διαφορών μεταξύ του κύκλου ζωής των δύο κατηγοριών κόστους, ακολουθείται ο τρόπος προσέγγισης κι άλλων παρόμοιων μελετών. Σύμφωνα με την ισχύουσα μεθοδολογία, η εκτίμηση του κόστους για το CAPEX και για το OPEX πραγματοποιείται σε μία ετήσια βάση. Στο OPEX κόστος είναι εύκολος αυτός ο υπολογισμός να πραγματοποιηθεί για κάθε χρονιά, αφού αφορά στα χρήματα, που δαπανώνται ετησίως για τη λειτουργία της συνολικής υποδομής. 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. Συνεπώς, ειδικά, το CAPEX είναι η εκτίμηση ετήσιου κόστους, που επιτυγχάνεται υπό μορφή δανείων και άρα είναι πολύπλοκο να υπολογιστεί.

Στη συνέχεια, το αντίστοιχο ετήσιο κόστος είναι το αποτέλεσμα του υπολογισμού των ετήσιων πληρωμών δόσης, που αντιστοιχεί στην εξόφληση του δανείου αυτού. Σύμφωνα, με την οικονομική θεωρία, υπάρχουν αντίστοιχοι τύποι, για την πρόβλεψη για το επιτόκιο, για την παρούσα τιμή, για τη μελλοντική τιμή, για το απλό επιτόκιο, το κυμαινόμενο επιτόκιο, για το ποσοστό έκπτωσης κλπ.

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 r αναπαριστά το περιοδικό επιτόκιο, που τίθεται για την αποπληρωμή του δανείου και 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. [2]

Ο παραπάνω τύπος είναι αξιοποιήσιμος, σε κάθε περίπτωση, τόσο για το CAPEX, όσο και για το OPEX κόστος, αφού υπάρχουν πολλά κόστη αντικειμένων και υπηρεσιών, τα οποία πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τη σχέση (1), εφόσον, σχετίζονται με το δάνειο, που δίνεται και περιλαμβάνουν ένα επιτόκιο, το οποίο είναι δύσκολο να το υπολογίσει κανείς, σχετικά με τα υπόλοιπα κόστη. Παρακάτω αναλύεται το κάθε κόστος ξεχωριστά για κάθε τεχνολογική πρόταση.

Το Total Cost of Ownership (TCO), τέλος, δεν είναι τίποτα άλλο από τη συνολική δαπάνη, που καλείται κανείς να μπορεί να εκπληρώνει, ώστε να μπορεί να εγκαθιστά, να επενδύει, να συντηρεί το σύστημα, που επιδιώκει να χρησιμοποιεί. Σε κάθε περίπτωση, είναι σημαντικό να αντικατοπτρίζει όλα τα κόστη, που περιλαμβάνονται, τα απαραίτητα επιτόκια, αλλά και το επενδυτικό πλάνο για τα επόμενα χρόνια. Λόγω των διαφορετικών δαπανών, που υπάρχουν σε κάθε κατηγορία υλοποίησης το TCO διαφοροποιείται σημαντικά. [21]

6.1 Ανάλυση Κόστους DAS

Το κόστος για το DAS σύστημα, πρέπει να υπολογιστεί ξεχωριστά, διότι διαφέρει αισθητά από τα επιμέρους κόστη, που περιλαμβάνει η Ultra-Dense υλοποίηση και γενικότερα, η Small Cell τεχνολογία. Κάτι τέτοιο, συμβαίνει λόγω της αισθητής διαφοράς, που υφίσταται ανάμεσα στις αρχιτεκτονικές τους, αφού καθεμία από τις δύο λύσεις περιλαμβάνει κόστη, που σχετίζονται με τα επί μέρους τμήματά της. Κάτι τέτοιο, συνεπάγεται ότι διαφορετικά κυκλώματα, δίκτυα, διαφορετική καλωδίωση, διαφορετικοί σταθμοί βάσης, συνεπάγονται αντίστοιχα και πολύ διαφορετικές λογικές υπολογισμού του κόστους και χρήζουν εναλλακτικής ανάλυσης. [8], [9]

Από την άλλη μεριά, το DAS περιλαμβάνει ένα επιπλέον κόστος υλοποίησης, που απαιτείται για την αρχιτεκτονική του DAS. Αυτό προκύπτει, διότι απαιτούνται πολλαπλές μικρές κεραιές σε ένα DAS σύστημα και ειδικά, για τα DAS εσωτερικού χώρου, τα οποία είναι στοιχεία, που δεν εμφανίζονται στην Ultra-density. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, απαιτούνται τροφοδοτές, μετασχηματιστές, ενισχυτές σήματος κλπ. για τη σύνδεση μεταξύ των κεραιών, αλλά και για την καλύτερη διανομή του σήματος. Είναι δυνατό, ακόμα, να χρειάζεται υποστηρικτικός εξοπλισμός για την εγκαθίδρυση ενός τέτοιου συστήματος στο εσωτερικό ενός οποιουδήποτε κτηρίου, που δε στοχεύει στην ενίσχυση του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, αλλά σε καθαρά πρακτικό κομμάτι, όπως για παράδειγμα τη στήριξη στον τοίχο, το φωτισμό, την ασφάλεια του εξοπλισμού κλπ. Άρα, είναι απαραίτητος ο εξοπλισμός για την υποστήριξη και τοποθέτησή τους στο κτήριο, για την εγκατάστασή τους, για την προσαρμογή τους στο υπάρχων δίκτυο του κτηρίου, αλλά και στο γενικότερο πλαίσιο της κτηριακής εγκατάστασης.

Επιπλέον, για την τροφοδότησή του συστήματος με ρεύμα είναι απαραίτητη ειδική πρόβλεψη κόστους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κάθε τέτοιο σύστημα βασίζεται σε επί μέρους τμήματα, κυκλώματα, κεραιές και εξοπλισμό, τα οποία απαιτούν την παροχή ρεύματος για τη λειτουργία τους. Κανένα από τα πιο πάνω συστήματα, δεν μπορεί να λειτουργήσει, χωρίς την απαιτούμενη ενέργεια. Το συγκεκριμένο κόστος, θα μπορούσε να αυξηθεί ακόμα περισσότερο, αν κάποιος προέβλεπε και το γεγονός ότι ενδεχομένως σε έναν πολύ σημαντικό οργανισμό, όπως μία πολυεθνική επιχείρηση μία τραπεζική επιχείρηση, μία επενδυτική, κλπ, αφού θα επιδιωκόταν, επιπλέον, να εξασφαλιστεί ότι σε κάθε περίπτωση, το συνολικό δίκτυο θα λειτουργεί, κάτι, που θα γινόταν με την ένταξη γεννήτριας για την τροφοδότηση του δικτύου, στην περίπτωση, που διακοπτόταν η παροχή ενέργειας, είτε λόγω βλάβης είτε από τον πάροχο.

Επιπρόσθετα, για την εγκατάσταση του σταθμού βάσης, του κατανεμημένου συστήματος και των κεραιών καταβάλλεται κάποιο ποσό στους υπαλλήλους, που πραγματοποιούν την εγκατάσταση και πρέπει να προβλεφθεί κι αυτό το κόστος και να ενταχθεί σε μία λογική κοστολόγησης του συνολικού συστήματος. Επίσης, μετά από μία εγκατάσταση, παρόλο που το DAS δουλεύει κατά κάποιον τρόπο, χωρίς να γνωρίζει το συνολικό λοιπό σύστημα, εντούτοις, απαιτείται πλήθος ενεργειών για τον

συντονισμό και την ένταξή του, στην ήδη υπάρχουσα τεχνολογία και υποδομή του συνολικού δικτύου.

Οι εργασίες κατασκευής, εγκατάστασης και συντονισμού του συστήματος DAS στο ευρύτερο δίκτυο, είναι σημαντικό να συμπεριληφθούν σε ένα κόστος υλοποίησης, δηλαδή ένα μέρος δαπανών, που λαμβάνεται υπόψη και πληρώνει κανείς για την υλοποίηση του έργου, που επιδιώκει, και ονομάζεται δαπάνη υλοποίησης ή *implementation expenditure* ή (IMPEX). [8], [9]

Όπως, και στην περίπτωση των Femtocells, δηλαδή της Ultra-density, υπάρχει και εδώ η έννοια των δαπανών κεφαλαίου και των δαπανών λειτουργίας, οι οποίες, όμως, λόγω της διαφοράς μεταξύ των δύο αρχιτεκτονικών, περιλαμβάνουν και διαφορετικά ποσά, που πηγάζουν από τα διαφορετικά κυκλώματα και τμήματα, που περιλαμβάνουν, και θα καταγραφούν αναλυτικά παρακάτω.

Ακολούθως περιγράφονται, λοιπόν, λεπτομερώς τα κόστη κάθε κατηγορίας, που πρέπει να συνυπολογιστούν με βασικό στόχο να περιγράφεται το συνολικό κόστος για την κατοχή ενός τέτοιου συστήματος σε ένα συνολικό δίκτυο. Για το DAS, όπως ειπώθηκε πιο πάνω, το συνολικό κόστος διαχωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες: στο CAPEX, OPEX και IMPEX, η ανάλυση για καθένα από τα οποία παρουσιάζεται παρακάτω αναλυτικά. Ενώ, για να κατέχει κανείς το σύστημα (TCO), πρέπει να είναι δυνατό να καταβάλει τις συνολικές δαπάνες και για τα τρία είδη κόστους.

Κεφαλαιακές Δαπάνες

Οι δαπάνες κεφαλαίου ή CAPEX είναι οι δαπάνες, που στην πραγματικότητα, αλλάζουν το μέλλον της επιχείρησης. 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. Οι επενδύσεις κεφαλαίου χρησιμοποιούνται από οποιαδήποτε εταιρεία για να αποκτήσουν ή να αναβαθμίσουν τα υλικά περιουσιακά στοιχεία, όπως είναι ο εξοπλισμός, ή η ιδιοκτησία, ή για να αποκτηθούν βιομηχανικά κτίρια. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, περιλαμβάνει το κόστος για την αγορά του απαραίτητου δικτυακού εξοπλισμού, όπως είναι οι κεραίες, οι τροφοδότες, οι λοιπές συσκευές κλπ.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το κόστος του κεφαλαίου επιβαρύνει, όπως γίνεται αντιληπτό μόνο τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο κι όχι 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. Στη βιβλιογραφία, για τις ασύρματες επικοινωνίες, που βασίζονται σε DAS συστήματα, έχει παρουσιαστεί αναλυτικά ότι περιλαμβάνονται τα κόστη, τα οποία σχετίζονται με τα ακόλουθα στοιχεία: [8], [9]

- Με το σταθμό βάσης (BS),
- Με το κατανεμημένο σύστημα (Distributed System-DS), όπως απομακρυσμένες κεραίες, 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 NB (eNB), ο οποίος είναι ο βασικός DAS κόμβος. Όπως, προαναφέρθηκε, είναι διαφορετικός αυτός ο κόμβος από τον Small Cell κόμβο και ομοιάζει περισσότερο με το βασικό Macrocell κόμβο. [18], [19]

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.

Με σκοπό να υπάρξει κοινή αναφορά, είναι σημαντικό 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:

$$C_{BS}^{cx} = N(C_{eNB} + C_{EPC}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (2), \text{ όπου } C_{BS}^{cx} \text{ το συνολικό κόστος κεφαλαίου, που}$$

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, είναι απαραίτητο να εισαχθεί ένα κόστος, το οποίο αναπαριστά τον εξοπλισμό, που απαιτείται για την υποστήριξη του DAS συστήματος. Συνεπώς, είναι πιθανό να εισαχθεί μία σταθερά C_{eq} και μία παράμετρος d , που είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το πλήθος των δομών του DAS και ενσωματώνονται στο σύστημα. Έτσι, 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:

$$C_{DASEQ}^{cx} = C_{eq}d \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (3), \text{ όπου } C_{DASEQ}^{cx} \text{ είναι το συνολικό κόστος του}$$

κεφαλαίου, που απαιτείται ετησίως για τον εξοπλισμό κατανεμημένων 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, 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:

$$C_{DAS}^{cx} = C_{BS}^{cx} + C_{DASEQ}^{cx} = [N(C_{eNB} + C_{EPC}) + C_{eq}d] \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (4), \text{ όπου } C_{DAS}^{cx}$$

αποτελεί το συνολικό ετήσιο κεφαλαιακό κόστος για το DAS, n η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο.

Λειτουργικές Δαπάνες

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. Για μεγάλα συστήματα, όπως οι επιχειρήσεις, το OPEX μπορεί, επίσης, να περιλαμβάνει το κόστος των εργαζομένων, δηλαδή μισθούς ή ημερομίσθια και τα έξοδα των εγκαταστάσεων, όπως ενοίκια και την καταβολή των λογαριασμών για τις υπηρεσίες κοινής ωφέλειας. [20]

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: [8], [9]

- 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.

Το κόστος OPEX, κατά συνέπεια, για το σταθμό βάσης του DAS, δίνεται από την εξίσωση: $C^{OX}_{DASBS} = N(C_m + C_{bc})$ (5), όπου C^{OX}_{DASBS} , οι λειτουργικές δαπάνες για τον DAS σταθμό βάσης, C_m 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: $NC_{st} = f_{st} C^{CX}_{DAS}$ (6).

Ένα DAS εσωτερικού χώρου περιλαμβάνει, ακόμα ένα OPEX κόστος, που πηγάζει από την συντήρηση του συστήματος κεραίας, δηλαδή των τροφοδοτών και των κεραιών, που υπάρχουν σε κάθε όροφο του κτηρίου, αλλά και από τη χρηματική υποστήριξη, επιπλέον απαραίτητων ενεργειών, που προκύπτουν σε κάθε έτος και πηγάζουν από 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: $C^{OX}_{DASEQ} = C_{eq} \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ (7), όπου

C^{OX}_{DASEQ} , το κόστος, που πηγάζει συνολικά από το λειτουργικό κόστος για τον εξοπλισμό κεραίας, C_{eq} περιλαμβάνει τα λειτουργικά κόστη του εξοπλισμού DAS, που σχετίζονται με το κατανομημένο σύστημα, δηλαδή τα κόστη λειτουργίας από τις

κεραίες και τους τροφοδότες, n η διάρκεια του σχεδίου επένδυσης σε έτη και r το ετήσιο περιοδικό επιτόκιο.

Είναι εξίσου σημαντικό να εισαχθεί 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 σχετίζεται με την ισχύ, που καταναλώνεται και τα χρήματα, που πληρώνονται στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη το κόστος, το οποίο σχετίζεται άμεσα με το εύρος ζώνης, που μπορεί να εξασφαλίζει, ο κάθε πάροχος και για το σκοπό αυτό καταλαμβάνεται ένα ετήσιο ποσό, σαν ενοίκιο χρήσης της συγκεκριμένης συχνοτικής περιοχής. 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 $f_{BW}BW$ (8).

Συνοψίζοντας, με χρήση της σχέσης (1), και λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση για το DAS OPEX, δηλαδή τις σχέσεις (5), (6), (7), (8), το συνολικό κόστος OPEX ετησίως, προκύπτει ως εξής:

$$C_{DAS}^{OX} = C_{DASBS}^{OX} + NC_{st} + C_{DASEQ}^{OX} + f_{BW}BW + C_{pw}$$

$$= N(C_{rn} + C_{bc}) + f_{st} C_{DAS}^{CX} \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + NC_{st} + f_{BW}BW + C_{eqd} \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + C_{pw} \quad (9),$$

όπου C_{DAS}^{OX} το λειτουργικό κόστος, που απορρέει από 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.

Κόστος Υλοποίησης

Οι δαπάνες υλοποίησης ή IMPEX είναι το απαραίτητο κεφάλαιο, που πρέπει να δαπανείται σε κάθε επιχείρηση για να υλοποιηθούν ορισμένες δραστηριότητες. Δεν τοποθετούνται στο κόστος κεφαλαίου, διότι δε σχετίζονται με τον εξοπλισμό, που πρέπει να τοποθετηθεί για να ξεκινήσει, η λειτουργία του συστήματος ή με τον εκσυγχρονισμό του υπάρχοντος συστήματος. Αντίθετα, σχετίζονται με το κόστος υλοποίησης και προσαρμογής, κατά κάποιον τρόπο, στα νέα δεδομένα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τέτοιου είδους κόστος, θα εμφανιζόταν, εάν άλλαζε η θέση της κυψέλης. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι αναπαριστά το χρηματικό ποσό, που δαπανάται και σχετίζεται με 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: [8], [9]

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

Το κόστος εγκατάστασης τόσο για το σταθμό όσο και για τις κεραιές έχει, ήδη, περιληφθεί με την συγκεκριμένη ανάλυση στο κόστος CAPEX, διότι η εξίσωση (1) περιλαμβάνει το μελλοντικό κόστος για κάθε στοιχείο από αυτά και κατά συνέπεια είναι πλεονασμός να υπολογιστεί εκ νέου και σε αυτή την περίπτωση.

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. Είναι σημαντικό να υπάρξει συντονισμός με το σύστημα για να γίνονται με ομαλό τρόπο διάφορες ενέργειες, όπως για παράδειγμα τα handovers. Έτσι, θα επιτευχθεί η ορθή λειτουργία του συνολικού δικτύου. Ακόμα, 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: $C_{DAS}^{IX}=C_{inc}$ (10),

όπου το κόστος C_{DAS}^{IX} αποτελεί το κόστος υλοποίησης για το συνολικό DAS σύστημα.

Συνολικό Κόστος

Γενικά, 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. [21]

Όσον αφορά στην περίπτωση ανάπτυξης μίας τεχνολογίας, τότε ενδέχεται να απαιτείται να περιγραφούν παράγοντες, όπως, το υλικό και τα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, το υλικό και το λογισμικό του δικτύου, το υλικό και το λογισμικό του διακομιστή, το υλικό και το λογισμικό του σταθμού εργασίας, η εγκατάσταση και η ολοκλήρωση του υλικού και του λογισμικού, οι εγγυήσεις και οι άδειες, η αποφυγή διαφόρων κινδύνων, η υποδομή, τα έξοδα λειτουργίας, η κατάρτιση, ο έλεγχος, η αντικατάσταση κλπ.

Συνοψίζοντας, λοιπόν, 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 καταναμημένο σύστημα κεραίας, κάτι το οποίο σημαίνει, πως το κόστος αυτό, θα ισούται με το άθροισμα των επιμέρους υπολογισμένων δαπανών. [8], [9]

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 (4), (9), (10) δίνεται από την εξίσωση:

$$C^{TCO}_{DAS} = C^{CX}_{DAS} + C^{OX}_{DAS} + C^{IX}_{DAS} =$$

$$[N(C_{eNB} + C_{EPC}) + C_{eq}d] \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + N(C_{eNB} + C_{EPC})C^{CX}_{DAS} + f_{st} \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + NC_{st}$$

$$+ f_{BW}BW + C_{pw}C_{eq}d \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + C_{inc} \quad (11),$$

όπου C^{TCO}_{DAS} 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 .

6.2 Ανάλυση Κόστους Femtocells

Το κόστος για τις τεχνολογίες των Small Cells πρέπει να υπολογιστεί ξεχωριστά, διότι διαφέρει αισθητά από το κόστος, που περιλαμβάνει η DAS τεχνολογία, καθώς, όπως παρουσιάστηκε δημιουργούνται με βάση πολύ διαφορετικές αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις. Σε κάθε περίπτωση, ένα Small Cell είναι πολύ πιο απλοϊκό αρχιτεκτονικά, συνεπώς, κάποια κόστη δεν δαπανώνται για την εγκατάσταση ή τη λειτουργία του. [1], [8], [9]

Ενώ, στο DAS απαιτούνται πολλαπλές κεραιές σε ένα δίκτυο, σε ένα Ultra-dense σύστημα, απαιτείται η απόκτηση των κυψελών, με σκοπό την αναδιάρθρωση του υπάρχοντος συστήματος, κατανέμοντας τη βασική κυψέλη σε επί μέρους με σκοπό καλύτερη διαχείριση του δικτύου και κατά συνέπεια, τη βέλτιστη αξιοποίηση του υπάρχοντος εύρους ζώνης.

Ενώ, μπορεί να υπάρξει αντιστοιχία για κάποια είδη κόστους, για κάποια άλλα δεν μπορεί να υπάρξει. Για παράδειγμα, εφόσον και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει σταθμός βάσης, υπάρχουν κόστη και σε αυτή την περίπτωση, που σχετίζονται με τη δόμηση του σταθμού βάσης, αλλά και τη λειτουργία του, δηλαδή CAPEX και OPEX αντίστοιχα. Αντίθετα, δεν υπάρχει κατανεμημένο σύστημα κεραιάς στην Ultra-dense τεχνολογία και κατά συνέπεια, δεν υπάρχουν κόστη για τη συντήρηση ή για τη δημιουργία του.

Από την άλλη μεριά, ο υπολογισμός αντίστοιχου κόστους τύπου IMPEX, δεν είναι απαραίτητος, διότι τα Femtocells, που εξετάζονται συγκεκριμένα, παρέχουν στο δίκτυο διαδικασίες αυτο-συγχρονισμού με τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία του. Κατά συνέπεια, η έννοια του συντονισμού και της αναπροσαρμογής, όπως αναλύθηκε στο DAS δεν έχει νόημα. Από την άλλη μεριά, το κόστος εγκατάστασης είναι χαμηλό, διότι τα Femtocells δεν είναι απαραίτητο να διαχειρίζονται ή να εγκαθίστανται από ειδικευμένο προσωπικό με ειδικές γνώσεις σε θέματα δικτύων, αλλά μπορεί να τοποθετηθούν στο σύστημα από οποιονδήποτε χρήστη. Αυτό συμβαίνει για τον πιο πάνω λόγο, ότι δηλαδή, έχουν ενσωματωμένες λειτουργίες, που επιτρέπουν να συντονίζονται από μόνα τους.

Ακολούθως περιγράφεται, λοιπόν, λεπτομερώς, το κόστος κάθε κατηγορίας, που πρέπει να συνυπολογιστεί με βασικό στόχο να περιγράφονται οι συνολικές δαπάνες για την κατοχή ενός τέτοιου συστήματος σε ένα συνολικό δίκτυο. Για τις Small Cells και συνεπώς, και για τα Femtocells, το συνολικό κόστος διαχωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες: στο CAPEX και OPEX, η ανάλυση για καθένα από τα οποία παρουσιάζεται παρακάτω αναλυτικά. Τέλος, το συνολικό κόστος για να κατέχει κανείς ένα Ultra-dense σύστημα, συνοψίζεται στο άθροισμα των επί μέρους δαπανών, δηλαδή στο άθροισμα του κόστους κεφαλαίου για την αγορά του σταθμού βάσης και στη λειτουργική δαπάνη.

Κεφαλαιακές Δαπάνες

Οι δαπάνες κεφαλαίου (CAPEX), είναι χρηματικά κεφάλαια, που χρησιμοποιούνται από μια εταιρεία, με βασικό στόχο να αποκτηθούν νέα στοιχεία ή να αναβαθμιστούν τα ήδη υπάρχοντα. Αυτό το είδος κόστους, σχετίζεται, βασικά, με την ανάληψη νέων έργων και την εγκατάσταση νέων αντικειμένων. Οι εταιρείες προβαίνουν σε σπατάλη κεφαλαίων, επειδή επιδιώκουν να αυξήσουν το εύρος των δραστηριοτήτων τους ή να προβούν σε ανανέωση, λόγω της δημιουργίας νέων αναγκών στην αγορά. [18], [22]

Στην περίπτωση, της Ultra-density, το κόστος CAPEX πάλι, αφορά στο κεφάλαιο, που δαπανάται για την απόκτηση και την εγκατάσταση του συστήματος και οικονομικά δεν είναι απαραίτητο να επιβαρύνει τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο, εφόσον, όπως αναφέρθηκε, στην περίπτωση του Femtocell, είναι δυνατό και κάποιος ιδιώτης να θέλει να τοποθετήσει Femtocell στο δίκτυό του. Αυτό είναι πιθανό, διότι το Femtocell είναι σχετικά οικονομική λύση, και μπορεί κανείς εύκολα να το τοποθετήσει μόνος του και συμβάλει σημαντικά στη συνολική βελτίωση του δικτύου του, αφού θα είναι δυνατή η αδιάκοπη εξυπηρέτηση περισσότερων συσκευών με την ίδια βασική υποδομή. Συνεπώς, το κόστος κεφαλαίου ενδέχεται να επιβαρύνει τον οικιακό προϋπολογισμό.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο εξοπλισμός, όπως προαναφέρθηκε, έχει να κάνει μόνο με το σταθμό βάσης και περιλαμβάνει και τον εξοπλισμό για τη δρομολόγηση των δεδομένων από και προς το δίκτυο κορμού. Κάθε άλλος εξοπλισμός και κάθε κόστος, που ενδεχομένως, περιλαμβάνεται δεν είναι πολύ σημαντικό ή πολύ απαραίτητο και για αυτόν τον λόγο, συνήθως, δε λαμβάνεται υπόψη. Επίσης, υποτίθεται, πως ήδη υπάρχει ο εξοπλισμός, που απαιτείται για την ευρυζωνική σύνδεση και για την καλωδίωση, συνεπώς, δεν περιλαμβάνεται τέτοια ανάλυση κόστους στο εν λόγω κοστολόγιο. Άλλωστε, σήμερα, στο μέσο ελληνικό σπίτι υπάρχει σύνδεση στο διαδίκτυο.

Ο σταθμός βάσης αποτελείται από περισσότερους κόμβους (HeNB) και το κόστος, που απαιτείται για την απόκτησή του, αναπαρίσταται από το κόστος C_{HeNB} , ενώ το κόστος για τη διεπαφή, που απαιτείται για την επικοινωνία του Femtocell με το σύστημα, δηλαδή το (interface cost) είναι το C_{if} , τότε το συνολικό ετήσιο κόστος της Ultra-dense υλοποίησης, θα πρέπει να περιλαμβάνει N κόμβους HeNB, οι οποίοι αποτελούν το συνολικό σύστημα σταθμού βάσης και αξιοποιώντας τη σχέση (1), το κόστος κεφαλαίου για την Ultra-density και κατ' επέκταση για τα Femtocells, δίνεται από την πιο κάτω εξίσωση: [1], [8], [9]

$$C_{dense}^{CX} = N(C_{HeNB} + C_{if}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (12), \text{ όπου το κόστος } C_{dense}^{CX} \text{ αποτελεί το ετήσιο}$$

κόστος κεφαλαίου, που πρέπει να δαπανηθεί για το σχεδιασμό του σταθμού βάσης της Ultra-dense τεχνολογικής προσέγγισης, n είναι το πλάνο επενδύσεων σε έτη και r είναι το περιοδικό επιτόκιο.

Λειτουργικές Δαπάνες

Σε μία οποιαδήποτε επιχείρηση, η λειτουργική δαπάνη (OPEX) είναι ένα βάρος ημερήσιο και διηλεκές. 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. [20]

Για το OPEX του Ultra-dense δικτύου, πολλές κατηγορίες κόστους, που τέθηκαν στο DAS δεν χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, το κόστος αλλαγής τοποθεσίας, δεν τίθεται σε εφαρμογή, στη συγκεκριμένη περίπτωση, διότι οι σταθμοί βάσης εγκαθίστανται από τον συνδρομητή και συνεπώς, επαφίεται στο χρήστη η κάλυψη αυτού του κόστους. Μάλιστα, είναι δυνατό οι κυψέλες να μετακινηθούν και σε διαφορετικές χώρες, χωρίς να απαιτούνται σύνθετες επιπλέον ρυθμίσεις. Αυτό συμβαίνει, διότι η ικανότητά τους να αυτό-ρυθμίζονται επιτρέπει τη διεθνή περιαγωγή.

Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας λόγω του μεγέθους τους είναι αμελητέα και καλύπτεται από τον συνδρομητή, επίσης, με τον καθιερωμένο οικιακό, επιχειρησιακό, εταιρικό κλπ. λογαριασμό, που αποδίδει περιοδικά στον ενεργειακό πάροχο. Τέλος, κόστη υποστήριξης ή συντήρησης δεν σχετίζονται με τον πάροχο, αλλά, κυρίως, με τον συνδρομητή, αφού σε περίπτωση βλάβης ή αντικατάστασης της κυψέλης, αυτός, ο οποίος επιβαρύνεται με το τέλος για τη διαδικασία, είναι ο χρήστης. [1], [8], [9]

Συνεπώς, υπάρχει μία μόνο κατηγορία κόστους, που περιλαμβάνεται στην OPEX δαπάνη και σχετίζεται με το τέλος συντήρησης, που απαιτείται, με σκοπό την ορθή και εύρυθμη λειτουργία του εξοπλισμού δρομολόγησης του συστήματος. Αυτό έχει θεωρηθεί ως ένα κόστος γραμμικά ανάλογο με το CAPEX, δηλαδή με την δαπάνη κεφαλαίου και πολλαπλασιάζεται με μία γραμμικά σχετιζόμενη παράμετρο f . Συνεπώς, το συνολικό κόστος λειτουργίας, για ένα Ultra-dense σύστημα και στη συγκεκριμένη περίπτωση, για ένα Femtocell, προκύπτει αξιοποιώντας τη σχέση (1) και αντικαθιστώντας τη σχέση (12) για το κόστος κεφαλαίου και συνεπώς, δίνεται από τη σχέση:

$$C_{dense}^{OX} = f C_{dense}^{CX} = f N (C_{HeNB} + C_{i/f}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (13),$$

όπου C_{dense}^{OX} είναι το συνολικό λειτουργικό κόστος για την Ultra-dense υλοποίηση, n είναι το επενδυτικό σχέδιο σε έτη και r είναι το περιοδικό επιτόκιο.

Συνολικό Κόστος

Μία ανάλυση του συνολικού κόστους κατοχής (TCO), περιλαμβάνει το συνολικό κόστος των δαπανών απόκτησης και λειτουργίας οποιουδήποτε αντικειμένου. Μία ανάλυση TCO χρησιμοποιείται, γενικά, με βασικό στόχο να μετρηθεί η βιωσιμότητα της εκάστοτε επένδυσης κεφαλαίων. Μια επιχείρηση μπορεί να τη χρησιμοποιήσει ως εργαλείο σύγκρισης προϊόντων ή διαδικασιών. Είναι, επίσης, χρήσιμη ανάλυση για τις πιστωτικές αγορές και για τους χρηματοδοτικούς οργανισμούς. Το TCO σχετίζεται άμεσα με τα περιουσιακά στοιχεία μιας επιχείρησης ή ακόμα, και με τα συναφή συστήματα του συνολικού κόστους, σε όλα τα έργα και σε όλες τις υπάρχουσες διαδικασίες, δίνοντας έτσι, μια εικόνα της κερδοφορίας με την πάροδο του χρόνου. Σε ένα δικτυακό σύστημα, κατά συνέπεια, είναι ένα χρήσιμο εργαλείο, για να μετρηθεί αν και κατά πόσο είναι βιώσιμη μία τεχνολογική πρόταση, σε ποίο ποσοστό θα προσδώσει κέρδη στον πάροχο, ή θα εξοικονομήσει χρήματα για τον απλό χρήστη. [21]

Όσον αφορά, στο συνολικό κόστος για την κατοχή ενός Ultra-dense συστήματος, πρέπει να λάβει κανείς υπόψιν του, το κεφάλαιο, που δαπανήθηκε αρχικά, για να αποκτηθεί η τεχνολογία, αλλά και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού. Κατά συνέπεια, το κόστος, για την ιδιοκτησία του συστήματος, είναι το άθροισμα των επί μέρους δύο τύπων κόστους, δηλαδή του CAPEX και του OPEX. Άρα, το συνολικό κόστος κατοχής της Ultra-density, αξιοποιώντας την εξίσωση (1) και αντικαθιστώντας, έπειτα, τις (12) και (13), δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \text{TCO}_{\text{dense}} &= \text{C}_{\text{dense}}^{\text{CX}} + \text{C}_{\text{dense}}^{\text{OX}} = \\ &= \text{N}(\text{C}_{\text{HeNB}} + \text{C}_{\text{if}}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + \text{fC}_{\text{dense}}^{\text{CX}} = \text{fN}(\text{C}_{\text{HeNB}} + \text{C}_{\text{if}}) \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (14), \end{aligned}$$

όπου $\text{TCO}_{\text{dense}}$ είναι το συνολικό κόστος, για να αποκτήσει κανείς μία λύση Ultra-dense τεχνολογίας, n είναι το επενδυτικό σχέδιο σε έτη και r είναι το περιοδικό επιτόκιο.

Με κατάλληλους μετασχηματισμούς, σχετικά με το περιοδικό επιτόκιο r , το οποίο σχετίζεται με το επιτόκιο i , με τη σχέση $r = \left(1 + \frac{i}{n}\right)^n - 1$ (15), είναι δυνατό να δομηθεί η πιο πάνω σχέση, ως ακολούθως σε απλοποιημένη μορφή:

$$\text{TCO}_{\text{dense}} = (1 + \text{f}_m) \frac{i}{(1+i)^n - 1} \text{N}_{\text{C}_{\text{if}}} \quad (16),$$

όπου $\text{TCO}_{\text{dense}}$ είναι το συνολικό κόστος για να αποκτήσει κανείς μία λύση Ultra-dense τεχνολογίας i είναι το επιτόκιο και n είναι η διάρκεια του σχεδίου δράσης με το πέρασμα των χρόνων.

7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Η μαθηματική αναπαράσταση για τα ανωτέρω κόστη είναι μία βασική διαδικασία. Η παραπάνω ανάλυση είναι δυνατό να χρησιμοποιείται από οποιονδήποτε επιστήμονα ή πάροχο τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών επιδιώκει να εντάξει αυτές τις νέες τεχνολογίες στην δική του επιχείρηση. Οι τύποι μπορεί να οδηγήσουν στον υπολογισμό του κόστους, αν σε αυτούς εφαρμοστούν οι τιμές, που προσδοκά η αγορά, για τα αντίστοιχα κόστη. Συνεπώς, μπορεί να βοηθήσει μελλοντικές αναλύσεις επιστημόνων, οι οποίοι θα ασχοληθούν με τον τομέα των ασύρματων δικτύων.

Εκτός από αυτό το γεγονός, είναι σημαντικό ότι είναι εκτιμήσεις διαχρονικές, εφόσον, με το πέρασμα των ετών, δεν θα αλλάξουν οι τύποι, αλλά οι τιμές των παραμέτρων, αφού αναλόγως θα μειώνονται οι τιμές των προϊόντων, όσο θα προχωρά η τεχνολογία, ή θα αυξάνονται βάση κάποιων άλλων οικονομικών παραγόντων, όπως για παράδειγμα, με την αύξηση του πληθωρισμού κλπ. Σε κάθε περίπτωση, με εφαρμογή των τιμών κόστους για τα τρέχοντα έτη, θα καταλήγει κανείς σε σημαντικά οικονομικά συμπεράσματα.

Εν συνεχεία, είναι εκτίμηση διακρατική και κατά κάποιον τρόπο διεθνής, διότι απλά και μόνο με τις παραμέτρους, που έχουν τεθεί δεν ακολουθείται κάποια συγκεκριμένη λογική ως προς κάποια συγκεκριμένη χώρα. Έτσι, η πιο πάνω πρόταση θα μπορούσε με την ίδια επιτυχία να εφαρμοστεί σε μία ευρωπαϊκή, σε μία αμερικανική ή σε μία ασιατική αγορά. Εφόσον, κάθε φορά εφαρμόζονται οι τιμές, που ισχύουν για κάθε χώρα ή μέρος, τότε θα προκύπτουν τα αντίστοιχα κόστη, για την συγκεκριμένη περιοχή.

Για μία τεχνοοικονομική ανάλυση, όμως, δεν αρκεί μόνο η μαθηματική απεικόνιση των μεθόδων κόστους, αλλά είναι απαραίτητη η ανάλυση ποσοτικά, ούτως ώστε να προκύψουν θεμελιώδη συμπεράσματα, για τις τεχνολογίες και για τα επί μέρους κόστη, που αυτές εμπλέκουν. Είναι, δηλαδή, απαραίτητη η ανάλυση πειραμάτων, έτσι ώστε να σημειωθούν οι βασικές οικονομικές ιδιότητες κάθε μίας από τις τεχνολογίες, που παρουσιάζονται και να δοθούν κίνητρα για την αξιοποίηση κάθε μίας. 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 έρευνα. Συνεπώς, η επιλογή των παραμέτρων είναι ζωτικής σημασίας. Οι τιμές και τα κόστη σχετίζονται άμεσα με τη χρονική περίοδο του πειράματος, αλλά και με την αγορά στην οποία γίνεται το πείραμα. Για παράδειγμα, σε μία αγορά με φτηνά εργατικά χέρια το κόστος εγκατάστασης θα είναι χαμηλότερο, από ότι σε μία αγορά με υψηλότερους μισθούς.

Μετά από ενδελεχή έρευνα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, βρέθηκαν οι τυπικές τιμές, που επιλέχθηκαν και κατέστησαν το θεμέλιο για τη συγκεκριμένη μελέτη σχετικά με τις παραμέτρους των μοντέλων, που αναπτύχθηκαν ό,τι αναφορά

στην Ελλάδα το έτος 2014, οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά στους Πίνακες 7.1 και 7.2.

Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 7.1 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.

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή
C_{eNB}	Κεφάλαιο, που δαπανάται για τον e NB κόμβο.	1000€ [1]
C_{EPC}	Κεφάλαιο, που δαπανάται για το πακέτο EPC στο δίκτυο κορμού για έναν κόμβο e NB.	110€ [10]
N	Πλήθος κόμβων e NB και EPC.	1 [1]
i	Ετήσιο επιτόκιο.	6% [1]
C_{eq}	Κόστος του DAS εξοπλισμού.	11.900€ [8]
d	Παράγων που σχετίζεται με το πλήθος των DAS δομών.	0.002
f_{site}	Γραμμική σταθερά, που σχετίζει το κόστος συντήρησης με το κεφάλαιο.	0.8 [7]
C_{site}	Κόστη για τη θέση, την ισχύ και την υποστήριξη.	3.100€ [3]
C_{rm}	Κόστη λειτουργίας	892.50€ [9]
C_{bc}	Κόστος μέσου (μικροκύματος)	3800€ [8]
C_{bc}	Κόστος μέσου (οπτική ίνα)	4800€ [8]
BW	Εύρος ζώνης	10 Gbps [1]
f_{BW}	Γραμμική σταθερά, που σχετίζεται με το ετήσιο κόστος λόγω του παρεχόμενου εύρους ζώνης και μετριέται σε €/Gbps.	1170 [1]
C_{pw}	Κόστος λειτουργίας σχετικό με την	157,68€ [8]

	κατανάλωση ενέργειας.	
C_{inc}	Κόστος υλοποίησης για την εγκατάσταση και το συντονισμό του συστήματος.	2800€ [8]

Πίνακας 7.1: Βασικά κόστη, παράμετροι και μεταβλητές, που προκύπτουν από τη λειτουργία, από το κεφάλαιο και από την υλοποίηση του DAS.

Πιο συγκεκριμένα, στον πίνακα 7.2 καταγράφονται όλες οι τιμές των μεταβλητών και παραμέτρων, οι οποίες είναι απαραίτητες για ένα Ultra-dense σύστημα και άρα, κατ' επέκτασίν για τα Femtocell. Περιλαμβάνουν τις μεταβλητές για την αγορά, την εγκατάστασή, τη λειτουργία, το εύρος ζώνης, τα υλικά καλωδίωσης και το κόστος ενέργειας ενός τέτοιου συστήματος. Όσα κόστη, δηλαδή περιλαμβάνονται στις σχέσεις, που δόθηκαν. Αυτά σύμφωνα, με την παραπάνω ανάλυση επιτρέπουν να υπολογίσει κανείς τα επί μέρους CAPEX, OPEX, καθώς και συνολικά το TCO.

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή
C_{HeNB}	Κόστος κεφαλαίου για το e NB.	2000€ [1]
C_{if}	Κόστος κεφαλαίου για το πακέτο, που απαιτείται για το δίκτυο κορμού για έναν μόνο e NB κόμβο.	110€ [10]
N	Πλήθος των HeNB και EPC, που απαιτούνται.	1 [1]
i	Ετήσιο επιτόκιο	6% [1]
r	Ετήσιο περιοδικό επιτόκιο	6% [1]
n	Διάρκεια του σχεδίου επένδυσης σε έτη.	10 έτη [1]
f_m	Γραμμική σταθερά, που σχετίζει το κόστος συντήρησης με το κεφάλαιο.	0.8 [7]

Πίνακας 7.2: Βασικά κόστη, παράμετροι και μεταβλητές, που προκύπτουν από τη λειτουργία, από το κεφάλαιο και από την υλοποίηση της Ultra-density.

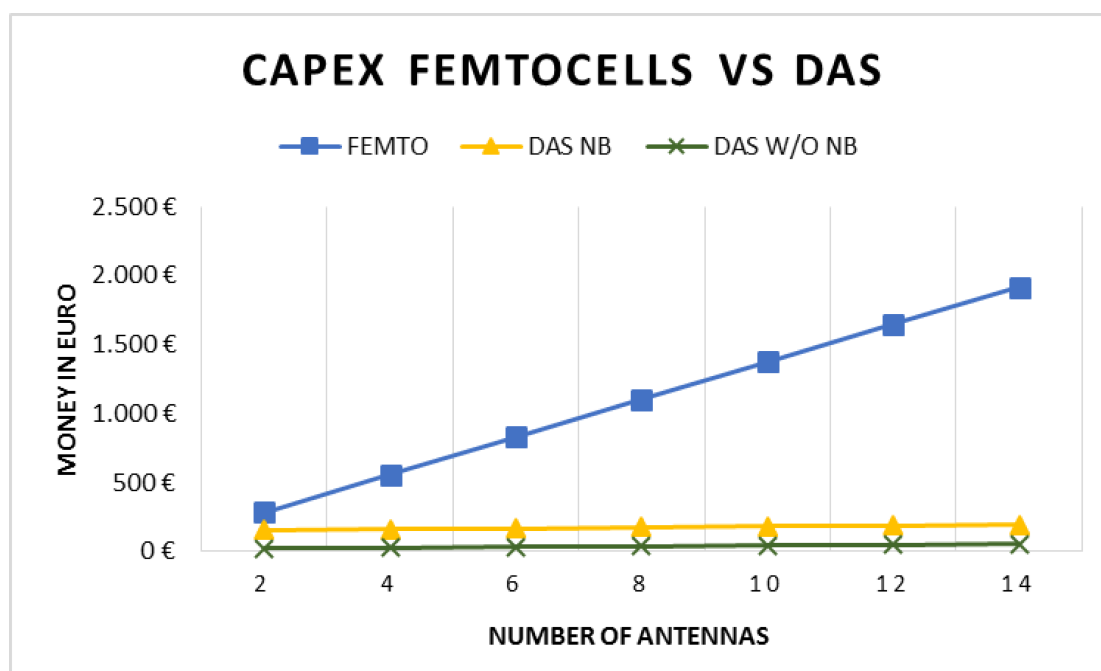
Με βάση τα δεδομένα των παραμέτρων και των τιμών στους ανωτέρω πίνακες, και με βάση την εφαρμογή τους στις εξισώσεις, που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, στα επόμενα κεφάλαια υπολογίζονται τα πιο σημαντικά κόστη CAPEX, OPEX και TCO, θέτοντας ως μεταβλητές κάθε φορά διαφορετικές παραμέτρους,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

7.1 Κεφαλαιακή Δαπάνη

Σε αυτό το κεφάλαιο, διεξάγονται πειράματα σχετικά με το κόστος κεφαλαίου, τα οποία είναι σημαντικά για κάποιον, που θέλει να εισάγει μία νέα 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 6, τους αντίστοιχους τύπους για τα κόστη κεφαλαίου για τις δύο τεχνολογίες, δηλαδή τη σχέση **(4)** για τη δαπάνη κεφαλαίου του DAS θεωρώντας ότι πρέπει να κατασκευαστεί σταθμός βάσης από την αρχή ή όχι. Επίσης, αξιοποιείται η σχέση **(12)** για το κόστος κεφαλαίου της Ultra-density τεχνολογίας. Τελικά, εφαρμόζοντας τα, με τα δεδομένα, που παρατίθενται στους Πίνακες 7.1 και 7.2, είναι δυνατό να προκύψουν ορισμένες γραφικές παραστάσεις, που δίνουν εξαιρετικά στοιχεία για τις δύο τεχνολογίες.

Αρχικά, υπολογίζεται το κόστος κεφαλαίου για την DAS με ή χωρίς τη δημιουργία σταθμού βάσης και το κόστος κεφαλαίου για τα Femtocells μεταβάλλοντας το πλήθος κεραιών στο σύστημα. Κάθε φορά μεταβάλλεται το συνολικό πλήθος κεραιών για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 κεραιών, και προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.1.1:

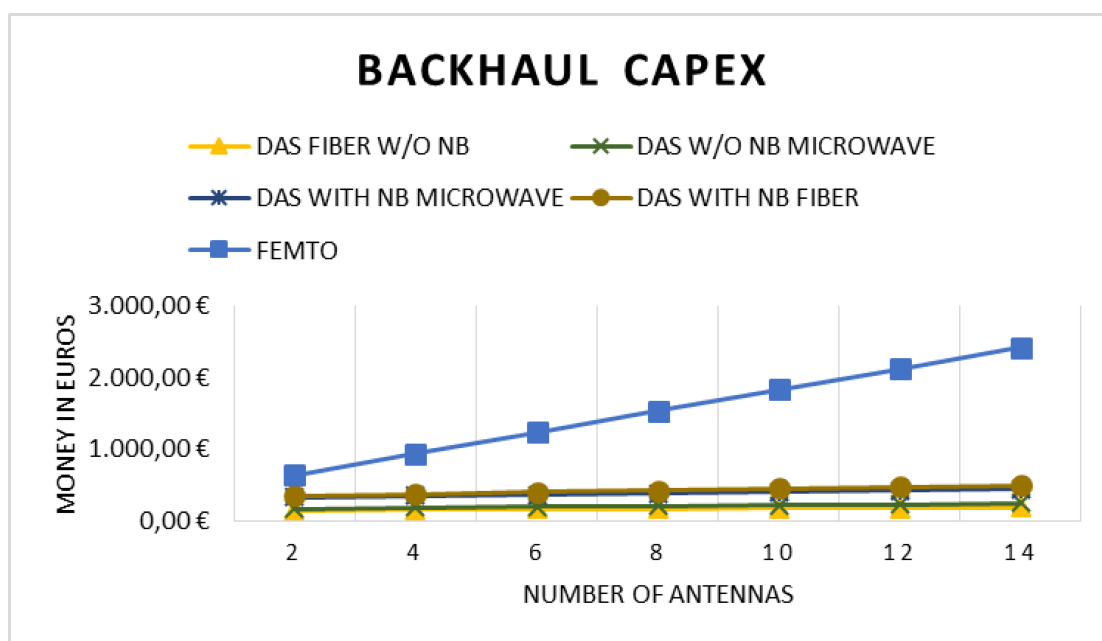


Σχήμα 7.1.1 Δαπάνες κεφαλαίου για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB συναρτήσει του πλήθους κεραιών.

Από το γράφημα στο σχήμα 7.1.1, παρατηρείται ότι τα DAS είτε έχουν από πριν υλοποιημένο σταθμό βάσης-new Base Station (NB) είτε όχι και απαιτούν τη δημιουργία αυτού, σύμφωνα με την υλοποίησή τους, εμφανίζουν χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου, το οποίο είναι και σταθερό παρά την αύξηση του πλήθους κεραιών. Αυτό

κυμαίνεται σε μερικές εκατοντάδες €. Όταν απαιτείται η κατασκευή NB το κόστος είναι λίγο μεγαλύτερο. Από την άλλη μεριά, τα Femtocells αυξάνουν το κόστος κεφαλαίου τους γραμμικά σχεδόν με την αύξηση των κεραιών. Κινούνται δε σε ένα εύρος τιμών από μερικές εκατοντάδες έως 2.000€. Κάτι τέτοιο δεν ήταν αναμενόμενο, διότι από τις σχέσεις κόστους, φαινόταν να έχει λιγότερους παράγοντες κόστους, αλλά και θεωρητικά, έχει λιγότερα εξαρτήματα. Συνεπώς, η αύξηση των κεραιών πυροδότησε την αύξηση στο κόστος κεφαλαίου για το Femtocell.

Επίσης, για το ίδιο σύστημα, αυτή τη φορά, υποτίθεται πως είναι δυνατό να υλοποιηθεί με διαφορετική τεχνολογία καλωδίωσης, δηλαδή οπτική ίνα, που είναι ακριβότερη ή μικροκύμα, που διατηρεί χαμηλό το κόστος του. Κάθε φορά το συνολικό πλήθος κεραιών για το σύστημα μεταβάλλεται, με τη χρήση τιμών 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 κεραιών, και προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.1.2:

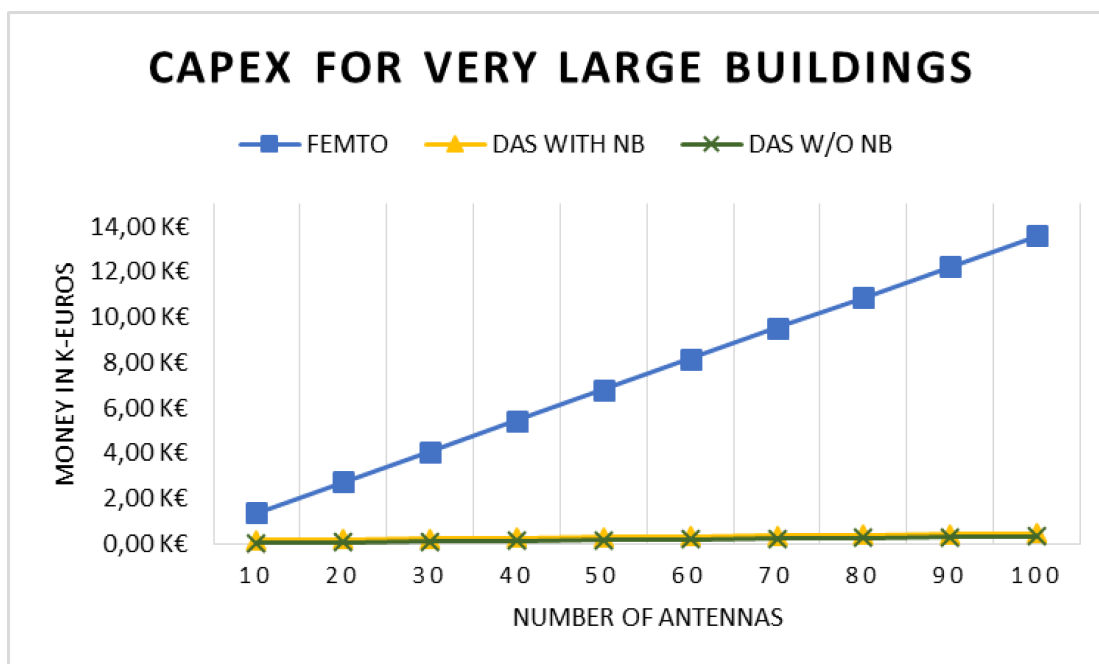


Σχήμα 7.1.2 Δαπάνες κεφαλαίου για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB με βάση διαφορετικές τεχνολογίες υλοποίησης οπτική ίνα ή μικροκύματα συναρτήσει του πλήθους κεραιών.

Από το γράφημα στο σχήμα 7.1.2, προκύπτει ότι τα κόστη για το DAS σε κάθε περίπτωση, δηλαδή είτε κατασκευάζοντας NB με οπτική ίνα ή μικροκύματα ή μη κατασκευάζοντας NB με οπτική ίνα ή μικροκύματα, τα κόστη κεφαλαίου πάλι διατηρούνται σταθερά με την αύξηση του πλήθους κεραιών και δεν ξεπερνούν τις μερικές εκατοντάδες €. Τα κόστη με την εφαρμογή οπτικής ίνας δεν είναι περισσότερο ακριβά. Αντίθετα, περισσότερο ρόλο φαίνεται να παίζει η κατασκευή ή όχι του NB. Από την άλλη μεριά, τα κόστη των Femtocells αυξάνονται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση του πλήθους των κεραιών και κινούνται σε ένα εύρος από μερικές εκατοντάδες μέχρι σχεδόν τα 3.000€. Κάτι τέτοιο δεν ήταν αναμενόμενο, διότι από τις σχέσεις κόστους, φαινόταν να έχει λιγότερους παράγοντες κόστους,

αλλά και θεωρητικά, περιλαμβάνει λιγότερα εξαρτήματα. Συνεπώς, η αύξηση των κεραιών πυροδότησε ξανά την αύξηση στο κόστος κεφαλαίου για το Femtocell.

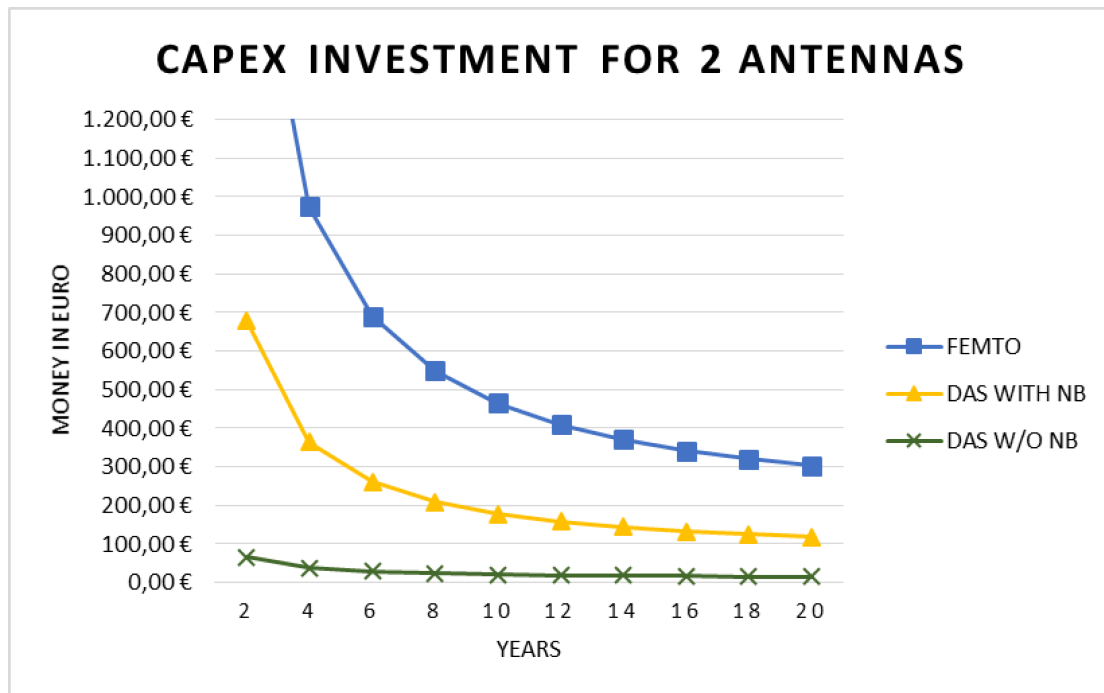
Επιπλέον, με την προϋπόθεση ότι απαιτείται εξυπηρέτηση από τις τεχνολογίες για ένα αρκετά μεγάλο κτίσμα, επιδιώκεται η μεταβολή, κάθε φορά του συνολικού πλήθους κεραιών για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 κεραιών, και τελικά, προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.1.3:



Σχήμα 7.1.3 Δαπάνες κεφαλαίου για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB, για πολύ μεγάλα κτήρια, συναρτήσει του πλήθους κεραιών.

Από το γράφημα του σχήματος 7.1.3, παρατηρείται ότι τα DAS είτε έχουν από πριν υλοποιημένο NB είτε όχι απαιτούν, σύμφωνα με την υλοποίησή τους, χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου, το οποίο είναι και σταθερό παρά την αύξηση του πλήθους κεραιών. Αυτό κυμαίνεται σε μερικές εκατοντάδες €. Από την άλλη μεριά, τα Femtocells αυξάνουν το κόστος κεφαλαίου τους γραμμικά σχεδόν με την αύξηση των κεραιών. Κινούνται σε ένα εύρος τιμών από 1.000 € έως 14.000€. Κάτι τέτοιο δεν ήταν αναμενόμενο, διότι από τις σχέσεις κόστους, φαινόταν να έχει λιγότερους παράγοντες κόστους, αλλά και θεωρητικά, περιλαμβάνει λιγότερα εξαρτήματα. Συνεπώς, η αύξηση των κεραιών πυροδότησε την αύξηση στο κόστος κεφαλαίου για το Femtocell.

Ακόμα, είναι σημαντικό να εξεταστεί το πλαίσιο των ετών επένδυσης. Για παράδειγμα ποιά είναι, δηλαδή, η συμπεριφορά του συστήματος αν το σχέδιο επένδυσης, έχει δημιουργηθεί για λιγότερα ή περισσότερα χρόνια. Με τη μεταβολή, κάθε φορά του συνολικού πλήθους των ετών επένδυσης για το σύστημα, με τη χρήση τιμών για τα έτη σε 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 έτη, ενώ αυτή τη φορά το πλήθος των κεραιών δε μεταβάλλεται, αλλά διατηρείται σταθερό σε 2 κεραιές, προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.1.4:



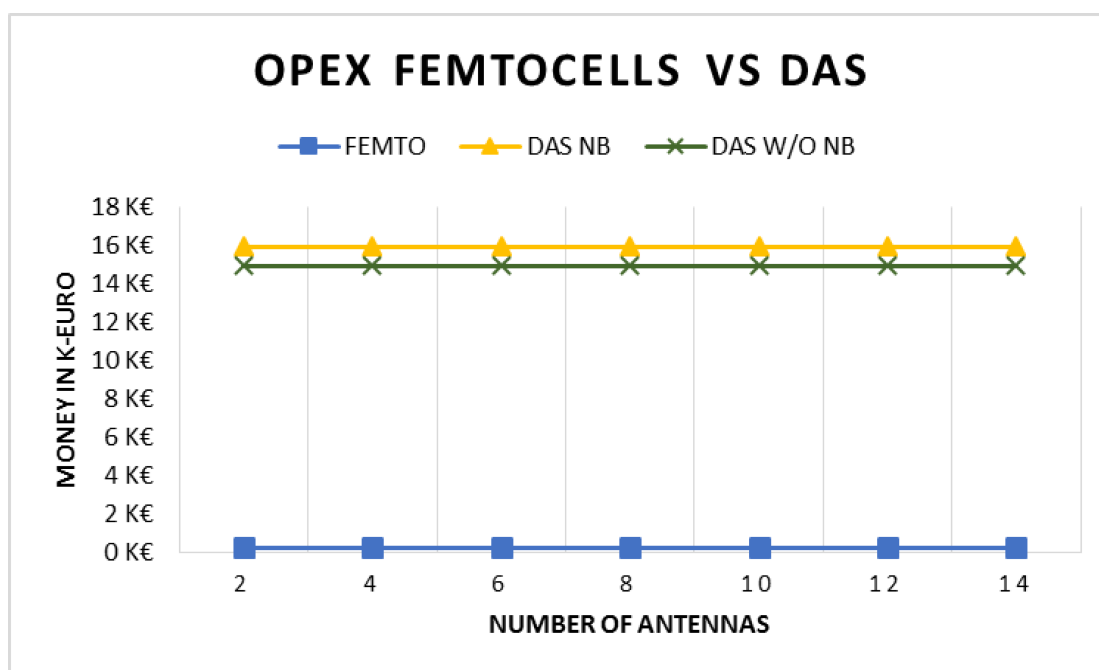
Σχήμα 7.1.4 Δαπάνες κεφαλαίου για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB συναρτήσει των ετών επένδυσης.

Από το γράφημα του σχήματος 7.1.4, παρατηρείται ότι τα DAS, όταν έχουν από πριν υλοποιημένο NB το κόστος κεφαλαίου, που περιλαμβάνουν είναι σχεδόν σταθερό κάτω από 100€. Αν χρειάζεται η δημιουργία NB, τότε το κόστος κεφαλαίου ελαττώνεται παραβολικά με το πέρασμα των ετών. Στη μέγιστη περίπτωση, περιλαμβάνει ένα κόστος περίπου 700€, ενώ μετά από 20 χρόνια καταλήγει στα 100€. Όσον αφορά στο κόστος κεφαλαίου για τα Femtocells μειώνουν, επίσης, παραβολικά το κόστος κεφαλαίου τους με το πέρασμα των ετών, εμφανίζοντας μέγιστη τιμή στα 2 έτη τα 1200€ περίπου και εμφανίζοντας ελάχιστο περίπου στα 300€ μετά από 20 χρόνια επένδυσης. Κάτι τέτοιο θεωρείται λογικό, εφόσον αυξάνουν τα έτη μίας επένδυσης, δηλαδή όσο το πλάνο επενδύσεων είναι μακροπρόθεσμο, τόσο ελαττώνεται και το κόστος κεφαλαίου, αφού σε αυτή την περίπτωση, στο κεφάλαιο, δηλαδή παίζει σπουδαίο ρόλο το επιτόκιο και ο δανεισμός, δηλαδή η σχέση **(1)**.

7.2 Λειτουργική Δαπάνη

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 την επιχείρηση 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 **(9)** για το λειτουργικό κόστος του DAS και η σχέση **(13)** για το λειτουργικό κόστος της Ultra-density τεχνολογίας. Αρχικά, για το DAS υπάρχουν δύο περιπτώσεις, όπως και για το CAPEX αν απαιτείται να κατασκευαστεί ή όχι NB. Επίσης, συνδυάζονται με τα δεδομένα από τους Πίνακες 7.1 και 7.2. Στο συγκεκριμένο σχήμα, μεταβάλλεται, κάθε φορά το συνολικό πλήθος κεραιών για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 κεραιών, και προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.2:



Σχήμα 7.2: Δαπάνες λειτουργίας για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB συναρτήσει του πλήθους κεραιών.

Από το γράφημα 7.2, παρατηρείται ότι τα DAS είτε έχουν από πριν υλοποιημένο NB είτε όχι και απαιτείται να υλοποιηθεί, έχουν υψηλό κόστος λειτουργίας, πάνω από 14.000€ για το DAS χωρίς NB και στα 16.000€ για το DAS, που απαιτεί NB. Από την άλλη μεριά, όμως, το Femtocell έχει πολύ χαμηλά κόστη λειτουργίας, μερικών εκατοντάδων €, τα οποία είναι επίσης σταθερά. Αυτό είναι λογικό θεωρητικά, εφόσον, υπάρχουν πολύ περισσότερα συστήματα να συντηρηθούν,

να λειτουργήσουν και να τροφοδοτηθούν με ρεύμα στην περίπτωση των DAS. Αφού εκτός του BS περιλαμβάνουν και το DS, κάτι που αποτυπώθηκε και στις εξισώσεις, εφόσον, είχαν περισσότερα μέρη για τις λειτουργικές δαπάνες. Συνεπώς, η θεωρητική προσέγγιση σε αυτή τη δαπάνη επιβεβαιώνεται και πρακτικά.

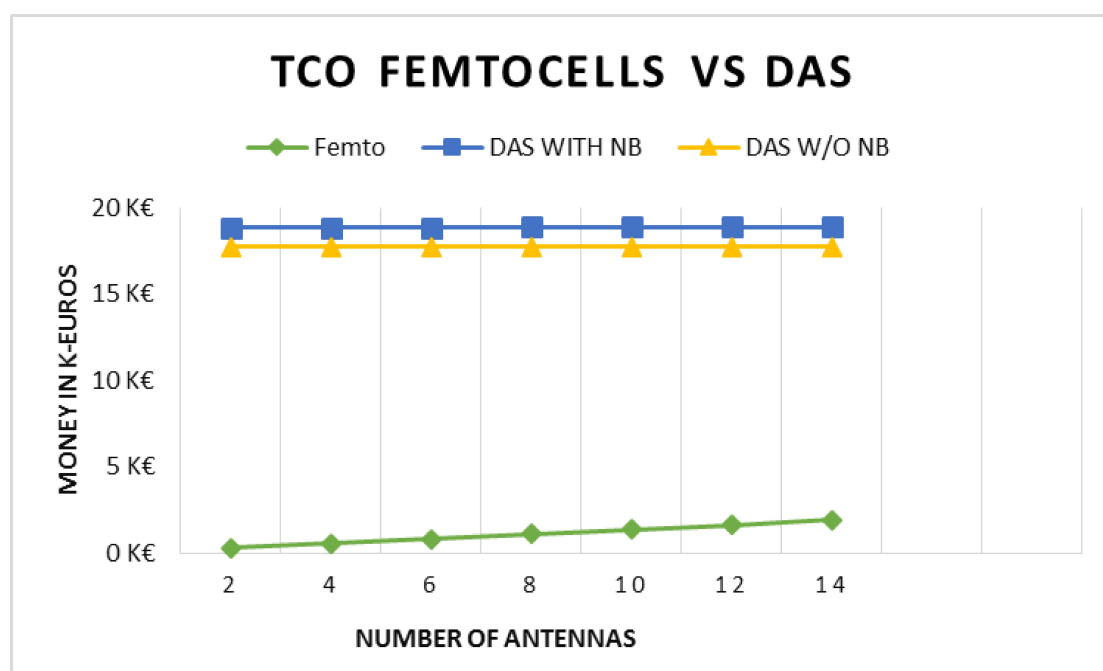
Επιπλέον, ένα εξίσου σημαντικό συμπέρασμα, το οποίο προκύπτει είναι ότι το λειτουργικό κόστος για όλες τις τεχνολογίες παραμένει ανεπηρέαστο και σταθερό, ακόμα και με την αύξηση των κεραιών, άρα δεν έχει νόημα να εξεταστεί περαιτέρω, με περισσότερες, δηλαδή, γραφικές απεικονίσεις η συμπεριφορά του.

7.3 Συνολική Δαπάνη

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 να αποκτήσει 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 **(11)** για το συνολικό κόστος του DAS και τις ισοδύναμες σχέσεις **(14)**, **(16)** για το συνολικό κόστος της Ultra-density τεχνολογίας, τοποθετώντας τα δεδομένα από τους Πίνακες 7.1 και 7.2, διεξάγονται κάποια πειράματα.

Αρχικά, μεταβάλλεται, κάθε φορά το συνολικό πλήθος κεραιών για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 κεραιών, και προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.3.1:

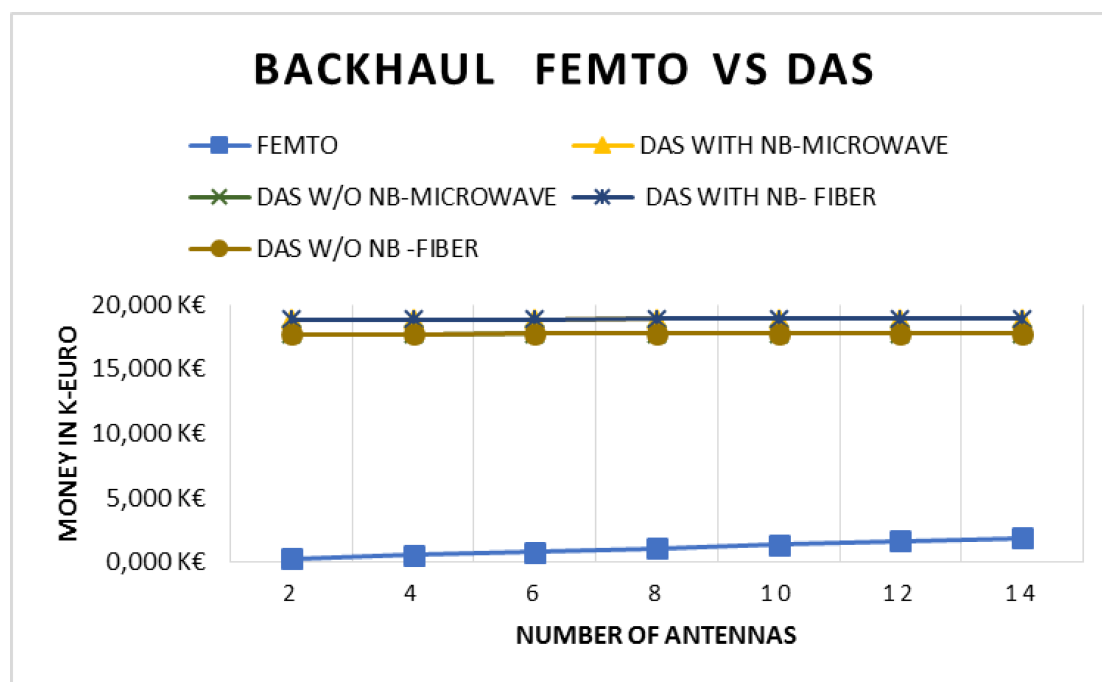


Σχήμα 7.3.1 Συνολικό κόστος κατοχής για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB συναρτήσει του πλήθους κεραιών.

Από το γράφημα στο σχήμα 7.3.1, παρατηρείται ότι τα DAS είτε έχουν από πριν υλοποιημένο NB είτε όχι και απαιτείται να δημιουργηθεί, σύμφωνα με την υλοποίηση τους, έχουν υψηλό συνολικό κόστος, το οποίο είναι και σταθερό παρά την αύξηση του πλήθους κεραιών. Αυτό κυμαίνεται από 17.000€ σε 19.000€ για το DAS χωρίς και με υλοποίηση NB, αντίστοιχα. Από την άλλη μεριά, τα Femtocells αυξάνουν το κόστος τους γραμμικά σχεδόν με την αύξηση των κεραιών, παρόλα αυτά το συνολικό κόστος τους, δεν ξεπερνά τις μερικές εκατοντάδες €. Κάτι τέτοιο ήταν

αναμενόμενο, διότι από τις σχέσεις συνολικού κόστους, φαινόταν να έχει λιγότερους παράγοντες κόστους, αλλά και θεωρητικά, περιλαμβάνει λιγότερα εξαρτήματα. Σε αυτή την περίπτωση, η θεωρία επιβεβαιώθηκε και πρακτικά.

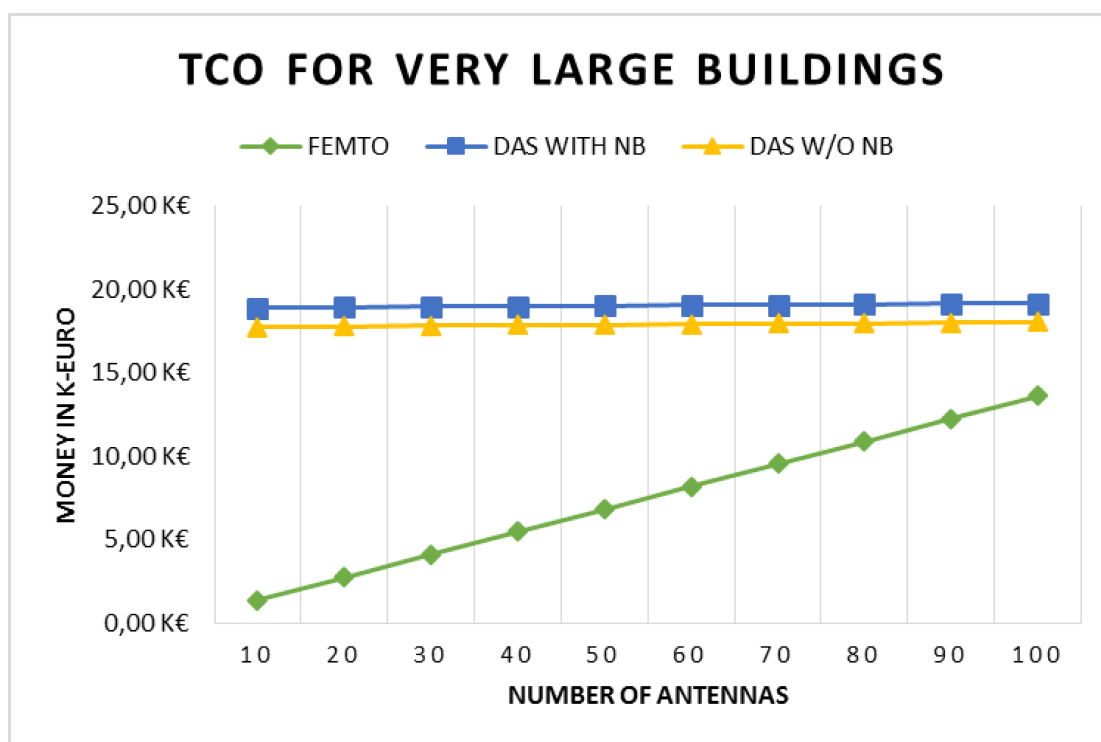
Επιπλέον, σε αυτή την περίπτωση, θεωρείται σημαντικό να εξεταστεί το σύστημα για τις διαφορετικές προσεγγίσεις καλωδίωσης, δηλαδή την οπτική ίνα ή το μικροκύμα. Μεταβάλλεται, λοιπόν, το πλήθος των κεραιών με τη χρήση τιμών 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 κεραιών, και προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.3.2:



Σχήμα 7.3.2 Συνολικές δαπάνες κατοχής, για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB, με βάση διαφορετικές τεχνολογίες υλοποίησης οπτική ίνα ή μικροκύματα συναρτήσει του πλήθους κεραιών.

Από το γράφημα στο σχήμα 7.3.2, προκύπτει ότι για το DAS σε κάθε περίπτωση, δηλαδή είτε κατασκευάζοντας NB με οπτική ίνα ή μικροκύματα ή μην κατασκευάζοντας NB με οπτική ίνα ή μικροκύματα, τα συνολικά κόστη πάλι διατηρούνται σταθερά με την αύξηση του πλήθους κεραιών και κυμαίνονται από 17.000 έως 19.000 €. Από την άλλη μεριά, τα κόστη των Femtocell αυξάνονται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση του πλήθους των κεραιών και κινούνται σε ένα εύρος από μερικές εκατοντάδες μέχρι σχεδόν τα 3.000€. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο, διότι από τις σχέσεις κόστους, φαινόταν να έχει λιγότερους παράγοντες κόστους, αλλά και θεωρητικά, περιλαμβάνει λιγότερα εξαρτήματα.

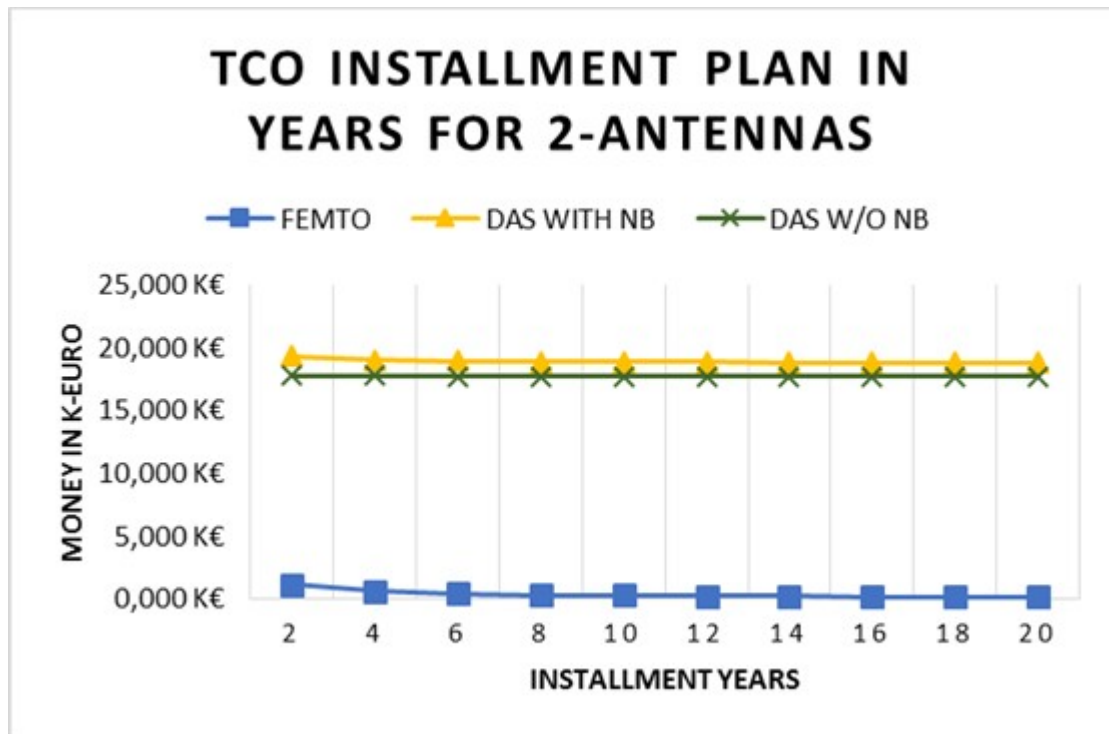
Επίσης, είναι σημαντικό να υποθέσει κανείς, ότι ενδέχεται να επιδιώκεται, η εξυπηρέτηση, με τις τεχνολογίες, ενός πολύ μεγάλου κτηρίου, πολλών τ.μ. με τη μεταβολή, κάθε φορά του συνολικού πλήθους κεραιών για το σύστημα, με τη χρήση τιμών 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 κεραιών, προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.3.3:



Σχήμα 7.3.3 Συνολικές δαπάνες κατοχής για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB, για πολύ μεγάλα κτήρια, συναρτήσει του πλήθους κεραιών.

Από το γράφημα του σχήματος 7.3.3, παρατηρείται ότι τα DAS είτε έχουν από πριν υλοποιημένο NB είτε όχι και απαιτείται, σύμφωνα με την υλοποίησή τους, έχουν υψηλό συνολικό κόστος, το οποίο είναι και σταθερό παρά την αύξηση του πλήθους κεραιών στα 17.000-19.000€. Από την άλλη μεριά, τα Femtocells αυξάνουν το κόστος κεφαλαίου τους γραμμικά σχεδόν με την αύξηση των κεραιών. Κινούνται σε ένα εύρος τιμών από 1.000 € έως 14.000€. Κάτι τέτοιο δεν ήταν αναμενόμενο, διότι από τις σχέσεις κόστους, φαινόταν να έχει λιγότερους παράγοντες κόστους, αλλά και θεωρητικά, περιλαμβάνει λιγότερα εξαρτήματα. Συνεπώς, η αύξηση των κεραιών πυροδότησε την αύξηση στο κόστος κεφαλαίου για το Femtocell.

Ακόμα, είναι σημαντικό για το συνολικό κόστος να μελετηθεί το πλήθος των ετών επένδυσης. Μεταβάλλοντας, κάθε φορά το συνολικό πλήθος των ετών επένδυσης για το σύστημα, με τη χρήση τιμών για 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 έτη, και αυτή τη φορά το πλήθος των κεραιών διατηρείται σταθερό σε 2 κεραιές, προκύπτει το γράφημα του σχήματος 7.3.4:



Σχήμα 7.3.4 Συνολικές δαπάνες κατοχής για τις διάφορες τεχνολογίες, Femtocell, DAS χωρίς την κατασκευή NB, και με την κατασκευή NB συναρτήσει των ετών επένδυσης.

Από το γράφημα του σχήματος 7.3.4, παρατηρείται ότι τα DAS, όταν έχουν από πριν υλοποιημένο NB το συνολικό κόστος τους είναι λίγο χαμηλότερο στα 17.000€, ενώ αν δεν έχουν NB και πρέπει να υλοποιηθεί, περιλαμβάνουν συνολικό κόστος, που αγγίζει τα 19.000€. Όσον αφορά στο συνολικό κόστος για τα Femtocells είναι περίπου σταθερό και παραμένει σε μερικές εκατοντάδες €. Στην περίπτωση των DAS με κατασκευή NB και των Femtocells παρατηρείται ότι στην πρώτη μεταβολή, δηλαδή για 2 χρόνια επένδυσης το συνολικό κόστος περιλαμβάνει μία μικρή διακύμανση, η οποία ελαττώνεται καθώς αυξάνουν τα έτη επένδυσης. Άρα, συνάγεται ότι όσο περισσότερα είναι τα έτη επένδυσης, τόσο καλύτερο είναι και για το συνολικό κόστος.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικά, τα επιστημονικά στοιχεία είναι στοιχεία, που χρησιμεύουν είτε για να στηρίζουν 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 6 υπάρχουν σημαντικές εξισώσεις, στις οποίες εφαρμόζοντας τις τιμές για τις παραμέτρους και για τις μεταβλητές, που υπάρχουν στο Κεφάλαιο 7 προκύπτουν τα πειράματα για τα διάφορα κόστη CAPEX, OPEX και TCO, που φαίνονται παραπάνω. Παρατηρώντας, λοιπόν, τις γραφικές απεικονίσεις στο Κεφάλαιο 7, που προκύπτουν από την οικονομική ανάλυση είναι πιθανό να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για το κόστος συναρτήσεως 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, αναπτύσσεται το κόστος για το Femtocell, το κόστος για το DAS χωρίς δημιουργία NB από την αρχή, εφόσον, θεωρείται ότι ενδέχεται να υπάρχει ήδη στο δίκτυο και με τη δημιουργία NB ξεχωριστά, αν αυτό απαιτείται.

Με περισσότερες λεπτομέρειες, παρουσιάζεται ότι το κόστος CAPEX, το οποίο ποικίλει σε συνάρτηση με τον αριθμό των κεραιών για τους πιο πάνω βασικούς τύπους ανάπτυξης. Το κόστος των επενδύσεων για την ανάπτυξη του DAS είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο κόστος για τα Femtocells. Επίσης, στην περίπτωση που απαιτείται ανάπτυξη NB, σε ένα DAS, το κόστος αυξάνεται, κάπως, σε σχέση με το DAS, που δεν απαιτεί τέτοια ανάπτυξη. Παρόλα αυτά, είναι σταθερά τα κόστη κεφαλαίου για το DAS, σε κάθε περίπτωση, όσο κι αν αυξηθεί το πλήθος κεραιών. Όσον αφορά στο κόστος για το Femtocell, αυτό αυξάνει ανάλογα με την αύξηση του πλήθους κεραιών. Το ίδιο ισχύει και στις περιπτώσεις για τις οποίες οι τεχνολογίες

καλωδίωσης είναι ακριβότερες, δηλαδή χρησιμοποιείται η οπτική ίνα. Δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή στο DAS, ενώ ξανά το Femtocell αυξάνει γραμμικά ανάλογα με την αύξηση του πλήθους κεραιών.

Όσον αφορά, σε ένα μεγάλο κτήριο, με πολλές κεραιές από 10...100 το DAS διατηρεί πολύ χαμηλό και σταθερό το κόστος του κεφαλαίου για μεγάλο αριθμό κεραιών, ενώ το κόστος για το Femtocell διατηρείται σε πολύ υψηλά επίπεδα και μάλιστα αυξάνεται γραμμικά ανάλογα με την αύξηση του πλήθους κεραιών στο κτήριο. Τέλος, το κόστος κεφαλαίου ελαττώνεται για κάθε περίπτωση με το πέρασμα των ετών, ενώ παρουσιάζει μέγιστο για τα 2 χρόνια στο Femtocell και ελάχιστο για το DAS χωρίς NB. Το DAS με NB κινείται σε ενδιάμεσα επίπεδα.

Το κόστος λειτουργίας σε κάθε περίπτωση διατηρείται σταθερό σε ετήσια βάση με την αύξηση του πλήθους κεραιών. Παρόλα αυτά, για το Femtocell είναι πολύ χαμηλό, από την άλλη μεριά για τις δύο DAS περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα υψηλό. Συνεπώς, συμπεραίνει κανείς ότι για να ενισχυθεί η παρουσία της DAS τεχνολογίας πρέπει να βρεθούν εναλλακτικές μέθοδοι να ελαττωθεί το κόστος λειτουργίας για την εν λόγω υλοποίηση.

Εν συνεχεία, όσον αφορά το συνολικό κόστος για την ιδιοκτησία των τεχνολογιών παρατηρείται ότι όσον αφορά τις περιπτώσεις για το DAS είναι υψηλό το συνολικό κόστος και το συνολικό κόστος για το Femtocell είναι χαμηλό με την αύξηση του πλήθους των κεραιών. Από την άλλη μεριά, όμως, το κόστος των Femtocells δεν είναι σταθερό αλλά γραμμικά ανάλογο του πλήθους κεραιών, ενώ το κόστος του DAS είναι σταθερό. Όσον αφορά, στις διαφορετικές υλοποιήσεις της καλωδίωσης, παρατηρείται πώς το συνολικό κόστος για το DAS είναι σταθερό σε όλες τις περιπτώσεις και παραμένει στα ίδια επίπεδα, σχεδόν με υψηλότερο κόστος να εμφανίζεται για το DAS με NB και οπτική ίνα. Από την άλλη μεριά, το Femtocell μπορεί να έχει μικρό κόστος, αλλά αυτό αυξάνεται γραμμικά ανάλογα με το πλήθος των κεραιών.

Εν συνεχεία, το κόστος για πολύ μεγάλα κτήρια με μεγάλο πλήθος κεραιών από 10 έως 100 για το DAS μένει σταθερό σε υψηλά επίπεδα, ενώ για το Femtocell, αυξάνεται γραμμικά ανάλογα με την αύξηση του πλήθους των κεραιών. Σχετικά με το σχέδιο επενδύσεων το συνολικό κόστος είναι σχεδόν σταθερό σε κάθε περίπτωση, με εξαίρεση τα δύο και τέσσερα έτη, που παρουσιάζεται ότι είναι λίγο πιο αυξημένο το κόστος για τόσο μικρά χρονικά διαστήματα. Και στην περίπτωση αυτή, το DAS παρουσιάζει υψηλότερα κόστη, ενώ για το Femtocell τα αντίστοιχα κόστη είναι πολύ χαμηλότερα.

Συνολικά, λοιπόν, από τις παραπάνω παρατηρήσεις είναι δυνατό να καταλήξει κανείς σε πολύ σημαντικά συμπεράσματα, που αναμένεται να ενισχύσουν τη θέση της μίας ή της άλλης τεχνολογίας και να ωθήσουν τους ενδιαφερόμενους να στραφούν στη μία ή στην άλλη λύση ανάλογα με το δίκτυο, που διαθέτουν, ανάλογα με τις ανάγκες, που θέλουν να καλύψουν και ανάλογα με το προϋπολογισμό, που διαθέτουν για το δίκτυό τους.

Αρχικά, παρατηρείται ότι το αν ένα δίκτυο DAS πρέπει να δημιουργηθεί σε μέρος, που ήδη υπήρχαν κόμβοι ή δεν υπήρχαν δεν παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, διότι να μεν αυξάνει το κόστος η δημιουργία ενός NB, από την άλλη μεριά, όμως, αυτό δεν συμβαίνει σε απαγορευτικό βαθμό. Συνεπώς, το να υπάρχει ήδη κάτι τέτοιο, απλά θα ελαττώσει λίγο το κόστος, οπότε δεν είναι ένας αποτρεπτικός παράγων το να μην υπάρχει εκ των προτέρων εκεί NB και να υιοθετηθεί ένα DAS δίκτυο.

Εν συνεχεία, το υλικό καλωδίωσης, για το σταθμό του δικτύου, δεν επιδρά σημαντικά στο κόστος. Παρατηρείται μία μικρή αύξηση στην περίπτωση, την οπτικής ίνας, όμως είναι υποφερτή συγκριτικά με τη συνολική επένδυση. Από την άλλη μεριά, στις μέρες μας, παρατηρείται έντονα μία τάση και μία στροφή στο να αντικατασταθούν και τα επί μέρους τοπικά δίκτυα με οπτική ίνα έναντι των παραδοσιακών υπαρχουσών μεθόδων. Κάτι τέτοιο δίνει άμεσα μία ώθηση στο δίκτυο και συμβάλλει στον εκσυγχρονισμό κάθε κτηρίου και της υποδομής του, αλλά και στην αύξηση της αξίας του κτηρίου.

Επίσης, επιβεβαιώνεται το θεωρητικό πλαίσιο, ότι, δηλαδή, το DAS φαίνεται να μπορεί να εξυπηρετήσει και εξωτερικούς και πολύ μεγάλους χώρους, όπως γήπεδα, βιβλιοθήκες, δρόμους, πλατείες, εμπορικά κέντρα, νοσοκομεία, στάδια κλπ. Εφόσον, το DAS απαιτεί υψηλό λειτουργικό κόστος και ειδικευμένο προσωπικό για να το συντηρεί, χρειάζεται υψηλά κεφάλαια για αυτές τις δραστηριότητες, που μόνο κερδοφόρα μέρη μπορούν να αντέξουν και όχι κάποιος ιδιώτης ή μία μικρή επιχείρηση. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό, ότι μεγάλοι οργανισμοί και κρατικές υπηρεσίες είναι πιθανότερο να στραφούν στο DAS, αφού εξυπηρετεί τις ανάγκες τους και συνάμα μπορούν να καλύψουν τις δαπάνες, που περιλαμβάνει.

Σε αντίθεση, το Femtocell είναι κατάλληλο μόνο για μικρές κτηριακές εγκαταστάσεις, όπως οικίες και μικροί σταθμοί εργασίας, συνεπώς, φαίνεται να ενδιαφέρει πολύ μικρές επιχειρήσεις, αυτές, που απασχολούν, δηλαδή λιγότερα από 9-10 άτομα, αλλά και οικίες για καλύτερη κάλυψη του σπιτιού και των διαφόρων συσκευών, που υπάρχουν σε κάθε σπίτι, ειδικά, αν υπάρξουν και έξυπνες οικιακές συσκευές μελλοντικά. Άλλωστε, το Femtocell είναι μία οικονομική λύση και απαιτεί λίγα χρήματα και πολύ λίγες γνώσεις για εργασίες σχετικές με τη συντήρηση, αλλά και για τη συνολικότερη λειτουργία του. Επίσης, για μικρούς χώρους το κεφάλαιο επένδυσης διατηρείται σε βιώσιμα επίπεδα προσδίδοντας παράλληλα αποδοτικές υπηρεσίες.

Επιπρόσθετα, επιβεβαιώνεται ότι σε κάθε περίπτωση, είναι περισσότερο συμφέρουσα λύση ένα οποιοδήποτε επενδυτικό πλάνο να είναι μακροπρόθεσμο και μακρόπνοο και όχι βραχυπρόθεσμο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η επένδυση, πρέπει να ξεπερνά τα 6 χρόνια, αφού τότε σταθεροποιούνται τα αντίστοιχα κόστη, ενώ για λιγότερα έτη, τα κόστη παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις και συνεπώς, ενδέχεται να μην είναι προς το συμφέρον κάποιου να στραφεί σε μία πρόταση, η οποία θα εγκαταλειφθεί μέσα στα επόμενα 2 με 4 έτη.

Όσον αφορά στο λειτουργικό κόστος, παρατηρείται ότι εφόσον είναι σταθερό και αρκετά υψηλό σε κάθε περίπτωση, πρέπει να αναπτυχθούν μέθοδοι και τρόποι να ελαττωθεί το είδος αυτό του κόστους σε ετήσια βάση. Κάποιος από τους τρόπους αυτούς, θα ήταν να ενσωματωθεί κάποια εναλλακτική πηγή ενέργειας, όπως ηλιοσυλλέκτης για την εξυπηρέτηση του δικτύου, που θα μείωνε σημαντικά το κόστος για την παροχή ισχύος. Αλλά και με την περαιτέρω περιστολή των δαπανών με άλλες πιθανές μεθόδους, όπως για παράδειγμα η εισαγωγή κατάλληλου αλγορίθμου, που να θέτει εκτός λειτουργίας το μη χρησιμοποιούμενο τμήμα του δικτύου και να το ενεργοποιεί όταν ενεργοποιεί αντίστοιχο φόρτο στο δίκτυο. Το συγκεκριμένο είδος κόστους επηρεάζει πολύ περισσότερο το DAS σύστημα, εν αντιθέσει το Femtocell επηρεάζεται άμεσα από το κεφάλαιο, που απαιτεί για την υλοποίησή του.

9. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στο μέλλον, είναι σημαντικό να τροφοδοτηθεί με ιδέες και με προτάσεις η μελλοντική έρευνα, διότι είναι πιθανό ένα από τα προαναφερθέντα θέματα να ενδιαφέρει άμεσα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας και να κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω εξέλιξη της ερευνητικής δραστηριότητας στη συγκεκριμένη περιοχή. Αφού, η περαιτέρω εξέλιξη των δικτύων προβληματίζει σημαντικά για θέματα, που άπτονται της εξυπηρέτησης των χρηστών μέσα από τις αυξημένες ανάγκες, που ήδη παρουσιάζουν και αναμένεται να αυξηθούν στο εγγύς μέλλον. [5], [6]

Είναι σημαντικό στο μέλλον, να σημειωθούν προσπάθειες για ερευνητική δραστηριότητα στη συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιώντας κάθε ιδιότητα και συμπληρώνοντας την υπάρχουσα έρευνα. Θα μπορούσε κανείς να σκεφτεί πλήθος τρόπων να συγκρίνει μία δικτυακή τεχνολογία με ήδη υπάρχουσες, αλλά και ενδεχομένως να μελετηθεί η συμπεριφορά, που θα είχαν οι δύο υποκείμενες τεχνολογίες σε ό,τι αναφορά σε ετερογενή δίκτυα με πολύ διαφορετικά στοιχεία. Σίγουρα, τα ετερογενή δίκτυα αναμένεται να αποτελέσουν μία πολύ διαδεδομένη και χρήσιμη οπτική στο άμεσο μέλλον. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η ενασχόληση με τις διάφορες επί μέρους τεχνολογίες, αλλά και η αξιοποίηση των επί μέρους ερευνών με σκοπό να προκύψουν στοιχεία για να παρουσιαστεί τι θα συμβεί σε περίπτωση, που αποφασίσει κανείς να συνδυάσει περισσότερες της μίας εναλλακτικές τεχνολογίες. [75], [76]

Είναι σημαντικό να σημειωθεί σημαντική έρευνα στο μέλλον του τομέα. Όπως παρατηρήθηκε από την έρευνα στην αντίστοιχη βιβλιογραφία, οι δύο βασικές τεχνολογίες δεν έχουν πλήρως καλυφτεί και εξεταστεί ως τώρα, συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω ενασχόληση με αυτές. Αρχικά, αυτό υποστηρίζεται και από την μελλοντική κατάσταση των δικτύων. Ήδη, βρισκόμαστε στην 4^η γενιά κινητής επικοινωνίας, ενώ στα επόμενα χρόνια είμαστε έτοιμοι να υποδεχτούμε την 5^η γενιά. Αυτή η γενιά έχει υποσχεθεί:

- ένα πολύ αποδοτικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με υψηλότερες επιδόσεις και πολύ χαμηλότερα κόστη επένδυσης. Μειώνοντας κατ' επέκταση και το μέσο κόστος χρήσης των δικτυακών υπηρεσιών.
- Ένα πολύ γρήγορο δίκτυο επικοινωνίας και τηλεφωνίας, που θα εκμεταλλεύεται πλήρως τις δυνατότητες της Ultra-dense τεχνολογίας αξιοποιώντας το ήδη υπάρχον δίκτυο και δημιουργώντας κατάλληλες συνθήκες για την εξάπλωσή του.
- Την αύξηση της χρήσης της οπτικής ίνας για επιτάχυνση των δικτυακών υπηρεσιών.
- Χαμηλή κατανάλωση ρεύματος και ισχύος, κάτι που οι χρήστες επιζητούν, αφού οι έξυπνες συσκευές δεν ανταποκρίνονται σε αυτές τις δυνατότητες.

Συνάμα, υπόσχονται πως θα βασίζονται σε νέες αρχιτεκτονικές με ετερογενή δίκτυα και μεγάλη απόδοση, ακόμα κι αν πρόκειται για ασύρματη επικοινωνία.

Ακόμα, είναι σημαντικό να τονιστεί η ανάγκη για αυτό-εξυπηρετούμενα δίκτυα με τη διαφορά ότι οι χρήστες πρέπει να βιώνουν υψηλής ποιότητας εμπειρία χρήσης. Από την άλλη μεριά, είναι απαραίτητο να εισαχθούν νέες τεχνολογίες μετάδοσης, επικοινωνίες βασισμένες σε φωτεινή μετάδοση, με υψηλή ενεργειακή απόδοση και χαμηλή κατανάλωση τόσο για το δίκτυο, όσο και για τις συσκευές. Επίσης, πρέπει να αναπτυχθούν πρωτόκολλα και τρόποι για την ανάληψη του φάσματος και τις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες, καθώς και να σχεδιαστεί το μοντέλο για το κανάλι του 5G. [85]

Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό ότι οι υπάρχουσες τεχνολογίες, από μόνες τους δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν και να ανταποκριθούν στη νέα αυτή πραγματικότητα και ότι είναι πολύ σημαντικό να σημειωθούν προσπάθειες συνδυασμού των επί μέρους τεχνολογιών για να ικανοποιηθούν οι υπάρχουσες ανάγκες. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η εύρεση νέων τρόπων και μεθόδων για το μέλλον των δικτύων και την ακόμα μεγαλύτερη εξέλιξή τους τεχνολογικά.

Από την άλλη μεριά, πρέπει κανείς να σκεφτεί και τη βιωσιμότητα των επιχειρήσεων, αφού οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι είναι επιχειρήσεις και στόχο έχουν με χαμηλό κόστος να αυξάνουν τα κέρδη τους, συνεπώς, δεν είναι δυνατό να πραγματοποιούν καινοτομίες και να υιοθετούν πρωτοποριακές λύσεις, οι οποίες, όμως, λόγω κόστους να υποβαθμίζουν την επιχειρηματικότητα της επιχείρησης και να μην ανταποκρίνονται στο επιχειρηματικό της πλάνο. Σήμερα, άλλωστε όλοι χρησιμοποιούν δίκτυα, συνεπώς, δε μπορεί κανείς να στοχεύσει σε νέο πελατολόγιο, αλλά μπορεί να αναβαθμίσει τις υπηρεσίες του, δηλαδή να παρέχει περισσότερες και πιο εξελιγμένες συνάμα, με χαμηλές τιμές και συνδυαστικές προτάσεις, όπως για παράδειγμα για πολλαπλές υπηρεσίες τηλεόρασης, δικτύου σταθερής και κινητής τηλεφωνίας για να ενισχύσει τη στρατηγική θέση του έναντι του ανταγωνισμού. [86]

Για να επιτευχθεί αυτό είναι σημαντικό να υπάρξουν νέες έρευνες στον τομέα, οι οποίες να αναδεικνύουν πώς είναι δυνατή η διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα των υπηρεσιών στις μέρες μας, και πώς δύναται κανείς ακόμα και να μειώσει το κόστος με σκοπό να αυξήσει τα κέρδη της επιχείρησης. Θα μπορούσε κανείς, λοιπόν, να βρει κατάλληλες μεθόδους, σύμφωνα με τις οποίες να μειώνεται το κόστος των τεχνολογιών, ώστε να υιοθετηθούν ευρέως από τις εταιρίες και να λύσουν τα ζητήματα της φτωχής κάλυψης διατηρώντας τις δαπάνες σε χαμηλές τιμές. Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό να βρεθούν μοντέλα, που να καλύπτουν πολλές και διαφορετικές ανάγκες, όπως για παράδειγμα, αυτές των επιχειρήσεων, των απλών καταναλωτών, των βιομηχανιών, της υποδομής, αλλά και διαφόρων υπηρεσιών. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται αντιληπτό ότι απαιτούνται πολύ διαφορετικές προσεγγίσεις τόσο στην αρχιτεκτονική, την κατανάλωση και το κόστος, διότι καθένας από αυτούς τους τομείς παρουσιάζει διαφορετικές ανάγκες λειτουργίας. [86]

Εν συνεχεία, είναι σημαντικό να μελετηθεί πώς μπορεί να μειωθεί η κατανάλωση της ενέργειας από τους σταθμούς βάσης, στο συνολικό δίκτυο, αλλά και λόγω των συσκευών. Αυτό είναι σημαντικό για τρεις βασικούς λόγους. Αρχικά, είναι θεμελιώδης η μείωση του ποσού, που καταβάλλεται στην επιχείρηση ηλεκτρισμού, κάτι, που συμβάλει άμεσα στην εξοικονόμηση χρήματος σε μικρό βαθμό για έναν ιδιώτη, αλλά και σε μεγαλύτερο βαθμό για έναν πάροχο. Επιπλέον, οι σημερινοί

χρήστες κινητής τηλεφωνίας είναι ιδιαίτερα δυσαρεστημένοι με το γεγονός ότι τα κινητά μόλις συνδέονται στο διαδίκτυο, η διαθέσιμη ενέργειά τους σχεδόν εξανεμίζεται. Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι οι νέες τεχνολογίες είναι πράσινες, αφού όλες οι νέες συσκευές και αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις κινούνται προς αυτή την κατεύθυνση και κατασκευάζονται συσκευές με υψηλή ενεργειακή απόδοση. Συνεπώς, πρέπει να μελετηθεί και να ερευνηθεί αν τα δίκτυα επιβαρύνουν την περιβαλλοντική μόλυνση και αν ναι να βρεθεί ένας τρόπος να περισταλεί το φαινόμενο. [75], [76]

Από την άλλη μεριά, είναι σημαντικό να αναπτυχθούν προσπάθειες, που να συνδυάζουν και τις MIMO (Multiple Input Multiple Output) τεχνικές. Η MIMO είναι μια μέθοδος για την αύξηση της ικανότητας μιας ράδιο-ζεύξης με τη χρήση πολλαπλών κεραιών εκπομπής και λήψης για την αξιοποίηση πολλαπλών διαδρομών. Η MIMO τεχνολογία έχει συνδυαστεί με διάφορα ήδη υπάρχοντα πρότυπα, όπως, τα πρότυπα ασύρματων επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των IEEE 802.11n (Wi-Fi), IEEE 802.11ac (Wi-Fi), HSPA + (3G), το WiMAX (4G), και LTE (4G). Πρόσφατα, η MIMO εφαρμόστηκε σε επικοινωνία γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας για εγκαταστάσεις 3-καλωδίων, ως μέρος του προτύπου ITU G. Έτσι, θα μπορούσε να συνδυαστεί με τις τεχνολογίες, που μελετήθηκαν και να καταστρωθούν σχέδια για το κόστος, την ανάπτυξή τους ή για άλλα συνδυαστικά θέματα. [38]

Εν συνεχεία, όσον αφορά σε τεχνο-οικονομική ανάλυση των ίδιων τεχνολογικών προτάσεων, θα μπορούσε κανείς να μελετήσει άλλα σημαντικά θέματα, τα οποία σχετίζονται άμεσα με τον κύκλο ζωής της τεχνολογίας, δηλαδή ποιά είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας μέσα στο χρόνο και μετά από πόσο καιρό θα εγκαταλειφθεί. Επίσης, θα μπορούσε να συνδυαστεί το δεσμευμένο εύρος ζώνης με την κάθε τεχνολογία, αλλά και με τη συχνότητα λειτουργίας της. Επιπρόσθετα, θα μπορούσε κανείς να μελετήσει σημαντικές παραμέτρους για τη χρήση τους, δηλαδή κόστος ανά χρήστη, ή το ανηγμένο κόστος, δηλαδή το κόστος ανά δυαδικό ψηφίο μεταδιδόμενης πληροφορίας κλπ.

Επιπλέον, θεωρείται ζωτικής σημασίας, να ασχοληθεί κανείς ερευνητικά με το σταθμό βάσης. Είναι το σημαντικότερο τμήμα του δικτύου, συνεπώς, πρέπει να ελέγξει κανείς κατά πόσο είναι δυνατό να μειωθεί το κόστος του, να ενσωματωθούν σε αυτόν νέες αποδοτικές και πράσινες τεχνολογίες, να επιλυθούν προβλήματα δρομολόγησης και κάλυψης και τέλος, να ελαττωθούν τα παραγόμενα σφάλματα σε κάθε περίπτωση, και όμως, να διατηρείται χαμηλό το κόστος και πιθανώς, να γίνει όσο το δυνατόν φιλικότερο το συνολικό σύστημα προς το χρήστη, για να ελαττωθούν και οι δαπάνες εγκατάστασης και επιδιόρθωσης σε περιπτώσεις βλάβης.

Είναι επίσης, υψίστης σημασίας, να ενισχυθεί η θέση της Ultra-dense τεχνολογίας στον τομέα των δικτύων, καθώς είναι πολύ σημαντική και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την καλύτερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης και την κάλυψη μεγαλύτερης μερίδας χρηστών. Αυτά τα στοιχεία την καθιστούν ελκυστική λύση και προωθούν την υιοθέτησή της ευρέως. Αυτός είναι ο λόγος, που θεωρείται πολύ σημαντικό να δοθεί η δυνατότητα να ερευνηθεί και να μελετηθεί η δυναμική της σε σχέση όχι μόνο με την DAS, αλλά και συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες, αλλά και

ο συνδυασμός και η σύγκρισή της με άλλες τεχνολογίες, όπως για παράδειγμα με τις σειρές 802.11.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να ελαττωθεί το κόστος λειτουργίας του DAS. Άρα, είναι υψίστης σημασίας να βρεθούν μέθοδοι να μειωθεί το συνολικό κόστος λειτουργίας και κατά συνέπεια, πρέπει να σημειωθούν μέθοδοι και κατάλληλες μελέτες προς αυτή την κατεύθυνση.

Ακόμα, είναι υψίστης σημασίας να αναλυθούν τα ίδια και ήδη αναλυμένα κόστη με άλλες παραμέτρους ή η κατασκευή νέων μοντέλων κοστολόγησης, όπως για παράδειγμα, ανά Mbps/km² αντί για το πλήθος κεραιών και να εξαχθούν άλλα σημαντικά αποτελέσματα σχετιζόμενα με το εύρος, με τη συχνότητα λειτουργίας, με τη μείωση του κόστους, αλλά και με την εξοικονόμηση ενέργειας από το σταθμό βάσης, αλλά και στις συσκευές, τόσο για το DAS όσο και για τη Femtocell τεχνολογία. [10], [11], [12], [75], [76]

Επίσης, είναι σημαντικό να αξιοποιηθούν οι μελέτες στα [53], [73], [74] έτσι ώστε, να υπολογιστούν τα συνολικά κόστη για τις διάφορες ομάδες χρηστών των Femtocells, δηλαδή για το ανοιχτό, κλειστό και υβριδικό γκρουπ χρηστών σε σχέση με το εύρος ζώνης και τη συχνότητα χρήσης. Συνεπώς, θα εξαχθούν αποτελέσματα για τα οφέλη, που περιλαμβάνει κάθε ομάδα για τους χρήστες, αλλά και για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους.

Κρίνεται ότι η ερευνητική προσπάθεια στα πιο πάνω θέματα είναι ελλιπής και απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη και μελέτη των θεμάτων για την ενίσχυση και προώθηση των τεχνολογιών σε δίκτυα με ετερογενή δομή και στη βελτίωση των οικιακών, εταιρικών και κινητών δικτύων σε μία προσπάθεια κίνησης προς την επόμενη γενιά ασύρματων κινητών υπηρεσιών. Για το σκοπό αυτό, μπορεί να αξιοποιηθούν οι παραπάνω προτάσεις, αλλά και να σχηματιστούν νέες ανάλογα με τα καινούρια δεδομένα και τις πολλαπλές ανάγκες της αγοράς, των τηλεπικοινωνιακών παρόχων και των χρηστών.

Βιβλιογραφία

1. 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.
2. H. Claussen, L. Ho, and L. Samuel. Financial analysis of a picocellular home network deployment. In *IEEE International Conference on Communications, 2007 (ICC '07)*, pages 5604–5609, Jun. 2007.
3. 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.
4. EC H2020 5G Infrastructure PPP. Pre-structuring model: RTD & INNO strands. Technical report, 5th Generation Public-Private Partnership, 2014.
5. Expert Working Group. Next generation of wireless networks. Technical report, NetWorld 2020 ETP, 2014.
6. Expert Working Group. What is 5G (really) about? Technical report, NetWorld 2020 ETP, 2014.
7. 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.
8. Z. Liu. *Techno-economical Analysis of Indoor Enterprise Solutions*. PhD thesis, Aalborg University, December 2013.
9. 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.
10. 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.
11. N. Shetty, S. Parekh, and J. Walrand. Economics of femtocells. In *IEEE Global Telecommunications Conference, 2009 (GLOBECOM '09)*, pages 1–6, Dec. 2009.
12. Ultra High Capacity Networks White Paper. Evolutionary & disruptive visions towards high capacity networks. Technical report, International Wireless Industry Consortium (IWPC), <http://www.iwpc.org/WhitePaper.aspx?WhitePaperID=17>, Apr. 2014.
13. V. Chandrasekhar, J. Andrews, A. Gatherer, and T. Instruments, "Femtocell Networks: A Survey", University of Texas at Austin, June 2008.
14. Chandrasekhar, V., Andrews, J.G., "Uplink Capacity and Interference Avoidance for Two-Tier Cellular Networks", *IEEE Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07*.

15. S. Yeh, S. Talwar, S. Lee, and H. Kim, "WiMAX femtocells: a perspective on network architecture, capacity, and coverage," *Communications Magazine*, IEEE, vol. 46, no. 10, pp. 58-65, 2008.
16. Εμμανουήλ Βαρβαρίγος, Διάλεξη 1 « Κυψελωτά Ασύρματα Δίκτυα», μάθημα: Κινητά Δίκτυα Επικοινωνίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2014.
17. <http://www.premiere-inc.com/cabling-communication-services-north-south-carolina/wireless-solutions/>
18. http://en.wikipedia.org/wiki/Capital_expenditure
19. <http://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp>
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Operating_expense
21. http://en.wikipedia.org/wiki/Total_cost_of_ownership
22. http://www.diffen.com/difference/Capex_vs_Opex
23. <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/femtocells/femto-cells-tutorial-basics.php>
24. <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/DAS-distributed-antenna-systems/basics-tutorial.php>
25. Chandrasekhar, V., Andrews, J.G., "Spectrum Allocation in Two-Tier Networks", 2008
26. http://www.ee.columbia.edu/~roger/femtocell_presentation.pdf.
27. <https://www.bicsi.org/pdf/presentations/northcentral10/distributed%20antenna%20systems%20-%20connectivity%20wireless.pdf>
28. http://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_antenna_system
29. http://www.publicprocurementguides.treasury.gov.cy/OHS-GR/HTML/index.html?1_5_1_2_cost_benefit_analysis.htm
30. <http://5g-ppp.eu/>
31. <https://www.metis2020.com/>
32. <http://en.wikipedia.org/wiki/Macrocell>
33. <http://en.wikipedia.org/wiki/Microcell>
34. <http://en.wikipedia.org/wiki/Picocell>
35. <http://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell>
36. http://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_antenna_system
37. <http://www.fiercewireless.com/story/distributed-antenna-systems-niche-necessity/2010-03-04>
38. <http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>
39. <http://en.wikipedia.org/wiki/5G>
40. <https://wirelessrain.wordpress.com/2007/06/20/multi-tier-cellular-networks/>
(Σχήμα σύγκρισης κυψελών-Σχήμα 3.2)
41. http://wwen.zte.com.cn/endata/magazine/zte technologies/2010/no1/articles/201001/t20100112_179548.html (Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης Macrocells- Σχήμα 3.2.1)
42. <http://www.ospmag.com/issue/article/Thinking-Big-About-Small-Cells>
(Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης Picocells- Σχήμα 3.2.3)
43. <http://www.profheath.org/research/heterogeneous-networks/femtocells/>
(Σχήμα γεωγραφικής κάλυψης femtocells- Σχήμα 3.2.4)
44. <http://gudenkaufsystems.com/distributed-antenna-systems.html> (Σχήμα δομής κερατών DAS- Σχήμα 3.2.5)
45. <http://www.cc-n.com/Solutions/CablingFiberWireless/DistributedAntennaSystems> (Σχήμα δομής DAS-Σχήμα 4.1)

46. http://www.peakpowerservices.com/Distributed_Antenna_Systems.aspx
(Σχήμα δομής DAS-Σχήμα 4.1.1)
47. O. Fratu, A. Vulpe, R. Craciunescu, and S. Halunga. Small Cells in cellular networks: Challenges of future hetnets. *Wireless Personal Communications*, 78(3):1613–1627, 2014.
48. V. Nikolikj and T. Janevski. Cost modeling of advanced heterogeneous wireless networks under excessive user demand. In *Wired/Wireless Internet Communications, Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, 2014.
49. Economic Viability Of Femtocell Service Provision. Game theory for Networks. Lecture notes of the Institute for Computer Science, Social Informatics and Telecommunication engineering, Volume 74, 2012, pp 413-428. & Xin Kang, Rui Zhang, Member, IEEE, and Mehul Motani, Member, IEEE Price-Based Resource Allocation for Spectrum-Sharing Femtocell Networks: A Stackelberg Game Approach :IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 30, NO. 3, APRIL 2012.
50. Chunxiao Jiang, Member, IEEE, Yan Chen, Member, IEEE, K. J. Ray Liu, Fellow, IEEE, and Yong Ren, Member. Optimal Pricing Strategy for Operators in Cognitive Femtocell Networks . *WIRELESS COMMUNICATIONS*, VOL. 13, NO. 9, SEPTEMBER 2014.
51. Azita Laily Yusof, Siti Sabariah Salihin, Norsuzila Ya’acob, and Mohd Tarmizi Ali . Performance Analysis of Handover Strategy in Femtocell Network . Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi MARA, Shah Alam, Selangor, Malaysia. *Journal of Communications* Vol. 8, No. 11, November 2013.
52. Mohsen Nader Tehrani and Murat Uysal. Pricing for Open Access Femtocell Networks Using Market Equilibrium and Non-Cooperative Game. *IEEE ICC 2012 - Cognitive Radio and Networks Symposium*.
53. Zoraida Frias and Jorge Pérez. Techno-economic analysis of femtocell deployment in long-term evolution networks. *Journal on Wireless Communications and Networking* 2012.
54. Prodromos-Vasileios Mekikis , Elli Kartsakli, Angelos Antonopoulos , Aris S. Lalos, Luis Alonso, and Christos Verikoukis. Two-tier Cellular Random Network Planning for Minimum Deployment Cost .*IEEE ICC 2014 - Communication QoS, Reliability and Modeling Symposium*.
55. Ashraf Awadelkarim Widaa Ahmed, Konstantinos Chatzimichail, Jan Markendahl and Cicek Cavdar. Techno-economics of Green Mobile Networks Considering Backhauling. *European Wireless* 2014.
56. S. Yunas, J. Niemela, M. Valkama, and T. Isotalo. Techno-economical analysis and comparison of legacy and ultra-dense small cell networks. In *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, 2014 IEEE 39th Conference on, pages 768–776, Sept 2014.
57. Χρήστος Ι. Μπούρας, Ενότητα 9 «Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών», μάθημα: Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2014.

58. Χρήστος Ι. Μπούρας, Πανεπιστημιακές σημειώσεις , μάθημα: Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2014. (http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/bouras_site/notes/ddxdd.pdf?language=el)
59. Χρήστος Ι.Μπούρας, Πανεπιστημιακές σημειώσεις , μάθημα: Τηλεματική και νέες υπηρεσίες, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2015.
60. Χρήστος Ι.Μπούρας, Πανεπιστημιακές σημειώσεις , μάθημα: Ευρυζωνικές Τεχνολογίες, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2015.
61. the DAS forum, DISTRIBUTED ANTENNA SYSTEMS (DAS) AND SMALL CELL TECHNOLOGIES DISTINGUISHED,February 4, 2013.
62. Omer HALILOGLOU, Energy Efficient Radio Resource Management in a Coordinated Multi-Cell Distributed Antenna System, 5 September 2014.
63. J. Randolph Luening, FEMTOCELL ECONOMICS,GSM Mobile World Conference , Barcelona, Spain , February, 2009.
64. <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/distributed-antenna-system-DAS>
65. <http://www.att.com/gen/press-room?pid=23351>
66. <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/DAS-distributed-antenna-systems/basics-tutorial.php>
67. https://patel.org/Spring_Conference/2013/Sims-DASPresentation.pdf
68. <http://www.accu-tech.com/DAS>
69. CELLULAR ASSET MANAGEMENT, Femtocells – Benefits, Challenges and Deployment Scenarios, 2010. (www.cellularasset.com)
70. Roger Piqueras Jover, Interference in Femtocell Networks, ELEN E6951 Wireless & Mobile Networking II, April 13th 2009.
71. <http://www.thinksmallcell.com/FAQs/femtocell-history.html>
72. Expert Working Group. Next generation of wireless networks. Technical report, NetWorld 2020 ETP, 2014.
73. A. R. S. Akkamahadevi.M.B. Accumulative distance based optimization of handover delay in lte femtocell network. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY, 3(5):864–868, 2014.
74. A. L. Y. S. S. N. Y. M. T. Ali. Performance analysis of handover strategy in femtocell network. Journal of Communications, 8(11):724– 729, 2013.
75. Expert Working Group. 5g: Challenges, research priorities, and recommendations. Technical report, NetWorld 2020 ETP, September 2014.
76. Expert Working Group. 5g whitepaper. Technical report, NGMN Alliance, February 2015.
77. M. Chowdhury and Y. Jang. Handover management in high-dense femtocellular networks. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2013(1), 2013.
78. <http://arstechnica.com/gadgets/2009/01/verizon-launches-femtocell-for-all-comers/> -(Σχήμα συσκευής Femtocell- Σχήμα 5.1.2)
79. <http://mobiledevdesign.com/learning-resources/femtocells-get-ready-invade-homes-and-offices> -(Σχήμα συσκευής Femtocell- Σχήμα 5.1.3)
80. <http://imgbuddy.com/femtocell.asp> -(Σχήμα συσκευής Femtocell- Σχήμα 5.1.4)
81. <http://www.wired.com/2010/03/att-microcell/> -(Σχήμα συσκευής Femtocell- Σχήμα 5.1.5)

82. <http://www.buffalo.edu/ubit/news/archive/2013-spring/distributed-antenna-system-gives-verizon-wireless-users-a-boost.html>-(Σχήμα συσκευών DAS-Σχήμα 4.1.2)
83. <http://www.klalabs.com/service/das.html>-(Σχήμα συσκευών DAS-Σχήμα 4.1.3)
84. http://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_antenna_system-(Σχήμα συσκευών DAS-Σχήμα 4.1.4)
85. Expert Working Group. What is 5G (really) about? Technical report, NetWorld 2020 ETP, 2014.
86. Expert Working Group. 5g whitepaper. Technical report, NGMN Alliance, February 2015.
87. C. Bouras, V. Kokkinos, A. Kollia, and A. Papazois. Techno-economic analysis of ultra-dense and das deployments in mobile 5g. 2015. To appear.

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

Στο παρακάτω παράρτημα παρατίθεται ο c κώδικας, που αναπτύχθηκε με σκοπό τη δημιουργία συστήματος για τον υπολογισμό του κόστους για την περίπτωση του DAS και του FEMTOCELL δικτύου, σύμφωνα με τους τύπους, που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 6 και σχετίζονται με τα CAPEX, OPEX και TCO κόστη.

Η μεταγλώττιση λόγω της χρήσης της βιβλιοθήκης `#include<math.h>` 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) {

    char type[10]; // type of network
    int d; //call the DAS function
    int fe; //call the femtocell function
    printf(" Program of calculation of the network's cost! \n");
    printf(" Give the network's type you want to calculate the cost: \n");
    gets(type);
    if(!strcmp(type,"DAS"))
    { d=DAS();}
    if(!strcmp(type,"FEMTO"))
    { fe=FEMTO(); }
    else
    { printf("Not known type written!");}
    return 0;
}
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; // maintnace 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

// 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;
    }

int FEMTO(void)
{ //types of costs declaration
int N; //number of nodes
double i; //interest rate
double n; //investment plan in years
int Cif; //core network
int HeNB; //eNB
float fm; //maintenace costs
double c; // power calculation
double k; // A loan calculation

// results costs
double CAPEX=0.0;

```

```

double OPEX=0.0;
double TCO=0.0;
printf(" Give the system's parameters and variables for femtocells:\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", &Cif);
printf(" Give the cost of nodes NB:");
scanf("%d", &HeNB);
printf(" Give the maintenance parameter:");
scanf("%f", &fm);
c=pow(1+i,n); // power calculation
k=c-1; // loan calculation

//Computation of expenditures:
//Capital
CAPEX= N*Cif*(i/k);
printf("The Capital expenditure of femtocells is: %.2lf,\n", CAPEX);
//Operational
OPEX = fm*N*Cif*(i/k);
printf("The Operational expenditure of DAS is: %.2lf,\n", OPEX);
//Total cost of ownership
TCO=(CAPEX+OPEX);
printf("The total cost of ownership for DAS is: %.2lf,\n", TCO);
return 0;

```

}

