

Mury skrzepowane – cz. I: Obliczanie sztywności ścian metodą kratownicową

Ściany skrzepowane stosowane są bardzo powszechnie na terenach poddanych wpływom sejsmicznym jako antidotum na nadmierne zarysowanie, przemieszczenia i utratę integralności konstrukcji. W ujęciu konstrukcyjnym ściany skrzepowane, podobnie jak i te w budynkach o tradycyjnej konstrukcji, oprócz roli ścian obciążonych głównie pionowo, mogą służyć do usztywniania konstrukcji. W pracy przedstawiono autorską propozycję algorytmu wyznaczania sztywności pojedynczego pola ściany skrzepowanej bez otworów oraz z otworami.

Korzystny wpływ połączenia murejowanej ściany z betonem został po raz pierwszy zaobserwowany w Europie, Azji i USA [1] po serii trzęsień ziemi w pierwszej połowie XX w. W wyniku trwałego połączenia muru z elementami żelbetowymi deformacje ściany skrzepowanej wyraźnie różnią się od odkształceń ściany wypełniającej szkielet, w którym rama oddziałuje ze szkieletem wyłącznie w narożach [2]. W ścianie skrzepowanej [3–5] we wstępnej fazie obciążenia deformacja muru oraz elementów krępujących jest identyczna. Po odspojeniu się muru od elementów żelbetowych poziome siły przekazywane są na mur przez naroża elementów żelbetowych. Jednocześnie na mur przekazywane jest obciążenie pionowe ze stropów.

Konsekwencją współpracy muru z elementami krępującymi jest zmiana mechanizmu zarysowania i sposobu zniszczenia [3]. Do chwili zarysowania ściana skrzepowana pracuje sprężysto, a sztywność konstrukcji jest największa. Po zarysowaniu wypełnienia murowego lub pionowych styków muru i żelbetowych elementów krępujących występuje degradacja sztywności. Przy maksymalnym obciążeniu pojawiają się rysy wzdłuż przekątnej muru oraz w obciążonym narożu ściany. Mogą także powstać poziome rysy wzdłuż mimośrodowo rozciąganego rdzenia żelbetowego. Po osiągnięciu maksimum obserwowany jest wyraźny wzrost przemieszczeń przy malejącym obciążeniu. Powstałe wcześniej ukośne rysy w murze dzielą ścianę na dwie tarcze. W chwili zniszczenia o sztywności

prof. dr hab. inż. Radosław Jasiński

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

dr inż. Krzysztof Grzyb

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

ściany skrzepowanej decydują tylko siły tarcia w powstałych rysach oraz siły zązębienia się zbrojenia w narożu rygla i rdzeni.

Ściana skrzepowana ma wiele cech wspólnych z niezbrojoną [6] i zbrojoną ścianą murową oraz ze ścianą wypełniającą szkielet [7, 8]. W sprężystym stadium pracy, kiedy mur jest w pełni zespolony z elementami krępującymi, deformacje ściany są podobne do deformacji ściany niezbrojonej lub zbrojonej. **Interakcja muru z otaczającym żelbetem prowadzi do ukształtowania się ściskanego krzyżulca, podobnie jak w murze wypełniającym szkielet.** Cechy zachowania się ściany skrzepowanej wspólne z innymi typami murowych usztywnień powodują, że modele teoretyczne nawiązują do wszystkich innych opracowanych modeli wykorzystywanych do ścian niezbrojonych i zbrojonych oraz murów wypełniających szkielety.

Artykuł stanowi kontynuację wcześniejszych publikacji autorów [9, 10] dotyczących ścian skrzepowanych. Tym razem **podjęto próbę budowy procedury wyznaczania sztywności jednokondygnacyjnej ściany skrzepowanej służącej do rozdziału obciążeń.** W kolejnej części przedstawione zostaną metody sprawdzania warunków ULS ściany skrzepowanej poddanej ścinaniu.

USTALENIA EUROKODU 6

W aktualnych przepisach [11] oraz w nowszej edycji normy [12] nie sformułowano żadnych wytycznych dotyczących analiz ścian usztywniających o konstrukcji skrzepowanej. W normie [12] w pkt. 7.5.7 i 8.10 ograniczono się wyłącznie do podania ogólnych zasad sprawdzania warunków ULS na ścianie i ścinanie, bez podania reguł wyznaczania sztywności oraz rozdziału obciążeń. Także w innych normach pochodzących z Europy, w okresie poprzedzającym unifikację przepisów projektowania, nie formułowano żadnych wytycznych umożliwiających rozdział obciążeń z uwzględnieniem specyfiki konstrukcji skrzepowanych i murów wypełniających szkielety.

USTALENIA NORM FEMA 306 I FEMA 274

Metod analizy ścian usztywniających w budynkach ze ścianami skrzepowanymi jest bardzo niewiele. Zalecenia dotyczą głównie modeli nośności [13], a do rozdziału obciążeń potrzebne są informacje dotyczące sztywności elementów usztywniających. Dlatego tylko zgodnie z zaleceniami norm, według których nośność wyznacza się, stosując model kratownicowy ST, można określić sztywności ściany skrzepowanej. Tego typu rozwiązanie zawarto w normach FEMA 306 [14] i FEMA 274 [15], zgodnie z którymi w identyczny sposób można analizować ściany wypełniające szkielet według schematu pokazanego na rys. 1. **Dopuszczono przyjęcie ukośnego krzyżulca pokrywającego się z przekątną muru w obliczeniach służących do sprawdzania warunków SLS**

i wyznaczania sztywności. Z kolei w celu uwzględnienia powstających mimośródów w słupach i ryglach rozpatrzono dwa rozwiązania pokazane na rys. 1. Wyraźnie wskazano, że murowe wypełnienie może być uwzględnione w obliczeniach wtedy, gdy początkowa wytrzymałość na ścinanie spełnia warunek $\tau_0 \geq 0,34 \text{ N/mm}^2$.

Szerokość murowego krzyżulca wyznaczać można z zależności:

$$a = 0,175(\lambda_1 h_{\text{col}})^{-0,4} d \quad (1)$$

gdzie:

d – długość krzyżulca (przekątnej murowego wypełnienia) obliczana jako:

$$d = \sqrt{h_n^2 + l_n^2} \quad (2)$$

W modelu column-to-column długość kontaktu krzyżulca z rygłem jest równa:

$$l_{\text{beff}} = \frac{a}{\cos \theta_b} \quad (3)$$

Natomiast w modelu beam-to-beam wynosi:

$$l_{\text{ceff}} = \frac{a}{\cos \theta_c} \quad (4)$$

λ_1 – współczynnik obliczany według zależności:

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{E_m t \sin 2\theta}{4 E_{\text{col}} I_{\text{col}} h_m}} \quad (5)$$

θ_b , θ_c – pochylenie krzyżulców według rys. 1.

Zgodnie z wspomnianymi normami nośność ściskanego krzyżulca należy określać według następujących zależności:

$$R_s = \frac{(\tau_0 + \mu \sigma_y) l t}{\cos \theta} \quad - \text{ściananie}$$

$$R_{dt} = 2 \sqrt{2} t h_n f'_t \cos \theta \quad - \text{rozciąganie} \quad (6)$$

$R_{cc} = a t f'_{m90}$ – poziome ściskanie

gdzie:

τ_0 – początkowa wytrzymałość na ścinanie muru,

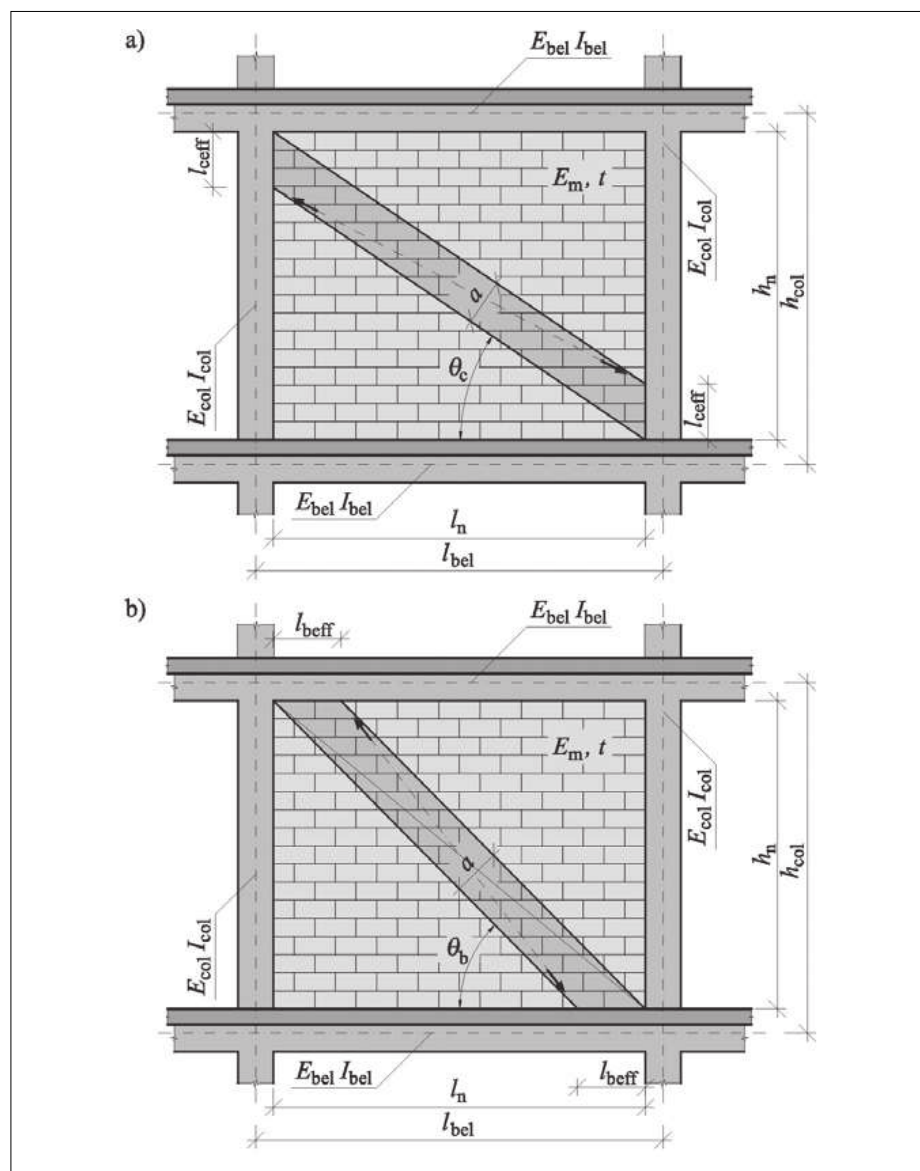
μ – współczynnik tarcia zaprawy w spoinie wspornej,

f'_t – wytrzymałość na rozciąganie muru,

f'_{m90} – wytrzymałość na ściskanie w kierunku równoległym do płaszczyzny spoiny wspornej.

ALGORYTM OKREŚLANIA SZTYWNOŚCI METODĄ S-T

Analogicznie do ścian murowych wypełniających szkielety w analizach ścian skrzepowanych [8] stosuje się modele prętowe



Rys. 1. Model ramy z wypełnieniem murowym według norm FEMA 306 [14] i FEMA 274 [15]: a) model służący do wyznaczania mimośródów w ryglach (beam-to-beam), b) model służący do wyznaczania mimośródów w słupach (column-to-column)

(kratownicowe) oraz modele tarczowe. W większości norm projektowania sformułowano warunki ULS, a tematyka sztywności ścian skrzepowanych nie została ujęta.

W wypadku modeli kratownicowych ścian skrzepowanych jakiegokolwiek zapisy dotyczące sztywności znaleźć można w normach stosowanych poza Europą. W zasadzie modele tarczowe nie zostały ujęte w żadnych przepisach, prawdopodobnie ze względu na brak jednoznacznych poglądów w zakresie interakcji muru i żelbetowych elementów krępujących. W dalszej części artykułu przedstawiono autorskie podejście do wyznaczania sztywności ściany skrzepowanej metodą kratownicową.

Metoda kratownicowa służąca do wyznaczania sztywności i rozdziału obciążeń może być również stosowana do sprawdzania warunków ULS ściany skrzepowanej, identycznie jak ściany wypełniającej. Przy zespoleniu muru i elementów żelbetowych ram (elementów krępujących) w normach amerykańskich FEMA 306 [14] i FEMA 274 [15] zaproponowano zastąpienie muru ściskanym krzyżulcem o szerokości obliczanej według wzoru:

$$a = 0,175 d \left(h_{\text{col}} \sqrt[4]{\frac{E_m t \sin 2\theta}{4 E_{\text{col}} I_{\text{col}} h_m}} \right)^{-0,4} \quad (7)$$

gdzie:

d – długość krzyżulca równa długości murowego wypełnienia wynosząca:

$$d = \sqrt{h_m^2 + l_m^2} \quad (8)$$

Określona w ten sposób szerokość krzyżulca jest co najmniej o 50% mniejsza od szerokości krzyżulca wyznaczonego w murze wypełniającym szkielec. Wynika to oczywiście z założenia, że w murze skrzepowanym wydzielony krzyżulec działa tylko z pionowymi elementami krępującymi, a dodatkowo występują naprężenia ściskające z wyższych kondygnacji.

Drugą istotną różnicą w stosunku do murów wypełniających szkielec jest to, że w miejsce ramy reprezentującej szkielec wprowadza się klasyczną kratownicę (model ST). **Wyznaczanie sztywności jednopolowej ściany skrzepowanej** (rys. 2a) **polega na zastąpieniu konstrukcji składającej się z pionowych rdzeni i muru kratownicą złożoną z pionowego rdzenia (pręt T) i ukośnego krzyżulca (pręt S) połączonych przegubowo** – rys. 2b, 2c.

W normie [15] nie podano, w jaki sposób uwzględnić proporcje wymiarów ściany oraz udział pionowego obciążenia na stropie. Za pracę [16], przy łącznym działaniu obciążeń poziomych i pionowych (ze stropów), pochylenie krzyżulca można obliczyć z następujących zależności:

$$\theta = \begin{cases} 81,47\theta_0^{-(5,87\mu+0,42)} \rightarrow \\ 1,118\theta_0\mu^{(0,455\theta_0-0,547)} \rightarrow \end{cases} \quad (9)$$

$$\rightarrow h_{col}/l_{bel} \leq 1, \mu < 2$$

$$\rightarrow h_{col}/l_{bel} > 1, \mu \geq 2$$

gdzie:

θ_0 – kąt pochylenia przekątnej ściany wyrażony w radianach,

μ – stosunek poziomego obciążenia ścinającego P i sumarycznego obciążenia pionowego ściany G + Q.

Wartość przesunięcia l_t dolnego węzła krzyżulca względem naroża ściany określa następująca zależność:

$$l_t = \begin{cases} -(7,74\mu + 1,48)(h_{col}/l_{bel}) + \\ (3,70\mu + 1,20)(h_{col}/l_{bel}) - \\ + 2,59\mu + 2,81 \rightarrow h_{col}/l_{bel} \leq 1 \quad (10) \\ - 9,61\mu + 2,56 \rightarrow h_{col}/l_{bel} > 1 \end{cases}$$

Przy rozdziale obciążeń na ściany usztywniające modyfikacja pochylenia oraz położenia dolnego węzła ściskanego krzyżulca nie jest konieczna, ponieważ uwzględniane jest tylko poziome obciążenie. Dodatkowej korekty kształtu kratownicy można dokonać przy sprawdzaniu warunków ULS.

Poziome przemieszczenie ramy o dowolnym pochyleniu krzyżulca można wyznaczyć ze wzoru:

$$\Delta = \frac{Ph_{col} \tan^2 \theta}{E_{col} A_{col}} + \frac{Ph_{col}}{E_m A_d \sin \theta \cos^2 \theta} \quad (11)$$

gdzie:

$A_d = a_{tm}$ – pole powierzchni poprzecznego przekroju ściskanego krzyżulca,

$P = 1 \text{ kN}$.

Sztywność kratownicy pokazanej na rys. 2b i 2c jest równa:

$$K = \frac{(E_{col} A_{col})(E_m A_d) \sin \theta \cos^2 \theta}{h_{col}(E_m A_d) \sin^3 \theta + h_{col}(E_{col} A_{col})} \quad (12)$$

Siłę w ściskanym krzyżulcu można wyznaczyć z zależności:

$$N = \frac{E_m A_d}{d^2} l_{bel} \Delta \quad (13)$$

Rozwiązania dotyczące ścian skrzepowanych z otworami okiennymi i drzwiowymi można podzielić na dwie grupy:

- grupa I – ściany skrzepowane, w których otwory nie są skrzepowane;
- grupa II – ściany skrzepowane, w których otwory są skrzepowane.

W wypadku ścian grupy I otwór ma pole powierzchni mniejsze od wartości maksymalnej równej – według normy [11] – $1,5 \text{ m}^2$. W tych przypadkach wystarczającym sposobem uwzględniania obecności otworów jest zastosowanie procedury proponowanej w normie ASCE/SEI 41-13 [17], polegającej na zredukowaniu sztywności ściany bez otworów według zależności:

$$K_{ini}^{opening} = \left(1 - 2 \frac{A_{op}}{A_w}\right) K_{ini}^{solid} \quad (14)$$

gdzie:

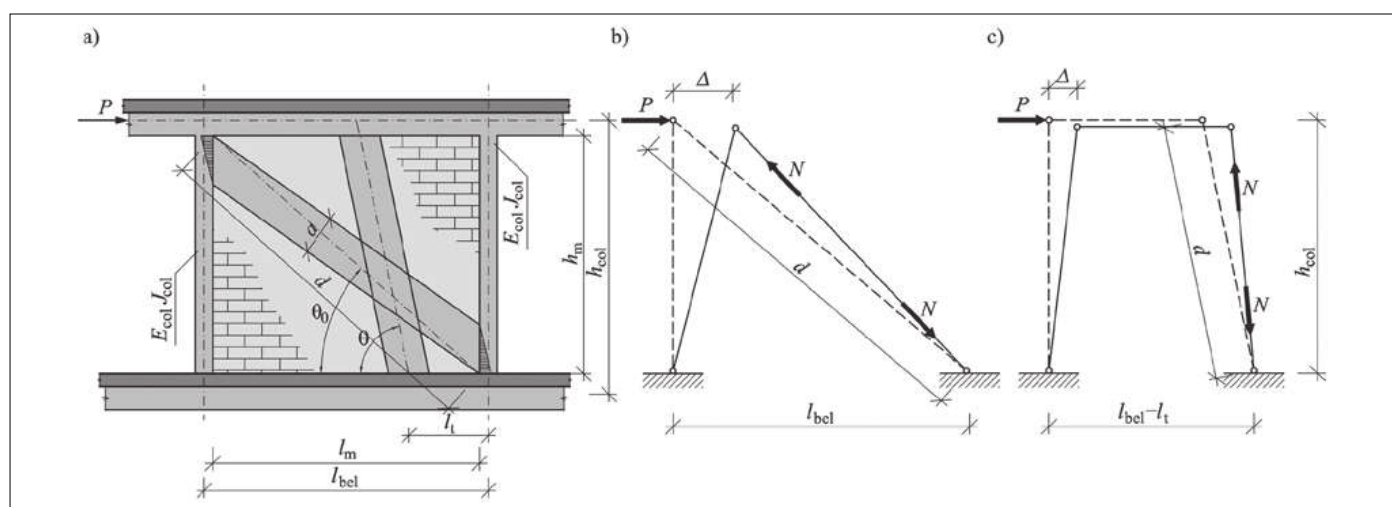
A_{op} – pole powierzchni otworów,

A_w – pole powierzchni poprzecznego przekroju ściany wypełniającej,

K_{ini}^{solid} – sztywność kratownicy obliczona bez obecności otworów według wzoru (12).

Jeżeli $A_{op} \geq 0,5 A_w$, wówczas w rozpatrywanym polu ściany można pominąć występowanie ściskanego krzyżulca.

W wypadku ścian skrzepowanych grupy II, kiedy otwory są otoczone żelbetowymi elementami krępującymi, przebieg prętów zależy od proporcji wymiarów składowych elementów ścian – pasm ściennych,



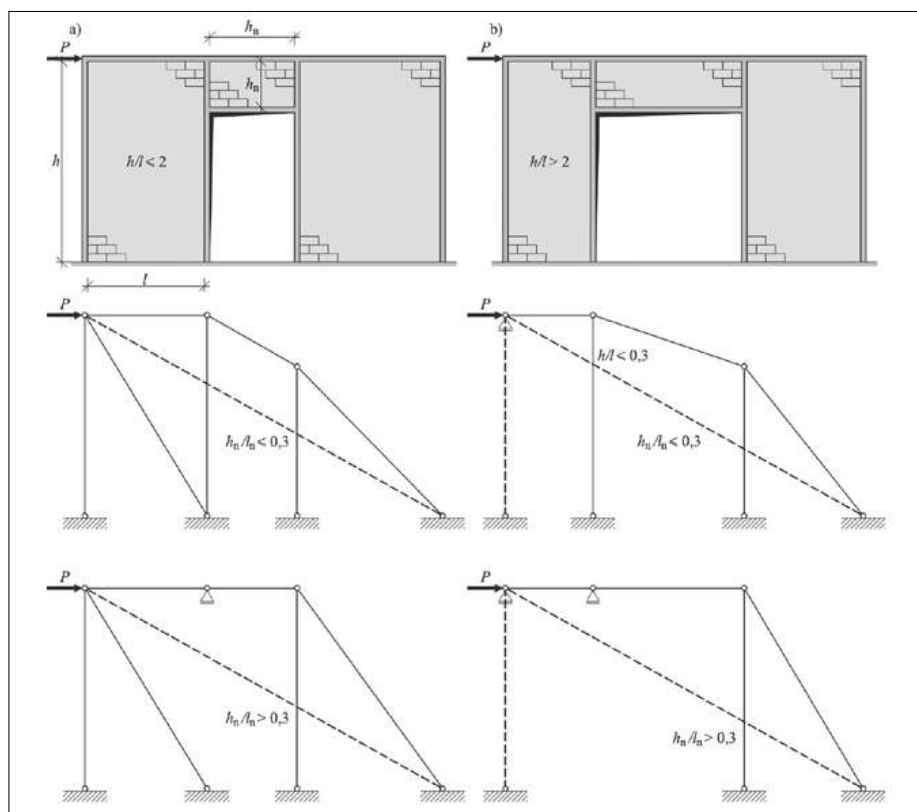
Rys. 2. Kratownicowy model jednokondygnacyjnej ściany skrzepowanej: a) geometria i oznaczenia, b) model S-T ściany smukłej $h_{col}/l_{bel} > 1,0$, c) model S-T ściany krępej $h_{col}/l_{bel} < 1,0$

nadproży oraz pasów otworowych, a także konstrukcji stropów. W żadnych przepisach nie sformułowano wiarygodnych wytycznych, dlatego można posługiwać się zaleceniami dostępnymi w literaturze. W publikacji [18] sformułowano obiektywne zalecenie pozwalające na budowę modelu S-T ściany z różnymi typami otworów.

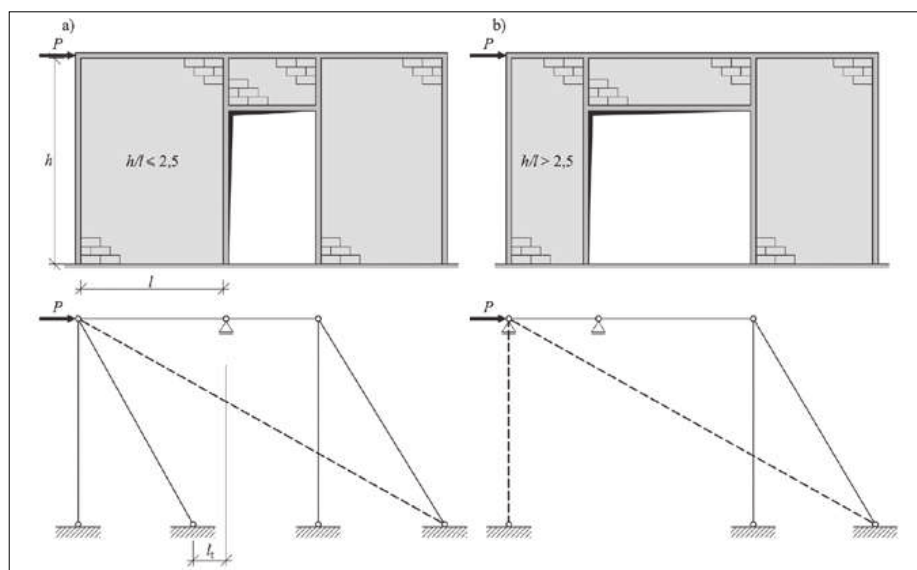
Jeżeli chodzi o ścianę z pojedynczym otworem drzwiowym, w której skrajny panel ma proporcje wymiarów $h/l \leq 2$, a strop jest podatny, można w tym panelu zamodelować ukośny krzyżulec (rys. 3a). W wypadku ściany ze sztywnym stropem należy zamodelować panel 1 jako ukośny krzyżulec, gdy proporcje wymiarów są równe $h/l \leq 2,5$ (rys. 4a).

Gdy strop jest podatny, nadproże zaleca się modelować jako ukośny krzyżulec biegnący od narożnika otworu do przeciwległego dolnego narożnika panelu, niezależnie od proporcji wymiarów i intensywności obciążenia, jednak pod warunkiem, że $h_n/l_n > 0,3$. W przeciwnym razie zalecany jest krzyżulec w nadprożu (rys. 3a).

Jeżeli strop jest sztywny, zaleca się stosowanie ukośnego krzyżulca w nadprożu, niezależnie od proporcji wymiarów i intensywności obciążenia bocznego (rys. 4). W wypadku ściany z podatnym stropem dopuszcza się modelowanie skrajnego pasma ściennego jako ukośnego krzyżulca, a gdy proporcje wymiarów nadproża wynoszą $h_n/l_n > 0,3$, skrajne pasmo można pominąć (rys. 3b). W przypadku ściany ze sztywnym stropem również zaleca się zignorowanie obecności skrajnego pasma ściennego (rys. 4). Kiedy w ścianie znajduje się otwór okienny, oprócz dwóch skrajnych pasm ściennych występują także nadproże i pas podokienny. Jeżeli istnieje podatny strop (rys. 5), wówczas w skrajnym paśmie ściennym nie powstaje krzyżulec, jeśli proporcje wymiarów są równe $h/l > 2,5$ (rys. 5a). Skrajne pasmo ścienne można zastąpić ukośnym krzyżulcem, gdy proporcje wynoszą $h/l \leq 2,5$, a proporcje pasma podokiennego są równe $h_d/l_n > 0,3$ (rys. 5). Jeśli proporcje wymiarów skrajnego pasma ściennego nie są większe niż 2,5, a stosunek wysokości do długości pasa podokiennego jest większy niż 0,3, to krzyżulec w skrajnym paśmie nie biegnie wzdłuż prze-



Rys. 3. Model S-T obciążonej poziomo ściany skrępowanej z otworem drzwiowym i podatnymi stropami



Rys. 4. Model S-T obciążonej poziomo ściany skrępowanej z otworem drzwiowym i sztywnymi stropami

kątnej ściany, ale zbliża się do dolnego narożnika otworu (rys. 5). Zewnętrzne pasmo ścienne i pas podokienny można zastąpić krzyżulcami, gdy proporcje ich wymiarów są większe niż 0,3 (rys. 5). Gdy nadproże nie jest zamodelowane ukośnym krzyżulcem, wtedy pas podokienny powinien być odwzorowany ukośnym krzyżulcem. W przeciwnym razie w pasie podokiennym można zrezygnować z krzyżulca z wyjątkiem sytuacji, kiedy sto-

sunek wymiarów nadproża i pasa podokiennego jest większy niż 0,3 (rys. 5).

W wypadku sztywnych stropów (rys. 6) w skrajnym paśmie ściennym powstaje krzyżulec, jeśli jego współczynnik kształtu h/l jest większy niż 2,5 (rys. 6a). Skrajny panel można modelować za pomocą ukośnego krzyżulca, pod warunkiem że jego współczynnik kształtu jest nie większy niż 2,5, a proporcje wymiarów pasa podokiennego

są mniejsze niż 0,3. Jeśli współczynnik kształtu pasma ściennego jest nie większy niż 2,5, a pasa podokiennego jest większy niż 0,3, krzyżulec nie biegnie wzdłuż przekątnej ściany, ale w skrajnym paśmie zbliża się do dolnego narożnika otworu. Pas podokienny powinien być modelowany krzyżulem, gdy współczynnik kształtu jest większy niż 0,3, w przeciwnym razie może być zignorowany. Nadproże należy zignorować niezależnie od jego proporcji, a panel 3 trzeba zawsze modelować ukośnym krzyżulem.

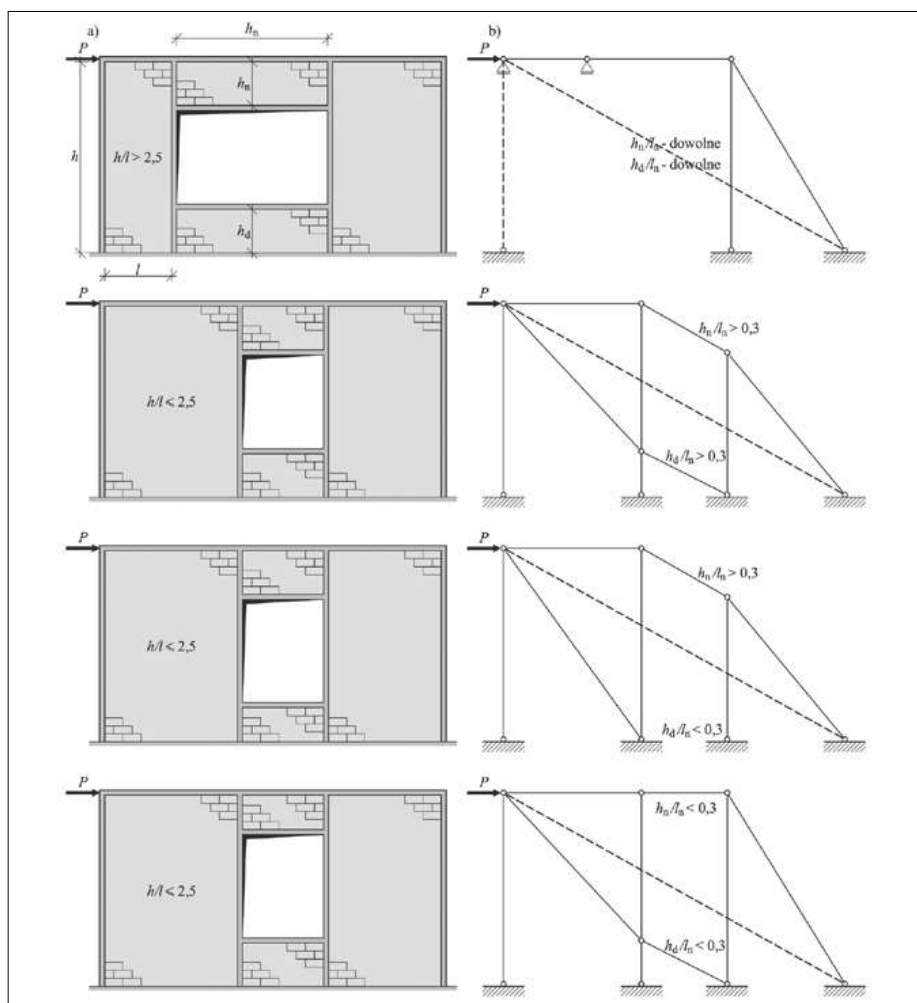
W celu wyznaczenia sztywności K_{cal} dowolnej ściany skrzepowanej należy określić poziome przemieszczenia zbudowanych modeli S-T. **W wypadku kratownicy statycznie wyznaczalnych przemieszczenie, a następnie sztywność można obliczyć analitycznie – w innych przypadkach zasadne jest wykonanie numerycznego modelu MES.** Ścianę z otworem ze złożonym układem prętów można zastąpić ekwiwalentnym krzyżulem o identycznej sztywności i polu powierzchni równym:

$$A_d = \frac{K_{cal} E_{col} A_{col} h_{col}}{E_{col} E_m A_{col} \sin \theta \cos^2 \theta - K_{cal} E_m h_{col} \sin^3 \theta} \quad (15)$$

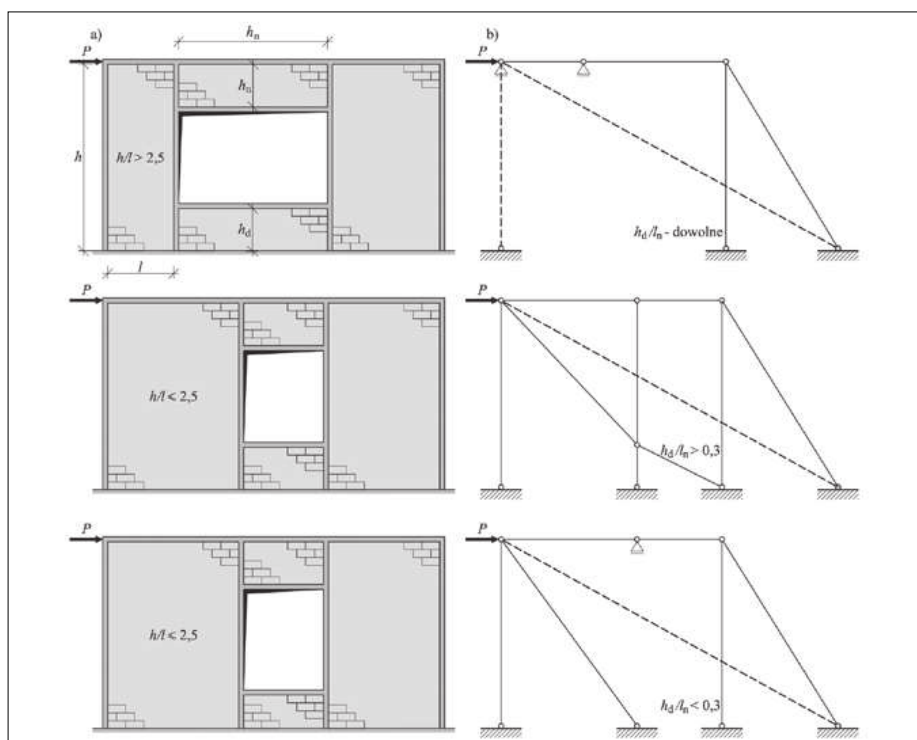
Taki sposób postępowania pozwala łączyć ze sobą kilka ścian skrzepowanych (kratownic) nawet o skomplikowanym układzie otworów. W przypadku zespołu ścian skrzepowanych położonych szeregowo w pierwszej kolejności trzeba zbudować model S-T każdej ściany oddzielnie, a następnie połączyć je z wahaczem (rys. 7).

Analogicznie można postąpić, jeśli chodzi o ściany skrzepowane wielokondygnacyjne. **Bez względu na sztywności stropów ścianę wielokondygnacyjną z otworami lub bez nich można rozdzielić na zestawy ścian jednokondygnacyjnych** (rys. 8).

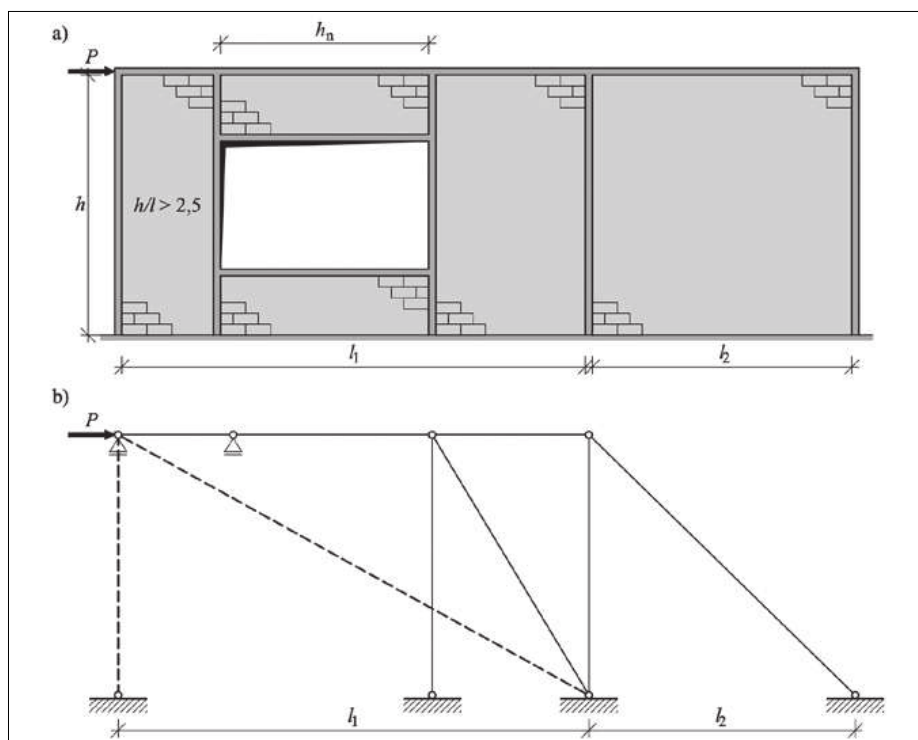
Po wyznaczeniu sztywności poszczególnych zespołów usztywniających można określić sztywność całej ściany, zakładając szeregowe połączenie poszczególnych kratownic. Sztywność całej ściany usztywniającej $K_w = \sum K_i$ jest sumą sztywności składowych kratownic K_i [8]. Jeżeli kratownice położone są piętrowo, to sztywność wyznacza się podobnie jak w wypadku ściany z otworem.



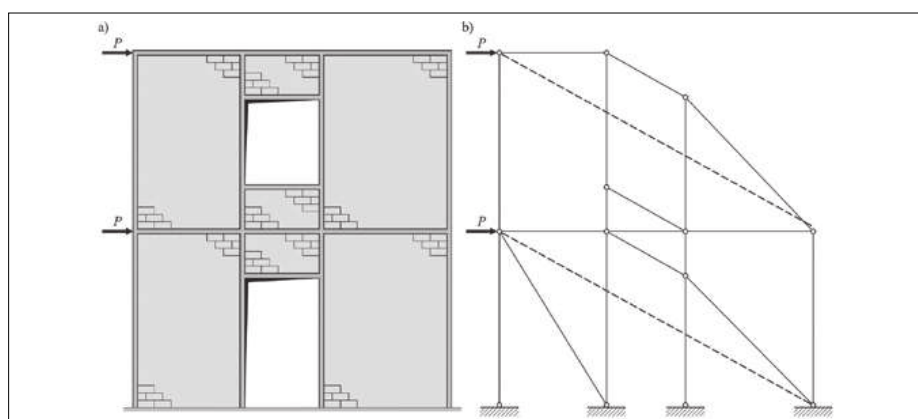
Rys. 5. Model S-T obciążonej poziomo ściany skrzepowanej z otworem okiennym i podatnymi stropami



Rys. 6. Model S-T obciążonej poziomo ściany skrzepowanej z otworem okiennym i sztywnymi stropami



Rys. 7. Model S-T dwóch połączonych ścian skrzepowanych: z otworem i bez otworu



Rys. 8. Model S-T dwukondygnacyjnej ściany skrzepowanej

PODSUMOWANIE

Znajomość sztywności ściany usztywniającej umożliwia rozdział poziomych obciążeń. W niniejszym artykule zaproponowano kratownicową metodę (S-T) umożliwiającą zastąpienie muru skrzepowanego zastępczą kratownicą. Stosując procedury obliczeniowe podane w normach [14, 15], opracowano zależności pozwalające na obliczenie sztywności pojedynczego pola ściany skrzepowanej. Opracowane modele teoretyczne dostosowano do zapisów norm europejskich [11, 12]. Zaproponowano adaptację metody autorskiej przedstawionej w publikacjach [16, 18] do ścian z otworami i ścian wielokondygnacyjnych. Obliczenie sztywności

ści pojedynczej ściany skrzepowanej pozwala na późniejsze obliczenie sztywności poszczególnych zespołów usztywniających, a w konsekwencji na rozdział obciążeń analogicznie jak w budynkach o konstrukcji ścianowej i szkieletowej [19], a także sprawdzenie warunków ULS [20]. ■

Literatura

1. N. Avramidou, *Dynamic Behavior of Trick Structural Elements Infilled to Strengthen R.C. Structures*, 5th International Brick Masonry Conference, 1979, Waszyngton, USA, s. 294–301.
2. R. Jasiński, I. Galman, *Zagadnienia projektowe, konstrukcyjne i badawcze zginanych i ścinanych murowych ścian wypełniających szkielet*, XXXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 2019 r., materiały konferencyjne, tom II, s. 1–150.

3. L.E. Flores, S.M. Alcocer, *Calculated response of confined masonry structures*, 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Meksyk, 1996, Paper No. 1830 (CD-ROM).
4. T. Janaraj, *Studies on the in-plane shear response of confined masonry shear walls*, PhD Thesis, Queensland University of Technology, Australia 2014.
5. A.F. Lang, F.J. Crisafulli, G.S. Torrisi, *Overview and assessment of Analysis techniques for confined Masonry buildings*, 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering, 2014, Anchorage, Alaska, USA (CD-ROM), <https://doi.org/10.13140/2.1.4649.0888>.
6. R. Jasiński, *Proposed Method of Distribution of Horizontal Loads on Stiffening Walls*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1203, 2021, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1203/2/022032>.
7. R. Jasiński, *Load-bearing capacity of masonry walls infilled frame*, AIP Conference Proceedings, 2023, vol. 2928, nr 1, American Institute of Physics, <https://doi.org/10.1063/5.0170461>.
8. R. Jasiński, *Horizontal stiffness of masonry walls infilled frame*, MATEC Web of Conferences 396, 2024, <https://doi.org/10.1051/mateconf/202439605010>.
9. R. Jasiński, K. Grzyb, *Mury skrzepowane – ustalenia ogólne i normowe – część 1*, „Inżynier Budownictwa” nr 11/2021, s. 72–75.
10. R. Jasiński, K. Grzyb, *Mury skrzepowane – ustalenia ogólne i normowe – część 2*, „Inżynier Budownictwa” nr 1/2022, s. 76–81.
11. PN-EN 1996-1-1:2010 Eurokod 6 – Projektowanie konstrukcji murowych – Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
12. prEN 1996-1-1:2017 Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures (Draft).
13. MSJC:2010 Code/Commentary Working Draft, Masonry Standards Joint Committee 2010.
14. FEMA 306 *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings*, Basic procedures manual, Federal Emergency Management Agency, Applied Technology Council, Waszyngton, 1998.
15. FEMA 274 *Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, NEHRP Commentary, Federal Emergency Management Agency, Applied Technology Council, Waszyngton, USA, 1999.
16. S. Brzev, *Earthquake-resistant confined masonry construction*, Indian Institute of Technology Kanpur, National Information Center of Earthquake Engineering 2008.
17. ASCE/SEI 41-13: *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston (VA) 2013.
18. K.V. Ghaisas, D. Basu, S. Brzev, J.J. Pérez Gavilán, *Strut-and-Tie Model for seismic design of confined masonry buildings*, Construction and Building Materials, vol. 147, 2017, s. 677–700, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.200>.
19. R. Jasiński, *Murowe ściany usztywniające. Tom 1. Oddziaływania, metody, algorytmy i przykłady obliczeń*, Politechnika Śląska, 2022.
20. R. Jasiński, *Murowe ściany usztywniające. Tom 2. Nośność. Metody, algorytmy i przykłady obliczeń*, Politechnika Śląska, 2023.