

WZMACNIANIE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH W BUDYNKACH WIELKOPŁYTOWYCH

Dariusz TOMASZEWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok
Wydział Techniczny, Wyższa Szkoła Agrobiznesu, ul. Studencka 19, 18-402 Łomża

Streszczenie: Celem artykułu jest analiza wybranej metody wzmocnień ścian warstwowych istniejących budynków wielkopłytowych. Przedstawiono kilku sposobów wzmocnień ścian warstwowych stosowanych w praktyce budowlanej, a w szczególności system, który jest używany do wzmocniania ścian w budynkach wielkopłytowych w mieście Łomży. Jest to system COPY-ECO, dla którego przeprowadzono obliczenia statyczne kotew.

Słowa kluczowe: system OWT, wzmocnianie ścian zewnętrznych, warstwa fakturowa, wieszak, kotwa chemiczna.

1. Wprowadzenie

Potrzebą chwili jest wzmocnianie ścian warstwowych budynków wielkopłytowych. Ekspertyzy przeprowadzane w kraju, obrazują w mniejszym lub w większym stopniu zużycie techniczne elementów ścian warstwowych (Orłowski i in., 2011). Dotyczy to w głównej mierze tak zwanych „wieszaków”, które łączą ze sobą warstwy ściany, którymi są: warstwa fakturowa i warstwa konstrukcyjna oraz wypełnienie pomiędzy nimi w postaci izolacji termicznej, przeważnie styropianu. W Łomży wzmocniane są budynki wielkopłytowe wzniesione w zmodernizowanym systemie OWT-67/N, w którym ściany podłużne konstrukcyjne mają najmniejszą grubość spośród wszystkich systemów budownictwa wielkopłytowego. Wynosi ona tylko 60 mm. W związku z powyższym, zakotwienia muszą być zaprojektowane w dostosowaniu do takiej grubości ścian. Ekspertyza techniczna miała na celu ocenę stanu technicznego wieszaków i prawidłowości ich rozmieszczenia, grubości otuliny zbrojenia oraz zasięgu karbonatyzacji betonu w grupie sześciu budynków w mieście Łomży (Orłowski i in., 2011). Uchybienia głównie dotyczyły zbyt cienkiej otuliny oraz niewłaściwego rozmieszczenia wieszaków w płytach. Zdecydowano się na wzmocnienie ścian warstwowych systemem dwukotwowym COPY-ECO. W warstwowych ścianach podłużnych budynku zmieniono kąt nachylenia kotwy ukośnej z 30° do 45°. System dwukotwowy, składający się z kotwy poziomej i ukośnej, odwzorowuje kształt i pracę wieszaka.

2. Przegląd metod wzmocniania ścian zewnętrznych w budynkach wielkopłytowych

Wzmocnianie ścian zewnętrznych budynków wielkopłytowych, scharakteryzowanych szczegółowo w normie BN-79/8812-01 *Konstrukcje budynków wielkopłytowych*. Projektowanie i obliczenia statyczno-wytrzymałościowe polega na osadzeniu kotew w otworze wykonanym w betonowej konstrukcji ściany. Są one łącznikami warstwy fakturowej z warstwą konstrukcyjną (Instrukcja ITB nr 360, 1999). Przegląd metod wzmocniania ścian zewnętrznych budynków wielkopłytowych ograniczony tu został tylko do wzmocnień systemu OWT. Wymiary charakteryzujące przegrody pionowe w systemach OWT zostały zawarte w tablicy 1. Zakotwienia w systemie Wk-70 zostały omówione w pracy Krentowskiego i Tribiły (2008).

Niektóre typy zakotwień są stosowane tylko do zamocowań punktowych (rys. 1). Jest to najbardziej popularne rozwiązanie, stosowane przez większość firm budowlanych.



Rys. 1. Kotwa chemiczna HWB-H Ø22×190 mm do wzmocniania ścian zewnętrznych w budynkach wielkopłytowych (www.hilti.pl)

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.tomaszewicz@doktoranci.pb.edu.pl

Tab. 1. Grubości warstw ścian zewnętrznych w systemach OWT (Dzierżewicz i Starosolski, 2010)

Lp.	Wyszczególnienie	Grubość warstw [mm]			
		w wersji podstawowej		w wersji zmodernizowanej	
		OWT-67	OWT-75	OWT-67/N	SBP
ściany szczytowe typ Wz					
1	warstwa fakturowa	50	60	50	60
	izolacja termiczna	50	60	70	80
	warstwa wewnętrzna (konstrukcyjna)	140	150	140	150
	całkowita grubość ściany	240	270	260	290
ściany podłużne typ Z					
2	warstwa fakturowa	50	60	50	60
	izolacja termiczna	50	60	70	80
	warstwa wewnętrzna (konstrukcyjna)	60	75	60	75
	całkowita grubość ściany	160	195	180	215
filarki międzyokienne (lekkie ścianki osłonowe jako płyty szkieletowe)					
3	okładzina zewnętrzna i wewnętrzna	6 + 12 = 18	6 + 12 = 18	6 + 12 = 18	6 + 12 = 18
	izolacja termiczna	50	60	70	80
	razem	68	78	88	98

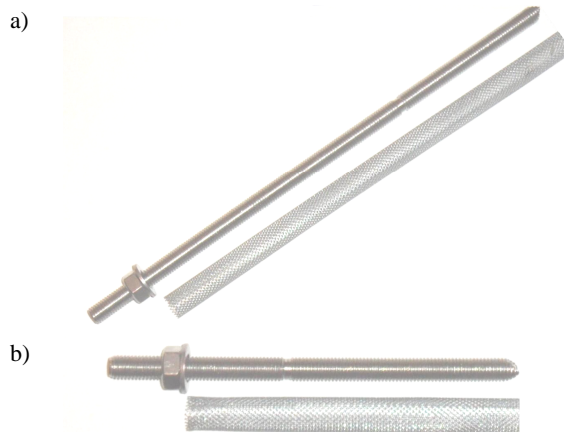
Kotwa HWB do zamocowań poziomych jest dopuszczona do stosowania we wszystkich systemach płyt trójwarstwowych, na przykład: W-70; Wk-70; OWT-67/N; WUF-T czy też System Szczeciński. Należy montować ją w podłożu betonowym o klasie nie niższej niż B 15 (C 12/15) (www.hilti.pl). Kotwy chemiczne HWB posiadają Aprobata Techniczną ITB AT-15-6173/2010.

System COPY-ECO składa się z dwóch kotew: poziomej i ukośnej. Odwzorowują one pracę wieszaka, a ich konstrukcja pozwala na montaż w ścianach, których warstwa konstrukcyjna posiada ma zaledwie 70 mm grubości. Rozwiązanie COPY-ECO może być stosowane między innymi w budynkach wykonanych w systemach w W-70 i OWT. System wzmocnienia ścian warstwowych budynków wielkopłytowych COPY-ECO posiada Aprobata Techniczną ITB AT-15-6916/2009. Widok kotew COPY-ECO do wzmocnienia płyt balkonowych oraz ścian osłonowych i szczytowych jest przedstawiony na rysunkach 2 i 3.

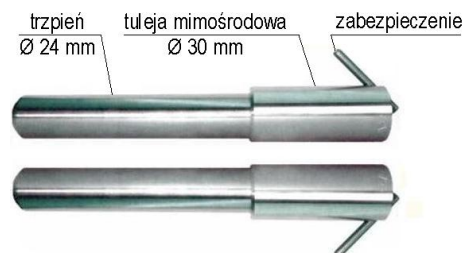
Innym rodzajem wzmocnień ścian zewnętrznych są kotwy EJOT WSS (<http://www.ejot.pl>). Kotwy EJOT WSS (rys. 4) wykonane są z wysokogatunkowej stali nierdzewnej, która gwarantuje niezmiennosc swoich parametrów przez minimum 60 lat. Stosować je należy w podłożu betonowym (zarówno zarysowanym jak i niezarysowanym) o klasie betonu nie niższej niż B15 (C12/15). Kotwy EJOT WSS mają Aprobata Techniczną ITB AT-15-4836/2011 oraz Europejską Aprobata Techniczną ETA-99/0007.



Rys. 2. Widok kotwy wzmocniającej M20x330 mm COPY-ECO stosowanej przy wzmocnianiu płyt balkonowych



Rys. 3. Widok systemu kotew COPY-ECO wzmocniających zewnętrzne płyty ścienne budynków wielkopłytowych: a) kotew pozioma M12x190 mm, b) kotew ukośna M12x330 mm

Rys. 4. Widok ogólny kotew EJOT WSS do wzmocnienia ścian trójwarstwowych (www.ejot.pl)

- Obliczenie pola powierzchni docisku

$$A_{c0} = 36\text{mm} \cdot 76\text{mm} = 1584\text{mm}^2 = 15,84\text{cm}^2$$

- Sprawdzenie stanu granicznego nośności przekroju poddanego działaniu obciążeń miejscowych według PN-B-032064:2002:

$$N_{Sd} \leq N_{Rd} = \alpha_u \cdot f_{cud} \cdot A_{c0} \quad (2)$$

gdzie: N_{Sd} jest siłą działającą prostopadle na powierzchnię docisku A_{c0} , wyznaczoną dla miarodajnej kombinacji obciążeń obliczeniowych w kN, N_{Rd} jest nośnością obliczeniową z uwagi na siłę podłużną w kN, f_{cud} jest wytrzymałością betonu na docisk w MPa, zaś współczynnik α_u zależy od rozkładu obciążenia na powierzchni docisku i wyznaczany jest według wzoru:

$$\alpha_u = \frac{1}{3} \cdot \left(2 + \frac{\sigma_{u,\min}}{\sigma_{u,\max}} \right) \quad (3)$$

$$\alpha_u = \frac{1}{3} \cdot \left(2 + \frac{5,21\text{MPa}}{7,91\text{MPa}} \right) = 0,886$$

gdzie: $\sigma_{u,\min}$ są to minimalne naprężenia docisku w kPa, $\sigma_{u,\max}$ są to maksymalne naprężenia docisku w kPa.

Zgodnie z Aprobata Techniczną AT-15-6916/2009 przyjęto nośność obliczeniową kotwy M12 równą $N = 12,5\text{kN}$ i obliczono:

$$\sigma_{u,\min} = \frac{N}{A_{c1}} = \frac{12,50\text{kN}}{0,0024\text{m}^2} = 5,21\text{MPa}$$

$$\sigma_{u,\max} = \frac{N}{A_{c0}} = \frac{12,50\text{kN}}{0,00158\text{m}^2} = 7,91\text{MPa}$$

- Wytrzymałość betonu na docisk obliczono według wzoru:

$$f_{cud} = v_{cu} \cdot f_{cd} \quad (4)$$

gdzie: f_{cd} jest wytrzymałością charakterystyczną betonu klasy C12/15 na ściskanie równą $f_{cd} = 8,0\text{MPa}$, v_{cu} jest współczynnikiem korekcyjnym do wytrzymałości obliczeniowej betonu w przypadku działania obciążeń miejscowych, obliczonym według wzoru

$$v_{cu} = \omega_u - \frac{\sigma_{cum}}{f_{cd}} \cdot (\omega_u - 1) \quad (5)$$

- Wyznaczenie naprężenia średniego na powierzchni rozdziału

$$\sigma_{cum} = \frac{N}{a_d \cdot b_d} = \frac{\sigma_{u,\min} + \sigma_{u,\max}}{2} = 6,56\text{MPa} \quad (6)$$

Określenie wartości współczynnika korekcyjnego:

$$v_{cu} = 1,231 - \frac{6,56\text{MPa}}{8,0\text{MPa}} \cdot (1,231 - 1) = 1,13$$

Zatem wytrzymałość betonu na docisk wynosi:

$$f_{cud} = 1,13 \cdot 15,0\text{MPa} = 16,95\text{MPa}$$

$$N_{Sd} = 21,26\text{kN}$$

$$\leq N_{Rd} = 0,886 \cdot 16,95\text{N/mm}^2 \cdot 1584\text{mm}^2 = 23,78\text{kN}$$

Warunek SGN przekroju poddanego obciążeniom miejscowym został spełniony.

- Wyznaczenie ugięcia stalowego łącznika

$$y = \frac{M_{Sd} \cdot l_t^2}{3EJ} = \frac{V_{Sd} \cdot (1,1 \cdot l_o)^3}{3 \cdot W_{el}} \leq 2\text{mm} \quad (7)$$

$$l_o = h_i + 0,5 \cdot h_f \quad [\text{mm}] \quad (8)$$

$$l_o = 50\text{mm} + 0,5 \cdot 50\text{mm} = 75\text{mm}$$

gdzie: V_{Sd} jest to wartość obliczeniowa zewnętrznej siły ścinającej od ciężaru własnego warstwy fakturowej i wewnętrznej izolacji termicznej w kN, W_{el} jest wskaźnikiem wytrzymałości przekroju kotwy M12, przyjętym według Katalogu technicznego firmy Koelner (2012) i równym $W_{el} = 109,20\text{mm}^3$, l_o jest długością wspornika stalowego łącznika w mm, h_i jest grubością wewnętrznej warstwy izolacji termicznej i wynosi $h_i = 50\text{mm}$, h_f jest grubością warstwy fakturowej ściany i wynosi $h_f = 50\text{mm}$.

- Wyznaczenie niezbędnej liczby dodatkowych łączników

$$n = \frac{G_{d,1} + G_{d,2}}{N} \geq 2 \quad (9)$$

gdzie: $G_{d,1}$ jest wartością obliczeniową obciążenia ciężarem własnym warstwy fakturowej i ciężarem wewnętrznej warstwy termoizolacyjnej oraz dodatkowej warstwy termoizolacyjnej przy termorenowacji ścian w kN, $G_{d,2}$ jest wartością obliczeniową obciążenia ciężarem własnym dodatkowej warstwy termoizolacyjnej w kN, N jest nośnością obliczeniową połączenia, wyznaczoną z warunku wytrzymałości betonowego podłoża lub ugięcia stalowego łącznika w kN.

Następnie sporządzono zestawienie obciążeń stałych od ścian zewnętrznych systemu OWT-67/N przykładowego budynku wielokopłtowego zlokalizowanego w Łomży (tab. 2).

Tab. 2. Zestawienie obciążeń stałych od ścian zewnętrznych systemu OWT-67/N

Lp.	Obciążenie	Wartość charakterystyczna	Współczynnik obciążenia γ	Wartość obliczeniowa
1	Warstwa fakturowa grubości 5 cm: $0,05 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3$	1,25 kN/m ²	1,1	1,375 kN/m ²
2	Warstwa docieplenia ze styropianu grubości 6 cm: $0,06 \text{ m} \cdot 0,45 \text{ kN/m}^3$	0,027 kN/m ²	1,2	0,032 kN/m ²
3	Zaprawa klejąca z wtopioną siatką zbrojącą z włókna szklanego i wykończeniowa cienkowarstwowa wyprawa zewnętrzna klejowo – tynkarska: $0,005 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3$	0,11 kN/m ²	1,3	0,143 kN/m ²
Razem: $q_d = 1,55 \text{ kN/m}^2$				

- Obliczono ciężar całkowity płyty ściennej szczytowej o wymiarach $4,97 \times 2,76 \text{ m}$

$$G = V = 4,97 \text{ m} \cdot 2,76 \text{ m} \cdot 1,55 \text{ kN/m}^2 = 21,26 \text{ kN}$$

- Określono obliczeniowe obciążenie poziome w_o od ssania wiatru według zależności

$$w_o = 1,3 \cdot C \cdot q_k \cdot \beta \cdot \chi_w \quad (10)$$

$$w_o = 1,3 \cdot (-0,7) \cdot 0,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,8 \cdot 0,8 = -0,3276 \text{ kN/m}^2$$

gdzie: C jest współczynnikiem aerodynamicznym według PN-77/B-02011 *Obciążenia w obliczeniach statycznych*. Obciążenie wiatrem, przyjęto $C = -0,7$, q_k jest charakterystycznym ciśnieniem prędkości wiatru dla I strefy obciążenia, przyjęto $q_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$, β jest współczynnikiem działania porywów wiatru, przyjęto $\beta = 1,8$, χ_w jest współczynnikiem przeliczeniowym zmiany nierównomiernego rozkładu ciśnienia prędkości wiatru na rozkład równomierny, uwzględniającym współczynnik ekspozycji, przyjęto $\chi_w = 0,8$.

- Obliczono obciążenie poziome od ssania dla płyty

$$w_o = -0,3276 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,97 \text{ m} \cdot 2,76 \text{ m} = -4,49 \text{ kN}$$

- Ugięcie kotwy stalowej obliczono według wzoru (7)

$$y = \frac{21670 \text{ N} \cdot (1,1 \cdot 75 \text{ mm})^3}{3 \cdot 210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 2034,72 \text{ mm}^4} = 7,84 \text{ mm} > 2 \text{ mm}$$

gdzie: E jest modułem sprężystości podłużnej (Younga) pręta stalowego kotwy M 12 równym $E = 210 \text{ GPa} = 210000 \text{ N/mm}^2$, J jest momentem bezwładności dwóch kotew M12, wynoszącym:

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot (12 \text{ mm})^3}{64} = 2034,72 \text{ mm}^4$$

Wniosek z obliczeń jest następujący: Warunek dla momentu bezwładności dwóch kotew nie został spełniony.

Wobec czego zaprojektowano zastosowanie ośmiu kotew M12.

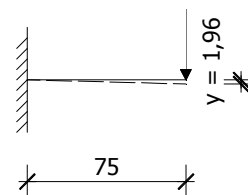
- Wyznaczenie ugięcia kotwy stalowej (rys. 8)

$$y = \frac{21670 \text{ N} \cdot (1,1 \cdot 75 \text{ mm})^3}{3 \cdot 210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 8138,88 \text{ mm}^4} = 1,96 \text{ mm} < 2 \text{ mm}$$

gdzie J jest momentem bezwładności obliczonym dla ośmiu kotew M12:

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot (12 \text{ mm})^3}{64} = 8138,88 \text{ mm}^4$$

Wniosek z powtórnych obliczeń: Warunek dla momentu bezwładności ośmiu kotew został spełniony



Rys. 8. Schemat ugięcia stalowego wspornika w płycie szczytowej

Na koniec ustalono niezbędną liczbę dodatkowych łączników zgodnie ze wzorem (9):

$$n = \frac{G}{N} = \frac{21,26 \text{ kN}}{12,50 \text{ kN}} = 1,70$$

Okazało się, że w badanej płycie należy zamontować jeszcze dwie dodatkowe kotwy.

4. Interpretacja obliczeń na podstawie Eurokodu 2

Obliczenia według PN-EN 1992-1-1:2008 *Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków* czyli Eurokodu 2 (EC2) mają zastosowanie tylko do konstrukcji z betonu o minimalnej klasie C20/25. Płyty OWT z wybranej grupy budynków nie spełniały tych wymagań, zatem obliczenia zostały przedstawione dla betonu klasy C 20/25.

- Określenie nośności na docisk na podstawie EC2 i normy niemieckiej DIN 1045-1:2008-08

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3,3 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} \quad (11)$$

gdzie f_{cd} jest obliczeniową wytrzymałością na ściskanie betonu klasy C20/25 (B25), obliczoną według wzoru:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20MPa}{1,5} = 13,3MPa \quad (12)$$

gdzie: f_{ck} jest wytrzymałością charakterystyczną betonu na ściskanie; ponieważ według wytycznych do Europejskich Aprobatach Technicznych minimalną klasą betonu w płytach zewnętrznych powinna być klasa C20/25, przyjęto $f_{ck} = 20,0$ MPa, γ_c jest częściowym współczynnikiem bezpieczeństwa dla betonu według PN-B-03264:2002, przyjęto $\gamma_c = 1,5$.

Wartość współczynnika ω określająca zwiększenie wytrzymałości betonu na ściskanie została określona w sposób następujący:

$$\omega = \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 3,3 \quad (13)$$

$\omega = 3,3$ jest to wartość przyjmowana jako wiążąca w krajach Unii Europejskiej.

Wartość wyznaczona dla systemu dwukotwowego:

$$\omega_u = \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = \sqrt{\frac{24,0cm^2}{15,84cm^2}} = 1,231 < 2,5$$

Wartość współczynnika ω wyznaczana jest też zgodnie z wyrażeniami przedstawionymi przez Bauschingera, Gwozdiewa (Kamiński, 1996) oraz według norm:

- francuskiej

$$\omega = 4 - 5 \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} + 2 \cdot \frac{A_{c1}}{A_{c0}} \quad (14)$$

- niemieckiej oraz polskiej zgodnie ze wzorem (13).
- Obliczenie nośności na docisk według EC2 według wzoru (11)

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \omega = 0,001584m^2 \cdot 13,3MN/m^2 \cdot 1,231 = 25,91kN$$

- Sprawdzenie warunku nośności na docisk

$$F_{Rdu} = 25,91kN \leq 3,3 \cdot 10,67MN/m^2 \cdot 0,001584m^2 = 55,77kN$$

Wniosek z obliczeń jest następujący: Warunek nośności na docisk został spełniony

5. Podsumowanie

Spośród szerokiej gamy dostępnych łączników (kotew) do wzmacniania ścian warstwowych budynków wielkopłytowych często używany jest system COPY-ECO. Jest to system dwu kotew: poziomej i ukośnej, mający na celu „odwzorowanie” układu i pracy tak zwanej „wieszaków”, czyli prętów zbrojeniowych, łączących warstwę fakturową z warstwą konstrukcyjną. Pozostałe opisane systemy są również wykorzystywane przy wzmocnieniach budynków wielkopłytowych i bez wątplenia mają swoje zalety, jednak poza analizowanym systemem mają one jedynie charakter wzmocnień punktowych.

Autor artykułu obecnie prowadzi badania, których celem jest określenie nośności łączników COPY-ECO na wrywanie (metoda niszcząca) na obiekcie w terenie oraz w warunkach laboratoryjnych. Planowane jest też przeprowadzenie próby wrywania kotwy ukośnej z zastosowaniem specjalnie do tego celu wykonanego stelażu.

Literatura

- Dzierżewicz Z., Starosolski W. (2010). Systemy budownictwa wielkopłytowego w Polsce w latach 1970-1985. *Wolters Kluwer business*. Warszawa.
- Instrukcja ITB nr 360/99 (1999). Badania i ocena betonowych płyt warstwowych w budynkach mieszkalnych. Warszawa.
- Instrukcja ITB nr 374/2002 (2002). Metodyka oceny stanu technicznego wielkopłytowych warstwowych ścian zewnętrznych. Dodatkowe połączenia warstwy fakturowej z warstwą konstrukcyjną wielkopłytowych ścian zewnętrznych. Warszawa.
- Kamiński M. (red.) (1996). Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych według Eurokodu 2. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa – Wrocław.
- Katalog techniczny firmy KOELNER S.A. (2012). Edycja 7, www.koelner.pl
- Krentowski J., Trybiłło R. (2008). Usuwanie stanów zagrożenia zewnętrznych ścian warstwowych budynków mieszkalnych. *Przegląd Budowlany*, 2/2008, 34-39
- Orłowski Z., Orłowski M., Wasilewski A., Tomaszewicz D. (2011). Ocena stanu technicznego wieszaków mocujących warstwę fakturową w budynkach ŁSM w Łomży. Białystok, wrzesień 2011.

REINFORCING OF THE EXTERNAL WALL IN THE BUILDINGS OF LARGE SLAB

Abstract: The topic of the paper is to analyze the chosen method of reinforcing of the walls in the existing buildings with layered walls. The paper presents several methods of layered wall reinforcements used in construction practice and, in particular, the system, which is used to strengthen of the walls for panel buildings in Lomza. It is the COPY-ECO system, for which the calculations of static anchors were carried out.