

ANALIZA EVOLUȚIEI REȚELELOR MOBILE 5G: IMPACTUL SERVICIILOR 5G ÎN DEZVOLTAREA DURABILĂ A ECONOMIEI

Anton IACOVLEV

Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa IMTC-231,
Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Rep. Moldova

*Autorul corespondent: Anton Iacovlev, anton.iacovlev1@tse.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific **Lilia Sava**, dr., conf. univ., FET, UTM

Rezumat. A cincea generație de rețele mobile, cunoscută sub denumirea de 5G, reprezintă o evoluție semnificativă a tehnologiilor de comunicații mobile, aducând cu sine îmbunătățiri în performanță, latitudine de bandă, viteze de transfer de date, latență redusă și capacități de conectivitate masivă. Conceptul 5G a fost dezvoltat ca răspuns la prognoza evoluției rețelei Internet către o fază viitoare cunoscută sub denumirea de Internetul Lucrurilor (IoT), în care sute de miliarde de dispozitive mobile, incluzând computere, smartphone-uri, tablete, aparate casnice, îmbrăcăminte inteligentă, senzori și vehicule pot fi interconectate. Sistemele 5G au capacitatea de a oferi acces la servicii de bandă largă oriunde, facilitând stocarea datelor în cloud, experiențe de jocuri în timp real, aplicații ce implică realitate virtuală și augmentată, soluții pentru case inteligente sau orașe inteligente, conducere autonomă a vehiculelor, control autonom al liniilor de producție, aplicații medicale, securitate la domiciliu și personală, și multe altele.

Cuvinte cheie: Generații Rețelelor Mobile 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, progres tehnologic, evoluția rețelelor mobile, arhitectura rețelei, analiza impactului serviciilor 5G, volumul trafic mobil anual.

Introducere

Lumea tehnologiei mobile a suferit o evoluție remarcabilă de-a lungul anilor. Pentru a înțelege pe deplin impactul semnificativ asupra societății, economiei și vieții cotidiene, este necesar să privim retrospectivă dezvoltării rețelelor mobile. Începând de la prima generație a rețelelor mobile 1G, care a facilitat doar apelurile vocale, până la revoluția tehnologică a rețelelor 5G, care au introdus conectivitatea la internet și serviciile multimedia la viteze impresionante, vom analiza cum s-au dezvoltat rețelele mobile în ultimele decenii.

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.

În 1947, Laboratoarele Bell au început să exploreze conceptul conform căruia celulele mobile de putere mică administrate prin calculator ar permite utilizarea frecvențelor de către un număr mai mare de abonați, crescând în același timp și gradul de mobilitate al acestora (tehnologia informatică care să poată susține acest nou tip de comunicații a fost lansată abia în mijlocul anilor '60 odată cu descoperirea circuitelor electronice comutate).

Ziua oficială de naștere a comunicațiilor celulare este considerată a fi 3 aprilie 1973, când șeful diviziei de comunicații mobile a Motorola, Martin Cooper, l-a sunat pe șeful

departamentului de cercetare AT&T Bell Labs, Joel Engel, pe o stradă aglomerată din New York. Aceste două companii au fost la baza telefoniei mobile.

De aici a început conceptul de "generație a unei rețele mobile".

Acest concept se referă la un grup de tehnologii, standarde și protocoale care definesc caracteristicile și capacitățile acelei rețele într-o anumită perioadă de timp. Fiecare generație reprezintă o etapă de dezvoltare și avansare a rețelelor mobile, aducând îmbunătățiri semnificative în performanța, viteza, capacitatea și funcționalitățile disponibile pentru utilizatori. De obicei, o nouă generație este introdusă aproximativ la fiecare 10 ani și aduce cu ea tehnologii și servicii noi.

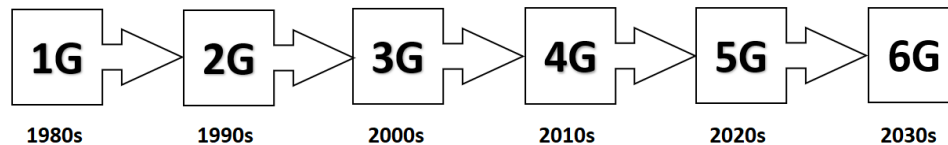


Figura 1. Evoluția rețelelor mobile.

Elaborat de autor în baza istoriei evoluției rețelelor mobile.

De la primele zile ale comunicațiilor mobile, construirea dispozitivelor mobile cu costuri mai ieftine și un consum redus de energie a fost o cerință-cheie pe piață. Pentru a face posibilă realizarea viziunii de conectare a miliardelor de senzori fără fir, este necesar să ne concentrăm pe reducerea costurilor acestor dispozitive și a consumului lor de energie. Toți producători mari de smartphone-uri, cum ar fi Samsung, Apple, Huawei, Xiaomi, OnePlus și alții, au lansat modele 5G. Dispozitivele mobile 5G sunt echipate cu chipset-uri și antene speciale pentru a permite conectivitatea 5G. Aceste dispozitive au, de obicei, ecrane avansate, camere performante și alte caracteristici tehnice ridicate pentru a răspunde cerințelor utilizatorilor moderni. Există diverse modele de smartphone-uri 5G, de la variante de buget până la flagship-uri cu specificații tehnice avansate. Utilizatorii pot alege dintr-o gamă variată de opțiuni, în funcție de nevoile și bugetul lor. Pe lângă smartphone-uri, există și alte dispozitive care beneficiază de tehnologia 5G, cum ar fi routerele 5G, hotspot-urile mobile și dispozitivele IoT, care sunt proiectate pentru a funcționa pe rețelele 5G.

Descoperirea și dezvoltarea tehnologiei 5G nu pot fi atribuite unui singur moment sau unei singure persoane, ci reprezintă rezultatul unui efort colectiv și continuu în domeniul comunicațiilor fără fir.

Evoluția rețelelor mobile 5G

Conversațiile despre tehnologia 5G au început în jurul anilor 2010, cu experți din domeniul comunicațiilor care anticipau nevoia unei rețele mai rapide și mai eficiente pentru a satisface cerințele viitoarelor aplicații și dispozitive. Grupurile de standarde, cum ar fi Uniunea Internațională de Telecomunicații (ITU) și organizațiile industriale 3GPP (3rd Generation Partnership Project), au început să definească cerințele pentru tehnologia 5G în ceea ce privește viteză, latență redusă, capacitate sporită și suport pentru un număr masiv de dispozitive conectate.

În jurul anului 2013, s-au desfășurat ample proiecte de cercetare și dezvoltare pentru a explora tehnologiile potențiale care ar putea sta la baza rețelelor 5G. S-au investigat aspecte precum Massive MIMO, BeamForming, tehnologii de antenă avansate și concepte de rețele de tip slice.

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). În aceeași an 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.

Începând cu 2018 tehnologia 5G era în faza de pregătire pentru lansarea comercială. Organizațiile de standarde, în special ITU și 3GPP, au finalizat primele specificații tehnice pentru tehnologia 5G. Companii din industrie, operatori de telecomunicații și furnizori de echipamente și-au anunțat planurile de implementare a tehnologiei 5G, formând parteneriate pentru dezvoltarea și testarea echipamentelor. Au avut loc discuții internaționale despre avantajele 5G, impactul asupra economiilor naționale și necesitatea standardelor globale pentru interoperabilitate.

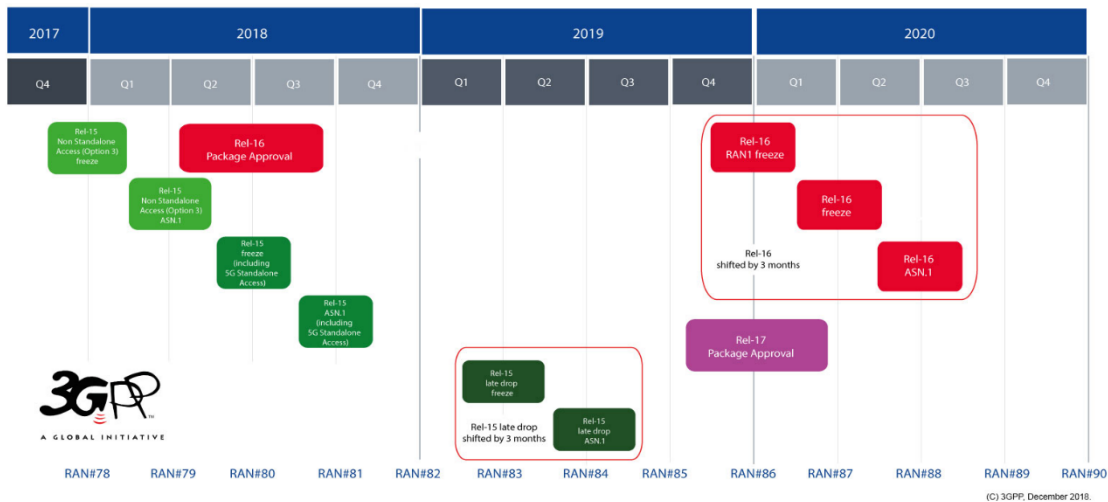


Figura 2. Evoluția rețelelor 5G pe an și lansările 3GPP

Sursa: elaborat de autor în baza <https://www.3gpp.org/>

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 anul 2020 apare o inițiativă globală pentru stabilirea standardelor tehnologice ale rețelelor mobile 5G, IMT-2020 (International Mobile Telecommunications-2020). Prin intermediul IMT-2020, ITU stabilește cerințele minime pentru tehnologiile 5G, inclusiv viteză de descărcare și încărcare, latență redusă, densitatea dispozitivelor și eficiența energetică. Aceste cerințe sunt stabilite pentru a ghida dezvoltarea și implementarea tehnologiilor 5G la nivel mondial și pentru a asigura un cadru comun pentru standardele tehnice.

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 evoluate 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. Organizația de standardizare 3GPP a continuat să optimizeze specificațiile 5G și a lansat actualizări minore pentru a îmbunătăți performanța și eficiența rețelelor.

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 așteaptă ca furnizorii și operatorii să continue să implementeze caracteristicile

din Release 16, iar 3GPP să continue să dezvolte noi standarde pentru a îmbunătăți performanța, eficiența și capabilitățile 5G. Dezvoltarea tehnologiei 5G este în continuare în desfășurare, cu eforturi continue pentru optimizare și inovare.

La momentul anului 2023 tehnologia 5G este deja implementată de 229 operatori în mai mul de 70 țări din întreaga lume, și continuă să crească.

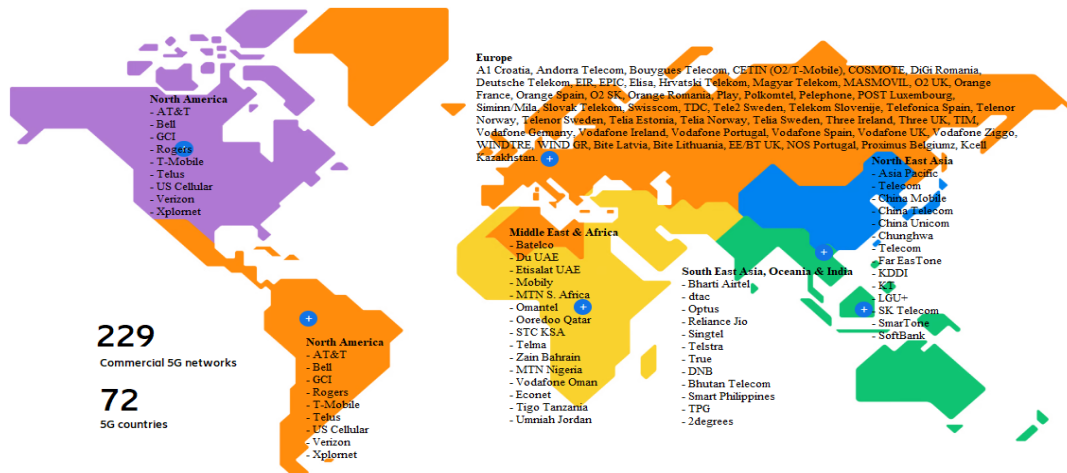


Figura 3. Acoperire mondiala 5G, rețele oficiale, țări

Sursa: elaborat de autor în baza <https://www.gsma.com/>.

Impactul serviciilor 5G în dezvoltarea durabilă a economiei.

În acest capitol sunt descrise informațiile cheie legate de statutul actual al implementării rețelelor 5G și prognozele pe viitor, bazate pe analiza datelor statistice de la furnizorii de servicii mobile, volumul traficului mobil, dispozitive mobile și a serviciilor acestuia în diverse locații din rețelele mobile. Informația a fost luată din raport anual de la compania Ericsson (Ericsson Mobility Report | June 2023).

Rețele 5G se dezvoltă rapid - numărul total de abonamente 5G este proiectat să depășească cantitatea de 1,5 miliarde în 2023, crescând cu 500 de milioane în doar 1 an. Prognoza globală a abonamentelor 5G a fost ajustată luând în considerație licitațiile de spectru amânate în mai multe țări și condițiile macroeconomice dificile. Se prevede acum că abonamentele 5G vor ajunge la 4,6 miliarde la nivel global până la sfârșitul anului 2028, reprezentând mai mult de 50% din toate abonamentele mobile. Astfel, 5G va deveni tehnologia dominantă de acces mobil prin abonamente în 2028.

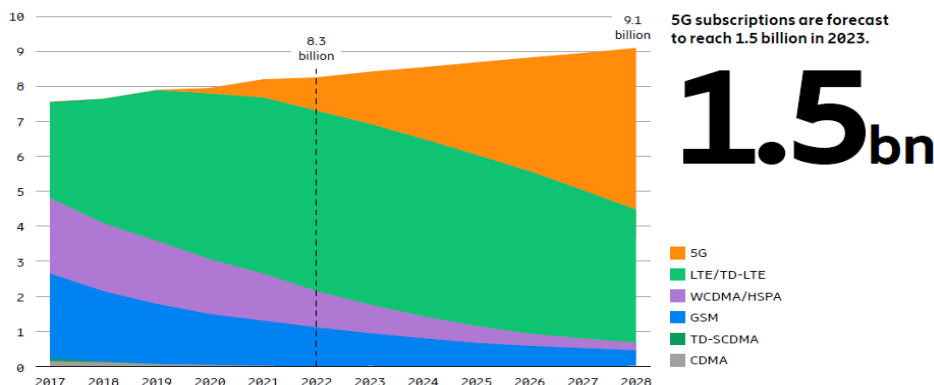


Figura 4. Numărul total de abonamente pe tehnologii (miliard)

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

Veniturile cresc pentru furnizorii de servicii în cele mai bune 20 de piețe 5G, înregistrând o creștere de 7% în ultimii 2 ani. Mai mult de 100 de furnizori de servicii oferă acum servicii de acces wireless fix prin tehnologia 5G. Cele mai răspândite servicii 5G lansate de operatorii

mobile sunt eMBB (enhanced mobile broadband), FWA (Fixed Wireless Access), jocuri și unele servicii bazate pe AR/VR.

Piețele numite "cele mai bune 20 de piețe 5G" includ: Australia, Bahrain, China, Danemarca, Finlanda, Hong Kong, Irlanda, Japonia, Kuweit, Monaco, Norvegia, Qatar, Arabia Saudită, Singapore, Coreea de Sud, Elveția, Taiwan, Emiratele Arabe Unite, Regatul Unit, Statele Unite. Listă acesta a fost identificată pe baza clasamentului de penetrare a abonamentelor 5G.

Analiza evoluțiilor în piețele de top 5G arată o corelație puternică între creșterea penetrării abonamentelor 5G și veniturile de servicii. Așa cum este arătat în Figura de mai jos, lansarea serviciilor 5G în primele 20 de piețe merge cu creștere pozitivă a veniturilor în ultimii 2 ani cu 7%.

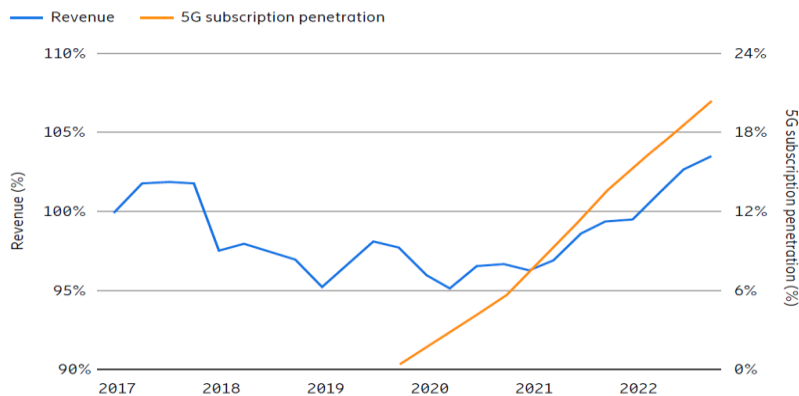


Figura 5. Venituri vs. Penetrarea abonamentelor 5G - Top 20 de piețe 5G

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

5G a creat o nouă valoare pentru consumatori, oferind servicii cu volume mai mari de date, viteze mai mari și experiențe îmbunătățite. Pentru furnizorii de servicii, valoarea suplimentară furnizată consumatorilor și întreprinderilor se traduce în oportunități de vânzare suplimentară și creștere a veniturilor. Tendința creșterii numărului abonamentelor mobile pe regiuni din figura de mai jos indică faptul că această captare a valorii a început deja.

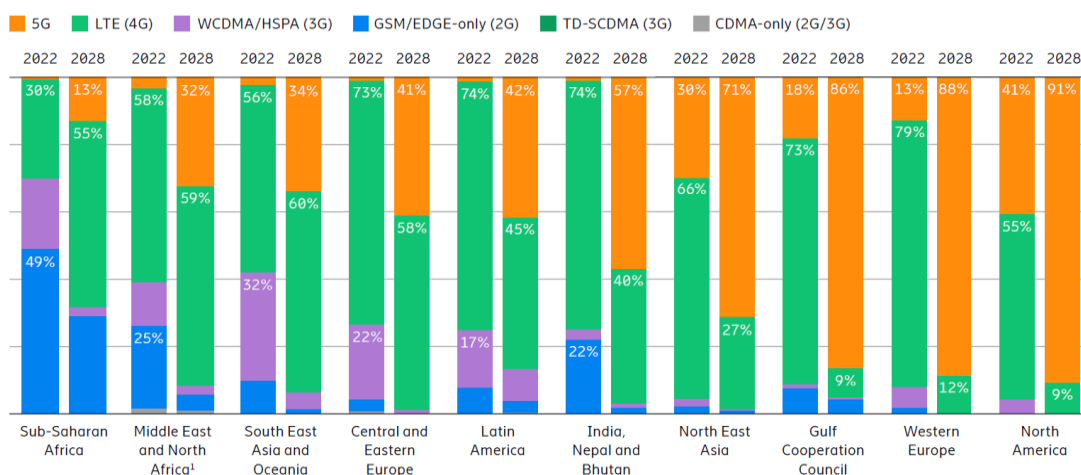


Figura 6. Abonamentele mobile pe regiuni și tehnologie (procente)

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

Furnizorii de servicii din regiunea Asia de Nord-Est au făcut investiții semnificative în implementarea timpurie a rețelelor 5G. Regiunea Asia de Nord-Est include așa țări ca Japonia, China, Coreea de Sud, Taiwan, Hong Kong. Coreea de Sud a fost prima țară care a lansat rețele comerciale 5G, și acestea erau disponibile în toate cele cinci piețe până în 2020. Tendințele creșterii abonamentelor mobile și volumului trafic mobil pentru regiunea este arată pe figuri mai jos.

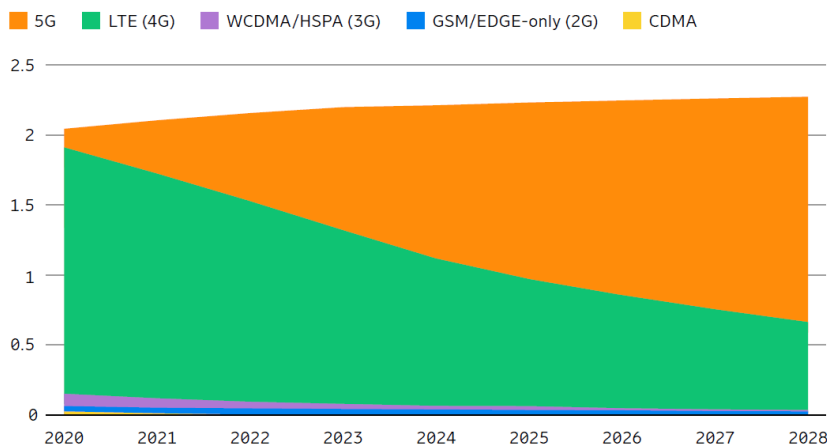


Figura 7. Asia de Nord-Est abonamentele mobile pe tehnologie (miliard)

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

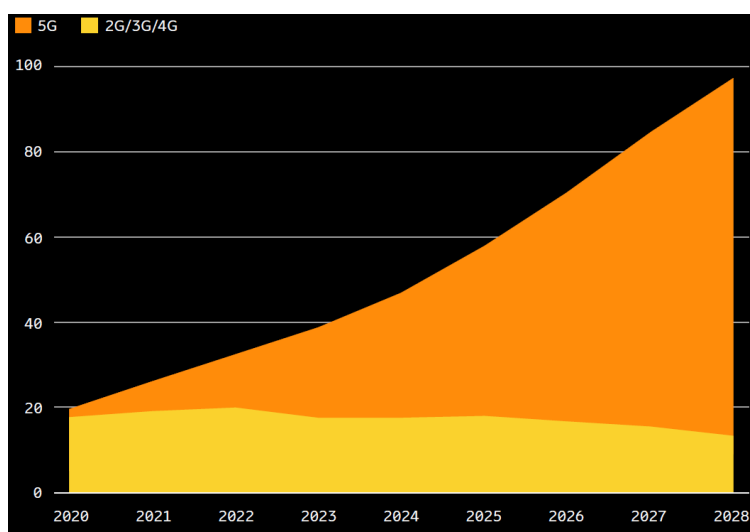


Figura 8. Trafic mobil de date în regiunea Asia de Nord-Est (EB pe luna). EB = 10¹⁸ bytes

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

Regiunea este considerată prima în acoperirea populației cu 5G, prima din punct de vedere al furnizorilor de servicii 5G, producătorilor de infrastructură mobilă, producătorilor de chipseturi, furnizorilor de terminale.

Piața smartphone-urilor nu oprește adoptarea 5G. Diagrama de mai jos ilustrează gradul de pregătire a pieței pentru tehnologia 5G, disponibilitatea funcționalităților de rețea, precum și suportul în dispozitive.

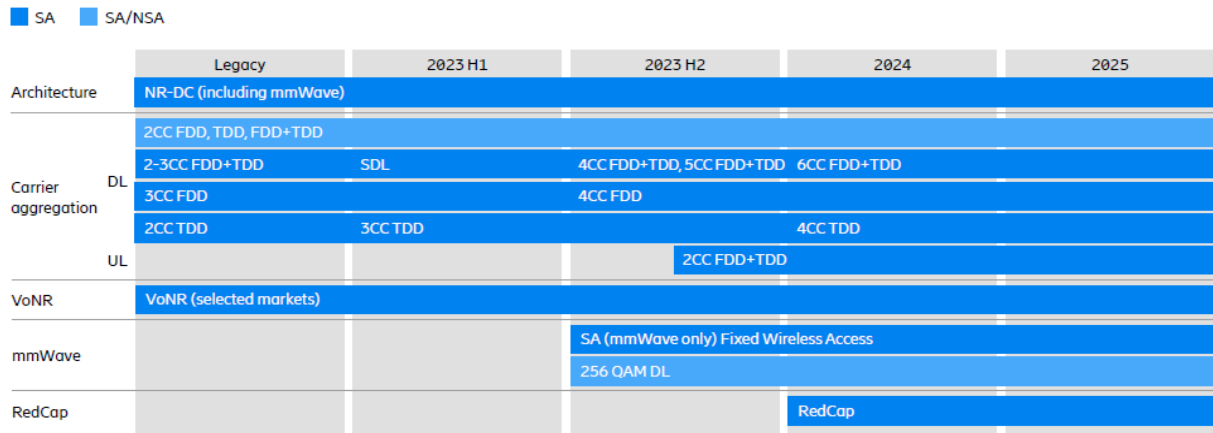


Figura 9. Statistica pieței dispozitivelor mobile

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

Până în prezent, au fost lansate peste 870 de modele de smartphone-uri 5G, 80 din ele au fost lansate în 2023. Se așteaptă ca smartphone-urile 5G să reprezinte 62% din toate smartphone-urile livrate în 2023.

Conexiunile IoT 4G/5G continuă să fie implementate în întreaga lume. Tehnologiile Massive IoT NB-IoT și Cat-M prezintă un număr mare de dispozitive cu complexitate redusă, cu costuri reduse, durată lungă a bateriei și utilizare trafic mobil scăzut. La nivel global, 125 de furnizori de servicii au implementat sau lansat comercial rețele NB-IoT și 56 au lansat Cat-M, în timp ce 40 au implementat ambele tehnologii. Numărul dispozitivelor conectate prin aceste tehnologii a atins aproape 500 de milioane la sfârșitul anului 2022.

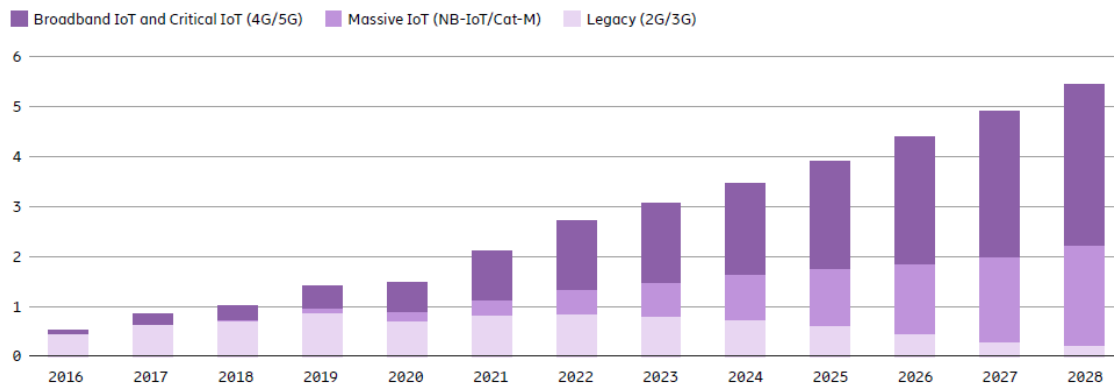


Figura 10. Conexiunile celulare pentru Internet of Things (IoT) în funcție de segment și tehnologie (miliarde)

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

FWA reprezintă o conexiune care furnizează acces principal la bandă largă prin intermediul echipamentelor de la domiciliu (CPE) activate de rețeaua mobilă. Aceasta include diverse forme de CPE, precum cele de interior (desktop și montate pe fereastră) și cele de exterior (montate pe acoperiș și pe perete). Nu include routere Wi-Fi portabile cu baterie sau dongle-uri.

La sfârșitul anului 2022, se prognozează că conexiunile FWA la nivel mondial vor crește de la 100 la 300 de milioane până la sfârșitul anului 2028. Aceasta reprezintă 17% din toate conexiunile de bandă largă fixă. Din cele 300 de milioane de conexiuni estimate, aproape 80% se așteaptă să fie peste 5G.

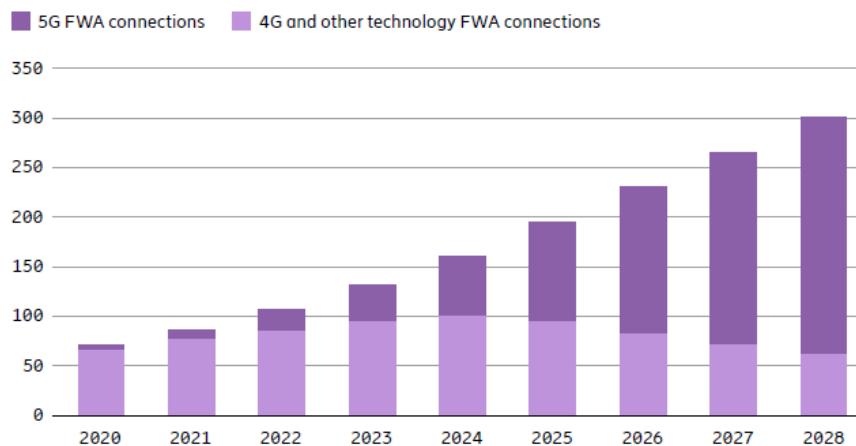


Figura 11. Conexiuni FWA (milioane)

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

Impactul FWA asupra traficului global de date mobile a reprezentat 21% din traficul global de date mobile la sfârșitul anului 2022 și se estimează că va crește de aproape 6 ori, în 2028. Un studiu actualizat al Ericsson din luna mai 2023, privind pachetele de retail oferite de 310 furnizori de servicii mobile la nivel global arată că 5G stimulează inovația în serviciile mobile, fiind acum opțiune standard pentru consumatori. Majoritatea furnizorilor nu percepe diferențe de preț pentru accesul la 5G, încurajând trecerea consumatorilor la această tehnologie eficientă. Pachetele de date sunt variate, cu opțiuni nelimitate și adaptate nevoilor consumatorilor. Analiza este prezentată pe figura de mai jos.

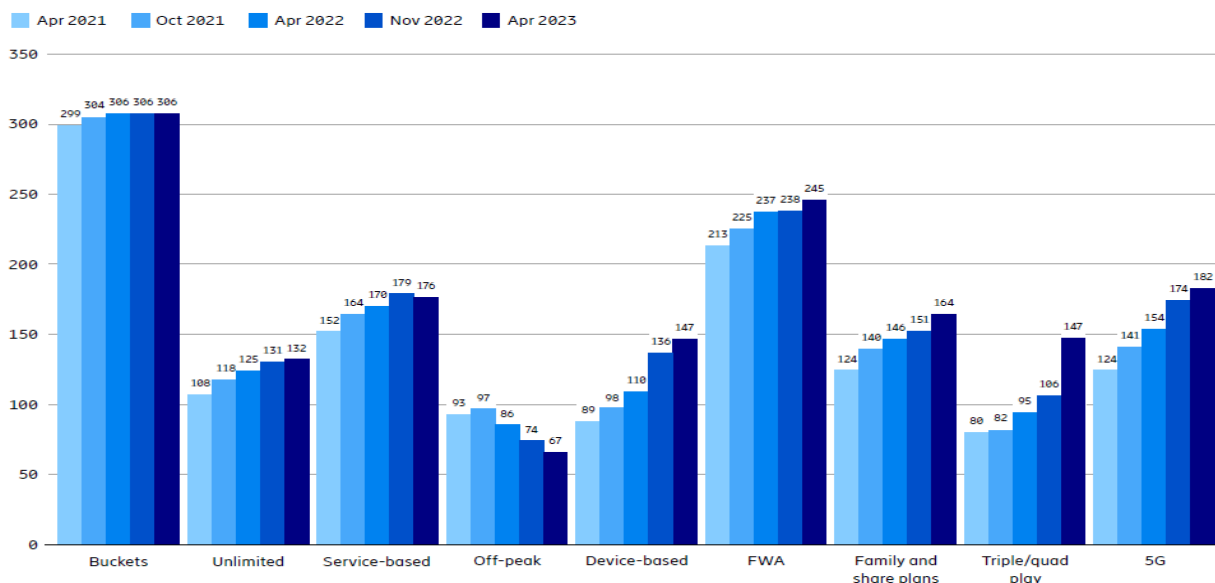


Figura 12. Numărul de furnizori de servicii în funcție de tipul de ofertă

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

Furnizorii oferă diverse nivele de viteză și pachete adaptate, iar concurența se concentrează mai mult pe preț. Măsurătorile traficului arată că un procent mic de utilizatori generează majoritatea volumului, cu videoclipurile dominând consumul, influențând traficul de date în piețele avansate de telecomunicații mobile.

Se așteaptă ca media globală lunară de utilizare a traficului de pe smartphone să depășească 20 GB la sfârșitul anului 2023.

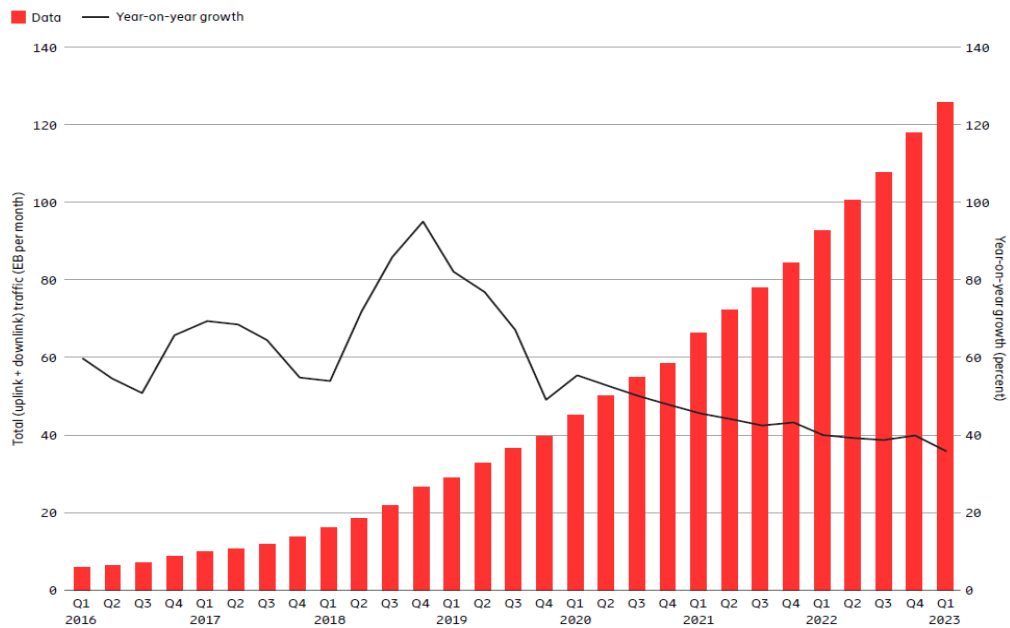


Figura 13. Traficul global de date pe rețele mobile și creșterea anuală (EB pe lună)

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

Traficul pe rețelele mobile s-a dublat în aproape doi ani, atingând 126 EB lunar global. Această creștere este susținută de numărul tot mai mare de abonamente la smartphone-uri și de volumul crescut de date per abonament, alimentat de viziunea 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.

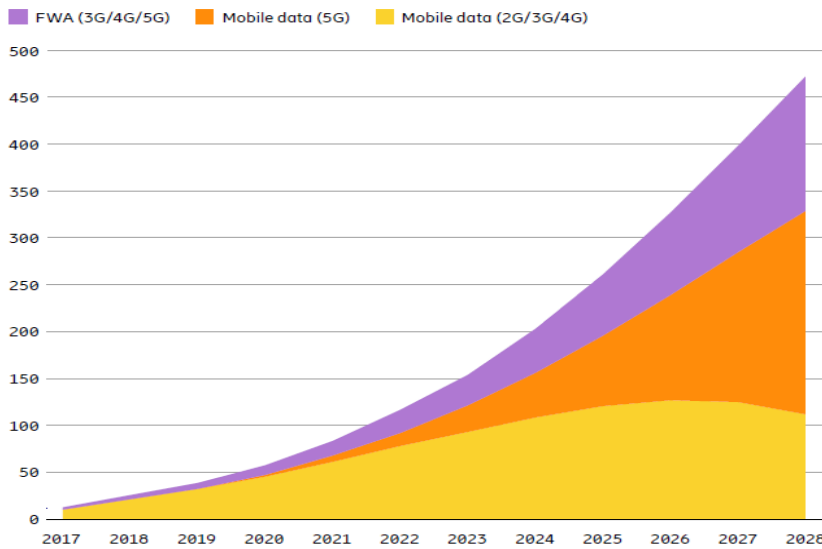


Figura 14. Traficul global de date pe rețele mobile (EB pe lună)

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

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 variază între țări și regiuni, fiind influențată de mai mulți factori, inclusiv capacitățile dispozitivelor, conținutul intensiv în date și îmbunătățirile în performanța rețelelor. Proiecțiile arată că până în 2028, consumul mediu lunar de date pe smartphone va depăși 20 GB global și va ajunge la 47 GB la nivel global.

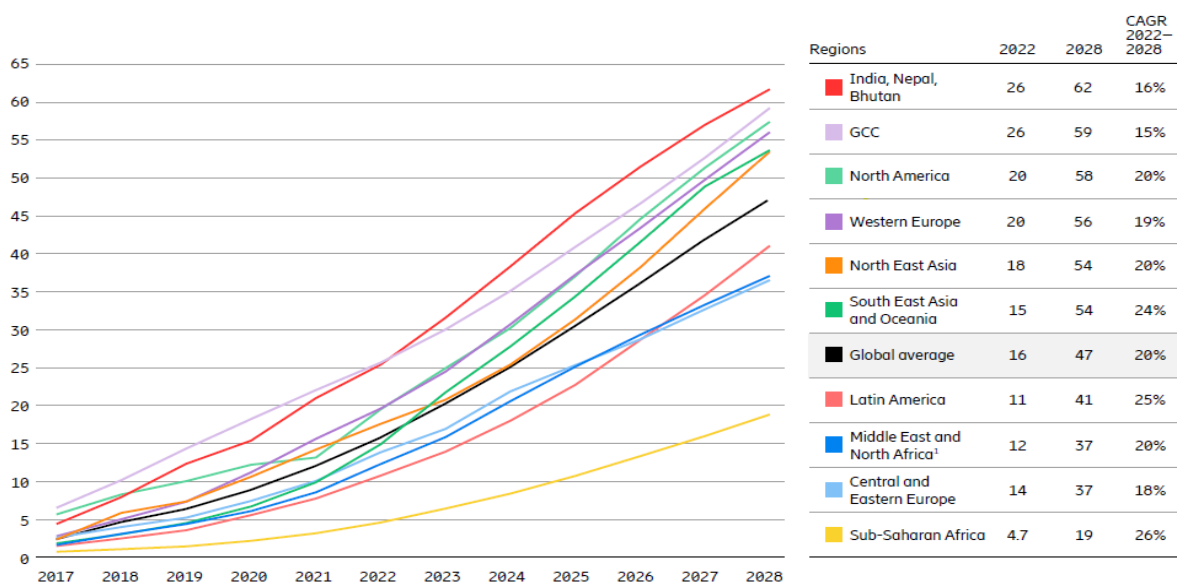


Figura 15. Traficul mobil de date pe smartphone (GB pe lună)

Sursa: elaborat de autor în baza Ericsson Mobility Report, November 2023.

În America de Nord, se estimează că va atinge 58 GB în 2028, iar în Europa de Vest, aproximativ 56 GB. Proiecțiile pentru alte regiuni arată creșteri similare, cu variabilitate în funcție de țări și factori locali. De exemplu, în Africa Subsahariană se așteaptă ca traficul de date pe smartphone să crească la 19 GB lunar în 2028, în timp ce în Asia de Nord-Est se estimează o creștere la 54 GB lunar.

Concluzii

Prin investigarea stadiului actual al implementării tehnologiei 5G și analiza proiecțiilor viitoare, acest articol evidențiază schimbările semnificative aduse de progresului tehnologic în domeniul comunicațiilor mobile. Analiza detaliată a evoluției tehnologiilor mobile, îndeosebi a tranziției către rețelele 5G, ne permite să tragem următoarele concluzii științifice:

- Procesul de dezvoltare și implementare a tehnologiei 5G a demonstrat un progres remarcabil în ultimii ani. De la etapele incipiente de standardizare și cercetare, până la lansările comerciale și extinderea rețelelor la nivel global, tehnologia 5G a devenit un punct de referință în evoluția comunicațiilor mobile.
- Lansarea rețelelor 5G a avut un impact major asupra industriei telecomunicațiilor și a economiei în ansamblu. Aceasta a creat oportunități pentru inovație și creștere economică prin furnizarea unor servicii și aplicații inovatoare, precum și prin stimularea adoptării tehnologiei în diverse sectoare ale economiei.
- Prognozele indică o creștere rapidă a adopției tehnologiei 5G la nivel global, cu un număr estimat de abonamente care va depăși 1,5 miliarde până la sfârșitul anului 2023. Această creștere va continua în următorii ani, cu 5G devenind tehnologia dominantă de acces mobil prin abonamente la nivel mondial până în 2028.
- Tehnologia 5G aduce o serie de beneficii semnificative pentru consumatori și întreprinderi, inclusiv viteze mai mari de transfer de date, latență redusă și posibilități extinse pentru aplicații și servicii inovatoare, cum ar fi Internet of Things (IoT), realitate augmentată și virtuală (AR/VR), jocuri și servicii bazate pe acestea. Aceste beneficii contribuie la crearea unei noi valori și la îmbunătățirea experienței utilizatorilor.

În ciuda progreselor remarcabile realizate până în prezent, evoluția tehnologiei 5G necesită continuarea inovației și colaborării între industrie, instituții de cercetare și reglementatori pentru a aborda provocările și pentru a exploata pe deplin potențialul acestei tehnologii.

În concluzie, tranziția către tehnologia 5G marchează o etapă importantă în evoluția tehnologiilor mobile, oferind beneficii semnificative pentru societate, economie și viața cotidiană, și stabilind bazele pentru inovații viitoare în domeniul comunicațiilor fără fir.

Referințe

- [1] Documentație de la furnizori precum Ericsson, Nokia, Huawei, etc.
- [2] Andrews, J. G., et al. (2014). "What Will 5G Be?" IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 32(6), 1065-1082.
- [3] Osseiran, A., et al. (2014). "Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project." IEEE Communications Magazine, 52(5), 26-35.
- [4] Akpakwu, G. A., et al. (2017). "A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges." IEEE Access, 6, 3619-3647.
- [5] Verizon. (2021). "Verizon 5G Overview." [Online]. Disponibil: <https://www.verizon.com/5g/what-is-5g/>
- [6] 3RD GENERATION PARTNERSHIP PROJECT (3GPP) specificații: 2G (GSM 02.01-03.22), 3G(TS 36.xxx), 4G LTE (TS 36.xx), 5G NR (TS 38.xx). Disponibil: <https://www.3gpp.org/>
- [7] Ericsson. Disponibil: <https://www.ericsson.com/>
- [8] Ericsson Mobility Report, November 2023, Disponibil: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/november-2023>
- [9] Evolution of wireless technologies 1G to 5G in mobile communication. July 4, 2023 by Rajiv Baby. Disponibil: <https://www.rfpage.com/>
- [10] Степутин А., Николаев А. "Мобильная связь на пути к 6G. 2021, ISSN 978-5-9729-0571-3, Disponibil: <http://1234g.ru/>
- [11] Unifying the mobile ecosystem and related industries. <https://www.gsma.com/>