Механика Транспорт Комуникации

ISSN 1312-3823 (print)
ISSN 2367-6620 (online)
том 23, брой 3, 2025 г.

Научно списание **http://www.mtc-aj.com** **статия № 2747**

ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕТО НА СГРАДА "РЕКТОРАТ" КЪМ ВТУ „ТОДОР КАБЛЕШКОВ" – СОФИЯ

Любомир Секулов, Мартина Томчева, Ирина Асенова, Валентин Гайдаров, Николай Велев, Борислав Цветанов, Христина Спиридонова
l_sekulov@vtu.bg, mtomcheva@vtu.bg, iasenova@vtu.bg, vgaydarov@vtu.bg, eet@vtu.bg, ef@vtu.bg, hspiridonova@vtu.bg

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков",
София 1574, ул. „Гео Милев" № 158
БЪЛГАРИЯ

***Резюме**: Изследването е насочено към разхода на енергия, топлинна и електрическа, за сграда "Ректорат", разположена на територията на ВТУ „ТОДОР КАБЛЕШКОВ". Сграда "Ректорат" представлява административна сграда, функционираща целогодишно, чиято дейност не зависи от учебния процес. Енергопотреблението на сградите е функция на тяхното предназначение и е основният показател за определяне на енергийната ефективност. То засяга както преноса на топлинната енергия и нейното акумулиране, така и консумираната енергия за отопление, охлаждане, вентилация, гореща вода и осветление. Енергията получена от пасивни слънчеви системи и слънчева защита, системи от възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), (включително помпи) също влияе на енергопотреблението и участва в определянето на различните енергийни класове. Близо 90 % от нереновираните сгради в България попадат в класове "E", "F" или "G"(при специфично потребление на първична енергия >290 kWh/m² год). Енергийната сградна характеристика е изразена като интегриран показател за специфичен разход на енергия в kWh/m² год. и има екологичен еквивалент на причинени емисии въглероден диоксид (CO2). Анализът на енергопотреблението на сграда "Ректорат" би спомогнал за определянето на мерки за намаляването на енергопотреблението и повишаване комфорта на работната среда на администрацията, както и би довело до икономически ефект. Целта на доклада е получаване на действително необходимата енергия за поддържане на микроклимата в сградата при ефективно управление на енергопотреблението.*

***Ключови думи:** енергия, отопление, енергийна ефективност, топлопредаване, слънчева радиация.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Рационалното използване на енергийните ресурси днес е една от най-важните глобални задачи пред човечеството, която има решаващо значение за по-нататъшното развитие на световното общество и съхранение на неговата среда за обитаване. Сградата "Ректорат" е триетажна със сутерен, с разгъната застроена площ (РЗП) 432 m^2 и подпокривно пространство. Височината на трите етажа е по 2,60 m, което определя и обема на сградата 842,4 m^3.

Постъпилата топлинна енергия в сградата не се използва за подгряване на битова гореща вода (БГВ), а се ползва само за отопление. В сградата има монтирани 8 инверторни климатика с обща инсталирана мощност в режим на отопление 17,6 kW и един проточен бойлер за топла вода 2 kW. Сградата към момента не разполага с източник на енергия от ВЕИ.

ОПРЕДЕЛЯНЕ ОБЩАТА ПЪРВИЧНА ЕНЕРГИЯ ЗА НУЖДИТЕ НА СГРАДА "РЕКТОРАТ"

Брутната потребна енергия за сградата има еквивалентна стойност на т.нар. „първична енергия". Това е количеството енергия, получено като сума от доставената енергия и загубите

от производството, преноса и разпределението до сградата, т.е. еквивалентното количество енергия, която не е била обект на процес на превръщане и/или преобразуване [1].

Съобразно действащите разпоредби "Първична енергия" е количеството енергия, която не е била обект на процес на превръщане и/или преобразуване. Първичната енергия се определя като "обща първична енергия" ($E_{P,tot}$, kWh) – представлява сумата на количеството първична енергия от невъзобновяеми източници и количеството първична енергия от възобновяеми източници. "Първична енергия от невъзобновяеми източници" ($E_{\mathrm{P,nren}}$, kWh) е количеството първична енергия за сградата от невъзобновяеми източници. "Първична енергия от възобновяеми източници" ($E_{\mathrm{P,ren}}$, kWh) е количеството енергия, оползотворено от възобновяеми източници. Първичната енергия за определяне на класа на енергопотребление на сграда се определя на база $E_{\mathrm{P,nren}}$, kWh, а делът на възобновяемата енергия – на база $E_{P,tot}$, [2, 4].

(1) $$f_{P,tot} = f_{P,nren} + f_{P,ren}$$

където:

$f_{P,tot}$ – фактор на общата първична енергия на i-тия енергиен ресурс;

$f_{P,nren}$ – фактор на първичната невъзобновяема енергия;

$f_{P,ren}$ – фактор на първичната възобновяема енергия.

Стойностите на трите фактора на първичната енергия са дадени в таблица 1, като референтните стойности "$f_{P,nren}$" са съгласно таблица 2 [2, 3, 4].

Таблица 1 Референтен коефициент, отчитащ загубите за добив/производство и пренос на енергоресурси и енергия и коефициент на екологичен еквивалент на енергоресурси и енергия

Вид енергиен ресурс/енергия	$f_{P,nren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$	**KCO2 e**
	-			**g CO/KWh**
Изкопаеми горива				
Твърдо	1,1	0	1,1	360
Течно	1,1	0	1,1	290
Газообразно	1,1	0	1,1	220
Биогорива				
Биогориво твърдо	0,2	1	1,2	40
Биогориво течно	0,5	1	1,5	70
Биогориво газообразно	0,4	1	1,4	100
Централизирано топлоснабдяване				
Топлина от централизирано топло-снабдяване	1,3	0	1,3	290
Електричество от отдалечен източник				
Електричество	2,3	0,2	2,5	486
Енергия, подавана от носител на място и в близост				
Слънчева - PV електричество	0	1	1	0
Слънчева - термална	0	1	1	0
Вятърна	0	1	1	0
От околната среда: Гео-, аеро-, хи-дротермална	0	1	1	0

Таблица 2 Референтните стойности "$f_{P,nren}$"

Вид оборудване	**Референтни стойности**	
1. Осветление в жилищни и административни сгради		
Средногодишни работни часове в жилищните сгради	1000	h/год.
Средногодишни работни часове в административните сградите	2500	h/год.
2. Офис оборудване		
Средногодишни работни часове на настолни компютри в активен режим	2279	h/год.

Средногодишни работни часове на настолни компютри в стендбай режим	3196	h/год.
Средногодишни работни часове на монитори в активен режим	2586	h/год.
Средногодишни работни часове на монитори в стенд-бай режим	3798	h/год.
Средногодишни работни часове на лаптопи в активен режим	2613	h/год.
Средногодишни работни часове на лаптопи в стенд-бай режим	2995	h/год.

Първичната енергия за i-тия енергиен ресурс $E_{P,tot}$ в kWh за определяне на класа на сградата се определя по формулата:

(2) $$E_{P,tot} = \sum_{i=1}^{n} Q_i \, f_{P,nren} \, , kWh$$

където:

$E_{P,nren}$ е количеството първична енергия, kWh;

Q_i количеството брутна потребна енергия с i-тия енергиен ресурс, kWh;

$f_{P,nren}$ – фактор на първичната невъзобновяема енергия.

За 2024 година са направени измервания на двата основни вида енергия от първични носители топлинна и електрическа като резултатите са показани в таблица 3, където Q_t е топлинното потребление, а Q_{el} е електрическо потребление.

Таблица 3 Топлинно и електрическо потребление за 2024 година

Години/месеци	**2024 г.**	**2024 г.**
Енергия	**Q_t, kWh**	**Q_{el}, kWh**
Януари	26520	2290
Февруари	13670	2630
Март	9890	2910
Април	-	2950
Май	-	2680
Юни	-	2260
Юли	-	1890
Август	-	2340
Септември	-	1950
Октомври	520	2840
Ноември	17210	1830
Декември	13880	3660
Общо	**81690**	**30240**

$$E_{P,tot} = 1{,}3 \, . \, 81690 + 2{,}3 \, . \, 30240 = 175949, kWh$$

Най-общо, класът на енергийна ефективност на една сграда се определя на база на специфичната консумация на първична енергия за единица отопляема площ.

В конкретния случай това е 406,826 kWh/m^2 годишно.

Измереното месечно енергопотребление на топлоподаването за месец Януари 2025 г. е 28510 kWh, което е необходимо за целите на доклада.

ТЕХНИЧЕСКИТЕ КРИТЕРИИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА РАЗХОД НА ЕНЕРГИЯ И КЛАСА НА ЕФЕКТИВНОСТ

Техническите критерии за определяне на основни показатели за разход на енергия и топлосъхранение за сграда “Ректорат” са:

- годишната потребна топлина за отопление на един квадратен метър полезна площ – за жилищни сгради;
- коефициентът на специфични топлинни загуби от топлопреминаване на ограждащите конструкции и елементи [2, 3].

Отопляемото пространство се определя преди изчисляване на топлотехническите характеристики на сградата. Сградните елементи се разглеждат като граници на отопляемото

пространство, като площта на външните ограждащи конструкции и елементи A се определя по външните им размери [2, 3].

Нетният отопляем обем на сградата V се определя по вътрешните размери съгласно БДС EN ISO 13789. За опростени изчисления V може да се определя по формулата [4]:

(3) $V = 0{,}8.V_e,$

където:

V_e е обемът на сградата.

За сграда "Ректорат" нетният отопляем обем е 673,92 m^3 .

Коефициентът на специфични топлинни загуби от топлопреминаване през сградните ограждащи конструкции и елементи Ht' се определя по формулата:

(4) $H_t' = \frac{H_t}{A},$

където:

H_tе коефициентът на топлинни загуби от топлопреминаване.

Максималните нормативни стойности на годишната потребна топлина за отопление на един квадратен метър полезна жилищна площ ($\frac{Q_{h\,max}}{A_u}$) в зависимост от фактора на формата

(5) $f_o = \frac{A}{V_e}$

и денградусите (DD) при температура на вътрешния въздух, по-висока от 19 °C, са определени в табл. 4.

За сграда "Ректорат" факторът на формата f_o= 0.51, m^{-1} .

Таблица 4 Нормативни стойности за годишната потребна топлина за отопление

f_o, m^{-1}	$\frac{Q_{h\,max}}{A_u}$, kWh/m²			
	DD.K.d			
	2100	2500	2900	3300
<0,2	50,0	51,8	54,0	56,5
0,3	55,4	57,3	59,4	61,9
0,4	60,8	62,7	64,8	67,3
0,5	**66,2**	**68,1**	**70,2**	**72,7**
0,6	71,6	73,5	75,6	78,1
0,7	77,1	78,9	81,1	83,6
0,8	82,5	84,3	86,5	89,0
0,9	87,9	89,7	91,9	94,4
1,0	93,3	95,1	97,3	99,8
> 1,05	96,0	97,84	100	102,5

За административни сгради класа се определя според таблица 5:

Таблица 5 Клас на енергийна ефективност за административни сгради

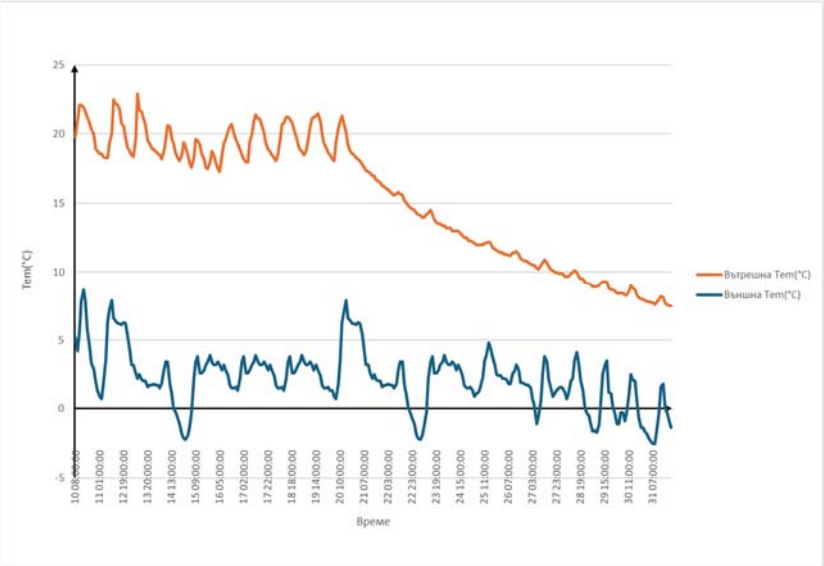
Клас	EPmin, kWh/m²	EPmax, kWh/m²	АДМИНИСТРАТИВНИ
A+	<	70	A+
A	70	140	A
B	141	280	B
C	281	340	C
D	341	400	D
E	401	500	E
F	501	600	F
G	>	600	G

Показателят на енергийни характеристики "годишно потребление на енергия за отопление" (kWh/год,) при нови и съществуващи сгради, в които се използват локални отоплителни източници, за които не е налична продуктова информация от производителя им, се допуска да се изчисли със сезонна енергийна ефективност съгласно данните в таблица 3.

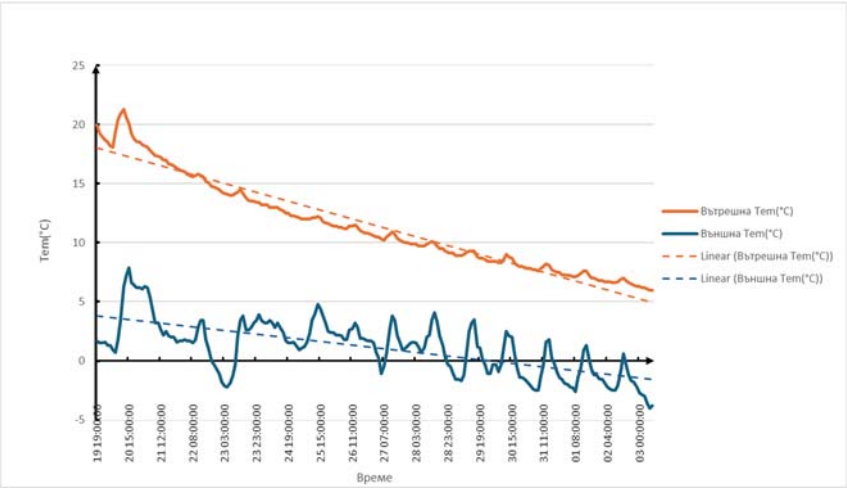
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕТО В РЕЖИМ НА ЕСТЕСТВЕНО ОХЛАЖДАНЕ НА СГРАДАТА

На следващите фигури са дадени режимите на естествено охлаждане на сграда „Ректорат“ за месец декември 2024 година и месец януари 2025 година. Този режим е постигнат чрез изключване на централното парно отопление и съвпада с новогодишните отпуски на служителите, работещи в сградата. Това определя и отсъствието на допълнително електрическо отопление.

В периода от 21.12.2024 г. до 03.01.2025 г. температурата се е понижила от 20 ^{0}C до 6 ^{0}C по експонента, като е доближила стойностите на външната температура.



Фиг. 1 Външна и вътрешна температура на сграда Ректорат за периода от 10.12 до 30.12.2024 година

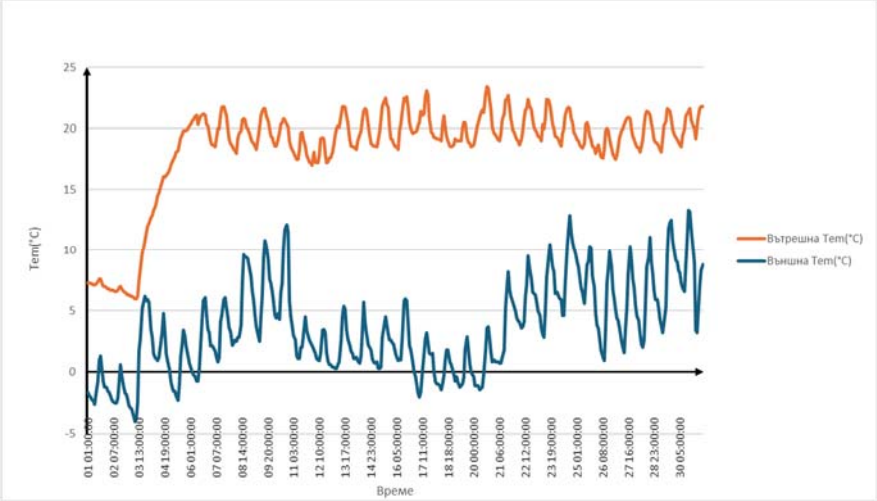


Фиг. 2 Външна и вътрешна температура на сграда Ректорат за периода от 19.12.2024 до 03.01.2025 година режим на изстиване

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕТО В РЕЖИМ НА ЗАТОПЛЯНЕ НА СГРАДАТА

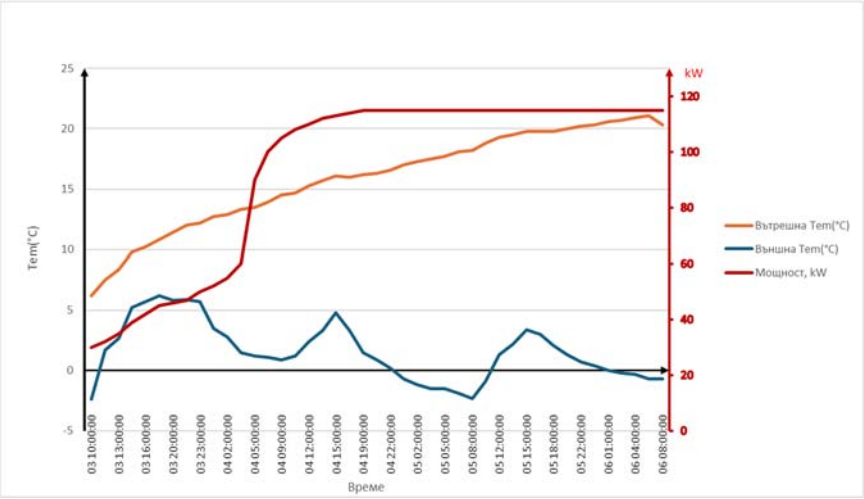
В периода от 03.01. до 06.01.2025 година започва затопляне на сградата посредством централно парно отопление. За същия период липсва електрическо отопление и показанията са резултат само на централното парно отопление.

Достигането на номиналната настроена температура от системата за управление на парната инсталация се осъществява на 06.01.2025 година и започва регулиране на мощностите.



Фиг. 3 Външна и вътрешна температура на сграда Ректорат за периода от 01.01 до 30.1.2025 година

На фиг. 4 е показана измерената стойност на топлоподаваната мощност (обозначена с червен цвят на графиката) от момента на включване на 03.01.2025 година до 06.01.2025 година, когато започва регулиране на отоплението.



Фиг. 4 Външна и вътрешна температура на сграда Ректорат за периода от 03.01 до 06.01.2025 година режим на подгряване

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В режим на регулиране на отоплението в празнични дни (събота и неделя) дневното енергопотребление е между 300 и 360 kWh на ден при топлоподаване три часа на денонощие.

За периода 03.01.-06.01.2025 г., когато сградата е изстинала, енергопотреблението за денонощие е 2736 kWh, като топлоподаването е постоянно на максимална мощност и за целия период са изразходвани 8208 kWh, като за целия Януари е близо 1/3 от енергопотреблението.

Спестената топлоенергия от момента на изключването до момента на включване на топлоподаването е в размер на 5200 kWh, при положение, че топлодаването работи в празничен режим.

Слънчевата радиация е изразена на фиг. 2 с оранжев цвят посредством минимално повишаване на стойностите и нарушаване правилната форма на експонентата. Очевидно стойностите са незначителни и слънчевата радиация не оказва влияние на енергийното потребление за периода.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Димитров А. Съвременна топлотехника и енергетика", ISBN 978-954-12-0183-1. Печатница ВТУ "Тодор Каблешков", София 2011 г.
[2] НАРЕДБА № 7 от 15.12.2004 г. за енергийна ефективност на сгради (загл. изм. - ДВ, бр, 85 от 2009 г., изм. – ДВ, Бр. 27 от 2015 г., в сила от 15.07.2015 г.)
[3] НАРЕДБА № Е-РД-04-2 от 22.01.2016 г. за показателите за разход на енергия и енергийните характеристики на сградите, издадена от министъра на енергетиката и министъра на регионалното развитие и благоустройството, обн. ДВ бр. 10 от 5.02.2016 г., в сила от 7.03.2016 г.
[4] НАРЕДБА №РД-02-20-3 от 9 ноември 2022 г, за техническите изисквания към енергийните характеристики на сгради. В сила от 18.11.2022 г.

RESEARCH AND ANALYSIS OF THE ENERGY CONSUMPTION OF THE "RECTORATE" BUILDING AT VTU "TODOR KABLESHKOV" – SOFIA

Lyubomir Sekulov, Martina Tomcheva, Irina Asenova, Valentin Gaydarov, Nikolay Velev, Borislav Tsvetanov, Hristina Spiridonova
l_sekulov@vtu.bg, mtomcheva@vtu.bg, iasenova@vtu.bg, vgaydarov@vtu.bg, eet@vtu.bg, ef@vtu.bg, hspiridonova@vtu.bg

Todor Kableshkov University of Transport,
Sofia, Geo Milev Str. 158,
BULGARIA

Abstract: *The study is aimed at the energy consumption, thermal and electrical, for the "Rectorate" building, located on the territory of VTU "Todor KABLESHKOV". The "Rectorate" building is an administrative building operating year-round, whose activity does not depend on the educational process. The energy consumption of buildings is a function of their purpose and is the main indicator for determining energy efficiency. It affects both the transfer of thermal energy and its accumulation, as well as the energy consumed for heating, cooling, ventilation, hot water and lighting. The energy obtained from passive solar systems and solar protection, systems from renewable energy sources (RES), (including pumps) also affects energy consumption and participates in determining the different energy classes. Nearly 90% of unrenovated buildings in Bulgaria fall into classes "E", "F" or "G" (with specific primary energy consumption >290 kWh/m² year). The energy building characteristic is expressed as an integrated indicator for specific energy consumption in kWh/m2 year. and has an ecological equivalent of carbon dioxide (CO2) emissions. The analysis of the energy consumption of the "Rectorate" building would help determine measures to reduce energy consumption and increase the comfort of the administration's working environment, as well as lead to an economic effect. The purpose of the report is to obtain the actually necessary energy to maintain the microclimate in the building with effective management of energy consumption.*

Key words: *energy, heating, energy efficiency, heat transfer, solar radiation.*