



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**

*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*

**<ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ**

**ΔΙΚΤΥΩΝ>**

---

---

**<ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ 4<sup>ΗΣ</sup> ΚΑΙ 5<sup>ΗΣ</sup> ΓΕΝΙΑΣ>**

---

---

**<ΜΑΝΕΣΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ>**

**Α.Μ <1054366>**

**ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2019**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

---

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ.....	I
<ΜΑΝΕΣΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ>.....	I
ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ .....	I
ΠΑΤΡΑ 2019.....	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ .....	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: <ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ> .....	5
1.1 <Το ΔΙΚΤΥΟ 1G>.....	5
1.1.1 <ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ>.....	5
1.1.2 <ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ – ΨΗΦΙΑΚΟ ΣΗΜΑ> .....	6
1.2 <Το ΔΙΚΤΥΟ 2G>.....	7
1.2.1 < GPRS > .....	7
1.2.2 < EDGE >.....	8
1.3 <Το ΔΙΚΤΥΟ 3G>.....	9
1.3.1 < HSPA> .....	9
1.3.2 < HSPA+ > .....	10

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: &lt;ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 4G&gt;</b> .....	<b>11</b>
<i>2.1&lt;ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ 4G&gt;</i> .....	<b>11</b>
<i>2.2&lt;LTE/ LTE-A&gt;</i> .....	<b>12</b>
<i>2.3&lt; ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΓΕΝΙΕΣ&gt;</i> .....	<b>15</b>
<i>2.4&lt;ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ&gt;</i> .....	<b>16</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: &lt;ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G&gt;</b> .....	<b>18</b>
<i>3.1&lt;Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ&gt;</i> .....	<b>18</b>
<i>3.2&lt; ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ &gt;</i> .....	<b>20</b>
<i>3.3&lt;ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ &gt;</i> .....	<b>21</b>
<i>3.4&lt; ΣΥΓΚΡΙΣΗ 4G-5G &gt;</i> .....	<b>23</b>
<i>3.5&lt;CHALLENGES ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 5G&gt;</i> .....	<b>24</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>28</b>

# *AKPONYMIA*

---

- NTT: Nippon Telegraph and Telecom
- G: Generation
- SMS: Short Message Service
- MMS: Multimedia Messaging Service
- GSM: Global System for Mobile
- GPRS: General Packet Radio Service
- IP: Internet Protocol
- PPP: Point to Point Protocol
- UMTS: Universal Mobile Telecommunications System
- GGSN: Gateway GPRS Support Node
- SGSN: Serving GPRS Support Node
- HSPA: High Speed Packet Access
- HSDPA: High Speed Downlink Packet Access
- HSUPA: High Speed Uplink Packet Access
- MIMO: Multiple Input Multiple Output
- Mbps: Mega bits per second
- 3GPP: 3rd Generation Partnership Project
- ITU-R: International Telecommunication Union - Radiocommunication
- NAT: Network Address Translation
- LTE: Long Term Evolution
- LTE-A: Long Term Evolution - Advanced

- FDD: Frequency Division Duplexing
- TDD: Test-driven development
- VoLTE: Voice over LTE
- CA: Carrier Aggregation
- RN: Relay Nodes
- D2D: Device to Device
- Wi-Fi: Wireless Fidelity
- IoT: Internet of Things
- NR: New Radio
- mmW: millimetre Wave
- FR: Frequency Range
- eMBB: Enhanced Mobile Broadband
- URLLC: Ultra-Reliable Low-Latency Communication
- mMTC: Massive Machine Type Communications
- VR: Virtual Reality
- M2M: Machine to machine
- SDN: Software-defined networking
- DDoS: Distributed Denial-of-Service
- EMF: Electric and magnetic fields
- RFR: Radio Frequency Radiation

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: <ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ>

---

---

## 1.1 <Το Δίκτυο 1G>

### 1.1.1 <Γνωριμία με το Δίκτυο>

Η ασύρματη κυψελοειδής τεχνολογία πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1980 από την εταιρεία NTT(Nippon Telegraph and Telecom). Ο Λόγος για το δίκτυο 1G το οποίο χρησιμοποιούσε αναλογικό σήμα για τη μεταφορά των δεδομένων. Εγκαινιάστηκε στο Τόκυο το 1979 και μέχρι το 1984 είχε καλύψει ολόκληρη την Ιαπωνία. Το 1983, οι Η.Π.Α. ενέκριναν τις πρώτες λειτουργίες 1G και τότε δημιουργήθηκε ένα από τα πρώτα κινητά τηλέφωνα για ευρεία χρήση, το dynaTAC της Motorola. Το dynaTAC είχε την τιμή των 3.995 δολαρίων και παρ'όλα αυτά κατάφερε να σημειώσει 20 εκατομμύρια πωλήσεις παγκοσμίως μέχρι το 1990. Όμως η τεχνολογία 1G είχε αρκετά μειονεκτήματα. Η χαμηλή κάλυψη και η κακή ποιότητα ήχου ήταν δύο από τα βασικά μειονεκτήματα. Ακόμη δεν υπήρχε υποστήριξη περιαγωγής μεταξύ των διαφόρων παρόχων κινητής τηλεφωνίας και δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ των συστημάτων, καθώς διαφορετικά συστήματα λειτουργούσαν σε διαφορετικές συχνότητες. Το σημαντικότερο πρόβλημα όλων όμως, ήταν ότι οι κλήσεις δεν ήταν κρυπτογραφημένες. Έτσι οποιαδήποτε κλήση θα μπορούσε να υποκλαπεί από οποιονδήποτε ραδιοφωνικό σαρωτή. Το δίκτυο 1G άνοιξε το δρόμο της κινητής τηλεφωνίας. Ξεπεράστηκε από τον διάδοχο του, το δίκτυο δεύτερης γενιάς (2G), κι έτσι δεν ξαναχρησιμοποιήθηκε ποτέ.[3]



Το DynaTac της Motorola.

Πηγή: <https://www.artstation.com/artwork/3oBzkg>

### 1.1.2 <Αναλογικό – Ψηφιακό Σήμα>

Το αναλογικό σήμα παίρνει συνεχείς τιμές σε ένα μέσο μετάδοσης σε συνάρτηση με το χρόνο και χρησιμοποιεί τις ιδιότητες του μέσου για να μεταφέρει τις όποιες πληροφορίες. Οι περισσότερες τιμές στη φύση μεταβάλλονται αναλογικά, καθώς και ο τρόπος που αντιλαμβανόμαστε τα πράγματα είναι αναλογικός. Η αναλογική μετάδοση μπορεί να γίνει μέσω ομοαξονικού καλωδίου, καλωδίου συνεστραμμένου ζεύγους, οπτικής ίνας, του νερού και του αέρα. Το βασικό μειονέκτημα του αναλογικού σήματος είναι ότι έχουν θόρυβο. Κάθε βήμα που γίνεται στη διαδρομή ενός σήματος φθείρει πρακτικά το σήμα και δεν υπάρχει τρόπος να ανακτηθεί η χαμένη πληροφορία.[19]

Με την πάροδο της τεχνολογίας πολλές αναλογικές συσκευές αντικαταστάθηκαν από ψηφιακές. Έτσι ο τρόπος μετάδοσης έπρεπε να αλλάξει και να γίνει ψηφιακός. Η διαδικασία μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό λέγεται ψηφιοποίηση. Το ψηφιακό σήμα αναφέρεται σε μια κυματομορφή συνεχούς χρόνου που μπορεί να αναπαρασταθεί σε bits. Ένα ψηφιακό σήμα μπορεί να προέρχεται από ένα πληκτρολόγιο ή ένα ποντίκι υπολογιστή. Ακόμη ψηφιακό σήμα μπορεί να είναι ένα ψηφιοποιημένο βίντεο ή αρχείο ήχου. Το μεγάλο πλεονέκτημα του έναντι του αναλογικού είναι ότι παραμένει αναλλοίωτο στο πέρασμα του χρόνου και έχει σταθερή ποιότητα και ταυτόχρονα δεν έχει θόρυβο.[20]



## **1.2 <Το Δίκτυο 2G>**

Το δίκτυο 2G αντικατέστησε τον προκάτοχο του φέρνοντας μαζί του επαναστατική τεχνολογία και ξεκίνησε στο πλαίσιο του προτύπου GSM. Το αναλογικό παρελθόν έδωσε τη θέση του στο ψηφιακό μέλλον. Αναπτύχθηκε στην Φινλανδία και οι αλλαγές που έφερε σε σχέση με το 1G είναι στη μεταφορά των δεδομένων, που πλέον γίνεται ψηφιακά, αλλά και σε νέες υπηρεσίες που προσέφερε όπως τα κείμενο-μηνύματα (SMS) και τα είκονο-μηνύματα ή μηνύματα πολυμέσων (MMS). Για πρώτη φορά οι κλήσεις ήταν κρυπτογραφημένες και ήταν σαφέστερες με λιγότερο θόρυβο. Να σημειωθεί ότι ταυτόχρονα αυξήθηκε η χωρητικότητα σε χρήστες και η κάλυψη του δικτύου. Με το πρότυπο GPRS, το 2G πρόσφερε μια ταχύτητα της τάξεως των 40kbit/s, ενώ με την τεχνολογία Edge προσέφερε ταχύτητα περίπου έως και 400kbit/s. Παρά τις αργές ταχύτητες το 2G έφερε την επανάσταση στο επιχειρηματικό τοπίο και άλλαξε τον κόσμο για πάντα.[4][16]

### **1.2.1 < GPRS >**

Το πρότυπο GPRS, γνωστό και ως 2.5G, είναι μια τεχνολογία μεταξύ 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς και δημιουργήθηκε για να επεκτείνει τις δυνατότητες του GSM. Οι ταχύτητες του κυμαίνονται μεταξύ 54-114 Kbit/sec και εμφανίζει βελτιωμένη ταχύτητα μετάδοσης μηνυμάτων που αγγίζει τα 30 SMS ανα λεπτό, σε αντίθεση με την ταχύτητα μετάδοσης μέσω GSM που φτάνει μέχρι και 10 SMS ανα λεπτό. Το GPRS υποστηρίζει ορισμένα πρωτόκολλα, όπως το IP, PPP και X.25. Στην πράξη τα κινητά χρησιμοποιούσαν το πρωτόκολλο IPv4, πριν διαδοθεί ευρέως το IPv6. Το πρωτόκολλο PPP τυπικά δεν υποστηρίζεται από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Ωστόσο εάν ένα κινητό χρησιμοποιηθεί ως μόντεμ, το PPP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σήμανση IP στο τηλέφωνο. Οι συνδέσεις X.25 απ' την άλλη χρησιμοποιούνται για εφαρμογές, όπως τα τερματικά ασύρματης πληρωμής. Μπορεί να υποστηριχτεί μέσω του PPP, ή μέσω του IP, αλλά απαιτεί είτε ένα δρομολογητή, είτε λογισμικό υποστήριξης. Τέλος το GPRS συμπληρώνει το Bluetooth, ένα πρότυπο για την αντικατάσταση των ασύρματων συνδέσεων μεταξύ συσκευών με ασύρματες συνδέσεις ραδιοφώνου.[5]

### 1.2.2 < EDGE >

Το πρότυπο EDGE, ή 2.75G, ή E-GPRS, όπως είναι γνωστό, θεωρείται τεχνολογία πριν από το 3G. Προσφέρει βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και καλύτερες ταχύτητες σε σχέση με το GPRS, κοντά σε αυτές του 3G. Ακόμη ενσωματώνει εξελιγμένες μεθόδους μετάδοσης δεδομένων και κωδικοποίησης, που οδηγούν σε σημαντική αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Επιπλέον το πρότυπο EDGE μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για σύνδεση στο Internet, με θεωρητικές ταχύτητες έως και 1Mbit/sec. Υπάρχουν όμως ορισμένα βασικά στοιχεία στην εξέλιξη από το GSM και το GPRS στο EDGE. Η νέα τεχνολογία απαιτεί την προσθήκη πολλών νέων στοιχείων στο σύστημα. Πρώτα απ' όλα για να επιτευχθούν οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων καθιερώθηκε η διαμόρφωση 8PSK, από GSMK που ήταν πριν. Το πλεονέκτημα της νέας διαμόρφωσης είναι ότι μπορούσε να μεταφέρει 3 bit ανα σύμβολο, αυξάνοντας έτσι το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, αλλά απαιτούσε αλλαγές στο σταθμό βάσης και αναβαθμίσεις υλικού και λογισμικού. Ένα άλλο νέο στοιχείο είναι η αναβάθμιση σε αρχιτεκτονική δικτύου. Το EDGE GSM παρείχε τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μέσω IP με αποτέλεσμα να απαιτούνται προσθετικά στοιχεία δικτύου. Με αυτό τον τρόπο η τεχνολογία EDGE αποτελεί μέρος της πορείας μετάβασης από το GSM στο UMTS. Επίσης απαιτούνται δύο πρόσθετοι κόμβοι ο GGSN και ο SGSN, για την σύνδεση στο Διαδίκτυο και σε κινητούς σταθμούς αντίστοιχα. Βέβαια η σύνδεση σε κινητούς σταθμούς απαιτούσε νέες συσκευές GSM EDGE, καθώς οι προηγούμενες δεν συνδέονταν και δεν αναβαθμιζόνταν. Πάντως παρά τις αλλαγές που έπρεπε να γίνουν, το κόστος της μετάβασης στη κυψελοειδή τεχνολογία παρέμεινε μικρό και το σημαντικότερο είναι ότι οι αναβαθμίσεις υλικού που έγιναν, χρησίμευσαν και για το 3G UMTS.[6]

### 1.3 <Το Δίκτυο 3G>

Το 2001 κυκλοφόρησε η Τρίτη γενιά ασύρματου δικτύου (3G). Το 3G έφερε μαζί του δραματικές αλλαγές στα Ασύρματα Δίκτυα, καθώς ήταν η πρώτη κινητή ευρυζωνική σύνδεση που επέτρεπε στο χρήστη την ασύρματη πρόσβαση στο Internet και την πραγματοποίηση βίντεο-κλήσεων. Το δίκτυο 3G διαδέχθηκαν τα πρωτόκολλα HSPA και HSPA+, τα οποία απογείωσαν τις δυνατότητες του δικτύου, φέρνοντας μαζί τους υψηλότερες ταχύτητες και πολλές καινοτομίες. Η ταχύτητα του μπορεί θεωρητικά μπορεί να φτάσει τα 7.2Mbit/s, αν και στη πραγματικότητα αγγίζει μόλις τα 3.1Mbit/s και παράλληλα υποστηρίζει παγκόσμια περιαγωγή.[10][8]

Comparison between 1G,2G,3G				
Generation	Time Period	Definition	Characteristics	Speed
I (1G)	1980-1990	Analog	Voice only	14.4 Kbps (peak)
II (2G)	1990-2006	Digital narrow band circuit data/packet data	Data along voice, MMS, web browsing.	56Kbps to 115 kbps
III (3G)	2006-2011	Digital broadband packet data.	Universal access, portability, Video calling	5.8 Mbps to 14.4 Mbps

Πηγή:<https://sites.google.com/site/nexttowirelessnews/analysis-of-1g-2g-3g-4g?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

#### 1.3.1 <HSPA>

Το πρωτόκολλο HSPA αποτελεί εξέλιξη του Δικτύου 3G UMTS και παρέχει σημαντική βελτίωση στις επιδόσεις του. Με τα χρόνια έβγαιναν στην κυκλοφορία αναβαθμίσεις που διανείμονταν ως διαφορετικές εκδόσεις του προτύπου 3G, με αρχική την έκδοση 99 και τελευταία την έκδοση 12 που διατέθηκε το 2013. Κάθε καινούρια έκδοση έφερε μαζί της και κάποια καινοτομία. Αναφορικά μερικές από αυτές τις καινοτομίες είναι η αποτελεσματική χρήση της IP, η υποστήριξη πακέτων Downlink και Uplink, η αύξηση του εύρους ζώνης Downlink και Uplink καθώς και μέθοδοι πολλαπλασιασμού της χωρητικότητας της ζεύξης.

Το πρωτόκολλο HSPA απαρτίζεται από δυο τεχνολογίες, το High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) και το High Speed Uplink Packet Access (HSUPA), οι οποίες αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές οντότητες και έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Το HSDPA παρέχει μειωμένη καθυστέρηση, Downlink ταχύτητα της τάξεως των 14Mbit/s και τριπλάσια χωρητικότητα από την τεχνολογία UMTS 3G, όπως ορίζεται στην έκδοση 99 (Release 99). Η τεχνολογία HSUPA προσφέρει κι αυτή με τη σειρά της μειωμένη καθυστέρηση, μέγιστη ταχύτητα Uplink 5,74Mbit/s, ενώ αυξάνει την χωρητικότητα στο διπλάσιο σε σχέση με το απλο UMTS 3G στην έκδοση 99.[12][8]

### 1.3.2 < HSPA+ >

Η εξέλιξη του πρωτόκολλου HSPA είναι το Evolved High Speed Packet Access, ή αλλιώς HSPA+ και εμφανίστηκε με την έκδοση 7. Είναι σημαντικό ότι φέρει μαζί του καινοτομίες όπως μορφοποίηση δέσμης και επικοινωνίες πολλαπλών εισόδων/εξόδων (MIMO). Επίσης με την ταυτόχρονη χρήση φορέων 5Mhz που εισάγει σε νεότερες εκδόσεις, επιτυγχάνει καλύτερη αυτονομία και διάρκεια ζωής της μπαταρίας, αλλά και εντυπωσιακά ταχύτερο χρόνο αντίδρασης από αδράνεια. Οι θεωρητικές ταχύτητες για download και upload είναι 168Mbps και 22Mbps αντίστοιχα. Στην πραγματικότητα όμως οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται είναι 21Mbps για download και 4Mbps για upload.

Με την 8<sup>η</sup> έκδοση του 3GPP εμφανίστηκε το Dual Carrier HSDPA, το οποίο είναι μια μορφή διπλού καναλιού που επιτυγχάνει μεγαλύτερες ταχύτητες χρησιμοποιώντας παράλληλα δυο ζώνες των 5 Mhz, αντί για μια όπως κάνει το HSPA+. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνει να ενισχύσει την ποιότητα του σήματος σε ασθενείς περιοχές και ουσιαστικά διπλασιάζει τη ταχύτητα Download, σε 42Mbps. Το 2009 με την 9<sup>η</sup> έκδοση του 3GPP εισάγεται και το Dual Carrier HSUPA, το οποίο με παρόμοιο τρόπο πετυχαίνει τους ίδιους στόχους με το HSDPA και διπλασιάζει την ταχύτητα Upload, αγγίζοντας πλέον τα 8Mbps.[17][8]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: <ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 4G>

---

---

## 2.1<Τι είναι το 4G>

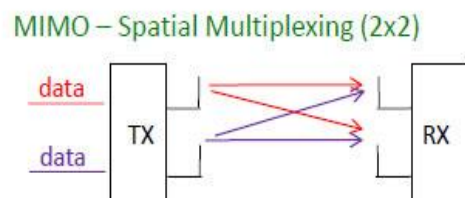
Το 4G είναι η 4<sup>η</sup> γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, η οποία διατέθηκε σε χρήση το 2012. Οι πρώτες εκδόσεις δεν υποστήριζαν τα πρότυπα που είχαν θεσπιστεί από τον ITU-R, γι' αυτό το λόγο ονομάζονται και ως 3.9G . Πριν από το 4G οι υπηρεσίες κινητών δικτύων που υπήρχαν ήταν αρκετές μόνο για τις βασικές υπηρεσίες δεδομένων. Η νέα αυτή γενιά δικτύου προσφέρει νέες υπηρεσίες αλλά και υψηλότερες ταχύτητες Internet και σε συνδυασμό με την εξέλιξη των κινητών και των tablet μετατρέπει τις συσκευές αυτές σε μικρούς υπολογιστές τσέπης άμεσα συγκρίσιμους με έναν κανονικό υπολογιστή. Ο τρόπος λειτουργίας του 4G είναι ίδιος με του 3G, απλώς είναι ταχύτερος. Όπως και ο προκάτοχος του - το 3G - , έτσι και αυτό χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πακέτων IP για μεταφορά δεδομένων. Επίσης προσφέρει ομαλή μετάβαση σε ετερογενή δίκτυα χωρίς απώλεια δεδομένων. Μια από τις σημαντικότερες πτυχές της τεχνολογίας 4G είναι η χρήση του πρωτόκολλου IPv6 για την εξάλειψη των κόμβων δικτύου με παράλληλο κύκλωμα και της πακετομεταγωγής. Το πρωτόκολλο IPv4 είχε περιορισμό στον αριθμό των διευθύνσεων IP που μπορούσαν να αντιστοιχιστούν σε συσκευές με αποτέλεσμα να πρέπει να δημιουργηθούν διπλές διευθύνσεις και να επαναχρησιμοποιηθούν χρησιμοποιώντας NAT, το οποίο δεν έλυνε πραγματικά το πρόβλημα, απλώς το κάλυπτε. Με την έλευση του IPv6 υπήρχε πολύ μεγαλύτερος αριθμός διαθέσιμων διευθύνσεων και συνέβαλλε σημαντικά στην βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη. Το 4G εκπέμπει σε νέες, διαφορετικές συχνότητες. Αναφορικά μερικές που αφορούν την Ευρώπη είναι οι 450Mhz, 700Mhz, 800Mhz, 900Mhz, 1500Mhz, 1800Mhz, 1900Mhz 2100Mhz, 2300Mhz, 2600Mhz, 3500Mhz, 3700Mhz και για να τις υποστηρίξουν τα κινητα πρέπει να είναι multi-band.[15][23]

## 2.2<LTE/ LTE-A>

Το LTE είναι ένα πρότυπο για την ασύρματη τηλεπικοινωνία βασισμένο στις τεχνολογίες GSM / EDGE και UMTS / HSPA. Το πρότυπο αναπτύχθηκε από το 3GPP και έγινε διαθέσιμο με την 8<sup>η</sup> έκδοση, με την 9<sup>η</sup> έκδοση να ακολουθεί με ορισμένες βελτιώσεις. Αν και συνήθως το LTE διατίθεται ως 4G LTE και Advanced 4G, δεν πληροί τα κριτήρια της τεχνολογίας 4G. Γι' αυτό το λόγο είναι γνωστό και ως 3.9 ή 3.95G. Επίσης υποστηρίζει τις τεχνολογίες FDD και TDD. Τα LTE-TDD και LTE-FDD είναι τεχνολογίες μετάδοσης δεδομένων που αναπτύχθηκαν από κοινού από συμμαχία μεγάλων εταιριών του χώρου, όπως Telecom, Huawei, Samsung, Qualcomm, Ericsson, Nokia, ZTE και άλλες. Οι δυο μεγάλες διαφορές μεταξύ των δύο αυτών τεχνολογιών είναι στο πως φορτώνονται και μεταφορτώνονται τα δεδομένα και ποια φάσματα συχνότητας αναπτύσσονται στα δίκτυα. Ενώ το LTE-FDD χρησιμοποιεί συζευγμένες συχνότητες για μεταφόρτωση και λήψη δεδομένων, το LTE-TDD χρησιμοποιεί μόνο μια ενιαία συχνότητα, που εναλλάσσεται μεταξύ φόρτωσης και λήψης δεδομένων. Ο λόγος upload/download σε ένα δίκτυο LTE-TDD μπορεί να αλλάξει δυναμικά ανάλογα με το αν πρέπει να σταλούν ή να ληφθούν περισσότερα δεδομένα. Επίσης το LTE-TDD λειτουργεί σε διαφορετική ζώνη συχνοτήτων απ' ότι το LTE-FDD. Πιο συγκεκριμένα το LTE-TDD λειτουργεί καλύτερα σε υψηλότερες συχνότητες, από 1850Mhz έως 3800Mhz, ενώ το LTE-FDD λειτουργεί σε χαμηλότερες. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του LTE-TDD είναι ότι είναι φθηνότερο και με λιγότερη κίνηση. Όμως όποιες κι αν είναι οι διαφορές των δυο τεχνολογιών η βασική τους τεχνολογία είναι κατά 90% κοινή και με αυτό τον τρόπο επιτρέπουν σε chipset και δίκτυα να χρησιμοποιούν και τις δύο εκδόσεις. Τέλος με την έλευση του LTE, έγινε διαθέσιμη και η υπηρεσία VoLTE, η οποία παρέχει πολλαπλά οφέλη, με αποτέλεσμα να παρέχεται η φωνητική υπηρεσία ως ροή δεδομένων εντός του φορέα δεδομένων LTE.

Όσον αφορά το LTE-Advanced είναι ένα πρότυπο κινητής τηλεφωνίας που διατέθηκε στην κυκλοφορία ως 10<sup>η</sup> έκδοση του 3GPP και φέρει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με το LTE. Το πιο σημαντικό που πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι υπόσχεται να προσφέρει πραγματικές ταχύτητες 4G, σε σχέση με το LTE. Συγκεκριμένα επικεντρώνεται στην χωρητικότητα του δικτύου και στην απόδοση από πλευράς κόστους, πληρώντας πάντα τις απαιτήσεις που έχει θεσπίσει η ITU. Επιτρέπει μεγαλύτερη φασματική απόδοση και μεγαλύτερη απόδοση στις κυψέλες

των κεραιών, καθώς και αυξημένο αριθμό ταυτόχρονα ενεργών συνδρομητών. Επιπλέον εισήχθησαν και νέες λειτουργίες όπως η Carrier Aggregation (CA), η τεχνολογία πολλαπλών κεραιών (MIMO) και η υποστηριξη κομβών αναμετάδοσης (RN), με στόχο την αύξηση του εύρους ζώνης, της ταχύτητας δικτύου και συνδέσεων, αλλά και τη βελτίωση της σταθερότητας. Το Carrier Aggregation ουσιαστικά είναι ένα χαρακτηριστικό του LTE που επιτρέπει στους πάροχους κινητής τηλεφωνίας να συναθροίζουν 2 ή περισσότερους μεταφορείς σε ένα μοναδικό κανάλι δεδομένων, για να αυξήσουν τη χωρητικότητα του δικτύου και τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Το MIMO χρησιμοποιείται για την αύξηση του συνολικού bitrate, μέσω της μετάδοσης ροών δεδομένων σε δύο ή περισσότερες κεραιές, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τη λειτουργία Carrier Aggregation. Το παρακάτω διάγραμμα αναπαριστά τη λειτουργία MIMO

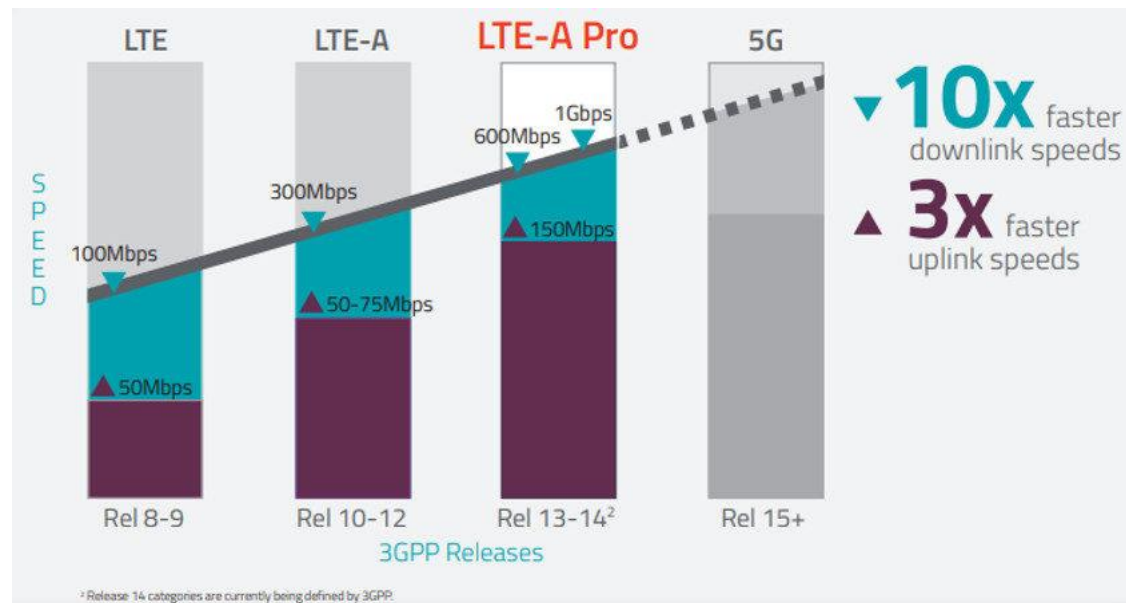


Πηγή: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

Το χαρακτηριστικό RN είναι στην πραγματικότητα σταθμοί βάσης χαμηλής ισχύος που αυξάνουν τη κάλυψη και τη χωρητικότητα στις άκρες των κυψελών και παρέχουν κάλυψη σε περιοχές που δεν έχουν σύνδεση με ίνες. Επιπλέον για το LTE-A έχει δημιουργηθεί ένα σχήμα που ονομάζεται συντονισμένο πολλαπλό σημείο (Coordinated Multipoint) που λύνει το πρόβλημα της κακής απόδοσης στα άκρα των κυψελών, το οποίο αποτελεί σημαντικό ζήτημα στα κυψελοειδή συστήματα. Τέλος υπάρχει και η εγκατάσταση D2D ( Device to Device) που δίνει την δυνατότητα γρήγορης πρόσβασης μέσω άμεσης επικοινωνίας, σύστημα το οποίο χρησιμοποιούν κυρίως οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.[24] [7][13][14][25]

Η εξέλιξη του LTE-A είναι το LTE-A Pro γνωστό και ως Gigabit LTE σε ορισμένες αγορές το οποίο έγινε διαθέσιμο με την 13<sup>η</sup> έκδοση του 3GPP και αποτελεί το τελευταίο άλμα τεχνολογίας πριν από το 5G. Το LTE-A Pro χρησιμοποιεί την

τεχνολογία 256QAM, που αποτελεί την πιο προηγμένη συνάθροιση φορέων και άλλες τεχνικές για περαιτέρω αύξηση ταχύτητας σε σχέση με το LTE-A και είναι ιδανικό για εφαρμογές έντασης δεδομένων και κρίσιμης σημασίας, όπως πρωτόκολλα στο χώρο της αυτοκίνησης. Ενδεικτικά στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η εξέλιξη της ταχύτητας στο δίκτυο 4G.[26]

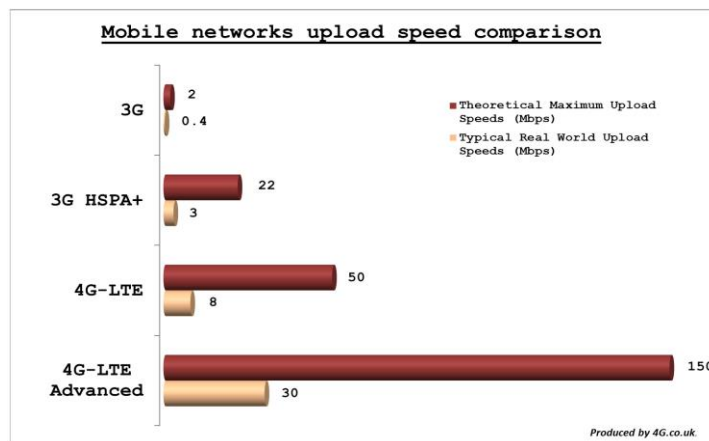
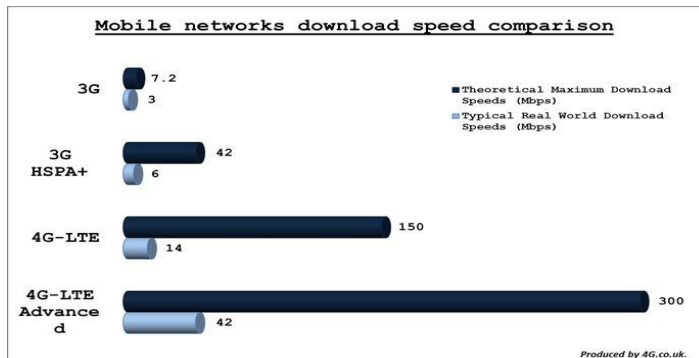


Πηγή: <https://www.androidauthority.com/lte-advanced-176714/>



## 2.3< Πλεονεκτήματα σε σχέση με προηγούμενες γενιές>

Η επαναστατική αυτή τεχνολογία που έφερε το 4G είχε πολλά πλεονεκτήματα για τους χρήστες. Το σημαντικότερο όλων ήταν οι βελτιωμένες ταχύτητες Download και Upload, σε σχέση με το 3G, όπως φαίνονται και στα δύο επόμενα γραφήματα.



Πηγή: <https://www.4g.co.uk/what-is-4g/>

Όμως οι ταχύτητες δεν είναι το μόνο πράγμα που βελτίωσε το 4G. Ο χρόνος απόκρισης στο 4G είναι εμφανώς μειωμένος περίπου στα 50ms από τα 100ms 3G. Αυτή η μείωση έχει μεγάλο αντίκτυπο στην εμπειρία χρήστη, αφού ο χρόνος σύνδεσης είναι εμφανώς γρηγορότερος, αλλά έχει και μεγάλη διαφορά στα online παιχνίδια και στο live streaming. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την εξέλιξη στην απόκριση από γενιά σε γενιά.[11][9]

Generation	Typical Latency
2G	500ms (0.5 seconds)
3G	100ms (0.1 seconds)
4G	50ms (0.05 seconds)
5G	1ms (0.001 seconds)

Το 4G επίσης είναι πιο ασφαλές από τη χρήση δημόσιων δικτύων Wi-Fi. Κάθε φορά που μια συσκευή συνδέεται σε ένα τέτοιο δίκτυο, είναι ευάλωτο σε επιθέσεις και υποκλοπή ευαίσθητων πληροφοριών. Το δίκτυο 4G προσφέρει υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας και καλύτερη προστασία της ιδιωτικής ζωής. Ακόμη η πύκνωστων κεραιών μειώνει την εξάρτηση χρήσης του Wi-Fi. Επιπλέον η τεχνολογία 4G έφερε στη διάθεση του χρήστη την υπηρεσία VoLTE, η οποία είναι παρόμοια με την υπηρεσία VoIP και χρησιμοποιεί φωνητικές εφαρμογές, όπως το skype, για να υποστηρίζει κλήσεις μέσω του διαδικτύου. Το αποτέλεσμα είναι κρυστάλλινες φωνητικές κλήσεις και συνομιλία μέσω βίντεο στη 4G συσκευή σας. Τέλος να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγαλύτερη χωρητικότητα του δικτύου σε χρήστες και αρκετά αυξημένο bandwidth.[14][21][22]

Με την εμπορική διάθεση των προτύπων LTE-A και LTE-A Pro αυξήθηκαν περισσότερο οι ταχύτητες Upload και Download και το εύρος του φάσματος τριπλασιάστηκε. Υπάρχει ακόμα μειωμένο Latency και η μέση απόδοση του χρήστη είναι και αυτή τρεις φορές υψηλότερη σε σχέση με το LTE. Όλα αυτά έδωσαν μια γεύση στο χρήστη για το πως θα είναι περίπου η εμπειρία του 5G που αναμένεται.[26]

## **2.4<Μειονεκτήματα>**

Το βασικό πρόβλημα όταν πρωτοεμφανίστηκε η νέα αυτή τεχνολογία ήταν η κάλυψη του Δικτύου. Όπως προαναφέρθηκε το 4G εκπέμπει σε καινούριες συχνότητες, συνεπώς χρειάζεται εγκατάσταση περισσότερων και καινούριων κεραιών που να υποστηρίζουν τη νέα τεχνολογία. Ειδικά σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες το 4G άργησε να γίνει διαθέσιμο καθώς απαιτούσε μεγάλες επενδύσεις από τους παρόχους για την αναβάθμιση αυτή. Η έλλειψη αυτή σε πύργους εκπομπής επιβάρυνε την μπαταρία των συσκευών, που λόγω αραιής συγκέντρωσης έψαχναν συνεχώς σήμα για να συνδεθούν με αποτέλεσμα η μπαταρία να τελειώνει αρκετά γρήγορα. Ακόμα ένα σημαντικό ζήτημα ήταν ότι το 4G δεν υποστηριζόταν από τις υπάρχουσες συσκευές, πράγμα το οποίο οδήγησε τους χρήστες σε μεγάλα έξοδα για την αγορά νέων συμβατών συσκευών, αφού δεν υπήρχε η δυνατότητα του υπάρχοντος

εξοπλισμού να αναβαθμιστεί. Επιπρόσθετα λόγω των μεγάλων επενδύσεων που έγιναν από τους παρόχους της κινητής τηλεφωνίας, αυξήθηκε και το πάγιο κόστος χρήσης και ταυτόχρονα επειδή το 4G έδινε πολλές δυνατότητες στο χρήστη παρατηρήθηκαν φαινόμενα υπερκατανάλωσης δεδομένων. Το αποτέλεσμα ήταν το 4G να γίνει ασύμφορο στη χρήση τα πρώτα χρόνια. Όσο όμως τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης γίνονται πιο δημοφιλή, όχι μόνο θα γίνει φθηνότερο, αλλά και πιο σταθερό. Τέλος τα ασύρματα δίκτυα αντιμετωπίζουν μια σειρά προκλήσεων ασφαλείας, μια εκ των οποίων είναι οι παρεμβολές. Η φύση του δικτύου 4G δίνει μια αυξημένη πιθανότητα επιθέσεων ασφαλείας, λόγω μεγάλων εγκαταστάσεων. Κατά συνέπεια απαιτήθηκαν πολλαπλά επίπεδα ασφάλειας και ταυτοποίησης για να γίνει όσο το δυνατόν ασφαλέστερη η μετάδοση των δεδομένων. [27][22][28]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: <ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G>

---

---

## 3.1<Η Αρχιτεκτονική και η λειτουργία του>

Το δίκτυο 5G αποτελεί την 5<sup>η</sup> γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας και είναι μια επαναστατική καινοτομία στον χώρο των τηλεπικοινωνιών. Η πιλοτική διάθεση σε χρήστες έχει ξεκινήσει το 2019 και αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία μέσα στο 2020. Το 5G θα επιτρέψει στους χρήστες να εισέλθουν στην γενιά των Gigabit που δε προσφέρει μόνο φοβερά υψηλές ταχύτητες, αλλά και υπηρεσίες όπως την διασύνδεση βιομηχανιών και IoT συσκευών μεταξύ τους. Επίσης θα φέρει πολλές αλλαγές στον τομέα της αυτοκίνησης, όσον αφορά το κομμάτι της αυτόνομης οδήγησης, αλλά και της ιατρικής με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης.

Η νέα τεχνολογία 5G NR σε αντίθεση με το 4G λειτουργεί σε τρία φάσματα συχνοτήτων, το χαμηλό, το μεσαίο και το υψηλό. Πολύ σημαντικό είναι να γίνει ξεκάθαρο ότι οι ταχύτητες που υπόσχεται το 5G έχουν άμεση σχέση με το φάσμα συχνοτήτων που θα εκπέμπει σε κάθε περίπτωση. Ας τα δούμε όμως πιο αναλυτικά:

### **Χαμηλή Ζώνη**

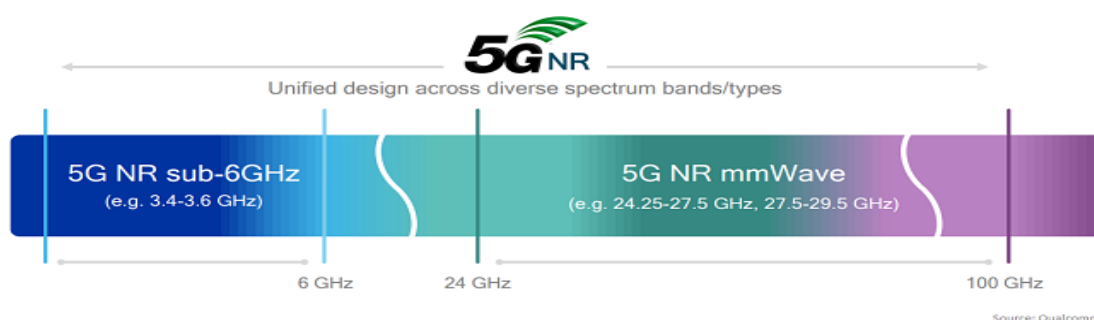
Το φάσμα χαμηλής ζώνης λειτουργεί σε συχνότητες έως και 1Ghz. Αυτό το φάσμα συχνοτήτων έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να ταξιδεύει για πολύ μεγάλες αποστάσεις. Το πρόβλημα με τη χαμηλή ζώνη είναι ότι έχει κορεστεί, αφού σε αυτή λειτουργεί το 4G και δεν υπάρχουν πολλές διαθέσιμες συχνότητες, με αποτέλεσμα το 5G να είναι αργό και να μην μπορεί να αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητες του.[29]

### **Μεσαία Ζώνη**

Το φάσμα μεσαίας ζώνης είναι ταχύτερο από την χαμηλή ζώνη και με μικρότερη καθυστέρηση, αλλά αντιμετωπίζει μεγαλύτερη δυσκολία να περάσει μέσα από τα κτίρια. Εκπέμπει σε συχνότητες από 1-10Ghz και έχει εμβέλεια περίπου 1.5 χιλιόμετρο από τον πύργο. Αυτό το φάσμα καλύπτει τις Wi-Fi συνδέσεις και πολλές από τις κυψελοειδείς. [29][30]

## Υψηλή Ζώνη

Το φάσμα υψηλής ζώνης, ή αλλιώς mmW, είναι αυτό στο οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως τις δυνατότητες του το 5G. Περιλαμβάνει τις συχνότητες από 20 έως 100 GHz και επιτρέπει ταχύτητες έως 10Gbps με πάρα πολύ μικρή καθυστέρηση, της τάξεως του 1ms, αφού αυτό το φάσμα συχνοτήτων δεν έχει χρησιμοποιηθεί ακόμα. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (2-10watts) που έχουν οι κεραιές που εκπέμπουν σε αυτές τις συχνότητες. Έχει όμως ένα βασικό μειονέκτημα, το οποίο είναι η μικρή κάλυψη και η αδυναμία του σήματος να εισχωρήσει μέσα σε τοίχους και παράθυρα. [29][30]



Πηγή: <https://www.rfpage.com/what-are-5g-frequency-bands/>

Οι τρεις αυτές ζώνες του 5G NR χωρίζονται ουσιαστικά σε δύο περιοχές συχνοτήτων (FR), την FR1 και την FR2. Στην FR1 εντάσσονται οι συχνότητες κάτω των 6GHz (450Mhz-6GHz), γι' αυτό είναι γνωστή και ως sub 6GHz περιοχή και θα φέρει το μεγαλύτερο βάρος της παραδοσιακής κυψελοειδούς επικοινωνίας. Στην FR2 εντάσσονται οι συχνότητες άνω των 6GHz, ή αλλιώς mmW, οι οποίες έχουν πολύ μικρή εμβέλεια και θα σηκώσουν το βάρος των υπερυψηλών ταχυτήτων που προσφέρει το 5G. Πολλές από τις υπάρχουσες συχνότητες που διαθέτουν οι πάροχοι κινητής τηλεφωνίας, ανα τον κόσμο, θα αναθεωρηθούν όσο το 5G γίνεται πιο εμπορικό, ώστε να του αφήσουν περισσότερο χώρο. Εξάλλου προβλέπεται ότι κάποια στιγμή το 3G θα αποσυρθεί και πέρα από το 2G που θα χρησιμοποιείται μόνο για κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές, θα μείνει το 5G κυρίως και σαν δεύτερη λύση το 4G.[40][41]

Η αρχιτεκτονική του 5G θα ενσωματώνει ένα ψηφιακό μετασχηματισμό δικτύων, λειτουργικών συστημάτων και υπηρεσιών. Αυτό εποτυγχάνεται με τη χρήση τεχνολογιών SDN και NFV. Το NFV, η εικονοποίηση δηλαδή των λειτουργιών του δικτύου, ουσιαστικά αποσυνδέει το λογισμικό από το υλικό. Με αυτό τον τρόπο διάφορες λειτουργίες του δικτύου αντικαθίστανται από εικονικά

παραδείγματα, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται γρηγορότεροι χρόνοι εγκατάστασης αλλά και ταχύτερη παροχή υπηρεσιών. Επίσης το NFV επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτέλεση πολλαπλών εικονικών δικτύων. Το SDN είναι μια καινοτόμα αρχιτεκτονική που μειώνει τους περιορισμούς του υλικού και έχει σκοπό να παρέχει την δυνατότητα στο 5G να λειτουργεί σε ένα επίπεδο ελέγχου, επιτυγχάνοντας καλύτερες ροές δεδομένων. Μία ακόμη τεχνολογία που αποτελεί βασικό συστατικό της αρχιτεκτονικής του 5G είναι το Network Slicing. Με αυτή την τεχνολογία αξιοποιούνται πλήρως οι δυνατότες του 5G και ειδικότερα οι δυνατότητες του NFV, αφού επιτρέπει σε πολλά δίκτυα να τρέχουν ταυτόχρονα. Το Network Slicing συνεισφέρει ακόμα και στο IoT, όπου παρατηρείται μεγάλος αριθμός χρηστών, σε μικρό εύρος ζώνης. Το beamforming είναι μια άλλη πρωτοποριακή τεχνολογία που κρύβει η αρχιτεκτονική του 5G. Ο ρόλος του ουσιαστικά είναι μαζί με τη χρήση MIMO να προσδιορίζει τη βέλτιστη διαδρομή για τη μετάδοση του σήματος σε κάθε χρήστη. Τέλος το χαρακτηριστικό που ολοκληρώνει την εξαιρετική αρχιτεκτονική του 5G είναι η πύκνωση του δικτύου (Network Densification). Σε περιοχές με υψηλή δυναμικότητα, όπως οι αστικές περιοχές που έχουν πολλούς χρήστες κινητής τηλεφωνίας, η προσθήκη περισσότερων κυψελών είναι απαραίτητη, γιατί αυξάνει τη διαθέσιμη χωρητικότητα, πράγμα το οποίο βοηθάει στη κυκλοφορία του δικτύου. Με την άυξηση των κυψελών, αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων δικτύου που με τη σειρά τους επιτρέπουν τη βελτίωση των επιτευξιμων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων.[45][46][47][48]

### **3.2< Υπηρεσίες >**

Η νέα τεχνολογία 5G φέρνει υπερυψηλές ταχύτητες μαζί της που θα επιτρέψουν την διασύνδεση συσκευών IoT και έναν κόσμο πραγματικά on-line. Επιπλέον όμως το 5G προσφέρει ορισμένες υπηρεσίες όπως το eMBB, URLLC και mMTC. Το eMBB ουσιαστικά είναι η ενισχυμένη ευρυζωνικότητα των κινητών που προσφέρει υψηλές ταχύτητες και μεγάλη χωρητικότητα. Ακόμη δίνει τη δυνατότητα για σταθερή ασύρματη σύνδεση σε σπίτια και άλλες εφαρμογές, όπως την εικονική πραγματικότητα. Το URLLC αποτελεί την πιο σημαντική προσθήκη που φέρνει το 5G. Το χαρακτηριστικό του URLLC είναι το πολύ χαμηλό latency, εξου και LL(low

latency), με στόχο αυτό να αγγίζει το 1ms. Η χαμηλή καθυστέρηση είναι σημαντική για τις καινοτομίες που θα φέρει το 5G στην αυτοκίνηση, στην Ιατρική, στη Ρομποτική, στη Βιομηχανία και σε άλλους τομείς, καθώς πρέπει η εντολή να μεταφέρεται ακαριαία. Όσον αφορά το mMTC είναι ουσιαστικά η μαζική επικοινωνία μηχανής με μηχανή. Πρακτικά επιτρέπει τη διασύνδεση εκατομμυρίων συσκευών αυτοματοποιημένα χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτή η καινοτομία θα φέρει επανάσταση στον τομέα της βιομηχανίας και της γεωργίας, αφού πολλές εργασίες θα αυτοματοποιηθούν στο πλαίσιο του IoT. Συνεπώς παρατηρείται ότι το 5G δεν αλλάζει τη καθημερινότητα του χρήστη μόνο ως προς τη ταχύτητα των πραγμάτων, αλλά κάνει τη ζωή του πιο εύκολη και διασκεδαστική, αυτοματοποιώντας πολλές εργασίες και του αφήνει περισσότερο προσωπικό χρόνο.[31][32]

### 3.3<Πλεονεκτήματα >

Το 5G αποτελεί μια πλατφόρμα καινοτομιών, που όχι μόνο ανεβάζει ένα σκαλί πιο ψηλά τα κυψελοειδή δίκτυα, αλλά θα επεκτείνει το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και ευρυζωνικών συνδέσεων, ώστε να υποστηρίξουν πληθώρα συσκευών και υπηρεσιών.



Πηγη: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>

Όπως είναι κατανοητό αυτή ή νέα γενιά δικτύου κρύβει πολλά πλεονεκτήματα. Το κύριο και βασικότερο είναι ότι συγκεντρώνει όλα τα δίκτυα σε μια πλατφόρμα, με αποτέλεσμα να είναι αποτελεσματικότερο, αλλά και απόδοτικότερο. Είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο που να μπορεί να υποστηρίξει ομαλή διασύνδεση σε όλο τον κόσμο, προσφέροντας ασύλληπτα γρήγορες ταχύτητες και τεράστια χωρητικότητα δικτύου. Επιπρόσθετα το 5G θα επιτρέψει και την πιο εκτεταμένη χρήση του VR. Έτσι ένας εργαζόμενος θα μπορεί να είναι σπίτι του και από εκεί να συνεδριάζει με τους υπολοίπους συναδέλφους του σα να είναι εκεί, ή ένας μαθητής θα μπορεί μια μέρα που είναι άρρωστος να παρακολουθήσει από το σπίτι το μάθημα του, για να μη το χάσει. Επιπλέον ο τομέας της Ιατρικής θα είναι από τους πλέον κερδισμένους με τη χρήση του 5G, αφού ένας γιατρός θα μπορεί να περιθάλπει έναν ασθενή σε κάποια απομακρυσμένη περιοχή. Αντίστοιχα μεγάλη εξέλιξη θα υπάρξει και στον τομέα της αυτοκίνησης με την εκτενέστερη χρήση της αυτόνομης οδήγησης και της διασύνδεσης των οχημάτων. Ο τομέας της βιομηχανίας επίσης θα γνωρίσει μεγάλες αλλαγές με την αυτοματοποίηση πολλών εργασιών. Από τους μεγάλους κερδισμένους θα είναι και οι επιστήμονες, που πλέον θα μπορούν να προβλέψουν αρκετά πιο εύκολα καιρικά φαινόμενα ή φυσικές καταστροφές. Επίσης θα υπάρχει μεγάλη μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, αφού με τη πυκνότερη χρήση κεραιών, η κατανάλωση μπαταρίας στις συσκευές θα είναι μικρότερη. Μια έρευνα που διεξήχθη αποκάλυψε ότι το 5G έως το 2035 θα προσφέρει υπηρεσίες και προϊόντα αξίας 12 τρισεκατομμυρίων δολαρίων, θα μπορέσει να προσφέρει έσοδα 3.5 τρισεκατομμυρίων δολαρίων σε προγραμματιστές, παρόχους κινητής τηλεφωνίας και app developers καθώς και 22 εκατομμύρια θέσεις εργασίας. Τέλος σύμφωνα με τον Gartner ο αριθμός των συνδεδεμένων M2M IoT συσκευών θα αγγίζει τα 20.4 δισεκατομμύρια έως το 2020.[2][1][49][33][34]

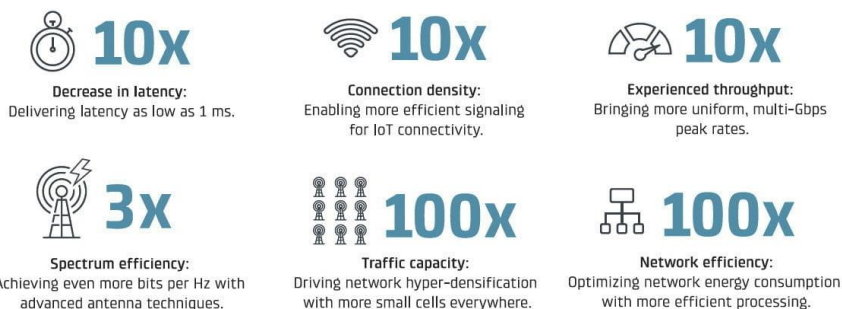


### 3.4< Σύγκριση 4G-5G >

Όταν πρωτοεμφανίστηκε το 4G, έφερε τρομερές αλλαγές στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας. Οι ταχύτητες ήταν πολύ υψηλές, μπορούσε κανείς να κάνει streaming και επέτρεψε τη χρήση πολλών άλλων υπηρεσιών, τις οποίες με το 3G δεν είχαμε ποτέ φανταστεί. Το 5G όμως έρχεται να ξαναταράξει τα νερά στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας. Είναι γεγονός ότι στο φάσμα mmW το 5G θα ξεπερνάει την ταχύτητα του 1Gbps, την στιγμή που το 4G έχει την ίδια τιμή σαν μέγιστη θεωρητική, χωρίς όμως ποτέ να έχει καν πλησιάσει αυτή την τιμή. Βέβαια το μεγάλο πρόβλημα δεν είναι η ταχύτητα, καθώς στις καθημερινές εργασίες ενός μέσου χρήστη το LTE-A είναι υπεραρκετό. Η σημαντική και εμφανής διαφορά που θα παρατηρήσει κανείς με το 5G, είναι η καθυστέρηση(latency). Latency είναι η καθυστέρηση που κάνει μια συσκευή για τη μεταφόρτωση των δεδομένων για την επίτευξη ενός στόχου. Στα δίκτυα 4G αυτή η τιμή κυμαίνεται περίπου στα 50ms. Είναι ζωτικής σημασίας αυτή η τιμή να είναι χαμηλή καθώς στο 5G θα πραγματοποιούνται εργασίες που θέλουν ταχύτητα στην μεταφορά εντολών, όπως στην αυτοκίνηση ή την ιατρική. Με την σχεδίαση του το 5G θα έχει καθυστέρηση της τάξεως των 10ms. Το χαμηλό latency αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη μετάβαση στο 5G. Επιπλέον χάρη στη τεχνολογία MIMO οι σταθμοί βάσης 5G θα μπορούν να έχουν έως και 100 κεραιές, σε αντίθεση με το 4G που μπορούσε να υποστηρίξει 12 κεραιές. Στο θέμα της κάλυψης του δικτύου θα χρειαστεί καιρό και στο 5G να εξαπλωθεί, αφού χρειάζεται μεγάλες επενδύσεις, συνυπολογίζοντας ότι πολλές αγροτικές περιοχές χρησιμοποιούν ακόμα 3G.[43][42][44]

#### The Landscape of 5G

5G will differentiate itself by delivering various improvements:



Πηγή: <https://www.digitaltrends.com/mobile/5g-vs-lte/>

### ***3.5<Challenges του δικτύου 5G>***

Με την πιλοτική διάθεση του 5G στο κοινό να έχει ξεκινήσει σε πολλά μέρη του κόσμου και το 2020 να αναμένεται να αυξηθεί κατακόρυφα, εγείρονται πολλά ερωτήματα για το αν τελικά το 5G θα προσφέρει αυτά που υπόσχεται και με τί κόστος, κοινωνικό αλλά και οικονομικό. Το 5G στην μέχρι εδώ πορεία του είχε – και έχει ακόμα- να αντιμετωπίσει αρκετά challenges, για να πετύχει αυτό που υπόσχεται. Ορισμένα από αυτά θα αναπτύξουμε παρακάτω.

#### ***Interference***

Όπως έχει αναλυθεί παραπάνω η τεχνολογία 5G λειτουργεί και σε φάσματα συχνοτήτων κατω των 6Ghz και mmW, όπου παρατηρείται κυρίως το φαινόμενο των παρεμβολών. Η πρόκληση ήταν να εξεταστεί αν η απόδοση κάποιας συσκευής επηρεάζεται από παρεμβολές της ίδιας της συσκευής, ή από κάποιας άλλης. Τέτοιες παρεμβολές είναι οι παρεμβολές δέσμης. Ένα άλλο ζήτημα που προέκυψε ήταν οι παρεμβολές από τους υδρατμούς, οι οποίοι εκπέμπουν ένα πολύ χαμηλό σήμα στα 23.8 Ghz, το οποίο μπορούν να εντοπίσουν οι δορυφόροι και είναι πολύ σημαντικό για την πρόβλεψη του καιρού από τους μετεωρολόγους. Μάλιστα ο αναπληρωτής διευθυντής της NOAA, Neil Jacobs, επισήμανε ότι η ακρίβεια των μετεωρολογικών προβλέψεων θα μειωθεί έως και 30%. Για τον λόγο αυτό ο Υπουργός εμπορίου των Η.Π.Α ζήτησε από την FCC την καθυστέρηση κάποιων δημοπρατήσεων φάσματος, έως ότου βρεθεί κάποια λύση στο ζήτημα. Η πρόταση του όμως απορρίφθηκε.[38]

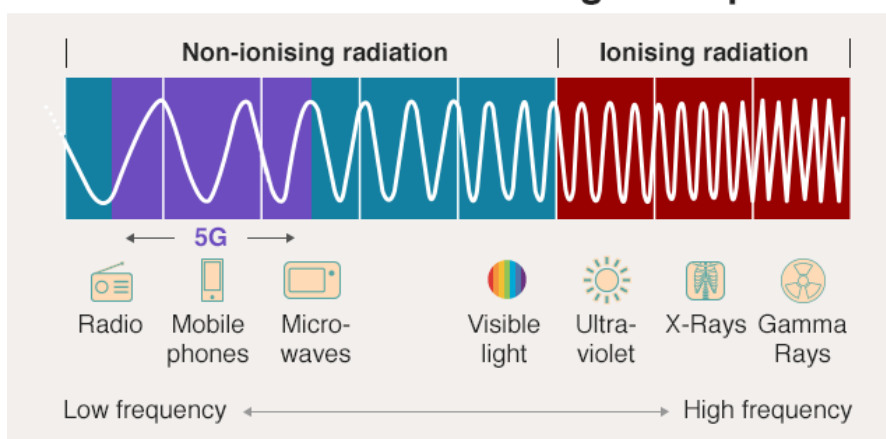
Από την άλλη μεριά υπάρχει και η άποψη ότι το θέμα των παρεμβολών είναι μια μεγάλη προπαγάνδα. Υποστηρίζεται ότι η λειτουργία των mmW και η απλή φυσική αφήνουν πολύ μικρά περιθώρια παρεμβολών τόσο σε μετεωρολογικές προβλέψεις, όσο και σε άλλους χρήστες. Επιπλέον αποτελεί προϋπόθεση για τους παρόχους που έχουν πάρει τις άδειες, να κρατήσουν τις παρεμβολές στο ελάχιστο. Σίγουρα θα μπορούσαν να υπάρξουν προβλήματα παρεμβολών, αλλά εκτιμάται ότι είμαστε πολλά χρόνια, ίσως και δεκαετίες, μακριά.[35]

## Επιπτώσεις στην υγεία

Η τεχνολογία 5G φέρει μαζί της μια πολύ μεγάλη συζήτηση γύρω από το θέμα των επιπτώσεων που μπορεί να έχει η ακτινοβολία στην υγεία των ανθρώπων. Κατά καιρούς διεξάγονται διάφορες έρευνες από Ινστιτούτα παγκοσμίως που καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η τεχνολογία είναι επιβλαβής για την δημόσια υγεία. Ο Paul Ben-Ishai, μέλος του τμήματος Φυσικής της Ιερουσαλήμ, διαπίστωσε ότι το ανθρώπινο δέρμα είναι εξαιρετικά αγωγίμο στην ακτινοβολία EMF του 5G. Στον αντίλογο έρχονται επιστήμονες και φυσικοί όπου εξηγώντας τη φύση των ραδιοκυμάτων προσπαθούν να καθυσηχάσουν τον κόσμο υποστηρίζοντας ότι η τεχνολογία 5G δεν έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Στη Γενεύη μάλιστα, ο Σύνδεσμος Ελβετικών Τηλεπικοινωνιών δήλωσε ότι οι μελέτες δε μπόρεσαν να αποδείξουν ότι οι συχνότητες 5G έχουν επιπτώσεις στην υγεία. Το μόνο σίγουρο είναι ότι είναι ένα περίπλοκο και πολύπλευρο ζήτημα, στο οποίο κανείς δεν έχει δώσει σαφή και σίγουρη απάντηση. Όλα τα σενάρια είναι υποθετικά και θα επιβεβαιωθούν με τη χρήση της τεχνολογίας.[38]

Όλη η ανησυχία ξεκινάει από την ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων (RFR), η οποία μπορεί να είναι από μικροκύματα έως και ακτίνες X. Το πραγματικό ζητούμενο όμως είναι αν αυτή η ακτινοβολία είναι ιονίζουσα ή μη-ιονίζουσα. Η μη-ιονίζουσα ακτινοβολία είναι πολύ αδύναμη για να σπάσει χημικούς δεσμούς στο ανθρώπινο σώμα. Σε αυτή την κατηγορία εμπίπτουν το ραδιόφωνο, το Wi-fi και το ηλεκτρικό ρεύμα. Σύμφωνα με τον Δρ. Steve Novella δεν υπάρχει γνωστός μηχανισμός για τις περισσότερες μορφές μη-ιονίζουσας ακτινοβολίας που έχουν ακόμη και βιολογικό αποτέλεσμα.[36].

### Where 5G fits in the electromagnetic spectrum



Source: SCAMP/Imperial College London/EBU

BBC

## *Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα*

Ένα σημαντικό θέμα που έχει προκύψει είναι ο φόβος παρακολούθησης των χρηστών από κινέζικες εταιρίες. Οι εταιρίες Huawei και ZTE έχουν επιλεγεί να εξοπλίσουν πολλές χώρες με το κατάλληλο hardware για τη μετάβαση στο 5G. Όμως υπάρχουν υπόνοιες ότι η κινεζική κυβέρνηση μέσω του εξοπλισμού των εταιριών αυτών, θα σύλλεγει προσωπικές πληροφορίες για τους χρήστες. Οι εταιρίες φυσικά αρνούνται κάτι τέτοιο. Γι' αυτό το λόγο έχει ξεκινήσει από πολλές χώρες, μεταξύ των οποίων η Αυστραλία, η Μ.Βρετανία και οι Η.Π.Α, ένα κύμα απαγόρευσης της προμήθειας εξοπλισμού από κινεζικές εταιρίες.

Όσον αφορά το ζήτημα της ασφάλειας κι εκεί υπάρχουν μελανά σημεία. Μια ομάδα ερευνητών του πανεπιστημίου ETH της Ζυρίχης, κυκλοφόρησε ένα έγγραφο το 2018, το οποίο περιέγραφε την τεχνολογία 5G ως ανώριμη και ανεπαρκώς δοκιμασμένη. Οι νέες υπερυψηλές ταχύτητες θα οδηγήσουν τους παρόχους στην εκτεταμένη χρήση του cloud και εικονοποίησης δεδομένων και αυτό απαιτεί υψηλά επίπεδα ασφαλείας. Οι πάροχοι υπόσχονται ένα ψηφιακό δίκτυ προστασίας στους πελάτες τους, όμως αυτό παρ'όλο τον εφησυχασμό των χρηστών, εξακολουθεί να είναι προβληματικό και ανεπαρκές. Η IoT Analytics εκτιμά ότι ο αριθμός των IoT συσκευών, που επιτρέπει η τεχνολογία 5G, θα αυξηθεί το 2025 σε 21.5 δισεκατομμύρια, από 7 δισεκατομμύρια το 2018. Αυτή η κατακόρυφη αύξηση δίνει τεράστιο χώρο σε επιθέσεις DDoS, cryptojacking και άλλες κυβερνοεπιθέσεις. Αποτέλεσμα αυτού πολλές εταιρίες του χώρου όπως οι Fortinet, Arbor Networks, Voxility να ψάχνουν εξατομικευμένες λύσεις για την προστασία από τις επιθέσεις αυτές. Μια ομάδα ερευνητών του πανεπιστημίου ETH της Ζυρίχης, κυκλοφόρησε ένα έγγραφο το 2018, το οποίο περιέγραφε την τεχνολογία 5G ως ανώριμη και ανεπαρκώς δοκιμασμένη. [37][38]

## ***Κόστος***

Η τεχνολογία 5G δεν είναι μια επένδυση που ακουμπάει πάνω στην τεχνολογία 4G για την ανάπτυξη της. Είναι μια εξ' ολοκλήρου νέα τεχνολογία πάνω σε εντελώς νέες βάσεις. Αυτό οδηγεί το κόστος κατασκευής σε υπέρογκα ποσά, που υπολογίζεται το 2023 να έχουν αγγίξει τα 88 δις. Το κόστος της ανάπτυξης φυσικά θα περάσει σε μεγάλο βαθμό στους καταναλωτές που θα θελήσουν να δοκιμάσουν τη νέα τεχνολογία, με υψηλές συνδρομές, όπως είχε συμβεί και με την εμφάνιση του 4G. Μεγάλο ρόλο στη μείωση του κόστους για τον μέσο καταναλωτή, θα παίξει και η χρήση του 5G από εταιρίες, εργοστάσια και δημόσιους οργανισμούς που θα απορροφήσουν μεγάλο μέρος της επένδυσης. Επιπλέον ένα πρόσθετο έξοδο για κάποιον που θα θελήσει να εισέλθει στη τεχνολογία 5G, είναι οι νέες συσκευές smartphone και IoT που θα χρειαστεί να αγοράσει για να αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότες του 5G. [37]

## ***Αξιοπιστία***

Η αξιοπιστία της νέας τεχνολογίας είναι αυτή που θα παίξει καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία ή αποτυχία του 5G. Το πιο ευάλωτο σημείο μεταξύ χρήστη-κεραίας είναι τα εκατοντάδες μέτρα επικοινωνίας που πραγματοποιούνται ασύρματα. Το 5G έχει αυξημένη ευπάθεια στον τομέα αυτό, λόγω και την χρήσης του φάσματος mmW, το οποίο επηρεάζεται εύκολα από εξωτερικούς παράγοντες όπως η βροχή. Για να αποφευχθούν οι χαμένες κλήσεις και η απώλεια σήματος, το 5G ενσωματώνει τεχνολογίες όπως το Beamforming, το SDN και τη γρήγορη αποτυχία δικτύου. Συνεπώς με μια καλά σχεδιασμένη αρχιτεκτονική δικτύου, η αξιοπιστία μπορεί να αυξηθεί κατακόρυφα και αν εξαλειφθούν τέτοιου είδους προβλήματα.[39]

# *BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ*

---

---

## **Δημοσιεύσεις:**

[1] “Comparative studies on 3G,4G and 5G wireless technology”, Olumuyiwa Oludare FAGBOHUN, 2014

[2] “5G Internet of Things: A Survey”, Shancang Li, Li Da Xu Shanshan Zhao, 2018

## **URLs:**

[3] <https://en.wikipedia.org/wiki/1G>

[4] <https://en.wikipedia.org/wiki/2G>

[5] [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Packet\\_Radio\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service)

[6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced\\_Data\\_Rates\\_for\\_GSM\\_Evolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_Data_Rates_for_GSM_Evolution)

[7] [https://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_Advanced](https://en.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced)

[8] <https://en.wikipedia.org/wiki/3G>

[9] <https://www.lifewire.com/how-fast-are-4g-and-3g-internet-speeds-3974470>

[10] <https://www.speedcheck.org/wiki/3g/>

[11] [https://kenstechtips.com/index.php/download-speeds-2g-3g-and-4g-actual-meaning#2G\\_3G\\_4G\\_5G\\_Download\\_Speeds](https://kenstechtips.com/index.php/download-speeds-2g-3g-and-4g-actual-meaning#2G_3G_4G_5G_Download_Speeds)

[12] <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3g-hspa/what-is-hspa-high-speed-packet-access-tutorial.php>

[13] <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

[14] <https://www.androidauthority.com/lte-advanced-176714/>

[15] <https://en.wikipedia.org/wiki/4G>

- [16] <https://www.lifewire.com/definition-of-hspa-578679>
- [17] <https://www.electronicdesign.com/technologies/communications/article/21799728/understanding-hspa-cellular-technology>
- [18] <https://www.androidauthority.com/what-is-4g-283190/>
- [19] <http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-analog-and-digital-transmission/>
- [20] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A8%CE%B7%CF%86%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%83%CE%AE%CE%BC%CE%B1>
- [21] <https://www.4g.co.uk/what-is-4g/>
- [22] <https://www.broadbandcompared.co.uk/guides/what-is-4g-everything-about-4g-explained>
- [23] <https://www.techspot.com/guides/272-everything-about-4g/>
- [24] <https://www.everythingrf.com/community/what-is-lte-a>
- [25] <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/what-is-lte-advanced.php>
- [26] <https://www.westbase.io/what-is-lte-advanced-pro-mean-iot/>
- [27] <https://assignmenthelp4me.com/article-four-g-network-features-and-challenges-393.html>
- [28] [https://electricalfundablog.com/disadvantages-of-4g-phone-network-technology-applications/#Limited\\_4G\\_network\\_towers](https://electricalfundablog.com/disadvantages-of-4g-phone-network-technology-applications/#Limited_4G_network_towers)
- [29] <https://www.pcmag.com/article/345387/what-is-5g>
- [30] <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-5g/>
- [31] <https://www.mediatek.com/blog/5g-what-are-embb-urllc-and-mmtc>
- [32] <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>
- [33] <https://www.qualcomm.com/invention/5g/what-is-5g>
- [34] [https://www.tutorialspoint.com/5g/5g\\_advantages\\_disadvantages.htm](https://www.tutorialspoint.com/5g/5g_advantages_disadvantages.htm)

- [35] <https://www.digitaltrends.com/mobile/5g-weather-satellite-interference/>
- [36] <https://www.howtogeek.com/423720/how-worried-should-you-be-about-the-health-risks-of-5g/>
- [37] <https://www.futurithmic.com/2019/02/26/five-biggest-challenges-facing-5g/>
- [38] <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
- [39] <https://www.a10networks.com/blog/5g-network-reliability-explained/>
- [40] <https://www.everythingrf.com/community/5g-nr-new-radio-frequency-bands>
- [41] <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/frequency-bands-channels-fr1-fr2.php>
- [42] <https://www.tomsguide.com/features/5g-vs-4g>
- [43] <https://www.digitaltrends.com/mobile/5g-vs-4g/>
- [44] <https://www.digitaltrends.com/mobile/5g-vs-lte/>
- [45] <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-architecture/>
- [46] <https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-architecture>
- [47] <https://www.rcrwireless.com/20171204/fundamentals/the-role-of-nfv-and-sdn-in-5g-tag27-tag99>
- [48] <https://www.rcrwireless.com/20161109/fundamentals/network-densification-5g-tag31-tag99>

#### **Αναφορές:**

- [49] Egham, Gartner Says 8.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2017, Up 31 Percent From 2016, [Available on line 14 Jan 2018], <https://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>