

**ОПТИМИЗИРАНЕ НА РАЗМЕРИТЕ НА 2biQUAD АНТЕНА
ЧРЕЗ ТЕОРИЯ НА ПЛАНИРАНИЯ ЕКСПЕРИМЕНТ****2biQUAD ANTENNA DIMENSIONS OPTIMIZATION
USING DESIGN OF EXPERIMENT THEORY****Kliment Angelov***Technical university of Sofia***Kalina Kalinovska***Technical university of Sofia***Abstract**

In this study an optimization of 2biQUAD antenna dimensions has been described. Using design of experiment theory the length of each arm and the angle between them has been obtained in order to improve the antenna matching and the form of radiation pattern. This kind of antenna can be used in various no directional applications, such as WiFi Access Points and other that requires an omnidirectional antennas in horizontal plane.

Keywords: Omnidirectional Antenna, Antenna Optimization, Design of Experiment (DOE).

ВЪВЕДЕНИЕ

Светът на съвременните комуникации включва множество технологии, които чрез радиосигнали осигуряват покритие на абонатите със съответните услуги при запазена възможност за мобилност. Примери за такива технологии са мобилните клетъчни мрежи от второ и трето поколение, Wi-Fi, WiMAX и др. Паралелно на това радиовълните се използват в различни технологии за контрол на достъпа, RFID и други, използващи радиосигнали в ISM обхватите. Преноса на информация при тези технологии се осъществява чрез осигуряване на радиовръзка в отделни пространствени зони, като се цели оптималното използване на радиоресурсите. Например при Wi-Fi се организират точки на достъп (HotSpot), обслужвани от антени, които могат да бъдат насочени или слабонасочени, като диаграмите им на излъчване е целесъобразно да се съобразят с евентуалното разпределение на абонатите в пространството [1][2].

Решение за подобен тип антена, с оптимална в пространствено отношение диаграма на излъчване, може да бъде 2biQUAD антена с рефлектор. С нея може да се реализира относително равномерна диаграма на насочено действие (ДНД) в хоризонтална равнина при

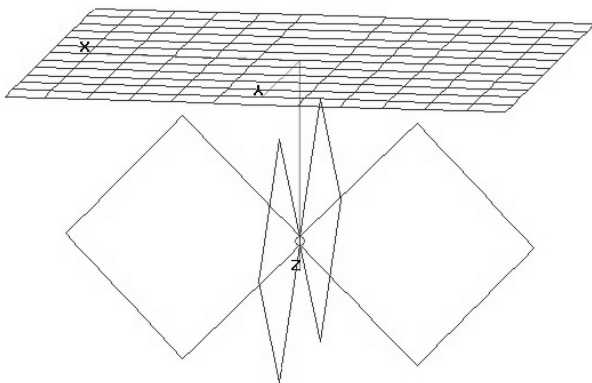
оптимизирано излъчване в вертикална равнина. Членовете на авторския колектив на настоящата статия са изследвали симулационно и експериментално възможностите за практическо използване на подобен тип антена за ISM честотите на 433 MHz както и за Wi-Fi технологията, като при това се установи, че е необходимо оптимизиране на размерите на подобен тип антена с оглед подобряване на нейното съгласуване и усилване.

В настоящата статия е описан процеса на оптимизиране на геометричните показатели на 2biQUAD антена с рефлектор за някои ISM честотни ленти с помощта на теорията на планирания експеримент.

ИЗЛОЖЕНИЕ

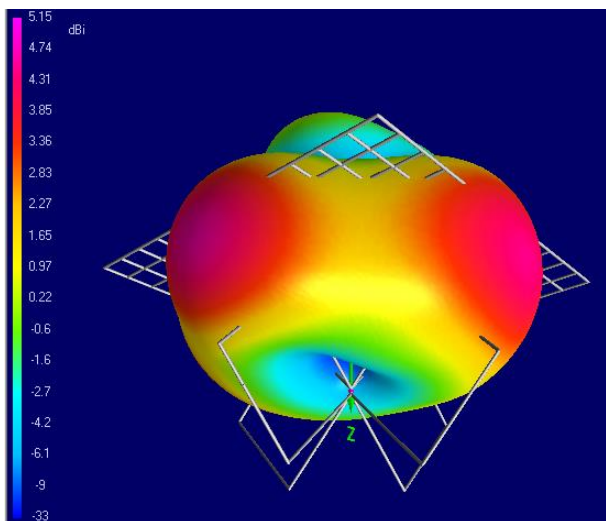
В практиката са известни множество видове антени с различен по форма затворен контур[3][4]. Някои от тях имат форма близка до квадрат или ромб, както например ромбичната антена, която се използва в късовълновия обхват. Тези антени обаче имат неравномерна ДНД и не могат да удовлетворят условието за ненасочена антена за радиоразпръскване в една равнина. Известно е и решението, при което се комбинират два квадратни

контура, при което се получава известната BiQUAD антена, която отново не притежава равномерна ДНД. Разполагането на два BiQUAD елемента в две взаимно перпендикулярни равнини би допринесло за изравняване на излъчването в плоскост, успоредна на антената. От друга страна чрез поставянето на отражател може да се получи ограничена диаграма на излъчване в едното полупространство спрямо оста на антената. На фиг. 1 е показан общ вид на разглежданата в настоящата статия 2biQUAD антена с отражател.



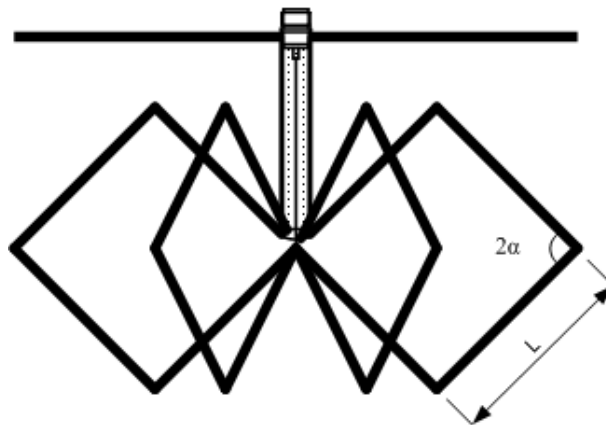
Фиг. 1. Общ вид на 2biQUAD антена

Подобна антена може да се използва за реализиране на Hot Spot в помещение чрез таванен монтаж, като на фиг. 2 е показана симулационно получената от авторския колектив диаграма на излъчване. Подобна ДНД може да осигури по-добро покритие за абонатите от даденото ниво, като намали интерференциите с евентуални източници, обслужващи другите етажи.



Фиг. 2. ДНД на 2biQUAD антена с рефлектор

В процеса на симулационното моделиране на разглежданата в настоящата статия 2biQUAD антена беше установено, че случая с квадратни елементи с линеен размер на рамото от четвърт дължина на вълната не е оптимален от гледна точка на съгласуването на антената към стандартен фидер с вълново съпротивление 50Ω . Подобна оптимизация може да се извърши с помощта на теорията на планирания експеримент [5]. Задачата се свежда до извършване на пълен факторен експеримент с два фактора, вариращи на три нива (ПФЕ 3^2). Означенията на факторите при осъществяване на изследването са дадени на фиг. 3.



Фиг. 3. Означение на факторите за провеждане на ПФЕ 3^2

За да се определи изменението на параметъра Y в рамките на факторното пространство е необходимо да се направят общо девет ($m = 9$) отделни опита. Така получените данни участват при определянето на зависимостта, която се дава с израза [5]:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2, \quad (1)$$

където с x_1 и x_2 се означават двата фактора, от които зависи изменението на параметъра Y . В конкретния случай това са дължината на рамото L и ъгъла между рамената α . За проведеното изследване параметъра Y трябва да отразява степента на съгласуване на антената и най-удачно е това да бъде коефициента на стояща вълна (SWR). От друга страна е добре да се следи и

изменението на усилването на антената (G), като в крайна сметка може да се направи компромисна оптимизация, която да удовлетворява едновременно максимално добре и двата параметъра. Коефициентите b от зависимостта (1), отчитащи тежестта на влиянието на отделните фактори и комбинацията от тях, се определят чрез зависимостите [5]:

$$b_0 = \frac{5}{9} \sum_{j=1}^9 x_{0j} \cdot \bar{y}_j - \frac{1}{3} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^9 x_{ij}^2 \cdot \bar{y}_j, \quad (2)$$

$$b_i = \frac{1}{6} \cdot \sum_{j=1}^9 x_j \cdot \bar{y}_j, \quad (3)$$

$$b_{ik} = \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^2 \cdot \sum_{j=1}^9 x_{ij} \cdot x_{kj} \cdot \bar{y}_j, \quad (4)$$

$$b_{ii} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^9 x_{ij}^2 \cdot y_j - \frac{1}{3} \sum_{j=1}^9 \bar{y}_j. \quad (5)$$

Изследването е направено за антена, която трябва да работи в ISM обхвата на честота 433,92 MHz. Като се имат предвид тези първоначалните данни, се избират планираните нива на вариране на факторите, чиито стойности са поместени в таблица №1.

Таблица №1

Нива на вариране	x_1	x_2
-1	190 mm	30°
0	205 mm	45°
+1	220 mm	60°

Резултатите от направените девет опита с комбинации от различните стойности на факторите са поместени в таблица №2, като Y_{SWR} отразява съгласуването на антената чрез коефициента на стояща вълна (КСВ), а Y_G – нейното усилване в dBi. Въз основа на тези стойности с помощта на формули (2) ÷ (5) са определени коефициентите, отразяващи влиянието на отделните фактори, както и на комбинацията от тях, върху изменението на параметъра Y

съответно за съгласуването и усилването на антената. Конкретните стойности са поместени в таблица №3.

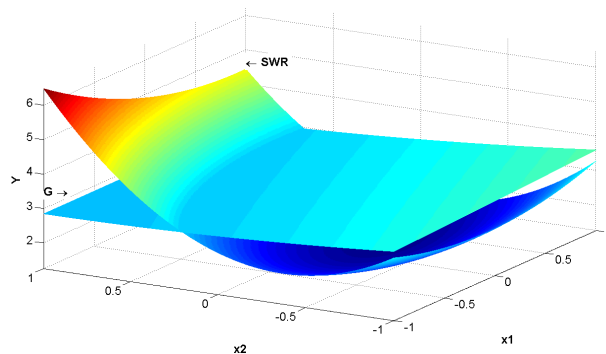
Таблица №2

i j	x_1 L, mm	x_2 $\alpha, ^\circ$	Y_{SWR}	Y_G
1	+1 220	+1 60	4,37	2,90
2	+1 220	0 45	1,47	3,13
3	+1 220	-1 30	3,42	3,61
4	0 205	+1 60	5,13	2,87
5	0 205	0 45	1,41	3,04
6	0 205	-1 30	2,44	3,42
7	-1 190	+1 60	6,32	2,84
8	-1 190	0 45	2,57	2,97
9	-1 190	-1 30	3,13	3,26

С помощта на зависимостта (1) и числовите стойности за коефициентите b може да се построят зависимостите на параметрите Y_{SWR} и Y_G в рамките на факторното пространство, което е направено с помощта на програмната среда на MATLAB [6] и е изобразено на фиг. 4.

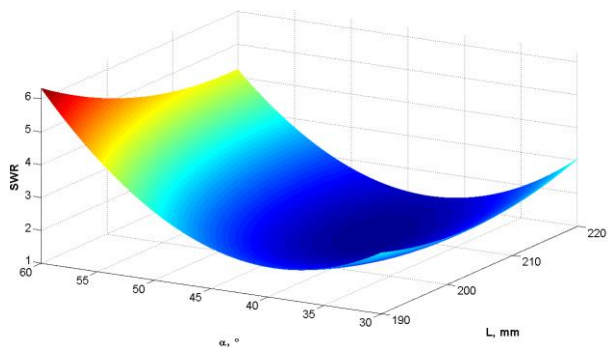
Таблица №3

	Y_{SWR}	Y_G
b_0	1,4478	3,0411
b_1	1,1383	-0,2800
b_2	-0,4600	0,0950
b_{12}	-0,5600	-0,0725
b_{11}	2,3183	0,1033
b_{22}	0,5533	0,0083



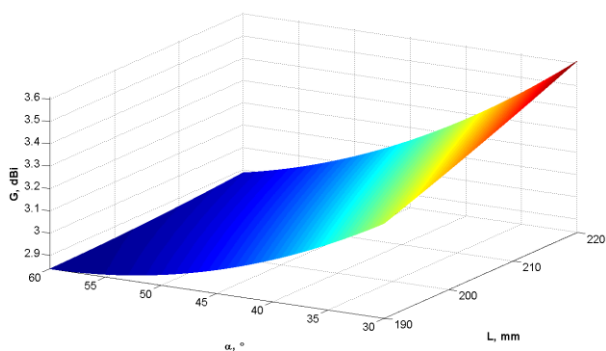
Фиг. 4. Изменение на параметрите Y_{SWR} и Y_G в рамките на факторното пространство

На фиг. 5 и фиг. 6 съответно са представени поотделно поведението на съгласуването и усилването на антената след привеждането на факторното пространство, дефинирано чрез x_1 и x_2 , към съответното в явен вид, определено чрез L и α .



Фиг. 5. Изменение на съгласуването при промяна на факторите L и α

Забелязва се, че има ясно изразен минимум на КСВ, който се получава при стойности $L = 209 \text{ mm}$ и $\alpha = 42^\circ$, докато коефициентът на усилване нараства сравнително слабо с увеличаване дължината на рамената и намаляване на ъгъла между тях.



Фиг. 6. Изменение на усилването при промяна на факторите L и α

За да се установи значимостта на коефициентите на моделите и тяхната адекватност с цел използването им в по-нататъчна компромисна оптимизация са направени няколко проверки. С използване на критерия на W. G. Cochran се доказва, че всички коефициенти в модела са значими. Поради това за оценка на адекватността на модела е използван t-критерият на Student (W. S. Gosset), с който е пресметната стойността t по формулата:

$$t = \frac{|Y_0 - b_0| \sqrt{m}}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_{Y_j}^2}}, \quad (6)$$

където:

Y_0 – стойност на параметъра за нулевите кодирани стойности на факторите (опит $j=5$);

m – брой на опитите;

S_{Y_j} – дисперсия на стойностите на параметъра в рамките на отделния опит.

В таблица №4 са поместени отчетените (означени с ') и моделните (означени с ") стойности на параметъра Y съответно за съгласуването и усилването на антената. В същата таблица са поместени и стойностите на дисперсията S_{Y_j} на тези параметри в рамките на отделния опит, която се изчислява по формулата:

$$S_{Y_j} = Y'_j - Y''_j. \quad (7)$$

Стойностите за съгласуването на моделния параметър Y'' са нормирани, като е прието, че долното му равнище е равно на най-ниската възможна стойност на КСВ, като по този начин се избягват нереални стойности на $КСВ < 1$.

Таблица №4

j	Съгласуване (SWR)			Усилване (G)		
	Y'_j	Y''_j	S_{Y_j}	Y'_j	Y''_j	S_{Y_j}
1	4,37	4,24	0,13	2,90	2,89	0,01
2	1,47	1,29	0,18	3,13	3,14	-0,01
3	3,42	3,06	0,36	3,61	3,61	0
4	5,13	4,72	0,41	2,87	2,85	0,02
5	1,41	1,19	0,22	3,04	3,04	0
6	2,44	2,40	0,04	3,42	3,43	-0,01
7	6,32	6,32	0	2,84	2,84	0
8	2,57	2,23	0,34	2,97	2,95	0,02
9	3,13	2,86	0,27	3,26	3,27	-0,01

Пресметнатите стойности за критерия на Student по (6) са $t_{SWR} = 0,445$ и $t_G = 0,286$. От направената проверка по неравенствата:

$$t_{SWR} = 0,445 < t_{0,02;9} = 2,821 \quad (8)$$

$$t_G = 0,286 < t_{0,02;9} = 2,821 \quad (9)$$

се доказва, че моделите са адекватни. Референтната стойността $t_{0,02;9} = 2,821$ е отчетена таблично [5].

За да бъде направена компромисна оптимизация с помощта на моделите за изменението на съгласуването и усилването на антената в рамките на факторното пространство е необходимо да се намери функцията $\Phi(\eta)$ на полезност, която има вида:

$$\Phi(\eta) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \eta_j(Y_M), \quad (10)$$

където $\eta_j(Y_M)$ е аргумент на функцията за полезност и той се определя по зависимостта:

$$\eta_j(Y_M) = \frac{k |Y_{Mj}(x_1, x_2) - Y_M(x_1, x_2)^{HY}|}{Y_M(x_1, x_2)_{\max} - Y_M(x_1, x_2)_{\min}}. \quad (11)$$

Във формула (10) $n = 2$, тъй като се прави компромисна оптимизация спрямо два параметъра, а в зависимост (11) са използвани следните символни означения:

$k = \pm 1$ – коефициент, с който се отчита максималната (+) или минималната (-) стойност е оптимална за изследвания параметър;

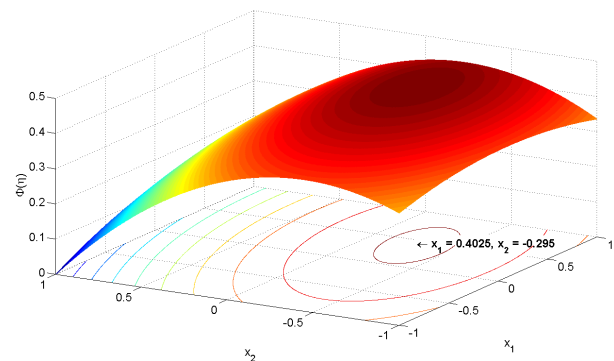
$Y_M(x1, x2)^{HY}$ – най-неудовлетворителната стойност на параметъра;

$Y_M(x1, x2)_{\max}$ – най-голямата стойност на параметъра;

$Y_M(x1, x2)_{\min}$ – най-малката стойност на параметъра.

На фиг. 7 е показано изображение на функцията за полезност в рамките на факторното пространство. При пресмятането и чрез тегловни коефициенти на аргументите за всеки параметър, участващ в компромисната оптимизация, е

отчетено тяхното различно по интензивност влияние върху мястото на оптимума. Например относителната промяна на усилването на антената в рамките на факторното пространство е значително по-малка спрямо тази на съгласуването, а то от своя страна играе важна роля за добрата работа на антената като цяло. Поради тази причина относителния дял на двата параметъра при определяне на функцията на полезност е избран да бъде 75% към 25% в полза на съгласуването.

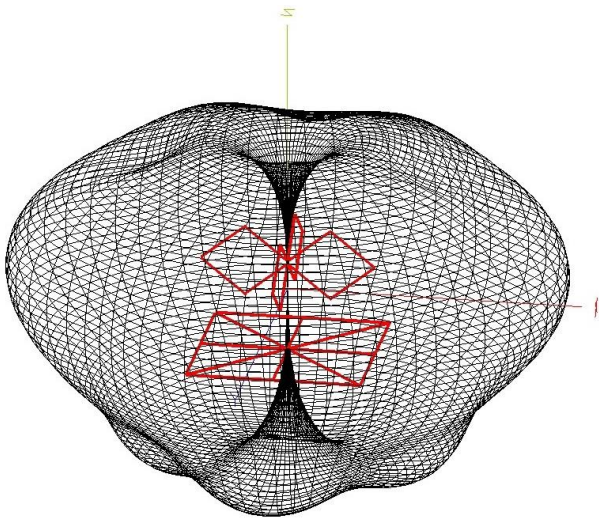


Фиг. 7. Изменение на функцията на полезност в рамките на факторното пространство

Компромисния оптимум се получава при максимума на функцията на полезност, което се получава при стойности на факторите $x_1 = 0,4025$ и $x_2 = -0,295$. След привеждане в явен вид се получава дължина на рамената на антената $L = 211 \text{ mm}$ (или $L = 0,305\lambda$ изразено като относителна част от дължината на вълната в свободното пространство) и ъгъл между тях $\alpha = 40^\circ$.

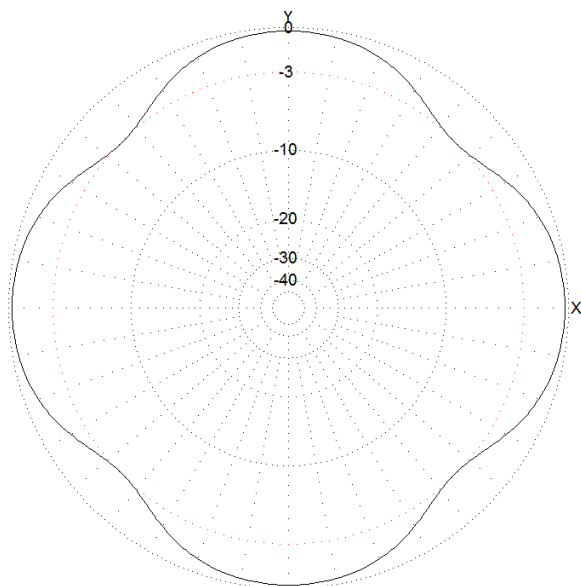
На фиг. 8 е показана изображение на триизмерната ДНД на 2biQUAD антена, получена чрез симулация при задаване на определените до тук оптимални геометрични параметри. На фиг. 9 и фиг. 10 съответно са илюстрирани съответно двумерните диаграми в H-равнина и в E-равнина. Наблюдава се, че е постигнато условието за относителна равномерност на излъчването в едната равнина. При разгледания по-рано възможен тип монтаж на антената, с ориентация и положение на отражателя успоредна и доближено до тавана се получава равномерно разпръскване на сигнал за потребителите,

разположени в хоризонтална равнина. В същото време е намалено излъчването надолу, където абонатите са близо до антената, а е подсилено това за тези, които се намират по-далече.

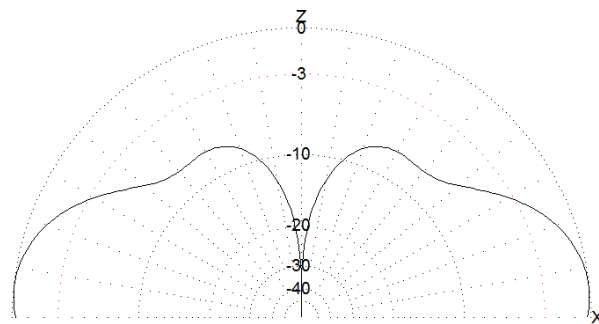


Фиг. 8. 3D ДНД на 2biQUAD антена с оптимални геометрични параметри

При направената симулация бяха отчетени стойности за КСВ = 1,15 и коефициент на усилване 3,14 dBi, които показват, че компромисната оптимизация е постигнала задоволителен резултат.



Фиг. 9. 2D ДНД в H-равнина на 2biQUAD антена с оптимални геометрични параметри



Фиг. 10. 2D ДНД в E-равнина на 2biQUAD антена с оптимални геометрични параметри

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените изследвания може да се направят следните изводи:

- 2biQUAD антената с отражател отговаря на изискванията за ненасочено излъчване в една равнина;
- чрез оптимизирането на геометричните и параметри се постига изключително добро съгласуване при запазване на възможно най-добро усилване;
- целесъобразно е да се търсят модификации на подобен тип антена за покриване на други изисквания за ДНД.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Suzin, H., Radio Wave Propagation for Telecommunication Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005.
- [2] Schwartz, M., Mobile Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005.
- [3] Jonson, R. C., Antenna Engineering Handbook, 3-rd ed., McGraw Hill, 1993.
- [4] Collin R. E., Antennas and Radiowave Propagation, McGraw-Hill, 1985.
- [5] Vuchkov I.N., Bojadjieva L.N., Quality Improvement with Design of Experiments. A response Surface Approach, "Kluwer Academic Publishers", Dordrecht, Netherland, 2001
- [6] MATLAB IMAGE PROCESSING TOOLBOX. User's Guide, "The Math - Works Inc.", 2000. www.mathworks.com

Авторът, д-р маг. инж. Климент Н. Ангелов е главен асистент в катедра РКВТ при ФТК, ТУ-София. За контакти: kna@tu-sofia.bg.

Авторът, Калина Калиновска е редовен студент по специалност „Телекомуникации“ в ФТК, ТУ-София. За контакти: kalina.kalinovska@gmail.com