Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας

για τις κινητές επικοινωνίες 5ης γενίας

Κωνσταντίνος Κουμαράκης

Αρκιλέ Δάμο

Εργασία στο μάθημα

Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων

Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2022

Contents

[1. Εισαγωγή 2](#_Toc99280028)

[2. Τεχνικές ενεργειακής απόδοσης στο 5G 4](#_Toc99280029)

[3. Σύνοψη 7](#_Toc99280030)

[4. Βιβλιογραφία - αναφορές 7](#_Toc99280031)

**Περίληψη  ⎯  Η κατανάλωση ενέργειας στον τηλεπικοινωνιακό χώρο, καθώς και η συνεπαγόμενη ρύπανση γίνονται μείζονες λειτουργικές και οικονομικές ανησυχίες. Οι εκθετικές αυξήσεις στην κίνηση του δικτύου και ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών καθιστούν την ενεργειακή απόδοση όλο και πιο σημαντική για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας του (εγγύς) μέλλοντος. Βρισκόμαστε σε μια εποχή όπου το 5G αναπτύσσεται ραγδαία πλέον φέρνοντας νέες προκλήσεις σχετικά με την ενεργειακή απόδοση καθώς** **αυξάνεται ο αριθμός κεραιών στο 5G και σαν συνέπεια αναμένεται αύξηση και της κατανάλωσης ενέργειας. Η ενεργειακή απόδοση ωστόσο είναι σημαντική για τη «πράσινη» λειτουργία του δικτύου στηρίζοτας παράλληλα ως επί το πλείστον πολλές βιομηχανίες να επιτύχουν στόχους βιωσιμότητας. Ως αποτέλεσμα τα δίκτυα 5G στοχεύουν έως και 90% μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση από τα δίκτυα 4G[1]. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορες ενεργειακά αποδοτικές τεχνικές 5G, όπως η βελτιστοποίηση του μεγέθους της κυψέλης και η ασυνεχής εκπομπή λήψη (Discontinuous transmission/reception).**

1. Εισαγωγή

Η μείωση της χρήσης ενέργειας από το κλάδο των τηλεπικοινωνίων είναι απαραίτητη πλέον καθώς το 2% με 3% παγκοσμίως καταναλώνεται από αυτό το κλάδο. Ήδη πολλές κυβερνήσεις έχουν αναθέσει στις επιχειρήσεις να τηρήσουν τα μέτρα ενέργειας, όπως για παράδειγμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) με το πρόγραμμα ένεργειας του 2030 όπου έχουν ως στόχο την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σκοπεύουν σε μείωση έως και 50% πριν το 2030 [2].

Η αυξανόμενη χρήση τεχνολογιών όπως το cloud computing και η κινητή συνδεσιμότητα υποστηρίζει νέες εμπειρίες σε κάθε πτυχή της επιχειρηματικής και προσωπικής ζωής, αλλά είναι σημαντικό αυτά τα οφέλη να μπορούν να παραδοθούν χωρίς καμία επιζήμια επίδραση στο περιβάλλον. Οι εθνικές και διεθνείς πολιτικές στοχεύουν σε μια δραματική αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και μια απότομη στροφή από τα ορυκτά καύσιμα σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, ο άνεμος και το νερό. Αυτό θα συνεπάγεται μια εντελώς νέα προσέγγιση στη χρήση της ενέργειας, η οποία πρέπει να υιοθετηθεί από κάθε κλάδο και άτομο [3].

Σήμερα, ο κλάδος των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) (Information and Communication Technology) αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και ρυπαίνει το περιβάλλον [4]. Πράγματι[5]:

* Οι ΤΠΕ χρησιμοποιούν περίπου το 4% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα και αναμένεται να φτάσουν το 10% έως 20% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το 2030.
* Ο κλάδος των ΤΠΕ έχει τις ίδιες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα με τον κλάδο των αερομεταφορών.
* Η εκθετική αύξηση των δεδομένων θα οδηγήσει σε ακόμη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

Η ρύθμιση της κατανάλωσης ενέργειας είναι ένας από τους πέντε πυλώνες της Στρατηγικής της Ενεργειακής Ένωσης [2] για τη χωρίς αποκλεισμούς και βιώσιμη απασχόληση και την παράλληλη ανάπτυξη. Η ΕΕ έχει υπογραμμίσει νωρίς την ανάπτυξη μιας βιώσιμης ολοκληρωμένης ευρωπαϊκής πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια ως κορυφαία προτεραιότητα και ενέκρινε μια δέσμη μέτρων για την ενέργεια και το κλίμα που θα οδηγεί την ΕΕ προς μια ανταγωνιστική και ασφαλή ενεργειακή οικονομία, ενώ παράλληλα προωθεί την εξοικονόμηση ενέργειας και τις φιλικές προς το κλίμα πηγές ενέργειας [6].

Από την εισαγωγή του "1G" πριν από περισσότερα από 30 χρόνια, μέχρι σήμερα με το ευρέως χρησιμοποιούμενο "4G" και το ντεμπούτο του "5G", πολλά έχουν αλλάξει και κυρίως στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι εργάζονται, ζουν και παίζουν.

Μετά το 4G, η νέα γενιά είναι εδώ και αυτή είναι, το 5G, η πέμπτη γενιά τηλεπικοινωνιών. Το 5G επιτρέπει: [7]

* 1000 φορές μεγαλύτερη ικανότητα μετάδοσης δεδομένων
* 10 έως 100 φορές περισσότερα συνδεδεμένα αντικείμενα
* 5 φορές περισσότερη ανταπόκριση (5 times more responsiveness)
* Εξοικονόμηση ενέργειας 90%.
* Παντού η ίδια αποτελεσματικότητα (Everywhere the same efficiency)

Η φιλοδοξία του 5G είναι να αυξήσει τη χρήση, την ταχύτητα και τις υπηρεσίες των τηλεπικοινωνιών με παράλληλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή η πτυχή όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση είναι ιδιαίτερα σημαντική στο σημερινό περιβάλλον, στο οποίο ο πλανήτης πρέπει να αντιμετωπίσει την κλιματική αλλαγή, τη σπατάλη ενέργειας και υλικών, τη ρύπανση και πολλά άλλα ζητήματα.

Η πέμπτη γενιά τηλεπικοινωνιών αντιπροσωπεύει μια εξέλιξη των σημερινών συστημάτων αλλά και μια επανάσταση για την ικανοποίηση των νέων αναγκών καινοτόμων υπηρεσιών όπως έξυπνων σπιτιών/κτιρίων, έξυπνων πόλεων, επαυξημένης πραγματικότητας, βιομηχανικών αυτοματισμών, τηλε-ιατρικής κ.λπ. Η κύρια ιδέα πίσω από το 5G είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου, παρά τις αυξημένες ανάγκες των υπηρεσιών λόγω της χρήσης του για αυτούς τους κλάδους και τη γενική αύξηση της κατανάλωσης δεδομένων από χρήστες παγκοσμίως. Για την πλήρη ανάπτυξη του 5G, πρέπει να εφαρμοστεί μια υποδομή για σταθμούς βάσης και μικρές κυψέλες, όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Χρησιμοποιεί ουσιαστικά το 5G και μεγαλύτερες συχνότητες που εξασθενούν γρήγορα και άρα έχουν μικρή κάλυψη, δημιουργώντας την ανάγκη για τοποθέτηση ενός μαζικού αριθμού από κεραίες για την κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής. H εικόνα μας δείχνει επίσης ότι έχουμε ένα ετερογενές περιβάλλον (Heterogeneous network) με πολλές διαφορετικές σε χαρακτηριστικά και δυνατότητες κεραίες.

****

**Εικόνα 1.** Υποδομές 5G (Πηγή ETSI EE/EE2 power)

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε πως οι κεραίες μεταξύ τους επικοινωνούν. Από την Macro cell (Massive MIMO) όπου είναι σταθμός βάσης, πηγαίνουμε στα σταθερά σημεία σύνδεσης (FWA), σε μικρότερες βάσεις-σταθμούς, και στα Pico Cell όπου εκμεταλλεύονται επίσης Massive MIMO τεχνικές. Όλα αυτά δίνουν την δυνατότητα για όλα τα έξυπνα αντικείμενα μιας πόλης, όπως ένα έξυπνο σπίτι, ένα έξυπνο αυτοκίνητο, ακόμα και έξυπνες λάμπες στον δρόμο, να συνδεόνται με το δίκτυο χωρίς προβλήματα και με όσο χαμηλότερη ισχύ γίνεται.

Οι ακόλουθες πτυχές της ανάπτυξης 5G είναι οι κύριοι παράγοντες που αναμένεται να οδηγήσουν σε υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας (έως και 1000 φορές περισσότερη ενέργεια)[8]:

* Πιο πυκνή υποδομή σταθμού βάσης από τη σημερινή υποδομή: από 4/8 κεραίες έως 64/128 κεραίες.
* Η χρήση πυκνότερων δικτύων: από ένα ομοιογενές δίκτυο με 1-3 BSs/ 1km² προς HetNets (Heterogeneous network) με 10-100 κόμβους/ 1km²
* Χρήση υψηλότερων συχνοτήτων: από 100 MHz έως 5 GHz.
* Η ανάγκη για μεγαλύτερες δυνατότητες αποθήκευσης.

Η κατανάλωση ενέργειας αποτελεί μεταξύ 20%- 40% του OPEX (Operational Expenditure) δικτύου και υπάρχουν δύο αντίθετες «απόψεις» για το πώς θα εξελιχθεί αυτό για το 5G. Ορισμένοι επισημαίνουν ότι δεν υπάρχει συνολική καθαρή αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας των δικτύων 5G λόγω του πιο αποδοτικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούν. Από την άλλη πλευρά, άλλοι πιστεύουν ότι η κατανάλωση ενέργειας των ασύρματων δικτύων θα έχει μια μείωση και επειτα θα αυξηθεί και πάλι. Ωστόσο, όσο αυξάνεται η κίνηση δεδομένων 5G τόσο αυξάνεται και η κατανάλωση ενέργειας.

Ως εκ τούτου, η ενεργειακή απόδοση και οι μέθοδοι μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας έχουν γίνει ένα επίκαιρο και σημαντικό θέμα στα σημερινά συνέδρια και στη βιβλιογραφία.

1. Τεχνικές ενεργειακής απόδοσης στο 5G

Το 5G παρέχει κάποιες εγγενείς ενεργειακές βελτιώσεις σε σύγκριση με προηγούμενες γενιές κινητής τεχνολογίας. Αυτό περιλαμβάνει βελτιωμένη διαχείριση ενέργειας σε επίπεδο εξοπλισμού, νέες λύσεις τοποθέτησης, όπως η υγρή ψύξη, για τη μείωση της ανάγκης για κλιματισμό και η ευέλικτη χρήση πόρων όπως το φάσμα. Η ενεργειακή απόδοση των δικτύων 5G αναμένεται να αυξηθεί 100 φορές από 1000 mW/Mbps/s σε 10 mW/Mbps/s στο μέλλον, όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες ενότητες[9].

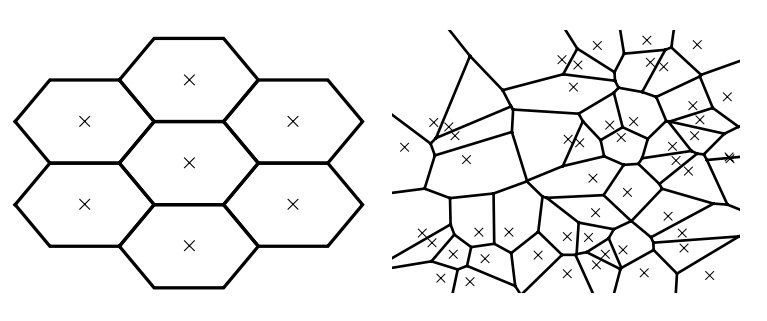
Οι κυριότερες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα 5ης γενιάς κινητών επικοινωνιών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. **Ενεργειακά αποδοτική κατανομή των πόρων:** Καθώς η ενεργειακή απόδοση έχει αναδειχθεί ως βασικός δείκτης απόδοσης για τα δίκτυα 5G, έχει ξεκινήσει μια αλλαγή παραδείγματος από τις επικοινωνίες που στοχεύουν στην μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση (throughput) σε εκείνες που στοχεύουν στην μεγαλύτερη δυνατή ενεργειακή απόδοση. Με άλλα λόγια, οι ραδιοφωνικοί πόροι ενός συστήματος επικοινωνίας δεν θα πρέπει πλέον να βελτιστοποιούνται αποκλειστικά για να μεγιστοποιούν την ποσότητα των πληροφοριών που μεταδίδονται αξιόπιστα, αλλά μάλλον την ποσότητα των πληροφοριών που μεταδίδονται αξιόπιστα ανά Joule καταναλωμένης ενέργειας. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα κατανομής πόρων, αυτό απαιτεί τη χρήση νέων μαθηματικών εργαλείων ειδικά προσαρμοσμένων στη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης.
2. **Ενεργειακά αποδοτικός σχεδιασμός και ανάπτυξη δικτύου:** Προκειμένου να αντιμετωπιστεί ο τεράστιος αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών, έχουν προταθεί αρκετές τεχνολογίες για την ανάπτυξη και τη λειτουργία των δικτύων 5G.
   1. **Πυκνά δίκτυα**: Η ιδέα των πυκνών δικτύων είναι να αντιμετωπίσουμε τον εκρηκτικά αυξανόμενο αριθμό συσκευών που εξυπηρετούν αυξάνοντας τον όγκο του εξοπλισμού υποδομής που έχει αναπτυχθεί. Δύο βασικά είδη πύκνωσης δικτύων αποκτούν δυναμική και εμφανίζονται ως πολύ ισχυροί υποψήφιοι για την υλοποίηση δικτύων 5G.
      1. **Πυκνά ετερογενή δίκτυα (Heterogeneous Networks, HetNets)**: Σε αντίθεση με τα δίκτυα 4ης γενιάς που χωρίζουν ομοιόμορφα μια μακρο-κυψέλη σε ένα σχετικά μικρό αριθμό μικρότερων περιοχών που η καθεμία καλύπτεται από έναν μικρό σταθμό βάσης (small cell), τα πυκνά ετερογενή δίκτυα αυξάνουν δραστικά τον αριθμό των κόμβων υποδομής ανά μονάδα επιφάνειας.

Ένας πολύ μεγάλος αριθμός ετερογενών κόμβων υποδομής που κυμαίνονται από macro BS έως femto-cells και relays αναπτύσσονται ευκαιριακά και ενεργοποιούνται με τρόπο που βασίζεται στη ζήτηση, οδηγώντας έτσι σε μια διάταξη δικτύου ακανόνιστου σχήματος όπως αυτή που φαίνεται στην εικόνα 2.

Από άποψη ενεργειακής απόδοσης, η πυκνότητα κόμβου μειώνει τις (ηλεκτρικές ή/και φυσικές) αποστάσεις μεταξύ των τερματικών επικοινωνίας, οδηγώντας έτσι σε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και σε χαμηλότερη ισχύ μετάδοσης.

* + 1. **Massive MIMO**: Εάν η ιδέα των πυκνών δικτύων είναι να πυκνώσει ο αριθμός των κόμβων υποδομής, η ιδέα του μαζικού MIMO είναι να πυκνώσει τον αριθμό των αναπτυγμένων κεραιών. Στο μαζικό MIMO, οι συμβατικές συστοιχίες με λίγες μόνο κεραίες που τροφοδοτούνται από ογκώδη και ακριβό εξοπλισμό αντικαθίστανται από εκατοντάδες μικρές κεραίες που τροφοδοτούνται από ενισχυτές και κυκλώματα χαμηλού κόστους.



**Εικόνα 2.** Πυκνά ετερογενή δίκτυα.

1. **Συγκομιδή και μεταφορά ενέργειας:** Η συλλογή ενέργειας από το περιβάλλον και η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια αναδεικνύεται ως μια ελκυστική δυνατότητα για τη λειτουργία συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας. Πράγματι, αν και αυτή η προσέγγιση δεν μειώνει άμεσα την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος, επιτρέπει στα ασύρματα δίκτυα να τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες και καθαρές πηγές ενέργειας. Δύο κύρια είδη συλλογής ενέργειας έχουν προκύψει μέχρι στιγμής στο πλαίσιο των ασύρματων επικοινωνιών.
   1. **Συγκομιδή περιβαλλοντικής ενέργειας.** Αυτή η τεχνική αναφέρεται στη συλλογή καθαρής ενέργειας από φυσικές πηγές, όπως π.χ ήλιος και αέρας.
   2. **Συλλογή ενέργειας ραδιοσυχνοτήτων (RF energy harvesting)**. Αυτή η τεχνική αναφέρεται στη συλλογή ενέργειας από τα ραδιοσήματα πάνω στον αέρα, επιτρέποντας έτσι την ανακύκλωση της ενέργειας που αλλιώς θα σπαταληθεί. Σε αυτό το πλαίσιο, σήματα παρεμβολής παρέχουν μια φυσική πηγή ηλεκτρομαγνητικής ισχύος.
2. **Λύσεις υλικού:** Οι ενεργειακά αποδοτικές λύσεις υλικού αναφέρονται σε μια ευρεία κατηγορία στρατηγικών που περιλαμβάνουν τον πράσινο σχεδιασμό της αλυσίδας RF (RF energy harvesting), τη χρήση απλοποιημένων δομών πομπού/δέκτη και, επίσης, ένα νέο αρχιτεκτονικό σχέδιο του δικτύου που βασίζεται σε μια cloud υλοποίηση του δικτύου ραδιοπρόσβασης (RAN) και στις χρήση εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου.

Έχει δοθεί προσοχή στον ενεργειακά αποδοτικό σχεδιασμό των ενισχυτών ισχύος, τόσο μέσω σχεδίασης απευθείας κυκλώματος όσο και μέσω τεχνικών σχεδιασμού σήματος που στοχεύουν στη μείωση του λόγου κορυφής προς μέση ισχύ.

1. Η δυνατότητα να τεθούν οι σταθμοί βάσης σε «sleep mode» όταν δεν υπάρχουν ενεργοί χρήστες είναι ένας από τους κύριους τρόπους μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας. Πράγματι, αναμένεται να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά σχεδόν 10 φορές σε σύγκριση με τα σημερινά συστήματα. Αυτή η τελευταία λύση σχετικά με το «sleep mode» του σταθμού βάσης έχει αναγνωριστεί σε πολλαπλές ερευνητικές μελέτες ως ένα από τα βασικά στοιχεία που επιτρέπουν τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Στη μελέτη «Στο δρόμο προς τα ενεργειακά αποδοτικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G» των Zoran Bojkovic, Miodrag Bakmaz και Bojan Bakmaz[10], τονίζεται επίσης η ιδέα ενός «sleep mode» προκειμένου οι υποδομές να είναι ενεργειακά αποδοτικές. Πράγματι, σύμφωνα με αυτήν τη μελέτη, αυτά τα συστήματα 5G με υψηλή κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει πάντα να βασίζονται στην αρχή της ενεργότητας και της μετάδοσης μόνο όταν και όπου χρειάζεται. Σύμφωνα με το white paper που κυκλοφόρησε από τη Nokia για την «Ενεργειακή απόδοση δικτύου 5G»[11], η προσοχή πρέπει να επικεντρωθεί στους σταθμούς βάσης, καθώς καταναλώνουν το 80% της ενέργειας που χρησιμοποιείται (μόνο το 15% της ενέργειας χρησιμοποιείται για την προώθηση bits). Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας χρησιμοποιείται για την μετάδοση του συστήματος και την αδράνεια των πόρων λειτουργίας, για τροφοδοσία ανεμιστήρων και συστημάτων ψύξης (πάνω από το 50% της κατανάλωσης ενέργειας), για θέρμανση και φωτισμό και για αδιάλειπτη λειτουργία και άλλα τροφοδοτικά.

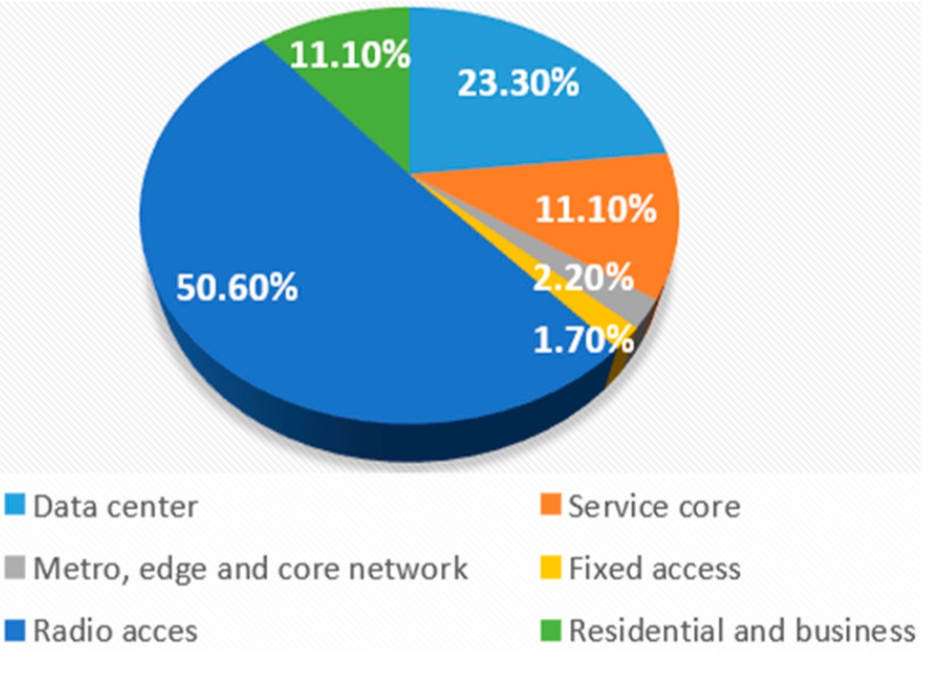
Θα πρέπει να δοθεί έμφαση σε αυτές τις πτυχές για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η Nokia έχει εντοπίσει πολλές σημαντικές ευκαιρίες για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των σταθμών βάσης:

* + 1. Μειώση της κατανάλωσης ενέργειας όταν ο σταθμός βάσης δεν έχει δεδομένα προς αποστολή – «sleep mode».
    2. Μειώση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω βοηθητικού εξοπλισμού (όπως συστήματα ψύξης).
    3. Αυξήση της απόδοσης του εκοπλισμού, ιδιαίτερα όταν λειτουργεί κάτω από τη μέγιστη ισχύ.

1. **Cognitive Radio (CR)**: Η τεχνολογία βασίζεται στην επίγνωση και την ευαισθησία στις αλλαγές στο περιβάλλον του. Η κύρια λειτουργία των δικτύων Cognitive Radio (CR) είναι να ανιχνεύουν το ελεύθερο φάσμα στο περιβάλλον, το οποίο επιτρέπει στα δίκτυα CR να προσαρμόζονται στα περιβάλλοντα. Τα δίκτυα CR μπορούν να χρησιμοποιήσουν τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) για την βελτιστοποίηση της δυναμικής ανίχνευσης και λήψης αποφάσεων. Επομένως, η χρήση γνωστικού ραδιοφώνου που βασίζεται σε AI έχει ως αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση στις απαιτήσεις και την αποτελεσματικότητα του δικτύου 5G.
2. **Ασυνεχής λήψη/μετάδοση**: Μια κινητή συσκευή και το δίκτυο διαπραγματεύονται τις φάσεις στις οποίες πραγματοποιείται η μεταφορά δεδομένων και κατά τη διάρκεια άλλων περιόδων, η συσκευή απενεργοποιεί τον δέκτη της και εισέρχεται σε κατάσταση χαμηλής ισχύος. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνει εξοικονόμηση ενέργειας.

Χρησιμοποιούνται τεχνικές μηχανικής εκμάθησης για να αφήσει το σύστημα να μάθει έξυπνα από δεδομένα και να βελτιστοποιήσει τη συνολική λειτουργία του δικτύου. Για παράδειγμα, η τεχνολογία εικονικοποίησης βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση και τη χρήση των πόρων και μπορεί να οδηγήσει σε έως και 50% εξοικονόμηση ενέργειας. Για να επιτευχθεί ενεργειακά αποδοτική εικονικοποίηση και βελτιστοποίηση δικτύου, η ML (Μηχανική μάθηση) μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω την ενεργειακή απόδοση μέσω της κατανομής και της ενοποίησης φορτίου [12]. Ομοίως, η κατανάλωση ενέργειας στα κέντρα δεδομένων, τα οποία καταναλώνουν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με έξυπνη κατανομή και διαχείριση πόρων μέσω προσεγγίσεων μάθησης ML.

Μια συνοπτική επισκόπηση της κατανάλωσης ενέργειας ανά στοιχείο δικτύου του 5G απεικονίζεται στην **εικόνα 3**.



**Εικόνα 3.** Ανάλυση κατανάλωσης ενέργειας ανά στοιχείο δικτύου, 2025.

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται δείχνουν τη διάσπαση και την κατανομή μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων του οικοσυστήματος του 5G. Αυτό παρουσιάζει μια συνεκτική προοπτική για το τοπίο του τομέα του στο επίπεδο δικτύου και πώς αντανακλάται σε σχέση με τα άλλα. Αυτή η προβολή είναι επίσης διορατική για τη σημαντική πτυχή που προβάλλει το επίπεδο RAN και πώς έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στο πεδίο.

1. Σύνοψη

Η πέμπτη γενιά τηλεπικοινωνιών, το 5G, έχει υλοποιηθεί ήδη στην Ευρώπη. Αυτή η τεχνολογία είναι πολλά υποσχόμενη όσον αφορά την εφαρμογή της σε πολλούς κλάδους και επιτρέπει την εμφάνιση καινοτομιών. Ωστόσο, σε μια εποχή που έχει καταστεί σημαντικό να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας όσο το δυνατόν περισσότερο, η ενεργειακή απόδοση του 5G είναι ένα σημαντικό κριτήριο που πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Οι προσεγγίσεις και οι λύσεις για να γίνει το 5G τόσο ενεργειακά αποδοτικό όπως είχε προβλεφθεί – περισσότερο από 90% πιο ενεργειακά αποδοτικό από το LTE – έχουν συζητηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία. Μία από τις κύριες λύσεις που επισημάνθηκαν στις περισσότερες μελέτες σχετικά με αυτό το θέμα είναι η δυνατότητα να τεθούν οι σταθμοί βάσης σε «αναστολή λειτουργίας» – αφού οι σταθμοί βάσης καταναλώνουν το 80% της ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων [13].

Τέλος, το 5G μπορεί να είναι κάτι καινούργιο ουσιαστικά, αλλά το 6G (έκτης γενιάς) είναι ο διάδοχος της κυψελοειδούς τεχνολογίας 5G και ήδη βρίσκεται σε ανάπτυξη. Τα δίκτυα 6G θα μπορούν να χρησιμοποιούν υψηλότερες συχνότητες από τα δίκτυα 5G και θα παρέχουν σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα και πολύ χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο. Ένας από τους στόχους του 6G θα είναι η υποστήριξη επικοινωνίας με καθυστέρηση ενός μικροδευτερόλεπτου (microsecond-latency)[14]. Το 6G θα συνδυάσει απρόσκοπτα τον ψηφιακό, τον φυσικό και τον ανθρώπινο κόσμο για να δημιουργήσει υπεραισθητικές εμπειρίες και να κάνει τους ανθρώπους πιο αποτελεσματικούς. Από την άλλη πλευρά, η βιωσιμότητα θα είναι μία από τις κατευθυντήριες πτυχές της εποχής του 6G. Το 2030, τα δίκτυά μας όχι μόνο θα βελτιώσουν τον τρόπο που ζούμε και εργαζόμαστε, αλλά πρέπει επίσης να επηρεάσουν άμεσα τον τρόπο με τον οποίο νοιαζόμαστε για τον πλανήτη.[15]

Ένα εμπόδιο για την οικοδόμηση ενός βιώσιμου συστήματος 6G είναι το γεγονός ότι το 6G θα χρειαστεί να παρέχει πολύ περισσότερα δεδομένα με ταχύτερους ρυθμούς από τα σημερινά δίκτυα, ενώ θα εξακολουθεί να εκπληρώνει πολύ αυστηρούς στόχους ενεργειακής απόδοσης. Αυτό σημαίνει ότι η απαιτούμενη ενέργεια για τη μετάδοση ενός bit πρέπει να μειωθεί σημαντικά. Για να μπορέσει να εξυπηρετήσει πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων, το 6G αναμένεται να χρησιμοποιήσει ακόμα μεγαλύτερες συχνότητες (THz). Όμως, λόγω των ακόμα μεγαλύτερων συχνοτήτων, θα χρειαστεί ακόμα μεγαλύτερος αριθμός από κεραίες κάνοντας την ανάγκη για ενεργειακή αποδοτικότητα υψίστης σημασίας. Προς αυτή την κατεύθυνση, το AI/ML αναμένεται να παίξει σπουδαίο ρόλο, ιδιαίτερα εκμεταλλευόμενο τον τεράστιο αριθμό από διαθέσιμα δεδομένα. [15]

1. Βιβλιογραφία - αναφορές

[1] Study: 5G Has 90% Better Energy Efficiency Than 4G. 2 Δεκεμβρίου 2020. (πρόσβαση 18 Απριλίου) - <https://www.telecompetitor.com/study-5g-has-90-better-energy-efficiency-than-4g/>

[2] Ηνωμένα Έθνη. Έκθεση Χάσματος Εκπομπών 2019. Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών: Ναϊρόμπι, Κένυα, 2019.

[3] Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών — Τομέας Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών (ITU-T). Σύσταση Ν.1310 (09/2020):

«Μετρήσεις ενεργειακής απόδοσης και μέθοδοι μέτρησης για τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό». Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών:

Γενεύη, Ελβετία, 2020.

[4] <https://www.youtube.com/watch?v=bfNmiYtG9Cg>

[5] Between 10 and 20% of electricity consumption from the ICT\* sector in 2030?. 9 Αυγούστου 2018 (πρόσβαση 3 Μαΐου) - https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/expected-world-energy-consumption-increase-f romdigitalization.html

[6] Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Ανακοίνωση σχετικά με μια στρατηγική πλαίσιο για μια ανθεκτική ενεργειακή ένωση με μελλοντική πολιτική για την αλλαγή του κλίματος. COM (2015) 80 Final; Ευρωπαϊκή Επιτροπή: Βρυξέλλες, Βέλγιο, 2015.

[7] Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Ανακοίνωση για τη στρατηγική ενεργειακής ασφάλειας. COM (2014) 330; Ευρωπαϊκή Επιτροπή: Βρυξέλλες, Βέλγιο, 2014.

[8] GAPWAVES AB (2017) Antenna Technology for 5G.

[9] Dexter Johnson (2018) The 5G Dilemma: More Base Stations, More Antennas – Less Energy?

[10] On the Road to Energy Efficient 5 G Mobile Networks. 2015. (πρόσβαση 29 Απριλίου) - <https://pdfs.semanticscholar.org/ef60/1485b87056722da6a7bd3d4f6a4d2d6101b1.pdf>

[11] 5G network energy efficiency. 2016. (πρόσβαση 29 Απριλίου) - <https://onestore.nokia.com/asset/200876>

[12] Masoudi, M.; Khafagy, M.G.; Conte, A.; El-Amine, A.; Françoise, B.; Nadjahi, C.; Salem, F.E.; Labidi, W.; Süral, A.; Gati, A.; et al. Green Mobile Networks for 5G and Beyond. IEEE Access 2019, 7, 107270–107299. [CrossRef]

[13] 5G network energy efficiency. 2016. (πρόσβαση 29 Απριλίου) - <https://onestore.nokia.com/asset/200876>

[14] What is 6G? Overview of 6G networks & technology. Απρίλιος 2022. (πρόσβαση 18 Απριλίου) - <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/6G>

[15] 6G networks will be energy efficient from the get-go thanks to AI/ML. 3 Νοεμβρίου 2021. (πρόσβαση 29 Απριλίου)- [https://www.bell-labs.com/institute/blog/6g-networks-will-be-energy-efficient-from-the-get-go-thanks-to-aiml/#gref](https://www.bell-labs.com/institute/blog/6g-networks-will-be-energy-efficient-from-the-get-go-thanks-to-aiml/%23gref)