

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA**  
**FACULTATEA DE ELECTRONICĂ,**  
**TELECOMUNICAȚII ȘI TEHNOLOGIA INFORMAȚIEI**  
**Inginerie Economică în Domeniul Electric, Electronic și Energetic**

# **Prezentare generală a 5G NR. Performanțe tehnice. Disponibilitate a serviciilor 5G în lume.**

**Proiect Sisteme de Comunicații**  
**an III sem. I**

**Studentă,**  
**Golgoțiu Andreea-Florina**

**Profesor coordonator,**  
**As. dr. ing. Rareș Buta**

**2024**

# Cuprins

1. Prezentare generală a 5G NR .....	4
2. Performanțe tehnice .....	7
2.1 Frecvențe radio.....	8
2.2 Diferențe între 4G LTE și 5G NR .....	11
2.3 Arhitectura de rețea .....	12
3. Disponibilitatea serviciilor 5G în lume .....	15
4. Referințe .....	19

## Abstract

Această lucrare analizează evoluția comunicațiilor mobile, punând accent pe tehnologia 5G NR (New Radio), standardul global pentru interfața aeriană a rețelelor de a cincea generație. Structurată în trei capitole principale, lucrarea explorează transformările semnificative ale telecomunicațiilor, performanțele tehnice și disponibilitatea serviciilor 5G în lume. Sunt prezentate principalele transformări din istoria comunicațiilor mobile, de la 1G la 5G, alături de caracteristicile tehnice și avantajele specifice fiecărei generații. Se analizează performanțele tehnice ale rețelelor 5G, inclusiv viteze de transfer mult mai mari, latențe reduse și conectivitate extinsă, precum și tehnologiile avansate, cum ar fi beamforming, Massive MIMO și utilizarea spectrului mmWave, diferențele dintre 4G LTE și 5G NR. Sunt detaliate componentele principale ale arhitecturii rețelelor 5G, precum Rețeaua de Acces Radio (RAN), responsabilă de gestionarea resurselor radio, și Rețeaua Centrală (Core Network), care coordonează funcțiile esențiale, inclusiv autentificarea, gestionarea sesiunilor și conexiunile „end-to-end”. De asemenea, este prezentată funcționarea nodurilor specifice, cum ar fi eNB (evolved Node B) pentru LTE și gNB (gNodeB) pentru 5G NR, care permit conectivitatea eficientă în rețele hibride și standalone. Se subliniază modul în care 5G redefinește telecomunicațiile globale, aducând beneficii majore pentru consumatori, companii și industrii. Astfel, se va specifica despre lansările comerciale ale 5G, gradul de adoptare la nivel global și impactul asupra traficului mobil.

# 1. Prezentare generală a 5G NR

5G NR (New Radio) este o tehnologie de acces radio (RAT, Radio Access Technology) dezvoltată de 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Reprezintă standardul global pentru interfața aeriană a rețelelor 5G, a cincea generație de comunicații mobile. A fost creat pentru a susține cerințele de conectivitate ale unei lumi din ce în ce mai digitalizate, oferind performanțe superioare în comparație cu generațiile anterioare de rețele mobile (3G, 4G LTE). 5G NR nu este doar o evoluție a 4G, ci introduce o arhitectură nouă și tehnologii avansate pentru a sprijini diverse aplicații și cazuri de utilizare.

În ultimele patru decenii, lumea tehnologiei mobile a suferit o evoluție remarcabilă începând cu prima generație a rețelelor mobile 1G, care a facilitat doar apelurile vocale, până la revoluția tehnologică a rețelelor 5G, introducând conectivitatea la internet și serviciile multimedia la viteze impresionante. Astfel, odată cu dezvoltarea celor patru generații de comunicații mobile sfera telecomunicațiilor a suferit transformări majore, cum se poate observa în Figura 1.

Prima generație de comunicații mobile a apărut în jurul anului 1980 și s-a bazat pe transmisia analogică, principalele tehnologii fiind AMPS( Advanced Mobile Phone System) dezvoltat în America de Nord, NMT (Nordic Mobile Telephony) dezvoltat în comun de către guvern, la acea vreme, operatori publici de telefonie controlați din țările nordice și TACS (Total Access Communication System) utilizat, de exemplu, în Regatul Unit. Nippon Telegraph and Telephone (NTT) a introdus rețelele mobile 1G în Tokyo în 1979. NTT avea 1G funcțional în toată Japonia până în 1984. Motorola DynaTAC a fost unul dintre primele telefoane mobile utilizate pe scară largă din Statele Unite, când primele operațiuni 1G au fost permise în 1983. DynaTAC a dovedit viabilitatea tehnologiei 1G prin atragerea a 20 de milioane de utilizatori fără precedent în întreaga lume până în anul 1990. Printre țările care și-au lansat propriile rețele 1G la câțiva ani după Statele Unite au s-au numărat Canada și Regatul Unit. [7] [9]

La începutul anilor 1990 apare a doua generație de comunicații mobile. Aceasta se remarcă prin introducerea transmisiei digitale pe legătura radio, oferind și servicii limitate de date, deși serviciul țintă era încă vocea. Inițial au existat mai multe tehnologii diferite de a doua generație, inclusiv GSM( Global System for Mobile communication), dezvoltate în comun de un număr mare de țări din Europa, PDC( Personal Digital Cellular) dezvoltat și utilizat exclusiv în Japonia, D-AMPS( Digital- Advanced Mobile Phone System) și tehnologia IS-95 care a fost implementată într-o etapă ulterioară bazată pe CDMA. GSM s-a răspândit treptat din Europa către alte regiuni ale lumii, devenind în cele din urmă tehnologia dominantă a celei de-a doua generații. Datorită succesului GSM, sistemele de a doua generație au transformat telefonია mobilă dintr-o tehnologie folosită de o mică parte a populației, într-un instrument de comunicare esențial pentru majoritatea oamenilor din întreaga lume. Finlanda a introdus a doua generație de rețele mobile în 1991, deschizând primele conversații criptate și comunicații audio digitale mult îmbunătățite, cu mai puține zgomote statice și de fundal. În plus, pentru prima dată pe dispozitivele mobile au fost toate disponibile SMS-urile, MMS-urile și MMS-urile. Prin urmare, a avut loc o adoptare a 2G fără precedent, atât de companii, cât și de clienți. Operatorii s-au grăbit să investească în infrastructură nouă, cum ar fi turnurile de telefonie mobilă, în ciuda vitezei inițiale de transfer lente ale 2G, de aproximativ 9,6 kbps. Până la final, utilizatorii puteau obține viteze de descărcare de până la 40 kbps prin dial-up și până la 500 kbps prin EDGE. [7] [9]

La începutul anului 2000 a fost introdusă a treia generație de comunicații mobile, adesea denumită doar 3G sau cunoscută sub denumirea HSPA( High Speed Packet Access) care a permis accesul rapid la internet wireless. În plus, în timp ce tehnologiile anterioare de comunicații mobile au fost create pentru funcționarea în spectru împerecheat( spectru separat pentru legături de la rețea la dispozitiv și de la dispozitiv la rețea) bazat pe FDD, Frequency- Division Duplex, a treia generație a asistat la prima introducere a comunicațiilor mobile în spectrul neîmperecheat realizat pe tehnologia TD- SCDMA dezvoltată în China, bazându-se pe TDD, Time Division Duplex. În 2001, NTT DoCoMo a fost prima companie care a lansat o rețea 3G, cu intenția de a

standardiza tehnologia de rețea pe care o folosesc furnizorii de servicii. Fiindcă pachetele de date care alimentează o conexiune la Internet sunt standardizate, utilizatorii au posibilitatea de a accesa date de oriunde pe glob. Așadar, serviciile de roaming la nivel mondial au fost puse la dispoziție pentru prima dată prin intermediul acestora. Datorită îmbunătățirilor în transferul de date aduse de 3G, au devenit accesibile noi servicii, precum Voice over Internet Protocol, streaming video și videoconferințe. Fiecare etapă dintre primele trei niveluri ale rețelei a implicat necesitatea unui hardware nou. Utilizarea smartphone-urilor era în creștere în momentul în care 3G a fost introdus, iar acestea au evoluat în mini computere portabile care puteau fi luate oriunde.

A patra generație a comunicațiilor mobile, reprezentată de tehnologia LTE, Long-Term Evolution oferă o eficiență mai mare, lățimi de bandă de transmisie mai largi și tehnologii mai avansate cu mai multe antene. În 2009, primul serviciu comercial 4G, folosind standardul LTE, a fost lansat în Stockholm, Suedia, și Oslo, Norvegia. Apoi a fost lansat în întreaga lume, făcând streaming video de înaltă calitate o realitate pentru milioane de oameni. În timp ce 3G permitea comunicațiile mobile în spectru neîmperecheat prin intermediul unei tehnologii specifice de acces radio (TD-SCDMA), LTE acceptă atât operarea FDD, cât și TDD, adică funcționarea atât în spectre asociate, cât și nepereche, în cadrul unei singure tehnologii de acces radio comun. Prima versiune pentru NR este în 3GPP Release 15 fiind disponibilă până la sfârșitul anului 2017 pentru a îndeplini cerințele comerciale privind implementările timpurii 5G deja în 2018. [7] [9]

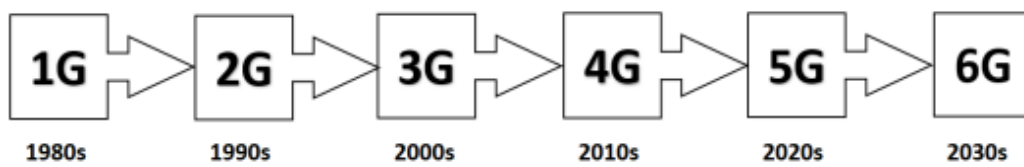


Figura 1. Evoluția rețelelor mobile

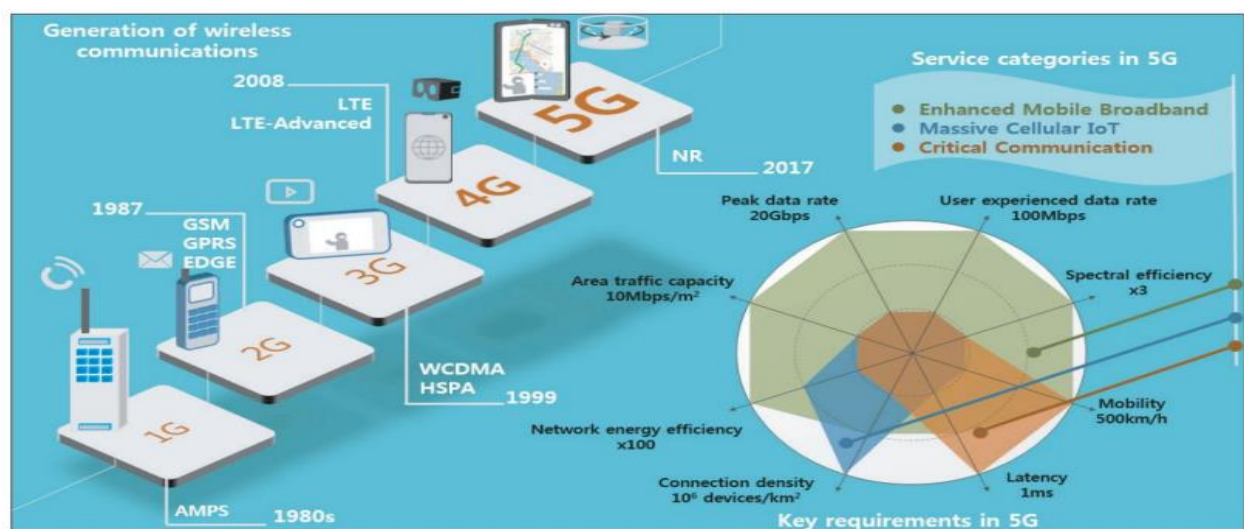


Figura 2. Cerințe cheie ale comunicațiilor mobile celulare 5G definite de ITU-R, Uniunea Internațională de Telecomunicații Sectorul de Standardizare a Radiocomunicațiilor [6]

În Figura 2 se exemplifică evoluția dispozitivelor mobile pentru fiecare generație.

Comunicația fără fir a început odată cu Marconi, un inventator italian care, în 1895, a transmis semnale de cod Morse folosind unde radio pe o distanță de 3,2 km. Aceasta a fost prima transmisie fără fir din istoria științei. De atunci, inginerii și oamenii de știință au lucrat la dezvoltarea comunicației eficiente folosind undele radio. Telefonul a devenit popular în mijlocul secolului al XIX-lea. Datorită conexiunii prin cablu și mobilității restricționate, inginerii au început să dezvolte un dispozitiv care să nu necesite o conexiune prin cablu și care să transmită vocea folosind unde radio. Încă de la începuturile comunicațiilor mobile, dezvoltarea dispozitivelor mobile accesibile și eficiente din punct de vedere energetic a reprezentat o prioritate pe piață. Pentru a transforma în realitate viziunea de a conecta miliarde de senzori fără fir, este esențial să se acorde atenție reducerii costurilor și consumului de energie al acestor dispozitive. Toți producătorii mari de smartphone-uri, cum ar fi Samsung, Apple, Huawei, Xiaomi, OnePlus și alții, au lansat modele 5G. Aceste dispozitive au, de obicei, ecrane avansate, camere performante și alte caracteristici tehnice ridicate pentru a răspunde cerințelor utilizatorilor moderni. Pe lângă smartphone-uri, există și alte dispozitive care beneficiază de tehnologia 5G, cum ar fi routerele 5G, hotspot-urile mobile și dispozitivele Internet of Things (IoT), care sunt proiectate pentru a funcționa pe rețelele 5G. În perioada anilor 2015-2017, au fost lansate primele specificații tehnice pentru 5G, cu discuții detaliate privind parametrii tehnologici esențiali. 3GPP a început să definească cerințele pentru 5G în cadrul studiului tehnic "5G Radio Access". La sfârșitul anului 2017 3GPP a finalizat specificațiile pentru primul set de standarde 5G în cadrul Release15, care a inclus 5G NR (New Radio) pentru frecvențe sub 6 GHz și milimetrice (mmWave). [1]

## 2. Performanțe tehnice

5G este mai mult decât o îmbunătățire progresivă față de predecesorul său, 4G. Reprezintă o schimbare fundamentală în comunicarea fără fir, caracterizată prin mai multe caracteristici cheie. 5G NR este conceput pentru a crește viteza, a reduce latența și a îmbunătăți flexibilitatea serviciilor wireless. Acesta utilizează o varietate de tehnologii noi pentru a realiza aceste îmbunătățiri. [2]

Una dintre cele mai proeminente performanțe tehnice ale 5G este capacitatea sa de a furniza rate de date semnificativ mai mari în comparație cu generațiile anterioare. Oferă viteze de mai mulți gigabiți pe secundă, permițând streaming fără întreruperi, conferințe video și descărcări ultra-rapide. Tehnologia 5G poate oferi rate de date de vârf de până la 20 Gbps, ceea ce este de 20 de ori mai rapid decât tehnologia 4G, oferind viteze de până la 100 de ori mai mari decât 4G LTE. Aceasta înseamnă că utilizatorii se pot bucura de streaming video fără întreruperi, realitate virtuală, realitate augmentată și experiențe de jocuri în cloud pe dispozitivele lor mobile. [2]

Tehnologia 5G NR poate reduce latența de la un capăt la altul la mai puțin de 1 milisecundă, care este de 10 ori mai mică decât tehnologia 4G. Această latență scăzută este crucială pentru aplicații precum vehiculele autonome, chirurgia la distanță și realitatea augmentată, unde comunicarea în timp real este esențială. Edge computing este furnizat de servere de calcul mai aproape de utilizatorul final. Reduce latența și congestiunea traficului de date. [3][4]

O altă performanță tehnică semnificativă o constituie conectivitate masivă. 5G NR poate găzdui un număr mare de dispozitive simultan, datorită arhitecturii sale avansate de rețea. Tehnologia 5G NR poate suporta până la 1 milion de dispozitive pe kilometru pătrat, ceea ce este de 100 de ori mai mult decât tehnologia 4G. Aceasta înseamnă că utilizatorii se pot conecta și controla un număr mare de dispozitive, cum ar fi contoare inteligente, senzori, camere și drone în Internetul lucrurilor, permițând conectarea a nenumărați senzori, dispozitive și mașini. [2]

5G în intervalul de 24 GHz sau mai sus utilizează frecvențe mai mari decât 4G și, prin urmare, unele semnale 5G nu sunt capabile să parcurgă distanțe mari (peste câteva sute de metri), spre deosebire de semnalele 4G sau cu frecvență mai mică (sub 6 GHz). Acest lucru necesită plasarea stațiilor de bază 5G la fiecare câteva sute de metri pentru a utiliza benzi de frecvență mai înalte. De asemenea, aceste semnale 5G cu frecvență mai mare nu pot pătrunde cu ușurință în obiectele solide, cum ar fi mașinile, copacii și pereții, din cauza naturii acestor unde electromagnetice de frecvență mai înaltă. Celulele 5G pot fi proiectate în mod deliberat pentru a fi cât mai discrete posibil, ceea ce găsește aplicații în locuri precum restaurante și centre comerciale. [2] [5]

Rețelele 5G NR folosesc celule mai mici decât generațiile anterioare. Aceasta înseamnă că există mai multe celule într-o anumită zonă, ceea ce poate ajuta la îmbunătățirea acoperirii și la reducerea congestiei. Celulele mici sunt noduri de acces radio celular cu putere redusă care funcționează în spectru licențiat și fără licență, care au o rază de acțiune de la 10 metri până la câțiva kilometri. Celulele mici sunt esențiale pentru rețelele 5G, deoarece undele radio ale 5G nu pot călători pe distanțe lungi, din cauza frecvențelor mai mari ale 5G. [2]

Standardul 5G NR introduce tehnologii noi, cum ar fi beamforming inteligent, Massive MIMO, suport pentru frecvențe înalte (spectru mmWave), și o eficiență spectrală crescută.

Tehnologiile MIMO (Multiple Input Multiple Output) reprezintă o avansare majoră în domeniul comunicațiilor wireless, permițând utilizarea mai multor antene atât la transmisie (TX), cât și la recepție (RX) pentru a îmbunătăți capacitatea și eficiența spectrală a rețelelor. Antenele multiple folosesc dimensiunea spațială pentru multiplexare în plus față de cele de timp și frecvență, fără a modifica cerințele de lățime de bandă ale sistemului. Antenele masive MIMO (cu intrări multiple și ieșiri multiple) măresc debitul sectorului și densitatea capacității utilizând un număr mare de antene. Aceasta include MIMO pentru un singur utilizator și MIMO pentru mai

mulți utilizatori (MU-MIMO). Fiecare antenă este controlată individual și poate încorpora componente ale transceiver-ului radio. [2]

Filtrarea spațială (Beamforming) este o tehnică prin care semnalul transmis de antene este direcționat către un anumit dispozitiv, îmbunătățind calitatea semnalului și reducând interferențele. Există două tipuri de filtrare spațială (beamforming): digital și analogic. Beamforming digital implică trimiterea datelor prin mai multe fluxuri (straturi), în timp ce beamforming analogic modelează undele radio pentru a îndrepta într-o direcție specifică. Tehnica analogică BF combină puterea elementelor matricei de antene în așa fel încât semnalele din anumite unghiuri suferă interferențe constructive, în timp ce alte semnale care indică alte unghiuri suferă interferențe distructive. Acest lucru îmbunătățește calitatea semnalului în direcția specifică, precum și vitezele de transfer de date. 5G NR utilizează atât formarea fasciculului digital, cât și analogic pentru a îmbunătăți capacitatea sistemului. [2]

## 2.1 Frecvențe radio

5G utilizează o gamă mai largă de frecvențe radio decât generațiile anterioare de rețele celulare. Acest lucru permite transmiterea mai multor date pe aceeași cantitate de spațiu, ceea ce duce, la rândul său, la viteze mai mari. Interfața aeriană definită de 3GPP pentru 5G este cunoscută sub numele de New Radio (NR), iar specificația este subdivizată în două benzi de frecvență, FR1 (sub 6 GHz) și FR2 (24–54 GHz). Lățimea de bandă maximă a canalului definită pentru FR1 este de 100 MHz, din cauza deficitului de spectru continuu în acest interval de frecvențe aglomerat. Banda cea mai utilizată pentru 5G în acest interval este 3,3–4,2 GHz. Operatorii coreeni folosesc banda n78 la 3,5 GHz. Lățimea de bandă minimă a canalului definită pentru FR2 este de 50 MHz, iar cea maximă este de 400 MHz, cu agregarea pe două canale acceptată în 3GPP Versiunea 15. Cu cât frecvența este mai mare, cu atât este mai mare capacitatea de a accepta viteze mari de transfer de date. [2]

Tabelul 1. Intervalele de frecvență definite în 3GPP Versiunea 15

Intervalul de frecvență	Gama de frecvență corespunzătoare
Frequency range 1 (FR1)	450-6,000 MHz
Frequency range 2 (FR2)	24,250-52,600 MHz

Dacă se introduc noi benzi NR în afara intervalelor existente, una dintre ele ar putea fi extinsă pentru a acoperi noile benzi, cu impunerea condiției ca cerințele să fie compatibile cu acel interval. În schimb, dacă au loc diferențe mari față de FR existent, ar putea fi definit un nou domeniu de frecvență pentru noua bandă. Gamele de frecvență sunt ilustrate în Tabelul 1 pe o scară logaritmică, unde sunt prezentate benzile aferente identificate pentru IMT în cel puțin o regiune. Gama de frecvențe FR1 începe la 450 MHz la prima alocare IMT și se termină la 6 GHz. FR2 acoperă un subset de benzi ce se termină la 52,6 GHz, care este cea mai înaltă frecvență din domeniul de aplicare al lucrării de specificații din 3GPP versiunea 15. [7]

Toate benzile LTE existente sunt în FR1, iar NR este proiectat să funcționeze împreună cu LTE și generațiile anterioare de sisteme în multe dintre benzile FR1. Totuși, doar în „benzile de mijloc”, situate în jurul frecvenței de 3,5 GHz (care, de fapt, se extind până la 3,35 GHz), NR va fi implementat pe scară largă într-un spectru „nou”, adică unul neutilizat anterior pentru servicii mobile. FR2 include o parte din ceea ce este frecvent denumit spectrul de unde milimetrice



(tehnice, undele milimetrice încep de la 30 GHz, ce corespunde unei lungimi de undă de 10 mm). La frecvențe atât de înalte în comparație cu FR1, proprietățile de propagare sunt diferite, cu difracție mai mică și pierderi de traiectorie mai mari. Acest lucru poate fi compensat prin existența mai multor elemente de antenă atât la emițător, cât și la receptor, pentru a fi utilizate pentru fascicule de antenă mai înguste, cu câștig mai mare și pentru MIMO masiv. Implementarea RF cu unde mm pentru benzile FR2 va avea, de asemenea, complexitate și performanță diferite în comparație cu benzile FR1, impactând toate componentele, inclusiv convertoarele A/D și D/A, generarea LO, PA eficient, filtrarea etc. [7]

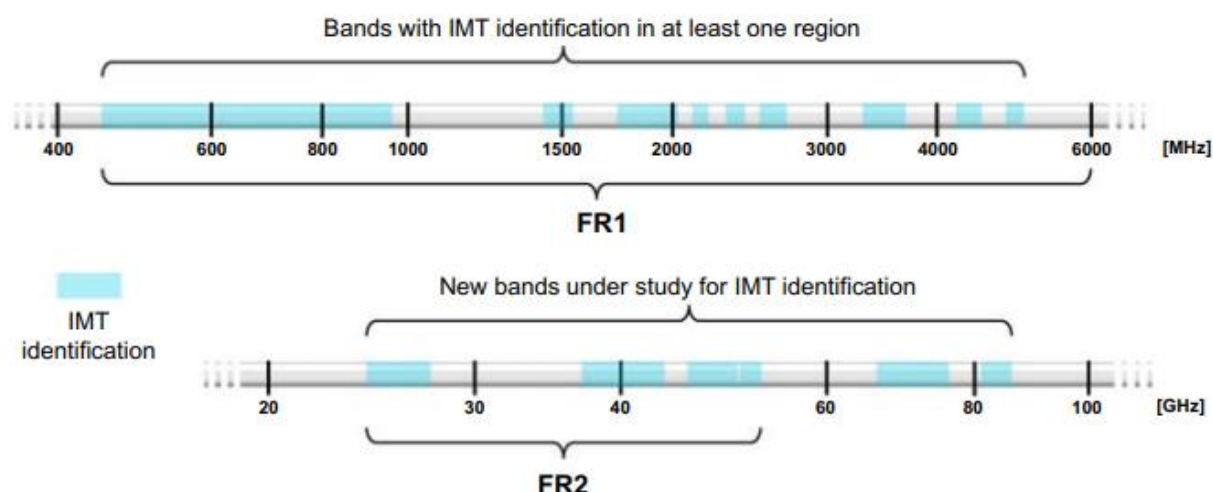


Figura 3. Gamele de frecvență FR1 și FR2 și identificările IMT corespunzătoare, unde scările de frecvență sunt logaritmice.

Benzile de frecvență în care va funcționa NR sunt atât în spectre pereche, cât și în spectre nepereche, necesitând flexibilitate în aranjamentul duplex. Din acest motiv, NR acceptă atât operarea FDD, cât și TDD. 3GPP definește benzile de operare, în care fiecare bandă de operare este un interval de frecvență pentru uplink și/sau downlink care este specificat cu un anumit set de cerințe RF. Benzile de operare au fiecare un număr, unde benzile NR sunt numerotate n1, n2, n3 etc. Când același domeniu de frecvență este definit ca o bandă de operare pentru diferite tehnologii de acces radio, se folosește același număr, dar scris într-un mod diferit. Benzile 4G LTE sunt scrise cu cifre arabe (1, 2, 3 etc.), în timp ce benzile 3G UTRA sunt scrise cu cifre romane (I, II, III etc.). Benzile de operare LTE care sunt utilizate cu același aranjament pentru NR sunt adesea denumite „benzi de re-farming LTE”. Versiunea 15 a specificațiilor 3GPP pentru NR include 26 de benzi de operare în domeniul de frecvență 1 și trei în domeniul de frecvență 2. Benzile pentru NR au o schemă de numerotare cu numere atribuite de la n1 la n512. Pentru NR în benzile de refacere LTE, numerele benzilor LTE sunt reutilizate pentru NR, adăugând doar un „n”. Noilor benzi pentru NR li se atribuie următoarele numere: intervalul de la n65 la n256 este rezervat benzilor NR din intervalul de frecvență 1 (unele dintre aceste benzi pot fi folosite în plus pentru LTE), iar gama de la n257 la n512 este rezervată pentru noile benzi NR din gama de frecvență 2. Orice benzi noi numai pentru LTE pot fi atribuite și numere neutilizate sub 65. În versiunea 15, benzile de operare în intervalul de frecvență 1 sunt în intervalul n1 până la n84, așa cum se arată în Figura 6. Benzile din intervalul de frecvență 2 sunt în intervalul de la n257 la n260, așa cum se arată în Tabelul 3. [7]

Tabelul 2. Benzi de operare definite de 3GPP pentru NR în intervalul de frecvență 1

NR Band	Uplink Range (MHz)	Downlink Range (MHz)	Duplex	Regiune principală
n1	1920-1980	2110-2170	FDD	Europa, Asia
n2	1850-1910	1930-1990	FDD	America
n3	1710-1785	1805-1880	FDD	Europa, Asia
n5	824-849	869-894	FDD	America, Asia
n7	2500-2570	2620-2690	FDD	Europa, Asia
n8	880-915	925-960	FDD	Europa, Asia
n20	832-862	791-821	FDD	Europa
n28	703-748	758-803	FDD	Asia/Pacific
n38	2570-2620	2570-2620	TDD	Europa
n41	2496-2690	2496-2690	TDD	US, China
n50	1432-1517	1432-1517	TDD	
n51	1427-1432	1427-1432	TDD	
n66	1710-1780	2110-2200	FDD	America
n70	1695-1710	1995-2020	FDD	
n71	663-698	617-652	FDD	America
n74	1427-1470	1475-1518	FDD	Japonia
n75	N/A	1432-1517	SDL	Europa
n76	N/A	1427-1432	SDL	Europa
n77	3300-4200	3300-4200	TDD	Europa, Asia
n78	3300-3800	3300-3800	TDD	Europa, Asia
n79	4400-5500	4400-5500	TDD	Asia
n80	1710-1785	N/A	SUL	
n81	880-915	N/A	SUL	
n82	832-862	N/A	SUL	
n83	703-748	N/A	SUL	
n84	1920-1980	N/A	SUL	

Tabelul 3. Benzi de operare definite de 3GPP pentru NR în intervalul de frecvență 2

NR Band	Uplink Range (MHz)	Downlink Range (MHz)	Duplex	Regiune principală
n257	26,500-29,500	2110-2170	TDD	Asia, America
n258	24,250-27,500	1930-1990	TDD	Europa, Asia
n259	37,000-40,000	1805-1880	TDD	US

## 2.2 Diferențe între 4G LTE și 5G NR

Pentru sistemele 4G LTE, sursa de semnal LTE downlink este îmbinată cu sursa de date modelată. Apoi, această sursă de semnal este conectată cu un sistem complex la dreptunghiular în care împărțirea semnalelor va fi în părți reale și imaginare. Aici în fază este legată de partea reală, iar cuadratura este legată de partea imaginară. Atât frecvența purtătoare prezentă în modulator, cât și frecvența oscilatorului sunt setate la 1,901 GHz și nu se vor schimba în timpul experimentării. Modulatorul este unit cu oscilatorul. Semnalul modulat este generat de modulator. [8]

Pentru 5G NR sursa de downlink New Radio (NR) este unită cu sursa de date. Fluxul semnalului de la sursa de legătură în jos va fi către complex spre dreptunghiular, de unde semnalele sunt atât în formă reală, cât și în formă imaginară. În modulator, partea reală este legată în fază, în timp ce partea imaginară este legată de cuadratura. Frecvența purtătoare este fixată la 1,901 GHz. Frecvența oscilatorului variază în timpul partajării orizontale a spectrului. Oscilatorul este legat de modulatorul. Semnalul modulat este generat de la modulator. Aici, un alt analizor de spectru este conectat pentru analiza spectrului în 5G atât pentru partajarea spectrului orizontal, cât și vertical. [8]

Tabelul 4. 4G LTE ȘI 5G NR

Nr. Crt.	Parametrii	4G LTE	5G NR
1	Transmițător	LTE Downlink	LTE Downlink
2	Frecvența oscilatorului	1.901 GHz	1,8945 GHz până la 1,901 GHz
3	Frecvența purtătoare	1.901 GHz	1.901 GHz
4	Puterea oscilatorului	20 dBm	-38 dBm
5	Modulare/De la modulare	În fază/ cuadratura(I/Q)	În fază/ cuadratura(I/Q)
6	Lățimea de bandă	5 MHz	50 MHz
7	Receptor	LTE Downlink	Nu se aplică
8	Rata de eșantionare	15,36 MHz	15,36 MHz
9	Tipul de modelare a spectrului	Timp ferestre	Dezactivat
10	Prefix ciclic	Normal	Normal

## 2.3 Arhitectura de rețea

În paralel cu dezvoltarea tehnologiei de acces radio NR (New Radio) în cadrul 3GPP, arhitecturile generale ale sistemului au fost revizuite, atât pentru rețeaua de acces radio (RAN- Radio-Access Network), cât și pentru rețeaua centrală (CN- Core Network), inclusiv distribuția funcționalităților între cele două rețele. [7]

RAN este responsabilă pentru toate funcționalitățile legate de radio ale rețelei globale, inclusiv, programarea, gestionarea resurselor radio, protocoalele de retransmisie, codificarea și diversele scheme multi-antenă. Rețeaua centrală 5G este responsabilă pentru funcțiile care nu sunt legate de accesul radio, dar care sunt necesare pentru furnizarea unei rețele complete. Acestea includ, de exemplu, autentificarea, funcționalitatea de încărcare și configurarea conexiunilor “end-to-end”. Gestionarea separată a acestor funcții, în loc de integrarea lor în RAN, este benefică, deoarece permite deservirea mai multor tehnologii de acces radio de către aceeași rețea centrală. Cu toate acestea, este posibilă conectarea rețelei de acces radio NR și la rețeaua centrală LTE (Long-Term Evolution) cunoscută sub numele de Evolved Packet Core (EPC) când NR funcționează în modul “non-standalone”, în care LTE și EPC gestionează funcționalități precum stabilirea conexiunii. Versiunile ulterioare vor introduce funcționarea autonomă cu NR conectat la nucleul 5G, precum și LTE conectat la nucleul 5G. Astfel, schemele de acces radio LTE și NR și rețelele lor de bază corespunzătoare sunt strâns legate, spre deosebire de tranziția de la 3G la 4G, când tehnologia de acces radio 4G LTE nu se putea conecta la o rețea de bază 3G. [7]

O arhitectură axată pe servicii este baza pentru nucleul 5G. Aceasta pune accent pe serviciile și funcționalitățile oferite de rețeaua centrală, în loc să se concentreze pe noduri. O astfel de abordare este naturală, având în vedere că rețeaua centrală este deja, în mare parte, virtualizată, funcționalitatea sa rulând pe hardware generic. În Figura 4 este ilustrat nucleul 5G la un nivel înalt, în care serviciile și funcționalitățile sunt evidențiate.

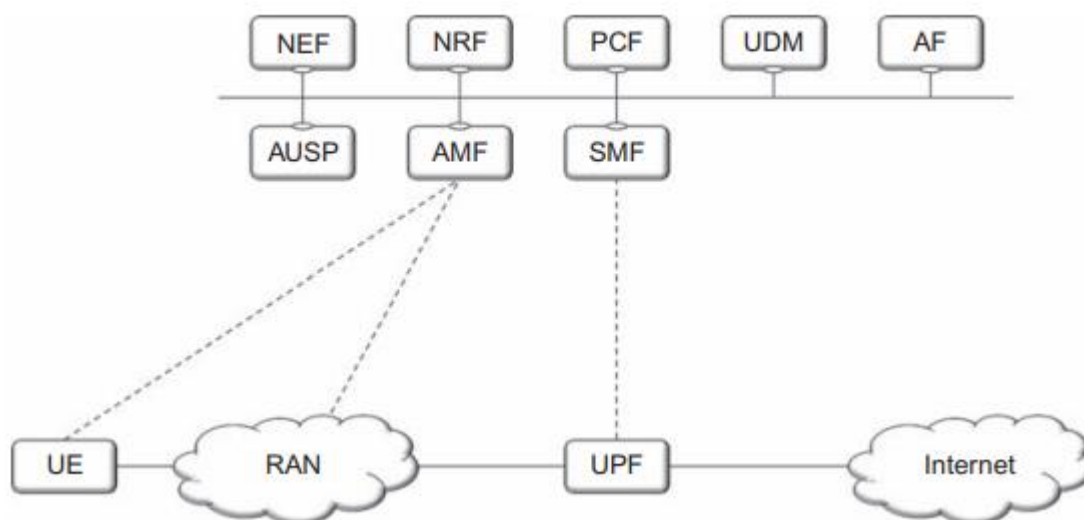


Figura 4. Arhitectură de rețea de bază de nivel înalt ( descriere bazată pe servicii)

Funcția planului de utilizator, UPF( User Plane Function) este o poartă între RAN și rețelele externe, cum ar fi internetul. Responsabilitățile sale includ rutarea și redirecționarea pachetelor, inspectarea pachetelor, gestionarea calității serviciului și filtrarea pachetelor, precum și măsurarea traficului. Totodată, acesta facilitează tranziția între diferite tehnologii radio( inter-RAT), atunci când situația o impune. Funcțiile planului de control constau în mai multe părți. Funcția de gestionare a sesiunii, SMF( Session Management Function) coordonează, printre

altele, alocarea adreselor IP pentru dispozitiv, cunoscut și sub denumirea de echipament de utilizator, UE( User Equipment); controlul aplicării politicilor și funcții generale de gestionare a sesiunii. Funcția de gestionare a accesului și a mobilității, AMF( Access and Mobility Management Function) se ocupă de semnalizarea controlului între rețeaua centrală și dispozitiv, de securitatea datelor utilizatorului, de mobilitatea în stare de repaus și de autentificare. Funcționalitatea care operează între rețeaua centrală, mai precis AMF și dispozitiv este denumită uneori stratul de neacces, NAS( Non-Access Stratum) pentru a o separa de stratul de acces, AS(Access Stratum), care funcționează între dispozitiv și rețeaua de acces radio. În plus, rețeaua centrală poate gestiona și alte tipuri de funcții, de exemplu funcția de control al politicilor, PCF (Policy Control Function) responsabilă de regulile de politică, gestionarea unificată a datelor, UDM( Unified Data Management) responsabilă de acreditările de autentificare și autorizarea accesului, funcția de expunere la rețea, NEF( Network Exposure Function), funcția de depozit NRF( NR Repository Function), funcția de server de autentificare, AUSF( Authentication Server Function) care gestionează funcționalitatea de autentificare și funcția de aplicație, AF (Application Function). Funcțiile rețelei centrale pot fi implementate în diverse moduri. De exemplu, acestea pot fi integrate într-un singur nod fizic, distribuite pe mai multe noduri sau rulate pe o platformă cloud. Astfel, se reliefează noua rețea centrală 5G, dezvoltată în paralel cu accesul radio NR și capabilă să gestioneze atât accesul radio NR, cât și LTE. Cu toate acestea, pentru a permite o introducere timpurie a NR în rețelele existente, este posibilă și conectarea NR la EPC, rețeaua centrală LTE. Aceasta este exemplificată ca „opțiunea 3” în Figura 5 și este, de asemenea, cunoscută sub denumirea de „operare non-standalone”, deoarece LTE este utilizată pentru funcționalitățile planului de control, cum ar fi accesul inițial și mobilitatea. [7]

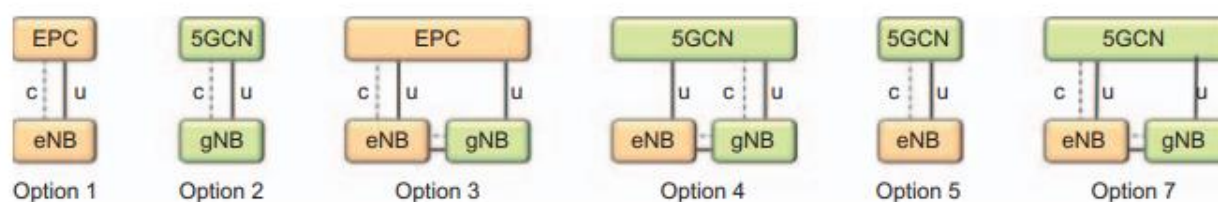


Figura 5. Combinații diferite de rețele de bază și tehnologii de acces radio

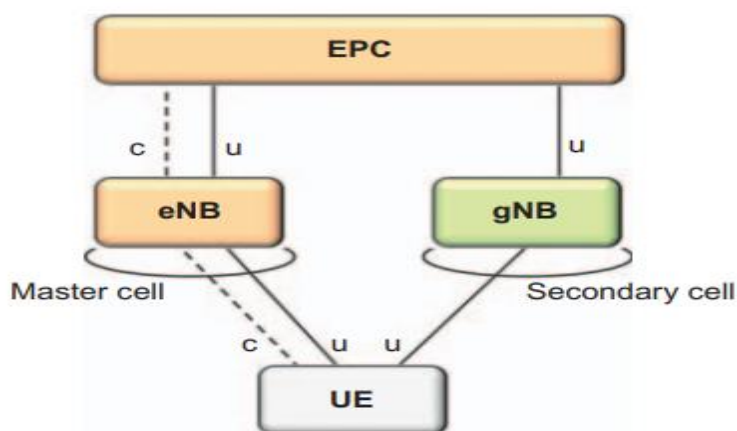


Figura 6. Conectivitate duală LTE NR folosind opțiunea 3.

Nodurile eNB și gNB pot fi considerate stații de bază pentru LTE și, respectiv, NR. În opțiunea 3, rețeaua centrală EPC este conectată la eNB. Toate funcțiile planului de control sunt gestionate de LTE, iar NR este utilizată numai pentru datele din planul utilizatorului. gNB este conectat la eNB, iar datele din planul de utilizator de la EPC pot fi transmise de la eNB la gNB. Există și variante ale acestei opțiuni: opțiunea 3a și opțiunea 3x. În cazul opțiunii 3a, părțile planului utilizator atât ale eNB, cât și ale gNB sunt conectate direct la EPC. În opțiunea 3x, numai planul de utilizator al gNB este conectat la EPC, iar datele din planul utilizatorului către eNB sunt rutate prin gNB. Pentru funcționarea autonomă, gNB este conectat direct la nucleul 5G, astfel cum se poate observa în opțiunea 2. Atât funcțiile planului utilizator, cât și cele ale planului de control sunt gestionate de gNB. Opțiunile 4, 5 și 7 prezintă diverse posibilități de conectare a unei eNB LTE la 5GCN. Pentru ca un dispozitiv să comunice, este necesară cel puțin o conexiune între dispozitiv și rețeaua este necesară. În mod normal, dispozitivul este conectat la o celulă care se ocupă de toate transmisiile de tip uplink și downlink. Toate fluxurile de date, datele utilizatorului, precum și semnalizarea RRC, sunt gestionate de această celulă. Aceasta este o abordare simplă, potrivită pentru o gamă largă de implementări. Cu toate acestea, permiterea dispozitivului să se conecteze la rețea prin mai multe celule poate fi benefică în anumite scenarii. Un exemplu este agregarea pe planul utilizatorului, în care fluxurile din mai multe celule sunt agregate pentru a crește rata de transfer a datelor. Un alt exemplu este planul de control/ planul utilizatorului, în care comunicarea planului de control este gestionată de un nod, iar planul utilizator de către un altul. Scenariul unui dispozitiv conectat la două celule este cunoscut sub numele de conectivitate dublă. Conectivitatea dublă între LTE și NR este deosebit de importantă, deoarece este baza funcționării „non-standalone” utilizând opțiunea 3, așa cum este ilustrat în Figura 6. Celula principală bazată pe LTE gestionează semnalizarea planului de control și (potențial) a planului de utilizator, iar celula secundară bazată pe NR gestionează doar planul de utilizator, în esență sporind vitezele de date. [7]

### 3. Disponibilitatea serviciilor 5G în lume

În 2017 au avut loc primele teste de teren pentru tehnologia 5G în diverse regiuni ale lumii. Aceste teste au vizat validarea conceptelor și evaluarea performanțelor în condiții reale. Prima rețea 5G comercială a fost lansată în Coreea de Sud de operatorul SK Telecom la sfârșitul lunii aprilie 2019. Lansarea a avut loc în orașe majore precum Seul și alte regiuni ale țării, marcând astfel începutul implementării 5G la nivel global. Această lansare a reprezentat un moment important în istoria comunicațiilor mobile. Alți operatori din SUA, precum Verizon și AT&T, au urmat cu lansări comerciale în aceeași perioadă. Din acest an o serie de dispozitive compatibile cu 5G au fost lansate pe piață, inclusiv smartphone-uri, routere și dispozitive IoT. În perioada anilor 2020-2021 rețelele 5G au fost extinse în mai multe regiuni, inclusiv în orașe mari și centre urbane în Europa, Asia și America de Nord. 3GPP au lansat specificațiile versiunii evolute ale 5G, cum ar fi 5G NR (New Radio), pentru a aduce îmbunătățiri în performanță și eficiență. În prezent, se explorează și implementează aplicații diverse ale tehnologiei 5G, cum ar fi Internet of Things (IoT), realitate augmentată și virtuală (AR/VR), precum și tehnologiile avansate pentru industrie și sănătate. [1]

În iunie 2020 a fost făcută lansarea Release 16 a 3GPP, care a adus noi funcționalități și extensii pentru a susține implementări 5G avansate, cum ar fi suportul pentru rețele private și îmbunătățiri ale lățimii de bandă. Operatorii de telecomunicații și furnizorii de echipamente au început să implementeze noile caracteristici din Release 16, extinzând astfel capabilitățile rețelelor 5G. Se preconizează că furnizorii și operatorii vor continua implementarea caracteristicilor din Release 16, în timp ce 3GPP va dezvolta în continuare noi standarde pentru a optimiza performanța, eficiența și funcționalitățile 5G. Dezvoltarea tehnologiei 5G este în continuă desfășurare, cu eforturi continue pentru optimizare și inovare. [1]



Figura 7. Acoperire mondială 5G, rețele oficiale, țări



În Figura 7 se evidențiază reprezentarea geografică la momentul anului 2023 [10], unde tehnologia 5G este deja implementată de 229 operatori în mai mul de 70 țări din întreaga lume, și continuă să crească. [1]

5G a adus un plus de valoare pentru consumatori, furnizând servicii cu volume mai mari de date, viteze superioare și experiențe optimizate. Pentru furnizorii de servicii, valoarea adăugată oferită consumatorilor și companiilor se reflectă în oportunități de vânzări suplimentare și creștere a veniturilor. Tendința creșterii numărului de abonamente mobile pe regiuni din Figura 8 indică faptul că această captare a valorii a început deja. [1]

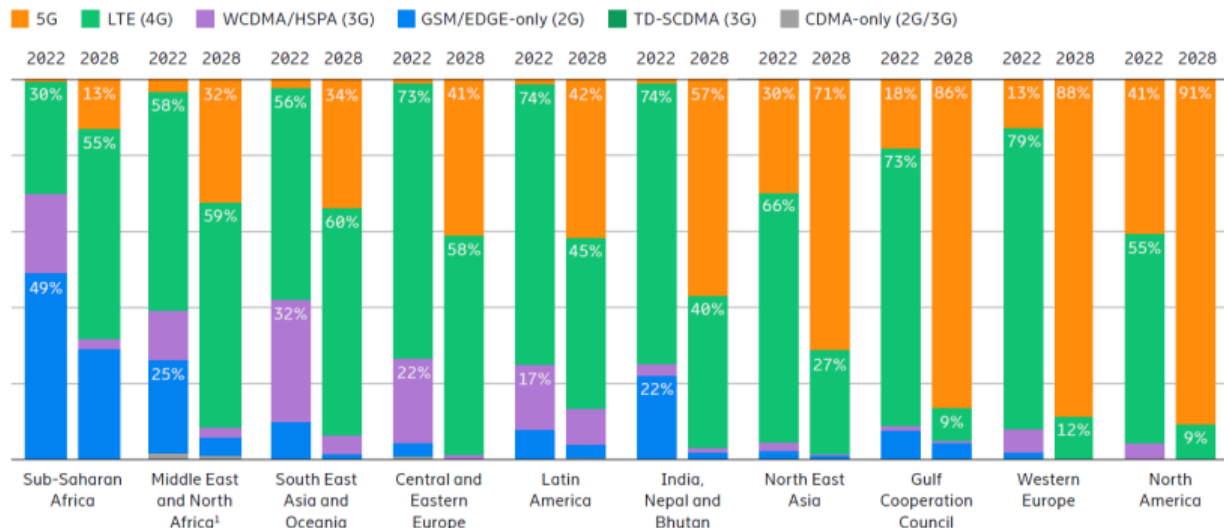


Figura 8. Abonamentele mobile pe regiuni și tehnologie (procente) în baza Ericsson Mobility Report din noiembrie 2023

Furnizorii de servicii din Asia de Nord-Est au realizat investiții considerabile pentru implementarea timpurie a rețelelor 5G. Această regiune cuprinde țări precum Japonia, China, Coreea de Sud, Taiwan și Hong Kong. Coreea de Sud a fost prima țară care a lansat rețele comerciale 5G, fiind disponibile în toate cele cinci piețe până în 2020. În Figura 9 se observă tendințele creșterii abonamentelor mobile și a volumului de trafic mobil. [1]

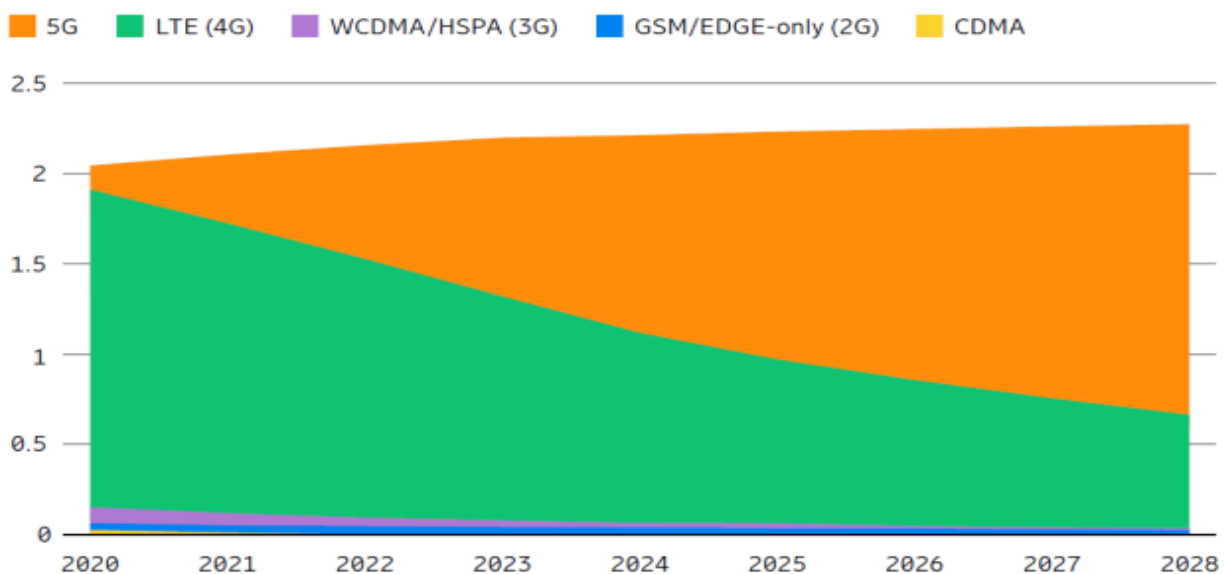


Figura 9. Asia de Nord-Est abonamentele mobile pe tehnologie (miliard) în baza Ericsson Mobility Report din noiembrie 2023



Traficul pe rețelele mobile s-a dublat în aproape doi ani, atingând 126 EB lunar global. EB( Exabyte) este o unitate de măsură a datelor, echivalentă cu 1 miliard de gigabytes (GB) fiind utilizată pentru a exprima volume mari de date, cum ar fi traficul de internet sau stocarea de informații la scară globală. Această creștere este susținută de numărul tot mai mare de abonamente la smartphone-uri și de volumul crescut de date per abonament, alimentat de vizionarea conținutului video. Traficul global de date mobile, fără serviciile Fixed Wireless Access (FWA), a atins 93 EB lunar la sfârșitul anului 2022 și se preconizează că va ajunge la 329 EB lunar în 2028. Incluzând FWA, traficul total de rețea mobilă a fost de aproximativ 118 EB lunar la sfârșitul anului 2022 și se așteaptă să ajungă la 472 EB lunar până la sfârșitul anului 2028. Proiecțiile pentru 2028 prevăd că traficul de date video va reprezenta 80% din totalul traficului mobil, iar ponderea 5G în traficul de date mobil se estimează să ajungă la 66%.

Creșterea traficului pe rețelele mobile diferă de la o țară sau regiune la alta, fiind determinată de factori precum performanța dispozitivelor, conținutul cu un consum ridicat de date și îmbunătățirile aduse rețelelor. Se estimează că, până în 2028, consumul mediu lunar de date pe smartphone va depăși 20 GB și va ajunge la 47 GB la nivel global. [1]

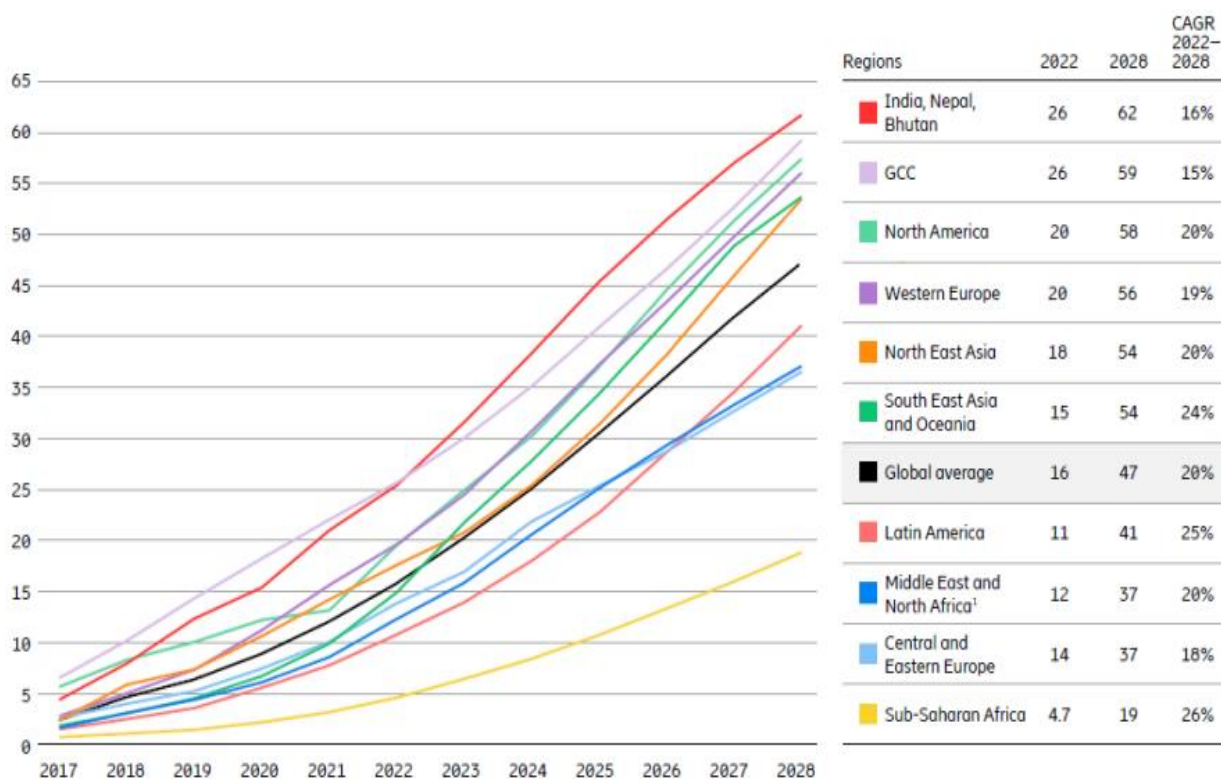


Figura 10. Traficul mobil de date pe smatphone (GB pe lună)

În America de Nord, traficul de date pe smartphone este prognozat să ajungă la 58 GB lunar până în 2028, în timp ce în Europa de Vest se estimează o valoare de aproximativ 56 GB. Alte regiuni prezintă creșteri similare, influențate de factori locali și specificități naționale. De exemplu, în Africa Subsahariană traficul de date este așteptat să atingă 19 GB lunar în 2028, iar în Asia de Nord-Est să crească până la 54 GB lunar. [1]

Evoluția comunicațiilor mobile, de la tehnologia analogică 1G până la standardele avansate ale rețelelor 5G NR, evidențiază un progres semnificativ în domeniul telecomunicațiilor. 5G reprezintă mai mult decât o simplă îmbunătățire a generațiilor anterioare; este o schimbare fundamentală în modul în care se realizează conectivitatea globală, prin viteze mai mari, latențe extrem de scăzute și o capacitate masivă de conectare a dispozitivelor. Tehnologiile avansate integrate în 5G, cum ar fi Massive MIMO, beamforming și spectrul mmWave, au permis depășirea limitărilor impuse de generațiile anterioare, oferind soluții eficiente pentru cerințele unei lumi tot mai digitalizate. Arhitectura modulară a rețelelor 5G, care include Rețeaua de Acces Radio (RAN) și Rețeaua Centrală (Core Network), permite o flexibilitate sporită și o integrare eficientă a tehnologiilor noi cu cele existente. De asemenea, conectivitatea duală prin nodurile eNB și gNB asigură tranziția lină între LTE și NR, facilitând implementarea opțiunilor „non-standalone” și „standalone”. Acest aspect este esențial pentru adoptarea timpurie a 5G în rețelele existente, precum și pentru susținerea unui ecosistem tehnologic mai complex, cum ar fi IoT, realitatea augmentată și aplicațiile industriale. La nivel global, lansările comerciale ale rețelelor 5G au demonstrat o creștere rapidă a adopției în regiunile dezvoltate și o influență semnificativă asupra traficului mobil. Proiecțiile arată că 5G va deveni tehnologia dominantă, cu un impact economic și social profund, contribuind la dezvoltarea unor industrii emergente și la îmbunătățirea experienței utilizatorilor.

În concluzie, tehnologia 5G reprezintă o etapă esențială în evoluția telecomunicațiilor, punând bazele viitoarelor generații de rețele și oferind o conectivitate globală mai avansată, mai rapidă și mai eficientă.

## 4. Referințe

- [1] Anton Iacovlev, „Analiza evoluției rețelelor mobile 5G: impactul serviciilor 5G în dezvoltarea durabilă a economiei”, în *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor = Technical Scientific Conference of Undergraduate, Master and PhD Students, Universitatea Tehnică a Moldovei*, Chișinău, Republica Moldova, vol. I, pp. 44-54, 27-29 Martie 2024
- [2] Nicolae Sfetcu, „Puterea transformativă a tehnologiei 5G - Evoluție și conectivitate”, în „IT & C”, ISSN 2821 - 8469, ISSN – L 2821 - 8469, vol. II, Numărul 4, p. 5, Decembrie 2023
- [3] Wayne Rash, "IT Needs to Start Thinking About 5G and Edge Cloud Computing", 7 Februarie, 2018
- [4] Lav Gupta and Raj Jain, "Mobile Edge Computing – An Important Ingredient of 5G Networks", *IEEE Softwarization*, USA, Martie 2016
- [5] The RF Wireless World website, <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/5G-Speed-Vs-5G-Range>
- [6] Younsun Kim, Youngbum Kim, Jinyoung Oh, Hyoungju Ji, Jeongho Yeo, Seunghoon Choi, Hyunseok Ryu, Hoondong Noh, Taehyoung Kim, Feifei Sun, Yi Wang, Yinan Qi, and Juho Lee, „New Radio (NR) and Its Evolution toward 5G-Advanced”, *IEEE Wireless Communications*, Iunie 2019
- [7] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*, Ed. Academic Press, 2018
- [8] Jayanta Kumar Ray, Rogina Sultana, Rabindranath Bera, Sanjib Sil, Quazi Mohammad Alfred, “Evaluation of BLER and throughput during the coexistence of both 4G LTE and 5G NR” în *International Conference on Internet of Everything, Microwave Engineering, Communication and Networks( IEMECON)*, 2023
- [9] Tulsi Pawan Fowdur, Madhavsingh Indoonundon, Dragorad A. Milovanovic, and Zoran S. Bojkovic, “5G NR Modelling in MATLAB® Network Architecture, Protocols, and Physical Layer”, Ed. CRC Press, Abingdon
- [10] The GSMA website, <https://www.gsma.com/>
- [11] (2007) The IEEE website, <http://www.ieee.org/>