

## ОЦЕНКА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ИЗЛЪЧВАНИЯ В ДИАПАЗОНА ОТ 100 kHz ДО 7 GHz В УРБАНИЗИРАНА СРЕДА (СТОЛИЧНА ОБЩИНА)

**Димитър Теодосиев, Анна Бузекова-Пенкова, Юрий Матвийчук, Гаро Мардиросян**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: dteod@space.bas.bg, a\_bouzekova@space.bas.bg*

**Ключови думи:** околна среда, здраве, мониторинг, електромагнитно замърсяване, телекомуникации, урбанизирана среда.

**Резюме:** Електромагнитното замърсяване в условията на урбанизирана територия е много актуален проблем, свързан основно с развитието и усъвършенстване на мобилните комуникации. В работата е представен метод, апаратура и софтуер за получаване на информация за електромагнитните излъчвания и възможностите за експресен анализ на промените в техните характеристики в урбанизирана градска среда, за продължителни периоди от време. Анализирани и оценени са резултатите от проведените измервания в зависимост от местно време, разстояние от базовите станции, натоварване на мобилните мрежи и условията на околната среда.

## ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC EMISSIONS IN THE RANGE FROM 100 kHz TO 7 GHz IN AN URBAN ENVIRONMENT (METROPOLITAN MUNICIPALITY)

**Dimitar Teodosiev, Anna Bouzekova-Penkova, Yuri Matviichuk, Garo Mardirossian**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: dteod@space.bas.bg, a\_bouzekova@space.bas.bg*

**Keywords:** Environment, health, monitoring, electromagnetic pollution, telecommunications, urban areas.

**Abstract:** Electromagnetic pollution in the conditions of urbanized territory is a very current problem, mainly related to the development and improvement of mobile communications. The work presents a method, equipment and software for obtaining information about electromagnetic radiation and the possibilities for express analysis of changes in their characteristics in an urbanized urban environment, for extended periods of time. The results of the measurements were analyzed and evaluated depending on local time, distance from the base stations, mobile network load and environmental conditions.

### 1. Въведение

Развитието и приложението на радиокомуникационните технологии и свързаното с това неконтролирано увеличаване броя и вида на средствата за мобилни комуникации води до нарастване на нивото на електромагнитните излъчвания (ЕМИ) и фоновия шум (ФШ) в урбанизираните територии [1–5]. Съвременните научни изследвания показват, че високите нива на ЕМИ и ФШ, предизвикат влошена електромагнитна съвместимост на съществуващите радио средства в градска среда, където тяхната концентрация е висока. Електромагнитните излъчвания с антропогенен произход влияят върху нашето ежедневие. Биологично активни са и могат да предизвикат вредни последствия за здравето на хората [6–9]. Поради това са приети пределно допустимите норми за облъчване с нейоноизиращи лъчения, регламентиращи условията за пребиваване на хората в среда с електромагнитни лъчения, приети и публикувани в редица международни и национални закони и наредби [10–12]. Неконтролираното нарастване на ЕМИ, води до увеличаване на ФШ, което от определено ниво нагоре може да влоши

качеството на радиокомуникационните връзки и дори да направи отделни части от честотния спектър неизползваеми.

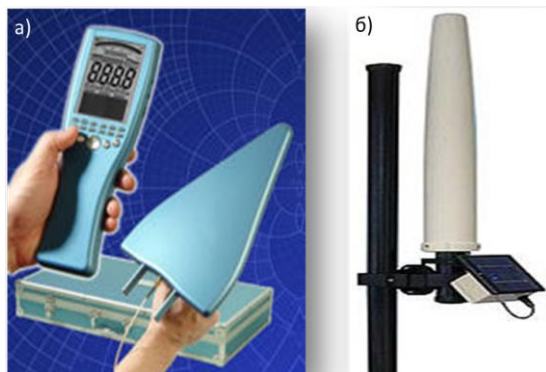
При изучаване и търсене начини за решаване на възникващите проблеми, свързани с нарастване нивото на ЕМИ в урбанизирани територии, е извършването на мониторинг на разпределението, характеристиките и интензитета на електромагнитните излъчвания върху различни фактори на околната среда, както и техническите параметри на източниците на нейонизиращи лъчения [13–16].

В настоящето изследване е разгледан въпросът за динамиката на електромагнитните излъчвания в честотния диапазон от 100 kHz до 7 GHz. Акцентирано е върху проследяване на денонощните изменения в интензитетите и честотите на електромагнитни (ЕМИ) излъчвания в избрани обекти на територията на град София. Измерванията са проведени в райони, характеризирани се с по-ниска степен на урбанизация, различна концентрация на източници на ЕМ лъчения, от телевизионни и радиопредаватели, базови станции на мобилните оператори и др.

## 2. Метод на измерване:

### *Измервателна апаратура*

Измерванията бяха проведени с мобилна апаратура Narda Multi-Band EMF Area Monitor (Narda AMB-8057-03) (Фиг. 1) на американската фирма Narda Safety Test Solutions. Този тип апарати са с изотропни антени (слънчев панел (Фиг. 1б)) и се използват за контрол на електромагнитните полета. Апаратът измерва, записва в цифрови файлове и предоставя възможности за визуализиране и преглед на информацията, в базата с данни от измерванията, по избор: за определена дата или седмица; за определен период от време - седмица, или денонощие, за целия честотен диапазон (100 kHz – 7 GHz); за определен поддиапазон, от честотния диапазон (100 kHz – 7 GHz), пикови стойности (Peak) или усреднена стойност (RMS) за определена честота; за определен интервал от време от денонощието, за наблюдаване на фини ефекти в разпределението на излъчваната мощност за дадена честота, като с червена линия е отбелязано пределно допустимото ниво на излъчване за тази честота.



Фиг. 1. Мобилна апаратура Narda Multi-Band EMF Area Monitor (Narda AMB-8057-03)

С мобилна апаратура Narda AMB–8057-03 може да бъдат извършвани настройки от разстояние, чрез мобилна връзка, а също така и да бъдат изтеглени натрупаните данни от измерванията, записани в паметта на прибора автоматично, или по команда, в определен времеви интервал, определен и или избран предварително. Това даде възможност да се проследи динамиката на електромагнитното излъчване от антените, както в началото на работния ден, характеризиращ се със силен трафик на мобилните комуникации, така и в края на деня, когато трафикът значително намалява.

## 3. Измервания, резултати и дискусия:

Проведени са измервания на електромагнитни полета в диапазона 100 kHz – 7 GHz, от излъчващи обекти за мобилна комуникация и други неидентифицирани излъчватели на ЕМП в този диапазон, намиращи се в близост до изследвани два обекта в гр. София, кв. Баня, Столична Община, през интервал приблизително от четири месеца.

**Обект - 1**, гр. София, кв. Баня, ул. „Александър Станболийски“ (централна част): Измервания на електромагнитни полета в диапазона 100 kHz – 7 GHz, от излъчващи обекти за

мобилна комуникация и други неидентифицирани излъчватели на ЕМП в този диапазон, в близост до изследвания обект, проведени в периода 14–21 Септември 2023 г.

Таблица 1. Обобщени резултати от максималните измерени стойности (Peak) за отделните времеви интервали, както и усреднените стойности (RMS) за шест минутни интервали

Дата	Време (час, мин.]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 942MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 1842MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП RMS 2140MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 942 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 1842 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП Peak 2140 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Макс. допустима стойност на ЕМП по БДС [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]
14.09.23	18:48-19:12	0,02	0,00	0,00	0,89	1,93	0,39	$\leq 10$
15.09.23	04:48-07:12	0,012	0,001	0,002	0,33	0,003	0,004	$\leq 10$
15.09.23	09:36-14:24	0,017	0,0005	0,0000	0,55	0,003	0,005	$\leq 10$
15.09.23	16:48-19:12	0,012	0,005	0,001	0,35	0,004	0,003	$\leq 10$
16.09.23	00:00-02:24	0,06	0,004	0,005	0,89	0,05	0,055	$\leq 10$
16.09.23	04:48-07:12	0,026	0,001	0,0000	0,60	0,005	0,004	$\leq 10$
16.09.23	16:48-19:12	0,015	0,004	0,005	0,025	0,004	0,003	$\leq 10$
17.09.23	00:00-02:24	0,057	0,014	0,015	0,7	0,05	0,04	$\leq 10$
17.09.23	04:48-07:12	0,0056	0,005	0,0001	0,74	0,05	0,06	$\leq 10$
17.09.23	16:48-19:12	0,017	0,0015	0,0014	0,61	0,013	0,015	$\leq 10$
18.09.23	00:00-02:24	0,31	0,00045	0,00055	0,63	0,04	0,05	$\leq 10$
18.09.23	04:48-07:12	0,63	0,004	0,005	0,53	0,015	0,014	$\leq 10$
18.09.23	16:48-19:12	0,0025	0,0015	0,0012	0,1	0,015	0,010	$\leq 10$
19.09.23	12:00-14:24	0,141	0,06	0,053	1,6	0,97	0,7	$\leq 10$
20.09.23	07:12-14:24	0,012	0,012	0,002	0,05	0,015	0,01	$\leq 10$
21.09.23	00:00-02:24	0,0104	0,005	0,002	0,12	0,005	0,004	$\leq 10$

В Таблица 1 в зелено са изписани датите на измерване, извършени в почивните дни от периода на измерването, а в синьо – извършени измервания в работни дни. Показано е времето в което е имало най-големи пикове в измерените усреднени и пикови стойности, за този времеви интервал.

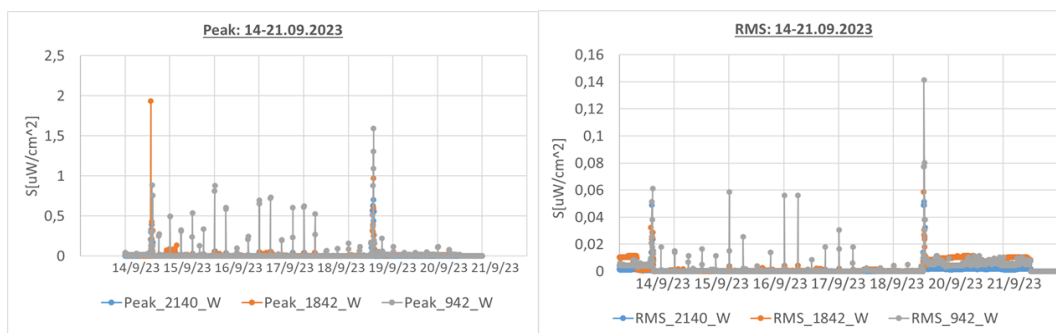
Анализът на резултатите от измерванията в Обект-1, представени в Таблица 1 и графиките на Фиг. 2, показва че:

- **Максималните пикови стойности (Peak)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за два от честотните диапазони 1842 MHz и 2140 MHz, са много по-ниски, от пределно допустимите по стандарт  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . За честота 1842 MHz те варират от 0,003 до  $1,93 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . За честота 2140 MHz – от 0,004 до  $0,39 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . което е на порядъци по-малко от пределно допустимите стойности по стандарт от  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

- **Максималните пикови стойности (Peak)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за честотния диапазон 942 MHz, варират в диапазона от 0,1 до  $0,89 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , което е на порядък по-малко от пределно допустимите по стандарт стойности от  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

- **Максималните усреднени стойности (RMS)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за два от честотните диапазони 1842 MHz и 2140 MHz, са на повече от два порядъка по-ниски, от пределно допустимите по стандарт  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . За честота 1842 MHz те варират от 0,001 до  $0,005 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , а за честота 2140 MHz - варират от 0,001 до  $0,015 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

- **Максималните усреднени стойности (RMS)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за честотния диапазон 942 MHz, варират в широк диапазон от 0,01 до  $0,63 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , което също е много по-малко от пределно допустимите по стандарт стойности от  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .



Фиг. 2. Максимални пикови стойности (Peak) и Максимални усреднени стойности (RMS) от измервания на електромагнитни полета в Обект-1 за изследвания период

От данните представени на Фиг. 2, за всичките осем дни на измервания, се наблюдава разлика в нивата на измерените електромагнитни полета, както за усреднени, така и за пикови стойности, в изследвания и анализиран честотен диапазон, за интервалите от време преди обяд до около 12:00 и след обяд от 16:00 до около 21:00 часа. Също така се вижда повтаряща се в дните тенденция на спад в нивата на излъчваната мощност от мобилните оператори след 21:00 часа, което корелира с края на работния ден и интензивното ползване на устройства за мобилни комуникации. Тази тенденция на разлика, се повтаря и при сравняване между работните и почивните дни, като почивните дни се характеризират с по-ниски нива на излъчваната мощност на електромагнитните лъчения, основно от антените на базовите станции на мобилните оператори.

Анализът на данните показва също така наличие на повтарящи се пикове в резултатите, както при усреднените, така и за пиковите стойности, на измерените нива на ЕМИ, в едни и същи моменти от денонощието, а именно: около 00:00 часа в полунощ, 06:00 часа на преди обяд, около 12:00, а също и около 18:00 часа.

Резултатите от всички тези измервания, показват многократно по-ниски нива, от пределно допустимите, за една урбанизирана територия, в която работят и целодневно пребивават хора.

**Обект - 2**, гр. София, кв. Банкя, ул. „Восток“ (в периферията): Измервания на електромагнитни полета в диапазона 100 kHz – 7 GHz, от излъчващи обекти за мобилна комуникация - базови станции, в близост до изследвания обект, проведени в периода 27 – 29 януари 2024 г.

Таблица 2. Обобщени резултати от максималните измерени стойности (Peak) за отделните времеви интервали, както и усреднените стойности (RMS) за шест минутни интервали

Дата	Време [час, мин.]	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП	Макс. усреднена стойност на измереното ЕМП	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП	Макс. пикова стойност на измереното ЕМП	Макс. допустима стойност на ЕМП
		RMS 942 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	RMS 1842 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	RMS 2140 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Peak 942 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Peak 1842 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	Peak 2140 MHz [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	по БДС [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]
от 27.01.2024 до 28.01.2024	от 16:00 ч. на 27.01.2024 до 10:40 ч. на 28.01.2024	0,12	0,06	0,03	0,05	0,21	0,12	$\leq 10$
от 28.01.2024 до 29.01.2024	от 11:30 ч. на 28.01.2024 до 11:00 ч. на 29.01.2024	0,06	0,03	0,01	0,085	0,005	0,0012	$\leq 10$

Анализът на резултатите от измерванията в Обект-2, представени в Таблица 2 и графиките на Фиг. 3, показва че:

- **Максималните пикови стойности (Peak)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за два от честотните диапазони 1842 MHz и 2140 MHz, са на повече от порядък и половина по-ниски, от пределно допустимите по стандарт  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , за измерванията проведени на 27.01–28.01.2024 г. За честота 2140 MHz те варират от 0,12 до  $0,21 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

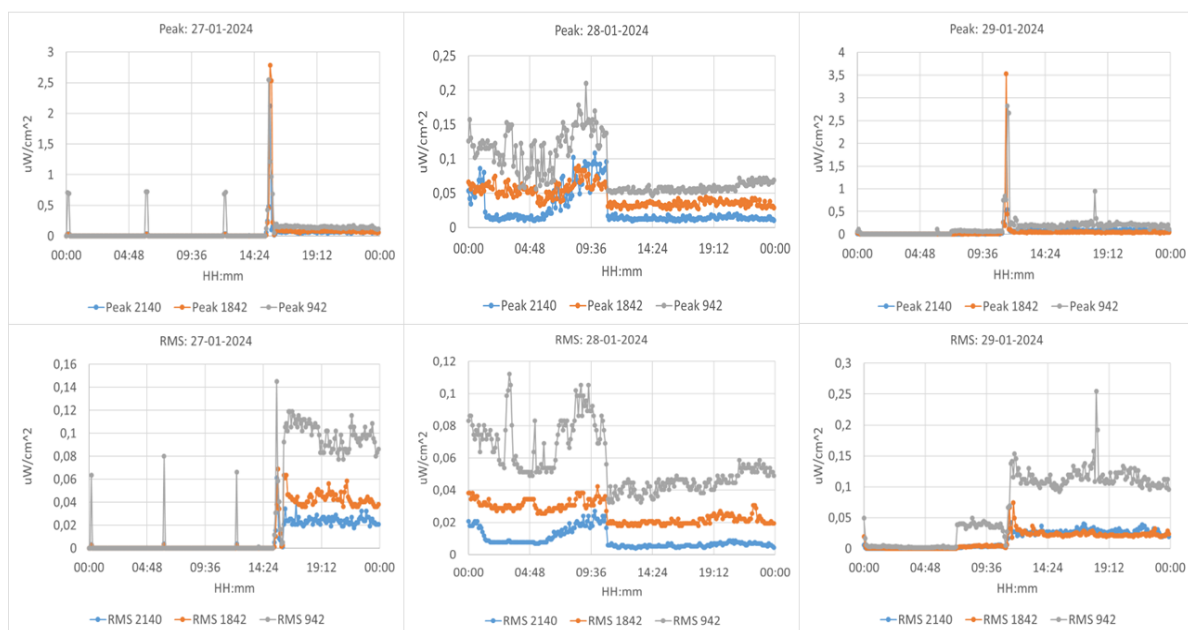
- **Максималните пикови стойности (Peak)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за честотния диапазон 942 MHz, варират от 0,05 до  $0,085 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , което е повече от два порядъка по-малко от пределно допустимите по стандарт стойности от  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

- **Максималните пикови стойности (Peak)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за измерванията проведени на 28.01–29.01.2024 г. за трите честотни диапазона 942 MHz, 1842 MHz и 2140 MHz, варират от 0,01 до  $0,06 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , което е повече от два порядъка по-малко от пределно допустимите по стандарт стойности от  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

- **Максималните усреднени стойности (RMS)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за измерванията проведени на 27.01–28.01.2024 г. за честотните диапазони, 1842 MHz и 2140 MHz, са на повече от два порядъка по-ниски, от пределно допустимите по стандарт  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . За честотния диапазон 942 MHz, те варират около  $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , което е почти на два порядъка по-ниско от пределно допустимите по стандарт стойности от  $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

- **Максималните усреднени стойности (RMS)** на измерената плътност на мощността на електромагнитното излъчване ЕМИ, за измерванията проведени на 28.01–29.01.2024 г. за

честота 1842 MHz, са още по-ниски и варират в диапазона от 0,01 до 0,06  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , което е на повече от два порядъка по-ниско от пределно допустимите по стандарт стойности от 10  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ .



Фиг. 3. Максимални пикови (Peak) и максимални усреднени стойности (RMS) от измервания на електромагнитни полета в Обект-2 за изследвания период

От данните представени на графиките показани на фиг. 3, за трите дни на измервания, се наблюдава запазване на много ниски нива на измерените електромагнитни полета, за интервалите от време както през нощта, така и в работно време през деня. На графиките както за Peak и RMS се наблюдават много високи пикове в началните моменти на включване на антената. Това е в следствие на преходните процеси, свързани с механичното пренасяне на антената, както и смяна в местоположението на антената от точка в друга точка в измерваният обект.

### Заклучение:

1. В резултат от направените непрекъснати измервания в Обект-1, за период от осем дни (14–21 септември 2024), на нивата на излъчваната мощност, в диапазона от 100 kHz до 7 GHz, с използване на сертифицирана мобилна апаратура NARDA AMB-8057-03, може да се направи извода, че нивата на излъчваната мощност на електромагнитните лъчения в Обект-1, са под пределно допустимата норма от 10  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  по БДС.

2. Резултатите от направените непрекъснати измервания, за период от три дни (27–29 януари 2024 г.), на нивата на излъчваната мощност, в диапазона от 100 kHz до 7 GHz, с използване на сертифицирана мобилна апаратура, NARDA AMB-8057-03, показват, че нивата на излъчваната мощност на електромагнитните лъчения в Обект-2, са под пределно допустимата норма от 10  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  по БДС.

3. В резултат от всички направени измервания, проведени през интервал приблизително четири месеца в два обекта – гр. София, кв. Банкя, можем да заключим, че тези измерени стойности са многократно по-ниски от пределно допустимите нива, за една урбанизирана територия, в която работят и целодневно пребивават хора.

### Литература:

1. Bullo, T., D. Gaiti, G. Pujolle, H. Zimmermann. A piloting plane for controlling wireless devices, *Telecommun. Syst.*, 2008, 39, 195–203, doi 10.1007/s11235-008-9125-x.
2. Nikolova, Z., V. Pulkov, G. Iliev, K. Egiazarian. New adaptive complex IIR filters and their application in OFDM systems. *Journal of Signal, Image and Video Processing.*, 2010, 4(2), 197–207.
3. Report ITU-R M.2370-0 (07/2015), IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030, International Telecommunication Union, 2015,16.

4. Digital Europe White Paper on 5G Spectrum, 2015, 4.
5. Wiedemann P. M. and H. Schultz. The Precautionary Principle and Risk Perception: Experimental Studies in the EMF Area, *Environmental Health Perspectives*, 2005, 113(4), 402–405.
6. WHO, Fact sheet N 193, Electromagnetic fields and public health, 2014.
7. Rothman, K. J. Health Effects of Mobile Telephones, *Epidemiology*, 2009, 20(5), 653–655.
8. Нормативна база на Р България за защита на населението от влиянието на нейонизиращи лъчения и изисквания на Световната здравна организация и Директиви на ЕС:
9. Наредба № 9 от 1991 г., на МЗ и МОСВ (ДВ бр. 35 от 1991 г., Изм. и Доп., ДВ бр. 8 от 2002 г.).
10. Council of the European Union, "Council Recommendation of 12 July 1999 on the Limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)", *Official Journal of the European Communities*, L 199/59, Brussels, Belgium, July 1999.
11. Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EC).
12. Закон за устройство на територията (ЗУТ), в сила от 31.03.2001 г., Обн. ДВ. бр.1 от 2 Януари 2001 г., изм. ДВ. бр. 41 от 24 Април 2001 г., изм. ДВ. бр. 94 от 12 Ноември 2021 г., доп. ДВ. бр. 42 от 7 Юни 2022г.
13. Getsov, P., D. Teodossiev, E. Roumenina, M. Israel, G. Mardirossian, G. Sotirov, S. Velkoski, P. Gajesek, D. Simunic, K. Iliev. Development of a Strategy and Methods for Monitoring of Electromagnetic Pollution in the Environment of the Western Balkans, *Scientific results of the SEE-ERA.NET Pilot Joint Call*, Edited by Jana Macháčová, Katarina Rohsmann, 2009, 95–101. ISBN 978-3-200-01567-8.
14. Теодосиев, Д., Г. Мардиросян, Л. Филчев, Р. Гюров, Б. Сребров, П. Димитров, Цв. Среброва. Резултати от пилотно мониторингово изследване на разпределението и характеристиките на електромагнитните полета в диапазона 800 MHz – 2200 MHz в градска среда, *Сп. Екологично инженерство и опазване на околната среда*, 2009, 3–4, 74–81. ISSN: 1311-8668.
15. Viel J-F, et al. Radiofrequency exposure in the French general population: Band, time, location and activity variability, *Environ Int.* 2009, doi:10.1016/j.envint.2009.07.007.
16. Filchev, L., D. Teodosiev, R. Nedkov, D. Borisova, B. Kehayov, I. Iliev, T. Tsvetkov. Web based EMF monitoring in urban environment, *Proc. of SPIE*, 2019, 11174, 111741S, © SPIE, CCC code: 0277-786X/19/\$21, doi: 10.1117/12.2533559.