



Получена: 10.10.2022 г.

Приета: 07.11.2022 г.

АНАЛИЗ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ТОПЛОИЗОЛИРАНЕ ЗА ЕТАЖ ПРИ КОМБИНИРАНЕТО МУ СЪС СЪСЕДНИТЕ ЕТАЖИ ПО ВИСОЧИНА

Пл. Чобанов¹, Л. Чобанова²

Ключови думи: енергийна ефективност, топлоизолиране, топлинен мост, саниране на сгради, енергиен разход, TePol

РЕЗЮМЕ

По-високите изисквания за енергийна ефективност в новопостроените сгради засилват вниманието към влиянието на топлинните мостове върху топлинните характеристики на сградата. Високоэффективните в топлотехническо отношение сградни обвивки се превръщат в един широко прилаган и достъпен метод за постигане на тази цел. Допълнителните топлинни загуби от топлинните мостове трябва да се контролират и намалят, за да могат да се постигнат целевите потребление на енергия за отопление и охлаждане.

Чрез разработването на няколко „типични“ случаи (детайли) се проверява влиянието на топлоизолирането върху ограждащата сградна конструкция в примерна жилищна сграда. Разглеждат се варианти с изместена във височина (нагоре или надолу) топлоизолация и се извършва анализ, т.е. числена проверка на базата на комбинация от варианти, на ефективността на топлоизолирането (саниране) за етаж на линеен метър. Целта на настоящата статия е да даде количествени данни за загубите на топлина на линеен метър, както и за енергийните разходи за отопление при съществуващото състояние на цените за всеки един от разработените детайли.

¹ Пламен Чобанов, проф. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: Chobanov_fce@uacg.bg

² Лидия Чобанова, докт. арх., кат. „Технология на архитектурата“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: L.Chobanova_far@uacg.bg

1. Въведение

Глобалните климатични промени, засилващи се през последните 20-30 години, а също и значителният ръст на цените на енергоизточниците, налагат все по-ефективно използване на енергията във всички области на човешката дейност. Енергията, изразходвана в сградите в различните страни, се движи между 40 и 50% от общите енергийни потребности.

Топлинните характеристики на строителните материали и изделия, които изграждат сградната обвивка, са основен фактор за загубите на топлина през нея. Топлинните мостове са зони, в които съпротивлението на топлопреминаване се променя значително по една от следните причини [1]:

- промяна в геометрията – изменение на конфигурацията на елемента (при външни и вътрешни ъгли, връзка между стена и покрив, връзка между стена и под, връзка между външни и вътрешни стени и др.);
- промяна в дебелината на елемент или отделен пласт;
- пълно или частично наличие в сградната обвивка на елементи, изготвени от материали с различна топлопроводимост.

Допълнителен фактор за влиянието на топлинните мостове е необходимостта да се гарантира устойчивостта на сградите в сеизмично отношение. Държавите се разделят на две групи по конструктивен признак: 1) държави, намиращи се в райони със сеизмична стабилност, където сградите се проектират и строят само за вертикални натоварвания, и 2) държави в региони със сеизмична активност, където се строят сгради, понасящи сеизмични въздействия, при които строителните конструкции са много по-различни от първите. Във втория случай сградите включват множество материали и детайли, които са проблемни по отношение на енергийните загуби. Това особено се отнася за топлинните мостове, които са характерни за сеизмичното строителство, с най-голям (над 40%) относителен принос в общите топлинни загуби на сградите [2].

2. Проблем

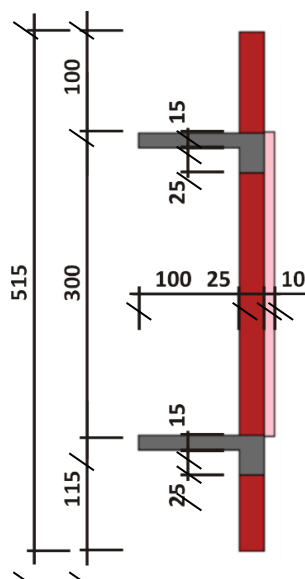
Съществуващите сгради у нас са изпълнени с различни по вид ограждащи конструкции: зидове от плътни тухли, от решетъчни тухли, от кухи керамични блокове; панели, изпълнени от керамзитобетон, трислойни фасадни панели и др. Те са обикновено с недостатъчна топлоизолационна способност. Коефициентът на топлопреминаване U [3] на тези ограждащи конструкции варира от $1 \div 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ при нормативно изискване от $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Наличието на такова разнообразие от ограждащи конструкции изисква прилагането на мерки, които да подобрят работата в топлотехническо отношение в тези зони и да намалят ефекта на топлинните мостове в този вид конструкции. За целта е избран за анализ типичен детайл на етаж с ограждаща конструкция от тухли с хоризонтални кухини („четворка“). Подовите плочи са от стоманобетон с дебелина 15 cm и греди към тях с височина от 40 cm. Изчисленията са извършени със следните проектни стойности на коефициентите на топлопроводност на използваните материали и при следните условия – вж. табл. 1:

Таблица 1. Параметри за количествен анализ

Материали и условия	Стойности
Стоманобетон, съгласно [4]	$\lambda_{ui} = 1,63 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Тухла с хоризонтални кухини („четворка“), съгласно [4]	$\lambda_{ui} = 0,52 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Експандиран пенополистирен (EPS), средно претеглена стойност за българския пазар	$\lambda_{ui} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Температура на вътрешния въздух	$\theta_i = +20 \text{ }^\circ\text{C}$
Температура на външния въздух	$\theta_e = -16 \text{ }^\circ\text{C}$
Температурна разлика между вътрешния и външния въздух	$\Delta\theta = 36 \text{ K}$
Съпротивление при топлопредаване за вътрешна повърхност	$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)}/\text{W}$
Съпротивление при топлопредаване за външна повърхност	$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)}/\text{W}$

Детайл на вертикален разрез на типов етаж на жилищна сграда с неговите геометрични размери е показан на фиг. 1.



Фиг. 1. Геометрични размери на типов детайл от разрез от жилищен етаж, в см

3. Анализ

3.1. Анализ на топлинните потоци без отчитане на топлинните мостове при плочите и гредите

Съпротивлението на топлопреминаване R_T [3] за ограждащ елемент, реализиран чрез зидана стена, се определя по форм. (1):

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}, \quad (1)$$

където R е приносът само на зида (еднослоен елемент) и се изчислява по форм. (2):

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (2)$$

където d е дебелина на зида в m, а λ – коефициент на топлопроводност на зида, $W/(m \cdot K)$.

При известни стойности на R_{si} , R_{se} , d и λ (вж. табл. 1), за R_T следва:

$$R_T = 0,13 + 0,25/0,52 + 0,04 = 0,65077 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}.$$

Коефициентът на топлопреминаване U [3] за разглежданата зидана стена се определя чрез форм. (3):

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (3)$$

от която се получава за $U = 1 / 0,65077 = 1,53664 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$.

Топлинният поток Q през зидана стена с височина 5,15 m без топлоизолация (ТИ) и без отчитане на топлинните мостове при плочите и гредите, при температурна разлика 36 K, се изчислява по следния начин: $Q = 1,53664 \cdot 36 \cdot 5,15 = 284,893 \text{ W/m}$.

Съпротивлението на топлопреминаване R_T [3] на стената, изолирана с 10 cm EPS, се определя по форм. (1), където R е компонента на топлопревеждане на зидана стена с добавена изолация и се изчислява по форм. (4):

$$R = \sum_{j=1}^N \frac{d_j}{\lambda_j}, \quad (4)$$

Следователно $R_T = 0,13 + 0,25/0,52 + 0,1/0,035 + 0,04 = 3,50791 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$.

При тази стойност на R_T , коефициентът на топлопреминаване U [3] на стената, изолирана с 10 cm EPS, се изчислява по форм. (3) и се определя като: $U = 1/3,50791 = 0,28507 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Топлинният поток Q през зидана стена с височина 5,15 m с ТИ от 10 cm EPS, без отчитане на топлинните мостове при плочите и гредите, при температурна разлика 36 K, се изчислява по следния начин: $Q = 0,28507 \cdot 36 \cdot 5,15 = 52,852 \text{ W/m}$.

Изчислените топлинни потоци са в W/m и се отнасят за 1 m от дължината на стенното ограждане. Общата височина на разглеждания детайл е 5,15 m.

Топлинните загуби за 24 часа през 1 m от дължината на стенното ограждане за разглеждания детайл, с височина 5,15 m, при температурна разлика 36 K и без отчитане на топлинните мостове при плочите и гредите, са:

- при липса на изолация – $284,893 \cdot 24 = 6,837 \text{ kWh}$;
- с изолация – $52,852 \cdot 24 = 1,268 \text{ kWh}$.

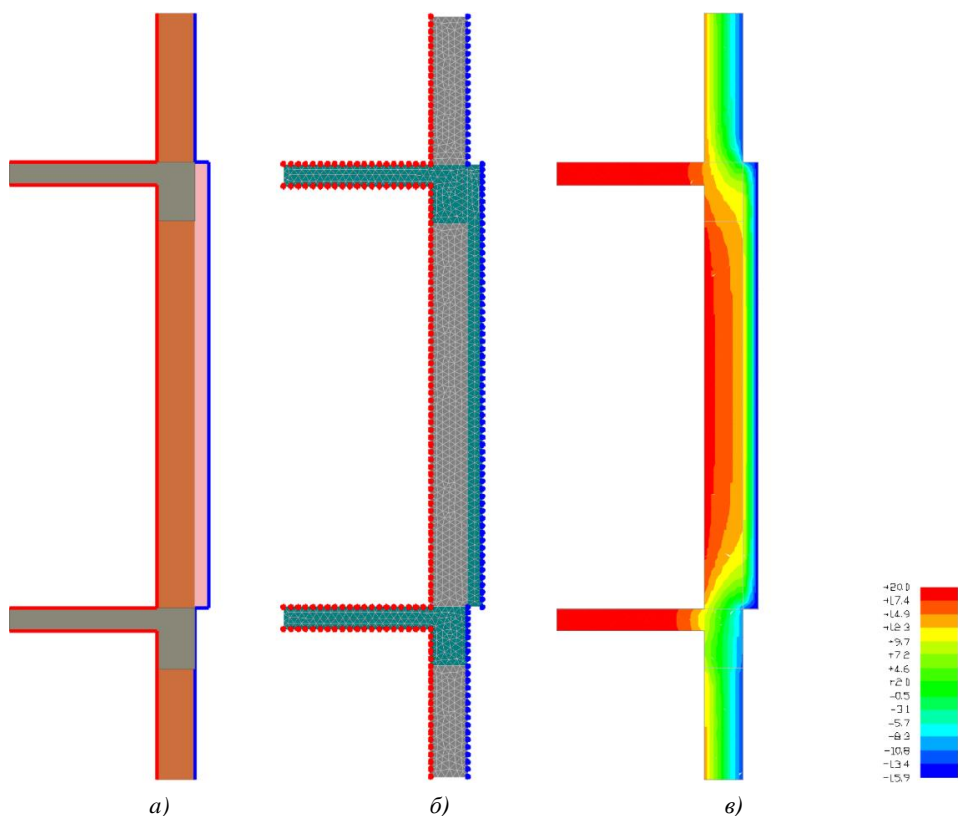
За разглежданите случаи отношението на топлинните потоци (без и с изолация) за 1 m от дължината на стенното ограждане е **5,4** пъти.

3.2. Анализ на топлинните потоци с отчитане на топлинните мостове при плочите и гредите

3.2.1. Кратки сведения за софтуера TePol

Топлотехническите изчисления са извършени с програмата TePol, която е софтуер на автора¹. Тя е създадена по алгоритъм от дисертационния труд [6] на автора¹ и е верифицирана по стандарти [7, 8].

На фиг. 2 са показани основните етапи при работа със софтуера. Първо (вж. фиг. 2а) се въвежда геометрията на детайла или разреза, успоредно с това се задават характеристиките на материалите и граничните условия, при които ще се провежда изчислението. След това обектът автоматично се разделя на краен брой триъгълници (вж. фиг. 2б), като техният размер предопределя точността на получените резултати. След изчислението резултатите (получените температури във и по повърхността на обекта) се визуализират (вж. фиг. 2в), като софтуерът дава възможност за разрези на произволни места и ъгли.



Фиг. 2. Етапи при работа със софтуера TePol:
а) геометрия; б) модел; в) резултат

3.2.2. Изчисления със софтуера

Извършен е анализ на ефективността на топлоизолиране за етаж (за детайл, избран като „типичен“ вертикален разрез на етаж) [9] при комбинирането му със съседните етажи по височина.

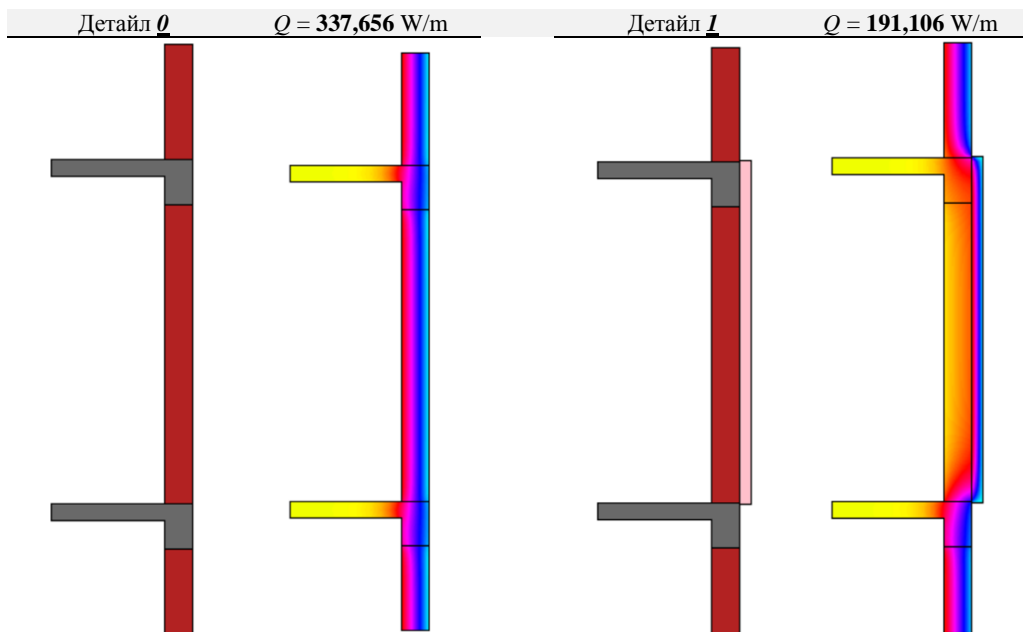
При комбиниране на отделните случаи на топлоизолиране се получават следните 10 детайла (0 ÷ 9) за анализ, като маркерите ги групират по фигури (вж. фиг. 8 ÷ 10):

- детайл 0 – базов детайл, без ТИ;
- детайл 1 – „нормално“ изолиран самостоятелен етаж – вж. фиг. 1;
- детайл 2 – детайл 1 с ТИ до долен ръб на гредата;
- детайл 3 – детайл 1 с ТИ 20 cm под долен ръб на гредата;
- детайл 4 – детайл 1 с ТИ до долен ръб на детайла;
- детайл 5 – детайл 1 с ТИ 20 cm над горен ръб на гредата;
- детайл 6 – детайл 1 с ТИ до горен ръб на детайла;
- детайл 7 – детайл 1 с ТИ до долен ръб на гредата и 20 cm над горен ръб на гредата;
- детайл 8 – детайл 1 с ТИ 20 cm под долен ръб на гредата и 20 cm над горен ръб на гредата;
- детайл 9 – изолирани „всички“ етажи.

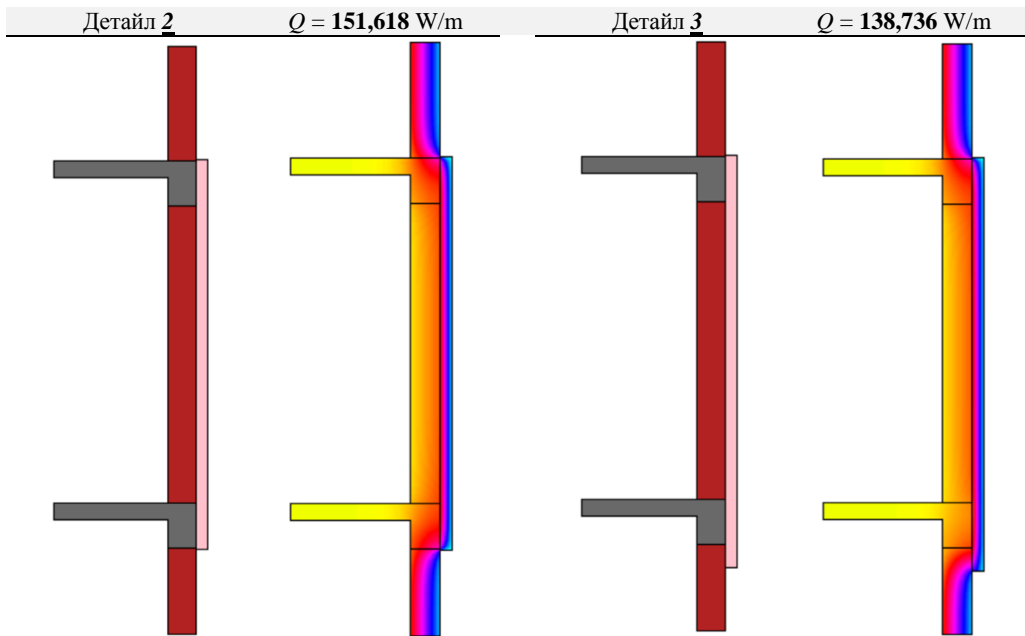
Междинните случаи се получават след оформяне на три направления на топлоизолиране, които се анализират:

- направление на ТИ нагоре – детайли 0, 1, 5, 6;
- направление на ТИ надолу – детайли 0, 1, 2, 3, 4;
- направление на ТИ надолу и нагоре – детайли 0, 1, 7, 8, 9.

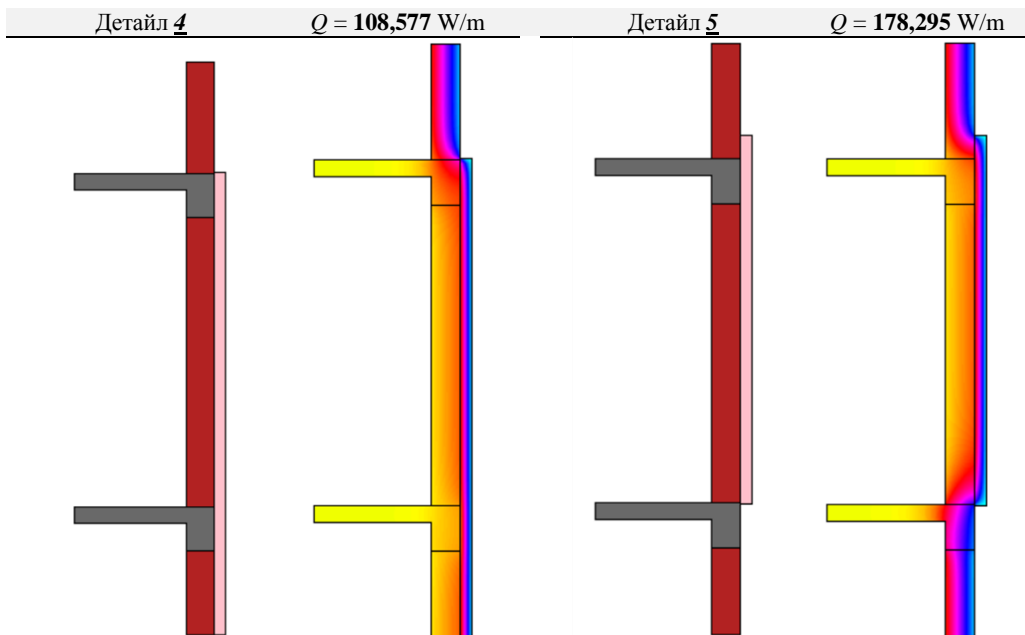
На фиг. 3 до 7 са дадени геометрията, решенията и топлинните потоци (Q), изчислени със софтуера TePol, за всичките 10 анализирани детайла.



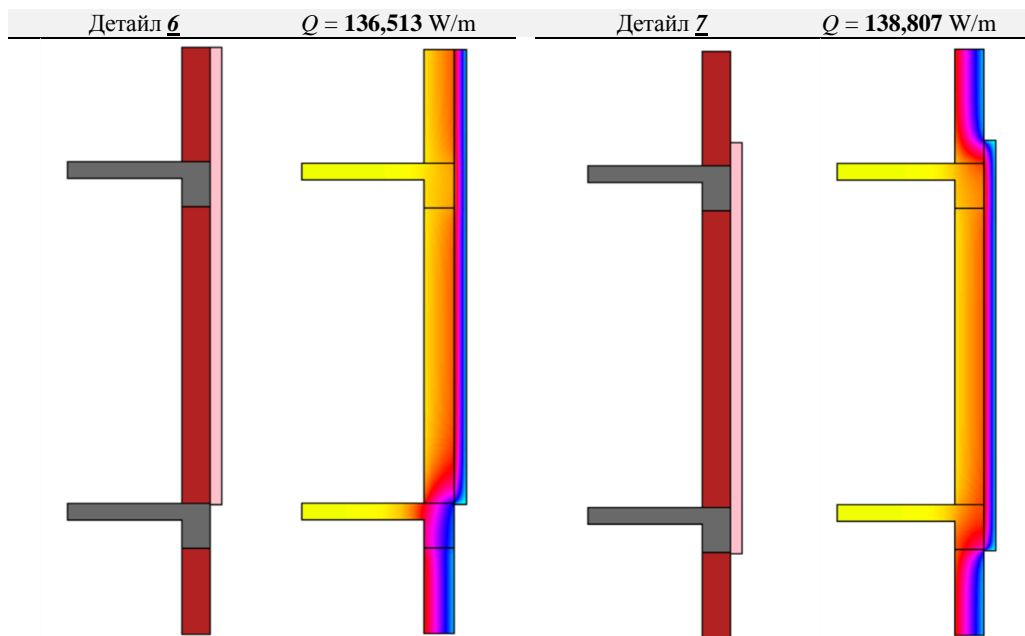
Фиг. 3. Детайл 0 и Детайл 1 с изчислени топлинни потоци Q



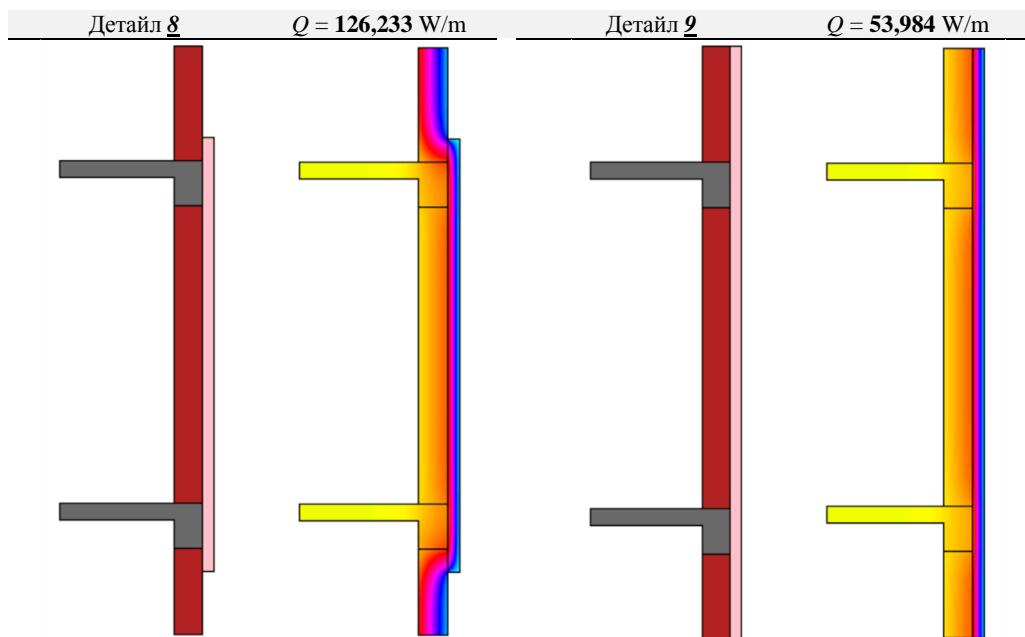
Фиг. 4. Детайл 2 и Детайл 3 с изчислени топлинни потоци Q



Фиг. 5. Детайл 4 и Детайл 5 с изчислени топлинни потоци Q



Фиг. 6. Детайл б и Детайл z с изчислени топлинни потоци Q



Фиг. 7. Детайл 8 и Детайл 9 с изчислени топлинни потоци Q

Интерес представлява сравняването на преминаващия топлинен поток за детайл 0 (вж. фиг. 3): $Q = 337,656 \text{ W/m}$ (изчислено) с този при зидана стена без ТИ и без отчитане на топлинните мостове при плочите и гредите (вж. т. 3.1) – $Q = 284,893 \text{ W/m}$. Разликата между топлинните им потоци показва приноса на топлинните мостове за избрания детайл:

$$\Delta\% = 100 \cdot (337,656 - 284,893) / 284,893 = \mathbf{18,5\%}.$$

Всички резултати за топлинните потоци на всички детайли са представени в табл. 2. Дадено е и процентното отношение на топлинния поток за всеки детайл, като за базов (100%) е приет резултатът на детайл 0. Изчислени са и отношенията в пъти на загубите през топлинните мостове, като за базов отново е приет резултатът на детайл 0. Допълнително са изчислени средствата в лв., необходими за отопление с електрическа енергия за една зима на линеен метър фасада за анализирания детайл, при следните условия:

- за София – 2900 денградуса – съгласно [4];
- 0,16 лв. за kWh – цена на електроенергията в България към момента.

Таблица 2. Резултати – топлинни потоци Q , относителен разход на Q , отношение на относителен разход за Q , финансова стойност на линеен метър фасада

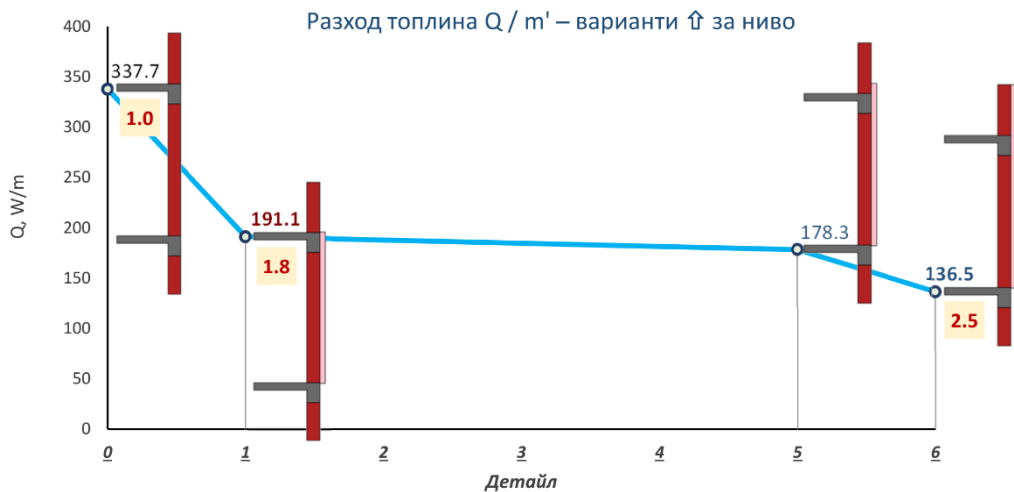
Детайл	Q , W/m	Разход, %	Отношение	Стойност, лв./m
<u>0</u>	337,656	100%	1,0	104,45
<u>1</u>	191,106	57%	1,8	59,12
<u>2</u>	151,618	45%	2,2	46,90
<u>3</u>	138,736	41%	2,4	42,92
<u>4</u>	108,577	32%	3,1	33,59
<u>5</u>	178,295	53%	1,9	55,15
<u>6</u>	136,513	40%	2,5	42,23
<u>7</u>	138,807	41%	2,4	42,94
<u>8</u>	126,233	37%	2,7	39,05
<u>9</u>	53,984	16%	6,3	16,70

3.2.2.1. Направление на топлоизолацията в посока нагоре

В този случай топлоизолацията (ТИ) се развива в избрани точки (вж. детайли 0, 1, 5, 6) (вж. фиг. 3, 5 и 6) по височина над базовия етаж.

Ако сравним детайл 1 („нормално“ изолиран самостоятелен етаж – вж. фиг. 3) с базовия детайл 0 (без ТИ), се вижда, че икономията на топлина е около **43%**.

Икономията на топлина от спестени топлинни загуби е **2,5** пъти, ако се сравнят топлинните потоци на базовия детайл 0 (вж. фиг. 3) с този при изцяло изолиран горен етаж – детайл 6 (вж. фиг. 6). На фиг. 8 е изобразен графично разходът на топлина за детайли 0, 1, 5, 6.

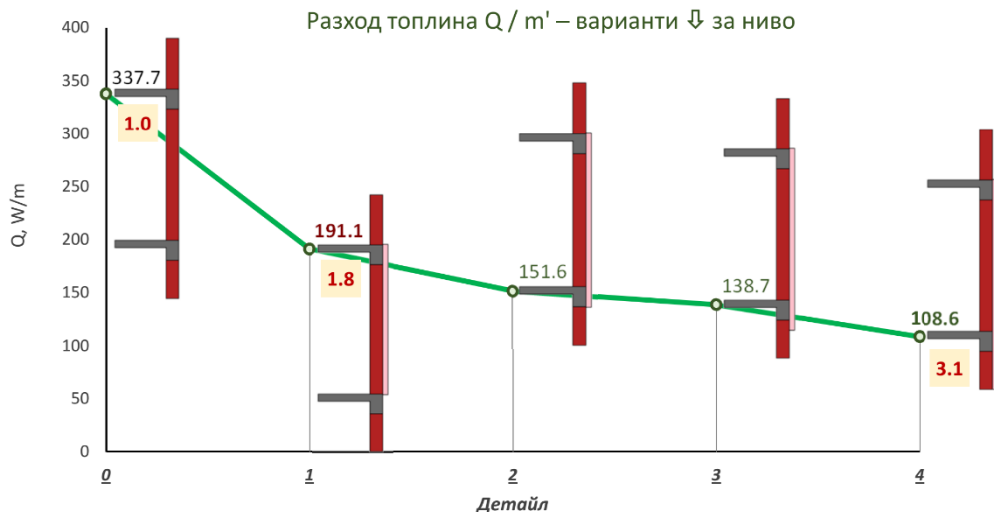


Фиг. 8. Загуба на топлина при варианти с ТИ в посока нагоре

3.2.2.2. Направление на топлоизолацията в посока надолу

В този случай топлоизолацията (ТИ) се развива в избрани точки (вж. детайли 0, 1, 2, 3, 4) (вж. фиг. 3, 4 и 5) по фасадата под базовия етаж.

Икономията на топлина от спестени топлинни загуби е **3,1** пъти, ако се сравнят топлинните потоци на базовия детайл 0 (вж. фиг. 3) с този при изцяло изолиран долен етаж – детайл 4 (вж. фиг. 5). На фиг. 9 е изобразен графично разходът на топлина за детайли 0, 1, 2, 3, 4.

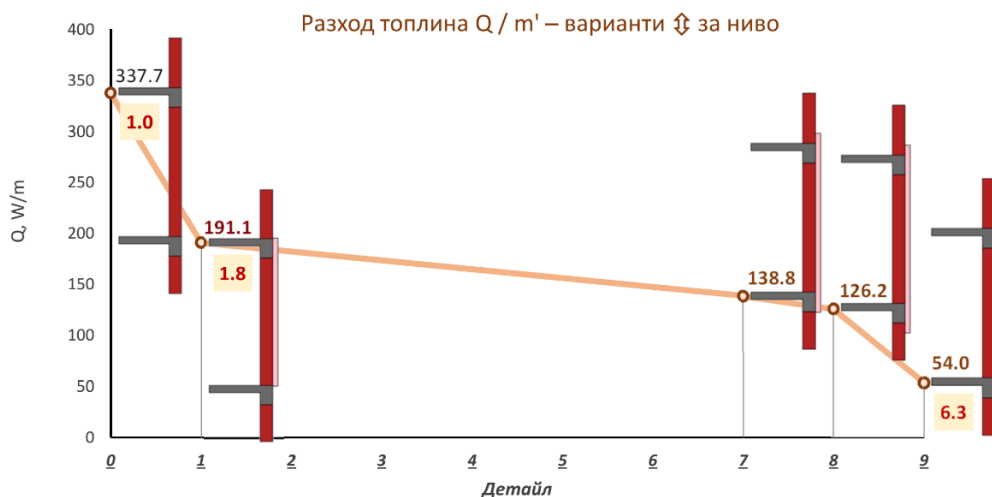


Фиг. 9. Загуба на топлина при варианти с ТИ надолу

3.2.2.3. Направление на топлоизолацията в посоки надолу и нагоре

В този случай топлоизолацията (ТИ) се развива в избрани точки (вж. детайли 0, 1, 7, 8, 9) (вж. фиг. 3, 6 и 7) по фасадата над и под базовия етаж.

Икономията на топлина от спестени топлинни загуби е **6,3** пъти, ако се сравнят топлинните потоци на базовия детайл 0 (вж. фиг. 3) с този при изцяло изолиран горен и долен етаж – детайл 9 (вж. фиг. 7). На фиг. 10 е изобразен графично разходът на топлина за детайли 0, 1, 7, 8, 9.



Фиг. 10. Загуба на топлина при варианти с ТИ нагоре и надолу

4. Изводи

Могат да се направят следните основни изводи за разглежданите варианти:

- Теплоизолирането само в рамките на етаж дава сравнително ограничен ефект – икономията на топлина е около **43%**.
- Теплоизолирането в рамките на етаж и етаж отгоре намалява около **2,5** пъти разхода на топлина.
- Теплоизолирането в рамките на етаж и етаж отдолу намалява около **3** пъти разхода на топлина.
- Теплоизолирането в рамките на етаж и двата ежа отгоре и отдолу намалява около **6** пъти разхода на топлина.
- Разходите за София при цялостно топлоизолиране за целия зимен период намаляват около 6 пъти – от 104,45 лв. на 16,70 лв. за линеен метър фасада.

От получените резултати става ясно, че топлоизолирането е от ключова важност за намаляване на разходите за отопление и охлаждане в една сграда. Анализиранияте „типични“ детайли в тази статия показват необходимостта от саниране и колко това би допринесло финансово за намаляване на тези разходи. Налага се изводът, че за постигане на максимален ефект при саниране по възможност трябва да се топлоизолира цялата сграда. При невъзможност това да се случи, всяко удължаване на изолацията във височина (надолу и нагоре) увеличава ефекта ѝ в пъти, в сравнение с това тя да бъде изпълнена само на разглеждания етаж.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chobanov, Pl.* Energy Efficiency In Construction. Sofia, 2016.
2. *Milkov, St., Nikolovski, P., Chobanov, Pl., Penev, B.* Influence of Thermal Bridges in the Enclosing Structures of Buildings in Areas Bith Increased Seismic Activity. Varna, 2008.
3. BDS EN ISO 6946:2008. Building Components and Building Elements – Thermal Resistance And Thermal Transmittance. Calculation Method.
4. Ordinance № 7. Energy Efficiency of Buildings. Bulgaria, 2004.
5. *Nazarski, D.* Building Insulation. Sofia, 2004.
6. *Chobanov, Pl.* A Simulative Approach for Analysis and Assessment of the Thermal Protection Ability of Buildings – Thesis. UACEG, Sofia, 2005.
7. BDS EN ISO 14683:2008. Thermal Bridges In Building Construction. Linear Thermal Transmittance. Simplified Methods And Default Values.
8. BDS EN ISO 10211:2008. Thermal Bridges In Building Construction. Heat Flows And Surface Temperatures. Detailed Calculations.
9. *Milkov, St., Chobanov, Pl.* Assessment Of Thermal Bridges In Building Envelopes. 65 Jubilee Scientific Conference, UACEG, Sofia, 2007.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THERMAL INSULATION FOR A FLOOR WHEN COMBINED WITH THE ADJACENT FLOORS IN HEIGHT

Pl. Chobanov¹, L. Chobanova²

Keywords: *energy efficiency, thermal insulation, thermal bridge, retrofitting of buildings, energy consumption, TePol*

ABSTRACT

The higher requirements for energy efficiency in newly constructed buildings increase the attention to the contribution of thermal bridges on the thermal characteristics of the building. Thermally efficient building envelopes are becoming a widely applied and affordable method to achieve this goal. Additional heat losses from thermal bridges must be controlled and reduced in order to achieve the target energy consumption for heating and cooling.

By developing several “typical” cases (details), the influence of thermal insulation on the enclosing building structure in an example residential building is checked. The thermal insulation is shifted in height (up and down) for the adjacent floors and an analysis (numerical check based on a combination of options) of the effectiveness of the thermal insulation (renovation) is performed for a floor per linear meter. The purpose of this paper is to give quantitative data on heat losses per linear meter, as well as energy costs for heating at the existing price state for each of the developed details.

¹ Plamen Chobanov, Prof. Dr. Eng., Dept. “Building Materials and Insulations”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: chobanov_fce@uacg.bg

² Lidiya Chobanova, Arch. PhD Student, Dept. “Architecture Technology”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: l.chobanova_far@uacg.bg