

Numer marcowy „Przeglądu Budowlanego” przedstawia artykuły przygotowane przez pracowników naukowych z uczelni w Zielonej Górze, Poznaniu, Szczecinie, Lublinie, Warszawie i Krakowie. Wyjątkowe podziękowania kierujemy do przewodniczącego Komitetu Naukowego prof. dr. hab. inż. Tadeusza Bilińskiego za opiekę merytoryczną oraz do przewodniczącej Komitetu Organizacyjnego dr. hab. inż. Beaty Nowogońskiej, prof. UZ, za pomoc w przygotowaniu opracowania.

Dziękujemy bardzo za dobrą współpracę – redakcja

Optimalizacja lekkich konstrukcji stalowych przy renowacji i nadbudowie obiektów budowlanych

Prof. dr. hab. inż. Piotr Alawdin, mgr inż. Viktorija Petrusевич,
Uniwersytet Zielonogórski

1. Wprowadzenie

Połączenie realizacji remontów kapitalnych z nadbudową starych budynków oraz korzyści finansowe wynikające ze zwiększenia liczby użytkowników danego obiektu powodują, że właściciele starych budynków coraz częściej dopytują się o możliwości realizacji najbardziej efektywnej nadbudowy. Istniejące nowe, lekkie technologie pozwalają na szybkie wykonanie nadbudowy [1]. Lekkie konstrukcje stalowe pozwalają wykonywać renowację ram bez znaczącego obciążenia fundamentu oraz wzmacniania konstrukcji istniejącego obiektu. W artykule opracowano dwa modele matematyczne:

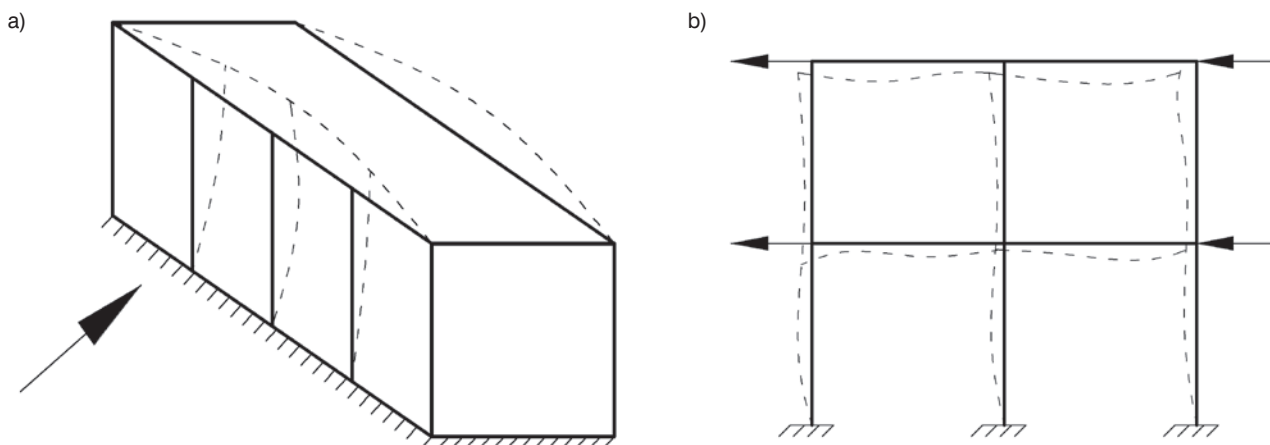
- optymalizacji ram istniejącego budynku pod obciążeniem wielokrotnie zmiennym, które zawierają elementy od 1 do 4 klasy przekroju,
- optymalizacji konstrukcji nadbudowy pod obciążeniem wielokrotnie zmiennym, które zawierają elementy 3 oraz 4 klasy przekroju.

Przeanalizowano stan graniczny konstrukcji ramy razem z nadbudową jako układu sprężysto-plastycznego, biorąc pod uwagę wszystkie czynniki pracy układu w trakcie renowacji. Ekonomia materiału przy korzystaniu lekkich konstrukcji stalowych wynosi od 5% do 25% [1]. Również transport, przeładunek i montaż wyrobów giętych oraz elementów z nich wykonanych

wymagają większej uwagi i staranności, ze względu na możliwość lokalnego uszkodzenia cienkiej blachy, z której wykonane są kształtowniki. Wadą lekkich konstrukcji są bardzo pracochłonne procedury projektowe. Jednakże korzystanie z lekkich konstrukcji stalowych pozwala uniknąć wzmocnienia konstrukcji i fundamentu istniejącego budynku, także istnieje możliwość wykorzystywania takich konstrukcji do remontów dachów, renowacji fasad budynków, balkonów i loggii itd.

2. Projektowanie nadbudowy z konstrukcji cienkościennych

Nadbudowa to modernizacja budynku, w wyniku której powstaje nowa część istniejącego już obiektu budowlanego. W wyniku przeprowadzenia nadbudowy pewnego obiektu budowlanego zwiększa się jego wysokość i powierzchnia użytkowa. Przy nadbudowie nie zwiększa się powierzchnia zabudowy obiektu. Przy nadbudowie nowa część obiektu powstaje ponad istniejącą częścią obiektu, nie ma posadowienia nowej części na gruncie, tym samym nie występują na takiej budowie takie prace jak roboty ziemne i fundamentowe. Przy okazji nadbudowy niejednokrotnie dokonuje się modernizacji infrastruktury budynku (instalacje sanitarne i elektryczne, urządzenia techniczne) oraz renowacji elewacji.



Rys. 1. Konstrukcje nadbudowy: a) schemat sposobu tradycyjnego, b) schemat tarczowego charakteru pracy stropu

Lekkie konstrukcje stalowe mają kilka zalet w trakcie korzystania z ich w nadbudowie:

- mniejszy ciężar własny przy wysokich parametrach wytrzymałościowych;
- wysoki stopień prefabrykacji oraz niska masa elementów montażowych pozwala na bardzo szybki montaż konstrukcji nadbudowy, a przez to przyczynia się do redukcji kosztów;
- możliwość stosowania różnych materiałów osłonowych (cegła, kamień, drewno, szkło, stal, aluminium) na ścianach zewnętrznych zwiększa atrakcyjność prezentowanej technologii pod względem architektonicznym [2].

Konstrukcje nadbudowy można wykonywać na dwa sposoby. Pierwszy sposób to tradycyjny układ szkieletowy, przenoszący wszystkie obciążenia, wypełniony płytami osłonowymi przenoszącymi parcie wiatru i ciężar własny (rys. 1a). Drugi sposób to schemat statyczny konstrukcji nadbudowy jako przestrzenny układ tarczowy, którego schemat ideowy przedstawiono na rysunku 1b. Połowa obciążeń wywołanych parciem wiatru na ścianę boczną jest przenoszona przez poziomą płytę stropu na ściany szczytowe, które są ścinane, a następnie na fundamenty. W przypadku konstrukcji z przegrodami wewnętrznymi, w przenoszeniu obciążeń poziomych biorą udział wszystkie przegrody. Wartość obciążenia poziomego przypadająca na poszczególne ściany poprzeczne zależy od sztywności ścian.

3. Modele matematyczne optymalizacji ram cienkościennych

Obecnie problemy optymalizacji konstrukcji metalowych ograniczają się głównie do 1 i 2 klasy przekrojów [3]. Jednak w praktyce używają się przekroje wyższych klas. Optymalizacja ram metalowych cienkościennych pod obciążeniem wielokrotnie zmiennym pozostaje dziś ważnym problemem. W rzeczywistości budynki i nadbudowy są obciążone wielokrotnie zmiennym oddziaływaniem, które zmienia się w określonych granicach [4].

W klasycznej teorii przystosowania przyjęto i udowodniono (dla pewnych warunków rzeczywistych), że podczas

obciążenia powtarzalnego lub zmiennego początkowo odkształcenia plastyczne, we wszystkich elementach i przekrojach konstrukcji, w kolejnych cyklach obciążeń zanikają. Wtedy cała konstrukcja zachowuje się jako sprężysta. W tym artykule przedstawiono modyfikacje przystosowania klasycznego dla konstrukcji z nadbudową, zawierających elementy 3 oraz 4 klasy przekrojów, gdyż w wymienionych wyżej elementach nie powstają odkształcenia plastyczne. Teoria liniowego programowania matematycznego i metoda elementów skończonych są wykorzystywane do optymalizacji masy konstrukcji z nadbudową.

Opracowano dwa modele matematyczne:

- model matematyczny optymalizacji ram istniejącego budynku, który zawiera elementy od 1 do 4 klasy przekroju, przy obciążeniach wielokrotnie zmiennych;
- podobny model matematyczny optymalizacji konstrukcji z nadbudową.

Problem optymalizacji układu sprężysto-plastycznego (bez konstrukcji nadbudowy) przy obciążeniach wielokrotnie zmiennych (wektor F , rys. 2a), które zmieniają się w określonych granicach, sformułowano następująco:

$$\begin{aligned}
 T^T S^0 &\rightarrow \min, & (1) \\
 \phi_i(S_i^{el}(F), S_i^r, S_i^0) &\leq 0, & (2) \\
 F \in \Omega_F, S^0 &\geq 0, & (3) \\
 AE_p S^r &= 0, & (4) \\
 E_p &= \text{diag} E_{pi}, i \in I, & (5)
 \end{aligned}
 \quad E_{pi} = \begin{bmatrix} I \\ \text{diag} \begin{bmatrix} I \\ I \end{bmatrix} \text{ dla klasy } 1 \text{ i } 2 \\ 0 \\ \text{diag} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ dla klasy } 3 \text{ i } 4 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

gdzie:

$T^T S^0$ – kryterium optymalizacji,

S_i^0 – wektor sił granicznych,

S_i^{el} – wektor sił sprężystych,

I – mnóstwo numerów zaprojektowanych przekrojów,

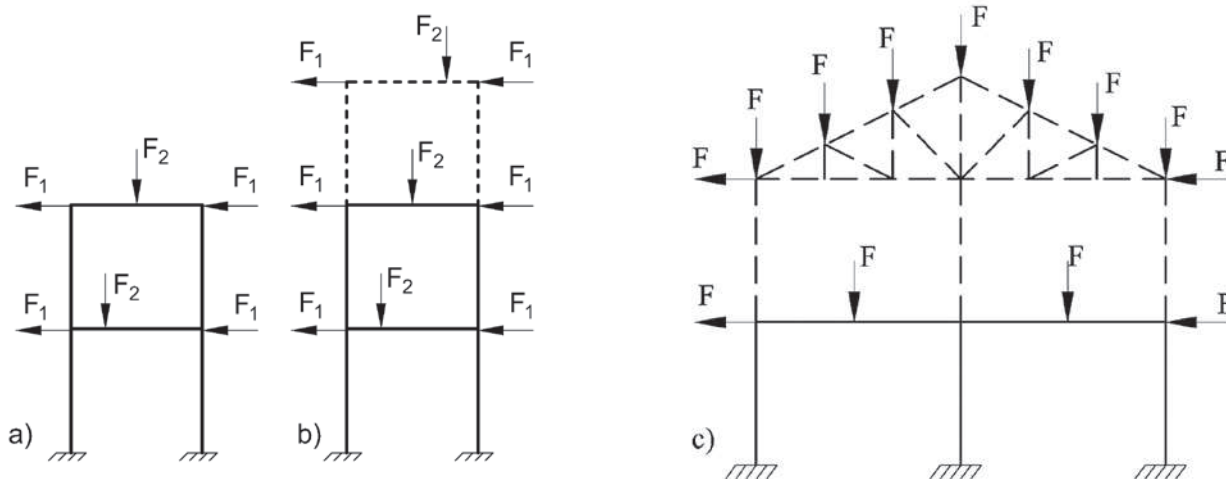
A – macierz warunków równowagi,

S_i^r – wektor sił resztkowych,

$S = (M, N, V)$ – wektor sił wewnętrznych,

M – moment zginający,

N – siła normalna,



Rys. 2. Schemat konstrukcji cienkościennych: a) rama bez nadbudowy b), c) ramy z konstrukcją nadbudowy



Rys. 3. Kolejne etapy nadbudowy, na przykładzie MPGK Rzeszów

V – siła tnąca,
 F – wektor obciążeń,
 E_p – macierz diagonalna (5), (6) dla różnych klasów przekrojów.

Problem optymalizacji układu sprężysto-plastycznego (z konstrukcją nadbudowy) przy obciążeniach wielokrotnie zmiennych (wektor F_m , rys. 2b), które zmieniają się w określonych granicach, sformułowano następująco (I_m – mnóstwo numerów dla nowego układu):

$$T_m^T S_m^0 \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$\varphi_i(S_{mi}^{el}(F_m), S_{mi}^r, S_{mi}^0) \leq 0, \quad (8)$$

$$F_m \in \Omega_{F_m}, S_m^0 \geq 0, \quad (9)$$

$$A_m E_{mp} S_m^r = 0, \quad (10)$$

$$E_{mp} = \text{diag} E_{pi}, i \in I_m. \quad (11)$$

W modelach matematycznych (1) – (5) i (7) – (11) w roli kryterium optymalizacji występuje masa elementów konstrukcji ram cienkościennych. Ograniczenia (2) i (8) są ograniczeniami stanu granicznego nośności, które zapisują się zgodnie z potrzebami EuroCode 3. Warunki (4) i (10) są warunkami równowagi sił resztkowych w elementach konstrukcji w stanie nieobciążonym.

Można wyróżnić trzy metody wykonywania nadbudów istniejących obiektów w lekkiej technologii stalowej. Metody te różnią się między sobą stopniem prefabrykacji. Są to metody wykonywania nadbudowy z:

- pojedynczych elementów stalowych, które po skończonym montażu są obudowywane elementami okładzinowymi i wypełniającymi;
- częściowo lub całkowicie prefabrykowanych w lekkiej technologii płyt (paneli) ściennych i stropowych;
- prefabrykacja przestrzennych segmentów montażowych [1].

Przykładem wykorzystania konstrukcji cienkościennych dla nadbudowy jest obiekt magazynowo-administracyjny w Rzeszowie [5] (rys. 3).

Opracowanie dotyczyło nadbudowy budynku parterowego niepodpiwniczonego o jedną kondygnację. Na podstawie przeprowadzonej analizy warunków geotechnicznych i stanu technicznego budynku stwierdzono, że zbyt duży wzrost obciążeń z planowanej nadbudowy jest prawie niemożliwy ze względu na nośność podłoża gruntowego. Rozwiązanie zagadnienia polegało na przeanalizowaniu rozkładu obciążeń konstrukcji budynku. Istniejący dach był zaprojektowany z dźwigarów kratowych, a układ statyczny powodował przenoszenie się

reakcji podporowych tylko na ściany zewnętrzne. Dla konstrukcji dachu zapewniono również dodatkowe dwa podparcia w środku rozpiętości dźwigarów, redukując obciążenia na istniejące ściany i fundamenty. Zmniejszenie obciążeń od dachu i dodatkowe obciążenia od projektowanego stropu i ścian nadbudowy okazały się wystarczające do zrealizowania planowanej nadbudowy.

Warto zaznaczyć, że dla nadbudowy z konstrukcji cienkościennych istnieje problem, który związany jest z niską odpornością na działanie wysokiej temperatury, ponieważ ich cienkie ścianki szybko nagrzewają się, tracąc swoją wytrzymałość i sztywność. W związku z tym konstrukcje cienkościenne stalowe wymagają szczególnej uwagi przy projektowaniu, aby czas na ewakuację ludzi był wystarczający. W modelach matematycznych (1) – (11) dla obliczeń konstrukcji cienkościennych z nadbudową można uwzględnić nie tylko obciążenia zewnętrzne, ale także działania wysokiej temperatury lub oddziaływania kinematyczne.

Proponowana metoda obliczenia układu sprężysto-plastycznego bez nadbudowy oraz z nadbudową pozwala projektować budynki ekonomiczne, biorąc pod uwagę wszystkie czynniki pracy układu w trakcie renowacji.

4. Podsumowanie

Współczesne technologie renowacji zwiększyły dostępność modernizacji istniejących budynków. Projektowanie nadbudowy wymaga pracochłonnej procedury projektowania, ponieważ nadbudowa powinna mieć wysoki stopień wytrzymałości i nie obciążać nadmiernie konstrukcji istniejącego budynku. Optymalizacyjne oraz projektowe programy komputerowe z uwzględnieniem norm zdecydowanie zwiększają atrakcyjność konstrukcji cienkościennych stalowych dla celów renowacji i modernizacji budynków. Konstrukcje cienkościenne stalowe są stosunkowo drogie, więc warto mieć optymalne rozwiązanie problemu dla nadbudowy. W artykule opracowano modele matematyczne optymalizacji cienkościennych ram z elementami od 1 do 4 klasy, z nadbudową i bez nadbudowy, przy obciążeniach wielokrotnie zmiennych. Proponowana metoda projektowania pozwala ułatwić proces renowacji lekkich oraz ekonomicznych budynków.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ubrańska-Galewska E., Kowalski D., Zastosowanie lekkich konstrukcji stalowych do renowacji, rozbudowy i remontów obiektów budowlanych, XXIII Ogólnopolska konferencja Warsztat pracy projektanta konstrukcji, Szczyrk, 2008
- [2] Siemko V., The calculation of bearing and enclosing structures of steel cold-formed profiles in accordance with Eurocode 3. Ukrainian Center of Steel Construction, UK, 2015
- [3] Alawdin P., Limit Analysis of structures under variable loads, Tehno print, BY, 2005
- [4] Alawdin P., Liepa L., Optimal shakedown of the thin-wall metal structures under strength and stiffness constrains. Journal Civil and environmental engineering reports 2017 25 (2): 25-41
- [5] Kaliniecki D., Nadbudowy czy warto? Magazyn branżowy Form & Stal, Kwartalnik, nr 2 Lato 2012, ISSN 2084-6053