

Tematyka prezentowanego artykułu była omawiana podczas V Międzynarodowej Konferencji Autoklawizowany Beton Komórkowy, która odbyła się w Bydgoszczy.

Gregor A. Scheffler*

Właściwości higroskopijne izolacji wewnętrznej z lekkiego ABK

Hygric performance of internal insulation with light-weight autoclaved aerated concrete

Streszczenie. W artykule omówiono system izolacji wewnętrznej z wykorzystaniem lekkiego autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK), który określono jako system kapilarnie aktywny. Wyjaśniono również zasady działania systemów izolacji wewnętrznej. Podkreślono zalety szczególnie systemu kapilarnie aktywnego na tle innych rozwiązań izolacji wewnętrznej. System izolacji wewnętrznej z zastosowaniem ABK łączy dobre właściwości termiczne z doskonałymi cechami higroskopijnymi i mechanicznymi.

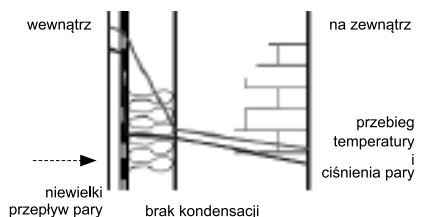
Słowa kluczowe: izolacja wewnętrzna, dyfuzja pary, aktywność kapilarna.

Abstract. This paper introduces insulation system based on a light-weight autoclaved aerated concrete, defined as diffusion-open system. The working principles of such insulation systems are explained and the particular advantages of diffusion-open system are highlighted. AAC-based internal insulation system – combines the good thermal properties with the excellent hygric and mechanical properties.

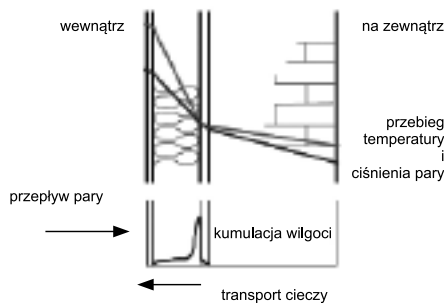
Keywords: internal insulation, vapor diffusion, capillary activity.

Zmniejszenie zużycia energii przez budynki to kluczowe wyzwanie dla społeczeństw na całym świecie, gdyż skutkuje zmniejszeniem emisji CO₂. W przypadku nowych budynków wymagania dotyczące właściwości cieplnych zostały już bardzo wysoko postawione, dlatego też obecnie w tym sektorze oszczędzanie energii jest dosyć skuteczne. O wiele większy potencjał jest w grupie budynków wybudowanych przed 1980 r., których straty ciepła są bardzo wysokie, a nie zawsze można w nich zastosować zewnętrzną izolację termiczną. Często jedynym wyjściem może być właściwe wykonanie izolacji wewnętrznej, która postrzegana jest krytycznie z powodu podatności na dyfuzję pary i kondensację międzywarstwową. Powód to związek pomiędzy temperaturą a wilgotnością względną/ciśnieniem pary. W konsekwencji znacznego spadku temperatury w obrębie izolacji wewnętrznej, dyfuzja pary przebiega w jej strukturze. Istnieją dwa rozwiązania izolacji wewnętrznej: jedno to wykonanie przegrody paroszczelnej (rysunek 1) i wówczas prawie unika się wystąpienia dyfuzji pary, drugie to zastosowanie systemu wewnętrznej izolacji kapilarnie aktywnej, która poradzi sobie z wilgotnością (rysunek 2).

* Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft, Oddział Badań Stosowanych i Fizyki Budowli, Niemcy



Rys. 1. Zasada działania systemów izolacji wewnętrznej opóźniającej dyfuzję pary. Przepływ dyfuzyjny pary jest eliminowany przez przegrodę paroszczelną. Wysychanie do wnętrza pomieszczenia jest prawie niemożliwe



Rys. 2. Zasada działania paroizolacji wewnętrznej, kapilarnie aktywnej. W konstrukcji nie zapobiega się przepływowi dyfuzyjnemu pary. Skumulowana wilgoć pochłaniana jest przez materiał izolacyjny. Wilgoć w fazie ciekłej zostaje odprowadzona w kierunku powierzchni ściany wewnętrznej przez siły kapilarne. W rezultacie, wilgoć jest utrzymywana na niskim poziomie z niewielkim oddziaływaniem na potencjał wysychania do wnętrza

Przegroda paroszczelna

W rozwiązaniu przedstawionym na rysunku 1, aby zapobiec dyfuzji pary w ścianie, należy zainstalować przegrodę paroszczelną po wewnętrznej stronie izolacji. Wykończenie ściany zazwyczaj składa się z płyt np. gipsowo-włóknowych, które działają również jako dodatkowa warstwa ochronna przegrody paroszczelnej. Oczywiście jest, iż opór przegrody na dyfuzję pary musi być odpowiednio wysoki, by uchronić konstrukcję przed kondensacją międzywarstwową. Jeżeli taka kondensacja będzie mieć miejsce, może doprowadzić do zniszczenia konstrukcji ściany, materiału izolacyjnego i jego właściwości cieplnych.

Przegrody paroszczelne są przedmiotem badań. Wymagają one jednak dużej uwagi podczas montażu, szczególnie spoin, połączeń i otworów. Małe niedociągnięcia lub przecieki mogą przyczynić się do zniszczenia wywołanego wilgocią. Wyeliminowanie dyfuzji pary w konstrukcji przez uszczelnienie jej substancją opóźniającą dyfuzję stanowi jednocześnie wielką wadę takich systemów izolacyjnych. Jeśli ściana jest prawie paroszczelna, to niemożliwe jest wysychanie do wnętrza ani buforowanie wilgoci z powietrza w pomieszczeniu. Jest to szczególnie ważne w przypad-

ku konstrukcji ścian, które wymagają wysychania do wewnątrz, takich jak przegrody drewniane lub z ceramiki.

Otwarta paroizolacja kapilarnie aktywna

System wewnętrznej paroizolacji kapilarnie aktywnej składa się z materiału izolacyjnego i zaprawy, za pomocą której łączy się materiał z konstrukcją ściany (rysunek 2). Materiały izolacyjne kapilarnie aktywne muszą odznaczać się trzema cechami fizycznymi: małą przewodnością cieplną; dużą paroprzepuszczalnością oraz dużą zdolnością do odprowadzenia wilgoci. Systemy opóźniające dyfuzję pary mogą składać się z jednego materiału spełniającego oba kryteria (opóźnianie dyfuzji pary i izolacja cieplna), jak np. EPS czy XPS, lub z dwóch materiałów, np. wełna mineralna z folią jako przegrodą paroszczelną. **Izolacja kapilarnie aktywna działa zawsze jako system dwóch materiałów: izolacji i zaprawy klejącej**, która powinna odznaczać się niższą paroprzepuszczalnością i niższą przewodnością cieczy niż materiał izolacyjny. Zazwyczaj cechuje ją też wyższa przewodność cieplna. Przyczyna takiego rozłożenia właściwości leży w zasadzie działania systemów izolacyjnych kapilarnie aktywnych. W zimie rozkład temperatury w głębi ściany charakteryzuje się ostrym zejściem w materiał izolacyjny, czego wynikiem jest przepływ dyfuzyjny pary w konstrukcji. Jeżeli osiągnięte zostanie ciśnienie pary nasyconej, wówczas woda w stanie ciekłym wpływa do wnętrza struktury. Ze względu na wyższą przewodność cieplną i niższą paroprzepuszczalność, zaprawa klejąca zapewnia pozostawanie warstwy kondensacyjnej wewnątrz materiału izolacyjnego. Izolacja pochłania wilgoć i odprowadza ją w stanie ciekłym z powrotem na wewnętrzną powierzchnię ściany.

W opisanym przypadku następuje transport wilgoci od zimnej strony materiału izolacyjnego do wewnętrznej powierzchni ściany (rysunek 2). Oba mechanizmy transportu (przewodzenie cieczy i dyfuzja pary) działają pod wpływem innych sił, które w tym samym czasie mogą być skierowane w dwie różne strony. Po pewnym czasie wytwarza się stabilny stan pomiędzy transportem pary w jednym kierunku i transportem cieczy w drugim. Wilgoć wewnątrz ściany jest utrzymywana na niskim poziomie, a cały proces pozytywnie oddziałuje na klimat wewnątrz.

System izolacji wewnętrznej, kapilarnie aktywnej został opracowany z zastosowaniem lekkiego betonu komórkowego [1]. Trzeba podkreślić, że typowe normy do projektowania właściwości cieplno-wilgotnościowych budynków [2, 3] obejmują uproszczone metody obliczeniowe pomijające kwestię transportu cieczy. W rezultacie systemy izolacyjne kapilarnie aktywne nie mogą zostać poprawnie obliczone. Wprawdzie są dostępne metody bardziej zaawansowane [4, 5, 6], ale często nieznacone w budownictwie, co sprawia, że architekci i inżynierowie rzadko proponują takie systemy.

Badany obiekt

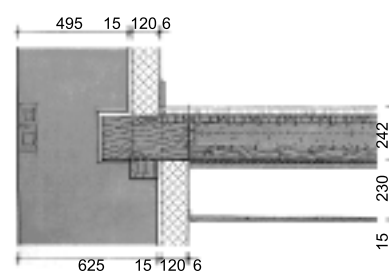
Przedmiotem badań był budynek szkoły wzniesiony ok. 1900 r. z fasadą z klinkieru grubości 75 mm (fotografia) oraz drewnianą konstrukcją podłóg. Charakterystyczną fasadę należało zachować, dlatego też na ścianach zastosowano izolację wewnętrzną



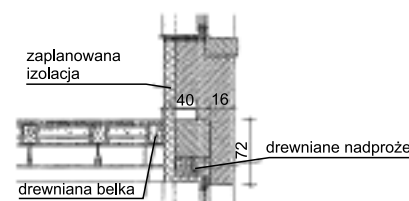
Widok na stary budynek szkoły [1]

z lekkiego betonu komórkowego grubości 120 mm. Przy wykonywaniu izolacji zwrócono uwagę na połączenie drewnianych belek podłogowych z konstrukcją ściany (rysunek 3) oraz okna z drewnianym nadprożem (rysunek 4).

W artykule zaprezentowano przykład bardziej zaawansowanej metody obliczeń związanej z kapilarnie aktywną izolacją we-



Rys. 3. Połączenie drewnianej belki podłogowej z konstrukcją ściany [1]. Zastosowana izolacja wewnętrzna o grubości 120 mm składała się z lekkiego ABK



Rys. 4. Połączenie okna z drewnianym nadprożem

wewnętrzną z betonu komórkowego. Do obliczeń użyto programu DELPHIN [7], który umożliwia ujęcie i wyjaśnienie sprzężonych transportów ciepła i wilgoci w różnych warunkach klimatycznych.

W tabeli 1 podano wykaz wykorzystanych do obliczeń materiałów i ich właściwości zgodnie z [8, 9], a w tabeli 2 zamieszczono dane dotyczące warunków klimatycznych.

Obliczenia jednowymiarowe

W pierwszym etapie przeprowadzono jednowymiarowe obliczenia nienaruszonej konstrukcji ściany z izolacją wewnętrzną z ABK o gęstości 115 kg/m^3 w stałych warunkach klimatycznych przez 60 dni. Analiza rozwoju wilgotności względnej wykazała, że po zimnej stronie

Tabela 1. Wykaz wykorzystanych materiałów i ich właściwości wg [8, 9]

Materiał	Gęstość objętościowa [kg/m ³]	Przewodność cieplna [W/mk]	Opór dyfuzyjny [-]	Współczynnik absorpcji wody [kg/(m ² ·s)]	Zawartość wilgotności sorpcyjnej [m ³ /m ³]
Klinkier (stary)	2100	1,0	30	0,005	0,003
Cegła	1800	0,75	20	0,070	0,003
Drewniana belka (wzdłużna)	530	0,13	45	0,058	0,075
Drewniana belka (prostopała)	530	0,13	150	0,020	0,075
Szczelina powietrzna (10 mm)	1,3	0,067	0,7	-	-
Szczelina powietrzna (50 mm)	1,3	0,278	0,35	-	-
Sufit akustyczny	30	0,10	1	-	-
Zaprawa do izolacji lekkiego ABK	830	0,15	15	0,003	0,052
Lekka izolacja z ABK	115	0,045	4	0,017	0,008

izolacji wilgotność ta osiągała wartość ok. 90%. Izolacja pochłaniała zgromadzoną wilgoć i umożliwiała szybkie wysychanie w okresie ciepłym. W drugim etapie przez 5 lat prowadzono obliczenia konstrukcji w naturalnych warunkach klimatycznych centralnych Niemiec (tabela 2). Obliczenia wykazały, że wilgotność względna na zimnej stronie izolacji oscyluje pomiędzy 60% w lecie i 94% w zimie. Zaobserwowano taki sam transport i zachowanie się skumulowanej wilgoci jak w stałych warunkach klimatycznych. Stwierdzono dobre zachowanie się konstrukcji w naturalnych warunkach klimatycznych.

Tabela 2. Graniczne warunki klimatyczne przyjęte do obliczeń

Graniczne warunki	Temperatura [°C]	Wilgotność względna [%]	Czas trwania
Wewnątrz	20	50	60 dni/ 5..10 dni
Na zewnątrz	-10	80	60 dni
Na zewnątrz, dane pogodowe	dane pogodowe dla środkowej części Niemiec, włączając wartości godzinowe dotyczące temperatury, wilgotności względnej, promieniowania słonecznego, wiatru i opadów		5..10 dni

Obliczenia dwuwymiarowe

Dotyczyły one połączenia ściana – belka podłogowa oraz połączenia okno – nadproże. W przypadku każdego z tych elementów obliczenia prowadzono przez 60 dni w stałych warunkach klimatycznych, podobnie jak przy obliczeniach jednowymiarowych ściany z izolacją wewnętrzną. Następnie badano zachowanie się połączeń w naturalnych warunkach klimatycznych.

W wyniku obliczeń w stałych warunkach klimatycznych po 60 dniach wykreślono krzywą wilgotności względnej dla konstrukcji połączeń. Stwierdzono, że wewnątrz konstrukcji nie występuje kumulacja wilgoci nadmiernie higroskopijnej. Tak jak w przypadku obliczeń jednowymiarowych, wilgotność względna wzrasta na zimnej stronie izolacji i po 60 dniach osiąga ok. 95%. Części drewniane nie są wystawione na działanie wilgotności względnej. Zwiększenie wilgotności ponad 86% można zauważyć w obszarze nośnego elementu drewnianego belki, ale nie jest ona uznana za krytyczną. Nie istnieje więc ryzyko wystąpienia pleśni i innych problemów związanych z wilgocią.

Do obliczeń przeprowadzonych w naturalnych warunkach klimatycznych przyjęto zwiększoną początkową zawartość wilgoci w lekkiej izolacji z betonu komórkowego.

Zwiększona wilgotność względna na połączeniu belki podłogowej i izolacji, którą zaobserwowano w pierwszym roku, nie wystąpiła już w drugim roku. W obrębie elementów drewnianych wilgotność względna nie przekracza wartości 82%, dlatego też konstrukcja zachowuje się dobrze również w naturalnych warunkach klimatycznych.

Na podstawie badań, obliczeń i obserwacji połączenia okna z drewnianym nadprożem, podobnych jak w przypadku połączenia ściana – belka podłogowa stwierdzono, że jest ono prawidłowe i nie ma problemów z wilgocią czy uszkodzeniami konstrukcji na tym połączeniu.

Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie systemu wewnętrznej izolacji cieplnej z lekkiego ABK w starych budynkach jest zasadne pod względem efektywności energetycznej. Zaproponowana izolacja wewnętrzna z lekkiego autoklawizowanego betonu komórkowego grubości 120 mm w budynku szkolnym z fasadą klinkierową powoduje zmniejszenie wartości U ściany z 1,11 W/(m²K) do 0,28 W/(m²K).

Wyniki symulacji jednowymiarowej ilustrujące zasadę działania proponowanego rozwiązania wskazują, że w zimie dyfuzja pary do konstrukcji powoduje zwiększenie wilgotności względnej po zimnej stronie izolacji. Wilgoć nadmiernie higroskopijna nie występuje ze względu na kumulację wilgoci i jej transport w ABK. System sprawdził się również w naturalnych warunkach klimatycznych.

Wyniki symulacji dwuwymiarowej wykazały, że system sprawdził się też w przypadku tak skomplikowanych elementów jak drewniane belki łączące się ze ścianą lub oknem. W przypadku połączenia okna stan pseudostacjonarny został osiągnięty w ciągu trzech lat po renowacji, natomiast w przypadku drewnianej belki podłogowej etap taki wystąpił po siedmiu lub ośmiu latach. W żadnym obliczeniu nie zaobserwowano krytycz-

nej zawartości wilgoci. Zastosowanie dyfuzyjnie otwartego i kapilarnie aktywnego systemu izolacji przyczyniło się jedynie do zwiększenia w niewielkim stopniu odporności na dyfuzję, umożliwiając znaczny potencjał wysychania do wewnątrz. Choć zawartość wilgoci wewnątrz konstrukcji murowanej wzrosła, to ogólny poziom wilgoci został utrzymany poniżej wartości krytycznych. Z tego powodu lekki ABK jest doskonałym materiałem termoizolacyjnym, nawet w przypadku tak wrażliwych elementów konstrukcyjnych jak drewniane belki podłogowe.

Literatura

- [1] Kreft O., Straube B., Schoch T. 2011: Internal Thermal Insulation with Light Weight Autoclaved Aerated Concrete. Artykuł złożony na 5. Międzynarodową Konferencję Autoklawizowanego Betonu Komórkowego w Bydgoszczy, wrzesień 2011, Polska.
- [2] DIN 4108-03: 2001-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz. Beuth-Verlag Berlin.
- [3] ISO 13788: 2001: Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods.
- [4] WTA Merkblatt 6-1-01/D: Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Mai 2002.
- [5] WTA Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchtechnischer Prozesse. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Mai 2002.
- [6] EN 15026: 2007: Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation.
- [7] Nikolai A., Fechner H., Grunewald J. Delphin – Simulation program for coupled heat, air moisture and salt transport in porous materials. Software developed at the Institute of Building Climatology at Dresden University of Technology. www.bauklimatik-dresden.de
- [8] Scheffler G. A., Plagge R., 2011. Methods for moisture storage and transport property determination of autoclaved aerated concrete. Artykuł złożony na 5. Międzynarodową Konferencję Autoklawizowanego Betonu Komórkowego w Bydgoszczy, wrzesień 2011, Polska.
- [9] Scheffler G. A., 2011. Introduction of a full-range model for liquid and vapor transport properties on autoclaved aerated concrete. Artykuł złożony na 5. Międzynarodową Konferencję Autoklawizowanego Betonu Komórkowego w Bydgoszczy, wrzesień 2011, Polska.