

Podstawowe elementy modelu oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych na rusztowaniach

Dr hab. inż. Ewa Błazik-Borowa, Politechnika Lubelska, dr inż. Jacek Szer, Politechnika Łódzka

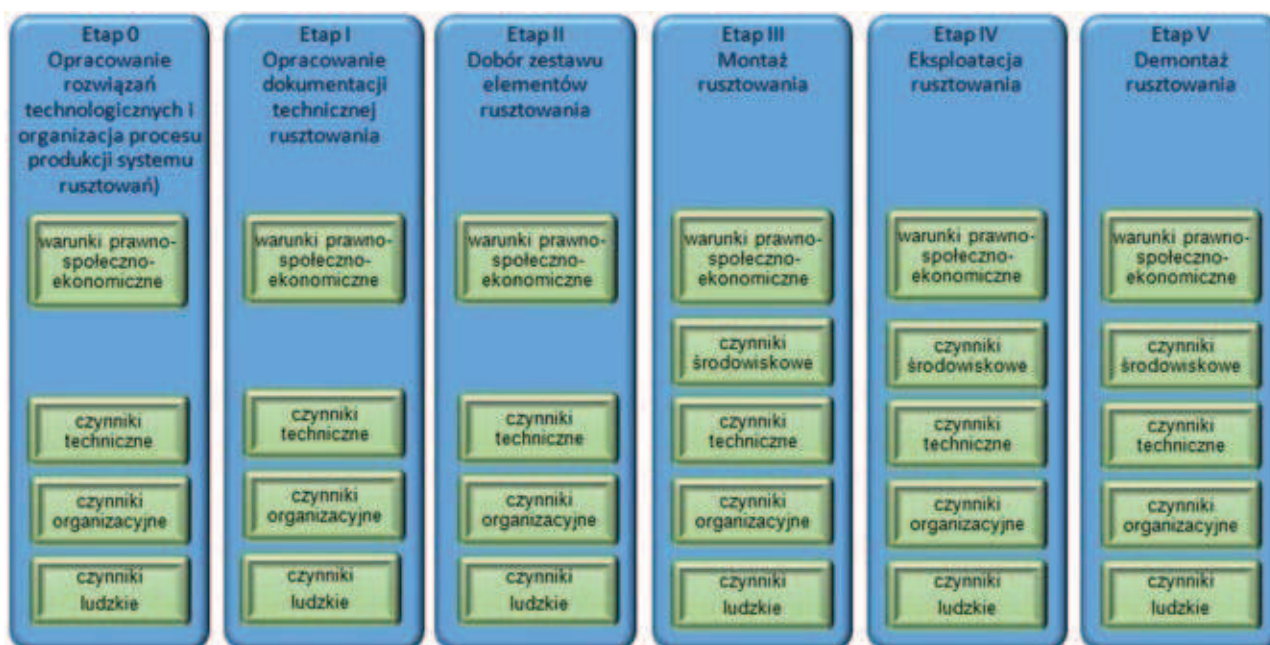
1. Wprowadzenie

Rusztowania budowlane mają za zadanie umożliwić prace budowlane w miejscach o utrudnionym dostępie, przy czym w większości sytuacji są to prace na wysokości. W zasadzie wszystkie prace wykonywane na rusztowaniach są niebezpieczne i wiążą się z ryzykiem wystąpienia wypadku, awarii rusztowania lub innej sytuacji, w wyniku której mogą zostać narażeni ludzie. Dodatkowo na budowach nie docenia się znaczenia konstrukcji rusztowań. Traktuje się je jako obiekty tymczasowe i nie zwraca się często uwagi na takie problemy jak stan techniczny rusztowań czy ich posadowienie. Stosowanie rusztowań do prac, które same w sobie są niebezpieczne, i dodatkowo traktowanie rusztowań jako małoistotnych tymczasowych obiektów na budowie powoduje, że rusztowania są czynnikiem materialnym, będącym

jednym z głównych „aktorów” (por. [1]) wszelkiego rodzaju niebezpiecznych sytuacji.

2. Podział czynników wpływających na bezpieczeństwo pracy na rusztowaniu

Na możliwość wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych z udziałem rusztowań ma wpływ wiele czynników. Ich podział z uwzględnieniem etapu funkcjonowania rusztowania, omówiony szczegółowo w pracach [2] i [3], przedstawia rysunek 1. Jak widać na rysunku, czynniki podzielono na pięć grup i są to: warunki prawno-społeczno-ekonomiczne (PSE), czynniki środowiskowe, czynniki techniczne, czynniki organizacyjne i czynniki ludzkie. Podział na grupy czynników został dokonany w taki sposób, aby zdarzenia z nimi związane były zdarzeniami niezależnymi.



Rys. 1. Układ czynników wpływających na bezpieczeństwo pracy z uwzględnieniem etapów funkcjonowania rusztowania

Warunki prawno-społeczno-ekonomiczne to czynniki wynikające z ogólnej sytuacji gospodarczej w kraju, kondycji finansowej przedsiębiorstw, stanu prawnego w zakresie funkcjonowania rusztowań, sytuacja na rynku pracy itp. Przykładami takich czynników w odniesieniu do województwa są na przykład: produkcja sprzedana przemysłu, sprzedaż produkcji budowlano-montażowej, budżet województwa, nakłady inwestycyjne, PKB województwa, PKB w budownictwie w województwie, liczba podmiotów gospodarczych w budownictwie, pracujący w budownictwie, stopa bezrobocia rejestrowanego, przeciętne miesięczne wynagrodzenia, zwolnienia z pracy w budownictwie, struktura zatrudnienia ze względu na wykształcenie, struktura wiekowa zatrudnień.

Druą grupą czynników to czynniki środowiskowe. Są to bodźce fizyczne otoczenia zewnętrznego oddziałujące zarówno na człowieka podczas pracy, jak i na konstrukcję. Są to takie oddziaływania, jak: hałas, temperatura, wilgotność, ciśnienie, wiatr, oświetlenie, drgania, zapylenie, opady, oblodzenie, pole elektromagnetyczne, promieniowanie, elektryczność atmosferyczna. Czas trwania tych czynników pokrywa się z okresem użytkowania rusztowania na budowie, dlatego ich wpływ jest uwzględniany w etapach montażu, eksploatacji i demontażu.

Warunki PSE i czynniki środowiskowe wpływają na bezpieczeństwo pracy, ale osoby odpowiedzialne za funkcjonowanie rusztowania nie mają na nie wpływu. Natomiast kolejne trzy grupy to czynniki, na które można wpłynąć w trakcie trwania budowy w celu ustalenia bezpiecznego stanu. Czynniki techniczne to ogólnie stan techniczny rusztowania, w tym nośność konstrukcji, podatność na drgania, uszkodzenia elementów, a w szczególności elementów zabezpieczających, stan posadowienia, imperfekcje geometryczne, stan zakotwienia, poziom obciążenia konstrukcji, kształtowanie konstrukcji rusztowania pod kątem BHP. Wymienione czynniki można połączyć w grupy i scharakteryzować następującymi parametrami: niezawodność konstrukcji, niezawodność pomostów, częstotliwość drgań własnych konstrukcji, poziom zachowania zasad BHP.

Czynniki organizacyjne to zbiór uwarunkowań związanych z organizacją pracy (nadzór, koordynacja prac, stanowisko pracy, właściwe umiejętności dostosowane do wykonywanych zadań, zabezpieczenie w narzędzia pracy, składowanie elementów) oraz przestrzeganiem zasad BHP (szkolenia BHP, badania lekarskie, podejście do przestrzegania przepisów BHP, uprawnienia montażysty, dokumentowanie odbiorów, dokumentacja rusztowań, wyposażenie w środki ochrony indywidualnej).

I ostatnia grupa najbardziej wynikająca z działalności człowieka to czynniki ludzkie, związane ze stanem psychofizycznym człowieka (choroba, znaczny wysiłek energetyczny, stres) oraz zachowaniami pracowników (zachowania społeczne, poczucie kontroli, hierarchia wartości społecznych, nawyki, percepcja ryzyka).

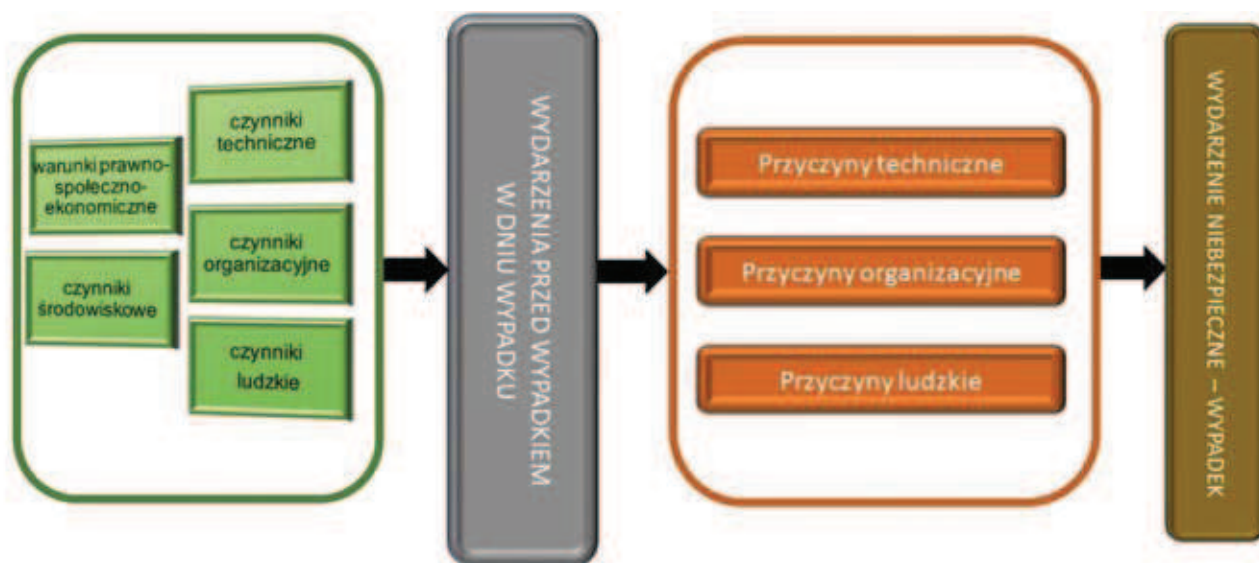
Poszczególne grupy czynników występują we wszystkich

etapach funkcjonowania rusztowania i mają wpływ na bezpieczeństwo pracy oraz możliwość wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego w trzech ostatnich etapach funkcjonowania rusztowań. Na przykład zła kondycja finansowa wykonawcy, wynikająca z czynników PSE, może spowodować rezygnację z opracowania dokumentacji rusztowania nietypowego w etapie II. Następnie także zła kondycja finansowa wykonawcy może doprowadzić do nieprawidłowej organizacji pracy (np. praca w nadgodzinach, wymóg zwiększenia tempa pracy itp.) podczas eksploatacji rusztowania w etapie IV. Jeden czynnik o parametrach, mających negatywny wpływ na bezpieczeństwo, powoduje różne konsekwencje w dwóch różnych etapach. Brak dokumentacji może spowodować, że użytkowane rusztowanie jest mało stabilne, a poruszanie się po nim powoduje zmęczenie, co w połączeniu ze złą organizacją pracy, także mającą negatywny wpływ na stan psychofizyczny pracownika, doprowadza do zachowań ludzi, stwarzających niebezpieczeństwo. Właśnie tego typu zależności ujęte w schematy i zależności funkcyjne zostaną omówione w kolejnym punkcie.

3. Analiza zależności pomiędzy elementami modelu oceny ryzyka

3.1. Schemat modelu

Czynniki, wymienione w poprzednim punkcie, decydują o przebiegu prac budowlanych na budowie, w tym o wydarzeniach poprzedzających wypadek, zaistnieniu przyczyn, które doprowadzają do zagrożenia i ostatecznie wypadku. Grupy czynników oraz pozostałe wymienione elementy, tzn. wydarzenia poprzedzające wypadek, przyczyny i wypadek lub inne zdarzenie niebezpieczne są głównymi elementami modelu oceny ryzyka wystąpienia sytuacji niebezpiecznej na rusztowaniu ustawionym w czasie tak, jak pokazano to na rysunku 2. Warto tutaj zwrócić uwagę, że w modelu używane są dwa terminy: czynniki i przyczyny. Czynnikiem są nazywane oddziaływania, które istnieją zawsze, ale wartości tych oddziaływań mogą w różny (negatywny lub pozytywny) sposób wpływać na możliwość wystąpienia wypadku. Przyczyna to stan przed wypadkiem, który ma zawsze negatywny wpływ na zaistniałą sytuację. Zaproponowany podział przyczyn wynika z podziału, jaki jest stosowany w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 7 stycznia 2009 r. w sprawie statystycznej karty wypadku przy pracy [4]. Zgodnie z tym rozporządzeniem przyczyny techniczne to: wady konstrukcyjne lub niewłaściwe rozwiązania techniczne i ergonomiczne czynnika materialnego, niewłaściwe wykonanie czynnika materialnego, wady materiałowe czynnika materialnego, niewłaściwa eksploatacja czynnika materialnego. Przyczyny organizacyjne to te, które są efektem niewłaściwej ogólnej organizacji pracy i niewłaściwej organizacji stanowiska pracy. Natomiast przyczyny ludzkie to: brak lub niewłaściwe posługiwanie się czynnikiem materialnym przez pracownika, nieużywanie sprzętu ochronnego



Rys. 2. Podstawowe elementy modelu oceny ryzyka wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych na rusztowaniu

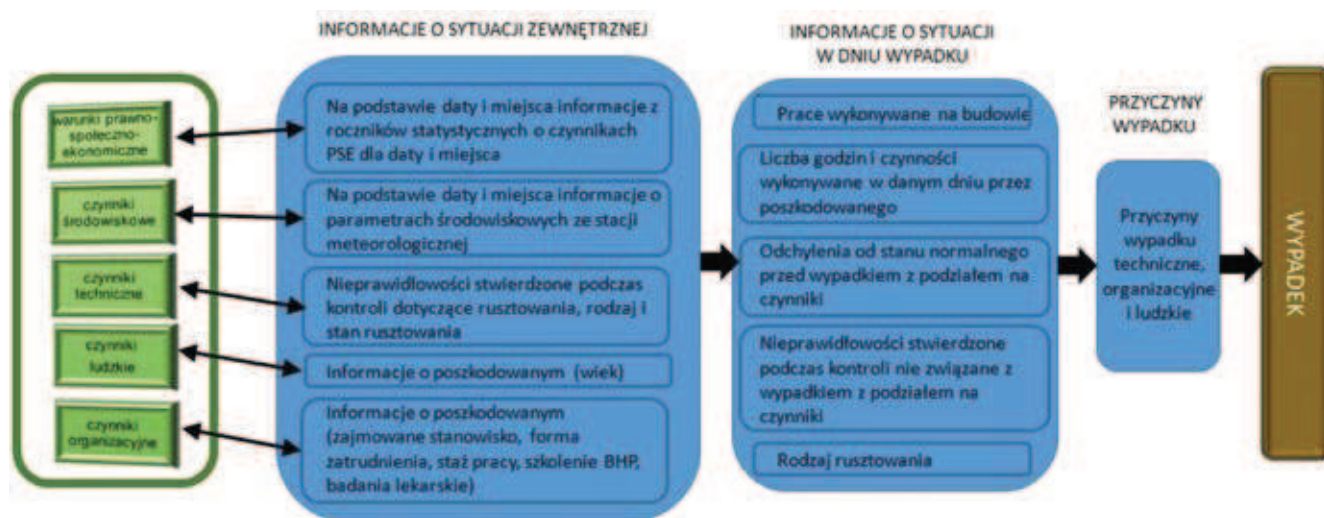
przez pracownika, niewłaściwe samowolne zachowanie się pracownika, stan psychofizyczny pracownika, niezapewniający bezpiecznego wykonywania pracy.

3.2. Zależności ilościowe pomiędzy elementami modelu

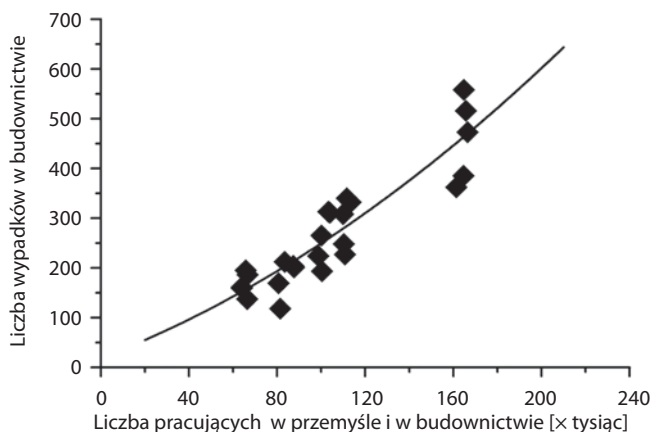
W celu uszczegółowienia modelu oceny ryzyka wystąpienia wypadku na rusztowaniu układ, pokazany na rysunku 2, jest uzupełniony o zależności ilościowe i jakościowe pomiędzy elementami. Badania tych zależności są analizowane dwoma ścieżkami. Po pierwsze określana jest zależność pomiędzy prawdopodobieństwem wystąpienia wypadku i poszczególnymi czynnikami, czyli wykonywana jest analiza zależności pomiędzy czynnikiem z pierwszego elementu modelu i ostatnim elementem modelu. Zależność jest wyznaczana na podstawie

analizy dokumentacji Głównego Urzędu Statystycznego (GUS), raportów Państwowej Inspekcji Pracy (PIP), danych meteorologicznych oraz badań własnych w terenie. Natomiast w celu wypełnienia luki pomiędzy skrajnymi elementami układu zostaną wykonane obliczenia statyczne konstrukcji i badania protokołów powypadkowych, gdzie między innymi znajdują się wydarzenia przed wypadkiem oraz przyczyny wypadku. Na przykład na podstawie daty wypadku z protokołu zostaną określone czynniki PSE oraz czynniki środowiskowe. Inne przykłady powiązań są pokazane na rysunku 3. Zależność pomiędzy czynnikiem C i liczbą wypadków W jest funkcją, którą można zapisać w następujący sposób:

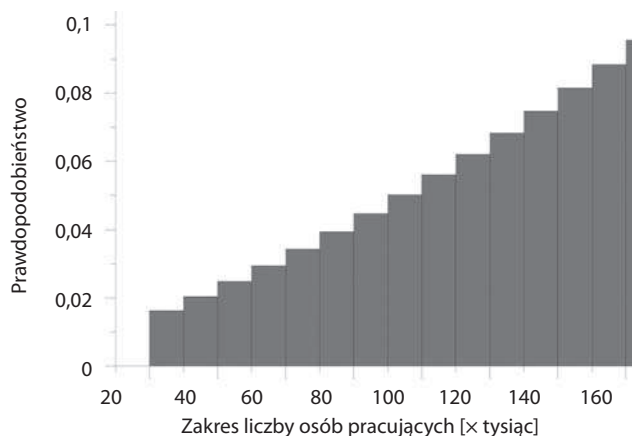
$$W = W(C). \tag{2.1}$$



Rys. 3. Lokalizacja informacji z protokołów w modelu oceny ryzyka wystąpienia sytuacji niebezpiecznej



Rys. 4. Zależność pomiędzy liczbą wypadków w budownictwie i liczbą pracujących w przemyśle i budownictwie



Rys. 5. Rozkład prawdopodobieństwa zajścia wypadków w zależności od liczby osób pracujących

Powyższa zależność funkcjonalna określona jest dla poszczególnych lat lub miesięcy na podstawie liczby wypadków oraz wartości danego czynnika. Na rysunku 4 pokazano przykładowy zestaw danych z pięciu województw Polski Wschodniej. Na osi poziomej jako czynnik jest podana liczba pracujących w przemyśle i budownictwie, a na osi pionowej – liczba wypadków w budownictwie. Wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów, można opisać związek pomiędzy tymi wielkościami. W tym przypadku otrzymano następujące równanie:

$$W = 18,3029C + 1,7951C + 0,0061C^2 \quad (2.2)$$

o współczynniku Pearsona $R^2=0,84$.

Jeżeli zależność pomiędzy czynnikiem C i liczbą wypadków W jest opisana funkcją, to można określić prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku przy danym zakresie czynnika ze wzoru:

$$P(W / C_i) = \frac{\int_{C_{i-1}}^{C_{i+1}} W(C) dC}{\int_{-\infty}^{+\infty} W(C) dC} \quad (2.3)$$

Na rysunku 5 pokazano wyniki obliczeń z wykorzystaniem wzoru (2.3) w odniesieniu do równania (2.2). Jako próbę przyjęto przedział osób pracujących równy 10 tysięcy.

Dalsza analiza prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku ma kolejne dwa tory. Jeżeli należy wyznaczyć prawdopodobieństwo dla konkretnej wartości, to wystarczy tę wartość policzyć ze wzoru (2.3). Jednak, jeżeli nie znamy wartości czynnika, to prawdopodobieństwo należy określić dla całego zakresu wartości jakie dany czynnik może przyjmować. W tej drugiej sytuacji, aby określić prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku trzeba uwzględnić także rozkład prawdopodobieństwa

wystąpienia tego czynnika $P(C_i)$ czyli skorzystać ze wzoru na prawdopodobieństwo warunkowe:

$$P(W) = \sum_{i=1}^n P(W / C_i) \times P(C_i) \quad (2.4)$$

Prawdopodobieństwo $P(C_i)$ wystąpienia czynnika o wartości C_i można określić na podstawie analizy danych GUS (np. warunki PSE), danych stacji meteorologicznych (czynniki środowiskowe), raportów PIP (czynniki organizacyjne, czynniki ludzkie), własnych badań (czynniki PSE, czynniki środowiskowe, czynniki organizacyjne, czynniki techniczne, czynniki ludzkie) lub studiów literatury.

W celu wyznaczenia zależności pomiędzy kolejnymi elementami modelu jest wykonywana analiza protokołów wypadkowych. Na tej podstawie są zestawiane informacje o sytuacji zewnętrznej, o sytuacji na budowie w dniu wypadku i przyczynach wypadku (niebieskie elementy na rysunku 3). Informacje o sytuacji zewnętrznej i o sytuacji na budowie pozwalają na określenie wartości większości czynników z poszczególnych grup (element pierwszy z rysunku 2). Na podstawie tych danych, na podstawie danych z literatury oraz własnych analiz, zostanie określona zależność odwrotna, tzn. określenie, jakie przyczyny mogą wystąpić z powodu występowania konkretnych wartości czynnika. Na przykład wśród czynników technicznych jest taki parametr jak stan techniczny pomostów. Na podstawie obliczeń nośności pomostów z uszkodzeniami zostanie określony stopień zużycia pomostów, który będzie traktowany jako granica powyżej której może dojść do zdarzenia niebezpiecznego, a jedną z przyczyn wystąpienia tego zdarzenia będzie przyczyna techniczna, czyli zły stan techniczny pomostów. W podanym przykładzie czynnik i przyczyna mają tę samą nazwę, ale taka zgodność nie będzie zawsze występowała. Na przykład w obliczeniach zostanie określona częstość drgań własnych rusztowania, który jest czynnikiem technicznym. Jeżeli poruszenie się przy danej częstości drgań konstrukcji wymaga



Rys. 6. *Badania rusztowań w terenie*

dużego wysiłku i powoduje zmęczenie, to przyczynę zakwalifikujemy do przyczyn ludzkich, czyli złego stanu psychofizycznego. Baza przyczyn, dla konkretnego zestawu wartości czynników, będzie zawierała informacje, jakie przyczyny wystąpią oraz będzie zawierała też ile czynników wywołuje daną przyczynę.

Następny krok modelu to ocena zestawu przyczyn. Na podstawie danych z protokołów oraz danych z GUS dla

poszczególnych przyczyn zostaną wyznaczone wagi wpływu na możliwość wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego. Współczynnik, który będzie sumą iloczynów liczby czynników, wywołujących daną przyczynę, i wag tych przyczyn, będzie miarą oceny ryzyka wystąpienia wypadku.

W celu pokazania zasady budowy modelu elementy analizy statystycznej zostały opisane przy założeniu,

że na możliwość wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego wpływają czynniki, które są zdarzeniami niezależnymi. Poszczególne grupy czynników można traktować jako zdarzenia niezależne, natomiast w ramach jednej grupy wiele czynników jest z sobą powiązanych, dlatego w celu określenia zależności pomiędzy czynnikami i liczbą wypadków należy wykonać analizę wielokryterialną.

4. Zakres badań w projekcie ORKWIZ

W poprzednich punktach podano informacje, że analizy są oparte między innymi o badania własne. Badania te prowadzone są w ramach projektu „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych” (ORKWIZ) finansowanego przez NCBiR w ramach Programu Badań Stosowanych na podstawie umowy nr PBS3/A2/19/2015. Projekt jest realizowany przez konsorcjum naukowe, w skład którego wchodzi Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej, Wydział Zarządzania Politechniki Lubelskiej, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej oraz Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej.

Zakres badań w projekcie jest podporządkowany pod uzyskanie danych do budowy modelu oceny ryzyka, czyli określenia prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego przy danym zestawie informacji o czynnikach. Z drugiej strony projekt ma na celu zebranie informacji o występowaniu niektórych wartości czynników, dotyczących rusztowań, np. stanu technicznego rusztowań. W ramach projektu ORKWIZ zaplanowano badania danych statystycznych GUS, badania dokumentacji powypadkowej udostępnionej przez PIP, dokumentacji katastrof budowlanych udostępnionych przez organy nadzoru budowlanego oraz zasobów internetowych. Badania archiwów są bazą do opracowania większości zależności, omówionych w p. 3.2, ale również służą do zestawienia czynników PSE. Druga część badań to badania w terenie (rys. 6). Zaplanowano wykonanie pomiarów na 120 rusztowaniach przez trzy lata. W odniesieniu do każdego rusztowania są wykonane badania, które mają pozwolić na określenie wartości czynników technicznych (inwentaryzacje rusztowań, w tym szczegółowe pomiary geodezyjne, inwentaryzacja uszkodzeń, inwentaryzacja obciążeń eksploatacyjnych, pomiary działania wiatru, pomiary drgań własnych rusztowań, pomiary drgań rusztowań pod wpływem wymuszeń od maszyn budowlanych, pomiary sił w stojakach, badania nośności gruntu, badania nośności kotew), wartości czynników środowiskowych (pomiary temperatury, ciśnienia, poziomu natężenia dźwięku, oświetlenia, kierunku i prędkości wiatru), czynników organizacyjnych (badania ankietowe, dotyczące informacji ogólnych o rusztowaniu i użytkownikach rusztowania, analiza przestrzegania przepisów BHP, analiza organizacji budowy), czynników ludzkich (badania ankietowe

użytkowników rusztowań, pomiary wysiłku energetycznego użytkowników). Pełny zestaw badań trwa na budowie jeden tydzień roboczy. Badania w terenie są uzupełnione zliczaniem rusztowań w ciągu całego roku. To badanie ma na celu określenie rozkładu występowania rusztowań na budowach w zależności od pory roku.

Na podstawie wymienionych badań zostaną wykonywane analizy poszczególnych czynników pomiarów w zakresie: badań socjologicznych, ergonomicznych i związanych z występowaniem stresu, kształtowania konstrukcji i stanu technicznego, w tym analizy statyczno-wytrzymałościowe, analizy oddziaływań środowiskowych, analizy dynamiczne konstrukcji. Efektem analiz i dyskusji będzie baza przyczyn występowania niepożądanych sytuacji, związanych z użytkowaniem rusztowań, prawdopodobieństwo ich występowania, powiązania pomiędzy poszczególnymi czynnikami m.in. mierzone współczynnikiem korelacji, znaczenie poszczególnych przyczyn dla ciężkości następstw oraz analizy możliwości zmniejszenia ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i innych niebezpiecznych sytuacji z udziałem rusztowań. Podsumowaniem projektu będzie połączenie wyników poszczególnych grup i opracowanie metod modelowania wystąpienia zagrożeń ludzkiego życia i zdrowia z udziałem rusztowań.

5. Podsumowanie

Obecnie dzięki owocnej współpracy z PIP zespół otrzymał już kilkadziesiąt protokołów powypadkowych, zbierane są dane z GUS-u, zliczane są rusztowania w terenie i wykonywane są badania rusztowań i użytkowników rusztowań. Pięć zespołów badawczych wykonało już pomiary na 40 budowach. Pierwsze analizy pokazały, jak ważnym problemem są wypadki na rusztowaniach. W ciągu roku dochodzi w Polsce do ponad 100 wypadków, związanych z rusztowaniami. Z jednej strony na budowach widać dbałość o bezpieczeństwo, ale niestety jednocześnie wykonawcy dążą do szybkiej realizacji inwestycji mimo nie sprzyjających np. pogodowych warunków. Jak napisano w artykule, ostatecznie o bezpieczeństwie ludzi na rusztowaniach i wokół nich decyduje wiele czynników, na które nie zawsze można wpłynąć, ale znając zagrożenie, na pewno można doprowadzić do zmniejszenia ryzyka.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Pietrzak L., Analiza wypadków przy pracy dla potrzeb prewencji. Państwowa Inspekcja Pracy Główny Inspektorat Pracy, Warszawa 2007
- [2] Błazik-Borowa E. i inni, Bezpieczeństwo pracy w budownictwie. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2015
- [3] Szer J., Błazik-Borowa E., Bezpieczeństwo użytkowników w trakcie budowy i użytkowania rusztowań. Materiały budowlane, 10/2014, 2014, 190–192
- [4] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 7 stycznia 2009 r. w sprawie statystycznej karty wypadku przy pracy, Dz.U. 2009 nr 14 poz. 80