

mgr inż. Sławomir Gąsiorowski*

Zmiany w wyrobach budowlanych pod wpływem wilgoci i temperatury

Wiele budynków ulega znacznej deformacji tuż po wybudowaniu. Proces ten może zakończyć się mniejszym lub większym uszkodzeniem konstrukcji murowej. W Polskiej Normie PN-B-03002 *Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie* (tzw. norma murowa), liczącej 70 stron, na zagadnienia poświęcone zmianom i reakcjom konstrukcji murowych wynikających ze skurczu oraz odkształcalności termicznej materiałów budowlanych poświęcono 11 linii.

Jeśli prześledzi się literaturę fachową, szczególnie anglosaską, to okazuje się, że temu zagadnieniu poświęca się zwykle zdecydowanie więcej miejsca niż u nas. Rysy i przemieszczenia w obrębie budynku nie powstają bowiem jedynie, jak wiele osób sądzi, wskutek obciążeń, ale również dlatego, że nie policzono lub policzono błędnie rozszerzalność i skurcz materiałów budowlanych. Uszkodzenia budynków mogą również wynikać z tego, iż w nieprawidłowy sposób połączono ze sobą elementy mające odmienne właściwości fizykomechaniczne (np. konstrukcja murowa i konstrukcja stalowa). Tak więc kluczem do sukcesu, którym jest takie zaprojektowanie budynku, aby nie doszło w nim do rys lub przemieszczeń, jest nie tylko policzenie stanów granicznych nośności, ale również przewidywanie i uwzględnianie już na etapie projektowania, ruchów konstrukcji murowych oraz zachowanie się wyrobów budowlanych w warunkach rzeczywistych. W normie murowej podano współczynniki skurczu ϵ_{ms} oraz ekspansji termicznej α_t , jakie należy przyjmować do obliczeń (tabela 1.)

Za zmiany zachodzące w wyrobach budowlanych odpowiedzialne są m. in.:

- obciążenia (sprężyste/niesprężyste deformacje/pełzanie);
- temperatura (rozszerzanie/kurczenie);

Tabela 1. Współczynnik skurczu ϵ_{ms} oraz ekspansji termicznej α_t elementów murowych

Materiał elementu murowego	ϵ_{ms} [mm/m]	α_t [$10^{-6}/K$]
Ceramika	-0,2	6
Silikat	-0,4	9
Beton zwykły i kamień sztuczny	-0,6	10
Kruszynowy beton lekki	-1,0	10
Autoklawizowany beton komórkowy	-0,4	8
Kamień naturalny	-0,4	7

- wilgoć (pęcznienie/skurcz);
- krystalizacja soli rozpuszczalnych w wodzie (wzrost objętości).

Zmiany wymiarów zachodzą niezależnie od naszej woli, a więc trzeba je zaakceptować. Należy mieć przy tym na uwadze fakt, że dopóki zmiana wymiarów materiału budowlanego nie napotyka żadnego oporu, dopóty wszystko jest w porządku. Problemy zaczynają się pojawiać dopiero wówczas, gdy ruch konstrukcji murowej lub jej fragmentu zostaje zablokowany. W takim przypadku dochodzi zwykle do lokalnego przekroczenia wytrzymałości konstrukcji murowej lub wytrzymałości materiałów, z których się ona składa. Wynika z tego m.in. konieczność dylatowania budynku, dzielenia go na mniejsze fragmenty. Nieumiejętne zablokowanie ruchu konstrukcji murowej np. przez brak dylatacji, zastosowanie zbyt wąskiej szczeliny dylatacyjnej, zastosowanie zbyt sztywnego materiału umieszczonego w przerwie dylatacyjnej, podzielenie budynku na zbyt duże fragmenty, kończy się na ogół zarysowaniem konstrukcji murowej. W przypadku dużej grupy budynków, ze względu na ich złożoność oraz dużą gamę zastosowanych materiałów budowlanych, nie jesteśmy do końca w stanie przewidzieć i policzyć wszystkich zmian, jakie będą miały miejsce. Nie stoimy jednak na straconej pozycji. Niektóre z czynników (np. ekspansja

materiału podczas zamrażania) możemy pominąć ze względu na ich znikomy wpływ.

Obciążenia (sprężyste/niesprężyste deformacje/pełzanie)

W normie murowej, liczeniu stanów granicznych nośności poświęcono bardzo dużo miejsca. Projektant nie powinien więc mieć kłopotów z wyliczeniem odpowiednich parametrów muru. Polska norma murowa nie podaje jednak wartości pełzania lub plastycznej deformacji materiałów budowlanych poddawanych obciążeniom. W literaturze angielskojęzycznej pełzaniem określa się zjawisko, w czasie którego pod wpływem obciążenia dochodzi do nieodwracalnej deformacji konstrukcji murowej lub betonowej. Rozmiary odkształcenia zależą od wielkości przyłożonego obciążenia, czasu, przez jaki ono działa lub działało oraz wieku konstrukcji. Amerykańskie Stowarzyszenie Brick Industry Association podaje do obliczeń następujące wartości współczynnika pełzania konstrukcji murowych:

■ **0,1 x 10⁻⁴ mm/mm/MPa – konstrukcje murowe z ceramikami**, w których zjawisko pełzania dotyczy przede wszystkim spoin (w wielu przypadkach wielkość tego ruchu może być w obliczeniach pomijana);

■ **0,36 x 10⁻⁴ mm/mm/MPa – konstrukcje murowe z bloczków betonowych** (wykazują większy współczynnik pełzania ze względu na zawartość cementu w elementach murowych);

■ **beton** – o ile w dwóch poprzednich przypadkach pełzanie konstrukcji było na niewielkim poziomie, o tyle w budynkach o konstrukcji betonowej zależności są następujące: pełzanie wysokowytrzymałych elementów betonowych jest mniejsze niż betonów o małej wytrzymałości. Pełzanie jest nieznacznie większe w betonach

* Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego

na bazie lekkich kruszyw niż ze standardowymi wypełniaczami. W wysokich budynkach, stawianych w technologii szkieletu betonowego całkowite skurczenie się betonowych kolumn, które jest wynikiem elastycznych i nieelastycznych deformacji, jak również siły grawitacji, może wynosić powyżej 25 mm na każde 24 m wysokości. Wartości te są na tyle duże, że nieuwzględnienie tego typu zachowania betonu prowadzi zwykle do uszkodzenia ścian wypełniających budynek.

Temperatura

Wszystkie materiały budowlane zwiększają swoje wymiary i kurczą się w rytm zmian temperatury otoczenia. Teoretycznie zmiany te są odwracalne. W konstrukcjach murowych, w których występuje zablokowanie ruchu związanego ze zmianą temperatury, pojawiają się naprężenia. Ich wielkość można wyliczyć, mnożąc współczynnik rozszerzalności termicznej przez różnicę temperatury oraz moduł Younga materiału budowlanego. Za różnicę temperatury należy przyjąć średnie wartości dla danego elementu budynku. Temperatura na powierzchni materiału budowlanego zależy m.in. od orientacji ściany względem słońca, koloru cegły oraz typu ściany (z izolacją lub bez). Należy brać pod uwagę fakt, że temperatura na powierzchni muru jest zwykle znacznie wyższa niż temperatura atmosfery. Ściany zlokalizowane w kierunku południowym zbudowane z cegły o ciemnej powierzchni mogą nagrzewać się do temperatury 60 – 65 °C, podczas gdy powietrze jest nagrzane „tylko” do 38 °C. Z drugiej strony w niektórych regionach Polski temperatura w zimie spada do -30 °C. Tak więc przy obliczaniu należy również uwzględnić lokalne warunki klimatyczne. W okolicach Suwałk temperatura zimą jest znacznie niższa niż w okolicach Wrocławia. Stąd też różnice temperatury zima – lato, jakie przyjmuje się do obliczeń, będą różne. Szczególną uwagę należy zwracać na projektowanie narożników budynków. W tych miejscach bardzo często widoczne są uszkodzenia, ponieważ szczególnie w tych miejscach występuje koncentracja naprężeń termicznych. Dylatację trzeba więc umieszczać w bezpośrednim sąsiedztwie

narożnika. Norma murowa podaje współczynniki ekspansji termicznej materiałów budowlanych, lecz nie ma w niej wartości tego parametru w przypadku zapraw. Współczynnik rozszerzalności termicznej zapraw zależy od rodzaju zastosowanych spoiw. Przyjmuje się, że współczynnik ten wynosi od 7,0 (zaprawa wapienna) do $13,5 \times 10^{-6}/K$ (zaprawa cementowa). Pośrednie wartości występują w przypadku mieszanek cementowo-wapiennych i zależą od proporcji składników wiążących.

Wilgotność powietrza

Materiały budowlane, z wyjątkiem metali, pochłaniając wilgoć, zwiększają swoją objętość. Dla jednych zmiany te są nieodwracalne, dla innych odwracalne lub częściowo odwracalne.

Cegła ceramiczna – temu materiałowi należy poświęcić więcej miejsca, ponieważ w normie murowej przyjęto, że ceramika się kurczy, stąd też znalazła się tam wartość -0,2 mm/m, tymczasem źródła amerykańskie i kanadyjskie podają, że ceramika się rozszerza. Okazuje się, że zarówno twórcy polskiej normy, jak i Amerykanie czy Kanadyjczycy mogą mieć rację. W cegle ceramicznej występują dwa rodzaje zmian. Tuż po wyciągnięciu cegły z pieca rzeczywiście występuje niewielki skurcz materiału. Związane jest to ze spadkiem temperatury cegły po procesie wypalania. Od momentu, gdy temperatura cegły zrówna się z temperaturą otoczenia, w wyniku pochłaniania wilgoci z atmosfery rozpoczyna się kolejny etap związany ze zmianą wymiarów cegły i jest nim zwiększanie się jej objętości. Stwierdzono, że jest to proces stały i nieodwracalny, o stopniowo zmniejszającej się szybkości. Największe zmiany objętości obserwuje się w ciągu pierwszych kilku tygodni po wyprodukowaniu cegły (do 50%). W okresie późniejszym zachodzą zmiany objętości, ale nie są one tak duże jak w początkowym okresie (pozostałe zostaje osiągnięte w ciągu 15 lat). Wielkość i szybkość ekspansji cegły, a z nią również konstrukcji murowej uzależniona jest m.in. od składu surowcowego cegły oraz w mniejszym stopniu od temperatury wypalania. Na proces ten ma również wpływ sposób formowania. Cegły, które mają ma-

ło zwartą strukturę, wykazują większe zmiany objętości niż cegły prasowane o gęstej, zwartej strukturze. W tabeli 2 podano współczynniki ekspansji różnych typów cegieł. Informacje te należy uznać za istotne, ponieważ obecnie wiele budynków wznoszonych jest wg przedziwnych zasad. Po pierwsze, w celu przyspieszenia procesu inwestycyjnego nagminnie wykorzystuje się szkielet betonowy (uwaga na pękanie betonu). Po drugie, równie często ściany zewnętrzne budynku wykonywane są z ceramiki, a ściany wewnętrzne z cegły silikatowej. W ten sposób już na etapie wznoszenia budynku zaprogramowane jest pojawienie się rys w ścianach. Nie może być inaczej, kiedy zewnętrzne ściany się rozszerzają (naturalna właściwość cegły ceramicznej), a wewnętrzne się kurczą (naturalna właściwość cegły silikatowej).

Tabela 2. Zmiany objętości różnych rodzajów cegieł

Sposób produkcji cegły	Współczynnik ekspansji e
Wyciskanie	1,1 mm/m
Prasowanie	0,6 mm/m
Prasowanie na mokro	1,0 mm/m
Najwyższy zmierzony	> 1,6 mm/m

Krystalizacja soli rozpuszczalnych w wodzie

Krystalizacja soli wiąże się z dodatkowymi zmianami objętości. Jeśli proces ten odbywa się wewnątrz materiału budowlanego, rezultatem krystalizacji może być znaczne jego uszkodzenie (cegły, okładziny ściennej, tynku). Tego typu procesy są trudne do przewidzenia ich lokalizacji oraz wielkości zmian objętości, dlatego też lepiej jest zapobiegać tego typu zjawiskom. Duża w tym rola wykonawcy, który tak powinien prowadzić prace budowlane, aby budynek zawierał jak najmniej wilgoci pochodzącej z wody technologicznej.

Posumowanie

Mam nadzieję, że artykuł skłoni projektantów, aby myśleli nie tylko o obciążeniach, ale również o temperaturze i wilgotności, w jakiej budynek będzie pracował. Nieuwzględnianie tego, że wymiary budynków zmieniają się wraz ze zmianą temperatury oraz wilgotności, jak również tego, że niektóre elementy murowe w naturalny, właściwy

im sposób kurczą się, a inne pęczniają, może doprowadzić do poważnego uszkodzenia ścian. Większość istotnych ruchów, jakie mogą wystąpić wewnątrz materiałów budowlanych, uwzględnia równanie:

$$m_u = (k_e + k_f + k_t \Delta T) L$$

gdzie:

m_u – zmiana wymiaru nieskrępowanej konstrukcji murowej;

k_e – współczynnik ekspansji pod wpływem wilgoci;

k_f – współczynnik ekspansji związanej z zamrażaniem (zwykle do pominięcia);

k_t – współczynnik ekspansji termicznej;

ΔT – zmiana temperatury;

L – długość konstrukcji murowej.

Należy je stosować po to, aby mieć pewność, że zaprojektowany budynek będzie się zachowywał zgodnie z przewidywaniami.

Do obliczeń można przyjmować wartości średnie podawane w tablicach normy. Należy jednak pamiętać, że chociaż postępując w ten sposób, nie popełniamy błędów, to jednak może nastąpić przeszacowanie lub niedoszacowanie wyników. Lepiej, kiedy projektant stara się dowiedzieć u producentów materiałów budowlanych jak najwięcej o oferowanych przez nich wyrobach.