

Utrzymanie prawidłowego stanu technicznego rusztowań podczas prac budowlanych

Conditions for proper functioning of scaffolding during construction work

prof. dr hab. inż. Ewa Błazik-Borowa (ORCID: 0000-0001-8200-3827), Politechnika Lubelska

DOI 10.5604/01.3001.0053.8489

Streszczenie: W pracy przedstawiono warunki, które muszą zostać spełnione, aby rusztowanie budowlane spełniło swoją najważniejszą funkcję, jaką jest zapewnienie bezpieczeństwa pracownikom. Problemy w prawidłowym utrzymaniu rusztowania mogą wynikać z posadowienia na słabym lub o nierównomiernym rozkładzie podatności podłożu, z nieprawidłowego ustawienia na podkładach i z niedokładnego montażu. Z tego powodu rusztowanie podczas eksploatacji może nierównomiernie osiadać, następuje zmiana jego geometrii i zmiana schematu statycznego. To natomiast powoduje, że pod wpływem obciążeń statycznych i dynamicznych wzrasta wyczerpanie elementów rusztowania lub konstrukcja wpada w drgania. Pojawienie się możliwości ruchu jest sygnałem, że stan techniczny rusztowania nie jest prawidłowy.

Słowa kluczowe: rusztowanie, jakość montażu, eksploatacja, odpowiadanie konstrukcji, stan techniczny.

Abstract: The paper presents the conditions which must be met for the construction scaffolding to fulfil its most important function of ensuring the safety of employees. Problems of the correct maintenance scaffolding can result from setting on a weak or uneven ground, incorrect positioning on mudsills and inaccurate assembly. For this reason, during operation, under the influence of static and dynamic loads, the scaffolding may settle unevenly, significantly change its geometry and change the static scheme. Under the influence of static and dynamic loads, it can cause an increase in the effort of the structure or its vibrations. The appearance of the possibility of movement is a signal that the technical condition of the scaffolding is not correct.

Keywords: scaffolding, assembly quality, operation, structural response, technical condition.

1. Wprowadzenie

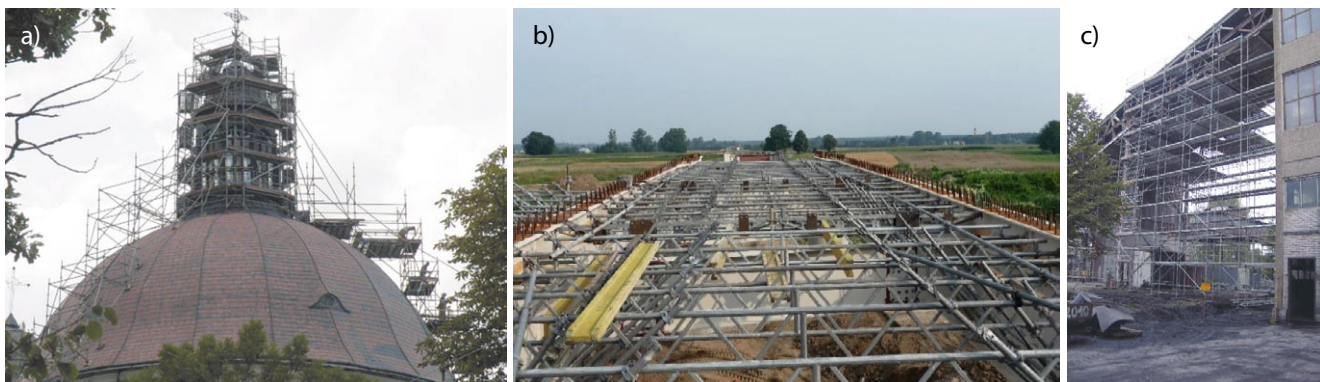
Rusztowania budowlane są tymczasowymi konstrukcjami stosowanymi na budowach i jednocześnie jednymi z ważniejszych urządzeń technicznych na tych budowach. Ich stosowanie ma na celu zapewnienie dostępu pracownikom do stanowisk pracy na wysokości i w miejscach trudno dostępnych oraz ma zapewnić im bezpieczeństwo. Z tego powodu istotne jest ich prawidłowe utrzymanie rozumiane jako utrzymanie poszczególnych komponentów lub jako utrzymanie w prawidłowym stanie technicznym kolejnych konstrukcji z nich montowanych. Niniejsze opracowanie będzie dotyczyło tego drugiego zagadnienia, jako bardziej związanego z działalnością inżyniera budownictwa. Celem artykułu jest pokazanie, co należy zrobić, aby rusztowanie budowlane nie sprawiało kłopotów, spowodowanych złym stanem technicznym, i spełniło swoją najważniejszą funkcję, jaką jest zapewnienie bezpieczeństwa osobom, które na nim pracują.

2. Wybrane prawne i techniczne aspekty funkcjonowania rusztowań

Rusztowania budowlane w zależności od tego, do jakich prac lub przy jakich obiektach mają być wykorzystywane,

mogą być niewielkimi i prostymi obiektami lub poważnymi i skomplikowanymi konstrukcjami inżynierskimi. W celu zobrazowania problemu na rysunku 1 pokazano kilka wybranych rusztowań, przedstawiających ich różnorodność. Mimo że rusztowania są konstrukcjami, różnią się od typowych obiektów budowlanych. Na przykład: okres użytkowania rusztowań jest znacznie krótszy niż innych obiektów budowlanych, rusztowania są łatwo demontowalne, są budowane z elementów wielokrotnie używanych w innych konstrukcjach itp.

Budynki w momencie oddania do użytkowania są w prawidłowym stanie technicznym, a w przypadku rusztowań z powodu braku pełnego nadzoru często tak nie jest. Główną przyczyną tego faktu jest to, że przepisy dotyczące rusztowań zawierają wiele miejsc pozwalających na dość swobodną interpretację w zakresie ich stanu technicznego. Na przykład mimo to, że rusztowania są często skomplikowanymi konstrukcjami inżynierskimi, to według ustawy Prawo budowlane [1] nie są obiektami budowlanymi, chociażby dlatego, że nie są wzniesione z użyciem wyrobów budowlanych. Jak wiadomo ustawa Prawo budowlane [1] dotyczy tylko obiektów budowlanych, co pozwala na postawienie kontrowersyjnej tezy, że Prawo budowlane [1] nie dotyczy rusztowań. Jednak z drugiej strony, zgodnie z treścią ustawy Prawo budowlane [1], uwzględnia ona zapisy Dyrektywy Rady



Rys. 1. Przykłady rusztowań: a) wejście i stanowiska pracy w Hodyszewie, b) konstrukcja wsporcza płyty pomostowej w Budach Łańcuckich, c) platforma robocza w KWK Pawłowice, d) rusztowanie podwieszane w Lublinie (zdjęcia własne)

(92/57/EWG) z dnia 24 czerwca 1992 r. w sprawie wdrożenia minimalnych wymagań bezpieczeństwa i ochrony zdrowia na tymczasowych lub ruchomych budowach [2], która wprost mówi o wymaganiach, dotyczących rusztowań. Funkcjonowanie rusztowań w Unii Europejskiej reguluje również Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/104/WE z dnia 16 września 2009 r. dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny użytkowania sprzętu roboczego przez pracowników podczas pracy [3]. W Polsce dwoma podstawowymi aktami prawnymi, regulującymi funkcjonowanie rusztowań są: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy [4] i Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych [5]. Te akty prawne są egzekwowane przede wszystkim przez Państwową Inspekcję Pracy (PIP). To powoduje, że w Polsce często uznaje się, że funkcjonowanie rusztowań jest w kompetencjach PIP i dlatego organy nadzoru budowlanego rzadziej ingerują w sytuacjach zagrożenia ludzi z powodu nieprawidłowego stanu technicznego rusztowań. Należy też zaznaczyć, że w Polsce nie ma ścisłych wymagań w zakresie certyfikacji rusztowań. Firmy, produkujące rusztowania, traktują jako dobrą praktykę posiadanie znaku bezpieczeństwa, wydawanego przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie.

Zgodnie z dyrektywami [2] i [3] oraz rozporządzeniami [4] i [5], wprowadzającymi te dyrektywy, rusztowanie budowlane przede wszystkim ma zapewnić dostęp do stanowisk pracy i bezpieczeństwo pracy. Rusztowania muszą być zaprojektowane, zmontowane, konserwowane i eksploatowane tak, aby zapobiec jego przypadkowym ruchom lub awarii, która może oznaczać przewrócenie się rusztowania lub uszkodzenie pojedynczych komponentów. Rozdział 8 rozporządzenia [5] zawiera najbardziej szczegółowe wymagania w zakresie kształtowania geometrii rusztowania, a są to m.in.:



- „rusztowania powinny być montowane zgodnie z dokumentacją producenta lub projektem indywidualnym”,
- „rusztowania należy ustawiać na podłożu ustabilizowanym i wyprofilowanym, ze spadkiem umożliwiającym odpływ wód opadowych”,
- pomosty robocze powinny być zabezpieczone krawężnikami (bortnicami) i poręczami od strony zewnętrznej,
- jeżeli pomost roboczy jest odsunięty od ściany o więcej niż 20 cm, to powinien być zabezpieczony krawężnikiem (bortnicą) i poręczami również od strony wewnętrznej,
- konstrukcja rusztowania nie powinna wystawać poza najwyższą położoną linię kotew więcej niż 3 m, a pomost roboczy może być montowany maksymalnie 1,5 m ponad tą linią,
- nośność kotwy, mierzona siłą wyrwywającą kotwę ze ściany, nie może być mniejsza niż 2,5 kN,
- odległość stanowiska pracy od pionu komunikacyjnego nie powinna być większa niż 20 m,
- rusztowania, usytuowane bezpośrednio przy drogach, ulicach powinny posiadać daszki ochronne i osłonę z siatek ochronnych.

Z punktu widzenia utrzymania rusztowań ważne są ich przeglądy. Zgodnie z zapisami dyrektywy [2] i rozporządzenia [5]: „rusztowania i ruchome podesty robocze powinny być każdorazowo sprawdzane, przez kierownika budowy lub uprawnioną osobę, po silnym wietrze, opadach atmosferycznych oraz działaniu innych czynników, stwarzających zagrożenie dla bezpieczeństwa wykonania prac, i przerwach roboczych dłuższych niż 10 dni oraz okresowo, nie rzadziej niż raz w miesiącu”. Zakres przeglądów powinna określać instrukcja rusztowania lub projekt indywidualny. Zalecenia

zawarte w wymienionych dokumentach zwykle ograniczają się do wizualnej oceny konstrukcji rusztowania i sprawdzenia jego kompletności. Wyniki badań, przedstawione w dalszej części opracowania, pokażą, że to jest zbyt mały zakres. Przeglądy powinny być rozszerzone co najmniej o badania stanu kotew i stabilności rusztowania.

Rusztowania, jeżeli nie są do tego przeznaczone, to nie powinny służyć jako powierzchnie do magazynowania materiałów budowlanych, ponieważ: „Pozostawianie materiałów i wyrobów na pomostach rusztowań i ruchomych podestów roboczych po zakończeniu pracy jest zabronione” (por. Rozporządzenie [5]).

Bardzo ważnym zapisem, odnoszącym się do utrzymania rusztowania, jest informacja o tym, że ewentualne zmiany w konstrukcji rusztowania mogą być wykonywane tylko przez osoby do tego uprawnione.

Zgodnie z rozporządzeniem [4] rusztowania powinny spełniać również wymagania, określone przez polskie normy. Niestety taki zapis nie wskazuje na konkretne normy, dlatego nie skutkuje tym, że normy dedykowane rusztowaniom stają się obowiązującymi aktami prawnymi. Mimo to warto znać te normy i je stosować. Ze względu na zachowanie się rusztowania w trakcie użytkowania ważne jest, aby już w trakcie jego montażu dostosować się do wymagań norm PN-M [6], [7] i [8]. Wymienione normy podają bardzo szczegółowo zasady montażu rusztowań, np. dotyczące dopuszczalnych niedokładności montażu. Zalecenia, dotyczące badań i projektowania rusztowań, znajdują się w normach PN-EN [9], [10] i [11]. Zakres tych ostatnich norm pokazuje, że autorzy norm umożliwiają wykorzystanie nowoczesnych narzędzi informatycznych i przekazali wiele kompetencji projektantom w zakresie kształtowania konstrukcji. Oprócz wymienionych norm podczas projektowania należy również stosować Eurokody. Zbierając informacje ze wszystkich wymienionych opracowań można wymienić następujące wymagania, które mają spowodować, że rusztowanie będzie spełniało swoją funkcję:

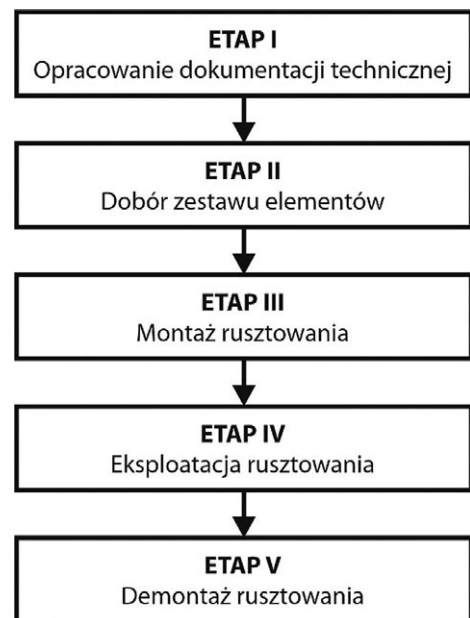
- nośność podłoża powinna być większa od 0,1 MPa i większa od nacisku podkładów na podłoże,
- rusztowanie należy tak zmontować, aby maksymalne odchyłki rusztowania od idealnej geometrii nie były większe od podanych w instrukcji rusztowania lub od odchyłek podanych w normie [10], tzn. 15 mm dla rusztowań o wysokości do 10 m i 25 mm dla rusztowań powyżej wysokości 10 m,
- konstrukcja rusztowania powinna spełniać warunki stanu granicznego nośności,
- należy zabezpieczyć konstrukcję przed utratą stateczności konstrukcji, czyli mnożnik (współczynnik) krytyczny obciążenia α_{cr} powinien być większy od 2.

Każdy z aktów prawnych wskazuje również, że w trakcie użytkowania rusztowanie nie może być obciążane powyżej wartości dopuszczalnych, określonych w dokumentacji rusztowania i umieszczonych na tabliczce na rusztowaniu.

Zgodnie z tytułem punktu, powyżej opisano tylko wybrane aspekty funkcjonowania rusztowań. Poszerzone informacje, dotyczące tego tematu, można znaleźć w takich pracach, jak: w języku polskim [12, 13, 14, 15, 16] lub angielskim [17, 18, 19].

3. Warunki utrzymania prawidłowego stanu technicznego rusztowania podczas eksploatacji

W punkcie 1 zostały omówione akty prawne i normy mające zapewnić to, że rusztowania zapewnią bezpieczeństwo użytkowników. W tym punkcie zostanie opisany stan rusztowań na budowach w Polsce oraz ocena czy obecny stan prawny oraz poziom kultury bezpieczeństwa w zakresie utrzymania rusztowań jest wystarczający do tego, aby rusztowania spełniały swą funkcję.



Rys. 2. Etapy funkcjonowania rusztowań [17]

Rusztowanie jest konstrukcją tymczasową wykonywaną z komponentów prefabrykowanych, które były i będą używane w kolejnych konstrukcjach. Na funkcjonowanie rusztowania ma wpływ zarówno jakość samych komponentów, jak i jakość montażu konstrukcji a potem utrzymania i użytkowania. W pracy [17] podzielono funkcjonowanie rusztowania na 5 etapów (rys. 2) i opisano ich wpływ na funkcjonowanie rusztowań. Utrzymanie sprawnego rusztowania podczas prac budowlanych zależy od etapu III, czyli montażu rusztowania oraz etapu IV, czyli eksploatacji. Przy czym eksploatacja rusztowania to zarówno sposób użytkowania, jak i działania na rzecz zachowania ich prawidłowego stanu technicznego.

3.1. Znaczenie dokładności montażu rusztowań

Fazy montażu wraz ze wskazaniem prac, mających wpływ na bezpieczeństwo użytkowników rusztowania, przedstawiono

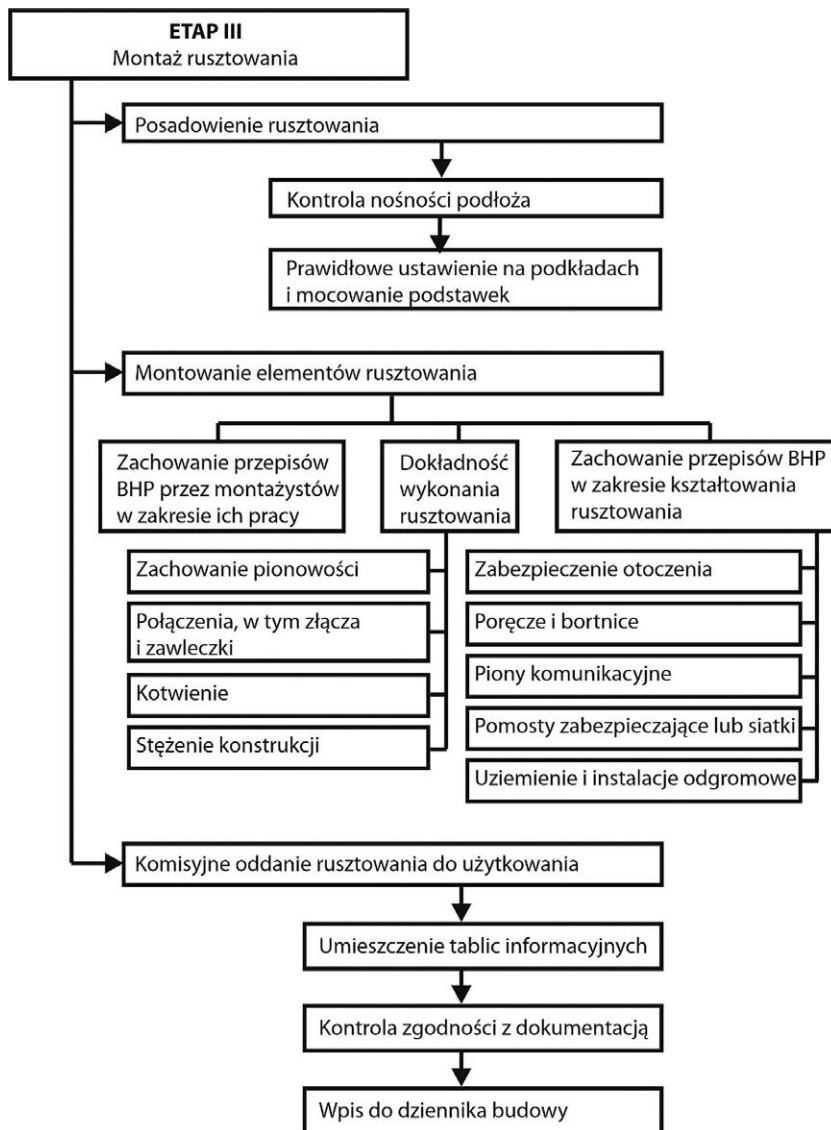
Rys. 3. Warunki montażu rusztowania wpływające na stan techniczny rusztowania podczas eksploatacji [17]

na rysunku 3. Montaż konstrukcji rusztowania należy poprzedzić przygotowaniem podłoża i podkładów. Inwentaryzacja ramowych rusztowań budowlanych w Polsce pokazała, że tylko 20% rusztowań jest prawidłowo posadawianych. Przyczyną tego stanu jest brak świadomości, jak zachowują się rusztowania, i co może spowodować podczas eksploatacji konkretne niedociągnięcia podczas montażu rusztowania. Rusztowanie powinno być posadowione na gruncie równomiernie zagęszczonym o odpowiedniej nośności. Dokładna odpowiedź na pytanie, jaka nośność gruntu jest potrzebna, wymaga wykonania badań podłoża, znajomości sił nacisku na grunt, przekazywanych ze stojaków i wykonania obliczeń zgodnie z Eurokodem 7 [20]. Z przykładem takich obliczeń można się zapoznać w pracy [21].

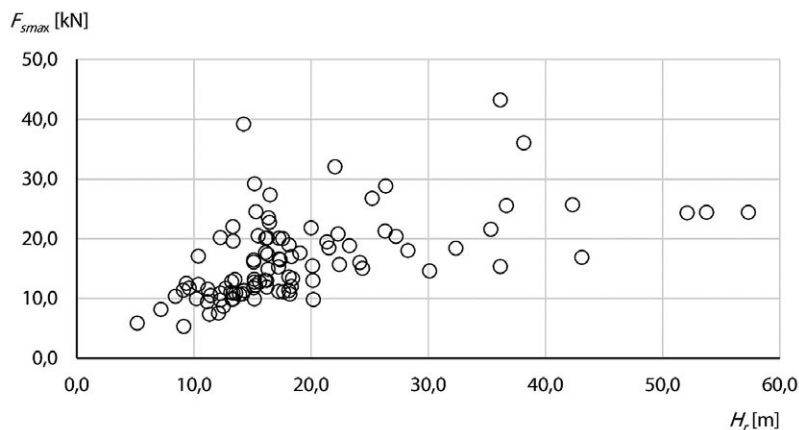
Informacje o wartościach maksymalnych sił nacisku F_{smax} z jednego stojaka na podkład w zależności od wysokości rusztowania H_r zestawiono na rysunku 4. Wartości podane na rysunku 4 są wynikiem obliczeń statycznych 100 rusztowań, które zostały poddane działaniu obciążeń normowych. W tych obliczeniach geometria rusztowań została przyjęta na podstawie pomiarów geodezyjnych na budowach, a więc pokazane siły uwzględniają także fakt możliwości wzrostu sił nacisku z powodu imperfekcji. Jak widać na rysunku 4, może się zdarzyć, że przy niskich rusztowaniach też wystąpią większe siły normalne w podstawkach. To są sytuacje, gdy rusztowania nie mają regularnej budowy, np. gdy część rusztowania jest podwieszona. Większość rusztowań o wysokości do 20 m przekazuje na grunt nacisk w pojedynczym stojaku do 15,0 kN.

Istotnym warunkiem prawidłowego funkcjonowania rusztowań jest posadowienie rusztowania na podłożu o podobnych właściwościach fizycznych wzdłuż całej konstrukcji. Jeżeli rusztowanie osiada równomiernie, dochodzi do podwieszenia konstrukcji na kotwach. Natomiast gdy mamy niejednorodny

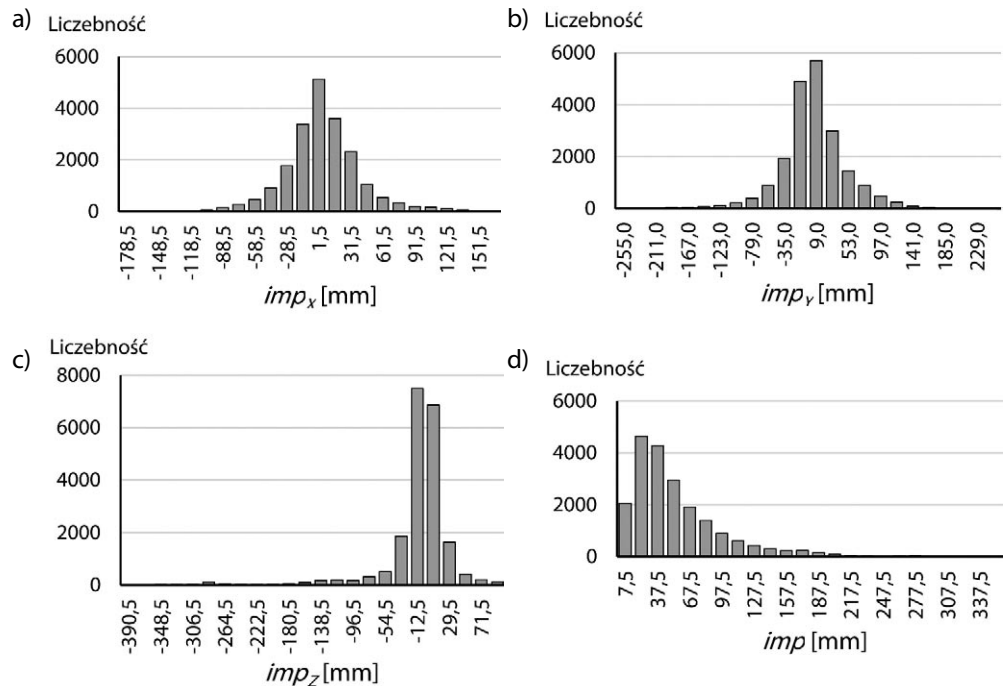
Rys. 4. Maksymalne siły nacisku z jednego stojaka F_{smax} w zależności od wysokości rusztowania H_r [16]



grunt, dochodzi do zmian w geometrii rusztowania, nierównomiernego rozłożenia obciążeń na komponenty rusztowań, do dodatkowych obciążeń stężeń i ogólnie do wzrostu wartości naprężenia normalnego w elementach konstrukcji. Jak podano w pracy [22], nierównomierne osiadanie podłoża powoduje dociążenie kotew niezależnie od kierunku



Rys. 5. Histogramy imperfekcji przechyłowych w rusztowaniach w całej Polsce [16]:
 a) pozioma składowa imperfekcji wzdłuż rusztowania imp_x ,
 b) pozioma składowa imperfekcji w kierunku prostopadłym do rusztowania imp_y ,
 c) pionowa składowa imperfekcji imp_z , d) wypadkowa wartość imperfekcji imp



niejednorodności podłoża oraz znaczne dociążenie stężeń, które mogą się „wypinać” podczas funkcjonowania rusztowania. Jeżeli iloraz minimalnego i maksymalnego modułu odkształcenia podłoża m jest mniejszy od 0,5, siły normalne w kotwach wzrastają co najmniej pięciokrotnie. Montaż stężeń w rusztowaniu ma na celu utworzenie sztywniejszych fragmentów rusztowania, zapewniających sztywność konstrukcji wzdłuż elewacji. Jednak jednocześnie powstaje fragment, w którym dwie płaszczyzny ram rusztowania pracują razem, a nierównomierne osiadanie stojaków wzdłuż elewacji zwiększa wyężenie stężeń, które są pomiędzy tymi płaszczyznami zamontowane. Przy $m < 0,5$ ten wzrost jest co najmniej dwukrotny. Wpływ niejednorodności gruntu na naprężenia normalne w stojakach, poprzeczkach i dźwigarach jest mniejszy. W stojakach zmiana geometrii powoduje wzrost momentów zginających i w konsekwencji naprężeń normalnych. W poprzeczkach, zwłaszcza przy osiadaniu w kierunku prostopadłym do elewacji, dochodzi do ich dodatkowego zginania, wynikającego ze „ścianania” ram. W celu uniknięcia wzrostu naprężeń normalnych w komponentach rusztowania, podczas montażu rusztowania należy doprowadzić do tego, że:

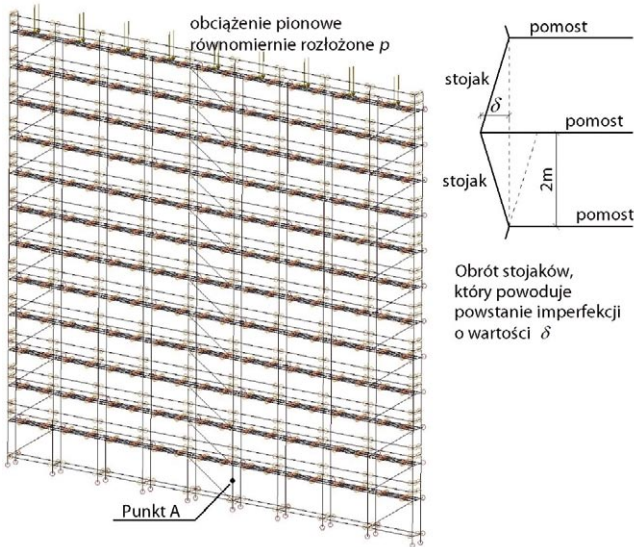
- moduł odkształcenia gruntu zagwarantuje spełnienie warunku stanu granicznego nośności,
- iloraz minimalnego i maksymalnego modułu odkształcenia podłoża będzie większy od 0,8,
- rusztowanie będzie prawidłowo ustawione na podkładach [18, 23, 24, 25],
- ukształtowanie terenu zagwarantuje, że nie dojdzie do podmycia podkładów.

Jeżeli zagęszczenie rodzimego gruntu nie daje gwarancji uzyskania prawidłowej nośności, należy tę nośność uzyskać poprzez zastosowanie jednej z następujących opcji: grunt

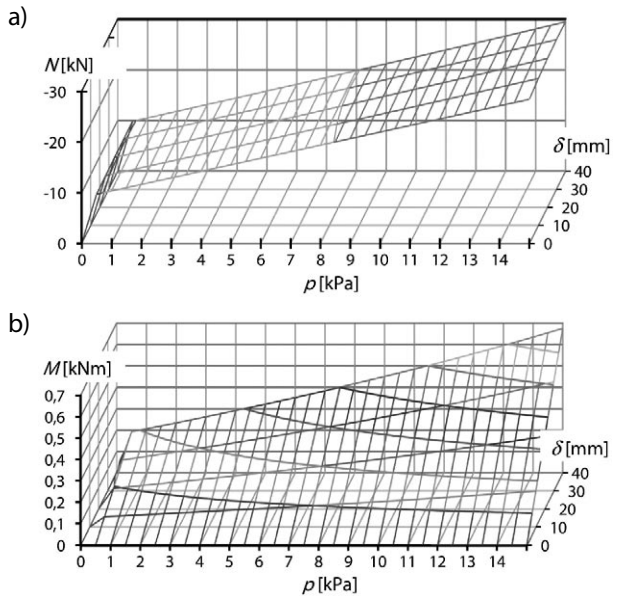
wymienić na piasek gruby do głębokości około 0,5 m i oczywiście odpowiednio zagęścić, zastosować chudy beton lub zastosować płyty betonowe.

Jakość montażu rusztowania (rys. 3) ma wpływ na wielkość imperfekcji geometrycznych. Rusztowania budowlane są montowane z komponentów, które są tak zaprojektowane, aby były łatwe w montażu. Na przykład ramy mogą być ze sobą łączone poprzez ustawienie czopów ramy wyższej na trzpieniach ramy niższej. Takie połączenie pozwala na szybki montaż, ale także umożliwia wzajemny obrót komponentów i w konsekwencji powstanie imperfekcji przechyłowych. Wyniki pomiarów imperfekcji na 120 rusztowaniach fasadowych w Polsce, wykonane w ramach projektu ORKWIZ [16] pokazane są na rysunku 5. Próbę badawczą stanowi pomiar położenia połączenia dwóch stojaków, ustawionych nad sobą. Histogramy na rysunku 5 pokazują liczebność prób dla poszczególnych zakresów wartości odchylenia tych połączeń od idealnej geometrii. Te imperfekcje są wynikiem niedokładności montażu oraz eksploatacji rusztowania czyli etapu IV funkcjonowania rusztowania. Wśród 50% zmierzonych prób osiągnięto wartości odchylenia większe, odpowiednio, od: 17,6 mm dla poziomych imperfekcji wzdłuż rusztowania, 20,6 mm dla poziomych imperfekcji w kierunku prostopadłym do ściany, 11,5 mm dla imperfekcji pionowych, 41,6 mm dla wypadkowych wartości imperfekcji. Wpływ nieregularnych imperfekcji nie jest jednoznaczny i nie zawsze oznacza większe wyężenie komponentów rusztowania. Wynika to stąd, że na połączeniach elementów jest możliwość ruchu (głównie obrotów) i rusztowanie „układa się”, a efekty takiego zjawiska mogą być zarówno pozytywne jak i negatywne.

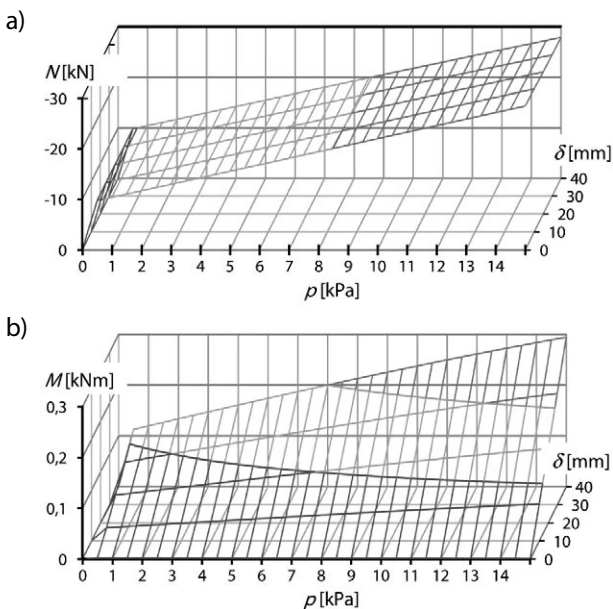
Jeżeli analizujemy regularne odchylenia od idealnej geometrii, np. jak to zostało opisane w pracy [26], to następuje wzrost naprężeń normalnych spowodowany wzrostem



Rys. 6. Schemat statyczny rusztowania [26]



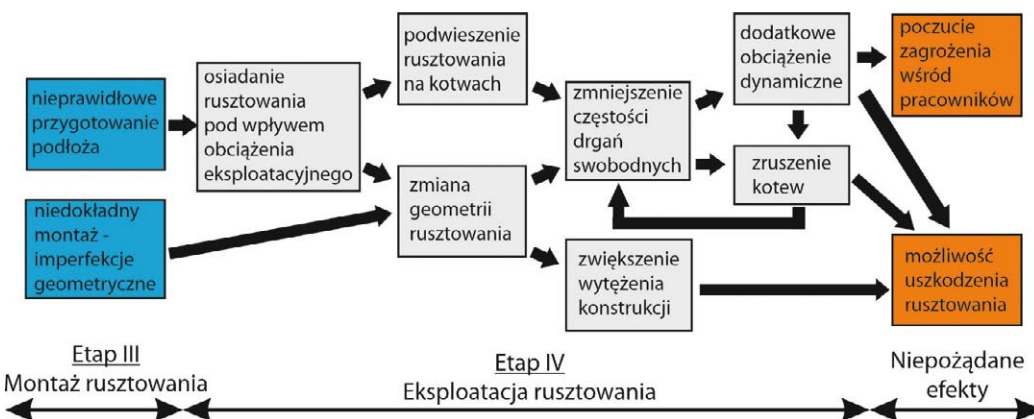
Rys. 8. Siły wewnętrzne w stojaku w punkcie A przy imperfekcjach w płaszczyźnie równoległej do rusztowania [26]: a) siła normalna N , b) moment zginający o wektorze prostopadłym do płaszczyzny rusztowania M



Rys. 7. Siły wewnętrzne w stojaku w punkcie A przy imperfekcjach w płaszczyźnie prostopadłej do rusztowania [26]: a) siła normalna N , b) moment zginający o wektorze równoległym do płaszczyzny rusztowania M

momentów zginających. Na rysunku 6 pokazane jest rusztowanie wraz z układem imperfekcji i wskazanym punktem, w którym odczytane są siły wewnętrzne, pokazane na rysunku 7 i 8. Siły wewnętrzne są wynikiem nieliniowych obliczeń statycznych przy czterech wielkościach maksymalnych wychyleń d (rys. 6), równych 10, 20, 30 i 40 mm, oraz przy obciążeniu pionowym równomiernie rozłożonym na najwyższym poziomie pomostów. Jak widać na wykresach powierzchniowych, wzrost sił normalnych przy wzroście imperfekcji nie jest znaczny. Natomiast momenty zginające o wektorze prostopadłym do płaszczyzny, w której są imperfekcje, wzrastają wraz ze wzrostem wielkości niedokładności i ta zależność jest tym silniejsza, czym jest większe obciążenie. Momenty zginające o wektorze zlokalizowanym w płaszczyźnie imperfekcji mają wartości zanedbywalnie małe i dlatego nie zostały pokazane na rysunkach.

Podsumowaniem tego podpunktu jest rysunek 9. Nieprawidłowe posadowienie konstrukcji i niedokładny montaż,



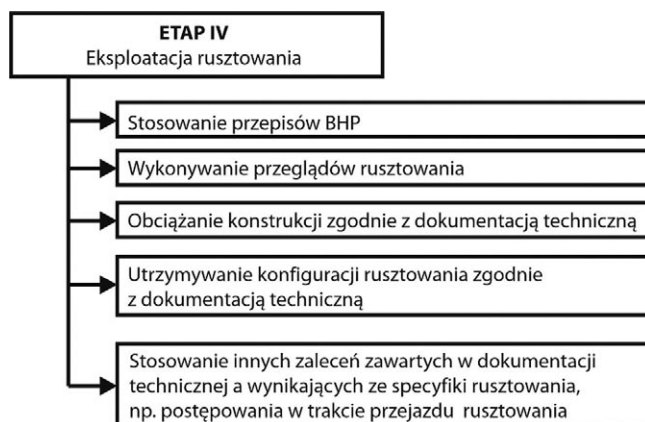
Rys. 9. Wpływ etapu montażu na funkcjonalność rusztowania [16] i [18]

które są zaszerogowane do etapu III funkcjonowania rusztowań, powodują, że w etapie IV pod wpływem statycznych i dynamicznych obciążeń następuje osiadanie rusztowania, zmiana jego geometrii i schematu statycznego rusztowania. To powoduje zwiększenie wyężenia konstrukcji i zmniejszenie częstości drgań własnych. Konsekwencją zmniejszenia wartości częstości drgań własnych jest większe prawdopodobieństwo wywołania drgań przez ludzi i maszyny, a tym samym dochodzi do zruszenia kotew i zmniejszenia ich nośności lub całkowite ich dezaktywowanie. Ostatecznym efektem jest poczucie zagrożenia przez pracowników i możliwość uszkodzenia rusztowania w trakcie użytkowania.

3.2. Wybrane aspekty użytkowania rusztowania

W tym podpunkcie zostaną omówione problemy utrzymania rusztowania w dobrym stanie technicznym związane z jego eksploatacją, a najważniejsze warunki utrzymania prawidłowego stanu rusztowania zostały zestawione na rysunku 10. Poziom negatywnego wpływu niestosowania warunków z rysunku 10 jest tym większy, czym gorzej jest posadowione i zmontowane rusztowanie w etapie III jego funkcjonowania.

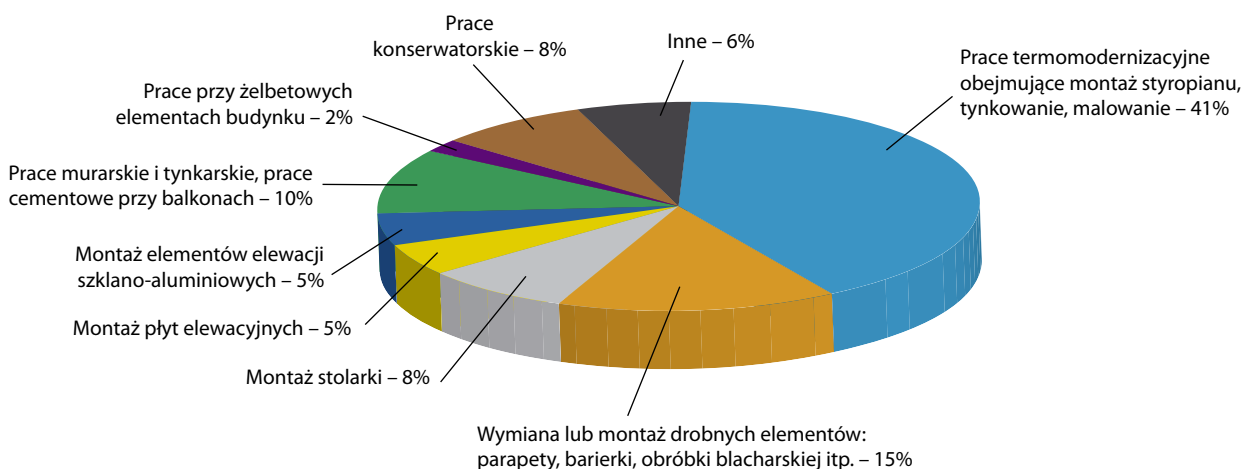
Obciążenia użytkowe rusztowań zależą od rodzaju prac budowlanych z nich wykonywanych. Rusztowania ramowe są stosowane przede wszystkim do prac budowlanych na obiektach o elewacjach niemal płaskich. Dlatego najczęściej wykonywane prace z wykorzystaniem tego typu rusztowań, to prace modernizacyjne, wymiana lub montaż elementów: parapety, barierki, obróbki blacharskiej itp., montaż stolarki i prace konserwacyjne. Zestawienie procentowego udziału prac, wykonywanych z rusztowań ramowych, pokazano na rysunku 11. Na podstawie prac [16] i [27], w tabeli 1, podano prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnego obciążenia użytkowego rusztowania. Jak wynika z tabeli, najbardziej restrykcyjną normą jest norma australijsko-nowozelandzka [28], a najmniej restrykcyjne są uregulowania amerykańskie [29]. Podane prawdopodobieństwa nieprzekroczenia dopuszczalnego obciążenia są bliskie wartości 1,0,



Rys. 10. Warunki eksploatacji rusztowania wpływające na utrzymanie prawidłowego stanu technicznego [17]

co oznaczałoby, że zagrożenie jest niewielkie. Jednak gdy wzrasta liczba użytkowanych rusztowań i czas ich użytkowania, to jak podano w pracy [27] przy 11 tys. rusztowań użytkowanych średnio przez 12 tygodni prawdopodobieństwo przynajmniej jednokrotnego przekroczenia obciążenia, na którymś z rusztowań, jest równe prawie 1,0. Potwierdzają to takie uszkodzenia pomostów, jak plastyczne wygięcia pomostów lub spękania przy uchwytych. Tego typu uszkodzenia są dość często stwierdzane na rusztowaniach.

Rusztowania modułowe są stosowane do prac wokół obiektów o nieregularnych kształtach lub w zakładach przemysłowych. Takie rusztowania powinny być zawsze montowane na podstawie projektu technicznego (indywidualnego), w którym powinny być określone dopuszczalne obciążenie rusztowania. Ze względu na różnorodność zastosowań rusztowań modułowych przyjęte dopuszczalne obciążenie może być dedykowane konkretnym pracom i dlatego może to być wartość mniejsza niż 2,0 kN/m² dla klasy 3 obciążenia. W przypadku prac, wymagających większych obciążeń, poza nośnością konstrukcji ograniczeniem jest dopuszczalne obciążenie pomostów. Jeżeli powstał projekt techniczny rusztowania, te problemy są uwzględniane.



Rys. 11. Rodzaje prac budowlanych wykonywanych z wykorzystaniem rusztowań ramowych [16]

Tabela 1. Prawdopodobieństwo nieprzekroczenia dopuszczalnego obciążenia na 120 rusztowaniach w ciągu jednego tygodnia roboczego

Nazwa normy		EN 12811-1 [9]	AS/NZS 1576.1 [28]	29 CFR 1926 [29]
Nazwa klasy obciążenia		3 klasa	średnia (medium duty)	średnia (medium duty)
Dopuszczalne obciążenie użytkowe		2,0 kN/m ²	4,4 kN/pomost	2,39 kN/m ²
Dopuszczalne obciążenie użytkowe na 1 m długości pomostu	szerokość 0,7m	1,4 kN/m		1,68 kN/m
	długość 3,0m		1,47 kN/m	
Obciążenie pomostu	rozkład Gumbela	0,99733977	0,99811854	0,99933476
	rozkład Weibulla	0,99992646	0,99996889	0,99999809
Obciążenie sumaryczne wszystkich pomostów w jednym pionie	rozkład Gumbela	0,99608993	0,99716314	0,99891737
	rozkład Weibulla	0,99988739	0,99995342	0,99999742

Jednak gdy nie ma projektu, do przeciążeń rusztowań modułowych dochodzi znacznie częściej niż w przypadku rusztowań ramowych, ale szczegółowych badań w tym zakresie obecnie nie ma.

Ogólne zasady, jakie należy stosować na budowie, aby nie dopuścić do przekroczenia obciążenia, to:

- monitorowanie liczby pracowników a tym samym ich sumarycznej masy (masa 1 pracownika z drobnym sprzętem to ok. 100 kg) i masy materiałów na rusztowaniu, przy czym w jednym pionie suma mas nie może przekraczać dopuszczalnej masy określonej na tabliczce rusztowania,
- materiały budowlane powinny być rozłożone równomiernie na całej powierzchni,
- nie należy zostawiać materiałów i sprzętu na rusztowaniu po zakończeniu pracy.

W trakcie eksploatacji rusztowania są poddawane działaniu obciążenia użytkowego i obciążeń środowiskowych. Do obciążeń środowiskowych rusztowań, ustawianych na zewnątrz budynków, zalicza się m.in. wiatr, śnieg i oblodzenie. Użytkownicy rusztowań nie mają wpływu na wielkość tych obciążeń. Wiadomo natomiast, że projekty techniczne rusztowań powinny uwzględniać obciążenia środowiskowe zgodnie z normami czyli np. w przypadku wiatru powinny uwzględniać lokalizację rusztowania oraz ewentualnie rodzaj osłony ochronnej, wykonanej z siatki lub plandeki. Wymienione osłony stosuje się m.in. w celu zabezpieczenia osób wokół rusztowania przed spadającymi z rusztowania przedmiotami. Jednak podczas silnych wiatrów lub burz, siatki i plandeki mogą też stanowić zagrożenie, ponieważ mogą się oderwać od rusztowania lub pociągnąć je za sobą. Dlatego ze względu na bezpieczeństwo w trakcie silnych wiatrów, których porywy mogą przekraczać wartości normowe, należy te osłony zdjąć. Siatka może stanowić problem także podczas opadów śniegu lub deszczu w zimie, który może zamienić się w oblodzenie siatki, lub przy dużym zapyleniu na budowie np. podczas prac wyburzeniowych. W wymienionych sytuacjach ciężar siatki znacząco wzrasta, ponieważ opad wypełnia przestrzeń w „oczkach”

siatki. Dodatkowe obciążenie może spowodować jej oderwanie od rusztowania lub znaczące jego dociążenie. Dlatego podczas eksploatacji rusztowania, nie można do takich sytuacji dopuścić.

Podczas użytkowania rusztowania bez siatki w okresach zimowych może dojść do obciążenia konstrukcji ciężarem śniegu lub oblodzenia. Oblodzenie dodatkowo zwiększa powierzchnię działania wiatru. Pracownicy na takie rusztowanie nie powinni wchodzić dopóki rusztowanie nie zostanie odśnieżone lub nie zniknie oblodzenie. Natomiast samo rusztowanie powinno być monitorowane przez cały ten okres a po usunięciu obciążenia należy wykonać dokładny przegląd konstrukcji.

Rusztowania są konstrukcjami o niskich częstościach drgań własnych (por. np. [22, 25, 30]). Podczas ich użytkowania dochodzi do zruszenia kotew, a to powoduje, że rusztowania są podatne na wpływy dynamiczne. Obciążeniem rusztowań, którego nie można uniknąć, są ich użytkownicy. Pracownicy na rusztowaniach nie tylko pracują, ale również muszą dojść do stanowiska pracy. Poruszając się po konstrukcji, wymuszają drgania o niskich częstościach rzędu 1,0–2,0 Hz. Jak wykazano w pracy [30], w przypadku konstrukcji wiotkich o niskich częstościach drgań własnych, do których można zaliczyć rusztowania, tego typu wymuszenie jest znaczącym obciążeniem dynamicznym, powodującym wzrost wyężenia konstrukcji i dyskomfort ludzi. W trakcie realizacji projektu ORKWIZ członkowie zespołu stwierdzili, że podczas przebywania na rusztowaniu odczuwają dyskomfort z powodu drgań konstrukcji. Regularnie spotykanym wymuszeniem było oczywiście przejście pracowników po rusztowaniu, ale drgania były również odczuwane podczas podawania mieszanki przez przewód pompy torkretowej, podwieszony do elementów rusztowania, podczas zrzucania śmieci w zsybie budowlanym lub, gdy działały urządzenia typu winda towarowa lub młot udarowy w budynku. Ze względu na konieczność stosowania wymienionych urządzeń należy zastosować środki ostrożności. Przede wszystkim należy uwzględnić tego rodzaju obciążenie w projekcie. Ponadto

węże do tłoczenia zaprawy i rynny zsypane należy podwieszać do elementów konstrukcji rusztowań w sposób przegubowy, zwiększyć liczbę kotew w miejscu mocowania tych urządzeń i codziennie po zakończonym dniu pracy sprawdzić ich stan.

Rusztowania są narażone na uszkodzenia wywołane uderzeniami samochodu, uderzeniami transportowanych elementów lub spadającymi przedmiotami. Takim przykładem zniszczenia rusztowania było wydarzenie na budowie w Warszawie w roku 2016. Z zawiesia żurawia urwała się płyta deskowania, która spadła na rusztowanie o wysokości 26 m. Płyta spadała w pozycji pionowej i ścięła pomosty na całej wysokości rusztowania. Częstszym przypadkiem mechanicznego zniszczenia rusztowania jest uderzenie samochodem. Cała seria takich wydarzeń, opisanych np. w pracy [31], miała miejsce w latach 2005–2007 podczas budowy autostrad i dróg szybkiego ruchu. Na budowach obiektów kubaturowych też należy zabezpieczać rusztowania przed uderzeniami pojazdów poprzez ustawianie odbojów, nie związanych z rusztowaniem.

Rusztowania są montowane z elementów wielokrotnego użytku. Ich budowa jest dostosowana do tego, aby łatwo można było je połączyć. To oznacza również łatwy demontaż pojedynczych elementów. Dlatego podczas użytkowania rusztowania problemem jest możliwość zmiany geometrii rusztowania poprzez zamierzone wyjęcie pojedynczych komponentów lub w ramach aktów wandalizmu. Na przykład wyjęcie stężenia w dolnej warstwie rusztowania może doprowadzić do utraty stateczności. Dość łatwo także można zdemontować pomosty. To także prowadzi do zmiany schematu statycznego, a więc także do zmiany pracy całej konstrukcji pod wpływem obciążeń np. powoduje zmniejszenie sztywności w płaszczyźnie poziomej. Jednak wyjęcie pomostu ma groźniejsze bezpośrednie konsekwencje. Brak pomostu to otwór, który zagraża bezpieczeństwu użytkowników. Podobne konsekwencje ma wyjęcie poręczy. Dlatego jeżeli są wprowadzane jakiegokolwiek zmiany, należy najpierw sprawdzić, czy taka zmiana nie zagraża konstrukcji rusztowania i jego użytkownikom. Ponadto takie zmiany mogą być wykonane tylko pod nadzorem osoby uprawnionej.

Groźnym obciążeniem rusztowania jest obciążenie geometryczne spowodowane zmianą geometrii podłoża, polegającą na podniesieniu się do góry. Taka sytuacja może wystąpić, gdy podłoże w okolicy rusztowania jest odciążone poprzez usunięcie materiałów budowlanych. Największy negatywny efekt dotyczy sytuacji, gdy rusztowanie jest ustawione na stropie. W trakcie prac budowlanych materiały budowlane, magazynowane na stropie, są na bieżąco zużywane i strop się podnosi. Jeżeli ta zmiana jest rozłożona w czasie, luzu na rusztowaniu pozwalają na dostosowanie się konstrukcji do nowej geometrii, ale przy gwałtownym usunięciu obciążenia może dojść do znacznego zwiększenia wyężenia lub utraty stateczności rusztowania.

Właściwie podczas eksploatacji rusztowania w każdej chwili może dojść do jego awarii lub wypadku. Potwierdzają to wyniki badań, przedstawione w pracy [32], według których spośród 120 rusztowań, przebadanych w całej Polsce, 56 nie powinno być użytkowanych z powodu przekroczenia stanów granicznych nośności. Dlatego bardzo ważne są przeglądy zgodnie z dyrektywą [2] i rozporządzeniem [5] i przeglądy codzienne, a w przypadku wysokich rusztowań o nietypowej geometrii ciągły monitoring.

4. Podsumowanie

Obecny stan prawny, regulujący stosowanie rusztowań w Polsce, zawiera wiele bardzo istotnych zapisów, ale nie gwarantuje w pełni ich prawidłowego funkcjonowania. Niestety wiele zapisów pozwala na luźną interpretację, np. zapisy dotyczące podłoża gruntowego lub określenie osób kompetentnych w zakresie projektowania i odbioru rusztowań. Także poziom kultury bezpieczeństwa jest nadal niewystarczający, co skutkuje niestosowaniem przepisów, np. brakuje dopuszczalnego obciążenia na tabliczkach rusztowań, siły wyrwywające kotwy są mniejsze od 2,5 kN, brakuje projektów technicznych (w rozporządzeniu [5] nazywanych „indywidualnymi”) dla rusztowań nietypowych itp. Rangę znaczenia rusztowań podniosłoby wprowadzenie w Polsce obowiązkowej certyfikacji, tak jak ma to miejsce w wielu krajach Europy. Stan techniczny rusztowań na budowach poprawiłoby także:

- wyraźne określenie zakresu odpowiedzialności w poszczególnych etapach funkcjonowania rusztowania,
- zwiększenie znaczenia norm poprzez wprowadzenie ich do rozporządzeń,
- zwiększenie zakresu zagadnień, dotyczących rusztowań, w treściach przedmiotowych studiów na kierunku budownictwo,
- poszerzenie zakresu kontroli Państwowej Inspekcji Pracy o badania stanu technicznego, w tym stanu podłoża, geometrię rusztowania, stan kotwienia, możliwość ruchu rusztowania, itp.
- ciągle monitorowane w trakcie prac budowlanych rusztowań wysokich, o skomplikowanej geometrii lub o znacznym obciążeniu.

Mimo że rusztowania są konstrukcjami o krótkim okresie użytkowania, należy zapewnić ich prawidłowy stan techniczny przez cały okres eksploatacji podczas prac budowlanych. Jest to jeden z koniecznych warunków zapewnienia bezpieczeństwa ludzi, przebywających na rusztowaniu lub wokół niego. Obecny stan wiedzy umożliwi tworzenie bezpieczniejszych systemów rusztowań, dokładniejszą symulację komputerową zachowania się rusztowań przy różnych obciążeniach i dokładniejszy monitoring pracy w trakcie eksploatacji rusztowania. Ponieważ życie ludzkie jest najważniejsze, należy z tych osiągnięć inżynierii korzystać mimo, że są dodatkowymi kosztami.

W opracowaniu wykorzystano badania wykonane w ramach projektu PBS3/A2/19/2015 „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych” ORKWIZ, realizowanego w latach 2016–2018 przez konsorcjum naukowe, w skład którego wchodziły: Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka i Politechnika Wrocławska. Projekt został sfinansowany przez NCBiR.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Prawo budowlane, Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane z p. zm., tekst jednolity opracowany na podstawie Dz.U. z 2021 r. poz. 2351, z 2022 r. poz. 88
- [2] Dyrektywa Rady (92/57/EWG) z dnia 24 czerwca 1992 r. w sprawie wdrożenia minimalnych wymagań bezpieczeństwa i ochrony zdrowia na tymczasowych lub ruchomych budowach (ósma szczegółowa dyrektywa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG), 2019
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/104/WE z dnia 16 września 2009 r. dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny użytkowania sprzętu robocznego przez pracowników podczas pracy (druga dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG), 2009
- [4] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy z p. zm., Dz.U. nr 169 poz. 1650, 2003
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych, Dz.U. nr 47, poz. 401, 2003
- [6] PN-M-47900-1: Rusztowania stojące metalowe robocze. Określenia, podział i główne parametry, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1996
- [7] PN-M-47900-2: Rusztowania stojące metalowe robocze. Rusztowania stojakowe z rur. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1996
- [8] PN-M-47900-3: Rusztowania stojące metalowe robocze. Rusztowania ramowe, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1996
- [9] PN-EN 12811-1: Tymczasowe konstrukcje stosowane na placu budowy. Część 1: Rusztowania. Warunki wykonania i ogólne zasady projektowania, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2007
- [10] PN-EN 12811-2: Tymczasowe konstrukcje stosowane na placu budowy. Część 2: Informacje o materiałach, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2008
- [11] PN-EN 12811-3: Tymczasowe konstrukcje stosowane na placu budowy. Część 3: Obciążenia badawcze, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2003
- [12] Błazik-Borowa E., Przyczyny techniczne awarii rusztowań – część 1, Builder 10/2017
- [13] Błazik-Borowa E., Przyczyny techniczne awarii rusztowań – część 2, Builder 12/2017
- [14] Błazik-Borowa E., Przyczyny techniczne awarii rusztowań – część 3, Builder 1/2018
- [15] Błazik-Borowa E., Przyczyny techniczne awarii rusztowań – część 4, Builder 5/2018
- [16] Błazik-Borowa E., Obciążenia i oddziaływania na rusztowania jako konstrukcje inżynierskie, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2018
- [17] Błazik-Borowa E., Szer J., The analysis of the stages of scaffolding "life" with regard to the decrease in the hazard at building works, Archives of Civil and Mechanical Engineering 2(15)2015
- [18] Pieńko M., Robak A., Błazik-Borowa E., Szer J., Safety Conditions Analysis of Scaffolding on Construction Sites, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering 12(2)2018
- [19] Błazik-Borowa E., Geryło R., Wielgos P., The probability of a scaffolding failure on a construction site, Engineering Failure Analysis, tom 131, 1/2022, str. 105864
- [20] PN-EN 1997-1 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2008
- [21] Nepelski K., Błazik-Borowa E., Określanie nośności podłoża przy projektowaniu rusztowań, Kwartalnik Rusztowania 2/2017
- [22] Błazik-Borowa E., Jamińska-Gadomska P., Pieńko M., Influence of foundation quality on the stress in the elements of steel façade scaffolding, Buildings 10(7)2020, str. 130
- [23] Pieńko M., Prawidłowe posadowienie rusztowań – co to znaczy? Inżynier Budownictwa 5/2022
- [24] Pieńko M., Problematyka rusztowań w aspekcie bezpieczeństwa pracy na wysokości, Przegląd budowlany 9–10/2022
- [25] Błazik-Borowa E., Lipecki T., Bęc J., Robak A., Pieńko M., Jamińska-Gadomska P., Wpływ niedokładności montażu rusztowań na bezpieczeństwo i wytrzymałość konstrukcji. Przegląd budowlany 7–8/2017
- [26] Błazik-Borowa E., Gontarz J., The influence of the dimension and configuration of geometric imperfections on the static strength of a typical façade scaffolding, Archives of Civil and Mechanical Engineering 16/2016
- [27] Błazik-Borowa E., Pieńko M., Szer I., Hoła B., Czarnocki K., Probability distribution functions for service loads of frame scaffoldings, Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences 69(2)2021
- [28] AS/NZS 1576.1. Scaffolding. Part 1: General requirements. Council of Standards Australia and Council of Standards New Zealand, Sydney, 2010
- [29] 29 CFR 1926. Safety and health regulations for construction. Scaffold Specifications> Electronic Code of Federal Regulations, https://www.ecfr.gov/cgi-bin/textidx?SID=216cf71043472cbf91e958fef3620f6e&mc=true&node=pt29.8.1926&rgn=div5#ap29.8.1926_1454.a, accessed November 2020
- [30] Cyniak P., Szer I., Szer J., Lipecki T., Błazik-Borowa E., Wpływ obciążenia dynamicznego na wytrzymałość konstrukcji rusztowania. Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture, t. XXXIV, z. 64 (3/1/17), 2017
- [31] Kałuziński D., Mańko Z., Uszkodzenia rusztowań w czasie budowy nowych wiaduktów nad autostradą A18, XXIII Konferencyjna Naukowo-Techniczna Awarie budowlane, Międzyzdroje, 2007
- [32] Błazik-Borowa E., Bęc J., Jamińska-Gadomska P., Kawecki B., Lipecki T., Pieńko M., Robak A., Szulej J., Wielgos P., Analysis of the load bearing capacity of scaffoldings used in Poland. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, tom 951, 2020



11th INTERNATIONAL CONFERENCE

AMCM 2024

**ANALYTICAL MODELS AND NEW CONCEPTS
IN CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES**

JUNE 26-28, ŁÓDŹ, POLAND

<http://www.amcm2024.p.lodz.pl/>