



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**  
*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*  
**<ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ>**

---

*<UD/SMALL CELLS, UDD, SMALL-  
CELLS , FEMTOCELLS, PICOCELLS,  
MICROCELLS>*

---

**<ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ>**

**A.M <1058087>**

*ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ*

**ΠΑΤΡΑ 2020**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ SMALL CELLS.....	2
2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ SMALL CELL.....	2
2.2 ΣΥΝΔΕΣΗ SMALL CELLS ΜΕ ΤΟ ΝΕΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G .....	2
2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ SMALL CELLS.....	3
2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ.....	7
3.1 MACROCELLS.....	7
3.2 MICROCELLS.....	8
3.3 PICOCELLS.....	9
3.4 FEMTOCELLS.....	10
3.5 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ.....	11
MACROCELLS, PICOCELLS, FEMTOCELLS.....	
3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ.....	12
MACROCELLS, PICOCELLS, FEMTOCELLS, MICROCELLS.....	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΚΤΥΟ 5 G.....	16
4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	16
4.2 ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΒΟΛΗ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΝΙΑΣ.....	20
4.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΕΡΧΟΜΟ ΤΟΥ 5G..	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟ ΟΡΑΜΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	26
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	29

## <AKPΩNYMIA>

UD: ULTRA DENSE

UDD: ULTRA DENSE DEPLOYMENT

4G: FOURTH GENERATION

5G: FIFTH GENERATION

BS: BASE STATION

UE: USER EQUIPMENT

LTE: LONG TERM EVOLUTION

LTEA: LONG TERM EVOLUTION ADVANCED

GSM: GLOBAL SYSTEM MOBILE COMMUNICATION

UMTS: UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM

AP: ACCESS POINT

C-RAN: CLOUD NETWORK ACCESS RADIO

CoMP: COORDINANT MULTI POINT

GPRS: GENERAL PACKET RADIO SERVICE

HetNet: HETEROGENEOUS NETWORK

LAN: LOCAL AREA NETWORK

LTE: LONG TERM EVOLUTION

UMTS: UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM

UX: USER EXPERIENCE

VNF: VIRTUAL NETWORK FUNCTIONS

WAN: WIDE AREA NETWORK

SMS: SHORT MESSAGE SERVICE

QoS: QUALITY OF SERVICE

IoT: INTERNET OF THINGS

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: <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.[1] 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 small cell, καθώς 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 επιφανείας.[2] 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 αντιληφθούμε τι πραγματικά είναι ικανά να κάνουν ποια η σύνδεση τους με το 5G και ποια είναι η αρχιτεκτονική και η λειτουργικότητα τους.[3]*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: <ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ SMALL CELLS>

---

### 2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ 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.

### 2.2 ΣΥΝΔΕΣΗ SMALL CELLS ΜΕ ΤΟ ΝΕΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G

---

Όπως ήδη προαναφέραμε, η πέμπτη γενιά δικτύων 'η 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*.

## 2.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ SMALL CELLS

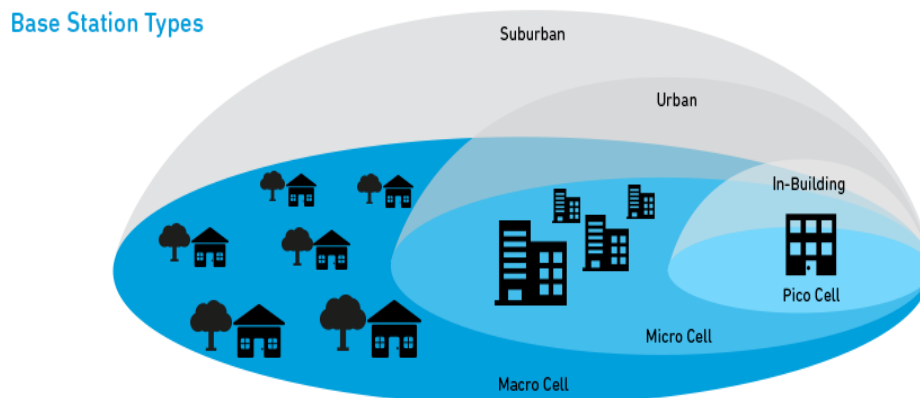
---

Όπως αναφέρθηκε κατ' επανάληψη στα παραπάνω εδάφια, τα *small cells* προσφέρουν δυνατότητες επέκτασης της χωρητικότητας του δικτύου με πυκνή εξυπηρέτηση συσκευών ασύρματης τηλεφωνίας, απόρροια του μικρού μεγέθους τους και της ευελιξίας που προσφέρουν. Έως ώρας, υπάρχουν τρεις διαφορετικές τεχνικές για την αύξηση της χωρητικότητας ενός δικτύου. Ο πρώτος τρόπος είναι η αγορά επιπλέον φάσματος συχνοτήτων, λύση όμως που καθίσταται κοστοβόρα για τον τηλεπικοινωνιακό φορέα του εκάστοτε δικτύου. Εναλλακτικά, θα μπορούσαμε να βελτιστοποιήσουμε το φάσμα συχνοτήτων και κατά συνέπεια να αυξήσουμε την αποδοτικότητά του. Η τρίτη και μάλλον επικρατέστερη επιλογή είναι η μέθοδος πυκνοποίησης του δικτύου (*Network Densification*), δηλαδή η προσθήκη επιπλέον μικροσκοπικών κυψελών στο ήδη πυκνό από υπάρχουσες κυψέλες φυσικό δίκτυο, αυξάνοντας κατ' επέκταση την χωρητικότητά του και προσφέροντας καλύτερη

εξυπηρέτηση σε δίκτυα με υψηλή συμφόρηση χρηστών. Στα πλεονεκτήματα των *small cells* έρχεται να προστεθεί η περαιτέρω κάλυψη και βελτιστοποίηση της εμπειρίας του χρήστη που βρίσκεται εντός του δικτύου αυξάνοντας τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ένα επιπλέον θετικό χαρακτηριστικό που δεν είχαμε αναφέρει έως ώρας είναι η σαφής βελτίωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας μιας συσκευής ασύρματης τηλεφωνίας, καθώς τα *small cells* έχουν μειωμένες απαιτήσεις στον τομέα της κατανάλωσης ενέργειας. Σε συνδυασμό με την χαμηλή τιμή στην οποία προσφέρονται, τα *small cells* θεωρούνται ως η πλέον αποδοτικότερη και συμφέρουσα λύση στην οποία θα βασιστούν και θα αναπτυχθούν τα Δίκτυα 5G.[9]

## 2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Στο σημείο αυτό, θα ήταν εύλογο να αναρωτηθεί κανείς που κρύβεται η 'παγίδα', μέσα σε όλο αυτό το πλήθος των πλεονεκτημάτων που προσφέρει η λύση των *small cells* εντός του δικτύου. Ας θεωρήσουμε το παρακάτω σενάριο: Ένας χρήστης κινητής τηλεφωνίας μένει σε μια περιοχή των προαστίων (*Suburban Area*). Κάθε πρωί λοιπόν, χρειάζεται να κάνει ένα ταξίδι και να μετακινηθεί από τα προάστια σε μια αστική περιοχή (*Urban Area*), ώστε να πάει στην δουλειά του. Ο χώρος εργασίας του βρίσκεται εντός μιας πολυκατοικίας μερικών ορόφων (*In-Building Area*). Μάλιστα, για να κατανοήσουμε καλύτερα το σκεπτικό του παραδείγματος, θα το αναπαραστήσουμε εικονικά, όπως και γίνεται στην Εικόνα 1.

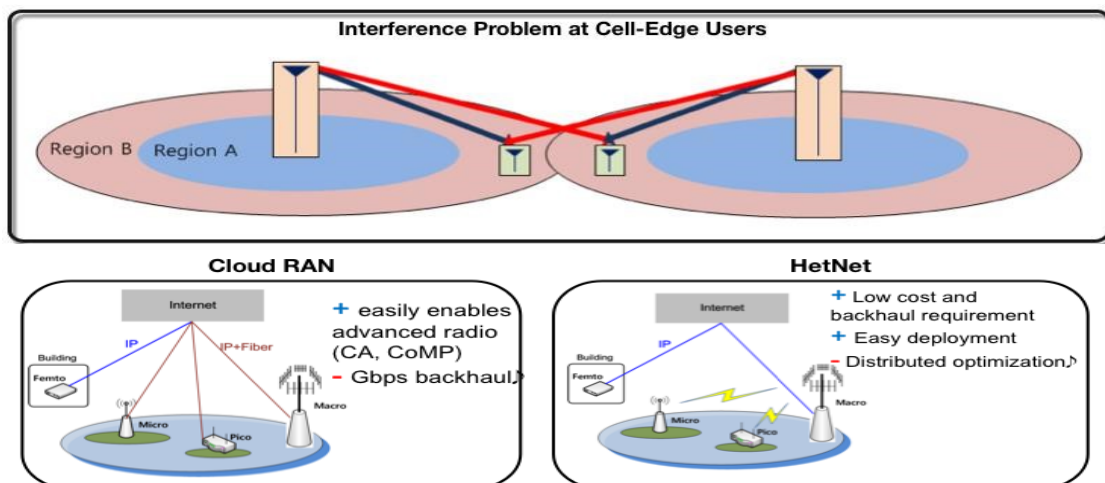


Εικόνα 1 , Περιοχή αξιοποίησης των *small cells*



Για τον παραπάνω χρήστη λοιπόν, που μετακινείται από περιοχή σε περιοχή, αλλάζει η γεωγραφική του θέση και συνεπώς (αλλάζει) και το ασύρματο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας το οποίο τον καλύπτει. Άρα, αλλάζει και το περιβάλλον των *small cells* και οι υπηρεσίες που τον εξυπηρετούν. Η αλλαγή του προφίλ του δικτύου για τον χρήστη αυτόν θα πρέπει να γίνεται άμεσα και να μην επιβαρύνεται περαιτέρω από μια κακή διαχείριση του δικτύου, όπως για παράδειγμα θα γινόταν με την διατήρηση της απομακρυσμένης σύνδεσης με τα προηγούμενα προφίλ δικτύου, γεγονός που θα επιβάρυνε την μπαταρία της συσκευής κινητής τηλεφωνίας του χρήστη και θα μείωνε αισθητά την ποιότητα των υπηρεσιών.

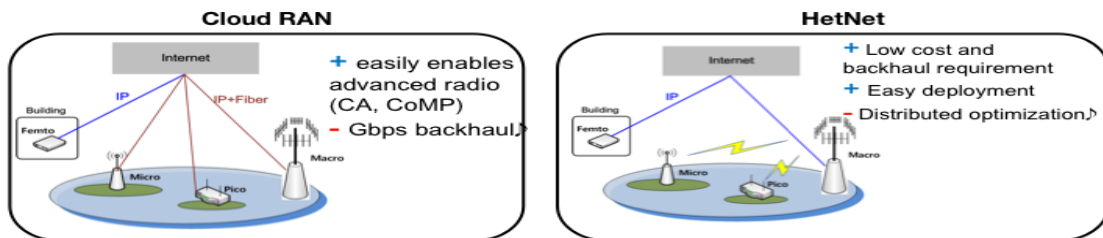
Το παράδειγμα που αναφέραμε αποκαλύπτει το σοβαρότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα κυψελοειδή Δίκτυα: τις παρεμβολές (*interference*).



Εικόνα 2 ,Το πρόβλημα των παρεμβολών σε κυψελοτά δίκτυα

Στην Εικόνα 2, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι για τους χρήστες που βρίσκονται εντός ενός ασύρματου κυψελοειδούς δικτύου κάλυψης, εκτός από το επιθυμητό οδηγούμενο σήμα (αναπαρίσταται με μπλε ακμή στην Εικόνα 2), έχουν και εισερχόμενο σήμα παρεμβολής μεγάλης ισχύος από εξωτερικά κύτταρα (αναπαρίσταται με κόκκινη ακμή). Μάλιστα, για κάθε κυψέλη, η απόδοση στις μακρινές περιοχές κάλυψης υπερिशχύει έναντι των περιοχών αρκετά κοντά στην κυψέλη, καθώς η περιοχή κοντά στο τέλος της κάλυψης της κυψέλης (*Region B*) είναι σαφώς μεγαλύτερη από την περιοχή κοντά στο κέντρο της κυψέλης (*Region A*).

Η λύση των *small cells* αρχικά φάνταζε ιδανική. Μικροί σταθμοί βάσης που με την υπέρ-πύκνωση του δικτύου από *small cells* θα προσέφεραν ομοιόμορφη απόδοση σε όλες τις περιοχές κάλυψης ενός κυττάρου. Η λύση αυτή όμως δεν έλυσε ποτέ το θέμα των παρεμβολών, απλά το μετέτρεψε σε ένα άλλο πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα, τα *macro cells* χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους συχνότητας και χρόνου με τα υπόλοιπα *small cells*, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται παρεμβολές μεταξύ τους. Οι δύο σημαντικότερες λύσεις που προτάθηκαν για την αντιμετώπιση αυτών των παρεμβολών εντός δικτύου ήταν το *Cloud Radio Access Network (Cloud- RAN* ή ακόμη και *C-RAN*) και η θέσπιση ενός *Ετερογενούς Δικτύου (Heterogeneous Network, HetNet)*.



Εικόνα 3: Cloud RAN εναντίον HetNet

**C-RAN:** Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια κεντροποιημένη υπηρεσία, βασισμένη στις αρχές του *Cloud Computing*, με αρχιτεκτονική που υποστηρίζει πρόσβαση σε δίκτυα Δεύτερης, Τρίτης αλλά και Τέταρτης Γενιάς. Θεωρείται ως η εξέλιξη των πρωταρχικών Δικτύων Ασύρματης Πρόσβασης (*Radio Access Networks, RAN*), με υπηρεσίες που την κάνουν να ξεχωρίζει από προγενέστερες τεχνολογίες, όπως για παράδειγμα η υποστήριξη μεγάλου πεδίου εφαρμογής οπτικών ινών (*Fiber*) και η ικανότητα ζωντανής εικονικοποίησης του δικτύου (*Real-time virtualization*). Τόσο τα *macrocells*, όσο και οι σταθμοί βάσης θα συνδέονται ενσύρματα με οπτικές ίνες στο δίκτυο και συνεπώς θα χρησιμοποιούνται εφαρμογές που κατά κόρων αξιοποιούν ικανοποιητικά τις κυψέλες του. Ένα παράδειγμα αποτελεί η υπηρεσία *Coordinated MultiPoint (CoMP)*, η οποία βασίστηκε στην τεχνολογία *LTE-A* των Δικτύων 4G και προσέφερε ικανοποιητικά γρηγορότερους χρόνους απόκρισης μεταξύ ράδιο-σταθμών. Στα αρνητικά της τεχνολογίας του *C-RAN* συγκαταλέγεται το αρκετά υψηλό κόστος παρεμβολών *Backhaul*.

**HetNet:** Το HetNet αποτελεί ένα ετερογενές δίκτυο, από την άποψη του ότι συμπεριλαμβάνει κόμβους, όπως για παράδειγμα έναν υπολογιστή ή μια συσκευή κινητής τηλεφωνίας, που όμως κάθε κόμβος λειτουργεί κάτω από διαφορετικό Λειτουργικό Σύστημα (Operating System, OS) και πιθανότατα διαφορετικό πρωτόκολλο. Μια τέτοια λύση στο πρόβλημα των παρεμβολών θα σήμαινε ότι θα συνεχιζόταν η απρόσκοπτη λειτουργία των *small cells* ασύρματα και όχι ενσύρματα όπως στο C-RAN. Το κόστος υλοποίησης και οι αρχιτεκτονικές απαιτήσεις θα ήταν σχετικά μικρές, ενώ εύκολη θεωρείται ότι θα ήταν και η ανάπτυξη αυτής της ιδέας για το συνολικό σύστημα του δικτύου. Όμως, οι παρεμβολές ακόμα θα ήταν παρούσες έως κάποιο βαθμό και το πρόβλημα ακόμη χωρίς λύση. [21]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: <ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ>

---

### 3.1 MACROCELLS

---

Ένα *macrocell* θεωρείται το μεγαλύτερο και ταυτόχρονα ισχυρότερο *small cell* που έχει αναπτυχθεί έως ώρας. Προσφέρει αρκετά μεγαλύτερη κάλυψη από το *microcell* και η ορολογία του χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψουμε το σύνολο όλων των υπαρκτών κυψελών. Το υποστηριζόμενο εύρος ζώνης ξεκινάει από τα 8 και μπορεί να εκτοξευτεί μέχρι και τα 30 χιλιόμετρα, δημιουργώντας μια χαοτική διαφορά έναντι των προγενέστερων μορφών *small cells*. Βρίσκει εφαρμογή συνήθως μόνο σε αρκετά μεγάλες εξωτερικές γεωγραφικές περιοχές και για την υποστήριξή τους, οι ράδιο-κεραίες τοποθετούνται σε οικιακές στέγες ή εναλλακτικά σε μέρη με αρκετά υψηλή υψομετρική διαφορά που καλύπτει την πλειοψηφία των πολυκατοικιών. Οι δυνατότητές τους να προσφέρουν βελτιωμένη κάλυψη εντός ενός τεράστιου δικτύου με αρκετά υψηλό βαθμό συμφόρησης χρηστών, όπως για παράδειγμα σε μια αστική περιοχή ή έναν αυτοκινητόδρομο, έχουν συμβάλει καθοριστικά στο να θεωρούνται δικαίως η πιο ισχυρή μορφή *small cell*, αλλά όχι η πιο συνηθισμένη.

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

Εικόνα 4: Ικανότητες τύπων small cell

Στην Εικόνα 4, φαίνεται συγκεντρωμένη η κατηγοριοποίηση όλων των χαρακτηριστικών των διαφόρων τύπων small cells. Όπως παρατηρούμε, ο κάθε τύπος small cell διαφέρει όσον αφορά στη παρεχόμενη ισχύ, στη περιοχή κάλυψης και στο πλήθος χρηστών των οποίων τις απαιτήσεις μπορεί να καλύψει. Προφανώς, η σωστή επιλογή τύπου small cell εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως πχ η γεωγραφική περιοχή για την οποία προορίζεται να χρησιμοποιηθεί.

### 3.2 MICROCELLS

Το microcell είναι το τρίτο κατά σειρά ισχύος small cell που υπάρχει. Συνήθως, το μέγεθός τους ξεπερνά το μέγεθος ενός picocell, με το υποστηριζόμενο εύρος ζώνης τους να εκτοξεύεται στα 2 χιλιόμετρα, μια αρκετά σημαντική βελτίωση έναντι των 10 μέτρων που προσφέρουν τα femtocells και των 200 μέτρων που προσφέρουν τα picocells. Βρίσκονται τοποθετημένα εντός του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και μπορούν να καλύψουν αρκετά μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές, όπως για παράδειγμα ένα ολόκληρο ξενοδοχείο ή ένα εμπορικό κέντρο. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα, χρησιμοποιούνται προσωρινά και για μεγάλες εκδηλώσεις ή μπορούμε να τα εντοπίσουμε ακόμη και σε φανάρια. Υπεύθυνος για την εγκατάστασή τους στο εκάστοτε δίκτυο είναι ο πάροχος της κινητής τηλεφωνίας και όχι ο τελικός χρήστης (του δικτύου).

Για να αποφευχθούν τυχόν παρενέργειες ή παρεμβολές από την συγκέντρωση όλων των picocells σε ένα υπέρ-πυκνωμένο σύνολο και τον μετέπειτα διαχωρισμό τους σε γειτονικές μαζικές κυψέλες, χρησιμοποιούνται Ελεγκτές Ισχύος (Power Controls), οι οποίοι λειτουργούν και διαχειρίζονται τις ψηφιακές μορφές των δικτύων. Κατά συνέπεια, συνδυάζοντας τις τεχνικές διαχωρισμού των κυψελών σε γειτονικές ομάδες και τις μεθόδους προσθήκης επιπλέον κυψελών, ο χειριστής του δικτύου έχει την

δυνατότητα αύξησης της χωρητικότητας του δικτύου για την κάλυψη περιοχών υψηλής συμφόρησης χρηστών.

Η σκοπός ύπαρξής τους είναι κοινός με αυτός των *femtocells* και *picocells*. Στοχεύουν στην επιπλέον παροχή χωρητικότητας δικτύου για περιοχές, όπου αυτό κριθεί επιτακτική ανάγκη, μέσω της υπέρ-πύκνωσης του δικτύου με κυψέλες. Το μικρό τους μέγεθος και η ευελιξία που προσφέρουν αποτελούν τον κινητήριο μοχλό για την αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων, ξεκινώντας από τα Δίκτυα 2G και φτάνοντας μέχρι και τα υπό-ανάπτυξη Δίκτυα 5G.

### 3.3 PICOCELLS

---

Ένα *picocell*, ομοίως με το *femtocell*, θεωρείται κόμβος ασύρματης πρόσβασης σε κυψελοειδές δίκτυο, που όμως καλύπτει όχι μονάχα μικρές γεωγραφικές περιοχές, όπως πχ ένας σταθμός τραίνου ή ένα εμπορικό κέντρο, αλλά και τα αεροπλάνα. Η κύρια χρήση τους είναι η ευρεία υποστήριξη και παροχή ασύρματου δικτύου σε εσωτερικούς χώρους που με προγενέστερες τεχνολογίες, η ισχύς του δικτύου θα ήταν αδύναμη. Παράλληλα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την επέκταση της χωρητικότητας ενός δικτύου, όπου αυτό κριθεί αναγκαίο.

Σε αντίθεση με τα *femtocells*, όπου η εγκατάστασή τους μπορούσε να γίνει από τον καταναλωτή και απαιτούσαν λιγότερο απομακρυσμένο έλεγχο από τον εκάστοτε πάροχο του δικτύου, για τα *picocells* είναι εξ' ολοκλήρου υπεύθυνος ο πάροχος δικτύου. Με άλλα λόγια, ο πάροχος του δικτύου ευθύνεται για την εγκατάσταση και συντήρηση των *picocells*, για την καλωδίωση, την παροχή επαρκούς ενέργειας μέχρι και την ενοικίαση κατάλληλου ιστοτόπου. Θεωρητικά, το εύρος ζώνης ενός *picocell* είναι κατά μέγιστο 200 μέτρα, ενώ του *femtocell* αγγίζει μόλις τα 10 μέτρα! Ένα *picocell*, όταν βρίσκεται τοποθετημένο εντός ενός οικοδομικού συμπλέγματος, συνδέεται με τον Ελεγκτή Σταθμού Βάσης (*Base Station Controller, BSC*) μέσω ενσύρματης *Ethernet* καλωδίωσης. Ο *BSC* ασχολείται με τον διαμοιρασμό ραδιοφωνικών πόρων και παράλληλα διαχειρίζεται το σύνολο των δεδομένων κινητής τηλεφωνίας που επρόκειτο να οδηγηθούν είτε στο Κέντρο Μεταγωγής Κινητού Τηλεφώνου (*Mobile Switching Centre, MSC*), είτε στον *GPRS* Κόμβο Υποστήριξης Πύλης (*Gateway GPRS Support Node, GGSN*). Σε πλήρη αντιδιαστολή με την ενσύρματη καλωδίωση, για την επίτευξη

ασύρματης σύνδεσης με αεροπλάνα και τον διαμοιρασμό δεδομένων, χρησιμοποιούνται μέθοδοι που περιέχουν συνδέσμους μέσω δορυφόρων.

Η συνένωση όλων των μικροσκοπικών αυτών *picocells* στο υπέρ-πυκνωμένο δίκτυο και η τμηματοποίηση τους σε γειτονίες κυψελών έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα χρησιμοποίησης μιας γειτονικής κυψέλης κατά την διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνομιλίας χωρίς να διακοπεί η κλήση, σε περίπτωση που η τρέχουσα κυψέλη παρουσιάσει κάποιο απρόσμενο σφάλμα. Στα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα *picocells* έρχεται να προστεθεί και η σαφής βελτίωση της ποιότητας των τηλεφωνικών επικοινωνιών. [12]

### 3.4 FEMTOCELLS

---

Αποτελούν την πιο κοινή και συνηθισμένη μορφή κελίων ασύρματου δικτύου. Αρχικά, σχεδιάστηκαν με ορίζοντα την οικιακή χρήση και σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορούσαν να εισαχθούν ακόμη και σε μικρό-μεσαίες επιχειρήσεις, κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Με την πάροδο του χρόνου, τόσο το εύρος ζώνης, όσο και η χωρητικότητά τους ξεκίνησαν μια ραγδαία αύξηση, με αποτέλεσμα την εξέλιξή τους στον τομέα της απόδοσης και την μετέπειτα καθιέρωσή τους ως την βασικότερη μορφή των *small cells*. Ένα *femtocell* θεωρείται κόμβος ασύρματης πρόσβασης σε κυψελοειδές δίκτυο και μπορεί να το συναντήσουμε και με την ονομασία *femto Access Point (AP)*. Σε ότι αφορά στο τομέα της λειτουργικότητας, (τα *femtocells*) συνδέονται ενσύρματα ή ασύρματα με τον εκάστοτε πάροχο του δικτύου, επιτρέποντάς έτσι την ευρεία επέκταση των παρεχόμενων υπηρεσιών μέσω της υπέρ-πύκνωσης του δικτύου, όπως η κάλυψη σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, σε χώρους δηλαδή όπου οι προγενέστερες γενιές δικτύων αντιμετώπιζαν προφανείς δυσκολίες. Παράλληλα, μπορούν να προσφέρουν ακόμα και υπηρεσίες προστασίας των καταναλωτών. Από την πλευρά του καταναλωτή, ένα *femtocell* παρέχεται είτε επί πληρωμή, είτε με δανεισμό και συνδέεται στην ευρυζωνική γραμμή του, χωρίς την ανάγκη μεσάζοντα στην εγκατάστασή του. Μετέπειτα, το *femtocell* αυτό, εφόσον ο καταναλωτής επιθυμεί, μπορεί να συνδεθεί σε προκαθορισμένους αριθμούς κινητής τηλεφωνίας και κατά συνέπεια, όλες οι επικοινωνίες για τους αριθμούς αυτούς θα περνούν αυτόματα μέσω του *femtocell*. [11]

### 3.5 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ MACROCELLS, PICOCELLS, 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 αξιόλογη 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. 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 πρώτου 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.

### **3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ MACROCELLS, PICOCELLS, FEMTOCELLS, MICROCELLS**

#### **MACROCEL:**

---

*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. [15]

## **MICROCEL:**

---

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.[14]

## **PICOCEL:**

---

Μία *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 υπάρχον 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 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. 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.[13]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: <ΔΙΚΤΥΟ 5G>

---

### 4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ



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

- *1η 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.

- *2η 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:[5]

- *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 κεραιές 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*.
- Ωριμα 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. [6]

## 4.2 ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΒΟΛΗ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ

---

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 μπάνα υψηλής συχνότητας του ασύρματου φάσματος, κάπου μεταξύ 30-300 GHz. Σε αυτά τα κύματα, η μεταφορά δεδομένων λαμβάνει χώρα σε ιδιαίτερες 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 ιδιαίτερος δύσκολο να παρακάμπτουν εμπόδια όπως τοίχους και κτίρια.

Στα υπάρχοντα δίκτυα 4G, οι κεραιές μπορούν να είναι απομακρυσμένες ή 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



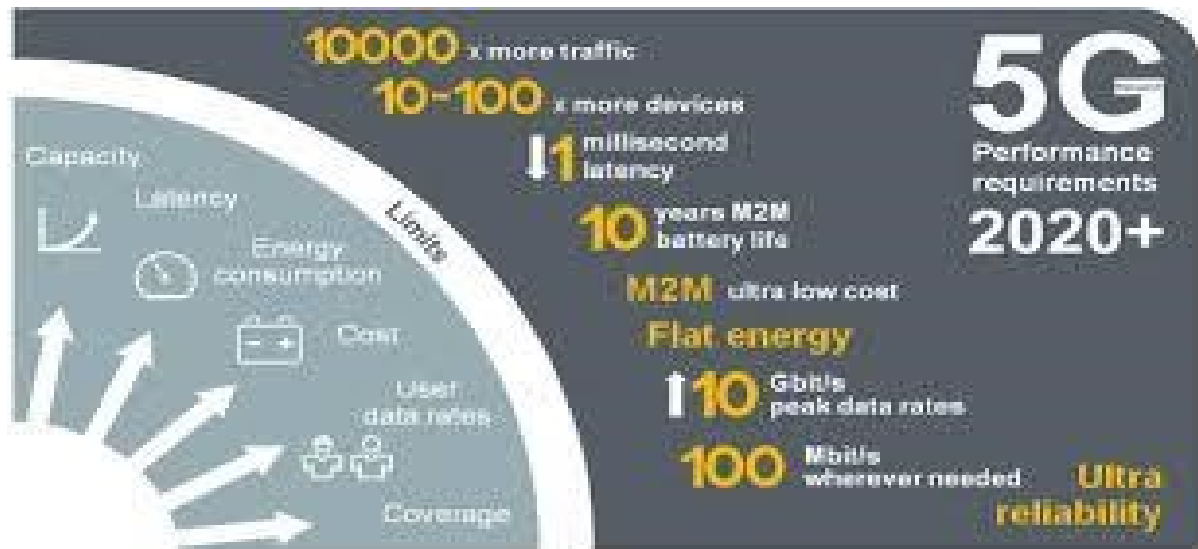
ταχύτητες και θα έχει πλήρως διαφορετικά χαρακτηριστικά μετάδοσης από ότι η προηγούμενη γενιά δικτύων. Αντιτιθέμενα, μέχρι σήμερα γνωρίζουμε πως ένα τηλέφωνο συνδέεται με το εκάστοτε δίκτυο μέσω μίας ανοδικής και μία καθοδικής ζεύξης με τον σταθμό βάσης που βρίσκεται τοπικά. Επεξηγηματικά, το δίκτυο 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 τότε 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 αντανακλά. 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. [16]

•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. [17]*

•*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. [18]*

#### **4.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΕΡΧΟΜΟ ΤΟΥ 5G**

---

• *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. [19]

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. [7]

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. [20]



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: <ΜΕΛΟΝΤΙΚΟ ΟΡΑΜΑ-ΕΠΙΛΟΓΟΣ>

---

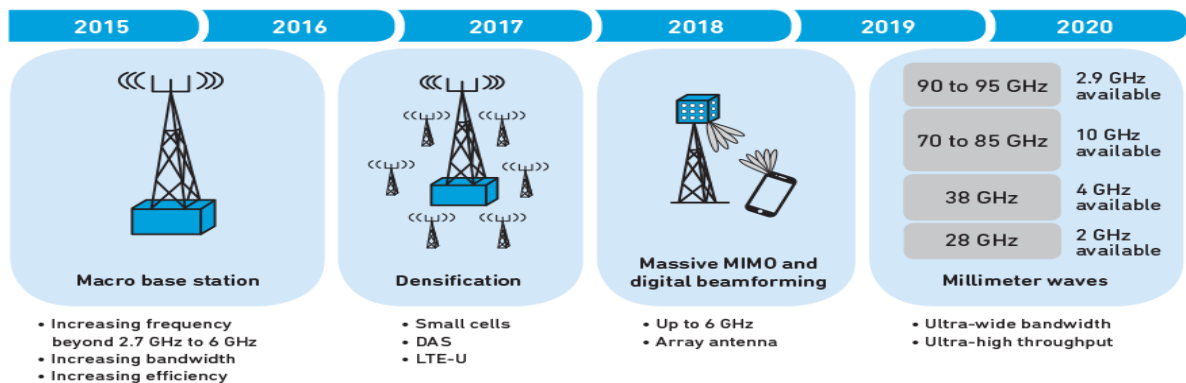
Γνωρίζουμε ήδη ότι τα *small cells* αποτελούν την προσωρινή και πρακτική λύση που συμβαδίζει με τα Δίκτυα 4G για την παροχή αυξημένης ταχύτητας και χωρητικότητας σε δίκτυα που παρατηρείται μεγάλη συμφόρηση χρηστών, έως ότου τα Δίκτυα 5G εξέλθουν από το στάδιο ανάπτυξης και τεθούν σε δημόσια χρήση.

Τα *small cells* τοποθετούνται μέσα στο δίκτυο για το οποίο προορίζονται και αρχικά, έχει αποφασιστεί να λειτουργούν ουσιαστικά ως μικροσκοπικοί σταθμοί βάσης, αυξάνοντας το εύρος ζώνης του δικτύου και την αποδοτικότητά του. Με τα Δίκτυα 5G να αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς, τα *small cells* θα συνοδευτούν μετέπειτα από Διανεμημένα Συστήματα Κεραίας (*Distributed Antenna Systems, DAS*) που θα χρησιμοποιούν την μέθοδο του *Network Densification*, υπέρ-πυκνώνοντας το δίκτυο με κυψέλες και στοχεύοντας στην αισθητή βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους χρήστες του δικτύου.

Το QoS θα βελτιωθεί ακόμη περισσότερο όταν αναπτυχθούν εξελιγμένες τεχνολογίες πάνω στα συστήματα κεραίων, με την σημαντικότερη εξ' αυτών να είναι η μέθοδος *Massive Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO)*. Η μέθοδος αυτή μεταδίδει ένα πλήθος ξεχωριστών *data streams* πάνω στις ίδιες συχνότητες επαναληπτικά, χρησιμοποιώντας τις κεραίες τόσο των χρηστών, όσο και των σταθμών βάσης του δικτύου. Σήμερα, ο αριθμός των κεραίων μπορεί να ποικίλει από 8 έως και 128, αλλά στο προσεχές μέλλον αναμένεται να αυξηθεί κατακόρυφα, εφόσον επιτραπεί η χρησιμοποίηση συχνοτήτων έως τα 6 GHz. Η τεχνολογία αυτή αναμένεται να βελτιώσει τις υπηρεσίες του δικτύου, καθώς αφενός η τεχνική της χώρο-χρονικής πολυπλεξίας που αναφέραμε παραπάνω θα βελτιώσει τον ρυθμό εναλλαγής δεδομένων εντός του δικτύου, αφετέρου μέσω του *beamforming*, μας δίνεται η δυνατότητα να εστιάσουμε ένα ποσοστό ενέργειας πάνω στην συνδεδεμένη συσκευή του δικτύου για την επεξεργασία και βελτίωση της σύνδεσης. [8]

Προς το τέλος της Πρώτης Φάσης των *Projects* του 5G-PPP οργανισμού, αναμένουμε την κατακόρυφη αύξηση των διαθέσιμων συχνοτήτων, κατά πολύ πάνω από τα 6 GHz, με την είσοδο μεθόδων που περιλαμβάνουν χιλιοστομετρικά κύματα (*millimetre waves*) στις συχνότητες. Με τις τεχνολογικές απαιτήσεις των χρηστών κινητής τηλεφωνίας να αυξάνονται συνεχώς, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη

χρησιμοποίησης συχνοτήτων κατά πολύ παραπάνω από τα 6 GHz, συχνότητες οι οποίες μάλιστα δεν είχε χρειαστεί να χρησιμοποιηθούν ποτέ στο παρελθόν, καθώς τα εκάστοτε δίκτυα δεν είχαν αναπτυχθεί τεχνολογικά σε βαθμό που να υποστηρίζουν τέτοιες υψηλές συχνότητες. Όμως, με την πρωτοποριακή είσοδο και χρήση των χιλιοστομετρικών κυμάτων, ξεφεύγουμε για πρώτη φορά από τα Δίκτυα 4G και θα είμαστε σε θέση να εκμεταλλευτούμε τις νέες αυτές ζώνες συχνοτήτων, εφόσον βέβαια αναπτυχθούν και οι κατάλληλες τεχνικές αξιοποίησής τους.



Εικόνα 5: Μελλοντική εξέλιξη τεχνολογιών των δικτύων

Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 5), φαίνεται η αναμενόμενη εξέλιξη των Δικτύων 5G, μαζί με τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες που θα τα συνοδεύουν. Οι απαιτήσεις των χρηστών τεχνολογικών συσκευών αυξάνονται μέρα με την μέρα, ο 5G-PPP οργανισμός δουλεύει πυρετωδώς στην ανάπτυξη των Δικτύων 5G και το όραμα για μια παγκόσμια τεχνολογική ενότητα μέσω του IoT φαντάζει πιο κοντά από ποτέ. Μάλλον, οφείλουμε θα είμαστε αρκετά αισιόδοξοι για το τι μας επιφυλάσσει τελικά το προσεχές μέλλον στο τομέα της ασύρματης κινητής τηλεφωνίας και όχι μόνο...





# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[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.

[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] Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, "Δίκτυα Υπολογιστών", 2011, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

[8] Jacob Morgan, "A simple Explanation of 'The Internet Of Things'", May 2014.

[9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Small\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Small_cell)

[10] Tuan Nguyen, "Small Cell Networks and the Evolution of 5G (Part 1)", May 2017.

[11] <https://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell>

[12] <https://en.wikipedia.org/wiki/Picocell>

[13] David Chambers, "What's the difference between picocells and femtocells?", January 2008.

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

[15] <https://en.wikipedia.org/wiki/Macrocell>

[16] Phillip Tracy, "Small Cells: Backhaul difficulties and a 5G future", July 2016

[17] Phillip Tracy, "What is network densification and why is it needed for 5G", November 2016

[18] [https://en.wikipedia.org/wiki/User\\_experience](https://en.wikipedia.org/wiki/User_experience)

[19] Tuan Nguyen, "Small Cells Help Keep 5G Connected", May 2016

[20] ARCEP, "5G: Issues & Challenges", March 2017

[21] [https://en.wikipedia.org/wiki/Heterogeneous\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Heterogeneous_network)