



CHARAKTERYSTYKA CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWA TERMOMODERNIZOWANYCH PRZEGRÓD W BUDYNKACH MIESZKALNYCH NA WYBRANYM PRZYKŁADZIE

Grzegorz Nawalany, Paweł Sokołowski, Piotr Herbut, Sabina Angrecka
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie

HYGROTHERMAL CHARACTERISTICS OF INSULATED EXTERNAL PARTITIONS IN THE RESIDENTIAL BUILDING ON SELECTED EXAMPLE

Streszczenie

W pracy przeprowadzono analizę cieplno-wilgotnościową przegród zewnętrznych termomodernizowanych budynków, zlokalizowanych na terenie gminy Michałowice. Przeprowadzone badania wykazały duże zróżnicowanie rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych istniejących budynków. Wartość współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych badanych budynków przed termomodernizacją wynosiła w większości przypadków około $1,00 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Przeprowadzona termomodernizacja przyczyniła się do obniżenia współczynnika przenikania ciepła przez ściany do około $0,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Wykonane obliczenia cieplno-wilgotnościowe wykazały duże ryzyko występowania głębokiej kondensacji wilgoci w nieocieplonych ścianach zewnętrznych. Przeprowadzone termomodernizacje przyczyniły się do wyeliminowania wykraplania się pary wodnej w warstwie nośnej ściany. W wyniku termomodernizacji uległa podwyższeniu temperatura wewnętrznej powierzchni przegród, co znaczenie ograniczyło wykraplanie się pary wodnej wewnątrz przegród i na ich powierzchniach. W wyniku termomodernizacji

nastąpiło około 3-krotne zwiększenie oporu cieplnego przegród zewnętrznych w badanych budynkach na terenie gminy Michałowice.

Słowa kluczowe: ściana, termomodernizacja, przenikanie ciepła, kondensacja pary wodnej

Summary

The paper presents analysis of hygrothermal characteristics of insulated external partitions in residential building in municipality of Michałowice. The study showed a high diversity of material and structural solutions in existing buildings. The value of heat transfer coefficient for external walls of buildings before thermomodernisation was surveyed as mostly about $1.00 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Thermomodernisation contributed to reduction in heat transfer coefficient through the walls to about $0.30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Hygrothermal calculations showed a great risk of condensation in non-insulated exterior walls. Modernization contributed to elimination of condensation of water vapour in the carrier layer of the wall. The result of thermomodernisation was increase of temperature of inner surface of the partitions, which reduced the risk of water vapour condensation inside the baffles and on their surfaces. Another result of thermomodernisation was about 3-fold increase of thermal resistance in studied buildings in municipality of Michałowice.

Key words: wall, thermomodernisation, heat transfer, water vapour condensation

WSTĘP

Od początku drugiej połowy XX wieku prężny rozwój gospodarczy przyczynił się do gwałtownego wzrostu zapotrzebowania na energię. Wielki kryzys energetyczny w 1973 roku, położył podwaliny pod powstanie licznych wymagań w zakresie zmniejszenia zapotrzebowania na energię budynków w Europie. Od tamtej pory powstałe przepisy stale ewoluowały, zachowując trend w kierunku minimalizacji strat ciepła z budynków. Obecne normy nakładają na projektantów konieczność doboru takich rozwiązań materiałowych, które zapewnią odpowiednią charakterystykę cieplną przegrody oraz wyeliminują niekorzystny wpływ wilgoci na jej konstrukcję i mikroklimat wewnątrz. Projektując przegrody należy również zwrócić uwagę, aby ich konstrukcja zapewniała ochronę przed wykraplaniem się wilgoci na ich wewnętrznej powierzchni (Radoń i Künzel, 2006). Międzywarstwowa kondensacja pary wodnej jest ściśle związana

z nieprawidłowymi rozwiązaniami materiałowo-konstrukcyjnymi ścian. Zbyt mały opór cieplny przegrody, jest jedną z przyczyn występowania wglębnej lub powierzchniowej kondensacji pary wodnej. Zawilgocenie warstw nośnych i osłonowych ścian wpływa również na znaczne pogorszenie parametrów cieplnych przegrody, ponieważ dochodzi wtedy do zwiększenia przewodności cieplnej ściany. W przypadku projektowania przegrody należy wyeliminować potencjalne źródła występowania międzywarstwowej kondensacji pary wodnej (Janczarek i in., 2006).

Do najważniejszych przyczyn nadmiernego zawilgocenia przegród można zaliczyć: wilgoć zawartą w gruncie, opady atmosferyczne, wilgoć technologicznie wprowadzaną do budynków oraz wilgoć pochodzącą z awarii instalacji (Trochonowicz, 2010). W budynkach rolniczych, w których podczas procesu produkcyjnego panuje wysoka wilgotność oraz duże wahania temperatury powietrza wewnętrznego, ryzyko wystąpienia międzywarstwowej kondensacji pary wodnej przegród jest znacznie wyższe niż w przypadku budynków mieszkalnych (Nawalany i in., 2010, 2012, 2014).

W zmiennych warunkach termicznych, poza zapewnieniem odpowiedniej wartości współczynnika przenikania ciepła oraz ochroną przed niekorzystnym działaniem wilgoci, bardzo istotny jest dobór takich rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych do budowy przegród zewnętrznych, aby zapewnić ich odpowiednią pojemność cieplną (Garbalińska i Bochenek, 2011). Wiele termomodernizowanych na terenie gminy Michałowice obiektów posiada rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne z lat 60-tych i 70-tych ubiegłego wieku. Termomodernizacja takich obiektów powinna uwzględniać przystosowanie przewodności cieplnej przegród zewnętrznych do obowiązujących przepisów jak również powinna zapobiegać możliwości kondensacji pary wodnej pomiędzy warstwami konstrukcyjnymi i na wewnętrznej powierzchni przegród.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań była charakterystyka cieplno-wilgotnościowa ścian zewnętrznych w wybranych budynkach mieszkalnych, zlokalizowanych na terenie gminy Michałowice.

Zakres badań obejmował wizję lokalną podczas której przeprowadzono badania ankietowe wśród właścicieli termomodernizowanych budynków. Podczas ankietyzacji uzyskano informacje dotyczące: rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych, roku budowy oraz roku wykonania termomodernizacji budynków. Powyższe informacje pozwoliły na przeprowadzenie szczegółowej analizy cieplno-wilgotnościowej ścian zewnętrznych termomodernizowanych budynków.

MATERIAŁ I METODY

Badania zostały przeprowadzone na terenie gminy Michałowice, w województwie małopolskim. Objęto nimi 45 budynków mieszkalnych, które po przeprowadzeniu wizji lokalnej zostały sklasyfikowane pod względem roku budowy, materiału konstrukcyjnego przegród (ścian zewnętrznych) oraz roku wykonania termomodernizacji. Uzyskane wyniki badań posłużyły do przeprowadzenia analizy cieplno-wilgotnościowej ścian zewnętrznych. Obliczenia wykonano w oparciu o normy PN-EN-ISO 6946 oraz PN-EN ISO 13788. Analizę cieplno-wilgotnościową przeprowadzono w programie Audytor OZC 6.5 Pro. Wykorzystany do tego celu program, poza możliwością sprawdzenia charakterystyki cieplno-wilgotnościowej przegród budowlanych, może być wykorzystany do wspomagania obliczeń projektowego obciążenia cieplnego, wykonywania świadectw charakterystyki energetycznej oraz do określania sezonowego zapotrzebowania na energię cieplną i chłodniczą budynków.

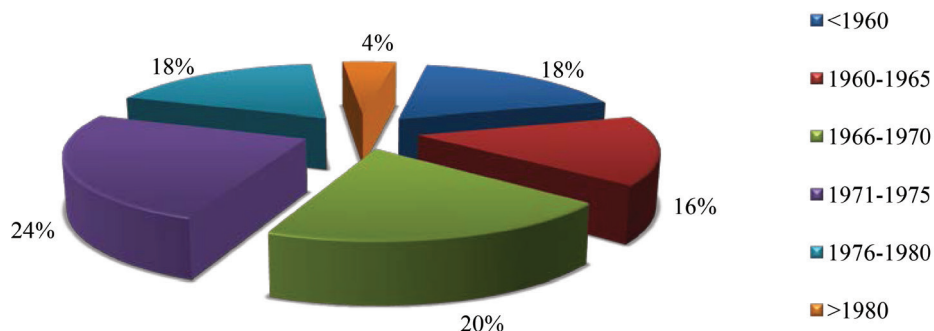
Obliczenia głębszej kondensacji pary wodnej wykonano przy następujących założeniach: temperatura powietrza wewnętrznego 20°C, wilgotność względna powietrza wewnętrznego 50 %, temperatura powietrza zewnętrznego – 20°C, wilgotność względna powietrza zewnętrznego 90%. Obliczenia i analizę cieplno-wilgotnościową przeprowadzono dla dwóch wariantów: I – stanu przed termomodernizacją, II – po termomodernizacji, z uwzględnieniem różnych grubości warstw izolacji termicznej przegrody. W oparciu o wykonane obliczenia podjęto próbę oceny skuteczności przeprowadzonych termomodernizacji w aspekcie zabezpieczenia przed wykraplaniem wilgoci w przegrodach oraz poprawy ich ciepłochronności.

WYNIKI BADAŃ I ANALIZA

Na rysunku 1 przedstawiono udział budynków termomodernizowanych w zależności od roku ich budowy. Ze względu na dobry stan techniczny przegród zewnętrznych, termomodernizacji poddawano budynki, które wybudowano nawet przed 1960 rokiem. Stanowiły one 18 % spośród wszystkich badanych obiektów. Najliczniejszą grupę obiektów termomodernizowanych (24 %) stanowiły budynki wybudowane w latach 1971-1975, natomiast zaledwie 4 % budynków powstało po 1980 roku.

W zależności od okresu budowy stwierdzono różnorodność materiałów stosowanych do wznoszenia ścian zewnętrznych. Najczęściej występującą konstrukcją w okresie 1960-1980 była ściana 2-warstwowa, wykonana z pustaków żużlobetonowych i silikatowej cegły pełnej, pomiędzy którymi zastosowano słabo wentylowane lub niewentylowane pustki powietrzne, o grubości szczeliny powietrznej od 1 do 3 cm (Stelmach, 2007). W tabeli 1 zestawiono

rozwiązania materiałowe ścian zewnętrznych badanych budynków, które zostały poddane termomodernizacji.



Rysunek 1. Udział termomodernizowanych budynków w zależności od roku budowy
Figure 1. Participation of thermomodernisation buildings depending on the year of building

Tabela 1. Rozwiązania materiałowe ścian zewnętrznych budynków na terenie gminy Michałowice, które zostały poddane termomodernizacji

Table 1. Material solutions of exterior walls of buildings in the municipality of Michałowice which have been subjected to thermomodernisation

Rozwiązania materiałowe ścian zewnętrznych	Liczba budynków (szt.)	Udział (%)
pustak żużłobetonowy (24 cm) + silikatowa cegła pełna (12 cm)	27	60
ceramiczna cegła pełna (38 cm)	12	27
pustak żużłobetonowy (24 cm)	6	13
Razem	45	100

Wyniki obliczeń przewodności cieplnej ścian zewnętrznych budynków wykazały, że przed termomodernizacją nie spełniały one wymagań co do dopuszczalnych wartości współczynnika przenikania ciepła, określonych przez Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT 2014). Przed przeprowadzeniem termomodernizacji współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych badanych obiektów zawierał się w przedziale 1,06-1,56 W·m⁻²·K⁻¹. Porównując otrzymane wyniki z obowiązującymi w latach 2002-2008 wymaganiami dla nowych budynków ($U \leq 0,30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$), należy stwierdzić, że przeprowadzone termomodernizacje spowodowały dostosowanie charakterystyki cieplnej tych przegród, do obowiązujących w tamtym okresie przepisów. Jednak

od 2014 roku dla nowych budynków mieszkalnych współczynnik przenikania ciepła ścian zewnętrznych nie powinien przekraczać $0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Termomodernizację ścian zewnętrznych wraz z wymianą stolarki przeprowadzono dla 32 budynków, natomiast dla pozostałych 13 wykonano jedynie ocieplenie ścian zewnętrznych. Większość termomodernizacji przeprowadzono metodą lekką-moką (80 % badanych budynków), natomiast metodą lekką suchą ocieplono 20 % badanych obiektów. Stwierdzono również zróżnicowanie pod względem grubości użytych materiałów termoizolacyjnych. Termomodernizację budynków w latach 1990-2000 przeprowadzano głównie przy użyciu styropianu o grubości 5 cm. W późniejszym okresie, ze względu na wzrost dostępności materiałów izolacyjnych, coraz bardziej korzystną ich cenę, jak również większą świadomość co do ciepłochronności przegród, inwestorzy zdecydowali się na przeprowadzenie termomodernizacji wykorzystując materiały termoizolacyjne o większej grubości (10-15 cm). Podział budynków ze względu na okres wykonanej termomodernizacji i rodzaj zastosowanych materiałów zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Rodzaj materiałów termoizolacyjnych stosowanych do ocieplenia ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych na terenie gminy Michałowice

Table 2. Type of insulation materials used for insulation of external walls in residential buildings in the municipality of Michałowice

Okres przeprowadzenia termomodernizacji (lata)	Rodzaj materiału termoizolacyjnego	Grubość warstwy ocieplenia (cm)	Liczba budynków (szt.)	Udział (%)
1990-1995	styropian	5	3	7
1995-2000	styropian	5	5	11
2000-2005	styropian	7-10	13	29
	wełna mineralna	5	4	9
2005-2010	styropian	10-15	14	31
	wełna mineralna	5-10	6	13
Razem			45	100

W zależności od konstrukcji ścian oraz zastosowanych rozwiązań materiałowych może wystąpić zjawisko międzywarstwowej kondensacji pary wodnej. Wyniki badań wykazały, że w budynkach, których ściany zewnętrzne były wzniesione w układzie jednowarstwowym (rys. 2a) lub dwuwarstwowym z niewentylowaną pustką powietrzną (rys. 2b) istniało duże ryzyko wglębnej

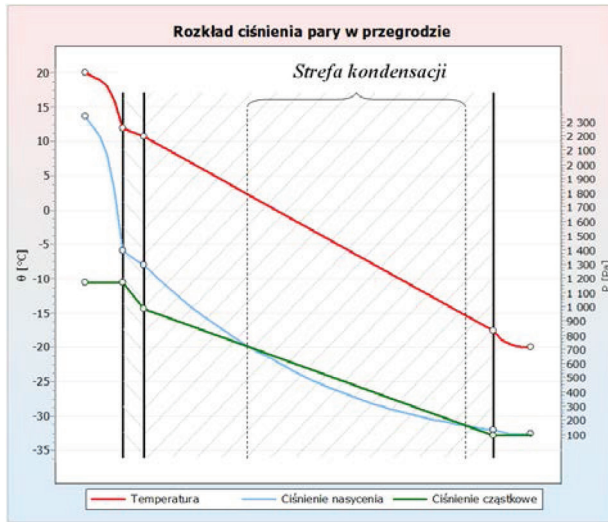
kondensacji pary wodnej. Możliwość wystąpienia tego zjawiska stwierdzono w przypadku 51 % badanych budynków (stan przed termomodernizacją). W przypadku zastosowania pustki powietrznej słabo wentylowanej, strefa wykraplania pary wodnej obejmowała jedynie warstwę osłonową ściany. Wgłębna kondensacja pary wodnej nie występowała w przegrodzie konstrukcyjnej wykonanej z ceramicznej cegły pełnej w układzie dwuwarstwowym, w którym poszczególne warstwy oddzielone były 3 cm słabo wentylowaną pustką powietrzną. Analiza warunków cieplno-wilgotnościowych w ścianach wykonanych w układzie jednowarstwowym wykazała, że wszystkie budynki wzniesione w tej technologii narażone były na okresową kondensację pary wodnej, a strefa kondensacji obejmowała nawet 60-80 % grubości przegrody.

Ocieplenie ścian zewnętrznych istotnie wpłynęło na zmianę ich charakterystyki cieplno-wilgotnościowej. Zastosowanie izolacji termicznej o grubości 5 cm pozwala na wyeliminowanie występowania zjawiska kondensacji pary wodnej w warstwie nośnej, dzięki przesunięciu strefy wykraplania pary wodnej w kierunku warstwy izolacyjnej (rys. 3a i 3b). Zaobserwowana zależność wystąpiła zarówno dla ścian zewnętrznych izolowanych metodą lekką-mokrą jak również lekką-suchą.

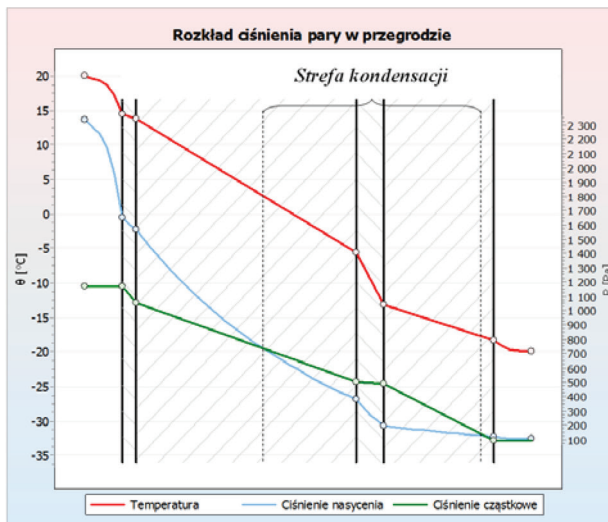
Analiza cieplno-wilgotnościowa wykazała, że zastosowana w wielu przypadkach jedynie 5-centymetrowa warstwa izolacji termicznej korzystnie wpłynęła na zmniejszenie ryzyka występowania kondensacji wgłębnej pary wodnej, jednak nie zapewnia wystarczającego oporu przenikania ciepła. Przeprowadzone termomodernizacje ścian zewnętrznych przyczyniły się do podwyższenia temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany. Zastosowanie izolacji termicznej o grubości 10 cm spowodowało podwyższenie temperatury na wewnętrznej powierzchni ściany o ok. 2°C w stosunku do stanu przed ociepleniem. W budynkach, w których termomodernizację wykonano przy użyciu 15 cm styropianu, temperatura na wewnętrznej powierzchni ściany wzrosła o ok. 3°C. Zjawisko to należy uznać za korzystne ze względu na znaczne obniżenie ryzyka kondensacji pary wodnej na wewnętrznej powierzchni ścian. Analiza zastosowanych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych wykazała, że wartość współczynnika przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych w badanych budynkach po termomodernizacji wahała się w przedziale 0,21-0,53 W·m⁻²·K⁻¹ (tab. 3).

Analiza współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych termomodernizowanych budynków wykazała, że w większości przypadków ich parametry cieplne uzyskane w wyniku termomodernizacji były dostosowywane do panujących w danym okresie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

a)



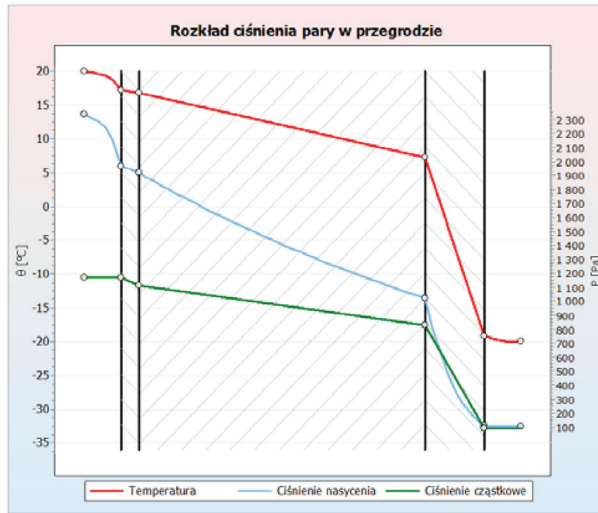
b)



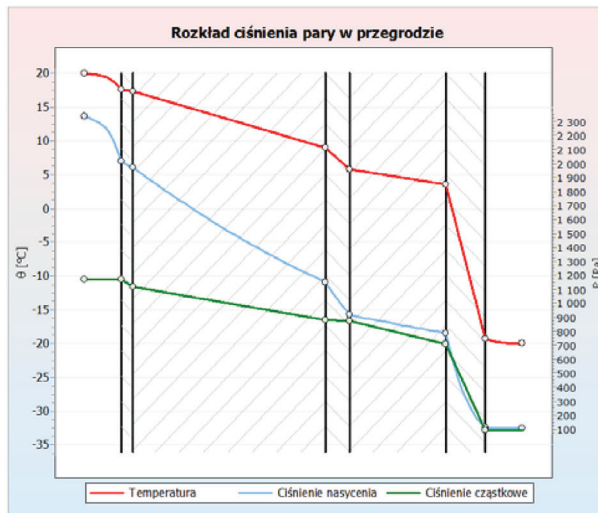
Rysunek 2. Rozkład temperatury i ciśnienia cząstkowego pary wodnej w ścianie zewnętrznej (I wariant obliczeniowy): a) ściana zewnętrzna 1-warstwowa: tynk cementowo-wapienny 1,5 cm, pustaki ALFA 24 cm, b) ściana zewnętrzna 2-warstwowa: tynk cementowo-wapienny 1,5 cm, pustak żułbetonowy 24 cm, pustka powietrzna 3 cm, silikatowa cegła pełna 12 cm

Figure 2. The temperature distribution and the partial pressure of water vapour in the outer wall (1st calculation variant): a) the single-layer outer wall: cement-lime plaster 1.5 cm, 24 cm blocks ALFA, b) the double-layer outer wall: cement-lime plaster 1.5 cm, slag concrete block 24 cm, 3 cm air gap, cement-lime solid brick 12 cm

a)



b)



Rysunek 3. Rozkład temperatury i ciśnienia pary wodnej w ocieplonej ścianie zewnętrznej (II wariant obliczeniowy): a) ocieplona ściana 1-warstwowa: tynk cementowo wapienny 1,5 cm, pustaki ALFA 24 cm, styropian 5 cm, b) ocieplona ściana 2-warstwowa: tynk cementowo-wapienny 1,5 cm, pustak żużlobetonowy 24 cm, pustka powietrzna 3 cm, silikatowa cegła pełna 12 cm, styropian 5 cm

Figure 3. The temperature distribution and the partial pressure of water vapour in the insulated outer wall (2nd calculation variant): a) the insulated single-layer outer wall: cement-lime plaster 1.5 cm, 24 cm blocks ALFA, styrofoam 5 cm, b) the insulated double-layer outer wall: cement-lime plaster 1.5 cm, slag concrete block 24 cm, 3 cm air gap, cement-lime solid brick 12 cm, styrofoam 5 cm

Tabela 3. Wartości współczynnika przenikania ciepła ścian zewnętrznych po termomodernizacji budynków na terenie gminy Michałowice

Table 3. The heat transfer coefficient values on the outer walls after thermomodernisation of buildings in the municipality of Michałowice

Współczynnik przenikania ciepła U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	Liczba budynków (szt.)	Udział (%)
$\leq 0,25$	3	7
0,26 – 0,30	22	49
0,30 – 0,40	17	38
0,40 – 0,49	2	4
$\geq 0,50$	1	2
Razem	45	100

PODSUMOWANIE

Analiza termomodernizowanych budynków na terenie gminy Michałowice wykazała, że największy udział wśród termomodernizowanych obiektów mają budynki mieszkalne wzniesione w latach 1971-1975. Wyniki badań wykazały, że aż 80 % termomodernizowanych budynków posiadało dwuwarstwowy układ ścian zewnętrznych, spośród których w 31 % obiektów stwierdzono występowanie niewentylowanej pustki powietrznej pomiędzy warstwą nośną a warstwą osłonową. Wśród 49 % obiektów odnotowano występowanie słabo wentylowanej szczeliny powietrznej, pomiędzy warstwą nośną a osłonową ściany. W obu przypadkach wielkość pustki powietrznej wynosiła ok. 3 cm. Wśród obiektów z okresu 1965-1975 najczęściej stosowanym rozwiązaniem konstrukcyjnym była ściana 2-warstwowa o następującym układzie warstw: pustaki żużłobetonowe (24 cm) oddzielone niewentylowaną pustką powietrzną (3 cm) od ściany osłonowej wykonanej z silikatowej cegły pełnej (12 cm). Analiza cieplno-wilgotnościowa takiego rozwiązania przegród wykazała duże ryzyko występowania zjawiska wgłębnej kondensacji pary wodnej. Wykonane obliczenia wykazały, że współczynniki przenikania ciepła dla stanu przed termomodernizacją zawierały się w przedziale 1,06-1,56 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Przeprowadzone termomodernizacje korzystnie wpłynęły na poprawę warunków cieplno-wilgotnościowych ścian zewnętrznych. Wyniki obliczeń cieplno-wilgotnościowych wykazały, że zastosowanie 5-centymetrowej warstwy izolacji termicznej może zabezpieczyć ścianę zewnętrzną przed niekorzystnym wpływem kondensacji pary wodnej. Analiza parametrów cieplnych ścian zewnętrznych budynków poddanych termomodernizacji wykazała podwyższenie temperatury na ich wewnętrznej powierzchni o około 2-3°C.

LITERATURA

- Garbalińska H., Bochenek M. 2011. Izolacyjność termiczna a akumulacyjność cieplna wybranych materiałów ściennych. *Czasopismo Techniczne*, r.108, z. 2-A/2, 89-96
- Janczarek M., Skalski P., Bulyandra A., Sobczuk H. 2006. Przewodność cieplna zewnętrznych ścian budynków w aspekcie wilgotności i oszczędności energii. *Rynek energii*, nr 6, 32-35
- Nawalany G. 2012. A proposal to apply operative temperature for the evaluation of thermal conditions in the broiler living zone. *Archiv fur Geflugelkunde*, Vol. 76, Issue 1, 49-54
- Nawalany G., Bieda W., Radoń J. 2010. Effect of floor heating and cooling of bedding on thermal conditions in the living area of broiler chickens. *Archiv fur Geflugelkunde*, Vol. 74, Issue 2, 98-101
- Nawalany G., Bieda W., Radoń J., Herbut P. 2014. Experimental study of development of thermal conditions in ground beneath a greenhouse. *Energy and Buildings*, Vol. 69, 103-111
- PN-EN ISO 13788:2013 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania.
- PN-EN-ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczenia.
- Radoń J., Künzel H. 2006. Problemy cieplno-wilgotnościowe przy renowacji ścian budynków z muru pruskiego. *Acta Scientiarum Polonorum: Architectura* 5 (1), 45-53
- Stelmach M. 2007. Skuteczność termomodernizacji budynków mieszkalnych we wsi Michałowice, gmina Michałowice w aspekcie środowiskowym i ekonomicznym. Niepublikowana praca magisterska, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji UR w Krakowie
- Trochonowicz M. 2010. Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych. *Budownictwo i Architektura*, nr 7, 131-144

dr hab. inż. Grzegorz Nawalany,
mgr inż. Paweł Sokołowski
dr hab. inż. arch. Piotr Herbut
dr inż. Sabina Angrecka
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Budownictwa Wiejskiego
al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
kbw@ur.krakow.pl
tel. (12) 662 40 09

Wpłynęło: 4.02.2015

Akceptowano do druku: 15.10.2015