

Анализ на използването на терахерцов спектър в 6G и ролята на европейските стандарти

Теодора Пасарелска

Analysis of the use of terahertz spectrum in 6G and the role of European standards

Teodora Pasarelska

Резюме: Тематиката на доклада е насочена към анализиране на шестото поколение мобилни комуникации (6G), което се очаква да използва терахерцовия (THz) спектър като ключов ресурс за постигане на скорости от порядъка на терабити в секунда. Въпреки огромния капацитет, този спектър поставя сериозни технически, инфраструктурни и регулаторни предизвикателства. Настоящата статия има за цел да изследва основните ограничения при използването на THz честоти, както и да оцени характеристиките им и тяхното въздействие върху бъдещите комуникационни мрежи. Анализирани са ключови фактори като загуби при разпространение, обхват, хардуерни ограничения и необходимост от нови мрежови архитектури. В резултат от изследването се установява, че ефективното използване на THz-спектър изисква интегриран подход, включващ хибридни мрежи, интелигентно управление на ресурсите и внедряване на нови технологични решения. Специално внимание е отделено на ролята на европейските стандартизационни организации като ETSI и ITU, които осигуряват необходимата рамка за съвместимост, хармонизация и безопасна експлоатация на 6G технологиите. Основният принос на статията се изразява в систематизирането на основните предизвикателства и очертаването на насоки за тяхното преодоляване чрез стандартизация и иновации.

Ключови думи: 6G, терахерцов спектър, ETSI, ITU, стандартизация, безжични комуникации.

Abstract: The topic of the report is aimed at analyzing the sixth generation of mobile communications (6G), which is expected to use the terahertz (THz) spectrum as a key resource to achieve speeds in the order of terabits per second. Despite the enormous capacity, this spectrum poses serious technical, infrastructural and regulatory challenges. This article aims to examine the main limitations in the use of THz frequencies, as well as to assess their characteristics and their impact on future communication networks. Key factors such as propagation losses, range, hardware limitations and the need for new network architectures are analyzed. As a result of the study, it is established that the effective use of THz spectrum requires an integrated approach, including hybrid networks, intelligent resource management and the implementation of new technological solutions. Special attention is paid to the role of European standardization organizations such as ETSI and ITU, which provide the necessary framework for compatibility, harmonization and safe operation of 6G technologies. The main contribution of the article is expressed in the systematization of the main challenges and the outline of guidelines for overcoming them through standardization and innovation.

Keywords: 6G, terahertz spectrum, ETSI, ITU, standardization, wireless communications.

1. Въведение

Развитието на 6G комуникациите е насочено към осигуряване на ултрависоки скорости, ниска латентност и интелигентна мрежова инфраструктура. Един от основните технологични стълбове на 6G е използването на терахерцов спектър (0.1–1 THz), който предоставя значително по-широка честотна лента в сравнение със съществуващите технологии. Този спектър осигурява нови приложения като холографска комуникация, дигитални двойници и автономни системи, но същевременно поставя редица фундаментални предизвикателства. Използването на THz-спектър изисква преодоляване на

проблеми, свързани с високите загуби при разпространение, ограничен обхват, чувствителност към препятствия и сложен хардуер. Освен това, ефективната интеграция на тези честоти в глобални мрежи зависи от стандартизацията и координацията между индустрията, академичните среди и регулаторните органи. Целта на настоящата статия е да направи систематичен анализ на ключовите технически и регулаторни предизвикателства при използването на THz-спектр и да оцени ролята на европейските стандартизационни инициативи като ETSI и ITU. Статията разглежда ключовите технически и регулаторни аспекти на внедряването на THz-комуникации, като подчертава възможностите за бъдещи иновации и развитие на глобална свързаност. Анализът предоставя систематично разбиране за капацитета и ограниченията на 6G технологиите и показва тяхната стратегическа значимост за индустрията, научните изследвания и обществото като цяло.

2. Анализ и оценка на характеристиките на терахерцовия спектър

Терахерцовите честоти се намират между микровълновия и инфрачервения диапазон и предлагат огромен капацитет за предаване на данни. Очаква се 6G да използва диапазони като 90–300 GHz (sub-THz) и по-високи честоти. Основните характеристики на този спектър включват много широка честотна лента, възможност за достигане на терабитови скорости на предаване, ограничен обхват на сигнала и висока чувствителност към условията на средата. Допълнително, късата дължина на вълната позволява използването на компактни антени и реализирането на масивни антенни решетки (massive MIMO), което значително подобрява насочеността на сигнала. Това създава предпоставки за много висока пространствена повторна употреба на спектъра и увеличаване на капацитета на мрежата. В същото време, високите честоти водят до по-силно взаимодействие с атмосферни газове, особено кислород и водни пари, което допълнително увеличава затихването. Терахерцовият спектър също така отваря възможности за нови приложения като холографска комуникация, тактилен интернет и ултрареалистични XR среди. Въпреки съществените предимства, тези свойства водят до сериозни инженерни предизвикателства.

Оценка на характеристиките:

- Терахерцовият спектър предоставя значително по-голям капацитет в сравнение с традиционните честотни диапазони, което го прави ключов за бъдещите 6G мрежи.
- Ограниченият обхват и високото затихване предполагат необходимост от нови архитектури на мрежите, базирани на ултраплътни клетки.
- Високата насоченост на сигнала позволява ефективно намаляване на интерференцията, но увеличава сложността на управлението.
- Чувствителността към околната среда изисква внедряване на интелигентни и адаптивни механизми за управление на връзката.
- Терахерцовите технологии ще бъдат най-ефективни в специфични сценарии с висока плътност на трафика и къси разстояния, а не като универсално решение.

3. Основни технологични предизвикателства

3.1. Загуби при разпространение (Propagation loss)

Терахерцовите вълни страдат от значително затихване, причинено както от атмосферна абсорбция, така и от свободно-пространствени загуби. Това представлява едно от най-сериозните ограничения, тъй като сигналът отслабва бързо дори при сравнително къси разстояния. Допълнително усложнение възниква при честоти над 1 THz, които са практически трудно използвани поради рязкото увеличаване на затихването. Атмосферните газове, особено водните пари, играят съществена роля в процеса на

абсорбция, което прави комуникацията силно зависима от климатичните условия. Това налага разработването на нови модели за разпространение и адаптивни алгоритми за управление на сигнала. Освен това се изискват и по-високи мощности на предаване, което води до допълнителни енергийни разходи.

Оценка на характеристиките:

- Загубите при разпространение са основен ограничаващ фактор за практическо внедряване на THz комуникации.
- Необходимостта от адаптивни механизми увеличава сложността на системите.
- Влиянието на атмосферата прави комуникацията непредсказуема в различни среди.
- Подходящо е основно за къси разстояния и контролирани условия.

3.2. Ограничен обхват и нужда от Line-of-Sight (LoS)

Комуникацията в THz диапазона изисква директна видимост или минимално наличие на препятствия между предавателя и приемника. Това се дължи на слабата дифракция на сигнала и неговата неспособност да заобикаля обекти ефективно. Високата честота води до почти праволинейно разпространение, което допълнително ограничава покритието. В резултат на това е необходимо изграждане на гъста мрежова инфраструктура с множество точки за достъп. Това прави технологията по-подходяща за среди с контролирани условия като фабрики, кампуси или вътрешни пространства. Освен това се увеличава значението на прецизното позициониране на устройствата.

Оценка на характеристиките:

- LoS изискването ограничава гъвкавостта на мрежата.
- Необходимостта от плътна инфраструктура увеличава разходите.
- Подходящо за специфични, но не и универсални сценарии.
- Повишава се зависимостта от геометрията на средата.

3.3. Хардуерни ограничения

Разработването на устройства за работа в THz диапазона е изключително сложно поради ниската ефективност на усилвателите и високите загуби в електронните компоненти. Проблемите с топлоотделянето стават критични при работа на такива високи честоти, което изисква нови решения за охлаждане. Ограниченията на материалите като CMOS и GaN затрудняват постигането на висока производителност и надеждност. Освен това, производствените разходи за THz компоненти все още са много високи. Това забавя комерсиализацията и масовото внедряване на технологията. Необходимо е развитие на нови полупроводникови технологии и архитектури.

Оценка на характеристиките:

- Хардуерът е основна бариера пред внедряването на THz системи.
- Високата цена ограничава достъпността на технологията.
- Необходимост от иновации в материалите и дизайна.

3.4. Насочени антени и формиране на лъч (Beamforming)

Поради високите загуби при разпространение се налага използването на силно насочени антени и техники за формиране на лъч. Това позволява концентриране на енергията в определена посока и подобряване на качеството на връзката. Въпреки това,

управлението на тези лъчи изисква сложни алгоритми и бърза адаптация към променящите се условия. Възникват и проблеми със синхронизацията между предавателя и приемника, особено при мобилни потребители. Освен това, увеличената сложност води до по-висока консумация на енергия и изисквания към изчислителните ресурси. Това поставя допълнителни изисквания към мрежовата инфраструктура.

Оценка на характеристиките:

- Формирането на лъч подобрява ефективността, но увеличава сложността.
- Необходимост от интелигентно управление на лъчите.
- Високи изисквания към синхронизация и обработка.
- Повишена енергийна консумация.

3.5. Блокиране и чувствителност към околната среда

THz сигналите са силно повлияни от фактори като дъжд, влажност и прах, както и от наличието на човешки тела и различни обекти в средата. Дори малки препятствия могат да доведат до значително влошаване или прекъсване на сигнала. Движението на потребителите също оказва съществено влияние върху стабилността на връзката. Това налага внедряването на адаптивни механизми за пренасочване на сигнала и динамично управление на ресурсите. Освен това се увеличава необходимостта от резервни комуникационни пътища. Тези фактори правят системата по-сложна, но и по-интелигентна.

Оценка на характеристиките:

- Висока чувствителност към външни фактори.
- Необходимост от адаптивни и устойчиви решения.
- Повишена нестабилност на връзката.
- Изисква се интелигентно управление на мрежата.

4. Инфраструктурни и икономически предизвикателства

4.1. Ултраплътни мрежи

Поради ограничения обхват на THz сигналите, 6G мрежите ще изискват изграждането на голям брой базови станции и внедряване на малки клетки. Това води до значително увеличаване на разходите за изграждане и поддръжка на инфраструктурата. Освен това се усложнява управлението на мрежата и координацията между отделните клетки. Необходима е и високоскоростна свързаност между базовите станции (backhaul). Това поставя допълнителни изисквания към съществуващата инфраструктура. В резултат се увеличава сложността на цялата мрежова архитектура.

Оценка на характеристиките:

- Високи капиталови разходи за изграждане.
- Повишена сложност на мрежовото управление.
- Необходимост от нови архитектурни решения.
- Ограничена икономическа ефективност в началните етапи.

4.2. Енергийна ефективност

THz системите се характеризират с по-висока консумация на енергия, което се дължи на използването на сложни антени и високочестотна обработка. Това води до увеличени оперативни разходи и екологичен отпечатък. Освен това устройствата трябва да работят при по-високи мощности, за да компенсират загубите. Това създава

предизвикателства за мобилните устройства с ограничени батерии. Необходима е разработка на енергийно ефективни алгоритми и хардуерни решения. Устойчивостта се превръща в ключов фактор за бъдещото развитие.

Оценка на характеристиките:

- Висока енергийна консумация.
- Необходимост от оптимизация на ресурсите.
- Ограничения за мобилни устройства.
- Критичен фактор за устойчиво развитие.

4.3. Интеграция с други технологии

Шестото поколение (6G) няма да разчита единствено на THz-спектър, а ще използва комбинация от различни честотни диапазони. Това включва интеграция със sub-6 GHz, mmWave и оптични комуникации. Така се постига баланс между покритие, капацитет и надеждност. THz ще се използва основно в сценарии с висока плътност на данни и кратки разстояния. Интеграцията изисква разработване на унифицирани протоколи и архитектури. Това прави системата по-гъвкава, но и по-сложна.

Оценка на характеристиките:

- Необходимост от хетерогенни мрежи.
- Повишена сложност на интеграцията.
- По-добър баланс между покритие и капацитет.
- Ключова роля за бъдещите 6G архитектури.

5. Европейски стандарти и регулаторна рамка

5.1. Роля на ETSI

Европейският институт за телекомуникационни стандарти играе ключова роля в разработването на стандарти за 6G. Създаването на групата ISG THz има за цел да координира научните изследвания, да дефинира честотни диапазони, да разработва канални модели и да подготвя бъдещата стандартизация. Освен това ETSI анализира разпространението на THz сигналите, отраженията и разсейването, както и новите сценарии за използване на технологията. Организацията активно подпомага сътрудничеството между академичните среди, индустрията и регулаторните органи. Чрез своите инициативи ETSI ускорява трансфера на научни резултати към реални индустриални приложения. Това допринася за по-бързото развитие и внедряване на иновативни комуникационни технологии в Европа.

5.2. Връзка с 3GPP и глобални стандарти

Работата на ETSI е от съществено значение за формирането на бъдещите стандарти на 3GPP, които ще определят архитектурата на 6G. Организацията разработва технически спецификации и препоръки, които служат като основа за съвместимост и интероперазивност на мобилните мрежи. Чрез своите инициативи ETSI подпомага дефинирането на радиоинтерфейси и протоколи, улеснява интеграцията между наземни и сателитни мрежи и стимулира разработването на интелигентни механизми за управление на спектъра. Освен това осигурява рамка за европейско и глобално сътрудничество, гарантирайки съответствие с международните регулаторни изисквания. Взаимодействието

между ETSI и 3GPP е от ключово значение за синхронизирането на регионалните и глобалните стандарти. Това позволява създаването на унифицирана екосистема за развитие на 6G технологии. По този начин се улеснява внедряването на иновации в световен мащаб.

5.3. Роля на ITU (IMT-2030)

Международният съюз по далекосъобщения играе централна роля в определянето на глобалната рамка за 6G чрез инициативата IMT-2030. Основната му цел е да осигури глобална координация и хармонизация на технологиите. ITU определя честотните диапазони за 6G, разработва насоки за ефективно използване на спектъра и минимизиране на интерференцията, както и съгласува международни стандарти. Организацията също така издава препоръки за регулаторни политики, лицензиране и безопасност. В допълнение ITU координира взаимодействието между различни държави и региони с цел избягване на фрагментация на спектъра. Тя също така насърчава устойчивото използване на радиочестотните ресурси в глобален мащаб. Това гарантира, че 6G технологиите ще бъдат съвместими и ефективни навсякъде по света.

5.4. Европейска стратегия за 6G

Европейският съюз активно участва в развитието на 6G чрез стратегически инициативи и финансиране на научни изследвания. Сред водещите проекти е Неха-X, който има за цел разработването на ключови технологии и архитектури за бъдещите мрежи, включително интеграция на наземни и сателитни системи и изследване на иновативни приложения като разширена реалност и холографска комуникация. Друг важен елемент е инициативата Smart Networks and Services (SNS JU), която насърчава сътрудничеството между индустрията и академичните среди и подпомага разработването на стандарти и пилотни платформи. Чрез тези инициативи Европейският съюз се стреми да утвърди водеща позиция в глобалната стандартизация на 6G, да повиши конкурентоспособността на индустрията и да гарантира сигурно и ефективно внедряване на новите технологии. Допълнително, ЕС инвестира значителни ресурси в развитие на научна инфраструктура и тестови среди. Това създава условия за ускорено внедряване и валидиране на нови технологични решения. В резултат Европа се позиционира като един от основните двигатели в глобалната 6G екосистема.

6. Възможни решения и бъдещи насоки

6.1. Интелигентни повърхности (Reconfigurable Intelligent Surfaces - RIS)

Интelligentните повърхности (RIS) представляват плоски или гъвкави повърхности, съставени от множество пасивни или полупасивни елементи, които могат динамично да отразяват, пречупват или абсорбират радиовълни.

- Подобряване на разпространението на сигнала - RIS могат да преодоляват препятствия, като сгради или планински релеф, чрез контролирано пренасочване на THz вълните.
- Намаляване на загубите - THz сигналите са силно чувствителни към атмосферни условия и обекти. Интелигентните повърхности позволяват компенсация на тези загуби.
- Енергийна ефективност - RIS могат да работят без активно усилване на сигнала, което ги прави по-икономични в сравнение с традиционните мрежови ретранслатори.

6.2. Изкуствен интелект (AI)

Изкуственият интелект (AI) и машинното обучение ще играят ключова роля в управлението на сложните 6G мрежи, особено при THz честоти. Приложенията включват:

- Оптимизация на мрежата - AI може динамично да разпределя спектър, честотни ресурси и капацитет според трафика и натоварването на мрежата.
- Управление на beamforming - Чрез ML алгоритми се оптимизира насочеността на антени и фазови масиви, за да се увеличи качеството на сигнала и да се минимизира интерференцията.
- Адаптация към средата - AI позволява на мрежата да се самоадаптира спрямо променящите се условия – например атмосферни влияния, движение на потребители или обекти, които блокират THz сигнала.

Тази интелигентна автоматизация е особено важна при хибридни и интегрирани мрежи, където наземни и сателитни сегменти трябва да работят синхронизирано.

6.3. Хибридни мрежи

Хибридният подход комбинира THz мрежи с други честотни ленти или технологии (mmWave, sub-6 GHz, оптични връзки) за постигане на:

- По-добро покритие - Докато THz осигурява изключително високи скорости на предаване, неговото разпространение е ограничено. Комбинацията с по-ниски честоти позволява непрекъснато покритие в различни среди.
- По-висока надеждност - Хибридните архитектури осигуряват резервни пътища за данни при загуба или отслабване на THz сигнала, като гарантират качество на услугата (QS).
- Интеграция на NTN - Сателитни и наземни сегменти могат да се комбинират, като AI управлява динамично пренасочването на трафика между тях.

6.4. Нови материали и устройства

Развитието на иновационни материали и компоненти е изключително важно за ефективното използване на THz спектъра:

- Наноматериали - Гъвкави и високо-проводими материали за антени и RIS, които подобряват ефективността и устойчивостта на устройствата.
- Фотонни технологии - THz фотонни източници и детектори за оптична интеграция и високоскоростни предавания.
- Нови полупроводници - Материали като GaN, InP или Graphene, които позволяват висока честотна работа с нисък шум и енергийна консумация.

Тези технологии ще бъдат основа за миниатюризация, ниска латентност и висока енергийна ефективност на 6G оборудването и инфраструктурата.

7. Заключение

Въпреки, че терахерцовият (THz) спектър предлага изключителни възможности за постигане на скорости от порядъка на терабити в секунда и ултраниска латентност, той поставя фундаментални ограничения, произтичащи от физиката на разпространението на радиовълните. Терахерцовите сигнали са силно чувствителни към атмосферни влияния, препятствия, разсейване и загуби, което налага разработването на нови подходи в дизайна на мрежовата инфраструктура и използването на интелигентни технологични решения.

Това ясно показва, че внедряването на 6G няма да бъде просто еволюция, а ще изисква съществена промяна на съществуващите комуникационни модели.

Европейските стандартизационни организации, като ETSI, както и глобалната роля на ITU, имат ключово значение за успешното развитие и внедряване на 6G. Те осигуряват координация на научните изследвания и иновационните проекти в рамките на Европейския съюз, създават унифицирани стандарти за съвместимост и интероперазивност и подпомагат интеграцията на новите честотни диапазони в съществуващите мрежи. Без ефективна стандартизация процесът на внедряване на 6G би се забавил значително, което би ограничило развитието на глобалната свързаност и новите цифрови услуги. Основните предизвикателства при използването на THz-спектър са свързани със силното затихване на сигнала, ограниченото покритие и необходимостта от сложен и високотехнологичен хардуер. Тези фактори водят до повишени капиталови и оперативни разходи, което изисква разработването на ефективни архитектурни решения и устойчиви бизнес модели. В този контекст става ясно, че THz-комуникации ще бъдат най-ефективни като част от хибридни мрежи, комбиниращи различни честотни диапазони. Ролята на европейските стандарти е особено важна за преодоляване на тези технологични и регулаторни предизвикателства, като осигурява рамка за управление на спектъра, интеграция на наземни и сателитни мрежи и безопасна експлоатация на новите технологии. В бъдеще успехът на 6G ще зависи от съчетаването на технологични иновации, включително използването на изкуствен интелект, интелигентни повърхности и нови материали, с ефективна стандартизация и активно международно сътрудничество.

В заключение може да се отбележи, че систематичното решаване на технологичните, инфраструктурните и регулаторните предизвикателства ще определи дали 6G ще реализира своя пълен капацитет. Само чрез интегриран подход, обединяващ наука, индустрия и регулация, ще бъде възможно изграждането на глобална, високоскоростна и интелигентна комуникационна среда, която значително ще надхвърля възможностите на настоящите 5G мрежи.

ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ **REFERENCES**

- [1] KÜRNER, Thomas and Sebastian PRIEBE. Towards THz Communications - Status in Research, Standardization and Regulation. *Journal of Infrared* [online]. 2013, vol. 35(1), pp.53-62 [viewed 16.06.2026]. eISSN 1866-6906. Springer Nature Link. Available from: DOI: 10.1007/s10762-013-0014-3
- [2] SARIEDDEEN, Hadi & SAEED, Nasir & AL-NAFFOURI, Tareq & Mohamed-Slim ALOUINI. Next Generation Terahertz Communications: A Rendezvous of Sensing, Imaging, and Localization. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2020, vol. 58, pp. 69-75 [viewed 16.06.2026]. ISSN 0163-6804. Available from: DOI: 10.1109/MCOM.001.1900698.
- [3] AKYILDIZ, Ian & KAK, Ahan & Shuai NIE. 6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems. *IEEE Access* [online]. 2020, vol. 8, pp. 133995-134030 [viewed 16.06.2026]. eISSN 2169-3536. Available from: 10.1109/ACCESS.2020.3010896.
- [4] IVANOVA, Y. Methods and means for researching microwave devices. *International Journal on Information Technologies and Security (IJITS)* [online]. 2023, vol.15 (4), pp. 3-14 [viewed 16.06.2026]. ISSN 1313-8251. Available from: <https://ijits-bg.com/2023.v15.i4.01>
- [5] PASARELSKI, R., G. PETROV, T. PASARELSKA, K. ANGELOV. Neural Network Architecture to Predict Radio Wave Attenuation in a 5G Network. In: *31st National Conference with International Participation „Telecom 2023“, November 16 - 17, 2023, Sofia, Bulgaria* [online]. 2023, pp. 1-5 [viewed 21.03.2025]. ISSN 2837-5246. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10409594/proceeding>
- [6] PASARELSKI, Rosen, Krasen ANGELOV, Kristian POSTAGIAN, and Stanimir SADINOV. Implementation and Analysis of a Customized Encryption Algorithm in 5G Networks for Educational Purposes. In: *4th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), 23 - 25 November, 2023, Plovdiv, Bulgaria* [online]. 2023, pp. 1-5 [viewed 25.03.2025]. eISBN 979-8-3503-3691-7. IEEE Xplore. Available from: 10.1109/CIEES58940.2023.10378834
- [7] SADINOV, S. M. K., K. ANGELOV, P. G. KOGIAS and M. N. MALAMATOUDIS. Approach for MIMO Wireless Channel Modelling and System Characterization for an Indoor Environment. *27th National Conference*

- with *International Participation (TELECOM)*, Sofia, Bulgaria [online]. 2019, pp. 54-57 [viewed 25.03.2025]. ISBN 978-1-7281-4061-2. Available from: doi: 10.1109/TELECOM48729.2019.8994892.
- [8] IVANOVA, Y., R. PASARELSKI, T. PASARELSKA and K. ANGELOV. Approaches to Radio-Frequency Monitoring and Regulations for Unmanned Aircraft Systems. *33rd National Conference with International Participation (TELECOM)*, Sofia, Bulgaria [online]. 2025, pp. 1-4 [viewed 25.03.2025]. eISBN 978-1-6654-6564-9. Available from: doi: [10.1109/TELECOM66943.2025.11304057](https://doi.org/10.1109/TELECOM66943.2025.11304057)
- [9] СИМЕОНОВА, Цв. Особенности на комуникационни услуги, изисквания и приложения при 6G. *Годишник Телекомуникации* [онлайн]. 2021, Т.8, с. 23-33 [прегледан 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Достъпен на: DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.3> [SIMEONOVA, Tsv. Osobenosti na komunikatsionni uslugi, iziskvania i prilozhenia pri 6G. *Godishnik Telekomunikatsii* [onlayn]. 2021, T.8, s. 23-33 [pregledan 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Dostapen na: DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.3>]
- [10] DOBREVA, A. Impact of new technologies and artificial intelligence in brand management. *Yearbook Telecommunications* [online]. 2024, vol. 11, pp. 107-117 [viewed 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Available from: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.24.11.11>
- [11] ПАСАРЕЛСКИ, Р. Милметровият честотен обхват като перспектива за 5G мрежи. *Годишник Телекомуникации* [онлайн]. 2019, Т. 6, с. 161-170. [прегледан 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Достъпен на: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.19.6.16> [PASARELSKI, R. Milimetroviyat chestoten obhvat kao perspektiva za 5G mrezhi. *Godishnik Telekomunikatsii* [onlayn]. 2019, T. 6, s. 161-170. [pregledan 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Dostapen na: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.19.6.16>]
- [12] ПАСАРЕЛСКИ, Р., А. СТАНЧЕВА и В. КЪДРЕВ. Когнитивно радио. *Сборник доклади от Годишна университетска научна конференция, 14-15 юни 2018 година, В. Търново*. В. Търново: Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски”, 2018, с. 1026-1032. ISBN 978-619-7246-20-9. [PASARELSKI, R., A. STANCHEVA i V. KADREV. Kognitivno radio. *Sbornik dokladi ot Godishna universitetska nauchna konferentsia, 14-15 yuni 2018 godina, V. Tarnovo*. V. Tarnovo: Izdatelski kompleks na NVU „Vasil Levski”, 2018, s. 1026-1032. ISBN 978-619-7246-20-9.]
- [13] PASARELSKI, R. Models for the optimization of radio signaling capabilities in 5G systems. *Yearbook Telecommunication* [online]. 2023, vol.10, pp. 49-57 [viewed 16.06.2026]. eISSN 2534-854X. Available from: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.23.10.5>
- [14] TZVETKOV, P. M., K. S. GALABOV, G. K. PETROV and R. I. PASARELSKI. FFT Analysis of Amplitude Frequency Response of Quadripoles Using a Square Waveform Reference Input Signal. *XXXII International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)*, Sozopol, Bulgaria [online]. 2022, pp. 116-120 [viewed 16.06.2026]. eISBN 978-1-6654-8569-2. Available from: doi: 10.1109/MMA55579.2022.9993073.
- [15] СТЕФАНОВА, Тереза. *Новите технологии: приложения, професии, умения: монография*. София: Аскони-издат, 2024. ISBN 978-954-383-151-7. [STEFANOVA, Tereza. *Novite tehnologii: prilozhenia, profesii, umenia: monografia*. Sofia: Askoni-izdat, 2024. ISBN 978-954-383-151-7.]
- [16] ПАСАРЕЛСКИ, Росен. *Нови 5G мобилни клетъчни системи: Изследване на взаимодействието между 4G-LTE и 5G системите: архитектура, мрежови функции, интерфейс и протоколи*. София: Нов български университет, 2024. ISBN 978-619-233-282-2. [PASARELSKI, Rosen Ivanov. *Novi 5G mobilni kletachni sistemi: Izsledvane na vzaimodeystviето mezhdu 4G-LTE i 5G sistemite: arhitektura, mrezhovi funksii, interfeys i protokoli*. Sofia: Nov balgarski universitet, 2024. ISBN 978-619-233-282-2.]
- [17] ISG THz Activity Report 2023. *ETSI* [online]. 2023 [viewed 16.06.2026]. Available from: <https://www.etsi.org/technical-groups/thz/>
- [18] Industry Specification Group (ISG) TeraHertz (THz). *ETSI* [online]. 2022 [viewed 16.06.2026]. Available from: <https://www.etsi.org/technical-groups/thz/>
- [19] Sub-THz communication in 6G. *Ericsson* [online]. 2024 [viewed 16.06.2026]. Available from: <https://www.ericsson.com/en/6g/spectrum/sub-thz>
- [20] IMT towards 2030 and beyond (IMT-2030). *ITU* [online]. 2023 [viewed 16.06.2026]. Available from: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/Pages/default.aspx>
- [21] 6G-NTN White Paper explores the role of Non-Terrestrial Networks in the 6G networks. *6G-NTN* [online]. 2024 [viewed 16.06.2026]. Available from: <https://6g-ntn.eu/news/2024/04/04/6g-ntn-white-paper-explores-the-role-of-non-terrestrial-networks-in-the-6g-networks/>
- [22] 6G networks in Europe. *European Commission* [online]. [viewed 16.06.2026]. Available from: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/6g>

Информация за авторите:

ас. д-р инж. Теодора Пасарелска, НБУ, департамент „Телекомуникации“, tivanova@nbu.bg

Challenges of Using the Terahertz Spectrum in 6G and the Role of European Standards

TEODORA PASARELSKA

Contacts:

Asst. Prof. Dr. Eng. Teodora Pasarelska, NBU, Department of Telecommunications, tivanova@nbu.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 20.05.2025

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2025