

## DEZVOLTAREA TEHNOLOGICĂ ȘI DOMENII DE STUDIU ALE TEHNOLOGIEI 6G

### THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND STUDY AREAS OF 6G TECHNOLOGY

Alexandru BADEA<sup>1</sup>, Adrian Ioan MUNTEAN<sup>2</sup>,  
Felicia Elena BIBIRE<sup>3</sup>, Constantin BIBIRE<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universitatea Politehnica București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România  
e-mail: Alexandru BADEA: [alexsiniaia@yahoo.com](mailto:alexsiniaia@yahoo.com)

<sup>2,3,4,5</sup> Universitatea Politehnica București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România  
e-mail: Adrian Ioan MUNTEAN: [adrianmuntean67@yahoo.com](mailto:adrianmuntean67@yahoo.com); Felicia Elena BIBIRE:  
[felicia.bibire@yahoo.com](mailto:felicia.bibire@yahoo.com); Constantin BIBIRE: [constantin.bibire@yahoo.com](mailto:constantin.bibire@yahoo.com);  
Claudiu Nicolae BADEA: [badeaclaudiun@gmail.com](mailto:badeaclaudiun@gmail.com)

**Rezumat:** În această lucrare se face un studiu cu privire la evoluția tehnologiei de comunicații mobile 5G, care presupune dezvoltarea 5G spre 6G, prin angrenarea societății și viziunea asupra lumii din anii 2030 și analizează cerințele, cazurile de utilizare și aspectele tehnice. Deoarece 5G este de așteptat să fie utilizată într-o mare varietate de domenii industriale în viitor, este de dorit să se efectueze cercetări pentru ca dezvoltarea acesteia să privească dincolo de 5G, ținând cont de tendințele viitoare ale pieței, nevoile, problemele sociale și evoluția tehnologică. Dorim să credem că se va îmbunătăți și mai mult performanța caracteristicilor 5G de „viteză mare și capacitate mare”, „latență scăzută” și „conexiuni multiple” prin avansarea în continuare a tehnologiei wireless și dezvoltarea benzilor de înaltă frecvență, extinderea zonei de comunicație către cer, mare, spațiu, unde a fost dificil să se creeze o gamă largă de zone de comunicare, realizarea consumului de energie ultra-scăzut și a comunicării cu costuri reduse pentru a realiza o societate durabilă pentru a extinde în continuare aplicațiile industriale. Domeniile de studiu sunt provocarea noilor tehnologii în comunicațiile mobile, cum ar fi „comunicații de înaltă încredere” și „multifuncționalitatea sistemelor de comunicații fără fir” și să continuarea promovării pentru cercetarea și dezvoltarea evoluției 5G și a tehnologiilor și cazurilor de utilizare wireless 6G.

**Cuvinte cheie:** viteză mare, capacitate mare, latență scăzută, conexiuni multiple, topologie.

**Abstract:** In this paper is made a study about the evolution of 5G mobile communication technology, which involves the development of 5G towards 6G, by engaging society and the world view of the 2030s, and analyzes the requirements, use cases and technical aspects. As 5G is expected to be used in a wide variety of industrial fields in the future, it is desirable to conduct research for its development to look beyond 5G, taking into account future market trends, needs, social issues and evolution of technologies. We would like to believe that the performance of 5G features of "high speed and high capacity", "low latency" and "multiple connections" will be further improved by the further advancement of wireless technology and the development of high frequency bands, the expansion of the communication area to sky, sea, space, where it has been difficult to create a wide range of communication areas, the realization of ultra-low power consumption and low-cost communication to realize a sustainable society to further expand industrial applications. The fields of study are to challenge new technologies in mobile communications, such as "high-reliability communications" and "multifunctionality of wireless communications systems", and to continue to promote the research and development of 5G evolution and 6G wireless technologies and use cases.

**Keywords:** high speed, large capacity, low latency, multiple connections, topology.

## 1. INTRODUCERE

În generațiile anterioare, exista o tehnologie reprezentativă care simboliza fiecare generație de tehnologie de acces radio (RAT/RAT: Radio Access Technology) [1], dar începând cu 4G, RAT-urile sunt configurate prin combinarea mai multor tehnologii bazate pe OFDM [2]. Se crede că 6G va avea o gamă mai largă de domenii tehnice. Acest lucru se datorează faptului că tehnologia bazată pe OFDM a atins deja o calitate a comunicațiilor apropiată de limita Shannon [3] și, în același timp, cerințele și cazurile de utilizare devin din ce în ce mai diverse.

Prin urmare, 6G va necesita mai multe combinații de tehnologii fără fir după evoluția 5G, iar cadrul de combinație va fi extins în continuare prin fuziunea cu IOWN și integrarea cu alte tehnologii decât comunicațiile mobile, cazuri de utilizare și noua valoare oferită în era 6G. 5G a fost definit prin combinația dintre sofisticarea LTE și NR, dar 5G NR este proiectat cu o dovadă excelentă pentru viitor [4], care ține cont de introducerea de noi tehnologii în viitor, așa că și definiția 6G RAT va trebui luată în considerare în viitor [5]. În rețeaua de bază, s-a promovat modularizarea funcțiilor în 5G și utilizarea tehnologiei de uz general pentru interfețele dintre funcții. Pe lângă această tendință, este de așteptat ca funcțiile de rețea să devină mai bazate pe software moderne [6-9] și mai deschise în viitor.

Se consideră că este necesară proiectarea arhitecturii rețelei având în vedere generalizarea echipamentului. În cele ce urmează, se prezintă domeniile tehnologice și provocările acestora care pot fi considerate ca și candidate pentru evoluția 5G și 6G.

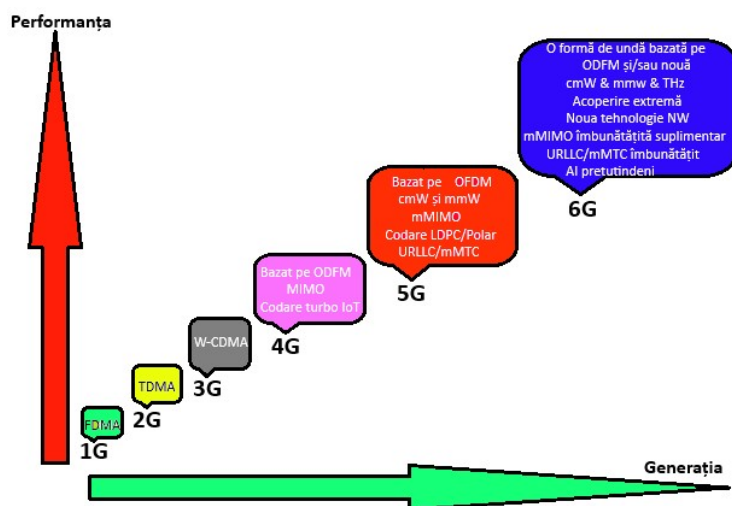


Fig 1. Dezvoltare tehnologică până la 6G în comunicațiile mobile.

## 2. REȚEA DISTRIBUITĂ AVANSATĂ ÎN DOMENIUL SPAȚIAL (NEW RADIO NETWORK TOPOLOGIE)

În căutarea unei viteze ultra-înalte, a unei capacități mari (în special în legătură în sus) și a fiabilității îmbunătățite a comunicațiilor fără fir, este necesar să se comunice pe cea mai scurtă distanță posibilă și pe un mediu de vizibilitate (cale cu pierderi mici) și să se creeze cât mai multe căi de comunicare, crescând astfel numărul de căi. Devine ideal pentru a crește redundanța. Pentru a realiza acest lucru, este necesară o topologie de rețea distribuită în domeniul spațial. După cum se arată în figura 2, rețelele celulare din generația anterioară au fost configurate în mod ideal cu celule hexagonale pentru a preveni interferențele dintre celule. Pentru a extinde și mai mult rețeaua din apropiere, crește mediul de linie de vedere și crește spațiul pentru selectarea căii, zonele mai multor celule sunt suprapuse. Evoluția către o

nouă topologie de rețea radio (New Radio Network Topology) care crește numărul de căi de conexiune cu rețeaua [10], inclusiv terminalele mobile din jur și rețeaua non-terestre (NTN: Non-Terrestrial Network), este de conceput [11]. O astfel de rețea distribuită în domeniul spațial este considerată a fi potrivită pentru exploatarea benzilor de înaltă frecvență, tehnologiei MIMO distribuite, detecție fără fir și alimentare fără fir [12].

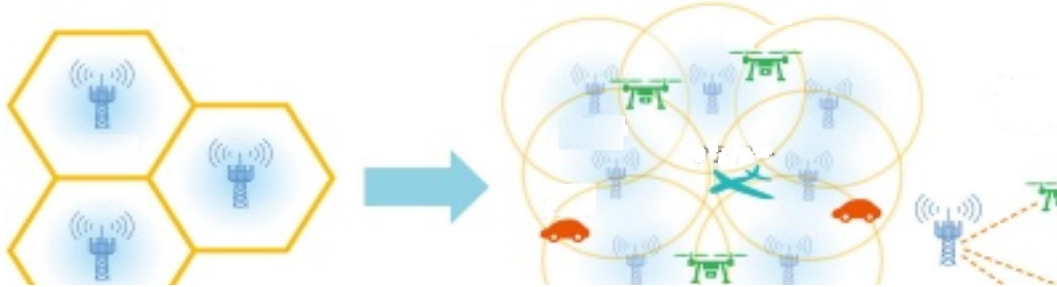


Fig 2. Imagine a evoluției către noua topologie de rețea radio.

Pe de altă parte, se poate spune că această nouă topologie de rețea radio este o configurație de rețea nefavorabilă în care apar interferențe între celule și multe antene sunt instalate inutil. În ceea ce privește interferența, tehnici precum controlul avansat al fasciculului și selecția traseului și aplicarea unei configurații fără celule care configurează o zonă cu mai multe antene în loc de o configurație de celule care formează o zonă pentru fiecare antenă [13], trebuie evitat. O altă problemă de bază este modul de realizare economică a Noii Topologii de Rețea Radio și sunt posibile abordări diferite. Practic va fi o soluție care nu folosește antene convenționale pentru stația de bază. După cum se arată în figura 3, utilizarea obiectelor existente, cum ar fi luminile stradale, iluminatul, panourile publicitare, automatele și sticla ferestrelor ca antene de comunicare, integrarea senzorilor și antenelor de comunicație, integrarea senzorilor și antenelor de comunicație, IAB (Acces integrat și backhaul) există loc pentru diverse studii, cum ar fi tehnologia de releu fără fir, cum ar fi repetoare pentru benzi de înaltă frecvență [14]. O altă provocare este de a stabili un nou sistem de cablare optică și un sistem de transmisie optică care realizează o topologie de rețea distribuită și are scalabilitatea pentru a urmări evoluția comunicațiilor fără fir și pentru a stabili tehnologii fronthaul și backhaul. În plus, pare necesar să se ia în considerare astfel de soluții noi în combinație cu configurațiile celulare convenționale. În cele ce urmează, schițăm domenii tehnice relativ noi legate de noua topologie a rețelei radio.

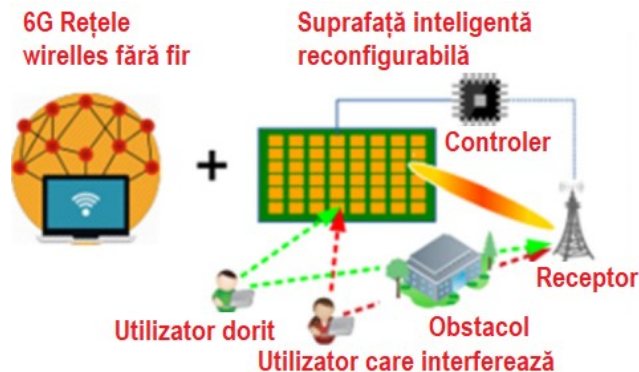


Fig 3. Exemplu de soluție pentru topologia rețelei radio noi

### 2.1. Implementarea antenelor distribuite pe „linii”

Pentru a implementa eficient un număr mare de dispozitive de antenă, ceea ce

reprezintă o problemă în noua topologie a rețelei radio, este posibilă o abordare în care un număr mare de dispozitive de antenă reduse și economice sunt conectate prin „fire” [15]. Una dintre metodele de realizare este A-RoF (Analog-Radio over Fiber), care transmite semnale radio ca semnale analogice către echipamentele de antenă folosind fibre optice [16-17]. În comparație cu D-RoF (Digital-Radio over Fiber), care convertește semnalele radio în informații digitale și le transmite, A-RoF are dificultăți în menținerea calității semnalului în timpul transmisiei optice [18]. Deoarece nu există un convertor analog-digital (Convertor analog-digital) sau DAC (Digital-to-Analog Converter) este necesar, iar banda de transmisie optică necesară este îngustă, se crede că este un mijloc eficient de reducere a dimensiunii și costului multor dispozitive de antenă. În A-RoF, prin conectarea dispozitivelor de antenă în mai multe etape, poate fi realizată o antenă distribuită asemănătoare „liniei”. De asemenea, așa cum se arată în figura 4, este studiată o tehnologie de control al fasciculelor dispozitivelor de antenă la distanță prin utilizarea multiplexării lungimii de undă în A-RoF [19]. În mod convențional, D-RoF a fost folosit într-o zonă largă.

În schimb, A-RoF a fost utilizat în principal în zone limitate, cum ar fi în interior, dar este de așteptat ca o astfel de tehnologie să permită utilizarea A-RoF într-o zonă mai largă prin transmisie prin fibră optică de 10 km sau mai mult.

De asemenea, este luată în considerare o tehnologie care radiază unde radio dintr-o locație arbitrară, făcând forma antenei în sine o „linie”. O zonă de comunicație poate fi construită în jurul unei părți a unui ghid de undă dielectric, care este un cablu (linie de transmisie) care propagă unde radio de înaltă frecvență, prin simpla ciupire a acesteia cu o bucată mică de plastic. Astfel se poate dezvolta un instrument de conversie.

## 2.2. Controlul canalelor wireless prin RIS

Utilizarea căii multiple prin unde reflectate a fost mult timp un domeniu de studiu în comunicațiile mobile. Tehnologia Reflector (RIS: Suprafață inteligentă reconfigurabilă) care îmbunătățește performanța și tehnologia sa de control sunt concentrate în principal pe benzile de înaltă frecvență peste undele milimetrice [20-21].

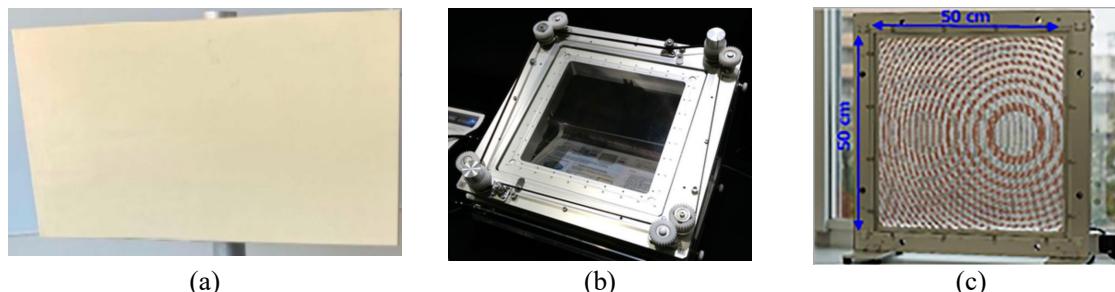


Fig 4. Experiment demonstrativ al tehnologiei reflectorului (RIS).

Se lucrează la cercetarea și dezvoltarea tehnologiei pentru a realiza antene din sticlă transparentă [22] și tehnologia RIS care le combină. În experimentul folosind reflectorul metamaterial prezentat în figura 4(a), s-a verificat tehnologia de extindere a zonei de comunicare prin reflectarea undelor radio în banda de unde milimetrice în orice direcție [23]. Într-un experiment folosind o metasuprafață dinamică transparentă prezentată în figura 4(b), s-a demonstrat o tehnologie care poate transmite și reflecta undele radio cu unde milimetrice printr-un substrat de sticlă transparentă [24]. Mai mult, într-un experiment folosind lentila de metasuprafață prezentată în figura 4(c), s-a dezvoltat o tehnologie care poate concentra undele radio în bandă de unde milimetrice care vin din exterior într-un singur punct din interior printr-o sticlă echipată cu această tehnologie. [25]. Se poate demonstra, de asemenea,

utilitatea construirii unei zone interioare reale, combinând-o cu tehnici de îmbunătățire a zonei, cum ar fi repetitoarele.

Pentru utilizarea practică a RIS, este necesar să se efectueze studii tehnice, cum ar fi cazurile de utilizare, proiectare a dimensiunilor și clarificarea efectelor aplicației. În plus, dacă este posibil să se controleze de la distanță direcția fasciculului etc. a RIS și a repetitoarelor, va fi eficientă în extinderea zonei de comunicare, în special în banda de înaltă frecvență. De asemenea, se poate verifica efectul real de extindere a zonei într-un sistem repetitor de 28 GHz și clarifica metodele eficiente de extindere a zonei.

### 2.3. Tehnologia coordonată de transmisie a puterii între terminale

Ca metodă de realizare a noii topologii de rețea radio, se ia în considerare și o tehnică de transmisie și recepție cooperantă între terminale [26]. Cerința pentru multi-conexiune 5G (mMTC) este de 1 milion de conexiuni pe kilometru pătrat, dar 6G necesită de aproximativ 10 ori mai multă „hiper-multi-conexiune” datorită progresului terminalelor portabile și a convergenței ciber-fizice. Aceasta corespunde unei densități de 10 terminale pe metru pătrat, iar într-un mediu în care un număr mare de terminale, este posibil să se creeze multe căi de comunicație prin cooperare între terminale fără a crește numărul de dispozitive de antenă pe partea rețelei. În acest caz de utilizare de „super-conexiune multiplă”, se așteaptă să se extindă varietatea de terminale, de la terminale de înaltă performanță la terminale de comunicații care economisesc energie.

### 2.4. Detectarea și economisirea energiei prin implementarea antenei distribuite Win-Win

Pentru evoluția 5G și 6G, sunt studiate tehnologiile de detectare precum estimarea poziției și detectarea obiectelor folosind unde radio de comunicații [27]. În plus, tehnologia de comunicare care economisește energie, cum ar fi comunicarea cu retrodifuziune, care realizează terminale fără baterie, a atras atenția în ultimii ani [28]. Se consideră că configurațiile de rețea care implementează aceste tehnologii au caracteristici comune.

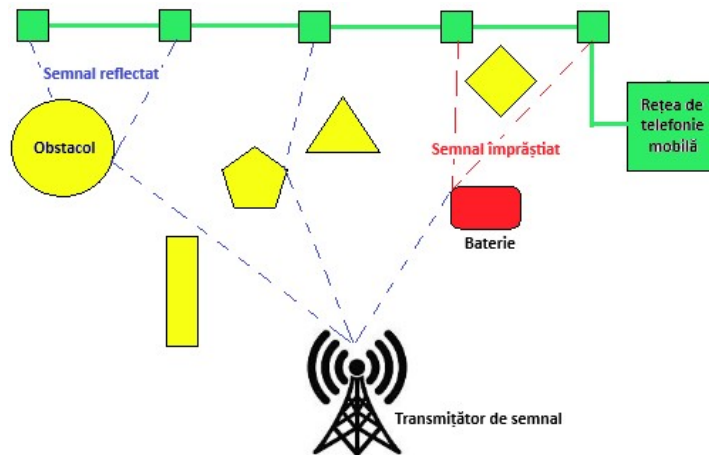


Fig 5. Exemplu de configurație de rețea presupunând comunicarea de detectare și retrodifuziune

Este necesară radiarea în zona de comunicație printr-un dispozitiv emițător de semnal (figura 5), iar în zona de comunicație este necesar un punct de recepție pentru observare. În această figură, este imaginat că mai multe puncte de recepție sunt desfășurate prin desfășurarea antenei distribuite. În detectarea fără fir, undele reflectate de la obiecte sunt recepționate de

antene distribuite și analizate de o rețea pentru a realiza estimarea poziției și detectarea obiectelor. În comunicarea cu backscatter, terminalele fără baterie pot transmite informații către rețea cu un consum redus de energie prin modularea externă a semnalului sursă în timp ce furnizează energie folosind semnalul sursă.

### 3. REALIZAREA STĂRII DE BUNĂSTARE FOLOSIND REȚEAUA 6G

„Extinderea super acoperirii”, care presupune cazuri de utilizare în fiecare locație, inclusiv pe cer, mare și spațiu, va extinde serviciile în zone care nu au fost acoperite de rețelele convenționale de comunicații mobile, cum ar fi drone, vehicule zburătoare, nave și spațiu, pentru a oferi o extensie de acoperire a zonei. Prin urmare, este necesar să se examineze noua topologie de rețea radio menționată mai sus tridimensional, inclusiv direcția verticală. În plus, în comunicarea în aer, mare și spațiu, se crede că va fi necesară o tehnologie care să realizeze o transmisie fără fir de înaltă eficiență pe distanțe lungi de cel puțin câteva zeci de kilometri.

În mod tradițional, sateliții cu orbită geostaționară (GEO), sateliții cu orbită terestră joasă (LEO) și pseudosateliții de mare altitudine (HAPS) au fost folosiți ca mijloace de comunicare nu numai pe uscat, ci și în aer și pe mare, pentru comunicare și studii tehnice [29]. Prin creșterea funcționalității acestor tehnologii de comunicații și conectarea lor cu rețelele terestre 5G, acoperirea rețelei celulare va fi extinsă în toate locațiile, inclusiv în aer, mare și spațiu, așa cum se arată în figura 6, și va fi furnizată o tehnologie avansată de comunicație fără fir.

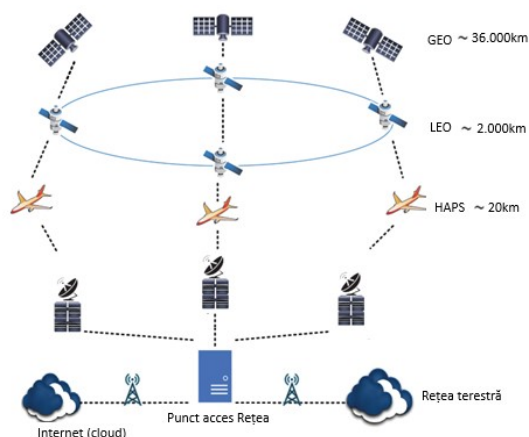


Fig. 6. Imagine a extinderii acoperirii către cer, mare și spațiu folosind sateliți și HAPS

GEO este un satelit geostaționar aflat pe orbită geostaționară la o altitudine de aproximativ 36.000 km.

Deși timpul de propagare unidirecțională dintre satelit și antena stației de la sol este relativ lung, de aproximativ 120 ms, întregul pământ poate fi acoperit cu 3 sau 4 sateliți și o comunicare constantă este posibilă. În era 6G, va fi necesară o capacitate și mai mare, așa că se va realiza VHTS (Very High Throughput Satellite), care îmbunătățește capacitatea sistemului prin optimizarea puterii și frecvenței satelitelui între mai multe fascicule [30].

LEO este un satelit pe orbită cu o altitudine orbitală de la câteva sute de km până la aproximativ 2.000 km. În prezent este utilizat pentru telefonia mobilă prin satelit și în detectarea prin satelit. Este de așteptat să fie utilizat ca un backhaul de mare capacitate, cu întârziere redusă, datorită reducerii costurilor de producție a sateliților, extinderii capacității de comunicație prin aplicarea MIMO etc. și constelației de sateliți în care mai mulți sateliți cooperează pentru a forma o rețea în viitor [31].

HAPS poate fi staționat într-o locație fixă la o altitudine de aproximativ 20 km și acoperă o suprafață de uscat cu o rază a celulei de 50 km sau mai mult. Recent, a atras din nou atenția

pentru că poate forma o zonă de margine [32]. Deoarece altitudinea este chiar mai mică decât cea a LEO, se poate realiza un timp de propagare unidirecțional de aproximativ 0,1 ms, în funcție de raza celulei. Prin urmare, este considerat a fi eficient nu numai pentru contramăsurile dezastrelor, ci și pentru multe cazuri de utilizare industrială presupuse de evoluția 5G și 6G. După cum se arată în figura 6, HAPS poate fi utilizat pentru backhaul (sistem fix) către rețele terestre etc., care au viteză și capacitate mai mare decât sateliții, sau suportă terminale prin relee (IAB) sau repeatoare (sisteme mobile). Este de așteptat să fie utilizat pentru o gamă largă de aplicații.

#### 4. TEHNOLOGIE PENTRU EXTINDEREA ÎN CONTINUARE A DOMENIULUI DE FRECVENȚĂ ȘI UTILIZAREA AVANSATĂ A FRECVENȚEI

Standardul de comunicare fără fir 5G „NR ▼” acceptă benzi de frecvență de până la 52,6 GHz, și sunt luate în considerare extensii de până la aproximativ 90 GHz, pentru versiunile viitoare. În plus, Comisia Federală de Comunicații (FCC) din Statele Unite recomandă ca benzile de frecvență mai înalte, cum ar fi cele de 95 GHz până la 3 THz, să fie luate în considerare pentru tehnologia 6G [33]. Într-o astfel de bandă de frecvență înaltă de la „undă milimetrică” la „undă terahertz”, este posibil să se utilizeze o lățime de bandă de frecvență mult mai largă decât 5G, astfel încât este posibil să se utilizeze „viteză ultra-înaltă” care depășește 100 Gbps. Considerat pentru realizarea de „capacitate mare” [34]. În prezent, așa cum se arată în figura 8, se ia în considerare „unde radio” de până la aproximativ 300 GHz ca domeniul de aplicare al 6G. Cu toate acestea, undele terahertzi sunt mai drepte decât undele milimetrice și există o problemă că ele nu se propagă departe. În ceea ce privește caracteristicile de propagare a undelor radio ale undelor teraherți, pe lângă caracteristicile de bază precum reflexia, împrăștierea și transmisia, au existat rapoarte de măsurători în medii interioare [35-36] dar au existat rapoarte de măsurători în medii exterioare, deși foarte puține [37]. Cu toate acestea, pentru frecvențele de peste 100 GHz, datele de măsurare necesare pentru construirea modelului de propagare sunt încă insuficiente. De asemenea, este necesar să se studieze tehnologia, cum ar fi dezvoltarea tehnologiei și utilizarea dispozitivelor bazate pe noua topologie de rețea radio menționată.

În ceea ce privește tehnologia dispozitivelor, este necesar să se realizeze circuite de procesare a semnalului digital, DAC-uri și ADC-uri care pot gestiona lățimi de bandă mai largi la costuri reduse și consum redus de energie. În plus, este necesar să se dezvolte antene, filtre, amplificatoare, mixere, oscilatoare locale etc., care să funcționeze în benzi de înaltă frecvență, astfel încât să poată suporta mai multe elemente de antenă Massive MIMO. Pe lângă performanța ridicată și integrarea ridicată a circuitelor RF (Radio Frequency) în benzi de înaltă frecvență care depășesc 100 GHz, este necesar să se poată fabrica dispozitive semiconductoare cu acuratețe și costuri care să poată fi utilizate în serviciile comerciale efective. În plus, deoarece pierderea cablajului este mare în aceeași bandă de înaltă frecvență, metodele de montare, cum ar fi configurația cip/circuit și conexiunea antenei sunt, de asemenea, probleme majore. Urmărirea performanței dispozitivului în sine și îmbunătățirea performanței dispozitivului folosind tehnologia de compensare bazată pe procesarea semnalului digital, sunt considerate a fi probleme de optimizare în lumina evoluției viitoare a tehnologiei de fabricare a semiconductoarelor. sistemul de adoptat este o problemă continuă în evoluția 5G și 6G. Mai mult, atunci când se ia în considerare utilizarea acestor dispozitive semiconductoare în terminale, sunt necesare, de asemenea, miniaturizarea, consumul redus de energie și disiparea ridicată a căldurii. Realizarea și miniaturizarea sunt, de asemenea, probleme majore. Cercetarea și dezvoltarea pentru a aborda problemele tehnice menționate mai sus în benzile de înaltă frecvență de peste 100 GHz a devenit o competiție internațională. De exemplu, tehnologia de configurare a sistemului fără fir pentru a atinge 100 Gbps la o distanță de linie de vedere de 100 m în benzi de înaltă frecvență, tehnologia front-end IC cu antene integrate pentru a obține Massive MIMO și sisteme compuse care permit

transmisia de mare putere [38]. Cercetarea și dezvoltarea vor fi efectuate pe tehnologia RF în bandă de teraherți care poate funcționa în banda 350-600 GHz, având în vedere utilizarea tehnologiei semiconductoare și backhaul și fronthaul mobil. Rezultatele cercetării și dezvoltării acestor tehnologii de dispozitiv vor fi importante în utilizarea undelor de teraherți în 6G.

Tehnologia de compensare a dispozitivului care utilizează procesarea digitală a semnalului este, de asemenea, importantă. De exemplu, pentru a reduce consumul de energie al DAC-urilor și ADC-urilor, procesarea semnalului digital reduce impactul asupra transmisiei fără fir care apare atunci când se utilizează DAC-uri și ADC-uri cu rezoluție joasă [39]. În plus, cu undele terahertzi, este de așteptat ca zgomotul de fază din cauza frecvențelor purtătoare mai mari și a neuniformității spectrului de frecvență din cauza lățimilor de bandă mai largi ale semnalului să crească în dispozitivele RF decât în banda de unde milimetrice. Tehnicile de compensare care utilizează procesarea semnalului digital au început să se dezvolte [40].

Figura 9 prezintă conceptul de tehnologie de acces radio care ia în considerare dezvoltarea unor astfel de benzi de înaltă frecvență și „extinderea ultra-acoperirii” menționată mai sus, incluzând aer, mare și spațiu. Deși acestea sunt direcții diferite de dezvoltare, ele au probleme tehnice comune, în sensul că acoperirea și eficiența energetică devin mai importante decât eficiența utilizării frecvenței. Ca tehnologie fără fir, formele de undă ale semnalului cu purtător unic devin din ce în ce mai dominante față de OFDM, iar tehnologia fără fir poate deveni mai importantă. Cu toate acestea, în funcție de imperfecțiunile caracteristicilor de frecvență ale dispozitivelor cu unde teraherți și de relația dintre lățimea de bandă a semnalului și eficiența utilizării frecvenței necesare pentru a atinge 100 Gbps, vor fi necesare performanțe semnificativ mai mari și precizie de fabricație pentru dispozitivele fără fir, astfel încât să putem relaxa aceste cerințe. De aceea, este de conceput introducerea unui purtător de componente (CC) în același mod ca și 5G pentru a atenua aceste cerințe. Este important să se proiecteze parametrii radio, cum ar fi lățimea de bandă CC, numărul de CC și forma de undă a semnalului care urmează să fie introduse, luând în luând în considerare consumul de energie al CC. Pentru a îmbunătăți și mai mult eficiența energetică a DFT-s (spread)-OFDM, care este utilizat în uplink-ul 5G NR, cercetările progesează și pe FDSS (frequency-domain spectral shaping), care realizează modelarea spectrală în domeniul frecvenței [41].

Prin urmare, se fac multe eforturi, cum ar fi optimizarea utilizării mai multor benzi în funcție de utilizare, reexaminarea metodei de repetiție a frecvenței între celule, modernizarea metodei duplex pe legătura în sus și în jos și reanalizarea utilizării benzilor de frecvență joasă, sunt domenii conexe de cercetare. În plus, în același mod în care banda Sub6GHz (3,7/4,5 GHz) a fost o bandă de frecvență importantă pe lângă undele milimetrice pentru 5G [42], banda de frecvență pentru 6G este, de asemenea, mai mică decât unda milimetrică. Dezvoltarea de noi benzi de frecvență și îmbunătățirea performanței sunt considerate importante deoarece pot îmbunătăți experiența utilizatorului peste tot și pot duce la o motivație sporită pentru introducerea 6G pentru operatorii de telefonie mobilă. Noi tehnologii care nu au putut fi realizate până la 5G, cum ar fi noua topologie de rețea radio menționată mai sus, tehnologia AI, tehnologia de optimizare bazată pe fuziunea ciber-fizică și tehnologia de detectare de înaltă precizie legată de benzi de înaltă frecvență, prin introducerea acesteia, este posibil să se îmbunătățească eficiența utilizării benzii de frecvență existente și să se extindă răspunsul la noi cazuri de utilizare, de aceea este necesară reconsiderarea [43]. În plus, tehnologia avansată de transmisie fără fir poate fi aplicată pe scară largă și la benzile de frecvență mai mici decât banda de unde milimetrice. O altă cerință importantă este proiectarea de noi tehnologii radio care pot coexista cu tehnologiile existente precum 5G NR în benzile de frecvență existente. De asemenea, această soluție tehnologică inovativă ajută, prin viteza de reacție a transmișiei de date, specialiștii din diverse domenii ingineresti să rezolve probleme specifice activităților desfășurate și a mașinilor și utilajelor folosite [44-47].



### CONCLUZII

Vitezele de comunicare mai mari și sistemele de comunicații cu capacitate mai mare sunt cerințe universale pentru toate generațiile de sisteme de comunicații mobile. Cu 6G este de imaginat realizarea unor viteze de comunicare extrem de mari și a unei comunicări de foarte mare capacitate de care se pot bucura mai mulți utilizatori în același timp. Ne propunem să o transformăm în realitate. Odată cu viteza de comunicare apropiindu-se de nivelul vitezei de procesare a informațiilor a creierului uman, nu este doar o simplă transmitere a imaginii (vizuale și auditive), ci și transmiterea informației de calitate a senzației corporale prin cele cinci simțuri reale, precum și senzații precum ca atmosfera și securitatea.

Având în vedere tendințe precum cazurile de utilizare industrială și convergența ciber-fizică, este necesar să se transmită diverse informații din lumea reală în timp real către cloud și AI, care sunt „creierul” rețelei. Creșterile semnificative ale vitezei și capacității sunt în special importante.

Comunicațiile viitoare vor deveni la fel de banale ca aerul și vor deveni un colac de salvare la fel de important ca, sau chiar mai mult decât, electricitatea și apa. Ne propunem să extindem zona la maximum. Scopul este de a atinge 100% acoperire globală a suprafeței terestre. De asemenea, ne propunem să extindem acoperirea la locații.

În rețea, se anticipează să crească în continuare, în viitor cantitatea de comunicare și se propune să se reducă semnificativ consumul de energie și costul necesar pe unitatea de viteză de comunicare (bit). De exemplu, dacă volumul de trafic de comunicații crește de 100 de ori, va fi imposibil să se obțină atât performanță ridicată, cât și economie decât dacă costul pe bit este redus la 1/100 de ori sau mai puțin. Mai mult, în viitor, ne putem aștepta la o lume în care dispozitivele nu necesită încărcare datorită dezvoltării tehnologiei de alimentare care utilizează semnale wireless și tehnologie pentru a reduce consumul de energie al dispozitivelor. Se așteaptă ca acest lucru să devină mai necesar pe măsură ce numărul de dispozitive, cum ar fi senzorii, crește din cauza sofisticării tot mai mari a fuziunii ciber-fizice și a cazurilor de utilizare în care interfețele utilizatorului evoluează spre cele portabile.

Prin urmare, 6G va necesita mai multe „combinații” de tehnologii wireless după evoluția 5G. Poate fi necesar să se ia în considerare și „extinderea combinațiilor”. În plus, 5G a fost definită prin combinația dintre sofisticarea LTE și NR (New Radio)\* 11. De asemenea, este necesar să se discute în viitor definiția RAT.

Tehnologia avansată de rețea distribuită în domeniul spațial (New Radio Network Topology) urmărește să comunice la distanțe apropiate și medii cu linie vizuală (căi cu mai puține pierderi) și să creeze cât mai multe căi de comunicație pentru a oferi mai mult spațiu pentru selecția căilor. Prin (creșterea redundanței), vom urmări o viteză ultra-înaltă, o capacitate mare (în special uplink) și o fiabilitate îmbunătățită a comunicațiilor fără fir. Provocarea este modul de realizare economică a implementării antenei distribuite pentru a construi o topologie de rețea fără fir care este distribuită în domeniul spațial.

Tehnologia de extindere a acoperirii care include rețele non-terestre (NTN) ia în considerare utilizarea sateliților geostaționari, a sateliților pe orbită joasă și a platformelor de mare altitudine (HAPS), a mării și chiar a spațiului cosmic. 3GPP a început deja să ia în considerare extinderea NR la NTN folosind acești sateliți și HAPS. În plus, în ceea ce privește extinderea în continuare a gamei de frecvență și a tehnologiei avansate de utilizare a frecvenței, vom stabili o tehnologie fără fir pentru 6G, care este potrivită pentru unde milimetrice, care sunt chiar benzi de frecvență mai mari decât 5G și așa-numitele unde terahertzi de la 100 la 300. GHz. În plus, este important să se clarifice caracteristicile de propagare a undelor radio, să se construiască modele de propagare și să se rezolve problemele din tehnologia dispozitivelor, care sunt importante atunci când se iau în considerare aceste

probleme.

Pentru a face sistemele de comunicații fără fir multifuncționale și pentru a utiliza tehnologia AI în toate domeniile, pe lângă informațiile măsurate prin unde radio, video și diverse informații de detectare vor fi analizate folosind tehnologia AI, iar controlul comunicațiilor fără fir va fi avansat și foarte precis. Utilizat pentru poziționare/raming, detectarea obiectelor, alimentare fără fir etc.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Shahjalal, W. Kim, W. Khalid, S. Moon, M. Khan, S.Z. Liu, S. Lim, E. Kim, D.W. Yun, J. Lee, W.-C. Lee, S.H. Hwang, D. Kim, J.W. Lee, H. Yu, Y. Sung, Y.M. Jang, „Enabling technologies for AI empowered 6G massive radio access networks”, *ICT Express*, 2023, 9. Jg., Nr. 3, S. 341-355.
- [2] A. Badea, G. Popa, I.A. Muntean, M. Vălu, C.N. Badea, G. Dumitru, „Sisteme de comunicații radio pentru controlul trenurilor bazat pe comunicații-CBTC”, *Synthesis of Theoretical & Applied Mechanics/Sinteze de Mecanica Teoretica si Aplicata*, 2020, 11. Jg., Nr. 4.
- [3] Y. Kwak, „Near Shannon Limit and Reduced Peak to Average Power Ratio Channel Coded OFDM”, 2012, Teză de doctorat.
- [4] N. Sfetcu, „Performanța și standardele rețelelor de telecomunicații 5G”, *IT & C*, Volumul 2, Numărul 1, Martie 2023 (2023): 13.
- [5] A. Alwarafy, A. Albaseer, B.S. Ciftler, M. Abdallah, A.F. Ala, „AI-based radio resource allocation in support of the massive heterogeneity of 6G networks”, In: 2021 IEEE 4th 5G World Forum (5GWF). IEEE, 2021. S. 464-469 .
- [6] A. Neacșa, D.B. Stoica, „Aspects concerning the software applications in order to determine the technological systems reliability”, *MOCM The 13<sup>th</sup> International Conference of Fracture Mechanics*, 4 (13), 2007.
- [7] A. Neacșa, N.N. Antonescu, D.B. Stoica, „Software Applications for Complex Technological Systems Reliability”, *Journal of the Balkan Tribological Association*, 15 (1), 2009.
- [8] A. Neacșa, N.N. Antonescu, D.B. Stoica, „Modern Solutions for Selecting the Corresponding Machinery Dedicated to Technological Applications”, *Journal of the Balkan Tribological Association*, 18 (4), 2014.
- [9] A. Neacșa, D.B. Stoica, N.N. Antonescu, „Studies on the Use of Implemented Databases on Web Platforms in Order to Verify Machines Compatibility with Working Conditions”, *Journal of the Balkan Tribological Association*, 18 (4), 2014.
- [10] S. Roessel, M. Faerber, B. Raaf, J. Hausner, „Radio network evolution towards lte-advanced and beyond”, *Intel Technology Journal*, 18(1). (2014).
- [11] M. Giordani, M. Zorzi, „Non-terrestrial networks in the 6G era: Challenges and opportunities”, *IEEE Network*, 2020, 35. Jg., Nr. 2, S. 244-251.
- [12] Ș.V. Nicolaescu, „Rețele wireless inteligente”, *Telecomunicații*, Anul LV, nr. 2/2012.
- [13] H.Q. Ngo, A. Ashikhmin, H. Yang, E.G. Larsson, T.L. Marzetta, „Cell-free massive MIMO versus small cells”, *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 16, no. 3, Mar. 2017.
- [14] H. Ronkainen, J. Edstam, A. Ericsson, C. Östberg, „Integrated Access and Backhaul: A New Type of Wireless Backhaul in 5G”, *Frontiers in Communications and Networks*, 2021, 2. Jg., S. 636949.
- [15] Radio Stripes: re-thinking mobile networks. <https://www.ericsson.com/en/blog/2019/2/radio-stripes>.
- [16] K. Ito, M. Suga, Y. Shirato, N. Kita, T. Onizawa, „Efficiently Accommodating High-frequency-band Wireless Systems by Using Analog Radio-over-fiber”, *Jurnalul tehnic NTT*, Vol. 18, No. 5, pp. 19–23, May 2020. <https://doi.org/10.53829/ntr202005fa3>.
- [17] D. Uchida, T. wakuni, N. Kita, T. Onizawa, Y. Kishiyama, S.Suyama, S. Nagata, T. Asai, „Study on high frequency band distributed antenna system for 6G era”, *IEICE Technical Report RCS2020-148*, pp. 73-78, 12, 2020
- [18] M.U. Hadi, H. Jung, S. Ghaffar, P.A. Traverso, G. Tartarini, „Optimized digital radio over fiber system for medium range communication”, *Optics Communications*, 443, 177-185. (2019).
- [19] S. Fan, C. Cao, X. Zeng, J. Ning, X. Yan, R. Wang, X. Wang, Q. Song, K. Chen, Y. Liu, T. Wang, „A RoF system based on polarization multiplexing and carrier suppression to generate

- frequency eightfold millimeter-wave*”, Results in Physics 12 (2019): 1450-1454.
- [20] **M.D. Renzo, M. Debbah, D.T. Phan-Huy A. Zappone**, „*Smart radio environments empowered by reconfigurable AI meta-surfaces: an idea whose time has come*”, EURASIP Journal on Wireless Commun. and Networking 2019, no. 129, May 2019.
- [21] **M. Iwabuchi, T. Murakami, R. Ohmiya, T. Ogawa, Y. Takatori, Y. Kishiyama, T. Asai**, „*Intelligent radio-wave design: distributed intelligent reflecting surface with direction-based control for millimeter-wave communications*”, 2020 international conference on emerging technologies for communications (ICETC), Dec. 2020.
- [22] **D. Kitayama, Y. Hama, K. Miyachi, Y. Kishiyama**, „*Research of Transparent RIS Technology toward 5G evolution & 6G*”, NTT DOCOMO (2021).
- [23] **NTT DOCOMO Press Reelase**, „*DOCOMO Conducts World’s First Successful Trial of Transparent Dynamic Metasurface-Dynamic wave manipulation and high transparency expected to optimize 5G network construction*”, 2020.
- [24] **NTT DOCOMO Press Reelase**, „*DOCOMO and AGC Use Metasurface Lens to Enhance Radio Signal Reception Indoors-New technology efficiently guides millimeter waves to ntarget locations indoors*”, 2021.
- [25] **D. Kitayama, Y. Hama, K. Goto, K. Miyachi, T. Motegi, O. Kagaya**, „*Transparent dynamic metasurface for visually una ffected reconfigurable intelligent surface: controlling transmission/reflection and making a window into an RF lens*”, Optics Express, Vol. 29, pp. 29292-29307, 2021.
- [26] **M. Ji, G. Caire, A.F. Molisch**, „*Wireless device-to-device caching networks: basic principles and system performance*”, IEEE JSAC, vol. 34, no. 1, pp. 176-189, 2016.
- [27] **J. Liu, H. Liu, Y. Chen, Y. Wang, C. Wang**, „*Wireless sensing for human activity: A survey*”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 3, pp. 1629-1645, 2019.
- [28] **W. Liu, K. Huang, X. Zhou, S. Durrani**, „*Next generation backscatter communication: systems, techniques and applications*”, in EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Mar. 2019.
- [29] **S.I. Gimiga**, „*Transformări determinate de emergența tehnologiei în spațiul cosmic*”, Buletinul Universității Naționale de Apărare» Carol I « 02, pp. 25-32, 2022.
- [30] **D. Torre, F.G. Ortiz-Gomez, M. Salas-Natera, R. Martínez**, „*Analysis of the traffic demand on very high throughput satellite for 5G*”, in Proc. 35<sup>th</sup> Simposio Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio URSI, pp. 1-4, 2020.
- [31] **B. Di, H. Zhang, L. Song, Y. Li, G.Y. Li**, „*Ultra-dense LEO: integrating terrestrial-satellite networks into 5G and beyond for data offloading*”, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, pp. 47-62, 2018.
- [32] **G.K. Kurt, M.G. Khoshkholgh, S. Alfattani, A. Ibrahim, T.S. Darwish, M.S. Alam, A. Yongacoglu**, „*A vision and framework for the high altitude platform station (HAPS) networks of the future*”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 23(2), 729-779, 2021.
- [33] **M.H.C. Garcia, A. Molina-Galan, M. Boban, J. Gozavez, B. Coll-Perales, T. Şahin, A. Kousaridas**, „*A tutorial on 5G NR V2X communications*”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 23(3), pp. 1972-2026, 2021.
- [34] **T.S. Rappaport**, „*Wireless beyond 100 GHz: opportunities and challenges for 6G and beyond*”, IEEE COMCAS Keynote, 2019.
- [35] **R. Piesiewicz, C. Jansen, S. Wietzke, D. Mittleman, M. Koch, T. Kurner**, „*Properties of building and plastic materials in the THz range*”, Int. J. Infrared and Millimeter Waves, vol. 28, pp. 363–371, 2007.
- [36] **N.A. Abbasi, A. Hariharan, A.M. Nair, A.F. Molisch**, „*Channel measurements and path loss modeling for indoor THz communication*”, in Proc. 14th European Conf. Ant. Prop. (EuCAP2020), Copenhagen, Denmark, pp. 1–5, 2020.
- [37] **M. Inomata, W. Yamada, N. Kuno, M. Sasaki, K. Kitao, M. Nakamura, H. Ishikawa, Y. Oda**, „*Terahertz Propagation Characteristics for 6G Mobile Communication Systems* in Proc. 15th European Conf. Ant. Prop. (EuCAP 2021), Dusseldorf, Germany, pp. 1-5, 2021.
- [38] **S. Shinjo, K. Nakatani, K. Tsutsumi, K., H. Nakamizo**, „*Integrating the front end: A highly*

- integrated RF front end for high-SHF wide-band massive MIMO in 5G*, IEEE Microwave Magazine, 18(5), PP. 31-40, 2017.
- [39] **X. Zhang, T. Liang, K. An, H. Yang, C. Niu**, „*Secure Transmission in RIS-Assisted Cell-free Massive MIMO system with Low Resolution ADCs/DACs*”, in IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 339-344), 2022.
- [40] **Y.R. Ramadan, H. Minn, M.E. Abdelgelil**, „*Precompensation and system parameters estimation for low-cost nonlinear tera-hertz transmitters in the presence of I/Q imbalance*”, IEEE access, vol.6, 2018.
- [41] **I.P. Nasarre, T. Levanen, K. Pajukoski, K., A. Lehti, E. Tiirola, M. Valkama**, „*Enhanced uplink coverage for 5G NR: Frequency-domain spectral shaping with spectral extension*”, IEEE Open Journal of the Communications Society, 2, pp. 1188-1204, 2021.
- [42] **S. Ellusamy, R. Balasubramanian**, „*Sub-6 GHz quad-band frequency tunable MIMO antenna for 5G applications*”, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 36(3), 424-440, 2022.
- [43] **A. Badea, G. Popa, A.I. Muntean, V.M. Popa, C. Bibire, G. Dumitru**, „*Evaluarea siguranței sistemelor de supraveghere și control a trenurilor bazate pe comunicații (CBTC)*”, Sinteze de Mecanică Teoretică și Aplicată, Volumul 12 (2021), Numărul 2, Editura Matrix Rom, pp. 103-116.
- [44] **C.N. Eparu, A. Neacșa, A.P. Prundurel, R. Rădulescu, C. Slujitoru, N. Toma, M. Nițulescu**, „*Analysis of a high-pressure screw compressor performances*”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 595 (1), 2010.
- [45] **C.N. Eparu, S. Neacșu, A. Neacșa, A.P. Prundurel**, „*The comparative thermodynamic analysis of compressor's energetic performance*”, Mathematical Modelling of Engineering Problems, 6 (1), 2019.
- [46] **C.N. Eparu, S. Neacșu, A. Neacșa**, „*Correlation of Gas Quality with Hydrodynamic Parameters in Transmission Networks*”, MATEC Web of Conferences, 290 (1), 2019.
- [47] **C.N. Eparu, S. Neacșu, A.P. Prundurel, R. Rădulescu, A. Neacșa**, „*Behaviour of transmission and distribution networks with big consumption, the stress test*”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 595 (1), 2019.