

Katastrofy i awarie stalowych obiektów budowlanych

Dr hab. inż. Jan Zamorowski, prof. ATH w Bielsku-Białej

1. Wprowadzenie

W październiku 2018 r. ukazała się zbiorcza informacja głównego inspektora nadzoru budowlanego zawierająca ogólną liczbę katastrof budowlanych w Polsce w latach 1995–2017 oraz szczegółową analizę katastrof zaistniałych w 2017 r. [6]. Z informacji tej wynika, że od 2014 r. następuje coroczny wzrost ogólnej liczby katastrof. W 2014 r. było ich 209, a w 2017 r. aż 627. Jako główne przyczyny tych katastrof w 2017 r. wskazuje się zdarzenia losowe (89%), błędy utrzymania obiektu (7%), błędy podczas budowy nowego obiektu lub wykonywania robót remontowych (4%) oraz błędy opracowania dokumentacji (0,1%). Ze względu na rodzaj konstrukcji nośnej najwięcej obiektów, które w 2017 r. uległy katastrofie było murowanych (70,2%) i drewnianych (16,4%), a następnie stalowych (3,3%), żelbetonowych (0,7%) i o konstrukcji mieszanej (9,2%). Podobne zestawienia z lat 1962–2005, uzyskane ze zbiorów Instytutu Techniki Budowlanej zamieszczono w artykułach Runkiewicza [1, 2], opracowanych na podstawie baz ITB i GUNB zawierających analogiczne dane z lat wcześniejszych. Wszystkie tego typu zestawienia oraz analizy zawarte w tych pracach mają służyć do doskonalenia oprogramowania do projektowania, realizacji, użytkowania, ubezpieczenia i wyceny obiektów budowlanych, a także do nowelizacji przepisów technicznych, norm projektowania, wytycznych oraz instrukcji wykonywania i odbioru robót budowlanych, a także do podniesienia kwalifikacji uczestników procesu budowlanego [2].

W niniejszej pracy zawarto analizy stanów przedawaryjnych, awaryjnych i katastrof budowlanych wybranych obiektów o konstrukcji stalowej, które zostały spowodowane mniej typowymi przyczynami lub z pozoru, błądami, a ich skutki były nietypowe. Przedstawiono przyczyny i skutki takich stanów dla obiektów telefonii komórkowej zlokalizowane na dachach budynków, obiektów powierzchniowych,

w przypadku których o katastrofie zdecydowała lub mogła zdecydować podatność węzłów na przesuw oraz obiektów – urządzeń, które zdemontowano po pewnym okresie ich użytkowania i zamontowano w innym miejscu. W odróżnieniu od prac [1, 2] czy [6], artykuł ten ma na celu przybliżenie uczestnikom procesu budowlanego mniej typowych przyczyn i skutków niepożądanego skrócenia czasu bezawaryjnego użytkowania obiektu.

2. Konstrukcje wsporcze telefonii komórkowej na dachach budynków

Zróżnicowane oddziaływanie konstrukcji na środowisko w czasie katastrofy budowlanej ujęte jest w eurokodach w poziomach niezawodności, przy wyborze których uwzględnia się między innymi [8]:

- możliwe konsekwencje zniszczenia, takie jak zagrożenie życia, szkody, zranienie, potencjalne straty materialne,
- reakcje społeczne na zaistniałe zniszczenia, a ponadto
- koszty i procedury oraz postępowanie niezbędne w celu ograniczenia ryzyka zniszczenia.

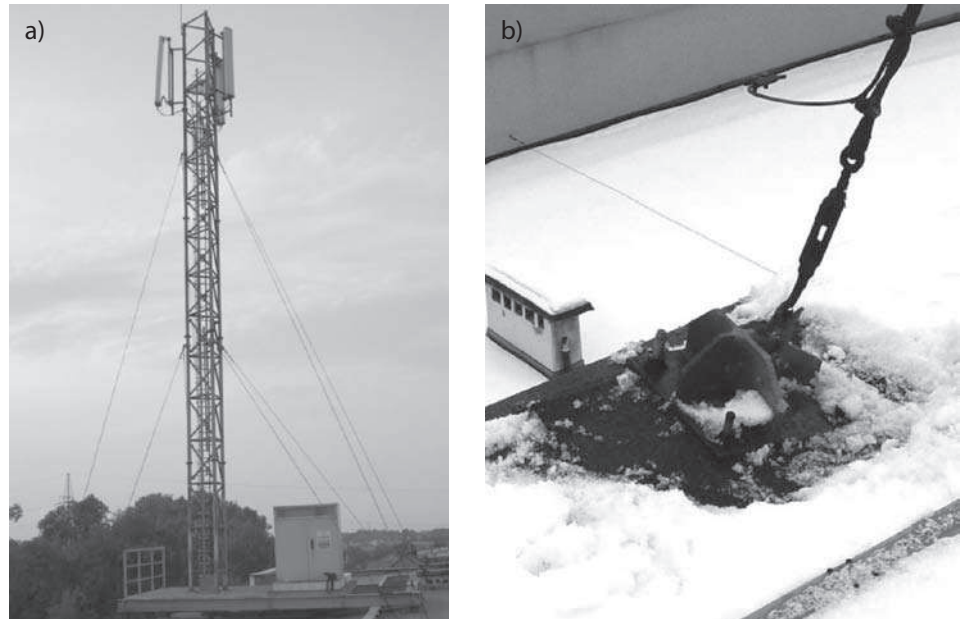
W przypadku wież i masztów telefonii komórkowej w normie [10] ustalono trzy klasy niezawodności:

- klasa 1 – obiekty usytuowane w mało zaludnionych terenach wiejskich, gdzie straty w ludziach wskutek ewentualnego ich zniszczenia są mało prawdopodobne,
- klasa 3 – maszty i wieże na terenach miejskich lub w innych miejscach, gdzie straty w ludziach wskutek ewentualnego ich zniszczenia są bardzo prawdopodobne oraz obiekty, dla których konsekwencje zniszczenia mogą być bardzo poważne,



Rys. 1. Widok wzdłuż zwalonego masztu

Rys. 2. Maszt na dachu szkoły w Bielsku-Białej: a) trzon masztu, b) zakotwienie odciagu



- klasa 2 – pozostałe wieże i maszty, które nie obejmują klasy 1 i 3.

W zależności od klasy niezawodności różnicuje się wartości współczynników częściowych, przez co wpływa się na prawdopodobieństwo zaistnienia katastrofy budowlanej. Przykładowo wartości współczynników oddziaływań dla pierwszej klasy niezawodności wynoszą 1,0 – dla oddziaływań stałych i 1,2 dla oddziaływań zmiennych.

W przypadku klasy niezawodności 3 wartości tych współczynników wynoszą odpowiednio 1,2 i 1,6. Jednak mimo zwiększonego bezpieczeństwa dla konstrukcji 3 klasy niezawodności znane są przypadki katastrof oraz stanów awaryjnych i przedawaryjnych obiektów wznoszonych na dachach budynków. W sierpniu 2008 r. w rejonie Blachowni koło Częstochowy przeszła trąba powietrzna o bardzo znacznej sile, niszcząc elementy budynków, łamiąc drzewa zarówno pojedyncze, jak i w skupiskach, w wyniku której zawałił się stalowy maszt telefonii komórkowej, o wysokości 16,0 m posadowiony na dachu budynku na stalowym ruszcie (rys. 1).

Maszt zaprojektowano jako kratownicę przestrzenną o przekroju kwadratowym, o osiowym rozstawie krawężników 750 mm. Krawężniki i skratowanie wykonano z rur okrągłych. Maszt składał się z czterech segmentów o wysokości 4 m każdy, połączonych ze sobą za pomocą styków doczołowych. Na wysokości 12 m powyżej podstawy masztu zamocowano jeden poziom odciągów przytwierdzonych do konstrukcji wsporczej. Maszt był wyposażony w anteny, drabinę Soll, trasę falowodową oraz roboczy podest usytuowany na wysokości 23,8 m n.p.t.

W czasie katastrofy zerwania uległy odciagi masztu, czego przyczyną było rozgięcie haków przy nakrętkach napinających. Szczęśliwym zbiegiem okoliczności trzon masztu ułożył się wzdłuż dachu budynku – patrz rysunek 1. Uszkodzeniu uległy elementy masztu, kominy oraz pokrycie dachowe. Konstrukcja dachu nie została naruszona z uwagi na to, że maszt w czasie upadku oparł się na kominach. Strat w ludziach nie było.

W czasie zimowych ferii w 2009 r. doszło do uszkodzenia zakotwienia jednego z odciągów masztu o wysokości 15 m, posadowionego na dachu budynku szkoły w Bielsku-Białej (rys. 2 a i b).

Stalowy maszt zaprojektowano jako kratownicę przestrzenną o przekroju trójkątnym, o osiowym rozstawie krawężników

800 mm. Krawężniki i skratowanie wykonano z rur okrągłych. Trzon masztu złożonego z pięciu segmentów (o wysokości 3 m każdy) posadowiono na stalowym ruszcie zakotwionym w ścianach budynku, a usytuowane na dwóch poziomach (w układzie niesymetrycznym) odciagi zakotwiono w konstrukcji dachu. W projekcie nie podano sił wstępnego napięcia odciągów. W wyniku burzowego wiatru dwa skrajne odciagi przy okapie budynku zostały wyrwane, a stan techniczny zakotwień pozostałych odciągów budził zastrzeżenia.

Przed zakończeniem przerwy międzysemestralnej wprowadzono wstępnie napięte nowe odciagi, które zakotwiono w stropie budynku. Ponadto wzmocniono konstrukcję wsporczą masztu, co było konieczne ze względu na dodatkowe siły wstępnego napięcia odciągów, których nie uwzględniono w projekcie.

Na dachu budynku przemysłowego w Bielsku-Białej, o wysokości 21,0 m, posadowiono cztery stalowe maszty z zastrzałami, o wysokości 7,0 m i konstrukcji jak na rysunku 3.



Rys. 3. Konstrukcja wsporcza anten telefonii komórkowej



Rys. 4. Kopuła nad wystawowym pawilonem (w budowie) w Chorzowie

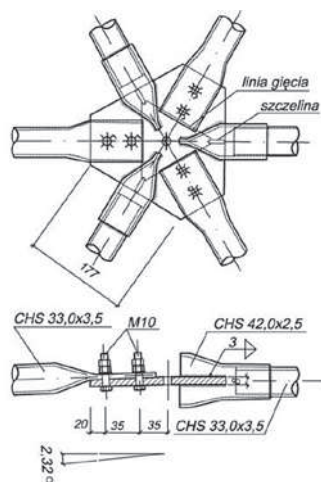
Każdy z masztów składał się z trzonu wykonanego z rury i dwóch rurowych zastrzałów, usytuowanych w dwóch wzajemnie do siebie prostopadłych płaszczyznach. Trzon i zastrzały zakotwiono w stalowych podstawach wypełnionych betonem, posadowionych na dachu budynku, bez ich kotwienia. Ciężar balastu nieznacznie przekraczał wartość maksymalnej siły osiowej w prętach, przy normowym wietrze. Podczas wichury, w marcu 2018 r. jeden z masztów został wywrócony przez porywisty wiatr, co zostało spowodowane zerwaniem papowego pokrycia dachowego. Podniesione pokrycie zachowało się jak żagiel, w wyniku czego pojawiło się duże, dodatkowe obciążenie, nie przewidziane w projekcie.

Zmieniono sposób posadowienia pozostałych masztów, kotwiąc je w żelbetowej konstrukcji dachu budynku.

3. Hale wystawowe

Znany jest przypadek dwóch identycznych konstrukcji prętowych – kopuły, wzniesionych z końcem lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku na terenach wystawowych w Chorzowie, w których luzy w połączeniach śrubowych,

Rys. 5. Widok przekrycia hali wystawienniczej w Chorzowie



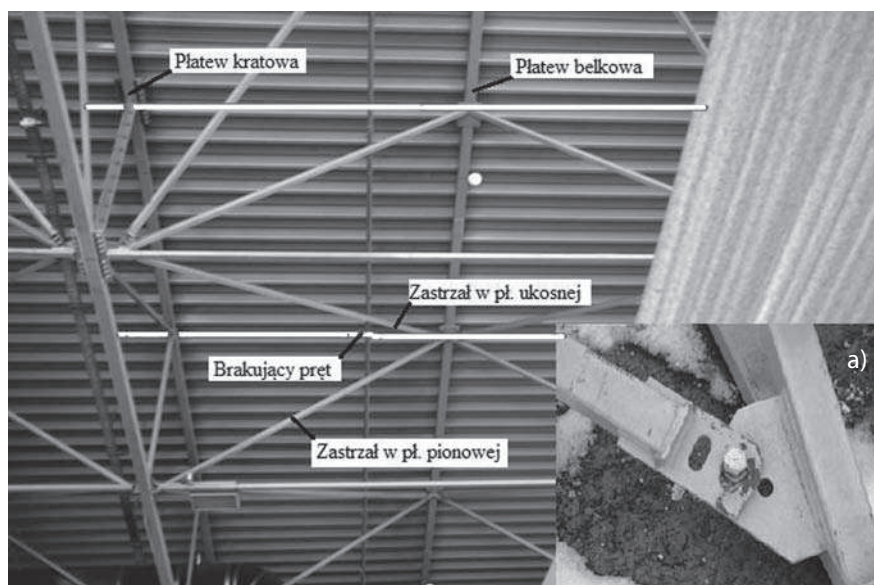
o wartościach bliskich wartościom normowym, były przyczyną awarii [3]. Kopuły o kształcie czaszy kulistej i wysokości 5 m, wsparte na stalowym pierścieniu nachylonym do poziomu pod kątem $4,76^\circ$ stanowiły przekrycie wystawowych pawilonów, o przekroju kołowym, o średnicy 30 m (rys. 4a). Kopuły zostały wykonane jako siatki prętowe o oczkach trójkątnych, z prętów rurowych. W każdym węźle trzy pręty były przyspawane do blachy węzłowej, a pozostałe trzy połączone z tą blachą za pomocą śrub M10, z gwintem na całej długości trzpienia (rys. 4b).

Awaria kopuły nastąpiła po kilku latach eksploatacji pawilonów. Pierwsza kopuła zawałowała się w nocy po zwianiu śniegu z nawietrznej jej części na zawietrzną. Druga kopuła uległa awarii w ciągu następnego dnia w czasie jej odśnieżania.

W wyniku badania połączeń prętów po awarii stwierdzono, że zewnętrzna średnica gwintu śrub wynosiła od 9,5 mm do 9,7 mm, a otwory na śruby zamiast 11 mm, jak przewidziano w projekcie, miały średnicę 12 mm.

Korzystając z metody składników w [9] dla węzłów belki ze słupem, opracowano wzory na sztywność połączeń zakładkowych [4] i zamodelowano przekrycie z uwzględnieniem wstępnych imperfekcji łukowych prętów ($1/200$) oraz poślizgu i podatności w węzłach na przesuw [5]. Za pomocą analizy II rzędu stwierdzono, że zarówno bez wstępnych imperfekcji łukowych, jak i z tymi imperfekcjami dochodzi, przy obciążeniach normowych według EC3, do utraty stateczności kopuły. Wniosek ten jest zgodny z analizą zawartą w [3], gdzie stwierdzono, że po pokonaniu sił tarcia mógł nastąpić lokalny przeskok węzła środkowego na wewnętrzną stronę kopuły. Po awarii na ściankach otworów były widoczne odciski gwintu śrub.

Szeroko opisane są przyczyny katastrofy wystawienniczej hali w Chorzowie np. [7], która miała miejsce w styczniu 2006 r. Istnieje jednak jedna mniej znana przyczyna, która mogła zainicjować katastrofę. W projekcie budowlanym przekrycie hali zaprojektowano w postaci przestrzennej struktury,



a w projekcie wykonawczym zrezygnowano z jednej rodziny prętów, w wyniku czego powstała jednokierunkowa konstrukcja przekrycia (rys. 5). W takim przekryciu wytworzyły się pionowe płatwie kratowe oraz kratownice ukośne złożone z płatwi belkowej (pas górny), zastrzałów (słupki i krzyżulce kratownicy ukośnej) oraz dolnego pasa płatwi kratowej, który stał się jednocześnie dolnym pasem kratownicy ukośnej. Słupki kratownicy ukośnej przyspawano do płatwi belkowej i dolnego pasa płatwi kratowej, a krzyżulce połączono na śruby umieszczone w owalnych otworach usytuowanych w kierunku prostopadłym do osi pręta – patrz rysunek 5a. Z uwagi na duże luzy w tych połączeniach krzyżulce nie włączyły się do pracy i obciążenie z płatwi belkowej zostało przekazane na dolny pas płatwi kratowej za pomocą słupków, tj. zastrzałów usytuowanych w płaszczyznach pionowych. Powyższe rozwiązanie w wyniku zamiany przekrycia strukturalnego na jednokierunkowe doprowadziło w niektórych płatwiach do wzrostu sił osiowych o 100%, a z racji luzów w połączeniach do kolejnego wzrostu sił w górnych pasach i krzyżulcach tych płatwi o dalsze 70%, co mogło zdecydować o inicjacji katastrofy. W efekcie niektóre z płatwi były przeciążone o 100%.

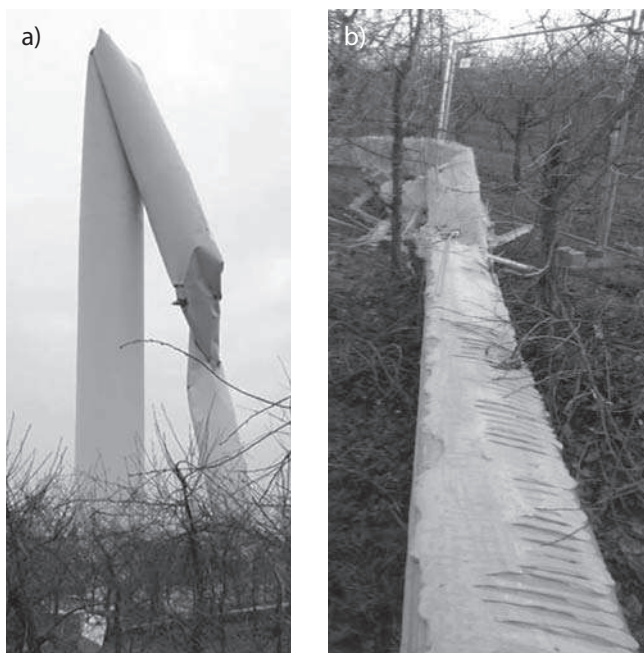
4. Inne konstrukcje

W ostatnich latach powszechne stało się przenoszenie do Polski używanych konstrukcji elektrowni wiatrowych. Czasami zdarza się, że zużyte łopaty śmigła zamienia się na inne pobrane z jeszcze starszego wiatraka. W efekcie w czasie eksploatacji ponownie zmontowanego wiatraka może dojść do oderwania poszycia łopaty śmigła i awarii elektrowni. Taki przypadek miał miejsce w grudniu 2017 r. w pobliżu

Radomia. W 2015 r. sprowadzono wiatrak wyprodukowany w 2008 r. z jedną łopatą wyprodukowaną w latach 2003–2006. W czasie montażu wiatraka w Polsce, na żądanie inspektora nadzoru budowlanego, wymieniono wszystkie śruby na nowe. Podmiany jednej z łopat nie zauważono. Wysokość wiatraka, licząc od poziomu fundamentu do poziomu środka piasty śmigła, wynosiła 71 m, a średnica śmigła wynosiła 58 m. Katastrofa wiatraka nastąpiła w czasie silnych wiatrów o prędkości bliskiej prędkości normowej. Odspojeniu uległo poszycie najstarszej łopaty, w wyniku czego ruch śmigła został zablokowany przez trzon wiatraka. W efekcie czego załamaniu uległ trzon, a łopata śmigła została oderwana od rotora i odrzucona daleko od wiatraka (rys. 6). W ekspertyzie sprawdzono jeszcze połączenie łopaty z rotorem na 52 sprężone śruby oraz wyłączenie trzonu przy normowym wietrze i przy wietrze, który wystąpił podczas katastrofy.

W 2009 r. przeniesiono konstrukcję pionowego koła karuzeli z terenów nadmorskich w tereny górskie, bez sprawdzenia nośności dla obciążeń występujących w nowych warunkach (rys. 7).

Konstrukcję wsporczą pionowego koła stanowią dwie pary słupów rozstawionych u dołu na odległość 8,33x3,7 m oraz para zastrzałów usytuowana w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez oś obrotu kół. Zastrzały są rozstawione u dołu na odległość 12,3 m. Pionowe koło karuzeli, o promieniu 12,3 m jest konstrukcją przestrzenną, składającą się z dwóch kół połączonych stężeniami. Każde z kół składa się z 20 szprych, wykonanych z rur, połączonych prętami obwodowymi tworzącymi dwa pierścienie. Jedno z kół – napędowe, wyposażone jest w bieżnię, w której osadzone są łożyska gondoli. Promień bieżni wynosi 12,3 m. Łożysko



Rys. 6. Widok na wiatrak po katastrofie: a) załamany trzon wiatraka, b) obdarta z poszycia łopata śmigła



Rys. 7. Widok na pionowe koło karuzeli wraz z konstrukcją wsporczą

w drugim kole osadzone jest na końcach szprych. Stężenia między kołami założono na powierzchniach walcowych, napięto je nakrętkami rzymskimi.

Ze względu na zwiększone obciążenie wiatrem dochodziło do rozwierania się doczołowych styków słupów i wrywania fundamentów. W ramach wzmocnienia konstrukcji połączono podstawy słupów i zastrzałów wstępnie napiętymi ściągami, w wyniku czego uzyskano korzystniejszy rozkład oddziaływań konstrukcji. Dociążono fundamenty, wzmocniono styki konstrukcji wsporczej oraz zakotwienia zastrzałów. Określono dopuszczalne obciążenie gondol.

5. Podsumowanie

Stacje bazowe telefonii komórkowej sytuowane są często na dachach obiektów użyteczności publicznej. Wynika to z tej przyczyny, że dla takich lokalizacji łatwiej jest uzyskać wszelkie wymagane dokumenty do pozwolenia na budowę. Stacja usytuowana na dachu budynku nie stwarza zagrożeń związanych z emisją pola elektromagnetycznego, poza niewielkim obszarem w bezpośrednim sąsiedztwie anten radiolinii. Anteny te są jednak ukierunkowane na swoje odpowiedniki w sąsiednich stacjach i nie mogą być niczym przesłonięte. Sytuowanie ich na dachach budynków zamieszkania zbiorowego może być nawet korzystne ze względu na krótką drogę od telefonu do anteny sektorowej, która zbiera sygnały z komórek. W takich przypadkach, z powodu słabszego sygnału, oddziaływanie pola elektromagnetycznego telefonu komórkowego na człowieka będzie znacznie mniejsze. Może jednak powstać zagrożenie związane z błędnie zaprojektowaną konstrukcją bądź z powodu huraganowych wiatrów.

W praktyce projektowej, w konstrukcjach prętowych z zasady analizuje się wpływ obrotowej sztywności węzłów na rozkład sił wewnętrznych. Wszelkie potrzebne do tego przepisy

i wzory są zawarte w odpowiednich aktach normatywnych [9]. W przypadku jednak podatności węzłów na przesuw sytuacja nie jest jednoznaczna. Brak jest ilościowego unormowania, w jakich przypadkach należy uwzględnić tę podatność. Okazuje się, jak w przedstawionych przykładach, że wpływ podatności węzłów na przesuw może doprowadzić do katastrofy budowlanej.

Inny problem dotyczy urządzeń z tak zwanego odzysku, to jest przenoszonych po pewnym okresie użytkowania z miejsca na miejsce. Wydaje się, że urządzenia takie jak elektrownie wiatrowe przed ich ponownym wykorzystaniem powinny uzyskać atest Instytutu Techniki Budowlanej, co mogłoby uchronić je od dość licznych awarii.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Runkiewicz R., Podstawy prawne realizacji napraw, wzmocnienia i rozbiórki konstrukcji budowlanych, Przegląd budowlany 10/2007, str. 25–31
- [2] Runkiewicz R., Katastrofy i awarie – informacje techniczne i wnioski, Przegląd budowlany 10/2008, str. 44–49
- [3] Augustyn J., Śledziwski E., Awaryjne konstrukcje stalowych, Arkady, Warszawa 1976
- [4] Zamorowski J., Świerczyńska Sz., Wuwer W., Zastosowanie metody składowej wg PN-EN 1993-1-8 do oceny sztywności połączeń zakładkowych, Inżynieria i Budownictwo 11/2011, str. 602–606
- [5] Zamorowski J., Kowolik B., Podatność węzłów na przesuw w konstrukcjach prętowych na przykładzie dwóch przekryć pawilonów wystawowych, Przegląd Budowlany, 7–8/2013, str. 61–66
- [6] Główny Urząd Nadzoru Budowlanego: Katastrofy budowlane w 2017 r. Warszawa, październik 2018
- [7] Główny Urząd Nadzoru Budowlanego: Wyciąg ze sprawozdania z działalności komisji powołanej przez Głównego Inspektora Nadzoru Budowlanego w sprawie ustalenia przyczyn i okoliczności katastrofy budowlanej w dniu 28 stycznia 2006 r. pawilonu wystawienniczego przy ul. Bytkowskiej 1 na terenie Międzynarodowych Targów w Katowicach, Warszawa, maj 2006
- [8] PN-EN 1990 Eurokod Podstawy projektowania konstrukcji
- [9] PN-EN 1993-1-8 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych Część 1-8: Projektowanie węzłów
- [10] PN-EN 1993-3-1 Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych Część 3-1: Wieże maszty i kominy. Wieże i maszty

biuraprojektowe.eu – więcej możliwości

Na platformie *biuraprojektowe.eu*, kierując się ideą „wspólny cel – nowa jakość”, wprowadzono zmiany. Obecnie jest więcej możliwości dla specjalistów z kontem podstawowym. Główne zmiany są ukierunkowane na nawiązywanie współpracy pomiędzy osobami lub firmami wykonującymi usługi projektowe w zakresie budownictwa. – *Słuchając głosu naszych użytkowników, których zdecydowaną większość stanowią specjaliści z kontem podstawowym, udostępniliśmy narzędzia, dzięki którym współpraca między nimi będzie prosta, łatwo dostępna i przede wszystkim bezpłatna. Dbamy o to, aby nasz portal służył nie tylko biurom projektowym, ale także inżynierom i architektom. Oba te zawody zaufania publicznego są tak samo ważne. Ich zgodna współpraca oparta na usługach najwyższej jakości może przyczynić się do przywrócenia ich dawnego prestiżu w oczach inwestora – mówią przedstawiciele biuraprojektowe.eu. Portal w ramach akcji „Jedno konto – więcej możliwości” – udostępnił takie opcje jak:*



- **Katalog ogłoszeń Specjalisty poszukującego pracownika.** Baza ogłoszeń oraz ich publikacja jest bezpłatna. Dostęp mają wszyscy specjaliści jak i Poszukujący pracy;
- **Katalog ogłoszeń o współpracę międzybranżową.** Baza ogłoszeń oraz ich dodawanie w roli poszukującego zleceń lub Specjalisty do współpracy są bezpłatne. Dostęp mają wszyscy specjaliści;
- **Ekspercka porada prawna.** Możliwość skorzystania z fachowej porady prawnej w zakresie prawa budowlanego i dziedzin pokrewnych, dostępna dla Specjalistów w niższej cenie.

Akcja promocyjna trwa od 22.07.2019 r. do odwołania. Więcej na www.biuraprojektowe.eu