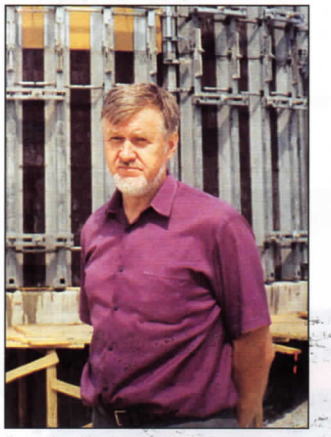
Opór **dyfuzyjny**

krajowych przegród budowlanych

mgr inż. Jerzy B. Zembrowski



Doradca Technologii Budowlanych z Białegostoku.

Swobodny przepływ wilgoci z pomieszczeń na zewnątrz przez przegrody budowlane wymaga spełnienia kryterium malejącego oporu dyfuzji pary wodnej w kierunku jej przepływu. Przeanalizujmy, jak to kryterium spełniają przegrody dotychczas i obecnie stosowane u nas w kraju.

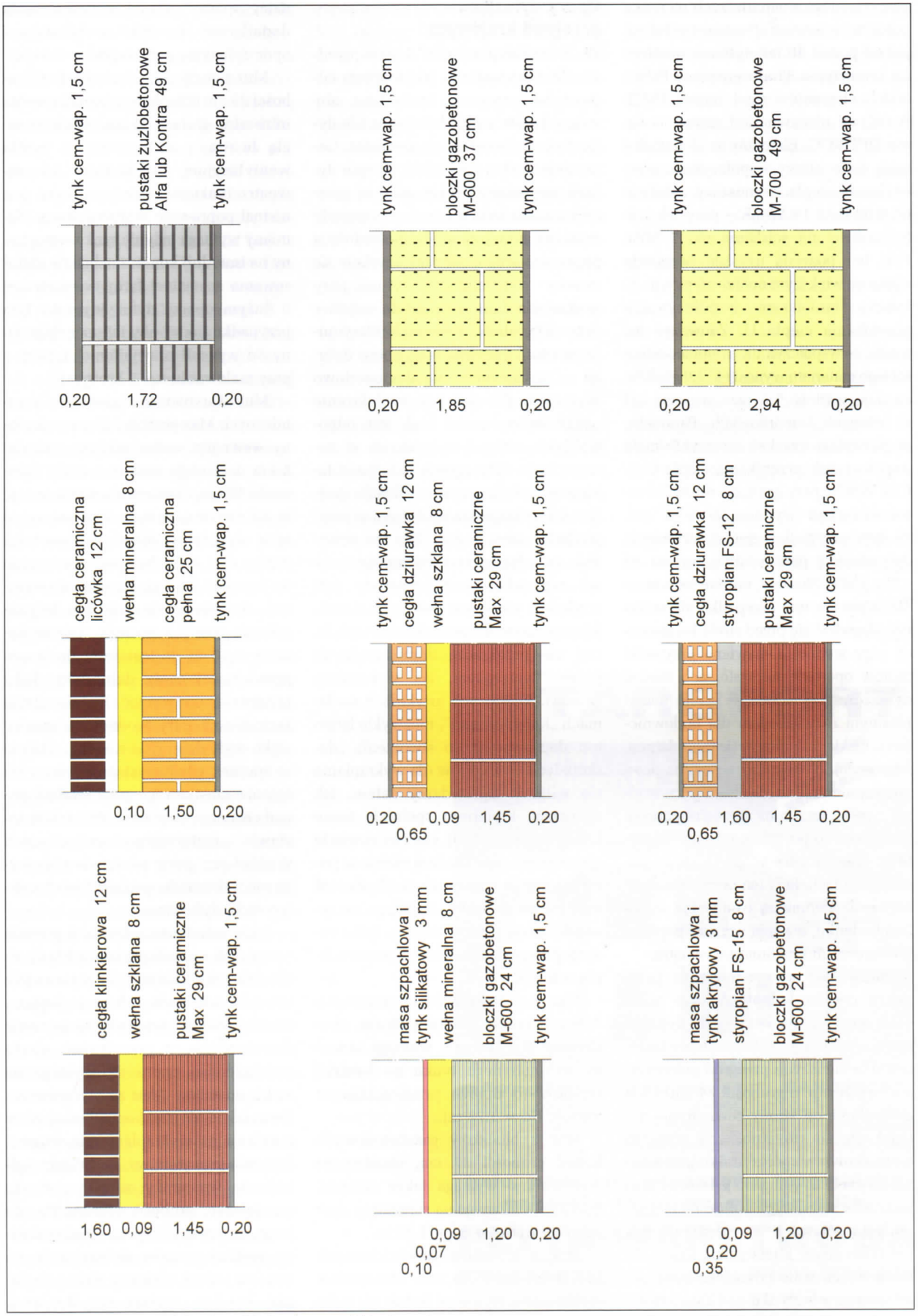
W poprzednich artykułach poświęconych zasadom „świadomego ocieplania" zwracałem szczególną uwagę na negatywne skutki doboru warstw przegród budowlanych jedynie pod kątem zapewnienia wymaganych współczynników przenikania ciepła U z pominięciem analizy przepływu wilgoci przez te przegrody. Takie podejście przy konstruowaniu przegród warstwowych z ociepleniem zawsze kończy się na nieświadomym tworzeniu stref kondensacji pary wodnej w warstwach leżących bliżej strony zewnętrznej. Jedynym antidotum na te zjawiska było wprowadzenie wentylowanej szczeliny powietrznej tuż za warstwą ocieplenia, bądź przeniesienie ocieplenia na zewnętrzną powierzchnię przegrody.

Przyjrzyjmy się jeszcze innym niż warstwowe, szeroko już rozpowszechnionym przegrodom opartym na wykorzystaniu bloczków z betonu komórkowego – znanych pod nazwą Ytong, Hebel czy Siporex. Zanim opiszemy te systemy pod kątem fizyki cieplnej budowli, zwróćmy uwagę jeszcze na wyniki obliczeń zawarte w poprzednich przykładach. Niezależnie od wartości współczynników przenikania ciepła U oraz wielkości występowania stref kondensacji pary wodnej w murze grubości 51 cm, zastosowanie ocieplenia styropianem grubości 6 cm spowodowało zmniejszenie się strumienia dyfundującej pary wodnej aż o połowę. Zaś w murze warstwowym opartym na pustaku Max 29 cm i cegle kratówce 12 cm zwiększenie grubości ocieplenia wewnętrznego opartego na styropianie z 6 cm na 10 cm spowodowało spadek strumienia dyfundującej pary wodnej o 28%. Co to oznacza dla celów praktycznych? Otóż musimy pamiętać, że dodatkowa grubość ocieplenia mało przepuszczalnym dla pary wodnej styropianem powoduje znaczne zmniejszenie się ilości pary wodnej, która może swobodnie przedostać się z pomieszczeń na zewnątrz. Oznacza to, że o ile mniej wilgoci w postaci pary wodnej przemieści się przez przegrody na zewnątrz, o tyle więcej jej pozostanie we wnętrzu – chyba że umożliwimy jej wydostanie się poprzez bardziej skuteczną instalację wentylacyjną. Zwróćmy także uwagę, że zamiana w murze warstwowym (w poprzednich przykładach) ocieplenia styropianem grubości 8 cm wewnątrz muru na wełnę mineralną tej samej grubości spowodowała wzrost strumienia dyfundującej pary wodnej aż 3-krotny. Jest to potwierdzenie dobrych własności dyfuzyjnych wełny mineralnej czy szklanej. Co z kolei ten fakt oznacza w praktyce? Otóż znacznie łatwiej zorganizować wentylację w budynku ocieplanym wełną mineralną czy szklaną niż styropianem – i to niezależnie od umieszczenia ocieplenia. Uwaga ta jest najbardziej zauważalna przy zastosowaniu wentylacji grawitacyjnej, która charakteryzuje się nie tylko małą skutecznością, ale również dużym uzależnieniem od warunków zewnętrznych.

Mury oparte na bloczkach dyfuzyjnych

Wróćmy teraz do systemów opartych na bloczkach z betonu komórkowego. Wszyscy niemal producenci, zachwalając te produkty, podkreślają możliwość uzyskania jednowarstwowych przegród bez ocieplania ze względu na ich niski współczynnik przewodzenia ciepła. Rzeczywiście jest on niski, bowiem kształtuje się na poziomie 0,20 W/mK, co przy możliwości zapewnienia zupełnie poprawnych parametrów wytrzymałościowych pozwala uzyskać niezłe parametry cieplne muru. Przykładowo mur z bloczków grubości 49 cm (obustronnie otynkowany) pozwala uzyskać współczynnik przenikania ciepła U wynoszący 0,39 W/m^{2}K. Na uwagę zasługuje fakt uzyskania strumienia dyfundującej pary wodnej aż 0,463 g/m^{2}h. Niestety i w tym przypadku nie możemy ustrzec się przed występowaniem strefy kondensacji pary wodnej. Całe szczęście, że nowa norma dotycząca ochrony cieplnej budynków właściwie wymusza docieplenie takiego muru. Jest więc okazja, aby zmniejszając współczynnik przenikania ciepła do granic wymaganych, pozbyć się strefy kondensacji. Można to osiągnąć nie przez dodatkowe zwiększenie grubości muru tym samym materiałem, lecz przez docieplenie od strony zewnętrznej muru.

Podobne efekty, lecz jeszcze bardziej widoczne, uzyskuje się przez zastoso-



Rys. 1. Zastępcze opory dyfuzyjne niektórych przegród krajowych.

wanie jednego z najnowszych na rynku polskim (w Szwecji stosowanym jednak już od ponad 40 lat) systemu opartego na keramzycie. Producentem w Polsce takich elementów (pod nazwą OPTI-BLOK) od niedawna jest szwedzka firma OPTIROC. Elementy te (fotografia) mają dużo niższy współczynnik przewodzenia ciepła, wynoszący zaledwie od 0,09 do 0,15 W/mK – przy ich wytrzymałości na ściskanie ok. 2 MPa. Fakt ten pozwala uzyskać przegrody o jeszcze większym oporze cieplnym, tj. jeszcze mniejszym współczynniku przenikania ciepła U. Zauważyć też trzeba, że współczynnik paroprzewodności tego materiału wynosi ok. 4,0 g/mhPa, co daje wartość 1,5 raza większą niż w betonach komórkowych. Parametry te pozwalają uzyskać niezwykle niski współczynnik przenikania ciepła U tj. 0,24 W/m^{2}K przy grubości muru jednowarstwowego wynoszącej 36,5 cm. W tym przypadku gęstość strumienia dyfundującej pary wodnej wynosi aż 0,756 g/m^{2}h. Niestety, murem jednowarstwowym i w tym przypadku nie możemy odgrodzić się przed strefą kondensacji pary wodnej. Omawiane przypadki murów opartych na systemach mocno dyfuzyjnych oznaczają, że są one niemal idealnym rozwiązaniem dla budownictwa o niskiej zabudowie (jednorodzinne, szeregowe), bowiem pozwalają na przepuszczanie znacznych ilości pary wodnej z pomieszczeń na zewnątrz poprzez przegrody, co poważnie odciąża wentylację grawitacyjną w przyległych pomieszczeniach. Fakt ten pozwala dobrać naprawdę poprawną wentylację w całym budynku, a zatem uzyskać poprawne warunki mikroklimatu wewnątrz.

Biorąc pod uwagę uzyskane parametry cieplno-wilgotnościowe przegród opartych na systemach dyfuzyjnych, wydaje się bardziej celowe zastosowanie cieńszych przegród jednowarstwowych (np. o grubości 24 cm) i ich docieplenie od strony zewnętrznej niż uciekanie się do grubszych przegród o tym samym współczynniku przenikania ciepła U. Wymaga to jednak od projektantów starannych obliczeń cieplno-wilgotnościowych uwzględniających nie tylko strefę klimatyczną kraju, ale też przeznaczenie poszczególnych pomieszczeń w budynku pod kątem ilości powstającej tam wilgoci.

Opory dyfuzyjne przegród krajowych

W „Extra Kalejdoskopie" 1/2000 przedstawiłem wymagania, jakim muszą odpowiadać przegrody budowlane, aby wilgoć mogła swobodnie przez nie dyfundować z wnętrza na zewnątrz. Generalnie można stwierdzić, że opór dyfuzji pary wodnej w kierunku jej przemieszczania każdej warstwy przegrody musi być mniejszy niż bezpośrednio ją poprzedzającej. Opór taki uzyskuje się mnożąc współczynnik dyfuzji pary wodnej dla danego materiału warstwy przez jej grubość w metrach, otrzymując wartość porównawczą oporu dyfuzji – oznaczanego międzynarodowo symbolem Sd. Jak już wielokrotnie podkreślałem, nadal brak jest odpowiednich norm i wytycznych w naszym kraju dotyczących określania takiego wskaźnika czy sprawdzania możliwości wykraplania się wilgoci w przegrodach budowlanych. Stan ten powoduje, że jedynym kryterium poprawności zaprojektowanej przegrody pod względem cieplnym jest sprawdzenie jej współczynnika przenikania ciepła U, czy nie przekracza dopuszczalnych norm. Tymczasem, jak wykazałem w dotychczasowych artykułach na łamach „Kalejdoskopu", niezwykle łatwo jest doprowadzić do stworzenia „doskonałych" warunków dla wykraplania się wilgoci. Sprawdźmy zatem, jak omawiane kryterium spełniają nasze krajowe przegrody, tj. czy rzeczywiście opór dyfuzji pary wodnej maleje w poszczególnych warstwach na drodze od wnętrza na zewnątrz. Spójrzmy na rysunek, gdzie mamy niektóre tylko rodzaje przegród stosowanych powszechnie w kraju.

Mur z pustaków żużlobetonowych Alfa czy Kontra grubości 49 cm, obustronnie otynkowany, wymaga zamiany wewnętrznego tynku na bardziej szczelny (o oporze przekraczającym wartość Sd = 1,72 m).

Mur z bloczków gazobetonowych M-600 grubości 37 cm, obustronnie otynkowany, wymaga także zamiany tynku wewntrznego na stawiający opór powyżej wartości Sd = 1,85 m.

Mur z bloczków gazobetonowych M-700 grubości 49 cm, obustronnie otynkowany, wymagać będzie nie tylko zamiany tynku wewnętrznego na bardziej „oporny", ale także zastosowania dodatkowej powłoki zwiększającej opór dyfuzyjny powyżej Sd = 2,94 m.

Mur z cegły ceramicznej pełnej grubości 25 cm ocieplony wewnątrz wełną mineralną grubości 8 cm, obłożony cegłą licową z zastosowaniem pustki wentylacyjnej, otynkowany od wewnątrz tynkiem cem-wapiennym, jest niemal poprawnie skonstruowany. Zamiany wymaga jedynie tynk wewnętrzny na inny lub konieczne będzie zastosowanie specjalnej farby wewnętrznej o dużym oporze dyfuzyjnym (w tym przypadku takiej, aby jej opór dyfuzyjny Sd wynosił przynajmniej 1,30 m – przy malowaniu np. 2-krotnym).

Mur warstwowy z pustaków ceramicznych Max grubości 29 cm ocieplony wewnątrz wełną szklaną grubości 8 cm dociśniętą murem z cegły dziurawki 12 cm, obustronnie otynkowany, to już nieporozumienie. Zauważmy, że opór dyfuzyjny rośnie od wartości 0,20 m do 1,45 m, by spaść drastycznie do wartości 0,09 m, a następnie wzrosnąć siedmiokrotnie do 0,65 m. Jedynie ostatnia warstwa posiada opór wynoszący 0,20 m dostosowany do ją poprzedzającej cegły dziurawki. Taka przegroda wytwarzać będzie strefę koncentracji pary wodnej na granicy styku cegły dziurawki z wełną, właśnie w miejscu, gdzie występuje wzrost ciśnienia cząstkowego pary wodnej ponad ciśnienie nasycenia. Przy takim zestawie materiałów wchodzących w skład przegrody właściwie nie można nic wskórać, by poprawić jej charakterystykę dyfuzyjną.

Jakże odmienne własności posiada mur z tych samych pustaków Max i cegły dziurawki, ale ocieplony wewnątrz warstwą nie wełny, lecz styropianu FS-12 grubości 8 cm. Tutaj także mamy do czynienia z powstaniem strefy zwiększonego oporu dyfuzyjnego na styku pustaków Max ze styropianem. Teraz także nie część ocieplenia będzie narażona na wykraplanie się wilgoci, lecz cała jego warstwa. Zauważmy jednak, że wystarczy w takim murze zmniejszyć grubość styropianu do 6 cm, by uzyskać zupełnie zadowalający rozkład oporów dyfuzyjnych, co oznacza jednak mniejszy efekt ocieplenia, bowiem wyższy współczynnik przenikania ciepła U. Drugim sposo-

bem uzyskania poprawności rozkładu oporów dyfuzyjnych w takiej przegrodzie jest zamiana styropianu FS-12 na mniej zwarty (o mniejszej gęstości). Wówczas należy określić niezbędną grubość styropianu, aby jego opór dyfuzyjny wyniósł nie więcej niż 1,45 m – przy okazji uzyska się znacznie mniejszy współczynnik przenikania ciepła U (znacznie mniej, niż wskazują normy), co w przyszłości chwalić będzie sobie właściciel domu, gdy nowe normy jeszcze bardziej zaostrzą wymagania cieplne w stosunku do przegród.

Mur z tych samych pustaków Max i tej samej izolacji wewnętrznej z wełny szklanej, ale tym razem dociśniętej tak powszechną warstwą cegły klinkierowej, stwarza także strefę kondensacji pary na styku izolacji z cegłą klinkierową. Ten jednak mur przysparzać będzie nie lada kłopotów projektantowi przy „poprawianiu" jego charakterystyki dyfuzyjnej. Właściwie mamy tylko jedno wyjście: zamienić wełnę na styropian o małej gęstości i dobrać taką jego grubość, aby opór jego wyniósł poniżej 1,45 m. Oczywiście konieczne przy tym będzie zastosowanie specjalnej „lekkiej" zaprawy do murowania cegły klinkierowej i wyzbycie się marzeń o zastosowaniu jakiejkolwiek fugi do wypełniania szczelin pomiędzy cegłami. Zwróćmy jeszcze uwagę, że w przypadku wewnętrznych ociepleń w murach warstwowych z wykorzystaniem wełny mineralnej czy szklanej często jedynym wyjściem (przy zapewnianiu charakterystyki i cieplnej, i dyfuzyjnej) będzie wprowadzenie szczeliny powietrznej wentylowanej tuż za warstwą izolacji. O szczelinach i ich doborze pisałem w poprzednim odcinku porad.

Spójrzmy jeszcze na mur z bloczków gazobetonowych M-600 grubości 24 cm ocieplony od zewnątrz wełną mineralną grubości 8 cm z wyprawą silikatową. Tutaj także należy wprowadzić podobne modyfikacje tynku wewnętrznego jak poprzednio. Reszta konstrukcji muru wygląda prawie poprawnie pod względem wilgotnościowym. Należałoby jedynie zrezygnować ze stosowania grubszych uziarnień tynku silikatowego na rzecz drobniejszych (maksymalnie 3 mm).

Podobne opinie wyrazić można o takim samym murze, ale ocieplonym styropianem tej samej grubości. I teraz należy zmienić tynk wewnętrzny lub zastosować specjalną farbę, by zwiększyć ich łączny opór dyfuzyjny ponad wartość 1,20 m. Jednakże, aby spełnić wymagania dyfuzji pary wodnej, należy zastosować grubszą warstwę styropianu przy jednoczesnej rezygnacji z uziarnienia tynku akrylowego większej niż 2 mm, bądź zamienić tynk akrylowy na mineralny również drapany czy rowkowany (przy nie zmienionej grubości styropianu).

Mam nadzieję, że przedstawione tutaj przykładowe charakterystyki przegród uzmysłowią wreszcie, że kryterium doboru warstw opartego na zapewnieniu tylko współczynnika przenikania ciepła U w rzeczywistości prowadzi „w ślepą uliczkę", bowiem tak obliczony współczynnik ma wartość tylko teoretyczną, gdyż rzeczywisty jest znacznie niższy. Przy takich błędach nic nie będą warte obliczenia cieplne instalacji centralnego ogrzewania, bowiem dobrane moce grzejników będą zbyt małe. Doprowadzi to do nieosiągania oczekiwanych czy wymaganych temperatur wewnętrznych w pomieszczeniach, bądź wywoła konieczność zwiększonego poboru energii cieplnej w źródle ciepła. Zwiększony pobór energii to nic innego jak spore dodatkowe koszty na eksploatację, których nikt nie planował, i tak naprawdę których nikt nie kontroluje podczas zamieszkiwania.

Tylko profesjonaliści z dobrą znajomością fizyki cieplnej budowli wiedzą, jak trudna jest droga każdego budynku ku doskonałości, czyli do optymalnego poboru energii cieplnej (nie wspominając już o negatywnych skutkach wykraplania się wilgoci w przegrodach). Mam nadzieję, że moje rozważania służą właśnie torowaniu tej drogi.

mgr inż. Jerzy B. Zembrowski
Doradca Technologii Budowlanych