Docieplenia od wewnątrz – metodyka projektowania i rozwiązania materiałowe

Ocieplanie ścian budynków od wewnątrz wykonywane jest od wielu lat [2, 5, 7]. W tym zakresie powstało wiele publikacji dotyczących projektowania i wykonania tego typu dociepleń [1, 3, 4]. Można byłoby uznać ten temat za wyczerpany, gdyby nie fakt pojawiania się na rynku coraz to nowszych materiałów izolacyjnych i większych wymagań stawianych przez przepisy prawa, jak i samych użytkowników oraz właścicieli budynków.

Wprowadzenie

Stwarza to dla projektanta duże wyzwanie z zakresu wiedzy technicznej, co do cech technicznych nowych materiałów termoizolacyjnych i technologii ich montażu oraz właściwości przegród budowlanych wznoszonych w latach minionych, w tym przede wszystkim przegród w budynkach o znaczeniu historycznym.
Każdorazowe projektowanie docieplenia od strony wewnętrznej wymaga szczegółowej analizy cieplno-wilgotnościowej zachowania się nowo projektowanego uwarstwienia przegrody w czasie, w warunkach jej rzeczywistej przyszłej eksploatacji.

W artykule dokonano przeglądu dostępnych rozwiązań materiałowych oraz zaproponowano autorską metodykę projektowania docieplenia od strony wewnętrznej.

Fot. 1. Przykład zastosowania płyt z wełny drzewnej

Przepisy i normy

Projektowanie przegród zewnętrznych, w tym projektowanie dodatkowej warstwy docieplenia, jest obwarowane przepisami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75, poz. 690, z późniejszymi zmianami) [9]. Zgodnie z § 2.1 przepisy tego rozporządzenia stosuje się przy

projektowaniu, budowie i przebudowie oraz przy zmianie sposobu użytkowania budynków oraz budowli nadziemnych i podziemnych spełniających funkcje użytkowe budynków.

Docieplenie od strony wewnętrznej niewielkiego fragmentu budynku, np. jednej ściany pokoju czy kilku ścian w mieszkaniu nie podlega przepisom [9] i praktycznie może być wykonane przez właściciela mieszkania bez jakiegokolwiek projektu. W każdym innym przypadku wymagane jest spełnienie warunków zawartych w załączniku nr 2, pkt. 2.2 do rozporządzenia [9]. Wymagania nie są w tym zakresie rygorystyczne. Pozwalają np. na niewykonywanie obliczeń związanych z kondensacją dla ścian jednowarstwowych, dla których praktyka wykazuje, że zjawisko kondensacji wewnętrznej w tych przegrodach nie występuje, jak na przykład murowane ściany jednowarstwowe, pkt. 2.2.4 [9]. Idąc dalej, pkt. 2.2.5 [9], dopuszcza się kondensację pary wodnej, o której mowa w § 321 ust. 2 rozporządzenia [9], wewnątrz przegrody w okresie zimowym, o ile struktura przegrody umożliwi wyparowanie kondensatu w okresie letnim i nie nastąpi przy tym degradacja materiałów budowlanych przegrody, na skutek tej kondensacji.

Rozporządzenie [9] przywołuje normę PN-EN ISO 13788:2003 [10], która to jest podstawą do obliczeń inżynierskich opartych na prawie Ficka dla przypadku jednowymiarowego przepływu pary wodnej przez przegrodę. Sposób obliczeń zawarty w normie posłużył jako algorytm do stworzenia programów obliczeniowych wspomagających pracę projektanta przy wykonywaniu bardzo uproszczonej analizy cieplno-wilgotnościowej. Posługując się programami opartymi na normie [10] trzeba bezwzględnie zapoznać się z licznymi ograniczeniami metody. Przy prowadzeniu obliczeń, niezbędne jest posiadanie rzetelnych danych opisujących właściwości dyfuzyjne materiałów i komponentów budowlanych. Dla większości materiałów, w tym kilkunastu podstawowych materiałów i komponentów budowlanych, można je znaleźć w normie PN-EN 12524:2003 [11] lub częściowo publikowanych wartości obliczeniowych wg badań ITB [6].

Docieplenia od wewnątrz

Koncepcje rozwiązań

W większości przypadków wybór koncepcji docieplenia od wewnątrz będzie determinował rodzaj izolacji termicznej oraz jej właściwości fizyczne i zdolności do przyjmowania i oddawania kondensatu przez całą przegrodę. Stosując rozwiązania dociepleń ścian od strony wewnętrznej mamy w teorii do wyboru trzy główne koncepcje rozwiązań [1, 3, 4]:

- ocieplenie od wewnątrz zapobiegające wystąpieniu kondensacji – literatura [13] zaleca by wartość dyfuzyjnie równoważnej grubości warstwy powietrza sd izolacji termicznej lub zastosowanej paroizolacji przekraczała 1500 m; tego typu koncepcje rozwiązań zalecane są w przypadku docieplania ścian w pomieszczeniach mokrych, w których panuje w sposób ciągły podwyższona wilgotność, jak np. kąpieliska kryte, pralnie.
- ocieplenie od wewnątrz minimalizujące wystąpienie kondensacji – norma DIN 4108-3 [13] dopuszcza stosowanie materiałów stanowiących opór dyfuzyjny, dla których dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza sd zawiera się pomiędzy 0,5 a 1500 m; tak duże zróżnicowanie wpływa na niejednoznaczną ocenę poprawności realizowanych ociepleń
- ocieplenie od wewnątrz dopuszczające wystąpienie kondensacji z udowodnieniem, że powstający w niekorzystnym okresie kondensat, odparuje w ciągu roku obliczeniowego – DIN 4108-3 [13] dopuszcza stosowanie materiałów stanowiących opór dyfuzyjny, dla których dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza sd jest mniejsza od 0,5 m; wykorzystywane w tego typu rozwiązaniach materiały termoizolacyjne są aktywne kapilarnie i umożliwiają zakumulowanie powstałego kondensatu w strukturze materiałowej, nie powodując pogorszenia ich właściwości fizycznych.

Materiały

Ocieplenie od wewnątrz, zapobiegające wystąpieniu kondensacji, może być zrealizowane w kilku wariantach [1, 3].

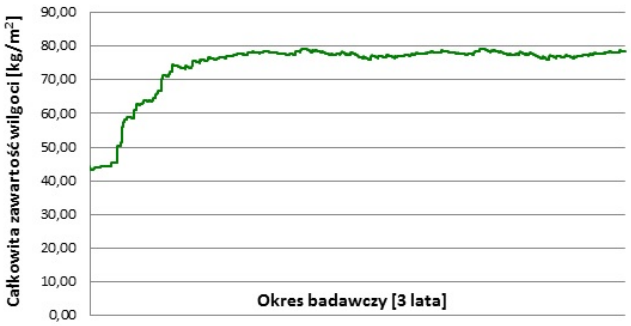
Pierwszym z nich jest ocieplenie z zastosowaniem materiału termoizolacyjnego o bardzo wysokim oporze dyfuzyjnym. Przykładem tego typu materiałów jest szkło piankowe – współczynnik przewodzenia ciepła płyt $\lambda = 0{,}04$ W/(mK), stosowane grubości od 4 do 18 cm, współczynnik oporu dyfuzyjnego $\mu = \infty$, a w praktyce

μ = 100 000. Innym wariantem jest stosowanie termoizolacyjnych płyt zespolonych z warstwą zapewniającą wysoki opór dyfuzyjny. Przykładem tego typu rozwiązania jest np. płyta składająca się z termoizolacji EPS z dodatkiem grafitu oraz płyty g-k, a także opcjonalnie z paroizolacją jako warstwą pośrednią – współczynnik przewodzenia ciepła płyt EPS λ = 0,032 W/(mK), płyt g-k λ = 0,25 W/(mK), stosowane grubości termoizolacji od 4 do 10 cm, współczynnik oporu dyfuzyjnego izolacji μ = 30-70.

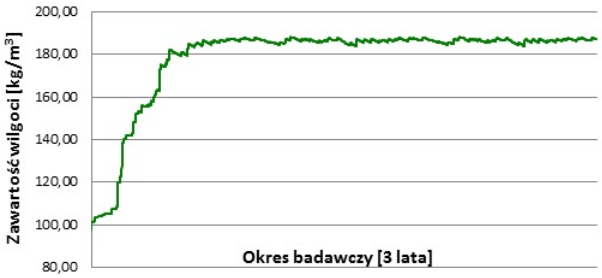
Rozwiązania materiałowe [1, 3] dopuszczające wystąpienie kondensacji produkowane są z silikatu wapiennego. Kryształki silikatu tworzą mikroporowaty szkielet, co umożliwia uzyskanie wysokich właściwości kapilarnych materiału. W przypadku wytworzenia się wilgoci pod warstwą ocieplenia nie ma ryzyka wystąpienia zagrzybienia muru i degradacji izolacji. Płyty z silikatu wapiennego, dzięki swojej aktywności kapilarnej pochłaniają wilgoć i rozpraszają ją na całej swojej powierzchni, skąd odparuje.

Innym materiałem termoizolacyjnym dopuszczającym wystąpienie kondensacji są mineralne płyty izolacyjne, wykonane z bardzo lekkiej odmiany betonu komórkowego. Materiał ten ma zdolność do chłonięcia wilgoci z powietrza oraz bardzo szybkiego wysychania. Współczynnik przewodzenia ciepła w stanie suchym λ = 0,042 W/(mK). Płyty te charakteryzują się bardzo niskim współczynnikiem oporu dyfuzyjnego μ ≅ 3. Oznacza to, że para wodna ma możliwość swobodnego wnikania w porowatą strukturę płyt.

Na rys. 1-4 przedstawiono przykłady obliczeń przyrostu zawilgocenia ściany ceglanej gr. 38 cm, otynkowanej obustronnie, ocieplonej od wewnątrz płytą z lekkiego betonu komórkowego gr. 10 cm. Analizowano wszystkie warstwy przegrody pod kątem możliwego przyrostu wilgotności masowej w zmiennych warunkach eksploatacji pomieszczenia według normy PN-EN 15026:2008 [12] i przy zmiennej temperaturze eksploatacji. Obliczenia wykonano dla okresu 3 lat.

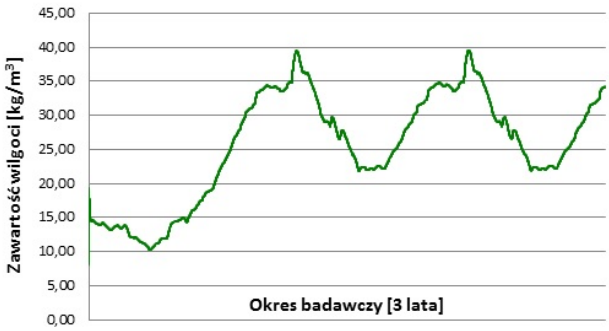


Rys. 1. Całkowita zawartość wilgoci w przegrodzie w analizowanym okresie badawczym



Rys. 2. Przykład przyrostu zawilgocenia w ścianie ceglanej ocieplonej od strony wewnętrznej – cegła pełna

Rys. 3. Przykład przyrostu zawilgocenia w ścianie ceglanej ocieplonej od strony wewnętrznej – tynk międzywarstwowy



Rys. 4. Przykład przyrostu zawilgocenia w ścianie ceglanej ocieplonej od strony wewnętrznej – lekki beton komórkowy

Kolejnym rozwiązaniem dopuszczającym wystąpienie kondensacji są płyty perlitowe. Są to bezwłóknowe płyty izolacyjne, wyprodukowane na bazie naturalnego perlitu oraz dodatków. Charakteryzują się wysoką paroprzepuszczalnością – współczynnik oporu dyfuzyjnego μ = 5-6. Są aktywne kapilarnie, a dzięki wysokiemu pH = 10 chronią przed powstawaniem pleśni i grzybów.

Na rynku dostępne są również płyty klimatyczne będące kombinacją samoczynnie regulującego wilgoć silikatu wapiennego i materiału o wysokiej izolacyjności termicznej jak poliuretan PU lub szkło piankowe SG.

Poprzez hamującą dyfuzję strukturę rdzenia materiału izolującego, zmniejsza się do minimum wnikanie wilgoci z wnętrza. Konieczną wymianę wilgoci między poszczególnymi warstwami umożliwiają aktywne kapilarnie silikatowe ogniwa (mostki).

Alternatywą w ociepleniach jest również aerożel – materiał będący rodzajem sztywnej piany o małej gęstości, składający się w ponad 90% z powietrza. Resztę stanowi żel tworzący nanostrukturę. Współczynnik przewodzenia ciepła wynosi ok. λ = 0,018 W/(mK). Izolacje z aerożelem produkowane są również w postaci technicznych izolacji nieprzeźroczystych o współczynniku przewodzenia ciepła λ = 0,013 W/(mK).

Innym znanym przykładem jest ocieplenie od wewnątrz za pomocą izolacji próżniowej, tzw. modułowy system ocieplenia od wewnątrz. Izolacja ta charakteryzuje się ekstremalnie niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła λ = 0,007 W/(mK), stosowane grubości najczęściej wynoszą do 3,5 cm, natomiast współczynnik oporu dyfuzyjnego μ > 500 000.

Materiałami ekologicznymi stosowanymi do ociepleń od strony wewnętrznej mogą być np. wełna drzewna oraz produkty z włókien konopnych. Cechują się one bardzo dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi oraz niewielkim oporem dyfuzyjnym. Dodatkowo mają zbliżone cechy do płyt mineralnych lub klimatycznych, dotyczące aktywności kapilarnej.
Zestawienie wybranych parametrów cieplno-wilgotnościowych materiałów termoizolacyjnych stosowanych do ociepleń od wewnątrz przedstawiono w tabeli 1.

Lp.	Materiał	Grubość [cm]	λ [W/(mK)]	μ
1	Silikat wapienny	1,5-30,0	0,042-0,070	2,0-6,0
2	Płyty mineralne	1,5-10,0	0,042	5,0-7,0
3	Mineralny tynk ciepłochronny	2,0-10,0	0,070-0,090	7,0-8,0
4	Wełna drzewna + tynk gliniany	4,0-10,0	0,045	5,0
5	Płyty keramzytowo-gliniane	do 17,0	0,200	5,0-10,0
6	Płyta g-k + EPS	3,3	0,250	40,0
7	Płyta g-k + XPS	4,3	0,040	b.d.
8	Szkło piankowe	4,0-18,0	0,040	∞
9	Wełna mineralna + aerożel	1,6-5,0	0,019	> 3,0
10	Folia bąbelkowa	3,0	0,012	50 000,0
11	Płyta XPS	0,3-0,9	0,030	650,0
12	Wełna drzewna	2,0-10,0	0,040	3,0
13	Płyty korkowo-gliniane	2,0-20,0	0,070	9,0-11,0
14	Płyty korkowe	2,0-10,0	0,040	25,0-30,0
15	Płyty z włókien konopnych	3,0-22,0	0,040	1,0
16	Celuloza	6,0-8,0	0,052	2,4
17	Pianka rezolowa	3,0-14,0	0,022	38,0
18	Pianka rezolowa + płyta g-k	b.d.	b.d.	538,0
19	Płyty perlitowe	5,0-20,0	0,045	5,0-6,0
20	Płyta klimatyczna	5,0-8,0	0,031-0,034	32,0-36,0

Tabela 1. Wybrane izolacje do stosowania od wewnątrz – materiały i komponenty [1, 3]

Proponowana metodyka ocieplania od wewnątrz

Zalecane metody obliczeń [10], dopasowane są do typowej budowy przegrody i nie precyzują ściśle warunków prowadzenia obliczeń służących ocenie cieplno-wilgotnościowej przegrody przy nietypowym rozwiązaniu projektowym (np. docieplenie od strony wewnętrznej przegrody istniejącej).

Proponowana jest następująca metodyka oceny możliwości docieplenia od strony wewnętrznej z uwagi na możliwość zawilgocenia i zagrzybienia:

- rozpoznanie budowy materiałowej przegrody z wykonaniem odkrywek, pomiar grubości warstw istniejących
- pomiar wilgotności powierzchniowej metodami nieinwazyjnymi, a przy murach ceramicznych (lub innych) gr. powyżej 51 cm – badania wilgotności próbek pobieranych z odkrywki
- ustalenie materiału warstw ściany i dopasowanie właściwości fizycznych przy wykorzystaniu dostępnych danych [4, 11], przy murach obiektów zabytkowych zalecane badania właściwości, w tym paroprzepuszczalności materiału ceramicznego
- inwentaryzacja miejsc wrażliwych – liniowych mostków cieplnych
- jako obligatoryjne należałoby uznać obliczenie wartości f_{Rsi} we wszystkich miejscach połączeń docieplanej przegrody z przegrodami do niej przylegającymi
- wybór materiału i technologii docieplenia
- ustalenie programu użytkowania pomieszczenia z określeniem możliwości zapewnienia regulacji temperatury i wilgotności powietrza wewnętrznego lub wyznaczenie eksploatacyjnej wilgotności powietrza, która nie powinna zostać przekroczona z warunku $M < 0$, gdzie M [kg/(m^{2}a)] jest obliczeniową ilością kondensatu w warunkach klimatu zewnętrznego jak w najbliższej stacji meteorologicznej; należy przyjąć zasadę wykonywania obliczeń dla trzech średnich wartości miesięcznych temperatury powietrza zewnętrznego z bazy danych meteorologicznych tj.: $t_{śr}$, t_{max} i t_{min}
- obliczenie temperatury na styku warstw ściana istniejąca-materiał izolacji cieplnej, przy uwzględnieniu dwuwymiarowego przepływu ciepła
- dobór grubości docieplenia z warunku M_{min}, gdzie M jest całkowitą obliczeniową ilością kondensatu [kg/(m^{2}a)] obliczoną zgodnie z normą PN-EN ISO 13788:2003 [10]; sposób wykończenia powierzchni w tym powłoki malarskie, powinien zostać uwzględniony w obliczeniach.

We wszystkich prowadzonych obliczeniach [10] zaleca się pominięcie obliczeń wilgotności wewnętrznej w zależności od warunków zewnętrznych, a zastosowanie własnych, popartych doświadczeniem lub pomiarami parametrów mikroklimatu wewnętrznego.
Jako ostatni etap projektowania należy przewidzieć zastosowanie metody podgrzewania [8] miejsc szczególnie narażonych na kondensację, w których z przeprowadzonych obliczeń wynika wartość $f_{Rsi} < f_{Rsimax}$, wraz z zapewnieniem dużego oporu dyfuzyjnego warstwy zewnętrznej nowo projektowanego docieplenia. Duży opór dyfuzyjny gwarantuje zastosowanie odpowiednich folii lub zestawów powłok malarskich dobranych do rodzaju tynku wewnętrznego.

Fot. 2. Przykład zastosowania płyt z wełny drzewnej

Podsumowanie

Projektowanie docieplenia od strony wewnętrznej jest zagadnieniem bardzo obszernym. Problemem może być już sam dobór materiału ociepleniowego i ocena w kontekście zachowania się w rzeczywistych warunkach eksploatacji przegrody. Najlepszą metodą badania przegrody docieplonej jest symulacja jej zachowania się w ciągu przynajmniej jednego roku bazowego. W pewnych niesprzyjających warunkach taki czas może okazać się niewystarczający do wykonania analiz. Metody uproszczone mogą okazać się przydatne pod warunkiem zachowania proponowanej procedury, doświadczenia i zdrowego rozsądku projektanta, wykonawcy, a przede wszystkim właściciela docieplanego pomieszczenia. Wiele zagadnień nie zostało w ramach tego opracowania poruszonych jak np. problem mostków termicznych, których poprawne rozwiązanie (eliminacja) jest jednym z kryteriów oceny ogólnego efektu prac termomodernizacyjnych.

Literatura

1. Arbeiter K., *Innendaemmung*, Wyd. Rudolf Mueller, Koeln, 2014.
2. Bynum R., *Insulation Handbook*, McGraw-Hill, 2001.
3. Orlik-Kożdoń B., Krause P., Steidl T., *Rozwiązania materiałowe w dociepleniach od wewnątrz*, Izolacje, 11-12/2015.
4. Orlik-Kożdoń B., Steidl T., *Docieplanie przegród zewnętrznych od wewnątrz. Materiały, technologie, projektowanie*, Izolacje, 4/2013, str. 43-50.
5. Pfundstein M., *Detal Practice: Insulating Materials. Principles, Materials and Applications*, Birkhauser GmbH, 2008.
6. Pogorzelski J.A., *Fizyka budowli – część X. Wartości obliczeniowe właściwości fizycznych*, Materiały Budowlane, 3/2005, str. 79-81.
7. Powell & Stanley L. Matthews, *Insulation, Materials and Systems*, ASTM, 1997.
8. Wójcik R., *Docieplanie od wewnątrz*, Inżynier Budownictwa, 04/2011.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dn. 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami).
10. PN-EN ISO 13788:2003 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów i materiałów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności i kondensacja międzywarstwowa – Metody obliczania.

11. PN-EN 12524:2003 Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Stabelaryzowane wartości obliczeniowe.
12. PN-EN 15026:2008 Cieplno-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynku – Szacowanie przenoszenia wilgoci za pomocą symulacji komputerowej.
13. DIN 4108-3 Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung Enthält Randbedingungen und Rechenvorschriften für das Glaser-Verfahren.

dr inż. Bożena Orlik-Kożdoń
Politechnika Śląska