

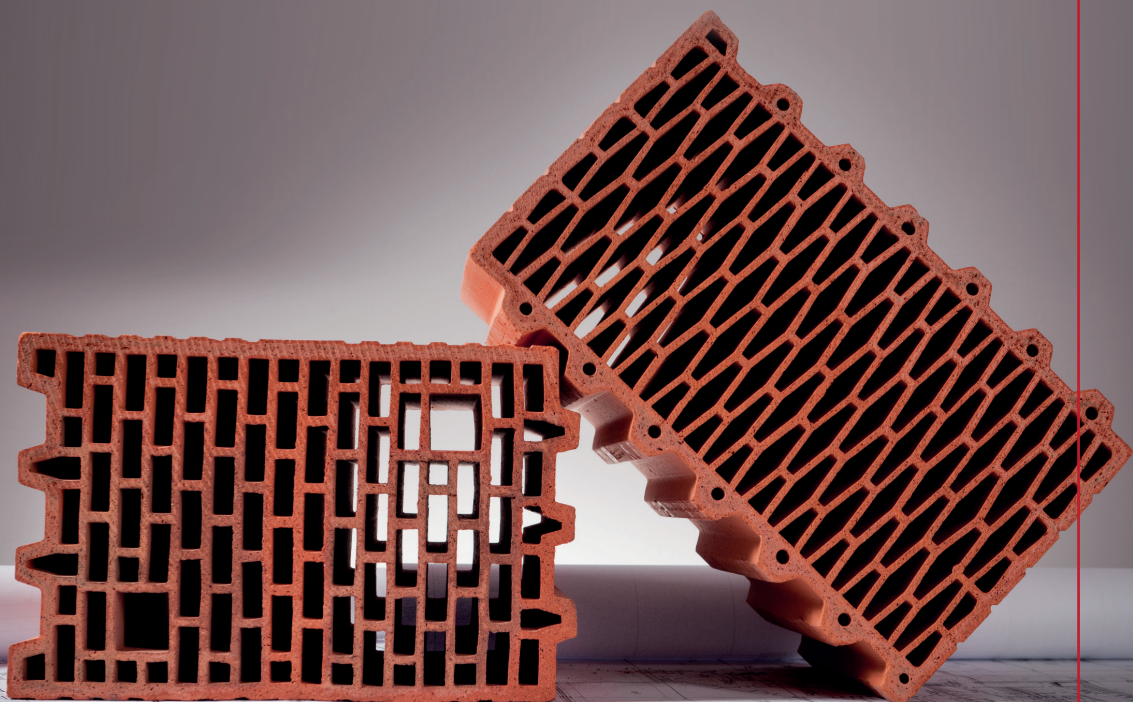


Związek Pracodawców
Ceramiki Budowlanej

dr inż. Jarosław Szulc • mgr inż. Jan Sieczkowski

Ceramika

w budownictwie



ZWIĄZEK PRACODAWCÓW CERAMIKI BUDOWLANEJ
00-508 Warszawa, Al. Jerozolimskie 29 lok. 3

Ceramika w budownictwie

autorzy:

dr inż. Jarosław Szulc

mgr inż. Jan Sieczkowski

Warszawa, styczeń 2021 r.

Fotografie

Lode Group,
Zakład Ceramiki Budowlanej „OWCZARY”, R.E.R. Stępień Sp. j.,
KLINKIER PRZYSUCHA S.A.,
Wienerberger Ceramika Budowlana Sp. z o.o.

Wydawca

Związek Pracodawców Ceramiki Budowlanej
Al. Jerozolimskie 29 lok. 3, 00-508 Warszawa
e-mail: związek@związek.org.pl
Tel. 22 826 31 01

Skład DTP

Kamil pavlick Pawliczuk
kamil.pawlicz.uk

ISBN 978-83-955539-6-7

Wszelkie prawa zastrzeżone.
Kopiowanie całości lub części bez zgody wydawcy zabronione.

Warszawa 2021 r.

SPIS TREŚCI

SPIS TREŚCI	3
Drodzy Czytelnicy	5
ROZWÓJ CERAMIKI W POLSCE	7
PROCESY TECHNOLOGICZNE I PRODUKCYJNE	10
Surowce do produkcji wyrobów ceramicznych	13
Etapy wytwarzania wyrobów ceramicznych	15
ASORTYMENT WYROBÓW	17
Rodzaje wyrobów	17
Elementy murowe	17
Cegły ceramiczne	18
Pustaki ceramiczne	20
Dachówki	25
Elementy wykończeniowe (okładziny elewacyjne).....	27
Elementy stropowe	30
Prefabrykaty nadprożowe	31
Pustaki wentylacyjne	33
Elementy małej architektury.....	34
WŁAŚCIWOŚCI WYROBÓW	35
Informacje ogólne	35
Elementy murowe	35
Okładziny elewacyjne	48
PODSTAWOWE ELEMENTY KONSTRUKCYJNE BUDYNKU	49
Wyroby ceramiczne w elementach ustrojów nośnych	49
Wymagania podstawowe	50
Odształcalność murów pod wpływem obciążeń, wilgoci i temperatury	56
Zależność wytrzymałości na ściskanie elementów murowych od ich zawilgocenia	62
Odporność ogniowa ścian murowanych.....	63
Wpływ promieniotwórczości na użytkowników budynków	65
Wrażliwość murów na rozwój grzybów pleśniowych	69
Ciepno-wilgotnościowe właściwości użytkowe murów	73
Odształcalność ceramicznych ścian działowych na uginającym się stropie	76

PERSPEKTYWY I KIERUNKI ROZWOJU CERAMIKI.....	83
BIBLIOGRAFIA.....	93
Literatura	93
Przepisy krajowe	95
Polskie Normy	96
Prace badawcze, raporty z badań.....	99

Drodzy Czytelnicy

Mamy przyjemność przekazać Państwu nowe opracowanie pt.: „Ceramika w budownictwie”. To swoiste kompendium wiedzy na temat nowoczesnych wyrobów ceramicznych i ich różnorodnego zastosowania we współczesnym budownictwie.

W ostatnich dwóch dekadach obserwujemy w Polsce i w całej Europie niezwykle dynamiczny rozwój ceramicznych wyrobów budowlanych i jest to z całą pewnością jeden z tych okresów w wielowiekowej historii tego naturalnego produktu, w którym ten rozwój jest najbardziej intensywny. To właśnie na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat powstały ceramiczne poryzowane pustaki ścienne o dużych rozmiarach (nawet do 50 cm), pustaki o specjalnie zaprojektowanym układzie drążenia, znacznie podnoszącym ich właściwości termoizolacyjne, pustaki wypełniane materiałami termoizolacyjnymi, specjalistyczne pustaki akustyczne oraz wiele innych nowoczesnych rozwiązań opisanych w tym opracowaniu.

Na szczególną uwagę zasługuje też zmiana w obrębie technologii wznoszenia murów z ceramiki. Dzięki dziś już powszechnemu stosowaniu pustaków szlifowanych o dużej dokładności wymiarowej, możliwe jest murowanie ceramicznych ścian na tzw. „cienką spoinę”, zarówno cementową, jak i suchą, poliuretanową. Coraz częściej tradycyjną kielnię murarską na budowie zastępują wałki do nanoszenia zaprawy czy pistolety do aplikowania tzw. suchej zaprawy w postaci piany poliuretanowej.

Konstrukcyjne wyroby z ceramiki to nie tylko pustaki ścienne, ale również nadproża, stropy oraz wiele elementów uzupełniających – ułatwiających i przyspieszających prace budowlane oraz wpływające na poprawę energooszczędności budynków.

Dynamiczny rozwój dotyczy również ceramicznych wyrobów elewacyjnych i dachowych. Cegły elewacyjne produkowane są w wielu kolorach, od cegieł białych, poprzez różne odcienie czerwieni, brązu, kończąc na antracytowych i czarnych. Różnią się fakturą lica, formatem, sposobem murowania. Dachówki ceramiczne oferowane są również w bogatej

kolorystyce oraz w wielu interesujących modelach – od dachówek historycznych, jak mnich-mniszka czy karpiówka, do najnowocześniejszych modeli dachówek zakładkowych.

Dzięki ścisłej współpracy producentów z instytucjami naukowo-badawczymi oraz stałemu rozwojowi produktów i technologii ceramika budowlana zachowując swój niepowtarzalny urok i szlachetność, oferuje szereg nowoczesnych rozwiązań spełniających oczekiwania inwestorów, projektantów i wykonawców.

Życzymy miłej lektury

Zarząd Związku Pracodawców
Ceramiki Budowlanej

ROZWÓJ CERAMIKI W POLSCE

Budynki i budowle z wyrobów wytwarzanych z gliny wznoszone były już w starożytności, w krajach dalekiego wschodu, około 5000 lat p.n.e. Początkowo były to elementy suszone na słońcu, a jako wypalane (ceramiczne), pojawiły się w IV w. p.n.e. Od tego czasu popularność ceramiki i terytorialny zasięg jej stosowania stale się powiększa.

W Polsce od przełomu XI i XII wieku wykorzystywano glinę do wzmacniania i zabezpieczania grodów i podgrodzi. W tamtych czasach budowano głównie z kamieni i drewna, a gliną wylepiano jedynie lico zewnętrzne ścian domów i budowli obronnych. Niestety glina w swej czystej postaci – mimo niewątpliwej zalety, jaką była możliwość jej plastycznej obróbki – w czasie wysychania kruszyła się i pękała. Zaczęto więc formować z niej kształtki, tzw. surówki, będące prototypem współczesnych cegieł, z których możliwe było już wznoszenie ścian o dużych powierzchniach. Cegły palone zaczęto stosować w Polsce około połowy XII wieku. Pierwszymi budowlami na ziemiach Polskich, do których użyto, obok tradycyjnego w tamtych czasach budulca, tj. ciosów kamiennych, również cegłę była kolegiata znajdująca się w podłęczyckiej miejscowości Tum oraz kościół opacki w Czerwińsku. W kościele tym cegły w połączeniu z kamieniem posłużyły do wykonania części arkad [7].

Cegła wypalana weszła do szerokiego stosowania w wieku XIII, kiedy to obserwowano widoczny trend w przejściu od kamienia do cegły jako tworzywa budowlanego. Dobrym przykładem takiego podejścia jest katedra w Kamieniu Pomorskim, której budowa rozpoczęła się po roku 1175, gdzie dolną część ścian wykonano z kostek granitowych, zaś górną, wzniesioną w pierwszej połowie XIII wieku, już wyłącznie z cegły. Pierwszą, najstarszą w Polsce, budowlą monumentalną wykonaną wyłącznie z cegieł jest znajdujący się w Kołbaczu koło Szczecińska kościół Opactwa Cystersów (fot. 1), którego budowa rozpoczęła się w roku 1210.



Kościół Opactwa Cystersów w Kołbaczu

Fot. 1.

Budownictwo z cegły zyskiwało coraz większą popularność na co istotny wpływ miała duża dostępność surowców do wytworzenia cegły oraz stosunkowo nieskomplikowany sposób produkcji. Wyroby ceramiczne jako materiały trwałe i niepalne prawie jak wyroby z kamienia, ale od nich tańsze i łatwiejsze w obróbce mają walory estetyczne, takie jak trwałość i naturalny kolor, możliwość uzyskania ciekawej faktury powierzchni. Budowle z cegły również wpłynęły znacząco na zmiany w architekturze zarówno przez poszerzenie palety kolorystycznej powstających obiektów, jak i też na zmiany wyglądu budowli monumentalnych. Kolejne, wspaniałe i w większej części ceglane, budowle sakralne powstały m.in. w Trzebnicy, Nysie, Złotorii, Środzie Śląskiej i we Wrocławiu [7].

Równocześnie z rozpowszechnianiem się budownictwa z cegieł zaczęto również wytwarzać dachówki ceramiczne.

Wraz z rozwojem przemysłu rosło zapotrzebowanie na nowe obiekty, a więc także na wyroby ceramiczne. Wprowadzenie w wieku XIX technologii wznoszenia budynków szkieletowych zaowocowało zapotrzebowa-

niem na cegły lekkie, do wypełnienia ścian tylko jednej kondygnacji, co dało początek produkcji cegieł z drążeniami. Dalszy postęp technologiczny doprowadził do tego, że w wieku XX cegły drążone przeistoczyły się w pustaki, czyli wyroby o udziale drążenia większym od 25% oraz o wymiarach kilkakrotnie większych od cegieł tradycyjnych.

Dzięki rozwojowi technologii produkcji wyrobów ceramicznych możliwe jest obecnie wytwarzanie takich elementów, które zachowując tradycyjne właściwości (wytrzymałość, trwałość, odporność ogniową, estetykę, itp.) mogą spełniać wymagania izolacyjności cieplnej i akustyki [6].

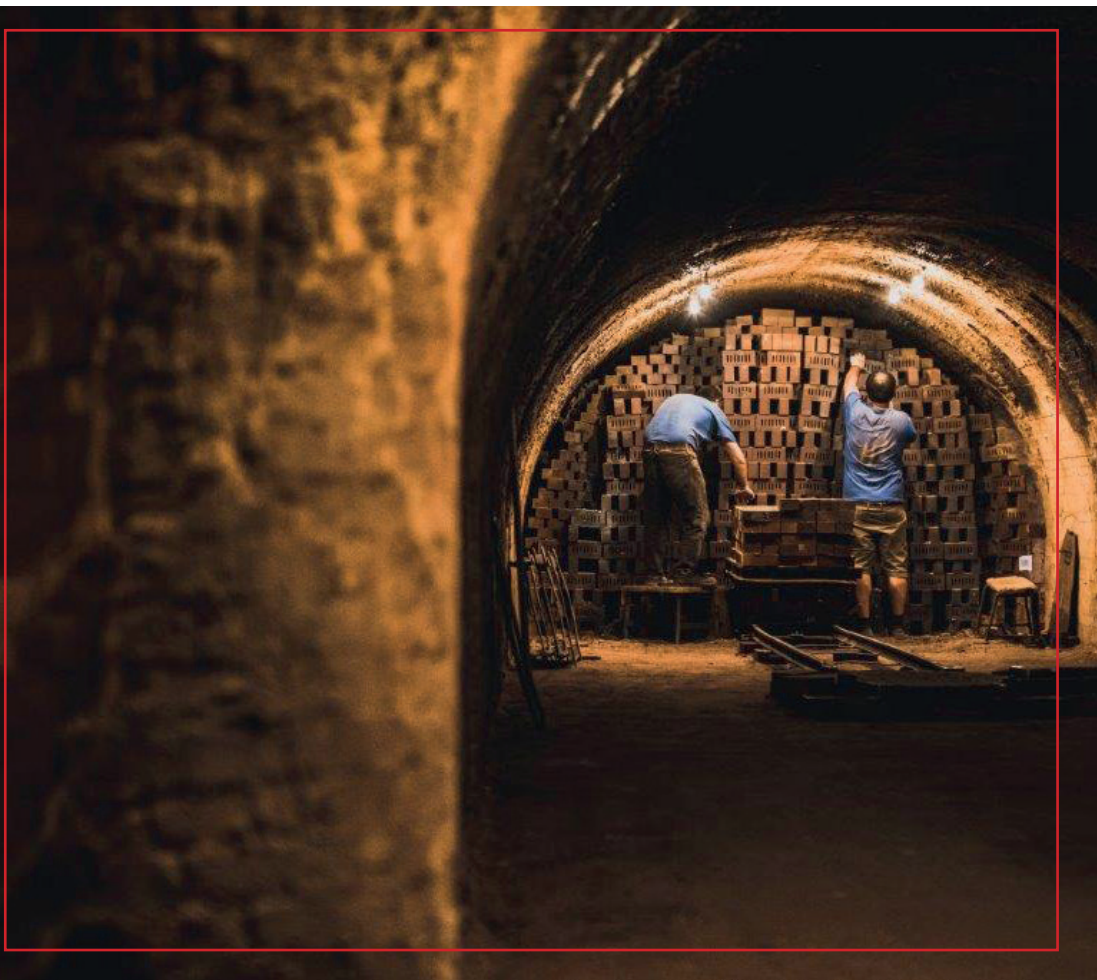
Malbork – Zamek Krzyżacki

Fot. 2.



PROCESY TECHNOLOGICZNE I PRODUKCYJNE

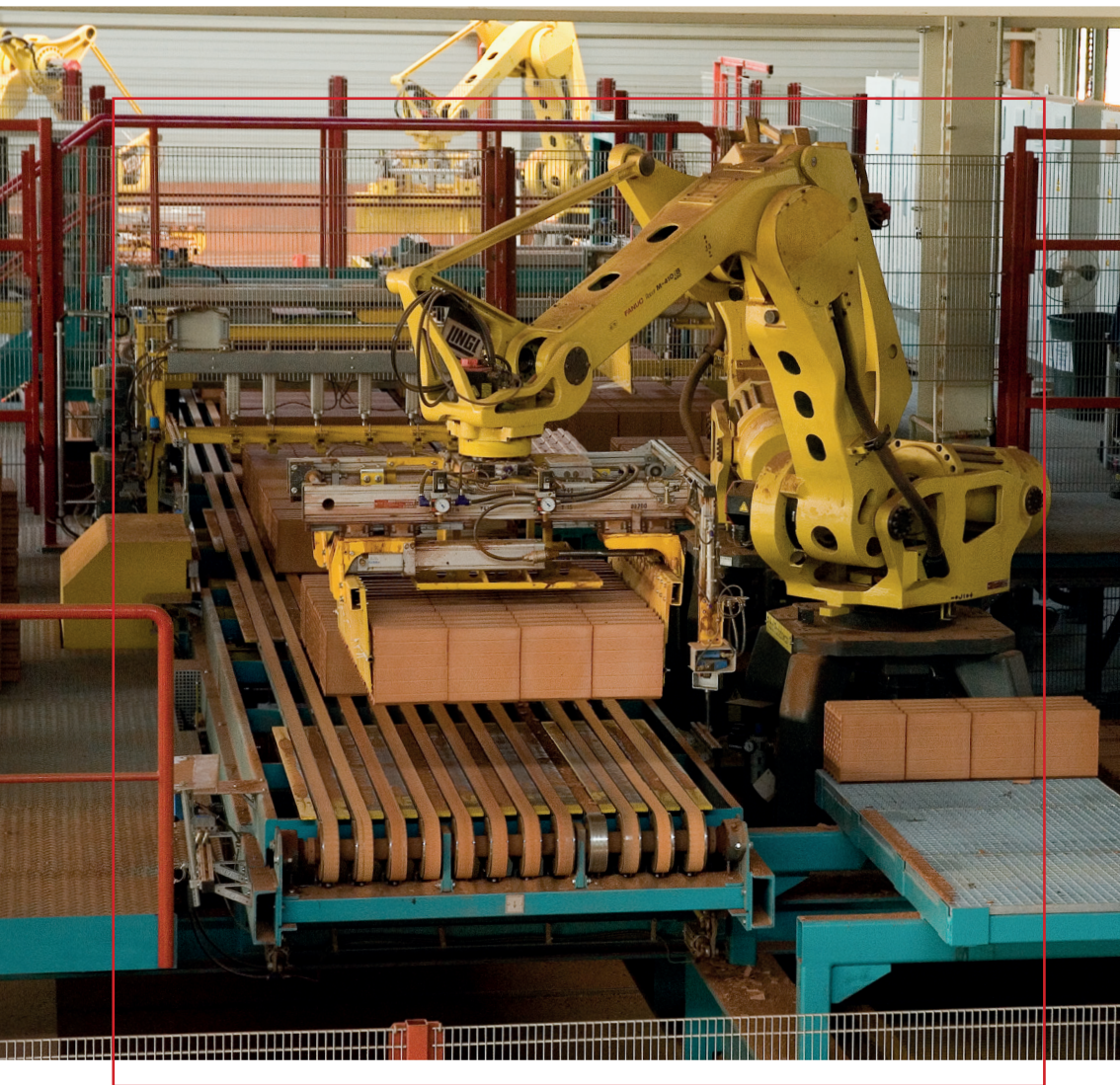
Tradycyjne wytwarzanie ceramiki opierało się na naturalnym przerobie surowców ilastych, całkowicie ręcznym formowaniu, suszeniu przez okres 15÷30 dni na placu wysypanym ostro krawędziowym piaskiem i wypalaniu w kręgowym, węglowym piecu Hoffmana (fot. 3). Obecnie technologia ta stosowana jest sporadycznie.



Tradycyjna produkcja cegieł – zdjęcie w piecu kręgowym **Fot. 3.**

Wypalanie cegieł przebiegało w kilku, płynnie następujących po sobie etapach, a szybkość procesu uzależniona była od właściwości surowców, ich wilgotności, typu pieca i rodzaju wymiany ciepła. Pomimo tego, że konstrukcja pieców kręgowych była znana od dawna, pozwalała ona na łatwe ich utrzymanie w pełnej sprawności przy niskich kosztach eksploatacyjnych. Piece te odznaczały się korzystnym wskaźnikiem zużycia ciepła, stosunkowo dużą wydajnością i żywotnością techniczną. Do najistotniejszych wad ich użytkowania zaliczano uciążliwość załadunku i wyładunku wsadu, trudności osiągnięcia równomiernego rozkładu temperatury oraz związane z tym różnice kolorystyczne i cech fizykochemicznych pomiędzy wyrobami wypalnymi w tym samym czasie. Cegły ręcznie formowane odznaczały się małą gęstością, dużą nasiąkliwością, stosunkowo niedużą odpornością na ściskanie i niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła [7].

Przy tradycyjnej produkcji wyrobów ceramicznych praca ludzkich rąk odgrywała kluczową rolę, natomiast we współczesnych zakładach została ograniczona do minimum, a główny ciężar produkcji przejęły urządzenia i maszyny sterowane automatycznie. Cechą nowoczesnych zakładów jest również automatyzacja procesu transportu półfabrykatów, dostosowanie rodzaju wykorzystywanych urządzeń do realizowanej technologii, doskonalenie materiałów ogniotrwałych, izolacyjnych i pomocniczych, usprawnienie urządzeń do spalania paliwa, automatyzacja regulacji przepływu czynnika grzewczego lub suszącego, tak aby zoptymalizować wymianę ciepła i masy oraz poszerzenie zakresu pomiarów i automatycznego sterowania procesami suszenia i wypalania. Największy jednak postęp technologiczny dokonał się w obszarze suszarni i pieców ceramicznych. Nowoczesne piece budowane są z ultralekkich, ogniotrwałych materiałów takich jak: wyroby perlitowe, kaolinowe, wysokoglinowe lub korundowe wyroby izolacyjne.



Fot. 4. Nowoczesny zakład produkcji ceramiki budowlanej

Możliwość automatycznego sterowania zmianami temperatur pieca zgodnie z założoną krzywą suszenia i wypalania oraz ograniczenie wahań temperatury w bardzo wąskim przedziale minimalizuje ryzyko niestabilnego przebiegu wypalania i produkcji cegieł o niejednorodnych właściwościach.



Automatyzacja procesu produkcji dachówki ceramicznej **Fot. 5.**

Surowce do produkcji wyrobów ceramicznych

Podstawowym surowcem do produkcji wyrobów ceramicznych jest glina. Jej właściwości zależą od składu:

- granulometrycznego,
- chemicznego,
- mineralogicznego.

Przez skład granulometryczny rozumie się wielkość ziaren surowca, przy czym rozróżnia się następujące frakcje:

- piasek - ziarna o średnicy $2 \div 0,05$ mm,
- pył - ziarna o średnicy $0,05 \div 0,002$ mm,
- właściwą substancję ilastą (substancję gliniastą) - ziarna o średnicy poniżej 0,002 mm.

Frakcje piaskową dzieli się na piasek gruby ($2 \div 0,5$ mm) i piasek drobny ($0,5 \div 0,05$ mm). Poza tym w glinach występują niekiedy zanieczyszczenia takie jak żwir (ziarna większe od piasku) i okruchy skał.



Fot. 6. *Glina – naturalny surowiec*

Skład mineralogiczny glin jest w znacznym stopniu zależny od składu granulometrycznego. Piasek stanowi głównie kwarc z niewielkimi ilościami skalenia. Pył składa się przeważnie z kwarcu, skalenia i miki. Substancja ilasta jest bardziej złożona. W jej skład wchodzi różne minerały ilaste, jak: kaolinit, haloizyt, montmorylonit, pirofilit, illit, alofany i inne.

Ilość substancji ilastej oraz przewaga któregoś z minerałów skałotwórczych w jej składzie decydują o właściwościach fizycznych gliny.

Gliny powinny mieć średnią plastyczność, małą wrażliwość na suszenie (skurczliwość suszenia $6\div 8\%$) i dobrze nadawać się do formowania. Nie powinny zawierać większych ilości soli rozpuszczalnych ani gruboziarnistych zanieczyszczeń, zwłaszcza marglu i wapienia. Niedopuszczalna jest zawartość soli rozpuszczalnych, zwłaszcza siarczanów, oraz zanieczyszczeń o ziarnach większych od 1 mm (kwarc, margiel, gips, piryt) [12].

Glina w naturze nigdy nie występuje w takim stanie, aby wydobyta z kopalni nadawała się od razu do formowania. Dlatego zachodzi konieczność odpowiedniego jej przygotowania i przerobienia na masę ceramiczną nadającą się do formowania wyrobów.

Aby uzyskać masę o pożądanym właściwościach technologicznych, należy glinę rozdrobnić, wymieszać z dodatkami, nawilżyć i doprowadzić do możliwie maksymalnej jednorodności.

Etapy wytwarzania wyrobów ceramicznych

W procesie produkcji wyrobów ceramicznych można wyróżnić kilka etapów, w szczególności:

- pozyskiwanie surowców,
- dozowanie surowców,
- rozdrobnienie mieszanki (przerób wstępny),
- homogenizacja mieszanki,
- formowanie wyrobów,
- suszenie,
- wypalanie,
- szlifowanie,
- sortowanie, pakowanie, transport wewnętrzny,
- magazynowanie,
- wywóz wyrobów (transport zewnętrzny).

Nowoczesne technologie produkcji wyrobów ceramicznych umożliwiają nie tylko udoskonalanie elementów ceramicznych, ale także produkcję na dużą skalę przy jednoczesnej dbałości o środowisko. Obecnie dobrą i stosowaną praktyką jest rekultywacja terenów pokopalnianych poprzez zagospodarowywanie wyrobisk np. na cele rekreacyjne (sztuczne zbiorniki wodne), czy zalesienia.



Fot. 7. *Rekultywacja terenów pokopalnianych*

ASORTYMENT WYROBÓW

Rodzaje wyrobów

Asortyment wyrobów ceramicznych i wyrobów wytwarzanych z użyciem kształtek z ceramiki budowlanej jest - po ośmiu wiekach ewolucji i dostosowywania do coraz wyższych oczekiwań inwestorów - bardzo bogaty. Wyroby ceramiczne można podzielić na kilka podstawowych grup:

- elementy murowe – celowo uformowane wyroby budowlane przeznaczone do wykonywania muru,
- dachówki,
- cegły klinkierowe (elementy elewacyjne),
- elementy stropowe – pustaki stropowe i belki kratownicowe przeznaczone do wykonywania stropów gęstożebrowych (belkowo-pustakowych),
- prefabrykaty nadprożowe,
- pustaki wentylacyjne.

Uzupełnieniem powyższych grup wyrobów, niezbędnych przy wzniesieniu budynków i obiektów małej architektury, są:

- zaprawy murarskie i kleje poliuretanowe,
- wyroby ułatwiające wykonywanie robót murarskich (np. kształtki wieńcowe).

Elementy murowe

Do najbardziej popularnych elementów ceramicznych zalicza cegły tradycyjne oraz pustaki poryzowane, szlifowane, akustyczne.

Cegły ceramiczne

Cegły ceramiczne są najstarszymi i jednocześnie najbardziej uniwersalnymi wyrobami ceramiki budowlanej. Mogą być z nich wykonywane wszystkie rodzaje murów: ściany nośne zewnętrzne, nośne wewnętrzne i działowe.

Cegły produkowane są w różnych systemach wymiarowych, ale jest kilka formatów standardowych (wymiary cegły podaje się w milimetrach):

- cegła w formacie RF (tradycyjnym) ma wymiary 250 x 120 x 65 mm (długość x szerokość x wysokość),
- cegła w formacie WDF ma wymiary 210 x 100 x 65 mm,
- cegła w formacie WF ma wymiary 210 x 100 x 50 mm,
- cegła w formacie NF ma wymiary 240 x 115 x 71 mm,
- cegła ekstrudowana (klinkierowa) o najbardziej popularnych wymiarach 250 x 120 x 65 mm.



Nowoczesna elewacja z cegieł klinkierowych

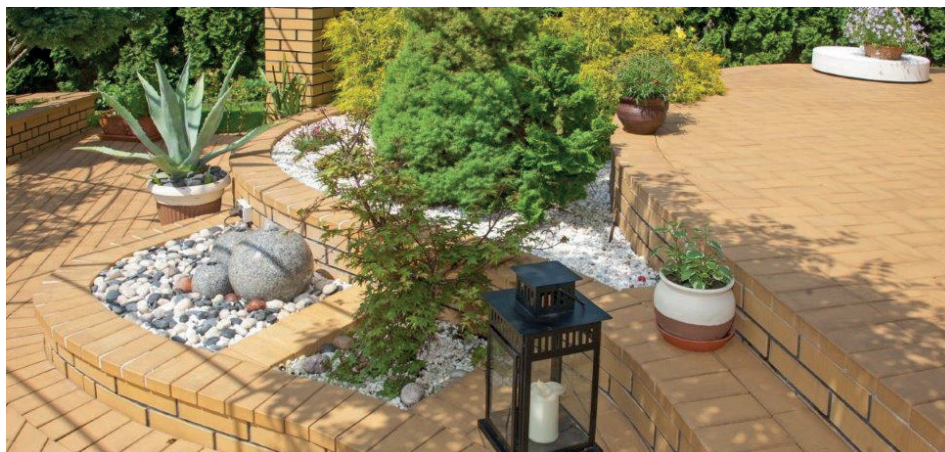
Fot. 8.

Cegły ceramiczne występują w dwóch wariantach, jako pełne lub drażone.

Cegły drażone mogą mieć drażenia:

- poziome, tzw. cegły dziurawki z dwoma lub trzema otworami wzdłuż wozówki; udział drażeń może wynosić do 25% objętości,
- pionowe, z pięcioma lub sześcioma otworami wzdłuż główki; udział drażeń może wynosić do 40% objętości.

Cegły elewacyjne (klinkierowe) to wyroby szczególnie odporne na oddziaływanie niekorzystnych warunków klimatycznych, charakteryzujące się dużą wytrzymałością na ściskanie i niską nasiąkliwością. Z uwagi na przeznaczenie występują w bogatej paletce kolorów i faktur powierzchni lico-nych. Powierzchnie licowe cegieł elewacyjnych mogą być gładkie, ręcznie formowane, ryflowane, strukturyzowane lub pokryte angobą.

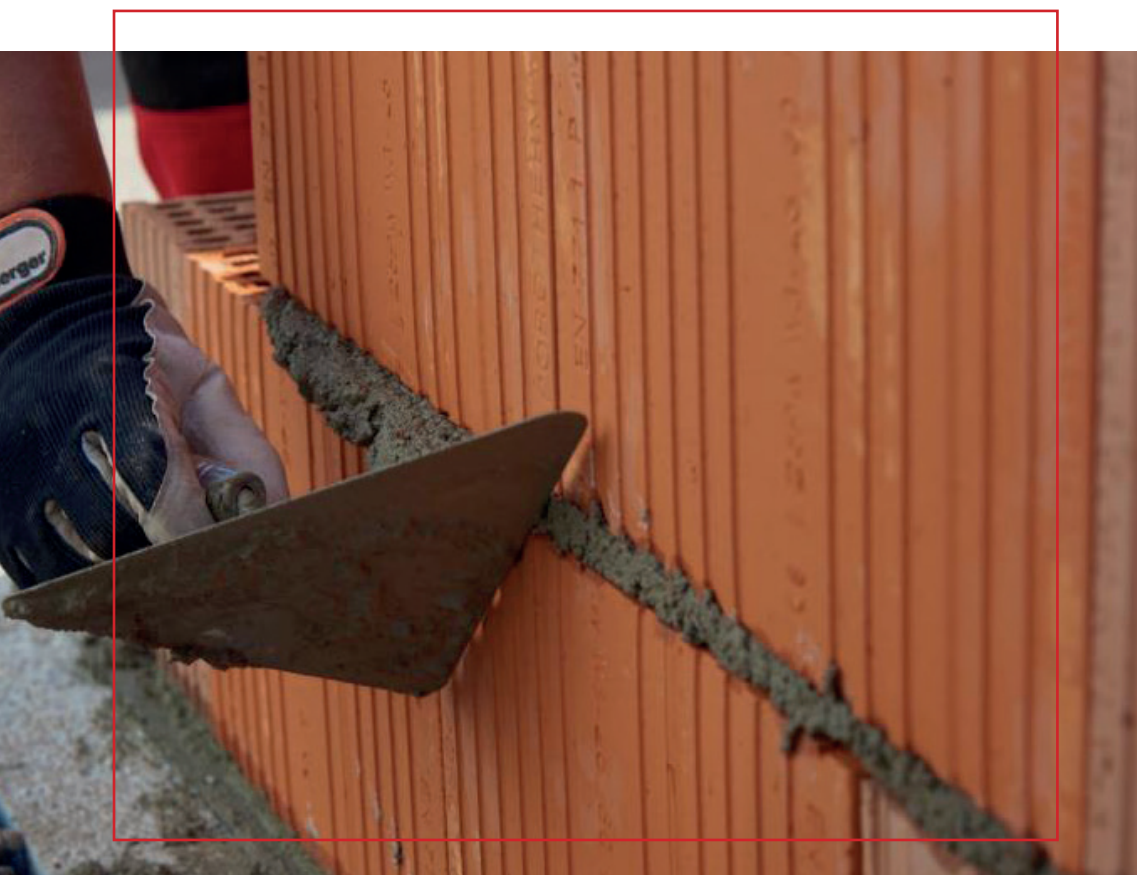


Cegła klinkierowa w małej architekturze **Fot. 9.**

Ceramiczne cegły elewacyjne są także stosowane do wykonywania elementów małej architektury (ogrodzeń, kominków, grillów) i do wykańczania wnętrz (ścianki działowe, obudowy kominków itp.). Powszechność ich zastosowań, trwałość i estetyka sprawiają, że z powodzeniem sprawdzają się one zarówno na elewacjach budynków o stylu nowoczesnym, jak i klasycznym.

Pustaki ceramiczne

Podstawową grupę w asortymencie ceramicznych elementów budowlanych stanowią pustaki. Od cegieł różnią się wielkością, ilością dźrżeń i mniejszą gęstością (fot. 11). Pustakami przyjęto bowiem nazywać te wyroby dźrżone, w których udział dźrżeń wynosi od 25 do 70% objętości oraz które są większe od cegieł tradycyjnych potrójnych lub modularnych podwójnych. Pustaki mogą być przystosowane do murowania zwykłego, jak również do nowych technik łączenia murów: na suchy styk, na pióro i wpust oraz na cienką (ok. 1 mm grubości) spoinę. Produkowane pustaki mają określone przeznaczenie i dostosowane są do określonych technik murowania. Szczelinowy układ wewnętrznych dźrżeń sprzyja ograniczeniu przewodzeniu ciepła.

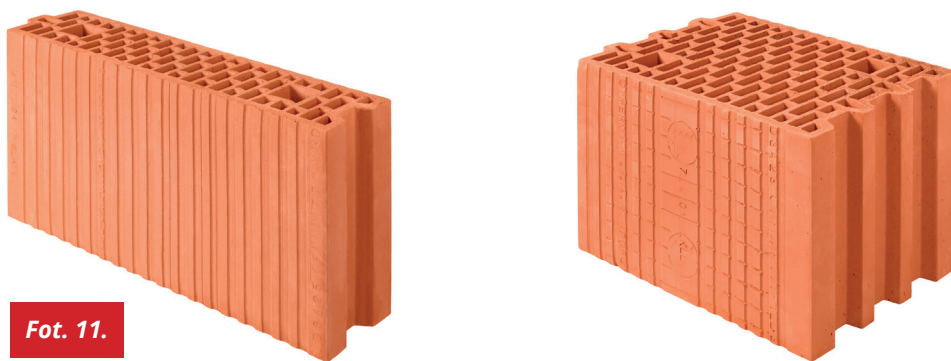


Ceramiczne pustaki murowane na spoinę tradycyjną

Fot. 10.

Pustaki ceramiczne to materiały bardzo trwałe, wytrzymałe, mrozo-odporne i osiągające korzystne współczynniki przewodzenia ciepła. Jednocześnie materiał ceramiczny można modyfikować w bardzo szerokim zakresie, co pozwala osiągnąć wyroby o bardzo zróżnicowanych właściwościach, począwszy od produktów o wysokiej izolacyjności termicznej (pustaki do jednowarstwowych ścian zewnętrznych bez docieplenia) poprzez wyroby o podwyższonej wytrzymałości na ściskanie aż do wyrobów o podwyższonej izolacyjności akustycznej.

Współcześnie produkowane pustaki ceramiczne, w zależności od przeznaczenia, charakteryzują się udziałem drążeń od 25 do 70%, mniejszą grubością ścianek i obecnością mikroskopijnych porów powstałych w efekcie wypalania mieszanki gliny najwyższej jakości z łatwo spalającymi się surowcami, głównie trocinami. Pustaki poryzowane charakteryzują się bardzo dobrą izolacyjnością cieplną, izolacyjnością akustyczną i wytrzymałością, a zbudowane z nich ściany „oddychają”, tzn. regulują stopień wilgotności we wnętrzach, utrzymując go na optymalnym poziomie.



Fot. 11.

Szlifowane ceramiczne pustaki ścienne

Nowym rozwiązaniem na polskim rynku budowlanym są *pustaki ceramiczne o szlifowanych powierzchniach wspornych*. Tym, co różni je od tradycyjnych pustaków jest ich wysokość wynosząca 249 mm, wykonana z dokładnością do ± 1 mm, co pozwala na zastosowanie cienkiej spoiny o grubości ok. 1 mm. Ta modyfikacja umożliwiła na znaczne ograniczenie zużycia zaprawy (do ok. 80%), poprawę parametrów izolacyjności termicznej murów oraz ograniczenie wilgotności technologicznej w murze, a także wpłynęła na estetykę i ekonomię wykonania muru. Czas wzn-

szenia i murowania ściany z pustaków szlifowanych zmniejszył się blisko o połowę w stosunku do tradycyjnej metody murowania, zaś stosowanie specjalnych zapraw pozwoliło na ograniczenie ilości sprzętu na budowie i zmniejszyło ilość odpadów.



Szlifowane pustaki ceramiczne murowane na zaprawie do cienkich spoin **Fot. 12.**

W ostatnich latach coraz powszechniej stosowana jest nowa technika wznoszenia murów z zastosowaniem murarskiego kleju poliuretanowego. Technika ta polega na nakładaniu na warstwę muru z pustaków szlifowanych kleju za pomocą pistoletu, w postaci zazwyczaj dwóch wałków układanych wzdłuż osi muru. Oprócz znacznego przyśpieszenia robót murarskich (mur można obciążać praktycznie bezpośrednio po jego wymurowaniu) eliminuje się konieczność stosowania tradycyjnych zapraw murarskich (robót mokrych), ogranicza ilość transportowanych i magazynowanych materiałów.



Szlifowane pustaki ceramiczne murowane na kleju poliuretanowym Fot. 13.

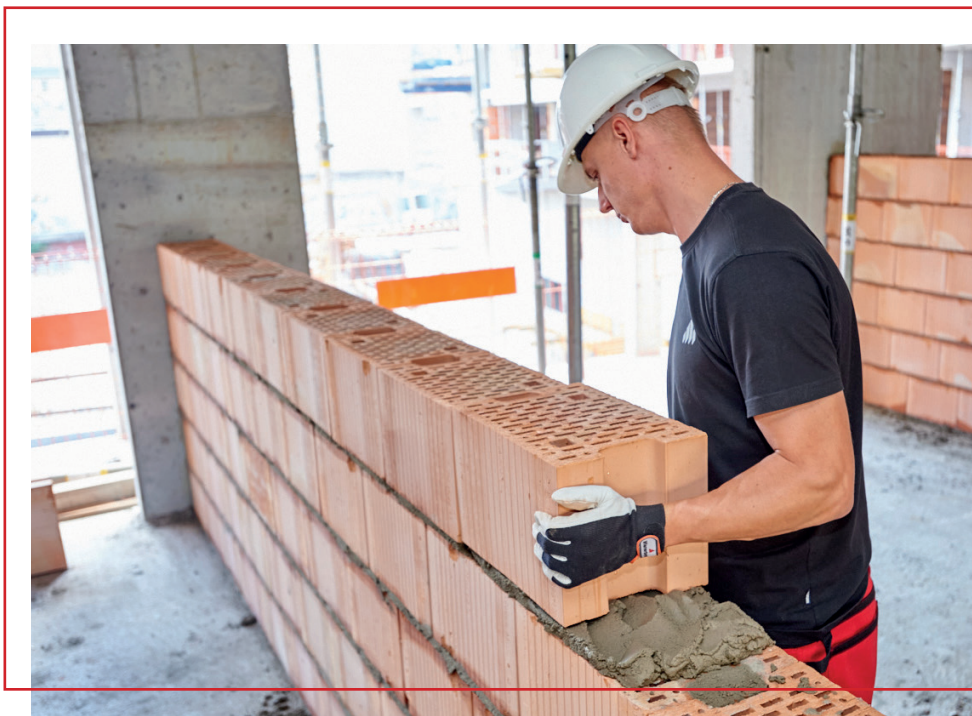
W celu podwyższenia właściwości cieplnych ścian produkowane są też pustaki ceramiczne z otworami wypełnionymi wełną mineralną lub innym materiałem termoizolacyjnym. Tak zaawansowane technologicznie produkty o bardzo dobrych parametrach termoizolacyjnych murowane są na zaprawie do cienkich spoin, aby do minimum ograniczyć mostki termiczne w spoinach. Przykładem takich rozwiązań mogą być pustaki ceramiczne wypełniane wełną mineralną (fot. 14). Ich produkcja to proces bardzo skomplikowany i niezwykle precyzyjny. W pierwszym etapie

produkowane są pustaki ceramiczne, które po wypaleniu podaje się obróbce szlifowania. W kolejnym kroku z niezwykłą precyzją poddaje się dokładnie dopasowane paski wełny mineralnej i umieszczane w drążeniach pustaków ceramicznych, uzyskując w ten sposób gotowy wyrób. Pustaki ceramiczne wypełnione wełną mineralną pozwalają spełniać bardzo rygorystyczne wymagania termiczne (odpowiadające od 2021 r.) przy grubości muru zaledwie 38 cm bez konieczności stosowania dodatkowych warstw docieplenia. W ten sposób pomimo dalszych zaostreżeń wymagań termicznych dla przegród budynku będzie można stosować zdrowe i suche ściany jednowarstwowe.



Fot. 14. *Produkcja pustaków wypełnionych wełną mineralną*

We wszystkich budynkach, niezależnie od ich przeznaczenia, powstaje hałas z różnych źródeł, który niekorzystnie oddziałuje na komfort i samopoczucie ludzi przebywających w tych budynkach, a nawet na wydajność wykonywanej przez nich pracy. Najlepszą metodą zminimalizowania negatywnego wpływu bodźców dźwiękowych jest wykonanie ścian wewnętrznych o podwyższonej izolacyjności akustycznej, tzw. ścian akustycznych. Do tego celu najlepiej nadają się specjalne *pustaki akustyczne*, które redukują dźwięki pomiędzy sąsiadującymi pomieszczeniami (fot. 15). Pustaki akustyczne są przeznaczone do budowy ścian między-



Ceramiczny pustak akustyczny Fot. 15.

mieszkańczych, a skonstruowane z nich mury osiągają bardzo korzystny wskaźnik izolacyjności akustycznej pozwalający spełnić wymagania dla ścian akustycznych $R'_{A,1} \geq 50$ dB.

Dachówki

Dachówki ceramiczne zalicza się do wyrobów tradycyjnych, stosowanych od wieków na pokrycia dachowe. Są najbardziej efektywnym, trwałym i bardzo praktycznym materiałem dostępnym w bogatej palecie kolorystycznej, od naturalnej czerwieni przez intensywne zielenie i amaranty aż do czerni, oraz wielu rodzajach wykończenia powierzchni. Różnorodność dachówek pozwala na dobór odpowiednich wzorów do formy i kształtu dachu oraz budynków zaprojektowanych w dowolnym stylu architektonicznym. Dostępne na rynku dachówki ceramiczne o różnych

wielkościach, w tym o małym formacie, pozwalają nie tylko na pokrywanie dachów o niezwyklej, najbardziej wymyślnych i skomplikowanych kształtach, ale również mogą być stosowane jako okładziny ścienne.



Fot. 16. Ceramiczna dachówka na elewacji budynku

Do zalet dachówek ceramicznych należą również duża trwałość, niepalność, dobra izolacyjność akustyczna oraz odporność na zmienne warunki atmosferyczne.

Dostępne na rynku dachówki ceramiczne można podzielić pod względem kształtu i metody mocowania na trzy rodzaje:

- dachówki karpiówki,
- dachówki zakładkowe,
- dachówki tradycyjne typu mnich - mniszka.



Rodzaje dachówek ceramicznych Fot. 17.
a) dachówka zakładkowa, b) dachówka karpiówka, c) mnich-mniszka

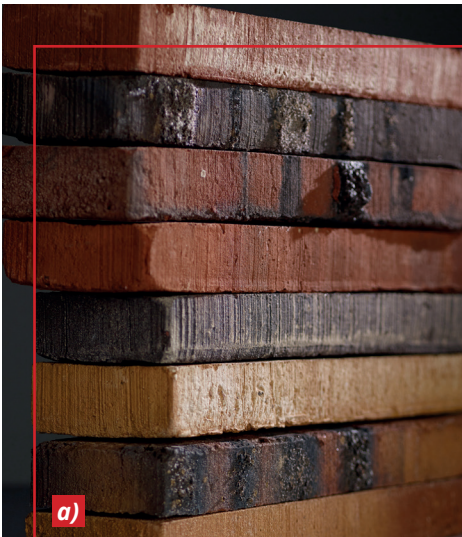
Elementy wykończeniowe (okładziny elewacyjne)

Jako elementy elewacyjne produkowane są klinkierowe cegły, kształtki i płyty, a także gotowe mieszanki zapraw do klinkieru.

Cegły klinkierowe (fot. 18) przeznaczone na elewacje budynków produkowane są jako:

- tradycyjne (o kształcie tradycyjnym):
 - gładkie, których podstawowym wyróżnikiem jest kolor gliny lub angoby, czyli warstwy uszlachetnionej kwarcem glinki nakładanej na cegłę i spiekanej z nią w wysokiej temperaturze,
 - strukturyzowane – są to cegły gładkie, na których w sposób mechaniczny (piaskowanie, drapanie, ryflowanie, odciskanie) naniesiono odpowiednią strukturę,

- spiekane - są to cegły gładkie, na które w sposób nieregularny nakładana jest posypka ze związków węgla; w procesie produkcji posypka się topi i spaja z cegłą tworząc nieregularne, wielokolorowe struktury na powierzchni licowej cegieł,
- szkliwione - są to cegły gładkie z warstwą bardzo twardej, błyszczącej angoby, tzw. szkliva; produkowane są w różnych kolorach od białych, żółtych przez błękitne, zielone, czerwone aż po granaty, antracyty i czerní,



a)



b)



c)

***Powierzchnie licowe
cegieł elewacyjnych:
a) o kształcie długich
i wąskich belek (tzw. długie
formaty),
b) ręcznie
formowanych,
c) tradycyjnych***

Fot. 18.

- cegły ręcznie formowane:
 - strukturyzowane – są to cegły, na licu których dodatkowo nadano strukturę, np. za pomocą strumienia wody; cegły mają nieregularne kształty a ich powierzchnie licowe są nieco wygładzone,
 - rustykalne – są to cegły poddane specjalnej obróbce, aby sprawiały wrażenie cegieł wiekowych, o obłych krawędziach i nieregularnym kształcie. Dzięki specjalnemu procesowi produkcji na licu cegły pozostają resztki zaprawy murarskiej,
 - cegły z wewnętrzną wnęką na zaprawę, umożliwiającą ukrycie zaprawy, a na zewnątrz umożliwiającą uzyskanie bardzo cienkiej spoiny; mogą to być również cegły poddane specjalnej obróbce, aby sprawiały wrażenie cegieł wiekowych, o obłych krawędziach i nieregularnym kształcie,
 - cegły o tzw. długim formacie - cegły o kształcie długiej i wąskiej belki z fakturą lica nieregularną ale wygładzoną (podczas produkcji powierzchnię licową „rzeźbi” się strumieniem wody) lub nieregularną (w procesie produkcji są łączone po dwie, a w trakcie układania łamane wzdłuż dłuższej krawędzi).

Uzupełnieniem asortymentu cegieł klinkierowych są płytki klinkierowe, produkowane w różnych kolorach i o różnej fakturze wykończenia powierzchni. Płytki te wytwarzane są jako:

- ręcznie formowane o wymiarach:
 - podstawowe (210÷215) x 22 x (65÷68) mm,
 - kątowe 215 x (98÷102) x 65 mm,
- tradycyjne o wymiarach:
 - podstawowe 250 x 10 x 65 mm,
 - kątowe 250 x 120 x 10 x 65 mm.

Dodatkowo produkowane są również gotowe mieszanki zapraw do klinkieru, które pozwalają uzyskać różnorodne efekty elewacji przy jednoczesnym zachowaniu właściwych parametrów i trwałości warstwy elewacyjnej.

Elementy stropowe

Elementy stropowe – pustaki ceramiczne i belki stropowe przeznaczone są do wykonywania stropów belkowo-pustakowych (fot. 19) o rozpiętości do 8,0 m, rozstawie osiowym belek 500 lub 625 mm i wysokości stropu od 190 mm do 270 mm. Grubość nadbetonu wynosi 40 mm.



Fot. 19. Ceramiczny strop gęstożebrowy

Pustaki stropowe stanowią wypełnianie przestrzeni pomiędzy belkami (żebrawi) stropu

Belki stropowe są lekkimi belkami kratownicowymi ze stopką betonową wykonaną w kształtce ceramicznej co pozwala na uzyskanie jednolitej, ceramicznej dolnej powierzchni stropu.

W celu ułatwienia i przyspieszenia robót związanych z wykonaniem stropów stosuje się *kształtki wieńcowe*, które pełnią funkcję szalunków traconych wieńców ścian budynku. Ułożenie kształtek na ścianach jest zdecydowanie szybsze i tańsze niż wykonanie tradycyjnego deskowania, a po okresie dojrzewania betonu wieńców nie wymaga rozformowania. Szalunki tracone w postaci kształtek wieńcowych zapewniają też właściwe ułożenie mieszanki betonowej oraz położenie zbrojenia wieńców. Stosując kształtki wieńcowe uzyskuje się jednomateriałową powierzchnię zewnętrzną ścian, zapewniającą jednakowe podłoże (jednakowe warunki przyczepność) do tynkowania.



Prefabrykaty nadprożowe

Prefabrykaty nadprożowe są elementami żelbetowymi wytwarzanymi przy użyciu kształtek z ceramiki poryzowanej. Produkowane są w dwóch odmianach:

- stanowiące część prefabrykowaną konstrukcji zespolonej, niekiedy zwane prefabrykatami nadprożowymi niskimi, na którą składa się prefabrykat (jeden lub kilka ułożonych obok siebie) i współpracujący z nim mur, ewentualnie także wieniec żelbetowy. Długość nadproży niskich wynosi od 0,75 m do 3,0 m.

- prefabrykaty samonośne, niekiedy zwane prefabrykatami nadprożowymi wysokimi, o określonej nośności, stosowane jako samodzielne elementy konstrukcyjne, które ułożone obok siebie na murze tworzą nadproże (tzw. nadproże złożone); długość prefabrykatu wynosi 1,00 m do 3,25 m, jego wysokość jest dostosowana do wysokości powszechnie stosowanych pustaków ceramicznych



Prefabrykaty nadprożowe z zastosowaniem kształtek ceramicznych: Fot. 21.

- a) nadproża zespolone,**
- b) nadproża samonośne.**

Pustaki wentylacyjne

Pustaki wentylacyjne przeznaczone są do szybkiego murowania przewodów wentylacyjnych. Są one komplementarne z pustakami ceramicznymi.



Ceramiczne pustaki wentylacyjne **Fot. 22.**

Zaprawy i kleje murarskie poliuretanowe

Do wznoszenia ścian, w zależności od przyjętego systemu, powinny być stosowane zaprawy i kleje przygotowywane w zakładzie i odpowiadające wymaganiom normy PN-EN 998-2 [N14], a przewidziane w tym systemie.

Dostępne są zaprawy murarskie dostarczane na budowę w postaci suchej mieszanki do rozrobienia z wodą, są to:

- zaprawy cementowo-wapienne,
- zaprawy do cienkich spoin,
- zaprawy termoizolacyjne,
- zaprawy do klinkieru.

Do łączenia pustaków ceramicznych szlifowanych stosuje się kleje murarskie poliuretanowe dostarczane na budowę w pojemnikach ciśnieniowych.

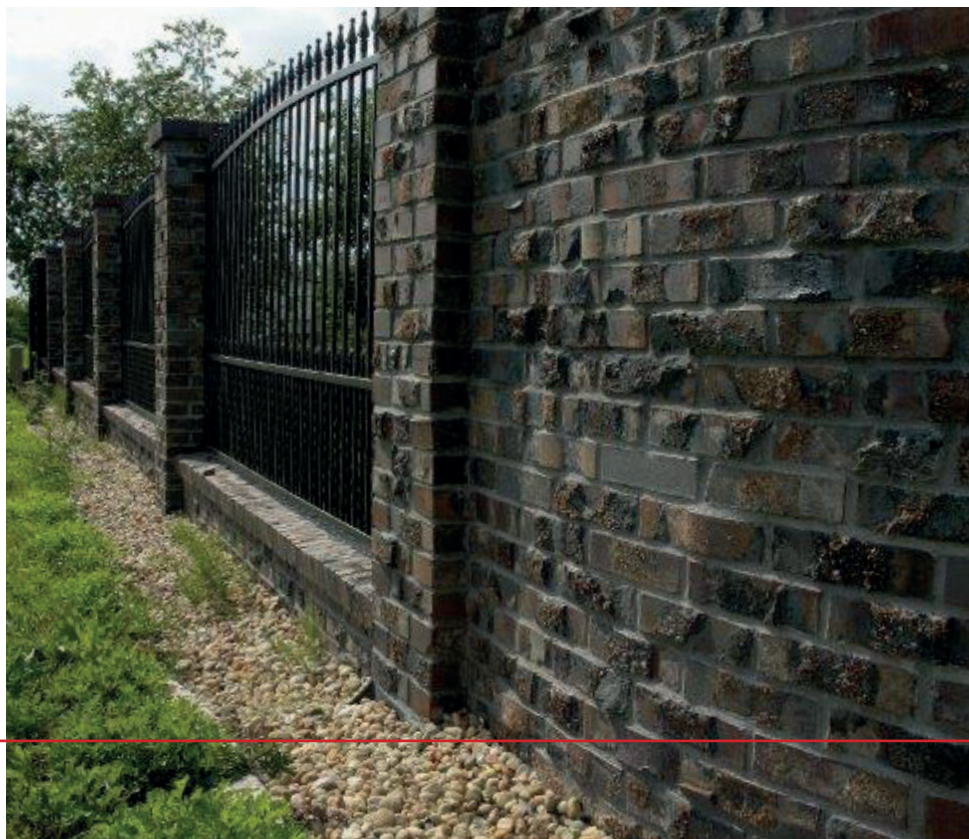
Elementy małej architektury

Bogata oferta rynkowa ceramicznych elementów (kształtek klinkierowych) do wykonywania obiektów małej architektury umożliwia realizację praktycznie każdego projektu

Do najbardziej popularnych elementów do wykonywania obiektów małej architektury zaliczają się:

- kształtki klinkierowe: z jedno- lub obustronnie zaokrągloną krawędzią, ze ściętą krawędzią, połówkowe,
- czapy na słupki,
- daszki do zwieńczenia muru,
- parapety zewnętrzne,
- stopnice,
- cokoły.

Fot. 23. *Ogrodzenie z cegły klinkierowej*



WŁAŚCIWOŚCI WYROBÓW

Informacje ogólne

Wyroby budowlane, w tym i ceramiczne elementy murowe, mogą być wprowadzone do obrotu jeżeli nadają się do stosowania przy wykonywaniu robót budowlanych, a więc mają właściwości użytkowe umożliwiające prawidłowo zaprojektowanym i wykonanym obiektom budowlanym, w których te wyroby będą wbudowane, spełnienie wymagań podstawowych. Wymagania podstawowe określone są w ustawie Prawo budowlane.

Wyrób budowlany nadaje się do stosowania przy wykonywaniu robót budowlanych jeżeli został prawidłowo oznakowany znakiem CE oraz dla którego producent wystawił - na swoją odpowiedzialność - deklarację właściwości użytkowych. Producent sporządza deklarację właściwości użytkowych w wyniku przeprowadzenia czynności (jeżeli to konieczne także z udziałem jednostki notyfikowanej) w ramach określonych systemów oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych.

Elementy murowe

Dla ceramicznych **elementów murowych** (pustaki, cegły zwykłe i klinierowe) w normie [N9] podano wykaz właściwości użytkowych (charakterystyk wyrobu) jakimi te wyroby powinny się charakteryzować. Są to:

- wymiary i odchyłki wymiarów,
- kształt i budowa,
- gęstość,
- wytrzymałość na ściskanie,
- stabilność wymiarów (rozszerzanie pod wpływem wilgoci),
- wytrzymałość spoiny (wytrzymałość na ścinanie muru w przekroju przez spoiny nieprzewiązane),
- zawartość aktywnych soli rozpuszczalnych

- reakcja na ogień,
- absorpcja wody,
- przepuszczalność pary wodnej,
- izolacyjność akustyczna,
- właściwości cieplne,
- trwałość (odporność na zamrażanie/odmrażanie),
- substancje niebezpieczne.

Producent, w zależności do zamierzonego zastosowania wyrobu, tj. jego funkcji w obiekcie i wpływu na spełnienie wymagań podstawowych, deklaruje wybrane właściwości wyrobu z tego zestawu. Niektóre właściwości powinny być deklarowane w każdym przypadku, inne zaś, jeżeli jest to istotne ze względu na zastosowanie. Wynika to z obowiązku jaki spoczywa na producencie, który powinien deklarować wymagane właściwości użytkowe tylko tych zasadniczych charakterystyk wyrobu, które są istotne dla deklarowanego przez niego zakresu zastosowania wyrobu.

Z uwagi na parametry geometryczne elementy murowe zostały podzielone na cztery grupy. Wymagania w tym zakresie podane są w normie projektowania [N23] (Tablica 1).

Parametr		Grupa elementów murowych			
		1	2	3	4
			drażenia pionowe		drażenia poziome
Objętość wszystkich otworów (% objętości brutto)		≤25	>25 ; ≤55	>25 ; ≤70	>25 ; ≤70
Objętość jednego otworu (% objętości brutto)		≤12,5	każdy otwór bez chwytowych ≤2 otwory chwytowe łącznie do 12,5	każdy otwór bez chwytowych ≤2 otwory chwytowe łącznie do 12,5	każdy z otworów ≤30
Deklarowana grubość ścianki (mm)	wewnętrzne	nie ma wymagań	≥5	≥3	≥5
	zewnętrzne		≥8	≥6	≥6
Deklarowana grubość zastępcza ^{a)} ścianek (% szerokości brutto)		nie ma wymagań	≥16	≥12	≥12
a) Grubość zastępcza jest sumą grubości ścianek wewnętrznych i zewnętrznych, mierzonych poziomo w danym kierunku					

Tablica 1. Wymagania grup elementów murowych [N23]

Wymiary i odchyłki wymiarów

Wymiary (długość, wysokość, szerokość) i ich odchyłki powinny być deklarowane dla wszystkich elementów murowych. Wyjątkiem jest odchyłka płaskości i równoległości powierzchni kładzenia, deklarowane wyłącznie dla elementów murowych stosowanych z zaprawą do cienkich spoin oraz spajanych przez klejenie.

Ceramiczne elementy murowe produkowane są o wymiarach:

- cegły
 - szerokość 100 do 120 mm,
 - wysokość 40 do 71 mm,
 - długość 210 do 500 mm,
- pustaki zwykłe
 - szerokość 250 do 300 mm,
 - wysokość 220 do 238 mm,
 - długość 188 do 375 mm,
- pustaki poryzowane
 - szerokość 80 do 500 mm,
 - wysokość 220 do 249 mm,
 - długość 248 do 498 mm,
- pustaki akustyczne
 - - szerokość 250 mm,
 - - wysokość 220 do 238 mm,
 - - długość 250 do 375 mm

Ze względu na tolerancje wymiarowe ceramiczne elementy murowe mogą być zaliczane do kategorii T1, T2 lub Tm, gdzie:

- kategoria T1 – odchyłki nie mogą być większe niż:
 $\pm 0,40\sqrt{(\text{wymiar nominalny})}$ mm lub 3 mm, przyjmuje się wartość większą,
- kategoria T1+ - odchyłki nie mogą być większe niż:
 $\pm 0,40\sqrt{(\text{wymiar nominalny})}$ mm lub 3 mm dla długości i szerokości, przyjmuje się wartość większą,

$\pm 0,05\sqrt{(\text{wymiar nominalny})}$ mm lub 1 mm dla wysokości, przyjmuje się wartość większą,

- kategoria T2 – odchyłki nie mogą być większe niż:
 $\pm 0,25\sqrt{(\text{wymiar nominalny})}$ mm lub 2 mm, przyjmuje się wartość większą,
- kategoria T2+ – odchyłki nie mogą być większe niż:
 $\pm 0,25\sqrt{(\text{wymiar nominalny})}$ mm lub 2 mm dla długości i szerokości, przyjmuje się wartość większą,
 $\pm 0,05\sqrt{(\text{wymiar nominalny})}$ mm lub 1 mm dla wysokości, przyjmuje się wartość większą,
- kategoria Tm – odchyłki [mm], deklarowane przez producenta (mogą być większe lub mniejsze od innych kategorii).

W przypadku elementów murowych ceramicznych przeznaczonych do stosowania z zaprawą do cienkich spoin, producent powinien deklarować maksymalne odchylenie powierzchni kładzenia od płaszczyzny oraz od płaszczyzn równoległych. Natomiast w przypadku elementów murowych ceramicznych przeznaczonych do łączenia za pomocą kleju murarskiego poliuretanowego (objętych krajowymi ocenami technicznymi) odchylenie powierzchni kładzenia od płaszczyzny nie powinno być większe niż 0,3 mm, a od równoległości powierzchni wspornych – nie większa niż 0,6 mm.

Kształt i budowa

Kształt i budowę elementów murowych ceramicznych, producent powinien deklarować w przypadkach, gdy jest to istotne ze względu na ich zastosowanie. Deklaracja producenta może opierać się na wyborze odpowiednich właściwości podanych w normie [N9] lub przez powołanie się na odpowiednią grupę elementów murowych zgodnie z normą projektowania [N23] – patrz Tablica 1.

W przypadku deklarowania kształtu i wymiarów elementów murowych stosowanych do napraw konstrukcji murowych, w szczególności zawierających otwory, należy wymagać deklaracji zawierającej szczegółowe dane geometryczne. Do deklaracji powinien być dołączony

rysunek elementu murowego. Dane te mogą decydować o możliwości zastosowania elementów murowych w określonych warunkach.

Gęstość

Gęstość brutto w stanie suchym producent powinien zawsze deklarować. W normie [N9] wprowadzono podział ceramicznych elementów murowych na dwie grupy:

- P – elementy murowe przeznaczone do stosowania w murach zabezpieczonych przed penetracją wody, zazwyczaj o gęstości brutto w stanie suchym nie większej niż 1000 kg/m^3 ,
- U – elementy murowe przeznaczone do stosowania w murach niezabezpieczonych przed penetracją wody.

Gęstość brutto w stanie suchym elementów murowych wynosi średnio:

- cegły – 1700 kg/m^3 ,
- pustaki poryzowane – 650 do 800 kg/m^3 ,
- pustaki akustyczne – 870 do 1170 kg/m^3 .

Wytrzymałość na ściskanie

Producent elementów murowych w wystawianej przez siebie deklaracji właściwości użytkowych powinien każdorazowo podawać - zgodnie z normą [N9] - kategorię elementów objętych tą deklaracją oraz ich wytrzymałość na ściskanie, a także dodatkowo wytrzymałość znormalizowaną, w obu przypadkach średnią lub charakterystyczną.

W zależności od rodzaju kontroli wytrzymałości na ściskanie rozróżnia się dwie kategorie elementów murowych:

- kategoria I – elementy murowe o wytrzymałości na ściskanie deklarowanej przez producenta z prawdopodobieństwem, że wy-



Fot. 24. Zakładowe laboratorium badawcze

- stąpienie wytrzymałości mniejszej jest nie większe niż 5%,
- kategoria II – elementy murowe dla których warunki kategorii I nie są spełnione.

Wymagania wg [N9], dotyczące deklarowania wytrzymałości na ściskanie elementów murowych są obligatoryjne, a dla pozostałych elementów - są obligatoryjne tylko w określonych sytuacjach.

Wytrzymałość znormalizowana elementów murowych jest wytrzymałością umownych elementów murowych o wysokości i mniejszym wymiarze poziomym 100 mm przyjętą w taki sposób, aby wytrzymałość na ściskanie murów wykonanych z elementów murowych

dowolnego rodzaju o tej samej znormalizowanej wytrzymałości na ściskanie i na zaprawie o tej samej wytrzymałości na ściskanie, była jednakowa.

Ponieważ do obliczeń konstrukcji murowych wg [N23] przyjmuje się znormalizowaną średnią wytrzymałość na ściskanie, producenci elementów murowych z reguły deklarują tylko tą wytrzymałość. W przypadku gdy deklaracja zawiera jedynie wytrzymałość średnią, projektant jest zmuszony do obliczania wytrzymałości znormalizowanej, co wymaga znajomości wymiarów próbek na jakich określono tą wytrzymałość; producent powinien więc taką informację również umieścić w deklaracji.

Wytrzymałość znormalizowaną na ściskanie elementów murowych f_b oblicza się – zgodnie z normą [N10] – według wzoru:

$$f_b = \eta_w \cdot \delta \cdot f_B \quad (4.1)$$

gdzie:

η_w współczynnik uwzględniający stan zawilgocenia badanych elementów,

δ współczynnik kształtu stosowany do przeliczenia wytrzymałości na ściskanie elementów murowych w stanie powietrzno-suchym na znormalizowaną wytrzymałość na ściskanie,

f_B wytrzymałość na ściskanie uzyskana z badań.

Wartości współczynnika η_w zależą od warunków sezonowania próbek przed badaniem, np. dla elementów badanych w stanie powietrzno-suchym $\eta_w = 1$.

Współczynnik przeliczeniowy δ uwzględnia wpływ „efektu skali” oraz proporcji wymiarów (wysokości elementu murowego i jego mniejszego wymiaru poziomego) a jego wartość należy przyjąć zgodnie z normą [N10].

Znormalizowana wytrzymałość ceramicznych elementów murowych na ściskanie zawiera się zwykle w granicach od 5 MPa do 75 MPa i jest podstawą kwalifikowania tych elementów do odpowiedniej klasy wytrzymałości.

Stabilność wymiarów (zmiany wymiarów pod wpływem wilgoci)

– w normie [N9] podano, że wymaganie stabilności wymiarów dotyczy tylko ceramicznych elementów murowych poziomo drążonych, przeznaczonych do tynkowania, które mają co najmniej jeden wymiar równy 400 mm lub większy oraz grubość ścianek zewnętrznych mniejszą niż 12 mm.

Wytrzymałość spoiny – (początkowa wytrzymałością muru na ścinanie w przekroju przechodzącym przez spoiny nieprzewiązane) – producent elementów murowych może deklarować wartości wytrzymałości spoiny na podstawie wartości ustalonych, powołując się na normę [N14] lub na podstawie badań wykonanych zgodnie z normą [N17]. Wytrzymałość spoiny według normy [N14], Załącznik C wynosi:

- w przypadku zapraw ogólnego stosowania i zapraw lekkich $0,15 \text{ N/mm}^2$,
- w przypadku zapraw do cienkich spoin $0,30 \text{ N/mm}^2$.

Producent elementów murowych deklarując wytrzymałość muru na ścinanie powinien także określić rodzaj zaprawy, przy której deklarowana wartość muru może być zagwarantowana.

Zawartość soli rozpuszczalnych – dotyczy tylko elementów murowych ceramicznych, przeznaczonych do stosowania w murach niezabezpieczonych lub zabezpieczonych częściowo. Producent tych elementów deklaruje kategorię zawartości soli rozpuszczalnych w wodzie w zależności od zawartości jonów sodu, potasu i magnezu, zgodnie z normą [N9].

Metody badań szkodliwej zawartości soli rozpuszczalnych w wodzie, stosowane przed wprowadzeniem norm PN-EN, polegały na ustaleniu skutków działania, a nie konkretnej zawartości. Wynik badania mógł być tylko pozytywny (zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie nie jest szkodliwa) lub negatywny (zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie jest szko-

dliwa). Konstrukcje murowe mogą znajdować się w różnych warunkach oddziaływania pary wodnej lub wody. Przykładowo w warunkach trwale suchych można przyjąć, że sole rozpuszczalne w wodzie, zawarte w elementach murowych nie mają znaczenia i wtedy mogą być stosowane elementy murowe kategorii zawartości soli S0. W innych warunkach zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie powinna być ograniczona. W normie [N9] nie podano w jakich warunkach można stosować elementy murowe kategorii zawartości soli S1, a w jakich – S2 oraz czy są takie warunki, w których elementy murowe nie powinny w ogóle zawierać soli rozpuszczalnych w wodzie.

Reakcja na ogień – wymagana jest dla wszystkich elementów murowych przeznaczonych do stosowania w elementach budynku podlegających wymaganiom odporności ogniowej. Jeżeli elementy murowe zawierają $\leq 1\%$ masy lub objętości (przyjmuje się co ma większe znaczenie) jednolicie rozmieszczonych materiałów organicznych, to producent może deklarować klasę reakcji na ogień A1 bez potrzeby wykonywania badań. Jeżeli ta zawartość jest większa niż 1% , to elementy murowe powinny być sklasyfikowane zgodnie z normą [N27].

Absorpcja wody – wymagana jest dla elementów przeznaczonych do stosowania w zewnętrznych elementach budynku oraz w warstwach odpornych na wilgoć.

Przepuszczalność pary wodnej – wymagana jest dla elementów stosowanych w zewnętrznych elementach budynku, i deklarowana na podstawie tabelarycznych wartości współczynnika dyfuzji pary wodnej, podanych w normie [N21].

Izolacyjność akustyczna – nie występuje w normie [N9]. Podano tam jedynie, że izolacyjność od dźwięków powietrznych może być określana biorąc pod uwagę gęstość elementów murowych.

Właściwości cieplne – powinny być deklarowane dla elementów murowych w przypadku ich wbudowania w elementach budynku podlegających wymaganiom izolacyjności cieplnej. Deklarowana wartość powinna być wyznaczona na podstawie wartości tabelarycznych, badań lub obliczeń, z uwzględnieniem wymagań podanych w normie [N21].

Trwałość (odporność na zamrażanie/odmrażanie) – wyróżnik trwałości w normie [N9] przyjęty do czasu opracowania odpowiednich norm europejskich.

W przypadku ceramicznych elementów murowych rodzaju P przewidzianych do wbudowania w murach całkowicie zabezpieczonych można nie stosować tego wymagania, ale ze względu na długi czas wnoszenia budynków w Polsce – wielu producentów nadal deklaruje kategorię F1 dla wyrobów typu P. Dla ceramicznych elementów murowych rodzaju U producent jest zobowiązany deklaruować kategorię odporności na zamrażanie/odmrażanie:

- F0 – dla elementów murowych stosowanych w warunkach obojętnych,
- F1 – dla elementów murowych stosowanych w warunkach umiarkowanych,
- F2 – dla elementów murowych stosowanych w warunkach surowych.

W normie [N9] nie podano definicji powyższych warunków, a jedynie ich przykłady. Mury narażone na działanie warunków surowych – kategoria F2:

- nieotynkowany mur blisko zewnętrznego poziomu gruntu, gdzie może następować nasączenie z zamrażaniem,
- nieotynkowane parapety, gdzie może występować nasączenie z zamrażaniem,
- nieotynkowane zewnętrzne kominy murowane, gdzie może występować nasączenie z zamrażaniem,
- pokrycia, zwieńczenia oraz parapety na obszarach, gdzie mogą występować warunki zamarzania,
- wolno stojące mury ogrodzeniowe i ażurowe ściany, gdzie może występować nasączenie z zamrażaniem,
- ziemne ściany oporowe, gdzie będzie występować nasączenie z zamrażaniem, np. gdy ściana nie została wyposażona w skuteczne zwieńczenie lub izolację wodochronną na powierzchni oporowej.

Mury narażone na działanie warunków umiarkowanych (powinny być zabezpieczone przed nasączeniem) – kategoria F1:

- szczyty ścian osłonięte przez nawisy dachu (okapy),
- wystające parapety (podokienniki) z kapinosami,
- warstwy przeciwwilgociowe na szczycie lub u podstawy ściany.

Mury narażone na działanie warunków obojętnych – kategoria F0:

- mury w ścianach zewnętrznych wyposażone w odpowiednie zabezpieczenie, którego rodzaj dostosowano do warunków klimatycznych, np. nieprzepuszczalna okładzina,
- mury w ścianach wewnętrznych i wewnętrznych warstwach ścian szczelinowych.

Wobec takich ustaleń normy [N9] należy przyjąć, że mury narażone na działanie warunków umiarkowanych i surowych (kategorie F1 i F2) powinny być wykonywane z ceramicznych elementów murowych odpornych na działanie mrozu według kryteriów podanych w normie [N4].

Substancje niebezpieczne

Norma [N9] nie podaje konkretnych wymagań związanych z właściwością „substancje niebezpieczne”, wymienianą jako ostatnia pozycja w wykazie zasadniczych właściwości elementów murowych. W Załączniku do [N9] podana jest tylko informacja, że powinny być spełnione wymagania wszelkich innych przepisów prawnych dotyczących substancji niebezpiecznych, w tym również w miejscu stosowania wyrobu.

W związku z powyższym wszystkie wyroby objęte normą [N9], powinny spełniać wymagania krajowe w tym zakresie. Wymagania te w Polsce ujęte są w dwóch ustawach: Prawo budowlane [P1] i Prawo atomowe [P2].

Zgodnie z [P1], budynki przeznaczone na pobyt ludzi lub inwentarza żywego powinny spełniać następujące warunki:

- budynek nie może być wykonany z wyrobów budowlanych, w których przekroczone są graniczne zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych;
- średnie roczne stężenie radonu w powietrzu w pomieszczeniach nie powinno przekraczać: 200 [Bq/m³] w budynkach nowo wznoszonych oraz 400 [Bq/m³] w budynkach istniejących.

Mając na uwadze powyższe warunki, za podstawę oceny wyrobów budowlanych przyjęto dwa oznaczane laboratoryjnie, kwalifikacyjne wskaźniki aktywności f_1 (informujący o narażeniu na promieniowanie gamma) i f_2 (informujący o zawartości radonu – promieniowania alfa). Wszystkie dane dotyczące poziomu promieniotwórczości w wybranych materiałach i wyrobach budowlanych, w tym również elementach murowych, otrzymywane corocznie z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) wskazują, że są one znacznie mniejsze od dopuszczalnych (zazwyczaj nie osiągają 50% wartości dopuszczalnych).

Dachówki

Dachówki ceramiczne są wyrobami przeznaczonymi do zakładkowego układania na dachach pochyłych. Wytwarzane są metodą formowania (prasy pasmowe i/lub stemplowe), suszenia i wypalania z mas ilastych, z dodatkami lub bez. Ich powierzchnie mogą być całkowicie lub częściowo pokryte angobą lub szkliwem. Coraz częściej są one również stosowane do wykonywania zewnętrznych i wewnętrznych okładzin ściennych.

Rozróżnia się następujące typy dachówek ceramicznych:

- dachówki zakładkowe – dachówki ciągnięte mające przy dłuższych krawędziach z jednej strony jeden lub dwa żłobki, a z drugiej – odpowiednio jeden lub dwa występy, nad którymi umieszczona jest wypukła fala, przykrywająca miejsce bocznego połączenia dachówek,

- dachówki płaskie (karpiówki) – dachówki zazwyczaj płaskie, z nieznaczną strukturą górnej powierzchni w kierunku podłużnym i/lub poprzecznym, lub bez tej struktury, i które nie mają zamków; z reguły są prostokątne, ale mogą mieć specjalnie uformowaną krawędź przednią, np. wykrój okrągły lub w szpic,



Nowoczesna dachówka płaska Fot. 25.

- dachówki esówki – dachówki, które są uformowane w kształcie litery „S” i nie mają ani podłużnych, ani poprzecznych zamków,
- dachówki mnich i mniszka – dachówki w kształcie „Y” i „M”, które układa się ze zmienną lub ograniczoną długością krycia (ze specjalnym wypustem ograniczającym długość krycia; mogą mieć krawędzie ukształtowane ukośnie lub równolegle
- dachówki specjalne – dachówki o zmiennym, dekoracyjnym kształcie, na przykład dachówki uformowane ręcznie.

Dachówki przewidziane do stosowania w pokryciach dachowych powinny spełniać wymagania normy PN-EN 1304 [N18], które zestawiono w Tablicy 2.

Właściwość	Wymagania					
	zakładkowe		płaskie karpiówki	esówki	mnich i mniszka	specjalne
	tłoczone	płaskie (pasmowe)				
Właściwości budowy	nie dopuszczalne wady produkcyjne i wady budowy w badaniu w świetle dziennym, okiem nieuzbrojonym z odległości (30-40) cm					
Mocowanie	zalecane dwa otwory mocujące i jeden zaczep		bez zaczepu	zalecane dwa otwory mocujące i jeden zaczep	mogą nie mieć zaczepów	specjalne systemy mocowania
Wichrowatość [N15] %	≤1,5 dla dachówek o całkowitej długości > 300 mm, ≤2,0 dla dachówek o całkowitej długości ≤ 300 mm			-	-	-
Równomierność profilu poprzecznego, maksymalne odchylenie [N15] mm	-	-	-	-	15	-
Prostoliniowość [N15], %	≤1,5 dla dachówek o długości >300 mm ≤2,0 dla dachówek o długości ≤ 300 mm				-	-
Wymiary: długość, szerokość [N15]	wg deklaracji producenta ±2%					
Wymiary krycia długość i szerokość [N15]	wg deklaracji producenta ±2%					
Prześlakliwość, określona wartością współczynnika prześlakliwości [N7]	Kategoria 1: $\bar{s}r \leq 0,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{doba}$, przy pojedynczych wynikach $\leq 0,6 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{doba}$ (metoda 1) lub $\bar{s}r \leq 0,8 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{doba}$ przy pojedynczych wynikach $\leq 0,85 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{doba}$ (metoda 2) Kategoria 2: $\bar{s}r \leq 0,8 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{doba}$, przy pojedynczych wynikach $\leq 0,9 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{doba}$ (metoda 1) lub $\bar{s}r \leq 0,925 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{doba}$ przy pojedynczych wynikach $\leq 0,95 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{doba}$ (metoda 2)					
Mrozoodporność [N8]	całkowita dla klasy 1					
Nośność na zginanie N [N6], min	1200	900	600	1200	1000	1200

Tablica 2. Właściwości techniczne dachówek ceramicznych [P9]

Okładziny elewacyjne

Ceramiczne elementy okładzinowe, produkowane zwykle jako klinkierowe, mają właściwości analogiczne jak cegły klinkierowe stosowane w ścianach zewnętrznych.

Z uwagi na zastosowanie i wymagania (trwałość przy oddziaływaniu czynników środowiskowych i atmosferycznych) podstawową cechą okładzin jest ich mała nasiakliwość i wysoka mrozoodporność.

PODSTAWOWE ELEMENTY KONSTRUKCYJNE BUDYNKU

Wyroby ceramiczne w elementach ustrojów nośnych

Wyroby ceramiczne i wyroby wytwarzane z użyciem kształtek ceramicznych znajdują szerokie zastosowanie przy kształtowaniu większości elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych w budynkach. Uwzględniając właściwości produkowanych wyrobów, tradycję oraz wieloletnie

Elewacyjne kształtki klinkierowe **Fot. 26.**



doświadczenia przy wznoszeniu budynków, podstawowym obszarem zastosowań ceramiki budowlanej wciąż pozostają ściany murowane (mury), dachy oraz stropy gęstożebrowe.

Wymagania podstawowe

Aktualne wymagania podstawowe stawiane budynkom, również wykonanym z zastosowaniem wyrobów ceramicznych, określone są w ustawie Prawo budowlane [P1], gdzie w art. 5.1. tej ustawy zapisano, że:

„Obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając (m.in.) spełnienie wymagań podstawowych dotyczących:

- *nośności i stateczności konstrukcji obiektu,*
- *bezpieczeństwa pożarowego obiektu,*
- *higieny, zdrowia i środowiska,*
- *bezpieczeństwa użytkowania i dostępności obiektów,*
- *ochrony przed hałasem,*
- *oszczędności energii i izolacyjności cieplnej obiektu,*
- *zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych”.*

Szczegółowe wymagania umożliwiające spełnienie wymagań podstawowych określone są w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [P3]. Warunki wykonania i odbioru konstrukcji murowych opisane są w literaturze technicznej, np. [2], [P10].

Spełnienie warunku nośności i stateczności dotyczy wszystkich elementów konstrukcji, w budynkach warunek ten odnosi się w szczególności do ścian i stropów [3], [8], [9], [13], [14].

Podstawowym zadaniem przy wymiarowaniu ścian obciążonych głównie pionowo jest wyznaczenie mimośrodów działania sił pionowych. Wielkość mimośrodu, na którym działa siła pionowa stanowiąca obciążenie ściany, kształt jej osi odkształconej i wynikający stąd przyrost mimośrodu w środkowej strefie ściany, określają warunki występujące w połączeniu ściany ze stropem.

Warunek stanu granicznego nośności obliczeniowej dla ścian murowych niezbrojonych obciążonych głównie pionowo wyznacza się ze wzoru:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} = \Phi \cdot A \cdot f_d \quad (5.1)$$

gdzie:

Φ współczynnik redukcyjny nośności zależny od mimośrodu początkowego działania obciążenia pionowego ściany, smukłości muru, współczynnika pełzania oraz przyjętego modelu obliczeniowego,

A przekrój poprzeczny ściany,

f_d wytrzymałość obliczeniowa muru na ściskanie.

Nośność stropów gęstożebrowych wykonywanych z wykorzystaniem elementów ceramicznych, z reguły podają ich producenci – w zależności od wysokości konstrukcyjnej stropu, rozstawu belek stropowych oraz rozpiętości stropu.

Wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego budynków lub ich części, wynikające z ich przeznaczenia i sposobu użytkowania, wysokości lub liczby kondygnacji, a także położenia w stosunku do poziomu terenu oraz do innych obiektów budowlanych, określone są w [P3].

Budynki oraz części budynków, stanowiące odrębne strefy pożarowe, z uwagi na przeznaczenie i sposób użytkowania, dzieli się na:

- mieszkalne, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej charakteryzowane kategorią zagrożenia ludzi (ZL),
- produkcyjne i magazynowe (PM),
- inwentarskie (służące do hodowli inwentarza) (IN).

W zależności od rodzaju budynku i jego wysokości, w rozporządzeniu [P3] przypisana jest klasa odporności pożarowej, oznaczona literami A, B, C, D lub E.

Klasę odporności ogniowej elementów budynku ustala się na podstawie klasy odporności pożarowej budynku.

Odporność ogniowa elementów budynku jest wyrażana w minutach i może dotyczyć :

- nośności ogniowej (R),
- szczelności ogniowej (E),
- izolacyjności ogniowej (I),

które określone są zgodnie z PN-EN 13501 [N27, N28] dotyczącą zasad ustalania klas odporności ogniowej elementów budynku.

Przy projektowaniu ścian z ceramicznych elementów murowych z uwagi na wymagania odporności ogniowej należy zwrócić uwagę na wskaźnik wykorzystania nośności ściany α , którego wartość należy ustalać zgodnie z zależnością:

$$\alpha = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \quad (5.2)$$

gdzie:

N_{Sd} – wartość obliczeniowa siły osiowej (dla warunków normalnych),

N_{Rd} – nośność obliczeniowa na ściskanie (dla warunków normalnych).

Producenci elementów murowych z reguły podają w materiałach in-

formacyjnych parametry odporności ogniowej ścian wykonanych z produkowanych wyrobów.

Obiekty budowlane nie powinny być źródłem zanieczyszczeń, których ilość może **zagrozić zdrowiu i higienie mieszkańców**, użytkowników lub sąsiadów. Wymaganie to dotyczy ochrony ludzi i zapobiegania oddziaływaniom zanieczyszczeń powietrza, gruntu i wody na najbliższe środowisko.

Źródłem tych zanieczyszczeń mogą być:

- materiały budowlane,
- urządzenia w budynkach, w tym z paleniskami,
- instalacje.

Szkodliwemu oddziaływaniu obiektów budowlanych na środowisko zewnętrzne można zapobiegać przez ograniczenie:

- rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń,
- emisji zanieczyszczeń,
- stosowania materiałów, urządzeń budowlanych lub instalacji wydzielających zanieczyszczenia.

Maksymalne wartości dopuszczalnych zawartości w powietrzu czynników szkodliwych dla zdrowia, wydzielanych przez grunt, materiały i stałe wyposażenie oraz powstające w trakcie użytkowania zgodnego z przeznaczeniem pomieszczeń określone są w przepisach sanitarnych oraz bezpieczeństwa i higieny pracy.

Budynek i urządzenia z nim związane powinny być (zgodnie z rozporządzeniem [P3]) projektowane i wykonane w sposób niestwarzający nieemożliwego do zaakceptowania **ryzyka wypadków w trakcie użytkowania**.

W rozporządzeniu tym podane są szczegółowe wymagania dotyczące m.in.:

- daszków ochraniających wejścia budynków,
- zabezpieczeń schodów,
- usytuowania i wymiarów balustrad,
- zabezpieczeń okien,
- powierzchni elementów centralnego ogrzewania,
- zabezpieczeń przed poślizgiem,
- usytuowania i zamocowania reklam, tablic informacyjnych itp.

Hałas rozumiany jako dźwięk przeszkadzający w normalnym funkcjonowaniu osób w budynku lub poza nim można podzielić na:

- hałas bytowy, wytwarzany przez osoby i urządzenia codziennego użytku, jak np. rozmowy, włączone radio lub telewizor, sanitariaty, dźwięki pochodzące z przestrzeni ogólnodostępnych w budynku,
- hałas komunikacyjny – wytwarzany przez samochody, samoloty, kolej,
- hałas przemysłowy – wytwarzany przez zakłady pracy, budowy itp.

Hałas może mieć różne natężenie, które wyraża się w decybelach (dB). Przyjmuje się, że dźwięki o natężeniu 80-100 dB bardzo przeszkadzają zarówno w pracy jak i w odpoczynku.

Wymagania izolacyjności akustycznej ścian w budynkach (zewnątrznych, wewnętrznych i międzymieszkaniowych) określa norma PN-B-02151-3 [N1]. Izolacyjność akustyczna przegród budowlanych i ich elementów wyrażana jest za pomocą jednoliczbowych wskaźników izolacyjności akustycznej.

Producenci elementów murowych podają w materiałach informacyjnych parametry akustyczne ścian w zależności od rodzaju zastosowanego wyrobu (grubości i masy ściany).

Budynki i ich instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej również oświetlenia wbudowanego, powinny być (wg rozporządzenia [P3]) zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby **ilość ciepła, chłodu i energii elektrycznej, potrzebnych do użytkowania budynków zgodnie z ich przeznaczeniem, można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie.**

Wymaganie to może być spełnione gdy:

- przegrody zewnętrzne będą miały wymaganą izolacyjność cieplną,
- wartości rocznego zapotrzebowania na nieodwracalną energię pierwotną będzie mniejsze od wartości granicznych, określonych w tym rozporządzeniu.

Poprawę parametrów energetycznych projektowanych budynków można uzyskać nie tylko przez zwiększenie izolacyjności przegród, ale także przyjmując rozwiązania techniczne korzystnie wpływające na bilans energetyczny budynku.

Do takich rozwiązań można zaliczyć:

- odpowiednią (zwartą) bryłę budynku,
- właściwe ustawienie budynku względem stron świata (nasłonecznienie budynku),
- stosowanie rozwiązań konstrukcyjnych wolnych od mostków termicznych,
- montowanie okien i drzwi zewnętrznych o wysokich parametrach izolacyjności termicznej,
- zastąpienie wentylacji naturalnej przez mechaniczną wentylację nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła,
- zastosowanie instalacji grzewczej o wysokiej sprawności,
- wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody.

Producenci ceramiki budowlanej w swojej działalności kierują się zasadami rozwoju zrównoważonego, rozumianego jako rozwój pozwalający na spełnienie terażniejszych potrzeb bez narażania na utratę możliwości spełnienia potrzeb przez przyszłe pokolenia.

Wypalanie wyrobów odbywa się w piecach o dużej wydajności, opalanych paliwami o wysokiej wartości opałowej i o małej zawartości zanieczyszczeń. Automatyczne sterowanie zmianami temperatur pieca oraz ograniczenie wahań temperatury w bardzo wąskim przedziale umożliwi produkcję wyrobów ceramicznych bardzo dobrej jakości.

Wyroby ceramiczne charakteryzują się dużą trwałością, a po ich wykorzystaniu są materiałem bezpiecznym, nadającym się do recyklingu.

Odształcalność murów pod wpływem obciążeń, wilgoci i temperatury

Podstawową właściwością murów jest ich zdolność do przenoszenia występujących oddziaływań oraz odształcania się pod wpływem różnych czynników, do których zalicza się m. in.:

- obciążenia (zależność naprężenie-odkształcenie i/lub pełzanie przy obciążeniach działających długotrwale),
- oddziaływanie wilgoci powodującej skurcz lub pęcznienie,
- odształcenia liniowe pod wpływem zmian temperatury.

Odształcanie się muru pod wpływem obciążeń zależy przede wszystkim od [5]:

- kształtu, wielkości i rodzaju elementów murowych (w tym ich cech sprężystych),

- kształtu, objętości i położenia otworów w elementach murowych,
- udziału zaprawy w objętości muru,
- wieku muru w chwili obciążenia (szczególnie w pierwszych 28 dniach po wykonaniu muru).

Do istotnych właściwości związanych z odkształceniami muru pod wpływem obciążeń zalicza się w szczególności:

- zależność pomiędzy naprężeniem i odkształceniem (funkcja nieliniowa),
- wartość modułu sprężystości muru (doraźna i długotrwała),
- wartość modułu ścinania (odkształcenia postaciowego),
- pełzanie.

Zgodnie z normą PN-EN 1996-1-1 [N23] w obliczeniach konstrukcji murowych przyjmuje się wyidealizowane krzywe zależności σ - ε , w postaci: liniowej, parabolicznej, paraboliczno-prostokątnej lub prostokątnej. Należy mieć jednak na uwadze, że takie wyidealizowane modele zależności σ - ε nie zawsze mogą być przyjmowane. Przykładowo, mury z cegły pełnej (elementy murowe grupy 1), po osiągnięciu wytrzymałości muru na ściskanie, wykazują dalszy przyrost odkształceń plastycznych. Dla takich murów odpowiednia jest zależność paraboliczno-prostokątna. W przypadku murów z pustaków ceramicznych z otworami pionowymi o objętości 45÷50% takich odkształceń plastycznych nie obserwuje się w badaniach – w takim przypadku odpowiednia jest zależność paraboliczna.

Istotnymi parametrami zależności σ - ε są wartości odkształceń odpowiadających wytrzymałości muru na ściskanie e_{m1} oraz zniszczenia muru e_{mu} . We wcześniejszych normach projektowania konstrukcji murowych (PN-B-03002 [N3] z roku 1999 lub 2007) przyjęto, że mury wykonane z elementów murowych grupy 1 i 2 charakteryzują się paraboliczno-prostokątną zależnością σ - ε przy $e_{m1} = -0,0020$ oraz $e_{mu} = -0,0035$, a w przypadku murów z elementów murowych grupy 3 i 4 przyjęto paraboliczną zależność σ - ε przy $e_{m1} = e_{mu} = -0,0020$. Natomiast w normie PN-EN 1996-1-1 [N23] podano jedy-

nie zalecane wartości odkształceń e_{mu} , które wynoszą w przypadku murów z elementów murowych grupy 1 $e_{mu} = -0,0035$, a elementów grupy 2, 3 i 4 $e_{mu} = -0,0020$. Wobec braku zalecanych w PN-EN 1996-1-1 [N23] wartości odkształceń e_{m1} , czyli odkształceń muru odpowiadających jego wytrzymałości na ściskanie, oraz uwzględniając obserwacje podczas badań konstrukcji murowych proponuje się przyjmować jak dotychczas wartość $e_{m1} = -0,0020$ dla wszystkich grup elementów murowych.

Moduł sprężystości muru E jest tangensem kąta nachylenia siecznej wykresu σ - ε w określonym przedziale naprężeń do osi odkształceń. Rozróżnia się doraźny moduł sprężystości E wyznaczany przy obciążeniu krótkotrwałym (przeważnie w czasie badania wytrzymałości muru na ściskanie) oraz długotrwały moduł sprężystości $E_{longterm}$ z uwzględnieniem reologicznych odkształceń muru.

Doraźny sieczny moduł sprężystości muru E wyznacza się na podstawie badań przeprowadzanych zgodnie z normą PN-EN 1052-1 [N16] lub w przypadku braku wyników badań, oblicza się go według wzoru:

$$E = K_E \cdot f_k \quad (5.3)$$

gdzie: K_E – współczynnik do obliczania doraźnego modułu sprężystości muru .

W załączniku krajowym do normy PN-EN 1996-1-1 [N23] podano zalecane wartości doraźnego siecznego modułu sprężystości muru:

- dla murów na zaprawie $f_m \geq 5$ MPa: $E = 1000 f_k$
- dla murów na zaprawie $f_m < 5$ MPa: $E = 600 f_k$

W literaturze naukowo-technicznej zwraca się uwagę na fakt, że w początkowej fazie obciążania muru występują pewne zakłócenia spowodowane dopasowywaniem się płyty obciążającej do badanego muru. Zakłócenia te szybko ustają, nie przekraczając zwykle poziomu naprężeń od 0,1 do 0,15 wytrzymałości muru na ściskanie.

W murach z cienkimi spoinami doraźny moduł sprężystości muru przyjmuje się jako równy modułowi sprężystości elementów murowych.

Przy długotrwałym działaniu obciążenia ściskającego wartość długotrwałego modułu sprężystości muru wyznacza się na podstawie doraźnego siecznego modułu sprężystości E z uwzględnieniem pełzania według wzoru:

$$E_{longterm} = E/(1 + \varphi_{\infty}) \quad (5.4)$$

w którym:

φ_{∞} - końcowy współczynnik pełzania.

Wartości końcowego współczynnika pełzania φ_{∞} dla murów wykonanych z ceramicznych elementów murowych, podana w PN-EN 1996-1-1 [N23], zmieniają się od 0,5 do 1,5. Norma nie podaje żadnych wskazówek dotyczących przyjmowania określonych wartości współczynnika pełzania φ_{∞} w rozpatrywanych sytuacjach. Wartości końcowego współczynnika pełzania muru φ_{∞} zależą od wartości końcowego współczynnika pełzania elementów murowych $\varphi_{b\infty}$ i końcowego współczynnika pełzania zaprawy $\varphi_{m\infty}$ oraz stosunku wysokości elementów murowych h_b do grubości spoiny wspornej h_m .

Zarówno rozszerzalność muru pod wpływem wilgoci jak i jego skurcz powinny być, zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [N23], określane na podstawie badań. W normie podano jedynie przedział zmienności odkształcalności muru pod wpływem wilgoci, który wynosi od -0,2 mm/m (skurcz) do +1,0 mm/m (rozszerzalność), bez jakichkolwiek wskazówek ich ustalania.

Wraz z wprowadzaniem do produkcji coraz większych elementów murowych, o objętości znacznie przekraczającej objętość jednej cegły oraz stosowaniem zapraw murarskich o większej wytrzymałości, zjawisko pęcznienia czerepu ceramicznego pod wpływem wilgoci zaczęło nabierać większego znaczenia. Problematyka ta była przedmiotem badań wy-

konanych w latach 80. ubiegłego wieku we Francji, Niemczech [15] i [16] i w Polsce, których wyniki były szeroko dyskutowane m. in. w publikacjach technicznych [4].

Na podstawie badań wyrobów pochodzących z różnych rejonów Niemiec opracowano kryteria oceny wrażliwości czerepu ceramicznego na pęcznienie pod wpływem wilgoci, jak podano w Tablicy 3. W Polsce badania pęcznienia czerepu przeprowadzono na pustakach ceramicznych ściennych pochodzących z trzech zakładów. Uzyskano wartości odkształceń wahające się od 0,27 do 0,37 mm/m.

Odształcenie [mm/m]	Wrażliwość na działanie wilgoci
0,000 ÷ 0,05 0,051 ÷ 0,10 0,101 ÷ 0,20	Niewrażliwy lub prawie niewrażliwy Bardzo mało wrażliwy Mało wrażliwy
0,201 ÷ 0,30 0,301 ÷ 0,40 0,401 ÷ 0,50	Umiarkowanie wrażliwy Więcej niż średnio wrażliwy Dość wrażliwy
0,501 ÷ 0,60 powyżej 0,60	Wysoko wrażliwy Bardzo wrażliwy

Tablica 3. Kryteria oceny pęcznienia czerepu ceramicznego pod wpływem wilgoci, badanego w komorze klimatycznej

Współczesne ceramiczne elementy murowe powinny spełniać wymagania normy PN-EN 771-1 [N9]. Wymaganie w zakresie rozszerzalności pod wpływem wilgoci odnosi się tylko do ceramicznych elementów stosowanych w murach niezabezpieczonych, tj. narażonych na działanie deszczu, zamrażanie-odmrażanie i/lub mogących stykać się z gruntem i wodą gruntową bez odpowiedniego zabezpieczenia.

Wartość rozszerzalności ustalana jest na podstawie badań według PN-EN 772-19 [N12], uwzględniając przepisy obowiązujące w miejscu zastosowania tych elementów.

W normie PN-EN 772-19 [N12] nie podano zaleceń praktycznych dotyczących wymiarów granicznych dla określonej rozszerzalności czerepu pod wpływem wilgoci, przy których nie powstaną uszkodze-

nia muru. Autorzy proponują w tym zakresie ograniczenie wartości rozszerzalności czerepu do 0,3 mm/m. Wymaganie to, jak wynika z analizy skutków, jakie taka rozszerzalność może wywołać w murze, powinno dotyczyć elementów, których co najmniej jeden wymiar wynosiłby 360 mm lub więcej. Dla tych przypadków producenci powinni deklarować wartość rozszerzalności pod wpływem wilgoci.

Odkształcenia czerepu są kumulowane przede wszystkim w spoinach, które mogą być wypełnione zaprawą lub elementy murowe mogą być ułożone „na suchy styk”. Czerep elementów murowych jest znacznie sztywniejszy od zaprawy, dlatego w murach ze spoinami wypełnionymi zaprawą, odkształcenia elementów murowych spowodowane działaniem wilgoci są kumulowane w zaprawie. Stąd, w murach wykonywanych z mniejszych elementów ceramicznych, w których udział zaprawy jest większy – wartości skurczu są odpowiednio wyższe.

W normie PN-EN 1996-1-1 [N23] maksymalną wartość skurczu dla murów z ceramicznych elementów murowych określono na poziomie – 0,2 mm/m i jest to wartość zdecydowanie niższa od maksymalnego skurczu określonego dla murów wykonanych z innych elementów murowych.

Odkształcenia murów pod wpływem zmian temperatury są istotne przede wszystkim ze względu na potrzebę ustalenia rozstawu dylatacji w konstrukcjach murowych. W historycznych opracowaniach, dla murów z ceramicznych elementów murowych zwykle podawana była jedna wartość współczynnika odkształcalności muru pod wpływem zmian temperatury, przeważnie $5 \cdot 10^{-6}/K$ – dla murów z cegły ceramicznej pełnej i $6 \cdot 10^{-6}/K$ - dla murów z pustaków ceramicznych. Aktualnie wartości współczynnika odkształcalności muru pod wpływem zmian temperatury podane są w PN-EN 1996-1-1 [N23] jako zmieniające się (od 4 do 8) $\times 10^{-6}/K$

Zależność wytrzymałości na ściskanie elementów murowych od ich zawilgocenia

Badania wpływu zawilgocenia ceramicznych elementów murowych (dwie grupy pustaków ceramicznych: C1 i C2) na ich średnią wytrzymałość na ściskanie, przeprowadzono w trzech stanach [R2]:

- suchym,
- dostawy,
- pełnego nasycenia.

Wilgotność w elementach określano według wzoru:

$$w = \frac{m_d - m_s}{m_s} \cdot 100\% \quad (5.5)$$

gdzie:

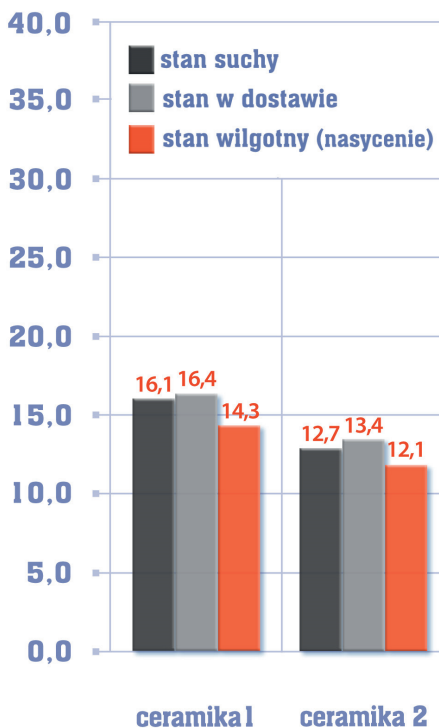
m_d – masa elementu w stanie dostawy,

m_s – masa elementu w stanie suchym.

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych ceramicznych elementów murowych, stwierdzono, że:

- średnie zawilgocenie elementów wynosiło: w stanie dostawy $0,5 \div 1,0\%$, a w stanie nasycenia $15,0 \div 17,0\%$,
- wzrost wytrzymałości na ściskanie elementów murowych dostarczonych z hurtowni w odniesieniu do elementów wysuszonych wahał się w przedziale: $+2\% \div +6\%$,
- spadek wytrzymałości na ściskanie elementów murowych w pełnym nasyceniu w odniesieniu do elementów wysuszonych wahał się w przedziale $-12\% \div -5\%$.

**średnia
wytrzymałość
na ściskanie
(N/mm²)**



Zestawienie wyników badań wytrzymałościowych ceramicznych elementów murowanych w zależności od ich wilgotności

Jak wynika z badań, pustaki ceramiczne mają bardzo dobrą odporność na zawilgocenie i utrzymują swoje parametry mechaniczne nawet w bardzo niekorzystnych warunkach środowiska jak całkowite zamoczenie (zalania, powodzie). Suchy materiał w dostawie to również gwarancja bezpieczeństwa podczas realizowania prac budowlanych.

Odporność ogniowa ścian murowanych

Odporność ogniowa ścian murowanych zależy od następujących właściwości elementów murowych:

- kształtu elementu,
- charakteru powierzchni wsporczych,
- procentowego udziału drążeń,
- klasy wytrzymałości,

- grupy elementów,
- nominalnej grubości ścianek zewnętrznych i wewnętrznych,
- gęstości objętościowej

Ocenę odporności ogniowej ścian wykonanych z ceramicznych elementów murowych można dokonać na podstawie badań laboratoryjnych przeprowadzanych według procedur określonych w [N2], [N19] i [N20] lub na podstawie obliczeń wg normy PN-EN 1996-1-2 [N24]. Wyniki badań [R1] stanowią podstawę klasyfikacji w zakresie odporności ogniowej ścian nośnych i nienośnych (osłonowych i działowych).

Grubość ściany murowanej [cm]	Poziom obciążenia			
	0	0,2	0,6	1,0
8	EI 90	-	-	-
11,5	EI 120	-	-	-
18,8	EI 180	REI 120	REI 90	REI 60
25	EI 240	REI 180	REI 120	REI 60/90
30	EI 240	REI 180	REI 120	REI 60/90
38	EI 240	REI 180	REI 120	REI 90
44	EI 240	REI 180	REI 120	REI 90

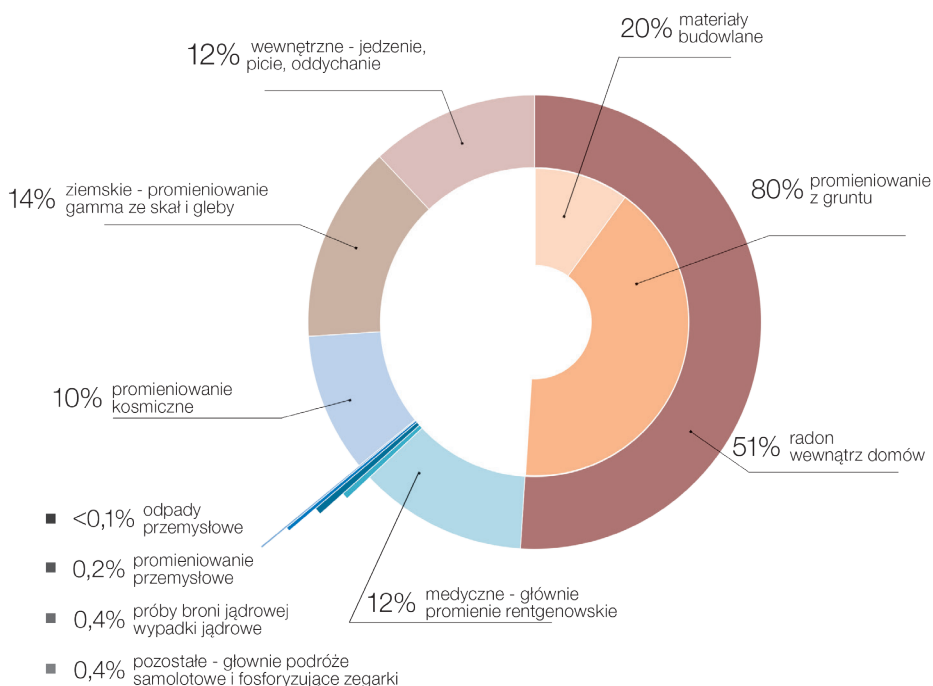
Tablica 4. Przykładowa klasyfikacja w zakresie odporności ogniowej ścian z wybranych pustaków ceramicznych murowanych na zaprawie cementowo - wapiennej z obustronnym tynkiem gipsowym lub cementowo-wapiennym.

Podczas badań ścian murowanych (nagrzewanych jednostronnie) określono stan graniczny izolacyjności i szczelności ogniowej (w minutach) według PN-EN 1996-1-2 [N24]. Wyniki badań stanowiły podstawę klasyfikacji ogniowej (Tablica 4.) według normy PN-EN 13501-2 [N29], określonej w zależności od typu pustaków oraz poziomu obciążenia wyrażonego w proporcji do nośności ściany w warunkach normalnych - wzór 5.2.

Wpływ promieniotwórczości na użytkowników budynków

Według obowiązujących w budownictwie przepisów prawnych [P3]÷[P5], mieszkańcy budynków nie powinni być narażeni na nadmierne promieniowanie jonizujące, w szczególności całego ciała na promieniowanie gamma (szacowane 25% dawki) oraz układu oddechowego na promieniowanie alfa (szacowane 75% dawki).

Źródłem promieniowania gamma w pomieszczeniach budynku są głównie trzy naturalne pierwiastki promieniotwórcze potas K-40, rad Ra-226 oraz tor Th-228, zawarte w wyrobach zastosowanych w budynku i występujące w podłożu, na którym jest on posadowiony, a także przenikające przez przegrody budynku składowe promieniowania kosmicznego. Natomiast narażenie układu oddechowego na promieniowanie alfa wynika z obecności radonu i produktów jego rozpadu w powietrzu pomieszczeń. Źródłem radonu w pomieszczeniach budynku są dwa naturalne pierwiastki promieniotwórcze: rad Ra-226 i Ra-224 (pochodna toru Th-232), zawarte w wyrobach budowlanych pochodzenia mineralnego stosowanych w budynkach [1].



Promieniowanie pochodzące od materiałów budowlanych stanowi około 10% czynników na jakie narażony jest człowiek i jest na tym samym poziomie co promieniowanie od jedzenia czy picia oraz jest zbliżone do promieniotwórczości naturalnej człowieka. Większość, ok. 80% promieniowania alfa wynikającego z obecności w powietrzu radonu, pochodzi z gruntu, na którym budynek jest usytuowany.

Budynki przeznaczone na stały pobyt ludzi powinny spełniać wymagania ograniczające:

- zawartość naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w zastosowanych materiałach budowlanych;
- średnie roczne stężenie radonu w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych.
- Zawartość naturalnych pierwiastków promieniotwórczych określa się za pomocą dwóch wskaźników aktywności wyrobu f_1 i f_2 , (zgodność z [P6]) przy czym:
- wskaźnik aktywności f_1 - sumaryczna zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych w wyrobach budowlanych; obliczany ze wzoru:

$$f_1 = \frac{S_K}{3000} + \frac{S_{Ra}}{300} + \frac{S_{Th}}{200} \quad (5.9)$$

gdzie:

S_K - stężenie izotopu potasu K-40 [Bq/kg],

S_{Ra} - stężenie izotopu radu Ra-226 [Bq/kg],

S_{Th} - stężenie izotopu toru Th-228 [Bq/kg],

- - wskaźnik aktywności f_2 - stężenie radu Ra-226 (tj. głównego źródła radonu):

$$f_2 = S_{Ra} \quad (5.10)$$

Wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2 nie mogą przekraczać o więcej niż 20% wartości dopuszczalnych: $f_1 = 1$ i $f_2 = 200$ Bq/kg. Producenci materiałów budowlanych są zobligowani do kontrolowania wyrobów wprowadzanych do obrotu na zawartość naturalnych pierwiastków promieniotwórczych.

Średnie roczne stężenie radonu w pomieszczeniach mieszkalnych nie powinno przekraczać wartości: 400 Bq/m³ w budynkach oddanych do użytkowania przed 1998 r. oraz 200 Bq/m³ w budynkach oddanych do użytkowania po 1998 r. Oznacza to, że obecnie dopuszczalne stężenie radonu w pomieszczeniach mieszkalnych jest dwukrotnie mniejsze niż przed 1998 r. Zalecane procedury badawcze oznaczania wskaźników aktywności i stężenia radonu w powietrzu są przedmiotem instrukcji ITB [P7] i [P8].

Stężenie pierwiastków promieniotwórczych w wyrobach budowlanych zależy przede wszystkim od użytych surowców i miejsca ich pozyskiwania. Podczas badań wyrobów ceramicznych należy brać pod uwagę ich rodzaj (ceramika budowlana lub użytkowa) i inne cechy charakterystyczne, jak np. pokrycie powierzchni (spiekana, pokryta przez natrysk lub zanurzenie w szkliwie). Stężenie pierwiastków promieniotwórczych materiałów

Zakład produkcyjny	Wskaźnik f_1	Średni wskaźnik f_1	Dopuszczalny wskaźnik f_1	Wskaźnik f_2 [Bq/kg]	Średni wskaźnik f_2 [Bq/kg]	Dopuszczalny wskaźnik f_2 [Bq/kg]
Zakład 1	0,53	0,56	1,2	43,0	40,3	240
	0,56			37,0		
	0,58			41,0		
Zakład 2	0,48	0,51		32,0	40,2	
	0,51			41,2		
	0,55			47,4		
Zakład 3	0,58	0,59		67,6	69,3	
	0,58			66,5		
	0,63			73,8		

Tablica 5. Przykładowe wyniki badań promieniotwórczości naturalnej elementów murowych ceramicznych z zakładów produkujących ceramiczne elementy murowe na południu Polski (Zakład 1), w Polsce centralnej (Zakład 2) oraz północnej (Zakład 3)

ceramicznych, które nie są szkliwione, zależy tylko od bazy surowcowej ceramiki. W przypadku zaobserwowania podwyższonego stężenia naturalnych izotopów pierwiastków promieniotwórczych w wyrobach szkliwionych (szkliwione płytki ceramiczne, szkliwione dachówki ceramiczne, szkliwione cegły klinkierowe) wzrostu tego promieniowania należy upatrywać w składzie szkliwa.

Wśród wyrobów budowlanych, które podlegają obowiązkowej kontroli zawartości naturalnych izotopów K-40, Ra-226 i Th-232, są m.in. ceramiczne wyroby budowlane, produkowane z różnych gatunków glin. Powszechnie publikowane wyniki badań zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych wskazują różnice uzyskanych wartości, które mogą wynikać ze stosowanych metod i technik pomiarowych, różnic składu podstawowych surowców m.in. proporcji składników, zawartości oraz rodzaju dodatków i domieszek, a także ze stosowanych procesów technologicznych produkcji.

Jak wynika z badań przeprowadzonych w ITB (Tablica 5 według [1]), rzeczywiste stężenie naturalnych pierwiastków w ceramicznych wyrobach produkowanych w Polsce jest znacznie mniejsze niż dopuszczalne.

W przypadku większej masy ścian stężenie naturalnych izotopów promieniotwórczych może być natomiast większe. W takich sytuacjach istotna jest szybkość narastania stężenia radonu określana na podstawie współczynnika ekshalacji radonu z materiałów budowlanych. Współczynnik ten zależy przede wszystkim od zawartości stężenia radu [Bq/kg wyrobu] i od współczynnika emanacji zmieniającego się od 1 do 40%. W przypadku wyrobów ceramicznych wartość ekshalacji radonu jest ograniczona w wyniku zamkniętej struktury materiału, co utrudnia wydostawanie się radonu na zewnątrz. W związku z tym, że pory w materiale ceramicznym są na ogół zamknięte (struktura ciągła), wielkość ekshalacji jest na niższym poziomie niż innych materiałów porowatych, które w procesie produkcji nie są wypalane [1].

Spełnienie wymagań wynikających z rozporządzenia [P5] określających wartość wskaźnika aktywności f_1 w wyrobach budowlanych ogranicza rzeczywiste zagrożenie promieniotwórczości naturalnej wyro-

bów budowlanych do poziomu poniżej 1 mSv w ciągu roku, tym samym gwarantuje bezpieczeństwo zdrowia i życia mieszkańców budynków. Przy kompleksowej ocenie ściennych wyrobów budowlanych uwzględnia się nie tylko zmierzony laboratoryjnie poziom zawartości naturalnych izotopów w wyrobie, ale także ciężar tych elementów w 1 m² muru. Tak więc porównywanie wyników badań laboratoryjnych różnych wyrobów, bez uwzględniania masy przegród i współczynnika ekshalacji, nie znajduje racjonalnego uzasadnienia. Obecnie produkowane i stosowane ceramiczne wyroby budowlane mają współczynniki f_1 i f_2 na poziomie zdecydowanie niższym niż dopuszczalny w Polsce [R5], a tym samym są zupełnie bezpieczne z punktu widzenia radiologicznego dla zdrowia i życia mieszkańców [1].

Wrażliwość murów na rozwój grzybów pleśniowych

Dynamiczny przebieg współczesnych procesów budowlanych (nawet przy ograniczaniu stosowania technologii mokrych) w znaczącym stopniu utrudnia prawidłowe wysuszenie budynków, co z kolei inicjuje rozwój w nich grzybów pleśniowych. Czynnikiem sprzyjającymi propagacji tego zjawiska mogą być m. in.:

- nieprawidłowo zaprojektowana wentylacja,
- szczelna stolarka okienna i drzwiowa,
- deskowanie dachów nad membranami paroprzepuszczalnymi,
- brak szczelin wentylacyjnych dachów,
- mało dyfuzyjne materiały termoizolacyjne.

W budynkach nowych jak i użytkowanych kilka lat dostrzega się możliwość występowania kolonii grzybów, tj. różnobarwnych nalotów na powierzchni murów, zwanych grzybami pleśniowymi. Pleśnie mają małe wymagania pokarmowe i dużą zdolność adaptacji do środowiska, są organizmami tlenowymi i rosną głównie na powierzchni substratu – w niewielkim stopniu przerastają mury, a głębokość penetracji zależy głównie od porowatości materiału. Im materiał bardziej porowaty tym pleśnie wnikają głębiej [10], [11] i [20].

Grzyby mają intensywną przemianę materii, w ciągu doby ich masa może się zwiększyć kilkukrotnie, liczba zarodników rośnie jeszcze gwałtowniej. W sprzyjających warunkach pleśń rosną szybko. W budynkach jest to zjawisko niepożądane, nie tylko ze względu na uszkodzenia, niejednokrotnie bardzo drogich materiałów wykończeniowych, ale również z powodu nagromadzania się produktów przemiany materii, często o nieprzyjemnym zapachu. W mieszkaniach i lokalach użyteczności publicznej pojawiają się szkodliwe dla roślin, zwierząt i człowieka mykotoksyny, niekiedy są to rakotwórcze substancje lotne, pobierane przez człowieka drogą wziewną. Przy wysokiej wilgotności przegród, rosnące na powierzchni pleśń szybko tworzą gruby nalot grzybni powietrznej. Metabolity grzybów wnikają w strukturę muru i nawet po zabiciu grzybni biocydami są trudne do usunięcia.

Zakładana graniczna wilgotność masowa dla murów, przy której istnieje ryzyko rozwoju pleśni to 5÷6%. Większość gatunków grzybów preferuje środowisko o pH 3.0÷5.5, ale mają możliwości wzrostu i przetrwania w zakresie pH od 1.5 do 10 [10].

Grzyby potrzebują do rozwoju wilgoci, a ich zarodniki, powszechnie obecne w powietrzu nawet niezanieczyszczonym, mogą wykiełkować na powierzchniach murów jedynie w obecności ciekłej wody. Dlatego ważnym zagadnieniem jest odpowiedni dobór materiałów budowlanych, tj. optymalny pod względem właściwości fizycznych system materiałów tworzących przegrodę, a nie tylko poszczególnych jej komponentów dobranych niezależnie od siebie.

Przy projektowaniu zwraca się coraz większą uwagę na zdolności przenikania pary wodnej przez poszczególne warstwy przegrody. Ma to istotny wpływ na stałość przyjętych parametrów ściany i utrzymanie wymaganych współczynników przenikania strumienia ciepła. Obowiązujące w Polsce wymagania dotyczące minimalnej temperatury na wewnętrznej powierzchni przegród budowlanych opierają się na klasycznym podejściu do zjawiska rozwoju grzybów pleśniowych. W podejściu tym zakłada się, że decydującym warunkiem rozwoju grzybów jest zawilgocenie wewnętrznej powierzchni przegród budowlanych. W celu uniknięcia korozji biologicznej przegrody należy więc zadbać, aby temperatura jej powierzchni była wyższa od temperatury punktu rosy powietrza wewnętrznego. Wyroby do wykonania zapro-

jektowanej konstrukcji należy tak dobrać, aby temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody w pomieszczeniu o wilgotności 55% była wyższa co najmniej o 1°C od temperatury punktu rosy [10], [11].

Obecnie wymagania [N29] dotyczące oceny ryzyka kondensacji pary wodnej obejmują liczne warunki mające wpływ na rozwój pleśni, a nie tylko aspekt temperatury i wilgotności na jej powierzchni.

Wyrób	Maksymalne nasycenie wodą [%]
Pustaki ceramiczne	18-20
Beton komórkowy	62-66
Silikaty	11-15

Tablica. 6. Maksymalna absorbcja wody przez pustaki ceramiczne, beton komórkowy i silikaty

W takim kontekście sama nasiąkliwość materiałów budowlanych (Tablica 6) oraz ich zdolność wysychania niekoniecznie ma decydujący wpływ na potencjalną możliwość wzrostu grzybów w pomieszczeniach [10].

Ceramika mimo większej potencjalnej możliwości nasycenia wodą wysycha dużo szybciej niż np. silikaty, które mają zwykle większą gęstość i mniejszą porowatość. Rzadko się jednak zdarza, że materiały te podczas budowy nasiąkają maksymalnie wodą. W przypadku średnio zawilgoconych bloczków gazobetonowych na poziomie 30%, spadek poziomu wilgotności, przy którym ryzyko wzrostu grzybów będzie małe, nastąpi najwcześniej dopiero po roku. Okres ten zależy od rodzaju tynku oraz ocieplenia. Przy mało dyfuzyjnych tynkach akrylowych czas wysychania będzie długi a ryzyko wzrostu grzybów na wewnętrznych ścianach będzie wysokie. Również zastosowanie styropianu zamiast wełny mineralnej to ryzyko zwiększy. Ściana osiągnie poziom względnego mikrobiologicznego bezpieczeństwa tj. 5% wilgotności po

ponad 2 latach. Przy czym z badań [R2] wynika, że zastosowanie dwóch warstw o niskiej przepuszczalności pary wodnej - styropianu i tynku akrylowego nie zmieni w istotny sposób czasu wysychania ściany w porównaniu do ściany pokrytej wyłącznie tynkiem.

Podczas silnego zawilgocenia murów większa dynamika oddawania wody przez pustaki ceramiczne nie będzie miała tak dużego znaczenia. Wody w obydwu przypadkach będzie na tyle dużo, aby pleśnie mogły się rozwijać. Na obecność grzybów w początkowych okresach po zalaniu będzie głównie wpływać rodzaj zastosowanej izolacji termicznej. W przypadku styropianu większość pary wodnej będzie dyfundować do wnętrza pomieszczeń. Na powierzchni ścian pojawią się liczne kolonie grzybów. Zjawisko to można jedynie ograniczyć przez intensywne wentylowanie budynku przy stosunkowo wysokiej temperaturze powietrza wewnętrznego. W późniejszym okresie szybciej oddająca wodę ceramika będzie mniej narażona na porastanie przez grzyby niż ściany zbudowane z innych materiałów.

O stopniu ryzyka mikrobiologicznego może decydować czas kontaktu materiału budowlanego z wodą. Mniej nasiąkliwe bloczki silikatowe przy krótkiej ekspozycji na kontakt z wodą wchłoną jej znacznie mniej, będą wysychały wolniej, mimo to znacznie szybciej mur osiągnie wilgotność na poziomie mniejszym niż 5% lub niższym co istotnie zmniejszy ryzyko wzrostu grzybów, szczególnie przy zastosowaniu styropianu jako ocieplenia. Przy dłuższym zastoju wody, po jej ustąpieniu, mniej narażone na korozję biologiczną będą materiały ceramiczne [10], [11].

Zasadniczym parametrem który decyduje w przypadku ścian warstwowych o skutecznej ochronie przez wzrostem mikroorganizmów jest czas wysychania przegrody. W krytycznych warunkach wilgotnościowych, na ścianach mokrych, grzyby pojawią się na wewnętrznych przegrodach niezależnie od przyjętego systemu budowy ściany. Zastosowane interwencyjnie fungicydy (środki grzybobójcze) będą ograniczać wzrost mikroorganizmów jedynie na krótki okres. Nie będą w pełni skuteczne do momentu wyschnięcia ściany do pozio-



Ceramiczne ściany bez wilgoci Fot. 27.

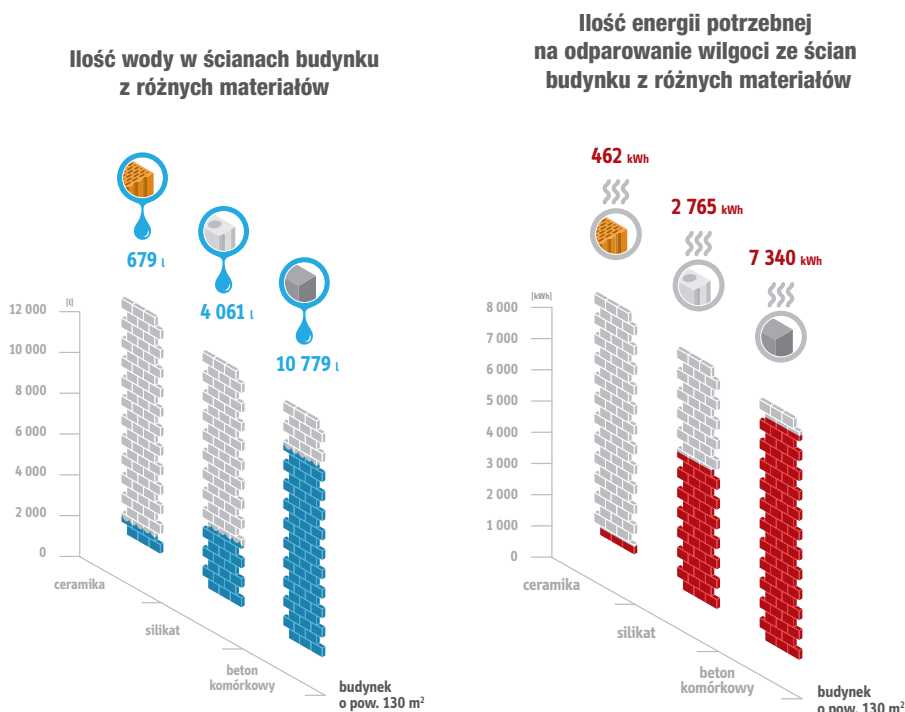
mu 5% wilgotności masowej bądź niższej. Proces ten jest szczególnie wolny dla ścian zbudowanych z nasiąkliwego betonu komórkowego oraz dla ścian pokrytych tynkami akrylowymi ze styropianem jako ociepleniem.

Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe murów

Właściwości ciepłno-wilgotnościowe ceramicznych ścian murowanych określono w pracy badawczej [R3], która obejmowała:

- wyznaczenie wbudowanej wilgotności elementów murowych (stan dostawy),
- badanie maksymalnej absorpcji w stanie pełnego nasycenia elementów murowych,

- badanie klimatyzowania murów w warunkach konwekcji wymuszonej (w komorze klimatycznej),
- badania symulacyjne wysychania przegród budowlanych (program WU-FI),
- określenie wpływu zawartości wilgoci na izolacyjność cieplną przegrody.

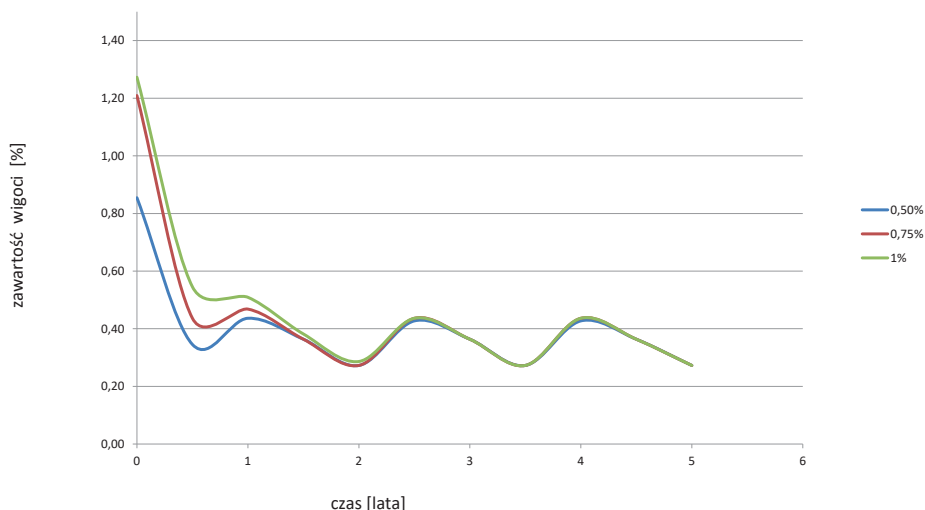


W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono wilgotność ceramicznych elementów murowych (stan dostawy) na poziomie 0,6÷0,9% oraz wartość maksymalnej absorpcji wody 18÷20%.

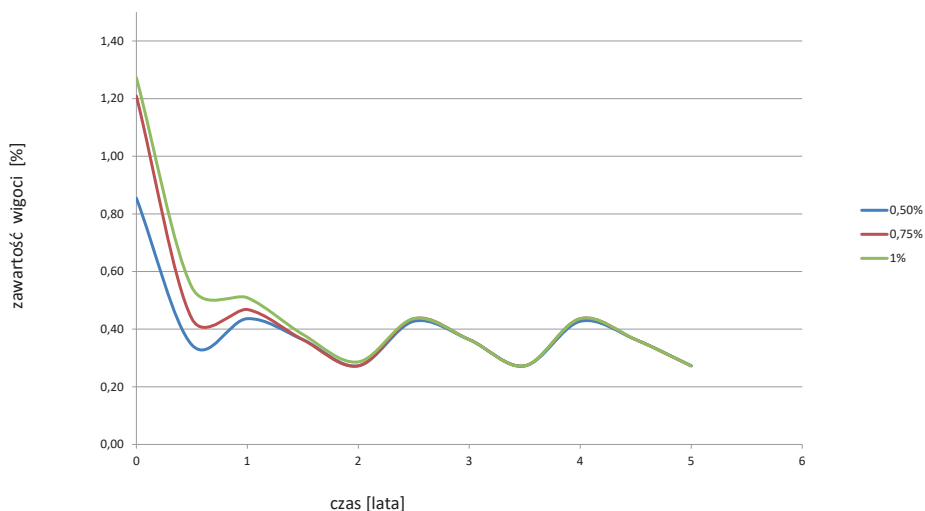
W ramach badań symulacyjnych wykonano obliczenia wysychania przegród zewnętrznych muru grubości 25 cm i wariantowych rozwiązaniach wykończeniowych tj.: przy braku izolacji i izolowaniu styropianem lub wełną mineralną grubości 15 cm (współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = 0,04 \text{ W/(m K)}$). W elementach próbnych zastosowano alternatywnie tynki mineralne lub akryłowe o grubości 2 mm. Od-

działywanie klimatu zewnętrznego (latem i zimą) odwzorowano przy założeniu warunków środowiskowych dla miasta Warszawy. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych przedstawiono na Wykresie 1.

Przebieg wysychania ściany z pustaków ceramicznych ocieplonej styropianem z tynkiem akrylowym



Przebieg wysychania ściany z pustaków ceramicznych ocieplonej styropianem z tynkiem mineralnym



Przykładowe wyniki obliczeń symulacyjnych wysychania ścian murowanych z elementów ceramicznych Wykres 1.

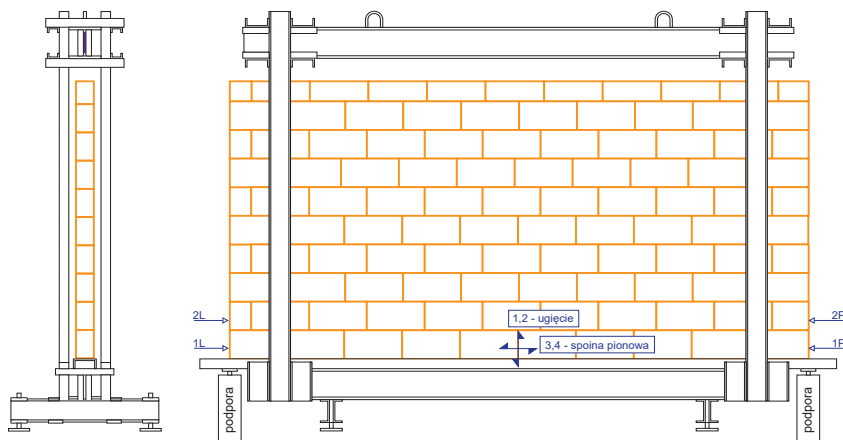
Wyniki badań wskazują największy spadek wilgotności przegród w ciągu pierwszego roku, zmiany te są zróżnicowane w zależności od warunków początkowych oraz zastosowanego rodzaju tynku i ocieplenia ściany. Mury z elementów ceramicznych po ok. 4 miesiącach osiągają stan zawilgocenia ustabilizowanego – tzn. wchodzą w stan zawilgocenia sorpcyjnego (użytkowego).

Na podstawie obliczeń symulacyjnych oszacowano również współczynniki przewodzenia ciepła λ zależnie od zawartości wilgoci w poszczególnych elementach przegrody po upływie określonego czasu od jej wybudowania. Wartość współczynnika zależy od struktury, składu chemicznego i stopnia zawilgocenia materiałów przegrody. W przypadku ocieplonych ścian wykonanych z pustaków ceramicznych uzyskano spadek wartości λ w stosunku do wartości początkowej o 3,7%. W ścianach nieocieplonych, ze względu na wilgotność sorpcyjną, której wartość była większa niż wilgotność w stanie początkowym, w pierwszym roku eksploatacji uzyskano wzrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła o 19%, a w kolejnych latach eksploatacji - spadek o 15% w stosunku do stanu po pierwszym roku użytkowania.

Znaczący spadek zawartości wilgoci w przegrodzie z zastosowaniem elementów ceramicznych (wykres 1), występujący w czasie eksploatacji, przy jednocześnie niskiej wilgotności pustaków wbudowanych wprost z dostawy (ok. 0,75%) - powoduje istotny wzrost izolacyjności cieplnej i spadek strat ciepła.

Odkształcalność ceramicznych ścian działowych na uginającym się stropie

W praktyce inżynierskiej nierzadko obserwuje się zjawisko zarysowania działowych ścian murowanych wzniesionych na silnie deformujących się stropach (znaczących rozpiętości) i przy niedostatecznym odcięciu połączenia elementów przy górnej krawędzi muru [17]÷[19]. Z uwagi na trudności analitycznego uzasadnienia tego zagadnienia (tj. brak normowych procedur obliczeniowych) przeprowadzono badania doświadczalne, w skali naturalnej 1:1, ceramicznych ścian działowych poddanych symu-



Schemat badania ścian działowych z oznaczeniem punktów pomiarowych

lowanym oddziaływaniom od uginającego się stropu. Celem eksperymentu było jakościowe i ilościowe wyjaśnienie występującego w rzeczywistości problemu.

Badaniom poddano trzy ściany działowe o grubości 115 mm i wymiarach 4,0 x 2,0 m (długość x wysokość), wykonane z ceramicznych elementów murowych, na zaprawie tradycyjnej (T), cienkowarstwowej (C) i z wykorzystaniem kleju murarskiego poliuretanowego (D) [R4].

Ściana działowa		Ugięcie [mm] przy L/500		Ugięcie [mm] przy L/250	
materiał	zaprawa	strop	mur	strop	mur
ceramika	tradycyjna	8,00	0,51	16,00	0,74
ceramika	cienkowarstwowa	8,03	0,44	16,00	0,70
ceramika	klej murarski	8,00	0,54	16,00	0,78

Tablica 7. Wyniki badania ugięć (przemieszczeń pionowych) ścian działowych na uginającym się stropie

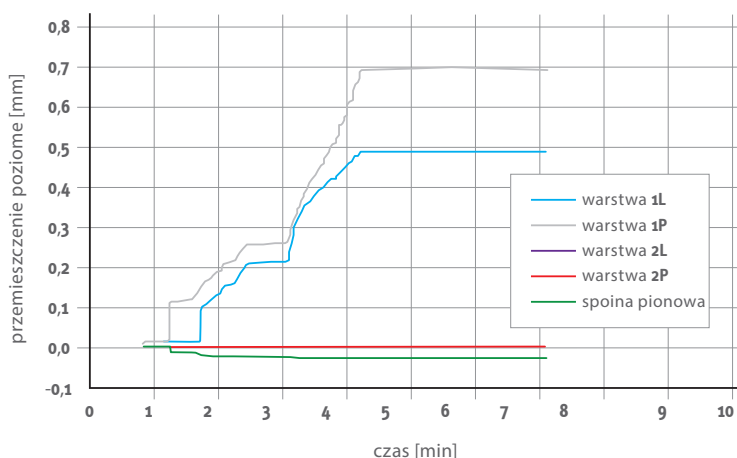
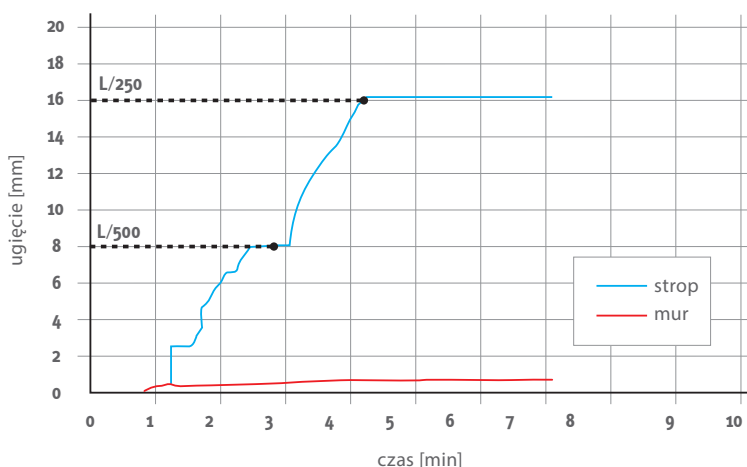
Ściana działowa		Przemieszczenie poziome [mm] przy ugięciu stropu			
		Warstwa 1*		Warstwa 2*	
materiał	zaprawa	L/500	L/250	L/500	L/250
ceramika	tradycyjna	0,2110/0,2570	0,6746/0,4831	-0,0001/-0,0006	-0,0001/-0,0001
ceramika	cienkowarstwowa	0,2701/0,2216	0,7885/0,4252	0,0001/0,0002	0,0001/0,0006
ceramika	klej murarski	0,2343/0,2951	0,7237/0,5462	0,0123/0,0039	0,0151/0,0054

*- z lewej/prawej strony

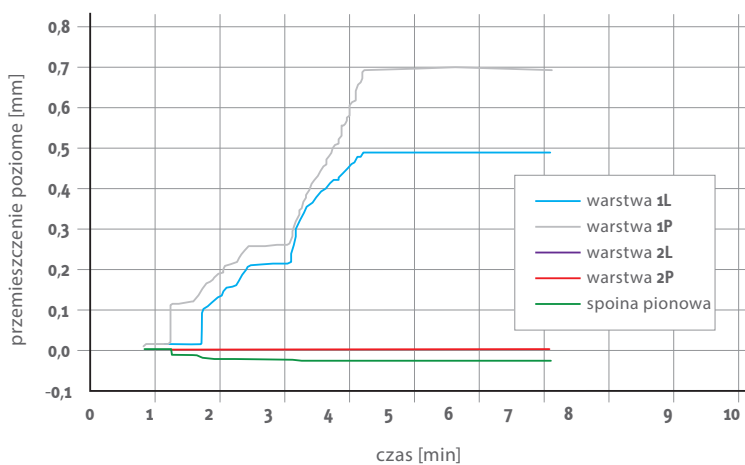
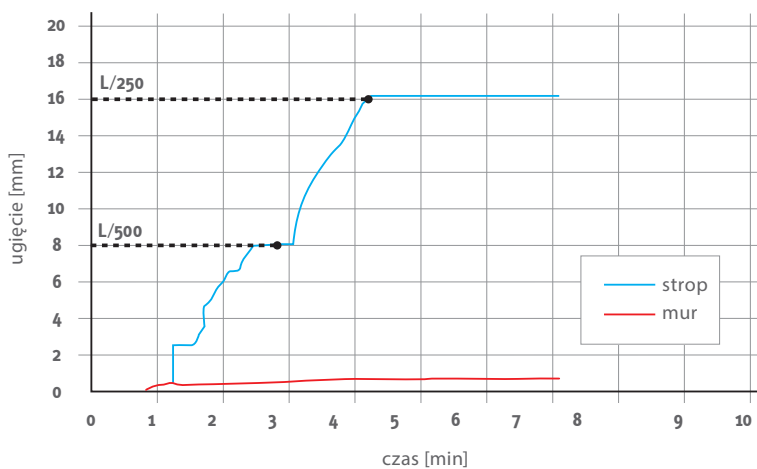
Tablica 8. Wyniki badania przemieszczeń poziomych 1 i 2 warstwy elementów murowych.

Po wymuszeniu ugięć stropu do założonej wartości, określonej jako dopuszczalna w normie PN-EN 1992-1-1 [N22], wykonywano pomiary przemieszczeń poziomych i pionowych, które obejmowały:

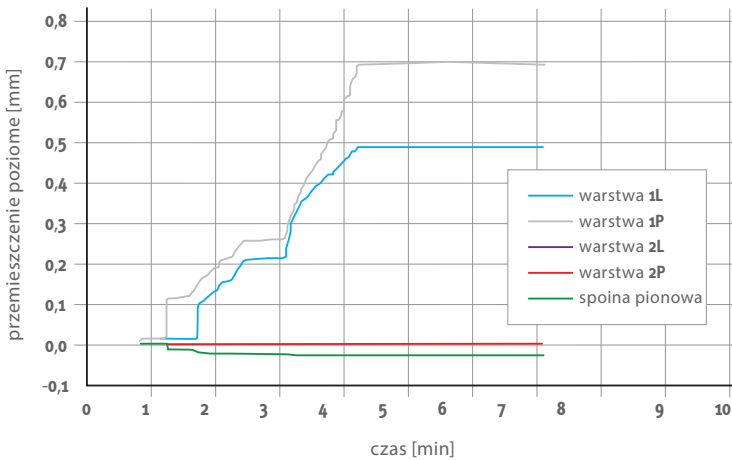
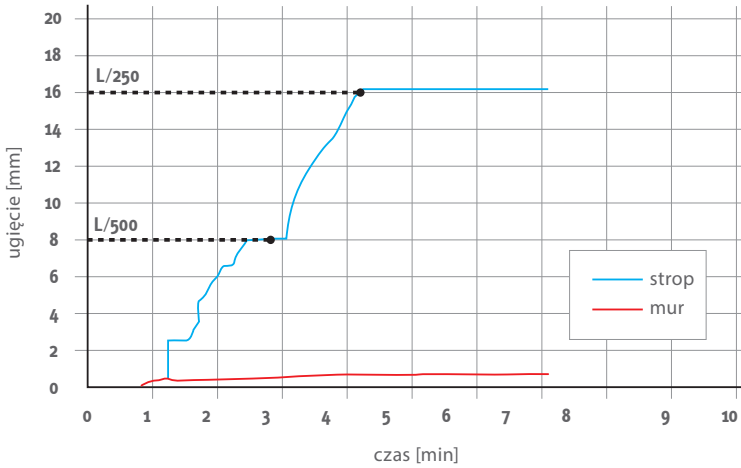
- warstwa 1: poślizg (wzajemne przemieszczenie) w spoinie poziomej, między stropem (belką stalową) i pierwszą warstwą elementów murowych,
- warstwa 2: poślizg (wzajemne przemieszczenie) w spoinie poziomej, między pierwszą i drugą warstwą elementów murowych,
- spoina pionowa: ewentualne rozwarście.



**Wyniki badania ściany działowej z elementów ceramicznych
na zaprawie tradycyjnej**



Wyniki badania ściany działowej z elementów ceramicznych na zaprawie cienkowarstwowej Wykres 3



Wyniki badania ściany działowej z elementów ceramicznych połączonych za pomocą kleju poliuretanowego

Wykres 4

Średnictwem kleju poliuretanowego

Pomiary przemieszczeń pionowych (ugięć) obejmowały element stropowy i ścianę działową (dolną warstwę) w strefie środkowej. Podstawowe wyniki badań przedstawiono w tablicach 7, 8 oraz na wykresach 2-4.



Widok i oznaczenie wybranych punktów pomiarowych ściany działowej Fot. 28.

Przemieszczenia ściany działowej „ceramika-D” (fot. 28) zostały dodatkowo określone przy zastosowaniu metody Cyfrowej Korelacji Obrazu 2D.

Na podstawie wyników badania ściany działowej metodą optometryczną, stwierdzono, że:

- przemieszczenia poziome skierowane są od środka do zewnętrznych krawędzi ściany; większe przemieszczenia występują w górnej części badanej ściany.

- przemieszczenia pionowe skierowane są w dół; koncentracja tych przemieszczeń skupiona jest w dolnej części ściany, w połowie jej rozpiętości.

W wyniku przeprowadzonych badań ścian działowych poddanych wymuszeniu odpowiadającym ugięciu stropu o wartości dopuszczonej wymaganiami [N22], tj. $L/500=8$ mm stwierdzono, że:

- ściany wykonane z elementów ceramicznych nie uległy zarysowaniu (w żadnej strefie) na ich powierzchni; w badaniach zaobserwowano jedynie wyraźne odspojenie muru od elementu stropowego,
- przemieszczenia poziome (poślizgi) w dolnej strefie ścian wyniosły ok. $0,21\div 0,30$ mm w warstwie 1, w warstwie 2 poślizgi te praktycznie zanikły,
- rozwarcia spoiny pionowej (na dole) w ścianach wynosiły ok. $0,0002-0,0066$ mm,

Można więc twierdzić, że ceramiczne ściany działowe oparte na uginającym się stropie (przy wartości deformacji $L/500$) wykazują się odpornością na uszkodzenia (zarysowania) [18].

PERSPEKTYWY I KIERUNKI ROZWOJU CERAMIKI

Bogaty rynek wyrobów ceramiki budowlanej oraz szeroki zakres ich zastosowań nie ograniczają producentów w poszukiwaniu innowacyjnych rozwiązań uwzględniających współczesne potrzeby użytkowników. Potrzeby te w szczególności dotyczą:

- zmniejszenia energochłonności produkcji
- ochrony środowiska naturalnego
- redukcji emisji zanieczyszczeń w procesach produkcyjnych
- automatyzacji produkcji
- optymalizacji pracochłonności i kosztów wytwarzania
- rozszerzenia asortymentu wyrobów ceramicznych
- łatwości recyklingu nadwyżek lub materiałów zniszczonych w procesie budowania.

Postępujący rozwój technologiczny na świecie powoduje, że zapotrzebowanie na energię stale wzrasta, przy jednoczesnym ciągłym wzroście kosztów energii. Wytwarzanie i przetwarzanie energii powoduje również postępującą degradację środowiska naturalnego i niekorzystne zmiany klimatyczne. Potrzebą chwili staje się więc dążenie do ograniczenia zużycia energii i racjonalnego jej wykorzystania, np. przez produkcję wyrobów o zmniejszonej gęstości objętościowej, co w konsekwencji wpływa korzystnie na właściwości izolacyjne wyrobów i koszty ich transportu.

Zauważalnym trendem w produkcji wyrobów ceramicznych jest redukcja zużycia surowców, skrócenie czasu suszenia i wypalania wyrobów. W rezultacie wprowadzanych zmian, energochłonność procesu produkcyjnego ceramiki budowlanej może być obniżona nawet o około 30%.

Zanieczyszczenia emitowane do atmosfery przez przemysł ceramiki budowlanej (m. in. pył, tlenek i dwutlenek węgla, dwutlenek siarki i azotu oraz fluor) nie stwarzają zagrożenia skażenia środowiska naturalnego.

Ilość zanieczyszczeń wyzwalających się w procesach produkcyjnych jest znacząco ograniczona przez stosowanie nowoczesnych linii technologii wytwarzania wyrobów ceramicznych – Tablica 9.

W celu zmniejszenia wielkości emisji pyłów do atmosfery dąży się do stosowania skutecznych instalacji odpylających oraz efektywnego obudowywania maszyn i urządzeń pyłujących (np. w oddziałach przygotowania masy, szlifowania wyrobów). Zmniejszenie ilości tlenku i dwutlenku węgla może następować poprzez usprawnienie procesów spalania w piecach tunelowych i w kotłowniach. Natomiast zmniejszenie ilości emitowanych związków siarki wymaga przede wszystkim stosowania paliw zawierających mniej tych związków, a także kosztownych urządzeń do odsiarczania spalin.



Fot. 29. Nowoczesny zakład produkcyjny.

Wielkość produkcji rocznej [tys. Mg]	Rodzaj zanieczyszczenia					
	pył	tlenek węgla	dwutlenek węgla	dwutlenek siarki	dwutlenek azotu	fluor
	Wskaźnik zanieczyszczenia w kg/Mg produkcji					
Instalacje z piecami tunelowymi						
20÷250	0,7	15	500	5,5	0,6	0,1
Instalacje z piecami tunelowymi produkującymi klinkier						
30÷150	0,5	15	300	3,0	0,9	0,1
Instalacje z piecami tunelowymi produkujące dachówkę						
25÷125	0,2	15	300	0,1	0,2	0,1
Instalacje z piecami kręgowymi						
150	0,7	15	500	3,0	1,2	0,1

źródło: Najlepsze Dostępne Techniki (BAT). Wytyczne branży – ceramika budowlana i ogniotrwała. Instytut Materiałów Ogniotrwałych, Związek Pracodawców Ceramiki Budowlanej i Siliatów, listopad 2004

Tablica 9. Maksymalne wartości wskaźników w zakresie emisji zanieczyszczeń do atmosfery na 1 Mg produkcji w instalacjach przemysłu ceramiki budowlanej

Działania na rzecz poprawy efektywności produkcji wyrobów ceramiki budowlanej skupiają się głównie na udoskonalaniu technologii wytwarzania wyrobów poprzez intensyfikację procesu produkcyjnego, m. in. przez wprowadzanie nowych metod przygotowania masy, formowania półfabrykatów i ich suszenia, a także nowoczesnych sposobów wypalania wyrobów. W rezultacie wprowadzanych modyfikacji produkcji znacznie obniża się energochłonność wytwarzania wyrobów, zmniejsza zanieczyszczenie środowiska, zwiększa wydajność pracy, poprawia jakość – przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów produkcji.

Warunkiem osiągnięcia wszystkich pozytywnych efektów produkcji ceramiki budowlanej jest automatyzacja (i ciągłe zwiększanie jej zakresu) procesów technologicznych oraz transportu wewnętrznego. Automatyzacja dotyczyć powinna m.in. suszarni do suszenia półfabrykatów i pieców tunelowych do ich wypalania. W zakresie transportu wewnętrznego należy dążyć do udoskonalania agregatów załadowniczo-rozładowniczych dla uformowanych i wysuszonych półfabrykatów oraz zdecydowanie zwiększać liczbę automatycznych stawiarek na wózkach pieców tunelowych i automatycznych rozładowarek wózków z wypalonymi wyrobami, a także automatycznych pakieciarek gotowych wyrobów.



Fot. 30. Transport wyrobów do suszarni tunelowej

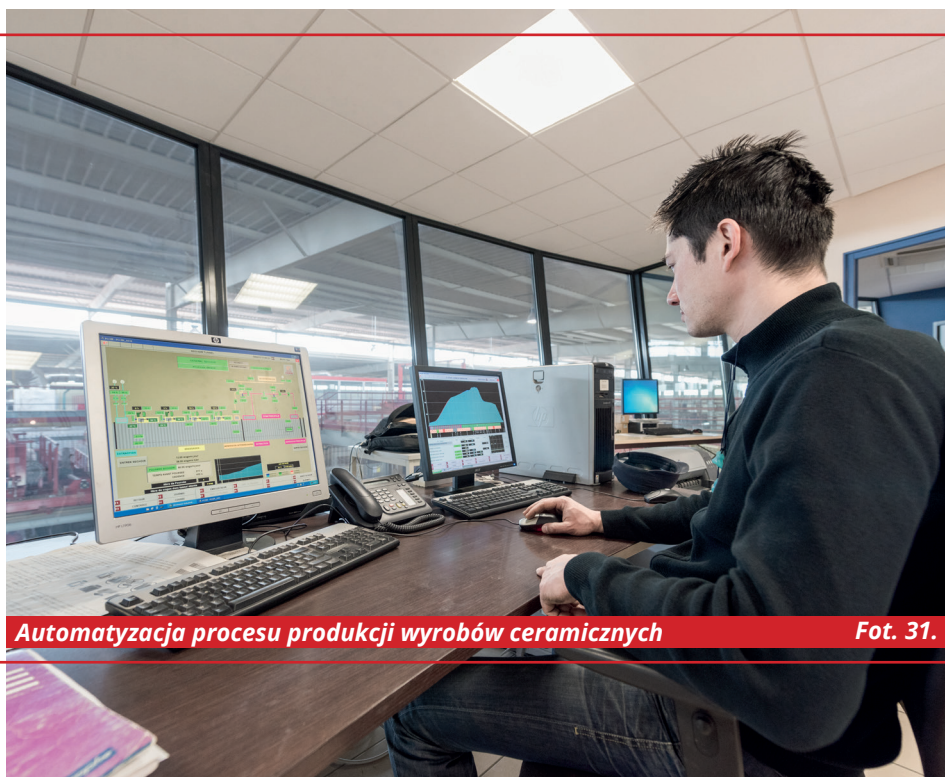
Zastąpienie węgla stosowanego w piecach tunelowych przez paliwa gazowe umożliwiły dokładniejszą regulację procesu wypalania. Dzięki temu może być rozszerzony asortyment wyrobów, a przede wszystkim poprawiana ich jakość. Natomiast w instalacjach z suszarniami naturalnymi i z piecami kręgowymi, pracującymi sezonowo możliwości rozszerzenia asortymentu produkcji wyrobów i poprawy ich jakości były zdecydowanie mniejsze.

W krajach o rozwiniętym przemyśle ceramiki budowlanej podstawowym kierunkiem rozwoju produkcji jest rozszerzanie asortymentu wyrobów, w dostosowaniu do spełnienia współczesnych oczekiwań społecznych i wymagań formalno-prawnych, uwzględniających m. in.:

- poprawę właściwości izolacyjnych i akustycznych wyrobów ceramicznych,
- zmniejszenie gęstości objętościowej,
- wzrost jakości wykonania elementów ceramicznych,
- ograniczenie zakresu robót szalunkowych przy realizacji obiektów budowlanych z wykorzystaniem ceramiki budowlanej,
- rozszerzenie zakresu możliwych zastosowań ceramiki (np. przy renowacji obiektów zabytkowych).

W ostatnich latach dążono do poprawy izolacyjności wyrobów ściennych poprzez wprowadzenie drążen różnych kształtów i wielkości. Z uwagi jednak na konieczność uzyskania odpowiednich właściwości wytrzymałościowych ścian z ceramicznych elementów murowych, udział drążen nie powinien przekraczać 70%. Aktualnie granica ta została już osiągnięta. Dalsze modyfikacje wyrobów ściennych mogą odbywać się poprzez zmniejszenie gęstości objętościowej czerepu ceramicznego, np. w wyniku dodania do masy ceramicznej różnego rodzaju dodatków, które ulegają spaleniu w procesie wypalania i pozostawiają w czerepie zamknięte pory. W ten sposób uzyskuje się wyroby poryzowane, przy wytwarzaniu których zużywa się mniej surowców i energii. Inną interesującą modyfikacją pustaków, zwiększającą ich właściwości termoizolacyjne, jest wypełnianie w trakcie produkcji otworów (drążen) materiałami termoizolacyjnymi, np. wełną mineralną.

Istotnym kierunkiem rozwoju ceramiki budowlanej jest zwiększenie produkcji elementów stropowych, w szczególności do stropów belkowo-pustakowych, stosowanych powszechnie w budownictwie jednorodzinnym (z uwagi na brak konieczności stosowania specjalistycznego sprzętu transportowego i montażowego) oraz w budownictwie przemysłowym i użyteczności publicznej.



Automatyzacja procesu produkcji wyrobów ceramicznych

Dalszym kierunkiem rozwoju ceramiki jest zwiększenie produkcji wyrobów klinkierowych i elewacyjnych elementów wykończeniowych, znajdujących zastosowanie nie tylko w obiektach nowo wznoszonych, ale również przy renowacji starych budynków o walorach zabytkowych. Podstawową zaletą klinkieru jest jego trwałość i naturalne piękno, elementy wykonane z tego materiału nadają budynkom (i ich wnętrzom) wyrazu i charakteru.

Szeroka gama, w jakiej dostępne są cegły klinkierowe, a także ich ciągłe modyfikacje również z uwzględnieniem indywidualnych potrzeb i preferencji - to zasługa starannie wybranej gliny i nowoczesnych metod produkcji, które pozwalają na wypalanie cegieł w różnych barwach i tonacjach. Współczesnym trendem i odpowiedzią na potrzeby nowoczesnych rozwiązań architektonicznych są cegły angobowane warstwą

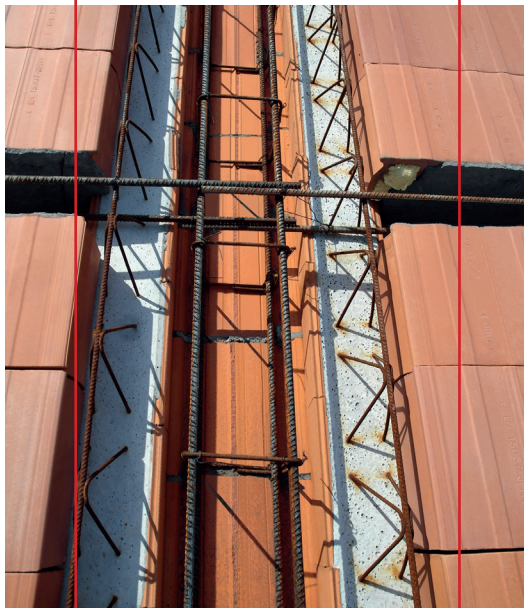


Klinkier w architekturze wnętrz Fot. 32.

uszlachetnionej gliny i cegły glazurowane, wytwarzane w bogatej palecie kolorystycznej i pozwalającej w konsekwencji na uzyskanie efektu wielowymiarowej głębi. Walory estetyczne cegieł klinkierowych uzyskiwane są również poprzez kształtowanie ich faktury. Obecnie produkowane elementy mogą mieć powierzchnie gładkie, szklwione, piaskowane czy ryflowane. Perspektywicznym kierunkiem rozwoju ceramiki są cegły klinkierowe z odcisniętymi na nich wzorami figur geometrycznych lub płynnych linii, a także naśladujące np. fakturę kory drzewa. Różnorodność faktur wzbogacają również cegły ręcznie formowane (np. rustykalne - przypominające strukturą postarzany mur), w których każdy element ma indywidualny i niepowtarzalny charakter, stwarzający niemal nieograniczone możliwości projektowania architektonicznego i aranżacji wnętrza budynków – fot 32. Aktualnie coraz bardziej popularne są cegły o długich formatach, murowane na coraz cieńszą spoinę.

Wyroby klinkierowe znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie, od inżynierskich konstrukcjach murowych o wymaganej, znacznej nośności, do elementów wykończeniowych, elewacyjnych i tzw. „małej architektury”.





Fot. 33. *Przykłady ceramicznych kształtek wieńcowych (typu L i U)*

Innym perspektywnym kierunkiem rozwoju produkcji wyrobów ceramicznych jest dążenie do uproszczenia procesu wznoszenia obiektów budowlanych poprzez eliminowanie konieczności prowadzenia robót mokrych i stopniowe ograniczanie stosowania szalowania uzupełniających elementów żelbetowych w ustrojach konstrukcyjnych obiektów

budowlanych. Pozytywnym przykładem tego kierunku są kształtki ceramiczne (fot. 33) pełniące funkcje szalunków traconych wieńców ścian nośnych międzykondygnacyjnych, ścian szczytowych, kolankowych a także zwieńczenia ścian ostatniej kondygnacji budynków. Szalunki tracone w postaci kształtek wieńcowych zapewniają właściwe ułożenie mieszanki betonowej oraz położenie zbrojenia wieńców. Kształtki tworzą formy, które po wypełnieniu mieszanką betonową zapewniają wykonanie elementów konstrukcyjnych wieńców o określonej, nieziennej geometrii; po wbudowaniu pełnią również funkcję izolacyjno-konstrukcyjną.

Zastosowanie ceramicznych kształtek wieńcowych w postaci szalunków traconych wpływa zdecydowanie na skrócenie procesu budowy (a zatem i na generowane koszty robocizny) w porównaniu do użycia deskowania standardowego. Użycie kształtek wieńcowych zapewnia również równomierny rozkład obciążeń przenoszonych ze stropów na ściany (z uwagi na równe powierzchnie kształtek), a także poprawia izolację termiczną wieńców żelbetowych i estetykę wykonania elementów budynku.



Fot. 34.

Przykład ceramicznego pustaka z możliwością kształtowania słupków żelbetowych

Ewolucja przemysłu ceramiki budowlanej uwzględnia również zalecany w literaturze specjalistycznej i wymaganiach normowych, trend projektowania dotyczący:

- murów skrupowanych czyli elementów ściennych, w których wprowadzono dodatkowe usztywnienia,
- lokalnych wzmocnień konstrukcji murowych – z uwagi na występowanie miejscowych docisków lub jednoczesnych oddziaływań sił pionowych i momentów zginających.

Przykładem pozytywnego kierunku działania przemysłu ceramiki budowlanej są pustaki z otworem (fot. 34), umożliwiającym ukształtowanie (na wysokości muru lub np. w ścianie attykowej) zbrojonego słupka lub np. kanałów instalacyjnych. Wbudowanie wewnątrz ceramicznego muru elementów żelbetowych o korzystniejszych właściwościach wytrzymałościowych rozszerza zakres zastosowań ceramiki w budownictwie, np. na obszary intensywnej eksploatacji górniczej czy rejony oddziaływań dynamicznych, np. strefy sejsmiczne. Rozwiązanie takie powoduje również skuteczniejszą ochronę betonu przed oddziaływaniami środowiska oraz w znacznym stopniu poprawia własności izolacyjne przegrody ściennej.

Rozwój i konkurencyjność ceramiki budowlanej następuje przy wzajemnej współpracy tej branży z zapleczem naukowo-badawczym, tylko takie współdziałanie gwarantuje bowiem powstawanie kolejnych innowacji i umożliwia wskazanie dalszych kierunków postępu. Udział merytoryczny jest warunkiem koniecznym istnienia i perspektywicznego rozwoju wytwórstwa ceramiki budowlanej.

BIBLOGRAFIA

Literatura

- [1] Dohojda M., Rzeszutko M.: Wyniki badan promieniotwórczości naturalnej wyrobów budowlanych. Materiały Budowlane 9/2015 (nr 505)
- [2] Drobiec Ł. i in.: Konstrukcje murowe według Eurokodu 6 i norm związanych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017
- [3] Janicki S., Sikorski J.: Wymiarowanie konstrukcji murowych i zespolonych. Arkady, Warszawa 1974
- [4] Jarmontowicz R.: Wybrane zagadnienia technologiczne i wytrzymałościowe ściennych prefabrykatów ceramiczno-betonowych. COIB, Warszawa 1982
- [5] Jarmontowicz R., Sieczkowski J.: Odkształcalność konstrukcji murowych pod wpływem wilgoci i temperatury. Przegląd Budowlany nr 3/2016
- [6] Jarmontowicz R., Sieczkowski J.: Odkształcalność muru pod wpływem obciążeń. Przegląd Budowlany nr 7-8/2015
- [7] Jaroszewicz M., Staszewski M.: Ceramika budowlana w Polsce. Historia i współczesność. Materiały Ceramiczne, 62, 1, (2010)
- [8] Lewicki B., Jarmontowicz R., Kubica J.: Podstawy projektowania niezbrojonych konstrukcji murowych. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2001
- [9] Lewicki B. i inni: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Komentarz do PN-B-03264:2002. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2005

- [10] Matkowski K.: Ocena właściwości wilgotnościowych ścian z pustaków ceramicznych, bloczków silikatowych oraz z betonu komórkowego w kontekście możliwości wzrostu grzybów w budynkach z analizą zagrożeń zdrowotnych. Polskie Stowarzyszenie Mykologów Budownictwa. Wrocław 2015
- [11] Matkowski K., Magott C., Rokieli M.; Diagnostyka mykologiczna budynków murowanych. Inżynier budownictwa 12/2013
- [12] Piech J.: Operacja suszenia i suszarnie w przemyśle ceramicznym. Wydawnictwo AGH, Kraków 2003
- [13] Pierzchlewicz J., Jarmontowicz R.: Budynki murowane. Materiały i konstrukcje. Arkady, Warszawa 1993
- [14] Rozszerzenie podstaw naukowych ustaleń Eurokodu 6 „Projektowanie konstrukcji murowych”. Komentarz naukowo-badawczy do PN-EN 1996-1-1:2008, PN-EN 1996-2:2008 i PN-EN 1996-3:2008. Tom 1 (praca zbiorowa). Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2008
- [15] Schellbach G., Schmidt H.: Einfluß des Rohmaterials und der Produktionstechnik auf das Verformungsverhalten von Ziegeln-Auswirkungen dieser Verformungen auf Baukonstruktionen. Ziegelindustrie nr 10/1980
- [16] Siestrunk R., Lamer P., Huet C., Alviset L.: Action de L'humidite sur la ceramique dans le cadre de L'Association Beton-Ceramique. Communication CTTB 1965
- [17] Szulc J.: Przyczyny zarysowań ścian działowych. Materiały Budowlane 04/2018
- [18] Szulc J.: Ugięcia czynne stropów żelbetowych a uszkodzenia elementów do nich przylegających. Materiały Budowlane 488 (4)/2013
- [19] Szulc J., Dohojda M.: Interpretacja normowej metodyki obli-

czeniuowej weryfikującej możliwość uszkodzeń ścian działowych wybudowanych na uginających się elementach stropowych. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura 12 (4) 2013

- [20] Runkiewicz L. i in.: Diagnostyka obiektów budowlanych, PWN 2020,

Przepisy krajowe

- [P1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (tekst jednolity Dz. U. z 2020, poz. 1333, z późniejszymi zmianami)
- [P2] Ustawa z 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (tekst jednolity Dz. U. z 2019 r., poz. 1792 z późn. zm.)
- [P3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tj. Dz. U. 2019, poz. 1065)
- [P4] Rozporządzenie Rady Ministrów z 7 lipca 1994 r. (tekst jednolity Dz.U. z 3/2000 r., nr 106, poz. 126 z późniejszymi zmianami Dz.U. z 2003 r., nr 80 poz. 718) obowiązek ochrony przed promieniowaniem jonizującym w budownictwie.
- [P5] Rozporządzenie Rady Ministrów z 2 stycznia 2007 r. (Dz.U. z 2007 r., nr 4, poz. 29) w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów.
- [P6] Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom z 5 grudnia 2013 r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom oraz

2003/122/Euratom (dyrektywa BSS – Basic Safety Standards)
(Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 13/1, wyd. 17.1.2014).

- [P7] Brunarski L., Krawczyk M. i in.: Instrukcja ITB nr 352/98: Metody i warunki wykonywania pomiarów stężenia radonu w powietrzu pomieszczeń budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi. ITB Warszawa 1998
- [P8] Brunarski L., Dohojda M.: Instrukcje, Wytoczne, Poradniki ITB nr 455/2010: Badania promieniotwórczości naturalnej wyrobów budowlanych. ITB Warszawa 2010
- [P9] Francke B.: Pokrycia dachowe z dachówek ceramicznych i cementowych. Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych, Część C: Zabezpieczenia i izolacje, zeszyt 11, ITB, Warszawa 2017
- [P10] Gajownik R., Sieczkowski J.: Konstrukcje murowe. Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych. Część A: Roboty ziemne i konstrukcyjne, zeszyt 3, ITB Warszawa 2020

Polskie Normy

- [N1] PN-B-02151-3 Ochrona przed hałasem w budynkach. Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych
- [N2] PN-90/B-02851 Ochrona przeciwpożarowa budynków - Metoda badania odporności ogniowej elementów budynków
- [N3] PN-B-03002 Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie
- [N4] PN-B-12012 Metody badań elementów murowych. Określenie odporności na zamrażanie-odmrażanie elementów murowych ceramicznych

- [N5] PN-EN 206 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [N6] PN-EN 538 Dachówki ceramiczne. Badanie nośności na zginanie
- [N7] PN-EN 539-1 Dachówki ceramiczne. Określenie charakterystyki fizycznej. Badanie przesiąkliwości
- [N8] PN-EN 539-2 Dachówki ceramiczne. Określenie charakterystyki fizycznej. Badanie mrozoodporności
- [N9] PN-EN 771-1 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 1: Elementy murowe ceramiczne
- [N10] PN-EN 772-1 Metody badań elementów murowych. Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie
- [N11] PN-EN 772-18 Metody badań elementów murowych. Część 18: Określenie odporności na zamrażanie/odmrażanie elementów murowych silikatowych
- [N12] PN-EN 772-19 Metody badań elementów murowych. Część 19: Określenie rozszerzalności pod wpływem wilgoci dużych, poziomo drążonych elementów murowych ceramicznych
- [N13] PN-EN 845-2: Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 2: Nadproża
- [N14] PN-EN 998-2 Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 2: Zaprawa murarska
- [N15] PN-EN 1024 Dachówki ceramiczne. Określanie właściwości geometrycznych
- [N16] PN-EN 1052-1 Metody badań murów. Określenie wytrzymałości na ściskanie
- [N17] PN-EN 1052-3 Metody badań murów. Część 3: Określenie początkowej wytrzymałości na ścinanie

- [N18] PN-EN 1304 Dachówki i kształtki dachowe ceramiczne. Definicje i specyfikacja wyrobów
- [N19] PN-EN 1364-1 Badania odporności ogniowej elementów nienośnych. Część 1: Ściany
- [N20] PN-EN 1365-1 Badania odporności ogniowej elementów nośnych. Część 1: Ściany
- [N21] PN-EN 1745 Mury i wyroby murowe. Metody określania wartości cieplnych
- [N22] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji betonowych. Część 1-1 Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [N23] PN-EN 1996-1-1 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych
- [N24] PN-EN 1996-1-2 Eurokod 6: Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe
- [N25] PN-EN 1996-2 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów
- [N26] PN-EN 1996-3 Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 3: Uproszczone metody obliczania murowych konstrukcji niezbrojonych
- [N27] PN-EN 13501-1 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynku. Część 1: Klasyfikacja na podstawie badań reakcji na ogień
- [N28] PN-EN 13501-2 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków. Część 2: Klasyfikacja na podstawie ba-

dań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej

- [N29] PN-EN ISO 13788: Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa - metody obliczania

Prace badawcze, raporty z badań

- [R1] Ocena odporności ogniowej ścian w systemie Porotherm (nr 1424/17/R113NZP). ITB Warszawa 2018
- [R2] Praca badawcza dotycząca zmian wytrzymałości na ściskanie trzech grup elementów murowych w zależności od stopnia zawilgocenia (Raport z badań nr LK00-025284/16/Z00NZK). ITB Warszawa 2017
- [R3] Praca badawcza dotycząca ciepłno-wilgotnościowych właściwości użytkowych murów wykonanych z pustaków ceramicznych, bloczków silikatowych i betonu komórkowego (nr 01716/14/Z00NN). ITB Warszawa 2015
- [R4] Raport z badań nr LZK00-01424/17/R112NZK: Elementy próbne – fragment ściany działowej o wym. 4,0 m x 2,0 m, ITB Warszawa 2018
- [R5] Raport z badań nr LZK00-02257/17/Z00NZK: Elementy próbne – fragment ściany działowej o wym. 4,0 m x 2,0 m, ITB Warszawa 2018
- [R6] Raport z badań nr LK00-01424/15/R66NK: Stropy gęstożebrowe Porotherm typu 19/50, ITB Warszawa 2015
- [R7] Raport z badań nr LK00-01424/15/R76NK: Nadproża ceramiczne Porotherm 11.5 i 23.8, ITB Warszawa 2016



ISBN 978-83-955539-6-7



9 788395 553967