

Τεχνο-οικονομική Ανάλυση των 5G Κινητών Δικτύων
(Techno-economic Analysis of 5G Mobile network)

Famelou Anna

February 2018



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
Π.Μ.Σ «ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ»

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ 5G ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η Διπλωματική Εργασία
παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού του
Πανεπιστημίου Πειραιώς

Σε Μερική Εκπλήρωση
των Απαιτήσεων για το Δίπλωμα του
Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών
«Τεχνοοικονομική Διοίκηση Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων»

της φοιτήτριας,
Φάμελου Άννα, Α.Μ: ΜΤΔ1604

ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2017 - 2018

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ
ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ ΦΑΜΕΛΟΥ ANNA

Ευθύμογλου Γεώργιος, Επιβλέπων, Καθηγητής
Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Μιχαλακέλης Χρήστος, Μέλος, Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Τελέλης Ορέστης, Μέλος, Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τέταρτη γενιά κινητών δικτύων (4G) πρέπει να ξεπεράσει τις νέες προκλήσεις που έχουν αναδυθεί λόγω της εκρηκτικής αύξησης της ζήτησης των κινητών διασυνδέσεων (mobile traffic) και του επονομαζόμενου Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things). Ως εκ τούτου, έντονες προετοιμασίες έχουν ήδη ξεκινήσει για να προλειάνουν την έρευνα για τα χαρακτηριστικά της νέα γενιάς ενώ παράλληλα οι σχεδιαστές των κινητών δικτύων έχουν ξεκινήσει την αναβάθμιση της αρχιτεκτονικής των 4G κινητών δικτύων, σχεδιάζοντας την πέμπτη γενιά κινητών δικτύων, τα επονομαζόμενα 5G κινητά δίκτυα. Η έλευση της πέμπτης γενιάς κινητών δικτύων (5G) αναμένεται το 2020, εάν αναλογιστούμε πως ο κύκλος κάθε γενιάς κινητών δικτύων εκτιμάται στα δέκα χρόνια, συμβάλλοντας στην δημιουργία μιας παγκόσμιας συνδεδεμένης ψηφιακής κοινωνίας, διασυνδέοντας τους πάντες με τα πάντα.

Λόγω των αναφερθέντων, θα εξεταστεί η αναγκαιότητα της ανάπτυξης των 5G κινητών δικτύων μέσω της τεχνο-οικονομικής ανάλυσης και της μαθηματικής μοντελοποίησης των 5G δικτύων καθώς επίσης θα αναλυθεί ένα μοντέλο τιμής (pricing model) το οποίο θα συμβαδίζει με την ανάπτυξη της κινητής ευρυζωνικότητας. Συγκεκριμένα, τα δύο βασικά στοιχεία κόστους, οι κεφαλαιουχικές δαπάνες και οι λειτουργικές δαπάνες, συγκρίθηκαν με τα έσοδα που αναμένεται να εισπραχθούν κατά την περίοδο της ανάπτυξης των 5G κινητών δικτύων. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, δείχνουν ότι το 5G δίκτυο είναι πολύ επωφελές, όχι μόνο λόγω του χαμηλότερου κόστους σε σχέση με το 4G δίκτυο αλλά και λόγω της αύξησης της μέσης κατανάλωσης δεδομένων που προσφέρουν οι κινητές τεχνολογίες 5G και κατ' επέκταση της συνεχόμενης αύξησης του αριθμού των χρηστών. Διαπιστώθηκε επίσης, μέσω του μοντέλου ελαστικότητας της ζήτησης (Price Elasticity of demand), ότι η ζήτηση του 5G δικτύου είναι ελαστική δίνοντάς του ένα σημαντικό πλεονέκτημα για την ανάπτυξή του.

Λέξεις κλειδιά: 5G, κινητό δίκτυο, κόστος κινητών δικτύων, τεχνο-οικονομική ανάλυση, πρόβλεψη κινητών δικτύων, πέμπτη γενιά κινητού δικτύου, κινητή τεχνολογία, ελαστικότητα ζήτησης, ελαστικότητα όγκου.

© 2018

Φάμελου Άννα
Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Abstract

The fourth generation of mobile networks (4G) must cover the new needs, introduced due to the explosive growth in demand for mobile traffic and the Internet of Things. In order to do so, the mobile network operators have already been working on the upgrade of the 4G networks to 5G ones which is expected to be completed by 2020.

Due to the above, under the scope of this thesis, a techno-economic analysis will take place, by taking into account the two major cost elements, Capital Expenditure and Operative Expenditure. The results show that the upcoming 5G networks are beneficial due to lower cost, increment of the average data consumption and the increasing growth of number of users. Furthermore, through the Price Elasticity of demand model, it was found that the demand of 5G network is elastic, giving it an important asset for its development.

Keywords: 5G, fifth generation mobile network, mobile network, mobile technology, techno-economic analysis, price elasticity of demand, price elasticity of volume, price elasticity of revenue, capital cost, operative cost.

© 2018

Famelou Anna
Department of Digital Systems
University of Piraeus

*Στην οικογένειά μου, σας ευχαριστώ που με στηρίζεται
και είστε δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια! Στους φίλους μου,
σας ευχαριστώ για τις όμορφες στιγμές μας!*

-- Άννα

*Στους κυρίους Μιχαλακέλη Χ. και Ευθύμογλου Γ. για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν
και μου ανέθεσαν την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και
για την βοήθειά τους κατά την διάρκειά της.*

Σας ευχαριστώ θερμά!

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	15
1.1 Η εξέλιξη των επικοινωνιών στο 5G δίκτυο.....	16
1.2 Απαιτήσεις δικτύου.....	17
1.2.1 Ασύρματη τεχνολογία.....	18
1.2.2 Φάσμα 5G.....	19
1.3 Νέες τεχνικές δικτύου.....	22
1.3.1 Σύνθετη συσσώρευση φορέων (Advanced Carrier Aggregation).....	22
1.3.2 Συντονισμός ασύρματων πόρων μεταξύ των κελιών.....	23
1.3.3 Υψηλής απόδοσης MIMO.....	26
1.3.4 Νέες προσεγγίσεις στα πρωτόκολλα.....	27
1.3.5 Χαρτογράφηση των τεχνολογικών υπηρεσιών με γνώμονα το περιβάλλον.....	27
1.3.6 Εικονικοποίηση (virtualization).....	28
1.4 Οικονομικοί Προβληματισμοί.....	28
1.4.1 Κοινή χρήση υποδομής.....	29
1.4.2 Ενδιάμεσο τμήμα (backhaul).....	31
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	32
3. Πρόβλεψη κόστους - Ανάλυση οφέλους ανάπτυξης 5G δικτύων.....	33
3.1 Πρόβλεψη συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας.....	34
3.2 Ρυθμός κίνησης.....	36
3.3 Pricing model.....	37
3.3.1 Τιμή ελαστικότητας με βάση τον όγκο (Price Elasticity of Volume).....	39
3.3.2 Ελαστικότητα του όγκου με βάση τα έσοδα (Volume Elasticity of Revenue).....	40
3.3.3 Επέκταση του μηνιαίου πακέτου.....	42
3.4 Πρόβλεψη Κόστους και Ανάλυση.....	43
4. Απαιτούμενη κίνηση και Επένδυση δικτύου.....	45
4.1 Εκτίμηση της απαιτούμενης ζήτησης της κίνησης του δικτύου.....	45
4.2 Μοντελοποίηση της επένδυσης του δικτύου.....	45
5. Συμπεράσματα.....	49
Βιβλιογραφία.....	50

1. Εισαγωγή

Η τεχνολογική εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών και οι απαιτήσεις τις σημερινής εποχής ωθούν τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς στην ανάπτυξη και τον σχεδιασμό της πέμπτης γενιάς κινητής τεχνολογίας, το λεγόμενο 5G κινητό δίκτυο. Το 5G αναμένεται να παρέχει δυνατότητες για τεράστια χωρητικότητα (volume density), μαζική συνδεσιμότητα (connection density) και κινητικότητα (mobility), με αποτέλεσμα να υποστηρίζει διαφορετικούς ετερογενείς τύπους συσκευών, εφαρμογών και χρηστών. Παράλληλα, η ανάπτυξη του δικτύου 5G αναμένεται να παρέχει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών (QoS - quality of service) στις εφαρμογές των πολυμέσων από το 2020 και έπειτα [1], [2]. Οι περισσότεροι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί πιστεύουν ότι το 5G θα παρέχει 1000 φορές τη σημερινή χωρητικότητα, θα εξυπηρετεί 100 δισεκατομμύρια συσκευές και θα παρέχει ρυθμούς της τάξης των 10 Gb/s με ελάχιστη καθυστέρηση, της τάξεως του 1ms [3]. Για να πετύχουν βέβαια κάτι τέτοιο, θεωρούν ότι μέσω του 5G δικτύου θα μπορούν να εκμεταλλευτούν αποδοτικά και ευέλικτα όλο το διαθέσιμο φάσμα, παρέχοντας, έτσι, πολύ υψηλή ανάλυση οπτικών επικοινωνιών και διαδραστικών πολυμέσων. Σύμφωνα με το [5], το 2015, η παγκόσμια αγορά τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών ανήλθε στα 965,3 δισεκατομμύρια δολάρια, και μέχρι το 2020 προβλέπεται ότι η αγορά φωνητικών υπηρεσιών θα μειωθεί κατά -4,9% (με βάση το ετήσιο συντελεστή ανάπτυξης - Compound Annual Growth Rate (CAGR)) ενώ η αγορά υπηρεσιών δεδομένων θα αυξηθεί κατά +8,3%. Ειδικότερα, η αγορά υπηρεσιών δεδομένων έχει ξεπεράσει την αγορά φωνητικών υπηρεσιών από το 2015 ενώ υπολογίζεται ότι το 2020 θα αντιπροσωπεύει το 65,7% της συνολικής αγοράς των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.

Ωστόσο, οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί επιδιώκουν την βελτίωση των δικτύων τους έτσι ώστε να μπορέσουν να επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου, να αυξήσουν την χωρητικότητά του και να υποστηρίξουν υψηλότερη και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών. Επιπλέον, οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί πρέπει να είναι σε θέση και να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα σε περιπτώσεις που τα κόστη του δικτύου υπερβούν τα έσοδά τους, καθώς είναι σημαντικό να ελαχιστοποιήσουν το κόστος του δικτύου και να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους.

Στην Διπλωματική αυτή, πραγματοποιήθηκε μια οικονομική ανάλυση για την ανάπτυξη του 5G κινητού δικτύου και μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε υπήρξε η δυνατότητα περιγραφής των εσόδων και η πρόβλεψη του κόστους. Η πρόβλεψη βασίζεται σε πέντε χρόνια από το 2020 έως το 2025 και εστιάζεται σε ένα σύνολο τεχνο-οικονομικών δεικτών που προβλέπουν την αναγκαιότητα αναβάθμισης του δικτύου.

Η Διπλωματική αυτή αποτελείται από τέσσερις ενότητες. Αυτό το εισαγωγικό κεφάλαιο ακολουθείται από το κεφάλαιο 2 το οποίο περιέχει μια σύντομη ανασκόπηση σύμφωνα με προηγούμενη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 3 και 4 περιγράφονται τα μοντέλα ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Τέλος, στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα συμπεράσματα.

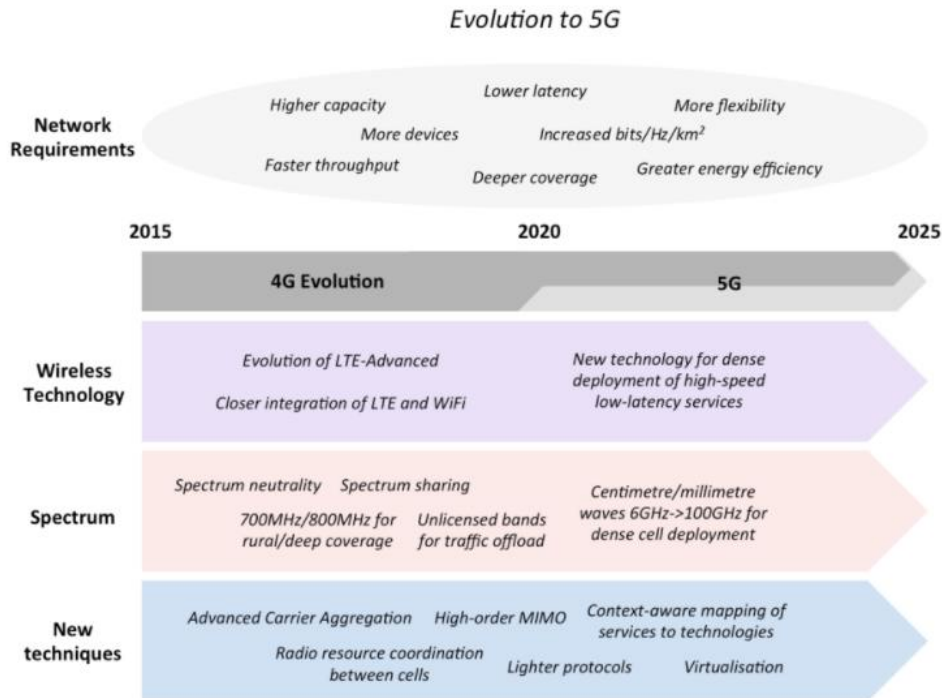
1.1 Η εξέλιξη των επικοινωνιών στο 5G δίκτυο

Από τότε που η δορυφορική επικοινωνία, η τηλεόραση και η ραδιοφωνική μετάδοση έχουν προχωρήσει και εισαχθεί στο κινητό τηλέφωνο, οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν καταστεί σημαντικό μέρος της σημερινής κοινωνίας. Καθώς οι ασύρματες τεχνολογίες εξελίσσονται, ο ρυθμός δεδομένων, η κινητικότητα, η κάλυψη και η φασματική απόδοση του δικτύου αυξάνονται. Τα 5G δίκτυα αποσκοπούν στην εκπλήρωση των απαιτήσεων στις κινητές επικοινωνίες μετά το 2020. Η υποστήριξη της αμείλικτης αύξησης της κατανάλωσης δεδομένων μέσω κινητού τηλεφώνου αποτελεί προφανή στόχο. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές άλλες προκλήσεις μεταξύ των λειτουργικών και τεχνολογιών παραγόντων, όπως είναι η ανάγκη ταυτόχρονης υποστήριξης πολλαπλών συσκευών, ο τεράστιος όγκος συναλλαγών μεταξύ των συσκευών, οι εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις, η πλήρης κάλυψη, η αποδοτικότερη χρήση του ραδιοφάσματος, η ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και η ασφάλεια. Η ποικιλία των τεχνικών και λειτουργικών απαιτήσεων για το 5G δίκτυο απαιτεί μεγαλύτερη ευελιξία από ποτέ.

Οι βελτιώσεις στις υπάρχουσες τεχνολογίες, όπως στο LTE-Advanced και στο Wi-Fi, αναμένεται να καλύψουν την ζήτηση της χωρητικότητας και κινητικότητας των δεδομένων μέχρι το τέλος αυτής της δεκαετίας και παράλληλα αυτές οι τεχνολογίες θα συνεχίσουν να είναι το θεμελιώδες κομμάτι της ανάπτυξης του 5G δικτύου. Ωστόσο, θα χρειαστεί να υπάρξουν νέες προσεγγίσεις σε ορισμένα θέματα, μεταξύ άλλων:

- Νέα ασύρματη τεχνολογία, για την υποστήριξη της πυκνής ανάπτυξης των υπηρεσιών που παρέχουν υψηλή ταχύτητα και ελάχιστη καθυστέρηση.
- Βελτιωμένη χρήση των σημερινών ζωνών συχνοτήτων (έως 6GHz) και εκμετάλλευση νέων συχνοτήτων στις ζώνες κυμάτων εκατοστόμετρου/χιλιοστόμετρου (κάπου μεταξύ 6GHz και 100 GHz), προκειμένου να παραχθεί η απαιτούμενη χωρητικότητα και κάλυψη.
- Νέες τεχνικές για τον έλεγχο των ραδιοφωνικών πόρων, των κεραιών, των πρωτοκόλλων και της αρχιτεκτονικής, για την βελτίωση της χρήσης του φάσματος και τη μείωση της καθυστέρησης των πακέτων (latency) καθώς και για την αύξηση της ευελιξίας.

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει κάποιες από τις απαιτήσεις του δικτύου που πρέπει να αντιμετωπιστούν τα επόμενα 10 χρόνια, παράλληλα με κάποιες εξελίξεις που αναμένεται να εμφανιστούν στα 4G δίκτυα κατά την εξέλιξή τους σε 5G.



Σχήμα 1. Εξέλιξη του 5G δικτύου
(πηγή: <http://www.unwiredinsight.com/tag/lte-advanced>)

1.2 Απαιτήσεις δικτύου

Ένας ξεκάθαρος στόχος για το 5G δίκτυο είναι να υποστηρίξει την κλιμάκωση της κατανάλωσης των δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Με τους χρήστες να επιθυμούν υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων και με τον όγκο της κυκλοφορίας των δεδομένων να αναμένεται να αυξηθεί κατά εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες φορές τα επόμενα δέκα χρόνια, είναι φανερό ότι το 5G δίκτυο θα πρέπει να παρέχει βασικές ταχύτητες δεδομένων της τάξεως των 100 Mbit/s και μέγιστες ταχύτητες έως 10 Gbit/s. Επίσης, δεν θα υπάρξει μόνο η ανάγκη της αντιμετώπισης της συνολικής μετάδοσης του όγκου των δεδομένων αλλά και της συγκέντρωσης της μετάδοσης των δεδομένων σε ορισμένες περιοχές, όπως είναι οι περιοχές που στεγάζονται πολλές επιχειρήσεις και οι κόμβοι των πόλεων, οι οποίες θα απαιτήσουν νέες προσεγγίσεις. Με τις ασύρματες τεχνολογίες που πλησιάζουν ήδη το όριο Shannon για bits/Hz σε επιμέρους ραδιοζεύξεις [32], οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι θα πρέπει να εστιάσουν στην ανάπτυξη νέων σταθμών βάσεων σε μια συγκεκριμένη περιοχή ώστε να επιτευχθούν ουσιαστικές αυξήσεις σε bits/Hz/km².

Μια περαιτέρω πρόκληση για το 5G δίκτυο θα είναι η δραματική αύξηση του αριθμού των συσκευών που θα πρέπει να υποστηριχθούν. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δεν θα εστιάζουν πλέον μόνο στις επικοινωνίες μεταξύ των ατόμων, αλλά σε δισεκατομμύρια νέες συσκευές τηλεϊδιοποίησης, τηλεμετρίας και ελέγχου οι οποίες οδηγούν τις επικοινωνίες σε έναν τεράστιο αριθμό αλληλεπιδράσεων μεταξύ μηχανής - μηχανής και ατόμου - μηχανής, ως μέρος του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Πολλές απ' αυτές τις συσκευές θα είναι απλές συσκευές χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να βρίσκονται σε

απομακρυσμένες θέσεις ή βαθιά μέσα σε κτήρια. Ενώ ο όγκος των δεδομένων που εμπλέκονται σε κάθε συναλλαγή μπορεί να μην είναι μεγάλος, ο μεγάλος αριθμός συσκευών και συναλλαγών θα απαιτήσει νέες προσεγγίσεις για την επίτευξη αξιόπιστης, αποτελεσματικής και ασφαλούς επικοινωνίας, χωρίς να διακυβεύεται η αποτελεσματικότητα άλλων πτυχών του δικτύου 5G.

Τα δίκτυα με τεχνολογία LTE-Advanced μπορούν ήδη να επιτύχουν πολύ χαμηλότερη καθυστέρηση (latency) από τα προηγούμενα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, στην πραγματικότητα λιγότερη από 20ms, αλλά η ανάπτυξη του τομέα των παιχνιδιών, του αυτοματισμού και του απομακρυσμένου ελέγχου (remote control), συμπεριλαμβανομένων των αλληλεπιδράσεων σε πραγματικό χρόνο μέσω του «Tactile Internet» [33], απαιτεί ακόμα χαμηλότερες καθυστερήσεις της τάξεως του 1ms.

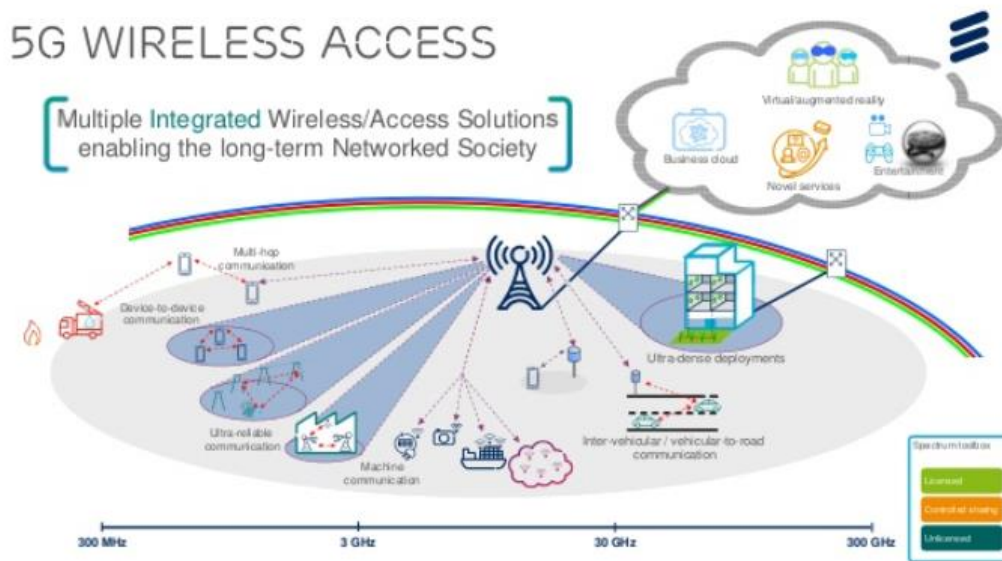
Ενώ οι πρωταρχικοί στόχοι για την διακίνηση των πακέτων (throughput) εντός του δικτύου, της χωρητικότητάς του (capacity) και της καθυστέρηση (latency) είναι αποθαρρυντικοί, αποτελούν το ένα κομμάτι των προκλήσεων. Μια ακόμη πρόκληση θα είναι το εύρος των απαιτήσεων μεταξύ των διαφορετικών εφαρμογών και συσκευών και η ανάγκη να ικανοποιηθούν αποτελεσματικά όλα αυτά, με λιγότερο φάσμα, κατανάλωση ενέργειας και ασφάλεια. Η γρήγορη μετάδοση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να απαιτηθεί από ορισμένες συσκευές σε ορισμένες τοποθεσίες και σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, αλλά οι ίδιες συσκευές ενδέχεται να έχουν πολύ λιγότερες ανάγκες, για την διαβίβαση των δεδομένων και την καθυστέρηση, σε άλλα σημεία και άλλες ώρες. Κάποιες συσκευές, όπως αυτές που εμπλέκονται σε απομακρυσμένη παρακολούθηση ή τηλεμετρία, ενδέχεται να χρειάζονται πολύ χαμηλά επίπεδα μετάδοσης δεδομένων και ενδέχεται να είναι ανεκτικές σε μεγάλες καθυστερήσεις, αλλά θα υπάρξουν εκατομμύρια από αυτές τις συσκευές που θα εξυπηρετούνται σε κάποιο δεδομένο δίκτυο και σε κάποιες περιπτώσεις οι τοποθεσίες τους ενδέχεται να δημιουργήσουν προβλήματα κάλυψης.

Όχι μόνο θα υπάρξουν διαφορετικές απαιτήσεις των υπηρεσιών, αλλά η ανάπτυξη και κάλυψη του 5G δικτύου είναι απίθανο να είναι ομοιόμορφη σε ολόκληρη την περιοχή κάλυψης. Διαφορετικές τεχνολογίες, αρχιτεκτονικές και διαφορετικό φάσμα θα χρειαστεί να αναπτυχθούν σε διαφορετικές περιοχές, σύμφωνα με τις τοπικές τεχνικές, τις εμπορικές απαιτήσεις των περιοχών και την αναβάθμιση του παλιού εξοπλισμού. Το σύστημα 5G πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκρίνεται δυναμικά στις απαιτήσεις συγκεκριμένων συσκευών και εφαρμογών, εφαρμόζοντας τις πιο κατάλληλες τεχνολογίες, φάσμα και μοιράζοντας τους πόρους με άλλα δίκτυα, όπου χρειάζεται. Αυτό έχει συνέπειες τόσο στο συνολικό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του 5G δικτύου όσο και στις μεμονωμένες τεχνολογίες και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παροχή των υπηρεσιών.

1.2.1 Ασύρματη τεχνολογία

Τα δίκτυα 5G αναμένεται να ενσωματώσουν τις δυνατότητες των υφιστάμενων ασύρματων τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων των 4G LTE-Advanced , HSPA+ και Wi-Fi, σε μία ή περισσότερες νέες τεχνολογίες για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων απαιτήσεων. Μεταξύ του 2017 και 2020, οι ήδη σημαντικές δυνατότητες του LTE θα επεκταθούν, αναπτύσσοντάς το σε νέες ζώνες συχνοτήτων, εφαρμόζοντας τις υπάρχουσες και τις νέες βελτιώσεις του LTE-Advanced και βελτιώνοντας την ενσωμάτωσή του στο Wi-Fi. Ωστόσο, αυτό δεν θα είναι από μόνο του

αρκετό και νέες προσεγγίσεις θα χρειαστούν για την ικανοποίηση ορισμένων δύσκολων απαιτήσεων. Για παράδειγμα, η κατανάλωση μεγάλων όγκων δεδομένων σε συγκεκριμένες περιοχές θα απαιτήσει την ανάπτυξη σταθμών βάσεων με μεγάλη πυκνότητα και ο εξαιρετικά χαμηλός χρόνος απόκρισης που χρειάζονται ορισμένες διαδραστικές εφαρμογές και παιχνίδια θα απαιτήσει θεμελιώδεις αλλαγές στις στρατηγικές κατανομής των πόρων, οι οποίες δεν θα μπορούσαν εύκολα να επιτευχθούν με τροποποιήσεις του LTE. Παρόλα αυτά, είναι πιθανό ότι αυτές οι απαιτήσεις θα ικανοποιηθούν από μια ή περισσότερες νέες τεχνολογίες, οι οποίες ενδέχεται να λειτουργούν σε νέο φάσμα άνω των 6GHz και εφαρμόζοντας νέες ραδιο-τεχνικές, νέα πρωτόκολλα αρχιτεκτονικής και σηματοδότησης.



Εικόνα 1. Ασύρματη τεχνολογία 5G δικτύου

(πηγή: <https://www.androidheadlines.com/2013/05/samsung-plans-to-launch-1-gbps-5g-wireless-technology-by-2020.html>)

1.2.2 Φάσμα 5G

Καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις στα δίκτυα κινητής επικοινωνίας, η απόκτηση και η αποδοτική χρήση του φάσματος θα γίνει πιο σημαντική από ποτέ. Η ικανοποίηση των μελλοντικών απαιτήσεων θα περιλαμβάνει καλύτερη χρήση του φάσματος που είναι ήδη διαθέσιμο στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, πρόσβαση σε πρόσθετο εύρος ζώνης σε παρόμοιες συχνότητες και εκμετάλλευση υψηλότερων συχνοτήτων στις ζώνες συχνοτήτων.

Ιστορικά, οι άδειες για την λειτουργία κινητών δικτύων έχουν δοθεί σε μεμονωμένους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων και σε πολλές περιπτώσεις έχουν καθορίσει ποιες τεχνολογίες πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων. Ωστόσο, οι ρυθμιστικές αρχές είναι πλέον ενήμερες για την ανάγκη μεγιστοποίησης της αξιοποίησης συχνοτήτων. Η ουδετερότητα

του φάσματος και η κατανομή του αποτελούν μείζονες τάσεις και θα συνεχίσουν να αποτελούν καθώς προχωράμε προς την κατεύθυνση της 5^{ης} γενιάς κινητών δικτύων.

Πολλές ρυθμιστικές αρχές έχουν ήδη χαλαρώσει τους περιορισμούς τους όσον αφορά τον τρόπο χρήσης του ραδιοφάσματος σε συγκεκριμένες ζώνες και αυτό θα συνεχιστεί, επιτρέποντας στους παρόχους κινητών επικοινωνιών να χρησιμοποιούν τις τελευταίες και πιο αποδοτικές τεχνολογίες καθ' όλο το μήκος φάσματος. Καθώς οι χρήστες και οι πάροχοι κινητών δικτύων αναβαθμίζουν τις συσκευές και τον εξοπλισμό τους, οι πάροχοι κινητών δικτύων θα εκμεταλλευτούν την ευκαιρία να αναδιαμορφώσουν το φάσμα τους έτσι ώστε να τους επιτρέψει να χρησιμοποιήσουν τις τελευταίες δυνατότητες της τεχνολογίας LTE-Advanced.

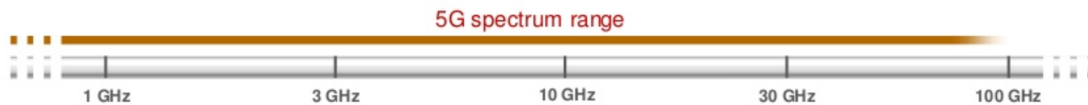
Είναι πολύ πιθανό, τα δίκτυα 5G να εξακολουθήσουν να βασίζονται στο βασικό φάσμα, που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, έτσι ώστε να προστατεύεται το δίκτυο από παρεμβολές και να τους επιτρέψει να επιτυγχάνουν προβλέψιμα και αξιόπιστα επίπεδα απόδοσης. Επίσης, είναι πιθανό, το βασικό φάσμα να συνδυαστεί με το φάσμα που διαμοιράζεται και το μη αξιοποιήσιμο φάσμα, για την ενίσχυση της χωρητικότητας και της απόδοσης σε συγκεκριμένες τοποθεσίες και ώρες.

Η δυναμική ανταλλαγή φάσματος, με προσεκτική προστασία των δικαιωμάτων κάθε δικτύου, θα βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της χρήσης του ραδιοφάσματος, επιτρέποντας, για παράδειγμα, στους παρόχους κινητής τηλεφωνίας να μοιράζονται μεγάλα εύρη ζώνης και να παρέχουν καλές υπηρεσίες στους μεμονωμένους χρήστες, ενώ παράλληλα θα επιτυγχάνουν αποτελεσματική χρήση του φάσματος όταν ο αριθμός των χρηστών είναι μικρός. Αυτό είναι προτιμότερο, από το να κατανεμηθεί ένα μικρό εύρος ζώνης σε όλους τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, το οποίο θα περιορίσει την διακίνηση των πακέτων (throughput), ή από το να κατανεμηθεί το φάσμα σε έναν μόνο πάροχο κινητής τηλεφωνίας, ο οποίος θα περιορίσει τον ανταγωνισμό και ενδέχεται να οδηγήσει στην υπολειτουργικότητα του φάσματος.

Μέχρι στιγμής, τα περισσότερα κινητά συστήματα έχουν αναπτυχθεί μέσα σε ένα ικανοποιητικό φάσμα, λίγο κάτω από 1GHz και λίγο πιο πάνω από 2GHz, με αποτέλεσμα να εκμεταλλεύονται ζώνες των 900MHz, 1800MHz, 1900MHz και 2100MHz. Οι συχνότητες σε αυτό το εύρος διαδίδονται καλά, σε λογικές αποστάσεις και μέσα από τοίχους και άλλα εμπόδια, και τα μήκη κύματος είναι έτσι διαμορφωμένα ώστε οι κεραιές να μπορούν να φτιάχνονται με διαστάσεις που να ταιριάζουν μέσα σε μια κανονική κινητή συσκευή. Αντίθετα, οι υψηλότερες συχνότητες διαδίδονται λιγότερα καλά και οι χαμηλότερες συχνότητες απαιτούν μεγαλύτερες κεραιές.

Καθώς υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας μπορούν να ωφεληθούν από την απελευθέρωση περισσότερου φάσματος εντός των αναφερθέντων συχνοτήτων. Ωστόσο, αυτό θα μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέχρι το σημείο που ικανοποιείται η ζήτηση. Επίσης, θα είναι απαραίτητο τα κινητά συστήματα να μπορούν να μετακινούνται σε νέες περιοχές φάσματος με υψηλότερες συχνότητες. Στην ουσία, υπάρχει δυνατότητα για μεγαλύτερη χωρητικότητα στις υψηλότερες συχνότητες, εάν οι υψηλές συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τέτοιο τρόπο που να υπερνικούν ή να αντισταθμίζουν τα κατώτερα χαρακτηριστικά της διάδοσης. Συνεπώς, είναι πιθανό, οι τρεις ευρείς κατηγορίες φάσματος που θα χρησιμοποιηθούν στα 5G δίκτυα να είναι οι εξής:

1. Χαμηλές συχνότητες, κάτω από 1GHz για κάλυψη αγροτικών περιοχών και κάλυψη εντός κτηρίων.
2. Βασικές συχνότητες, από περίπου 1GHz έως 6GHz, για γενική κάλυψη και χωρητικότητα, με τις υψηλές συχνότητες να χρησιμοποιούνται για την χωρητικότητα των hot-spots
3. Υψηλές συχνότητες, από 6GHz έως δεκάδες GHz, για υψηλή χωρητικότητα σε περιοχές πυκνής χρήσης, όπως για παράδειγμα σε πανεπιστημιούπολεις και μέσων μαζικής μεταφοράς.

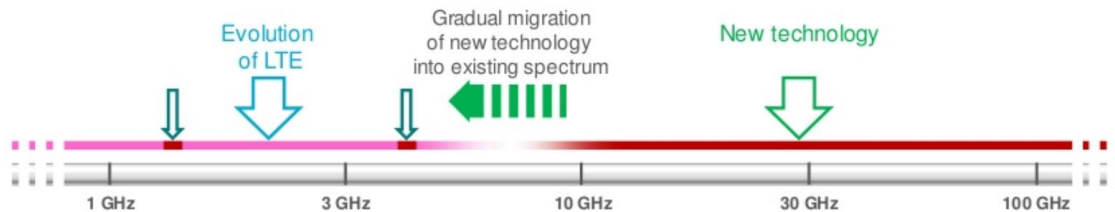


Εικόνα 2. Φάσμα 5G
(πηγή: "5G Concept Ericsson, EAB-14:068423")

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν ήδη επωφεληθεί από το «ψηφιακό μέρισμα» που έγινε όταν μεταφέρθηκε η τηλεοπτική μετάδοση από την αναλογική στην ψηφιακή μετάδοση καθώς απελευθερώθηκε φάσμα στην περιοχή των 700 - 800 GHz συχνοτήτων. Τα χαρακτηριστικά διάδοσης αυτής της περιοχής συχνοτήτων, καθιστούν το φάσμα αυτό ιδανικό για την κάλυψη αγροτικών περιοχών και για την κάλυψη δικτύου μέσα σε ένα κτήριο.

Τα δημόσια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ανέκαθεν βασίζοντας στην αποκλειστική πρόσβαση σε αδειοδοτημένο φάσμα, έτσι ώστε να είναι εφικτός ο έλεγχος των διάφορων επιπέδων παρεμβολών και να επιτυγχάνονται προβλεπόμενα επίπεδα απόδοσης. Το αδειοδοτημένο φάσμα θα συνεχίσει να παρέχεται και στα 5G δικτύων. Όμως, υπάρχουν μεγάλα τμήματα μη αδειοδοτούμενου φάσματος σε ελκυστικές συχνότητες, για παράδειγμα στα 5GHz, όπου τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα μπορούσαν να το εκμεταλλευτούν χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Wi-Fi ή LTE-Advanced. Μια πιθανότητα είναι ότι τα δίκτυα χρησιμοποιούν αδειοδοτημένο φάσμα για ισχυρές συνδέσεις ευρείας περιοχής, για παράδειγμα για τον έλεγχο του σήματος κατά την τηλεφωνική επικοινωνία, υποστηριζόμενο από τη δυναμική πρόσβαση σε μη αδειοδοτημένο φάσμα για την ενίσχυση της μετάδοσης των δεδομένων.

Ακόμη και όταν συνδυαστεί με τις βελτιωμένες δυνατότητες του LTE-Advanced, αυτό το πρόσθετο φάσμα δεν θα είναι αρκετό για να ικανοποιήσει τις πιο έντονες απαιτήσεις επικοινωνίας δεδομένων. Για παράδειγμα, η παράδοση όλων των δεδομένων κινητής τηλεφωνίας που απαιτούνται σε πυκνές αστικές περιοχές είναι πιθανό να χρειαστεί να μετακινηθεί στο τέλος της υψηλής συχνότητας της ζώνης των εκατοστών κύματος (κάπου μεταξύ 6GHz και 30GHz) ή στο τέλος της χαμηλής συχνότητας της ζώνης χιλιοστομετρικών κυμάτων κάπου μεταξύ 30GHz και 100GHz). Αυτές οι ζώνες προσφέρουν μεγάλη χωρητικότητα, αλλά «υποφέρουν» από χαμηλής ποιότητας χαρακτηριστικών διάδοσης και παράλληλα βασίζονται σε μικρά μεγέθη κυβελών και σε προηγμένες τεχνικές κεραίας (που αναφέρονται παρακάτω).



Εικόνα 3. Φάσμα 5G για νέες τεχνολογίες
(πηγή: “5G Concept Ericsson, EAB-14:068423”)

Το φάσμα που χρησιμοποιείται από κινητά συστήματα σε όλο τον κόσμο είναι ήδη κατακερματισμένο και η εισαγωγή νέων ζωνών και νέων τρόπων λειτουργίας μπορεί να κάνει τα πράγματα χειρότερα. Η επιτυχία του GSM και στη συνέχεια του UMTS βασίστηκε στην ανάπτυξη ενός σχετικά ικανοποιητικού συνόλου συχνοτήτων, το οποίο περιόρισε τον αριθμό των μεταβλητών που απαιτούνται από τους παρόχους δικτύων για την υποστήριξη της περιαγωγής.

Ο κατακερματισμός της κατανομής του ραδιοφάσματος θα μπορούσε να οδηγήσει σε κινητές συσκευές που είναι ασυμβίβαστες μεταξύ των αγορών ή έχουν διαφορετικές δυνατότητες μεταξύ των αγορών και θα μπορούσε να τεθεί σε κίνδυνο οικονομικής κλίμακας. Οι συνέπειες του κατακερματισμού μπορούν ήδη να παρατηρηθούν στην εφαρμογή της συνάθροισης των φορέων (carrier aggregation) στην τεχνολογία LTE, όπου κάθε συνδυασμός ζωνών συχνοτήτων πρέπει να αντιμετωπιστεί ξεχωριστά στα πρότυπα και οδηγεί στην αποσπασματική εισαγωγή νέων δυνατοτήτων. Καθώς οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν επεκταθεί, θα είναι ζωτικής σημασίας να αναπτυχθεί ένα εναρμονισμένο πλαίσιο για τη χρήση του ραδιοφάσματος.

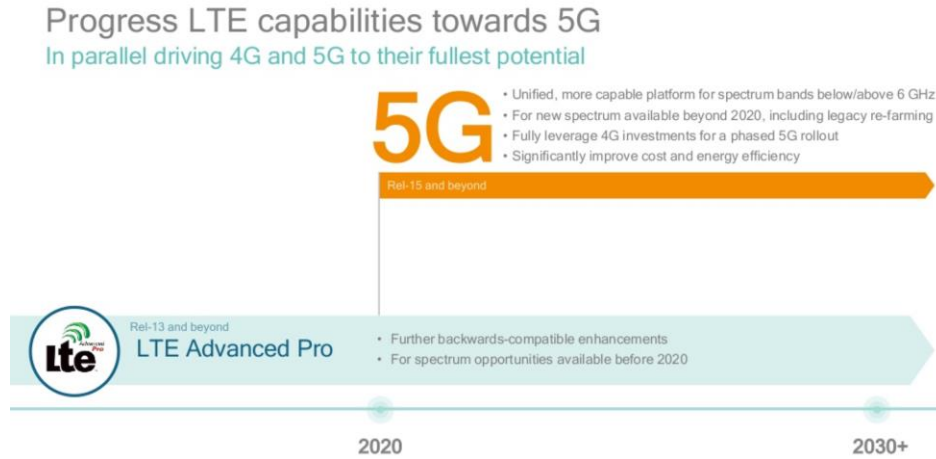
1.3 Νέες τεχνικές δικτύου

Η επίτευξη των στόχων για τα δίκτυα 5G θα απαιτήσει διάφορες νέες τεχνικές για την πλήρη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων των υφιστάμενων και των νέων ασύρματων τεχνολογιών. Υπάρχουν διάφορες απόψεις για το τι μπορεί να χρειαστεί. Ωστόσο, ορισμένες προσεγγίσεις εμφανίζονται ήδη στο πλαίσιο των συστημάτων 4G και είναι πιθανό να εξελιχθούν στα συστήματα 5G τα επόμενα χρόνια.

1.3.1 Σύνθετη συσσώρευση φορέων (Advanced Carrier Aggregation)

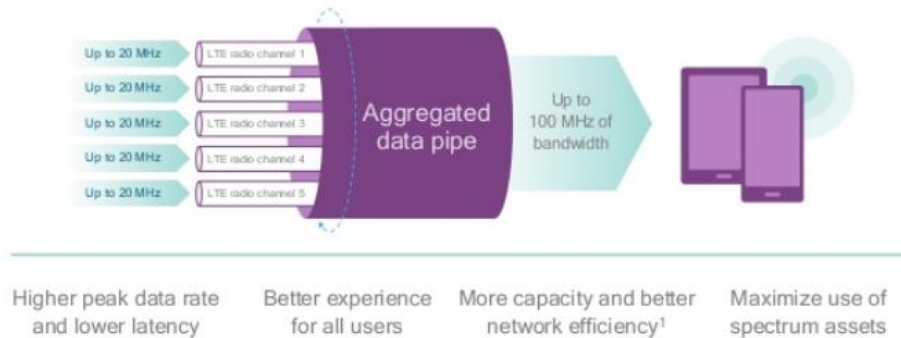
Το LTE διαθέτει τη δυνατότητα συνδυασμού διακεκριμένων φορέων LTE, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται ή όχι στην ίδια ζώνη συχνότητας, με σκοπό να αυξήσει το μέγιστο ρυθμό δεδομένων και την χωρητικότητα ενός δικτύου και να αξιοποιήσει στο έπακρο την κατακερματισμένη κατανομή φάσματος. Οι πρώιμες υλοποιήσεις της συνάθροισης φορέα υποστηρίζουν μόνο έναν μικρό αριθμό φορέων συνιστωσών και περιορισμένους συνδυασμούς ζωνών συχνοτήτων. Κατά τα προσεχή έτη θα υπάρξουν αυξήσεις στον αριθμό των φορέων συνιστωσών, στο μέγιστο εύρος ζώνης και στο συνδυασμό των ζωνών που θα υποστηρίζονται. Εν τέλει, ο στόχος είναι να μπορεί το δίκτυο να υποστηρίξει έως και πέντε LTE φορείς, καθένας από τους οποίους να φτάνει μέχρι το εύρος ζώνης των 20MHz. Θα υπάρξουν επίσης νέες εφαρμογές της συσσωμάτωσης φορέα,

για παράδειγμα μεταξύ μακροκυττάρων (macro cells) και μικροκυττάρων (micro cells) σε ετερογενή δίκτυα (HetNets), μεταξύ αδειοδοτημένου και μη φάσματος και μεταξύ φάσματος FDD και TDD.



Εικόνα 4: Η εξέλιξη του LTE (πηγή: “Leading the path towards 5G with LTE Advanced Pro - Qualcomm Wireless Evolution”)

Carrier Aggregation—fatter pipe enhances user experience
Leading LTE Advanced feature today



Εικόνα 5: Συσώρευση φορέων (carrier aggregation)” (πηγή: “Leading the path towards 5G with LTE Advanced Pro - Qualcomm Wireless Evolution”)

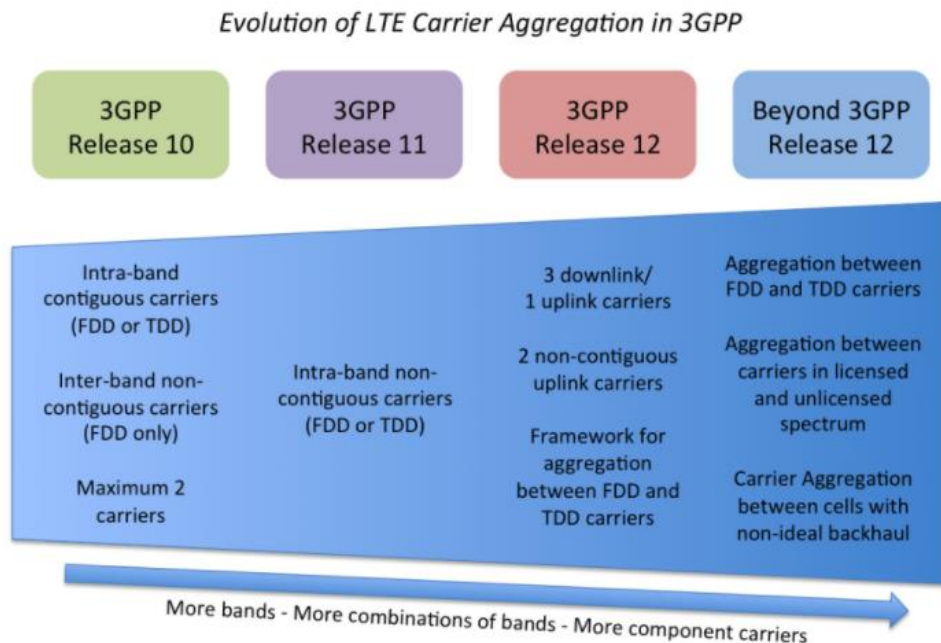
1.3.2 Συντονισμός ασύρματων πόρων μεταξύ των κελιών

Ένα χαρακτηριστικό της διαμόρφωσης πολλαπλών φερουσών με ορθογώνια συχνότητα, (Orthogonal Frequency Domain Multiple Access - OFDMA), που χρησιμοποιείται για την κοινή χρήση ραδιοφωνικών πόρων στο LTE, είναι ότι όλες οι συχνότητες στο λειτουργικό εύρος ζώνης είναι διαθέσιμες σε κάθε κελί κάθε στιγμή. Αυτό δημιουργεί τόσο προβλήματα όσο και ευκαιρίες, οι οποίες καθίστανται όλο και πιο σημαντικές καθώς οι κυτταρικές αρχιτεκτονικές αναμιγνύονται και ταιριάζουν με διαφορετικά μεγέθη, σχήματα, στρώματα και ρόλους κυττάρων

και τα κύτταρα αρχίζουν και «στριμώχνονται» όλο και περισσότερο. Ο συντονισμός της χρήσης των ραδιοφωνικών πόρων σε γειτονικά κελιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμβλυνση των παρεμβολών και τη βελτίωση της απόδοσης.

Εάν γειτονικά κελιά χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα ταυτόχρονα, τότε μια κινητή συσκευή που λειτουργεί κοντά στο όριο μεταξύ αυτών των κυψελών μπορεί να παρουσιάσει παρεμβολές. Το βασικό LTE καθορίζει ορισμένες επιλογές για τον μετριασμό αυτού του προβλήματος με τη λειτουργία ICIC (Inter-Cell Interference Coordination) στο 3GPP έκδοση (Release) 8. Η γενική προσέγγιση είναι ότι τα γειτονικά κελιά θα πρέπει να χρησιμοποιούν χρόνους μετάδοσης, συχνότητες και επίπεδα ισχύος με τέτοιο τρόπο ώστε αποφεύγονται τυχόν παρεμβολές μεταξύ των κινητών συσκευών που βρίσκονται κοντά στις εναλλαγές των κελιών. Το LTE-Advanced επεκτείνει αυτήν την προσέγγιση στο 3GPP Release 12 με ενισχυμένο ICIC (eICIC), το οποίο εφαρμόζει τις ίδιες αρχές για τον έλεγχο των καναλιών και παρέχει πιο εξελιγμένο συντονισμό των ραδιοφωνικών πόρων για να ταιριάζει στις ανάγκες των ετερογενών δικτύων, όπου υπάρχει πιθανότητα επικάλυψης μεταξύ των μεγάλων και μικρών κυττάρων. Ο προηγμένος συντονισμός παρεμβολών αυτού του είδους δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί ευρέως και υπάρχουν πολλά περιθώρια για περαιτέρω εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα.

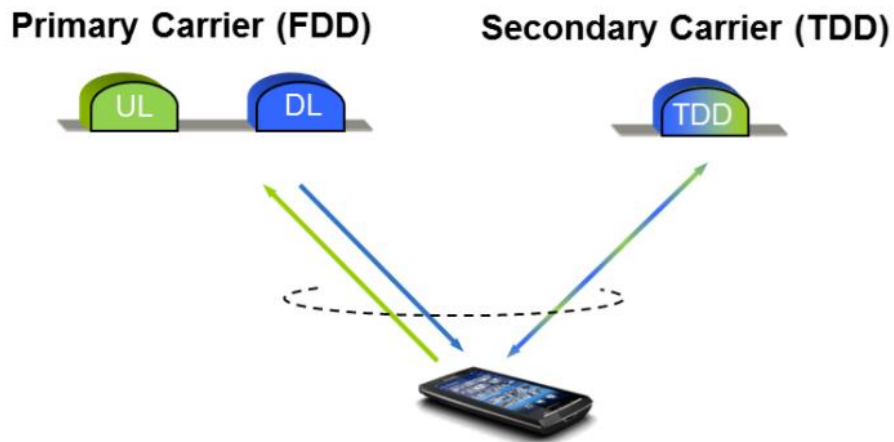
Ένα περαιτέρω παράδειγμα συντονισμού της λειτουργίας των γειτονικών κυψελών είναι ο συντονισμός πολλαπλών σημείων (CoMP) της μεθόδου LTE-Advanced, η οποία εξελίσσει τη διαμόρφωση OFDMA μέσω της αποστολής και λήψης δεδομένων μεταξύ μιας κινητής συσκευής και πολλαπλών σταθμών βάσης LTE Advanced. Έχουν καθοριστεί ορισμένα σχήματα, τα οποία επιτρέπουν σε ένα σύστημα LTE-Advanced να πραγματοποιεί δυναμικές προσαρμογές στις ραδιοζεύξεις που διατίθενται σε μια κινητή συσκευή, προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση και η χρήση του δικτύου. Αυτός είναι ένας άλλος τομέας με μεγάλη περιθώρια για περαιτέρω βελτιώσεις καθώς οι τεχνολογίες 4G εξελίσσονται στο σύστημα 5G.



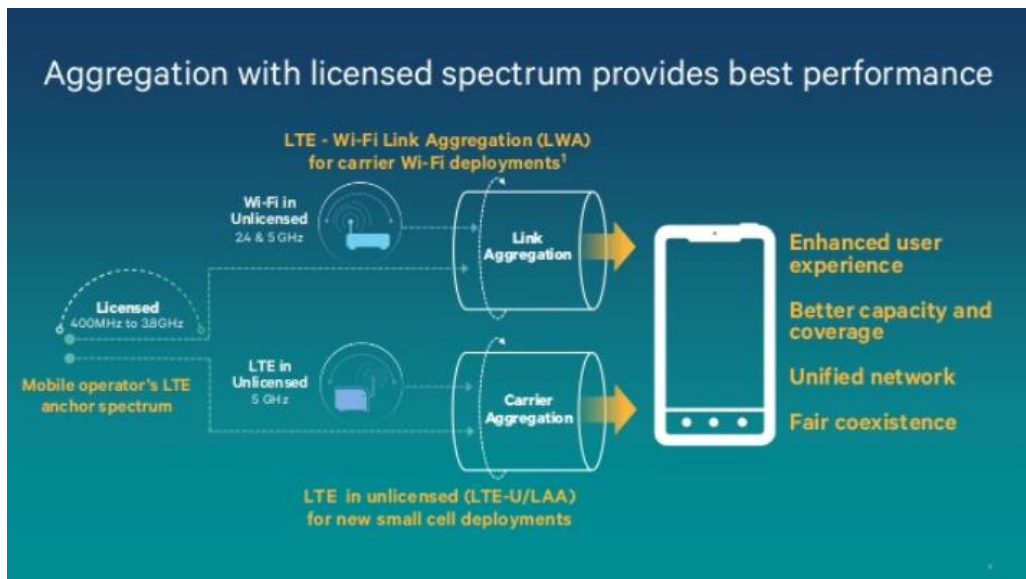
Εικόνα 6. LTE Carrier Aggregation in 3GPP

(πηγή: “Evolution of LTE-Advanced Carrier Aggregation”, by Alastair Brydon [34])

Καθώς τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αναπτύσσονται τα επόμενα χρόνια, θα κινηθούν όλο και περισσότερο σε πολυεπίπεδες δομές, στις οποίες τα διαφορετικά κελιά μπορεί να έχουν διαφορετικούς ρόλους, μεγέθη, φάσματα ή τεχνολογίες. Η κυψελοειδής αρχιτεκτονική θα εξελιχθεί ώστε να παρέχει περισσότερο έλεγχο και συνεργασία μεταξύ των στρωμάτων και των κυψελών του δικτύου. Παράλληλα, στα ενισχυμένα μικρά κελιά (επίσης αναφέρονται και ως «μικρά κελιά με μακροσκοπική υποστήριξη», «κελιά φαντάσματα» ή «μαλακά κελιά»), τα macro cells παρέχουν μια ισχυρή σύνδεση σήματος ευρείας περιοχής για σκοπούς ελέγχου και τα small cells παρέχουν επικοινωνία δεδομένων υψηλής απόδοσης εντός των περιοχών κάλυψης. Στις μελλοντικές δικτυακές αρχιτεκτονικές θα υπάρχουν πολλές παρεμβολές αυτού του είδους, μεταξύ κυψελών διαφορετικών μεγεθών, μεταξύ αδειοδοτημένου και μη αδειοδοτημένου φάσματος, μεταξύ συνδέσεων Duplex Division Duplex (FDD) και Time Duplex Division (TDD) και μεταξύ LTE-Advanced και WiFi.



Εικόνα 7. FDD - TDD Carrier Aggregation (πηγή: “The next standardization step is joint TDD-FDD carrier aggregation”, ericsson research blog)



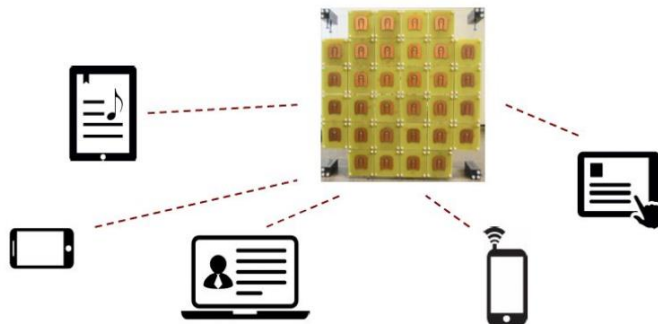
Εικόνα 8. LTE Aggregation and Wi-Fi (πηγή: “LTE-U/LAA, MuLTEfire™ and Wi-Fi; making best use of unlicensed spectrum”, Qualcomm Wireless Evolution)

1.3.3 Υψηλής απόδοσης MIMO

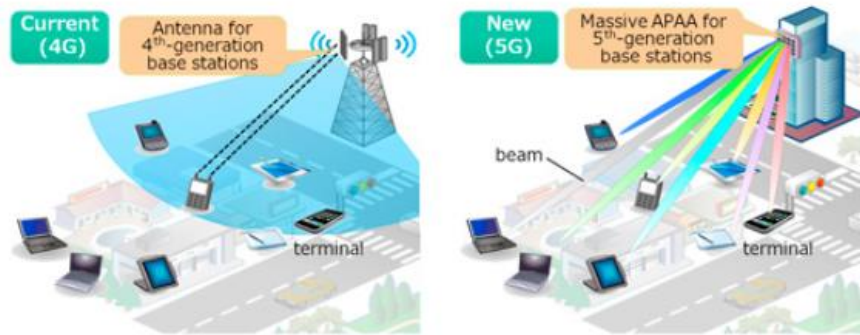
Το λειτουργικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας σε φάσμα υψηλότερων συχνοτήτων στις κυματικές ζώνες εκατοστού και χιλιοστού δημιουργεί νέες προκλήσεις για τους σχεδιαστές δικτύων, συμπεριλαμβανομένου της κατώτερης διάδοσης που προκαλείται από την αυξημένη απώλεια ισχύος και της μεγαλύτερης διασποράς σε σύγκριση με τις χαμηλότερες συχνότητες. Ωστόσο, προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα. Τα μικρότερα μήκη κύματος σε αυτές τις συχνότητες καθιστούν πολύ πιο εύκολη την εγκατάσταση κεραιών σε μεγάλο εύρος περιοχών με μικρές αποστάσεις μεταξύ τους, οι οποίες θα χρησιμοποιούνται από σταθμούς βάσης ή από κινητές συσκευές (ή και από τα δύο).

Το LTE χρησιμοποιεί ήδη κεραιές πολλαπλών εισόδων και εξόδων (MIMO - Multiple Input Multiple Output) για την βελτίωση της απόδοσής του. Το 3GPP Release 11 επιτρέπει μέχρι 8×8 MIMO (δηλαδή 8 στοιχεία εκπομπής και 8 στοιχεία λήψης από και προς την κεραία) κατά το LTE downlink. Κάτι τέτοιο βέβαια είναι αδύνατο να εφαρμοστεί εμπορικά μέχρι στιγμής. Ωστόσο, αρκετοί οργανισμοί ερευνούν πολύ μεγαλύτερες περιοχές MIMO (κάποιες φορές αναφέρονται και ως μαζικές περιοχές MIMO (massive MIMO)) [35] με 64 ή/και περισσότερα στοιχεία. Οι περιοχές υψηλής απόδοσης MIMO θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον σχηματισμό ακτινών (beamforming) (δηλαδή, πολλές κατευθυντικές στενές δέσμες, για τη μείωση των παρεμβολών και την αύξηση της απόδοσης) ή / και για τη χωρική πολυπλεξία (δηλαδή για την εκμετάλλευση πολλαπλών μεμονωμένων στοιχείων ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα ή/και ευρωστία των ραδιο-διαδρομών μεταξύ των κινητών συσκευών και του δικτύου).

Οι προηγμένες τεχνικές κεραιάς αυτού του είδους θα είναι απαραίτητες εάν η λειτουργία των δεκάδων GHz είναι βιώσιμη. Δεν θα είναι ποτέ εφικτό να παρέχεται ευρεία κάλυψη σε αυτές τις συχνότητες, αλλά σε συνδυασμό με την υψηλή απόδοση MIMO, αυτές οι συχνότητες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πυκνοκατοικημένο αστικό δίκτυο, όπου η χωρητικότητα, και όχι τόσο η κάλυψη, είναι ο περιοριστικός παράγοντας.



Εικόνα 9. Το massive MIMO εκμεταλλεύεται μεγάλες σειρές κεραιών για τον πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας σε τερματικούς σταθμούς (πηγή: massive MIMO 5G - [35])



Εικόνα 10. Σύγκριση κάλυψης περιοχής δικτύου από την κεραία προς τα τερματικά (πηγή: massive MIMO 5G - [35])

1.3.4 Νέες προσεγγίσεις στα πρωτόκολλα

Για να επιτευχθούν καθυστερήσεις μικρότερες από 1ms απαιτούνται νέες προσεγγίσεις όσον αφορά την κατανομή των πόρων που διαμοιράζονται εντός ενός ασύρματου δικτύου. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί σε κάποιο βαθμό, με την μετάδοση δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες, σε μεγάλο εύρος ζώνης και σε σύντομο χρονικό διάστημα (burst transmission or data burst). Ωστόσο, υπάρχει ανάγκη να εξεταστεί περαιτέρω ο τρόπος κατανομής των πόρων, οι οποίοι διαμοιράζονται, στους χρήστες. Γι' αυτό ορισμένοι οργανισμοί διερευνούν νέες προσεγγίσεις για τα πρωτόκολλα MAC (Medium Access Control), προκειμένου να παρέχουν πολύ πιο άμεση πρόσβαση στους πόρους σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα.

1.3.5 Χαρτογράφηση των τεχνολογικών υπηρεσιών με γνώμονα το περιβάλλον

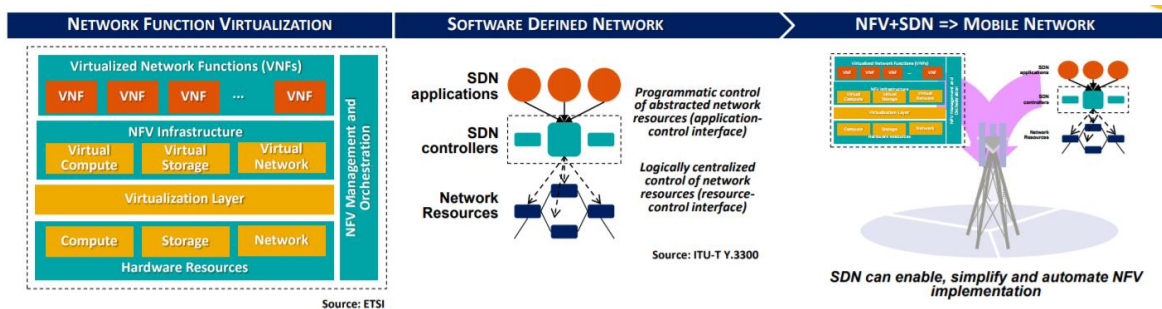
Οι εξελίξεις σε μεμονωμένες τεχνολογίες και τεχνικές θα συμβάλλουν στην αντιμετώπιση μεμονωμένων τεχνικών των δικτύων 5G. Ωστόσο, το 5G δεν σχετίζεται μόνο με την χωρητικότητα, τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και την καθυστέρηση αλλά παράλληλα σχετίζεται με την εξαιρετική ευελιξία και την παροχή ποικίλων υπηρεσιών μεταξύ ποικίλων περιβαλλόντων, τα οποία χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες με εξαιρετικά αποδοτικό, ανθεκτικό και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Η επίτευξη των επιπέδων ευελιξίας και αποτελεσματικότητας που απαιτούνται στα μελλοντικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας θα εξαρτηθεί από τις νέες αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένου της χαρτογράφησης (context - awareness) του περιβάλλοντος και της εικονικοποίησης (virtualization).

Για τα 5G δίκτυα θα χρειαστεί να γίνει χαρτογράφηση των τεχνολογικών υπηρεσιών με γνώμονα το περιβάλλον και να ληφθεί μια ολιστική άποψη για τις υπηρεσίες που απαιτούνται σε μια συγκεκριμένη περιοχή και τις διαθέσιμες τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν στην περιοχή αυτή. Το δίκτυο θα λαμβάνει δυναμικές αποφάσεις σχετικά με τους πόρους που θα χρησιμοποιηθούν για την παροχή της κάθε υπηρεσίας ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη ποιότητα των υπηρεσιών με τον πιο αποτελεσματικό δυνατό τρόπο.

1.3.6 Εικονικοποίηση (virtualization)

Η εικονικοποίηση βασίζεται σε έννοιες που εμφανίζονται ήδη στο cloud computing, όπου οι υπηρεσίες και οι δυνατότητες που προσφέρει ένα σύστημα αποσυνδέονται από την υποκείμενη υποδομή που τους παρέχει το σύστημα. Με αυτόν τον τρόπο, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας θα μπορούν να πωλούν κάποιες δυνατότητες του δικτύου, όπως είναι η χωρητικότητα, η κάλυψη και η ποιότητα των υπηρεσιών, αντί να πωλούν μόνο συγκεκριμένους τύπους πρόσβασης στο δίκτυο, και παράλληλα θα έχουν την δυνατότητα να συνδυάσουν τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παροχή αυτών των δυνατοτήτων σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Θα μπορούσε επίσης να επιτρέψει στους παρόχους κινητής τηλεφωνίας να επεκτείνουν και να βελτιώσουν τις δυνατότητες των δικτύων τους με ευέλικτο τρόπο, εισάγοντας νέες ή βελτιωμένες τεχνολογίες σε ένα υπάρχον πλαίσιο.

Η εικονικοποίηση βασίζεται σε νέες προσεγγίσεις των αρχιτεκτονικών δικτύων και σε πολύ μεγαλύτερο έλεγχο λογισμικού αυτών των αρχιτεκτονικών. Κάποια παραδείγματα μελετών σε αυτόν τον τομέα είναι το Software-Defined Networking (SDN) και η Εικονικοποίηση Λειτουργιών Δικτύου (Network Function Virtualisation - NFV) οι οποίες πρόκειται να εξελιχθούν πολύ περισσότερο τα επόμενα χρόνια.



Εικόνα 11. Συνδυασμός NFV & SDN δίκτυο για τα κινητά δίκτυα (πηγή: Examining the Role of SDN and NFV in the Move Towards LTE-A and 5th Generation, Network Technology Strategy Department, Latin America)

Δεδομένης της μεγάλης σημασίας που έχουν οι κινητές επικοινωνίες, είναι σημαντικό τα δίκτυα 4G να εξελιχθούν εγκαίρως σε 5G, ώστε να καλύψουν την αναμενόμενη ζήτηση μετά το 2020. Αυτό δεν θα είναι καθόλου εύκολο, δεδομένου του μεγέθους της πρόκλησης, της πολυπλοκότητας της λύσης και της ποικιλίας των υφιστάμενων προτάσεων. Τέλος θα υπάρξει η ανάγκη για ισχυρή διαχείριση του ραδιοφάσματος στο παγκόσμιο πλαίσιο, αν ληφθεί υπόψη ότι η διεθνής τυποποίηση του ραδιοφάσματος έχει ξεκινήσει ήδη από το 2016 μέσω του συνεδρίου World Radiocommunication Conferences (WRC) 2015 της ITU και πρόκειται να συμφωνηθεί στο WRC-18 για το φάσμα που θα παρέχεται στο 5G δίκτυο.

1.4 Οικονομικοί Προβληματισμοί

Το οικονομικό κόστος που πρόκειται να επιφέρει η μετάβαση του 4G στο 5G δίκτυο είναι αρκετά σημαντικό. Ακόμα και αν το κόστος του ραδιοφάσματος μπορεί να μειωθεί σημαντικά μέσω των

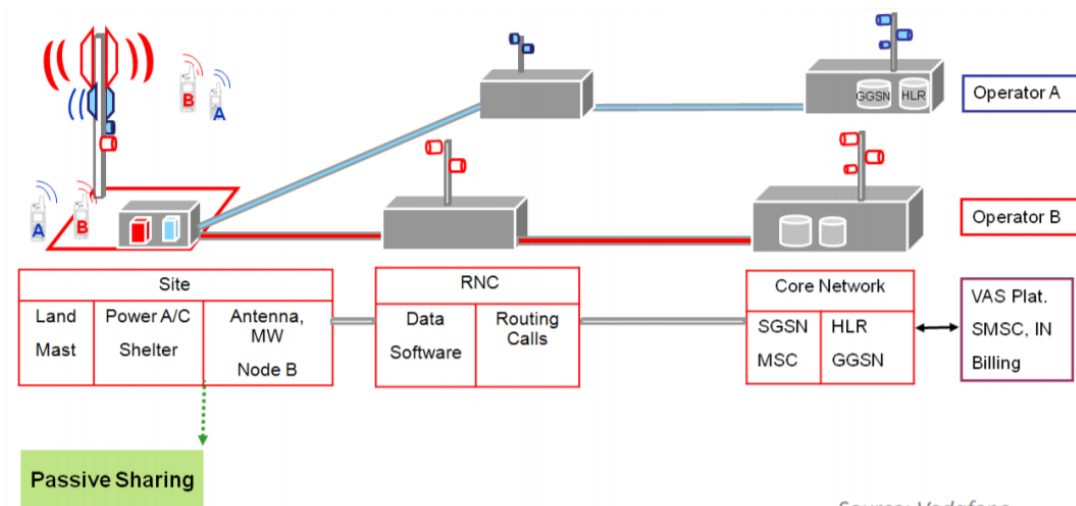
προσεγγίσεων που αναφέρθηκαν παραπάνω, εξακολουθεί να αποτελεί μείζονα πρόκληση για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, το γεγονός ότι θα χρειαστεί να πυκνώσουν τα δίκτυά τους στο βαθμό που είναι απαραίτητος για την εκπλήρωση των απαιτήσεων του 5G δικτύου. Οι πιο σημαντική πρόκληση είναι οι σταθμοί BS (base station), οι οποίοι είναι ακριβοί κατά την ενοικιάσή τους, και κατ' επέκταση είναι απαραίτητο το ενδιάμεσο τμήμα (backhaul) για να μπορέσουν οι σταθμοί αυτοί να συνδεθούν με το κεντρικό δίκτυο.

1.4.1 Κοινή χρήση υποδομής

Ένα πιθανό νέο επιχειρηματικό μοντέλο θα μπορούσε να βασίζεται στην κοινή χρήση υποδομών, όπου οι ιδιοκτήτες των υποδομών και των φορέων εκμετάλλευσης είναι διαφορετικοί. Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους θα μπορούσε να μοιραστεί η υποδομή.

1.4.1.1 Παθητική κοινή χρήση υποδομών

Τα παθητικά στοιχεία ενός δικτύου περιλαμβάνουν τις τοποθεσίες (φυσικό χώρο, στέγες, πύργους και πυλώνες), τη σύνδεση backhaul, τα τροφοδοτικά και το κλιματισμό. Οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας θα μπορούσαν να καλύψουν μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές με χαμηλότερο κόστος και με λιγότερη κατανάλωση ενέργειας εάν μοιράζονταν τις τοποθεσίες κάτω το οποίο μπορεί να έχει ιδιαίτερη σημασία σε πυκνά δίκτυα 5G [36]. Επιπλέον, θα μπορούσε να απαιτηθεί ρύθμιση για να αναγκάσει τους μεγάλους παρόχους κινητής τηλεφωνίας να μοιραστούν τις τοποθεσίες τους και να βελτιώσουν τον ανταγωνισμό.

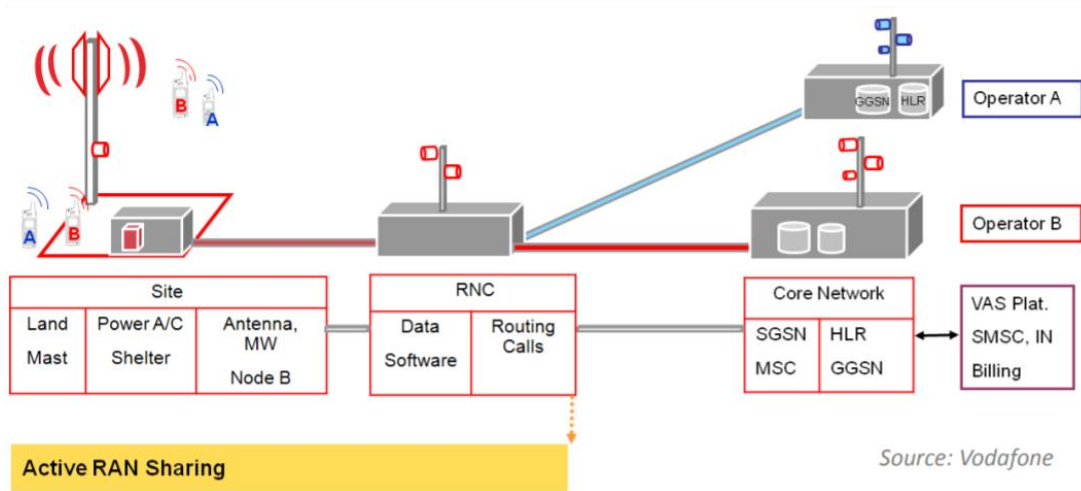


Source: Vodafone

Εικόνα 12. Παθητική κοινή χρήση υποδομών (πηγή: *Mobile network sharing: facilitating deployment of mobile broadband [37]*)

1.4.1.2 Ενεργή κοινή χρήση υποδομών

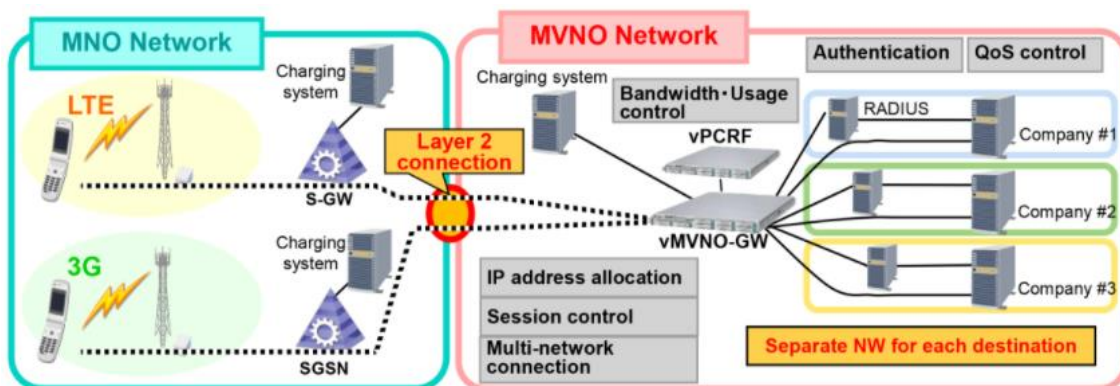
Η ενεργή ανταλλαγή υποδομών θα περιλάμβανε κεραιές, σταθμούς BS, δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, ακόμη και το βασικό κορμό των δικτύων. Η κοινή χρήση σταθμών BS ή/και ασύρματης πρόσβασης στο δίκτυο, μπορεί να είναι ιδιαίτερα ελκυστική όταν πρόκειται για δίκτυα που αποτελούνται από μικρά κελιά [38]. Αυτή η κοινή χρήση κατανομής των υποδομών θα μπορούσε να οδηγήσει τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας σε συνεργασία με αντι-ανταγωνιστικές συμφωνίες όσον αφορά τις τιμές και τις υπηρεσίες που θα παρέχουν [36].



Εικόνα 12. Ενεργή κοινή χρήση υποδομών (πηγή: *Mobile network sharing: facilitating deployment of mobile broadband* [37])

1.4.1.3 Εικονικό δίκτυο κατά την λειτουργία των κινητών

Ένα μικρό κελί μπορεί να λειτουργεί από έναν χειριστή κινητού εικονικού δικτύου που δεν διαθέτει κανένα φάσμα αλλά έχει συνάψει συμφωνία με άλλον χειριστή για να αποκτήσει πρόσβαση στο φάσμα του εντός του μικρού κελιού. Το μικρό κελί μπορεί να παρέχει κάλυψη σε μια μεγάλη ή μικρή επιχείρηση, έτσι ώστε, όταν ένας χρήστης εγκαταλείπει την επιχείρηση, να περνάει στο δίκτυο του άλλου παρόχου κινητής τηλεφωνίας.



Εικόνα 13. Εικονικό δίκτυο (πηγή: *Mobile Virtual Network Operator Gateway, NEC*)

1.4.1.4 Εκφόρτωση (offloading)

Η περιαγωγή χρησιμοποιείται κανονικά για την αύξηση της κάλυψης όταν τα γεωγραφικά όρια κάλυψης των παρόχων υπηρεσιών είναι περιορισμένα. Ωστόσο, στο 5G δίκτυο, η κυκλοφορία μπορεί να εκφορτωθεί για διαφορετικό λόγο: διακυμάνσεις της χωρικής και χρονικής ζήτησης. Τέτοιες διακυμάνσεις θα είναι μεγαλύτερες στα δίκτυα μικρών κυψελών. Πρόσφατες μελέτες εξετάζουν το κίνητρο για επενδύσεις στο πλαίσιο διαφόρων συμβάσεων κοινής χρήσης των εσόδων [39], [40]. Σύμφωνα με το [39] φαίνεται ότι η κοινή χρήση των εσόδων αυξάνει τις επενδύσεις και το κίνητρο είναι μεγαλύτερο εάν ο ιδιοκτήτης της υποδομής αποκτήσει το μεγαλύτερο μέρος των εσόδων όταν μεταφέρεται η κυκλοφορία του δικτύου λόγω υπερχειλίσης. Μια προσέγγιση διαπραγμάτευσης για την εκφόρτωση δεδομένων από ένα κυψελοειδές δίκτυο σε μια συλλογή δικτύων WiFi ή femtocell εξετάζεται στο [41] και θα αναλυθεί παρακάτω.

1.4.2 Ενδιάμεσο τμήμα (backhaul)

Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας στο οικονομικό πλαίσιο του δικτύου 5G αποτελεί το ενδιάμεσο τμήμα του δικτύου (backhaul) το οποίο θα είναι πιο δύσκολο μέσω αυτού να παρέχεται πιο γρήγορο δίκτυο σε μια πυκνή περιοχή. Ωστόσο, μέσω των παρακάτω, μπορεί να βρεθεί μια λύση:

- Η ανάπτυξη των ινών παγκοσμίως συνεχίζει να ωριμάζει και να φτάνει σε πιο μακρινούς αστικούς προορισμούς.
- Το ασύρματο backhaul βελτιώνεται με αλματώδεις ρυθμούς, με αποτέλεσμα να προάγεται η καινοτομία και ο ανταγωνισμός μεταξύ των παρόχων κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, οι συχνότητες mmWave θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο backhaul των μικρών κυψελών καθώς δεν επηρεάζονται τόσο από τις παρεμβολές. Αυτό θα μπορούσε να συμβάλει και στην ανάπτυξη non-LoS mmWave συχνοτήτων με όφελος κατά μαζική αποστολή/λήψη δέσμης (beamforming), δεδομένου ότι η σύνδεση του backhaul είναι αρκετά στατική σε εξωτερικούς χώρους και η ευθυγράμμιση της δέσμης να είναι ακριβής.
- Η βελτιστοποίηση του backhaul προκαλεί αναμφισβήτητη ανησυχία στους μελετητές [42],[43], δεδομένης της νέας κατάστασης όπου το backhaul περιορίζει τις επιδόσεις. Ένα άλλο πρόβλημα που εξετάζεται στο [42] είναι η βελτιστοποίηση των πόρων τόσο στο ασύρματο δίκτυο όσο και σ' όλο το backhaul. Επίσης, σύμφωνα με το [43], αναπτύσσονται και τεχνικές συμπίεσης κατά το uplink στο cloud. Τέλος, μια ακόμη προσέγγιση που μελετάτε στο [44] είναι η «προληπτική» αποθήκευση περιεχομένου υψηλού εύρους ζώνης όπως γίνεται στο βίντεο.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

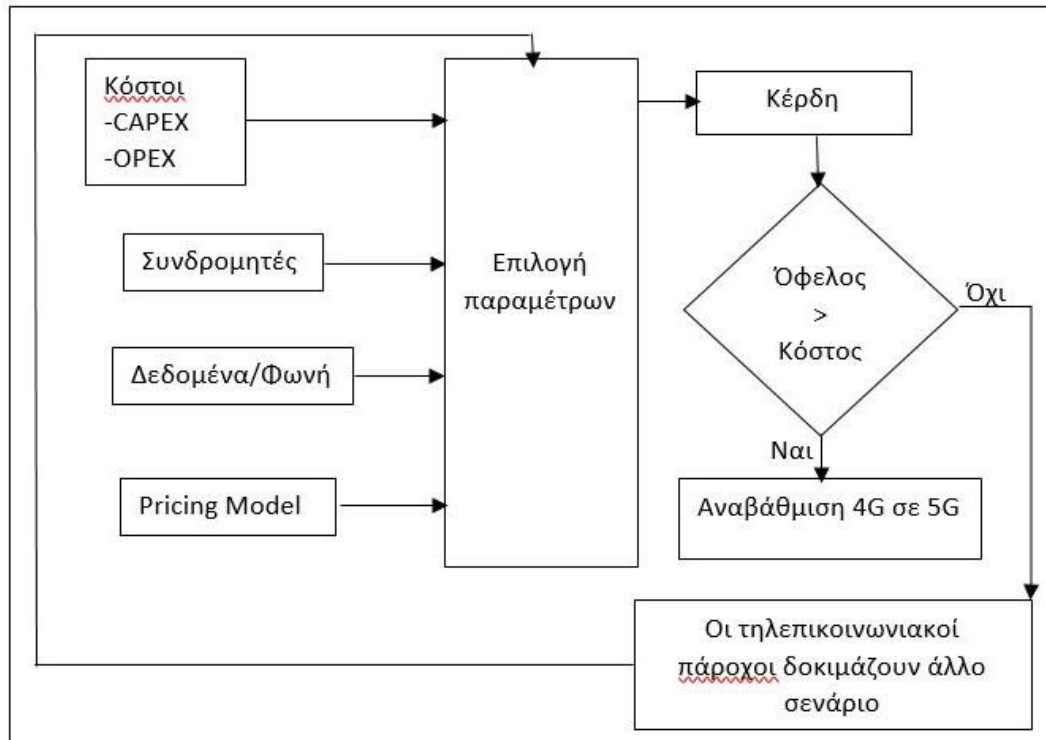
Σύμφωνα με την διαθέσιμη βιβλιογραφία στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, οι τεχνο-οικονομικές μελέτες έχουν αποκτήσει όλο και μεγαλύτερη σημασία τα τελευταία δέκα χρόνια. Η πρόβλεψη καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική λόγω της μεγάλης αναταραχής που επικρατεί στην αγορά των τηλεπικοινωνιών, η οποία είναι αποτέλεσμα της ταχείας τεχνολογικής εξέλιξης και ακολουθείται από την εκθετική ανάπτυξη των κινητών συσκευών που συνδέονται με το δίκτυο και το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Ο Markendahl.J, 2011, [6] αναλύει τις στρατηγικές εξοικονόμησης κόστους με βάση την κοινή χρήση δικτύου, φάσματος, την περιαγωγή και την ανάπτυξη της τεχνολογίας femtocell, η οποία χρησιμοποιείται για την παροχή υψηλής ποιότητας κάλυψης δικτύου σε εσωτερικούς χώρους όπως το σπίτι ή το γραφείο. Διάφορες μελέτες περιπτώσεων έχουν βασιστεί σε ποικίλες στρατηγικές για να μπορέσουν να αναπτύξουν νέους τύπους υπηρεσιών και εσόδων. Οι Yanjiao Chen et al.,2015, [7], εξηγούν πώς ένας οικονομικός μπορεί μέσω της ταμειακής ροής (cash flow) να αναλύσει την ανάπτυξη των 4G σε ένα πεπερασμένο χρονικό διάστημα.

Ωστόσο, οι Filipe Vazl et al., 2013, [8] βασιζόμενοι στην ανάλυση της τεχνολογίας macrocell (ευρύ φάσμα και μεγάλη κάλυψη δικτύου) και femtocell, διεξήγαγαν μια συγκριτική οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση, η οποία επέτρεψε στους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς να την προσαρμόσουν στα επιχειρηματικά τους μοντέλα και να αναπτύξουν βιώσιμες τεχνολογικές μεθόδους στις τρέχουσες και μελλοντικές τάσεις της αγοράς. Οι Markendahl.J et al., 2010, [9] συγκρίνουν την απόδοση του κόστους και της χωρητικότητας των femtocell και macro-cellular δικτύων. Χρησιμοποιώντας, οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί, την τεχνολογία femtocell ως εργαλείο, κατάφεραν να μειώσουν το κόστους του δικτύου στην κινητή σύνδεση. Οι Miroslaw Kantor et al, 2010, [10] προσδιόρισαν όλα τα βασικά στοιχεία ενός γενικού πλαισίου για την οικονομική ανάλυση των διαφορετικών τεχνολογιών και αρχιτεκτονικών δικτύων πρόσβασης, καθώς περιέγραψαν κάποια συγκεκριμένα προβλήματα που σχετίζονται με την τεχνο-οικονομική εξέλιξη των δικτύων της επόμενης γενιάς.

Η μελέτη αυτή, διαφέρει από τις προαναφερθείσες, καθώς εστιάζει στην ανάλυση τους κόστους και στα οφέλη των 5G κινητών δικτύων με σκοπό να βοηθηθούν οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί κατά την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων, όπως για παράδειγμα, με το εάν το 5G κινητό δίκτυο μπορεί να επιφέρει κέρδη ή ζημίες στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους κατά την περίοδο που διεξάγεται η ανάλυση. Για να υλοποιηθεί η ανάλυση αυτή, χρησιμοποιήθηκε ένα μαθητικό μοντέλο μέσω του οποίου περιγράφονται τα έσοδα και προβλέπονται τα κόστη.

3. Πρόβλεψη κόστους - Ανάλυση οφέλους ανάπτυξης 5G δικτύων

Προκειμένου να αναλυθούν και να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες παράμετροι, η συγκεκριμένη μελέτη, εστιάζει στην Ελληνική γεωγραφική περιοχή. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, το πρώτο στάδιο της ανάλυσης αρχίζει με την ανάλυση του αριθμού των συνδρομητών, οι οποίοι ορίζονται ως χρήστες κινητών τηλεφώνων και έχουν εγγραφεί σε έναν τηλεπικοινωνιακό οργανισμό μέσω μιας κάρτας SIM προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση στις υπηρεσίες (φωνή, δεδομένα) σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό εύρος.



Σχήμα 2. Μοντέλο Μελέτης

Το σημείο απόφασης είναι να γίνει η σύγκριση μεταξύ του Συνολικού Κόστους του Παρόχου (Total Cost of Ownership - TCO) με τα προβλεπόμενα έσοδα/κέρδη. Φυσικά, εάν η απόδοση επένδυσης (Return of Investment - ROI) είναι μεγαλύτερη από το συνολικό κόστος του παρόχου (TCO), τότε η επένδυση επιφέρει κέρδη. Επιπλέον, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι θέλουν να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη τους όταν θέτουν τους όρους και τις τιμές, ενώ οι συνδρομητές θέλουν να αποκτήσουν υπηρεσίες με την χαμηλότερη τιμή. Η χώρα που πρόκειται να αναλυθεί είναι η Ελλάδα, η οποία έχει έκταση 131.990 km², με 11 εκατομμύρια πληθυσμό και με χωρητικότητα 84 κατ./km² σύμφωνα με [11]. Επίσης στην Ελλάδα το 67% του πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές και το υπόλοιπο 33% σε αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ [12], σε κάθε 100 άτομα αντιστοιχούν 129 κινητά τηλέφωνα και βάση των στοιχείων της ΕΕΤΤ, ενώ στο τέλος του 2015 ο αριθμός των συνδρομητών της κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα διαμορφώθηκε σε 15,4 εκατομμύρια, αριθμός μεγαλύτερος από τον αριθμό των πολιτών (11

εκατομμύρια). Οι αριθμοί αυτοί μπορούν να δικαιολογηθούν καθώς στην Ελλάδα οι περισσότεροι πολίτες διαθέτουν κινητό τηλέφωνο με διπλή κάρτα SIM.

Στην Διπλωματική αυτή, η ανάλυση χωρίστηκε σε 4 κύριους παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας είναι η πρόβλεψη των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας τα επόμενα χρόνια. Σύμφωνα με το [13], οι παράμετροι όπως ο κατακερματισμός της αγοράς, το δημογραφικό μέγεθος και το πακέτο των υπηρεσιών είναι οι βασικοί παράγοντες για την μέτρηση της σκοπιμότητας της αγοράς των τηλεπικοινωνιών σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Έπειτα, ο δεύτερος παράγοντας είναι ο ρυθμός κίνησης των κινητών συνδέσεων, ο οποίος αναφέρεται στο ποσοστό των συνδρομητών που πρόκειται να διακόψουν την κινητή τους τηλεφωνία και έχει σημαντική επίπτωση στα έσοδα του παρόχου της κινητής τηλεφωνίας. Ο τρίτος παράγοντας, είναι η ανάλυση της στρατηγικής της τιμής (pricing model) και τέλος, ο τέταρτος παράγοντας είναι η αξιολόγηση του CAPEX και του OPEX για τις διάφορες κατηγορίες σταθμών βάσεων (base stations - BS) με σενάρια πολλαπλών επιλογών.

3.1 Πρόβλεψη συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν διάφοροι μαθηματικοί τύποι προγνωστικών μοντέλων, αλλά στην Διπλωματική αυτή, επιλέχθηκε το μοντέλο Bass καθώς μέσω του μοντέλου υπάρχει η δυνατότητα της πρόβλεψης της ζήτησης της αγοράς, για τους τύπους προϊόντων και υπηρεσιών που έχουν χαρακτηριστικά διείσδυσης όπως έχει η κινητή τηλεφωνία. Όπως αναφέρουν οι Sundqvist et al., 2005 [14] και οι Zhu et al., 2006 [15], ο τρόπος στον οποίο στηρίχθηκε και αναπτύχθηκε η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών είναι ένας τύπος διείσδυσης εξαιτίας της υιοθέτησης του τρόπου δικτύωσης. Για το λόγο αυτό, έχουμε υποθέσει ότι ο αριθμός των μελλοντικών συνδρομητών θα εξαρτηθεί από τον δυνητικό πληθυσμό -δηλαδή τον πληθυσμό που μπορεί να αγοράσει την καινοτομία- (population potential), το ρυθμό ανάπτυξη της καινοτομίας (coefficient of innovation), και το συντελεστή «μίμησης» (coefficient of imitation), και εκφράζεται ως εξής:

$$N(t) = M \frac{1 - e^{-t(p+q)}}{1 + \frac{q}{p} e^{-t(p+q)}}, p > 0, q \geq 0 \quad (1)$$

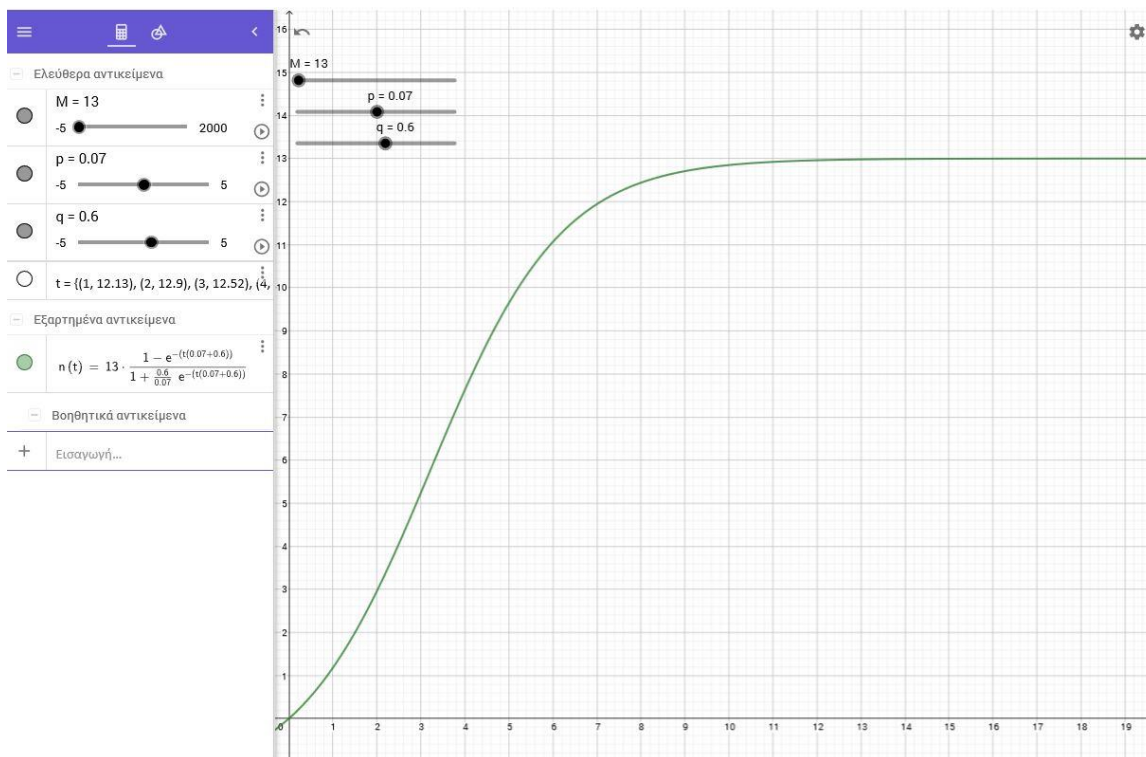
Όπου M : το επίπεδο κορεσμού της υιοθέτησης του 5G δικτύου, p : ο ρυθμός ανάπτυξης της καινοτομίας (coefficient of innovation), όπου είναι η πιθανότητα της αρχικής αγοράς στο ξεκίνημα του κύκλου ζωής των υπηρεσιών συσχετιζόμενη με το μέγεθος της αρχικής υιοθέτησης των υπηρεσιών από τους συνδρομητές, δηλαδή δηλώνει την επιρροή των καινοτόμων στην διάδοση της καινοτομίας, q : συντελεστής μίμησης, ο οποίος αναφέρεται στο ποσοστό των πιθανών, σε αριθμό, μελλοντικών συνδρομητών που πρόκειται να ενταχθούν στο 5G δίκτυο όπως αντίστοιχα είχε συμβεί με τους συνδρομητές των 4G δικτύων, και $N(t)$: ο αριθμός των συνδρομητών την χρονική στιγμή t .

Στην Διπλωματική αυτή, σύμφωνα με τα στοιχεία της EETT [16] και όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 1, θεωρούμε ότι $M = 13$ εκατομμύρια (όσες είναι περίπου οι ενεργές συνδέσεις), $p = 0.07$ και $q = 0.60$.

Χρονιά	Σύνολο (Cosmote - Vodafone - Wind)	Έσοδα κινητής τηλεφωνίας σε δις	Δείσδυση 4G	Ποσοστό
2011	12.127.985	2,3		-0.01
2012	12.897.306	2,1		+0.07
2013	12.518.645	1,9	0.00	-0.03
2014	12.144.598	1,7	0.60	-0.03
2015	12.566.650	1,7	0.85	+0,04

Πίνακας 1. Δείσδυση του κινητού δικτύου στους ενεργούς συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας

Εισάγοντας λοιπόν την συνάρτηση $n(t)$ και τα δεδομένα μας στο GeoGebra μπορεί να γίνει η πρόβλεψη του αριθμού των κινητών συνδρομητών για τα επόμενα 6 χρόνια. Όπως διαπιστώθηκε από το παρακάτω γράφημα (Σχήμα 3), τα αποτελέσματα έχουν το σχήμα της σιγμοειδής καμπύλης (s-curve) που σημαίνει ότι κατά το πρώτο έτος λειτουργίας του 5G δικτύου, ο αριθμός των συνδρομητών - καινοτόμων που θα ενσωματώσουν το 5G δίκτυο στην κινητή τους τηλεφωνία θα είναι σχετικά μικρός. Ωστόσο η επιρροή των καινοτόμων θα επηρεάσει τους μμητές με αποτελέσματα, χρόνο με το χρόνο, να αυξάνονται οι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας στο δίκτυο 5G.



Σχήμα 3. Πρόβλεψη συνδρομητών 5G δικτύου για τα επόμενα χρόνια.

3.2 Ρυθμός κίνησης

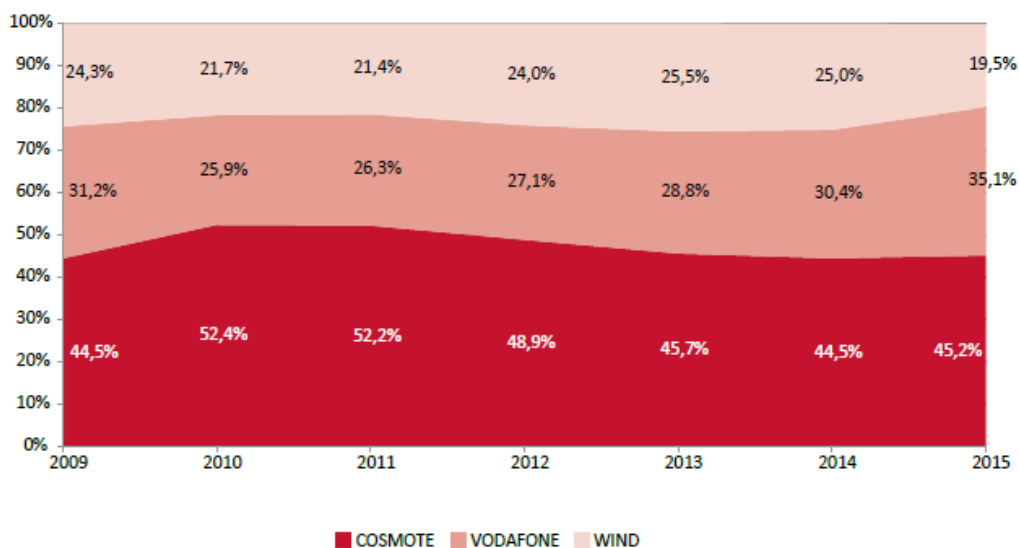
Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας για την ανάλυση της αγοράς είναι ο ρυθμός κίνησης (churn rate), ο οποίος αναφέρεται στο ποσοστό των συνδρομητών που πρόκειται να διακόψουν τις υπηρεσίες των 5G δικτύων από τον πάροχό τους σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Για την εκτίμηση του ρυθμού κίνησης, χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο οικονομικό μοντέλο:

$$CR_{year} = \frac{outflow(year)}{N(year)} \quad (2)$$

Όπου N_{year} : είναι ο προβλεπόμενος αριθμός συνδρομητών το συγκεκριμένο έτος, CR_{year} είναι το ποσοστό της αλλαγής των συνδρομητών από τον ένας πάροχο στον άλλον μέσα σε ένα χρόνο και $Outflow_{year}$ είναι ο αριθμός των συνδρομητών που διέκοψαν ή δεν χρησιμοποίησαν την σύνδεσή τους στο χρόνο. Ο λόγος που χρειάζεται να υπολογιστεί ο ρυθμός κίνησης είναι για να υπολογιστούν τα κέρδη που θα αποκτήσουν και τα κέρδη που θα χάσουν οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας από τους συνδρομητές τους για μια συγκεκριμένη περίοδο. Σύμφωνα με τα δεδομένα της ΕΕΤΤ [16], υπολογίζεται ότι ο ρυθμός κίνησης κυμαίνεται από 1% έως 5%, όπου 1% είναι η καλύτερη περίπτωση και 5% η χειρότερη περίπτωση, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Mh

Διάγραμμα 1.33: Μέρη ΕΚΤ στον αριθμό συνδέσεων κινητής τηλεφωνίας



Πηγή: ΕΕΤΤ (βάσει στοιχείων των αδειοδοτημένων παρόχων)

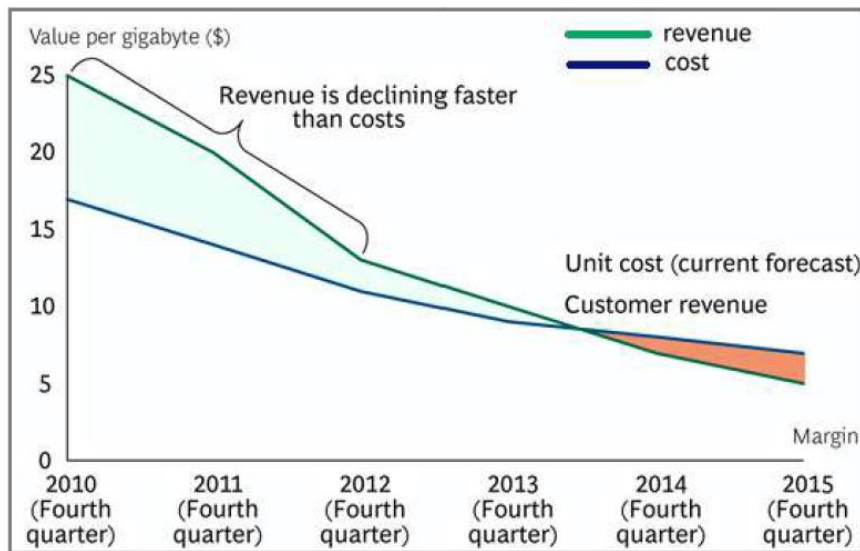
Εικόνα 14. Ποσοστό συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας (πηγή: ΕΕΤΤ [16])

Βασίζόμενοι στην παραπάνω θεώρηση, το ποσοστό του ρυθμού κίνησης των συνδρομητών είναι μικρό με αποτέλεσμα να μην επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό τα έσοδα των τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Παρόλα αυτά όμως, αν στην χειρότερη περίπτωση, κάποιος τηλεπικοινωνιακός πάροχος χάσει το 5% του ποσοστού των συνδρομητών του, αυτό σημαίνει ότι

όχι μόνο χάνει τα μελλοντικά κέρδη από αυτόν τον συνδρομητή αλλά παράλληλα χάνει και κέρδη από τους πόρους που ξόδεψε για να αποκτήσει τον συνδρομητή αυτόν.

3.3 Pricing model

Η συνεχής αύξηση της παροχής των δεδομένων στα δίκτυα της επόμενης γενιάς (5G) θα αντιμετωπίσει ένα θεμελιώδες ζήτημα το οποίο σχετίζεται με την στρατηγική τιμολόγησης εάν το δίκτυο αυτό δεν καταφέρει να αυξήσει τα έσοδα των παρόχων. Σύμφωνα με τους Macro N et al, 2012, [17], το 89% των παρόχων κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν μοντέλα «πακέτων δεδομένων» σε συνδυασμό με τα ανώτατα όρια τιμολόγησης. Τα μοντέλα αυτά (όπως είναι τα πακέτα των 1GB, 3GB, 10GB μηνιαίως) είναι ευνοϊκά μόνο για πιο χαμηλά επίπεδα κινητού δικτύου όπως είναι το 4G. Σε ανώτερα επίπεδα δικτύου, όπως προβλέπεται το 5G, τα μοντέλα αυτά δεν είναι ικανοποιητικά, καθώς σχεδιάζονται για να μπορεί ο συνδρομητής να αντλεί περισσότερα δεδομένα ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες του, και κατ' επέκταση τα δεδομένα θα μπορούσαν να είναι ασύμφορα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 15. Δεδομένα κινητής τηλεφωνίας σε σχέση με τα κέρδη (πηγή: «The end of profitability”, Tellabs insight, 2011)

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα και να επωφεληθούν οι πάροχοι από τα έσοδα που δημιουργεί η ταχέως αναπτυσσόμενη αγορά ευρυζωνικών υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας, διεξάχθηκε μελέτη πάνω στα καινοτόμα και ευέλικτα μοντέλα τιμολόγησης τα οποία μπορούν να βοηθήσουν τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας να αποκομίσουν κέρδος μέσω της αύξησης παροχής δεδομένων και κατ' επέκταση να παραμείνουν και να αναπτυχθούν στην όλο και περισσότερο ανταγωνιστική αγορά. Σύμφωνα μάλιστα με έρευνα της Ericsson [18], οι χρήστες είναι πρόθυμοι να πληρώσουν περισσότερα ώστε να τους παρέχονται περισσότερες και βελτιωμένες ευρυζωνικές υπηρεσίες. Ωστόσο, στο βιβλίο «Smart Pricing» [19], διατυπώνεται ότι η τιμή είναι το πιο σημαντικό πράγμα για την αύξηση της κερδοφορίας και το γεγονός αυτό

μπορεί να ενθαρρύνει τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας να στραφούν προς το μοντέλο της τιμολόγησης βάσει αξίας (value-based pricing). Επίσης σύμφωνα με το βιβλίο [20], οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τεχνικές διαχείρισης της αξίας των πελάτων (CVM - Customer Value Management) για να υπολογίσουν την αξία της αγοράς και να μεγιστοποιήσουν την απόδοση και τα κέρδη τους.

Στη Διπλωματική αυτή, αναλύθηκε μια υβριδική στρατηγική τιμολόγησης που βασίζεται στην τιμολόγηση με βάση την όγκο (volume-based pricing) και στην τιμολόγηση με βάση την αξία (value-based pricing), η οποία μπορεί να βοηθήσει τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας να βγάλουν κέρδος. Σύμφωνα με τους Karl-Heinz.S et al. [21], στην πολιτική της οικονομίας, είναι σημαντικό οι εταιρείες να αναπτύξουν πρώτα παραμέτρους που βασίζονται στην αξία και έπειτα παραμέτρους που βασίζονται στον όγκο ώστε να είναι σίγουρες πως έχουν βρει τους κατάλληλους - κερδοφόρους πελάτες. Γι' αυτό το λόγο, οι παράμετροι βάσει αξίας που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ταχύτητα, ο χρόνος και τα δεδομένα και αντίστοιχα τα κριτήρια βάσει όγκου είναι η ώρα χρήσης, η τοποθεσία και το περιεχόμενο, τα οποία στηρίζονται στο περιεχόμενο του κινητού του χρήστη. Έτσι για να αυξηθούν τα κέρδη της αγοράς της κινητής τηλεφωνίας, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών θα πρέπει να βρουν την βέλτιστη τιμή για τις υπηρεσίες τους χρησιμοποιώντας δύο προσεγγίσεις: αρχικά εξετάζοντας την διαφάνεια και την απλότητα του δικτύου σε σχέση με τις ρυθμίσεις του και έπειτα εφαρμόζοντας το μοντέλο PED (Price Elasticity of volume - ελαστικότητα της τιμής του όγκου) όπως θα δούμε παρακάτω.

Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα, οι συνδρομητές θα πρέπει να ενημερώνονται περιοδικά για την κατανάλωση των δεδομένων τους και ο συνδυασμός των δύο μοντέλων θα είναι απαραίτητος για την επίτευξη του στόχου. Για παράδειγμα, εάν μοντελοποιηθεί το περιεχόμενο ενός βίντεο κατά το χρονικό διάστημα διάρκειάς του (λεπτό ή ώρα), θα είναι εύκολο για τους συνδρομητές να ελέγξουν το επίπεδο κατανάλωσης των δεδομένων τους. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκε ο χρόνος ως παράμετρος του μοντέλου του όγκου και το περιεχόμενο ως παράμετρος του μοντέλου της αξίας. Στον παρακάτω πίνακα αναλύεται το υβριδικό μοντέλο.

Παράμετροι με βάση το μοντέλο της αξίας (value - based)	Παράμετροι που βασίζονται στο μοντέλο του όγκου (volume - based)	Υβριδικό μοντέλο
Ώρα χρησιμοποίησης	Δεδομένα	Η ροή των δεδομένων εξαρτάται από τον χρόνο που τα αντλείς (περιορισμός δεδομένων την ημέρα, απεριόριστα δεδομένα το βράδυ και τα σαββατοκύριακα)
	Ταχύτητα	Η ταχύτητα εξαρτάται από την στιγμή που αντλείς τα δεδομένα (υψηλές ταχύτητες συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και χαμηλές ταχύτητες τις υπόλοιπες ώρες)

	Χρόνος	Ο χρόνος εξαρτάται από την στιγμή που αντλείς τα δεδομένα (2 ώρες/ημέρα, 4 ώρες/βράδυ, 6 ώρες/σαββατοκύριακα)
Περιεχόμενο	Δεδομένα	Η ροή των δεδομένων έχουν ανώτατο όριο για συγκεκριμένες εφαρμογές (απεριόριστο «YouTube» το βράδυ)
	Ταχύτητα	Η ταχύτητα εξαρτάται από την εφαρμογή που χρησιμοποιείς
	Χρόνος	Ο χρόνος εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής (2 ώρες την ημέρα βίντεο, 4 ώρες το βράδυ βίντεο)
Τοποθεσία	Δεδομένα	Η ροή των δεδομένων εξαρτάται από την τοποθεσία που αντλείς τα δεδομένα (από το δίκτυο όταν βρίσκεσαι εντός σπιτιού)
	Ταχύτητα	Η ταχύτητα εξαρτάται από την τοποθεσία (υψηλές ταχύτητες στις πυκνοκατοικημένες περιοχές και χαμηλότερες στις υπόλοιπες)
	Χρόνος	Η χρονική περίοδος της σύνδεσης εξαρτάται από την τοποθεσία

Πίνακας 2. Υβριδικό μοντέλο τιμής με βάση το περιεχόμενο των συνδρομητών

Παρόλα αυτά, οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας θα πρέπει να συλλέγουν και πληροφορίες σχετικά με τα λειτουργικά τους κόστη και το κόστος των προϊόντων και υπηρεσιών. Η συλλογή στοιχείων, σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αντιδρούν στις αλλαγές των τιμών των προϊόντων και των υπηρεσιών, μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο και την αβεβαιότητα των παρόχων. Για να πραγματοποιηθεί η πρόβλεψη των πωλήσεων των δεδομένων με βάση τον όγκο τους και για να καθοριστεί η τιμή τους, αναλύθηκαν δυο οικονομικές έννοιες: η Τιμή Ελαστικότητας με βάση τον όγκο (Price elasticity of volume) και η Ελαστικότητα του όγκου με βάση τα έσοδα (Volume Elasticity of revenue).

3.3.1 Τιμή ελαστικότητας με βάση τον όγκο (Price Elasticity of Volume)

Η τιμή ελαστικότητας με βάση τον όγκο, όπου συμβολίζεται ως $E_v(P)$, είναι ανάλογη με την τιμή ελαστικότητας της ζήτησης (PED - Price Elasticity of Demand). Πιο συγκεκριμένα, η τιμή ελαστικότητας με βάση τον όγκο, ορίζεται ως ποσοστό μεταβολής του πραγματικού όγκου V ως προς την ποσοστιαία μεταβολή της τιμής μονάδας P . Με βάση την τιμή αυτή, υπάρχει δυνατότητα να γίνουν πιο αντιληπτές οι αντιδράσεις των συνδρομητών στις μεταβολές των τιμών της κινητής τηλεφωνίας. Ο τύπος που καθορίζει την τιμή αυτή, σύμφωνα με το [45], [48] είναι ο εξής:

$$E_v(P) = \lim_{P' \rightarrow P} \frac{\frac{V' - V}{\frac{1}{2}(V + V')}}{\frac{P' - P}{\frac{1}{2}(P + P')}} = \frac{P * \Delta V}{V * \Delta P} \rightarrow \frac{\Delta V}{V} = E_v(P) * \frac{\Delta P}{P} \quad (3)$$

Εάν η τιμή ελαστικότητας, στην απόλυτη τιμή της, είναι μικρότερη του 1 (< 1) τότε σημαίνει πως έχουμε μη ελαστικότητα. Αυτό σημαίνει ότι οι μεταβολές της τιμής των υπηρεσιών έχουν σχετικά μικρή επίδραση στον όγκο της ζήτησης των υπηρεσιών. Από την άλλη πλευρά, εάν η τιμή ελαστικότητας, στην απόλυτη τιμή της, είναι μεγαλύτερη του 1 (> 1), τότε σημαίνει ότι έχουμε ελαστικότητα. Δηλαδή, οι μεταβολές της τιμής των υπηρεσιών έχουν μεγάλη επίδραση στον όγκο της ζήτησης των υπηρεσιών.

3.3.2 Ελαστικότητα του όγκου με βάση τα έσοδα (Volume Elasticity of Revenue)

Η ελαστικότητα του όγκου με βάση τα έσοδα, όπου συμβολίζεται ως $E_R(P)$, ορίζεται ως ποσοστό μεταβολής των εσόδων (R - χρεώσεις) ως προς το ποσοστό μεταβολής του όγκου V. Με βάση την τιμή αυτή, υπάρχει η δυνατότητα άντλησης της πληροφορίας του πως μεταβάλλονται τα έσοδα των παρόχων των κινητών επικοινωνιών σε σχέση με τις μεταβολές του όγκου της ζήτησης των υπηρεσιών και κατ' επέκταση του όγκου των συνδρομητών. Ο τύπος του μοντέλου αυτού, σύμφωνα με το [46],[47],[48] είναι ο εξής:

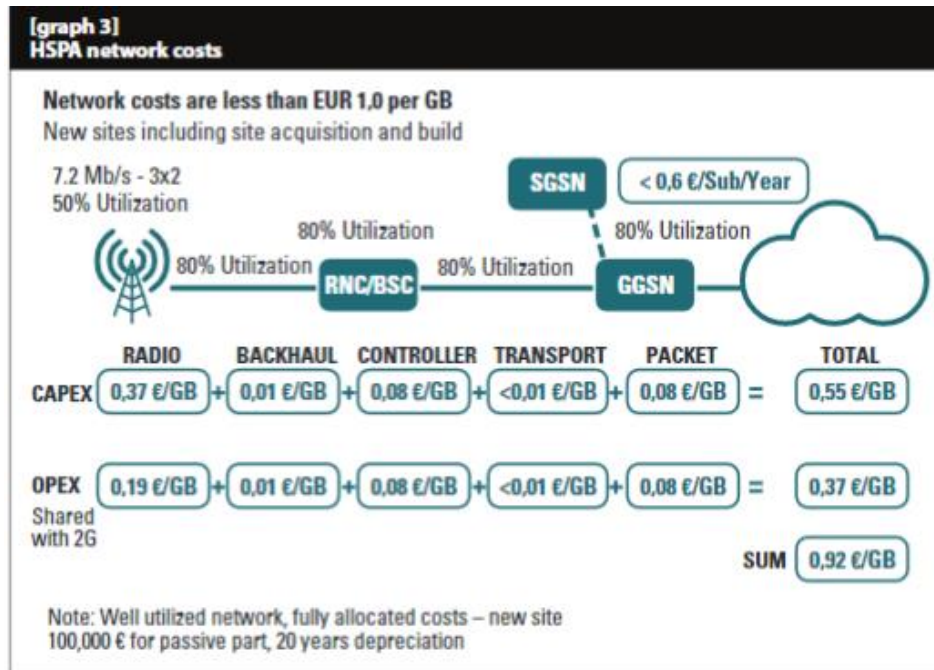
$$E_R(V) = \lim_{V' \rightarrow V} \frac{\frac{R' - R}{\frac{1}{2}(R + R')}}{\frac{1}{2}(V' - V)} = \frac{V * \Delta R}{R * \Delta V} \rightarrow \frac{\Delta R}{R} = E_R(V) * \frac{\Delta V}{V} \quad (4)$$

Οι πάροχοι κινητών υπηρεσιών υποθέτουν ότι $E_R(V) > 1$, το οποίο σημαίνει ότι η αύξηση της ζήτησης του όγκου των υπηρεσιών επηρεάζει την αύξηση των εσόδων. Από την άλλη όμως, ένας χρήστης κινητών υπηρεσιών αναμένει ότι $E_v(P) < 1$, το οποίο σημαίνει ότι η αύξηση τη ζήτησης του όγκου των υπηρεσιών επηρεάζει τη μείωση της τιμής και αντίστροφα. Όπως μπορούμε να δούμε και στο παρακάτω σχήμα (**Σχήμα 4**), το οποίο προέκυψε μέσω του excel με βάση της εξισώσεις $E_v(P)$ και $E_R(V)$, η μείωση της τιμής των υπηρεσιών (φωνητικών κλήσεων, δεδομένων) συνήθως έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης της ποσότητας από τους συνδρομητές εξαιτίας της χαμηλής ζήτησης και αντίστροφα.



Σχήμα 4. Πρόβλεψη τιμής και όγκου του 5G κινητού δικτύου με βάση τις εξισώσεις $E_v(P)$ και $E_R(V)$ μέσω του excel

Σύμφωνα με την μελέτη της Ericsson [22], όπως φαίνεται στην **εικόνα 16**, το κόστος δικτύου είναι μικρότερο από 1,0 € ανά Gigabit (GB) συμπεριλαμβανομένου της απόκτησης και της κατασκευής του χώρου. Έστω λοιπόν ότι το κόστος δικτύου ανά GB κατά μέσο όρο είναι 0.90 €. Τότε τα κέρδη κατά την πώληση των 100 GB είναι πολύ περισσότερα από τα κέρδη κατά την πώληση των 140 GB. Ωστόσο εάν αναλογιστούμε ότι το 4G δίκτυο μπορεί να προσφέρει 10 GB/συνδρομητή το μήνα, στην ίδια τιμή ανά GB με το 5G δίκτυο, τότε το περιθώριο κέρδους των 10 GB για το 4G δίκτυο ισούται με περιθώριο κέρδους των 100 GB για το 5G κινητό δίκτυο ($100/190 = 10/19.0$).



Εικόνα 16. Μέσος όρος κόστος δικτύου (πηγή: Ericsson business case mobile broadband “Don’t worry–Mobile broadband is profitable”)

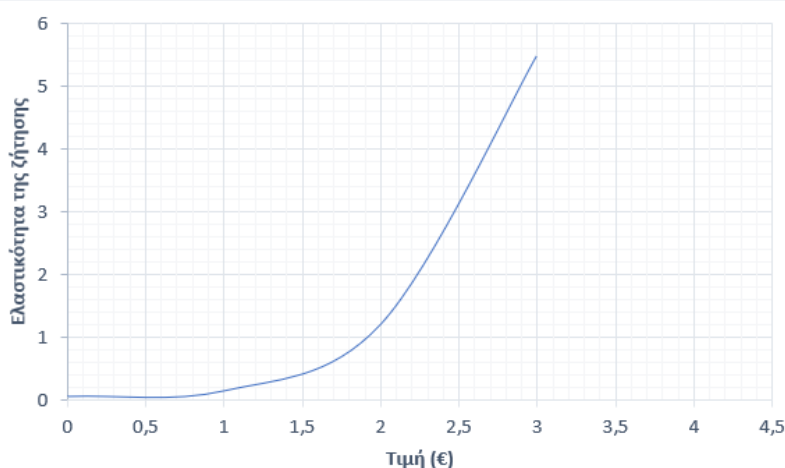
Ο **Πίνακας 3** παρουσιάζει πώς οι τιμές των πωλήσεων δεδομένων επηρεάζουν την κερδοφορία των παροχών, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (3) & (4).

Πώληση Δεδομένων (GB/Χρήστη/Μήνα)	150	140	130	120	110	100	80	70	60	50
Τιμή ανά GB (€)	1	1.20	1.40	1.60	1.78	1.90	2.3	2.5	2.69	2.88
Κόστος ανά GB (€)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Έσοδα (€) = τιμή * GB	150	168	182	192	195.8	190	184	175	161.4	144
Συνολικό κόστος (€) = GB * κόστος	135	126	117	108	99	90	72	63	54	45
Κέρδος (€)	15	42	65	84	96.8	100	112	112	107.4	99

Περιθώριο κέρδους = Κέρδος/Έσοδα (%)	100	25	35.7	43.7	49,4	52.6	60.7	64	66.5	68.7
--	-----	----	------	------	------	------	------	----	------	------

Πίνακας 3. Επίδραση της τιμής και του όγκου στην κερδοφορία του 5G κινητού δικτύου

Με βάση τα παραπάνω, η τεχνολογία των 5G δικτύων θα είναι πολύ κερδοφόρα σε σύγκριση με την τεχνολογία του 4G δικτύου, όχι μόνο εξαιτίας του χαμηλότερου κόστους της αλλά και λόγω της αύξησης του μέσου όρου κατανάλωσης δεδομένων. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η ποσότητα ζήτησης μειώνεται όταν η τιμή αυξάνεται. Ωστόσο, τα έσοδα των παρόχων της κινητής τηλεφωνίας μεγιστοποιούνται όταν η τιμή έχει οριστεί έτσι ώστε η ελαστικότητα της ζήτησης ισούται ακριβώς με 1 (δηλαδή $PED = 1$), όπως φαίνεται στο **Σχήμα 5**.



Σχήμα 5. Τιμή και ελαστικότητα της ζήτησης μέσω του excel

3.3.3 Επέκταση του μηνιαίου πακέτου

Επειδή η τεχνολογία 5G παρέχει μια ασύρματη ευρυζωνική σύνδεση υψηλής ταχύτητας και ένα μεγάλο ποσό GB ανά χρήστη το μήνα, μπορεί να δημιουργήσει μια δυσκολία στους χρήστες που δεν θα μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν το μηνιαίο πακέτο που τους προσφέρουν οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, θα μπορούσε να εφαρμοστεί η πολιτική «Επέκτασης Πακέτου», όπου μπορεί να προσελκύσει περισσότερους χρήστες και να δημιουργήσει μεγαλύτερη ανταγωνιστικότητα μεταξύ των παρόχων. Εάν, για παράδειγμα, ένας χρήστης επιλέξει το πακέτο των 100 GB/μήνα, πιθανώς ένα μέρος των GB δεν θα μπορούσαν να καταναλωθούν μέχρι το τέλος του μήνα. Σ αυτή την περίπτωση όμως, θα μπορούσαν να προστεθούν τα υπολειπόμενα GB αυτού του πακέτου στο επόμενο μηνιαίο πακέτο. Μάλιστα, για την ενθάρρυνση των χρηστών που καταναλώνουν περισσότερα δεδομένα, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι το πακέτο των υπολειπόμενων GB θα λήξει εντός των επόμενων μηνών. Με αυτόν τον τρόπο θα αποτρεπόταν η απεριόριστη επέκταση του πακέτου.

3.4 Πρόβλεψη Κόστους και Ανάλυση

Το κεφαλαιουχικό κόστος (CAPEX) είναι εκείνο στο οποίο υποβάλλεται η επιχείρηση για την αναβάθμιση ή τη διατήρηση των αποσβεσμένων μακροπρόθεσμων παγίων της. Επομένως λαμβάνει υπόψη του την απόσβεση των παγίων στοιχείων και το κόστος του κεφαλαίου. Παράλληλα, το λειτουργικό κόστος (OPEX) είναι το επαναλαμβανόμενο ή τρέχον κόστος δηλαδή το κόστος που προκύπτει μετά την ανάπτυξη και τον διαμοιρασμό του δικτύου και σχετίζεται με την διαχείριση και την συντήρηση του 5G δικτύου.

Προκειμένου να διεξαχθεί μια τεχνοοικονομική ανάλυση και σύγκριση, εξετάστηκαν τα δύο ακόλουθα σενάρια:

Σενάριο 1: Αντικατάσταση των προηγούμενων εξοπλισμών που βρίσκονται στους σταθμούς βάσης (Base Station- BS), μέσω της ανάπτυξης νέας τεχνολογίας RAT (Radio Access Technology), με νέο σύστημα κεραιών και ραδιοεξοπλισμού, όπου το κάθε κανάλι απέχει χιλιοστά από το άλλο έτσι ώστε να επιτρέπεται το πολύ-μεγάλο εύρος ζώνης καναλιών και να είναι σε θέση να υποστηρίξει ταχύτητες πρόσβασης στα δεδομένα έως και 10Gbit/sec, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το CAPEX της ήδη εγκατεστημένης οπτικής ίνας.

Σενάριο 2: Οι ήδη εγκατεστημένοι σταθμοί βάσης βελτιώνονται με την προσθήκη νέων ραδιοφασμάτων κάτω των 4GHz και παράλληλα δημιουργούνται καινούριοι σταθμοί βάσης, οι οποίοι υποστηρίζουν την τεχνολογία RAT. Σ αυτή την περίπτωση, απαιτείται αναβάθμιση λογισμικού έτσι ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα μετάδοσης του σήματος σε επίπεδο hot spot.

Η ανάλυση και μοντελοποίηση, για την σύγκριση του συνολικού κόστους κάθε σεναρίου, βασίστηκε στην μεθοδολογία του Johansson.K [23]. Πιο συγκεκριμένα, για έναν σταθμό βάσης τύπου i , οι συνολικές δαπάνες C_i ορίζονται ως εξής:

$$C_i = \sum_{k=0}^{k-1} \frac{(a)_{k,i}}{(1 + \beta)^k} \quad (5)$$

όπου $(a)_{k,i}$ είναι το άθροισμα των δαπανών που σημειώθηκαν μέσα στο έτος k για τον σταθμό βάσης τύπου i και β είναι το discount rate. Στην Διπλωματική αυτή, θεωρούμε ότι $k=6$ χρόνια, $\beta = 10\%$ και όλοι οι σταθμοί βάσης έχουν εγκατασταθεί τον πρώτο χρόνο.

Επιπλέον, σύμφωνα με τους Markendahl.J, Mäkitalo.Ö [9], το κόστος για την ανάπτυξη ενός νέου κυψελοειδούς macro σταθμού βάσης (Macro Base Station - MaBS) σε αστική περιοχή ανέρχεται στα 100 χιλ. € συμπεριλαμβανομένου και την μετάδοση του σήματος. Στο κόστος αυτό προστέθηκαν και 10 χιλ. €, άρα συνολικά 110 χιλ. €, το οποίο αντιστοιχεί στο κόστος ενός ραδιοεξοπλισμού που υποστηρίζει τρεις τομείς των 5-20 MHz ο καθένας. Επίσης, σύμφωνα με τον Johansson.K [23], το κόστος ενός φορέα (single - carrier) ενός MaBS ισούται με 20 χιλ. € και το κόστος ενός πρόσθετου πομποδέκτη είναι 5 χιλ. € ανά τομέα (sector) και ανά συχνότητα φορέα (carrier frequency). Έτσι, το συνολικό κόστος για την εγκατάσταση ενός επιπλέον φορέα σε τρεις τομείς είναι 25 χιλ. €. Ακόμα, υποθέτουμε ότι το ετήσιο λειτουργικό κόστος (OPEX) για την εγκατάσταση ενός νέου MaBS είναι 30 χιλ. € και για την επαναχρησιμοποίηση ενός υπάρχοντος MaBS το κόστος ανέρχεται στα 10 χιλ. € ετησίως [9]. Παράλληλα, το κόστος ενός

κυψελοειδούς σταθμού βάσης micro και pico αντιστοιχεί στο 50% και 15% αντίστοιχα, ενός εξοπλισμού MaBS με ένα φορέα (single - carrier) και το κόστος για την μετάδοση σήματος ανά pico σταθμό βάσης ισούται με 2 χιλ. € [23]. Επιπροσθέτως, να σημειωθεί ότι για την ανάπτυξη ενός χώρου micro σταθμού βάσης και ενός χώρου pico σταθμού βάσης απαιτούνται 10 χιλ. € και 2 χιλ. € αντίστοιχα. Επίσης, σύμφωνα με τον Μουλιανιτάκη [24], το κεφαλαιουχικό (CAPEX) και το λειτουργικό (OPEX) κόστος ενός Femto σταθμού βάσης (FBS) είναι 1,1 χιλ. € και 0,5 χιλ. € αντίστοιχα ενώ το κεφαλαιουχικό και λειτουργικό κόστος ενός Wi-Fi AP IEEE 802.1ac είναι 1,05 χιλ. € και 0,14 χιλ. € αντίστοιχα. Ωστόσο, σύμφωνα με το [25] και [26], η ευρωπαϊκή βιομηχανία οδηγήθηκε στην ανάπτυξη προτύπων 5G, δηλαδή πρότυπα που βασίζονται σε έξυπνες πόλεις κατά την περίοδο 2017 - 2025, με μείωση του λειτουργικού κόστους (OPEX) κατά 20% και μείωση του κεφαλαιουχικού κόστους (CAPEX) κατά 30%. Επομένως, θεωρούμε ότι το λειτουργικό και κεφαλαιουχικό κόστος (OPEX & CAPEX) για 5G mmW (millimeter Wave) περιοχές είναι 30% χαμηλότερο σε σχέση με το 4G LTE-A RAT.

Για να επιτευχθεί μέγιστο όφελος και ελάχιστες δαπάνες, υποθέσαμε ότι υπάρχει μονοπωλιακή αγορά. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω και με βάση τα σενάρια που ορίστηκαν, είναι φανερό ότι ο επαναχρησιμοποιούμενος χώρος (σενάριο 2) βοηθάει τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας να κερδίσουν περισσότερα χρήματα καθώς το κεφαλαιουχικό τους κεφάλαιο μένει χαμηλό, ενώ το λειτουργικό κόστος είναι σχεδόν ίδιο και στα 2 σενάρια.

4. Απαιτούμενη κίνηση και Επένδυση δικτύου

4.1 Εκτίμηση της απαιτούμενης ζήτησης της κίνησης του δικτύου

Δεδομένου ότι ο όγκος δεδομένων ανά συνδρομητή δεν εξαρτάται από την ανάπτυξη του δικτύου αλλά από την παραγόμενη κίνηση του δικτύου, θεωρούμε πως η παραγόμενη κίνηση του δικτύου είναι ανάλογη με την πυκνότητα του πληθυσμού ρ . Για το λόγο αυτό, θεωρούμε πως το μοντέλο της κίνησης του δικτύου, σύμφωνα με τους Thomas S. Et all [27], το οποίο εκτιμά την ζήτηση της κίνησης για 1 km^2 , δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$G(t) = \rho * \frac{8}{N_{ph} * N_{md}} * \varphi(t) * D_k \quad (6)$$

όπου N_{ph} αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ωρών της μέρας που σημειώνονται ως ώρες αιχμής όταν η κίνηση του δικτύου είναι υπερβολική (peak hour) και N_{md} είναι ο αριθμός των μερών του μήνα. $\varphi(t)$ είναι το ποσοστό των ενεργών χρηστών κινητής τηλεφωνίας για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, όπου θεωρούμε ότι $\varphi(t) = 100\%$ σε ώρες αιχμής και D_k είναι ο μέσος όρος δεδομένων που απαιτούνται από τους χρήστες τον μήνα.

Σύμφωνα με την έρευνα [28], για ένα μήνα (30 μέρες) το $N_{ph} = 9$. Επιπλέον σύμφωνα με το [11] η πόλη στην Ελλάδα με την μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού είναι η Αθήνα όπου $\rho = 19.000$ κάτοικοι/ km^2 . Ακόμα, σύμφωνα με τον πίνακα 3, ο οποίος αντιστοιχεί στην ζήτηση του 5G κινητού δικτύου, θεωρούμε ότι ο μέσος όρος δεδομένων που απαιτούνται από τους χρήστες τον μήνα είναι $D_k = 100 \text{ GB} / \text{μήνα}/\text{χρήστη}$. Συνεπώς, ο πίνακας 4, συνοψίζει τα αποτελέσματα που αφορούν το εκτιμώμενο ποσοστό επιτυχών πακέτων που παραδίδονται μέσω του καναλιού (throughput) στους ενεργούς χρήστες τις ώρες αιχμής της Ελλάδας, λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι συνδρομητές κατανέμονται ομοιόμορφα σε μια κυψέλη.

Μηνιαία ζήτηση	Χωρητικότητα περιοχής [Gbps/km ²]	Ποσοστό χρήσης δεδομένων [Mbps]
100 Gb/χρήστη	49	6.37

Πίνακας 4. Προβλεπόμενη ζήτηση κίνησης του δικτύου στην Αθήνα

Το υποτιθέμενο επίπεδο ζήτησης δεδομένων ανά χρήστη είναι περίπου 6.37 Mbps κατά την διάρκεια των 8 εργάσιμων ωρών και το throughput που χρειαζόμαστε σύμφωνα με την εξίσωση (6) είναι 49 Gbps/km².

4.2 Μοντελοποίηση της επένδυσης του δικτύου

Σ αυτή την ενότητα, εφαρμόστηκαν διαφορετικά σενάρια για την κάλυψη και ανάπτυξη του κινητού δικτύου σε εσωτερικούς χώρους χρησιμοποιώντας διαφορετικές κατηγορίες σταθμών βάσεων (BS) και ποικίλα μεγέθη φάσματος ώστε να μπορέσουν να καλυφθούν τα 49 Gbps σε 1 km^2 . Έπειτα συγκρίθηκε το συνολικό κόστος των διαφορετικών σεναρίων και διεξάχθηκε μια

εκτίμηση όσον αφορά την κάλυψη και την χωρητικότητα που χρειάζεται κάθε σταθμός βάσης (BS). Ωστόσο, το κυριότερο ζήτημα αυτών των σεναρίων είναι οι απώλειες διείσδυσης του δικτύου λόγω των τοιχωμάτων. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, θεωρούμε πως υπάρχουν δύο εφικτές επιλογές: 1. δημιουργία ενός πυκνότερου δικτύου της τάξεως των 2.6 GHz ή 2. ανάπτυξη ενός δικτύου που θα χρησιμοποιεί 10 MHz στην ζώνη των 0.8 GHz προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η εσωτερική κάλυψη. Οι Markendahl.J και Mäkitalo.Ö [9] αναφέρουν ότι για 12 dB εξασθένησης και 5 φορές πυκνότερο δίκτυο, θα πρέπει η εκπομπή του σήματος του δικτύου να γίνεται στη ζώνη των 2.6 GHz. Παρόλα αυτά, όταν χρησιμοποιείται μόνο 10 MHz φάσμα στη ζώνη των 0.8 GHz, τότε ο αριθμός των τοποθεσιών που θα εγκατασταθούν οι σταθμοί βάσης θα πρέπει να διπλασιαστεί για να μπορέσει να υπάρξει πλήρης κάλυψη της χωρητικότητας του δικτύου.

Στη συνέχεια, αναλύθηκαν οι επιλογές ανάπτυξης ενός κυψελοειδούς macro σταθμού βάσης (MaBS) ο οποίος ή θα έχει σχεδιαστεί με την αρχιτεκτονική της συνάθροισης των φορέων του φάσματος (carrier aggregation) ή με την αρχιτεκτονική της ελαχιστοποίησης της απώλειας των σημάτων μεταξύ των τοιχωμάτων (wall loss compensation). Επίσης, αναπτύχθηκε ένα σενάριο το οποίο βασίζεται στον αριθμό των femto σταθμών βάσεων (FBS) ανά όροφο και στον αριθμό των χρηστών ανά femto σταθμό βάσεων (FBS). Επιπροσθέτως, χρησιμοποιήθηκε η εσωτερική φασματική απόδοση εσωτερικού χώρου των 6.6 bps/Hz και 20 MHz φάσμα για κάθε femto σταθμό βάσης. Με βάση τις έρευνες που έχουν γίνει για την κάλυψη και την χωρητικότητα των κάθε σταθμών βάσεων [29], θεωρούμε ότι ένας macro σταθμός βάσης (MaBS) με αρχιτεκτονική LTE-A μπορεί να καλύψει 1.02 km² με 228 Mbps και ένας pico σταθμός βάσης (PBS) με αρχιτεκτονική 5G mmW μπορεί να καλύψει 0.001 km² με 4245 Mbps. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Vladimir.N, Toni.J [30], θεωρούμε ότι ένας femto σταθμός βάσης (FBS) μπορεί να καλύψει 0.008 km² με 132 Mbps και ένα Wi-Fi με υποστηρίζει την αρχιτεκτονική IEEE 802.11ac μπορεί να καλύψει 0.003 km² με 1300 Mbps. Το αντίστοιχο κόστος και χωρητικότητα για τις διαφορετικές στρατηγικές (FBS/Wi-Fi, PBS, MaBS) ώστε να καλυφθούν τα 49 Gbps/km² συνοψίζονται στους ακόλουθους πίνακες.

FBS/Wi-Fi	Πλήθος τοποθεσιών		CAPEX (Μ€)		Χωρητικότητα (Gbps)	
	FBS	Wi-Fi	FBS	Wi-Fi	FBS	Wi-Fi
7 BS/όροφο	858	858	0.85	0.88	113.19	1114.75
5 BS/όροφο	613	613	0.61	0.64	80.85	796.25
3 BS/όροφο	372	29	0.37	0.39	49.15	478
4 χρήστες/BS	6125	6125	6.13	6.42	880.5	7962.5
8 χρήστες/BS	3063	3063	3.06	3.20	404.25	3981.25
16 χρήστες/FBS	1531	1531	1.54	1.59	202	1991
32 χρήστες/FBS	767	767	0.78	0.81	101.19	996.91
64 χρήστες/FBS	382	382	0.39	0.39	50.42	498.58

Πίνακας 5. CAPEX και Χωρητικότητα για FBS και Wi-Fi IEEE 802.11ac

BS σενάρια	Πλήθος τοποθεσιών	Συνολικό CAPEX (Μ€)	Χωρητικότητα (Gbps)
Νέο 5G mmW PBS	12	0.23	50.72
Επαναχρησιμοποίηση MaBS LTE-A (0.8 & 2.6 GHz) με carrier aggregation	145	4.34	49.25
Νέο MaBS LTE-A (0.8 & 2.6 GHz) με carrier aggregation	145	17.35	49.25
Επαναχρησιμοποίηση MaBS LTE-A 0.8 GHz με wall loss compensation	429	8.58	49.37
Νέο MaBS LTE-A 0.8 GHz με wall loss compensation	429	42.88	49.22
Επαναχρησιμοποίηση MaBS LTE-A 5x2.6 GHz με wall loss compensation	218	4.31	49.51
Νέο MaBS LTE-A 5x2.6GHz με wall loss compensation	218	21.56	49.71

Πίνακας 6. CAPEX και χωρητικότητα για Macro περιοχές με αρχιτεκτονική carrier aggregation και wall losses compensation

Από τους πίνακες 5 και 6, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού νέων τοποθεσιών είναι πολύ δαπανηρή (175 - 42.88 Μ €), αλλά η επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων τοποθεσιών είναι μία λιγότερο δαπανηρή λύση, ακόμα και αν πολλές τοποθεσίες πρέπει να είναι εξοπλισμένες με νέα τεχνολογία RAT (175 - 8.58 Μ €). Επίσης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το 5G mmW σε pico σταθμό βάσης (PBS) παρέχει το χαμηλότερο κόστος αλλά από την άλλη δείχνει έναν ουσιαστικό περιορισμό ο οποίος σχετίζεται με την κάλυψη του δικτύου. Επιπλέον, εάν ληφθούν υπόψη τα 13.6 dB της εξασθένησης του σήματος λόγω των τοιχωμάτων του εσωτερικού χώρου για την αρχιτεκτονική του pico σταθμού βάσης (PBS) με 5G mmW, όπως ανέλυσαν οι Khan.F και Pi.Z [31], χρειάζεται να αναπτυχθούν τοποθεσίες οι οποίες θα παρέχουν 797 mmW εσωτερικά του χώρου για να μπορέσουν να καλύψουν μια περιοχή του 1 km². Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα το συνολικό κόστος CAPEX να είναι πολύ υψηλό, της τάξεως των 183.31 Μ € (0.23x797).

Παρόλα αυτά το βασικό εύρημα των διαφορετικών συγκρίσεων ανάπτυξης macro σταθμού βάσης είναι ότι η αξιοποίηση της αρχιτεκτονικής LTE-A RAT με λειτουργικότητα συνάθροισης φορέων (carrier aggregation) είναι μακράν η πιο αποδοτική σε κόστος στρατηγική μέσω της ανάπτυξης ενός μικρού σταθμού βάσης σε πυκνότητα (58 ανά km²). Παράλληλα, η επιλογή ανάπτυξης σταθμών βάσεων σε νέες τοποθεσίες με λειτουργικότητα συνάθροισης φάσματος

είναι η πιο οικονομικά αποδοτική σε σύγκριση με όλα τα σενάρια ανάπτυξης σταθμών βάσεων σε νέες τοποθεσίες (17.35 M € έναντι 21.36 M €, 42.88 M € και 183.31 M €). Επιπλέον, εξαιτίας της υψηλής απόδοσης κάλυψης, η πιο αποδοτική και οικονομική επιλογή (μόνο 4.34 M €) για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας είναι η επαναχρησιμοποίηση των υφιστάμενων σταθμών βάσεων (σενάριο 2) με φάσμα συχνοτήτων 0,8 GHz και 24 MHz για κάλυψη χωρητικότητας 49 Gbps/km². Ακόμα, η επαναχρησιμοποίηση των macro σταθμών βάσεων (0.8 & 2.6 GHz) με την λειτουργικότητα της συνάθροισης των φορέων του φάσματος (MaBS carrier aggregation) είναι σχεδόν το ίδιο, όσον αφορά το κόστος, με την επαναχρησιμοποίηση των macro σταθμών βάσεων (5x2.6 GHz) με την λειτουργικότητα της ελαχιστοποίησης της απώλειας του σήματος στον εσωτερικό χώρο (MaBS wall losses compensation) (4.34 έναντι 4.31 M €).

Από την άλλη πλευρά, η ανάπτυξη femto σταθμό βάσεων (FBS) και Wi-Fi IEEE 802.11ac είναι ακόμα πιο οικονομική σε περίπτωση που οι femto σταθμοί βάσης (FBS) μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλο αριθμό χρηστών (64 χρήστες/FBS ή 3 FBS/όροφο). Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να επιτευχθούν 49 Gbps με το ίδιο κόστος. Όμως οι femto σταθμοί βάσης (FBS) και το Wi-Fi είναι αρκετά περιορισμένες επιλογές όσον αφορά την απόσταση κάλυψης του δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια πως οι επιλογές αυτές είναι σχεδόν απεριόριστες όσον αφορά την χωρητικότητα και παρόμοιες από πλευράς κόστους.

Έτσι λοιπόν μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η επαναχρησιμοποίηση υφιστάμενων σταθμών βάσεων, και δε η ανάπτυξη ενός πυκνότερου macro σταθμού βάσης (MaBS), έχει μεγάλη επίδραση στην αντιστάθμιση της εξασθένησης του σήματος σε εσωτερικούς χώρους. Από την άλλη, η κατάσταση είναι εντελώς διαφορετική, όσον αφορά την ανάπτυξη νέων σταθμών βάσεων, εκτός και αν χρησιμοποιείται η λειτουργία συνάθροισης των φορέων (carrier aggregation) με αρχιτεκτονική LTA-A RAT.

Συνοψίζοντας, η κύρια έλλειψη των δικτύων της επόμενης γενιάς (5G) είναι η περιορισμένη κάλυψη του δικτύου με μικρά κυψελοειδή κελιά όπως είναι τα femtocells και picocells που αναπτύσσονται με σύστημα 5G mmW και Wi-Fi. Από την άλλη πλευρά βέβαια, υπάρχει η έλλειψη της περιορισμένης χωρητικότητας από τους macro σταθμούς βάσης. Η λύση αυτών των δύο προβλημάτων, είναι η διερεύνηση της λειτουργικότητας των επιπέδων των macro σταθμών βάσεων με συστήματα 5G mmW PBS ή Wi-Fi, έτσι ώστε, μέσω αυτής της συνεργασίας, να επιτευχθεί καλύτερο κόστος, χωρητικότητα και κάλυψη.

5. Συμπεράσματα

Ελάχιστες μελέτες έχουν διεξαχθεί όσον αφορά την ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G κινητών δικτύων, χρησιμοποιώντας τόσο μοντέλα οικονομικά όσο και τεχνικά για την ανάλυσή της. Η παρούσα Διπλωματική, διεξάγει μια ανάλυση, σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα αναπτυχθεί η τεχνολογία 5G πάνω στο υπάρχον δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 4G. Η τεχνοοικονομική ανάλυση και μοντελοποίηση, της συγκεκριμένης έρευνας, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια 6 ετών για την Ελλάδα. Με αυτές τις παραμέτρους, πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική ανάλυση της τιμής, του κόστους, της κάλυψης και της χωρητικότητας του δικτύου για διαφορετικά σενάρια χρησιμοποιώντας ποικίλες κατηγορίες σταθμών βάσης και σημεία πρόσβασης. Επιπρόσθετα, οδηγηθήκαμε σε ένα νέο μοντέλο τιμολόγησης, το οποίο συνάδει με την ανάπτυξη της κινητής ευρυζωνικότητας, με βάση τις παραμέτρους της αξίας και του όγκου.

Η μελέτη αυτή, επιχειρεί να ανακαλύψει το όφελος και το οικονομικό κόστος της μετάβασης της κινητής τηλεφωνίας από την τεχνολογία 4G στην τεχνολογία 5G. Οι προσομοιώσεις και αναλύσεις έδειξαν ότι το μοντέλο της Ελαστικότητας της τιμής και του όγκου δίνει ένα σημαντικό περιθώριο κέρδους για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι όλες οι τεχνολογίες που αναλύθηκαν είναι σε θέση να υποστηρίξουν όλη τη ζήτηση των ευρυζωνικών υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας για διαφορετικά σενάρια, αλλά οι σταθμοί βάσης με τεχνολογία macrocells, η οποία βελτιώνεται μέσω της αρχιτεκτονικής της συνάθροισης των φορέων (carrier aggregation), αποτελούν την πιο κατάλληλη οικονομική λύση. Ακόμα, τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι η χρήση υφιστάμενων σταθμών βάσεων έχει μεγάλη επίδραση στην τεχνολογία 5G ακόμα και όταν αναπτύσσεται ένας πυκνότερος macro σταθμός βάσης προκειμένου να αντισταθμιστεί η εξασθένηση του δικτύου σε εσωτερικούς χώρους. Ωστόσο, η κατάσταση είναι διαφορετική όσον αφορά την ανάπτυξη νέων σταθμών βάσεων και το κόστος είναι πολύ υψηλό σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται η λειτουργικότητα της συνάθροισης των φορέων (carrier aggregation) της αρχιτεκτονικής του δικτύου LTE-A RAT. Επιπροσθέτως, εντοπίστηκε η κύρια έλλειψη των δικτύων της επόμενης γενιάς (5G), η οποία είναι η περιορισμένη κάλυψη του δικτύου με μικρά κυψελοειδής κελιά όπως είναι τα femtocells και picocells που αναπτύσσονται με σύστημα 5G mmW και Wi-Fi. Από την άλλη πλευρά βέβαια, υπάρχει η έλλειψη της περιορισμένης χωρητικότητας από τους macro σταθμούς βάσης. Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, θα είναι απαραίτητη η διερεύνηση, από την πλευρά των παρόχων της κινητής τηλεφωνίας, της λειτουργικότητας των επιπέδων των macro σταθμών βάσεων με συστήματα 5G mmW PBS ή προηγμένα AP Wi-Fi, όπως είναι το IEEE 802.11ac, έτσι ώστε, μέσω αυτής της συνεργασίας, να επιτύχουν καλύτερο κόστος, χωρητικότητα και κάλυψη.

Τέλος, ως μελλοντική μελέτη, μπορεί να προταθεί η προσέγγιση σχετικά με το μοντέλο τιμολόγησης το οποίο, από την μία πλευρά, θα επιφέρει κέρδη στους παρόχους της κινητής τηλεφωνίας κατά την ανάπτυξη των 5G κινητών δικτύων και από την άλλη θα συμφέρει τους συνδρομητές να εντάξουν την τεχνολογία αυτή στο δίκτυό τους, ενώ παράλληλα η μελέτη αυτή θα συγκρίνει τις παραδοσιακές στρατηγικές τιμολόγησης που ακολουθούν οι πάροχοι μέχρι στιγμής.

Βιβλιογραφία

- [1] Thomas.O, Karim.D, and Anish.K A Survey of Resource Management towards 5G radio access network. IEEE communications surveys & tutorials, vol. 18, no 3. 1656 -1686 (3ed quarter 2016).
- [2] White Paper IMT-2020 (5G) Promotion Group 5G Network Technology Architecture, (2015).
- [3] "5G Vision: 100 Billion connections, 1 ms Latency, and 10 Gbps Throughput", Huawei Technologies (2015).
- [4] "GSMA Intelligence, Research Understanding 5G" www.gsmainelligence.com, (2016).
- [5] White paper 2016 5G Service Roadmap 2022, (2016).
- [6] Markendahl.J; Mobile Network operators and cooperation. PHD Dissertation. The royal institute of technology, Stochholm (2011).
- [8] Filipe.V,Pedro.S; Luís.G; Américo.C; Economic and environmental comparative analysis on macro-femtocell deployments in LTE-A; IEEE Conference 1-5, DOI: 10.1109 /VITAE.2013.6617060, (2013).
- [9] Markendahl.J, Mäkitalo.Ö, "A comparative study of deployment options, capacity and cost structure for macrocellular and femtocell networks", IOFC (2010).
- [10] Miroslaw.K, Krzysztof.W, Bart.L, Koen.C, Sofie.V, Mario.P, Lena.W, Jiajia.C, Attila.M; General framework for techn- economic analysis of next generation access networks; IEEE Conference, 10.1109/ICTON.2010. 5549342 (2010).
- [11] Greece Population; <http://worldpopulationreview.com/countries/greece-population/> (2017).
- [12] Ποσοστό κατοίκων στην Ελλάδα που διαθέτει κινητό τηλέφωνο; https://www.statistics.gr/documents/20181/300673/GreeceInFigures_2015Q3_GR.pdf/e0897735-44e7-4d40-aff5-79f14317f7e2
<http://news.in.gr/science-technology/article/?aid=1500114143>
- [13] Calcagno.A, and E. B; White Paper "LTE: a real disruptive technology and business opportunity ?" (2012).
- [14] Sundqvist.S, Frank.L, Puumalainen.K; The effects of country characteristics, cultural similarity and adoption timing on the diffusion of wireless communications, Journal of business research, 58 (1), 107-110 (2005).
- [15] Kevin.Z, Kenneth.L, Sean.X ;The Process of Innovation Assimilation by Firms in Different Countries: A Technology Diffusion Perspective on E-Business.(2006).
- [16] "2015 επισκόπηση αγορών ηλεκτρονικών επικοινωνιών & ταχυδρομικών υπηρεσιών"; EETT
- [17] Marco.N, Roland.K, Kate.G, Stuart.T, Bernhard.D, Jaak.D, Richard.M, Thomas.R, Praveen.D; Cisco white paper "Rethinking Flat Rate Pricing for Broadband Services" (2012).

- [18] Ericsson Consumer Insight Summary Report ;"How smarter management and charging of mobile internet can enhance the consumer experience?" Smarter Mobile Broadband (2012).
- [19] Book "Smart Pricing" by Jagmohan Raju, Z. John Zhang, Wharton School Publishing (2010).
- [20] Book "Value Merchants: Demonstrating and Documenting Superior Value in Business Markets Hardcover" by James.A, Nirmalya.K, James.N (2008).
- [21] Karl-Heinz.S, Andrea.M; economic report "The Value before Volume pricing strategy" (2015).
- [22] GREGER.B; Ericsson business case mobile broadband "Don't worry–Mobile broadband is profitable" (2009).
- [23] Johansson.K, "Cost Effective Deployment Strategies for Heterogeneous Wireless Networks", Doctoral Dissertation. The Royal Institute of Technology, Stockholm (2007).
- [24] Feidias.M "A techno-economic comparison between outdoor macro-cellular and indoor offloading solutions" Master's Degree Project, Stockholm (2015).
- [25] Thibaut. K; 5G Research in Horizon 2020, "Why 5G research?" European Commission - DG CONNECT Unit E1: Network Technologies (2014).
- [26] White paper; Machina research Open standards in IoT deployments would accelerate growth by 27% and reduce deployment costs by 30% (2016).
- [27] Tomas.S et all; "Is backhaul becoming a bottleneck for green wireless access networks?". IEEE ICC (2014).
- [28] Document of METIS "Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society system", ICT-317669 (2013).
- [29] Vladimir.N, Toni.J; Cost-effectiveness Assessment of 5G Systems with Cooperative Radio Resource Sharing (2015).
- [30] Vladimir.N, Toni.J; "State-of-the-art Comparative Cost Modeling of Heavily-loaded Wireless Heterogeneous", IEEE Conference 1-5, DOI-10: 1109/VITAE 2014.693- 4472, (2014).
- [31] Khan.F, Pi.Z, "Millimeter-wave Mobile Broadband Unleashing 3-300 GHz Spectrum," in Proc. IEEE Symposium, 1-6, DOI: 10.1109/SARNOF.2011.5876482, (2011).
- [32] Eric Klumperink, Sven Mattisson, Vojkan Vidojkovic, "How to achieve 1000x more wireless data capacity? 5G?", IEEE Conference 22-26, DOI-10: 1109/ISSCC 2015.7063153, (2015)
- [33] Meryem Simsek, Adnan Aijaz, Mischa Dohler, Joachim Sachs, Gerhard Fettweis; "5G-Enabled Tactile Internet", IEEE Journal on Selected Areas in Communications 460-473, DOI: 10.1109/JSAC.2016.2525398, (2016)
- [34] Alastair Brydon; "Evolution of LTE-Advanced Carrier Aggregation", Wireless blog: <http://www.unwiredinsight.com/2014/lte-carrier-aggregation-evolution>
- [35] Erik G. Larsson, Liesbet Van der Perre; "Massive MIMO for 5G", IEEE 5G Tech Focus: Volume 1, Number 1, March 2017

- [36] D.-E. Meddour, T. Rasheed, and Y. Gourhant, "On the role of infrastructure sharing for mobile network operators in emerging markets," *Computer Networks*, vol. 55, no. 7, pp. 1576–1591, May 2011.
- [37] Veronica Bocarova; "Mobile network sharing: facilitating deployment of mobile broadband", Cullen International, EaPeReg Workshop on Broadband Development Chisinau, April 2017.
- [38] A. Ghanbari, J. Markendahl, and A. Widaa, "Cooperation patterns in smallcell networks - risks and opportunities to distinguish the win-win model," in *Proc., 24th European Regional ITS Conference*, Oct. 2013.
- [39] R. Berry, M. Honig, T. Nguyen, V. Subramanian, H. Zhou, and R. Vohra, "On the nature of revenue-sharing contracts to incentivize spectrum-sharing," *Proc., IEEE INFOCOM*, pp. 845–853, 2013
- [40] B. Leng, P. Mansourifard, and B. Krishnamachari, "Microeconomic analysis of base-station sharing in green cellular networks," *Proc., IEEE INFOCOM*, 2014.
- [41] L. Gao, G. Iosifidis, J. Huang, L. Tassiulas, and D. Li, "Bargainingbased mobile data offloading," *IEEE Journal on Sel. Areas in Communications*, Sep. 2014.
- [42] W.-C. Liao, M. Hong, H. Farmanbar, X. Li, Z.-Q. Luo, and H. Zhang, "Min flow rate maximization for software defined radio access networks," *IEEE Journal on Sel. Areas in Communications*, Sep. 2014
- [43] Y. Zhou and W. Yu, "Optimized backhaul compression for uplink cloud radio access network," *IEEE Journal on Sel. Areas in Communications*, Sep. 2014
- [44] N. Golrezaei, K. Shanmugam, A. G. Dimakis, A. F. Molisch, and G. Caire, "Femto caching: Wireless video content delivery through distributed caching helpers," in *Proc., IEEE INFOCOM*, Mar. 2011, pp. 1107–1115.
- [45] White Paper "Analysis of Postal Price Elasticities"; Office of inspector general, United States Postal Service, May 2013,.
- [46] Eero Wallenius, Timo Hämäläinen; "Pricing model for 3G/4G Networks", IEEE, PIMRC 2002
- [47] Karl-Heinz.S, Andrea.M; economic report "The Value before Volume pricing strategy" (2015)
- [48] Ghoul Smail, Jia Weijia; "Business Models For The Next Generation Of Mobile Communications", *International journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)*, ISSN : 1839 – 5678.