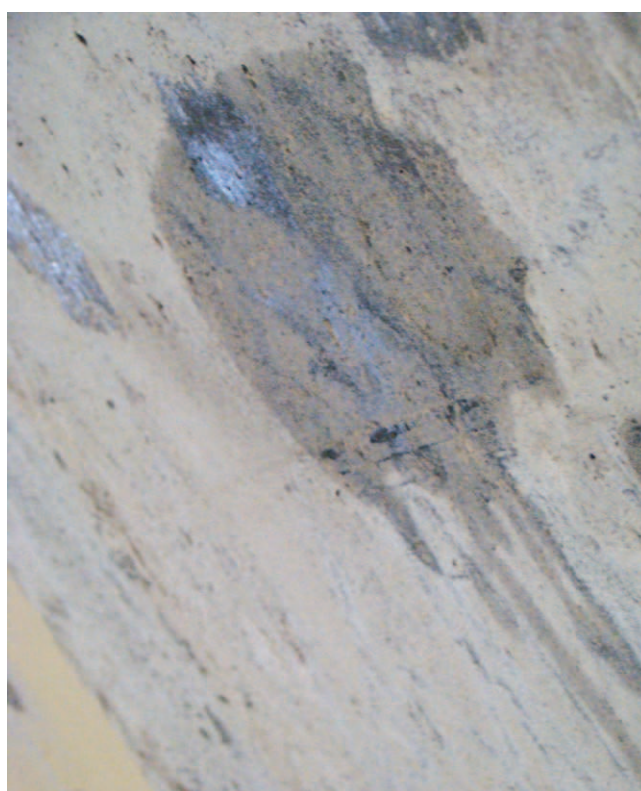


Wpływ zaolejenia zewnętrznych przegród pionowych na warunki cieplno-wilgotnościowe w budynku

Dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, dr inż. Krzysztof Arendt,
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

1. Wprowadzenie

Problemy cieplno-wilgotnościowe należą we współczesnym budownictwie, obok zagadnień wytrzymałościowych, do jednych z najbardziej istotnych przyczyn utrudnień i uciążliwości eksploatacyjnych w obiektach budowlanych, w tym w budynkach mieszkalnych [1]. Pomimo że zagadnienia te omawiane są w wielu pozycjach literaturowych, a samo zjawisko jest uwzględniane w typowych rozwiązaniach katalogowych węzłów konstrukcyjnych [2-3], w budynkach mieszkalnych nadal występują usterki i uszkodzenia cieplno-wilgotnościowe. Ta grupa problemów eksploatacyjnych jest szczególnie trudna do naprawy, gdyż bardzo często przyczyna powstających problemów jest wielowątkowa, a co za tym idzie skuteczność prac naprawczych jest mniejsza niż w przypadku typowych uszkodzeń konstrukcyjnych [4-6]. Ustawiczne wprowadzanie nowych rozwiązań technologicznych oraz uatrakcyjnianie rozwiązań architektonicznych dodatkowo sprzyjają występowaniu problemów cieplno-wilgotnościowych w budynkach ze względu na trudno przewidywalny wynik zastosowanych rozwiązań. Dotychczasowe doświadczenie w realizacji bardzo popularnego od wielu lat rozwiązania ocieplania ścian zewnętrznych od zewnątrz za pomocą materiału termoizolacyjnego pozwoliło na wyeliminowanie bądź istotne ograniczenie błędów w realizacji tego typu ocieplenia [7-9]. Jednak w przypadku wykonywania ścianach żelbetonowych, monolitycznych, które docelowo przewidziane są do ocieplenia materiałem termoizolacyjnym, w ostatnim okresie dość powszechnie występuje problem lokalnego zaolejenia powierzchni ścian będący wynikiem nasączenia betonu środkiem antyadhezyjnym zastosowanym do zabezpieczenia szalunków. Sytuacja ta występuje bardzo często zarówno od strony zewnętrznej, jak również wewnętrznej przegród pionowych. Warstwa hydrofobowa stanowiąca film olejowy w sposób oczywisty zmniejsza przyczepność kleju do podłoża. W środowisku inżynierskim prowadzona jest także dyskusja, czy zaolejenie stref przypowierzchniowych przegród pionowych nie powoduje pogorszenia warunków



Rys. 1. Wynik zwilżania powierzchni (tzw. test wody) na powierzchni ściany żelbetonowej, monolitycznej – błyszcząca powierzchnia świadczy o występowaniu na powierzchni betonu warstwy hydrofobowej

cieplno-wilgotnościowych wynikającego z powstania warstwy o zwiększonym oporze dyfuzyjnym (film olejowy). Tematyka niniejszego artykułu nawiązuje do prowadzonej dyskusji. W pracy oceniono prawdopodobieństwo wystąpienia ewentualnych usterek cieplno-wilgotnościowych związanych z lokalnym zaolejeniem powierzchni ścian żelbetonowych monolitycznych.

2. Opis zjawiska

Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że zaolejenie ścian żelbetonowych występuje w jednakowej ilości za-

równy od strony zewnętrznej, jak również wewnętrznej. Powierzchnia zaolejenia jest zazwyczaj zbliżona po obu stronach przegrody, jednak na podstawie wykonanych analiz własnych można stwierdzić, że nigdy nie przekracza 40% powierzchni ścian, tzn. 40% powierzchni uśrednionego m². Intensywność zaolejenia jest zazwyczaj zbliżona, a głębokość penetracji dochodzi od 5 mm do 10 mm poza lico ściany (w praktyce wartość maksymalna penetracji). Występowanie filmu olejowego na powierzchni ściany żelbetowej monolitycznej można potwierdzić poprzez przeprowadzenie tzw. testu wody (rys. 1). Metoda ta polega na zwilżeniu powierzchni betonu wodą i jej obserwacji przez okres 2-5 minut. Gdy woda nie wsiąka, na powierzchni betonu pozostają krople wody i powierzchnia nie zmienia koloru, oznacza to, że beton ma zwartą, szczelną powierzchnię lub pokryty jest środkiem antyadhezyjnym. Taka powierzchnia nie nadaje się zarówno do tynkowania, jak również do wykonania na niej okładziny z materiału termoizolacyjnego w ramach ocieplania budynku [10-11]. Zaolejona powierzchnia stwarza także dodatkowy nieznaną opór dyfuzyjny parze wodnej przenikającej przez przegrodę, tworząc niekontrolowane warstwy pseudoparoszczelne. Opór dyfuzyjny zależy od zastosowanego środka antyadhezyjnego, głębokości penetracji i powierzchni zaolejenia.

3. Analiza obliczeniowa

Zgodnie z §321, ust. 2 dokumentu [12] we wnętrzu przegrody nieprzezroczystej nie może występować narastające w kolejnych latach zawilgocenie spowodowane kondensacją pary wodnej. W związku z tym w przedstawionej analizie sprawdzono, w jakich sytuacjach film olejowy mógłby doprowadzić do kondensacji pary wodnej w ilości, dla której kondensat nie zdążyłby odparować w ciągu lata.

Analizę przeprowadzono dla pełnościennego fragmentu muru kondygnacji nadziemnej o grubości 18 cm, wykonanego z betonu klasy C25/30, zbliżonej do dawnej klasy B30. W obliczeniach założono ocieplenie przegrody pionowej warstwą materiału termoizolacyjnego (polistyrenu ekspandowanego – styropianu-EPS) wykonaną zgodnie z zaleceniami zamieszczonymi w [8-9]. Spełnienie przez analizowaną przegrodę obowiązujących wymagań w zakresie termoizolacyjności ścian – współczynnik U ściany poniżej 0,25 W/(m² K) [12] możliwe jest przy zastosowaniu warstwy styropianu 15 cm. W artykule przedstawiono wyniki dla przypadku mniej korzystnego, z warstwą ocieplenia o grubości 5 cm, w celu podkreślenia, że nawet minimalna warstwa ocieplenia wystarczy do zabezpieczenia analizowanej przegrody przed ewentualną kondensacją międzywarstwową. Większa grubość ocieplenia może jedynie poprawić wynik.

Przyjęto następujące przypadki obliczeniowe:

- P1A-przegroda bez ocieplenia, brak zaolejenia ściany,

- P1B-przegroda ocieplona styropianem EPS, brak zaolejenia ściany,
- P2A-brak ocieplenia, zaolejenie ściany od strony zewnętrznej na głębokość 1 cm,
- P2B-przegroda ocieplona styropianem EPS, zaolejenie ściany od strony zewnętrznej na głębokość 1 cm,
- P3A-brak ocieplenia, zaolejenie ściany od strony zewnętrznej oraz od strony wewnętrznej na głębokość 1 cm,
- P3B-przegroda ocieplona styropianem EPS, zaolejenie ściany od strony zewnętrznej oraz od strony wewnętrznej na głębokość 1 cm.

Obliczenia wykonane zostały według algorytmu metody Glasera [13] dla następujących warunków brzegowych [13-17]:

- temperatura powietrza wewnętrznego $T_i = 20^\circ\text{C}$, stała w ciągu roku (temperatura obliczeniowa według warunków technicznych [12]),
- wilgotność powietrza wewnętrznego $RH = 55\%$ (wartość w zakresie komfortu cieplno-wilgotnościowego),
- temperatura powietrza zewnętrznego T_e przyjęta jako średnia miesięczna na podstawie typowego roku meteorologicznego dla Gdańska (zgodnie z wytycznymi [13]),
- opór przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ (zgodnie z wytycznymi [15]),
- opór przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ (zgodnie z wytycznymi [15]).

Przyjęte parametry materiałowe przedstawiono w tabeli 1. W obliczeniach uśredniono współczynnik oporu dyfuzyjnego zaolejonej warstwy betonu w celu przedstawienia wpływu tego parametru na kondensację w przegrodzie. Jako dolny zakres przyjęto współczynnik oporu dyfuzyjnego $\mu = 100$, w przybliżeniu odpowiadające

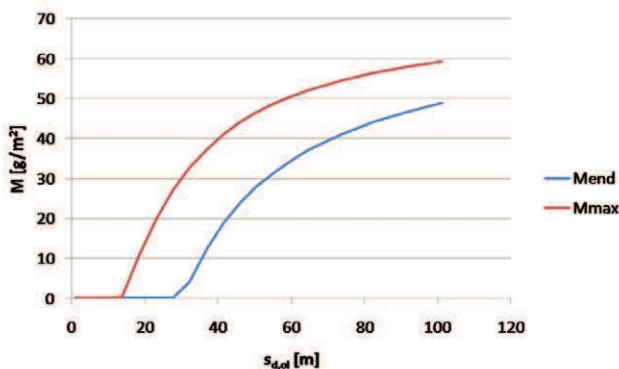
Tabela 1. Parametry materiałowe warstw przegrody zewnętrznej

Materiał	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/m K]	Współczynnik oporu dyfuzyjnego μ [-]
Beton	1,6	92
Styropian	30	0,04
Zaolejona warstwa betonu	1,6 (jak beton)	100-10000 (analiza parametryczna)

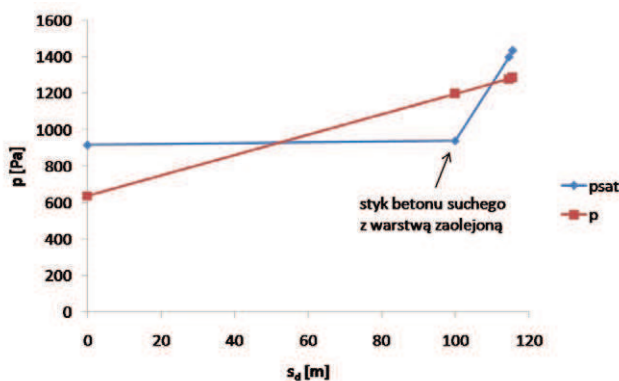
mu suchemu betonowi. Jako górny zakres przyjęto $\mu = 10000$, co przy grubości zaolejonej warstwy 1 cm daje opór dyfuzyjny odpowiadający paroizolacji. Pomimo braku dokładnych danych dotyczących rzeczywistego oporu dyfuzyjnego zaolejonej warstwy można założyć, że rzeczywista wartość nie przekroczy powyżej podanych wartości skrajnych.

Obliczenia wykazały, że film olejowy może przyczynić się do kondensacji międzywarstwowej tylko w ekstremalnych przypadkach, o niskim prawdopodobieństwie wystąpienia w praktyce inżynierskiej.

Przypadki P1A oraz P1B są przypadkami referencyjnymi, wykonanymi w sposób prawidłowy, bez zaole-



Rys. 2. Zawartość kondensatu w przegrodzie P2A (wariant bez izolacji cieplnej) w funkcji dyfuzyjnie równoważnej grubości powietrza warstwy zaolejonej $s_{d,ol}$ [m]: M_{max} – maksymalna zawartość kondensatu w ciągu roku, M_{end} – zawartość kondensatu na koniec okresu parowania



Rys. 3. Porównanie ciśnienia cząstkowego pary wodnej p w przegrodzie (przedstawionej w skali dyfuzyjnie równoważnej grubości powietrza s_d) z ciśnieniem cząstkowym pary wodnej nasyconej p_{sat} w lutym dla przypadku P2A (bez izolacji cieplnej), przy dużej paroszczelności zaolejonej warstwy ($s_{d,ol} = 100$ m)

jenia powierzchni przegrody. Jest to przegroda typowa, w której nie dochodzi do kondensacji wewnątrz przegrody.

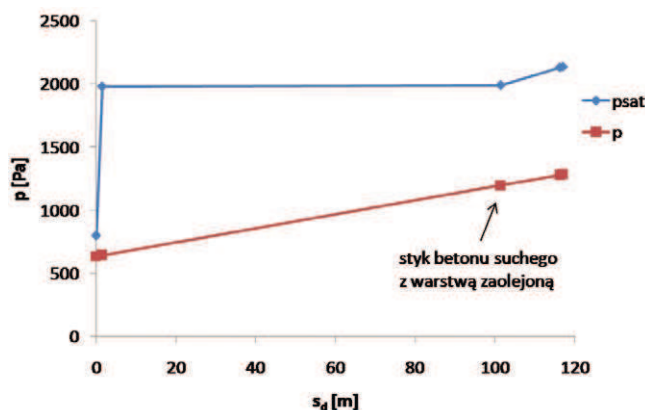
Najbardziej niekorzystny wariant zaolejenia dotyczy przypadku zaolejenia powierzchni zewnętrznej przegrody (P2A oraz P2B). Film olejowy tworzy wtedy warstwę pseudoparoszczelną, utrudniającą wydostanie się pary wodnej z wnętrza przegrody na zewnątrz. Ewentualny problem dotyczyłby jednak wyłącznie przegród zupełnie nieocieplonych (P2A), oddzielających powietrze zewnętrzne od użytkowanego pomieszczenia. Hipotetyczna kondensacja pary wodnej wewnątrz takiej przegrody wystąpiłaby dopiero przy całkowitym pokryciu powierzchni przegrody warstwą oleju o głębokości penetracji 10 mm i oporze dyfuzyjnym $\mu \approx 1400$, czemu odpowiada dyfuzyjnie równoważna grubość powietrza $s_{d,ol} \approx 14$ m (rys. 2). Do $s_{d,ol} \sim 32$ m, kondensat ten byłby jednak w stanie w całości odparować w ciągu lata, czyli spełniłaby wymagania pod względem kondensacji międzywarstwowej. Dopiero od $s_{d,ol}$

powyżej 32 m kondensat nie byłby w stanie wyparować w ciągu lata, co skutkowałoby narastającym wzrostem zawartości wilgoci w przegrodzie.

Dla skrajnego przeanalizowanego przypadku, $s_{d,ol} = 100$ m (wartość odpowiadająca paroizolacji), zawartość kondensatu w przegrodzie na koniec okresu parowania Mend (koniec lata) wynosiłaby niecałe 49 g/m². Dla tego samego przypadku maksymalna zawartość kondensatu w ciągu roku wynosiłaby ok. 59 g/m². Maksymalny strumień kondensacji występuje w lutym i wynosi 9,2 g/(m² miesiąc). Strumień ten wynika z różnicy ciśnień pomiędzy stanem nasylenia p_{sat} a rzeczywistym ciśnieniem cząstkowym pary wodnej p w obrębie styku betonu suchego z warstwą zaolejoną (rys. 3). Taki przypadek (przegroda zewnętrzna pomieszczenia mieszkalnego bez ocieplenia) jest jednak niezgodny z wymaganiami technicznymi i może wystąpić jedynie w przypadku czasowego pobytu ludzi w niewykończonym budynku.

Analiza wykazała, że dodanie nawet niewielkiej warstwy termoizolacji (nawet 1 cm) wystarczająco zwiększa temperaturę i ciśnienie pary wodnej nasyconej, aby do kondensacji wewnątrz przegrody nie doszło. Porównanie ciśnienia rzeczywistego ze stanem nasylenia dla przypadku P2B (przegroda ocieplona styropianem 5 cm) przedstawione jest na rysunku 4 – jak widać, w żadnym przekroju ciśnienie rzeczywiste nie przekracza stanu nasylenia.

W przypadkach P3A oraz P3B, w których zaolejone są obie powierzchnie przegrody (wewnętrzna i zewnętrzna), także nie dochodzi do kondensacji pary wodnej wewnątrz przegrody (tabela 2). Wynika to z faktu, że zaolejona powierzchnia wewnętrzna przeciwdziałałaby wnikaniu pary wodnej do wewnątrz przegrody. W przypadku tym do ewentualnej kondensacji mogłoby dojść dopiero przy $s_{d,ol}$ warstw zaolejonych ≈ 100 m (od-



Rys. 4. Porównanie ciśnienia cząstkowego pary wodnej p w przegrodzie (przedstawionej w skali dyfuzyjnie równoważnej grubości powietrza s_d) z ciśnieniem cząstkowym pary wodnej nasyconej p_{sat} w miesiącu lutym dla przypadku P2B (izolacja EPS 5 cm), przy dużej paroszczelności zaolejonej warstwy ($s_{d,ol} = 100$ m)

Tabela 2. Maksymalna zawartość kondensatu M_{max} [g/m²] w ciągu roku dla poszczególnych przypadków

Mmax [g/m ²]	μ_{ol} [-]	-	100	1000	5000	10000
	$s_{d,ol}$ [m]	0	1	10	50	100
P1A	brak termoizolacji	0	-	-	-	-
P1B	EPS 5 cm	0	-	-	-	-
P2A	brak termoizolacji	-	0	0	46,33	59,13
P2B	EPS 5 cm	-	0	0	0	0
P3A	brak termoizolacji	-	0	0	0	0,02
P3B	EPS 5 cm	-	0	0	0	0

powiadający opór dyfuzyjny $\mu \approx 10000$). Jednak nawet przy tak dużym oporze dyfuzyjnym kondensat jest w stanie wyparować w ciągu lata, a ocieplenie przegrody jakąkolwiek warstwą termoizolacji eliminuje ryzyko kondensacji całkowicie. Oznacza to, że w rzeczywistych przegrodach zaolejenie powierzchni ma pomijalny wpływ na warunki ciepłno-wilgotnościowe w przegrodzie.

4. Przeciwdziałanie tworzeniu się filmu olejowego

Pomimo wykazania braku istotnego wpływu filmu olejowego na warunki ciepłno-wilgotnościowe w przegrodzie, należy unikać zaolejenia powierzchni, ponieważ zaolejenie zmniejsza przyczepność warstw wykończeniowych i termoizolacyjnych do betonu. W praktyce jedynym sposobem przeciwdziałania powstawaniu filmu olejowego w strefach przypowierzchniowych zewnętrznych przegród pionowych wykonywanych jako żelbetowe, monolityczne jest zapewnienie wysokiej jakości robót budowlanych, w szczególności ograniczenie ilości stosowania środka antyadhezyjnego do zabezpieczania szalunków.

5. Podsumowanie

Wykonywanie zewnętrznych przegród pionowych jako ściany żelbetowe, monolityczne jest współcześnie często spotykanym rozwiązaniem, zwiększającym w sposób istotny tempo realizacji robót budowlanych. Ze względu na konieczność zachowania normowych warunków ciepłno-wilgotnościowych przegrody tego typu są ocieplane według rozwiązań technologii BSO (Bezspoinowy System Ocieplania). Zabrudzenie powierzchni przegród w wyniku ponadnormatywnego naniesienia środka antyadhezyjnego na powierzchnie szalunków jest zjawiskiem często spotykanym podczas realizacji obiektów, aczkolwiek dotyczy to jedynie fragmentów ścian, a nie ich całych powierzchni. Ze względu na zakres zabrudzeń oraz ich przypowierzchniowy charakter wpływ zaolejenia na rozkład temperatury i wilgoci w przegrodach zewnętrznych jest w praktyce pomijalny. Jednak samo zaolejenie ma kluczowy wpływ na zapewnienie właściwego zespolenia materiału termoizolacyjnego z konstrukcją ściany zewnętrznej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Płoński W., Pogorzelski J.A., Fizyka budowli-zasady projektowania przegród budowlanych w zakresie ciepłno-wilgotnościowym. ARKADY, Warszawa, 1979
- [2] Markiewicz P., Detale projektowe dla architektów. Wydawnictwo Archiplus, Warszawa, 2009
- [3] Beinhauer P., Katalog standardowych rozwiązań projektowych detali dla projektów budowlanych. Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa, 2010
- [4] Praca zbiorów, Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2007
- [5] Substyk M., Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych. Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012
- [6] Rokiel M., Renowacje obiektów budowlanych. Projektowanie i warunki techniczne wykonania i odbioru robót. Wydawnictwo Medium, Warszawa, 2014
- [7] Niedostatki M., Błędy projektowe i wykonawcze systemów ociepleniowych w technologii BSO (Bezspoinowy System Ocieplania) jako przyczyny utrudnień eksploatacyjnych budynków mieszkalnych. Monografia „Wybrane zagadnienia z budownictwa ogólnego”. Wydawnictwo Europejskiej Uczelni Społeczno-Technicznej, s. 137-146, Radom, 2014
- [8] Instrukcja ITB nr 344/2002, Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków, Warszawa 2002
- [9] Instrukcja ITB nr 418/2006, Warunki techniczne wykonania i odbioru robót budowlanych, część C: Zabezpieczenia i izolacje, zeszyt 8: Bezspoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków, Warszawa 2006
- [10] Czarniecki L., Courard L., Garbacz A., Ocena skuteczności napraw-wpływ jakości podkładu betonowego. Inżynieria i Budownictwo, 12, 2007
- [11] Garbacz A., Courard L., Piotrowski T., Znaczenie inżynierii powierzchni w naprawach betonu. Współczesne metody naprawcze w obiektach budowlanych (pod redakcją Kamiński M., Jasiczak J., Buczkowski W., Błaszczkowski T.). Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2009
- [12] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75 poz. 690 z 15.06.2002 r. wraz z późniejszymi zmianami)
- [13] PN-EN ISO 13788:2003 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku-Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania
- [14] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [15] PN-EN 12524:2003, Materiały i wyroby budowlane. Właściwości ciepłno-wilgotnościowe. Tabełacyjne wartości obliczeniowe
- [16] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 16.VIII.1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych (Dz.U. nr 74, poz. 836 z dnia 9.IX.1999 r.)
- [17] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 27.XI.2009 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych (Dz.U. nr 205, poz. 1584 z dnia 4.XII.2009 r.)