

Odporność ramowych konstrukcji stalowych na zniszczenie postępujące w wyniku oddziaływań wyjątkowych

Radosław Szczerba

Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Politechnika Rzeszowska, e-mail: szczerba@prz.edu.pl

Streszczenie: W pracy omówiono krótko podejście Eurokodu 1 do oddziaływań wyjątkowych, które mimo bardzo małego prawdopodobieństwa wystąpienia, mogą mieć bardzo dużą intensywność i w końcowym wyniku doprowadzić do katastrofalnych skutków. Opisując wymagania stawiane odporności konstrukcji, przedstawiono wyjątkowe sytuacje obliczeniowe według normy PN-EN 1991-1-7. W pracy zawarto także analizę budynku szkieletowego o konstrukcji stalowej, który poddano lokalnemu usunięciu słupa na najniższej kondygnacji. Do analizy wykorzystano program komputerowy Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013.

Słowa kluczowe: oddziaływania wyjątkowe, odporność konstrukcji, katastrofa postępująca, element kluczowy

1. Wprowadzenie

Zagadnienie odporności konstrukcji na uszkodzenia o charakterze postępującym w odniesieniu do obciążeń wyjątkowych (ang. *structural robustness*) po raz pierwszy zyskało znaczącą uwagę nieco ponad 40 lat temu, po częściowej katastrofie budynku *Ronan Point*, która miała miejsce w 1968 roku w Londynie. W ostatnich latach zainteresowanie odpornością konstrukcji wyraźnie wzrosło. Zostało ono spowodowane atakiem terrorystycznym na dwie bliźniacze wieże *World Trade Center*, który wydarzył się we wrześniu 2001 roku. Od tego czasu poświęcono wiele pracy celem lepszego zrozumienia aspektów odporności konstrukcji na oddziaływania wyjątkowe [m.in. 1, 2, 3].

Zgodnie z normą PN-EN 1991-1-7 [4], która jest rozwinięciem normy PN-EN 1990 [5] odnoszącej się do podstaw projektowania konstrukcji, odpornością konstrukcji nazywa się jej zdolność do stawiania oporu zdarzeniom takim jak pożar, eksplozje, uderzenia lub konsekwencje błędu ludzkiego, bez uszkodzenia w zakresie niewspółmiernym do pierwotnej przyczyny. Zasada ta jest nazywana integralnością konstrukcyjną [6].

Termin *robustness* (w odniesieniu do konstrukcji *structural robustness*) nie ma dobrze odpowiednika w języku polskim, nawet w języku angielskim nie ma jednoznacznej definicji. *Robustness* można tłumaczyć jako krzepkość, tęgość, odporność konstrukcji. Jest to zdolność układu do wytrzymania, przetrwania zniszczenia miejscowego, powstałego w wyniku zdarzenia losowego, do czasu potrzebnego do bezpiecznej ewakuacji ludzi z budynku i jego otoczenia (lub dłużej, jeśli jest to budynek o szczególnym znaczeniu). Nie dopuszcza się katastrof typu postępującego. Odporność konstrukcji szeroko opisano w [7], a możliwe definicje *robustness* podano w [8].

W niniejszej pracy skupiono się na przypadku szkieletowego układu nośnego budynku, który na ogół jest bardzo wrażliwy na sytuację, gdy wskutek oddziaływań wyjątkowych następuje utrata nośności słupa na jednej z kondygnacji.

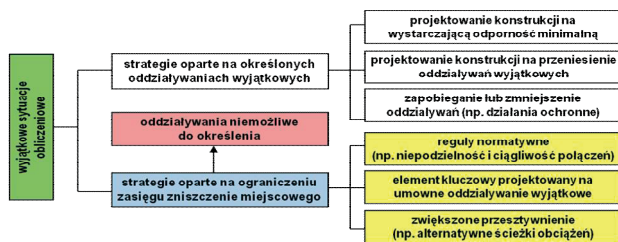
2. Wyjątkowe sytuacje obliczeniowe

W normie PN-EN 1991-1-7 [4] zdefiniowano dwie podstawowe strategie (wg rys. 1):

- oparte na określonych oddziaływaniach wyjątkowych oraz
- oparte na ograniczeniu zasięgu zniszczenia miejscowego.

Konstrukcje budowlane należy projektować w przypadku odpowiednich wyjątkowych sytuacji obliczeniowych zgodnie z wytycznymi Eurokodu 1990 [5]. W przypadku oddziaływań wyjątkowych A_d możliwych do określenia (np. eksplozje, uderzenia), można stosować klasyczne metody analizy konstrukcji. Oddziaływania te są rozpatrywane tylko w wyjątkowej sytuacji obliczeniowej, według wzoru 6.11b normy [5]:

$$E_d = \sum G_k + P + A_d (\psi_{1,1} \text{ lub } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (1)$$



Rys. 1. Strategie dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa obiektów budowlanych wg [4]

W przypadku strategii opartych na określonych oddziaływaniach wyjątkowych, problematycznym może wydawać się zdefiniowanie i określenie odporności minimalnej. Sposoby oceny ilościowej tej cechy podano m.in. w [9,10,11]. Kwestię bezpieczeństwa stalowych konstrukcji szkieletowych w aspekcie normalizacji projektowania w sytuacjach wyjątkowych opisano w [12].

W dalszej części artykułu odniesiono się do strategii opartej na ograniczeniu zasięgu zniszczenia miejscowego, która jest adekwatna do stosowania w warunkach lokalnego uszkodzenia elementu nośnego z nieokreślonej przyczyny.

3. Strategie oparte na ograniczeniu zasięgu zniszczenia miejscowego

W przypadku oddziaływań niemożliwych do określenia, np. ataków terrorystycznych, czy losowej lokalnej utraty komponentów nośnych, norma [4] zaleca zastosowanie strategii opartych na ograniczeniu zasięgu zniszczenia miejscowego, czyli:

- projektowanie elementów konstrukcyjnych oraz węzłów i połączeń by miały dostateczną ciągłość pozwalającą na przeniesienie sił ciągnięcia wzbudzonych w ustroju wtórnym,
- projektowanie elementów kluczowych, stanowiących o stateczności konstrukcji,
- nadanie konstrukcji wystarczającego przesztywnienia celem umożliwienia przekazywania oddziaływań na możliwe alternatywne ścieżki obciążenia.

Potencjalne zniszczenie konstrukcji wynikające z nieokreślonej przyczyny powinno być złagodzone poprzez zastosowanie w projektowaniu jednego lub kilku podejść zgodnie z tabelicą A.1 normy [4], w której określono przyporządkowanie rodzaju budynku i sposobu użytkowania do klas konsekwencji.

• Elementy kluczowe

Przy projektowaniu ze względu na konsekwencję zniszczenia miejscowego od nieokreślonej przyczyny dokonuje się sprawdzenia, czy zostanie zapewniona stateczność i nośność konstrukcji w przypadku umownego usunięcia poszczególnych komponentów

nośnych, np. słupa czy belki podtrzymującej strop. Jeżeli takie umowne usunięcie spowodowałoby powiększenie się uszkodzenia poza ustaloną granicę, to wówczas takie elementy projektuje się jako „elementy kluczowe”.

Zgodnie z normą [4], element kluczowy projektuje się na przeniesienie oddziaływania wyjątkowego A_d przyłożonego w kierunku poziomym i pionowym do elementu i do każdego elementu połączonego z nim z uwzględnieniem wytrzymałości tych części i ich połączeń. Obciążenie A_d przykłada się jednocześnie tylko w jednym kierunku. Obciążenie A_d może być obciążeniem skupionym lub powierzchniowym, jednak norma zaleca przyjęcie obciążenia równomiernego o intensywności $34 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ i uwzględnienie go w wyjątkowej sytuacji obliczeniowej wg wzoru (6.11b) normy [5]. Szerokiego omówienia projektowania elementów kluczowych dokonano w [13].

• Odpowiednie stężenie konstrukcji

Do najskuteczniejszych metod usztywnienia budynków należy stosowanie stężeń jako układów prętowych poprzecznych i podłużnych, czy stężeń w postaci tarcz pionowych, tworzonych ze ścian zewnętrznych bądź obudowy klatki schodowej. W tym szczególnym przypadku, rolą stężeń jest zapobieganie nadmiernym zniszczeniom w przypadku oddziaływań wyjątkowych oraz umożliwienie przekazywania oddziaływań na możliwe ścieżki obciążenia.

Zgodnie z normą [4], stężenia poziome należy usytuować dookoła każdej kondygnacji, na poziomie stropu oraz wewnątrz w dwóch prostopadłych kierunkach, w celu zapewnienia bezpiecznego stężenia elementów słupowych i ściennych z konstrukcją budynku. Stężenia te stosuje się jako ciągłe, i należy je rozplanowywać jak najbliżej krawędzi stropów oraz słupów i ścian. Co najmniej 30% stężeń należy umieścić w bezpośrednim sąsiedztwie linii siatki słupów i ścian konstrukcyjnych.

Stężenia poziome mogą składać się z kształtowników stalowych walcowanych, zbrojenia prętami stalowymi lub zbrojenia siatkami stalowymi w płytach betonowych, lub ze stali profilowanej (blacha fałdowa) w stropach zespolonych stalowo-betonowych, lub z kombinacji tych elementów. Jako stężenie można wykorzystać elementy użyte w celu przenoszenia oddziaływań innych niż wyjątkowe. Stężenia poziome projektuje się na przeniesienie obliczeniowych sił rozciągających T_i dla połączeń wewnętrznych oraz T_p dla połączeń zewnętrznych według [4]:

$$T_i = 0,8 \cdot (g_k + \psi \cdot q_k) \cdot s \cdot L \text{ lub } 75 \text{ kN}, \quad (2)$$

$$T_p = 0,4 \cdot (g_k + \psi \cdot q_k) \cdot s \cdot L \text{ lub } 75 \text{ kN}, \quad (3)$$

W przypadku budynków o konstrukcji ramowej, słupy przenoszące obciążenia pionowe, powinny być w stanie przenieść obliczeniowe wyjątkowe siły rozciągające. Siły te są równe największej obliczeniowej pionowej reakcji od obciążenia stałego i zmiennego, które jest przyłożone do słupa z każdej kondygnacji.

Użycie elementów układu grawitacyjnego do przeniesienia wyjątkowych sił rozciągających prowadzi do dwuetapowego obliczania węzłów rygiel-słup:

- na siły wynikające z kombinacji normowych dla stanu granicznego nośności oraz
- na wyjątkowe siły rozciągające $T_{i,p}$.

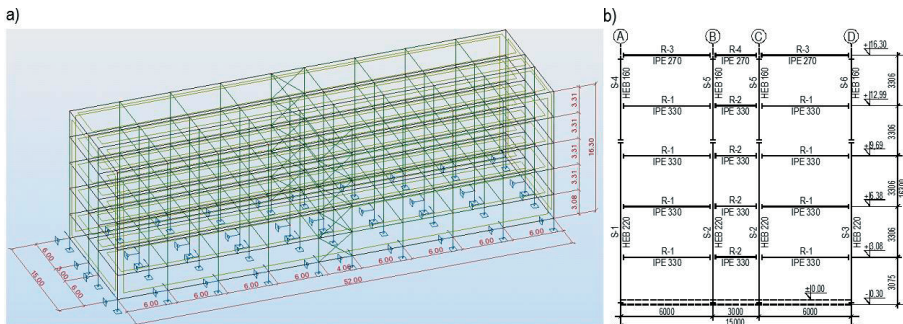
4. Analiza budynku o ramowej konstrukcji stalowej

4.1. Model obliczeniowy konstrukcji

Analizie poddano pięciokondygnacyjny budynek o konstrukcji szkieletowej stalowej i przeznaczeniu mieszkalnym [14]. Zgodnie z Tablicą A.1 normy [3] obiekt zalicza się do

klasy konsekwencji 2b (wyższego ryzyka). W rzucie poziomym, wymiary budynku w osiach słupów wynoszą 52,0 x 15,0 m, przy całkowitej wysokości obiektu równej 17,1 m. Elementem nośnym stropu jest płyta betonowa zespolona z blachą fałdową, która opiera się na belkach stropowych wykonanych z IPE 330 w przypadku stropów pośrednich oraz IPE 270 dla stropu nad najwyższą kondygnacją. Słupy wykonano z kształtownika HEB 220 w przypadku pierwszych trzech kondygnacji licząc od poziomu fundamentu oraz HEB 160 dla pozostałych kondygnacji górnej części budynku szkieletowego.

Budynek zamodelowano w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013 jako ramę przestrzenną. Przeprowadzono statyczną analizę sprężystą I rzędu z uwzględnieniem odpowiednich imperfekcji globalnych w postaci równoważnych sił poziomych. Połączenia rygli ze słupami w płaszczyźnie głównych układów poprzecznych zaprojektowano w pierwszej fazie jako sztywne, a połączenia rygli ze słupami w kierunku podłużnym jako przegubowe. W drugiej fazie obliczeń statycznych węzły w płaszczyźnie ram zamodelowano jako podatne. Nieliniowe charakterystyki połączeń ustalono według modelu Chen'a dla nieuzębrowanych węzłów doczołowych jednostronnych oraz dwustronnych z blachą wystającą. Określając zależność momentu zginającego przyłożonego w węzle od jego obrotu (krzywa $M-\varphi$), przyjęto następujące wartości sztywności oraz nośności połączeń: $S_{j,ini}=43400\div 121900$ kNm/rad, $M_{j,Rd}=126\div 266$ kNm. Wprowadzając nieliniowe parametry połączeń do programu komputerowego skorzystano z opcji węzłów kompatybilnych. Model komputerowy ramy przestrzennej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. a) Przestrzenny model komputerowy budynku szkieletowego oraz b) schemat układu poprzecznego

W tabeli 1 zestawiono kształtowniki poszczególnych komponentów nośnych w przypadku zastosowania połączeń sztywnych oraz podatnych w analizie konstrukcji. Tabelę uzupełniono o podanie wyężenia elementów. Wyniki odnoszą się do najbardziej niekorzystnych kombinacji normowych SGN i SGU.

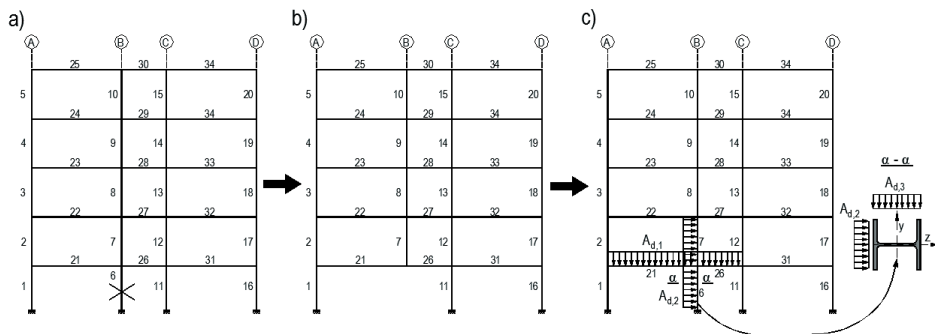
Tabela 1. Przekroje elementów konstrukcyjnych w zależności od zamodelowania węzłów

Grupa	Węzły sztywne		Węzły podatne	
	kształtownik	wyężenie	kształtownik	wyężenie
słup dolny	HEB 220	0,87	HEB 220	0,84
słup górny	HEB 160	0,68	HEB 160	0,67
rygiel pośredni	IPE 360	0,88	IPE 330	0,95
rygiel dachowy	IPE 300	0,69	IPE 270	0,77

4.2. Analiza układu zdegradowanego wskutek utraty nośności słupa

W zaprojektowanym budynku przeanalizowano wtórny ustrój nośny po wyeliminowaniu słupa na najniższej kondygnacji i przyjęciu wartości oddziaływania $A_d = 0$, co jest zgodne z wytycznymi podanymi w [12]. Myślowe usunięciu komponentu nośnego

przedstawiono na rys. 3. Analizę przeprowadzono w przypadku zastosowania węzłów podatnych.



Rys. 3. Analiza usunięcia słupa nośnego na najniższej kondygnacji: a) układ wyjściowy; b) wtórny układ nośny po wyeliminowaniu słupa; c) schemat do wymiarowania elementu kluczowego na siłę A_d

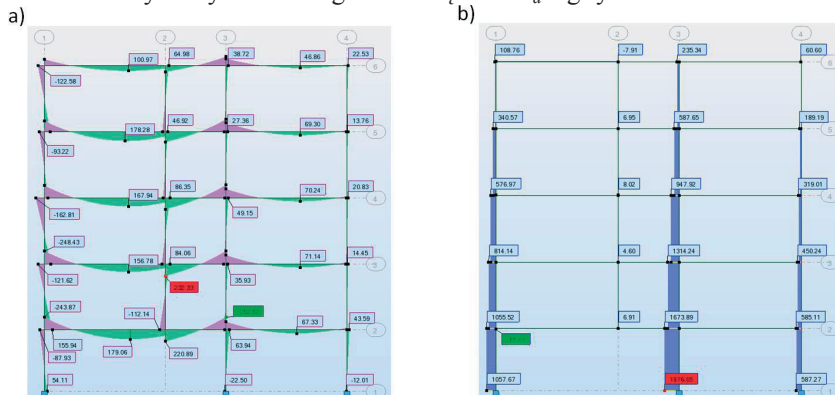
Przypadek utraty nośności jednego z komponentów nośnych rozpatruje się jako oddziaływanie wyjątkowe, które należy uwzględnić w wyjątkowej kombinacji obciążeń, wg wzoru 6.11b normy [5]. Za oddziaływanie wyjątkowe przyjęto całkowitą utratę nośności słupa. Wartości współczynników ψ dla pozostałych obciążeń przyjęto zgodnie z Tabelicą A 1.1 normy [5]. Jedną z kombinacji wyjątkowych przedstawia się następująco:

$$KOMB_{ACC} = G + 0,5Q + 0,2S.$$

Na rys. 4 zaprezentowano wykresy sił wewnętrznych uzyskanych w elementach nośnych w przypadku układu wtórnego z węzłami podatnymi po wyeliminowaniu słupa dla jednej z kombinacji wyjątkowych $KOMB_{ACC}$.

W tabeli 2 zestawiono kształtowniki poszczególnych komponentów nośnych konstrukcji w przypadku zastosowania połączeń sztywnych oraz podatnych. Tabelę uzupełniono o wyteżenia elementów. Wyniki odnoszą się do najbardziej niekorzystnych kombinacji wyjątkowych $KOMB_{ACC}$.

Usunięcie słupa wewnętrznego najniższej kondygnacji budynku powoduje konieczność zwiększenia przekrojów elementów konstrukcyjnych. Prowadzi to do niestateczności całego układu oraz braku możliwości przeniesienia obciążeń z poszczególnych elementów na fundamenty, a następnie na podłoże. W związku z tym, analizowany słupek należy uznać za element kluczowy i zwymiarować go na obciążenie A_d wg rys. 3c.



Rys. 4. Wartości sił przekrojowych w elementach nośnych układu wtórnego: a) wykres momentów zginających M_y , [kN]; b) wykres sił osiowych N_c , [kN]

Tabela 2. Przekroje elementów konstrukcyjnych w zależności od zamodelowania węzłów

Grupa	węzły sztywne układ zdegradowany		węzły podatne układ zdegradowany	
	kształtownik	wyężenie	kształtownik	wyężenie
słup dolny	HEB 240	0,84	HEB 220	0,96
słup górny	HEB 140	0,86	HEB 180	0,98
rygiel pośredni	IPE 450	0,90	IPE 360	0,94
rygiel dachowy	IPE 300	0,95	IPE 330	0,99

4.3. Wymiarowanie słupa jako elementu kluczowego na siłę A_d

W myśl Eurokodu, do analizowanego słupa wewnętrznego najniższej kondygnacji oraz do wszystkich elementów doń dochodzących z uwzględnieniem sposobu połączenia między nimi, należy przyłożyć obciążenie A_d o intensywności 34 kN/m^2 . Obciążenie przykłada się w kierunkach poziomym i pionowym, lecz tylko w jednym kierunku jednocześnie. Prowadzi to do rozważenia trzech przypadków obciążenia wyjątkowego $A_{d,i}$, wg rys. 3c.

Zgodnie z [13] obciążenie wyjątkowe $A_{d,1}$ powinno być przyłożone do stropu na powierzchni równej $7,5 \times 7,5 \text{ [m}^2\text{]}$, ponieważ $2,25 \cdot H = 2,25 \cdot 3,31 \approx 7,5 \text{ [m]}$.

Założono, że na kondygnacji najniższej jedynymi komponentami przymocowanymi do słupa będą lekkie gipsowo-kartonowe ściany działowe, które w wyniku oddziaływań wyjątkowych ulegną natychmiastowemu zniszczeniu i nie będą przekazywać obciążenia na element kluczowy. Zatem obciążenia $A_{d,2}$ oraz $A_{d,3}$ należy przyłożyć w kolejnych kombinacjach tylko na szerokości wynikającej z wymiarów przekroju słupa. Modyfikując normowe kombinacje SGN na kombinacje wyjątkowe, zgodnie ze wzorem (6.11b) normy [5], uzyskuje się następujące przypadki:

$$KOMB_ACC_i = G + A_{d,i} + 0,5Q + 0,2S,$$

gdzie indeks $i=1,2,3$ oznacza odpowiednie oddziaływanie wyjątkowe A_d .

Wykonane obliczenia wykazały konieczność zwiększenia przekroju słupa z HEB 220 na HEB 240. Otrzymany przekrój jest większy niż wynika to z analizy układu zdegradowanego w przypadku ramy z węzłami podatnymi.

4.4. Odpowiednie stężenie budynku

W przypadku budynków ramowych, zgodnie z normą [4], słupy konstrukcyjne powinny być zdolne do przeniesienia obliczeniowych sił rozciągających. Siły te są równe największej obliczeniowej pionowej reakcji od obciążenia stałego i zmiennego, które jest przyłożone do słupa z każdej kondygnacji. Zakłada się, że takie obliczeniowe obciążenie wyjątkowe nie działa równocześnie z oddziaływaniami stałymi i zmiennymi użytkowymi, gdyż obciążenia te znoszą się (mają przeciwne znaki). Nie rozpatruje się zatem szczególnych przypadków oddziaływań.

W odniesieniu do stężeń poziomych, należy usytuować je po obwodzie każdej kondygnacji, na poziomie stropu oraz wewnątrz konstrukcji w dwóch wzajemnie prostopadłych do siebie kierunkach. Jako stężenia wykorzystano rygle poprzecznych układów ramowych oraz belki stropowe łączące poszczególne układy.

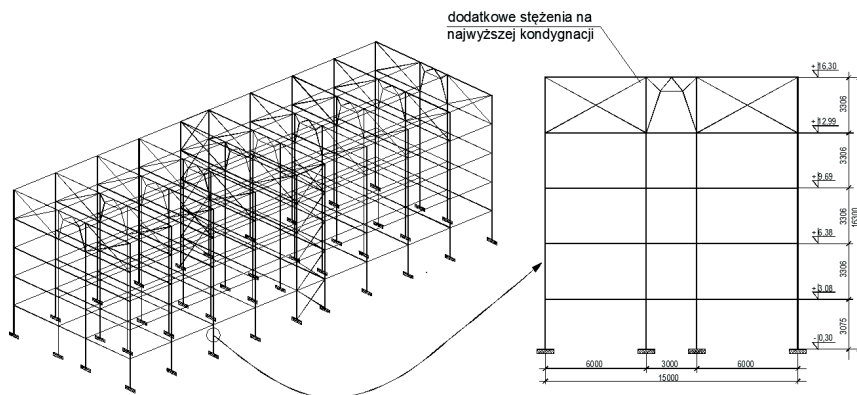
Dodatkowe siły T_i , które muszą być przeniesione zarówno przez elementy ramy, jak i połączenia wylicza się ze wzorów (2) i (3). Dla rygli będących częścią układów poprzecznych maksymalna siła rozciągająca T_5 wyniosła $221,2 \text{ kN}$, a dla belek stropowych największa okazała się siła rozciągająca T_6 , wynosząca $165,9 \text{ kN}$. W przypadku obliczeń programem komputerowym, dla kombinacji wyjątkowej uwzględniającej wyłączenie słupa

z pracy układu, maksymalna siła rozciągająca w ryglu wyniosła 40,7 kN, a w prostopadłej belce stropowej 82,4 kN.

4.5. Przesztywnienie układu

Największym problemem w przypadku odporności konstrukcji na zniszczenie postępujące jest oszacowanie ryzyka wystąpienia oddziaływania wyjątkowego oraz przyporządkowanie miejsca jego wystąpienia. Celowym więc wydaje się takie przesztywnienie konstrukcji za pomocą dodatkowych stężeń, aby umożliwić przekazywanie oddziaływań na możliwe ścieżki obciążenia.

W analizowanym budynku zaproponowano takie przesztywnienie konstrukcji, aby w przypadku utraty nośności jakiegokolwiek słupa wewnętrznego najniższej kondygnacji, nie nastąpiła utrata stateczności ogólnej całego układu. Stopniowa analiza doprowadziła do wprowadzenia dodatkowych stężeń na najwyższej kondygnacji każdego głównego układu poprzecznego.



Rys. 5. Przesztywniony układ budynku szkieletowego poprzez wprowadzenie dodatkowych stężeń

5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie zamieszczonej w pracy analizy odporności budynku na oddziaływania wyjątkowe, można sformułować następujące wnioski:

- ramowe układy stalowe są bardzo wrażliwe na sytuację, gdy wskutek oddziaływań wyjątkowych następuje utrata nośności słupa na jednej z kondygnacji,
- zastosowanie węzłów podatnych w analizie prowadzi do lepszej redystrybucji sił wewnętrznych i w rezultacie umożliwia uzyskanie kształtowników o mniejszym przekroju,
- normowe metody wyznaczania efektów spowodowanych oddziaływaniami wyjątkowymi prowadzą do uzyskania większych przekrojów elementów konstrukcyjnych w stosunku do analizy układu wtórnego po wyeliminowaniu słupa najniższej kondygnacji,
- rozsądnym wydaje się przesztywnienie konstrukcji; zastosowanie dodatkowych stężeń zmniejsza wyężenie elementów nośnych i zapewnia stateczność budynku przy usunięciu dowolnego słupa wewnętrznego najniższej kondygnacji.

Powyższa analiza jest pierwszym krokiem, w którym zastosowano podejście statyczne. Dalsze prace powinny uwzględniać odpowiedź dynamiczną konstrukcji, która jest nieodzowna w przypadku nagłej utraty nośności elementów konstrukcyjnych, np. wskutek wybuchu instalacji gazowej. Zagadnienie to będzie przedmiotem dalszych badań autora.

Literatura

- 1 COST Action TU0601. Robustness of Structures: Final Report. Czech Technical University in Prague, Czech Republic. Prague 2011.
- 2 Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Offices Buildings and Major Modernization Projects. General Services Administration. June 2003.
- 3 Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. Department of Defense USA. UFC 4-023-03. 25 January 2005.
- 4 PN-EN 1991-1-7:2008 Eurokod 1 - Oddziaływania na konstrukcje - Część 1-7: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wyjątkowe.
- 5 PN-EN 1990:2004 Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji.
- 6 Rawska-Skotniczy A. Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według Eurokodów. PWN. Warszawa 2013.
- 7 Woliński S. Defining of the structural robustness. Bulletin of The Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, Vol. 61, No. 1, 2013.
- 8 Cywiński Z. Nowa właściwość konstrukcji- krzepkość (?). "Wiadomości Projektanta Budownictwa", nr 11/2006.
- 9 Fragopol D.M. and Curly J.P. Effects of damage and redundancy on structural reliability. J. Structural Eng., 113 (7), 1533-1549 (1987).
- 10 Lind N.C. A measures of vulnerability and damage tolerance. Reliability Eng. & System Safety 48 (1), 1-6 (1995).
- 11 ISO Standard 19902. Petroleum and Natural Gas Industries- Fixed Steel Offshore Structures. 2008.
- 12 Giżejowski M., Kwaśniewski L., Wierzbicki S., Juszczak W. Bezpieczeństwo stalowych konstrukcji szkieletowych w aspekcie normalizacji projektowania w sytuacjach wyjątkowych. Inżynieria i Budownictwo nr 3/2014.
- 13 MSB04 Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe. Część 4: Projekt Wykonawczy, Arcelor Mittal.
- 14 Zach T. Projekt budynku szkieletowego odpornego na oddziaływania wyjątkowe. Praca magisterska. Politechnika Rzeszowska. Rzeszów 2012.

Structural robustness of steel framed buildings subjected to accidental actions

Radosław Szerba

Department of Building Structures, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Rzeszów University of Technology, e-mail: szerba@prz.edu.pl

Abstract: The approach of Eurocode 1 to accidental actions was briefly presented in the paper. These specific actions occur very rarely but due to their high intensity may result in the total collapse of the building. Together with the description of structural robustness requirements, accidental design situations were discussed in accordance with the Standard PN-EN 1991-1-7. Furthermore, the analysis of steel framed building was carried out. The analysis concerns removal of a column on the lowest storey and was executed with the use of Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013.

Keywords: accidental actions, structural robustness, progressive collapse, key element