

ILONA KALETA¹

ANNA LIWOCHA²

ANNA TYBURCZYK³

Kielce University of Technology

EcoClimatica

¹ e-mail: ilonakaleta@o2.pl

² e-mail: ania.liwocha@tlen.pl

³ e-mail: annazw@tu.kielce.pl

THE USE OF PASSIVE SHIELD TO REDUCE THE GAINS OF IRRADIATION

Abstract

The paper presents the efficiency analysis of the passive shield which is opaque lightweight steel shell made of perforated panels arranged on the outer side of the building. The simplified calculation methodology is given. It is shown that the use of the shield lowers the outer temperature of the wall by several degrees which results in limiting heat gains in the summer, correspondingly.

Keywords: building envelope, passive shield, irradiation, heat gains

1. Introduction

Due to the growing global climate changes there are great efforts to reduce human impact on the environment. It must be done by reducing the consumption of non-renewable energy as the limited resources are available and additionally those fuels cause significant environmental pollution. In case of the building sector nearly forty percent of the primary energy is consumed [1]. The today's buildings are expected to be environmental and energy efficient in design. The most desirable are the passive techniques, which are understood as improvements to building envelope elements. Such technical solutions do not require additional external energy which is their main advantage.

The first solar shield was used twenty years ago in order to gain sunlight access by adjusting its development within the limits set on the basis of relative movement of the sun. The size, shape and color of the cover affect the year-round access to the sun and the amount of energy and quality of life [2, 3, 4], which is why they are still currently being improved in order to improve their effectiveness. To sunglasses coats include, among others: trombe walls, ventilated walls and glass walls [5], as well as green facade, where the average temperature is 5°C during

the day, which significantly affects the cooling load and improve the energy efficiency of the building [6]. Due to distinguishing the color of the coating painted on the basis of NIR-transmitting black perylene and dioxazine violet dye, addition of chromium may be titanium yellow to black pigmented coating dioxazine violet. Studies carried out in China, Shanghai showed that with the use of these coatings in relation to the white coatings surface temperatures and annual saving of cooling energy are reduced [7].

Research in San Mauro Pascoli (Italy) argues that reducing the heat flow is strongly correlated with the outside end of the screen of rain. Additionally, the thermal efficiency of the rain screen ventilated walls depends on the maximum value of the measured temperature in the mouth during the day [8]. At the same time research in Quebec showed that the boundary conditions applied to the surfaces of the walls were found to have great impact on the results (when the room temperature and the outside temperature is close to get the benefits of the use of shields). It has been found also that in cold climates screening may be active in the summer but not in winter [9]. Finally, studies carried out for the glass glazing have shown that for the variation of the incident solar radiation spectra of the building shell, and the variation of external and internal air temperature variations, it

is necessary to control the tuning glazed depending on the wavelength of solar radiation with a view to optimize sunlight and the needs of the people (their health and comfort) and energy (minimizing thermal and electrical load) [10, 11].

For the design of facades a computer model SustArc can be used [1]. It allows for the production of the shape of the building in such a way that the facades are shaded in the time specified by the designer, which allows the project to achieve energy savings. However, in order to determine the effectiveness of the thermal shield of the outer wall (e.g., an envelope construction) comprising a layer of PCM numerical model is used. The model is used to perform a parametric study to assess the impact of the position and the melting temperature of one layer of PCM [9, 12].

2. Building characteristics

In order to consider the application of passive shield for the reduction of the profit after irradiation, the calculations have been done for a barrier multi-layer structure and dimensions as shown in Figure 1.

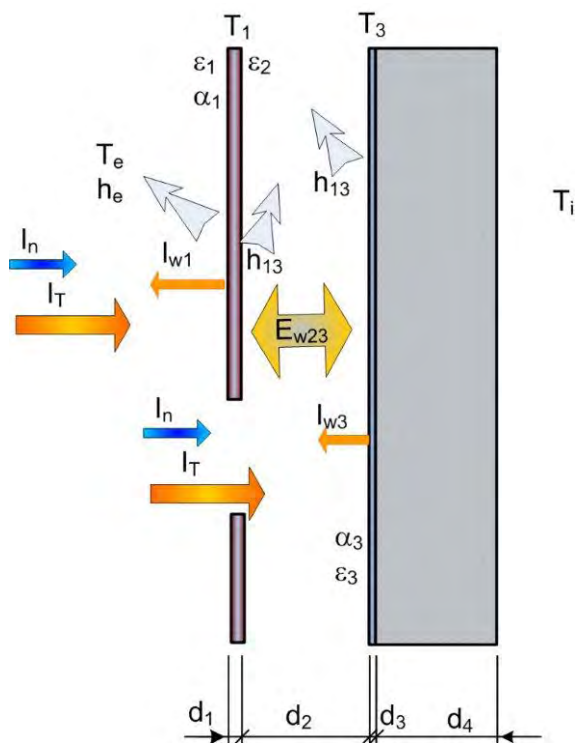


Fig. 1. Baffle construction

The wall is composed of a carrier part d_4 , which is a reinforced concrete slab having a thickness of 250 mm and an insulation layer made of mineral wool with a thickness of 150 mm. At a distance $d_2 = 750$ mm there is a light opaque coat steel structures of small thickness

which is perforated. The reason of such approach is to reduce heat gain in the summer of irradiation and, correspondingly, reducing the operating costs of air conditioning systems. As illustrated in Figure 2 the outer jacket contains openings, which – in addition to their decorative function – causes intentional ventilation air layer.

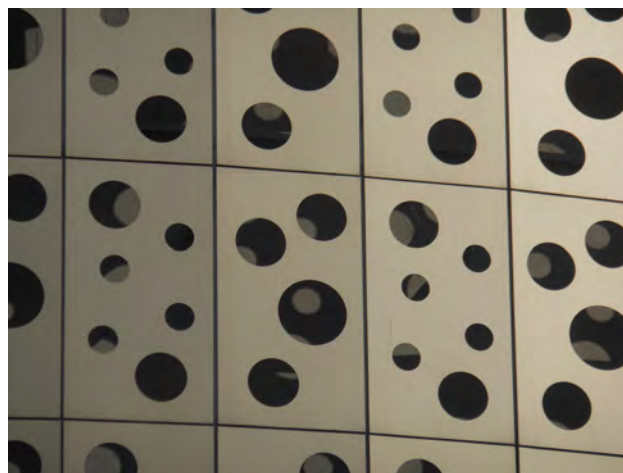


Fig. 2. Passive shield photo

This solution was used for a large shopping center in Kielce (Poland) (latitude, longitude 20.65°E 50.89°N): 4 floors above ground of 22 m total height, total area 92.976 m² and capacity 229.626 m³.

3. Methodology

The aim of the paper is to analyze an effective work of the applied solution due to the restriction of unwanted radiation heat gains in the summer months. For this purpose, it is assumed that the outer wall/shield surface is heated by the radiation of I_T intensity that is the sum of direct and diffusive radiation. The shield is firstly preheated up to T_1 temperature and then it radiates energy to the environment of I_{w1} intensity. At the same time, the low temperature of sky radiation of I_n intensity has fallen on the shield. Heat transfer by radiation is also observed between the inner surfaces, i.e. between surface of the shield at a T_1 temperature and an outer plaster layer at a T_3 temperature.

Considered shield is perforated by large holes, through which high temperature and diffuse radiation passes. It causes additional heat gains through the outer baffle surface.

The size of solar irradiation is subjected to seasonal and even hourly changes. Moreover, the angle of solar incidence changes over time. It causes that heating portion of the baffle surface is not constant. In this case the temperature of the whole outer surface

T_3 is assumed as constant and it is the temperature of finishing layer (the plaster). What is more, emissivity - absorbing surface properties are known: $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ are emissivities of the outer and inner shield surfaces, and of the plaster surface respectively; α_1, α_3 are overall radiation absorption coefficients of I_T for shield outer surface and for the construction, respectively.

In the case, the baffle is in contact with the atmosphere, the heat balance should also include convective heat transfer between the shield and the environment, the shield and the inner layer of air in the gap and between the plaster layer and the air inside the gap. It is assumed that all the necessary heat transfer coefficients h are given.

For the shield and given assumptions the following heat transfer equation has been written:

$$\begin{aligned} \alpha_1 I_T - \varepsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_n^4) - h_e (T_1 - T_e) = \\ = \varepsilon_{23} \sigma (T_1^4 - T_3^4) + h_{13} \left(T_1 - \frac{T_1 + T_3}{2} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Emission factor ε_{12} is calculated as for the parallel surfaces:

$$\frac{1}{\varepsilon_{23}} = \frac{1}{\varepsilon_2} + f_1 \left(\frac{1}{\varepsilon_3} - 1 \right) \quad (2)$$

where f_1 is the area fraction of the protective layer surface without holes.

Left hand side of the equation represents the heat exchange on the shield outer side. Right hand side of the equation is the heat exchanged on the shield inner side. The sides are equal under equilibrium conditions. In addition, due to the small shield thickness, the temperature on both sides has been taken as constant.

The sky temperature can be determined from the following relationship:

$$T_n = T_e \sqrt[4]{0.526 + 0.065 \sqrt{p}} \quad (3)$$

Where T_e is the absolute outside air temperature, p - partial pressure of water vapor, which for the above formula must be insert in hPa [13].

Similarly, the heat balance for the wall can be written:

$$\begin{aligned} (1 - f_1) \alpha_3 I_T + f_1 \varepsilon_{23} \sigma (T_1^4 - T_3^4) - \\ - (1 - f_1) \varepsilon_3 \sigma (T_3^4 - T_n^4) + f_1 h_{13} (T_3 - T_{13}) - \\ - (1 - f_1) h_{13} (T_3 - T_{e3}) = \frac{T_3 - T_i}{R_4} \end{aligned} \quad (4)$$

Left hand side of the (4) equation is the sum of the heat transferred (by radiation) between shield and baffle surfaces and the heat gains from direct and diffuse irradiation that fall on the outer surface of the baffle through the holes of the shell, and the heat transferred by convection between the air circulates behind the layer and the baffle. Right hand side of the balance represents the heat conducted through the baffle with a thickness of d_4 , for which the resistance R_4 is known. T_i is the temperature maintained inside the room.

To calculate the convective heat fluxes between air and shield and air and plaster layer the average air temperature should be determined. It requires to solve fluid motion equations under convection conditions, which greatly complicates the issue. It is therefore proposed to take the air temperature T_{13} as equal to the arithmetic mean of the shield and plaster temperature for one part and, respectively, in the outdoor area:

$$T_{13} = T_{e3} = 0,5 (T_3 + f_1 T_1 + (1 - f_1) T_e) \quad (5)$$

In such a case (3) equation can be written as following:

$$\begin{aligned} (1 - f_1) \alpha_3 I_T + f_1 \varepsilon_{23} \sigma (T_1^4 - T_3^4) - \\ - (1 - f_1) \varepsilon_3 \sigma (T_3^4 - T_n^4) + \\ + \frac{h_{13}}{2} (T_3 - f_1 T_1 - (1 - f_1) T_e) = \frac{T_3 - T_i}{R_4} \end{aligned} \quad (6)$$

Heat balance (1) and (4) have been written for the stationary conditions. It is a two equations set of fourth degree that is note due to the searched external surface shield and baffle temperatures of T_1 and T_3 respectively. The set can be solved by successive approximation in such a way that the linear elements are grouped on one side of the equation, and on the other side nonlinear ones. As a result, for the proposed method, we get:

$$\begin{aligned} a_1 T_{1j} + a_3 T_{3j} &= f_1 (T_{1(j-1)}^4, T_{3(j-1)}^4) \\ b_1 T_{1j} + b_3 T_{3j} &= f_3 (T_{1(j-1)}^4, T_{3(j-1)}^4) \end{aligned} \quad (7)$$

where j index is a 'new' value of the wanted ratio, and 'j-1' is appropriate from the previous iteration. Calculations are finished for the sufficient low difference between successive values.

Such simulation results should be compared with that for the baffle where the shield has not been installed, i.e. when $f_1 = 0$. For such a case the heat balance is:

$$\alpha_3 I_T - \varepsilon_3 \sigma (T_3^4 - T_n^4) - h_e (T_3 - T_e) = \frac{T_3 - T_i}{R_4} \quad (8)$$

where T_i is external wall temperature.

4. Results

The calculation results are shown in figures 3 and 4. According to given methodology, the calculations of the outer shield surface temperature distribution have been made in function of the area fraction of the shield without holes. The same have been estimated for the baffle. The results have been set to the same temperature distribution for the case when the passive shield has not been provided.

Calculations have been made for the August. In this month the radiation intensity is the highest and is equal to 582 W/m². The external and indoor temperatures have been taken as equal to 36°C and 25°C, respectively. The sky temperature has been calculated from (3) formula and is equal to 290.42 K.

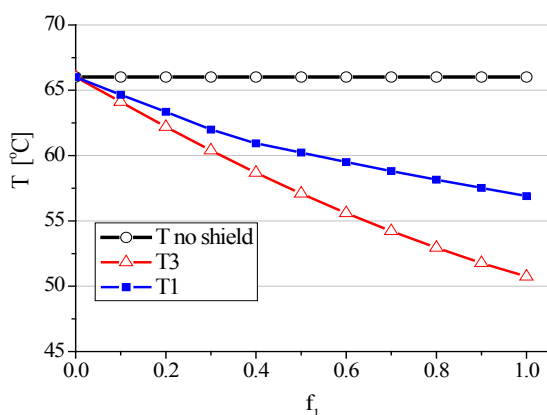


Fig. 3. The outer shield and baffle surface temperature distribution in the function of area fraction of the shield without holes

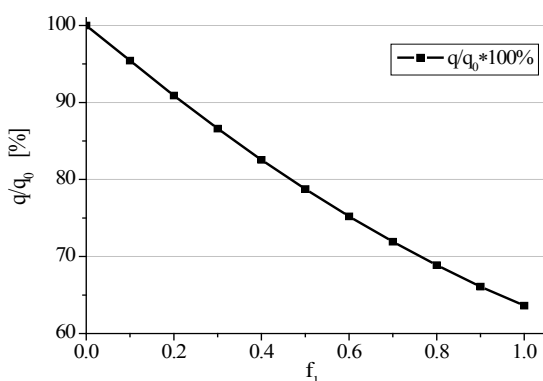


Fig. 4. Percentage fraction of the heat flux versus area fraction

5. Conclusions

High summer ambient temperatures cause the building exterior walls heating. To maintain a constant rooms microclimate, it is necessary to use high energy consuming air conditioning systems.

Thanks to use the passive shield, the temperature of the baffle in the Kielce shopping center (see Fig. 3) can be reduced by several degrees. At the same time, for the protective layer of the surface fraction of 60% a 25% reduction in the thermal loads in relation to the same wall but without a shield is observed.

References:

- [1] Capeluto I.G.: *Energy performance of the self-shading building envelope*. Energy and Buildings 35 (2003), pp. 327–336.
- [2] Knowles R.L.: *The solar envelope: its meaning for energy and buildings*. Energy and Buildings 35 (2003), pp. 15–25.
- [3] Orzechowski T., Ziętała K.: *Wpływ właściwości absorpcyjnych farb na komfort cieplny w pomieszczeniu (The influence of absorption properties of colored paints on thermal comfort in the room)*. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 45/8 (2014), pp. 312–316.
- [4] Orzechowski T.: *Wybrane zagadnienia magazynowania ciepła – modelowanie pracy akumulatora ciepła*. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 43/10 (2012), pp. 446–448.
- [5] Sadineni S.B., Madala S., Boehm R.F.: *Passive building energy savings: A review of building envelope components*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011), pp. 3617–3631.
- [6] Haggag M., Hassan A., Elmasry S.: *Experimental study on reduced heat gain through green facades in a high heat load climate*. Energy and Buildings 82 (2014), pp. 668–674.
- [7] Qin J., Song J., Qu J., Xue X., Zhang W., Song Z., Shi Y., Jiang L., Li J., Zhang T.: *The methods for creating building energy efficient cool black coatings*. Energy and Buildings 84 (2014), pp. 308–315.
- [8] Kima J.T., Todorovica M.S.: *Tuning control of buildings glazing's transmittance dependence on the solar radiation wavelength to optimize day lighting and building's energy efficiency*. Energy and Buildings 63 (2013), pp. 108–118.
- [9] Mathieu-Potvin F., Gosselin L.: *Thermal shielding of multilayer walls with phase change materials under different transient boundary conditions*. International Journal of Thermal Sciences 48 (2009), pp. 1707–1717.
- [10] Marinosci C.: *Experimental analysis of the summer thermal performances of a naturally ventilated rainscreen facade building*. Energy and Buildings 72 (2014), pp. 280–287.

- [11] Mirsadeghi M., Cóstola D., Blocken B., Hensen J.L.M.: *Review of external convective heat transfer coefficient models in building energy simulation programs: Implementation and uncertainty*. Applied Thermal Engineering 56 (2013), pp. 134-151.
- [12] Orzechowski T., Stokowiec K.: *Wybrane zagadnienia magazynowania ciepła – przegląd stosowanych ma-*

- teriałów*. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 44/1 (2013), pp. 3–7.
- [13] Praca zbiorowa: *Budownictwo ogólne – fizyka budowli*, tom 2, Arkady, Warszawa 2005.

Ilona Kaleta
Anna Liwocha
Anna Tyburczyk

Zastosowanie osłony pasywnej do redukcji zysków od napromieniowania

1. Wprowadzenie

W związku z rosnącymi globalnymi zmianami klimatu czynione są ogromne wysiłki zmierzające do zmniejszenia wpływu człowieka na środowisko. Ze względu na ograniczone zasoby naturalne należy tego dokonać poprzez zmniejszenie, np. w budownictwie zużycia energii nieodnawialnej. Najbardziej pożądane są pasywne techniki, rozumiane jako ulepszenia poprzez budowania elementów osłonowych zapobiegające zyskom z nadmiaru promieniowania w okresie letnim.

2. Charakterystyka obiektu

Do rozważań przyjęto przegrodę składającą się z części nośnej, na którą od strony osłony nałożono cienką warstwę izolacyjnego tynku. Rozwiązanie takie zastosowano w dużej galerii handlowej w Kielcach. W pewnej odległości zamontowano nieprzezroczystą lekką konstrukcję płaszcza o niewielkiej grubości. W zewnętrznym płaszczu wykonano otwory, które – oprócz funkcji dekoracyjnej – powodują zamierzoną wentylację warstwy powietrznej.

3. Metodyka

Zadaniem niniejszej pracy jest analiza skuteczności pracy zastosowanego rozwiązania ze względu na ograniczenie niepożądanych zysków ciepła od napromieniowania w miesiącach letnich. W tym celu zakłada się nagrzewanie powierzchni zewnętrznej promieniowaniem o natężeniu, które jest sumą promieniowania bezpośredniego i dyfuzyjnego. Wymianę ciepła przez

promieniowanie obserwuje się również pomiędzy powierzchniami wewnętrznymi, tj. powierzchnią osłony oraz zewnętrzną warstwą tynku. Rozpatrywana osłona jest przegrodą perforowaną dużymi otworami, przez które dociera promieniowanie wysokotemperaturowe i rozproszone, co powoduje dodatkowe zyski ciepła. Wielkość napromieniowania słonecznego podlega zmianom sezonowym i godzinowym, ale też zmienia się kąt padania w czasie, co powoduje, że fragment nagrzewanej powierzchni przegrody nie jest stały w czasie. Na tej podstawie przyjęto jednakową na całej powierzchni temperaturę zewnętrznej powierzchni, która jest temperaturą warstwy wykańczającej (tynku). Nadto przyjmuje się za znane własności emisyjno-absorpcyjne powierzchni.

Ponieważ przegroda jest w kontakcie z atmosferą, to w bilansie ciepła należy również uwzględnić konwekcyjną wymianę ciepła pomiędzy osłoną a otoczeniem, osłoną a warstwą wewnętrzną powietrza w szczelinie oraz warstwą tynku a powietrzem wewnątrz szczeliny.

Do obliczenia konwekcyjnych strumieni ciepła pomiędzy powietrzem a osłoną oraz powietrzem a warstwą tynku, należy określić średnią temperaturę powietrza. Jest to zadanie, które wymaga wprowadzenia odpowiednich równań opisujących ruch płynu w warunkach konwekcji swobodnej, co bardzo komplikuje rozważany problem. Dlatego też proponuje się przyjmując temperaturę powietrza równą średniej arytmetycznej z temperatury osłony i tynku dla jednej części oraz odpowiednio w obszarze odkrytym.

Bilanse ciepła napisane dla warunków stacjonarnych stanowią układ dwóch równań czwartego stopnia ze względu na poszukiwane wartości zewnętrznych temperatur powierzchni płaszcza i przegrody. Rozwiązać go można metodą kolejnych przybliżeń w ten sposób, że człony liniowe grupujemy po jednej stronie równania, a nieliniowe po drugiej. Wskaźnikiem j oznaczono „nową” wartość poszukiwanej wielkości, zaś „ $j-1$ ” jest odpowiednią z poprzedniej iteracji. Obliczenia kończymy wtedy, kiedy różnica pomiędzy kolejnymi wartościami jest wystarczająco mała.

4. Wyniki

Przeprowadzono obliczenia rozkładu temperatury zewnętrznej powierzchni płaszcza oraz przegrody w funkcji powierzchniowego udziału warstwy osłaniającej bez otworów. Wyniki zestawiono z analogicznym rozkładem temperatury dla przypadku, gdy dla przegrody nie została przewidziana pasywna osłona przeciwsłoneczna.

Obliczenia prowadzono dla miesiąca sierpnia, w którym natężenie promieniowania jest największe i wynosi 582 W/m^2 . Przyjęto obliczeniową temperaturę zewnętrzną 36°C , wewnętrzną 25°C , zaś temperatura nieboskłonu równała się $290,42 \text{ K}$.

5. Wnioski

Wysoka temperatura zewnętrzna latem powoduje nagrzewanie się ścian zewnętrznych budynku. Dla utrzymania stałego mikroklimatu pomieszczeń konieczne jest stosowanie energochłonnych urządzeń klimatyzacyjnych.

Dzięki zastosowaniu osłony pasywnej budynku galerii handlowej w Kielcach można zmniejszyć o kilkanaście stopni temperaturę przegrody. Jednocześnie dla warstwy osłaniającej o udziale powierzchniowym 60% otrzymuje się 25% ograniczenie zysków ciepła w stosunku do takiej samej ściany, ale bez osłony.