

dr hab. inż. Paweł Krause, prof. PŚ¹⁾*)

ORCID: 0000-0002-8398-1961

dr inż. arch. Monika Sroka-Bizoń¹⁾

ORCID: 0000-0003-1521-2287

dr inż. arch. Ewa Terczyńska¹⁾

ORCID: 0000-0003-1152-3002

Analysis of imperfections in ETICS systems based on the example of multi-family residential buildings in Katowice

Analiza imperfekcji systemu ETICS na przykładzie wielorodzinnej zabudowy mieszkaniowej z terenu Katowic

DOI: 10.15199/33.2025.09.27

Abstract. The issue discussed in this study focuses on the analysis of imperfections in external wall insulation systems constructed using the light wet method. The study covers 93 multi-family residential buildings located in Katowice. As a result of macroscopic tests, different groups of imperfections in thermal insulation systems were identified and their scale was specified. The second part of the study is related to the analysis of a case study of point damage to the ETICS system based on destructive tests and numerical modelling.

Keywords: thermal imperfection; ETICS system; multi-family buildings.

Streszczenie. Problematyka przeprowadzonych badań skoncentrowana jest na analizie występujących imperfekcji systemu ociepleń ścian zewnętrznych, realizowanych metodą lekką-mokrą. Przedmiotem opracowania są 93 wielorodzinne budynki mieszkalne, zlokalizowane na terenie Katowic. W wyniku przeprowadzonych badań makroskopowych wyspecyfikowano zróżnicowane grupy imperfekcji systemów ociepleń z podaniem ich skali. Druga część opracowania związana jest z analizą przypadku punktowych uszkodzeń systemu ETICS, bazującą na badaniach niszczących i modelowaniu numerycznym.

Słowa kluczowe: imperfekcje cieplne; system ETICS; wielorodzinna zabudowa mieszkaniowa.

According to data from the Central Statistical Office, multifamily residential buildings are the dominant form of urban housing construction in Poland [1]. Of the total number of urban dwellings of over 10 million, nearly 8 million are located in multi-family buildings. A significant part of them (41% of the total number of buildings), was built between 1945 and 1988 [1].

The Polish urban multifamily building from 1945 – 1988 is the most common structural element of a housing estate, dominating in that period [2]. Buildings of this type were commonly thermo-modernised from the late 20th century onwards. Nowadays, often referred to, in a pejorative sense, as block housing describes a housing development often criticised for its monotony and repetition of typical solutions. With the passage of time, it has gained in attractiveness and residents of housing estates value their spaciousness, accessibility and openness. This is evident when compared to the developer-led housing development of the 21st century – dense, with buildings designed in close proximity to each other [3, 4].

The urban and spatial qualities of housing developments from the second half of the 20th century in many cases do not go hand in hand with the parameters and technical quality of the individual building elements. This aspect concerns the thermal insulation of the external walls of buildings. This

Z danych Głównego Urzędu Statystycznego wynika, że dominującą formą miejskiej zabudowy mieszkaniowej w Polsce są wielorodzinne budynki mieszkalne [1]. Z ogólnej liczby miejskich mieszkań wynoszącej ponad 10 mln blisko 8 mln zlokalizowanych jest w budynkach wielorodzinnych. Znaczna ich część (41% ogólnej liczby budynków), została wzniesiona w latach 1945 – 1988 [1].

Polski, miejski budynek wielorodzinny z lat 1945 – 1988 to najczęściej element strukturalny osiedla mieszkaniowego, dominujący w tamtym okresie [2]. Tego typu budynki były powszechnie poddawane termomodernizacji od końca XX w. Obecnie często określane, w pejoratywnym znaczeniu, blokowiskiem opisują zabudowę mieszkaniową często krytykowaną za monotonię i powtarzalność typowych rozwiązań. Wraz z upływem czasu, zyskała ona na atrakcyjności, a mieszkańcy osiedli cenią ich przestrzenność, dostępność i otwartość. Jest to widoczne w porównaniu z deweloperską zabudową mieszkaniową XXI w. – gęstą, z budynkami zaprojektowanymi w niewielkiej odległości od siebie [3, 4].

Walory urbanistyczno-przestrzenne osiedli mieszkaniowych z drugiej połowy XX w. w wielu przypadkach nie idą w parze z parametrami i jakością techniczną poszczególnych elementów budowlanych. Ten aspekt dotyczy izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych budynków. Efektem tego była termomodernizacja budynków na przełomie XX i XXI w. W tym okresie prace modernizacyjne koncentrowały się na poprawie izolacyjności ścian zewnętrznych, stropów nad piwnicą oraz dachów. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem poprawiającym

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

*) Correspondence address: pawel.krause@polsl.pl

resulted in the thermomodernisation of buildings at the turn of the 20th and 21st centuries. During this period, modernisation work focused on improving the insulation of external walls, ceilings above the basement and roofs. The most commonly used solution to improve the thermal insulation of walls was the light-wet method, now referred to as ETICS [5, 6], and before 2009 as the Jointless Insulation System (BSO) [7, 8]. This method involves attaching to the wall surface a layered system consisting of a continuous thermal insulation (e.g. polystyrene or mineral wool), covered with a layer of adhesive mortar and reinforced with mesh [9]. The thermal insulation is attached to the wall using mortar or adhesive compound with possible additional fixing with mechanical fasteners.

According to the literature on the subject, the most common problems with this type of insulation include [10 ÷ 17]:

- the formation of point thermal bridges at the fastener locations;
- the visible penetrations of the render – dew or ladybird effect;
- microbiological corrosion of the surface of thin-bed plasters;
- the damage to render at joints between individual thermal insulation components;
- the risk of detachment of fasteners if the length or type of fastener is incorrectly selected for the type of substrate;
- the damage to the system due to inadequate adhesion to the substrate;
- the moisture damage to the surface layers due to excessive surface absorption.

The local weakening of the adhesion of the reinforcement layer in the area of the stud plates is also a disadvantage, especially if they are not properly recessed and covered with thermal insulation plugs [13]. These problems can result in a reduction in the thermal efficiency of the envelope and a deterioration in the aesthetics of the façade. At present, a large group of light-wet thermal insulation systems are approaching the end of their lifespan and questions arise as to what is the actual technical condition of thermal insulation from the early years of thermal insulation and what are the root causes of the damage occurring?

General research

The subject of the study is external wall insulation carried out using the light-wet method. The multi-family residential buildings selected for analysis were erected as housing estates in the 1960s, 1970s and 1980s in Katowice. They were erected in industrialised technology (big slab or big block) and traditional brick technology. The external walls are insulated with 5 ÷ 20 cm thick polystyrene or mineral wool and finished with thin-coat plaster. The buildings are located in the southern districts of Katowice (Giszowiec, Murcki, Kostuchna, Ochajec and Piotrowice) – Figure 1. A group of low-rise (52) and high-rise (41) buildings were studied.

As part of the macroscopic examination, the damage was classified on the basis of the literature, taking into account the

izolacyjność cieplną ścian była metoda lekka-mokra, określana obecnie jako złożony system ocieplania ścian zewnętrznych budynków ETICS [5, 6], a przed 2009 r. jako Bezsposobowy System Ocieplenia (BSO) [7, 8]. Metoda ta polegała na przymocowaniu do powierzchni ściany układu warstwowego składającego się z ciągłej termoizolacji (np. styropianu lub wełny mineralnej), pokrytej warstwą zaprawy klejącej i zbrojonej siatką [9]. Izolacja cieplna przytwierdzana jest do ściany za pomocą zaprawy lub masy klejącej wraz z ewentualnym dodatkowym mocowaniem łącznikami mechanicznymi.

Zgodnie z literaturą tematu do najczęściej występujących nieprawidłowości przy realizacji tego typu ociepleń należą [10 ÷ 17]:

- powstawanie punktowych mostków cieplnych w miejscach osadzenia łączników;
- widoczne przebiccia wyprawy tynkarskiej – efekt tzw. rosy lub efekt biedronki;
- korozja mikrobiologiczna na powierzchni tynków cienkowarstwowych;
- uszkodzenia wyprawy tynkarskiej w miejscach połączeń poszczególnych elementów termoizolacji;
- ryzyko odpajania się elementów mocujących w przypadku niewłaściwego doboru długości lub typu łącznika do rodzaju podłoża;
- uszkodzenia układu na skutek niewłaściwej przyczepności do podłoża;
- zawilgocenia warstw wierzchnich związane z nadmierną nasiąkliwością powierzchniową.

Niekorzystnym zjawiskiem jest również lokalne osłabienie przyczepności warstwy zbrojonej w strefie talerzyków kołków, szczególnie gdy nie zostaną one odpowiednio zagłębione i przykryte zaślepkami termoizolacyjnymi [13]. Problemy te mogą skutkować obniżeniem efektywności cieplnej przegrody oraz pogorszeniem estetyki elewacji.

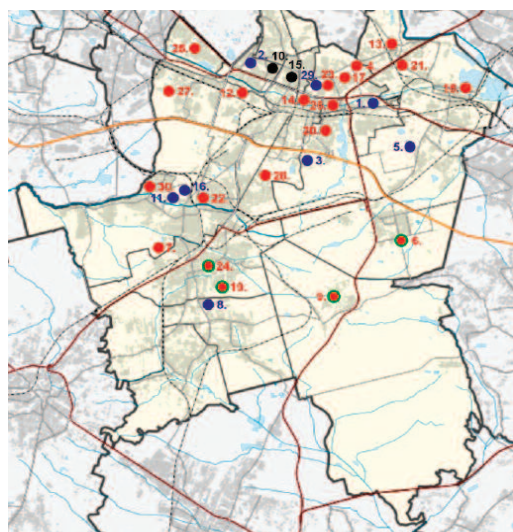
Obecnie duża grupa ociepleń metodą lekką-mokrą zbliża się do granicznej daty ich trwałości i pojawiają się pytania, jaki jest rzeczywisty stan techniczny ociepleń z początkowych lat termomodernizacji i jakie są podstawowe przyczyny występujących uszkodzeń?

Badania ogólne

Przedmiotem przeprowadzonych badań są ocieplenia ścian zewnętrznych wykonane metodą lekką-mokrą. Wybrane do przeprowadzonej analizy wielorodzinne budynki mieszkalne wzniesione zostały w formie zabudowy osiedlowej w latach sześćdziesiątych, siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. na terenie Katowic. Zostały one wzniesione w technologii uprzemysłowionej (wielkopłytywowej lub wielkoblukowej) oraz tradycyjnej, murowanej. Ściany zewnętrzne są ocieplone styropianem lub wełną mineralną o grubości 5 ÷ 20 cm i wykończone tynkiem cienkowarstwowym. Budynki znajdują się w południowych dzielnicach Katowic (Giszowcu, Murckach, Kostuchnie, Ochajcu i Piotrowicach) – rysunek 1. Badaniom poddano grupę budynków niskich (52) i wysokich (41).

W ramach badań makroskopowych dokonano klasyfikacji uszkodzeń na podstawie literatury przedmiotu, biorąc

observed changes and occurring abnormalities in the structure of the plaster layer [10, 11, 18 ÷ 20]. Among the diagnosed imperfections, the following were distinguished (Figure 2): microbiological corrosion – occurrence of moss, algae and fungi (1); damp patches and dirt (2); mechanical damage (3); cracks and scratches – vertical, horizontal and diagonal (4); thinning of the plaster layer with visible reinforcing mesh (5); peeling off the plaster and from the plaster joint in the form of blisters (6); visible joints of thermal insulation layers (7); dirt revealing the arrangement of thermal insulation layer panels (8); dirt revealing the arrangement of mechanical fasteners (9).



- housing estates of recent years built after 2000/osiedla mieszkaniowe lat najnowszych wybudowane po 2000 r.
- housing estates from the 1960s, 1970s and 1980s/osiedla mieszkaniowe z lat 60-tych, 70-tych i 80-tych XX w.
- housing estates from the 1960s, 1970s and 1980s. – I stage of research/osiedla mieszkaniowe z lat 60-tych, 70-tych i 80-tych XX w. – I etap badań
- housing estates built in the 1950s/osiedla mieszkaniowe wybudowane w latach 50-tych XX w.

Fig. 1. Location of the analyzed Katowice housing estates in the spatial layout of the city

Rys. 1. Lokalizacja analizowanych katowickich osiedli mieszkaniowych w układzie przestrzennym miasta

Detailed research and analyses

The research also included a detailed analysis of one of the imperfections occurring. Increasingly, point-like bulges are occurring on the surface of thin-coat render, causing a significant deterioration in the aesthetics of insulated external walls. While similar cases of point irregularities, concerning the so-called ladybird effect, are quite well studied [11], bulges on the surface of thin-coat render can have different causes. Therefore, a study of the external walls of a building with such irregularities was carried out. By carrying out macroscopic tests on the façades of the building under study, localised irregularities of the façade plaster surface in the form of point-like bulges were found. The irregularities are distributed irregularly, at different heights of the external walls. Blistering with a diameter of a few to several centimetres, as well as plaster spalling on the façades, is visible from ground level to a varying extent, depending on the sunlight conditions. In the

pod uwagę zaobserwowane zmiany i występujące nieprawidłowości w strukturze warstwy tynku [10, 11, 18 ÷ 20]. Spośród zdiagnozowanych imperfekcji wyodrębniono (rysunek 2): korozję mikrobiologiczną – występowanie mchu, glonów i grzybów (1); zacieki i zabrudzenia (2); uszkodzenia mechaniczne (3); spękania i zarysowania – pionowe, poziome i ukośne (4); pocienienie warstwy wyprawy tynkarskiej z uwidocznieniem siatki zbrojącej (5); złuszczenia tynku i odspojenia tynku w postaci pęcherzy (6); widoczne łączenia warstw izolacji cieplnej (7); zabrudzenia ujawniające układ płyt warstwy izolacji cieplnej (8); zabrudzenia ujawniające układ łączników mechanicznych (9).

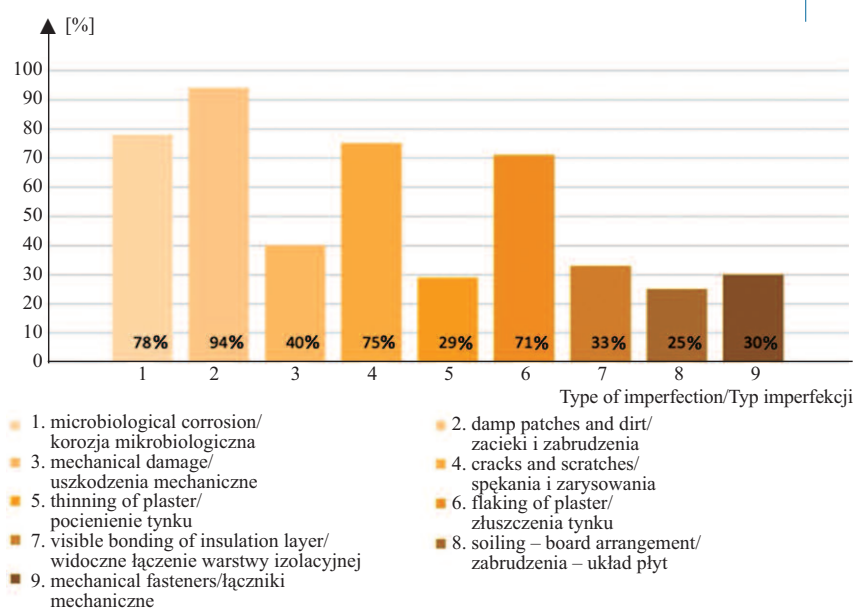


Fig. 2. Percentage of imperfections in the structure of plaster layers in the examined multi-family buildings in a residential area in Katowice

Rys. 2. Procentowy wskaźnik występowania imperfekcji w strukturze warstw tynku w badanych budynkach wielorodzinnych w zabudowie osiedlowej z terenu Katowic

Badania i analizy szczegółowe

W ramach przeprowadzonych badań wykonano również szczegółową analizę jednej z występujących imperfekcji. Coraz częściej na powierzchni tynku cienkowarstwowego występują punktowe wyoblenia, powodując istotne pogorszenie estetyki ocieplonych ścian zewnętrznych. O ile podobne przypadki punktowych nieprawidłowości, dotyczące tzw. efektu biedronki, są dosyć dobrze zbadane [11], to wybrzuszenia na powierzchni tynku cienkowarstwowego mogą mieć różne przyczyny. W związku z tym przeprowadzono badania ścian zewnętrznych budynku z takimi nieprawidłowościami.

Realizując badania makroskopowe na elewacjach badanego budynku, stwierdzono występowanie miejscowych nierówności powierzchni tynku elewacyjnego w postaci punktowych wybrzuszeń. Nierówności rozmieszczone są nieregularnie, na różnej wysokości ścian zewnętrznych. Pęcherze o średnicy od kilku do kilkunastu centymetrów oraz wyoblenia tynku na elewacjach widoczne są z poziomu terenu w różnym zakresie, w za-

case of diffuse light or when the sun is perpendicular to the façade, at heights from the second storey upwards, the render blemishes are practically invisible from ground level. It is only when the sunlight hits the façade at an acute angle that, among other things, the shadows generated by the point-like protuberances of the plaster become apparent – photo 1. Identifying all of the spindles in the entire building from ground level is therefore practically impossible during the survey.

In order to identify, on the basis of macroscopic examinations from ground level, the occurring anomalies in the structure of the plaster layers in the form of point bulges as a special case of imperfections related to the problem of mechanical fixing of the thermal insulation layer to the substrate, in-depth examinations were carried out using a mobile platform, as well as destructive examinations in the form of control excavations and numerical simulations of heat and moisture flow in the considered element, using WU FI 2D software version 3.4.

Test benches. In order to determine the cause of the point-shaped spalling on the facades of the analysed building, 6 control openings were made. The results of one of them are presented in photographs 2, 3. The scope of the uncovering included the finishing layers of the system (plaster + reinforced layer) and the thermal insulation layer. The thermal insulation layer was partially extracted in this area. The thermal insulation material was identified in the excavation in the form of 15 cm thick graphite expanded polystyrene. The total thickness of the thin-coat render and the reinforced layer was 3.01 – 3.88 mm.

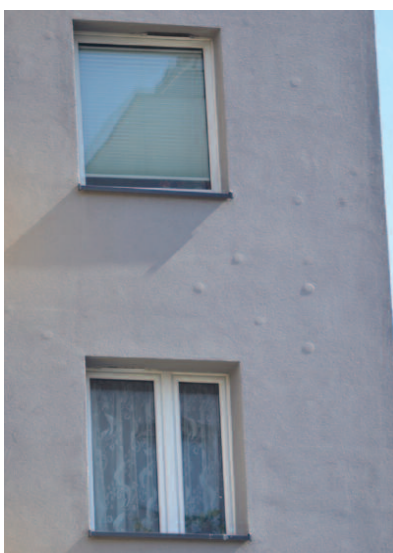


Photo 1. The fragment of the north-western façade (blisters visible to the naked eye from ground level)

Fot. 1. Fragment elewacji północno-zachodniej (pęcherze dostrzegalne nieuzbrojonym okiem z poziomu terenu)

leżności od warunków nasłonecznienia. W przypadku występowania światła rozproszonego lub usytuowania słońca prostopadle do elewacji, na wysokości od drugiego piętra wzwyż wyoblenia z poziomu terenu są praktycznie niedostrzegalne. Dopiero przy padaniu promieni słonecznych na elewację pod kątem ostrym ujawniają się m.in. cienie generowane przez punktowe wypukłości tynku – fotografia 1. Zidentyfikowanie wszystkich wyobleń w całym budynku z poziomu terenu jest więc praktycznie niemożliwe podczas badań.

W celu identyfikacji, na podstawie badań makroskopowych z poziomu terenu, występujących nieprawidłowości w strukturze warstw tynku w postaci punktowych wyobleń, jako szczególnego przypadku imperfekcji związanych z problematyką mocowania mechanicznego warstwy termoizolacyjnej do podłoża, wykonano badania pogłębione z wykorzystaniem podestu ruchomego, a także badania niszczące w postaci odkrywek kontrolnych i symulacji numerycznych przepływu ciepła i wilgoci w rozpatrywanym elemencie, wykorzystując oprogramowanie WUFI 2D wersja 3.4.

Odkrywki kontrolne. W celu określenia przyczyn punktowych wyobleń na elewacjach analizowanego budynku wykonano 6 odkrywek kontrolnych. Wyniki jednej z nich przedstawiono na fotografiach 2, 3. Zakres odkrywki objął warstwy wykonczeniowe systemu (tynk + warstwa zbrojona) oraz warstwę termoizolacyjną. Częściowo w tym obszarze przeprowadzono ekstrakcję warstwy termoizolacyjnej. W odkrywce zidentyfikowano materiał termoizolacyjny w postaci grafitowego styropianu ekspandowanego o grubości 15 cm. Łączna grubość tynku cienkowarstwowego i warstwy zbrojonej wynosiła 3,01 – 3,88 mm.

Na fotografii 2 porównano imperfekcje widoczne na zewnętrznej warstwie tynku z elementami zidentyfikowanymi pod

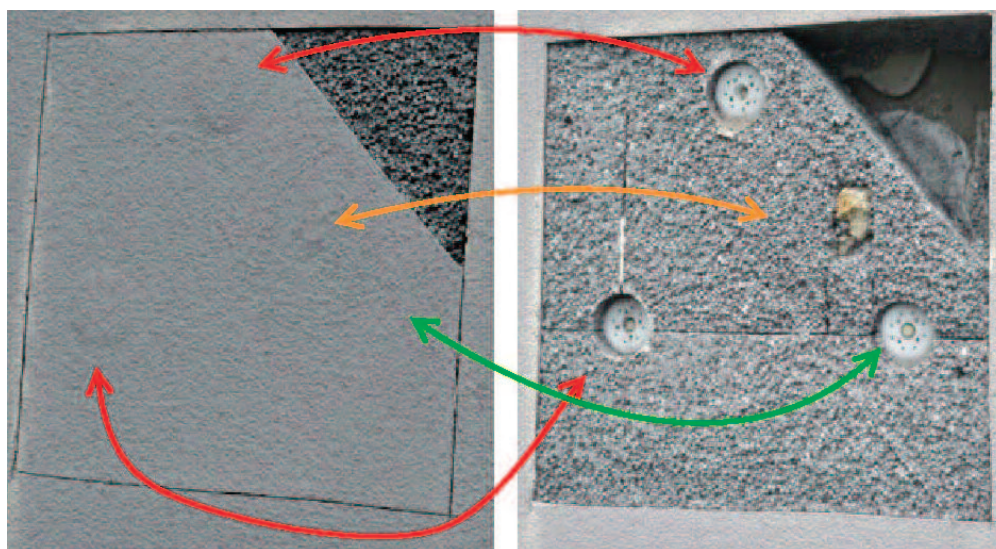


Photo 2. The control pit No. 1

Fot. 2. Odkrywka kontrolna nr 1



Photo 3. The view of the plate and polystyrene cap with the plate imprinted on the inside

Fot. 3. Widok talerzyka i zaślepki styropianowej z odcisniętym talerzykiem od strony wewnętrznej

Photo 2 compares the imperfections visible on the external plaster layer with the elements identified under the reinforced layer. The coincidence of the render imperfections with the two insulation mechanical fasteners is shown by the red arrows. The coincidence of the plaster non-uniformity with the location of the anchor fixing the scaffolding to the wall is illustrated by the orange arrow, and the absence of irregularity at the location of the third mechanical fastener is indicated by the green arrow.

In the uncovering shown, the upper splay is present at the site of the mechanical fastener with the recessed fixing. The following can be seen: the head of the pin sunk into the tee; a damaged connection between the plate and the rest of the tee; cracking and displacement of the material; the fastener loose in the hole. The connector overlaps with the splay on the surface of the ETICS plaster. Here, the imprint of the plastic disc can be seen on the inside of the polystyrene cap – Photo 3. After the reinforcement layer has been applied, the cap has expanded naturally, causing a splay on the facade surface. An analogous situation occurred in the case of the bottom connector on the left in Photo 2. In the case of the bottom mechanical connector on the right in Photo 2, the head of the stud faces the surface of the plate and there is no visible damage to the sheathing. In addition, the heat-insulating cap shows no signs of imprinting on the inner surface of the plate. No abnormalities on the plaster surface were identified at the fastener location.

Numerical analysis of heat and moisture at the fastener location. A numerical analysis of the insulation system under consideration was carried out to investigate the reasons for the formation of spalling on the plaster surface, due to condensation of water vapour accumulating in the air space between the plaster and the polystyrene cap at the location of the mechanical fastener. Computer simulation of heat and moisture flow was carried out in the WU FI 2D computer programme, version 3.4. The result of the computer analysis was presented in a spatial diagram of water vapour pressure distribution (Figure 3) in pascals [Pa]. The diagrams were generated in the programme near the location of the fastener under the finishing layers of the insulation system, relating to the four time points of the analysis: point 1 – start of the analysis; point 2 – one year from the start of the analysis; point 3 – two years from the

warstwą zbrojoną. Zbieżność wyoblen tynku z dwoma łącznikami mechanicznymi ocieplenia przedstawiają strzałki koloru czerwonego. Zbieżność niejednorodności tynku z miejscem osadzenia kotwy mocującej rusztowanie ze ścianą zobrażowano strzałką koloru pomarańczowego, a brak nieprawidłowości w miejscu trzeciego łącznika mechanicznego oznaczono strzałką koloru zielonego.

W przedstawionej odkrywce, górne wyoblenie występuje w miejscu łącznika mechanicznego z mocowaniem zagłębionym. Widoczne są: główka trzpienia zagłębiona w koszulce; uszkodzone połączenie talerzyka z pozostałą częścią koszulki; spękanie oraz przemieszczenie materiału, łącznik luźny w otworze. Łącznik pokrywa się z wyobleniem na powierzchni tynku ETICS. W tym miejscu widoczny jest odcisk talerzyka tworzywowego widoczny od wewnętrznej strony zaślepki styropianowej – fotografia 3. Po wykonaniu warstwy zbrojącej zaślepka uległa naturalnemu rozprężeniu, powodując wystąpienie wyoblenia na powierzchni elewacji. Analogiczna sytuacja wystąpiła w przypadku łącznika dolnego z lewej strony widocznego na fotografii 2. W przypadku dolnego łącznika mechanicznego występującego po prawej stronie na fotografii 2, główka trzpienia licuje się z powierzchnią talerzyka i nie występują widoczne uszkodzenia koszulki. Dodatkowo zaślepka termoizolacyjna nie wykazuje śladów odcisnięcia na wewnętrznej powierzchni talerzyka. W miejscu występowania łącznika nie zidentyfikowano nieprawidłowości na powierzchni tynku.

Analiza numeryczna przepływu ciepła i wilgoci w miejscu osadzenia łącznika. W celu zbadania przyczyn tworzenia się wyoblen na powierzchni tynku, wskutek wystąpienia kondensacji parcia pary wodnej gromadzącej się w przestrzeni powietrznej pomiędzy tynkiem a zaślepką styropianową w miejscu występowania łącznika mechanicznego, przeprowadzono analizę numeryczną rozpatrywanego systemu ocieplenia. Symulację komputerową przepływu ciepła i wilgoci przeprowadzono w programie komputerowym WUFI 2D wersja 3.4. Wynik analizy komputerowej przedstawiono na wykresie przestrzennym rozkładu ciśnienia pary (rysunek 3) wodnej w paskalach [Pa]. W programie wygenerowano wykresy w pobliżu miejsca występowania łącznika pod warstwami wykończeniowymi systemu ocieplenia, dotyczące czterech punktów czasowych analizy: punkt 1 – początek analizy; punkt 2 – rok od momentu rozpoczęcia analizy; punkt 3 – dwa lata od momentu rozpoczęcia analizy, punkt 4 – trzy lata od momentu rozpoczęcia analizy – koniec analizy.

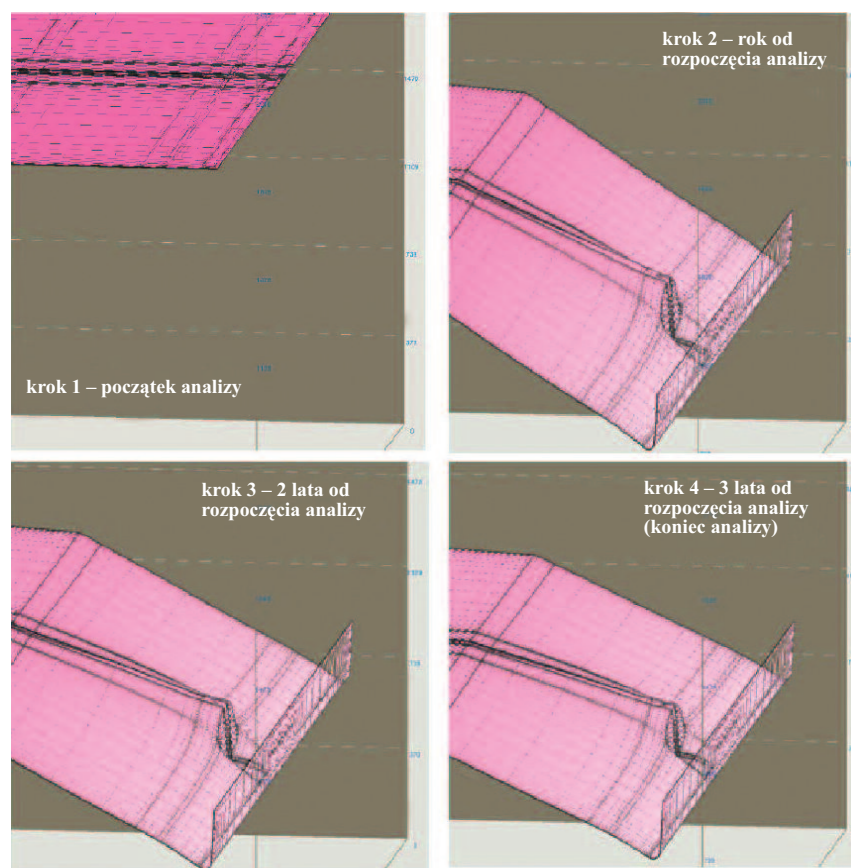


Fig. 3. The set of spatial graphs of water vapour pressure within the area of the mechanical connector under the finishing layers of insulation

Rys. 3. Zestawienie wykresów przestrzennych prężności pary wodnej w obrębie występowania łącznika mechanicznego pod warstwami wykończeniowymi ocieplenia

start of the analysis, point 4 – three years from the start of the analysis – end of the analysis.

External climatic data from a meteorological station located in Katowice were used to analyse the two-dimensional heat and moisture flow in the analysed element. The information recorded in the climatic database of this station was used to set the external boundary conditions of the considered computer model. On the internal side of the partition, the boundary conditions model described in [21] was adopted. To simulate the distribution of temperature and relative humidity of the air on the side of the heated zone, the guidelines described in Appendix C to the above-mentioned standard were applied, assuming the occurrence of normal room occupancy. The heat transfer resistances on the internal and external surfaces were adopted in accordance with the provisions of PN-EN 15026:2008 [21], and the material data for the construction of the model was based on the material databases available in the WU FI 2D programme. The partial pressure course of water vapour at the location of the mechanical fastener was determined during the three-year simulation period 2024 ÷ 2027. The simulation calculations concerned an external wall section of 0.5 m in height, containing a mechanical fastener in accordance with the solution used in the insulation of the building in question (300 mm long fastener, inserted into the insulation using the behind-the-wall method). The simulation covered the entire external wall

Do przeprowadzenia analizy dwuwymiarowego przepływu ciepła i wilgoci w analizowanym elemencie wykorzystano zewnętrzne dane klimatyczne stacji meteorologicznej położonej w Katowicach. Informacje zapisane w bazie klimatycznej tej stacji posłużyły do zadania zewnętrznych warunków brzegowych rozpatrywanego modelu komputerowego. Po stronie wewnętrznej przegrody przyjęto model warunków brzegowych opisany w [21]. Do symulacji rozkładu temperatury i wilgotności względnej powietrza od strony strefy ogrzewanej zastosowano wytyczne opisane w załączniku C do wspomnianej normy, zakładając wystąpienie normalnej zajętości pomieszczenia. Opory przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej przyjęto zgodnie z zapisami PN-EN 15026:2008 [21], a dane materiałowe do budowy modelu na podstawie baz danych materiałowych dostępnych w programie WUFI 2D. Przebieg ciśnienia cząstkowego pary wodnej w miejscu występowania łącznika mechanicznego wyznaczono w trzyletnim okresie symulacji 2024 ÷ 2027. Obliczenia symulacyjne dotyczyły wycinka ściany zewnętrznej o wysokości 0,5 m, zawierającego łącznik mechaniczny zgodnie z rozwiązaniem zastosowanym w ociepleniu przedmiotowego budynku (łącznik o długości 300 mm, wprowadzony do ocieplenia metodą montażu zagłębionego). Symulacja objęła cały przekrój ściany zewnętrznej (od środowiska wewnętrznego do środowiska zewnętrznego). W modelu komputerowym ocieplenia i łącznika

cross-section (from the internal environment to the external environment). In the computer model of the insulation and the fastener, the imperfection consisting in the creation of an air void between the reinforced layer and the polystyrene plug was assumed. A void thickness of 1 mm was assumed. The analysis carried out showed a reduction in water vapour pressure in the area of the polystyrene plug and the plate. In the reinforced layer and in the plaster layer, no variation was found in the partial pressure diagram of water vapour at the location of the connector (the presence of the connector and the accompanying imperfection in the form of an air void under the reinforced layer did not translate into a variation in the distribution of water vapour pressure in the partition).

Discussion of results

Tests carried out on external wall insulation systems in residential buildings located in Katowice indicate a significant problem with the technical condition of insulated façades. The type and character of imperfections occurring generally coincide with the diagnosed damages occurring on the insulated walls of other described buildings [10 ÷ 20]. The problems related to dirt and damp patches, which occurred on the majority of external walls of the studied buildings, may be additionally compounded by the industrial character of Upper Silesia and increased emissions of pollutants into the environment. The described phenomena concerning biological corrosion are very common in domestic conditions, as in Western Europe [16]. It is also worth noting the imperfections occurring least frequently in the completed studies, i.e. the soiling of plaster at the joints of individual thermal insulation panels. Their appearance may cause further destruction of the thermal insulation finishing layer in the future, as pointed out in the publication [15]. The further development of ETICS insulation systems, including, for example, the minimisation of the negative effects of thermal bridges at the locations of mechanical fasteners through the use of polystyrene plugs, results in the appearance of new workmanship imperfections not commonly seen before, to which no significant attention was paid until now. The visual distribution of point-like irregularities on the ETICS render surface will depend on the time of day, the shading of the façade and/or the weather conditions. The destructive testing carried out showed that the occurrence of the blisters was caused by the thermal insulation cap being pressed "forcibly" during installation and partially compressed. The numerical analysis showed a slight variation in the spatial distribution of the water vapour pressure within the wall plug plate, not differing significantly from the distribution of the parameter in the other parts of the analysed wall.

Summary and conclusions

In the light of the research carried out, it was found that the actual technical condition of the thermal insulation from the initial years of thermo-modernisation indicates numerous irregularities. Their primary causes are execution errors. Many of them are additionally related to the durability and

zadano imperfekcję polegającą na wytworzeniu pustki powietrznej pomiędzy warstwą zbrojoną a zaślepką styropianową. Przyjęto grubość pustki 1 mm.

Przeprowadzona analiza wykazała zmniejszenie prężności pary wodnej w miejscu występowania zaślepki styropianowej oraz talerzyka. W warstwie zbrojonej oraz w warstwie tynku nie stwierdzono zróżnicowania wykresu ciśnienia cząstkowego pary wodnej w miejscu występowania łącznika (obecność łącznika oraz towarzyszącej mu imperfekcji w postaci pustki powietrznej pod warstwą zbrojoną nie przełożyły się na zróżnicowanie rozkładu ciśnienia pary wodnej w przegrodzie).

Omówienie wyników

Przeprowadzone badania systemów ociepleń ścian zewnętrznych w budynkach mieszkalnych zlokalizowanych na terenie Katowic wskazują na istotny problem związany ze stanem technicznym ocieplonych elewacji. Rodzaj i charakter występujących imperfekcji pokrywa się na ogół ze zdiagnozowanymi uszkodzeniami, występującymi na ociepleniach ścian innych opisywanych budynków [10 ÷ 20]. Problematyka związana z zabrudzeniami i zaciekami, które wystąpiły na większości ścian zewnętrznych badanych budynków, może być dodatkowo spotęgowana przemysłowym charakterem Górnego Śląska i zwiększoną emisją zanieczyszczeń do środowiska. Opisywane zjawiska dotyczące korozji biologicznej występują bardzo często w warunkach krajowych, podobnie jak w Europie Zachodniej [16]. Warto również zwrócić uwagę na imperfekcje występujące najrzadziej w zrealizowanych badaniach, tj. zabrudzenia tynku w miejscach połączeń poszczególnych płyt termoizolacyjnych. Ich pojawienie się może spowodować w przyszłości dalszą destrukcję warstwy wykończeniowej ociepleń, na co zwrócono uwagę w publikacji [15]. Dalszy rozwój systemów ociepleń ETICS, w tym np. minimalizacja negatywnych oddziaływań mostków termicznych w miejscach występowania łączników mechanicznych przez stosowanie zaślepek styropianowych powoduje, że pojawiają się nowe, niespotykane powszechnie do tej pory imperfekcje wykonawcze, na które dotychczas nie zwracano istotnej uwagi. Wizualny rozkład punktowych nierówności na powierzchni tynku ETICS będzie uzależniony od pory dnia, zacielenia elewacji oraz/lub od warunków pogodowych. Przeprowadzone badania niszczące wykazały, że występowanie pęcherzy zostało spowodowane przez dociśnięcie „na siłę” podczas montażu zaślepki termoizolacyjnej i jej częściowe skompresowanie. Analiza numeryczna wykazała nieznaczne zróżnicowanie rozkładu przestrzennego ciśnienia pary wodnej w obrębie talerzyka kołka rozporowego, nieodlegającego istotnie od rozkładu parametru w pozostałych częściach analizowanej ściany.

Podsumowanie i wnioski

W świetle przeprowadzonych badań stwierdzono, iż rzeczywisty stan techniczny ociepleń z początkowych lat termomodernizacji wskazuje na liczne nieprawidłowości. Ich podstawowymi przyczynami są błędy wykonawcze. Wiele z nich związanych jest dodatkowo z trwałością i jakością przyjętych

quality of the material solutions adopted. At present, on the basis of the irregularities in the structures of the plaster layers shown in the research, it can be concluded that the aesthetic value of a very large group of buildings has been significantly worsened in relation to the stage before thermomodernisation works.

Detailed research and analysis of imperfections in the form of spalling of plaster layers - showed that the blisters occurring on the surface of the plaster coincided with the locations of mechanical fasteners fixing the insulation to the walls. The results of the numerical analysis carried out in the WUFI 2D programme do not confirm the influence of thermal and moisture phenomena on the process of blistering at the locations of mechanical fasteners. The process of splay formation on the plaster surface is strictly mechanical in nature. This indicates the presence of execution imperfections.

The first stage of the research involved a group of 93 multi-family residential buildings from housing estates located in the southern districts of Katowice. On the basis of the diagnosed irregularities in the structures of plaster layers, it should be concluded that the scale and importance of the problem is very significant. Therefore, further research work will focus on extending the in-situ tests to include anomalies occurring in the area of the reinforcing layer, thermal insulation and attachment to the wall substrate.

Received: 12.05.2025
Revised: 07.07.2025
Published: 19.09.2025

rozwiązań materiałowych. W chwili obecnej, na podstawie wykazanych w badaniach występujących nieprawidłowości w strukturach warstw tynkarskich, można stwierdzić, iż walory estetyczne bardzo dużej grupy budynków zostały w znaczącym stopniu pogorszone w stosunku do etapu sprzed prac termomodernizacyjnych.

Szczegółowe badania i analizy imperfekcji w postaci wyoblen warstw tynku wykazały, iż pęcherze występujące na powierzchni tynku pokrywały się z miejscami występowania łączników mechanicznych mocujących ocieplenie do ścian. Wyniki analizy numerycznej przeprowadzonej w programie WUFI 2D nie potwierdzają wpływu zjawisk ciepłno-wilgotnościowych na proces tworzenia się pęcherzy w miejscach występowania łączników mechanicznych. Proces tworzenia się wyoblen na powierzchni tynku ma charakter stricte mechaniczny. Świadczy to o występowaniu imperfekcji wykonawczych.

Przeprowadzony pierwszy etap badań objął grupę 93 wielorodzinnych budynków mieszkalnych z osiedli mieszkaniowych usytuowanych w południowych dzielnicach Katowic. Na podstawie zdiagnozowanych nieprawidłowości w strukturach warstw tynków należy stwierdzić, iż skala i waga problemu są bardzo istotne. W związku z tym dalsze prace badawcze skupią się na poszerzeniu badań in situ o nieprawidłowości występujące w obszarze warstwy zbrojącej, termoizolacyjnej oraz mocowania do podłoża ściennego.

Artykuł wpłynął do redakcji: 12.05.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 07.07.2025 r.
Opublikowano: 19.09.2025 r.

Literature

- [1] GUS, Warunki mieszkaniowe w Polsce w świetle wyników Narodowego Spisu Powszechnego Ludności i Mieszka 2021; https://stat.gov.pl/spisy-powszechne/nsp-2021/nsp-2021-wyniki-ostateczne/warunki-mieszkaniowe-w-polsce-w-swietle-wynikow-narodowego-spisu-powszechnego-ludnosci-i-mieszk-2021_5,2.html.
- [2] Wojtkun G. Wielorodzinne budownictwo mieszkaniowe w Polsce. W cieniu wielkiej płyty. Przestrzeń i Forma; str. 179 – 181; <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPS1-0033-0087/c/WOJTKUN>.
- [3] Dmochowska A, Guzal J, Nęczyński K. 10 milionów szans, czyli jak termomodernizować budynki z wielkiej płyty w Polsce. Raport Polskiej Izby Budownictwa, Polska Izba Budownictwa, 2024; https://pib.net.pl/images/termomodernizacja/PIB_RAPORT_2024..
- [4] Przybytek J., Osiedle Odrodzenia w Katowicach: 2990 mieszkań w 134 blokach dla 8 tys. Ludzi. Miało być dla 140 tys.; <https://katowice.naszemiasto.pl/osiedle-odrodzenia-w-katowicach-2990-mieszkan-w-134-blokach/ar/c3-1762159>.
- [5] Zamorowska R, Sieczkowski J. Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych. Część C: Zabezpieczenia i izolacje. Zeszyt 8: Złożone systemy ocieplania ścian zewnętrznych budynków (ETICS) z zastosowaniem styropianu lub wełny mineralnej i wypraw tynkarskich; Instytut Techniki Budowlanej; Warszawa, 2023.
- [6] Instytut Techniki Budowlanej (ITB). Instrukcja ITB nr 447/2009: Złożone Systemy Izolacji Ciepłej Ścian Zewnętrznych Budynków ETICS. Zasady Projektowania i Wykonywania; ITB: Warszawa, 2009.
- [7] Instytut Techniki Budowlanej (ITB). Instrukcja ITB nr 418/2007: Bezspoinowy System Ocieplania Ścian Zewnętrznych Budynków; ITB: Warszawa, 2007.
- [8] Instytut Techniki Budowlanej (ITB). Instrukcja ITB nr 334/2002: Bezspoinowy System Ocieplania Ścian Zewnętrznych Budynków; ITB: Warszawa, 2002.
- [9] EAD 040083-00-0404. External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) with Renderings; European Organisation for Technical Assessment (EOTA); Brussels, Belgium, 2019; Published 2020.

- [10] Krause P. Analiza imperfekcji cieplnych systemów ETICS z uwzględnieniem konwekcji wewnątrz ściany, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2021.
- [11] Krause P, Steidl T. Uszkodzenia i naprawy przegród budowlanych w aspekcie izolacyjności termicznej, PWN, Warszawa, 2017, s. 162.
- [12] Brydak M. Systemy ociepleń ścian zewnętrznych budynków – problemy projektowe i wykonawcze, Izolacje, 4/2017.
- [13] Gaciek P, Gaciek M, Krause P. Factors Influencing Adhesive Bonding Efficiency in ETICS Application. Materials 2025; <https://doi.org/10.3390/ma18174043>.
- [14] Krause P, Pokorska-Silva I, Kosobucki Ł. Determining Moisture Condition of External Thermal Insulation Composite System (ETICS) of an Existing Building, Materials. 2025. DOI: 10.3390/ma18030614.
- [15] Ślusarek J, Orlik-Koźdoń B, Bochen J, Muzyczuk T. Impact of the imperfection of thermal insulation on structural changes of thin-layer facade claddings in ETICS, Journal of Building Engineering. 2020. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101487.
- [16] Parracha J, Veiga R, Flores-Colen I, Nunes L. Toward the Sustainable and Efficient Use of External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS): A Comprehensive Review of Anomalies, Performance Parameters, Requirements and Durability, Buildings. 2023. DOI: 10.3390/buildings13071664.
- [17] Kubečková D. Regeneration of Panel Housing Estates from the Perspective of Thermal Technology, Sustainability and Environmental Context (Case Study of the City of Ostrava, Czech Republic), Sustainability. 2023. DOI: 10.3390/su15118449.
- [18] Wójcik R. Mocowanie mechaniczne ociepleń w systemach ETICS – wymagania i praktyka wykonawcza. Inżynier Budownictwa. 2015; 9.
- [19] Krause P. Klasyfikacja imperfekcji cieplnych systemu ETICS, Materiały Budowlane. 2022. DOI: 10.15199/33.2022.06.05.
- [20] Dmochowski G, Berkowski P. Wybrane wady wykonawcze ocieplania budynków mieszkalnych metodą ETICS. Materiały Budowlane. 2015;. DOI: 10.15199/33.2015.09.47.
- [21] PN-EN 15026:2008. Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynku – Szacowanie przenoszenia wilgoci za pomocą symulacji komputerowej.