

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**

*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*

**<ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ  
ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ>**

---

---

**<SMALL CELLS ΣΤΟ 5G>**

---

---

**<ΚΑΛΛΙΑΚΜΑΝΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ>**

**A.M <1052004>**

*ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ*

**ΠΑΤΡΑ 2017**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>I</b>
<b>ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ</b> .....	<b>III</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: &lt;ΕΙΣΑΓΩΓΗ&gt;</b> .....	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: &lt;ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G&gt;</b> .....	<b>1</b>
<b>2.1 &lt; ΟΡΙΣΜΟΣ- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ 5G &gt;</b> .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>2.2&lt; ΤΙ ΘΑ ΜΑΣ ΕΠΙΒΑΛΛΕΙ Η ΠΕΜΠΤΗ ΓΕΝΙΑ - ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ &gt;</b> .....	<b>ERROR!</b> <b>BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>2.3&lt; ΝΕΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΜΕΝΕΤΑΙ ΝΑ</b> <b>ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΘΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ 5G ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ &gt;</b> .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>2.4&lt; ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ &gt;</b> ....	<b>ERROR! BOOKMARK</b> <b>NOT DEFINED.</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: &lt; ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟΚΥΨΕΛΕΣ &gt;</b> .....	<b>1</b>
<b>3.1 &lt; ΕΙΣΑΓΩΓΗ &gt;</b> .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>3.2 &lt; ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ SMALL CELL? &gt;</b> .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>3.3 &lt; ΠΩΣ ΤΑ SMALL CELLS ΘΑ ΤΑΙΡΙΑΞΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ 5G &gt;</b> > .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>

**3.4 < ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ MACROCELLS, PICOCELLS ΚΑΙ FEMTOCELLS > > .....ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

**3.5 < ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ MACROCELLS, MICROCELLS, PICOCELLS ΚΑΙ FEMTOCELLS > > .....ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

**3.5.1 < MACROCELLS > ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

**3.5.2 < MICROCELLS >..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

**3.5.3 < PICOCELL >..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

**3.5.4 < FEMTOCELLS > ..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: < ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ >..... 1**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....29**

# ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---



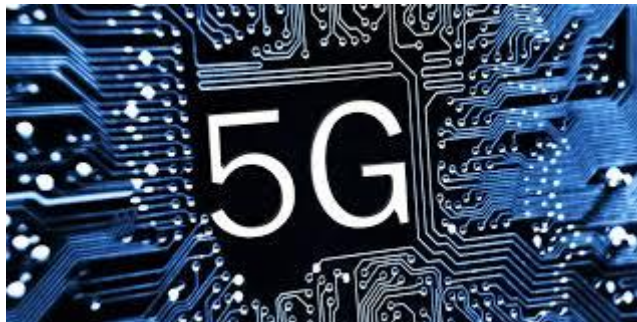
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: <ΕΙΣΑΓΩΓΗ>

---

Η τρομερή ανάπτυξη των σύγχρονων δικτυακών συσκευών όπως παραδείγματος χάριν smartphones κινητών τηλεφώνων, φορητών και σταθερών υπολογιστών, ταμπλετών και άλλων συσκευών έχει κάνει επιτακτική την ανάγκη για επέκταση των δικτύων τηλεπικοινωνιών. Είναι γνωστό πως καθημερινά πολίτες σε όλον τον κόσμο κάνουν χρήση του διαδικτύου για ψυχαγωγία, επικοινωνία και ενημέρωση καθώς επίσης και στον επαγγελματικό τους χώρο όπου η χρήση σύγχρονων δικτυακών μέσων είναι αναγκαία αφού κάθε τομέας επαγγελματικής δραστηριότητας περιλαμβάνει εργασία μέσω υπολογιστών και χρήση του διαδικτύου σε μικρό ή μεγάλο βαθμό. Επίσης, από τη στιγμή που το Διαδίκτυο είναι ένα δίκτυο συνδεδεμένων υπολογιστών, κάθε χρήστης έχει την δυνατότητα να μοιραστεί πληθώρα πληροφοριών με άλλους χρήστες από απόσταση, ακόμη και να συνεργαστεί, να εργαστεί ή να εκπαιδευτεί εκμεταλλευόμενος διάφορες δικτυακές υπηρεσίες. Αυτό δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις από τις ασύρματες τεχνολογίες όσον αφορά τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και γίνεται εύκολα αντιληπτή η τεράστια ανάγκη για μελέτη, ανάπτυξη και προώθηση της κινητής πέμπτης γενιάς τεχνολογίας ή αλλιώς 5G, μια μετεξέλιξη που αφορά το μέλλον των επικοινωνιών και θεωρείται το επόμενο άλμα στα ασύρματα δίκτυα. Σκοπός αυτού του άλματος είναι ξεκάθαρα η αύξηση στην μεταφορά των δεδομένων με πολύ υψηλότερες ταχύτητες σε σχέση με τώρα και λιγότερη κατανάλωση και καθυστέρηση, καθώς επίσης και σύνδεση πολύ περισσότερων συσκευών σε σύγκριση πάντα με αυτές που συνδέονται στις μέρες μας.

Μέσα από την παρακάτω εργασία θα κάνουμε ένα βήμα προς την αποσαφήνιση τι σημαίνει πραγματικά 5G από την πιθανότητα επέκτασης σε περιπτώσεις χρήσεις, σε σενάρια στο τι θα μπορούσε να επιτρέψει και να καλύψει το 5G, καθώς επίσης και διάφορες επιπτώσεις όσον αφορά της υποδομές του δικτύου. Όλα τα παραπάνω προκειμένου να υλοποιηθούν πρέπει να βασιστούν στο βασικό

συστατικό των νέων δικτύων της 5<sup>ης</sup> γενιάς τα επονομαζόμενα small cells ή αλλιώς μικροκυψέλες. Τα small cells χαρακτηρίζονται ως σταθμοί βάσης μικρής εμβέλειας και προτίθεται να χρησιμοποιηθούν με στόχο να ενισχύσουν τη φασματική απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας. Χωρίζονται σε ένα μείγμα από macrocell, picocell, femtocell και relay σταθμούς βάσης και θα τα αναλύσουμε εξονυχιστικά στη συνέχεια της εργασίας, όπου στόχος της είναι να βρεθούν νέοι τρόποι αξιοποίησης των small cells και καινούργιοι μέθοδοι και μηχανισμοί για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευσή τους. Εκτός όμως από τα πλεονεκτήματα των δικτύων 5G με πυκνή δομή των σταθμών βάσης τους, τα small cells θα εισάγουν αρκετούς κινδύνους διότι θα είναι αρκετά πιο περίπλοκα όσον αφορά τα δίκτυα που χρησιμοποιούμε στις μέρες μας και γιατί η τοποθέτησή τους ενδέχεται να είναι λίγο ή πολύ ad hoc.





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2Ο: <ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G>

---

Ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να κάνουμε ένα σημαντικό βήμα προς την αποσαφήνιση τι σημαίνει πραγματικά «5G» δίκτυο: όπου θα αναλύσουμε τι είναι και τι θα μας επιβάλλει η πέμπτη γενιά με σενάρια το τι θα μπορούσε να επιτρέψει το 5G και ποιες υπηρεσίες θα καλείται να υποστηρίξει και να συζητηθούν πιθανές επιπτώσεις, προκλήσεις και αλλαγές στις υποδομές στα δίκτυα. Επειδή αυτή τη στιγμή που γράφεται η συγκεκριμένη εργασία δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο για το πώς θα είναι σε απόλυτο βαθμό το 5G, θα το αναλύσουμε με βάση τις επεξεργασίες και έρευνες που έχουν κάνει κάποιες εταιρίες και οργανισμοί.

## 2.1 <Ορισμός- Χαρακτηριστικά 5G>



Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς ή (5G) αποτελούν την επερχόμενη σημαντική φάση στην εξέλιξη της κινητής τεχνολογίας. Είναι κοινά αποδεκτό ότι πρόκειται να περιλαμβάνουν πρότυπα τηλεφωνίας πολύ αυστηρότερα αυτών που ήδη ισχύουν και υπάρχουν για τα 4G και επίσης, οι τεχνολογίες για τις κινητές επικοινωνίες αναμένονται όπως όλα δείχνουν μετά το 2020. Σε κανένα επίσημο έγγραφο δεν υπάρχουν δημοσιευμένες πληροφορίες σε ό,τι αφορά τις προδιαγραφές του νέου αυτού τύπου δικτύου, αλλά ούτε και έχουν γίνει γνωστά ως τώρα τα κύρια πρωτόκολλα που θα διέπουν τη λειτουργία τους. Αρχικά, χρειάζεται μελέτη και ανάπτυξη των προτύπων και των δικτυακών πρωτοκόλλων, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα για χρήση και εφαρμογή στις νέες συσκευές. Τα ενημερωμένα και

εξελίσσημα αυτά πρότυπα, τα οποία είναι υπό μελέτη παρέχουν νέες δυνατότητες για τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες 4G. Υπάρχουν δύο οπτικές του 5G σήμερα:

1<sup>η</sup> Οπτική: Το όραμα υπερ-σύνδεση: Σε αυτήν την οπτική του 5G, φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ένα μείγμα από προ-υπάρχουσες τεχνολογίες δικτύων που καλύπτουν 2G, 3G, 4G, Wi-Fi και άλλοι με σκοπό να επιφέρουν ακόμη μεγαλύτερη κάλυψη και διαθεσιμότητα, καθώς και αύξηση στην πυκνότητα δικτύου στους όρους των κυττάρων και των συσκευών, με το κλειδί διαφοροποίησης να είναι η θεαματικά μεγαλύτερη συνδεσιμότητα ως καταλύτης για Machine-to-Machine (M2M) υπηρεσίες και το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Το όραμα αυτό πιθανόν να συμπεριλαμβάνει μια καινούργια ασύρματη τεχνολογία για να ενεργοποίηση χαμηλότερης ισχύος, συσκευές χαμηλής απόδοσης με μακρά κύκλους καθήκον δέκα χρόνια ή και περισσότερο.

2<sup>η</sup> Οπτική: Το όραμα της επόμενης γενιάς τεχνολογία πρόσβασης ραδιοφώνου: Αυτό είναι κάτι παραπάνω από το παραδοσιακό «γενιά-καθορισμό», άποψη με συγκεκριμένους στόχους για τα ποσοστά των δεδομένων και την καθυστέρηση που έχει προσδιοριστεί, όπως ότι οι νέες ραδιοφωνικές διεπαφές έχουν τη δυνατότητα να αξιολογηθούν με βάση τα παραπάνω κριτήρια. Αυτό με τη σειρά του καθιστά για μια σαφή οριοθέτηση μεταξύ μιας τεχνολογίας που πληροί τα κριτήρια για 5G, και ένα άλλο που δεν το κάνει.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της νέας αυτής τεχνολογίας θα είναι:

- Μαζικά MIMO συστήματα ή αλλιώς γνωστά στο ευρύ κοινό και ως μεγάλης κλίμακας συστήματα κεραίας , Very Large MIMO όπου παρέχουν επιπλέον κεραίες, ώστε να βοηθούν σημαντικά στην αύξηση της απόδοσης και της εκπεμπόμενης ενέργειας. Επιπλέον, σημαντικό όφελος των μαζικών MIMO είναι η εκτεταμένη χρήση των πολύ φθηνών εξαρτημάτων χαμηλής ισχύος , η ελάττωση του διαστήματος , η απλοποίηση του ελέγχου πρόσβασης μέσου MAC , και η ισχύς της εσκεμμένης παρεμβολής. Η απόδοση που προβλέπεται εξαρτάται κυρίως από το περιβάλλον διάδοσης, που παρέχει ασυμπτωτικά ορθογώνια κανάλια για τους τερματικούς σταθμούς. Ενώ, τα μαζικά MIMO συστήματα αναιρούν τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα, από την άλλη μεριά, όμως, αποκαλύπτουν καινούργια προβλήματα, που είναι επιτακτική η ανάγκη να επιλυθούν άμεσα, όπως παραδείγματος χάριν η πρόκληση που τίθενται ώστε να χρησιμοποιούνται πολύ χαμηλού κόστους εξαρτήματα κυρίως χαμηλής ακρίβειας, που συνεργάζονται αποτελεσματικά, η απόκτηση

και ο συγχρονισμός των πρόσφατα ενταγμένων τερματικών σταθμών , η εκμετάλλευση των επιπλέον βαθμών ελευθερίας, που παρέχεται από τις επιπλέον υπηρεσίες κεραίας , η μείωση της εσωτερικής κατανάλωσης ρεύματος (για να έχει ως αποτέλεσμα συνολική μείωση της ενεργειακής απόδοσης) , καθώς και η εξεύρεση νέων σεναρίων ανάπτυξης. Σημαντικό και κρίσιμο θα είναι να υποστηριχτούν αποτελεσματικά οι συσκευές για να μπορέσει να λειτουργήσει το διαδίκτυο με πολύ μεγαλύτερο πλήθος συνδεδεμένων συσκευών, καθώς και πλήθος καινούργιων εφαρμογών, όπως για παράδειγμα, η αποστολή κρίσιμων σημείων ελέγχου ή η ασφάλεια της κυκλοφορίας, που οδηγεί σε λιγότερη καθυστέρηση και μεγαλύτερη αξιοπιστία.

- Διάχυτη χρήση των δικτύων, που μπορεί ή όχι να παρέχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, όπως για παράδειγμα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και η πανταχού παρούσα υπολογιστική. Ο εκάστοτε χρήστης θα μπορεί ταυτόχρονα να συνδεθεί με διάφορες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης και αδιάλειπτη εναλλαγή μεταξύ τους. Αυτές οι τεχνολογίες πρόσβασης μπορεί να είναι κάποιες από τις 2.5G , 3G , 4G , ή κινητά δίκτυα 5G , Wi - Fi , WPAN , ή οποιαδήποτε άλλη μελλοντική τεχνολογία πρόσβασης. Στην 5G τεχνολογία η έννοια της συνεχούς εναλλαγής, μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω σε πολλαπλές διαδρομές για ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων, που θα εξασφαλίσει πολλαπλάσια ταχύτητα της σημερινής.
- Ένα σημαντικό ζήτημα σε συστήματα πέραν του 4G είναι να καθίστανται διαθέσιμα τα υψηλά ποσοστά δυαδικών ψηφίων σε ένα μεγαλύτερο τμήμα του κυττάρου, ειδικά, για τους χρήστες σε μια δημόσια θέση εκτεθειμένη μεταξύ πολλών σταθμών βάσης.
- Η τεχνολογία smart-radio επιτρέπει σε διαφορετικές ραδιοτεχνολογίες να μοιράζονται με τον ίδιο αποτελεσματικό τρόπο το φάσμα από την εύρεση αχρησιμοποίητου φάσματος και την προσαρμογή του συστήματος μετάδοσης με τις απαιτήσεις των τεχνολογιών, που σήμερα μοιράζονται το φάσμα.
- Τα δυναμικά Adhoc Ασύρματα Δίκτυα ( DAWN ) είναι στην ουσία ταυτόσημα με το κινητό δίκτυο ad hoc ( MANET ) και το ασύρματο δίκτυο πλέγματος ( WMN ) ή τα ασύρματα δίκτυα, που συνδυάζονται με έξυπνες κεραίες σύμφωνα με τη συνεργατική ποικιλομορφία και την ευέλικτη διαμόρφωση.
- Η διαίρεση συχνότητας Vandermonde - υπόχωρος πολυπλεξίας ( VFDM ) είναι ένα σχήμα διαμόρφωσης για να επιτραπεί η συνύπαρξη των μακρο - κυττάρων και μικρών ραδιοκυττάρων σε ένα δίκτυο δύο επιπέδων LTE/4G.
- Το IPv6 πρωτόκολλο διευθύνσεων, όπου εκχωρείται μια διεύθυνση κινητής IP ανάλογα με τη θέση και τις συνδεδεμένες διευθύνσεις στο δίκτυο.
- Li - Fi είναι μία βαλίτσα φωτός και Wi - Fi είναι ένα τεράστιο MIMO ορατό δίκτυο επικοινωνίας φωτός, έτσι ώστε να εφαρμοστεί σε 5G. Το Li - Fi χρησιμοποιεί διόδους εκπομπής φωτός για τη μετάδοση δεδομένων και όχι τα ραδιοκύματα, όπως το Wi - Fi.

- Ο ασύρματος παγκόσμιος ιστός (Wireless World Wide Web-WWWW ) ,είναι ένας ολοκληρωμένος τρόπος βασισμένος στην ασύρματη εφαρμογή του δικτύου, που περιλαμβάνει πλήρη δυναμικότητα των πολυμέσων με ταχύτητες μεγαλύτερες από αυτές του 4G.
- Όριμα χαρακτηριστικά των εννοιών του συστήματος που μεταφέρονται από τις προηγούμενες γενιές: αυτά θα εναρμονιστούν μέσω κατάλληλης προσαρμογής με τα συστήματα 5G. Ενδεικτικά αναφέρονται παραδείγματα, όπως η κάλυψη ευρείας περιοχής, η αποτελεσματική υποστήριξη της φορητότητας και η ενεργητικά αποδοτική λειτουργία τερματικών.
- Οι αναδυόμενες έννοιες του συστήματος: ορισμένες από αυτές, έχουν ήδη αναπτυχθεί και λειτουργούν, αλλά αναμένεται να ωριμάσουν ώστε να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις 5G και την αρχιτεκτονική. Ενδεικτικά αναφέρονται παραδείγματα όπως το νέφος RAN, η μείωση του φορτίου μέσω τοπικών συνδέσεων κλπ.
- Νέες 5G έννοιες: αυτές περιλαμβάνουν εξαιρετικά αξιόπιστες συνδέσεις για χρήσιμο έλεγχο, επικοινωνία D2D, μαζικές επικοινωνίες, ευελιξία και παραμετροποίηση σε ένα μεγάλο εύρος του ρυθμού μετάδοσης, απαιτήσεις (προδιαγραφές) αδράνειας κ.λπ.

## 2.2 <Τι θα μας επιβάλλει η πέμπτη γενιά - Επιδόσεις>

Η 5G γενιά θα προσφέρει αρχιτεκτονικές λύσεις, τεχνολογίες και πρότυπα για την πανταχού παρούσα επόμενη γενιά υποδομών επικοινωνίας της ερχόμενης δεκαετίας και θα παρέχει τέτοιου είδους επιτεύγματα. Επίσης, σχεδόν τετραπλασιάζεται η χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων, τα οποία εξυπηρετούν πάνω από 7 δισεκατομμύρια συσκευές, υπό την προϋπόθεση πάντα να δημιουργηθεί ένα πιο ασφαλές και αξιόπιστο δίκτυο με την ελάχιστη καθυστέρηση. Το δίκτυο 5G, τουλάχιστον με τα σημερινά δεδομένα, αναμένεται να λειτουργεί σε μια μπάντα υψηλής συχνότητας του ασύρματου φάσματος, κάπου μεταξύ 30-300 GHz. Σε αυτά τα κύματα, η μεταφορά δεδομένων λαμβάνει χώρα σε ιδιαιτέρως υψηλές ταχύτητες, αν και δεν μπορούν να μεταφερθούν τόσο μακριά όσο στα δίκτυα 4G και τις χαμηλές συχνότητές τους. Επιπρόσθετα, τα υψηλής συχνότητας κύματα το βρίσκουν ιδιαιτέρως δύσκολο να παρακάμπτουν εμπόδια όπως τοίχους και κτίρια.

Στα υπάρχοντα δίκτυα 4G, οι κεραιές μπορούν να είναι απομακρυσμένες η μία από την άλλη και τα εμπόδια δεν αποτελούν σοβαρό πονοκέφαλο. Για να χτιστεί το 5G, οι πάροχοι θα είναι αναγκασμένοι να πολλαπλασιάσουν σημαντικά τις κεραιές τους για να έχουν την ίδια κάλυψη. Όπως μας λένε, το τοπίο θα γεμίσει παντού με μίνι κεραιές, κάτι που όσο να πεις έχει τη σημασία του.

Γι' αυτό και πλέον κάποιοι εταίροι της 5G τεχνολογίας, όπως η Intel και η Qualcomm, πειραματίζονται στο φάσμα κάτω των 6 GHz, για να αντισταθμίσουν τα άστατα και ευμετάβλητα κύματα της υψηλής συχνότητας που απαιτεί το 5G. Γι' αυτό και όλοι τονίζουν με νόημα πως η νέα τεχνολογία είναι ακόμα σε εμβρυακό στάδιο.

Εκτός των άλλων, όσον αφορά την τεχνολογία πέμπτης γενιάς - 5G αναμένεται να αλλάξει σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο ύπαρξης των σύγχρονων δικτύων. Σε αντίθεση με τα δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών, τα οποία αποτελούνται από «κυψέλες», οι οποίες βρίσκονται σε σταθμούς βάσης εικάζεται ότι το δίκτυο πέμπτης γενιάς θα βρίσκεται σε μία σειρά διαφορετικών ζωνών συχνοτήτων, όπου θα μεταφέρει πληροφορίες με άλλες ταχύτητες και θα έχει πλήρως διαφορετικά χαρακτηριστικά μετάδοσης από ότι η προηγούμενη γενιά δικτύων. Αντιτιθέμενα, μέχρι σήμερα γνωρίζουμε πως ένα τηλέφωνο συνδέεται με το εκάστοτε δίκτυο μέσω μίας ανοδικής και μίας καθοδικής ζεύξης με τον σταθμό βάσης που βρίσκεται τοπικά.

Επεξηγηματικά, το δίκτυο εικάζεται να διαφοροποιείται σύμφωνα με τις απαιτήσεις δεδομένων της συσκευής.

Στη συνέχεια, έδαφος κερδίζει η άποψη πως θα προκύψουν νέες κλάσεις συσκευών οι οποίες θα επικοινωνούν με άλλες συσκευές. Τέτοιο παράδειγμα αποτελούν οι αισθητήρες, οι οποίοι πρόκειται να στέλνουν δεδομένα σε κάποιον server ή αλλιώς εξυπηρετή, με τη μόνη διαφορά, όμως, ότι αυτό θα πραγματοποιείται με «συσκευο-κεντρικό τρόπο» και όχι με «κυψελοκεντρικό», που γίνεται στις μέρες μας. Το παραπάνω θα πραγματοποιηθεί, εφόσον οι νέες συσκευές γίνουν ικανές να κρίνουν πότε και πως είναι πιο αποτελεσματικό να αποσταλούν τα δεδομένα στον εξυπηρετητή.

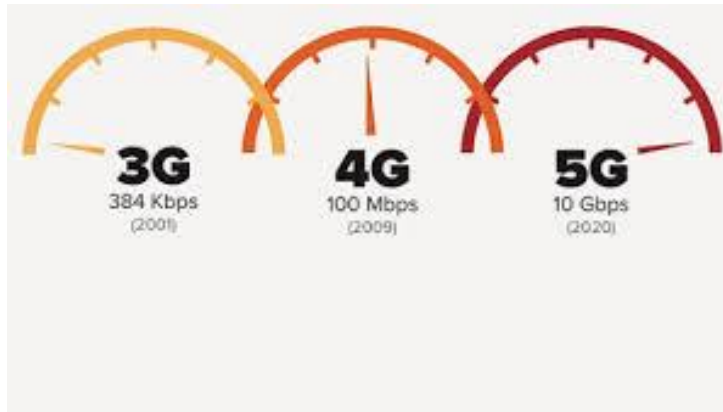
Συν τοις άλλοις, θα υπάρξουν αρκετές αλλαγές και στη μετάδοση της πληροφορίας. Η μετάδοση μικροκυμάτων που χρησιμοποιείται στις μέρες μας θα ενισχυθεί από τη μετάδοση κυμάτων χιλιοστού. Σήμερα, γνωρίζουμε πως τα μικροκύματα εκτείνονται σε φάσμα 600 MHz, το οποίο έχει απελευθερωθεί μετά την επικράτηση της ψηφιακής τηλεόρασης, όχι όμως σε ικανό και μεγάλο βαθμό, αλλά σε ένα πολύ μικρό ποσοστό, που με δυσκολία έφτασε στα 80 MHz και όπως είναι κοινά γνωστό έχει πολύ μεγάλο κόστος. Γι' αυτό το λόγο, όπως είναι εύλογο και αναμενόμενο θα προκύψει αναζήτηση λύσεων για μεγαλύτερα μήκη κύματος και για υψηλότερες συχνότητες μετάδοσης, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ των 3 έως και 300 GHz. Κάτι τέτοιο, παρουσιάζει εξίσου σημαντικά προβλήματα, εφόσον τα παραπάνω σήματα είναι αρκετά πιθανόν να δεχτούν παρεμβολές από παράγοντες όπως κτίρια, κακοκαιρία αλλά και την ανθρώπινη δραστηριότητα μεταξύ πομπού και δέκτη. Προβλήματα όπου αναμένεται να λυθούν χρησιμοποιώντας κατευθυντικές κεραιές όπου θα στρέφονται σε πραγματικό χρόνο όταν θα μπλοκάρονται τα σήματα.

Με οδηγό το παρελθόν και καθώς ο κύκλος κάθε γενιάς παραδοσιακά καλύπτει κοντά μια δεκαετία, και αφού οι πρώτες αξιοποιήσεις του 5G τοποθετούνται χρονικά στο 2020, το νέο σύστημα οφείλει να σχεδιασθεί κατάλληλα έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες και απαιτήσεις που θα εμφανιστούν τη δεκαετία 2020-2030. Από αυτή την οπτική γωνία, οι ανάγκες για το καινούργιο σύστημα σε σχέση πάντα με τα τωρινά υπάρχοντα συστήματα εκτινάσσονται και το άλμα στις επιδόσεις πρέπει να τις αντανakλά. Πιο αναλυτικά, θα παρουσιάσουμε συνοπτικά κάποιες πτυχές και σε τι βαθμό το καινούργιο σύστημα θα μπορεί να τις ικανοποιήσει.



•Χωρητικότητα: Η κίνηση στα δίκτυα κινητής τα τελευταία χρόνια έχει απογειωθεί και σύμφωνα πάντα με μελέτες πρόκειται ο ρυθμός αύξησης να παραμείνει σημαντικός στο προσεχές μέλλον. Όπως όλα δείχνουν από τις εκτιμήσεις που έχουν γίνει ο αριθμός των συνδεδεμένων χρηστών προβλέπεται να φτάσει σε 7 δις και ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών σε 7 τρις. Ανεπίσημα, η χωρητικότητα των νέων δικτύων αναμένεται να είναι ακόμα και 1000 φορές μεγαλύτερη σχετικιστικά με τις δυνατότητες και ικανότητες των δικτύων του 2010. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι δυνατότητες των δικτύων σε χωρητικότητα να καλύπτουν τη συνταρακτική αυτή αύξηση σε κίνηση με τρόπο τέτοιο ώστε οικονομικά να είναι εφαρμόσιμος και ενεργειακά να είναι αντιμετωπίσιμος. Επιπλέον, οφείλουν να κουμαντάρουν επαρκώς και τα διαφορετικά είδη κίνησης, καθώς και το πρόσθετο βάρος που κάτι τέτοιο ενδέχεται να επιφέρει σε συντονισμό.

•Υψηλότατη ρυθμαπόδοση: Σύμφωνα με μελέτες και εκτιμήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί οι ταχύτητες που θα μπορούν να φτάσουν κυμαίνονται σε 10 έως 100 φορές υψηλότερες σε σχέση με αυτές της τέταρτης και προηγούμενης γενιάς. Αυτό, αναλύεται σε ταχύτητες έως και 10Gbps σε εσωτερικές κατάλληλες συνθήκες, 100Mbps-1Gbps σε αστικές περιοχές και τουλάχιστον 10Mbps σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές.



- **Σημαντικά μειωμένο latency:** Το νέο σύστημα θα πρέπει να ικανοποιεί από εφαρμογές που έχουν ακραίες ανάγκες για χαμηλό latency μέχρι εφαρμογές που ο παράγοντας αυτός δεν θα έχει κανένα απολύτως ρόλο. Σαν πρώτος στόχος είναι να υποστηρίζει έως και 5 φορές μικρότερη end-to-end (E2E) latency, φθάνοντας έως και τα 5ms για διάφορες εφαρμογές.

- **Πιο αξιόπιστα και πιο διαθέσιμα:** Το χαρακτηριστικό αυτό εντός του συστήματος αναφέρεται και ως ultra-reliable communications (URC). Κριτήριο για αυτό είναι το σύστημα να επιτυγχάνει επικοινωνίες εξαιρετικής αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας.

- **Ενεργειακή απόδοση δικτύου:** Η τεράστια κλιμάκωση σε παροχή υπηρεσιών και αριθμό συσκευών δημιουργεί προκλήσεις στους παρόχους για τη δημιουργία οικονομικά βιώσιμων και οικολογικά φιλικών δικτύων. Ο στόχος που έχει τεθεί είναι μείωση 90% της ενεργειακής κατανάλωσης σε σχέση με συστήματα 4G.

- **Ακόμα πιο αποδοτικές συσκευές:** Άτυπα ο στόχος είναι 10 φορές μεγαλύτερη διάρκεια μπαταρίας για τις συσκευές χαμηλής ισχύος. Επιπλέον, εφόσον ο αριθμός θα αυξηθεί δραματικά, το ίδιο πρέπει να συμβεί και για το κόστος ανά συσκευή προκειμένου το συνολικό κόστος να παραμείνει σε διαχειρίσιμα επίπεδα. Για την επίτευξη των παραπάνω πλήθος καινοτόμων ιδεών και τεχνολογιών έχουν προταθεί. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε συνοπτικά στις τεχνολογίες και τα χαρακτηριστικά που συγκεντρώνουν τις περισσότερες πιθανότητες να επιτύχουν τους στόχους αυτούς και να ενσωματωθούν στο νέο πρότυπο.



## **2.3 <Νέες απαιτήσεις και υπηρεσίες που αναμένεται να ικανοποιηθούν από την 5G τεχνολογία>**

Στη συνέχεια περιγράφονται διεξοδικά οι συγκεκριμένες υπηρεσίες:

- Η υπηρεσία xMBB (extreme Mobile Broadband) παρέχει αυξημένες ταχύτητες δεδομένων, αλλά και βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoE – Quality of Service) μέσω αξιόπιστων προβλέψεων μεταβαλλόμενων (μέτρων) ρυθμών. Οι ρυθμοί δεδομένων που είναι μεγαλύτεροι απαιτούνται από εφαρμογές όπως η διευρυμένη πραγματικότητα (σύνθεση εικονικής πραγματικότητας και φυσικού κόσμου) και η απομακρυσμένη παρουσία. Η βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών αρχικοποιείται μέσω της απαίτησης παροχής αξιόπιστων μεταβαλλόμενων ποσοστών (μεγαλύτερο του 99%) οπουδήποτε και οποτεδήποτε και της υποβάθμισης της απόδοσης όσον αφορά την ταχύτητα δεδομένων και την καθυστέρηση, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών. Η υπηρεσία xMBB εκτείνεται από ρυθμούς αιχμής της τάξεως των Gbps έως μέτρια ποσοστά - της τάξεως των δεκάδων Mbps, όπου οι τελευταίοι προσφέρονται με πολύ υψηλή αξιοπιστία.

- Η υπηρεσία mMTC (massive – reliable MTC) παρέχει συνδεσιμότητα για ένα μεγάλο όγκο συσκευών εξοικονόμησης κόστους και ενέργειας. Η ανάπτυξη αισθητήρων και ενεργοποιητών μπορεί να εκτείνεται σε μια ευρεία περιοχή για την επιτήρηση και τη μέτρηση των περιοχών που καλύπτουν, αλλά και παράλληλα μπορεί να συστεγάζεται με ανθρώπους, όπως συμβαίνει στα δίκτυα body - area. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της υπηρεσίας είναι ο μαζικός αριθμός συνδεδεμένων συσκευών.

- Η υπηρεσία uMTC (ultra – reliable MTC) ικανοποιεί τις απαιτήσεις για υπηρεσίες απόλυτα αξιόπιστες και χρονικά κρίσιμες εφαρμογές, όπως π.χ. η εφαρμογή V2X καθώς και βιομηχανικές εφαρμογές. Και στα δύο προαναφερόμενα παραδείγματα απαιτείται αξιόπιστη επικοινωνία, καθώς επίσης και η εφαρμογή V2X χρειάζεται πιο γρήγορη εγκαθίδρυση της επικοινωνίας. Το βασικό χαρακτηριστικό είναι η μεγάλη αξιοπιστία, ενώ ο αριθμός των συσκευών και οι απαιτούμενες ταχύτητες δεδομένων είναι σχετικά χαμηλές.

Οι διαδικασίες σηματοδότησης ελέγχου και χρήσης θα πρέπει να προετοιμαστούν έτσι ώστε να εκληματίζονται βάσει της εκάστοτε περίπτωσης. Στην περίπτωση της κλασικής σύνδεσης χρήστη παραδείγματος χάριν, ο διαχωρισμός του

control και του user plane μπορεί να είναι ιδιαίτερα βοηθητικός. Μολονότι τα δεδομένα μπορεί να στέλνονται στις υψηλές συχνότητες, τα σήματα ελέγχου έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τις χαμηλές. Ένας διαφορετικός διαχωρισμός μπορεί να γίνει σε επίπεδο στρωμάτων. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα να προέρχονται από κοντινά small cells, ικανά για υψηλές ταχύτητες μεταφοράς, ή ακόμα και μέσω D2D επικοινωνίας και οι διαδικασίες ελέγχου να στέλνουν τις πληροφορίες διαμέσου του macrocell στρώματος. Εν αντιθέσει, σε περιπτώσεις MTC, ενδείκνυται η στενή συνάφεια μεταξύ control και data plane και την ελαχιστοποίηση της σηματοδότησης και της πληροφορίας που μεταφέρεται.

Οι υπηρεσίες αυτές έχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τους ελάχιστους ρυθμούς δεδομένων, την κάλυψη, το μέγεθος του πακέτου δεδομένων κλπ. Θα συνεχίσουν να διαχειρίζονται και να μοιράζονται τους ίδιους πόρους χρόνου –συχνότητας, πετυχαίνοντας αποτελεσματική χρήση του φάσματος. Κατά την εισαγωγή μιας νέας υπηρεσίας, δεν θα απαιτείται οπωσδήποτε η αγορά μιας νέας μπάντας φάσματος συχνοτήτων και η ανάπτυξη μιας συγκεκριμένης ασύρματης πρόσβασης, γιατί με τη χρήση της πέμπτης γενιάς τεχνολογίας θα μπορούσε να εισαχθεί μια καινούργια υπηρεσία με επαναχρησιμοποίηση των κοινών συνιστωσών, όπως, πιο αναλυτικά, είναι η διαχείριση της φορητότητας, η λειτουργικότητα και η δυναμική εξάπλωση ραδιοσυχνοτήτων με την παρέλευση του χρόνου.



## 2.4 <Συμπεράσματα και μελλοντικές εξελίξεις>

Οι τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) διεισδύουν ολοένα και περισσότερο στη ζωή των ανθρώπων, συνυπάρχουν σχεδόν σε κάθε προϊόν και υπηρεσία και είναι ελάχιστες οι παραγωγικές εργασίες που πραγματοποιούνται πλέον χωρίς τη συμβολή τους. Οι ΤΠΕ επεκτείνουν την παρουσία τους πέρα από τη βιομηχανική παραγωγή και την υποστήριξη της Διοίκησης των επιχειρήσεων στους τομείς της πρωτογενούς παραγωγής, όπως για παράδειγμα στην αγροτική παραγωγή, στις μεταφορές και τις υπηρεσίες υγείας. Ακόμη εξελίσσονται με ταχείς ρυθμούς, καθώς αποτελούν έναν από τους βασικούς τομείς έρευνας που συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον των ερευνητών διεθνώς. Σ' αυτό συμβάλλει και η ταχεία αξιοποίηση των επιτευγμάτων της επιστημονικής έρευνας από τις επιχειρήσεις που παράγουν και διαθέτουν σχετικά προϊόντα και υπηρεσίες.

Η Ευρώπη βρίσκεται αντιμέτωπη με οικονομικές και κοινωνικές προκλήσεις, όπως η γήρανση του πληθυσμού, η κοινωνική συνοχή, η βιώσιμη ανάπτυξη. Η εισαγωγή των ψηφιακών τεχνολογιών στην οικονομική και κοινωνική ζωή αποτελεί το κλειδί για την αντιμετώπισή των προαναφερόμενων προκλήσεων. Οι υποδομές δικτύων 5G θα είναι ένα βασικό εργαλείο για την υποστήριξη αυτού του κοινωνικού μετασχηματισμού, που θα οδηγήσουν την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, η οποία με τη σειρά της θα επηρεάσει πολλαπλούς τομείς.

Η καθιέρωση της 5G τεχνολογίας αναμένεται να αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας των σύγχρονων δικτύων, αφού παρουσιάζει σημαντικά οφέλη σε σύγκριση με τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες. Θα βελτιώσει τον τρόπο με τον οποίο οποιαδήποτε φορητή συσκευή διατηρείται σε σύνδεση με τους servers από τους οποίους αντλεί δεδομένα, γεγονός που θα έχει αντίκρυσμα στις διαδικτυακές βιντεοκλήσεις, αλλά και στην αναπαραγωγή βίντεο απευθείας από το Διαδίκτυο, που θα πραγματοποιούνται χωρίς να παγώνει η εικόνα. Επίσης, θα ικανοποιήσει άλλες αναγκαιότητες, είναι το γεγονός ότι θα έχει 1.000 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα σημερινά δίκτυα. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό στην περίπτωση των πυκνοκατοικημένων περιοχών, όπου συχνά παρέχεται πρόσβαση στο Διαδίκτυο σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, με συνέπεια τα σημερινά δίκτυα να δυσκολεύονται να ανταπεξέλθουν, με την περιορισμένη τους χωρητικότητα.

Εν κατακλείδι, ο στόχος του mobile Internet 5<sup>ης</sup> γενιάς είναι να δώσει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει πρόσβαση στο Web και στις διασυνδεδεμένες συσκευές του από οποιοδήποτε τερματικό, χωρίς αυτό να σημαίνει πως οι ενσύρματες συνδέσεις θα σταματήσουν να παίζουν κι αυτές σημαντικό ρόλο στη δικτύωση. Απλώς αναμένεται να περιοριστεί ο ρόλος του με την πάροδο του χρόνου.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 30: <ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟΚΥΨΕΛΕΣ>

---

---

## 3.1 <Εισαγωγή>

Η έννοια των small cells ή αλλιώς μικροκυψέλες δημιουργήθηκε για να συμπληρώσει αυτή του macro στρώματος σε τέτοια σημεία όπου το σήμα της macrocell κεραίας δεν επαρκεί και το μέλλον τους φαντάζει λαμπρό καθώς θα διαδραματίσει βασικό ρόλο στα νέα συστήματα κινητών δικτύων. Είναι κοινά αποδεκτό και παρατηρείται έντονα στις μέρες μας πως αρκετές επιχειρήσεις και νοικοκυριά έχουν αρκετά προβλήματα κάλυψης μέσα στα κτίρια καθώς επίσης και προβλήματα με την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων. Τα small cells μπορούν να βοηθήσουν στα παραπάνω προβλήματα προσφέροντας μεγαλύτερης χωρητικότητας δίκτυα και δημιουργώντας ένα αναβαθμισμένο δίκτυο με λιγότερους κινδύνους και οικονομικές επιβαρύνσεις. Με την αρχιτεκτονική των μικροκυψελών θα προκύψουν καινούργιες λύσεις χαμηλού κόστους για πληρέστερη κάλυψη δικτύου στο εσωτερικό των κτιρίων και επιπλέον θα βελτιωθεί σε σημαντικό βαθμό η ποιότητα των υπηρεσιών και θα αυξηθεί αισθητά η χρήση υπηρεσιών δεδομένων από τους παρόχους κινητών υπηρεσιών και όλα αυτά αξιοποιώντας την αρχιτεκτονική των small cells.

## 3.2 <Τι είναι το small cell?>

Τα small cells είναι κόμβοι κυψελοειδούς ασύρματης πρόσβασης με χαμηλή ισχύ που λειτουργούν σε φάσμα αδειοδοτημένων και χωρίς άδεια χρήσης που κυμαίνεται από 10 μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα. Είναι γνωστό πως είναι πολύ μικρότερα σε σχέση με ένα macrocell και αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι έχουν μικρότερο εύρος και επειδή χειρίζονται εν μέρει λιγότερες κλήσεις ή συνεδρίες που έρχονται ταυτόχρονες. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι αξιοποιούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το διαθέσιμο φάσμα,

επαναχρησιμοποιώντας τις ίδιες συχνότητες πολλές φορές σε μια γεωγραφική περιοχή. Όλο και περισσότεροι νέοι χώροι macrocell που κατασκευάζονται με μεγαλύτερο αριθμό small cells αναγνωρίζονται ως μια σημαντική μέθοδος αύξησης της χωρητικότητας, της ποιότητας και της αυθεντικότητας του κυτταρικού δικτύου με μια αυξανόμενη εστίαση χρησιμοποιώντας LTE. Τα small cells περιλαμβάνουν τα femtocells, τα picocells και τα microcells. Τα δίκτυα των small cells μπορούν επίσης να υλοποιηθούν μέσω της κατανεμημένης ραδιοφωνικής τεχνολογίας που χρησιμοποιεί κυρίως κεντρικές μονάδες βασικής ζώνης και απομακρυσμένες ραδιοφωνικές κεφαλές. Η τεχνολογία beamforming (εστιάζοντας ένα ραδιοσήμα σε μια πολύ συγκεκριμένη περιοχή) μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω ή να εστιάσει την κάλυψη των μικρών κυττάρων. Οι παραπάνω προσεγγίσεις σε small cells κατευθύνονται από κεντρική διαχείριση μέσω διαφόρων φορέων εκμετάλλευσης κινητών δικτύων.

### **3.3 <Πως τα small cells θα ταιριάζουν στην επανάσταση 5G?>**

Όπως ήδη προαναφέραμε, η πέμπτη γενιά δικτύων ή αλλιώς 5G θα παρέχει αυξημένη χωρητικότητα δεδομένων, χαμηλότερη καθυστέρηση και κυρίως μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί το 5G δίκτυο δεν πρόκειται να αντικαταστήσει το 4G, απλώς θα επιτρέπει μια μεγαλύτερη ποικιλία εφαρμογών που το 4G δίκτυο δεν μπορεί να εκτελέσει στις μέρες μας. Το δίκτυο 4G όπως και τα small cells θα εξακολουθήσουν να προχωρούν παράλληλα με το 5G δίκτυο. Τα small cells θα βοηθήσουν τη μετάβαση από την pro-5G/LTE-Advanced Pro (LTE-A Pro) διότι:

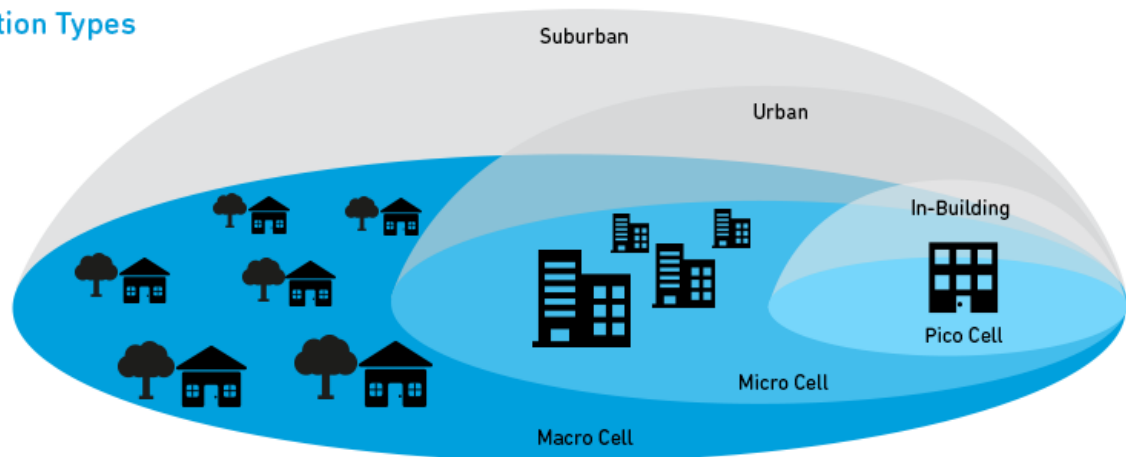
- Παρέχουν αυξημένη χωρητικότητα δεδομένων και πολλαπλές υπηρεσίες υποστήριξης αιχμής με αποτέλεσμα να εξαλείφουν τα ακριβά συστήματα στέγης και τα έξοδα εγκατάστασης, γεγονός που μειώνει το συνολικό κόστος.
- Βελτιώνουν την απόδοση των κινητών τηλεφώνων. Εάν το κινητό σας τηλέφωνο βρίσκεται πιο κοντά σε ένα small cell σταθμό βάσης, μεταδίδει σε χαμηλότερα επίπεδα ισχύος, γεγονός που μειώνει ουσιαστικά την συνολική ισχύ από το κινητό σας τηλέφωνο και αυξάνει σε ικανοποιητικό βαθμό τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Μεγάλη συζήτηση έχει πραγματοποιηθεί σήμερα ότι το πραγματικό 5G πρόκειται να λειτουργεί σε υψηλότερο εύρος ζώνης συχνοτήτων όπως 28 GHz ή 39 GHz. Τα small cells θα είναι επίσης σε αυτές τις mmWave συχνότητες και αυτό διότι τα σήματα δεν μπορούν να διαπεράσουν τοίχους ή κτίρια με αποτέλεσμα τα small cell να έχουν ακτίνα κάλυψης μικρότερη από 500 μέτρα. Τέλος, σύμφωνα πάντα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, σε λίγα χρόνια ενδέχεται να υπάρξει μια επικάλυψη κάτω από τους δρόμους για το 5G δίκτυο, ακριβώς από πάνω από τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα για τα small cells.

### **3.4 <Διαφορές και χαρακτηριστικά των macrocells, picocells και femtocells>**

- Η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός macrocell σταθμού βάσης έχει υψηλό κόστος και προϋποθέτει αρκετά απαιτητικό σχεδιασμό. Ακόμη, για την καλύτερη εξυπηρέτηση χρηστών οι οποίοι βρίσκονται στο εσωτερικό ενός κτιρίου, απαιτεί αύξηση της ισχύς μετάδοσης του small cell σταθμού βάσης με στόχο να καλύψει την απώλεια που θα προκύψει εξαιτίας των εξωτερικών τοιχωμάτων.
- Τα picocells ή relaying κόμβοι παρέχουν πιο αξιόπιστες και αποδοτικές λύσεις για την αξιολογη εσωτερική κάλυψη σε σύγκριση με τα macrocells. Παρ' όλα αυτά, όμως, παρατηρείται ότι είναι πιο ακριβές και χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιπτώσεις όπως οικιακά δίκτυα ή εταιρικά γραφεία.
- Τα femtocells είναι μια καλή εσωτερική λύση και σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είναι φθηνότερη και έχει το προνόμιο να είναι διαθέσιμα για εγκατάσταση από τους ίδιους τους χρήστες. Παράλληλα, βελτιώνουν και την απόδοση του στρώματος macrocell και προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας στα τερματικά. Αυτό, επιτυγχάνεται διότι οι διαρροές μετάδοσης εξαιτίας των τοιχωμάτων προς το εσωτερικό femtocell είναι πολύ πιο μικρές σε σχέση με την διαδρομή προς τον εξωτερικό σταθμό βάσης του macrocell, και έτσι η συνολική απαιτούμενη ισχύς εκπομπής ελαχιστοποιείται σε σημαντικό βαθμό. Τέλος, με την προσθήκη ενός στρώματος femtocell παρατηρείται σημαντική αύξηση στη συνολική χωρητικότητα του δικτύου.

## Base Station Types



Cell Type	Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Femtocell	0.001 to 0.25	0.010 to 0.1	1 to 30	Indoor
Pico Cell	0.25 to 1	0.1 to 0.2	30 to 100	Indoor/Outdoor
Micro Cell	1 to 10	0.2 to 2.0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell	10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

QORVO

Τα femtocells, σε σύγκριση πάντα με τα picocells, είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο του παροχέα διαμέσω ευρυζωνικής σύνδεσης των χρηστών. Το femtocell είναι ένας ανεξάρτητος σταθμός βάσης και μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο κορμού, χρησιμοποιώντας IP διεύθυνση. Σύμφωνα με το παραπάνω και για να εξακολουθήσει να υπάρχει αυτονομία, το femtocell έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζεται μόνο του, κάτι που με το picocell δεν συμβαίνει διότι πρέπει να ρυθμίζεται από τον πάροχό του. Έτσι, αυτό αποδεικνύει πως η διασύνδεση ανάμεσα στο femtocell και στο βασικό δίκτυο οφείλει να μην είναι σύνθετη, δηλαδή να είναι λιτή έτσι ώστε να μην υπάρξει καμία ανάγκη κινητοποίησης από τον εκάστοτε πάροχο. Όσο αφορά τώρα την εγκατάσταση, είναι γνωστό πως οι ίδιοι οι πελάτες κάνουν εγκατάσταση των femtocells μέσα στο σπίτι τους, κάτι που δεν συμβαίνει με τα picocells, τα οποία εγκαθίστανται από εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο έχει πραγματοποιήσει αναλυτική σχεδίαση και μελέτη προτού ξεκινήσει την εγκατάσταση. Γι'αυτό το λόγο η εγκατάσταση που θα πραγματοποιείται από το χρήστη θα πρέπει να είναι όσο πιο απλούστερη γίνεται και αν είναι εφικτό ο χρήστης να συνδέει μόνο την παροχή ρεύματος και το femtocell στην ευρυζωνική του σύνδεση. Παρ'όλα αυτά, όμως, το να



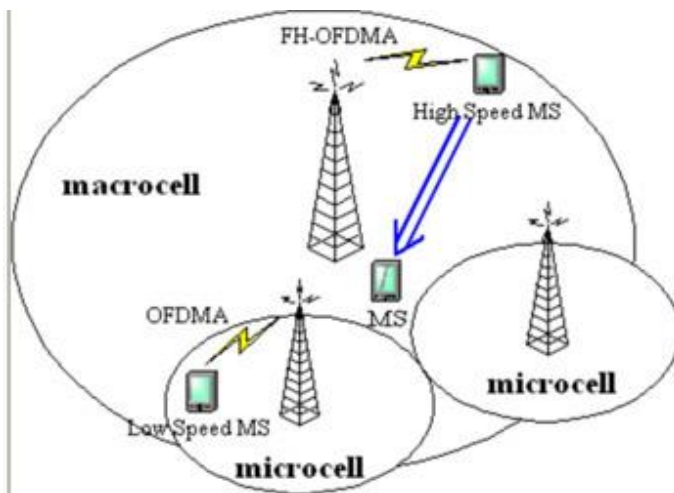
ρυθμίζεται μόνο του ένα femtocell είναι πολύ σπουδαίο, διότι αν έχουν δημιουργηθεί πάρα πολλά femtocells, οι επιχειρήσεις δεν θα μπορούν να ανταπεξέλθουν οικονομικά την τροποποίηση των παραμέτρων όλων των femtocells, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η παρεμβολή με τα macrocells. Από την άλλη μεριά, όμως, αυτό δε συνεπάγεται ότι τα femtocells δε μπορούν να αναπτυχθούν από τους ίδιους τους παρόχους, επιλέγοντας μάλιστα και μια αρχιτεκτονική όμοια με αυτή των picocells, οπότε και ασπάζεται η λειτουργία δημόσιας πρόσβασης, και εγκαθίστανται πολλά femtocells για να διασφαλιστεί η πλήρης κάλυψη. Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό όφελος των femtocells είναι η εξομοίωσή τους με ένα γκρουπ χρηστών ενός σπιτιού για παράδειγμα ή μιας εταιρίας. Οι εκάστοτε χρήστες έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούν υπηρεσίες οι οποίες ωφελούνται από την ατομικότητα των femtocells και από διάφορα πακέτα υπηρεσιών που θα είναι πιο παραγωγικά σε σύγκριση με το αν οι υπηρεσίες παρέχονταν από περισσότερους από έναν πάροχο. Το femtocell μπορεί να λειτουργήσει επίπλέον και ως κεντρικό σημείο για να πραγματοποιηθεί η σύνδεση όλων των συσκευών σε ένα διακομιστή στο σπίτι και να ενεργεί ως πύλη για τη σύνδεση όλων των παραπάνω συσκευών στο Internet.

### **3.5 <Λειτουργικότητα των macrocells, microcells, picocells και femtocells>**

#### **3.5.1 <Macrocells>**

Μία Macrocell είναι μία κυψέλη σε ένα δίκτυο κινητής επικοινωνίας ή τηλεφωνίας, που παρέχει ραδιοκάλυψη και εξυπηρετείται από ένα υψηλής ισχύος σταθμό βάσης, που ονομάζεται πύργος. Γενικά, οι Macrocells παρέχουν μεγαλύτερη κάλυψη σε σχέση με αυτή που παρέχουν οι Microcells. Οι κεραιές για τις Macrocells κυψέλες είναι τοποθετημένες σε διάφορα μέρη, όπως για παράδειγμα είναι οι επίγειες κεραιές, σε αρκετές στέγες και σε άλλες υπάρχουσες δομές, σε μεγάλο ύψος, που διασφαλίζει μία σαφή άποψη, πάνω από τα γειτονικά κτίρια, αλλά και πολύ πιο πάνω από το έδαφος. Ένας σταθμός βάσης μίας Macrocell περιλαμβάνει ιπποδύναμη δεκάδων Watt, με συνέπεια να αποτελεί σχετικά πράσινη λύση. Η απόδοση της Macrocell μπορεί να μεγαλώσει με την αύξηση της αποτελεσματικότητας του λήπτη, γεγονός όμως που είναι ιδιαίτερα δύσκολο. Ο όρος Macrocell χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ευρύτερο

φάσμα, όσον αφορά το μέγεθος των κυψελών. Οι Macrocells βρίσκονται συνήθως σε αγροτικές περιοχές ή κατά μήκος των εθνικών οδών, με πρωταρχικό σκοπό την κάλυψη των επαρχιακών περιοχών με σήμα για να πραγματοποιούνται κλήσεις και μετάδοση δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, η Microcell είναι μια μικρότερης περιοχής κυψέλη η οποία χρησιμοποιείται σε μία πυκνοκατοικημένη αστική περιοχή. Για παράδειγμα θα μπορούσε να υπάρχει στο κέντρο μίας μεγάλης πόλης, όπως είναι για παράδειγμα η Θεσσαλονίκη. Θα μπορούσε να υπάρχει μία στο κεντρικότερο σημείο αυτής, δηλαδή την πλατεία Αριστοτέλους ή στην Τσιμισκή. Οι Picocells χρησιμοποιούνται για τις περιοχές, που απαιτούν λύσεις, ακόμα μικρότερες από τις Microcells. Ένα παράδειγμα της χρήσης τους, θα ήταν μία μεγάλη εταιρία, ένα εμπορικό κέντρο, ή ένας σιδηροδρομικός σταθμός, που διακινούνται εκατοντάδες άνθρωποι καθημερινά. Επί του παρόντος, η μικρότερη περιοχή κάλυψης, που μπορούν να εφαρμοστεί είναι αυτό του Femtocell και περιλαμβάνει ένα σπίτι ή μικρό γραφείο.



### 3.5.2 <Microcells>

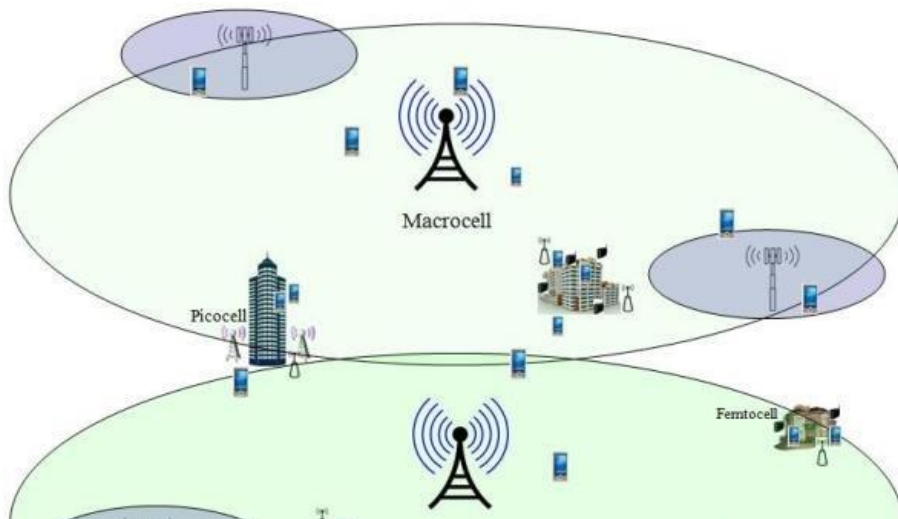
Μία Microcell είναι μία κυψέλη σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, που εξυπηρετείται από ένα χαμηλής ισχύος σταθμό βάσης τον λεγόμενο, πύργο, η οποία καλύπτει μία περιορισμένη γεωγραφικά περιοχή, όπως ένα εμπορικό κέντρο, ένα ξενοδοχείο ή ένα καθορισμένο κομβικό σημείο. Μία Microcell είναι, συνήθως, μεγαλύτερη 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. 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 κ.λπ. 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 απαράδεκτο επίπεδο παρεμβολών.

### **3.5.3 <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 Special Mobile), ο σταθμός βάσης της Picocell είναι, συνήθως, μία χαμηλού κόστους, μικρή, απλή μονάδα, που συνδέεται με έναν ελεγκτή σταθμού βάσης (Base Station Controler-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. 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.

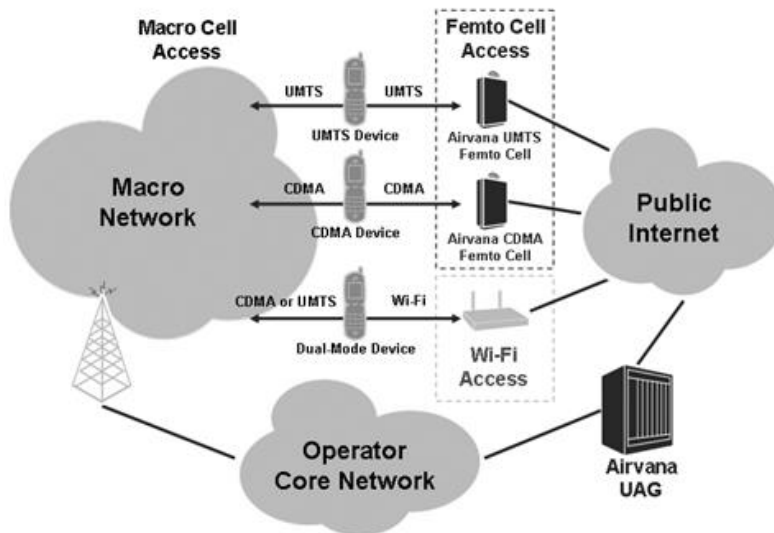


### 3.5.4 <Femtocells>

Μία Femtocell είναι μία μικρή κυψέλη, χαμηλής ισχύος του σταθμού βάσης κινητής τηλεφωνίας, συνήθως, σχεδιάζεται για χρήση στο σπίτι ή σε μικρές εταιρίες. 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. Η λειτουργία της femtocell είναι να αφομοιώνει την λειτουργικότητα ενός σταθμού βάσης. Ένα femtocell λειτουργεί ως ένα σημείο που παρέχει πρόσβαση Wi-Fi. Ακόμη, εμπεριέχει αρκετά γνωρίσματα λειτουργικότητας RNC (Radio Network Controller) στην περίπτωση του GSM. Γι' αυτόν τον λόγο, δεν χρειάζεται η υπόσταση macrocell δικτύου, αλλά απαιτείται μόνο σύνδεση δεδομένων DSL, μέσω του οποίου συνδέεται με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και επικοινωνίας. Όπως προαναφέρθηκε, ένα femtocell λειτουργεί ως ένα σημείο πρόσβασης Wifi (Wifi Access Point), παρ'όλα αυτά, όμως, στο εσωτερικό του διαφέρει κατά πολύ αφού και υλοποιεί τεχνολογίες Wifi (πρότυπα IEEE 802.11b, 802.11g και 802.11n), αλλά και υλοποιεί τεχνολογίες όπως GSM / GPRS / EDGE, UMTS / HSPA / LTE / LT-A και mobile WiMAX (IEEE 802.16e). Επιπρόσθετα, για να διασφαλιστεί με επιτυχία η ελάχιστη δυνατή παρεμβολή στα macrocells και στα γειτονικά femtocells, το femtocell οφείλει να είναι σε θέση να ρυθμίζει αυτόματα τις παραμέτρους του. Αυτή η αυτόματη ρύθμιση του χωρίζεται σε δύο φάσεις. Στην

πρώτη φάση βρίσκεται η αίσθηση του περιβάλλοντος (sensing), που γίνεται σε γενικές γραμμές διαμέσω σάρωσης και στη δεύτερη φάση βρίσκεται η αυτό-ρύθμιση όπως αποκαλείται, στην οποία διαχειρίζονται παράμετροι όπως για παράδειγμα η ισχύς μετάδοσης, η κατανομή πόρων κ.λπ. Κυρίως τα femtocells χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: της σχετικά μικρής κλίμακας, η οποία μπορεί να υποστηρίξει από 3 έως 8 ταυτόχρονους χρήστες, και της μεγαλύτερης κλίμακας, όπου μπορεί να υποστηρίξει από 8 έως και 16 χρήστες και συμβαίνει συχνά σε μεγάλες εταιρίες. Παρ' όλα αυτά, όμως, οι παραπάνω αριθμοί δεν είναι περιοριστικοί αν ληφθεί υπόψιν το περιορισμένο εύρος ζώνης που υπάρχει στο ADSL uplink. Ακόμη, να επισημάνουμε πως κάθε συνδρομητής ενός femtocell είναι ένας απλός και νόμιμος χρήστης όπου είναι εγγεγραμμένος σε αυτό και είναι τις περισσότερες φορές τα κινητά τερματικά του εκάστοτε ιδιοκτήτη του femtocell ή των τερματικών των συγγενών του όσον αφορά στην περίπτωση σπιτιού ή συναδέλφων του όσον αφορά στην περίπτωση εταιρικού femtocell και κάθε χρήστης ονομάζεται facto χρήστης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των femtocells είναι η πολιτική που καθορίζει τα δικαιώματα πρόσβασης στους χρήστες που βρίσκονται εντός της εμβέλειάς τους. Υπάρχουν τρεις πιθανές λειτουργίες πρόσβασης. Τα femtocells ανοιχτής πρόσβασης, ιδιωτικής πρόσβασης και υβριδικής πρόσβασης. Στα femtocells ανοιχτής πρόσβασης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί ακόμα και αν δεν είναι ιδιοκτήτης ή συνδρομητής της υπηρεσίας femtocell. Σε αυτήν την περίπτωση ωφελούνται οι χρήστες σε εξωτερικούς χώρους, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα κοντινά femtocells, ελαχιστοποιώντας έτσι τη συνολική χρήση των πόρων του συστήματος (ισχύς, συχνότητα), με συνέπεια και τις παρεμβολές. Στην ιδιωτική πρόσβαση, από την άλλη πλευρά, μόνο μια λίστα εγγεγραμμένων χρηστών – συνδρομητών μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ένα femtocell. Αφού τα femtocells είναι συνήθως ιδιωτικά και η κίνησή τους περνά από τη σύνδεση της οικίας του χρήστη-συνδρομητή, ο συγκεκριμένος τύπος πρόσβασης είναι και ο κυρίαρχος για χρήση μέσα στις κατοικίες. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι συνδρομητές δε μοιράζονται τους πόρους, έχει ως αποτέλεσμα να απολαμβάνουν τη βέλτιστη κάλυψη και ρυθμό μετάδοσης που τους προσφέρει το femtocell και δεν καταπιέζεται η σύνδεσή τους από την εξυπηρέτηση κίνησης αγνώστων. Στην υβριδική πρόσβαση αφενός γίνεται προσπάθεια να σεβαστεί τον ιδιοκτήτη femtocell που έχει πληρώσει για αυτό, αλλά και για την ευρυζωνική σύνδεση με

το Διαδίκτυο την οποία χρησιμοποιεί το femtocell, αφετέρου, προσπαθεί να αποφύγει τον στραγγαλισμό σε κοντινούς χρήστες μέσα στην εμβέλεια των femtocells. Έτσι, επιλέγεται κάτι μεταξύ λειτουργίας κλειστής και ανοιχτής πρόσβασης ανάλογα πάντα τις περιβάλλουσες συνθήκες. Γι' αυτό το λόγο το femtocell θα μετατρέπεται από κλειστής πρόσβασης σε ανοιχτής, αλλά συνηθέστερα στο πεδίο της συχνότητας, όπου μη συνδρομητές δικαιούνται πρόσβαση μόνο σε ένα μέρος και μάλιστα του διαθέσιμου φάσματος. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως τα femtocells μπορούν να καταταχθούν και με βάση την τεχνολογία που έχουν υλοποιηθεί, συγκεκριμένα ως: UMTS femtocell, GSM femtocell, WiMAX femtocell, κ.λπ.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4Ο: < ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ >

---

Η συγκεκριμένη εργασία διεξάγει την ανάλυση σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης της τεχνολογίας 5G στο υπάρχον δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 4G στη ρύθμιση μονοπωλίου και διερευνώνται καθώς και προτάσσονται διάφορες τεχνικές μετάδοσης μικροκυβελών σε δίκτυα νέας γενιάς. Μια προσέγγιση η οποία αναλύει πλήρως τα πλεονεκτήματα, την κάλυψη, τη χωρητικότητα και την απόδοση των νέων δικτύων για διαφορετικά σενάρια χρησιμοποιώντας διάφορες κατηγορίες σταθμών βάσης. Η έλευση του 5G αναμένεται να συμβάλει στη δημιουργία της παγκόσμιας συνδεδεμένης ψηφιακής κοινωνίας. Η σύγκλιση των ICT υποδομών ήδη οδηγεί τις καινοτομίες και την ανάπτυξη. Οι νέες τεχνολογίες πρέπει να είναι ανθρωποκεντρικές διασυνδέοντας τους πάντες με τα πάντα επιτυγχάνοντας το επονομαζόμενο Internet of Things. Ακόμη βασικότερο πλεονέκτημά της, το οποίο θα ικανοποιήσει άλλες αναγκαιότητες, είναι το γεγονός ότι θα έχει όπως επισημάναμε 1.000 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα σημερινά δίκτυα. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό στην περίπτωση των πυκνοκατοικημένων περιοχών, όπου συχνά παρέχεται πρόσβαση στο Διαδίκτυο σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, με συνέπεια τα σημερινά δίκτυα να δυσκολεύονται να ανταπεξέλθουν, με την περιορισμένη τους χωρητικότητα. Επιπρόσθετα, κύριος πυλώνας του 5G δικτύου θα είναι ο υπερκερασμός απειλών για την ασφάλεια μέσω της διασφάλισης των δεδομένων, της αξιοπιστίας και της ακεραιότητας. Η ασφάλεια δικτύου και η ιδιωτικότητα σε όλα τα εικονικά, Software-defined δίκτυα (SDN) όσο και στα ετερογενή δίκτυα θα εξασφαλίζεται μέσω ευφώνων μηχανισμών ασφαλείας και big data αναλύσεων για την ενδυνάμωση του 5G δικτύου. Η ολοκλήρωση των ετερογενών τεχνολογιών θα είναι διαφανής και «έξυπνη» τόσο σε επίπεδο πρόσβασης όσο και σε επίπεδο backhaul. Μια παράμετρος που επίσης θα βελτιώσει η τεχνολογία 5G, περιορίζοντας παράλληλα την ενεργειακή κατανάλωση των συσκευών με σύνδεση στο Internet, αλλά και των ίδιων των δικτύων. Επιπλέον, εντοπίσαμε την έλλειψη δικτύου επόμενης γενιάς ως περιορισμένη κάλυψη από λύσεις small



cells όπως τα femtocells, τα picocells που αναπτύσσονται με mmW και το Wi-Fi. Από την άλλη, έχουμε την έλλειψη περιορισμών της ικανότητας που σχετίζονται με τους macro σταθμούς. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση, θα είναι απαραίτητο οι φορείς να διερευνήσουν τις συνεταιριστικές διατάξεις των macro σταθμών με femtocells, pico σταθμούς βάσης 5G mmW ή προηγμένα AP Wi-Fi, όπως το IEEE 802.11ac, για να επιτύχουν τους συμβιβασμούς και τις συνέργειες μεταξύ κόστους, ικανότητας και κάλυψης. Για την εκπλήρωση των στόχων των δικτύων πέμπτης γενιάς πρέπει να επιλεγούν οι κατάλληλες αρχιτεκτονικές συμπληρωμένες από τις κατάλληλες τεχνολογίες. Η έλλειψη επαρκών πόρων φάσματος ώθησε τις υπάρχουσες έρευνες για τα δίκτυα πέμπτης γενιάς, στην αρχιτεκτονική της έντονης πύκνωσης των κυψελών, που σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες mmWave και Massive MIMO –τεχνολογίες που δεν αναλύθηκαν στην υπάρχουσα εργασία- μπορούν να επιφέρουν μεγάλο όφελος τόσο για τους χρήστες όσο και για τους παρόχους του δικτύου. Η έντονη πύκνωση των κυψελών του δικτύου σημαίνει μείωση της έκτασης κάλυψης που αντιστοιχεί σε κάθε κυψέλη, αύξηση του συνολικού αριθμού των κυψελών του δικτύου, και κατ' επέκταση αύξηση της δυνατής χωρητικότητας του δικτύου, αφού γίνεται μεγαλύτερη επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, μείωση του μεγέθους των σταθμών βάσης, άρα λιγότερο κόστος εγκατάστασης και καταναλισκόμενης ενέργειας. Στην αύξηση της χωρητικότητας μπορεί να συμβάλει και η mmWave τεχνολογία, που στόχο έχει την αύξηση των φασματικών πόρων χρησιμοποιώντας περιοχές του φάσματος που μέχρι πρότινος δεν χρησιμοποιούνταν στις επικοινωνίες, τόσο για την εξυπηρέτηση των χρηστών όσο και για την υλοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ των σταθμών βάσης. Σε συνδυασμό με την τεχνολογία του Massive MIMO, μπορούν να ξεπεραστούν εμπόδια, όπως η μικρές αποστάσεις διάδοσης και η απώλεια διαδρομής, που χαρακτηρίζουν την mmWave τεχνολογία. Όσον αφορά αυτήν την αρχιτεκτονική, διαπιστώθηκε ότι οι ασύρματες backhaul και fronthaul τεχνολογίες αντιμετωπίζουν νέες προκλήσεις όπως η αύξηση της δυναμικότητας κατά 1000 φορές, η πύκνωση των small cells και μια σημαντική μείωση της επιτρεπόμενης καθυστέρησης μέχρι 1 ms από άκρο σε άκρο. Αυτή τη στιγμή πολλά ερευνητικά προγράμματα είναι σε εξέλιξη προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτά τα εμπόδια, ώστε τα κινητά δίκτυα πέμπτης γενιάς να μην μείνουν μόνο ένα

ουτοπικό σενάριο αλλά όλοι εμείς το 2020 να γίνουμε μάρτυρες της απόλυτης εμπειρίας χρήσης των δικτύων πέμπτης γενιάς.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

## Βιβλία:

[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 Berlin Heidelberg, 2014

[2] Χρήστος Ι.Μπούρας, Πανεπιστημιακές σημειώσεις , μάθημα: Ευρυζωνικές Τεχνολογίες, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2015.

[3] Χρήστος Ι.Μπούρας, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, μάθημα: Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2017.

## Δημοσιεύσεις:

[4] Expert Working Group. What is 5G (really) about? Technical report, NetWorld 2020 ETP, 2014.

[5] Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile, GSMA Intelligence

[6] METIS Deliverable D3.1 «5G spectrum scenarios, requirements and technical aspects for bands above 6 GHz», 2016-05-31

[7] Διδακτορική Διατριβή, Γεώργιος Δηλές, [Τεχνικές Ανάπτυξης και Βελτιστοποίησης Ετερογενών Κινητών Δικτύων Επόμενης Γενιάς Βασισμένα σε Μικροκυψέλες](#), Πάτρα, 2017

## URLs:

[8] Ericsson White paper, “LTE release 13, Expanding The Networked Society”, Uen 284 23-8267, April 2015.

[9] Ericsson, 5G radio access –capabilities and technologies, Ericsson White paper, April 2016, <https://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-5g.pdf>.

[10] R4-093349, Femtocell and Macrocell interference coordination based on SFR, Motorola.

[11] 5G radio access:

<http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/wp-5g.pdf>.

[12] NGMN Alliance, “5G White Paper”, February 2015.

[13] <http://en.wikipedia.org/wiki/Macrocell>

[14] <http://en.wikipedia.org/wiki/Microcell>

[15] <http://en.wikipedia.org/wiki/Picocell>

[16] <http://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell>

[17] <http://en.wikipedia.org/wiki/5G>

[18] H. Marshoud, H. Otrouk, H. Barada, Macrocell–femtocells resource allocation with hybrid access motivational model, Physical Communication, Volume 11, June 2014, Pages 3-14, ISSN 1874-4907, <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2013.12.001>

[19] ‘Femtoforum,’ <http://www.femtoforum.org>.

[20] Samsung White Paper. 5G Vision, February 2015. <http://www.samsung.com/global/business-images/insights/2015/Samsung-5G-Vision-0.pdf>

[21] Huawei White Paper. 5G: A Technology Vision, 2013. <http://www.huawei.com/5gwhitepaper>

Αναφορές:

Πρότυπα: