



RESEARCH OF TRANSMISSION LOSS IN RADIOWAVE PROPAGATION EFFECTED BY BUILDING MATERIALS

Nikolay D. Tashkov*, Rosen I. Tsvetkov

Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, Bulgaria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 February 2019

Accepted 14 February 2019

Keywords:

Radio broadcasting, Radio propagation, Transmission loss, Wireless communication, Matlab, WinProp

ABSTRACT

This paper researches radio signal transmission through different building materials. The properties of different building materials under the same conditions were examined and a comparative analysis performed. Depending on the radio signal frequency, the situation changes dynamically and this requires the use of different sites to determine the predictive characteristics of the signal at the receiving point. In addition, a theoretical calculation of the signal attenuation and a simulation were performed by using the Matlab and WinProp program products. This allows a comparative analysis of the theoretical and simulation results.

© 2019 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

ВЪВЕДЕНИЕ

В настоящата работа е изследвано затихването на радиосигнала през различни строителни материали, използвани в промишленото и гражданското строителство. Те са основна причина за затихването на разпространяващото се електромагнитно трептене. Направени са изследвания, използвайки четири основни вида строителни материали (бетон, тухла, дърво и стъкло). Направени са теоретични изчисления и са реализирани симулационни експерименти при преминаване на радиосигнала през съответния материал. Това дава възможност за сравнителна оценка на радиочестотните характеристики на различните строителни материали, като по този начин те могат рационално да бъдат използвани, с цел по-оптималното покритие на дадената територия с радиосигнал. Това ще доведе до качествена комуникация вътре в сградата, като съответно ще се подобрят електромагнитната обстановка в обитаемата среда.

В теоретичното изследване са използвани формули от препоръка на ITU P.2040-1 за коефициентите на отразяване и преминаване на електромагнитната вълна при ТЕ и ТМ поляризации. Изчислени са затихванията за основни типа среди на разпространение. С помощта на програмен продукт MatLab са написани програми за изчисляване загубите от разпространение. Теоретичният експеримент е реализиран при честоти 900 MHz, 2000 MHz и 5000 MHz.

При симулационното изследване са използвани няколко различни хипотези, като за целта е проектирана сграда на четири етажа, с размер на етаж 10 m на 12 m. При реализацията на всеки етаж е използван различен строителен материал (бетон, тухла, дърво и стъкло),

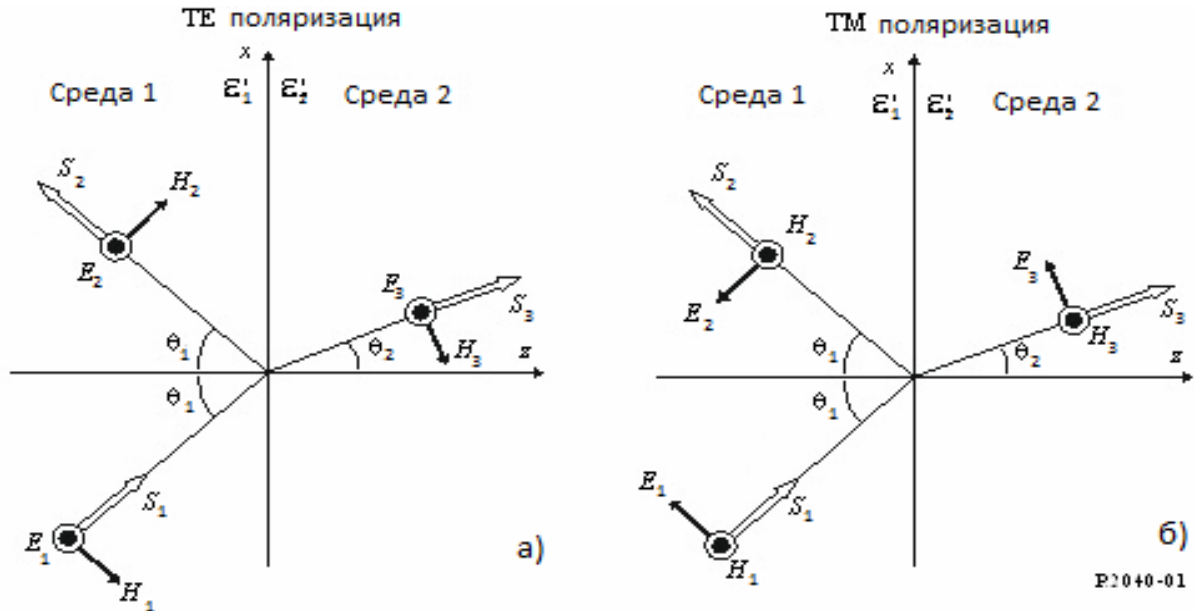
като всички вътрешни преградни стени в сградата са изработени от гипсокартон. С помощта на програмния продукт WinProp е направена 3-D подложка, чрез която може да бъде напълно визуализирано всяко едно изследване. Реализирани са четири симулации, като предмет на изследване са загубите от разпространение на радиосигнала (dB) при преминаване през определен строителен материал. Това дава възможност както да се сравнят теоретичните и симулационни резултати, така и да се даде сравнителна оценка на възможностите на различните строителни материали да отразяват, поглъщат и пречупват радиовълните.

Процесът на проектиране изисква многоетапно моделиране и редица симулационни изследвания, като целта е постигане на оптимални параметри за реализация на подходяща електромагнитна среда, безопасна от гледна точка на човешкото присъствие.

I. КОЕФИЦИЕНТ НА ОТРАЗЯВАНЕ И КОЕФИЦИЕНТ НА ПРЕМИНАВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА ВЪЛНА НА ГРАНИЦАТА МЕЖДУ ДВЕ СРЕДИ

На фиг. 1 е показан процесът на отразяване и преминаване на падаща електромагнитна вълна при два вида поляризация на сигнала – хоризонтална ТЕ и вертикална ТМ, като ϵ'_1 и ϵ'_2 са съответно относителните диелектрични проницаемости на двете среди [1,2]. При използване на радиовълни с кръгова поляризация винаги векторите на полето могат да бъдат разложени на две съставляващи съответно, ТЕ и ТМ.

* Corresponding author. E-mail: rosensoft@abv.bg



Фиг. 1. Отражение и пречупване на електромагнитна вълна от плоска гранична повърхност

Коефициентът на отразяване (R_{eTE} , R_{eTM}) и коефициентът на преминаване (T_{eTE} , T_{eTM}) на електромагнитната вълна през различни видове среди могат да бъдат изчислени, с помощта на аналитични изрази (1)-(4):

$$R_{eTE} = \frac{E_r}{E_i} = \begin{cases} \frac{\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_1 - \sqrt{\varepsilon_2} \cos \theta_2}{\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_1 + \sqrt{\varepsilon_2} \cos \theta_2} \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \sin \theta_1 < 1 \\ 1 \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \sin \theta_1 \geq 1 \end{cases}, (1)$$

$$R_{eTM} = \frac{E_r}{E_i} = \begin{cases} \frac{\sqrt{\varepsilon_2} \cos \theta_1 - \sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_2}{\sqrt{\varepsilon_2} \cos \theta_1 + \sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_2} \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \sin \theta_1 < 1 \\ 1 \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \sin \theta_1 \geq 1 \end{cases}, (2)$$

$$T_{eTE} = \frac{E_t}{E_i} = \begin{cases} \frac{2\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_1}{\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_1 + \sqrt{\varepsilon_2} \cos \theta_2} \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \sin \theta_1 < 1 \\ 0 \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \sin \theta_1 \geq 1 \end{cases}, (3)$$

$$T_{eTM} = \frac{E_t}{E_i} = \begin{cases} \frac{2\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_1}{\sqrt{\varepsilon_2} \cos \theta_1 + \sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_2} \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \sin \theta_1 < 1 \\ 0 \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \sin \theta_1 \geq 1 \end{cases}, (4)$$

където:

E_i – амплитуда на падаща електромагнитна вълна;

E_r – амплитуда на отразена електромагнитна вълна;

E_t – амплитуда на пречупена електромагнитна вълна;

ε_1 – относителна диелектрична проницаемост на първа среда;

ε_2 – относителна диелектрична проницаемост на втора среда;

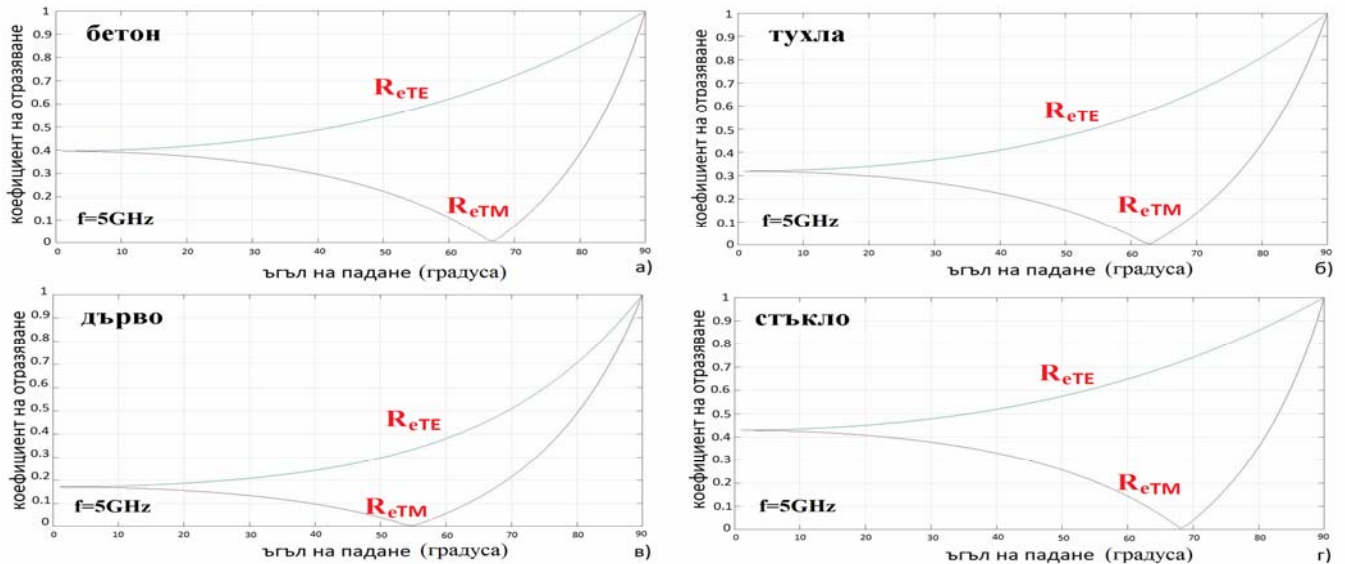
θ_1 – ъгъл на падане (ъгъл на отразяване);

θ_2 – ъгъл на пречупване.

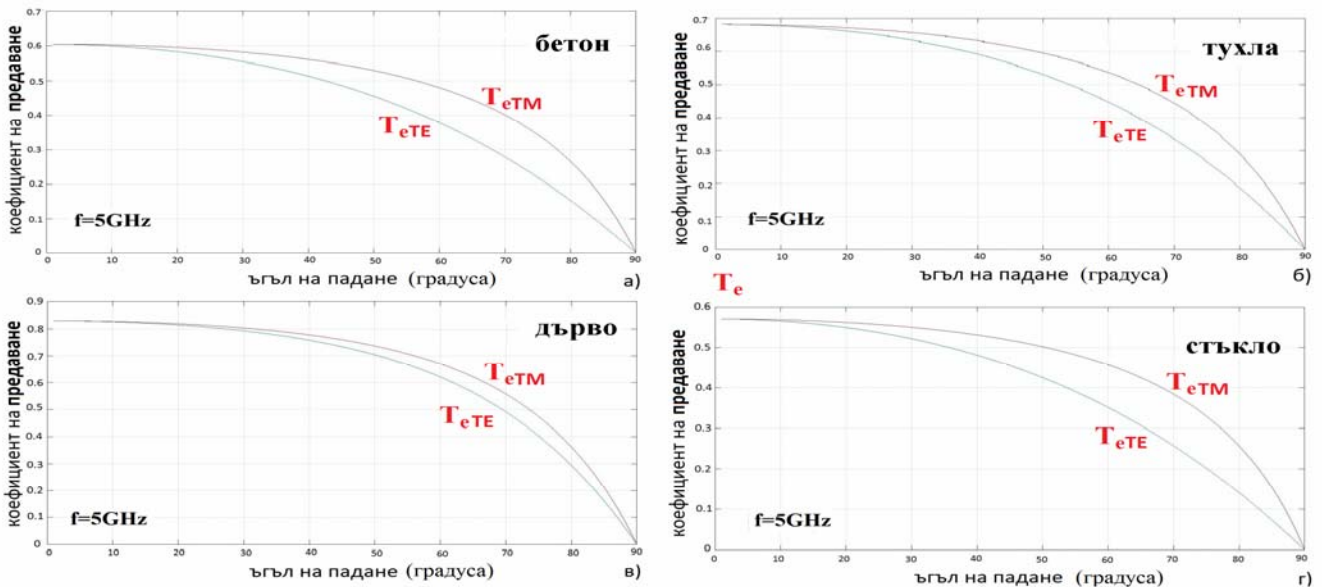
II. ИЗСЛЕДВАНЕ ЗАТИХВАНЕТО НА РАДИО-СИГНАЛИ ПРЕЗ РАЗЛИЧНИ СТРОИТЕЛНИ МАТЕРИАЛИ

Разработени са програми за изчисляване затихването на радиовълните при преминаване през различни строителни материали. Програмният код е написан в софтуерната среда на Matlab и дава възможност за изчисляване на посочените по-горе параметри. На фиг. 2 са показани графичните зависимости на коефициентите на отразяване R_{eTE} и R_{eTM} , използвайки строителните материали бетон, тухла, дърво и стъкло при честота $f=5$ GHz. На фиг. 3 са показани графиките на коефициентите на преминаване T_{eTE} и T_{eTM} за четирите случая.

В табл. 1 са дадени стойностите на коефициента на отразяване и коефициента на преминаване през различните материали, като се задават параметрите на средата ε' и σ . Използвани са три различни работни честоти 900 MHz, 2000 MHz и 5000 MHz. Стойностите за коефициентите са изчислени за ъгъл на падане на електромагнитната вълна $\theta_1 = 0$ deg.



Фиг. 2. Графични зависимости на коефициентът на отразяване във функция от ъгъла на падане за четирите случая



Фиг. 3. Графични зависимости на коефициентът на преминаване във функция от ъгъла на падане за четирите случая

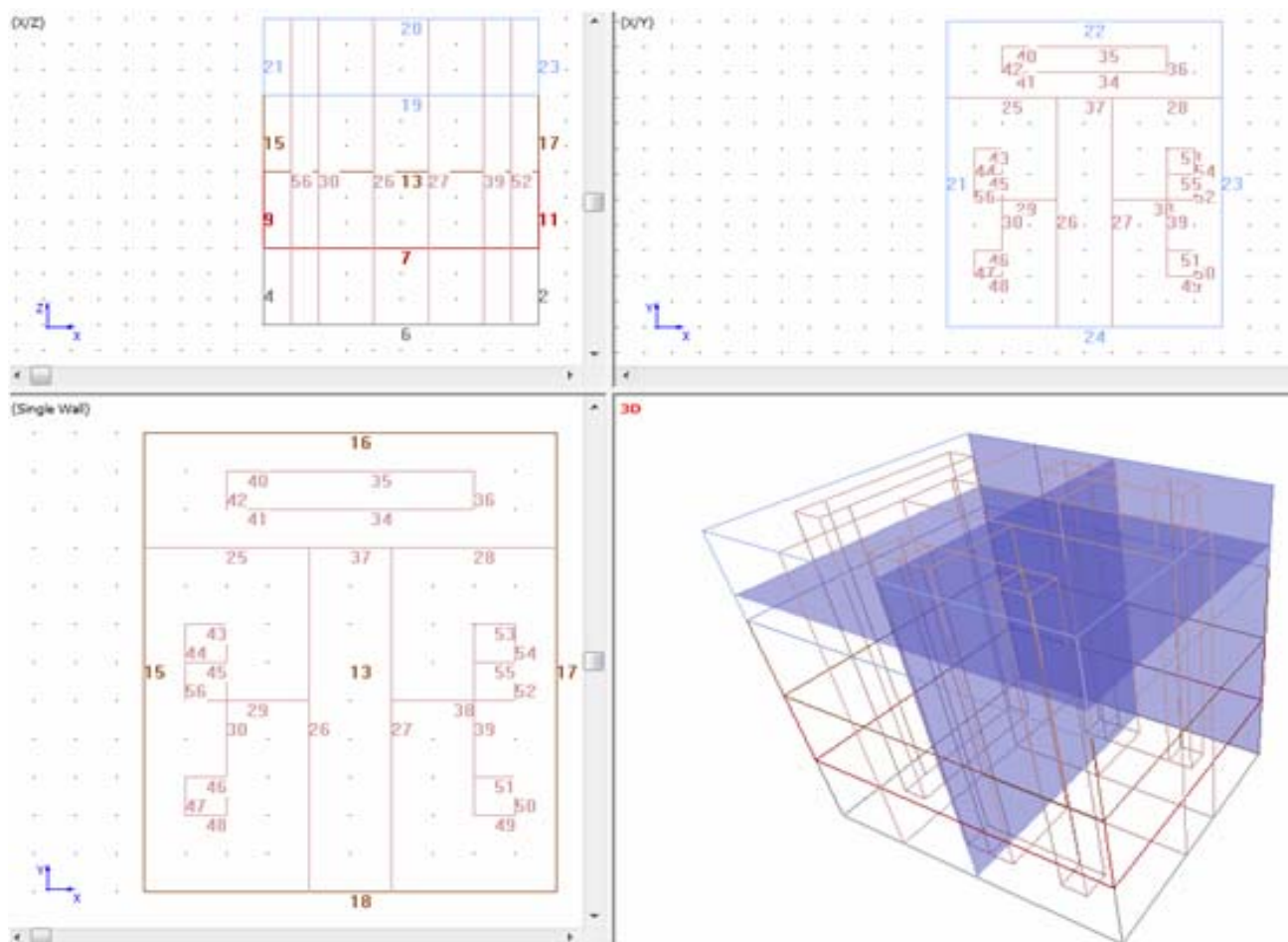
II. СИМУЛАЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ ЗАТИХВАНЕТО НА РАДИОСИГНАЛИ ПРЕЗ РАЗЛИЧНИ

За целите на експеримента е проектирана четириетажна сграда с размери 10 m на 12 m. С помощта на програмния продукт WinProp е създадена виртуална подложка, като първият етаж е реализиран за целите на експеримента изцяло от бетон. Вторият етаж на сградата е зададен да бъде изцяло от червена тухла. Третият етаж е изграден от дърво, а четвъртият етаж е проектиран да бъде от стъкло [4].

На фиг. 4 е показан етап от проектирането на симулационната подложка в програмния продукт WallMan. За целта е използвана база данни за строителни материали, дадена в софтуерния продукт WinProp. За целите на експеримента външните стени на всеки етаж са приети да бъдат от различни строителни материали, а вътрешните преградни стени са еднакви за четирите етажа и са проектирани да бъдат от гипсокартонени плоскости. Това дава възможност за обективно сравняване на загубите от разпространение при четирите случая [3,5].

Таблица 1. Коефициент на отразяване и коефициент на преминаване през различни строителни материали при ъгъл на падане $\theta_1 = 0 \text{ deg}$

Честота (MHz)	R_{eTE}	R_{eTM}	T_{eTE}	T_{eTM}	ϵ	σ (S/m)
БЕТОН						
900	0.43	0.43	0.59	0.59	6	0,035
2000	0.42	0.42	0.58	0.60	6	0,078
5000	0.41	0.41	0.61	0.61	6	0,194
ТУХЛА						
900	0.33	0.33	0.68	0.68	4	0,005
2000	0.31	0.32	0.69	0.69	4	0,044
5000	0.31	0.31	0.70	0.70	4	0,111
ДЪРВО						
900	0.17	0.17	0.82	0.82	2,5	0,002
2000	0.15	0.15	0.85	0.83	2,05	0,039
5000	0.13	0.13	0.84	0.84	2,05	0,097
СТЪКЛО						
900	0.45	0.45	0.55	0.55	6	0,003
2000	0.44	0.44	0.56	0.56	6	0,006
5000	0.43	0.43	0.57	0.57	6	0,014



Фиг. 4. Проектиране на симулационен модел на сграда в WallMan

На фиг. 5 е показана в 3D координатна система проектираната сграда, като е визуализиран експеримент с ненасочена антена. Работната честота е $f=2000 \text{ MHz}$, а предавателната мощност е 100 mW (20 dBm).

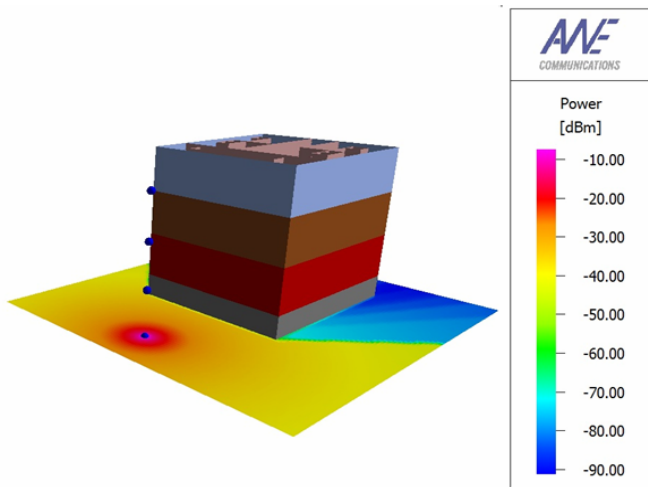
На фиг. 6 в 2D формат е показана работата на ненасочената антена, разположена на височината на втория

етаж на сградата, изграден от червена тухла. На цветовата скала се вижда разпределението на мощността в изследваната експериментална област.

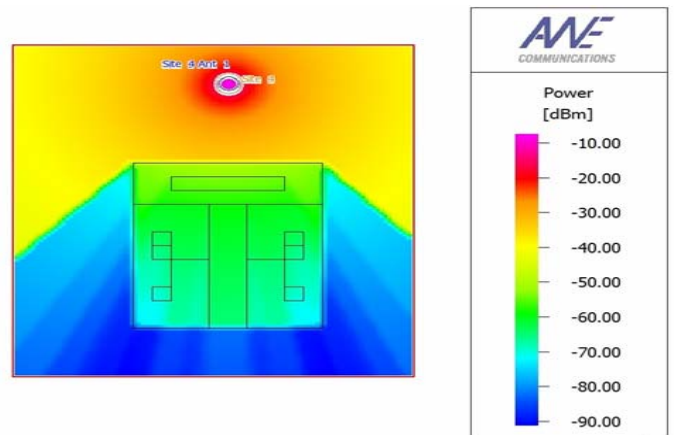
За получаване на графичните зависимости е използвана единна методика, като и при четирите случая разстоянието е до 10 m , измерено от предавателната антена.

Графичните зависимости на приемната мощност P , dBm в зависимост от разстоянието за четирите случая са показани на фиг. 7. Предавателната антена се намира на разстояние 5,5 m от фасадата на сградата.

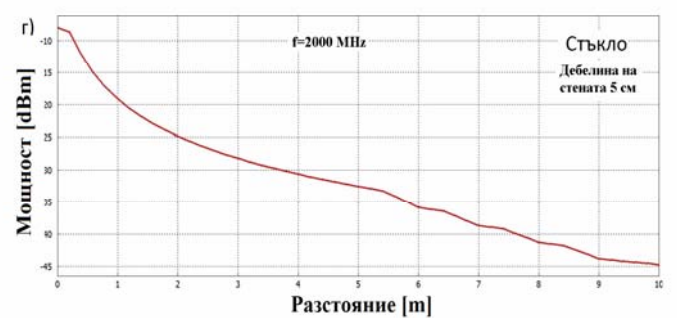
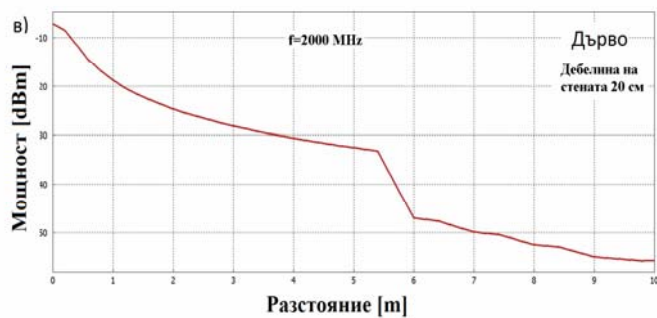
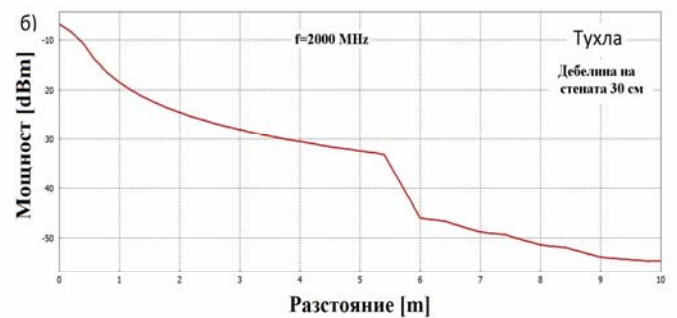
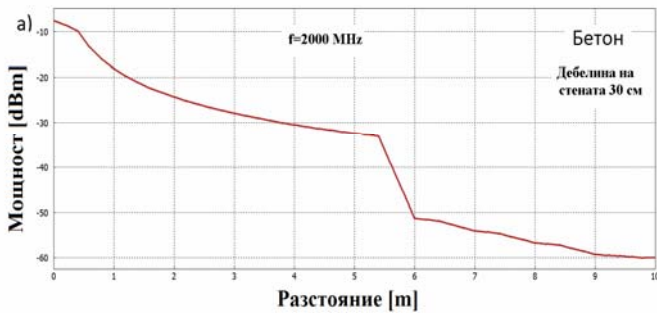
В таблица 2 са дадени стойностите на приемната мощност в dBm във функция от разстоянието, като за повишаване точността на симулационния експеримент са снети през 1 m.



Фиг. 5. Разпределение на мощността при преминаване през бетонна стена в 3D вариант



Фиг. 6. Разпределение на мощността в 2D при преминаване през стена от червена тухла



Фиг. 7 Графични зависимости на мощността във функция от разстоянието при четирите случая (бетон, тухла, дърво и стъкло)

Таблица 2. Затихване на сигнала при преминаване през различни строителни материали

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Приемна мощност при преминаване през бетон, (dBm)	-20	-24	-28	-30	-32	-52	-54	-56	-58	-60
Приемна мощност при преминаване през тухла, (dBm)	-20	-24	-28	-30	-32	-45	-48	-52	-55	-56
Приемна мощност при преминаване през дърво, (dBm)	-20	-24	-28	-30	-32	-47	-50	-52	-53	-54
Приемна мощност при преминаване през стъкло, (dBm)	-20	-24	-28	-30	-32	-36	-38	-41	-44	-45

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа е изследвано разпространението на радиосигнали при преминаване през различни строителни материали. За целта както теоретично, така и симулационно са направени няколко изследвания в програмните среди на Matlab и WinProp.

От резултатите на теоретичното изследване (табл. 1) се вижда, че при фронтално падащ лъч на електромагнитната вълна към фасадата на сградата коефициентът на отразяване R_{TE} при осреднена честота $f=2000$ MHz: за бетон - 0,42; за тухла - 0,31; за дърво - 0,15; за стъкло - 0,44. За коефициента на преминаване T_{TE} стойностите са: за бетон - 0,58; за тухла - 0,69; за дърво - 0,85; за стъкло - 0,56.

В резултат от симулационното изследване (табл. 2) се получават стойностите на загубите на радиосигнала при преминаване през различни строителни материали (за бетон - 20 dB; за тухла - 13 dB; за дърво - 15 dB; за стъкло е 4 dB).

В първия и втория случаи стените са с дебелина 30 см. В третия случай дебелината на стената е 20 см и в четвъртия случай стъклената стена е реализирана от стъкло с дебелина 5 см.

Тези симулационни експерименти са необходими за определяне на загубите, вследствие преминаване на електромагнитната вълна през стени, изпълнени от различни строителни материали. Това изследване може да послужи при радиочестотно планиране на различни по вид и структура сгради, за по-прецизно разположение на комуникационното оборудване, с цел по-добро и оптимално покритие на потребителите, намиращи се вътре в сградата.

REFERENCES

- [1] ITU-R Recommendation P.2040-1 ,07/2015
- [2] ITU-R Recommendation P.1411-9 ,06/2017
- [3] Iliev I., Mobile Communications, 2014
- [4] WinProp, Manuals for WallMan and ProMan, software product, 2009
- [5] Nathan Blaunstein, Christos G. Christodoulou, Radio Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communication Networks, 2nd Edition, Wiley, 2014
- [6] Official website of WinProp program product used for propagation Modeling