

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА СГРАДИ С РАЗЛИЧНИ ПРОПОРЦИИ И ОРИЕНТАЦИЯ ПО ОТНОШЕНИЕ НА ПОЛУЧЕНАТА СЛЪНЧЕВА РАДИАЦИЯ

Ст. Иванова<sup>1</sup>

*Ключови думи:* пряка и дифузна слънчева радиация, анизотропно небе, PVGIS, енергийни загуби, енергийна ефективност, ефективни пропорции на сгради

*Научна област:* Автоматизация на инженерния труд

### РЕЗЮМЕ

Енергийната ефективност на една сграда има две страни. През зимата се целят максимални топлинни слънчеви печалби и минимални топлинни загуби. Първото се постига с по-голяма по площ външна повърхност, ориентирана към южното слънце, а второто – с по-компактна форма на сградата. В настоящата разработка с помощта на данни от PVGIS се изследват различни варианти на пропорции и ориентации на ортогонална по план сграда с фиксирани обем и разгъната площ, с цел да се определи в кои случаи се получава най-благоприятно съотношение на топлинни загуби и получена слънчева радиация за зимния и летния период.

### 1. Въведение

Определянето на най-добрата пропорция и ориентация спрямо географските посоки на една сграда с цел по-добро използване на слънчевата енергия не е тривиална задача. Търсенето на компромис между максимална по площ повърхност, ориентирана към слънцето през зимата, и компактна по формата си сграда, е оптимизационна задача, която зависи от географското местоположение, климатичните характеристики на района и топлинните характеристики на сградата. В настоящата статия са изследвани 42 варианта на пропорции и ориентации на разположена в София сграда с форма на паралелепипед с фиксиран обем (2916 m<sup>3</sup>) и разгъната площ (972 m<sup>2</sup>), но с различен брой етажи (всеки от тях с височина 3 m) и с различна околна повърхнина. Предмет на разглеждане са зимният период, разглеждан от 1 октомври до 31 март (6 месеца – 182 дни) и летният период – от 1 юни до 31 август (3 месеца – 92 дни).

---

<sup>1</sup> Ст. Иванова, гл. ас., УАСГ, каб. 6, solarina@online.bg

## 2. Описание на метода за изчисляване

Методът предвижда изчисляване и анализ на общите количества слънчева радиация (пряка, дифузна и отразена), получени от околната повърхнина на всеки от изследваните варианти, поотделно за зимата и лятото. Изчисленията се извършват с помощта на разработена от автора програма и използват данни, отразяващи анизотропния характер на дифузната радиация.

### 2.1. Определяне на общото количество падаща слънчева радиация по сезони

Изчисленията са извършени въз основа на данните за гр. София (местоположение: 42°41'47" North, 23°19'33" East, надморска височина: 554 m), предоставени от сайта на европейската информационна система PVGIS [1] на JRC. Използвани са техните средномесечни стойности на температура и дневна хоризонтална сумарна радиация. Въз основа на техни данни са изчислени средномесечни стойности на дневна сумарна радиация (сума от пряка, дифузна и отразена) върху вертикални стени, ориентирани в основните посоки: изток, запад, север, юг, показани в табл. 1. Тези данни се базират на наблюдения и измервания от 1981 до 1990 г. и на анизотропния модел на Т. Мунир [2], описан в [3] и реализиран в PVGIS от Хофиерка. Моделът описва начина на разпределение на дифузната слънчева радиация върху вертикални или наклонени повърхности. Приносът на дифузната радиация е важен, понеже тя съставлява повече от 50% от сумарната слънчева радиация през по-голямата част от годината.

**Таблица 1.** Средномесечни дневни стойности на сумарна слънчева радиация по хоризонтална и вертикални повърхности за София (по данни от PVGIS)

Месец	Хоризонтална [Wh/m <sup>2</sup> /day]	Изток [Wh/m <sup>2</sup> /day]	Север [Wh/m <sup>2</sup> /day]	Запад [Wh/m <sup>2</sup> /day]	Юг [Wh/m <sup>2</sup> /day]
януари	1420.00	878.50	366.00	878.50	2014.50
февруари	2090.00	1237.50	507.00	1237.50	2452.00
март	3030.00	1714.50	730.00	1714.50	2582.00
април	4280.00	2358.25	1004.75	2358.25	2685.50
май	5040.00	2653.25	1393.50	2653.25	2423.50
юни	5640.00	2973.00	1704.25	2973.00	2353.00
юли	5850.00	3079.00	1534.50	3079.00	2564.00
август	5340.00	2992.50	1180.75	2992.50	2981.00
септември	4040.00	2371.25	782.00	2371.25	3259.50
октомври	2660.00	1596.00	582.00	1596.00	2950.50
ноември	1530.00	925.00	395.50	925.00	2036.75
декември	1120.00	665.25	314.50	665.25	1561.50

Въз основа на данните в табл. 1 за всеки месец от годината се изчислява среднодневната, а после и сезонната сумарна слънчева радиация, падаща върху разглежданите 42 варианта, изредени в табл. 2, където *a* е размер на сградата в посока север/юг, *b* е размер в посока изток/запад и *h* е височината на сградата. Последните два размера *b* и *h* се променят кратно на 3 метра.

**Таблица 2.** Преглед на разглежданите варианти на пропорции

№	a [m]	b [m]	h [m]	№	a [m]	b [m]	h [m]	№	a [m]	b [m]	h [m]
1	54.00	9	6	15	32.40	15	6	29	23.14	21	6
2	36.00	9	9	16	21.60	15	9	30	15.43	21	9
3	27.00	9	12	17	16.20	15	12	31	11.57	21	12
4	21.60	9	15	18	12.96	15	15	32	9.26	21	15
5	18.00	9	18	19	10.80	15	18	33	7.71	21	18
6	15.43	9	21	20	9.26	15	21	34	6.61	21	21
7	13.50	9	24	21	8.10	15	24	35	5.79	21	24
8	40.50	12	6	22	27.00	18	6	36	20.25	24	6
9	27.00	12	9	23	18.00	18	9	37	13.50	24	9
10	20.25	12	12	24	13.50	18	12	38	10.13	24	12
11	16.20	12	15	25	10.80	18	15	39	8.10	24	15
12	13.50	12	18	26	9.00	18	18	40	6.75	24	18
13	11.57	12	21	27	7.71	18	21	41	5.79	24	21
14	10.13	12	24	28	6.75	18	24	42	5.06	24	24

## 2.2. Определяне на топлинните загуби

Оценката на топлинните загуби се извършва въз основа на методиката, описана в [4]. За целта използваме изчислените стойности за квадратури на външни стени, под, таван, както и прозорци с обща площ, равна на 1/6 от разгънатата площ на сградата, както и коефициенти на топлопреминаване за ограждащите елементи на сградите, отговарящи на максимално допустимите според актуализираната Наредба № 7 от 2009 г. [5] – 0.35 W/m<sup>2</sup>K за външни стени, 0.28 W/m<sup>2</sup>K за тавански плочи, 1.7 W/m<sup>2</sup>K за външни прозорци и врати.

Умножавайки температурната разлика между вътрешната (20°) и външната променяща се температура [1] по площта на всяка външна повърхност (стени, таван, прозорци, под) със съответния й коефициент на топлопреминаване и броя на часовете в интересувания ни период, с натрупване получаваме топлинните загуби за всеки от изследваните варианти.

## 3. Резултати и анализ

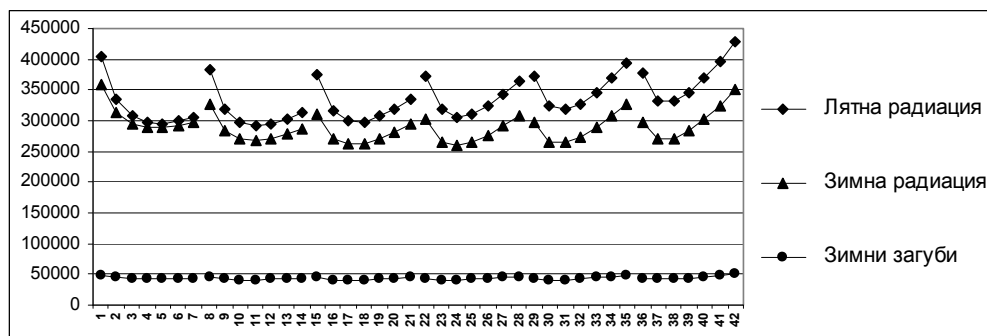
Числовите резултати за всеки от изследваните варианти, са показани в табл. 3:  $Q_{WL}$  – топлинни загуби за зимния период, [kWh];  $Q_{WR}$  – общото количество слънчева радиация, получена от всички повърхности на сградата за зимния период, [kWh];  $Q_{SR}$  – общото количество слънчева радиация, получена от всички повърхности на сградата за летния период, [kWh].

Видно е, че при използваните нормативни коефициенти на топлопреминаване, характерни за ограждащи елементи с много добри топлоизолационни свойства, зимните загуби са относително ниски и почти постоянни независимо от това, дали вариантът е относително компактен или не. Затова по-голям интерес представляват стойностите на получените от сградата количества слънчева енергия през зимата и лятото и тяхната връзка с формата на сградата.

**Таблица 3.** Получена сезонна слънчева радиация и топлинни загуби по варианти

№	Q <sub>WL</sub>	Q <sub>WR</sub>	Q <sub>SR</sub>	№	Q <sub>WL</sub>	Q <sub>WR</sub>	Q <sub>SR</sub>
1	48960	359716	403182	22	43891	301716	371941
2	44710	312965	334555	23	40908	266460	318294
3	43218	295337	307732	24	40683	260328	306451
4	42830	289359	297630	25	41562	265845	311329
5	42993	289205	295889	26	42993	277186	324567
6	43472	292379	298925	27	44740	291857	342583
7	44148	297634	304947	28	46683	308607	363585
8	46003	326884	382568	29	43650	297809	373184
9	42175	283965	318935	30	41089	266385	324531
10	41106	270169	297105	31	41287	264085	317681
11	41140	268022	291996	32	42588	273434	327552
12	41726	271700	295248	33	44442	288607	345784
13	42627	278706	303277	34	46610	307109	368793
14	43726	287793	314293	35	48976	327692	394789
15	44567	310250	374194	36	43680	296795	376614
16	41161	271163	315554	37	41541	269203	332954
17	40514	261198	298718	38	42162	270735	331097
18	40971	262884	298602	39	43886	283915	345961
19	41979	270394	306848	40	46161	302921	369187
20	43303	281232	319870	41	48753	325255	397189
21	44824	294151	335879	42	51541	349669	428178

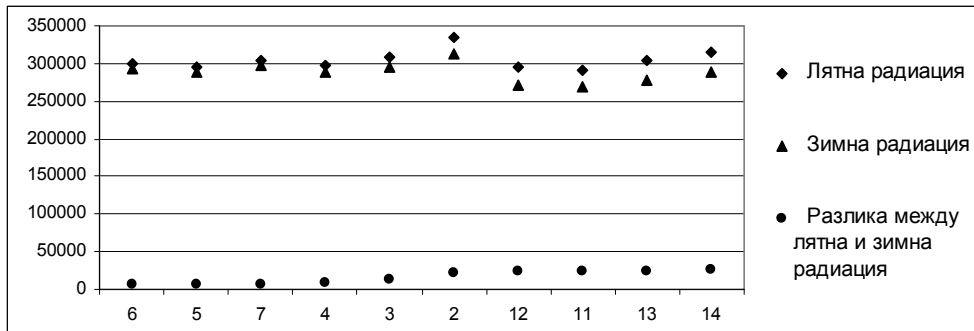
Резултатите по варианти от табл. 3 са визуализирани на фиг. 1. В графиките ясно се разграничават групите варианти с еднакъв размер  $b$  (изток / запад) на сградата.



**Фиг. 1.** Графика на получените летни и зимни количества слънчева радиация и на топлинните загуби за всички варианти

Големи стойности на получената зимна слънчева енергия са желателни, но най-благоприятни варианти са тези, при които те са съчетани с по-ниски стойности на получената лятна слънчева радиация, което означава по-малка необходимост от охлаждане. Затова изследваме вариантите според разликата между получените летни и

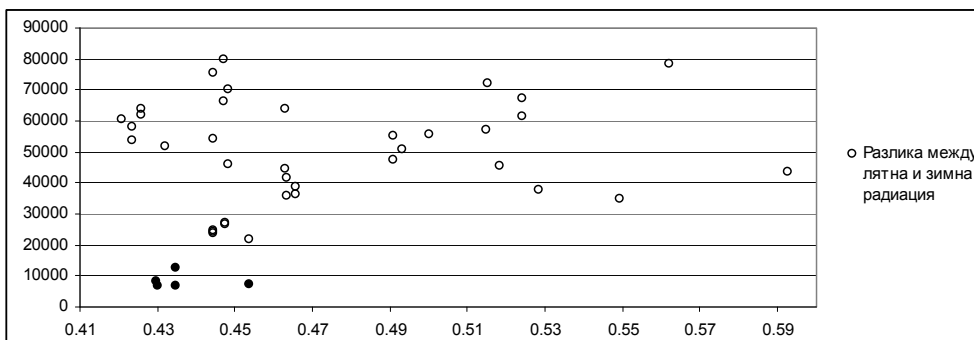
зимни количества слънчева радиация. Колкото тази разлика е по-малка, толкова по-благоприятна е пропорцията на сградата, обитавана целогодишно (фиг. 2).



**Фиг. 2.** Графика на зимни и летни количества получена слънчева радиация, и разликата между тях за най-добрите 10 варианта за целогодишно обитаване

От този принцип следва, че най-добри за целогодишно обитаване са варианти № 6 (15.4 x 9 x 21 m), 5 (18 x 9 x 18 m), 7 (13.5 x 9 x 24 m), 4 (21.6 x 9 x 15 m), 3 (27 x 9 x 12 m) и т.н. За всички тях е характерен минимален размер 9 м в посока изток / запад (предпоставка за минимално количество лятна слънчева радиация) и максимална фасадна площ в посока юг.

Нека съставим графика, на която в хоризонтална посока нанесем числото на фактора на формата (околна повърхнина, разделена на обема) на всеки вариант, а във вертикална посока – разликата между получената лятна и зимна радиация (фиг. 3). Най-добрите решения с минимални разлики и минимален фактор на формата (характерен за компактни по форма сгради) трябва да търсим в долния ляв ъгъл на графиката. И действително там намираме отново същите варианти (отбелязани с черни точки) – № 6, 5, 7, 4, 3, което потвърждава направените по-горе изводи.



**Фиг. 3.** Графика на взаимовръзката между фактора на формата (по ос X) и разликата между летни и зимни количества получена слънчева радиация (по ос Y) за всички варианти

#### 4. Изводи и дискусия

От посочените примери се вижда, че най-добрите сгради за целогодишно обитаване са тези, при които е налице комбинация от максимална по площ южна фасада, минимални по площ фасади в посока изток / запад и минимален фактор на формата. Начинът, по който падащата върху повърхността на сградата слънчева енергия може да бъде оползотворена през зимата и да премине във възможно по-големи топлинни печалби, е дискуссионен и подлежи на допълнително разглеждане. Един възможен подход е да се остави по-голяма част от южната фасада остъклена, а плътните ѝ части да бъдат оцветени в по-тъмни цветове от останалите фасади. Друг възможен подход е върху нея да се монтират слънчеви колектори.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Photovoltaic Geographical Information System, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
2. Muneer, T., Solar radiation and Daylight models, Elsevier, 1997, 2004
3. Hofierka, J., Šúri M., The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications, *Open source GIS - GRASS users conference*, Trento, Italy, 2002
4. Кръстева А., К. Коев, В. Пеев, Моделиране на топлинните загуби и потребената топлина за конкретен обект, *Научни трудове на Русенския Университет – 2008*, том 47, серия 9
5. НАРЕДБА № 7 ЗА ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ, ТОПЛОСЪХРАНЕНИЕ И ИКОНОМИЯ НА ЕНЕРГИЯ В СГРАДИ – 2004, 2009 г.

### A STUDY OF THE ENERGY EFFECTIVENESS OF BUILDINGS WITH DIFFERENT PROPORTIONS AND ORIENTATION IN REGARDS OF UTILISATION OF THE SOLAR RADIATION

St. Ivanova<sup>2</sup>

**Keywords:** *direct and diffuse solar radiation, anisotropic sky, PVGIS, energy losses, energy effectiveness, effective proportions of buildings*

**Research area:** *Computer Aided Engineering*

#### ABSTRACT

The energy effectiveness of a building has two sides. The object is to have maximum heat solar gains and minimum heat losses in the winter period. For this we need bigger external surface to the southern winter sun, for the second – more compact shape of the building. In this work we study different variants of proportions and orientations of an orthogonal building with a fixed total floor area and volume in order to find the variants with best balance of heat losses and solar gains in the winter and summer seasons.

---

<sup>2</sup> St. Ivanova, UACEG, solarla@online.bg