

dr hab. inż. Paweł Krause, prof Pol.Śl.<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-8398-1961

dr inż. Marcelina Olechowska<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0001-6112-8460

mgr inż. Łukasz Kosobucki<sup>2)</sup>

# Material and assembling imperfections to discoloration in the ETICS insulation system plaster

## *Imperfekcje materiałowe i wykonawcze a przebarwienie tynku w systemie ociepleń ETICS*

DOI: 10.15199/33.2024.10.01

**Abstract.** In recent years, the use of external thermal insulation composite systems (ETICS) has increased due to their thermal properties and the costs of construction works. Building facades are constantly exposed to the negative impact of many different factors, which may lead to the deterioration of their technical condition and lower aesthetic value. The article describes issues related to selected irregularities of the ETICS system affecting the aesthetic side of the façade. In the analyzed insulation systems, irregularities related to the use of mineral wool and their negative impact on the thin-layer plaster were identified.

**Keywords:** ETICS; mineral wool; interlayer condensation.

Building envelopes are being placed under increasing demands regarding their thermal performance. Choice of the right material to insulate wall barriers has become important due to growing need for sustainability and energy saving strategies. The approach to the building materials used has also changed based on their environmental impact at every stage: from manufacture, through utilisation, to decommissioning and disposal [1 ÷ 3]. Current standards of energy efficiency for buildings require reduction of thermal energy demand and carbon dioxide emissions for both existing and newly constructed buildings [4], this renders insulating of existing buildings extremely important since it improves energy efficiency, reduces heating and cooling costs and contributes to conserving environment. There are many wall insulation systems available on the market, the most popular being ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*). It consists of several components, including the thermal insulation layer, which is attached to the wall with adhesive and/or mechanical fasteners, the reinforcing mesh and the finishing coat, which is usually a thin-coat plaster. In addition, this system provides the walls with protection against weather conditions and additionally fulfils an aesthetic function [5 ÷ 7]. Unfortunately, the facades of buildings are exposed to the negative influence of many factors possibly leading to degradation and resulting deterioration of their technical

**Streszczenie.** W ostatnich latach zwiększyło się zastosowanie zewnętrznych systemów izolacji cieplnej (ETICS) ze względu na ich właściwości termiczne i koszty realizacji robót budowlanych. Elewacje budynków są stale narażone na negatywne oddziaływanie wielu zróżnicowanych czynników, które mogą prowadzić do pogorszenia ich stanu technicznego oraz obniżenia wartości estetycznej. W artykule opisano zagadnienia związane z wybranymi nieprawidłowościami systemu ETICS wpływającymi na stronę estetyczną elewacji. W analizowanych układach ociepleń rozpoznano nieprawidłowości związane z zastosowaniem wełny mineralnej i ich negatywny wpływ na cienkowarstwową wyprawę tynkarską.

**Słowa kluczowe:** ETICS; wełna mineralna; kondensacja międzywarstwowa.

Przegrodom zewnętrznym stawiane są coraz większe wymagania dotyczące izolacyjności termicznej. Wybór odpowiedniego materiału do izolacji przegród budowlanych stał się ważny wraz z rosnącą potrzebą zrównoważonego rozwoju oraz strategią oszczędzania energii. Zmieniło się także podejście do stosowanych materiałów budowlanych, uwzględniając ich wpływ na środowisko na każdym etapie: od wytworzenia, przez eksploatację, aż po wycofanie z użytkowania i utylizację [1 ÷ 3]. Obecne standardy energooszczędności budynków wymagają, aby zarówno w nowo powstałych, jak i już istniejących budynkach zmniejszyć zapotrzebowanie na energię cieplną i ograniczyć emisję dwutlenku węgla [4], dlatego też docieplenie istniejących budynków jest niezwykle ważne, ponieważ poprawia efektywność energetyczną, zmniejsza koszty ogrzewania i chłodzenia oraz przyczynia się do ochrony środowiska. Na rynku dostępnych jest wiele systemów ocieplania ścian, a najpopularniejszym z nich jest system ETICS (z ang. *External Thermal Insulation Composite Systems*). Składa się on z kilku komponentów, w tym warstwy termoizolacyjnej mocowanej do ściany za pomocą kleju i/lub łączników mechanicznych, siatki zbrojącej oraz warstwy wykończeniowej, którą najczęściej stanowi tynk cienkowarstwowo. Dodatkowo, system ten chroni ściany przed działaniem warunków atmosferycznych, a także pełni funkcję estetyczną [5 ÷ 7]. Niestety elewacje budynków są narażone na negatywny wpływ wielu czynników, które mogą prowadzić do degradacji, a tym samym pogarszać ich stan techniczny oraz obniżać wartość wizualną [8, 9]. Jednym z nich jest agresywne działanie środo-

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<sup>2)</sup> STEKRA Sp. z o.o.

<sup>\*</sup>) Correspondence address: pawel.krause@polsl.pl

condition and reducing their visual value [8, 9]. One of these is the aggressive action of the external environment in the form of biological contamination (mould, fungus, microorganisms). Such surface stains usually result from the process of ageing of the facades, their orientation towards the sides of the world and the location of the building [10 ÷ 12]. Blocken et al. described the effect of rain and wind intensity in rainwater run-off from building facades on surface contamination and discolouration [13]. Further possible factors may be faulty materials used and defects occurring during the construction work.

The insulation material used for wall insulation in the ETICS system is predominantly polystyrene or mineral wool, while solutions based on PIR or PUR foam, wood wool or natural cork are used quite rarely. Utilisation of mineral wool in external wall insulation enables a free exchange of mass through the thermal insulation layer. Currently, the main types of mineral wool produced are stone and glass wool [14]. Stone wool production is a multi-stage process depended on the human factor, the raw materials used, technological advancement and proper storage. The raw materials used for stone wool production are basalt, gabbro, diabase, dolomite or limestone aggregate and recycled materials [15]. Glass wool is made from quartz sand and recycled glass cullet with addition of sodium carbonate.

Mineral and stone wool differ in their raw material composition and in the way they are manufactured, which translates into their application and available form. Biały et al. [16] analysed and classified potential defects present in the production process of rock mineral wool (incorrect colour, inconsistency in board dimensions, etc.) and presented the reasons for their occurrence (uneven spraying of the fibre, too high temperature in the shaft furnace, human factor, etc.) and proposed the introduction of corrective measures. Detection of such defect at an early stage leads to improvement in the production process, resulting in good product quality and durability, enables safer products to be manufactured and reduces production costs. In [17], the structure and chemical composition of the fibre material was analysed using spectroscopic and microscopic techniques prior to the application of the product bonding binder. The analysis of the chemical composition showed that all elements are evenly distributed within the fibres, while the lack of binder causes the fibres to be arranged chaotically. The authors [18] showed that the chemical composition of fibre materials differs from literature data. Nagy et al. [19] presented the conclusions of strength tests of three samples of mineral wool. The damaged samples were characterised by low content of resin. Unpolymerized resin was also observed, which softened in the presence of water vapour resulting in the wool losing its mechanical properties. Increasing of moisture content of the mineral wool results in deterioration of its thermal conductivity [20 ÷ 25]. This paper presents an example of external wall insulation with ETICS system utilising mineral wool and the consequences of faulty thermal insulation negatively affecting the aesthetics of the building.

wiska zewnętrznego w postaci zanieczyszczenia biologicznego (pleśń, grzyby, mikroorganizmy). Plamy powierzchniowe są zazwyczaj spowodowane starzeniem się fasad, ich orientacją w kierunku stron świata i lokalizacją obiektu [10 ÷ 12]. Blocken i in. opisali wpływ intensywności deszczu i wiatru przy spływie wód opadowych z fasad budynków na zanieczyszczenia i przebarwienia powierzchni [13]. Kolejnymi czynnikami mogą być wadliwe użyte materiały i defekty powstałe podczas wykonania robót budowlanych.

Materiałem termoizolacyjnym stosowanym do ocieplenia ścian w systemie ETICS jest przede wszystkim styropian lub wełna mineralna, natomiast dosyć rzadko są stosowane rozwiązania bazujące na piance PIR, PUR, wełnie drzewnej czy korku naturalnym. Wełna mineralna stosowana w ociepleniach ścian zewnętrznych umożliwia swobodną wymianę masy przez warstwę termoizolacyjną. Obecnie głównym rodzajem produkowanej wełny mineralnej jest wełna skalna lub szklana [14]. Produkcja skalnej wełny mineralnej jest procesem wieloetapowym zależnym od czynnika ludzkiego, zastosowanych surowców, zaawansowania technologicznego i magazynowania. Wykorzystywanym surowcem do produkcji wełny skalnej jest bazalt, gabbro, diabaz, dolomit lub kruszywo wapienne oraz materiały pochodzące z recyklingu [15]. Wełna szklana jest wytwarzana z piasku kwarcowego i słuczki szklanej pozyskiwanej z recyklingu oraz z sody.

Wełna mineralna i skalna różnią się składem surowcowym oraz sposobem wytwarzania, co przekłada się na ich zastosowanie i dostępną formę. Biały i in. [16] analizowali i sklasyfikowali wady powstające w procesie produkcyjnym skalnej wełny mineralnej (niewłaściwy kolor, niezgodność wymiarów płyty itd.) i przedstawili przyczyny ich występowania (nierównomierny natrysk na włókno, zbyt wysoka temperatura w piecu szybowym, czynnik ludzki itd.) oraz zaproponowali wprowadzenie działań naprawczych. Wykrycie wady na wczesnym etapie prowadzi do usprawnienia procesu produkcyjnego, skutkuje dobrą jakością i trwałością wyrobu, umożliwia wytwarzanie bezpiecznych wyrobów i obniża koszty produkcji. W pracy [17] analizowano strukturę i skład chemiczny materiału włóknistego za pomocą technik spektroskopowych i mikroskopowych przed naniesieniem lepiszcza spajającego wyrobów.

Analiza składu chemicznego wykazała, że wszystkie pierwiastki są rozłożone równomiernie we włóknach, natomiast brak lepiszcza powoduje, że włókna są ułożone chaotycznie. Autorzy [18] wykazali, że skład chemiczny materiałów włóknistych różni się od danych literaturowych. Nagy i inni [19] przedstawili wnioski z badań wytrzymałości trzech próbek wełny mineralnej. Uszkodzone próbki charakteryzowały się małą zawartością żywicy. Zaobserwowano również niespolimeryzowaną żywicę, która w obecności pary wodnej zmiękła i wełna utraciła swoje właściwości mechaniczne. Zwiększenie wilgotności wełny mineralnej skutkuje pogorszeniem jej przewodności cieplnej [20 ÷ 25]. W artykule przedstawiono przykład wykonania ocieplenia ścian zewnętrznych w systemie ETICS z zastosowaniem wełny mineralnej i konsekwencje wadliwej termoizolacji negatywnie wpływającej na estetykę budynku.

### Case study description – in situ studies

The subject of the assessment is a public building with six storeys and a simple body based on a rectangular plan, founded on reinforced concrete strip and pad foundations. The walls of the ground floor are monolithic reinforced concrete with a thickness of 25 cm, and the remaining walls are made of silicate blocks. The external walls have been insulated from the outside with 20 cm thick mineral wool using ETICS system. Wool with a declared thermal conductivity coefficient of  $\lambda = 0.036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  was used for the insulation. The facade was finished with a thin-coat silicone plaster in colours of white and anthracite. A mosaic plaster was used on the plinths. The thermal insulation on the external walls was fixed with a system adhesive mortar and mechanical fastenings.

After the external wall insulation was completed, a number of irregularities were observed on the building facade even before the building was commissioned (Photo 1). Macroscopic examinations were carried out, control uncovering cut-outs were performed and the mass moisture was measured in order to determine the causes of the abnormalities. This was complemented by numerical modelling of the moisture condition of the wall.



**Photo 1. Scratches visible on the surface of the plaster and rust-colored discolorations**

*Fot. 1. Zarysowanie widoczne na powierzchni wyprawy tynkarskiej i rdzawe przebarwienia*

### Opis analizowanego przypadku – badania in situ

Przedmiotem oceny jest budynek użyteczności publicznej o sześciu kondygnacjach i prostej bryle na planie prostokąta, posadowiony na żelbetowych ławach i stopach fundamentowych. Ściany kondygnacji parteru są żelbetowe monolityczne o grubość 25 cm, a pozostałe ściany murowane z bloczków silikatowych. Ściany zewnętrzne zostały ocieplone od strony zewnętrznej wełną mineralną o grubości 20 cm w systemie ETICS. Do ocieplenia zastosowano wełnę o deklarowanym współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . Wykończenie elewacji stanowił cienkowarstwowy tynk silikonowy w kolorach białym i antracytowym. Na cokołach zastosowano tynk mozaikowy. Izolację termiczną na ścianach zewnętrznych zamocowano systemową zaprawą klejącą oraz łącznikami mechanicznymi.

Po wykonaniu ocieplenia ścian zewnętrznych, jeszcze przed oddaniem budynku do użytkowania, zaobserwowano liczne nieprawidłowości występujące na elewacji budynku (fotografia 1). W celu określenia przyczyn występujących nieprawidłowości przeprowadzono badania makroskopowe, wykonano odkrywki kontrolne, a także dokonano pomiaru wilgotności masowej. Całość uzupełniono o modelowanie numeryczne stanu wilgotnościowego ściany.

### Materials and test methods

Macroscopic examinations consisted of an assessment of any irregularities apparent on the facades and within the layers of the ETICS system. The moisture content of the mineral wool was measured by use of gravimetric method while moisture content of the wall substrate was measured with Testo 635-2 device. Macroscopic examinations revealed irregularities within the ETICS insulation system, namely: localised cracks and hairline cracks on the surface of facade structure; numerous localised rust-colored discolorations on the surface of the white-colored coating; localised white efflorescence on the surface of the dark-coloured coating.

During the on-site inspection, the uncovering cut-outs of the entire insulation system of the wall, i. e. the thermal insulation layer together with the thin-coat render and the adhesive layer that fastens the insulation to the substrate, were performed (Photo 2). The thickness of the thermal insulation layer in the uncovered areas was 20 cm. The individual components of the insulation sys-



**Photo 2. Location of outcrops**

*Fot. 2. Umiejscowienie odkrywek*

### Materiały i metody badań

Badania makroskopowe polegały na ocenie ewentualnych nieprawidłowości występujących na elewacjach oraz w układzie warstwowym systemu ETICS. Pomiar wilgotności wełny mineralnej wykonano metodą grawimetryczną, natomiast do pomiaru wilgotności podłoża ściennego użyto urządzenia Testo 635-2. Podczas badań makroskopowych stwierdzono występowanie nieprawidłowości w obrębie systemu ocieplenia ETICS, a mianowicie: miejscowe spękania i zarysowania widoczne na powierzchni elewacji; liczne miejscowe przebarwienia koloru rdzawego na powierzchni elewacyjnej wyprawy tynkarskiej w białej kolorystyce; lokalne białe wykwity na powierzchni elewacyjnej wyprawy tynkarskiej w ciemnej kolorystyce.

Podczas wizji lokalnej wykonano odkrywki obejmujące wycięcie całego układu ociepleniowego ściany, tj. warstwy termoizolacyjnej wraz z cienkowarstwową wyprawą tynkarską oraz klejem mocującym ocieplenie do podłoża (fotografia 2). Grubość warstwy termoizolacyjnej w odkrywkach wynosiła 20 cm. Poszczególne elementy składowe systemu ocieplenia w próbkach zostały poddane pomiarom geometrycznym.

tem in the samples were geometrically measured. Photographs 3 ÷ 6 show the irregularities found in the uncovering cut-outs.

The following abnormalities were identified at the site of the uncovering cut-outs:

- rust-colored discoloration on the surface of the thin-coat plaster;
- discoloration of the adhesive mortar in the reinforced layer (color close to brownish purple) in the locations of the rust-coloured discolorations;
- near-orange deposits locally on mineral wool;
- local abnormalities related to the fixing of the thermal insulation to the substrate and the execution of the reinforcement and finishing layer.



**Photo 3. Rust color discoloration on the white ETICS plaster**  
Fot. 3. Przebarwienie koloru rdzawego na białym tynku ETICS



**Photo 4. Close-up of the rust-colored discoloration on the white ETICS plaster**  
Fot. 4. Zbliżenie na przebarwienie koloru rdzawego na białym tynku ETICS



**Photo 5. View of the break in the plaster-reinforced layer system; with rust-colored discolorations visible on the plaster surface**  
Fot. 5. Widok przelomu układu tynk-warstwa zbrojąca; na powierzchni tynku widoczne przebarwienia koloru rdzawego



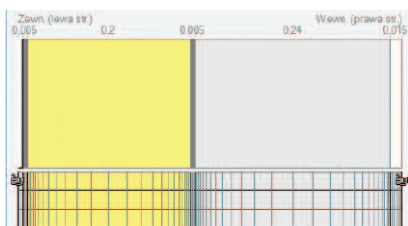
**Photo 6. View of the reinforced layer from the side of the insulation where there is discoloration on the plaster surface – visible brown-purple discoloration of the adhesive mortar**  
Fot. 6. Widok warstwy zbrojącej od strony ocieplenia w miejscu występowania przebarwienia na powierzchni tynku – widoczne brązofioletowe przebarwienie zaprawy klejowej

## Risk analysis of interstitial condensation in the external wall

An analysis of the risk of interstitial condensation occurring in the external wall of the building in question (insulated with mineral wool and finished with a system silicone render) was carried out using the WUFI Pro 5.3. computer software. The following layers were assumed for the development of the model, from the inside out (Figure 1):

- 1.5 cm thick internal gypsum plaster layer;
- 24 cm thick block masonry wall;
- 0.5 cm thick adhesive mortar;
- 20 cm thick mineral wool with  $\lambda = 0.036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,  $\mu = 1$ ;
- 5 mm thick reinforced layer;
- 2 mm thick silicone thin-coat plaster.

For the purpose of the analysis of one-dimensional heat and moisture flow in the analysed model, climate data for the Kraków station (location of the analysed building) was used. The western orientation of the wall was assumed (due to the predominantly western wind, which is important when taking into account the precipitation load on the partition). The



**Fig. 1. Computer model of an external wall made of blocks, insulated with silicone plaster using the ETICS system**

Rys. 1. Model komputerowy ściany zewnętrznej murowanej z bloczków silikatowych, ocieplonej w systemie ETICS tynkiem silikonowym

Na fotografiach 3 ÷ 6 przedstawiono nieprawidłowości występujące w odkrywce.

W miejscu wykonania odkrywek zidentyfikowano następujące nieprawidłowości:

- przebarwienia koloru rdzawego na powierzchni tynku cienkowarstwowego;
- przebarwienia zaprawy klejowej w warstwie zbrojonej (kolor zbliżony do brązofioletowego) w miejscach lokalizacji przebarwień koloru rdzawego;
- złoży w kolorze zbliżonym do pomarańczowego lokalnie na wełnie mineralnej;
- lokalne nieprawidłowości związane z mocowaniem termoizolacji do podłoża oraz wykonaniem warstwy zbrojącej i wykończeniowej.

## Analiza ryzyka wystąpienia kondensacji międzywarstwowej w ścianie zewnętrznej

Przeprowadzono analizę ryzyka wystąpienia kondensacji międzywarstwowej w ścianie zewnętrznej przedmiotowego budynku (ocieplonej wełną mineralną i wykończoną systemowym tynkiem silikonowym) z wykorzystaniem programu komputerowego WUFI Pro 5.3. Do opracowania modelu przyjęto następujące uwarstwienie, licząc od strony wewnętrznej (rysunek 1):

- tynk wewnętrzny gipsowy grubości 1,5 cm;
- mur z bloczków grubości 24 cm;
- zaprawa klejowa grubości 0,5 cm;
- wełna mineralna o  $\lambda = 0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,  $\mu = 1$ , grubości 20 cm;
- warstwa zbrojąca grubości 5 mm;
- tynk cienkowarstwowy silikonowy grubości 2 mm.

Do przeprowadzenia analizy jednowymiarowego przepływu ciepła i wilgoci w analizowanym modelu wykorzystano dane klimatyczne dla stacji Kraków (lokalizacja analizowanego budynku). Przyjęto orientację zachodnią ściany (ze względu na przewagę wiatru zachodniego, co ma znaczenie przy uwzględnieniu obciążenia

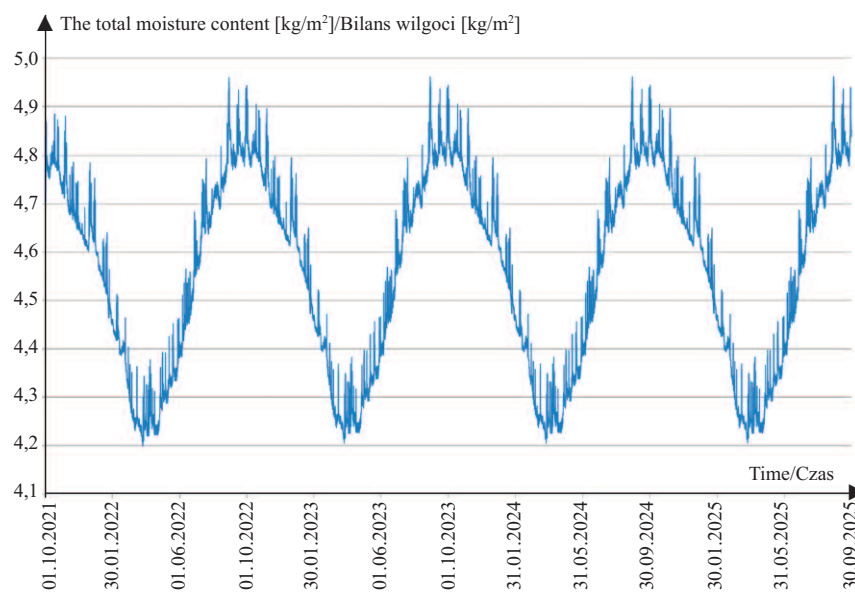
calculations assumed boundary conditions of the third type. The indoor climate parameters (i.e. temperature and relative humidity of the indoor air) were set as a sinusoidal function (indoor temperature with an average value of 20°C with an amplitude of 2°C). The heat transfer resistances on the surfaces were assumed according to the recommendations of PN-EN ISO 13788:2013-05 [26];  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ;  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ . For the indoor relative humidity, an average value of 50% with an amplitude of 5% was assumed. Material data for the formulation of the model layers was assumed based on the information provided in the as-built design documentation and on the basis of material databases of the WUFI software. The presence of mineral wool in the air-dry state was assumed. A period of four years was assumed to determine the moisture content of the envelope and the mineral wool layer separately. The results of the moisture analysis, performed with WUFI Pro 5.3, are presented as diagrams in the Cartesian coordinate system. Those concern the whole envelope (moisture content expressed in  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) and for the mineral wool (moisture content expressed in %)

Data in Figures 2 and 3 show that there is no continuous increase in moisture content (either in the whole wall cross-section or in the mineral wool layer) in the external wall under consideration (irrespective of the colour of the facade render adopted). Cyclical fluctuations of the studied parameter are observed. This happens due to the variability of the

przegrody opadami atmosferycznymi). W obliczeniach przyjęto warunki brzegowe trzeciego rodzaju. Parametry klimatu wewnętrznego (tj. temperaturę oraz wilgotność względną powietrza wewnętrznego) zadano w postaci funkcji sinusoidalnej (temperatura wewnętrzna o średniej wartości 20°C z amplitudą na poziomie 2°C). Opory przejmowania ciepła na powierzchniach przyjęto analogicznie do zaleceń PN-EN ISO 13788:2013-05 [26], tj.:  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ;  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ . W przypadku wilgotności względnej powietrza wewnętrznego przyjęto średnią wartość na poziomie 50% z amplitudą 5%. Dane materiałowe do budowy warstw modelu przyjęto na podstawie informacji zamieszczonych w projekcie powykonawczym oraz na podstawie baz danych materiałowych

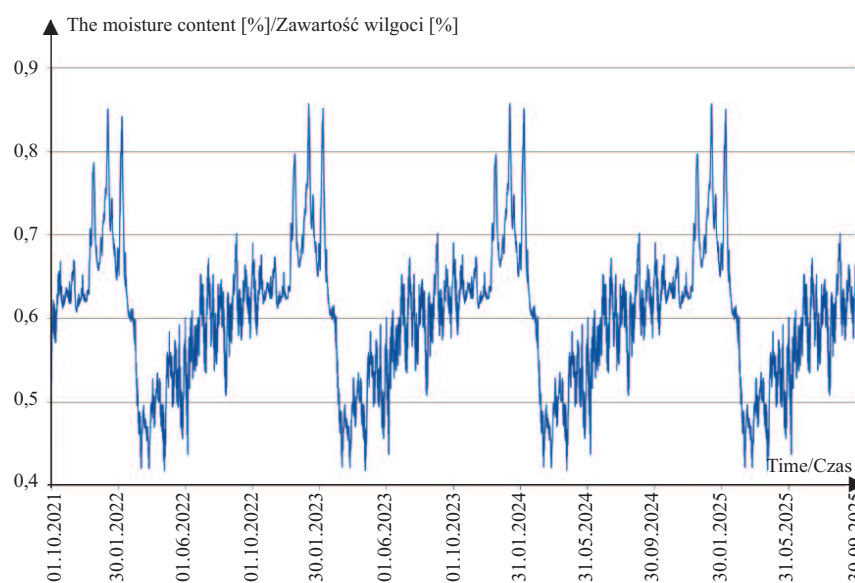
dostępnych w programie WUFI. Założono występowanie wełny mineralnej w stanie powietrzno-suchym. Do wyznaczenia przebiegu zawartości wilgoci w przegrodzie oraz oddzielnie w warstwie wełny mineralnej założono okres czterech lat. Wyniki analizy wilgotnościowej, przeprowadzonej w programie WUFI Pro 5.3, przedstawiono w formie wykresów w kartezjańskim układzie współrzędnych. Dotyczą one całej przegrody (zawartość wilgoci wyrażona w  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) oraz wełny mineralnej (zawartość wilgoci wyrażona w %).

Z danych zamieszczonych na rysunkach 2 i 3 wynika, że w analizowanej ścianie zewnętrznej (niezależnie od przyjętej kolorystyki tynku elewacyjnego) nie dochodzi do ciągłego zwiększania zawartości wilgoci (zarówno w całym przekroju ściany jak i w warstwie wełny



**Fig. 2. The total moisture content [kg/m<sup>2</sup>] in the analyzed external wall of the building in question**

*Rys. 2. Całkowita zawartość wilgoci [kg/m<sup>2</sup>] w analizowanej ścianie zewnętrznej przedmiotowego budynku (tynk jasny)*



**Fig. 3. The moisture content [%] in the mineral wool layer for the analyzed external wall**

*Rys. 3. Zawartość wilgoci [%] w warstwie wełny mineralnej analizowanej ściany zewnętrznej (tynk jasny)*

external climate parameters (seasonal variability in a temperate climate) and is a typical phenomenon for the prevailing climate conditions. In the long term, the moisture content is stable (no continuous loss or gain of moisture). The results of the computer simulation show that under the made assumptions there is no risk of interstitial condensation in the external wall under consideration.

## Measurements of the bulk moisture content of the wall substrate

Within the uncovering cut-outs after the layers of the insulation system were exposed, the moisture content of the wall substrate was measured using a Testo 635-2 electronic device with a material moisture probe. The measuring accuracy of the instrument is  $\pm 1\%$ . As a result of the spot measurements, a so-called quality assessment of the analysed wall in terms of moisture content can be carried out. The moisture content measured with the measuring set is the mass moisture content designated as  $W_m$ . **In the case of the analysed wall substrate, a moisture content of  $2.7 \div 3.3\%$  was obtained.**

In the Polish literature, the following general classification is usually adopted regarding the dampness of masonry (usually for ceramic brick):

- $W_m = 0 \div 3\%$  – wall with acceptable moisture content;
- $W_m = 3 \div 5\%$  – wall with increased humidity;
- $W_m = 5 \div 8\%$  – moderately damp wall;
- $W_m = 8 \div 12\%$  – heavily damp wall;
- $W_m > 12\%$  – wet wall.

Mass moisture measurements of the wall substrate in the uncovered area showed a low moisture level in the masonry made of silicate blocks (Photo 7), namely ca. 3% (acceptable moisture level for masonry).



**Photo 7. Partial measurement of the mass moisture of the wall substrate in the P1 cut-out – result 2,7%**

*Fot. 7. Pomiar cząstkowy wilgotności masowej podłoża ściennego w odkrywce P1 – wynik 2,7%*

## Bulk moisture testing of mineral wool

A study of the bulk moisture content of the mineral wool extracted from the uncovering cut-outs was carried out. 5 samples of the insulation of the external walls of the building in question were selected. The individual samples were tested using the gravimetric method, in which the moisture content is determined by the loss of weight resulting from the evaporation of water from the test sample dried under standard conditions. An electronic thermoregulated dryer (for drying process of the samples) and an analytical balance with a measurement accuracy of 0.001 g (reading the weight of the samples before, during and after the test) were used for the test.

mineralnej). Obserwuje się cykliczne wahania badanego parametru. Wynika to ze zmienności parametrów klimatu zewnętrznego (zmienność pór roku w klimacie umiarkowanym) i jest to zjawisko typowe dla występujących uwarunkowań klimatycznych. W ujęciu długofalowym zawartość wilgoci jest ustabilizowana (brak ciągłego ubytku oraz ciągłego przyrostu wilgoci). Wyniki symulacji komputerowej wskazują, w przypadku przyjętych założeń, brak występowania ryzyka związanego ze zjawiskiem kondensacji międzywarstwowej w rozpatrywanej ścianie zewnętrznej.

## Pomiary wilgotności masowej podłoża ściennego

W obrębie odkrywek po odsłonięciu warstw układu ociepleniowego wykonano pomiary wilgotności podłoża ściennego za pomocą przyrządu elektronicznego Testo 635-2 z sondą do pomiaru wilgotności materiałowej. Dokładność pomiarowa urządzenia wynosi  $\pm 1\%$ . W wyniku przeprowadzonych pomiarów punktowych można dokonać tzw. oceny jakości analizowanej ściany pod względem wilgotności. Wilgotność mierzona za pomocą zestawu pomiarowego jest wilgotnością masową oznaczaną jako  $W_m$ . **W przypadku analizowanego podłoża ściennego uzyskano wilgotność  $2,7 \div 3,3\%$ .**

W literaturze polskiej przyjmuje się najczęściej następujący ogólny podział ze względu na zawilgoconie murów (głównie ceramicznych):

- $W_m = 0 \div 3\%$  – ściany o dopuszczalnej wilgotności;
- $W_m = 3 \div 5\%$  – ściany o podwyższonej wilgotności;
- $W_m = 5 \div 8\%$  – ściany średnio zawilgocone;
- $W_m = 8 \div 12\%$  – ściany mocno zawilgocone;
- $W_m > 12\%$  – ściany mokre.

Wykonane pomiary wilgotności masowej podłoża ściennego w odkrywce

wykazały niski poziom wilgotności muru wykonanego z bloczków silikatowych (fotografia 7), a mianowicie ok. 3% (dopuszczalny poziom wilgotności muru).

## Badanie wilgotności masowej wełny mineralnej

Przeprowadzono badanie wilgotności masowej wełny mineralnej pozyskanej z odkrywek. Wytypowano 5 próbek ocieplenia ścian zewnętrznych przedmiotowego budynku. Poszczególne próbki poddano badaniu metodą grawimetryczną, w której zawartość wilgoci określa się na podstawie ubytku masy wynikającego z odparowania wody z badanej próbki suszonej w warunkach znormalizowanych. Do badania wykorzystano suszarkę elektroniczną z termoregulacją (proces suszenia próbek) oraz wagę analityczną o dokładności pomiarowej 0,001 g (odczyt masy próbek przed, w trakcie i po badaniu).

### Analysis of research results

The table shows the results of the measurement of bulk moisture content of the individual mineral wool samples. On the basis of the obtained results, it was determined that the moisture content of samples No. 1 ÷ 4 strongly deviates from the moisture content of the sample No. 5. In the extreme case, sample No. 3 (table), demonstrates moisture content 38 times higher than sample No. 5 (0.50%). The examination revealed high moisture content in the mineral wool in the uncovering cut-out performed in the area of strong discolouration on the plaster surface. The performed analysis ruled out the possibility of interstitial condensation, which is the most common reason for dampness in external walls [27 ÷ 29]. Therefore, the existence of high dampness in mineral wool must be the result of the lack of permeability of the applied insulation system against rainwater penetration or the installation of wet thermal insulation material on the surface of external walls.

#### Results of moisture testing of mineral wool samples

Wyniki badania wilgotności próbek wełny mineralnej

Sample No./ Nr próbki	Mass of the wet samples $m_w$ [g]/ Masa wilgotnej próbki $m_w$ [g]	Mass of the dried samples $m_s$ [g]/ Masa wysuszonej próbki $m_s$ [g]	Moisture content in [%]/ Wilgotność [%]	Comments/Uwagi
1	37,087	33,25	11,54	high dampness of the wool/ silne zawilgocenie wełny
2	15,299	13,28	15,20	high dampness of the wool/ silne zawilgocenie wełny
3	48,189	40,54	18,87	high dampness of the wool/ silne zawilgocenie wełny
4	82,932	77,435	7,10	high dampness of the wool/ silne zawilgocenie wełny
5	23,893	23,775	0,50	wool in dry condition/ wełna w stanie suchym

### Summary and conclusions

A site inspection, macroscopic and laboratory tests revealed several anomalies on the facade of the building. The most important of these is related to the occurrence of rust-coloured efflorescence on the plaster surface. The uncovering cut-outs revealed that the discolorations are related to the occurrence of rust deposits in the mineral wool layer. Bulk moisture tests revealed that the thermal insulation was in many cases characterised by severe dampness related to workmanship imperfections. The process of moisture transport through the walls combined with the transport of rust-colored chemical compounds resulted in discolouration of the facade surface. It is likely that with less moisture in the mineral wool than the study revealed, the incidence of efflorescence on the facade surface would be lower. Unfortunately, numerous errors associated with the execution of the ETICS insulation system (cracking and hairline cracks, leaks through the joints between the insulation and adjacent elements, faulty flashings, etc.), contributed to intensification of mass transport throughout the insulation components, resulting in numerous rust-colored stains visible on the facades of the building. Identification of the specific factors determining the occurrence of the

### Analiza wyników badań

W tabeli zamieszczono wyniki badania wilgotności masowej poszczególnych próbek wełny mineralnej. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że wilgotność próbek nr 1 ÷ 4 zdecydowanie odbiega od wilgotności próbki nr 5. W skrajnym przypadku, próbki nr 3 (tabela), osiągnęto 38 razy większą zawartość wilgoci w porównaniu z próbką nr 5 (0,50%). Badanie wykazało silne zawilgocenie wełny mineralnej w odkrywce zrealizowanej w miejscu silnych przebarwień na powierzchni tynku. Przeprowadzona analiza wykluczyła możliwość wystąpienia zjawiska kondensacji międzywarstwowej, która stanowi najczęstszy powód zawilgocenia ścian zewnętrznych [27 ÷ 29]. Z tego względu istnienie silnego zawilgocenia wełny mineralnej musi być wynikiem braku szczelności zastosowanego systemu ocieplenia na przenikanie wody opadowej lub zabudowania mokrego materiału termoizolacyjnego na powierzchni ścian zewnętrznych.

### Podsumowanie i wnioski

Wizja lokalna, badania makroskopowe i laboratoryjne ujawniły wiele nieprawidłowości na elewacji budynku. Najważniejsza z nich związana jest z występowaniem rdzawych wykwitów na powierzchni tynku. Zrealizowane odkrywki pozwoliły na stwierdzenie, że przebarwienia związane są z występującymi rdzawymi złożami w warstwie wełny mineralnej. Badania wilgotności masowej wykazały, że izolacja termiczna charakteryzowała się w wielu przypadkach silnym zawilgoceniem, związanym z imperfekcjami wykonawczymi. Proces transportu wilgoci przez ściany połączony z transportem związków chemicznych o rdzawym zabarwieniu spowodował występowanie przebarwień na powierzchni elewacji. Prawdopodobnie w przypadku mniejszego zawilgocenia wełny mineralnej niż stwierdzono, występowałyby mniej wykwitów na powierzchni elewacji. Niestety liczne błędy, związane z wykonaniem ocieplenia w systemie ETICS (zarysowania i spękania tynku, nieszczelności w obrębie połączeń ocieplenia z sąsiadującymi elementami, wadliwe obróbki blacharskie itp.), przyczyniły się do zintensyfikowania transportu masy przez komponenty ocieplenia, uwidaczniając liczne rdzawe plamy na elewacji budynku. Zidentyfikowanie czyn-

described efflorescence will be possible after detailed chemical analysis of mineral wool samples. This will also enable a detailed description of the chemical processes taking place within the individual layers of the ETICS system, the results of which will be presented in subsequent publications.

Received: 10.06.2024

Revised: 08.07.2024

Published: 22.10.2024

ników determinujących występowanie opisywanych wykwitów będzie możliwe po przeprowadzeniu szczegółowych badań chemicznych próbek wełny mineralnej. Umożliwi to ponadto szczegółowy opis procesów chemicznych przebiegających w poszczególnych warstwach systemu ETICS, których wyniki przedstawimy w kolejnych publikacjach.

Artykuł wpłynął do redakcji: 10.06.2024 r.

Otrzymało poprawiony po recenzjach: 08.07.2024 r.

Opublikowano: 22.10.2024 r.

## Literature

- [1] Dickson T, Pavia S. Energy performance, environmental impact and cost of a range of insulation materials. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021; 110752.
- [2] Väntsi O, Kärki T. Mineral wool waste in Europe: a review of mineral wool waste quantity, quality, and current recycling methods. *Journal of Material Cycles and Waste Management.* 2014; 67 – 72.
- [3] Müller A, Leydolph B, Stanelle K. Recycling mineral wool waste – Technologies for the conversion of the fiber structure, Part 1. *Intereram.* 2009; 58: 378-381.
- [4] Fuchs S, Rheude F, Röder H. Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: a critical review. *Cleaner Materials.* 2022.
- [5] Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych. Zabezpieczenia i izolacje, zeszyt 8: Złożone systemy ocieplania ścian zewnętrznych budynków (ETICS) z zastosowaniem styropianu lub wełny mineralnej i wypraw tynkarskich. Instytut Techniki Budowlanej, 2023, ISBN: 978-83-249-8658-3.
- [6] Parracha J, Borsoi G, Flores-Colen I, Veiga R, Nunes L, Dionísio A, Gomes M, Faria P. Performance parameters of ETICS: Correlating water resistance, bio-susceptibility and surface properties. *Construction and Building Materials Volume 272*, 2021; 15.
- [7] Rokił M. System ETICS – jak uniknąć problemów eksploatacyjnych – wybrane zagadnienia. *Inżynier Budownictwa.* 2023.
- [8] Runkiewicz L, Sieczkowski J, Kopyłow O. Okresowe oceny stanu technicznego elewacji budynków. Cz. 1. Wymagania ogólne. *Budler.* 2020; 2/47: 15 – 17.
- [9] Malanho S, Veiga M. Bond strength between layers of ETICS – Influence of the characteristics of the components (mortars and insulation materials). *Journal of Building Engineering.* 2019; DOI: 10.1016/j.job.2019.101021.
- [10] Amaro B, Saraiva D, Brito J, Flores-Colen I. Inspection and diagnosis system of ETICS on walls. *Construction and Building Materials.* 2013; 47: 1257 – 1267.
- [11] Flores-Colen I, De Brito J, Reitas V. Stains in facades rendering – diagnosis and maintenance technique classification inspection. *Constr. Build. Mater.* 2008; 22 (3): 211 – 221.
- [12] Ślusarek J, Orlik-Kozdón B, Bochen J, Muzyczuk T. Impact of the imperfection of thermal insulation on structural changes of thin-layer façade claddings in ETICS. *J. Build. Eng.* 2020; 32.
- [13] Blocken B, Derome D, Carmeliet J. Rainwater runoff from building facades: A review. *Building and Environment.* 2013; DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.10.008.
- [14] Širok B, Blagojević B, Bullen P. *Mineral Wool, Production and Properties.* Woodhead, England. 2008.
- [15] Kupczewska-Dobecka M, Czerczak S, Konieczko K. Wełna mineralna. Zagrożenia dla użytkowników, stan prawny i zasady bezpiecznego postępowania. Instytut Medycyny Pracy im. prof. dra med. J. Nofera w Łodzi. ISBN 978-83-63253-16-5. Łódź 2019.
- [16] Biały W, Maruszewska E, Kołodziej S. Product defectiveness analysis using methods and tools of quality engineering. Cross-border exchange of experience production engineering using principles of mathematics: Modern mathematical methods in engineering. Ostrava, 2018; 7-16. ISBN 978-80-248-4136-6.
- [17] Kubacki J, Mańka M, Śmiszek-Lindert W. The use of spectroscopic and microscopic techniques for the analysis of fibrous insulation. Conference: II Symposium Thermo-Hydro-Insulation, Sosnowiec, Poland 2014.
- [18] Śmiszek-Lindert W, Bajorek A, Kubacki J. Analiza złożonych materiałów o strukturze włókien mineralnych w oparciu o nieinwazyjne metody spektroskopowe. *Chemik.* 2015; vol. 69, nr 7: 411 – 414.
- [19] Nagy B, Simon T, Nemes R. Effect of built-in mineral wool insulations durability on its thermal and mechanical performance. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2020; 139 (1) : 169 – 181.
- [20] Brito V, Gonçalves T. D, Faria P. Coatings applied on damp buildings substrates: performance and influence on moisture transport. *J. Coat. Technol. Res.*, 8. 2011; 513 – 525.
- [21] Kirkelbach D, Holm A, Künzel H. Influence of temperature and relative humidity on the durability of mineral wool in ETICS. In: 10th International conference on durability of building materials and components, Lyon; 2005.
- [22] Lakatos Á. Moisture induced changes in the building physics parameters of insulation materials. *Sci Technol Built Environ.* 2016; 22: 252–60.
- [23] Jerman M, Cerny R. Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials. *Energ Build.* 2012; 53: 39 – 46.
- [24] Simon TK, Mlinárik L, Vargha V. Effect of water vapor on the compressive strength of a mineral wool insulation board. *J Build Phys.* 2015; 39: 285 – 94.
- [25] Buszko A. Wełna mineralna i jej odporność na wodę. *Inżynier Budownictwa.* 2020; 54-57.
- [26] PN-EN ISO 13788:2013-05 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej. Metody obliczania.
- [27] Šadauskienė J, Šeduikytė L. Moisture accumulation in renovated external walls. In *The International Scientific Conference. Innovative Materials, Structures and Technologies.* 2014; 151 – 156.
- [28] Stazi F, Tittarelli F, Politi G, Di Perna C, Munafò P. (2014). Assessment of the actual hygrothermal performance of glass mineral wool insulation applied 25 years ago in masonry cavity walls. *Energy and Buildings.* 2014; 68: 292 – 304.
- [29] Künzel HM. Effect of interior and exterior insulation on the hygrothermal behaviour of exposed walls. *Materials and Structures.* 1998; 31: 99 – 103.