

Krystian Tylek
krystiant95@gmail.com

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Opiekun naukowy referatu: mgr inż. Dawid Łątka

PROBLEM ZARYSOWANIA MUROWANYCH ŚCIAN DZIAŁOWYCH W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

PROBLEM OF CRACKING PARTITION MASONRY WALLS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Słowa kluczowe: ściana działowa, rysy, ściany murowe

1. Wstęp

Często przy wykonywaniu obiektów budowlanych ograniczony czas i niedostateczna dbałość o szczegóły sprawiają, że pojawiają się różne niezaplanowane konsekwencje. Do takich problemów należą zarysowania ścian działowych w nowo wybudowanych obiektach. Co prawda nie mają one wpływu na bezpieczeństwo osób użytkujących dany budynek, jednak do takich sytuacji nie powinno dochodzić. Problem ten był omawiany w licznych publikacjach [1,2,3], jednak wciąż jest często spotykany przy realizacji nowych inwestycji.

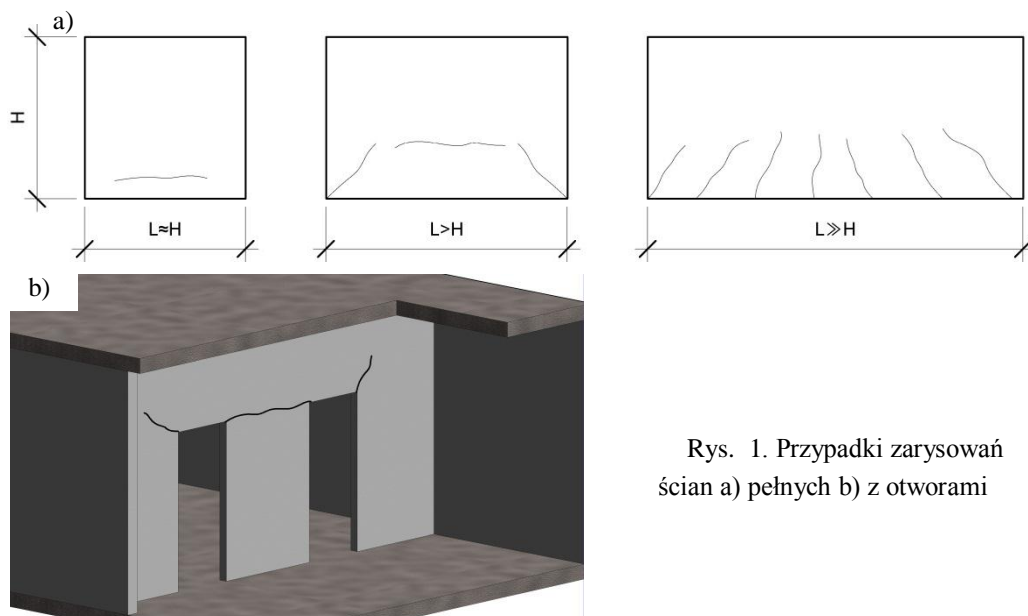
W artykule omówiono przyczyny powstawania uszkodzeń ścian działowych oraz metody zapobiegania ich występowaniu poprzez sporządzenie odpowiedniego projektu oraz dbałość o kwestie dotyczące ich wykonania na placu budowy. Przedstawiono również przykład obliczeń, dzięki któremu można dostrzec najczęstszy problem zarysowań jakim są nadmierne ugięcia stropu, a który nie jest w sposób jasny uregulowany w dostępnych normach budowlanych. W niniejszej pracy nie odniesiono się do zarysowań wynikających z błędów podstawowych jak na przykład niewłaściwy dobór materiałów (zaprawa o znacznym skurczu).

2. Charakterystyka zjawiska

W powstałych obiektach dochodzi do występowania rys różnej postaci. Sposób ich ukształtowania zależy głównie od stosunku długości do wysokości ściany pełnej. Można tutaj wyróżnić 3 przypadki (rys.1a) [1]:

- a) $H/L \approx 1$ – rysy poziome w dolnej części ściany wzdłuż spoin wspornych;
- b) $L/H > 1$ – rysy ukośne mające początek w dolnych narożach ściany przechodzące w jej głąb oraz rysa pozioma w połowie jej wysokości;
- c) $L/H \gg 1$ – rysy pionowe rozłożone na długości ściany sięgające połowy wysokości ściany.

W ścianach, w których występują otwory drzwiowe rysy przebiegają ukośnie począwszy od górnych naroży nadproża, a jeżeli występują dwa otwory to defekt może występować w postaci poziomej rysy łączącej obydwie otwory (rys.1b)[1]. Mogą pojawić się również rysy o kierunku pionowym w bezpośrednim sąsiedztwie otworów gdzie mur przejmuje zwiększone obciążenie związane z przekazywaną przez nadproże siłą.



Rys. 1. Przypadki zarysowań ścian a) pełnych b) z otworami

3. Przyczyny powstawania zarysowań

Istnieje bardzo wiele czynników, które przyczyniają się do omawianego problemu. Do najczęstszych z nich należą ugięcia stropów na których została wykonana ściana działowa [1]. Ma to miejsce szczególnie w budynkach wielokondygnacyjnych o konstrukcji płytowo – słupowej. Ścianki są murowane zazwyczaj w momencie, gdy płyta stropowa nie została w pełni dociążona tzn. na wyższej kondygnacji nie została postawiona inna ścianka oraz nie wykonano wszystkich warstw podłogowych. W takim przypadku ugięcie stropu jest mniejsze od docelowego. Niejednokrotnie, po uzyskaniu zakładanego obciążenia ugięcie powoduje przekroczenie dopuszczalnych odkształceń w ścianie [1], a tym samym dochodzi do jej zarysowania na styku połączenia ze ścianą zewnętrzną oraz stropem. Co gorsza, zarysowanie to pogłębia się wraz z przyrostem ugięcia płyty stropowej wynikłego z pęcznienia betonu – z tego też względu wszelkie naprawy polegające na wypełnianiu rysy często okazują się nieskuteczne.

Kolejną przyczyną może być brak pionowych dylatacji. W ścianach wydłużonych, dla których nie zostały one zastosowane mogą występować rysy powstające na skutek pęcznienia (ceramika) lub kurczenia (np. silikaty) elementów murowych wywołanego zmienną wilgotnością przegrody. Nierównomierne odkształcenia mogą mieć miejsce również poprzez stosowanie elementów wykonanych z różnych materiałów na jednym odcinku ściany [4].

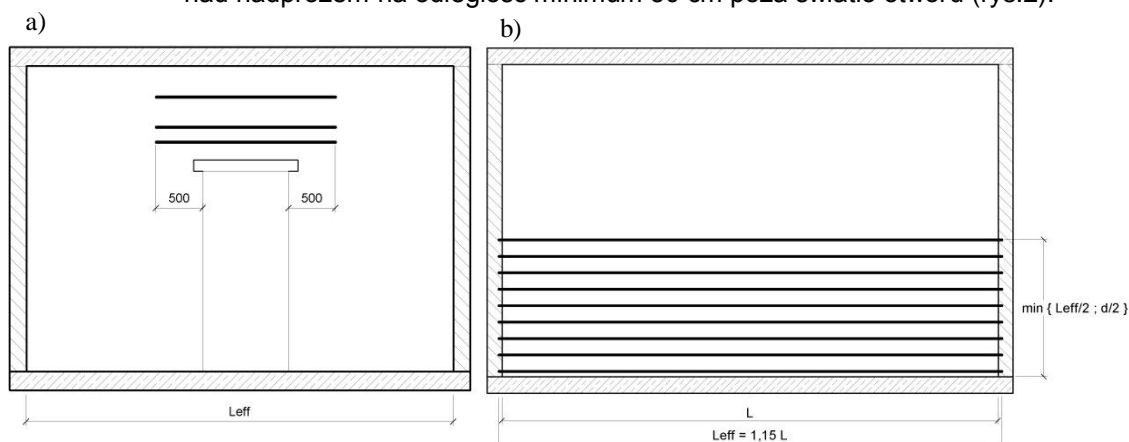
Do uszkodzeń może dojść również poprzez nieprawidłowe wykonanie ściany: nieodpowiednie przewiązanie i przycinanie elementów, odchyłki od pionu, czy nieodpowiednie wypełnienie spoin [2,4].

4. Prawidłowy projekt i wykonanie ścian działowych

W poniższych punktach zostały wymienione i pokrótce opisane metody zapobiegania zarysowaniom ścian działowych. Są one podzielone na dwie grupy: ze względu na działania projektowe oraz wykonawcze.

4.1. Projektowanie

- Redukcja strzałki ugięcia stropu: projektowanie stropów wielopolowych, ciągłych oraz częściowo lub całkowicie utwierdzonych [1,2].
- Budowa ściany działowej jako muru skrępowanego: umożliwia to współpracę wszystkich elementów konstrukcji. Metoda ta szczególnie zalecana w przypadkach nierównomiernego osiadania budynku oraz na obszarach gdzie występują oddziaływania górnicze [3].
- Zastosowanie zbrojenia [1,2]: jak wynika z przebiegu zarysowania ścian zbrojenie należy umieszczać w spoinie wspornej w dolnej części ściany do wysokości równej połowie jej długości efektywnej ($L_{eff}/2$) lub połowy wysokości użytecznej przekroju ($d/2$) – decyduje mniejsza wartość (rys.2). Przypadek wymaga odpowiedniego zakotwienia w ścianie oraz może być wykonywany tylko w ścianach pełnych z uwagi na ciągłość zbrojenia. W miejscach występowania otworów drzwiowych należy układać zbrojenie nad nadprożem na odległość minimum 50 cm poza światło otworu (rys.2).



Rys. 2 Sposoby zbrojenia: a) ściany z otworem drzwiowym b) ściany pełnej [1]

- Dylatacja pionowa: stosowana dla ścian o znacznej długości. Jako wypełnienie należy stosować materiał ściśliwy np. wełnę mineralną, sznur dylatacyjny. Odległość pomiędzy dylatacjami określona została w drugiej części eurokodu EC6 podpunkt 2.3.4.2 (2) (tab.1) [5].

Tabela 1. Maksymalna pozioma odległość l_m pomiędzy dylatacjami pionowymi dla niezbrojonych ścian nienośnych [5]

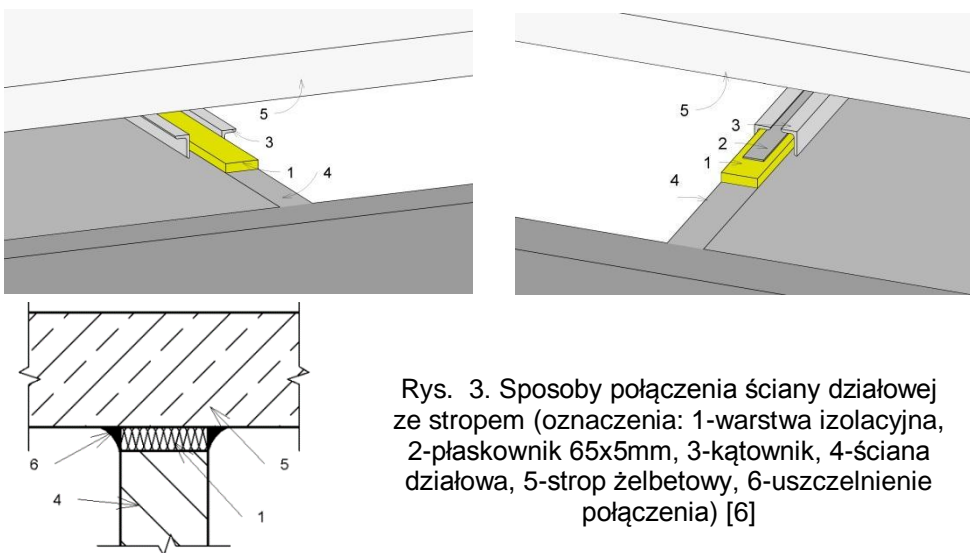
Rodzaj muru	l_m [m]
Mury z elementów ceramicznych	12
Mury z elementów silikatowych	8
Mury z elementów z betonu kruszywowego i kamienia sztucznego	6
Mury z elementów z autoklawizowanego betonu komórkowego	6
Mury z elementów z kamienia naturalnego	12

- Zastosowanie technologii lekkich ścian działowych ze stalowym szkieletem i wykończeniem z płyt gipsowo-kartonowych może nawet 3-krotnie zmniejszyć obciążenia od ciężaru własnego przegrody [1,3].

- Odpowiednia głębokość oparcia nadproży [4]: zbyt mała głębokość oparcia spowoduje niszczenie elementu podporowego - wykruszanie naroży.
- Zaprojektowanie pod- lub nadciągów pod ścianami działowymi: stosowane głównie dla ścian z materiałów o dużym ciężarze np. bloczki silikatowe [3].
- Odpowiednia aranżacja wnętrza: ścianki działowe należy projektować w miejscach oddalonych od obszaru gdzie następują maksymalne ugięcia płyty stropowej.
- Zastosowanie siatki z prętów zbrojeniowych w strefie ściskanej płyty (redukcja progresji ugięcia od skurczu i pęcznienia).

4.2. Wykonanie

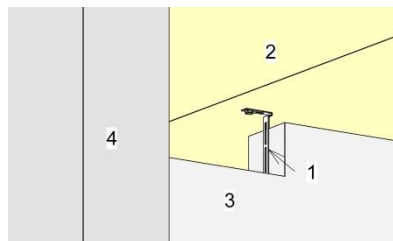
- Pozostawienie szczeliny pomiędzy ścianą a stropem: gdy nastąpi maksymalne ugięcie stropu wyższej kondygnacji warstwa ściśliwa wypełniająca szczelinę odkształci się zapobiegając przyrostowi naprężeń w ścianie. Wypełnienie może stanowić np. pianka poliuretanowa z częściowym otynkowaniem i częściowym zamaskowaniem masą akrylową. Grubość szczeliny powinna wynosić 20-30 mm (rys. 3) [2].



Rys. 3. Sposoby połączenia ściany działowej ze stropem (oznaczenia: 1-warstwa izolacyjna, 2-płaskownik 65x5mm, 3-kątownik, 4-ściana działowa, 5-strop żelbetowy, 6-uszczelnienie połączenia) [6]

- Stosowanie w obrębie jednej ściany, ścian wewnętrznych i zewnętrznych, a najlepiej całego budynku elementów murowych z tego samego materiału [4].
- Zastosowanie specjalnych łączników do połączenia z konstrukcją (rys. 4) [7].

Rys. 4. Połączenia muru i stropu za pomocą łącznika LSD (1 - łącznik LSD, 2 - płyta stropowa, 3 - ścianka działowa, 4 - ściana konstrukcyjna) [7]



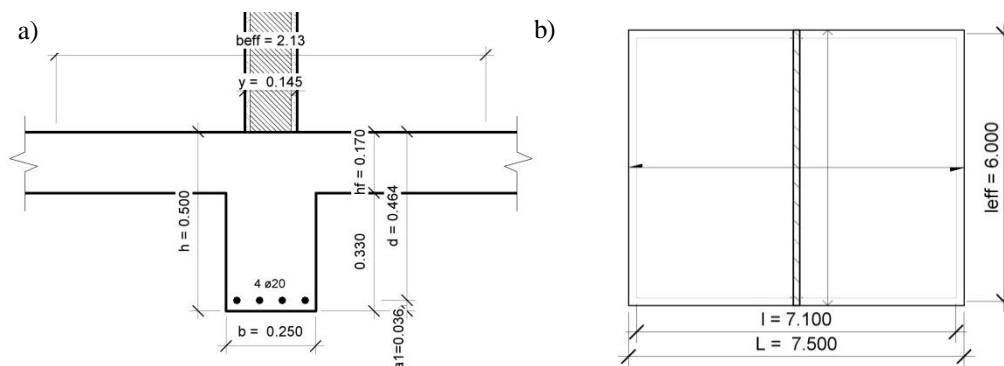
- Minimalizacja skurczu i pęcznienia betonu poprzez odpowiednią pielęgnację oraz tynkowanie ścian w możliwie najpóźniejszym okresie (wg *Misiewicz 2008* [2]).
- Stosowanie zaprawy cementowo-wapiennej: dodatek wapna zwiększa podatność muru [2].
- Stosowanie łączników na styku ściany konstrukcyjnej i nienośnej w celu ich zespolenia przy braku przewiązania ścian.
- Wykonanie warstwy poślizgowej przed rozpoczęciem murowania [1,2]: warstwa może być wykonana np. z folii polietylenowej. Ma ona za zadanie zmniejszenie tarcia pomiędzy stropem a ścianą.
- Wstępne dociążenie płyt stropowych przed wymurowaniem ścianek działowych: strop zostaje obciążony docelowym ciężarem ściany poprzez pozostawienie na nim palet z elementami murowymi oraz zaprawą w workach.
- Bruzdy i wnęki nie powinny przechodzić przez nadproża (wg Eurokodu 6 [8]): wykonywanie nacięć w nadprożu za pomocą bruzdownicy może uszkodzić zbrojenie, co uniemożliwi pracę elementu.

5. Obliczenia

Na podstawie [9,10] zostały przeprowadzone obliczenia ugięcia założonego stropu. Następnie został obliczony kąt odkształcenia postaciowego ściany opartej na tym stropie [1] oraz porównany z normową tabelą wymagań odnośnie tego kąta [11].

5.1. Założenia

- Do obliczeń przyjęto strop monolityczny o następujących parametrach:
 - klasa betonu C30/37 ($f_{ck} = 30 \text{ MPa}$, $f_{cm} = 38 \text{ MPa}$, $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$)
 - rodzaj cementu: N
 - wilgotność względna $RH = 50 \%$
 - $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
- Ścianka działowa oparta na stropie:
 - materiał: bloczki z betonu komórkowego
 - grubość $y = 11,5 \text{ cm}$
 - wysokość $z = 2,6 \text{ m}$
 - ciężar właściwy $= 5 \text{ kN/m}^3$
 - tynk cementowo wapienny $2 \times 1,5 \text{ cm}$, ciężar właściwy: 17 kN/m^3



Rys. 5. a) Przekrój poprzeczny belki b) Rzut stropu

➤ Zbrojenie:

- pręty główne: 4 $\varnothing 20$
- strzemiona: $\varnothing 6$
- moduł sprężystości stali $E_s = 200 \text{ GPa}$
- powierzchnia przekroju poprzecznego zbrojenia: $A_{s1} = 12,57 \text{ cm}^2$
- stopień zbrojenia $\rho = 0,0108$

5.2. Zestawienie obciążeń

Założono, że ściana należy do obciążeń zmiennych, lecz w pełni długotrwałych.

Tabela 2. Zestawienie obciążeń

Obciążenie charakterystyczne [kN/m]		Współczynnik [-]	Wartość obliczeniowa [kN/m]
$q_{\text{ściana}}$	1,5	1,5	2,25
q_{tynk}	1,33	1,5	2
$q_k = q_{\text{ściany}} + q_{\text{tynk}}$	2,83	1,5	4,25

Obciążenie charakterystyczne [kN/m ²]		Współczynnik [-]	Wartość obliczeniowa [kN/m ²]
$q_{\text{użytkowe}}$	2	1,5	3
q_{strop}	4,25	1,35	5,74
$q_{\text{wykończenie}}$	0,94	1,35	1,27

5.3. Momenty zginające w środkowym przekroju belki wolnopodpartej

- moment wywołany ciężarem własnym konstrukcji $M_1 = 71,72 \text{ kNm}$
- moment wywołany ciężarem warstw wykończeniowych i długotrwałą częścią obciążenia zmiennego $M_2 = 49,61 \text{ kNm}$
- moment wywołany ciężarem ścianki działowej $M_3 = 12,74 \text{ kNm}$
- moment powstający po zakończeniu wznoszenia konstrukcji $M_{\Delta} = 62,35 \text{ kNm}$
- moment pochodzący od kombinacji quasi-stałej $M_{qg} = 134,07 \text{ kNm}$

5.4. Graniczna wartość stosunku $\frac{l_{eff}}{d}$

- Efektywna szerokość belki: $b_{eff,1} = b_{eff,2} = 0,94 \text{ m} \mid b_{eff} = 2,13 \text{ m}$
- Pole przekroju poprzecznego $A_c = 1,2895 \text{ m}^2$
- $\lambda = 15,184 \mid \rho_0 = 0,0055 \mid z = 0,9d = 0,418 \mid K = 1$
- naprężenie w zbrojeniu σ_s

$$\sigma_s = \frac{M_{qg}}{zA_c} = 255,16 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$\left(\frac{l_{eff}}{d}\right)_{lim} = 0,8 \cdot \frac{310}{\sigma_s} K\lambda = 14,76 > 12,93 = \frac{l_{eff}}{d} \quad (2)$$

Wniosek: Belka ma odpowiednią wysokość.

5.5. Skurcz betonu: $\varepsilon_{cs} = 2,9985 \cdot 10^{-4}$

5.6. Pełzanie betonu

Przyjęto końcowy współczynnik pełzania $\varphi(\infty, t_0) = \varphi(\infty, 28) = 2,2$ przy założeniu, że strop zostanie obciążony po 28 dniach i w tym czasie temperatura w budynku wynosi 20°C

Opis zmiennej	Symbol	Wartość
efektywny (zależny od pełzania) moduł sprężystości betonu	$E_{c,eff}$	10GPa
stosunek modułów sprężystości stali i betonu	α_e	20
iloczyn α_e oraz stopnia zbrojenia ρ	α_1	0,0254
współczynniki pomocnicze	F	7,52
	T	0,3664
względna odległość sił w zbrojeniu A_{s1}	δ_1	$0,0547 \frac{1}{m}$

5.6.1. Faza I

Opis zmiennej	Symbol	Wartość
względny zasięg strefy ściskanej	ξ_I	0,28
moment bezwładności przekroju sprowadzonego w fazie I	J_I	$5,797 \cdot 10^{-3} m^4$
odległość zbrojenia od środka ciężkości	η_I	0,334 m
moment statyczny zbrojenia względem środka ciężkości przekroju	S_I	$4,198 \cdot 10^{-4} m^3$

5.6.2. Faza II

Opis zmiennej	Symbol	Wartość
iloczyn α_e oraz stopnia zbrojenia ρ	α_1	0,0254
współczynniki pomocnicze	F	0
	T	
	A_1	0,0254
	A_2	0,0254
względny zasięg strefy ściskanej	ξ_2	0,2014
moment bezwładności przekroju sprowadzonego w czystej fazie II	J_{II}	$4 \cdot 10^{-3} m^4$
odległość zbrojenia od środka ciężkości	η_{II}	0,371 m
moment statyczny zbrojenia względem środka ciężkości przekroju	S_{II}	$4,6635 \cdot 10^{-4} m^3$

5.7. Charakterystyka przekroju niezbrojonego

Opis zmiennej	Symbol	Wartość
położenie środka ciężkości	x	0,1314 m
moment bezwładności	J_0	0,0058 m ⁴
dolny wskaźnik wytrzymałości	W	0,0157 m ³
moment rysujący	M_{cr}	45,53 kNm
szttywność przekroju elementu zginanego w fazie I	B_I	58 MN · m ²
szttywność przekroju elementu zginanego w czystej fazie II	B_{II}	40 MN · m ²

5.8. Obciążenie momentem $M_{qg} = M_{max} = 134,07 \text{ kNm}$

Opis zmiennej	Symbol	Wartość
współczynnik dystrybucji [12]	ζ	0,9423
ugięcie według teorii fazy I	f_I	0,0087 m
ugięcie według teorii fazy II	f_{II}	0,0126 m
ugięcie spowodowane przez skurcz betonu (faza I) [12]	$f_{I,cs}$	-0,002 m
ugięcie spowodowane przez skurcz betonu (faza II) [12]	$f_{II,cs}$	-0,0031 m

$$f = (1 - \zeta)(f_I + f_{I,cs}) + \zeta(f_{II} + f_{II,cs}) = 0,9 \text{ cm} < 2,4 \text{ cm} = \frac{l_{eff}}{250} \quad (3)$$

gdzie:

f - ugięcie

5.9. Ugięcie spowodowane przyrostem momentu $M_{\Delta} = 62,35 \text{ kNm}$

$$E_{c,eff} = 32 \text{ GPa} \quad | \quad \alpha_e = 6,25 \quad | \quad \alpha_1 = 0,0677$$

Wartości współczynników F oraz T pozostają bez zmian: $F = 7,52 \quad | \quad T = 0,3664$

5.9.1. Faza I:

$$\xi_1 = 0,3097 \quad | \quad J_I = 7,288 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \quad | \quad \delta_1 = 0,1459$$

5.9.2. Faza II

Dla przekroju pozornie teowego:

$$\alpha_1 = 0,0079 \quad | \quad F = T = 0 \quad | \quad A_1 = 0,0079 \quad | \quad A_2 = 0,0079 \quad | \\ \xi_2 = 0,118 \quad | \quad J_{II} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4 \quad | \quad B_I = 233,2 \text{ MN} \cdot \text{m}^2 \quad | \quad B_{II} = 44,8 \text{ MN} \cdot \text{m}^2$$

5.10. Obciążenie momentem $M_1 = 71,72 \text{ kNm}$

$$\zeta = 0,7985 \quad | \quad f_I = 0,0012 \quad | \quad f_{II} = 0,006 \quad | \quad f = 0,005 \text{ m}$$

Przyrost ugięcia wywołany obciążeniem długotrwałym po zakończeniu wznoszenia budowli Δf :

$$\Delta f = 9,0 - 5,0 = 4,0 \text{ [mm]} < 12 \text{ mm} = \frac{l_{eff}}{500} \quad (4)$$

Dopuszczalna wartość kąta odkształcenia postaciowego θ_{dop} dla muru wykonanego z bloczków betonu komórkowego na zaprawie cementowej wg normy PN-B-03002-1999 wynosi 0,2 mm/m [11]. W sposób przybliżony wartość kąta θ_{sd} można wyznaczyć za pomocą wzoru [1]:

$$\theta_{sd} \approx \frac{\Delta f}{\frac{1}{2} l_{eff}} = 1,33 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \quad (5)$$

$$\theta_{sd} > \theta_{dop} \quad (6)$$

Z powyższych obliczeń wynika, że dla przyjętego modelu stropu jego ugięcie może spowodować uszkodzenia założonej ścianki działowej.

6. Podsumowanie

Literatura przedstawia liczne przykłady zarysowania ścian działowych w budynkach mieszkalnych. Niestety problem ten nadal jest spotykany na placach budowy. Istnieje wiele przyczyn tego zjawiska, jednak na szczęście nie jest to problem nie do rozwiązania. Poprawny projekt oraz wykonanie ścian zgodnie ze sztuką budowlaną mogą oszczędzić inwestorom stresu oraz środków finansowych przeznaczonych na naprawy uszkodzeń.

Jak wykazały obliczenia zgodne z Eurokodem EC2 ugięcie przyjętego stropu powoduje przekroczenie wartości dopuszczalnej kąta odkształcenia postaciowego obliczonego zgodnie z [1] dla założonej ścianki działowej wymurowanej na tym stropie. Wartość ta może się okazać zbyt duża aby mur mógł pozostać bez żadnych uszkodzeń.

7. Bibliografia

- [1] Drobiec Ł., Kubica J., „Zapobieganie zarysowaniom ścian murowych opartych na stropach żelbetowych”, Materiały budowlane, nr 4/2006, str. 21-23,72.
- [2] Misiewicz L., „Murwane ściany wypełniające w budynkach szkieletowych”, Materiały budowlane, nr 5/2008, str. 54-55.
- [3] Kania T., Kobusiński P., Pietraszek S., „Analiza przyczyn pęknięcia ścian działowych w nowo oddanym wysokim budynku mieszkalnym w Warszawie”. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane, Szczecin-Międzyzdroje 2011. T.2, str. 443-450.
- [4] Drobiec Ł., „Najczęstsze błędy popełniane na etapie wykonawstwa konstrukcji murowych”, Inżynier budownictwa, nr 3/2015, str. 98-105.
- [5] PN-EN 1996-2:2010: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.
- [6] PN-EN 1996-1-2:2010: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [7] Drobiec Ł., Jasiński R., „Sposoby łączenia ścian wypełniających z konstrukcją”, Materiały Budowlane, nr 4/2014, str. 14-16.

- [8] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [9] Knauff M., Obliczanie konstrukcji żelbetowych według eurokodu 2”, Wyd. PWN, 2012.
- [10] PN-EN 1992-1-1:2008: Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [11] PN-B-03002:1999: Konstrukcje murowe niezbrojone – Projektowanie i obliczanie.
- [12] Szulc J., „Ugięcia czynne stropów żelbetowych a uszkodzenia elementów do nich przylegających”, Materiały budowlane, nr 4/2013, str. 35-38.