



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## Ενεργειακά Αποδοτική Διαχείριση Σταθμών Βάσης

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παρασκευάς Ι. Σαμαράς  
ΑΜ: 03110729

**Επιβλέπων :** Μιλτιάδης Αναγνώστου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## Ενεργειακά Αποδοτική Διαχείριση Σταθμών Βάσης

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παρασκευάς Ι. Σαμαράς  
ΑΜ: 03110729

**Επιβλέπων :** Μιλτιάδης Αναγνώστου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 5<sup>η</sup> Φεβρουάριου 2021.

.....  
Μιλτιάδης Αναγνώστου

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Ευστάθιος Συκάς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Ιωάννα Ρουσσάκη

Επ. Καθηγήτρια

Ε.Μ.Π

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021



.....  
Παρασκευάς Ι. Σαμαράς

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παρασκευάς Σαμαράς, 2021 Με  
επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα της κατανάλωσης ενέργειας τηλεπικοινωνιακών Σταθμών βάσης (από εδώ και στο εξής Σ/Β). Θα παρουσιαστούν μέθοδοι και τεχνικές που προτείνονται από διάφορους ερευνητές με σκοπό να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας στον πλανήτη.

Πιο συγκεκριμένα θα ξεκινήσουμε με μια αναφορά στα «πράσινα δίκτυα» και τι εννοούμε με τον όρο αυτό. Έτσι θα αναφερθούμε στη κλιματική αλλαγή του πλανήτη μας, καθώς τα τελευταία χρόνια όλο και επιδεινώνεται η κατάσταση με την κατανάλωση ενέργειας. Καθώς το θέμα αφορά τη κατανάλωση ενέργειας σε τηλεπικοινωνιακούς Σ/Β πρέπει να δούμε τι κατανάλωση έχουν αυτοί και για ποιο λόγο τη χρειάζονται. Σίγουρα ζούμε σε μια εποχή που ένας από τους πιο αναπτυσσόμενους κλάδους είναι αυτός των τηλεπικοινωνιών καθώς συνεχώς νέες τεχνολογίες ανακαλύπτονται και προστίθενται στα υφιστάμενα δίκτυα. Αυτό βέβαια με τη σειρά του αυξάνει ακόμα περισσότερο την ενεργειακή απόδοση των Σ/Β και συνάμα την κατανάλωση ενέργειας ανά τον πλανήτη.

Σκοπός μας λοιπόν, είναι να παρουσιάσουμε τεχνικές και μεθόδους με τα αποτελέσματα τους σχετικά με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας Σ/Β. Για αυτό το λόγο θα κάνουμε μια σχετική αναφορά στην τεχνική Switch On/Off, η οποία προτείνεται από τους Y. Choi, J. Lee, J. Back, S. Park, Y. Chung, H. Lee, στο paper με τίτλο “Energy Efficient Operation of Cellular Network Using On/Off Base Stations” που δημοσιεύτηκε το 2015. Θα δούμε τα προβλήματα ρυμοτομίας, πολεοδομίας καθώς και προβλήματα κίνησης που προκύπτουν.

Επόμενο βήμα η προσομοίωση ενός δικτύου για να εξετάσουμε την παραπάνω τεχνική με την οποία μπορούμε να μειώσουμε τη κατανάλωση ενέργειας των Σ/Β. Πιο συγκεκριμένα, θα επιλέξουμε μια περιοχή και θα κάνουμε προσομοίωση της τεχνικής Switch On/Off, θα ζυγίσουμε τα θετικά και αρνητικά και θα δούμε τα αποτελέσματα. Θα δούμε και άλλες προσομοιώσεις βάσει της βιβλιογραφίας για να καταλάβουμε πως δουλεύει σε άλλα δίκτυα. Αφού έχουμε όλα αυτά τα στοιχεία στα χέρια μας θα μπορέσουμε να ολοκληρώσουμε την αποδόμηση της τεχνικής και να προτείνουμε δικές ιδέες.

Στο τελευταίο κομμάτι της διπλωματικής, θα αναφέρουμε μερικούς εναλλακτικούς τρόπους μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας Σ/Β καθώς και τα συμπεράσματα μας μετά από τις μελέτες και την αποδόμηση της τεχνικής Switch On/ff.

## **Λέξεις Κλειδιά**

Σταθμοί Βάσης, Εξοικονόμηση Ενέργειας, Ενεργειακή Απόδοση, Πράσινα δίκτυα,  
Κινητές Επικοινωνίες

## **ABSTRACT**

This senior thesis deals with the issue of the energy consumption of telecommunication Base Station from now on B/S. There will be presented methods and techniques that are proposed by various researchers in order to reduce the energy consumption on the planet.

More specifically, we will start with a reference to the “Green networks” and what we mean by this term. So, we will be referred to the climate change of our planet, as, in recent years , the energy consumption is worsen. As this issue concerns the energy consumption in telecommunication B/S. We have to examine the consumption they have and why they need it. Certainly , we live in a time when one of the most developing industries is that one of the telecommunications as new technologies are constantly being discovered and added to the existing networks. for sure, taking it in turns, increases even more the energy efficiency of B/S and the same time the energy consumption all around the planet. Well, our goal is to present techniques and methods with their results on reducing the B/S energy consumption. For this reason, we will make a relevant reference the Switch on/off technique, which is suggested by Y.Choi , J.Lee ,Jback , S.Park Y.Chung, H.Lee into the article entitled “Energy efficient Operation of Cellular Network Using On/Off Base Stations” which is published in 2015. We will examine the problems of road planning, urban planning and the traffic problems that occurring, as well.

Next step is the simulation of a network in order to examine the above referred technique with which we can reduce the B/S energy consumption. More specifically we will select an area and we will simulate the Switch on/off technique, we will calculate the positives and negatives and we will observe the results. Certainly we have to examine other more simulations based on the literature bibliography to understand how it works in other networks. Once we have all this information in our hands we will be able to complete the deconstruction of this technique and suggest our own ideas. In the last part of this senior thesis we will mention some alternative ways to reduce the B/S energy consumption as well as our conclusions after the reports and the deconstruction of the switch on/off techniques.

## **KEYWORDS**

Base station, Energy Efficiency, Save Energy, Green Cells, Mobile Communications

## Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων.....	7
Πίνακας Εικόνων.....	9
Λίστα Πινάκων.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	12
1. ΠΡΑΣΙΝΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	13
1.1 Γενικά.....	13
1.2 Κλιματική Αλλαγή.....	13
1.3 Κατανάλωση Ενέργειας από Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα.....	15
1.3.1 Data Center.....	16
1.3.2 Σταθμοί Βάσης.....	18
1.4 Εξέλιξη κατανάλωσης Ενέργειας Μηχανημάτων Σ/Β.....	26
1.4.1 Κατανάλωση Μηχανημάτων GSM-2G.....	27
1.4.2 Κατανάλωση Μηχανημάτων UMTS-3G.....	30
1.4.3 Κατανάλωση Μηχανημάτων LTE-4G.....	33
1.5 Οικονομικά Περιβαλλοντικά Μεγέθη.....	38
1.6 Πρόβλεψη Αύξησης Κατανάλωσης Ενέργειας.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	43
2. ΜΕΘΟΔΟΣ SWITCH ON/OFF B/S ΣΕ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ..	44
2.1 Παρουσίαση Τεχνικής Switch On/Off.....	44
2.1.1 Διατύπωση Προβλήματος Βελτιστοποίησης Κατανάλωσης.....	46
2.2 Αποδόμηση Τεχνικής Switch On / Off Βάσει Προσομοίωσης.....	47
2.2.1 Συνθήκες Προσομοίωσης.....	48
2.2.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	49
2.3 Προβλήματα Πολεοδομίας και Ρυμοτομίας.....	51
2.3.1 Προβλήματα Ρυμοτομίας.....	51
2.3.2 Προβλήματα Πολεοδομίας.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	59
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ SWITCH ON/OFF BS ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	60
3.1 Γενικά.....	60
3.2 Δίκτυο στη Περιοχή της Καλλιθέας.....	60
3.3 Δίκτυο στην περιοχή του Μαρκοπούλου Μεσογαίας.....	71
3.4 Προσομοίωση Switch On/Off & Άλλες Τεχνικές Απενεργοποίησης Σ/Β....	79



3.4.1	Αποτελέσματα Προσομοιώσεων & Προτάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	.....	85
4	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	86
4.1	Γενικά.....	86
4.2	Μέθοδος RF – Sharing.....	86
4.3	Μέθοδος BBU Hoteling.....	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	.....	90
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	.....	93

## Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Δομή Ενός Τυπικού Data Center [4] .....	17
Εικόνα 2: Σχηματικό Διάγραμμα Τυπικού Σ/Β [4] .....	19
Εικόνα 3: BaseBand Unit (BBU) [7].....	20
Εικόνα 4: Radio Unit (RU) [7] .....	21
Εικόνα 5: Τυπικός Macro Σ/Β [8] .....	22
Εικόνα 6: Κατανάλωση Ενέργειας των Δομικών Στοιχείων / Sector σε Macro Σ/Β [8].....	23
Εικόνα 7: Κατανάλωση Ενέργειας των Δομικών Στοιχείων / Sector σε Micro Σ/Β [8].....	25
Εικόνα 8: Κατανάλωση PA (Feeder) & BB στο 2G [9] .....	27
Εικόνα 9: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 2G [9].....	29
Εικόνα 10: Κατανάλωση PA (Feeder) & BB στο 3G [9].....	30
Εικόνα 11: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 3G [9] .....	31
Εικόνα 12: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 4G-1800MHz [9].....	33
Εικόνα 13: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 4G-2600MHz [9].....	35
Εικόνα 14: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 4G-800MHz & 4G-2600MHz [9] .....	36
Εικόνα 15: Κατανάλωση ενέργειας Σ/Β ανά τεχνολογία.....	39
Εικόνα 16: Κατανομή κόστους ενέργειας ανά τεχνολογία .....	39
Εικόνα 17: Συνολική μείωση κόστους.....	40
Εικόνα 18: Μείωση εκπομπών του Σ/Β από Διοξείδιο του Άνθρακα σε μηνιαία βάση.....	40
Εικόνα 19: Δίκτυο Προσομοίωσης με 19 Κυψέλες [17] .....	48
Εικόνα 20: Σενάρια Κατανομής Κίνησης Δικτύου [17] .....	50
Εικόνα 21: Απόσταση Σ/Β, σε Πρόβλημα Ρυμμοτομίας .....	52
Εικόνα 22: Οπτική Επαφή Σ/Β Α με Φτέρη, Σκοτεινά & Οδικό Δίκτυο.....	53
Εικόνα 23: Οπτική Επαφή Σ/Β Β με Αγ. Δημήτριο & Οδικό Δίκτυο .....	54
Εικόνα 24: Απόσταση Σ/Β Αστικό Περιβάλλον .....	55
Εικόνα 25: Σημεία Κάλυψης Σ/Β.....	56

Εικόνα 26: Σημεία Κάλυψης Σ/Β Αντίθετη Λήψη.....	57
Εικόνα 27: Χάρτης με τα Όρια του Δήμου Καλλιθέας.....	61
Εικόνα 28: Χάρτης Πυκνότητας Καλλιθέας.....	62
Εικόνα 29: Υφιστάμενο Δίκτυο Καλλιθέας [27]) .....	63
Εικόνα 30: Τοποθέτηση Σ/Β στους Χάρτες της Περιοχής.....	64
Εικόνα 31: Συχνότητες Εκπομπής Cosmote Βάση ΕΕΑΕ [27]) .....	65
Εικόνα 32: Σημεία Μετρήσεων.....	66
Εικόνα 33: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 2G (Network Cell Info Lite).....	67
Εικόνα 34: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 3G (Network Cell Info Lite).....	69
Εικόνα 35: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 4G (Network Cell Info Lite).....	70
Εικόνα 36: Χάρτης με τα όρια του δήμου Μαρκοπούλου Μεσογαίας.....	72
Εικόνα 37: Χάρτης Πυκνότητας Μαρκοπούλου Μεσογαίας .....	73
Εικόνα 38: Υφιστάμενο Δίκτυο Μαρκοπούλου Μεσογαίας .....	74
Εικόνα 39: Συχνότητες Εκπομπής Cosmote Βάση ΕΕΑΕ [27]) .....	74
Εικόνα 40: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 2G (NetworkCellInfoLite) .....	76
Εικόνα 41:Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 3G (NetworkCellInfoLite) .....	77
Εικόνα 42: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 4G (NetworkCellInfoLite) .....	78
Εικόνα 43: Σ/Β Μετά την Ενεργοποίηση του Switch On/Off.....	80
Εικόνα 44: Μείωση Κόστους Με την Απενεργοποίηση της τεχνολογίας 3G.....	83
Εικόνα 45: Μείωση Κόστους Με την Απενεργοποίησης 3G & LTE1800MHz βραδινές ώρες.....	84
Εικόνα 46: Μείωση Εκπομπών διοξειδίου του Άνθρακα .....	84
Εικόνα 47: Σχηματικό BBU Hotelling.....	88

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Ποσοστά Κατανάλωσης Ενέργειας ανά Μονάδα Ενός Data Center [4] .....	18
Πίνακας 2: Κατανάλωση Τυπικών Macro Σ/Β (2G,3G,4G) [8] .....	24
Πίνακας 3 : Συγκεντρωτική κατανάλωση Σ/Β.....	38
Πίνακας 4: Αρχικές και Τελικές εκπομπές Διοξειδίου του άνθρακα σε μηνιαία βάση.....	41
Πίνακας 5: Κατανάλωση Ενέργειας Σ/Β [17]) .....	47
Πίνακας 6: Επίπεδα Ισχύς Μετάδοσης .....	49
Πίνακας 7: Συχνότητες & Τεχνολογίες Παρόχου στη Περιοχή.....	65
Πίνακας 8: 2G Επίπεδα Κάλυψης Περιοχής .....	68
Πίνακας 9: 3G Επίπεδα Κάλυψης Περιοχής .....	69
Πίνακας 10: 4G Επίπεδα Κάλυψης Περιοχής.....	71
Πίνακας 11: Συχνότητες και Τεχνολογίες Παρόχου της Περιοχής .....	75
Πίνακας 12: 2G Επίπεδα Κάλυψης Περιοχής.....	76
Πίνακας 13: 3G Επίπεδο Κάλυψης Περιοχής.....	77
Πίνακας 14: 4G Επίπεδο Κάλυψης Περιοχής.....	79
Πίνακας 15: Υπηρεσίες Τεχνολογιών.....	82

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

---

## 1. ΠΡΑΣΙΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

### 1.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε τον όρο «πράσινα δίκτυα», τι σημαίνει και πώς προέκυψε. Παρατηρώντας την κλιματική αλλαγή διαπιστώνεται πόσο έχουν συμβάλει σε αυτήν και οι Σ/Β. Θα γίνει ειδική αναφορά στην ενεργειακή απόδοση τηλεπικοινωνιακών Σ/Β και θα δούμε τι κατανάλωση έχουν και από τι προέρχεται. Θα κλείσουμε με τις νέες τεχνολογίες και πόσο επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας στους Σ/Β καθώς μιλάμε για πραγματικά μεγάλη εξέλιξη και μεγάλη ταυτόχρονη αύξηση ενέργειας.

Πράσινα δίκτυα λοιπόν. Ο όρος «πράσινο» χρησιμοποιείται στις μέρες μας για πολλές κατηγορίες όπως για παράδειγμα, πράσινο κτήριο, πράσινο αυτοκίνητο, πράσινα δίκτυα κτλ. Τι εννοούμε με τον όρο αυτό; Εν ολίγοις, η λέξη πράσινο είναι αυτή που κάνει το κτήριο, το αυτοκίνητο κτλ. να διαφέρει από τα υπόλοιπα. Κατ' ουσία χρησιμοποιούμε αυτήν την ορολογία για να περιγράψουμε κάτι φιλικό προς το περιβάλλον. Και πώς κάτι είναι φιλικό προς το περιβάλλον; Όταν δεν το ρυπαίνει και όταν δεν χρησιμοποιεί πόρους του περιβάλλοντος που θα το βλάψουν, όπως για παράδειγμα η ενέργεια.

Ο κλασικός τρόπος για την ,μέχρι τώρα, εύρεση της ενέργειας ήταν ο λιγνίτης. Έπρεπε λοιπόν να γίνει πρώτα εξόρυξη αυτού, καθώς πρόκειται για πέτρωμα και ύστερα τα εργοστάσια να τον επεξεργαστούν για να πάρουν τα συστατικά που θεωρούν χρήσιμα. Η επεξεργασία αυτή τον κάνει εξαιρετικά επικίνδυνο για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία καθώς από την καύση του προκαλείται μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση, κάτι που έχει κάνει διάφορους επιστήμονες να υποστηρίζουν ότι ο λιγνίτης πρέπει να μένει θαμμένος στη γη και να μην εξορύσσεται. Αυτά και άλλα τόσα συνέβαλαν στην κλιματική αλλαγή του πλανήτη.

### 1.2 Κλιματική Αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή υπάρχει ήδη εδώ και αρκετά χρόνια και με το πέρασμα αυτών γίνεται ολοένα και χειρότερη. Ενδεικτικό των επιπτώσεων που έχει είναι ότι οι παγετώνες και το χιόνι λιώνουν, τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων αλλάζουν, οι θερμοκρασίες αυξάνονται και η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι εκπομπές αερίων που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι αυτές που κατά κύριο λόγο οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Αυτή είναι εξάλλου και η σημασία του όρου κλιματική αλλαγή, ένα φαινόμενο δηλαδή, που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Για να μπορέσουν

λοιπόν, να περιοριστούν οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής πρέπει να διασφαλιστεί η πρόληψη της παραγωγής τους, για παράδειγμα με την τοποθέτηση ειδικών φίλτρων πριν αυτές βγουν στην ατμόσφαιρα ή να μειωθούν οι ίδιες οι εκπομπές [25]).

Τα τελευταία 50 χρόνια οι δραστηριότητες του ανθρώπου και ειδικότερα αυτές της καύσης ορυκτών καυσίμων έχουν οδηγήσει στην αύξηση της ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων, «αερίων του θερμοκηπίου» όπως ονομάζονται. Η φυσική διαδικασία είναι η γη εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία η οποία ελευθερώνεται προς το διάστημα. Όταν τα αέρια του θερμοκηπίου αυξάνονται, απορροφούν αυτή την ακτινοβολία και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παγιδεύεται επιπρόσθετη θερμότητα στα χαμηλότερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Έτσι εξηγείται πως τα τελευταία 25 χρόνια, ο ρυθμός θέρμανσης του πλανήτη έχει αυξηθεί σε πάνω από 0,18°C ανά δεκαετία [1]). Η αύξηση της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε:

- αύξηση της μετάδοσης ασθενειών από μολυσμένο νερό και τρόφιμα
- υψηλότερα επίπεδα ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων [26])
- αύξηση επικίνδυνων καιρικών φαινομένων
- κινδύνους στην γεωργική παραγωγή ορισμένων λιγότερων ανεπτυγμένων χωρών [1])

Έχοντας ήδη τις πρώτες ενδείξεις καταλαβαίνουμε ότι αυτή η αλλαγή θα επηρεάσει αναπόφευκτα βασικά προαπαιτούμενα που χρειαζόμαστε για να είμαστε υγιείς, όπως για παράδειγμα ο καθαρός αέρας και το νερό, η ύπαρξη καταλύματος και η επαρκής τροφή. Ενδεικτικό είναι πως κάθε χρόνο 1.8 εκατ. άνθρωποι πεθαίνουν από διάρροια που σε μεγάλο βαθμό οφείλεται στην έλλειψη πόσιμου νερό και κακής υγιεινής, 3.5 εκατ. από υποσιτισμό, 800.000 άνθρωποι πεθαίνουν από αίτια ατμοσφαιρικής ρύπανσης και περίπου 60.000 από φυσικές καταστροφές [26]).

Γίνεται αντιληπτό πως διανύουμε ήδη πολύ έντονα την κλιματική αλλαγή και για αυτό το λόγο η Ε.Ε έχει αποφασίσει να πάρει τα μέτρα της με διάφορες πρωτοβουλίες που σκοπό έχουν τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι λοιπόν έθεσε κάποιους στόχους, όπως τη μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για να γίνει πράξη αυτό, σε επίπεδο Ένωσης, έχει θεσπιστεί ένα ανώτατο όριο για το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών (ΣΕΔΕ) της ΕΕ και σε επίπεδο χωρών, έχουν θεσπιστεί ειδικά πλαίσια της απόφασης για τον επιμερισμό των προσπαθειών. Την ίδια στιγμή η Ε.Ε έχει εκδώσει νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με την χρήση

ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές όπως η υδροηλεκτρική, η ηλιακή, η αιολική, και η ενέργεια από βιομάζα καθώς και τρόπους βελτίωση της ενεργειακής αποτελεσματικότητας μέσω των εξοπλισμών και οικιακών συσκευών που χρησιμοποιούνται από επιχειρήσεις και οικογένειες ανά την Ευρώπη [25]).

Έτσι λοιπόν ήμαστε αναγκασμένοι να βρούμε νέους τρόπους εύρεσης της ενέργειας όπως για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι ανεμογεννήτριες και άλλες μέθοδοι που μετατρέπουν άλλου είδους ενέργειες στις μορφές που θέλουμε για να τις χρησιμοποιήσουμε στη καθημερινότητα μας. Με στόχο ο άνθρωπος να ανατρέψει τη παρούσα κατάσταση μετά τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες συνέχισε εστιάζοντας στην βελτίωση της κατασκευής των κτηρίων, κάνοντας τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Εξ άλλου, ο κτιριακός τομέας καταναλώνει περίπου το 1/3 των συνολικών ενεργειακών πόρων κάθε χώρας, συμβάλλοντας κατά 40% στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Στο ίδιο πλαίσιο κινούνται πλέον και οι τηλεπικοινωνίες που σκοπό έχουν οι εγκαταστάσεις των παρόχων να καταναλώνουν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια στοιχηματίζοντας στο ότι δε θα επηρεαστούν σε αποτελεσματικότητα οι υπηρεσίες τους. Το στοίχημα αυτό αποδεικνύεται μεγάλο, αν αναλογιστούμε τις ανάγκες που έχει ο κόσμος για ομιλία και σερφάρισμα στο ιντερνέτ, τις εφαρμογές που ολοένα αυξάνονται καθώς και τις νέες τεχνολογίες που πληθαίνουν. Μη ξεχνάμε ότι βρισκόμαστε σε εποχές ετερογενών δικτύων, δικτύων δηλαδή με πολλές και απαιτητικές τεχνολογίες αλλά κυρίως όλα μαζί! Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι όταν βγαίνει μια νέα τεχνολογία δεν καταργούν τις προηγούμενες, προσθέτουν την καινούρια στο υφιστάμενο δίκτυο και προσθέτουν ξανά και ξανά. Αυτό τι σημαίνει; Έξτρα κατανάλωση ενέργειας. Άρα αμέσως καταλαβαίνουμε ότι ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι καταδικασμένο να αυξάνει συνεχώς την κατανάλωση ενέργειας. Είναι όμως πράγματι έτσι; Κάνουν κάτι για αυτό οι Τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι; Έχουν μπει και αυτοί σε διαδικασία εξοικονόμησης ενέργειας και παράλληλα χρημάτων; Τα ερωτήματα αυτά θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια και θα ασχοληθούμε εκτενέστερα μαζί τους.

### **1.3 Κατανάλωση Ενέργειας από Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα**

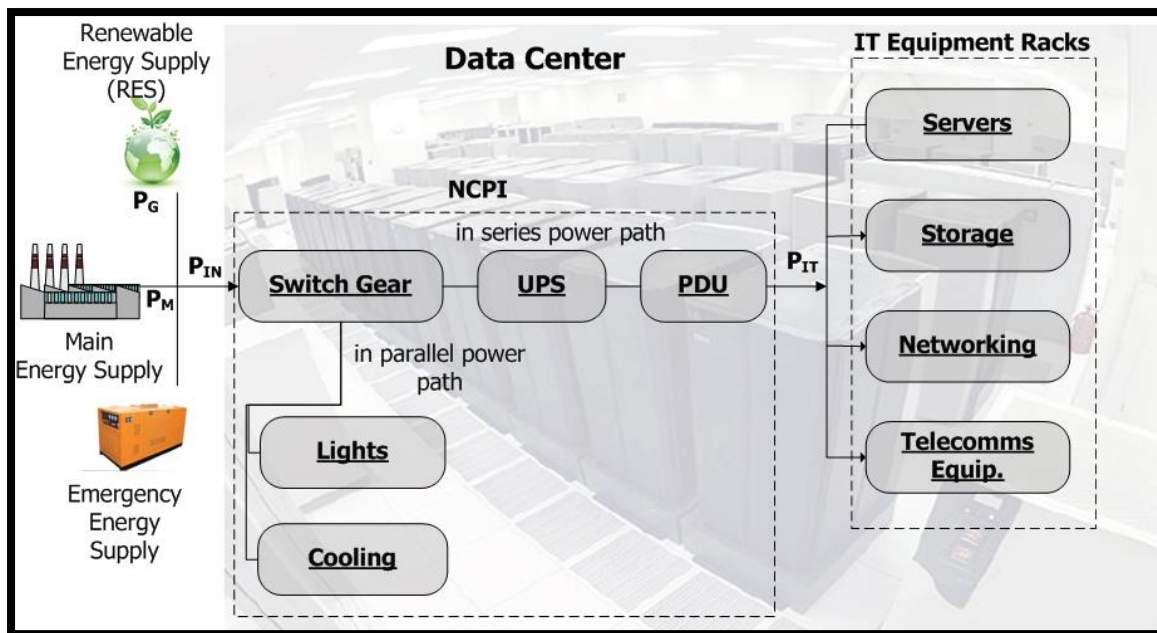
Πάμε να δούμε τώρα μερικά πράγματα για την κατανάλωση ενέργειας από τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Γιατί καταναλώνουν, πόσο και πώς είναι μερικά θέματα που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την ενότητα. Όπως είπαμε και στο τέλος της προηγούμενης ενότητας, το στοίχημα των τηλεπικοινωνιακών παρόχων είναι να μειώσουν την κατανάλωση



ενέργειας στους Σ/Β χωρίς τη μείωση αποτελεσματικότητας και υπηρεσιών. Αυτό θα τους βοηθήσει να παρουσιάσουν ένα πιο κερδοφόρο επιχειρηματικό σχέδιο (business plan) καθώς η κατανάλωση ενέργειας για αυτούς ήταν, είναι και θα είναι ένα οικονομικό αγκάθι. Είναι γνωστό εξάλλου, ότι ένα πολύ μεγάλο ποσοστό χρημάτων που πληρώνουν οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών κάθε χρόνο πηγαίνει για τη κατανάλωση ρεύματος των Σ/Β του δικτύου. Αυτό είναι γνωστό με τον όρο OPEX, έξοδα λειτουργίας ενός Σ/Β δηλαδή, που πληρώνονται κάθε χρόνο. Ακόμα, πρέπει να συμμορφωθούν και με την Ε.Ε που όπως είδαμε προηγουμένως έχει βάλει ως στόχο τη μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% μέχρι το 2020. Έτσι θα δούμε τη κατανάλωση ενέργειας έχουμε στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και τι μπορούμε να κάνουμε για να τη μειώσουμε. Παρακάτω παρουσιάζονται δύο κομμάτια του δικτύου: α) τα Data Center και β) τους Σ/Β.

### 1.3.1 Data Center

Ξεκινώντας την ανάλυση σε αυτό το σημείο θα πρέπει να δούμε δύο πράγματα σχετικά και με τα Data Centres που έχουν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι καθώς και αυτά με τη σειρά τους καταναλώνουν ένα αρκετά σημαντικό ποσοστό ενέργειας. Δε θα σταθούμε πολύ σε αυτά καθώς το κύριο θέμα μας είναι τι γίνεται με τους Σ/Β. Αυτό που πρέπει να καταλάβουμε είναι ότι η συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός Data Center σχετίζεται από την μεμονωμένη ισχύ που καταναλώνεται από κάθε μονάδα που περιέχεται σε αυτό. Επομένως, πρέπει να προσέξουμε την κατανάλωση που έχει κάθε μονάδα του Data Center έτσι ώστε να μπορέσουμε να εξισορροπήσουμε την κατανάλωση ενέργειας με την αποδοτικότητα ολοκλήρου του κέντρου δεδομένων. Σύμφωνα με αυτό, ήρθε η ώρα να δούμε ποιές μονάδες χρησιμοποιεί ένα Data Center και τι κατανομή ισχύος έχουν. Έτσι ακολουθεί η εικόνα 1 που αναπαριστά πώς είναι ένα Data Center, τις μονάδες που περιέχονται σε αυτό και με ποια σειρά. Βλέποντας την εικόνα, θα μπορέσουμε στη συνέχεια να εξηγήσουμε και να δούμε την κατανάλωση ισχύος από ένα Κέντρο και πώς μπορούμε να το κάνουμε πιο αποδοτικό.



Εικόνα 1: Δομή Ενός Τοπικού Data Center [4]

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα η ισχύς εισόδου του συστήματος χωρίζεται σε δύο μονοπάτια (paths), ένα μονοπάτι σε σειρά που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του ηλεκτρικού ρεύματος και ένα μονοπάτι παράλληλο που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του συστήματος ψύξης. Στη μονάδα τροφοδοσίας ρεύματος, στο UPS και το PDU, στο σε σειρά μονοπάτι δηλαδή εντοπίζονται οι μεγαλύτερες απώλειες λόγω της μετατροπής του ρεύματος από DC σε AC και πάλι πίσω. Αυτή η μετατροπή γίνεται με τη μορφή θερμικής θερμότητας και για αυτό το λόγο χρειαζόμαστε και ένα σύστημα ψύξης για να προστατεύει το κέντρο από υψηλές θερμοκρασίες, το οποίο τροφοδοτείται όπως είδαμε, από το παράλληλο μονοπάτι της ισχύος εισόδου. Το σύστημα ψύξης μπορεί να αποτελείται από ανεμιστήρες και υδρόψυκτους θαλάμους.

Όλα τα παραπάνω, αφορούν τα μηχανήματα που έχει ένα Data Center και πως δουλεύουν. Αξίζει να αναφερθεί άλλο ένα σημαντικό κομμάτι που αφορά το IT. Σε κάθε Data Center έχουμε ένα ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας που αφορά τον εξοπλισμό του IT φτάνοντας έως και 30% της συνολικής κατανάλωσης και θα εξηγήσουμε στη συνέχεια γιατί, αφού δούμε έναν συγκεντρωτικό πίνακα με τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας για ένα ολοκληρωμένο κέντρο [4].

Πίνακας 1: Ποσοστά Κατανάλωσης Ενέργειας ανά Μονάδα Ενός Data Center [4]

<i>NCPI equipments</i>	<i>Percentage of Power Consumption [Total 70%]</i>
Chiller	33 %
CRAC	9 %
UPS	19 %
PDU	5 %
Switchgear, Lights	4 %
<i>IT equipments</i>	<i>Percentage of Power Consumption relative to [Total 30%]</i>
System	25 %
Disks	5 %
Power Supply	13 %
Networking	9 %
CPU	40 %
Memory	8 %

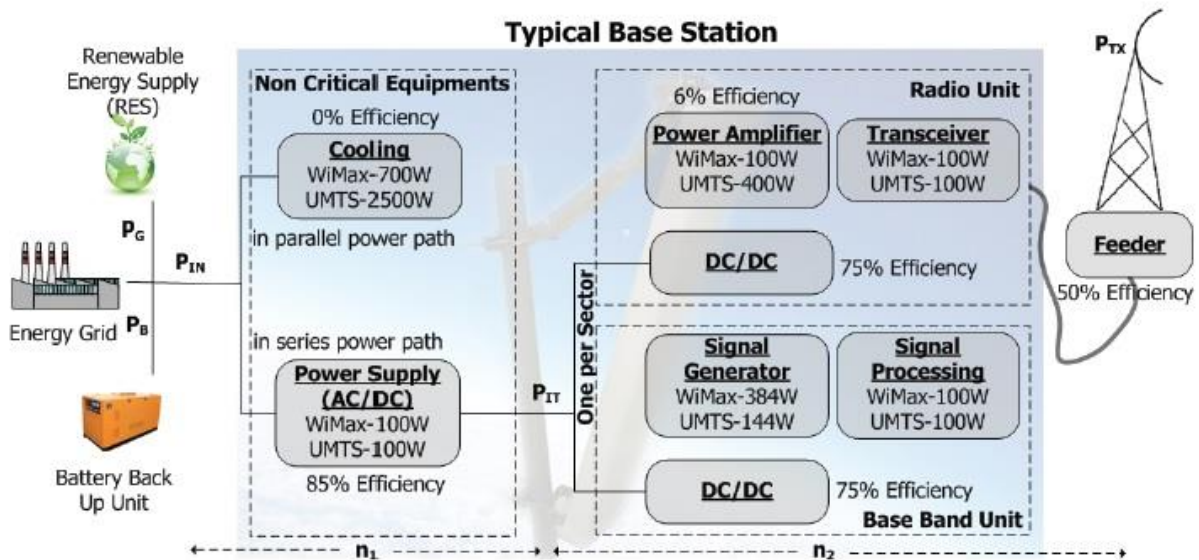
Η μεγαλύτερη «σπατάλη» ενέργειας οφείλεται στα UPS, στους μετασχηματιστές κτλ και αυτό γιατί τα συγκριμένα μηχανήματα δουλεύουν συνέχεια στο πλήρες φορτίο τους. Ενδεικτικό είναι ότι ένα UPS παρουσιάζει αποδοτικότητα στο 80% και αυτό για να αποφευχθεί η λειτουργία του κοντά στα όρια χωρητικότητας του.

Σύμφωνα με τον πίνακα 1 μπορούμε να πούμε ότι έχουμε φτιάξει ένα μοντέλο κατανάλωσης ενέργειας για ένα Data Center. Είναι όμως σταθερό αυτό; Έχουμε πράγματι κάθε χρόνο αυτές τις καταναλώσεις σε ένα κέντρο δεδομένων; Η απάντηση είναι αρνητική και αυτό γιατί η κατανάλωση ενέργειας που μόλις είδαμε εξαρτάται από την ισχύ εισόδου που θα έχουμε, για παράδειγμα αν έχω μεγαλύτερη ισχύ εισόδου, η κατανάλωση θα αυξηθεί αισθητά είτε στις μονάδες του Data Center είτε σε αυτές του IT που φιλοξενούνται σε αυτό. Συμπερασματικά, η κατανάλωση ενέργειας αλλάζει δυναμικά ανάλογα με την ισχύ εισόδου που έχουμε [4].

### 1.3.2 Σταθμοί Βάσης

Εκτενώς θα αναλυθεί εδώ η κατανάλωση ενέργειας από έναν Σ/Β. Εδώ θα ασχοληθούμε με την κατανάλωση από Σ/Β που χρησιμοποιούνται στα κυβελωτά δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Θα δούμε ποια μηχανήματα είναι αυτά που καταναλώνουν την ενέργεια και

τι προσφέρουν. Στη συνέχεια θα δούμε τις ενέργειες που έχουν γίνει από εταιρείες που εξειδικεύονται στη δημιουργία, εξέλιξη και υποστήριξη τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης των μηχανημάτων τους, είτε με αλλαγή μερικών πιο εξελιγμένων μονάδων είτε με αναβάθμισή στο Software που τρέχει κάθε μονάδα από αυτές.



Εικόνα 2: Σχηματικό Διάγραμμα Τυπικού Σ/Β [4]

Οι Σ/Β για κυψελωτά δίκτυα που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας είναι το πιο ενεργοβόρο κομμάτι του δικτύου. Ενδεικτικά, βλέποντας την επόμενη εικόνα μπορούμε να δούμε την αναπαράσταση ενός Σ/Β με τεχνολογίες WiMax και UMTS (3G) με την κατανάλωση τους αντίστοιχα. Αυτό που θα παρατηρήσουμε είναι ότι ο τρόπος κατανάλωσης ενέργειας μοιάζει πάρα πολύ με αυτό που γινόταν και στα Data Centers [4].

Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 2 πάνω κάτω ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τα Data Center και πιο συγκεκριμένα υπάρχουν πάλι δύο διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει η διαθέσιμη ενέργεια που εισέρχεται στο σύστημα είτε αυτή προέρχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο είτε από μπαταρίες, είτε ακόμη και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. Φωτοβολταϊκά). Η διαίρεση της εισερχόμενης ενέργειας στον Σ/Β γίνεται σε μία διαδρομή σε σειρά και μια σε παραλληλία. Επίσης σε αυτή την περίπτωση οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για υποστηρικτική λειτουργία των συσκευών πληροφορικής δεν είναι κρίσιμες και διαχωρίζονται σε Μονάδες Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Units, RU) και Μονάδες Ζώνης Βάσης (BaseBand Unit, BBU), που θα δούμε αμέσως τι κάνει το καθένα [5].

Το BBU είναι ένα μηχάνημα που εκτελεί κάποιες ενέργειες, όπως για παράδειγμα την επεξεργασία του ψηφιακού σήματος και τον τερματισμό της γραμμής X2 που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση με ένα γειτονικό Σ/Β. Επίσης διαχειρίζεται εξ ολοκλήρου το σύστημα του Σ/Β και διαχειρίζεται τον τερματισμό της γραμμής S1 που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του Σ/Β με το υπόλοιπο δίκτυο. Τέλος, λαμβάνει τα IP πακέτα από το δίκτυο κορμού και τα διαμορφώνει σε ψηφιακά σήματα βασικής ζώνης όπου στη συνέχεια τα μεταδίδει στο εκάστοτε RU και πάλι πίσω. Ακολουθεί μια ενδεικτική εικόνα ενός τέτοιου μηχανήματος [5] [6].

## BASEBAND 5216

### › LTE (FDD & TDD supported)

- 8000 connected users\*
- 1.2 Gbps Downlink & 600 Mbps Uplink\*
- Up to 24 cells & 960 MHz antenna bandwidth\*
- Up to 2000 VoIP & 144 SE/TTI pooled\*



Εικόνα 3: BaseBand Unit (BBU) [7]

Τα RU τώρα με τη σειρά τους τοποθετούνται μετά το BBU και είναι μονάδες οι οποίες μεταδίδουν και λαμβάνουν ασύρματα σήματα συνδεδεμένες μέσω RF καλωδίων απευθείας με κάθε κεραία του εκάστοτε Σ/Β. Τι κάνει ένα RU; Επεξεργάζεται και μετατρέπει τα ψηφιακά σήματα από το BBU σε σήματα ραδιοσυχνότητας (RF) ενισχύοντας την ισχύ τους για να μεταδοθούν σε κάποιο κινητό (User Equipment, UE), καθώς υλοποιεί και την αντίστροφη διαδικασία. Ακολουθεί μια ενδεικτική εικόνα από ένα τέτοιο μηχάνημα [5].

# RADIO 2219

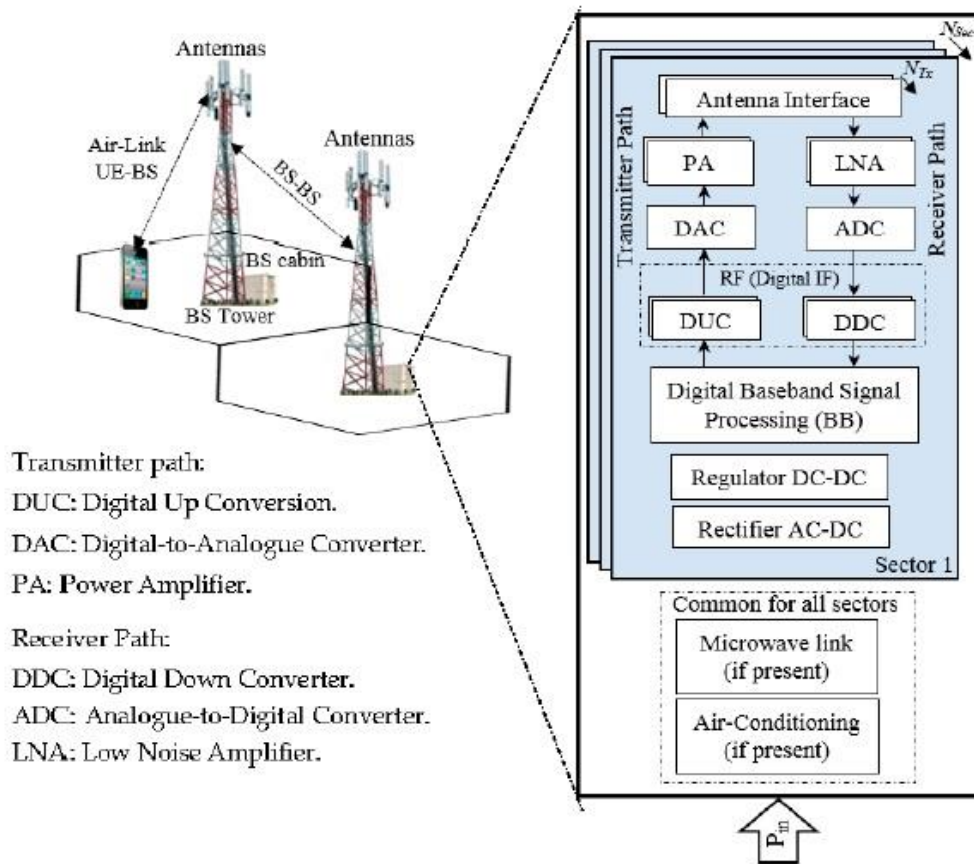
- › 2TX/2RX, 4TX/4RX by use of two 2219
- › Up to 2 x 60W (900 & 2100 MHz), up to 2 x 80W (1800 MHz)
- › Up to 40 MHz IBW
- › Up to 7 GSM carriers in MSR
- › Up to 8 carriers WCDMA
- › Up to 40 MHz LTE carriers
- › 2 x 2.5/5/10 Gbps CPRI
- › 17 liter, 17 kg
- › -48 VDC (2-wire)
- › AISG TMA & RET support through RS-485 interface
- › 2 external alarms
- › IP 65, -40 to +55 °C
- › Operating Band B1, B3, B0A and B8



Εικόνα 4: Radio Unit (RU) [7]

Όπως στα Data Center, έτσι και εδώ οι μονάδες που καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια είναι οι μετατροπείς ρεύματος που χρησιμοποιούνται για την αλλαγή του AC/DC και DC/DC. Επιπλέον, σύμφωνα με την εικόνα 2 σε έναν Σ/Β έχουμε τρία ακόμη στοιχεία τα οποία καταναλώνουν πολλή ενέργεια και είναι το σύστημα ψύξης, τα τροφοδοτικά RF (RF Feeders) και κυρίως οι ενισχυτές ισχύος (Power Amplifiers).

Μπορούμε να πούμε σύμφωνα με όλα τα παραπάνω και με την εικόνα 2 ότι έχουμε βγάλει ένα μοντέλο υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας για έναν Σ/Β; Η απάντηση είναι αρνητική. Για να γίνει κατανοητό το πρόβλημα κατανάλωσης των τηλεπικοινωνιακών Σ/Β πρέπει να διερευνηθούν και τα δομικά στοιχεία τους. Κάθε ένα από αυτά έχει μια δική του κατανάλωση ισχύος. Κάθε Σ/Β λοιπόν λειτουργεί σαν σημείο πρόσβασης των κινητών για να διασυνδεθούν με το κεντρικό δίκτυο (Core Network). Οι Σ/Β αυτοί καλύπτουν μια περιοχή και την χωρίζουν σε Τομείς (Sectors) με τον καθένα από αυτούς να καλύπτεται από κεραίες του Σταθμού (Sector Antennas). Με πιο απλά λόγια ένας σταθμός δίνει κάλυψη σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Αυτός ο σταθμός διαθέτει κεραίες (Sector Antennas) σε πολλές κατευθύνσεις (“Sectors”) με σκοπό να πιάσει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη γωνία σε 360°. Ανάλογα με το μέγεθος της περιοχής κάλυψης οι Σ/Β χωρίζονται σε Macro, Micro, Small Cell κτλ. Καταλαβαίνουμε ότι όσο μικρότερος ο σταθμός, τόσο λιγότερη κατανάλωση ισχύος θα έχει. Ένας τυπικός Macro Σ/Β μαζί με τα δομικά του στοιχεία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα [8].



Εικόνα 5: Τυπικός Macro Σ/Β [8]

Έτσι λοιπόν ανάλογα το μέγεθος του Σ/Β που έχουμε και ανάλογα τα δομικά στοιχεία που έχει αυτός έχουμε μια πρώτη εικόνα για τη κατανάλωση ενέργειας του. Το σημαντικότερο σε αυτό είναι ότι η συνολική κατανάλωση ενός Σ/Β εξαρτάται κυρίως από δύο στοιχεία:

- Το πρώτο είναι ο αριθμός των Sectors ( $N_{Sect}$ ) που έχει ο Σ/Β και
- Το δεύτερο είναι ο αριθμός των κεραιών μετάδοσης ( $N_{TX}$ ) που είναι εγκατεστημένες γιατί σε κάθε κεραία τοποθετούνται ξεχωριστά δομικά στοιχεία όπως amplifiers κτλ

Έτσι συγκεντρώνοντας όλα τα δομικά στοιχεία ενός Σ/Β θα προσπαθήσουμε να δούμε τη συνολική κατανάλωση που μπορεί να έχει ένας Macro Σ/Β καθώς αυτού του είδους οι σταθμοί είναι αυτοί με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Για τον υπολογισμό λοιπόν της συνολικής κατανάλωσης ενός Macro Σ/Β χρησιμοποιούμε τον τύπο που ακολουθεί [8]:

$$P_{macroBS} = (N_{Sect} \times N_{TX}) \frac{P_{PA} + P_{BB} + P_{RF}}{(1 - \sigma_{MS})(1 - \sigma_{DC})(1 - \sigma_{cool})} + P_{mw} + P_{au} \quad (1)$$

Όπου:

$P_{PA}$ : Η κατανάλωση του Ενισχυτή Ισχύος [Power Amplifier (PA)]

$P_{BB}$ : Η κατανάλωση της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος ή του BaseBand (BB)

$P_{RF}$ : Η κατανάλωση της ισχύος του Πομποδέκτη (RF)

$\sigma_{MS}$ : Οι απώλειες του Rectifier

$\sigma_{DC}$ : Οι απώλειες του Regulator

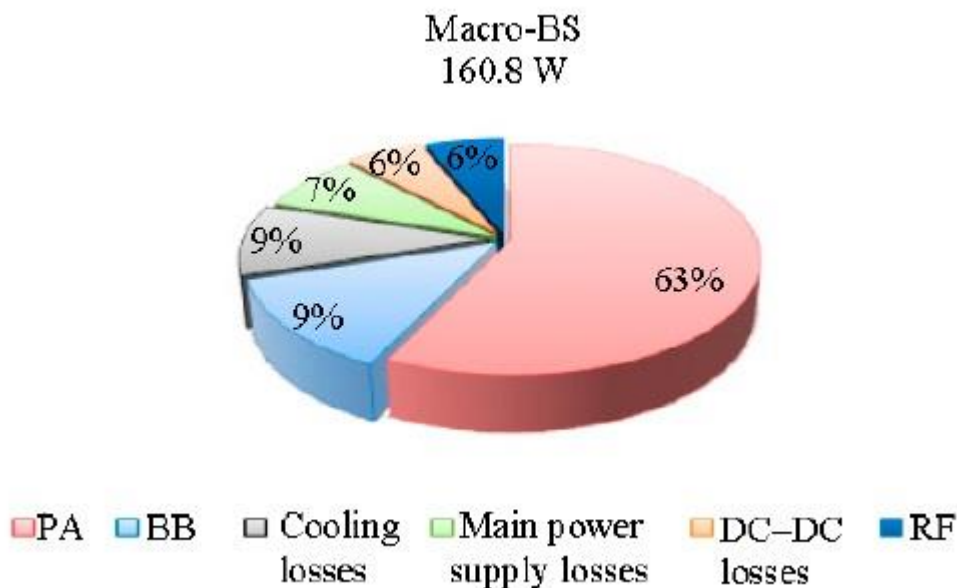
$\sigma_{cool}$ : Οι απώλειες από το σύστημα Ψύξης

Οι απώλειες είναι γραμμικές σε σχέση με την κατανάλωση των υπόλοιπων δομικών στοιχείων του Σ/Β

$P_{mw}$ : Η κατανάλωση του μικροκομματικού εξοπλισμού για τη διασύνδεση του Σ/Β

$P_{au}$ : Η κατανάλωση από όλο τον βοηθητικό εξοπλισμό (βλ. Φωτισμό, Κάμερες κτλ)

Ένας Σ/Β όμως δεν έχει μόνο μια κεραία και μία κατεύθυνση αλλά πολλές. Δεδομένου λοιπόν αυτού του στοιχείου πρέπει όλες οι απώλειες - καταναλώσεις να πολλαπλασιαστούν με τον αριθμό των κατευθύνσεων ( $N_{Sect}$ ) αλλά και τον αριθμό των κεραιών μετάδοσης ( $N_{Tx}$ ) που έχουν εγκατασταθεί σε έναν Σ/Β συνολικά [8].



Εικόνα 6: Κατανάλωση Ενέργειας των Δομικών Στοιχείων / Sector σε Macro Σ/Β [8]

Έτσι μια ενδεικτική κατανάλωση ενέργειας ενός Sector και με μια κεραία για Macro Σ/Β απεικονίζεται στο διάγραμμα της παρακάτω εικόνας:

Όπως μπορούμε να καταλάβουμε από την παραπάνω εικόνα, η κατανάλωση ισχύος σε έναν Sector με μια κεραία μετάδοσης φτάνει στα 160 Watt. Αυτό τώρα πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό Sector και Κεραιών μετάδοσης που έχει ο Σ/Β για να βρούμε τη συνολική



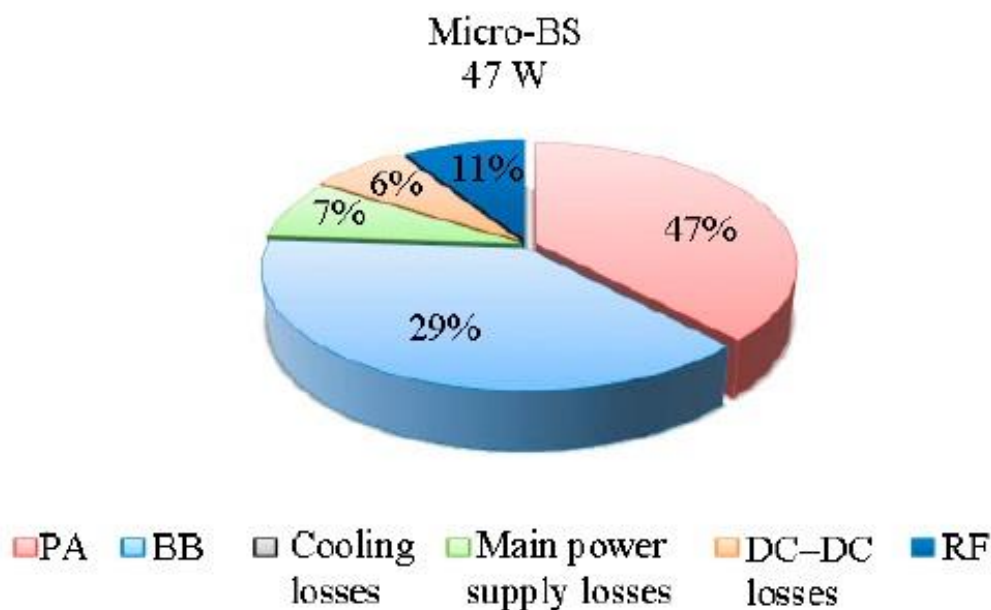
κατανάλωση. Επομένως έναν Σ/Β με 3 Sectors και μία κεραία στον καθένα η συνολική κατανάλωση θα έφτανε περίπου στα 480 Watt. Παρακάτω ακολουθεί ένα πίνακας που συνοψίζει τη κατανάλωση των κοινών κυψελοειδών Σ/Β και ανά τεχνολογική γενιά (GSM-2G, UMTS-3G-LTE-4G). Η ονοματολογία είναι της μορφής n / n / n και υποδηλώνει Sectors και κεραιοσύστημα (π.χ. 2 / 2 / 2 είναι ένας Σ/Β με 3Sectors και 2 κεραίες ανά Sector).

**Πίνακας 2: Κατανάλωση Τυπικών Macro Σ/Β (2G,3G,4G) [8]**

Site	Site Power Range (Watt)	Peak Power Draw (Watt)
GSM BS 2/2/2	600–1800	1800
GSM BS 4/4/4	900–2300	2300
GSM BS 6/6/6	2500–3700	3700
UMTS NodeB 2/2/2	750–1000	1000
UMTS NodeB 4/4/4	1300–1700	1700
LTE eNodeB 2/2/2	965	965

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι ανάλογα τη γενιά (2G, 3G, 4G) η κατανάλωση διαφέρει. Πιο συγκεκριμένα, όσο εξελίσσονται οι τηλεπικοινωνίες τόσο χαμηλότερη κατανάλωση επιτυγχάνουμε. Αυτό εξαρτάται σημαντικά από τα μηχανήματα που χρησιμοποιεί κάθε γενιά και θα τα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Πηγαίνοντας τώρα να δούμε και δύο πράγματα για τους Micro Σ/Β αυτό που πρέπει να πούμε είναι ότι σε αυτού του μεγέθους σταθμούς δε χρησιμοποιείται σύστημα ψύξης καθώς δεν χρειάζεται. Ακόμα, για τη διασύνδεση των σταθμών αυτών με το Core Δίκτυο δεν απαιτείται μικροκυματική ζεύξη, αλλά χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι και όλοι οι Sectors είναι εξοπλισμένοι με Rectifier και Regulator. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μεταβλητές  $\sigma_{MS}$ ,  $\sigma_{DC}$ ,  $\sigma_{cool}$  στον τύπο 1 να μην επηρεάζουν το αποτέλεσμα της κατανάλωσης. Αυτομάτως καταλαβαίνουμε ότι η κατανάλωση ισχύος στους Micro Σ/Β μειώνεται αισθητά, κάτι που βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7: Κατανάλωση Ενέργειας των Δομικών Στοιχείων / Sector σε Micro Σ/Β [8]

Όπως προαναφέραμε, η κατανάλωση στα Micro έχει μειωθεί και το βλέπουμε στα 47 Watt για έναν Sector με μια κεραία μετάδοσης, κάτι που σημαίνει ότι σε ένα απλό Micro που συνήθως είναι με δύο Sector και μια κεραία μετάδοσης ανά Sector η συνολική κατανάλωση δεν θα ξεπερνά τα 95 Watt.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα καταναλώσεων σε Macro και Micro Σ/Β το διάγραμμα είναι χωρισμένο με βάση τα δομικά στοιχεία που χρειάζεται ένας Σ/Β για να λειτουργήσει. Έτσι, τα ποσοστά που υπάρχουν στην πίνα είναι η κατανάλωση ενέργειας κάθε δομικού στοιχείου ξεχωριστά. Η συνολική κατανάλωση προκύπτει από τον τύπο 1. Αυτό που αξίζει να δούμε σε πιο πολύ βάθος είναι ποιο δομικό στοιχείο καταναλώνει περισσότερο. Πρωταθλητής λοιπόν και στις δύο περιπτώσεις είναι ο ενισχυτής Ισχύος (Power Amplifier-PA) με ποσοστό 63% και 47% για Macro και Micro αντίστοιχα. Στη δεύτερη περίπτωση ένα αρκετά υψηλό ποσοστό καταλαμβάνει και η μονάδα ψηφιακή επεξεργασίας σήματος (BaseBand- BB) [8].

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω μπορούμε σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο να βελτιστοποιήσουμε μεμονωμένα κάθε τμήμα του δικτύου με σκοπό να μειώσουμε την κατανάλωση του. Είναι όμως αξιόπιστο και λειτουργικό αυτό; Η απάντηση είναι αρνητική, γιατί σε γενικές γραμμές το να βελτιστοποιήσουμε ένα δίκτυο στο σύνολο του θα μας δώσει μεγαλύτερη εξοικονόμηση κατανάλωσης ενέργειας από το να βελτιστοποιήσουμε μεμονωμένα πολλά τμήματα του και αθροιστικά να δούμε τη μείωση της κατανάλωσης.

Το στοίχημα της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας ενός δικτύου δεν είναι μόνο θέμα προστασίας του περιβάλλοντος αλλά και αποφασιστικός παράγοντας για την ανάπτυξη δικτύων νέας γενιάς τα επόμενα χρόνια. Επίσης, επιδρά σημαντικά στο κόστος λειτουργίας ενός δικτύου. Έτσι λοιπόν καταλαβαίνουμε, ότι η μείωση της κατανάλωσης ενός δικτύου είναι ένα σύνθετο πρόβλημα που συμπεριλαμβάνει την ποιότητα υπηρεσιών, την κάλυψη που προσφέρεται από το δίκτυο καθώς και τα προβλήματα χωρητικότητας αυτού. Όταν έχω όλους αυτούς του σημαντικούς παράγοντες πώς θα καταφέρω να λύσω και το πρόβλημα κατανάλωσης; Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η βελτιστοποίηση ενός δικτύου επιτυγχάνεται μέσω κάποιων βημάτων, όπως για παράδειγμα η χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η αποδοτικότητα στο δίκτυο πρόσβασης, η αποδοτικότητα στον εξοπλισμό ενός Σ/Β κ.ο.κ.

Αυτό που καταλαβαίνουμε είναι ότι η «πράσινη» λειτουργία ενός δικτύου κινητών επικοινωνιών εξαρτάται από τους Σ/Β του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα οι τομείς που απαιτούν τη μεγαλύτερη προσοχή είναι η υποδομή, ο σχεδιασμός και η αποτελεσματικότητα του ηλεκτρονικού εξοπλισμού που χρησιμοποιεί ένας Σ/Β, τα χαρακτηριστικά φυσικών παραμέτρων (διαμόρφωση σήματος κωδικοποίηση κλπ) καθώς και τις τεχνικές μετάδοσης του Σ/Β [4].

#### **1.4 Εξέλιξη κατανάλωσης Ενέργειας Μηχανημάτων Σ/Β**

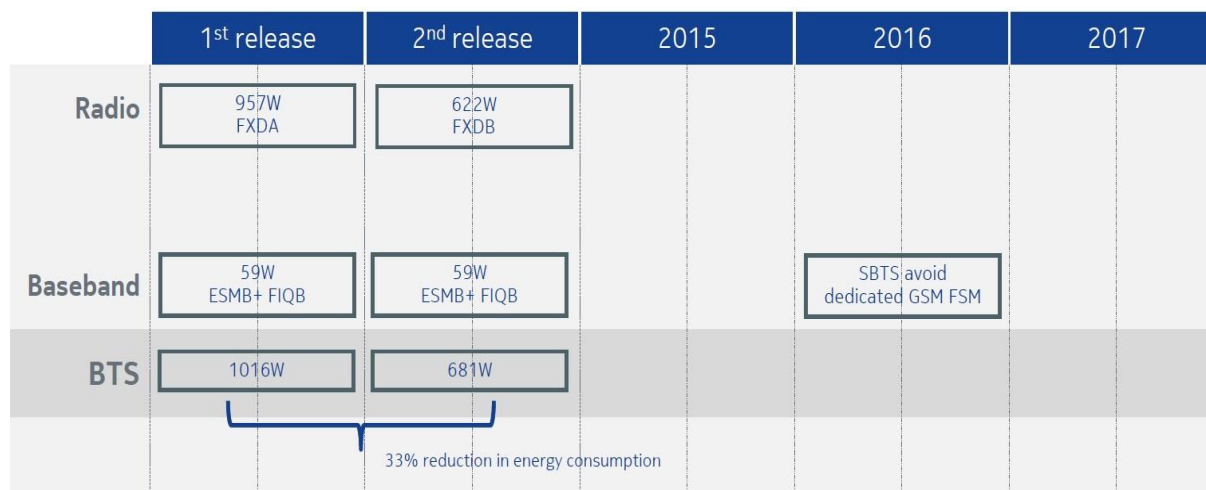
Όπως είδαμε και προηγουμένως κύρια αιτία για τη μεγάλη κατανάλωση στους Σ/Β είναι ο εξοπλισμός των ΡΑ και ΒΒ. Καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται από το δίκτυο πρόσβασης. Εκεί έχουν ποντάρει οι εταιρείες δημιουργίας τέτοιων υλικών (Πάροχοι Υλικού) τα τελευταία χρόνια, ώστε και να αυξήσουν τα κέρδη τους, αλλά και να μειώσουν την κατανάλωση των μηχανημάτων τους, με στόχο ο εκάστοτε πάροχος να αγοράζει από αυτές. Η αναβάθμιση των μηχανημάτων έρχεται μαζί με την εξέλιξη των τεχνολογιών και στον πίνακα 2 του προηγούμενου κεφαλαίου η κατανάλωση ενός τυπικού σταθμού 2G είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν ενός 4G. Αυτό που αξίζει να πούμε είναι ότι πάντα μας ενδιέφερε η κατανάλωση των σταθμών αλλά ιδίως τώρα που μπαίνουμε σίγα σιγά σε εποχή 5G μας «καίει» περισσότερο. Έρχεται νέα τεχνολογία πολύ πιο απαιτητική άρα και η κατανάλωση θα αυξηθεί αισθητά. Επομένως αυτό που πρέπει να κάνουμε είναι να μειώσουμε στο ελάχιστο την κατανάλωση του υφιστάμενου δικτύου και συγκεκριμένα των τεχνολογιών 2G, 3G, 4G.

Έτσι λοιπόν οι Πάροχοι Υλικού (Nokia, Ericsson) αναγκάστηκαν να βγάλουν νέα μηχανήματα ή ακόμα και να αναβαθμίσουν το λογισμικό των υφιστάμενων, ώστε να καταφέρουν να μειώσουν την κατανάλωση τους. Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε αυτό ακριβώς: Πώς έχουν εξελίξει οι Πάροχοι Υλικού τον εξοπλισμό τους. Στη συνέχεια θα δούμε συγκεκριμένες καταναλώσεις από μηχανήματα (BB & PA) σε συγκεκριμένα Configuration σταθμών. Που βρισκόμασταν, πως εξελιχθήκαμε και πως είμαστε τώρα από πλευρά κατανάλωσης ξεκινώντας από το 2G και φτάνοντας στο 4G. Ενδεικτικά να πούμε μερικές συντομογραφίες για αυτά που θα ακολουθήσουν. Σε ότι έχει να κάνει με τους ενισχυτές θα δούμε πιθανές ονομασίες όπως FXEA, FXEB, AHHB κ.α που ανήκουν στην Nokia καθώς και RUS01, RUS02, 2212 κοκ που ανήκουν στην Ericsson. Όσο αφορά τα BB οι ονομασίες θα είναι: ESMB, FSME, AIRSCALE κ.α και DUG20, DUS31, 5212 κ.α αντίστοιχα [9]) [10]) [12)]. Στη συνέχεια θα δούμε πιο αναλυτικά τα μηχανήματα και των δύο εταιρειών που θεωρούνται από τους καλύτερους στο χώρο για να έχουμε ένα μετρό σύγκρισης.

#### 1.4.1 Κατανάλωση Μηχανημάτων GSM-2G

Αρχίζοντας την ανάλυση θα δούμε ένα Configuration Σ/Β που αφορά τεχνολογία GSM-2G στη μπάντα των 900 MHz. Ειδικότερα έχουμε έναν Σταθμό με τρία Cell GSM σε τρεις Sectors και με 4 TRx το κάθε Cell.

4+4+4 GSM BTS with 900MHz RFM 20W TRX



Εικόνα 8: Κατανάλωση PA (Feeder) & BB στο 2G [9]

Ξεκινώντας λοιπόν οι ενισχυτές που χρησιμοποιήθηκαν χαρακτηρίζονται ως feeder και αυτό γιατί τοποθετούνται μακριά από την κεραία και κοντά στα υπόλοιπα μηχανήματα του σταθμού. Αυτοί είναι οι FXDA και η κατανάλωση για το Configuration που έχουμε φτάνει στα 957W. Ο κάθε ενισχυτής έχει χωρητικότητα τα 80W και εφόσον θέλουμε 4 TRx το καθένα

από αυτά θα είναι στα 20W για να χρησιμοποιηθεί όλο το εύρος του ενισχυτή. Έτσι λοιπόν όντας με κίνηση ο Σ/Β το κομμάτι των ενισχυτών φτάνει μέχρι και τα 957W κατανάλωσης.

Κοιτάζοντας το κομμάτι του BB σε αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα μηχανήμα ESMB που η κατανάλωση του φτάνει αισίως τα 59W, αριθμός ο οποίος δεν είναι απαγορευτικός. Έτσι λοιπόν πριν βελτιστοποιήσουμε-αλλάξουμε τα μηχανήματα με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης τους σε ένας Σ/Β μόνο με 2G στα 900 MHz και τρία Cells των τεσσάρων TRx (4+4+4) η κατανάλωση του ανέρχεται στα 1016W.

Αυτό που χρήζει ιδιαίτερης βελτιστοποίησης είναι το κομμάτι των PA το οποίο καταναλώνει και την περισσότερη ενέργεια, πράγμα που περιμέναμε με βάση όσα είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έτσι λοιπόν επειδή τα μοντέλα FXDA είναι παλιά και δε μπορεί να γίνει αναβάθμιση του λογισμικού τους πάρθηκε η απόφαση να αντικατασταθούν με το επόμενο μοντέλο που ακούει στο όνομα FXDB και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά, αλλά πιο αποδοτικό λογισμικό από άποψη κατανάλωσης.

Δοκιμάζοντας τα λοιπόν η κατανάλωση στο κομμάτι των PA μειώθηκε στα 622W και σε συνδυασμό με το BB η συνολική κατανάλωση του σταθμού έπεσε στα 681W, κάτι που σημαίνει μείωση κατά 33%. Όχι και άσχημα.

Ας δούμε τι διαφορές υπάρχουν σχετικά με τον διαφορετικό τύπο ενισχυτή. Η ανάλυση που θα δούμε έχει να κάνει με ακριβώς το ίδιο Configuration αλλά με τη χρήση Feederless ενισχυτών. Ενισχυτών δηλαδή που τοποθετούνται κοντά στην κεραία και όχι κοντά στα μηχανήματα. Σε αυτό το μοντέλο ξεκινήσαμε με τους FHDA οι οποίοι μπορούν να υποστηρίξουν σε κάθε TRx έως και 30W και η συνολική κατανάλωση για το 4+4+4 Configuration φτάνει τα 1307W. Το BB παρέμεινε το ίδιο και η συνολική κατανάλωση του Σ/Β έφτασε τα 1366W. Παρατηρούμε ότι είναι μεγαλύτερη από το προηγούμενο μοντέλο κατά 350W περίπου.

	1 <sup>st</sup> release	2 <sup>nd</sup> release	2015	2016	2017
<b>Radio</b>	1307W FHDA	815W FHDB			2TX RRH
<b>Baseband</b>	59W ESMB+ FIQB	59W ESMB+ FIQB		SBTS avoid dedicated GSM FSM	
<b>BTS</b>	1366W	874W			
	36% reduction in energy consumption				

Εικόνα 9: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 2G [9]

Και αυτά τα μηχανήματα δεν μπορούν να αναβαθμιστούν στο λογισμικό τους για αυτό και τοποθετήθηκε νεότερη και αναβαθμισμένη έκδοση με όνομα FHDB σύμφωνα με το οποίο η κατανάλωση τους είναι κατά 500W χαμηλότερη και φτάνει στα 815W. Η συνολική κατανάλωση του σταθμού μειώνεται στα 874W, κάτι που σημαίνει ότι το ποσοστό μείωσης έφτασε το 36%. Αυτά είναι τα στοιχεία και οι ενέργειες που έχουν γίνει μέχρι τώρα για τη τεχνολογία του 2G με τα μηχανήματα της Nokia.

Στην αντίπερα όχθη το αντίστοιχο μηχάνημα PA της Ericsson για GSM-2G στη μπάντα των 900 MHz με ακριβώς το ίδιο Configuration (4TRx) ονομάζεται RUS01B8 και είναι στα 60W. [10] Άρα χρειαζόμαστε 2 τέτοιους ενισχυτές για κάθε Sector με τη συνολική κατανάλωση να φτάνει τα 720W. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Ericsson, βάση στρατηγικής, μέχρι πρόσφατα είχε μόνο Feeder μηχανήματα στα 900MHz και αυτό γιατί όπως είδαμε στην Nokia με το RRH (Feederless) αυξανόταν αρκετά η κατανάλωση. Τα τελευταία 2-3 χρόνια έχει ξεκινήσει και η Ericsson και βγάζει feederless μηχανήματα για τα 900MHz ονόματι 2212\_B8 το οποίο είναι στα 80W και η συνολική του κατανάλωση φτάνει 960W [11].

Στο κομμάτι του BB η Ericsson για το GSM-2G χρησιμοποιεί και στις δύο περιπτώσεις τις κάρτες DUG 20 στις οποίες μπορούν να συνδεθούν έως και 12 Cells και έχουν συνολική κατανάλωση 45W [10].

Έτσι, για το GSM-2G η συνολική κατανάλωση του Configuration με feeder ενισχυτές είναι στα 770W περίπου ενώ για την περίπτωση της feederless λύσης ανέρχεται στα 1000W περίπου.

## 1.4.2 Κατανάλωση Μηχανημάτων UMTS-3G

Σειρά έχει να δούμε μερικά πράγματα και για τη τεχνολογία του UMTS-3G. Εκεί έχουμε διαφορετικά μηχανήματα σε σχέση με το GSM, άλλα PA και καινούρια BB. Επειδή στο 3G έχουμε τους Carriers η παραδοχή που θα κάνουμε είναι και η πραγματική του δικτύου που λέει ότι σε κάθε Σ/Β έχουμε 2 Carriers τουλάχιστον. Πάντα σε οποιονδήποτε Σ/Β ενεργοποιείται με 3G βάζουμε 2 Carriers για να πιάσουμε καλύτερες ταχύτητες στα Data (περίπου 42Mbps) και μόνο σε σταθμούς με αυξημένη κίνηση προσθέτουμε και τρίτο. Η τακτική σε αυτούς τους σταθμούς είναι οι ενισχυτές να γίνονται feederless, δηλαδή να τοποθετούνται κοντά στο κεραιοσύστημα, και να προστίθεται ένας ακόμα Carrier. Έτσι λοιπόν θα δούμε δύο μοντέλα. Ένα με feeder ενισχυτές και δύο Carriers σε κάθε Sector και η δεύτερη με τρεις Carriers ανά Sector και feederless PA. Όλα τα PA που θα χρησιμοποιήσουν στη Feeder λύση είναι τριπλέτες δηλαδή τρεις ενισχυτές σε ένα μηχάνημα ενώ στη Feederless δύο σε ένα.

2+2+2 WCDMA BTS with 2100MHz RFM 40W cells

	1 <sup>st</sup> release	2 <sup>nd</sup> release	2015	2016	2017
Radio	750W FRGP	495W FRGT			
Baseband	170W FSMD+FTIB	125W FSMF			
NodeB	920W	620W			

33% reduction in energy consumption

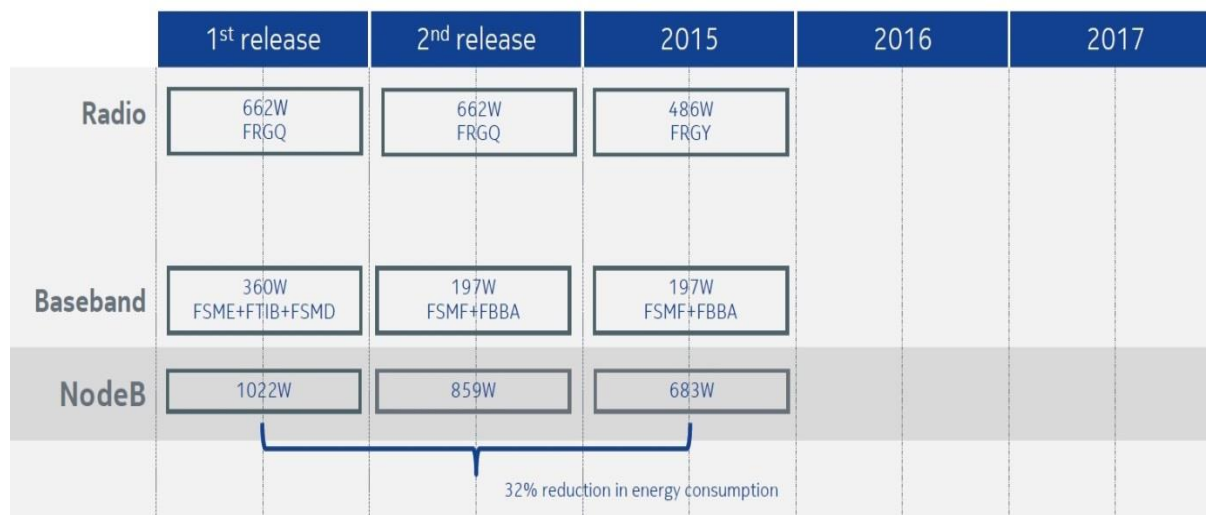
Εικόνα 10: Κατανάλωση PA (Feeder) & BB στο 3G [9]

Τα configurations που θέλουμε πρέπει και οι δύο Carriers σε κάθε κατεύθυνση να είναι με 40W έκαστος. Οι Sectors που έχουμε στο μοντέλο είναι 3 επομένως το Configuration είναι 2+2+2. Εδώ όπως βλέπουμε ξεκινήσαμε με τα FRGP για PA τα οποία είναι 60W και Feeder, μηχανήματα που μπαίνουν μακριά από το κεραιοσύστημα. Αυτό σημαίνει ότι για να μπορέσουμε να τους χρησιμοποιήσουμε σε σταθμούς με δύο Carriers έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε δύο μηχανήματα για όλες τις κατευθύνσεις, κάτι που σήμαινε έξτρα κατανάλωση και χώρο. Έτσι η κατανάλωση των παρόντων PA για το συγκεκριμένο Configuration έφτανε τα 750W. Σε αυτό το μοντέλο για BB είχαμε το FSMD του οποίου η κατανάλωση ανέρχεται στα 170W. Έτσι η συνολική κατανάλωση του Σ/Β φτάνει αισίως στα 920W.

Τι παρατηρούμε; Ενώ στα PA του 3G η κατανάλωση είναι πολύ πιο χαμηλή από αυτά του 2G ενώ για τα BB η κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με το 2G είναι μεγαλύτερη από την διπλάσια και αυτό γιατί στο 3G το BB κάνει περισσότερα πράγματα από ότι το 2G. Αυτό βέβαια δεν επηρεάζει τόσο πολύ τη συνολική κατανάλωση η οποία είναι εξαρχής μικρότερη του 2G κάτι που επιβεβαιώνει αυτά που είπαμε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, ότι δηλαδή με την εξέλιξη των τεχνολογιών μειώνεται και η κατανάλωση.

Έτσι λοιπόν για το 3G μπορούσαμε να βελτιστοποιήσουμε την κατανάλωση του σταθμού αλλάζοντας και τα δύο μηχανήματα (PA & BB) με νέες εκδόσεις που έχουν χαμηλότερη κατανάλωση. Αυτό που κερδίζουμε εκεί είναι ότι πλέον η καινούρια μονάδα ενισχυτή που λέγεται FRGT είναι 80W και μπορεί να σηκώσει και τους δύο Carriers. Επομένως καταλαβαίνουμε ότι από δύο PA για όλο τον σταθμό (είναι τριπλέτες) θα χρειαζόμασταν ένα, άρα μειώνουμε τη κατανάλωση. Επίσης όσο αφορά το BB θα χρησιμοποιήσουμε το αναβαθμισμένο FSMF του οποίου η κατανάλωση ανέρχεται στα 125W που σημαίνει 50W λιγότερο του αρχικού. Η συνολική κατανάλωση του σταθμού μετά τη βελτιστοποίηση και τοποθέτηση καινούριων μηχανημάτων όπως βλέπουμε και στην προηγούμενη εικόνα μειώθηκε στα 620W, κέρδος δηλαδή 300W που μεταφράζεται σε 36% που τη καθιστά ως μια πολύ σημαντική μείωση.

3+3+3 WCDMA BTS with 2100MHz RRH 20W cells



**Εικόνα 11: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 3G [9]**

Στη συνέχεια θα δούμε τη λύση με Feederless PA και η οποία χρησιμοποιείται για να λύσει προβλήματα χωρητικότητας σε σταθμούς που έχουν μεγάλη κίνηση. Με αυτή τη λύση προσθέτουμε και τρίτο Carrier για να λύσουμε το πρόβλημα και από 30W πάμε στα 20W. Εδώ έχουμε τρεις φάσεις βελτιστοποίησης όπως βλέπουμε στη συνέχεια.



Στην πρώτη φάση έχουμε για PA τα FRGQ που είναι 2x40W. Επομένως καταλαβαίνουμε ότι για να υλοποιήσουμε το Configuration 3+3+3 χρειαζόμαστε τρεις ενισχυτές κάτι που σημαίνει ότι η κατανάλωση τους θα φτάσει τα 662W. Το BB εδώ παραμένει το FSMD και προσθέτουμε το FSME λόγω χωρητικότητας. Έτσι στο κομμάτι του BB εκτοξεύεται η κατανάλωση και φτάνει στα 360W. Η συνολική κατανάλωση αυτού του Σ/Β έφτασε στα 1022W.

Η πρώτη βελτιστοποίηση ήρθε με την αφαίρεση των δύο BB και τη προσθήκη ενός ενονόματι FSMF το οποίο έχει χαμηλότερη κατανάλωση και μειώνεται από τα 360W στα 197W. Έτσι με αυτό το τρόπο η συνολική κατανάλωση του Σ/Β μειώθηκε στα 859W.

Η ανάγκη για μείωση κατανάλωσης ακόμα περισσότερο το 2015 ήταν επιτακτική και αυτό γιατί είχε μπει πλέον πολύ δυναμικά στο δίκτυο το 4G με περισσότερες μπάντες με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης του συνόλου του σταθμού. Έτσι λοιπόν η επόμενη κίνηση το 2015 ήταν να αλλαχτούν και τα PA με καινούρια (FRGY) το οποίο ήταν 2x60W κάτι που σημαίνει ότι από εκεί που χρειαζόμασταν τρεις ενισχυτές πέσαμε στους δύο. Εννοείται ότι η κατανάλωση έπεσε και έφτασε στα 486W για τα PA ενώ χρησιμοποιώντας το ίδιο BB (FSMF) καταφέραμε να μειώσουμε τη συνολική κατανάλωση του σταθμού και να τη φτάσουμε στα 683W που σημαίνει 32% σε σχέση με την αρχική βελτιστοποίηση.

Κοιτάζοντας τις λύσεις που έχει η Ericsson για το UMTS-3G στα παραπάνω Configurations θα διαπιστώσουμε ότι έχει μηχανήματα που σαν μονάδες φτάνουν τα 100W. Για παράδειγμα το Feeder μηχανήμα για το 3G δουλεύει στα 100W κάτι που σημαίνει ότι χρειάζεται μόνο μια μονάδα ανά Sector με 2 Carriers και όχι δύο που ήθελε η Nokia. [12]) Έτσι η συνολική κατανάλωση με το μηχανήμα της Ericsson για το ίδιο Configuration θα φτάσει τα 600W, ήτοι 150W λιγότερο σε σχέση με τη Nokia.

Όσον αφορά τώρα την περίπτωση του feederless εδώ έχουμε τα RRUS01\_B1 τα οποία είναι στα 80W και μπορούν επίσης να υλοποιήσουν με μια μονάδα ανά Sector το 3G Configuration που είδαμε προηγουμένως [12]). Ό,τι κάνει και η Nokia δηλαδή. Η συνολική κατανάλωση σε αυτή τη περίπτωση φτάνει τα 540W.

Από πλευράς BB η Ericsson χρησιμοποιεί την ίδια μονάδα ανεξάρτητα αν πρόκειται για Feeder ή Feederless Configuration. Το όνομα της κάρτας είναι DUW30 και η συνολική κατανάλωση του φτάνει τα 250W [13]).

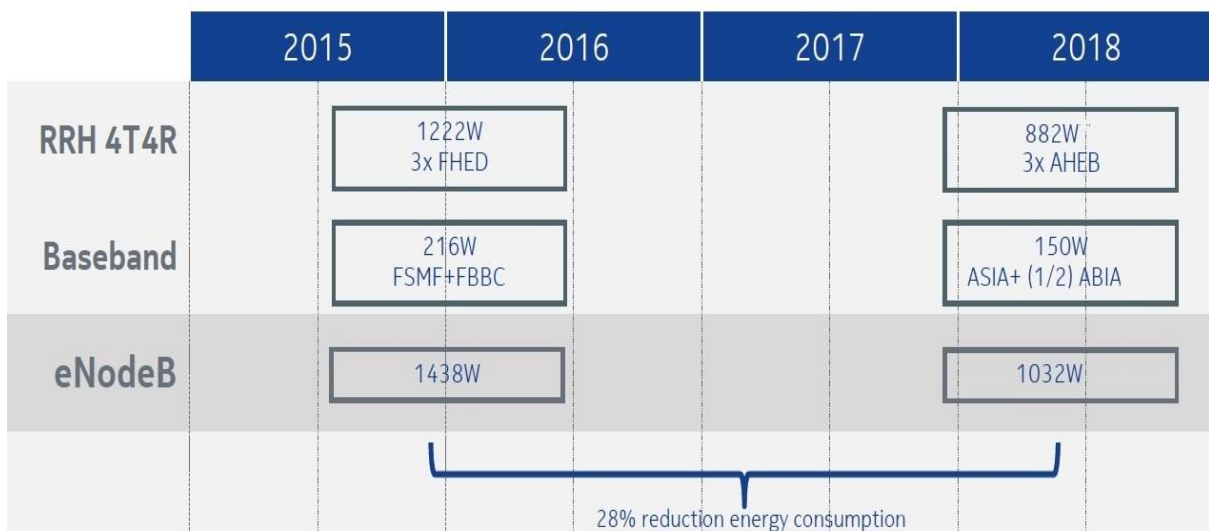
Σύμφωνα με τα παραπάνω για ένα feeder Configuration η Ericsson χρειάζεται 850W περίπου ενώ για ένα feederless συνολική κατανάλωση θα φτάσει τα 790W.

### 1.4.3 Κατανάλωση Μηχανημάτων LTE-4G

Τέλος, θα δούμε μηχανήματα και κατανάλωση για το 4G. Αυτή η τεχνολογία ξεκίνησε τέλος του 2015 με αρχές του 2016 να βελτιστοποιείται στη κατανάλωση ενέργειας καθώς μέχρι τότε ακόμα αναπτυσσόταν το δίκτυο. Το 4G χρησιμοποιείται κυρίως για δεδομένα ενώ τον τελευταίο χρόνο έχουν ξεκινήσει να γίνονται και κλήσεις μέσω αυτού, οι γνωστές και ως VOLTE (Voice Over LTE) κλήσεις. Έτσι λοιπόν, έχει αρχίσει και αυτό με τη σειρά του να καταναλώνει μεγάλο μέρος ενέργειας. Επειδή στο LTE έχουμε τρεις μπάντες συχνοτήτων (800MHz, 1800MHz & 2600MHz) με έναν Carrier στην καθεμία χρησιμοποιούμε μόνο Feederless μηχανήματα PA, με την ονομασία RRH (Remote Radio Head), καθώς είναι πιο αποδοτικά και εξοικονομούν χώρο. Τα configurations που έχουμε είναι με MIMO (Multiple Input Multiple Output) και συγκεκριμένα με 4x4 MIMO για να δώσουμε μεγαλύτερο Throughput.

Στο 4G-1.8GHz χρησιμοποιούμε για ενισχυτές τους FHED οι οποίοι μπορούν να υποστηρίξουν 4x4 MIMO, έχουν τέσσερις πόρτες εξόδου από 40W έκαστος (4x40W) για να παίξουν το 4x4 και τοποθετούνται κοντά στο κεραιοσύστημα καθώς μιλάμε για feederless. Το configuration που εξετάζουμε είναι τρεις Sectors με 4x4 MIMO άρα 1+1+1. Για να υλοποιηθεί αυτό λοιπόν θα χρειαστούμε 3 τέτοιους ενισχυτές.

1+1+1 LTE eNB 1800MHz RRH 4x40W cells



Εικόνα 12: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 4G-1800MHz [9]

Όπως βλέπουμε και στην προηγούμενη εικόνα η κατανάλωση των RRH για το 4G στη μπάντα των 1800MHz ανέρχεται στα 1222W, αριθμός που είναι αρκετά μεγάλος, που

οφείλεται στο ότι το 2015 δεν είχαν γίνει ενέργειες βελτιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας για το 4G.

Σε αυτό το Configuration χρησιμοποιούμε το ίδιο BB που χρησιμοποιήσαμε στο βελτιστοποιημένο 3G αλλά με διαφορετικό Support (FBBA) του οποίου η κατανάλωση φτάνει τα 216W. Έτσι η συνολική κατανάλωση του Σ/Β 4G στα 1.8GHz με τρεις Sectors είναι 1438W. Νούμερο αρκετά υψηλό αν αναλογιστεί κανείς τις προηγούμενες τεχνολογίες.

Μόλις την προηγούμενη χρονιά τελείωσε η βελτιστοποίηση από του παρόχου υλικού της συγκεκριμένης τεχνολογίας σε θέματα κατανάλωσης και αυτό γιατί πλέον συζητάμε για καινούρια τεχνολογία που έρχεται (5G) και πρέπει να μειώσουμε λίγο τις καταναλώσεις του 4G. Για αυτόν το λόγο άλλαξαν τελείως τα μηχανήματα που το υποστηρίζουν και στη θέση των FHED τοποθετήθηκαν τα AHEB, τα οποία δεν έχουν δομικές διαφορές με τα προηγούμενα (4x40W) αλλά είναι πιο αποδοτικά με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωσή τους στα 882W. Όσον αφορά το BB αυτό άλλαξε εντελώς σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια και δημιουργήθηκε ένα νέο που λέγεται AIRSCALE και στο οποίο τοποθετούνται κάποιου είδους «κάρτες» θα λέγαμε που υποστηρίζουν την κάθε τεχνολογία. Οι κάρτες αυτές για το 4G ονομάζονται ASIA και ABIA και σε αυτές θα συνδεθούν και οι υπόλοιπες μπάντες συχνοτήτων του 4G με την κατανάλωσή τους να είναι στα 150W. Έτσι μετά την βελτιστοποίηση με καινούρια μηχανήματα η συνολική κατανάλωση του Σ/Β μειώθηκε κατά 21% και έφτασε τα 1086W.

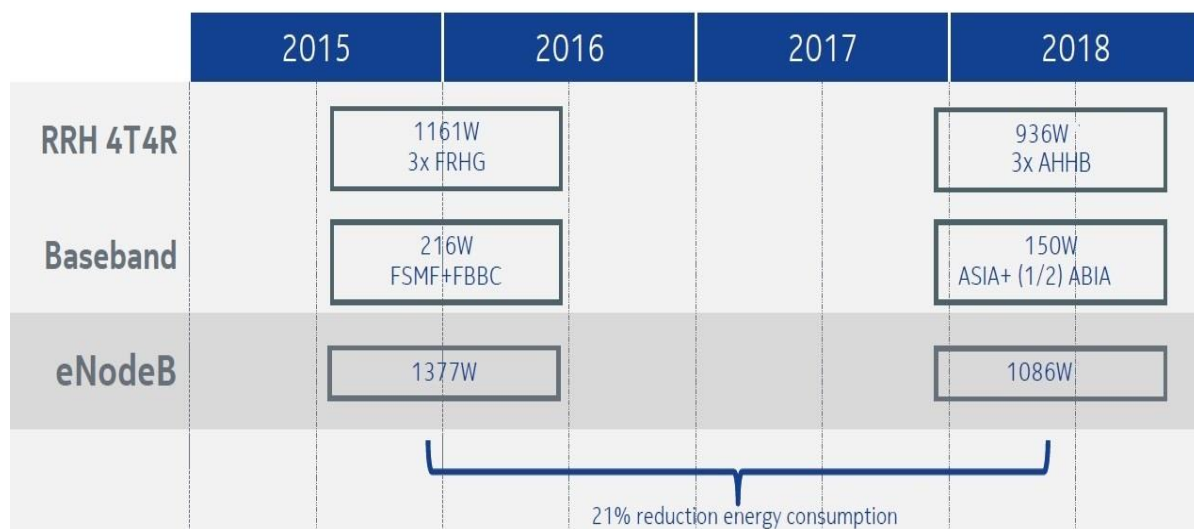
Κατά αντιστοιχία του ίδιου Configuration LTE - 4G της Nokia πάμε να δούμε τι μηχανήματα προσφέρει η Ericsson και ποια επίπεδα κατανάλωσης έχει. Η Ericsson έχει διαλέξει και αυτή να έχει μόνο feederless λύση στα 1800MHz του LTE και χρησιμοποιεί τους ενισχυτές RRUS12\_B3 οι οποίοι είναι 2x60W. Επομένως, για το παραπάνω Configuration θα χρησιμοποιηθούν δύο τέτοιες μονάδες ανά Sector και η συνολική κατανάλωση τους είναι 1200W περίπου. Το BB της Ericsson είναι μια κάρτα DUL20 η κατανάλωση της οποίας ανέρχεται σε 85W. Έτσι, η συνολική κατανάλωση όλου του Configuration θα φτάσει τα 1300W περίπου [14].

Συνεχίζουμε με 4G στη μπάντα των 2600MHz ή οποία τώρα σιγά σιγά μπαίνει μαζικά στη χώρα μας καθώς μέχρι σήμερα τη χρησιμοποιούμε σε Σ/Β και σημεία για να προσφέρουμε έξτρα χωρητικότητα, όπου αυτή χρειάζεται, κυρίως και σε αστικά περιβάλλοντα με πολύ κόσμο. Επίσης και σε αυτή τη μπάντα συχνοτήτων χρησιμοποιείται το 4x4 MIMO σε κάθε Sector με 1 Carrier ο κάθε τομέας άρα Configuration 1+1+1. Τα Watt που παίζουν τα Cells των 2,6GHz στο LTE είναι 40W.

Έτσι τα μηχανήματα των PA που χρησιμοποιούμε είναι τα FRHG τα οποία και αυτά είναι 4x40W για να μπορέσει να εξυπηρετήσει το MIMO. Για έναν Σ/Β με τρεις Sectors λοιπόν θα χρησιμοποιήσουμε τρία τέτοια μηχανήματα των οποίων η κατανάλωση φτάνει στα 1161W.

Από πλευράς BB χρησιμοποιούμε και εδώ το FSMF με το υποστηρικτικό υλικό του (FBBC) με κατανάλωση στα 216W. Έτσι η κατανάλωση του σταθμού για τα 2,6GHz φτάνει και αυτή στα υψηλά επίπεδα των 1377W. Σε αυτό το σημείο έπρεπε να κάνουμε και εδώ βελτιστοποίηση και να βρούμε καινούρια μηχανήματα για να μπορέσουμε να μειώσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τη κατανάλωση του Σ/Β.

1+1+1 LTE eNB 2600MHz RRH 4x40W cells



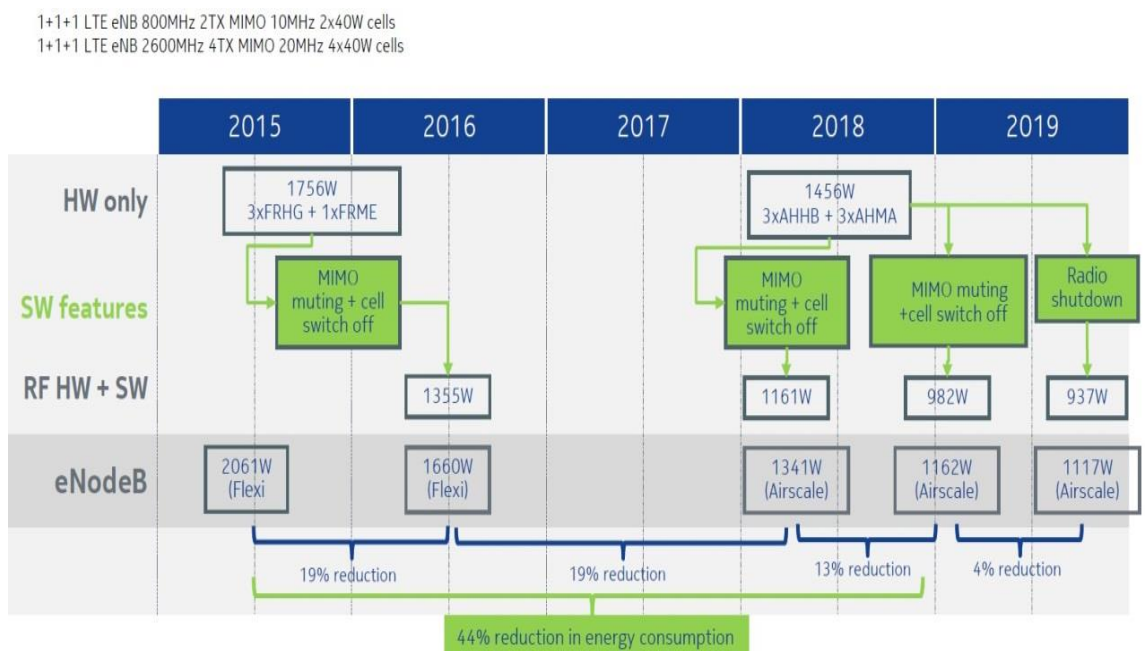
Εικόνα 13: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 4G-2600MHz [9]

Έτσι φτάσαμε στο 2018 όταν και έγινε η αλλαγή στον εξοπλισμό της Nokia που χρησιμοποιούμε στην Ελλάδα και καταφέραμε να μειωθεί η κατανάλωση κατά 300W περίπου. Καινούρια μηχανήματα PA και BB όπως είδαμε και στο LTE 1800MHz. Τα νέα μηχανήματα είναι τα AHHB τα οποία και αυτά είναι 4x40W αλλά είναι πιο αποδοτικά σε σχέση με τα προηγούμενα με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωση κατά 200W και να φτάνει τα 936W, όντας η μεγαλύτερη μείωση. Από πλευράς BB χρησιμοποιήσαμε και εδώ το νέο AIRSCALE με την ASIA & ABIA όπως κάναμε και στη συχνότητα του 1,8GHz. Η κατανάλωση αυτού όπως είδαμε και προηγουμένως είναι στα 150W και με αυτόν το τρόπο μειώσαμε τη συνολική κατανάλωση του Σ/Β στα 1086W που σημαίνει μείωση σε ποσοστό 21%. Ένα ακόμα βήμα βελτιστοποίησης της κατανάλωσης ισχύος.

Και σε αυτή τη περίπτωση το LTE - 4G 2600MHz της Ericsson κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα κατανάλωσης με το 1800MHz, λόγω του ότι χρησιμοποιείται η ίδια κάρτα BB αλλά

και οι ενισχυτές της είναι ης ίδιας οικογένειας. Το μηχάνημα του 2600MHz ονομάζεται RRUS11\_B7 και είναι 2x40W. Επομένως και η κατανάλωση του προηγούμενου Configuration φτάνει και εδώ τα 1300W [14]).

Δεν έχουμε δει καθόλου το 4G - 800MHz και αυτό γιατί θα το κάνουμε τώρα συνδυαστικά με το 2600MHz. Σε αυτή τη συχνότητα στην Ελλάδα παίζουμε 2x2 MIMO 40W για κάθε Cell. Και εδώ έχουμε 3 Sectors με έναν Carrier ο καθένας και το αντίστοιχο Configuration 1+1+1. Στην εικόνα που ακολουθεί θα δούμε τρεις μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται για να μειώσουμε ακόμα παραπάνω τη κατανάλωση ενός Σ/Β και αρκετά πιο εύκολα καθώς μιλάμε για μηχανισμούς που έχουν να κάνουν με Software και όχι με Hardware. Έτσι θα δούμε την τεχνική του Switch Off, όπου θα μας απασχολήσει στη συνέχεια και συγκεκριμένα στο επόμενο κεφάλαιο, το MIMO Muting και το Radio Shutdown. Στο MIMO Muting ο Σ/Β ενώ παίζει 4x4 και 2x2 MIMO, οπότε κρίνεται σκόπιμο βάσει κίνησης απενεργοποιείται το MIMO και εξοικονομεί ενέργεια. Στο Radio Shutdown απενεργοποιούνται ενισχυτές που δε χρησιμοποιούνται λόγω χαμηλής κίνησης. Τέλος, έχουμε το Switch Off που είναι λίγο πιο δύσκολη τεχνική και κατά την οποία απενεργοποιούνται Cells, συχνότητες κτλ. Η τεχνική αυτή θα μας απασχολήσει πολύ στο δεύτερο κεφάλαιο και θα δούμε αναλυτικά πως δουλεύει.



Εικόνα 14: Κατανάλωση PA (Feederless) & BB στο 4G-800MHz & 4G-2600MHz [9]

Δε θα μπούμε σε πολλή λεπτομέρεια όπως στα προηγούμενα Configurations γιατί το έχουμε κάνει ουκ ολίγες φορές αλλά θα πρέπει να παρατηρήσουμε μερικά στοιχεία της εικόνας

και να τα σχολιάσουμε. Αυτό που αξίζει να δούμε είναι η μείωση της κατανάλωσης όταν εφαρμόζονται οι τεχνικές αυτές χωρίς να αλλαχτεί ο εξοπλισμός.

Πρώτες τεχνικές που υποστηρίχτηκαν στα τέλη του 2015 αρχές 2016 σε συνδυασμό με τα λίγο πιο παλιά μηχανήματα ήταν αυτές του MIMO Muting και του Switch Off, όπου κατάφεραν να ρίξουν τη συνολική κατανάλωση από 1660W στα 1355W. Το πρώτο τεστ κρίθηκε πετυχημένο και για αυτό αποφασίστηκε αυτές οι τεχνικές να εφαρμοστούν και στα νεότερα μηχανήματα. Έτσι σε συνδυασμό με την είσοδο του Radio Shutdown και την αναβάθμιση του Σ/Β φτάσαμε φέτος (2019) να δούμε μείωση έως και 34% σε σχέση με τα παλιά μηχανήματα που σε αριθμούς μεταφράζεται σε 937W συνολική κατανάλωση. Τέλος, παρατηρώντας σε τι επίπεδα ήταν η κατανάλωση του Σ/Β με LTE 800MHz και LTE 2600MHz το 2015 και σε τι επίπεδα έφτασε το 2019 θα δούμε μείωση σε ποσοστό της τάξης του 44% κάτι που σημαίνει ότι έπεσε σχεδόν στο μισό.

Κοιτάζοντας τα στοιχεία της Ericsson θα δούμε ότι για το LTE - 800MHz χρησιμοποιούν την ίδια οικογένεια μηχανημάτων με το 2600MHz. Αυτό σημαίνει ότι οι ενισχυτές ονομάζονται RRUS11\_B20 και είναι 2x40W επίσης. Η BB κάρτα DUL20 ωστόσο έχει περιορισμό στις τεχνολογίες που μπορεί να υποστηρίξει και για αυτό το λόγο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί δεύτερη κάρτα για το LTE – 800. Επομένως η συνολική κατανάλωση για το 4G – 800MHz φτάνει τα 630W [14]. Αν τώρα υπολογίσουμε τη συνολική κατανάλωση στο παραπάνω σενάριο που έχει και 4G - 800MHz και 4G - 2600MHz θα δούμε ότι φτάνει τα 2000W περίπου, ίδια κατανάλωση με την Nokia δηλαδή.

Τις ίδιες τεχνικές που είδαμε στη Nokia (MIMO Muting, Switch Off, Radio Shutdown) χρησιμοποιεί και η Ericsson για τη μείωση της κατανάλωσης, με τη διαφορά ότι η δεύτερη έχει σκεφτεί μια νέα ιδέα για μείωση της κατανάλωσης ενός Σ/Β. Έχει δημιουργήσει 2 νέες κάρτες BB οι οποίες με το κατάλληλο λογισμικό μπορούν να υποστηρίξουν 2 τεχνολογίες ταυτόχρονα και ονομάζονται BB5212 & BB5216. Για παράδειγμα σε έναν Σ/Β μπορώ να έχω και το 2G κομμάτι αλλά και το 4G στην ίδια κάρτα. [12]

Με αυτή τη λύση καταφέρνουμε να μηδενίσουμε τις καταναλώσεις 2 & 3 BB καθώς και την κατανάλωση από την ψύξη του χώρου λόγω λιγότερων μονάδων. Έτσι σε συνδυασμό με τις τεχνικές που αναφέραμε η Ericsson μπορεί να προσφέρει επιπλέον μείωση κατανάλωσης κατά 8% περίπου κάτι που σημαίνει ότι αθροιστικά η μείωση θα φτάσει το 50%. Μεταφράζοντας αυτό το ποσοστό σε νούμερο θα δούμε ότι η συνολική κατανάλωση για το παραπάνω σενάριο θα φτάσει λίγο πάνω από τα 1000W περίπου.

Συμπερασματικά και αφού έχουμε δει δύο Vendors (Nokia & Ericsson) μπορούμε να πούμε ότι κυμαίνονται πάνω κάτω στο ίδιο μήκος κύματος με κοινή φιλοσοφία τη μείωση της

κατανάλωσης λόγω των νέων τεχνολογιών που έρχονται να προστεθούν στις υφιστάμενες. Είναι γνωστό εξάλλου ότι κάθε νέα τεχνολογία που βγαίνει προστίθεται σε όλες τις προηγούμενες χωρίς να απενεργοποιείται καμία. Μπαίνουμε σιγά σιγά σε ρυθμούς 5G και για αυτό υπήρξε η ανάγκη να ρίξουμε αισθητά τη κατανάλωση του 4G.

## 1.5 Οικονομικά Περιβαλλοντικά Μεγέθη

Σε αυτό το σημείο σκόπιμο θα ήταν να δούμε κατά πόσο όλο αυτό που έχουμε παρουσιάσει θα μπορούσαν να επηρεάσουν και τα οικονομικά στοιχεία για τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών. Θα εξετάσουμε μία αρκετά απλοϊκή περίπτωση χωρίς μεγάλη ανάλυση για την τιμολογιακή πολιτική που χρησιμοποιούν οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας για την τιμολόγηση της ενέργειας.

Θεωρούμε λοιπόν ως χρέωση για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας 6 cent/kWh και το νόμισμα είναι το ευρώ. Και με αυτή την τιμή έγιναν όλοι οι υπολογισμοί. Για ευκολία συγκεντρώθηκαν μόνο ορισμένες τιμές που παρουσιάστηκαν και έγινε ο μαζικός υπολογισμός μείωσης κόστους για όλο το σταθμό βάσης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3 : Συγκεντρωτική κατανάλωση Σ/Β

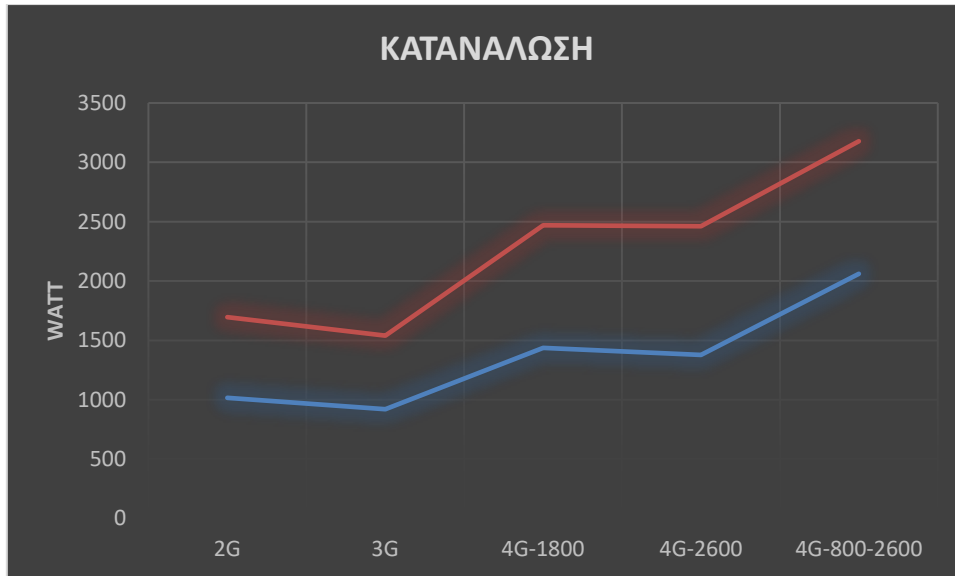
	Watt	kWh/mont h	euro/yea r	Watt	kWh/mont h	euro/yea r
<b>2G</b>	1016	731	534 €	681	490	357 €
<b>3G</b>	920	662	483 €	620	445	325 €
<b>4G-1800</b>	1438	1035	755 €	1032	743	542 €
<b>4G-2600</b>	1377	991	723 €	1086	781	570 €
<b>4G-800- 2600</b>	2061	1483	1.083 €	1117	804	587 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	6812	4902	3.578 €	4536	3263	2.381 €

Σε αυτόν τον πίνακα φαίνονται όλα τα μεγέθη που υπολογίστηκαν για όλες τις τεχνολογίες. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την κατανάλωση ενέργειας είναι:

$$E(kWh/day) = P(W) \times t(h/day)/1000(W/kW)$$

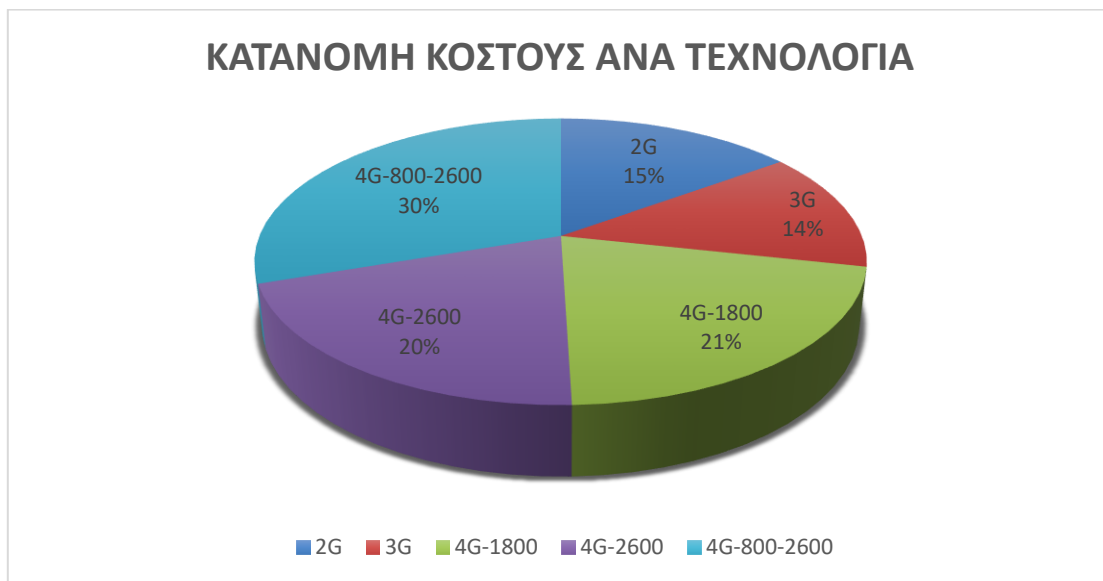
Ο τύπος για το κόστος της ενέργειας είναι:

$$Cost(€/day) = E(kWh/day) \times Cost(cent/kWh)/100(cent/€)$$



Εικόνα 15: Κατανάλωση ενέργειας Σ/Β ανά τεχνολογία

Μετά πρέπει να δούμε πόσο κοστίζει ποσοστιαία η κάθε τεχνολογία για τα μεγέθη που έχουμε παρουσιάσει. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 16: Κατανομή κόστους ενέργειας ανά τεχνολογία

Τέλος για να έχουμε έναν εποπτικό μέσο θα πρέπει να δούμε σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα πόσο μείωση έχει επιφέρει όλες οι βελτιώσεις που έχουν γίνει στα μηχανήματα των σταθμών βάσης στη διάρκεια ενός χρόνου.





**Εικόνα 17: Συνολική μείωση κόστους**

Οι μηνιαίες εκπομπές σε CO<sub>2</sub> μηνιαίως μειώθηκαν αισθητά. Αν σε αυτό συνυπολογιστεί η πληθώρα σταθμών που βελτιώθηκαν έχει επιτευχθεί μία αρκετά μεγάλη μείωση στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Εμείς εξετάσαμε για ένα σταθμό βάσης που χρησιμοποιεί όλες τις τεχνολογίες και συγκεντρώσαμε το σύνολο της αρχικής συνολικής κατανάλωσης ενέργειας με αυτό που χρησιμοποιείται σήμερα μετά τις βελτιώσεις.



**Εικόνα 18: Μείωση εκπομπών του Σ/Β από Διοξείδιο του Ανθρακα σε μηνιαία βάση**

Πίνακας 4: Αρχικές και Τελικές εκπομπές Διοξειδίου του άνθρακα σε μηνιαία βάση.

	1st release	2nd release
ΣΥΝΟΛΟ (kWh/month)	4902	3263
CO2(tonnes)	0,63	0,41

## 1.6 Πρόβλεψη Αύξησης Κατανάλωσης Ενέργειας

Συνεχίζοντας με την πρόβλεψη σχετικά με την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας από ανερχόμενες τεχνολογίες το μυαλό όλων μας πάει αμέσως στο 5G. Η τεχνολογία 5<sup>ης</sup> γενιάς πρόκειται να βρεθεί πολύ σύντομα στο προσκήνιο και εμπορικά τα πρώτα κινητά τηλέφωνα 5G να αναπτυχθούν έως το 2020. Η 5<sup>η</sup> γενιά κυψελοειδών δικτύων αναμένεται να είναι πιο ενεργειακά αποδοτική σε σχέση με τους προκατόχους της (2G, 3G, 4G) και αυτό αποτελεί κλειδί για την ανάπτυξη δικτύου 5G.

Η νέα τεχνολογία λοιπόν υπόσχεται έως και 1000 φορές περισσότερα δεδομένα από ότι τα σημερινά δίκτυα, έτσι θα μπορούσε κανείς να πει πολύ εύκολα ότι καταναλώνει και 1000 φορές περισσότερο. Οι μέθοδοι μείωσης κατανάλωσης ενέργειας έχουν γίνει πλέον πρώτο θέμα σε όλα τα συνέδρια που διεξάγονται παγκοσμίως και σχετίζονται με την ανάπτυξη 5G δικτύου και οι πρώτες ανησυχίες έχουν κάνει την εμφάνισή τους. Που θα φτάσει η κατανάλωση ενέργειας με το 5G;

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει ήδη προτυποποιήσει μετρήσιμες απαιτήσεις σχετικά με τον ρυθμό δεδομένων, το Latency και την αξιοπιστία που πρέπει να έχει ένα δίκτυο για να ονομάζεται 5G. Δεν έχει θέσει ως στόχο όμως την αύξηση ενεργειακής απόδοσης και αυτό γιατί υπάρχουν πολλά σημεία που μπαίνουν στην εξίσωση. Αυτά έχουν να κάνουν με την αύξηση του αριθμού των Small Cells καθώς και την αύξηση των κεραιοσυστημάτων MIMO. Ενδεικτικό είναι ότι μέχρι σήμερα είχαμε έως 4x4 MIMO και με το 5G μπορούμε να φτάσουμε μέχρι και 64x64 MIMO.

Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση των Small Cells προβλέπεται ότι η αύξηση των 5G Small Cells θα ξεπεράσει αυτή του 4G έως το 2024, ενώ η εγκατάσταση τέτοιων Σ/Β είτε μόνο με τεχνολογία 5<sup>ης</sup> γενιάς είτε μαζί με τις προηγούμενες Legacy τεχνολογίες θα φτάσει τα 13.1 εκατομμύρια μέχρι το 2025, αριθμός που αντιστοιχεί στο ένα τρίτο των Small Cells που χρησιμοποιούνται. Έτσι καταλαβαίνουμε πως, όταν αναπτύσσουμε περισσότερα Small Cells σε ένα δίκτυο η συνολική κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί κατακόρυφα. Κάπου εδώ μπαίνει η σύγκριση που λέει ότι μια κυψέλη ενός Small Cell Σ/Β καταναλώνει πολύ λιγότερο ενέργεια από μια κυψέλη ενός τυπικού Macro Σ/Β, το Small Cell όμως καλύπτει και πολύ μικρότερη περιοχή. Άρα για να καλύψουμε μια σχετικά μεγάλη περιοχή θα πρέπει αντί για 1 Macro Σ/Β

να βάλουμε πολλά Small Cells κάτι που σημαίνει ότι θα αυξηθεί η συνολική κατανάλωση του δικτύου. Για αυτό λοιπόν, είναι δύσκολο να προβλεφθεί πόσο μεγάλη είναι η καθαρή κατανάλωση ενέργειας και η ITU ακόμα δεν το έχει προτυποποιήσει.

Αντίθετα, σε ό,τι έχει να κάνει με το Massive MIMO προϋπόθεση είναι η χρήση πολλών συστοιχιών κεραιών σε κάθε Σ/Β με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλά περισσότερα εξαρτήματα. Αυτόματα η κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με αυτή του 4G είναι πολύ μεγαλύτερη. Εδώ όμως έχουμε περισσότερες πιθανότητες να μειώσουμε την κατανάλωση ενός Σ/Β καθώς ήδη έχουν βγει προϊόντα, όπως ένα υβριδικό κεραιοσύστημα που περιέχει εσωτερικά πολλές συστοιχίες κεραιοστοιχείων και μας δίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τέλος θα μπορούσαμε στο μέλλον με το απαραίτητο λογισμικό να μειώσουμε τη κατανάλωσή ανάλογα με τη κίνηση της περιοχής [15]).

Ενδεικτικό είναι πως η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδότησε ένα πρόγραμμα που ονόμασε MAMMOET και κατά το οποίο προβλέπεται ότι όλοι οι Σ/Β με Massive MIMO στο μέλλον να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από αυτούς του 4G. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω μιας δυνατότητας που ονομάζεται χωρική πολυπλεξία και με αυτόν τον τρόπο η κατανάλωση ενέργειας κατανέμεται μεταξύ των χρηστών που χρησιμοποιούν στον Σ/Β εκείνη τη στιγμή. Έτσι εάν στο σύστημα υπάρχουν 10 ξεχωριστοί χρήστες στο χώρο για να υλοποιηθεί αυτό πρέπει να σταλεί δύο φορές η ενέργεια και το σύστημα θα είναι πέντε φορές πιο αποδοτικό.

Επίσης ένα ακόμα χαρακτηριστικό των δικτύων 5<sup>ης</sup> γενιάς που έρχονται είναι ότι μπορούν να τεθούν σε λειτουργία Sleep Mode κατά τη διάρκεια που δεν εξυπηρετούν κανέναν χρήστη. Η δομή του 5G το επιτρέπει αυτό σε σχέση με το 4G που ακόμα και άδειος να ήταν ο Σ/Β θα έπρεπε να εκπέμπει σήματα ελέγχου που ακόμα και αυτά καταναλώνουν κάποια ενέργεια. Με αυτό τον τρόπο τα δίκτυα 5<sup>ης</sup> γενιάς θα μπορούν να καταναλώσουν έως και 10 φορές λιγότερη ενέργεια σε σχέση με τα μέχρι σήμερα συστήματα.

Όλα αυτά βέβαια θα γίνουν σε βάθος χρόνου καθώς στην αρχή και πριν αναπτυχθεί καλά το 5G οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών θα πρέπει να εκπέμπουν το μέγιστο από τους Σ/Β που έχουν έτσι ώστε να μεγιστοποιήσουν την κάλυψη τους. Όταν πια το δίκτυο 5G ωριμάσει και πυκνώσει τότε θα μπορούσαν να μειώσουν την κατανάλωση και να δούμε πραγματικές διαφορές.

Επομένως οι πάροχοι θα πρέπει να είναι έτοιμοι όταν έρθει το 5G και για αυτόν τον τρόπο προσπαθούν να βρουν τρόπους μείωσης της κατανάλωσης των υφιστάμενων τεχνολογιών όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 1.3 και θα αναλύσουμε ακόμα περισσότερο στη συνέχεια [15]).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

---

## 2. ΜΕΘΟΔΟΣ SWITCH ON/OFF B/S ΣΕ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Οι τηλεπικοινωνίες είναι υπεύθυνες για περίπου 2% των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα στον πλανήτη και προβλέπεται ότι το 2020 και με τον ερχομό του 5G ο αριθμός αυτός θα διπλασιαστεί και θα φτάσει το 4% [17)]. Στο προηγούμενο κεφάλαιο, είδαμε λίγο πολύ γενικά θέματα που απασχολούν την αγορά των κινητών τηλεπικοινωνιών σχετικά με τη κατανάλωση ενέργειας των Σ/Β ενός δικτύου. Πέραν της εισαγωγής σε έννοιες και μοντέλα κατανάλωσης ενέργειας για όλες τις τεχνολογίες είδαμε και μερικές τεχνικές εξοικονόμησης που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στους Σ/Β με απώτερο σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από μονάδες όπως είναι οι ενισχυτές και τα BaseBands. Οι τεχνικές που είδαμε ήταν το MIMO Muting κατά το οποίο μειώνουμε το MIMO προφίλ κάθε Σ/Β στο 4G όταν αυτό δε χρειάζεται, δηλαδή όταν ο Σ/Β δε τραβάει κίνηση και όταν οι χρήστες δε ζητούν υπηρεσίες που απαιτούν μεγάλη ταχύτητα. Ακόμα είδαμε ότι το 2019 θα χρησιμοποιηθεί από τους παρόχους μια τεχνική που ονομάζεται Radio Shutdown κατά την οποία απενεργοποιούνται οι ενισχυτές που δεν χρειάζονται. Τέλος, είδαμε τη μέθοδο Switch Off η οποία έχει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και είναι αυτή που θα μας απασχολήσει στη συνέχεια του κεφαλαίου. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την τεχνική αυτή, θα δούμε πως δουλεύει, τι προβλήματα προκύπτουν με την εφαρμογή της και θα κάνουμε μια αποδόμηση.

### 2.1 Παρουσίαση Τεχνικής Switch On/Off

Στις αρχές του 2013 υπήρχαν έξι εκατομμύρια Σ/Β παγκοσμίως και οι προβλέψεις δείχνουν ότι μέχρι το 2020 ο αριθμός αυτός θα ξεπεράσει τα έντεκα. Αυτοί οι Σ/Β είναι και οι υπεύθυνοι για τα δύο τρίτα της κατανάλωσης των δικτύων ραδιοεπικοινωνιών παγκοσμίως και για αυτό η μείωση της κατανάλωσης των Σ/Β έχει γίνει πρώτο θέμα συζητήσεων σε ερευνητές και παρόχους ανά τον κόσμο [16)]. Έτσι φτάσαμε στις μεθόδους μείωσης κατανάλωσης ενέργειας Σ/Β που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Ο τυπικός σχεδιασμός ενός κυττάρου στα κυψελοειδή δίκτυα είναι να ορίσουμε το μέγεθος της κυψέλης ανάλογα με την κίνηση που εξυπηρετεί κατά τις ώρες αιχμής. Με αυτό τον τρόπο είμαστε σίγουροι ότι κατά τη διάρκεια της ημέρα στις ώρες αιχμής θα μπορεί μια κυψέλη να εξυπηρετεί όλους τους συνδρομητές χωρίς κανένα πρόβλημα. Τι γίνεται όμως στις περιπτώσεις που η κίνηση δεν είναι ανάλογη με την εκτίμηση που έγινε στο σχεδιασμό της

κυψέλης; Τότε η κυψέλη έχει κακή απόδοση και μεγάλη επιρροή στο υπόλοιπο δίκτυο. Για αυτόν το λόγο στα δίκτυα 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> γενιάς (3G & 4G) όλοι οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι είχαν σχεδιάσει τις κυψέλες με βάση τη μέγιστη κίνηση που θα εξυπηρετηθεί και διέθεσαν πάρα πολλούς πόρους του δικτύου τους. Αυτό ήταν κάτι που σε αρκετές περιπτώσεις δεν ήταν σωστό καθώς στη πράξη χρειαζόταν κάτι πολύ λιγότερο. Ποιο ήταν το αποτέλεσμα; Να καταναλώνουν άσκοπα ενέργεια και έτσι ο σχεδιασμός κυψελών με βάση τις ώρες αιχμής να κριθεί αναποτελεσματικός.

Το Cell Breathing είναι ένας μηχανισμός κατά τον οποίο οι κυψέλες με πολλή κίνηση «ξεφορτώνουν» μέρος αυτής σε γειτονικές κυψέλες και ταυτόχρονα αλλάζουν το μέγεθος της γεωγραφικής περιοχής κάλυψης που έχουν. Με αυτό τον τρόπο οι υπερφορτωμένες κυψέλες μικραίνουν τη περιοχή κάλυψής τους και οι γειτονικές τους αυξάνουν τη δική τους για να αντισταθμίσουν την παροχή υπηρεσίας σε ολόκληρη τη γεωγραφική περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξισορρόπηση του συνολικού φορτίου. Το να ελέγχουμε πόσο θα εκπέμψει μια κυψέλη, που στην ουσία το Cell Breathing αυτό κάνει, μειώνει οριακά την κατανάλωση ενέργειας καθώς οι βασικές μονάδες (Σύστημα Ψύξης & Κυκλώματα Επεξεργασίας) που καταναλώνουν το 60% της συνολικής κατανάλωσης εξακολουθούν να δουλεύουν και να καταναλώνουν.

Έτσι και σύμφωνα με τα παραπάνω για να μειωθεί η συνολική κατανάλωση ενέργειας μεγενθύνουμε τις κυψέλες με βάση τη φασματική απόδοση του πραγματικού φορτίου του συστήματος αλλά και την Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality Of Service - QOS). Η τεχνική αυτή ονομάζεται Cell Zooming. Κατά την τεχνική του Cell Zooming απενεργοποιούμε κυψέλες κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου αυτές δεν είναι απαραίτητες, δηλαδή όταν η κίνησή τους είναι χαμηλή. Κατά τη διάρκεια που κάποιες κυψέλες είναι απενεργοποιημένες κάποιες άλλες τριγύρω σμικρύνουν με σκοπό να εξασφαλίσουν τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας σε όλη τη περιοχή κάλυψης. Στην ουσία δηλαδή το αντίθετο από ότι έκανε η τεχνική του Cell Breathing [17]).

Αν λάβουμε υπόψη τις παρεμβολές μεταξύ των κυψελών τα διαφορετικά μοντέλα κίνησης – κάλυψης ανά περιοχή (αστική - αγροτική) και τη μόνιμη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών μιας ολόκληρης περιοχής καταλαβαίνουμε ότι η τεχνική του Cell Zooming προσαρμόζεται ανάλογα τις περιστάσεις. Πρέπει η τεχνική να είναι αποδοτική σε όλες τις πιθανές περιπτώσεις και για αυτό το λόγο παρουσιάζεται το πρόβλημα βελτιστοποίησης κατανάλωσης ενέργειας που θα δούμε στη συνέχεια και στο τέλος θα προχωρήσουμε με τις προσομοιώσεις για να κάνουμε μια εισαγωγή στην αποδόμηση της τεχνικής αυτής [17]).

### 2.1.1 Διατύπωση Προβλήματος Βελτιστοποίησης Κατανάλωσης

Θα ξεκινήσουμε με την Κατανάλωση Ισχύος που έχει ένας Σ/Β και το μοντέλο κάλυψης που χρησιμοποιούμε πριν περάσουμε στο πρόβλημα βελτιστοποίησης κατανάλωσης.

#### a) Κατανάλωση Ισχύος Σ/Β

Το μοντέλο κάλυψης θεωρούμε ότι είναι το COST 231-Walfish-Ikegami το οποίο διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις. Από τη μια έχουμε τις περιπτώσεις με Line Of Sight (LOS), περιπτώσεις δηλαδή, που έχουν καθαρή οπτική επαφή μεταξύ Σ/Β και χρήστη και η δεύτερη περίπτωση το Non Line Of Sight (NLOS) κατά την οποία δεν υπάρχει καθαρή οπτική επαφή μεταξύ χρήστη και Σ/Β.

Για τη περίπτωση του LOS σύμφωνα με την βιβλιογραφία οι απώλειες ορίζονται ως  $PL [dB]$  και προέρχονται από τον τύπο [17].:

$$PL(d) = a \log_a d + C_a \quad (1)$$

Η ακτίνα της κυψέλης  $i$ ,  $R_i$  μπορεί να προσδιοριστεί από τον τύπο:  $P_r = P_i(t) - PL(R_i)$ . Έτσι από την σχέση (1) προκύπτει ότι:

$$R_i = 10^{(P_i(t) - P_r - C_a)/a} \quad (2)$$

Ένας Σ/Β αποτελείται από πολλά στοιχεία όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 1, καθένα από αυτά επιτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία και έχει μια δική του κατανάλωση ενέργειας. Άλλα στοιχεία έχουν κοινές απαιτήσεις ρεύματος για όλο το Σ/Β ανεξαρτήτου αριθμού Sectors (πχ κλιματισμός, Link Backhaul) και άλλα στοιχεία εξαρτώνται από τους Sectors καθώς έχουμε «ξεχωριστά» μηχανήματα ανά κατεύθυνση (πχ Basebands, ενισχυτές πομποδέκτες, μετατροπείς AC-DC κτλ). Η μονάδα μέτρησης για κάθε στοιχείο από τα παραπάνω είναι σε Watt και είναι σταθερή εκτός από την κατανάλωση των ενισχυτών που εξαρτάται από τη κάλυψη.

Η κατανάλωση ενέργειας του ενισχυτή ονομάζεται  $P_{amp}$  και δίνεται από τη σχέση:

$$P_{amp} = \frac{P_{TX}}{\eta} \quad (3)$$

Όταν λοιπόν βρούμε την κατανάλωση όλων των στοιχείων ενός Σ/Β τότε η συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός Σ/Β υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση:

$$P_i = n_s \cdot (n_{TX} \cdot P_{amp} + P_{trans} + P_{dsp} + P_{gen} + P_{conv}) + P_{Link} + P_{Cool} \quad (4)$$

Πίνακας 5: Κατανάλωση Ενέργειας Σ/B [17]

Equipment		Mobile WiMAX	LTE
Power Amplifier SISO	$P_{amp}$	100 W	300 W
	$\eta$	10%	6.67%
	$P_{Tx}$	10 W (40 dBm)	20 W (43 dBm)
Power Amplifier MIMO	$P_{amp}$	10.4 W	10.4 W
	$\eta$	11.54%	11.54%
	$P_{Tx}$	1 W (30 dBm)	1 W (30 dBm)
Transceiver	$P_{trans}$	100 W	100 W
Digital signal processing	$P_{dsp}$	100 W	100 W
Signal generator	$P_{gen}$	384 W	384 W
AC-DC converter	$P_{conv}$	100 W	100 W
Backhaul link	$P_{link}$	80 W	80 W
Air conditioning (cooling)	$P_{cool}$	690 W	690 W

Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται όλες τις καταναλώσεις από όλα τα στοιχεία του Σ/B με συγκριμένα Watts για τις τεχνολογίες του WiMax και του LTE [17]).

- b) Περνάμε στο δεύτερο κομμάτι που έχει να κάνει με τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας όλου του δικτύου. Βάσει της [17]) αφού λήφθηκαν υπόψιν οι περιορισμοί της κίνησης και της κάλυψης έγινε προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας του συνόλου του δικτύου  $E_{net}$  ως προς το χρόνο:

$$E_{net} = \sum_{i=1}^n \int_T P_i(t) dt(5)$$

Έτσι λοιπόν εφαρμόστηκε ένας αλγόριθμος αναζήτησης για την επίλυση της 5 κατά τον οποίο υπολογίζεται η τιμή του  $E_{net}$  για όλους τους χρόνους T και θέσεις Σ/B (x, y) καθορίζοντας έτσι τις βέλτιστες τιμές αυτών [17]). Με βάση τα προηγούμενα και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δόθηκε λύση στα δύο ζητήματα που μας απασχόλησαν και είχαν να κάνουν με τον υπολογισμό της κατανάλωσης ισχύος ενός Σ/B αλλά και με το πρόβλημα βελτιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας όλου του δικτύου. Στη συνέχεια θα δούμε την αποδόμηση της τεχνικής που μόλις παρουσιάσαμε με βάση τη βιβλιογραφία παρουσιάζοντας τις πρώτες προσομοιώσεις.

## 2.2 Αποδόμηση Τεχνικής Switch On / Off Βάσει Προσομοίωσης

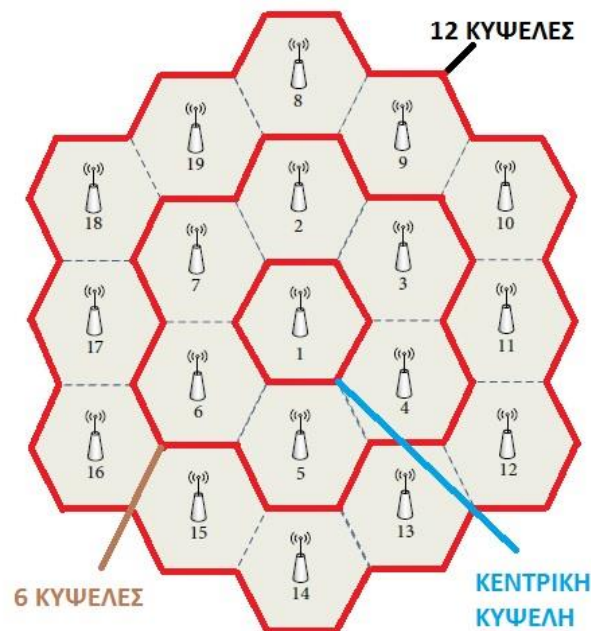
Περνώντας στην αποδόμηση της τεχνικής Switch On/Off και σύμφωνα με τα παραπάνω πάμε να δούμε αν αυτοί οι μαθηματικοί τύποι λειτουργήσουν σωστά και στην προσομοίωση ώστε να έχουμε ένα επιτυχημένο αποτέλεσμα. Εδώ θα δούμε τις συνθήκες προσομοίωσης, πόσες κυψέλες θα χρησιμοποιήσουμε, πώς θα υλοποιήσουμε τη τεχνική κοκ.



Στη συνέχεια θα πάρουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και αφού δούμε τι καταφέραμε θα βγάλουμε τα πρώτα συμπεράσματα.

### 2.2.1 Συνθήκες Προσομοίωσης

Για να γίνει η προσομοίωση σύμφωνα με τη βιβλιογραφία χρησιμοποιήθηκε η συχνότητα των 1.8 GHz με εύρος ζώνης τα 20MHz. Το δίκτυο της προσομοίωσης αποτελείται από 19 κυψέλες τη μορφή εξαγώνου. Ξεκινώντας από τη μέση με μια κεντρική κυψέλη να περιβάλλεται από άλλες έξι και αυτές με τη σειρά τους να περιβάλλονται από άλλες 12, όλες με τη μορφή εξαγώνου. Η εικόνα που ακολουθεί αποτυπώνει ό,τι είπαμε όπου με κόκκινη γραμμή φαίνονται τα επίπεδα του δικτύου προσομοίωσης (1, 6, 12 κυψέλες) [17]).



Εικόνα 19: Δίκτυο Προσομοίωσης με 19 Κυψέλες [17]

Οι  $\Sigma/B$  της προσομοίωσης βρίσκονται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους και οι τοπολογίες είναι δύο: στην πρώτη η απόσταση μεταξύ των  $\Sigma/B$  είναι 6 χλμ και έχει να κάνει με αγροτικές περιοχές και στη δεύτερη είναι στα 1,2 χλμ και αφορά αστικές περιοχές. Η ισχύς μετάδοσης υπολογίστηκε από τον τύπο (4) που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο και βάσει των παραμέτρων στον πίνακα 5 και συγκεκριμένα στο σενάριο του LTE. Έτσι η μέγιστη ισχύς διαμορφώθηκε στα 25,2 dBm και 39,5 dBm για αστικές και αγροτικές περιοχές αντίστοιχα. Για να γίνει η προσομοίωση λίγο πιο απλή και να μη δοκιμάσουμε όλες τις πιθανές τιμές για την ισχύ μετάδοσης εξετάστηκαν μόνο 3 επίπεδα ισχύος, Υψηλή, Χαμηλή και Μηδενική-

Απενεργοποιημένη που αποτυπώνονται στον πίνακα που ακολουθεί. Τέλος η στάθμη θορύβου έχει οριστεί στα -93dBm ενώ η ευαισθησία του Δέκτη στα -95dBm.

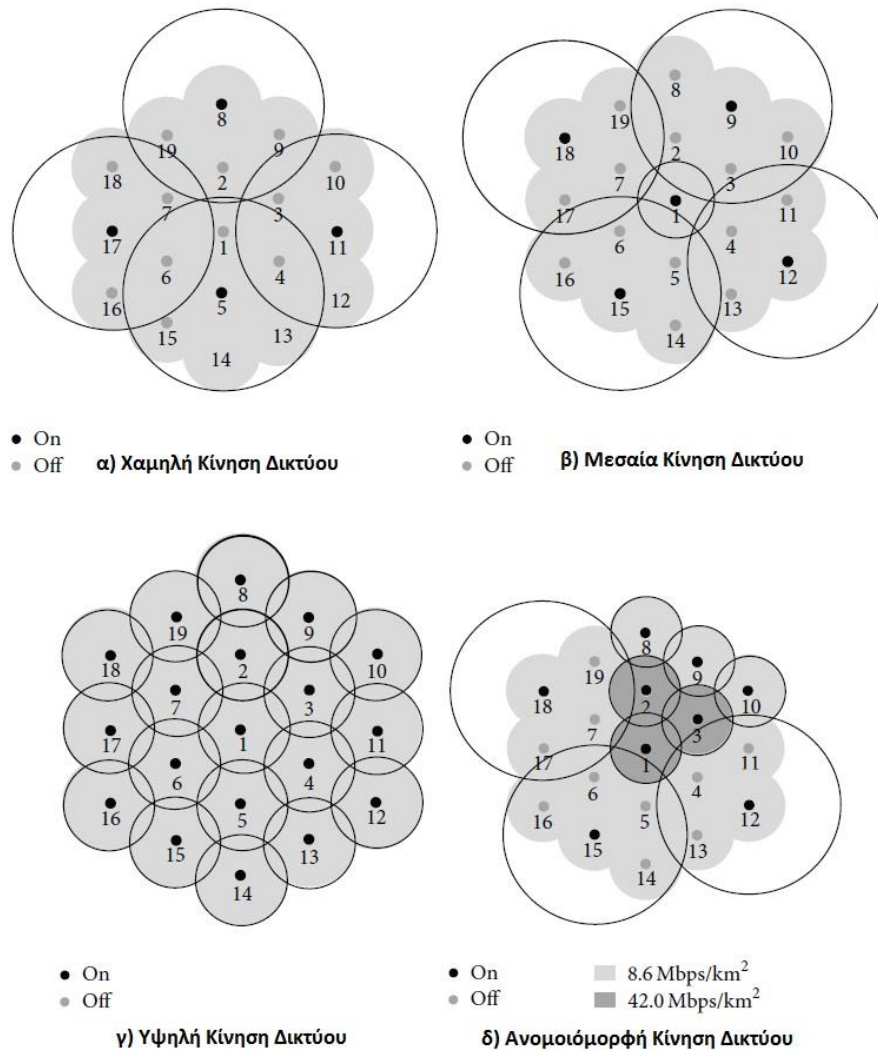
**Πίνακας 6: Επίπεδα Ισχύος Μετάδοσης**

Επίπεδα Ισχύος	Αστικές Περιοχές	Αγροτικές Περιοχές
Χαμηλή Ισχύς	7,7 dBm	22 dBm
Υψηλή Ισχύς	25,2 dBm	25,2 dBm
Μηδενική Ισχύς	0 dBm	0 dBm

Σύμφωνα λοιπόν με όλες τις ρυθμίσεις που αναφέραμε και μπήκαν στην προσομοίωση, η συνολική εμβέλεια με το ελάχιστο επίπεδο ισχύος για αστικές περιοχές είναι τα 700m και για τις αγροτικές φτάνει τα 3,5 χλμ. Επομένως σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ακόμα και στο ελάχιστο επίπεδο ισχύος το δίκτυο δεν είχε κενά κάλυψης και άρα κάθε Σ/Β μπορεί να επεκτείνει την κάλυψη του στα 1,9 χλμ και 9,6 χλμ το πολύ για αστικές και αγροτικές περιοχές αντίστοιχα [17)].

### 2.2.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία στα αποτελέσματα της προσομοίωσης θεωρήθηκε ότι ο ρυθμός εξυπηρέτησης για κάθε Σ/Β θα είναι σταθερός και συγκεκριμένα 100Mbps. Αυτό έγινε γιατί με μηδενικό ρυθμό άφιξης κίνησης, δηλαδή μηδενική κίνηση, η τεχνική του Cell Zooming δε θα λειτουργούσε ποτέ. Έτσι, αυξήθηκε ο ρυθμός άφιξης της κίνησης σε αγροτικές και αστικές περιοχές. Για τις αγροτικές από 0 έφτασε στα 1,26 Mbps/km<sup>2</sup> ενώ για τις αστικές από 0 στα 49,36 Mbps/km<sup>2</sup> [17). Ακριβώς τότε εμφανίστηκαν τα πρώτα δείγματα του Cell Zooming. Στη συνέχεια θα δούμε μια εικόνα που αναπαριστά συμπερασματικά όλα τα πιθανά σενάρια που μπορεί να προκύψουν σε ένα δίκτυο.



**Εικόνα 2015: Σενάρια Κατανομής Κίνησης Δικτύου [17]**

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα και από όλα τα στοιχεία προσομοίωσης που χρησιμοποίησαν οι συγγραφείς της βιβλιογραφίας προκύπτει μείωση κατανάλωσης ενέργειας σε ολόκληρο το δίκτυο της προσομοίωσης κατά 4,72 φορές για το αστικό και έως 4,14 φορές αντίστοιχα για το αγροτικό περιβάλλον [17]).

Σίγουρα είναι αριθμοί που δε μπορούν να θεωρηθούν αμελητέοι και βλέπουμε ότι πράγματι υπάρχει αισθητή μείωση σε κατανάλωση ενέργειας με την τεχνική αυτή, χωρίς να χαθεί καθόλου κάλυψη υπηρεσιών σε κανένα κομμάτι του δικτύου.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι αν όλα όσα είδαμε στην προσομοίωση της βιβλιογραφίας ισχύουν και στην πραγματικότητα. Η αλήθεια είναι ότι στο πραγματικό δίκτυο προκύπτουν μερικά προβλήματα που δε μπορούν να υπολογιστούν με κανέναν αλγόριθμο ή αυτοματοποιημένο σύστημα. Τα κυριότερα αυτών είναι τα πολεοδομικά και ρυμοτομικά

προβλήματα. Τα πρώτα αφορούν κυρίως αστικές περιοχές ενώ τα δεύτερα κυρίως αγροτικές χωρίς όμως να υπάρχει κάποιος περιορισμός.

## 2.3 Προβλήματα Πολεοδομίας και Ρυμοτομίας

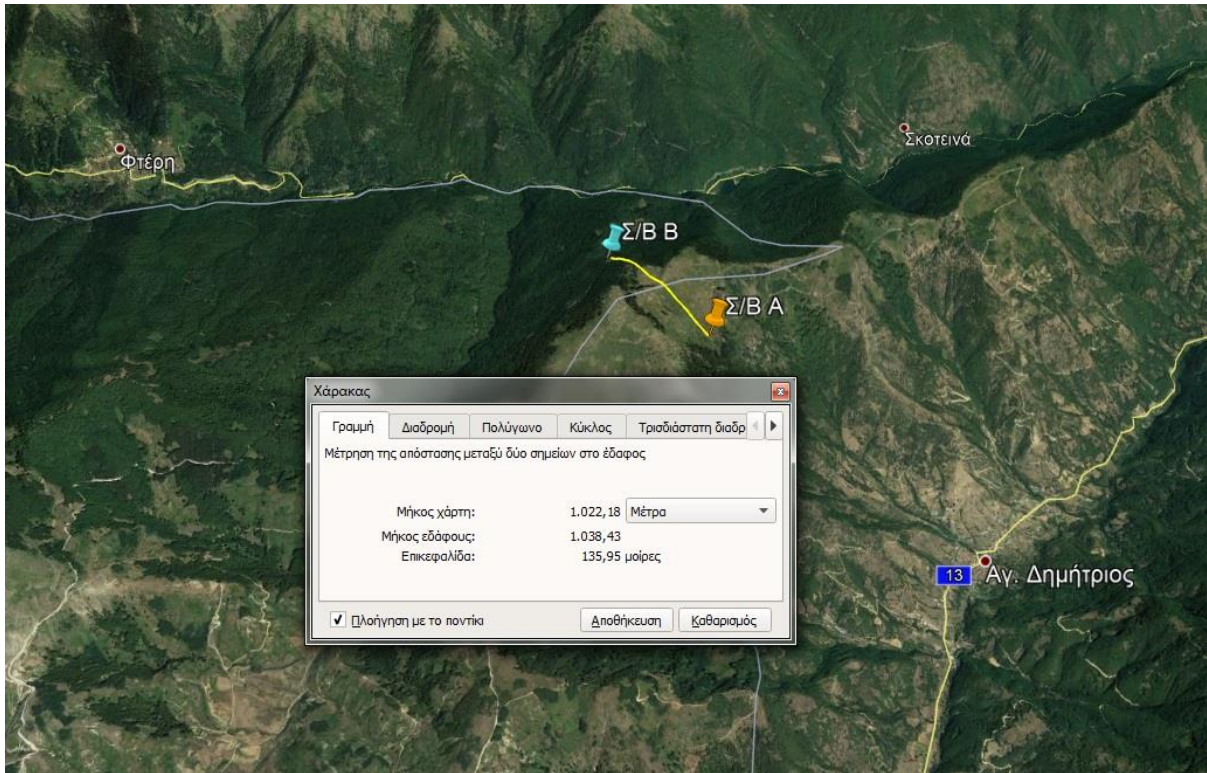
Στις προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου 2 είδαμε τη τεχνική Switch On / Off. Αναλύσαμε πως δουλεύει και κάναμε μια σύντομη αποδόμηση μέσω προσομοίωσης ενός δικτύου με κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα που πήραμε από την προσομοίωση βγήκαν με απλή αντικατάσταση στους μαθηματικούς τύπους τους οποίους χρησιμοποιεί η τεχνική. Τι γίνεται όμως στη πραγματικότητα; Πόσο πιθανό είναι να δουλεύει σωστά η τεχνική και να λαμβάνει υπόψιν της, ρυμοτομικά και πολεοδομικά θέματα για μια περιοχή; Ερωτήματα που θα εξηγήσουμε παρακάτω ώστε να δούμε την πραγματική πλευρά ενός δικτύου.

### 2.3.1 Προβλήματα Ρυμοτομίας

Ξεκινώντας με τα προβλήματα ρυμοτομίας αφού εξηγήσουμε περί τίνος πρόκειται θα δούμε και ένα παράδειγμα με εικόνες μέσω Google Earth για να καταλάβουμε ακριβώς το πρόβλημα.

Πιο συγκεκριμένα τα προβλήματα ρυμοτομίας (προβλήματα μορφολογίας του εδάφους) είναι προβλήματα που συναντάμε κυρίως σε αγροτικά περιβάλλοντα και προέρχονται από το γεωγραφικό ανάγλυφο μιας περιοχής. Όταν έχουμε μια περιοχή με βουνά και λόφους και ανάμεσα σε αυτά έχουν χτιστεί ολόκληροι οικισμοί καταλαβαίνουμε ότι δυσκολεύει πολύ ο στόχος να προσφέρουμε πλήρη κάλυψη εύκολα και σε ολόκληρη την έκτασή τους. Ειδικά στην Ελλάδα έχουμε πολλούς οικισμούς που έχουν χτιστεί ανάμεσα σε βουνά και παρόλο που μπορεί να μην έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους κοιτάζοντάς τους στο χάρτη, πρακτικά είναι πάρα πολύ δύσκολο να δοθεί κάλυψη κινητών τηλεπικοινωνιών με έναν Σ/Β. Για αυτόν το λόγο πρέπει να ενεργοποιηθούν 2 Σ/Β ακόμα και σε πολύ κοντινή απόσταση οι οποίοι θα έχουν τελείως διαφορετικές οπτικές επαφές.

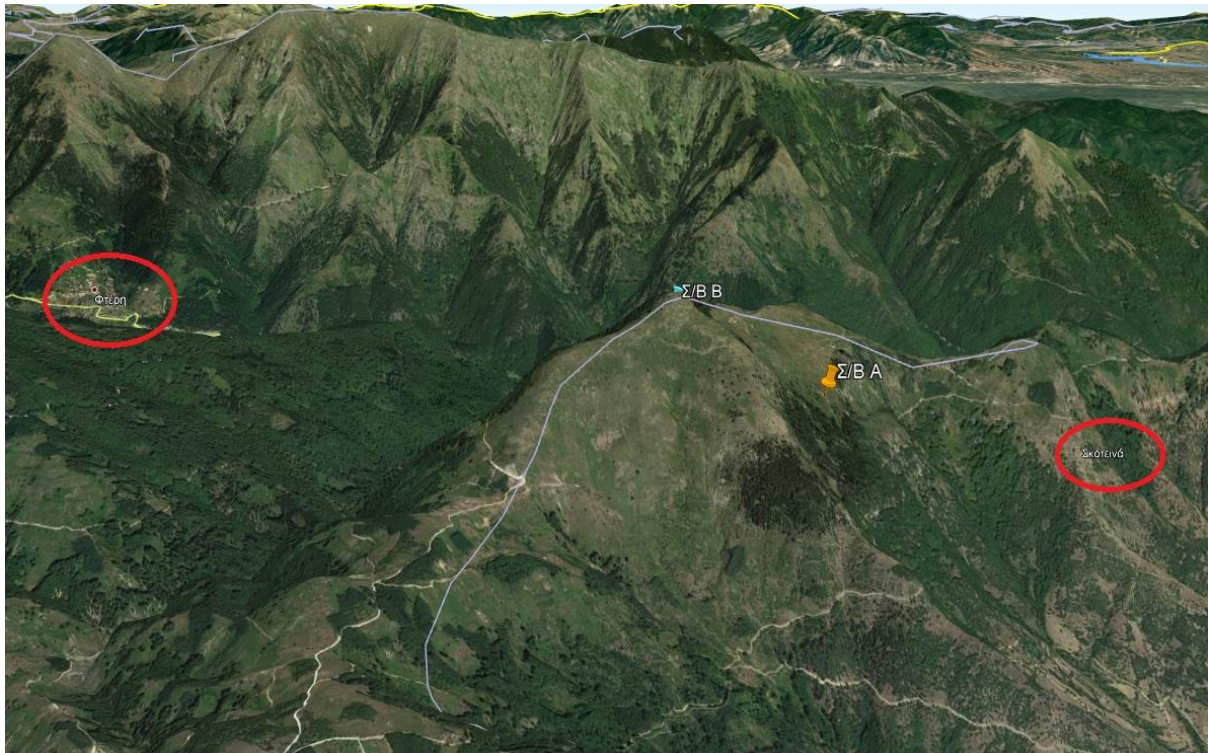
Τέτοιου είδους παραδείγματα όπως είπαμε τα συναντάμε συνήθως σε αγροτικές περιοχές που σύμφωνα με τις προηγούμενες ενότητες του κεφαλαίου 2 η εμβέλειά των κυψελών φτάνει τα 3,5 χλμ και σύμφωνα με την τεχνική του Switch On/Off μπορούν να απενεργοποιούνται Σ/Β μέσα σε αυτή την εμβέλεια. Στο παράδειγμα που θα δούμε η απόσταση των δύο Σ/Β είναι 1 χλμ όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα και σύμφωνα με την τεχνική του Switch On/Off θα μπορεί ο ένας από τους δύο να απενεργοποιηθεί.



**Εικόνα 21: Απόσταση Σ/Β, σε Πρόβλημα Ρυμοτομίας**

Οι περιοχές ενδιαφέροντος όπως βλέπουμε και στην εικόνα είναι τα χωριά Αγ. Δημήτριος, Σκοτεινά, Φτέρη καθώς και το οδικό δίκτυο από και προς αυτά. Εδώ όπως παρατηρούμε χρειαζόμαστε δύο Σ/Β σε απόσταση 1 χλμ για να καταφέρουμε να πιάσουμε και τα τρία χωριά μαζί με το οδικό δίκτυο. Βλέποντας την εικόνα καταλαβαίνουμε ότι ο Σ/Β Α καλύπτει τον Αγ. Δημήτριο με το οδικό του δίκτυο και ο Σ/Β Β τα Σκοτεινά και τη Φτέρη με τους αντίστοιχους δρόμους. Ας συνοψίσουμε λίγο τα δεδομένα που έχουμε: αγροτικό περιβάλλον που οι Σ/Β βάση βιβλιογραφίας έχουν 3,5 χλμ εμβέλεια κάλυψης, δύο Σ/Β σε απόσταση 1 χλμ, τρεις οικισμοί και οδικό δίκτυο ανάμεσα σε βουνά. Τι θα γινόταν με το σενάριο της τεχνικής Switch On/Off;

Αρχικά, τα χωριά για τα οποία ενδιαφερόμαστε καταλαβαίνουμε ότι δε θα έχουν πολλή τηλεπικοινωνιακή κίνηση καθώς δεν είναι ιδιαίτερος τουριστικά ούτε χωριά με πάνω από 2000 κατοίκους. Άρα καταλαβαίνουμε ότι ένα κριτήριο της τεχνικής Switch On/Off καλύπτεται. Επομένως θα πρέπει να απενεργοποιηθεί ένας από τους δύο Σ/Β. Ας δούμε τις οπτικές επαφές (Line Of Sight, LOS) των δύο Σ/Β, ξεκινώντας με τον Α για να καταλάβουμε και τον λόγο που χρειαζόμαστε δύο Σ/Β σε τόσο μικρή απόσταση αλλά και τις συνέπειες που θα έχει η απενεργοποίηση κάποιου από τους δυο.



Εικόνα 22: Οπτική Επαφή Σ/Β Α με Φτέρη, Σκοτεινά & Οδικό Δίκτυο

Τι παρατηρούμε από την εικόνα παραπάνω; Παρατηρούμε ο Σ/Β Α δεν έχει καθόλου οπτική επαφή με τα δύο χωριά Φτέρη & Σκοτεινά και το οδικό δίκτυο. Άρα σε περίπτωση εφαρμογής του Switch On/Off δε θα μπορούσε να απενεργοποιηθεί καθώς θα άφηνε ακάλυπτους δύο οικισμούς. Επίσης με αυτή την εικόνα εξηγείται και η ύπαρξη δύο Σ/Β τόσο κοντά σε αγροτική περιοχή.

Το επόμενο που μένει είναι να ελέγξουμε το LOS του δεύτερου Σ/Β με το χωριού του Αγ. Δημητρίου και το οδικό δίκτυο αυτού έτσι ώστε αν μπορεί να δώσει κάλυψη στους στόχους αυτούς, τότε μπορούμε ελεύθερα να τον απενεργοποιήσουμε με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.



Εικόνα 23: Οπτική Επαφή Σ/Β Β με Αγ. Δημήτριο & Οδικό Δίκτυο

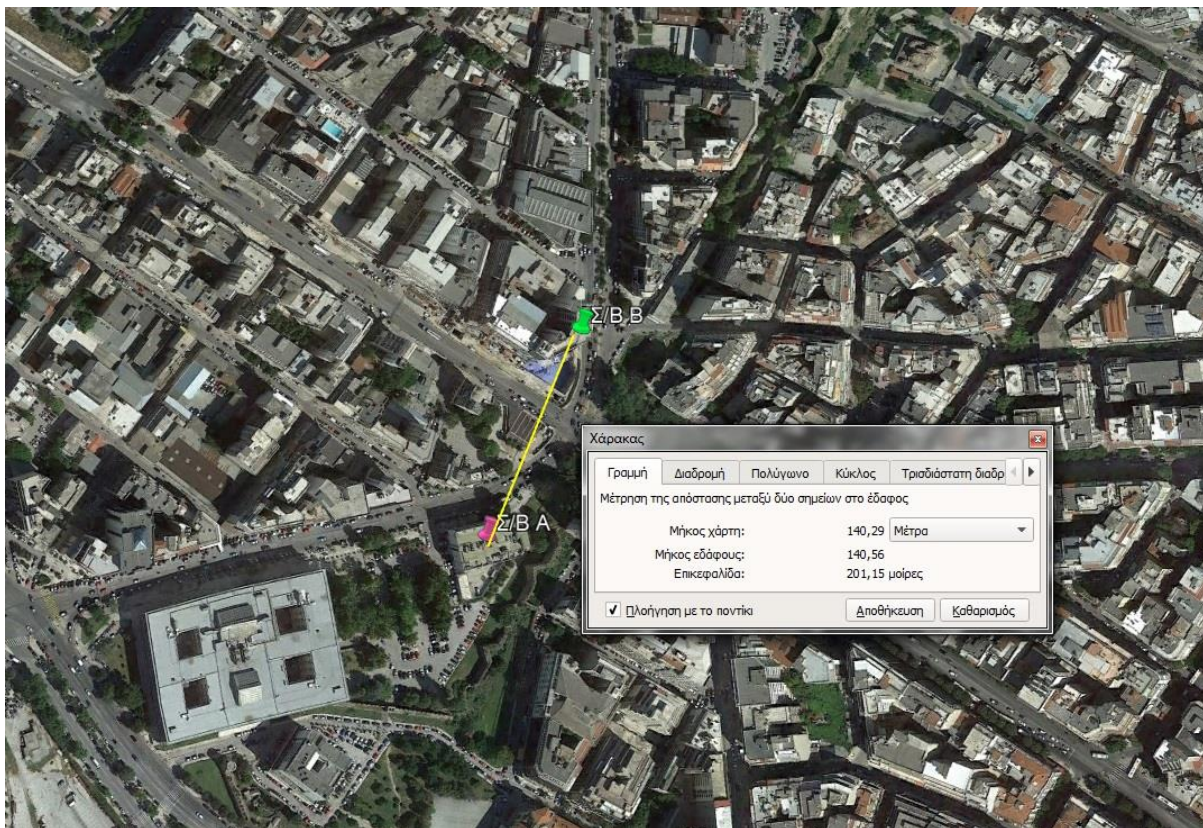
Όπως παρατηρούμε και από αυτή την οπτική της εικόνας 23 ούτε ο Σ/Β Β έχει οπτική επαφή με τον Αγ. Δημήτριο και το οδικό δίκτυο καθώς βρίσκεται πίσω από το υπόλοιπο βουνό. Επομένως και σε αυτή τη περίπτωση δε μπορεί να απενεργοποιηθεί ο έτερος Σ/Β γιατί θα προκύψει πρόβλημα με τον οικισμό του Αγ. Δημητρίου. Τι καταλαβαίνουμε; Αυτό που προκύπτει είναι ότι και σε αυτή την περίπτωση δε μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική του Switch On/Off.

Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε από την παρούσα ενότητα το πρόβλημα της ρυμοτομίας είναι σύνθετο και πολύ επικίνδυνο. Είναι λογικό να θέλουμε να κλείσουμε έναν από τους δύο Σ/Β που βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση αλλά βλέπουμε ότι αυτοί οι δύο Σ/Β καλύπτουν διαφορετικές περιοχές. Αν δε προσέξουμε στην περίπτωση εφαρμογής της τεχνικής Switch On/Off θα έκλεινε ένας Σ/Β από τους δύο και αυτόματα θα υπήρχε πρόβλημα κάλυψης. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι μια τέτοια τεχνική δε μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο της παντού και πάντα. Χρειάζονται πολλές μελέτες και πολλές δοκιμές πριν εγκατασταθεί κάτι τέτοιο σε ένα δίκτυο. Για παράδειγμα αφού δε μπορεί να απενεργοποιηθεί ολόκληρος κάποιος από τους δύο Σ/Β μπορούμε ανάλογα με τα στατιστικά τους να κλείσουμε μερικές τεχνολογίες για κάποιες ώρες (π.χ κατά τη διάρκεια της νύχτας που οι κίνηση είναι σχεδόν μηδενική).

### 2.3.2 Προβλήματα Πολεοδομίας

Περνάμε στα προβλήματα πολεοδομίας που και σε αυτή την περίπτωση μπορεί να επηρεαστεί η εφαρμογή της τεχνικής του Switch On/Off. Τα προβλήματα πολεοδομίας είναι προβλήματα που αφορούν κυρίως αστικές περιοχές και έχουν να κάνουν με τα κτήρια. Πιο συγκεκριμένα, στο κομμάτι αυτό θα αναφερθούμε σε προβλήματα LOS Σ/Β που υπάρχουν σε αστικές περιοχές και παρεμβάλλονται κτήρια καθώς και στο αδειοδοτικό κομμάτι της πολεοδομίας. Αξίζει να σημειωθεί πως εφόσον θα υπάρξει μια κατασκευή Σ/Β σε κτήριο θα πρέπει ο πάροχος να έχει πάρει άδεια από την πολεοδομία και το κτήριο να μην έχει αυθαιρεσίες.

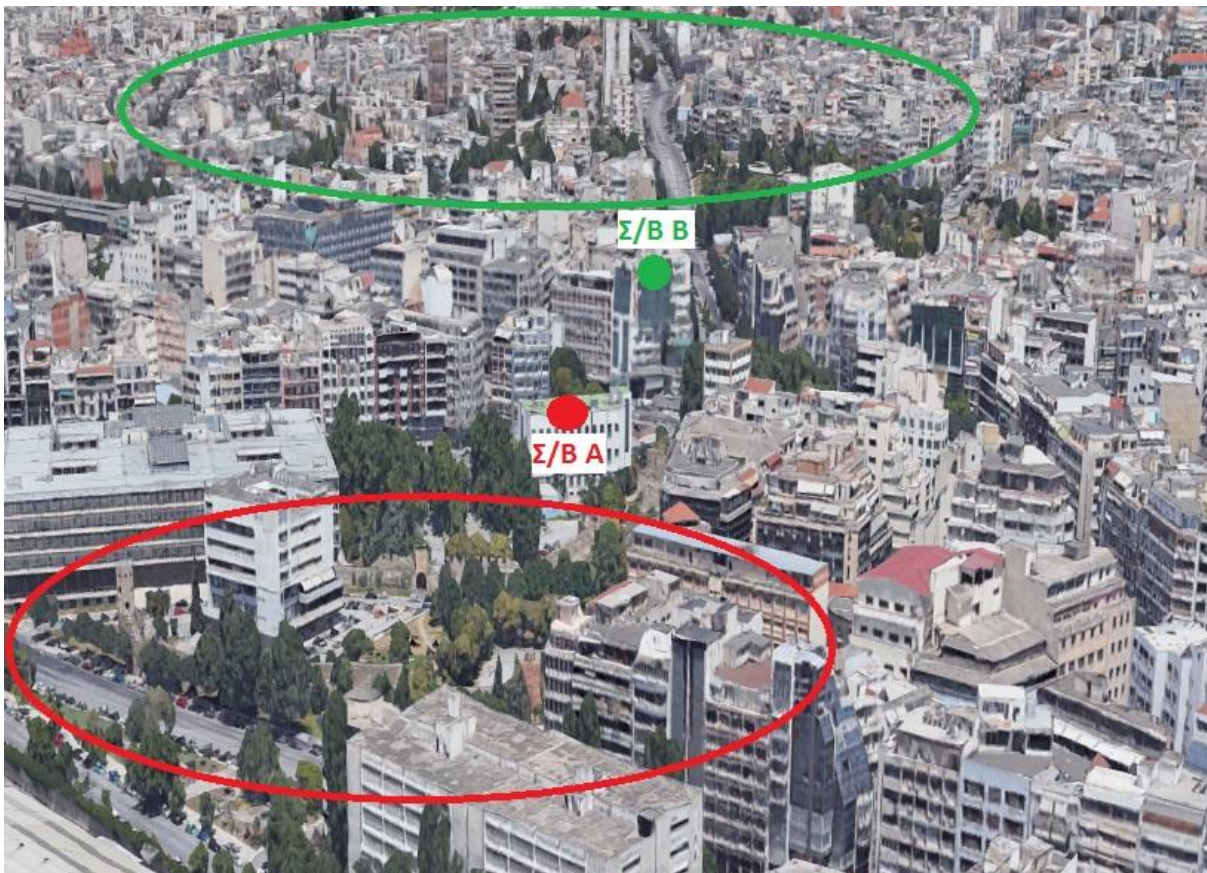
Που σχετίζονται όλα αυτά με τη μέθοδο Switch On/Off όμως; Η απάντηση είναι πως υπάρχει περίπτωση σε ένα αστικό περιβάλλον να έχω Σ/Β σε μικρότερη απόσταση από τα 700 m που ορίζουν οι συγγραφείς της βιβλιογραφίας και αυτό γιατί όπως και στο πρόβλημα ρυμοτομίας κάθε Σ/Β μπορεί να βλέπει κάτι διαφορετικό που δεν μπορεί να καλύψει ο άλλος. Έτσι, βάσει του Switch On/Off κάποιος από τους δύο θα απενεργοποιηθεί με βάση την κίνηση που τραβάει και θα μείνει κενό κάλυψης όπως θα δούμε στις εικόνες στη συνέχεια.



Εικόνα 24: Απόσταση Σ/Β Αστικό Περιβάλλον



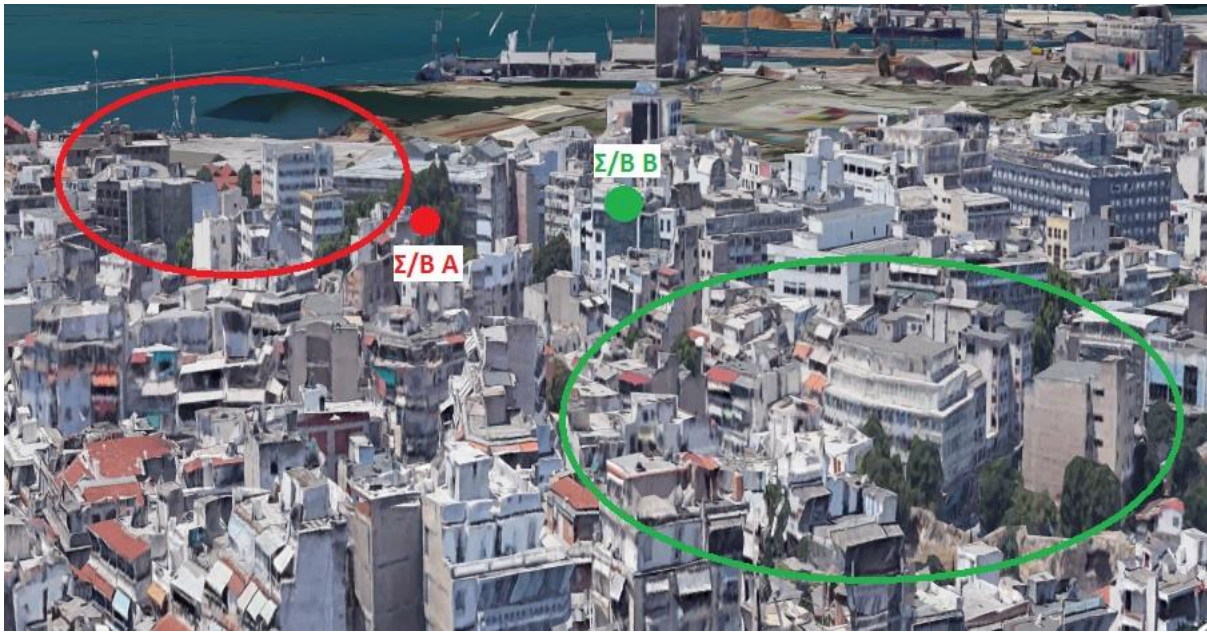
Στην προηγούμενη εικόνα είμαστε σε έναν αστικό ιστό και χρειαζόμαστε 2 Macro Σ/B σε πολύ κοντινή απόσταση για να δώσουμε εξολοκλήρου κάλυψη στην περιοχή. Ο Σ/B B απέχει από τον Σ/B A μόλις 140m τη στιγμή που η κάλυψη στο αστικό περιβάλλον έχει οριστεί στα 700m. Τι συμβαίνει και χρειαζόμαστε 2 Σ/B τόσο κοντά; Λόγω ανάγκης μείωσης της κατανάλωσης του δικτύου και λόγω κίνησης ιδανικά θα έπρεπε ο ένας από τους δύο να απενεργοποιηθεί, με αποτέλεσμα να πάρει ένας όλη την κίνηση και να μη καταναλώνουμε άσκοπα ενέργεια. Μπορούμε να το κάνουμε;



Εικόνα 25: Σημεία Κάλυψης Σ/B

Για να δημιουργήσουμε την παραπάνω εικόνα χρησιμοποιήσαμε το Google Earth και συγκεκριμένα την επιλογή με τα τρισδιάστατα κτήρια. Βρίσκοντας τα κτήρια που έχουν Σ/B μπορέσαμε να καταλάβουμε αρχικά για ποιο λόγο είναι τόσο κοντά αυτοί οι δύο σταθμοί. Οι κύκλοι χρώματος κόκκινου και πράσινου είναι οι περιοχές που καλύπτουν οι αντίστοιχοι σταθμοί ίδιου χρώματος. Όπως παρατηρούμε Νότια του Σ/B A υπάρχει μια πλατεία η οποία τραβάει μια κάποια κίνηση καθώς και κτήρια όχι ιδιαίτερα ψηλά αλλά μεγάλα σε μήκος. Βόρεια ο Σ/B δεν μπορεί να προσφέρει κάλυψη γιατί υπάρχει ψηλότερο κτήριο που παρεμποδίζει το LOS με την υπόλοιπη περιοχή. Αυτό το κτήριο είναι που έχει τον Σ/B B στο

δώμα του έτσι ώστε να μπορεί να δει το Βόρειο τμήμα της περιοχής και να προσφέρει υπηρεσίες εκεί που δε μπορεί ο άλλος. Άρα αυτό που καταλαβαίνουμε και εδώ είναι ότι σε περίπτωση απενεργοποίησης ενός εκ των δύο Σ/Β θα προκύψει πρόβλημα κάλυψης. Η επόμενη εικόνα είναι η αντίθετη λήψη από τη πλευρά του Σ/Β Β για να επιβεβαιώσουμε όλα όσα είπαμε δις.



Εικόνα 26: Σημεία Κάλυψης Σ/Β Αντίθετη Λήψη

Άλλη μια επιβεβαίωση ότι και οι δύο Σ/Β καλύπτουν διαφορετικά πράγματα λόγω πολεοδομικής δόμησης της περιοχής. Μετά από όλα αυτά προκύπτει ότι τα προβλήματα πολεοδομίας είναι πιο σύνθετα και πιο δύσκολα από αυτά της ρυμοτομίας γιατί δε μπορούμε να γνωρίζουμε τα ύψη των κτηρίων αν δε πάμε στο σημείο, οπότε η μελέτη αμέσως γίνεται πιο χρονοβόρα και πιο δύσκολη.

Όσον αφορά το κομμάτι της αδειοδότησης της πολεοδομίας να δώσουμε ένα παράδειγμα. Έστω ότι υπάρχει ένας Σ/Β σε ένα κτήριο που έχει καθαρή οπτική επαφή και στις 360°, τι θα γίνει αν ο ιδιοκτήτης του διπλανού κτηρίου αποφασίσει εκ των υστέρων να σηκώσει έναν όροφο ακόμα και γίνει εμπόδιο στο κεραιοσύστημα του σταθμού; Τότε θα πρέπει να αυξηθεί το ύψος του ιστού ώστε να μπορέσει να ξεπεράσει το δίπλα κτήριο. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να πάρει ο εκάστοτε πάροχος νέα άδεια από την πολεοδομία. Θα τη πάρει ή θα αναγκαστεί να καταργήσει εκείνη την κατεύθυνση ή ακόμα και όλο το Σ/Β;

Το συμπέρασμα λοιπόν από όλα τα προηγούμενα είναι ότι τα πολεοδομικά προβλήματα είναι αυτά που λύνονται πιο δύσκολα και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά κύριο λόγο πριν απενεργοποιήσουμε κάποιο Σ/Β με την εφαρμογή της τεχνικής Switch On/Off

σε αστικό περιβάλλον. Αφού έχουμε δει όλα όσα χρειαζόμαστε και για την τεχνική αλλά και για τα προβλήματα που προκύπτουν στην πραγματικότητα, σειρά έχει να τη δοκιμάσουμε σε ένα πραγματικό περιβάλλον αντιμετωπίζοντας τα προβλήματα που μόλις αναφέραμε και βλέποντας τις επιπτώσεις που θα έχει σε ένα αληθινό δίκτυο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

## **3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ SWITCH ON/OFF BS ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ**

### **3.1 Γενικά**

Όλα όσα έχουμε δει έχουν πεδίο εφαρμογής στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα κινητών επικοινωνιών και σίγουρα βάσει των προσομοιώσεων βλέπουμε να μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας. Πόσο εύκολα όμως μπορούν όλα τα προηγούμενα να ενσωματωθούν σε ένα πραγματικό δίκτυο; Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να ενσωματώσουμε σε ένα αληθινό δίκτυο μιας συγκεκριμένης περιοχής την τεχνική του Switch On/Off και να δούμε πώς αντιδρά αυτό, βάσει των προβλημάτων πολεοδομίας και ρυμοτομίας. Κύριο μέλημα μας θα είναι να μη χαθεί κάλυψη από κανένα σημείο της πόλης ώστε να δημιουργηθούν κενά με αποτέλεσμα να μην προσφέρονται υπηρεσίες. Η περιοχή η οποία θα δραστηριοποιηθούμε και θα κάνουμε την προσομοίωση, είναι η Καλλιθέα στον Νομό Αττικής η οποία ανήκει σε αστικό περιβάλλον και στην οποία υπάρχουν αρκετά πυκνοί Σ/Β καθώς εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό συνδρομητών. Ακόμα θα μελετηθεί η περιοχή του Μαρκοπούλου Μεσογαίας που βρίσκεται στα προάστια της ανατολικής Αττικής.

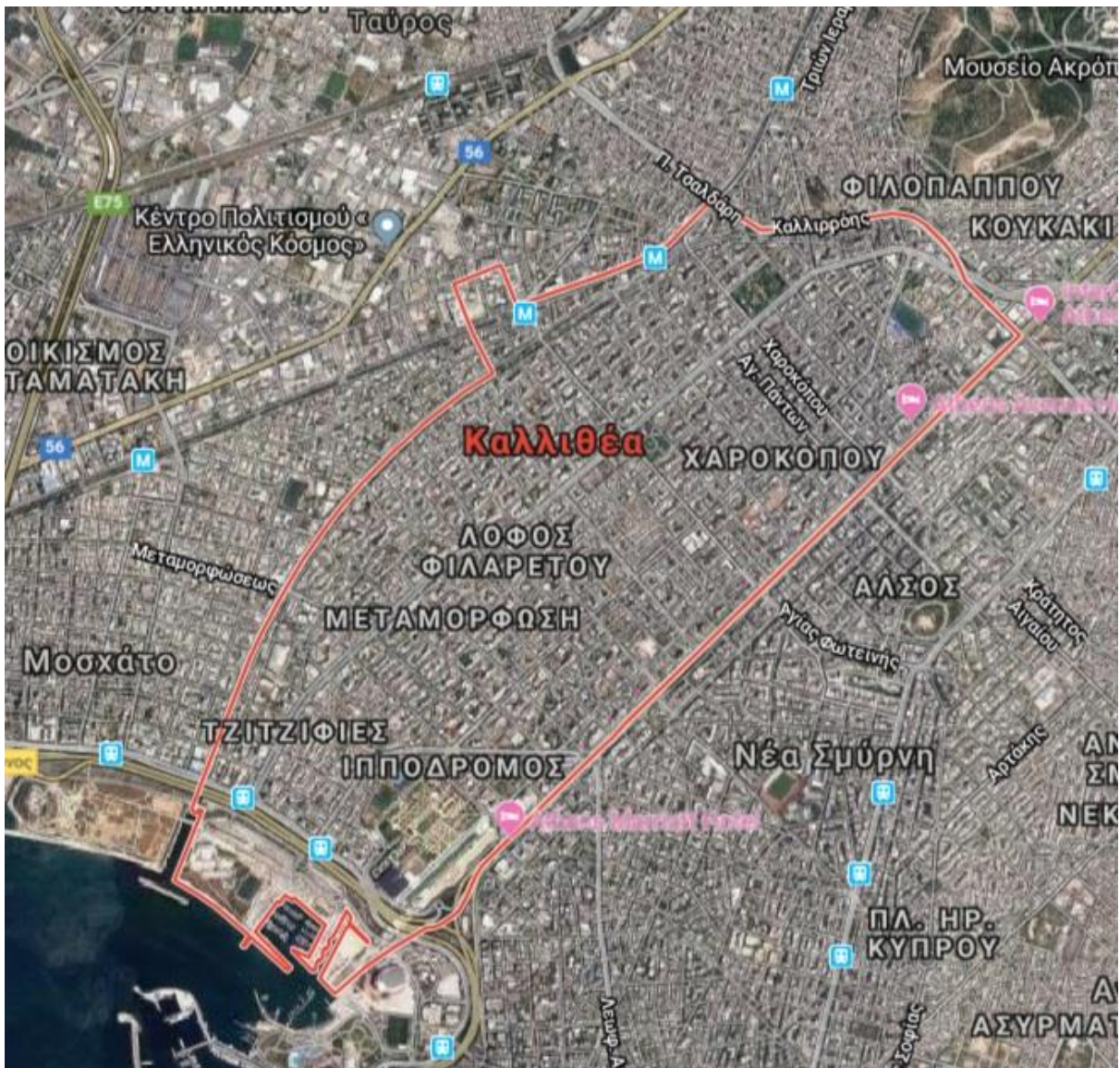
### **3.2 Δίκτυο στη Περιοχή της Καλλιθέας**

Η Καλλιθέα είναι μια περιοχή που συνδυάζει πολλά στοιχεία και για αυτό επελέγη. Ενδεικτικά να πούμε, ότι είναι μια αστική και πυκνοκατοικημένη περιοχή με πολλές κατοικίες αλλά και μεγάλα κτήρια εταιρειών, διαθέτει αρκετό ανοιχτό χώρο που συγκεντρώνει μεγάλο αριθμό κόσμου με πολλές εκδηλώσεις κατά καιρούς (π.χ. Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, πλατεία νερού κοκ.) τα λεγόμενα Hotspots. Υπάρχουν μεγάλοι οδικοί άξονες στην περιοχή καθώς και Μαρίνα στην οποία προσεγγίζουν σκάφη. Επομένως καταλαβαίνουμε ότι επειδή συνδυάζει όλα τα προηγούμενα είναι μια περιοχή στην οποία θα μπορέσουμε να δούμε αναλυτικότερα πως λειτουργεί η μέθοδος Switch On/Off και τι αποτελέσματα φέρνει σε κάθε περίπτωση. Έναν πρώτο χάρτη της Καλλιθέας μπορούμε να δούμε στην εικόνα που ακολουθεί για να καταλάβουμε τα όρια του δήμου.



Εικόνα 27: Χάρτης με τα Όρια του Δήμου Καλλιθέας

Η Καλλιθέα λοιπόν όπως βλέπουμε και στον χάρτη με τα όρια του δήμου έχει συνολική έκταση 4,6 χλμ<sup>2</sup> περίπου και βρίσκεται σε υψόμετρο 25μ μόνο καθώς βρίσκεται δίπλα στη θάλασσα. Η πυκνότητα του πληθυσμού της είναι 20.200 κατοίκους ανά χλμ<sup>2</sup>, αριθμός που τη καθιστά ως τη πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή της Αθήνας, κάτι που αποτυπώνεται και στην εικόνα της συνέχειας που βλέπουμε πόσο χτισμένη είναι. Ο συνολικός πληθυσμός του δήμου είναι 100.600 κάτοικοι περίπου σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

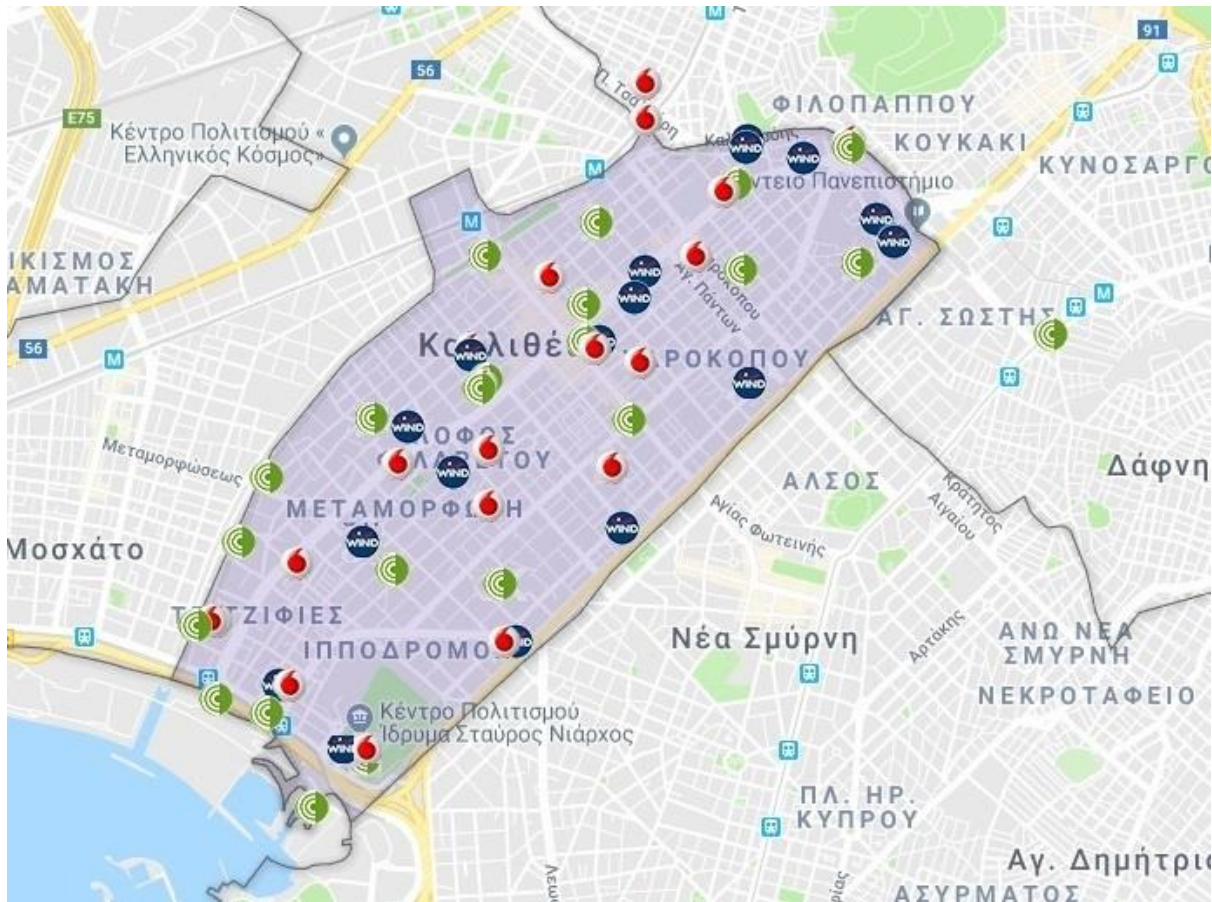


Εικόνα 28: Χάρτης Πυκνότητας Καλλιθέας

Όπως προαναφέραμε η Καλλιθέα έχει δύο πολύ μεγάλους χώρους που φιλοξενούν διάφορες εκδηλώσεις, συναυλίες κτλ. Δύο από αυτούς είναι το Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος και η πλατεία Νερού. Τα δύο αυτά σημεία είναι πολύ σημαντικά καθώς μαζεύουν πλήθος κόσμου και έχει γίνει ειδικός σχεδιασμός για να καλυφθούν οι τηλεπικοινωνιακές ανάγκες και πιθανά προβλήματα χωρητικότητας. Ειδικότερα, και κατά τη διάρκεια των εκδηλώσεων οι σταθμοί που υπάρχουν τριγύρω ή ακόμα και μέσα σε αυτά τα σημεία όχι μόνο δε πρέπει να κλείνουν αλλά να τους προσθέτουμε παραπάνω πόρους για να αντεπεξέλθουν στη κίνηση των συνδρομητών. Έτσι, σημαντικό είναι να δούμε πως ανταποκρίνεται η τεχνική Switch On/Off στα συγκεκριμένα σημεία.

Συνοψίζοντας λίγο πολύ όλα τα προηγούμενα ήρθε η ώρα να δούμε πόσους Σ/Β διαθέτει ο δήμος της Καλλιθέας σήμερα από όλους τους ενεργούς τηλεπικοινωνιακούς παρόχους της χώρας. Η πληροφορία είναι διαθέσιμη από την Εθνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ)

η οποία είναι και υπεύθυνη για το τι εκπέμπεται και κατά πόσο επιβλαβές είναι στην υγεία του ανθρώπου. Η παρακάτω εικόνα δείχνει όλους τους Σ/Β της περιοχής όλων των παρόχων βάσει μετρήσεων της ΕΕΑΕ.



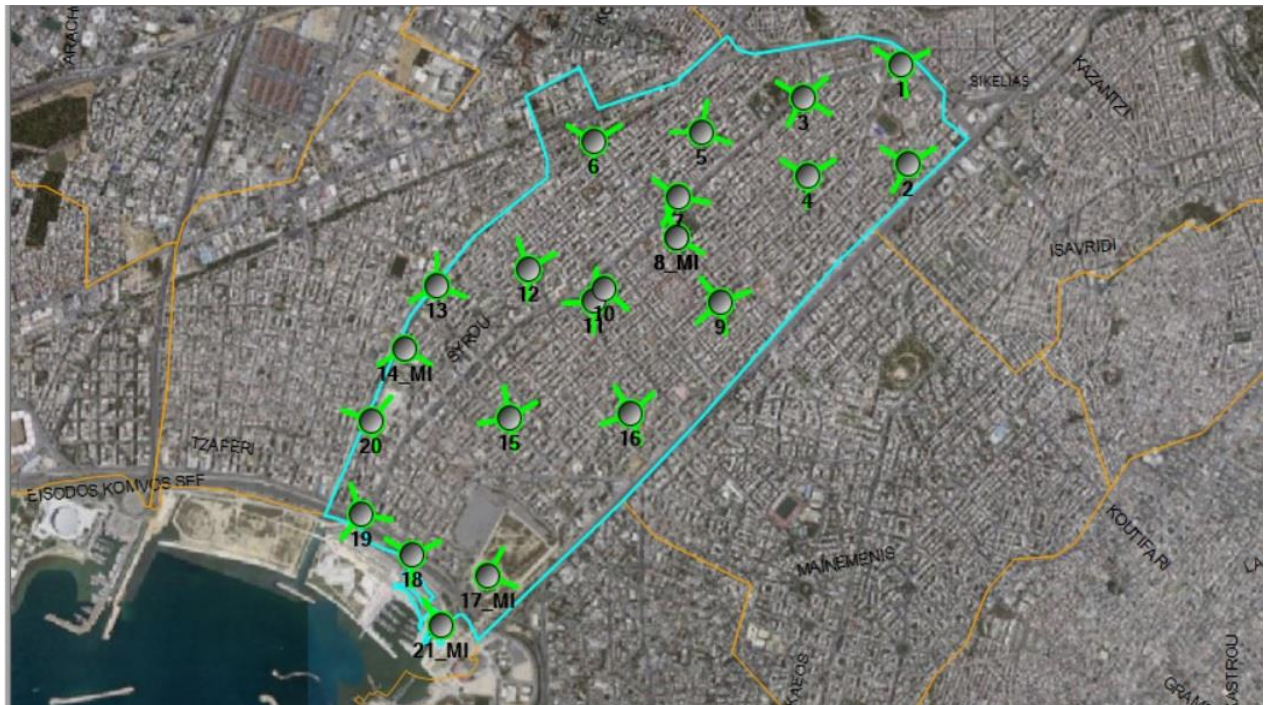
Εικόνα 29: Υφιστάμενο Δίκτυο Καλλιθέας [27]

Κάθε σημείο που υπάρχει Σ/Β αποτυπώνεται στο χάρτη με την εκάστοτε εικόνα του τηλεπικοινωνιακού παρόχου. Παρατηρούμε ότι κάθε πάροχος έχει αρκετούς Σ/Β στο δήμο, πράγμα που πιστοποιεί το πόσο πυκνοκατοικημένη είναι η περιοχή. Επίσης διακρίνουμε σημεία που υπάρχει σχετικά αρκετή απόσταση μεταξύ Σ/Β και μπορεί να σημαίνει πρόβλημα κάλυψης. Αντίθετα βλέπουμε και σημεία που υπάρχουν πολύ κοντά Σ/Β που σημαίνει ότι πιθανόν να είναι Hotspots. Όλους αυτούς τους Σ/Β θα τους τοποθετήσαμε στο χάρτη της περιοχής και στη συνέχεια βάσει μετρήσεων που κάναμε στην περιοχή με δικές μας συσκευές θα δούμε τα αποτελέσματα της τεχνικής Switch On/Off. Ακόμα, θα παρουσιάσουμε στατιστικά βάσει των μετρήσεων μας και θα ολοκληρώσουμε την αποδόμηση της τεχνικής.

Σε ό,τι αφορά τους χάρτες θα φτιάξουμε ένα πολύγωνο με τα όρια της Καλλιθέας σύμφωνα με το Google και μέσα σε αυτό θα τοποθετήσουμε τα σημεία που είναι εγκατεστημένοι οι Σ/Β βάσει της εικόνας 29. Θα θεωρήσουμε και θα σχεδιάσουμε κυψέλες σε



όλες τις τεχνολογίες (2G, 3G, 4G). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν βάσει των παραπάνω αποτυπώνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



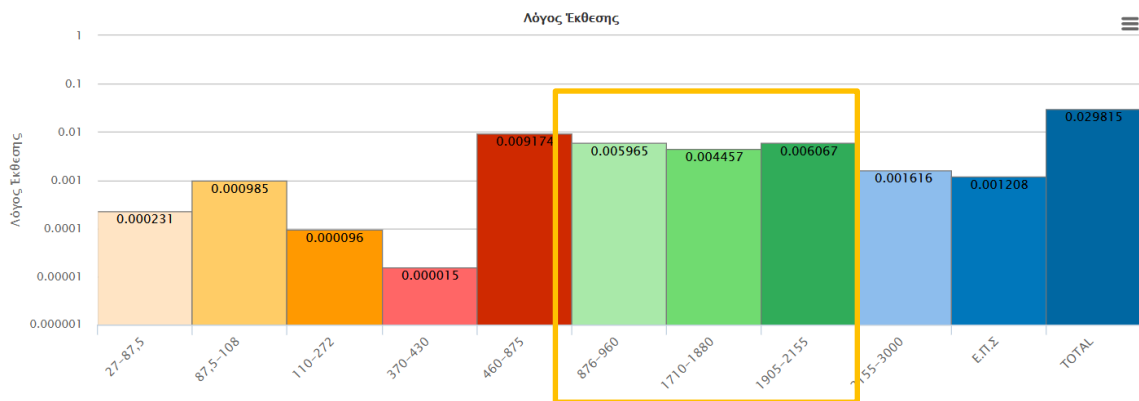
Εικόνα 30: Τοποθέτηση Σ/Β στους Χάρτες της Περιοχής

Αφού είδαμε πως τοποθετούνται οι Σ/Β στο χάρτη της περιοχής πρέπει να πούμε ακριβώς τι ενέργειες έχουμε κάνει. Οι Σ/Β που έχουμε επιλέξει και τοποθετήσει στον χάρτη της εικόνας 30 είναι από ένα και μόνο τηλεπικοινωνιακό πάροχο, ώστε να μπορέσουμε στη συνέχεια να κάνουμε μετρήσεις. Συγκεκριμένα έχουμε επιλέξει τους Σ/Β της Cosmote βάσει της εικόνας στην ΕΕΑΕ. Έχουμε μερικά κινητά τηλέφωνα με τα οποία θα κάνουμε τις μετρήσεις στην περιοχή της Καλλιθέας με την υφιστάμενη κατάσταση του δικτύου. Δηλαδή με όλους τους Σ/Β ενεργοποιημένους. Στη συνέχεια θα προσομοιώσουμε την τεχνική του Switch On/Off, θα δούμε θετικά και αρνητικά και τέλος θα πούμε τι μπορούμε να κάνουμε για να εξοικονομήσουμε ενέργεια.

Με βάση την ΕΕΑΕ ο συνολικός αριθμός των Σ/Β που έχει η Cosmote είναι 21 από τους οποίους 17 Macro και 4 Micro. Τα Micro είναι τοποθετημένα σε Hotspots σημεία της περιοχής με πολλή κίνηση, για να προσφέρουν χωρητικότητα και όχι κάλυψη, όπως είναι το Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος και η πλατεία Δαβάκη.

Ακόμα, για να προχωρήσουμε στη μελέτη μας πρέπει να δούμε σε ποιες συχνότητες εκπέμπει η Cosmote. Αυτό το στοιχείο μπορούμε να το δούμε από τα στοιχεία που έχει η ΕΕΑΕ

για κάθε Σ/Β στη περιοχή. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο ελέγξαμε όλους τους Σ/Β της Cosmote στη περιοχή.



Εικόνα 31: Συχνότητες Εκπομπής Cosmote Βάση ΕΕΑΕ [27]

Όπως μπορούμε να δούμε από την εικόνα 31 οι μετρήσεις της ΕΕΑΕ δείχνουν τις συχνότητες που χρησιμοποιεί η Cosmote (Πράσινο χρώμα). Βάσει αυτού είδαμε ότι σε όλη την περιοχή ο πάροχος χρησιμοποιεί χαμηλές συχνότητες (800-900), μεσαίες συχνότητες (1800-2100) και καθόλου υψηλές (>10GHz) καθώς ακόμα δεν έχουν εκχωρηθεί τέτοιες στις τηλεπικοινωνίες. Στη συνέχεια έχουμε φτιάξει έναν πίνακα που φαίνονται οι συχνότητες και από ποιες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 7: Συχνότητες & Τεχνολογίες Παρόχου στη Περιοχή

	2G	3G	4G
800 MHz B8			X
900 MHz B9	X		
1800 MHz B3	X		X
2100 MHz B1		X	

Ξεκινώντας με τις μετρήσεις μας θα παρουσιάσουμε πρώτα την τεχνολογία 2G και στη συνέχεια 3G & 4G.

Τέλος, να πούμε ότι για να δούμε την κάλυψη σε κάθε τεχνολογία και την στάθμη σήματος σε όλη την περιοχή χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Network Cell Info Lite που υπάρχει ελεύθερα στο Playstore. [28]

- **Ανάλυση 2G**

Θεωρούμε ότι για να έχουμε κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους πρέπει η στάθμη σήματος να είναι μέχρι -75dBm. Άρα στις μετρήσεις που κάναμε με τις συσκευές μας έχουμε θεωρήσει ότι έως -75dBm σε εξωτερικούς χώρους υπάρχει άριστη κάλυψη και σε εσωτερικούς χώρους.

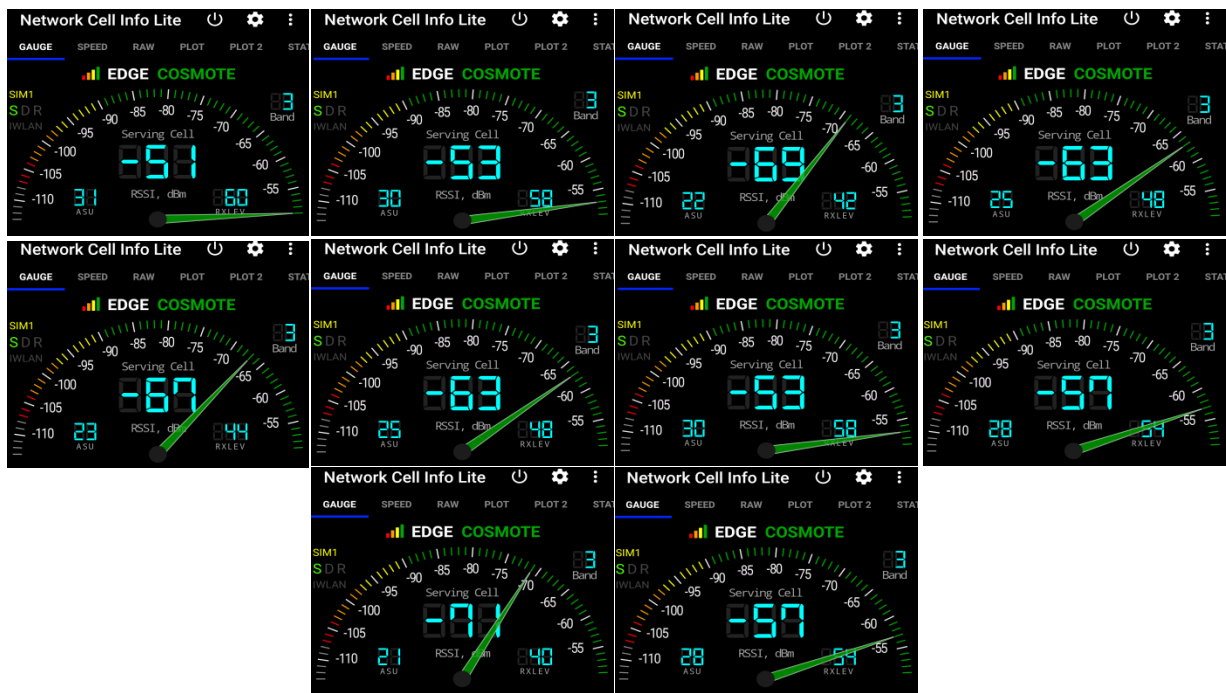
Όπου δούμε από -75dBm έως -100dBm θα τη θεωρούμε προβληματική μόνο σε εσωτερικούς χώρους καθώς έξω στον δρόμο δεν έχουμε πρόβλημα και όπου δούμε κάτω από -100dBm προβληματική γενικά.

Βάσει των όσων γνωρίζουμε για την περιοχή, τον πάροχο που έχουμε επιλέξει και τις συχνότητες που χρησιμοποιεί δεν περιμένουμε να δούμε προβλήματα κάλυψης σε αυτήν τη φάση γιατί εκτός από τη συχνότητα των 1800MHz χρησιμοποιείται και αυτή των 900MHz η οποία είναι πιο ισχυρή καθώς χαμηλότερη και έχει μεγαλύτερη διεισδυτικότητα σε δύσκολα σημεία, κτήρια κτλ.

Οι εικόνες που ακολουθούν δείχνουν τα σημεία των μετρήσεων για όλες τις τεχνολογίες αλλά και τις μετρήσεις που κάναμε στην περιοχή με το πρόγραμμα Network Cell Info Lite που μας βοήθησε να δούμε τη στάθμη σήματος ανά σημείο. Για λόγους ευκολίας και συντομίας θα δείξουμε ενδεικτικά 10 σημεία της πόλης.



Εικόνα 32: Σημεία Μετρήσεων



Εικόνα 33: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 2G (Network Cell Info Lite)

Από την εικόνα 33 της προηγούμενης σελίδας διαπιστώνουμε ότι σε όλα τα σημεία έχουμε εξαιρετική κάλυψη στο 2G καθώς η στάθμη σήματος είναι παντού μεγαλύτερη από -75dBm που έχουμε ορίσει την κάλυψη στους εσωτερικούς χώρους. Επομένως καταλαβαίνουμε ότι η κάλυψη σε όλα τα σημεία είναι πολύ καλή και σε εξωτερικούς αλλά και εσωτερικούς χώρους.

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι πως και στα 10 σημεία η συχνότητα που μας καλύπτει είναι η B3 και ανατρέχοντας στον πίνακα 7 βλέπουμε ότι πρόκειται για το 2G-1800. Ενώ στην περιοχή το 2G έχει ενεργοποιημένες 2 συχνότητες όπως είδαμε (1800MHz & 900MHz), στις μετρήσεις αποτυπώνεται μόνο μια. Αυτό συμβαίνει γιατί ο πάροχος έχει δώσει προτεραιότητα σε μια από τις δύο συχνότητες πιθανόν για καλύτερη διαχείριση της κίνησης. Αμέσως καταλαβαίνουμε ότι για να έχουμε τόσο καλή κάλυψη στο 2G με μια μεσαία συχνότητα όπως είναι αυτή των 1800MHz, χρησιμοποιώντας και τη χαμηλότερη συχνότητα στα 900MHz η κάλυψη αποκλείεται να έχει κενά. Οι χαμηλές συχνότητες έχουν μεγαλύτερη διεισδυτικότητα οπότε βοηθούν πολύ στην κάλυψη εσωτερικών χώρων. Άρα σε μερικά σημεία εσωτερικά των κτηρίων που το 2G-1800 δεν θα έχει την ιδανική στάθμη σήματος (< -75dBm) το κινητό θα γυρίσει στο 2G-900 και θα συνεχίσει να έχει εξαιρετική κάλυψη.

Ξέροντας τα δημογραφικά στοιχεία της πόλης μπορέσαμε και υπολογίσαμε βάσει των μετρήσεων μας πόσοι κάτοικοι καλύπτονται και με ποιες στάθμες σήματος. Ο επόμενος

Πίνακας αποτυπώνει συγκεντρωμένη τη πληροφορία της κάλυψης για το 2G με γεωγραφικά και πληθυσμιακά κριτήρια.

Πίνακας 8: 2G Επίπεδα Κάλυψης Περιοχής

Area	Signal Level (dBm)					
Level	-65	-70	-75	-85	-95	Σύνολο
Καλλιθέα (Km <sup>2</sup> )	3,22	4,14	4,60	4,60	4,60	4,60
Καλλιθέα (%)	70	90	100	100	100	100
Κάτοικοι	14.140	18.180	20.200	20.200	20.200	20.200

- **Ανάλυση 3G**

Περνάμε στο 3G όπου και εδώ έχουμε κάνει την ίδια διαδικασία με το 2G, δηλαδή μετρήσεις στα ίδια σημεία με το ίδιο πρόγραμμα και κινητό. Στο 3G θα αλλάξουμε τα όρια της στάθμης σήματος για πλήρη κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους, γιατί έχει μεγαλύτερη ευαισθησία σαν τεχνολογία, και θα την ορίσουμε στα -90dBm. Άρα μέχρι τα -90dBm θεωρούμε πλήρη κάλυψη εσωτερικών χώρων, από -90dBm έως -105dBm προβληματική μόνο σε εσωτερικούς χώρους και από εκεί και κάτω ανεπαρκή.

Στο 3G χρησιμοποιείται μόνο μία συχνότητα (2100MHz) χωρίς χρήση αντίστοιχης χαμηλής όπως τα 900MHz στο 2G. Άρα αυτομάτως καταλαβαίνουμε ότι εδώ πιθανόν να υπάρξουν προβλήματα κάλυψης κυρίως σε εσωτερικούς χώρους και δύσκολα σημεία, γιατί δεν υπάρχει η υποστήριξη μιας χαμηλής συχνότητας. Ακόμα, πρέπει να πούμε ότι επειδή τα 2100MHz είναι μεγαλύτερη συχνότητα από τα 1800MHz άρα δε θα δούμε ίδιες στάθμες στα ίδια σημεία αλλά χειρότερες. Ας δούμε όμως τα αποτελέσματα.



Εικόνα 34: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 3G (Network Cell Info Lite)

Πράγματι λοιπόν όπως βλέπουμε στις μετρήσεις μας επιβεβαιώθηκε ότι υπάρχουν μερικά προβλήματα κάλυψης εσωτερικών χώρων στην περιοχή. Να σημειώσουμε ότι πέρα από τα προβλήματα που είναι εμφανή στην εικόνα 34, σημεία όπου η στάθμη σήματος είναι μεγαλύτερη από  $-90\text{dBm}$ , υπάρχουν σίγουρα προβλήματα σε εσωτερικούς χώρους και στο σημείο 5 που βάσει μέτρησης είναι  $-89\text{dBm}$ . Αυτό συμβαίνει γιατί τα  $-89\text{dBm}$  τα πήραμε σε εξωτερικό χώρο κάτι που σημαίνει ότι στο σημείο αυτό μέσα σε κτήριο αυτό θα γίνει σίγουρα  $-92\text{dBm}$ .

Στο 2G τέτοιες οριακές περιπτώσεις δε μας ενδιέφεραν γιατί ξέραμε ότι υπάρχουν τα  $900\text{MHz}$  και το κινητό θα γυρίσει σε αυτή τη συχνότητα μόλις αντιμετωπίσει πρόβλημα κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους. Εδώ όμως που δεν υπάρχει χαμηλή συχνότητα είναι δεδομένο ότι θα αντιμετωπίσουμε προβλήματα.

Ο συγκεντρωτικός πίνακας γεωγραφικής και πληθυσμιακής κάλυψης του 3G διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 9: 3G Επίπεδα Κάλυψης Περιοχής

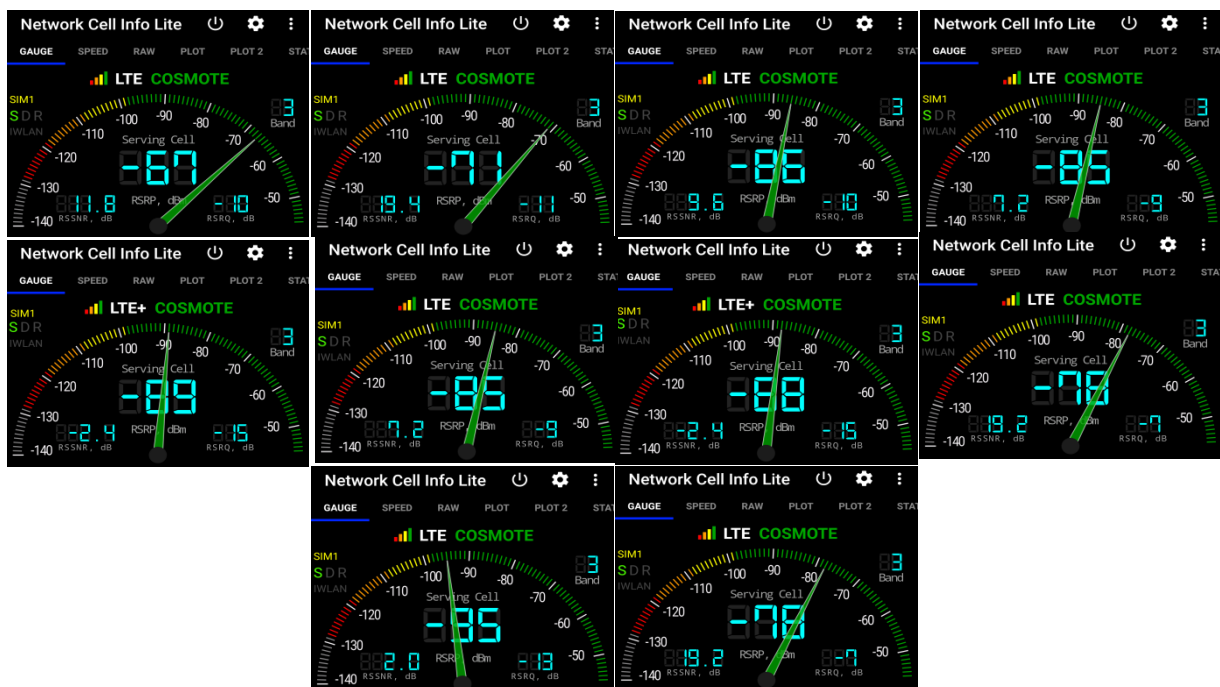
Area	Signal Level (dBm)					
Level	-80	-85	-90	-100	-105	Σύνολο
Καλλιθέα (Km <sup>2</sup> )	0,92	2,3	3,22	4,14	4,60	4,60
Καλλιθέα (%)	20	50	70	90	100	100
Κάτοικοι	4.040	10.100	14.140	18.180	20.200	20.200

Μιλώντας και με αριθμούς βάσει του παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι η κάλυψη του 3G είναι σχετικά προβληματική στη περιοχή όποτε πιθανή απενεργοποίηση Σ/Β θα σημαίνει ακόμα μεγαλύτερο πρόβλημα κάλυψης και παράπονα πελατών. Τι μπορούμε να κάνουμε θα το δούμε στη συνέχεια έχοντας τα αποτελέσματα για όλες τις τεχνολογίες.

- **Ανάλυση 4G**

Τελευταίο κομμάτι της ανάλυσής μας είναι η τεχνολογία του 4G. Με την ίδια διαδικασία και μετρήσεις όπως στις προηγούμενες δύο τεχνολογίες. Εδώ θα ανέβουν ακόμα περισσότερο τα όρια της στάθμης σήματος γιατί το LTE σαν τεχνολογία έχει ακόμα μεγαλύτερη ευαισθησία. Ως εκ τούτου τα νέα όρια είναι στα -99dBm για πλήρη κάλυψη εσωτερικών χώρων, ενώ για προβληματική κάλυψη εσωτερικά από -99dBm έως -110dBm και τέλος για ανεπαρκής από εκεί και κάτω.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουμε παραθέσει στις προηγούμενες σελίδες στο 4G χρησιμοποιούνται και πάλι δύο επίπεδα συχνοτήτων. Μια μεσαία συχνότητα στα 1800MHz και μια χαμηλή στα 800MHz. Επομένως περιμένουμε να δούμε καλύτερα αποτελέσματα από το 3G και πιο κοντά στο 2G, γιατί τα 1800MHz είναι μικρότερη συχνότητα από αυτή των 2100MHz και μπορεί να προσφέρει καλύτερη κάλυψη. Ο κύριος λόγος βέβαια είναι ότι έχουμε και μια χαμηλή συχνότητα στα 800MHz που καλύπτει δύσκολα σημεία και εσωτερικούς χώρους αντιμετωπίζοντας πιθανά προβλήματα που προκύπτουν. Ας δούμε όμως τις μετρήσεις.



Εικόνα 35: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 4G (Network Cell Info Lite)

Βάσει των αποτελεσμάτων της προηγούμενης σελίδας επιβεβαιώνουμε ότι η κάλυψη στο 4G είναι εξαιρετική. Επίσης όπως και στο 2G έτσι και εδώ παρατηρούμε ότι σε όλες τις μετρήσεις μας η κάλυψη που προσφέρεται είναι από τη μάντα συχνοτήτων των 1800MHz, κάτι που σημαίνει ότι απίθανο να υπάρχει πρόβλημα κάλυψης ακόμα και σε δύσκολα σημείων εσωτερικών χώρων. Αυτό όπως είπαμε και στο 2G οφείλεται στη χρήση χαμηλών συχνοτήτων όπως το LTE 800MHz.

Πιο συγκεκριμένα και αν πάρουμε ένα σχετικά οριακό σημείο όπως το 7 θα δούμε ότι στο 1800MHz η εξωτερική στάθμη σήματος είναι στα -95dBm και σε κάποιο δύσκολο σημείο μπορεί αυτό να γίνει -100dBm που αμέσως μας φτάνει σε επίπεδα προβληματικής κάλυψης. Στην πράξη μόλις φτάσει αυτά τα επίπεδα κάλυψης το κινητό θα γυρίσει στα 800MHz και θα αποκτήσει ξανά πλήρη κάλυψη 4G. Επομένως ο χρήστης θα εξακολουθεί να έχει πλήρης υπηρεσία χωρίς προβλήματα.

Πλέον το 4G δεν χρησιμοποιείται μόνο για δεδομένα και τη σύνδεση στο διαδίκτυο αλλά και για κλήσεις φωνής, γνωστό και ως VoLTE (Voice Over LTE). Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, μιας κλήσης, εφόσον υπάρχουν δύο συχνότητες η συσκευή του χρήστη θα εναλλάσσεται μεταξύ μεσαίας και χαμηλής συχνότητας όποτε είναι απαραίτητο και ο χρήστης δε θα αντιμετωπίσει κανένα πρόβλημα, όπως για παράδειγμα θα γίνει στο 3G που δεν έχει έξτρα χαμηλή συχνότητα και αν φτάσει η στάθμη σήματος κάτω από -100 θα πέσει η κλήση.

Ο πίνακας 10 που ακολουθεί περιέχει τα συγκεντρωτικά στοιχεία κάλυψης της περιοχής βάση γεωγραφικών και πληθυσμιακών δεδομένων που έχουμε συλλέξει στην αρχή του κεφαλαίου.

Πίνακας 10: 4G Επίπεδα Κάλυψης Περιοχής

Area	Signal Level (dBm)					
Level	<b>-80</b>	<b>-85</b>	<b>-90</b>	<b>-99</b>	<b>-110</b>	<b>Σύνολο</b>
Καλλιθέα (Km <sup>2</sup> )	1,84	2,76	4,14	4,60	4,60	4,60
Καλλιθέα (%)	40	60	90	100	100	100
Κάτοικοι	8.080	12.120	18.180	20.200	20.200	20.200

### 3.3 Δίκτυο στην περιοχή του Μαρκοπούλου Μεσογαίας

Ο δήμος Μαρκοπούλου Μεσογαίας είναι δήμος της Ανατολικής Αττικής. Ο λόγος που επιλέχθηκε ο δήμος αυτός είναι λόγω της μεγάλης διασποράς των κατοικιών. Πρόκειται για έναν δήμο που δεν έχει πάρα πολλούς μόνιμους κατοίκους αλλά αφορά περισσότερο σε εξοχικές κατοικίες. Όπως καταλαβαίνουμε κατά την περίοδο του καλοκαιριού και τα

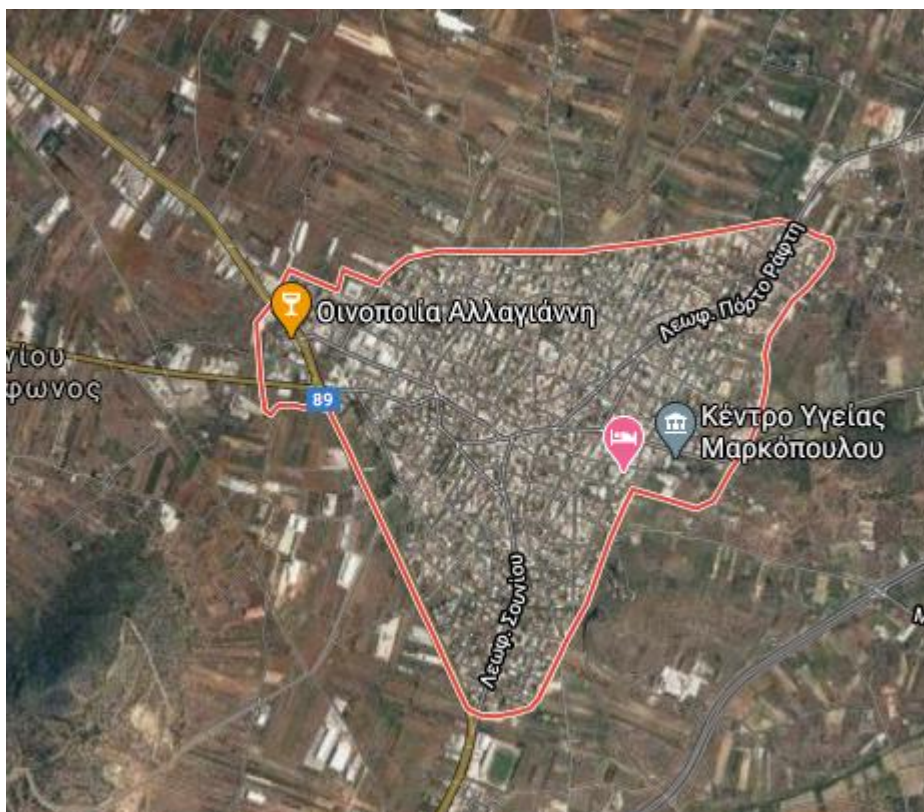


Σαββατοκύριακα υπάρχει αρκετά αυξημένο φορτίο χρηστών. Έναν χάρτη για την περιοχή του Μαρκοπούλου μπορούμε να δούμε στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 36: Χάρτης με τα όρια του δήμου Μαρκοπούλου Μεσογαίας

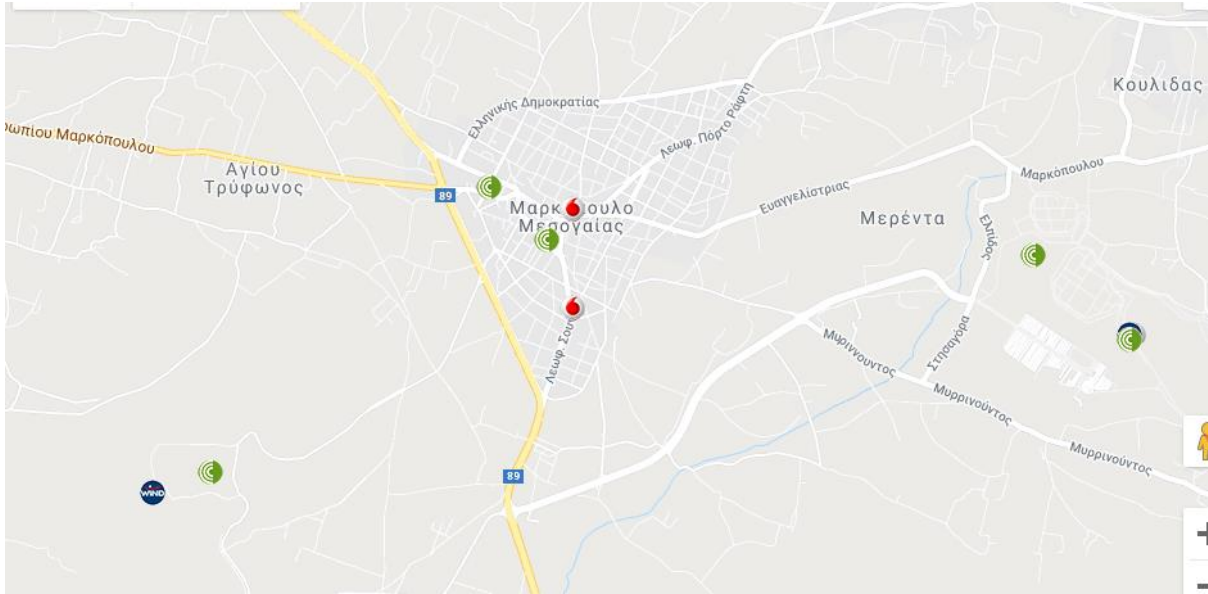
Η έκταση του είναι 1,4 τ.χλμ και ο πληθυσμός του σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ανέρχεται σε 10.000 κατοίκους και βρίσκεται 80 μ. από την επιφάνεια της θάλασσας. Η πυκνότητα πληθυσμού είναι 7100 κάτοικοι ανά χλμ<sup>2</sup>. Πρόκειται για μία περιοχή που έχει μεγάλη διασπορά κατοικιών και είναι πολύ μεγάλη σε έκταση. Φυσικά δεν είναι τόσο πυκνοκατοικημένη όσο η Καλλιθέα και για αυτό το λόγο έχει μεγάλο ενδιαφέρον να δούμε τι συμβαίνει στα προάστια της Αθήνας.



Εικόνα 37: Χάρτης Πυκνότητας Μαρκοπούλου Μεσογαίας

Όπως προαναφέραμε στο Δήμο Μαρκοπούλου μένουν αρκετοί μόνιμοι κάτοικοι. Όμως ο μεγάλος όγκος προέρχεται από ανθρώπους που έχουν τις εξοχικές τους κατοικίες και μεταβαίνουν στην περιοχή σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Δεν έχει πολλούς χώρους που να χρειάζονται ειδική επισήμανση όπως η περιοχή της Καλλιθέας εκτός από τον υπόδρομο που έχει αυξημένο φορτίο όταν είναι ανοιχτό. Όπως θα δούμε και στη συνέχεια δεν υπάρχει δυνατότητα για απενεργοποίηση σταθμών βάσης διότι υπάρχει σοβαρό πρόβλημα με τη διαθεσιμότητα του δικτύου.

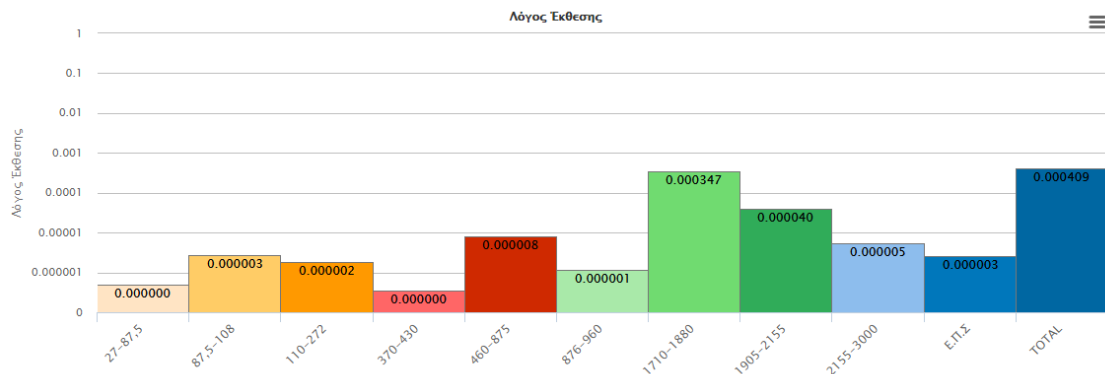
Ήρθε η ώρα να δούμε πόσους σταθμούς βάσης διαθέτει ο δήμος Μαρκοπούλου από όλους τους ενεργούς τηλεπικοινωνιακούς παρόχους της χώρας. Η πληροφορία είναι διαθέσιμη από την Εθνική Επιτροπή Ατομικής ενέργειας (ΕΕΑΕ).



Εικόνα 38: Υφιστάμενο Δίκτυο Μαρκοπούλου Μεσογαίας

Κάθε σημείο που υπάρχει Σ/Β αποτυπώνεται στο χάρτη με την εκάστοτε εικόνα του τηλεπικοινωνιακού παρόχου. Παρατηρούμε ότι τόσο η Cosmote όσο και η Vodafone έχουν 2 κεραιές μέσα στην περιοχή του Μαρκοπούλου. Βέβαια καμία σχέση δεν έχει η πυκνότητα των σταθμών σε σχέση με την Καλλιθέα αφού πρόκειται για μία περιοχή στα προάστια με λίγους κατοίκους. Βλέπουμε από το σχήμα ότι οι 2 κεραιές είναι σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Εμείς έχουμε επιλέξει τους σταθμούς της Cosmote.

Ακόμα, για να προχωρήσουμε στη μελέτη μας πρέπει να δούμε σε ποιες συχνότητες εκπέμπει η Cosmote. Αυτό το στοιχείο μπορούμε να το δούμε από τα στοιχεία που έχει η ΕΕΑΕ για κάθε Σ/Β στη περιοχή. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο ελέγξαμε όλους τους Σ/Β της Cosmote στη περιοχή.



Εικόνα 39: Συχνότητες Εκπομπής Cosmote Βάση ΕΕΑΕ [27]

Όπως μπορούμε να δούμε από την εικόνα οι μετρήσεις της ΕΕΑΕ δείχνουν τις συχνότητες που χρησιμοποιεί η Cosmote (Πράσινο χρώμα). Βάσει αυτού είδαμε ότι σε όλη την περιοχή ο πάροχος χρησιμοποιεί χαμηλές συχνότητες (800-900), μεσαίες συχνότητες (1800-2100) και καθόλου υψηλές (>10GHz) καθώς ακόμα δεν έχουν εκχωρηθεί τέτοιες στις τηλεπικοινωνίες. Στη συνέχεια έχουμε φτιάξει έναν πίνακα που φαίνονται οι συχνότητες και από ποιες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται.

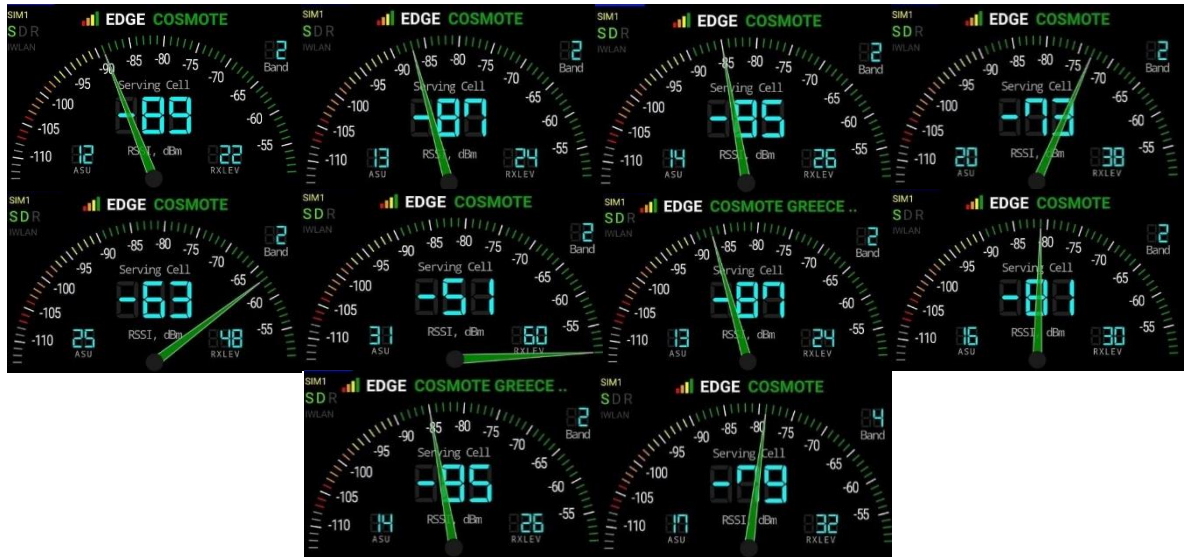
**Πίνακας 11: Συχνότητες και Τεχνολογίες Παρόχου της Περιοχής**

	<b>2G</b>	<b>3G</b>	<b>4G</b>
<b>800 MHz B8</b>			X
<b>900 MHz B9</b>	X		
<b>1800 MHz B3</b>	X		X
<b>2100 MHz B1</b>		X	

Ξεκινώντας με τις μετρήσεις μας θα παρουσιάσουμε πρώτα την τεχνολογία 2G και στη συνέχεια 3G&4G. Τέλος να πούμε ότι για να δούμε την κάλυψη σε κάθε τεχνολογία και την στάθμη σήματος σε όλη την περιοχή χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Network Cell Info Lite που υπάρχει ελεύθερα στο Playstore [28]).

- Ανάλυση 2G

Θεωρούμε ότι για να έχουμε κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους πρέπει η στάθμη σήματος να είναι μέχρι -75dBm. Άρα στις μετρήσεις που κάναμε με τις συσκευές μας έχουμε θεωρήσει ότι έως -75dBm σε εξωτερικούς χώρους υπάρχει άριστη κάλυψη και σε εσωτερικούς χώρους. Όπου δούμε από -75dBm έως -100dBm θα τη θεωρούμε προβληματική μόνο σε εσωτερικούς χώρους καθώς έξω στον δρόμο δεν έχουμε πρόβλημα και όπου δούμε κάτω από -100dBm προβληματική γενικά.



Εικόνα 40: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 2G (NetworkCellInfoLite)

Από την εικόνα καταλαβαίνουμε ότι υπάρχουν πολλά σημεία που η κάλυψη είναι αρκετά καλή τόσο σε εξωτερικούς όσο και εσωτερικούς χώρους. Υπάρχουν όμως και αρκετά σημεία που θα υπάρχουν προβλήματα στους εσωτερικούς χώρους. Είναι εμφανές ότι ακόμα και λίγο έξω από την Αθήνα τα προβλήματα κάλυψης υπάρχουν. Φυσικά αυτό δεν είναι πολύ μεγάλο πρόβλημα σε περιόδους που η περιοχή του Μαρκοπούλου έχει μόνο τους δικούς του κατοίκους. Όταν όμως γίνεται μαζική εξόρμηση ανθρώπων που πηγαίνουν στις εξοχικές του κατοικίες ενδεχομένως να δημιουργηθούν σοβαρά προβλήματα στο QoS.

Ξέροντας τα δημογραφικά στοιχεία της πόλης μπορέσαμε και υπολογίσαμε βάσει των μετρήσεων μας πόσοι κάτοικοι καλύπτονται και με ποιες στάθμες σήματος. Ο επόμενος πίνακας αποτυπώνει συγκεντρωμένη την πληροφορία της κάλυψης για το 2G με γεωγραφικά και πληθυσμιακά κριτήρια.

Πίνακας 12: 2G Επίπεδα Κάλυψης Περιοχής

Area	Signal Level (dBm)					
Level	-65	-70	-75	-85	-95	Σύνολο
Μαρκόπουλο (Km <sup>2</sup> )	0,28	0,28	0,42	0,98	1.4	1.4
Μαρκόπουλο (%)	20	20	30	70	100	100
Κάτοικοι	1420	1420	2130	4970	7100	7100

Όπως φαίνεται από τον πίνακα στην περίπτωση που υπάρξει απενεργοποίηση κάποιου σταθμού βάσης οι μετρήσεις αυτές θα χειροτερέψουν μεαποτέλεσμα ενδεχομένως να μην υπάρχει σχεδόν καθόλου κάλυψη στην περιοχή.

- Ανάλυση 3G

Σειρά στην ανάλυση μας έχει η τεχνολογία 3G. Οι μετρήσεις έγιναν στα ίδια σημεία με το ακριβώς την ίδια τεχνολογία. Στο 3G τα όρια στάθμης σήματος για πλήρη κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους λόγω μεγαλύτερης ευαισθησίας που έχει η τεχνολογία. Θα ορισθούν τα -90dBm ως πλήρης κάλυψη εσωτερικών χώρων, από 90dBm έως -105dBm προβληματική μόνο σε εσωτερικούς χώρους και από εκεί και κάτω ανεπαρκή. Στο 3G χρησιμοποιείται μία συχνότητα τα 2100 MHz.



Εικόνα 41: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 3G (NetworkCellInfoLite)

Όπως βλέπουμε στις μετρήσεις μας βλέπουμε πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε αυτήν την τεχνολογία σε σχέση με αυτήν του 2G. Σίγουρα οι μετρήσεις επειδή έγιναν μόνο σε εξωτερικούς χώρους θα έχουμε μία μικρή διαφορά έναντι των εσωτερικών χώρων.

Ο συγκεντρωτικός πίνακας γεωγραφικής και πληθυσμιακής κάλυψης του 3G φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 13: 3G Επίπεδο Κάλυψης Περιοχής

Area	Signal Level (dBm)					
Level	-80	-85	-90	-100	-105	Σύνολο
Καλλιθέα (Km <sup>2</sup> )	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Καλλιθέα (%)	100	100	100	100	100	100
Κάτοικοι	7.100	7.100	7.100	7.100	7.100	7.100

Σύμφωνα με τον πίνακα δεν υπάρχει απολύτως κανένα πρόβλημα κάλυψης στην συγκεκριμένη περιοχή για αυτήν την τεχνολογία.

- Ανάλυση 4G

Τέλος μελετήσαμε την τεχνολογία 4G. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε είναι ακριβώς η ίδια με τις προηγούμενες τεχνολογίες. Σε αυτή την τεχνολογία θα ανέβουν ακόμα περισσότερο τα όρια στάθμης σήματος γιατί το LTE σαν τεχνολογία έχει ακόμα μεγαλύτερη ευαισθησία. Τα νέα όρια είναι -99dBm για πλήρη κάλυψη εσωτερικών χώρων, ενώ για πλήρη κάλυψη των εξωτερικών χώρων είναι -99dBm έως -110dBm. Από εκεί και κάτω υπάρχει γενικά ανεπαρκής κάλυψη.



Εικόνα 42: Μετρήσεις 10 Σημείων Στο 4G (NetworkCellInfoLite)

Αυτό που φαίνεται από τις μετρήσεις είναι ότι υπάρχει πολύ κακή κάλυψη σε αυτή την τεχνολογία αφού πάρα πολλές μετρήσεις είναι πάνω από τα όρια που έχουμε θέσει ως ικανοποιητικά.

Πιο συγκεκριμένα και αν πάρουμε ένα σχετικά οριακό σημείο όπως το 10 θα δούμε ότι στο 1800MHz η εξωτερική στάθμη σήματος είναι στα -98dBm και σε κάποιο δύσκολο σημείο μπορεί αυτό να γίνει -100dBm που αμέσως μας φτάνει σε επίπεδα προβληματικής κάλυψης. Στην πράξη μόλις φτάσει αυτά τα επίπεδα κάλυψης το κινητό θα γυρίσει στα 800MHz και θα αποκτήσει ξανά πλήρη κάλυψη 4G. Επομένως ο χρήστης θα εξακολουθεί να έχει πλήρης υπηρεσία χωρίς προβλήματα.

Πλέον το 4G δεν χρησιμοποιείται μόνο για δεδομένα και τη σύνδεση στο διαδίκτυο αλλά και για κλήσεις φωνής, γνωστό και ως VoLTE (Voice Over LTE). Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, μιας κλήσης, εφόσον υπάρχουν δύο συχνότητες η συσκευή του χρήστη θα εναλλάσσεται μεταξύ μεσαίας και χαμηλής συχνότητας όποτε είναι απαραίτητο και ο χρήστης δε θα αντιμετωπίσει κανένα πρόβλημα, όπως για παράδειγμα θα γίνει στο 3G που δεν έχει έξτρα χαμηλή συχνότητα και αν φτάσει η στάθμη σήματος κάτω από -100 θα πέσει η κλήση.

Ο πίνακας 14 που ακολουθεί περιέχει τα συγκεντρωτικά στοιχεία κάλυψης της περιοχής βάση γεωγραφικών και πληθυσμιακών δεδομένων που έχουμε συλλέξει στην αρχή του κεφαλαίου.

Πίνακας 14: 4G Επίπεδο Κάλυψης Περιοχής

Area	Signal Level (dBm)					
Level	-80	-85	-90	-99	-110	Σύνολο
Καλλιθέα (Km <sup>2</sup> )	0	0,14	0,14	0,28	0,7	1,4
Καλλιθέα (%)	0	10	10	20	50	100
Κάτοικοι	0	710	710	1.420	3.550	7.100

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα τα αποτελέσματα δείχνουν να είναι πολύ άσχημα σε σχέση με το αναμενόμενο. Έτσι ενισχύεται και με πολύ πιο πρακτικό τρόπο ότι το να κλείσει ένας σταθμός βάσης θα δημιουργήσει αρκετά προβλήματα στην ποιότητα των υπηρεσιών που λαμβάνει ο χρήστης.

### 3.4 Προσομοίωση Switch On/Off & Άλλες Τεχνικές Απενεργοποίησης Σ/Β

Η εφαρμογή της μεθόδου Switch On/Off πρέπει να ακολουθεί ορισμένες αρχές σχεδιασμού για να έχουμε βέλτιστο αποτέλεσμα. Σε γενικές γραμμές, η γεωγραφική θέση των Σ/Β, η περιοχή κάλυψής τους, και η κίνηση που έχουν είναι τα βασικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την εφαρμογή της μεθόδου. [18]

Σύμφωνα με όσα είδαμε στα υποκεφάλαια 2.2 και 2.3 θα μπορούσαμε να απενεργοποιήσουμε τους Σ/Β της Καλλιθέας βάσει συγκεκριμένης απόστασης και να εξοικονομήσουμε ενέργεια. Αυτό βέβαια όπως είδαμε προϋποθέτει την ύπαρξη Σ/Β σε ίση απόσταση μεταξύ τους και η κατανομή τους στην περιοχή να είναι ιδανική. Πρακτικά αυτό δεν ισχύει γιατί στην περιοχή μας δεν έχουμε την τέλεια κατανομή, ούτε έχουμε σταθερή απόσταση μεταξύ Σ/Β και επομένως αν εφαρμόσουμε την τεχνική αυτούσια σίγουρα θα προκύψουν προβλήματα κάλυψης και ποιότητας. Για να το δούμε και στην πράξη η επόμενη εικόνα δείχνει πως γίνεται το δίκτυο της Cosmote της Καλλιθέας προσομοιώνοντας την τεχνική Switch On/Off.





Εικόνα 43: Σ/Β Μετά την Ενεργοποίηση του Switch On/Off

Διαπιστώνουμε ότι με την τεχνική αυτή και την απενεργοποίηση ολόκληρων Σ/Β από τη μια θα έχουμε μεγάλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά από την άλλη σίγουρα θα προκύψουν προβλήματα κάλυψης και ποιότητας στη περιοχή κάτι που δε θα θέλαμε.

Σύμφωνα με το υποκεφάλαιο 2.1 που κάναμε την παρουσίαση της τεχνικής είδαμε τις μεθόδους Cell Breathing & Cell Zooming στις οποίες όμως δε μπορούμε να στηριχτούμε για να ισοσκελίσουν την κάλυψη της περιοχής γιατί υπάρχουν Σ/Β που έχουν εμπόδια μπροστά τους όπως ψηλότερα κτήρια Πρόκειται για τα παραδείγματα που είδαμε στο 2.3.2. Άρα όσο και να αυξηθεί η κάλυψη κάποιον κυψελών (Cell Breathing) ή μειωθεί για εξασφάλιση της υπηρεσίας (Cell Zooming) δεν έχει καμία σημασία, γιατί ο χρήστης που θα βρίσκεται σε ένα σπίτι πίσω από το εμπόδιο του κτηρίου και στις δύο περιπτώσεις θα έχει προβλήματα κάλυψης. Έτσι αναγκαζόμαστε να δούμε και άλλες μεθόδους εξοικονόμησης ενέργειας που έχουν σαν βάση την τεχνική Switch On/Off.

Για αυτόν το λόγο σύμφωνα με τη βιβλιογραφία των Saker, Elayoubi και Scheck [19] έχουν προτείνει έναν τρόπο που μοιράζει την κίνηση του ενός Σ/Β μεταξύ 2G/3G και υπόσχεται έως και 10% εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς να προκύπτουν προβλήματα κάλυψης και ποιότητας. Αυτό που πρότειναν στην ουσία ήταν να μπει σε αναστολή μια από τις δύο τεχνολογίες και η κίνηση να μεταφερθεί στην άλλη. Εξάλλου και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούνται για φωνή καθώς πλέον το 4G είναι πολύ ανεπτυγμένο και χρησιμοποιείται κυρίως για Internet. Με αυτήν τη μελέτη απέδειξαν λοιπόν ότι τις ώρες που έχουμε χαμηλή

και σε κάποιες περιπτώσεις μεσαία κίνηση σε μια περιοχή η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα της κάλυψης [19]).

Σε επόμενη μελέτη της ίδιας ερευνητικής ομάδας ανέπτυξαν δύο νέες τεχνικές απενεργοποίησης Σ/Β. Η μια ως δυναμική απενεργοποιεί και ενεργοποιεί Σ/Β βάσει του στιγμιαίου αριθμού χρηστών στο κελί ανά λεπτό ενώ κατά τη δεύτερη ως ημι-στατική οι Σ/Β παραμένουν ενεργοί για αρκετά λεπτά ή ακόμα και ώρες κατά της ημέρας προκειμένου να μην ανοιγοκλείνουν συνέχεια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το δυναμικό μοντέλο απέδωσε καλύτερα σε ώρες υψηλής κίνησης και εξοικονομήθηκε περισσότερη ενέργεια σε σχέση με το ημι-στατικό. Τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας με χαμηλή κίνηση τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων ήταν παραπλήσια. [20])

Το 4G με τη σειρά του όντας η νεότερη τεχνολογία από τις τρεις (2G, 3G, 4G) και η πιο ανεπτυγμένη τεχνολογικά δεν δουλεύει όπως οι προκάτοχοί του. Για παράδειγμα στο 2G και 3G ακόμα και αν δεν υπάρχει καθόλου κίνηση θα πρέπει να εκπέμπονται κάποια σήματα έλεγχου από τους Σ/Β και τα τερματικά. Αυτόματα γίνεται δυσκολότερη η εξοικονόμηση ενέργειας και ο μόνος τρόπος για να επιτευχθεί αυτή είναι η τεχνική που είδαμε προηγουμένως, η απενεργοποίηση ολόκληρης της τεχνολογίας ή του Σ/Β. Αντίθετα το 4G λόγω της ασυνεχούς μετάδοσης, της ασυνεχούς λήψης και της πολυπλεξίας που χρησιμοποιεί (OFDM) θα μπορούσαν μερικοί μεμονωμένοι πομποδέκτες να απενεργοποιούνται όταν δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας [21]).

### **3.4.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων & Προτάσεις Εξοικονόμησης Ενέργειας**

Πολλές έρευνες και δημοσιευμένα άρθρα κάνουν λόγο για εξοικονόμηση ενέργειας από Σ/Β μέσω της στατικής μεθόδου, δηλαδή της πλήρους απενεργοποίησής τους είτε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, είτε μόνιμα. Γίνονται αναφορές και για δυναμική τεχνική, δηλαδή απενεργοποίηση Σ/Β ανάλογα την κίνηση που έχουν και τους χρήστες που εξυπηρετούν αλλά στο τέλος συγκρίνοντας τις δύο τεχνικές νικήτρια βγαίνει η πρώτη. Αυτό είναι λογικό γιατί κλείνοντας για ώρες ή μόνιμα ένα ολόκληρο Σ/Β η κατανάλωση ενέργειας πέφτει στο μηδέν ή σε πολλές περιπτώσεις στο ελάχιστο χωρίς να υπολογίζεται όμως ιδιαίτερα το QOS και η προσφερόμενη κάλυψη που προκύπτει.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [22]) η στατική μέθοδος απενεργοποίησης Σ/Β θα εξοικονομούσε πολύ ενέργεια κυρίως σε αγροτικές περιοχές που η απόσταση Σ/Β μεταξύ τους είναι μεγάλη και με αυτό το τρόπο θα έκλειναν σχεδόν όλοι. Αγνοώντας το QOS και την κάλυψη που θα ήταν πολλή κακή γίνεται λόγος για 100% μείωση της ενέργειας. [22])

Στις πόλεις όμως αν χρησιμοποιήσουμε την στατική τεχνική όπως είναι αυτή που μελετήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο θα διαπιστώσουμε ότι η εξοικονόμηση φτάνει το 50%, σύμφωνα με την εικόνα 43 που από 21 Σ/Β η Καλλιθέα έμεινε με 10. Το QOS και η κάλυψη ωστόσο μειώνεται αισθητά πολύ κάτι που δεν θέλουμε. Έτσι στις πόλεις φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την κάλυψη και το QOS με αποτέλεσμα να είναι πιο αποδοτική η δυναμική τεχνική. Σε αυτές τις περιπτώσεις όπως είδαμε προηγουμένως οι Σ/Β θα ανοιγοκλείουν συνέχεια κατά τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με την κίνηση που εξυπηρετούν. Με αυτόν το τρόπο η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φτάσει το 30%. Μπορεί να είναι μικρότερη αλλά θα υπάρχουν λιγότερα προβλήματα σε QOS και κάλυψη. [22]

Μετά την ανάλυση που κάναμε για τη τεχνική Switch On/Off αλλά και τις λίγο διαφορετικές μεθόδους που προτείνονται από τη βιβλιογραφία, θα μπορούσαμε βάσει του δικτύου της Καλλιθέας που επιλέξαμε να μελετήσουμε και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που κάναμε στην περιοχή, να προτείνουμε και εμείς μια τεχνική εξοικονόμησης ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα κατά τις μετρήσεις που κάναμε και σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΕΑΕ που έχουμε για το δίκτυο της Καλλιθέας διαπιστώσαμε ότι χρησιμοποιούνται 3 τεχνολογίες (2G, 3G, 4G). Βάσει του πίνακα 5 προηγουμένους έχουμε και τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται για κάθε τεχνολογία και στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τις υπηρεσίες για κάθε τεχνολογία:

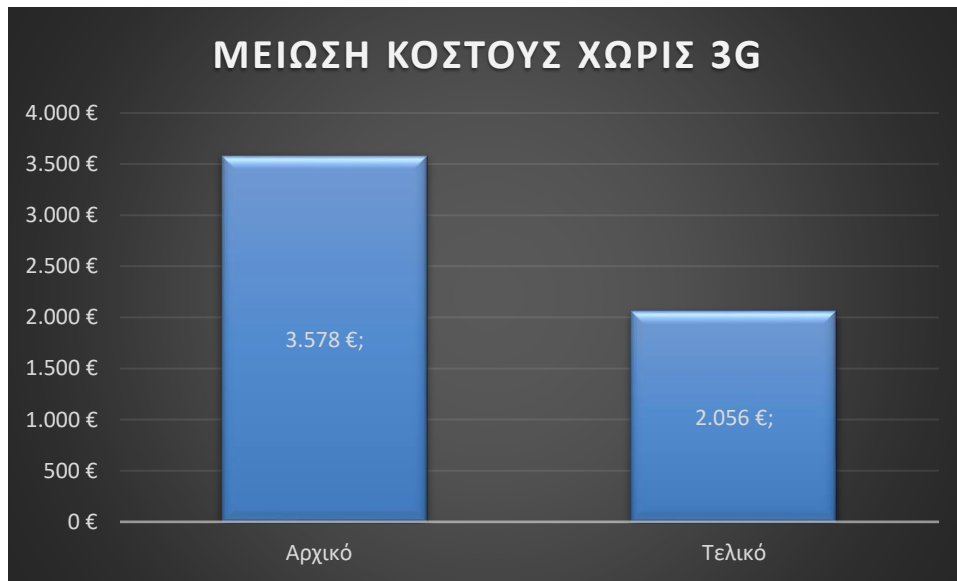
Πίνακας 15: Υπηρεσίες Τεχνολογιών

	2G	3G	4G
Φωνή	X	X	X
Διαδίκτυο		X	X

Όπως βλέπουμε στον πίνακα 14 οι υπηρεσίες φωνής περνούν και από τις 3 τεχνολογίες ενώ τα δεδομένα διαδικτύου μόνο από το 3G & το 4G. Στις μέρες μας το 4G είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο και ειδικότερα στην περιοχή της Καλλιθέας όπως είδαμε υπάρχει πλήρης κάλυψη 4G. Έτσι διαπιστώνουμε ότι θα μπορούσαμε να κλείσουμε τελείως το 3G και η κίνηση της φωνής να πάει στο 2G και στο 4G για τους VoLTE χρήστες. Η κίνηση των δεδομένων για το διαδίκτυο θα περάσει όλη στο 4G που έτσι και αλλιώς έχει πλήρη κάλυψη σε όλα τα σημεία της περιοχής.

Φυσικά καλό θα ήταν να δούμε πώς αυτό επιδρά στην εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Θεωρήσαμε ως δεδομένο ότι ο Σ/Β

3G απενεργοποιήθηκε η συχνότητα 3G στο σύνολο της. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

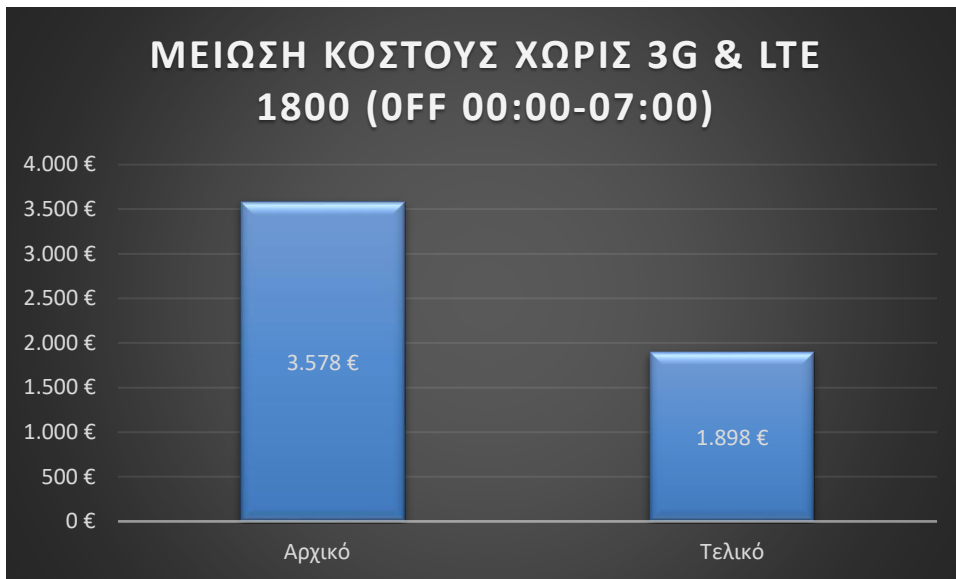


Εικόνα 44: Μείωση Κόστους Με την Απενεργοποίηση της τεχνολογίας 3G

Έχοντας απενεργοποιήσει ολόκληρη την τεχνολογία του 3G ας δούμε και μια πρόταση για τις τεχνολογίες 2G & 4G που απέμειναν. Πιο συγκεκριμένα, και σύμφωνα με τον πίνακα 14 οι δύο τεχνολογίες χρησιμοποιούν 2 παραπάνω επίπεδα συχνοτήτων από τον πάροχο. Πρόκειται για τις συχνότητες των 900MHz στο 2G και 800MHz στο 4G. Οι κύριοι λόγοι που ‘έχουν επιλεγεί είναι οι παρακάτω:

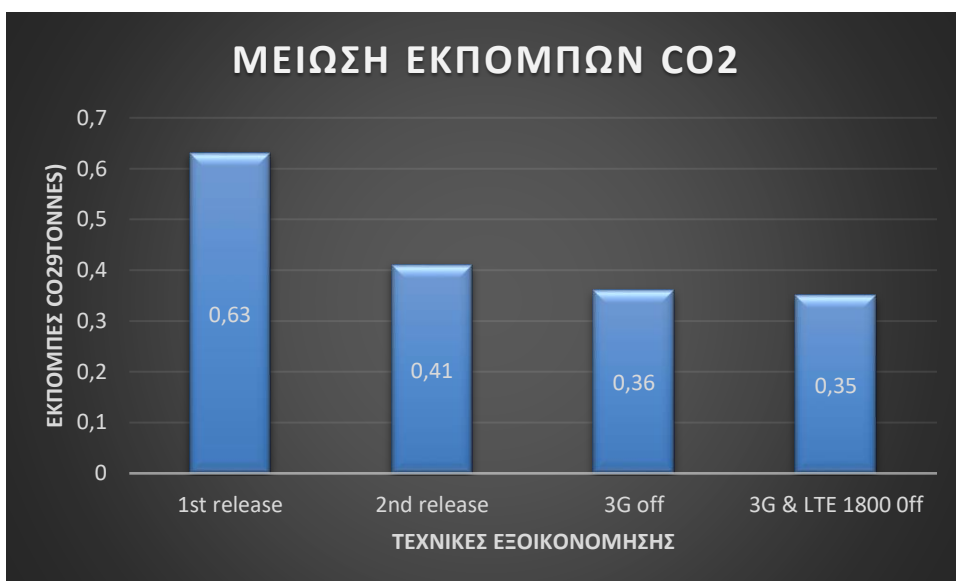
- Καλύτερη κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους και δύσκολα σημεία
- Μεγαλύτερη χωρητικότητα σε κάθε τεχνολογία
- Καλύτερες ταχύτητες Internet για το 4G (Carrier Aggregation μεταξύ δύο τεχνολογιών) [29]

Η πρόταση μας λοιπόν έχει να κάνει με την απενεργοποίηση του ενός επιπέδου συχνοτήτων και στις δύο τεχνολογίες κατά τις ώρες χαμηλής κίνησης των Σ/Β (π.χ βραδινές ώρες από τις 00:00 – 07:00). Αναλυτικότερα, θα μπορούσαμε να απενεργοποιήσουμε το επίπεδο των μεσαίων συχνοτήτων (1800MHz) και αυτό γιατί με έναν τέτοιο τρόπο δε θα χάσουμε κάλυψη σε κανένα σύστημα γιατί οι χαμηλές συχνότητες προσφέρουν καλύτερη κάλυψη σε σχέση με το 1800MHz. Επίσης λόγω χαμηλής κίνησης εκείνες τις ώρες δε θα αντιμετωπίσουμε προβλήματα χωρητικότητας και ούτε προβλήματα ταχύτητας στο 4G γιατί θα υπάρχουν πολλοί λιγότεροι χρήστες και άρα θα συνεχίσουν να έχουν αρκετά καλές ταχύτητες. Με αυτό το τρόπο διασφαλίζουμε πλήρη κάλυψη στην περιοχή και στα δύο συστήματα αλλά και εξοικονόμηση ενέργειας. Η γραφική απεικόνιση των όσων περιγράψαμε φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 45: Μείωση Κόστους Με την Απενεργοποίησης 3G & LTE1800MHz βραδινές ώρες.

Τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό είναι πώς καταφέραμε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τις προτάσεις μας να μειώσουμε το αποτύπωμα του κάθε σταθμού βάσης σε εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Το αποτέλεσμα φαίνεται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 46: Μείωση Εκπομπών διοξειδίου του Άνθρακα

Αν λοιπόν σε συνδυασμό με τις τεχνικές εξοικονόμησης που είδαμε στην προηγούμενη σελίδα προσθέσουμε και αυτήν την πρόταση καταλαβαίνουμε ότι μπορεί να μειωθεί κατά πολύ η κατανάλωση ενέργειας του δικτύου μας και αυτό αποτυπώθηκε και στα οικονομικά στοιχεία αλλά κυρίως στις εκπομπές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

---

## 4 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 4.1 Γενικά

Όπως έχουμε πει στα προηγούμενα κεφάλαια υπάρχουν μερικοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας που ήδη τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο από τους παρόχους κινητών τηλεπικοινωνιών με σκοπό τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι έχουν κάνει μεγάλα βήματα προόδου και τεχνολογικά αλλά και ενεργειακά. Ειδικότερα, σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε 3 τρόπους που βοηθούν στη μείωση κατανάλωσης ενέργειας από Σ/Β και ονομάζονται, RF-Sharing, BB Hoteling και Single Run.

### 4.2 Μέθοδος RF – Sharing

Ο όρος RF-Sharing σημαίνει Radio Frequency Sharing και μεταφράζοντάς τον καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για μια τεχνική κατά την οποία μία συχνότητα διαμοιράζεται. Πιο συγκεκριμένα, όπως ξέρουμε κάθε τεχνολογία λειτουργεί σε μια μπάνα συχνοτήτων, πχ στην Ελλάδα οι πάροχοι για το 2G χρησιμοποιούν τη μπάνα των 900MHz & 1800MHz. Σε αυτές τις μπάντες λοιπόν αν υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες που μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν χρησιμοποιούμε τον ίδιο εξοπλισμό από τον οποίον επανεκπέμπεται μια δεύτερη τεχνολογία.

Πιο συγκεκριμένα στη μπάνα των 1800MHz μαζί με το 2G στην χώρα μας υπάρχει και το 4G. Τι γινόταν λοιπόν όταν θέλαμε σε έναν Σ/Β με 3 κυψέλες 2G να προσθέσουμε 3 κυψέλες 4G; Χρησιμοποιούσαμε 3 ενισχυτές (Power Amplifiers) που δούλευαν στα 1800 MHz για το GSM και προσθέταμε άλλους 3 για το LTE. Σε έναν απλό Σ/Β 2G/4G δηλαδή χρειαζόμασταν 6 ενισχυτές για να δουλέψει σωστά, κάτι που σημαίνει παραπάνω κατανάλωση ενέργειας αλλά και παραπάνω υποστηρικτικό υλικό για αυτούς του ενισχυτές πχ μεγαλύτερα κλιματιστικά. Όλα αυτά μαζί μεταφράζονται σε ενέργεια.

Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη να μπορούν οι πάροχοι από τα ίδια μηχανήματα που εκπέμπουν το GSM 1800 να μπορούν να εκπέμπουν και το LTE 1800. Για αυτόν το λόγο δημιουργήθηκαν ενισχυτές που τους ονομάζουμε MCPA (Multi Carrier Power Amplifier) οι οποίοι μπορούν αν υποστηρίξουν τη λειτουργία του RF-Sharing και είναι πολύ πιο αποδοτικοί σε σχέση με τους υπόλοιπους [23].

Χαρακτηριστικά να πούμε ότι οι ενισχυτές που χρησιμοποιούνταν καταναλώνουν 80W για να εκπέμψουν μόνο GSM ή μόνο LTE και ας μην τα χρειάζονται όλα. Επομένως καταλαβαίνουμε ότι για έναν Σ/Β με 3 κυψέλες 2G και 3 4G θα χρειαζόμασταν 6 ενισχυτές που στο σύνολό τους φτάνουν τα 480W συνολικά. Σε αυτό το νούμερο πρέπει να προσθέσουμε και την κατανάλωση από κλιματιστικά, BBU κοκ, κάτι που σημαίνει ότι το νούμερο μεγαλώνει και η κατανάλωση αυξάνεται. Με τους MCPA ενισχυτές όμως, το νούμερο αυτό πέφτει στο μισό και συγκεκριμένα στα 240W, καθώς πλέον χρησιμοποιούνται 3 και όχι 6 ενισχυτές, Αυτό γίνεται γιατί ο ένας MCPA ενισχυτής είναι 100% αποδοτικός και αυτά τα 80W τα χρησιμοποιεί όλα για να εκπέμψει 2G και 4G ταυτόχρονα. Επίσης με αυτό τον τρόπο και εφόσον μειώνονται οι μονάδες μειώνονται και οι περιφερειακές καταναλώσεις καθώς χρειαζόμαστε λιγότερα κλιματιστικά ή πιο απλά BBU.

Όσον αφορά το RF κομμάτι, δηλαδή τους ενισχυτές, μια πρακτική είναι αυτή του RF-Sharing που όπως είδαμε μειώνει σίγουρα στο μισό τις καταναλώσεις των ενισχυτών. Στη συνέχεια, θα δούμε και τη μέθοδο που ακολουθούν οι πάροχοι, ώστε να μπορέσουν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και στο BaseBand κομμάτι των Σ/Β με την τεχνική του BBU Hoteling.

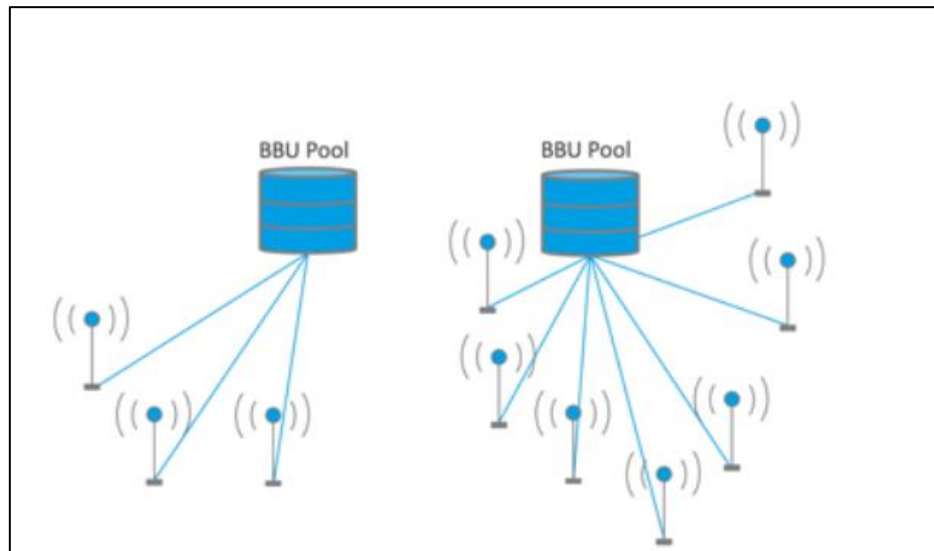
### 4.3 Μέθοδος BBU Hoteling

Μια ακόμα πηγή μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας στους Σ/Β είναι η μονάδα του Baseband. Αυτή η μονάδα όπως έχουμε δει στα προηγούμενα κεφάλαια είναι ο συνδετικός κρίκος του Fronthaul δικτύου με το Backhaul δίκτυο. Η δουλειά της είναι η ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων πριν σταλούν και όταν ληφθούν σε έναν Σ/Β. Είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία και απαιτεί αρκετή ενέργεια. Τα τελευταία δύο χρόνια έχουν ξεκινήσει στη χώρα μας οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών να χρησιμοποιούν μια μέθοδο με την οποία μειώνουν αισθητά τα έξοδά τους αλλά και την κατανάλωση ενέργειας από τα BBU των Σ/Β και ονομάζεται BBU Hotelling. Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικότερα στοιχεία της τεχνικής αυτής.

Ένας συνηθισμένος Σ/Β, όπως ξέρουμε από τα προηγούμενα κεφάλαια, αποτελείται από πολλά μέρη (ιστός, κεραίες, καλώδια, RRU, BBU κ.ο.κ.) τα οποία είναι όλα συγκεντρωμένα στο ίδιο σημείο. Όλες οι μονάδες που χρειάζονται λοιπόν για να λειτουργήσει ένας Σ/Β συγκεντρώνονται σε μια μοναδική θέση. Αυτό γίνεται για κάθε Σ/Β του δικτύου. Στις μέρες μας, όμως, λόγω της ανάγκης μείωσης του κόστους Σ/Β και ενέργειας αυτό παύει να ισχύει και υιοθετείται από τους παρόχους η μέθοδος του Hotelling [24]).



Κατά τη μέθοδο αυτή τα μηχανήματα και κυρίως οι BBU τοποθετούνται - συγκεντρώνονται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του δικτύου και συνδέονται με τα RRU των Σ/Β μέσω οπτικών ινών. Για παράδειγμα, μπορώ να έχω συγκεντρώσει σε μία θέση 3 BBU και να μοιράζονται αυτά σε 5 και 6 Σ/Β τριγύρω. Πρόβλημα απωλειών δε θα υπάρχει λόγω του ότι η σύνδεση γίνεται μέσω οπτικών ινών που ξέρουμε ότι έχουν μηδαμινές απώλειες [24].



Εικόνα 47: Σχηματικό BBU Hotelling

Με αυτόν τον τρόπο οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών έχουν πολλαπλά οφέλη σε διαχειριστικά κόστη αλλά κυρίως σε κατανάλωση ενέργειας. Πιο συγκριμένα, και σύμφωνα με το προηγούμενο παράδειγμα αν με τους 6 Σ/Β θα θέλαμε 6 BBU με τη μέθοδο του Hotelling χρησιμοποιούμε 3 ή ακόμα και 2 αν οι Σ/Β έχουν σχετικά χαμηλή κίνηση. Τα πόσα BBU θα χρησιμοποιήσουμε για πόσους Σ/Β εξαρτάται πάντα από την ανάγκη κίνησης που έχουν οι ίδιοι οι Σ/Β. Καταλαβαίνουμε ότι το κόστος και η κατανάλωση μειώνονται στο μισό και παραπάνω μόνο από τα BBU. Αν σε αυτή τη μείωση προσθέσουμε ότι χρειαζόμαστε μια κλιματιστική μονάδα ανά θέση συγκέντρωσης BBU και όχι σε κάθε θέση Σ/Β ξεχωριστά και ότι η συντήρηση γίνεται πολύ πιο εύκολα τα κέρδη εκτοξεύονται.

Πέρα από τα κέρδη της εξοικονόμησης σε χρήμα και κατανάλωσης ενέργειας που έχει ένας πάροχος εφαρμόζοντας αυτή την τεχνική υπάρχουν και τεχνικά κέρδη που προκύπτουν. Είναι γνωστό ότι το QOS που παρέχεται στους συνδρομητές εξαρτάται από τον τρόπο που γίνεται η επεξεργασία των ψηφιακών σημάτων. Ειδικότερα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του BBU Hotelling αυξάνεται κατά μεγάλο ποσοστό το QOS του δικτύου, καθώς πλέον δύο και τρεις Σ/Β συνδέονται με το ίδιο BB, γίνονται πολύ πιο εύκολα και γρήγορα τα Handovers, έχει μειωθεί το Latency και έχουμε αποδοτικότερη χρήση του φάσματος με τους χρήστες που

βρίσκονται στο Cell Edge (όρια κάλυψης κυψέλης) να έχουν καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας [24]).

Όπως είδαμε πρόκειται για μια τεχνική πολύ ενδιαφέρον με πολλαπλά οφέλη για τον πάροχο, τον συνδρομητή και το περιβάλλον.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

---

## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία καταλήγουμε σε κάποια συμπεράσματα. Αναλύσαμε την τεχνική Switch On/Off Base Station σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και προσπαθήσαμε πέρα από το θεωρητικό κομμάτι της τεχνικής αυτής να την εφαρμόσουμε και σε ένα πραγματικό δίκτυο στη χώρα μας. Αυτή η δοκιμή είχε σκοπό να δούμε πως συμπεριφέρεται η τεχνική σε ένα πραγματικό δίκτυο, ποιοί κίνδυνοι υπάρχουν και πως διαμορφώνεται η κάλυψη και η χωρητικότητα ενός δικτύου.

Είναι γνωστό ότι ως επί το πλείστον οι μελέτες που γίνονται για εξοικονόμηση ενέργειας παρουσιάζουν πάντα το ιδανικό σενάριο. Στην πραγματικότητα εφαρμόζοντας τέτοιου είδους τεχνικές τα αποτελέσματα δεν μπορεί να είναι ίδια με αυτά που παρουσιάζονται στο εργαστήριο ή στη θεωρία. Σίγουρα θα έχουμε κάποια αποτελέσματα προς τη σωστή κατεύθυνση αλλά δεν θα είναι τα ίδια σε σχέση με ένα πραγματικό δίκτυο που δεν υπάρχει σχεδόν ποτέ το ιδανικό σενάριο.

Όπως είδαμε σε ένα αληθινό δίκτυο υπάρχουν διάφορα ζητήματα όπως είναι τα πολεοδομικά, ρυμοτομικά και της αυξημένης κίνησης προβλήματα τα οποία είναι οι κύριες αιτίες που δεν αφήνουν να εφαρμοστεί το ιδανικό σενάριο. Ανατρέχοντας στην αποδόμηση της τεχνικής του Switch On/Off Base Station θα δούμε ότι ενώ η τεχνική είναι σωστά δομημένη και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αναμέναμε να δούμε σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα τελικά αυτό δε κατέστη εφικτό. Από τη μία είδαμε πραγματική μείωση κατανάλωσης ενέργειας στο δίκτυο της Καλλιθέας, κάτι που ήταν ο απώτερος σκοπός μας, από την άλλη όμως με την απενεργοποίηση των Σ/Β προέκυψαν προβλήματα κάλυψης στην περιοχή. Όσον αφορά το κομμάτι της χωρητικότητας μπορούμε να πούμε ότι δεν υπήρξε πρόβλημα. Κοντολογίς, το πρόσημο της αποτίμησης για την τεχνική του Switch On/Off Base Station δεν είναι ιδιαίτερα θετικό και αυτό γιατί μπορεί να μειώθηκε η κατανάλωση ενέργειας και να μην προέκυψε πρόβλημα στο κομμάτι της χωρητικότητας αλλά η κάλυψη είναι το σημαντικότερο κομμάτι και κάτι που ποντάρουν πολύ οι πάροχοι.

Η μέθοδος είναι προς τη σωστή κατεύθυνση αλλά θέλει δουλειά ακόμα όπως για παράδειγμα να μειωθεί η απόσταση μεταξύ των Σ/Β που απενεργοποιούνται από τη μέθοδο ή να μπορέσει να εφαρμοστεί ανά τεχνολογία και όχι σε ολόκληρο τον Σ/Β, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3.2.1. Κατά τη δεύτερη περίπτωση θα έχουμε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά το σημαντικότερο είναι ότι η κάλυψη για τις κύριες τεχνολογίες 2G/4G δεν θα επηρεαστεί καθόλου.

Προς το παρόν οι πάροχοι ως επί των πλείστων χρησιμοποιούν τις τεχνικές του RF-Sharing και BBU Hotelling που τους προσφέρουν κέρδη και στο κόστος συντήρησης αλλά και στην κατανάλωση ενέργειας. Είναι δύο τεχνικές οι οποίες δύσκολα θα βγουν από τη στρατηγική των παρόχων λόγω του ότι προσφέρουν πολλαπλά κέρδη ακόμα και στο QOS του δικτύου.

Είναι σημαντικό επίσης να προχωρήσουν διαδικασίες έτσι ώστε οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας να εντάξουν στους σταθμούς βάσης ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την ηλεκτροδότηση. Είναι κάτι που θα μας απασχολήσει τα επόμενα χρόνια γιατί οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί πάρα πολύ. Ειδικά στις τηλεπικοινωνίες και στους σταθμούς βάσης φαίνεται ότι θα προστίθενται ολοένα και περισσότερες τεχνολογίες. Το 5G ξεκίνησε. Αυτό από μόνο του προσθέτει μεγαλύτερη ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι επιτακτικό να εξεταστεί εκτός από τη μείωση της απαιτούμενης ισχύος και η προέλευση της. Ανάλογα με το μέρος που βρίσκεται ένα σταθμός βάσεις θα πρέπει να μπορεί να τροφοδοτηθεί με φωτοβολταϊκά ή ανεμογεννήτριες. Αυτό δεν θα εκμηδενίσει την ανάγκη για παροχή

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- 1) “*Climate change 2007, The physical science basis: summary for policymaker*”, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 2007
- 2) “*The state of food insecurity around the world. Eradicating hunger – Key to achieving the Millennium Development Goals*”, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2005
- 3) Confalonieri U & Parry ML, “*Climate change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability*”, Cambridge University Press, Cambridge 2007
- 4) George Koutitas & Panagiotis Demestichas, “*A Review of Energy Efficiency in Telecommunication Networks*”, Members IEEE, Telfor Journal, Vol. 2, No. 1, 2010
- 5) Kimio Watanabe & Mamoru Machida, *Outdoor*, “*LTE Infrastructure Equipment (eNodeB)*”, Developers of LTE Wireless Base Station Equipment, Fujitsu Sci., Vol.48, No. 1, 2012
- 6) Yang Bo, “*Equipment in the LTE Network*”, CTTL-System, CAICT – ITU, Dept. of Wireless Technology, Beijing, P.R.China
- 7) *Ericsson Radio System Hardware Roadmap\_Q4\_2016\_COSMOTE*, Ericsson, 2016 Roadmap, Radio Portfolio
- 8) Mohammed H. Alsharif, Jeong Kim & Jin Hong Kim, “*Green and Sustainable Cellular Base Stations*”, Department of Electrical Engineering, College of Electronics and Information Engineering, Sejong University, Seoul, Korea, 2017
- 9) “*RAN Energy Efficiency Roadmap Q1 2018*”, Nokia, Έσποο, Φινλανδία, 2017
- 10) “*MoP Configuring RBS 6201 GSM with RUS*”, Ericsson, Στοκχόλμη, Σουηδία, 2011
- 11) “*Ericsson Radio Portfolio Update\_Roadmap Q2-17\_Rev*”, Ericsson, Στοκχόλμη, Σουηδία, 2017
- 12) “*Hardware Evolution RAN Roadmap update Q3/2015*”, Ericsson, Στοκχόλμη, Σουηδία, 2015
- 13) “*Digital Unit Description*”, Ericsson, Στοκχόλμη, Σουηδία, 2010
- 14) “*Power Consumption Guideline for RBS 6000*”, Ericsson, Στοκχόλμη, Σουηδία, 2012
- 15) Dexter Johnson, “*The 5G Dilemma: More Base Stations, More Antennas—Less Energy?*” IEEE, 2018

- 16) M. Deruyck, W. Vereecken, E. Tanghe et al., “Power consumption in wireless access networks”, *Proceedings of the European Wireless Conference (EW'10)*, April 2010
- 17) Yong-Hoon Choi, Jungerl Lee, Juhoon Back, Suwon Park, Young-uk Chung, and Hyukjoon Lee, “Energy Efficient Operation of Cellular Network Using On/Off Base Stations”, School of Electronics and Information Engineering, Kwangwoon University, Republic of Korea, March 2015
- 18) A. Baumgartner and T. Bauschert, “Greening cellular radio access networks: A numerical method for the selection of detachable base stations in low traffic scenarios,” in Proc. 24th TIWDC - Green ICT, Σεπτέμβριος 2013, σελ. 1-6
- 19) L. Saker, S. Elayoubi, and H. Scheck, “System selection and sleep mode for energy saving in cooperative 2G/3G networks,” in Proc. IEEE 70<sup>th</sup> VTC-Fall, Anchorage, AK, ΗΠΑ, Ιανουάριος 2009, σελ. 1-5
- 20) L. Saker, S. Elayoubi, and T. Chahed, “Minimizing energy consumption via sleep mode in green base station,” in Proc. IEEE WCNC, Sydney, NSW, Αυστραλία, Απρίλιος 2010, σελ. 1-6
- 21) R. Kumar and J. Gurugubelli, “How green the LTE technology can be?” in Proc. 2nd Int. Conf. Wireless VITAE, Chennai, Ινδία, Μάρτιος 2011, σελ. 1–5.
- 22) Jingjin Wu, Yujing Zhang, Moshe Zukerman and Edward Kai-Ning Yung, “Energy-Efficient Base-Stations Sleep-Mode Techniques in Green Cellular Networks: A Survey”, Article in IEEE Communications Surveys & Tutorials, Απρίλιος 2015
- 23) Nokia Siemens Network “Introducing LTE with maximum reuse of GSM assets”, 2011
- 24) Nicola Carapellese, “BaseBand Unit Hotelling Architectures for Fixed-Mobile Converged Next-Generation Access and Aggregation Networks”, Chapter 2, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Πληροφορικής και Βιοτεχνολογίας, Πολυτεχνείο Μιλάνου, 2015

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- 25) <https://www.eea.europa.eu/el/themes/climate/intro>
- 26) <http://www.fao.org/docrep/008/a0200e/a0200e00.htm>
- 27) <https://eeae.gr/επιτόπιες-μετρήσεις-ηλεκτρομαγνητικών-πεδίων>
- 28) Network Cell Info Lite - Mobile & WiFi Signal - Εφαρμογές στο Google Play
- 29) <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>