

# Przyczyny i metody zapobiegania błędom ludzkim w inżynierskiej działalności budowlanej.

## Część II: Błędy podczas wytwarzania, montażu i rozbiórki konstrukcji stalowych

Dr inż. Anna Rawska-Skotniczny, Politechnika Opolska, dr inż. Krzysztof Kuchta, dr inż. Izabela Tylek, Politechnika Krakowska

### 1. Wprowadzenie

Błędy ludzkie, będące nieodłączną częścią działalności inżynierskiej, mogą być popełniane na każdym etapie procesu budowlanego (por. [8]). Statystyki, zarówno krajowe jak i zagraniczne, wskazują na to, że znaczna część błędów, prowadzących do awarii lub katastrofy budowlanej, popełniona została na etapie wykonania konstrukcji (rys. 1a).

Przyczyny katastrof i awarii budowlanych są zazwyczaj wieloźródłowe, obejmują one aspekty technologiczne oraz – szczególnie nasilające się podczas trwania budowy – aspekty organizacyjne, psychologiczno-socjologiczne, komunikacyjne, a także związane z kontrolą jakości [8]. Katastrofy i awarie następujące podczas wykonywania krajowych konstrukcji stalowych [18, 19] były głównie rezultatem (por. rys. 1b):

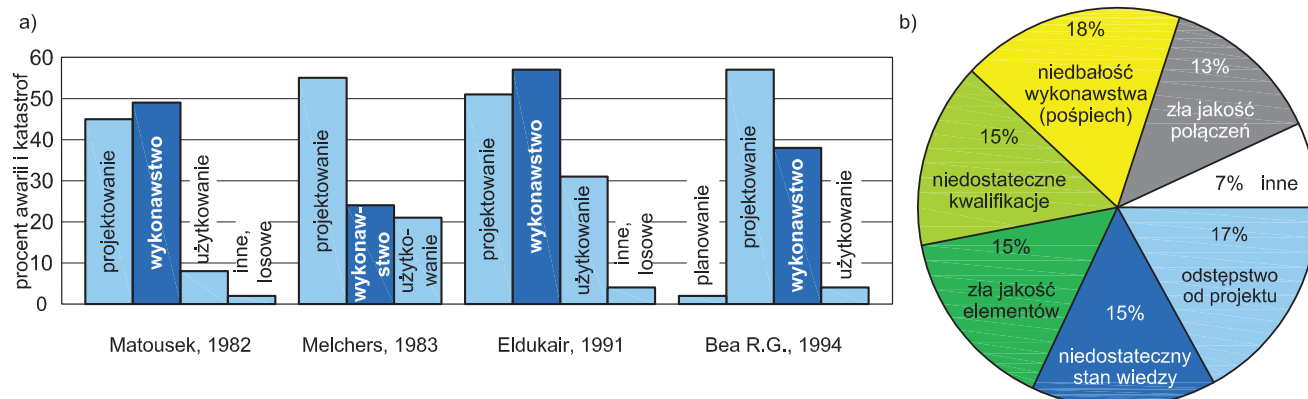
- braku staranności podczas wytwarzania i montażu konstrukcji, wynikającej często z krótkich terminów realizacji inwestycji (46%),
- niedostatecznego stanu wiedzy lub niewystarczających kwalifikacji uczestników procesu budowlanego (30%),
- niezgodnionych z projektantem odstępstw od projektu konstrukcyjnego (17%).

Przyczyny katastrof i awarii konstrukcji budowlanych podawane w literaturze światowej nie odbiegają istotnie od powyżej wymienionych, por. [2, 3, 9, 10, 12].

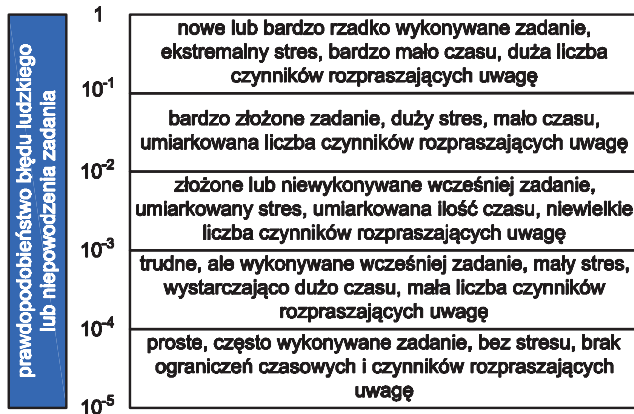
Cennym źródłem informacji dotyczącym przyczyn błędów ludzkich, popełnianych na etapie wykonania i rozbiórki konstrukcji budowlanych, są również statystyki wypadków w sektorze budowlanym (por. [16]).

Stopień wpływu błędów ludzkich na niezawodność konstrukcji można ocenić, porównując prawdopodobieństwo ich wystąpienia (rys. 2) z teoretycznym prawdopodobieństwem awarii elementu konstrukcyjnego klasy niezawodności RC2 o 50-letnim okresie eksploatacji, które dla stanu granicznego nośności wynosi  $7,2 \times 10^{-5}$ , a dla stanu granicznego użytkowania –  $6,7 \times 10^{-2}$  [28]. Przeprowadzone badania [2] stanowiły próbę kwantyfikacji błędów ludzkich, uwzględniającą wpływ czynników technologicznych, tj. braku wiedzy i doświadczenia przy realizacji zadania oraz czynników pozatechnologicznych, takich jak: stres, presja czasu, obecność czynników rozpraszających uwagę oraz zaburzeń funkcji poznawczych – zmysłów (np. wzroku lub słuchu), pamięci, zdolności logicznego myślenia czy skupienia uwagi.

Można zauważyć, że prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka może być nawet o kilka rzędów wielkości większe od prawdopodobieństwa zniszczenia konstrukcji budowlanej na skutek wystąpienia innych czynników losowych. Prawdopodobieństwo wystąpienia błędu ludzkiego zwiększa się wraz ze wzrostem: stopnia skomplikowania zadania, niedostatku wiedzy i doświadczenia w realizacji podobnych



**Rys. 1.** Statystyki awarii i katastrof budowlanych: a) z podziałem według etapów procesu budowlanego (ze względu na wieloźródłowość przyczyn procenty nie sumują się do 100), b) z podziałem według przyczyn złego wykonawstwa, na podstawie badań krajowych w latach 1996–2014 [19]



**Rys. 2.** Średnie prawdopodobieństwo wystąpienia błędów ludzkiego lub niepowodzenia zadania według [2]

zadań, presji czasu, poziomu stresu, liczby i intensywności czynników rozpraszających uwagę oraz stopnia ograniczenia funkcji poznawczych.

Punktem wyjścia dla procesu realizacji obiektu budowlanego jest projekt wykonawczy, a dokumentacja techniczna jest podstawowym źródłem informacji o nim. Jakość dokumentacji technicznej ma więc istotny wpływ na prawdopodobieństwa popełnienia błędów na etapie wytwarzania i montażu konstrukcji. Wadliwie przygotowana dokumentacja inwestycji budowlanej, tj. harmonogramy, specyfikacje, projekty warsztatowe, projekty montażu itp. oraz brak właściwego nadzoru nad wykonaniem robót poprzedzających kolejne etapy realizacji konstrukcji są częstymi źródłami błędów ludzkich, prowadzących niejednokrotnie do awarii lub katastrofy budowlanej.

Jednym z kryteriów oceny jakości dokumentacji technicznej jest tzw. technologiczność, rozumiana jako taki dobór materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych, który zapewni wymaganą jakość konstrukcji przy jak najmniejszym nakładzie robocizny oraz zaangażowaniu środków produkcji i czasu [1]. Konstrukcje prawidłowo zaprojektowane z punktu widzenia obliczeń statyczno-wytrzymałościowych mogą być nietechnologiczne, co może powodować nie tylko zwiększenie kosztów wytwarzania, transportu, montażu, eksploatacji i rozbiórki, lecz również może sprzyjać popełnianiu błędów na wymienionych wyżej etapach życia konstrukcji stalowej.

W dalszej części artykułu omówiono przyczyny błędów ludzkich popełnianych podczas wytwarzania, montażu i rozbiórki konstrukcji stalowych. Przedstawiono przykłady takich błędów, jednak z przyczyn obiektywnych ograniczono się do błędów stosunkowo najbardziej powszechnych i uciążliwych oraz tych, które stanowią poważne zagrożenia życia lub zdrowia pracowników. Błędy ludzkie popełniane na etapie projektowania i tworzenia dokumentacji technicznej zostaną omówione w kolejnej części publikacji.

## 2. Podstawy formalnoprawne wykonania konstrukcji stalowych

Wykonawstwo stalowych konstrukcji budowlanych charakteryzuje się stosunkowo dużym zróżnicowaniem czasu i miejsca prowadzenia prac oraz uprawnień i kwalifikacji pracowników wykonujących czynności techniczne; wiąże się to zazwyczaj z wysokimi kosztami prac budowlanych. Minimalizacja ryzyka niepowodzenia w realizacji inwestycji budowlanej, przy jednoczesnym zabezpieczeniu praw uczestników procesu budowlanego oraz innych osób związanych z realizacją inwestycji lub znajdujących się w jej ogólnie rozumianym obszarze oddziaływania, jest przyczyną silnego osadzenia procesu budowlanego w krajowym systemie prawnym. Sformalizowanym uregulowaniom w postaci ustaw, rozporządzeń i norm technicznych poddani są ludzie, maszyny, materiały oraz metody wykonywania, zarządzania i finansowania inwestycji. Z chwilą rozpoczęcia realizacji inwestycji krąg podmiotów bezpośrednio i pośrednio z nią związanych jest najszerszy i najbardziej zróżnicowany. Na tym etapie, wirtualny twór, jakim jest projekt, stopniowo, zgodnie z dokumentacją techniczną, nabiera wszystkich pożądanych i niepożądanych cech rzeczywistych. Z punktu widzenia organizacji realizacji inwestycji niezwykle istotne jest zatem nie tylko określenie praw i obowiązków uczestników tego procesu, lecz również precyzyjne zdefiniowanie zakresu czynności, za które są odpowiedzialni.

Cechą charakterystyczną procesu wykonania konstrukcji stalowej jest jego wieloetapowość. Pierwszym etapem jest wytwarzanie materiałów podstawowych – blach i profili stalowych oraz materiałów pomocniczych: łączników, materiałów spawalniczych, środków zabezpieczeń antykorozyjnych i przeciwpożarowych, izolacji termicznej, akustycznej itp. Drugi etap odbywa się w wytwórni konstrukcji stalowych, w której kształtowniki i blachy są wstępnie prostowane, trasowane i cięte, a następnie scalane, tworząc dogodnie do transportu i montażu półfabrykaty zwane elementami wysyłkowymi. Jeśli jest to przewidziane w projekcie wykonawczym, to na terenie wytwórni dokonuje się próbnego montażu wskazanej części konstrukcji. Pozwala to na wczesną korektę ewentualnych błędów, których późniejsze usunięcie może być bardzo kosztowne, zwłaszcza przy dużej liczbie powtarzalnych elementów konstrukcyjnych. W dalszej kolejności elementy wysyłkowe są odpowiednio zabezpieczane przed korozją, przy czym nanoszenie powłok malarskich wykonywane jest zwykle w wytwórni, a cynkowanie ogniowe poza jej terenem. Po wykonaniu zabezpieczeń antykorozyjnych elementy są transportowane na plac budowy, gdzie odbywa się ich rozładunek, ewentualne składowanie, a następnie montaż. Na każdym z powyższych etapów istnieje możliwość popełnienia błędów, których kumulacja może doprowadzić do awarii lub katastrofy budowlanej.

Zgodnie z wymaganiami ustawy Prawo budowlane [25] oraz normy PN-EN 1990 [28] każda konstrukcja powinna zostać zaprojektowana i wykonana w sposób zapewniający jej wymaganą trwałość, bezpieczeństwo oraz niezawodne użytkowanie w zakładanym okresie eksploatacji, a także podczas budowy, planowanych remontów i konserwacji. Sformułowany

**Tabela 1.** Klasy wykonania konstrukcji stalowej EXC w powiązaniu z kategoriami użytkowania SC oraz produkcji PC, wg PN-EN 1090-2 [27]

Klasy konsekwencji zniszczenia	Kategoria użytkowania	Kategorie produkcji	
		PC1	PC2
CC1	SC1	EXC1	EXC2
	SC2	EXC2	EXC2
CC2	SC1	EXC2	EXC2
	SC2	EXC3	EXC3
CC3	SC1	EXC3	EXC3
	SC2	EXC3	EXC4

powinien zostać również plan utrzymania konstrukcji, tj. plan działań podejmowanych w trakcie okresu użytkowania konstrukcji w celu zachowania przez nią wymagań niezawodności, pomimo pogarszających się z czasem jej właściwości użytkowych. W przypadku konstrukcji stalowych degradacja ich właściwości następuje na skutek takich procesów jak korozja, zmęczenie materiału czy zużycie mechaniczne elementów. Zapewnienie wymaganej niezawodności konstrukcji na etapie jej wykonania i montażu uzyskuje się poprzez spełnienie odpowiednich wymagań dotyczących jakości poszczególnych procesów technologicznych. Wymagania te mogą być zwarte np. w normach wykonawczych, którymi dla konstrukcji stalowych projektowanych według eurokodów są normy: PN-EN 1090-1 [26] oraz PN-EN 1090-2 [27], w których wprowadzono zróżnicowane wymagania dotyczące wykonania, kontroli i odbioru konstrukcji stalowej. Konstrukcje stalowe zostały podzielone na cztery klasy wykonania (EXC1–EXC4), a jako podstawę ich ustalania przyjęto: konsekwencje zniszczenia elementu lub konstrukcji w postaci strat ludzkich, ekonomicznych i związanych z degradacją środowiska – wyrażone za pomocą klas konsekwencji (CC1–CC3) [28], ryzyko związane z użytkowaniem konstrukcji – wyrażone za pomocą kategorii użytkowania SC zależnej od rodzaju obciążenia [27] oraz ryzyko związane z wykonaniem konstrukcji – wyrażone za pomocą kategorii produkcji PC zależnej od rodzaju technologii produkcji [27]. Klasę wykonania konstrukcji ustala projektant, w porozumieniu z inwestorem i zleceniodawcą robót po zasięgnięciu opinii wykonawcy konstrukcji, biorąc pod uwagę krajowe przepisy techniczno-budowlane [27]. W tabeli 1 podano zależności, które zaleca się uwzględniać przy ustalaniu klas wykonania konstrukcji stalowej.

Konsekwencją przyjęcia konkretnej klasy wykonania dla elementu konstrukcyjnego lub całej konstrukcji jest konieczność

zapewnienia odpowiedniego nadzoru, co schematycznie przedstawiono na rysunku 3.

Wymagania dotyczące jakości wykonania konstrukcji determinują konieczność posiadania przez wykonawcę zakładowego systemu zapewnienia jakości, personelu o odpowiednich kwalifikacjach oraz właściwego wyposażenia i sprzętu; jest to potwierdzane świadectwami kwalifikacyjnymi lub certyfikatami upoważniającymi do wykonywania np. konstrukcji spawanych odpowiedniej klasy.

Podstawowymi dokumentami definiującymi wymagane poziomy jakości są normy wykonawcze dotyczących procesów technologicznych, takich jak: obróbka i scalanie elementów konstrukcyjnych, przygotowanie i wykonywanie spawania lub połączeń trzpieniowych oraz transport i montaż konstrukcji na placu budowy.

Ogólne środki kontroli, zarówno normowe jak i prawne, związane z uwzględnianiem wpływu błędów ludzkich na proces budowlany, zostały omówione w części 1 artykułu [8].

### 3. Pozatechnologiczne przyczyny błędów ludzkich

Pozatechnologiczne przyczyny błędów ludzkich obejmują ogół czynników nie wynikających z braku wiedzy technicznej lub doświadczenia zawodowego. Do grupy tej należy zaliczyć błędy, których źródłem są przyczyny: organizacyjne, psychologiczne i socjologiczne, komunikacyjne oraz związane z kontrolą jakości [8].

Niewłaściwa organizacja procesu wykonania konstrukcji jest jednym z podstawowych źródeł błędów pozatechnologicznych. Znacząca większość tych błędów związana jest z działaniami, które mają miejsce na placu budowy, gdzie stopień powtarzalności wykonywanych czynności jest mniejszy niż w wytwórni, a przez to algorytmizacja działań znacznie trudniejsza do realizacji i kontroli. Możliwość wystąpienia błędów ludzkich często sprzyja psychologiczna presja czasu i presja finansowa wywierana ze strony inwestora. Dążenie do obniżenia kosztów inwestycji znajduje swój wyraz np. w zbyt optymistycznym szacowaniu terminu zakończenia realizacji inwestycji. Krótszy czas realizacji ma na celu jak najszybsze rozpoczęcie funkcjonowania obiektu, co umożliwi stopniowy zwrot kapitału zaangażowanego w przedsięwzięcie, nierzadko pochodzącego z kredytu bankowego. Presja czasu podczas wykonania czy rozbiórki konstrukcji może skutkować koniecznością pracy w nadgodzinach i związanym z nią

Klasa wykonania konstrukcji	Klasa niezawodności		Poziom nadzoru i rodzaj kontroli	
EXC1	RC1	niska	autoinspekcja	samokontrola prowadzona przez osobę wykonującą roboty budowlane
EXC2	RC2	przeciętna	normalny	wewnętrzna, zgodnie z procedurami jednostki wykonawczej lub systemem jakości
EXC3 EXC4	RC3	wysoka	zaostrzona specjalna	dotatkowa zewnętrzna prac i zgodności materiałów, prowadzona przez niezależne osoby lub jednostki, zgodnie z ustaloną procedurą jakości lub systemem jakości

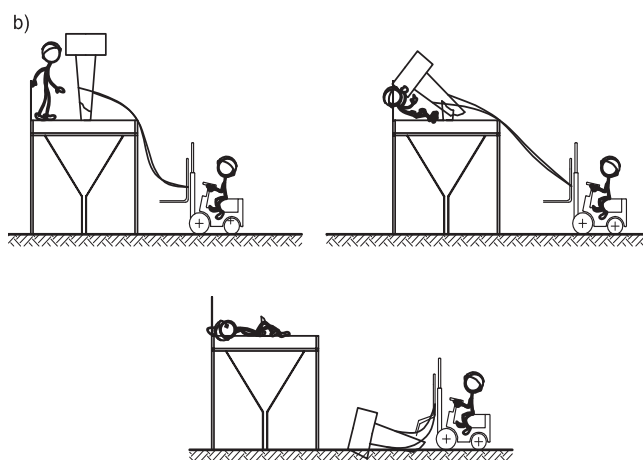
**Rys. 3.** Zalecane związki między klasą wykonania konstrukcji stalowej a poziomem i rodzajem kontroli na podstawie [28]

przemęceniem, a w konsekwencji niedostateczną koncentracją uwagi prowadzącą do zagrożenia bezpieczeństwa ludzi i konstrukcji.

Pośpiech jest często przyczyną niewłaściwego zarządzania inwestycją, polegającego na wyborze sposobu realizacji konstrukcji, który jest obciążony większym ryzykiem niepowodzenia, np. rozpoczęcie prac budowlanych przed zakończeniem prac nad projektem wykonawczym czy projektem montażu. Niewłaściwa koordynacja poszczególnych działań oraz brak prawidłowego przepływu informacji pomiędzy uczestnikami procesu budowlanego mogą skutkować zarówno koniecznością uzupełnienia dokumentacji, jak i jej modyfikacji już w trakcie wykonywania konstrukcji. Jest to szczególnie widoczne, gdy nie została wyznaczona osoba nadzorująca zmiany i czuwająca nad uzgodnieniami międzybranżowymi. W takiej sytuacji brak należytej kontroli nad wprowadzanymi zmianami może dodatkowo zwiększyć prawdopodobieństwo wystąpienia błędów, których koszt usunięcia może być znacznie większy niż w przypadku rozpoczęcia prac budowlanych po ostatecznym zakończeniu procesu projektowego.

Dążenie do ograniczenia kosztów inwestycji zwykle przekłada się na niskie wynagrodzenia oferowane uczestnikom procesu budowlanego. Zaniżona cena projektu może znajdować odzwierciedlenie w niskiej jakości dokumentacji, szczególnie na etapie wykonania projektu budowlanego. Jednak to właśnie na jego podstawie inwestor szacuje termin zakończenia prac i koszt inwestycji, oraz dokonuje selekcji i wyboru wykonawców. W warunkach rynkowych bezkrytyczne stosowanie kryterium najniższej ceny jako jedynego kryterium wyboru wykonawców sprawia, że zwyczajnie oferent niekiedy balansuje na granicy opłacalności ekonomicznej, zakładając a priori opracowanie projektu zamiennego mającego na celu uzyskanie oszczędności poprzez stosowanie alternatywnych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, metod wytwarzania lub technik montażu. Jeśli projekt budowlany został wykonany starannie, przez projektanta posiadającego odpowiednią wiedzę i doświadczenie zawodowe, to dążenie do zmniejszenia zużycia stali nie zawsze może dać pożądane efekty finansowe. W takiej sytuacji

praktyką naganną, z punktu widzenia etyki zawodowej, jest np. zmniejszanie normowego obciążenia śniegiem i zmuszanie użytkownika obiektu do odśnieżania dachu zapisami w instrukcji użytkowania, która wręczana jest nieświadomemu inwestorowi po zakończeniu prac budowlanych. Katastrofą lub jej zagrożeniem mogą się skończyć próby „optymalizacji” konstrukcji podejmowane przez wykonawcę bez wcześniejszego ich uzgodnienia z doświadczonym projektantem. Do najczęściej wprowadzanych zmian należą: stosowanie stali o wyższej granicy plastyczności, zmniejszenie przekrojów poprzecznych elementów, likwidacja części stężeń, zmniejszanie masy konstrukcji na podstawie nieuzasadnionych założeń o współpracy szkieletu nośnego z obudową. Szczególnie groźna jest zmiana warunków podparcia lub zmiana rozwiązań węzłów na prostsze w wykonaniu – zwykle usunięte zostają blachy usztywniające, a grubość pozostałych blach zostaje zmniejszona – czego efektem jest zwiększenie podatności węzłów, mogące doprowadzić do niekorzystnej redystrybucji sił wewnętrznych w wykonanej konstrukcji. Wykonawca często nie zdaje sobie sprawy z tego, że przytoczone powyżej zmiany mają wpływ na zachowanie się konstrukcji pod obciążeniem; jeżeli nie zostaną zweryfikowane odpowiednimi obliczeniami statyczno-wytrzymałościowymi, to mogą prowadzić do znacznego obniżenia niezawodności wykonywanej konstrukcji. Należy także zauważyć, że rozwiązania konstrukcyjne zapewniające minimum zużycia stali mogą być jednocześnie droższe w wykonaniu, w związku z tym całkowite koszty realizacji konstrukcji stalowej niekoniecznie muszą zmaleć. Istotne jest również to, że projekt zamienny zwykle nie jest pełnym ekwiwalentem projektu pierwotnego. Istniejące wstępnie rezerwy nośności i sztywności zostają zredukowane do minimum, co czyni konstrukcję mniej odporną na nieprzewidziane przeciążenia oraz potencjalnie może stanowić utrudnienie w dalszej przebudowie lub rozbudowie obiektu. Przemilczanym często aspektem redukcji masy konstrukcji stalowej jest redukcja jej trwałości, co przy eksploatacji w agresywnym środowisku może doprowadzić do skrócenia czasu bezawaryjnej pracy lub kosztownego zwiększenia częstotliwości remontów.



**Rys. 4.** Tragiczna w skutkach rozbiórka stalowych instalacji odpylania kotła, a) widok cyklonu, który śmiertelnie przygnoił robotnika; fot. z archiwum PIP [30], b) sekwencja zdarzeń (opis w tekście)



**Rys. 5.** Katastrofa podczas rozbiórki budynku o konstrukcji stalowej na terenie dawnej huty Baildon (Katowice 2009); fot. z archiwum PIP [30]

Efektorem niskich cen ofertowych są również niskie wynagrodzenia kierowników budów i inspektorów nadzoru. Nisko opłacany kierownik budowy podejmuje się często prowadzenia w tym samym czasie kilku inwestycji, co może odbijać się negatywnie na jakości sprawowanego nadzoru. Czasami wyraźnie widać to w dziennikach budów: wpisy pojawiają się nieregularnie, brakuje zapisów dotyczących wielu istotnych etapów procesu budowy, głównie robót zanikających czy zakrywanych.

Poszukiwanie oszczędności w trakcie realizacji inwestycji niestety obejmuje również zagadnienia związane z bezpieczeństwem pracy robotników oraz maszyn i urządzeń budowlanych. Tragiczne skutki próby obniżenia kosztów rozbiórki konstrukcji stalowej instalacji odpylania kotła grzewczego pokazano na rysunku 4. Zgodnie z projektem rozbiórki elementy instalacji miały być unoszone i opuszczane na poziom terenu za pomocą żurawia. Wykonawca stwierdził jednak, że koszt wynajęcia żurawia jest zbyt wysoki. Zmienił więc technologię rozbiórki na obalanie elementów za pomocą stalowej liny ciągniętej wózkami widłowymi. Podczas rozbiórki ważyący ponad tonę cyklon przewrócił się na stalowy pomost, śmiertelnie przygniótł pracownika stojącego obok, a następnie spadł z pomostu na wózek widłowy.

Przykładem pokazującym, jak ważny jest właściwy nadzór nad pracami budowlanymi, jest także katastrofa budynku wielokondygnacyjnego o konstrukcji stalowej znajdującego się na terenie byłej huty Baildon. Niewłaściwa organizacja robót spowodowała, że podczas rozbiórki tego budynku nie wyznaczono osoby zastępującej przebywającego na urlopie kierownika budowy. Pozostawieni bez nadzoru pracownicy, chcąc niezgodnie z istniejącym projektem przyspieszyć rozbiórkę, rozpoczęli podcinanie ram stalowych bez wcześniejszego usunięcia żelbetonowych stropów, mimo iż zostali wcześniej przeszkoleni w tym zakresie. W konsekwencji jedna z ram utraciła stateczność i budynek uległ zawaleniu (rys. 5), przygniatając śmiertelnie jednego z robotników.

#### 4. Technologiczne przyczyny błędów ludzkich

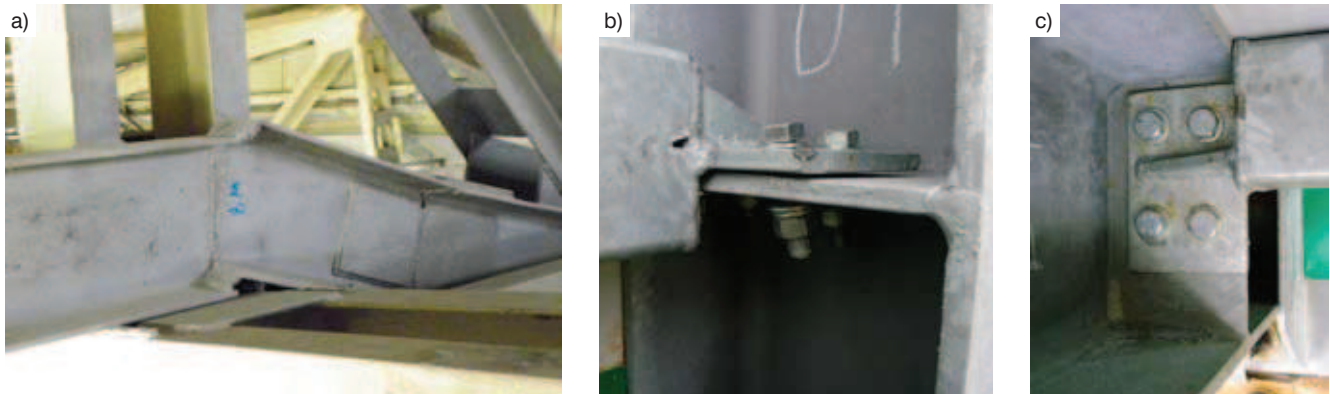
Poziom wiedzy i doświadczenia zawodowego osób biorących udział w procesie inwestycyjnym, a w szczególności osób sprawujących samodzielne funkcje techniczne w budownictwie, jest ściśle związany z częstotliwością i rangą popełnianych błędów. Brak odpowiedniej wiedzy i doświadczenia, w tym

również nieumiejętne wykorzystywanie programów komputerowych wspomagających pracę inżyniera, autorzy artykułu określili wspólnym mianem technologicznych przyczyn błędów ludzkich [8].

##### 4.1. Przyczyny błędów podczas wytwarzania elementów stalowych

Najczęstszym efektem błędów popełnianych na etapie wytwarzania konstrukcji stalowych są wady wykonania połączeń i zabezpieczeń antykorozyjnych. Ich przyczyną jest zwykle niestaranność, ignorancja oraz presja czasu i finansów. Poniżej przedstawiono przykłady najczęstszych błędów powstających w wytwórni konstrukcji stalowych:

- wytwarzanie elementów z wyrobów uszkodzonych, przeterminowanych (np. wyroby malarskie), z materiałów złej jakości, np. bez certyfikatów czy dopuszczenia dla danych zastosowań, lub o właściwościach gorszych niż założone w projekcie;
- odstępstwo od zaprojektowanych rozwiązań konstrukcyjnych połączeń, w tym:
  - wykonanie spoin o grubości niezgodnej z projektem warsztatowym,
  - zastępowanie spoin czołowych tańszymi w wykonaniu spoinami pachwinowymi,
  - zła kolejność układania odcinków spoin,
  - niewłaściwe ukosowanie elementów przygotowywanych do wykonania spoin czołowych,
  - brak środków ograniczających niepożądane efekty procesu spawania, takie jak naprężenia i deformacje spawalnicze,
  - brak technologicznego przygotowania styków montażowych elementów wysyłkowych;
- nieprzestrzeganie technologii wykonania robót;
- brak kontroli tolerancji wytwarzania;
- nadmierne przesunięcia elementów łączonych skutkujące powstaniem niezamierzonych mimośrodów (rys. 6a) i ukosowaniem śrub (rys. 6b);
- nieprecyzyjne cięcie utrudniające późniejszy montaż, np. skutkujące brakiem równoległości blach czołowych w stykach montażowych;
- używanie uszkodzonego lub nieprzygotowanego do pracy sprzętu spawalniczego, np. używanie palnika z uszkodzoną dyszą lub zabrudzoną końcówką, dopuszczenie do zawilgocenia wnętrza węża doprowadzającego gaz osłonowy;
- niestaranne oczyszczenie miejsc układania spoiny;
- wady wykonania spoin, np.: brak pełnego przetopu [7], podtopienia, przepalenia, przyklejenia, pęcherze, nawisy, odpryski spawalnicze, wtrącenia niemetaliczne i metaliczne w spoinie (żużel, topnik, wolfram, miedź), nadmierna asymetria przekroju spoin pachwinowych, niewypełnione kratery końcowe ściegów spoin itp.;
- uszkodzenia elementów w trakcie scalania podczas ich przemieszczania do najbardziej dogodnej dla spawania pozycji lub podczas transportu międzyoperacyjnego;
- pęknięcia wywołane niewłaściwą metodą prostowania, np. miejscowe podgrzewanie palnikiem z jednoczesnym studzeniem mokłą szmatą;



**Rys. 6.** Błędy w czasie wykonania konstrukcji, a) przesunięcie elementów łączonych skutkujące powstaniem mimośrodów, b) montaż śrub przy braku współosiowości otworów w częściach łączonych, c) brak otworów przelewowo-odpowietrzających elementów poddanych cynkowaniu zanurzeniowemu

- nietrawne, nieczytelne lub nielogiczne znakowanie elementów wysyłkowych, prowadzące do pomyłek na budowie. Stosowaną niekiedy praktyką jest wprowadzanie zmian w dokumentacji projektowej lub nawet tworzenie części projektu wykonawczego już w trakcie wykonywania pewnej partii elementów wysyłkowych. Może to sprzyjać powstaniu kosztownych do usunięcia błędów oraz powodować zahamowanie ciągłości prac warsztatowych. Zmiany ilościowe lub asortymentowe mogą bowiem wymagać anulowania zamówień pierwotnych i ponownego zamówienia nowych materiałów.

#### 4.2. Przyczyny błędów podczas antykorozyjnego zabezpieczenia elementów stalowych

Niewłaściwie wykonane zabezpieczenia antykorozyjne elementów stalowych prowadzą do wzrostu kosztów użytkowania konstrukcji związanych z większą częstością ich renowacji i ewentualną koniecznością wyłączenia z eksploatacji części lub całości konstrukcji. Skutki błędów popełnionych na etapie zabezpieczania konstrukcji przed korozją są szczególnie uciążliwe, ponieważ ujawniają się najczęściej dopiero po pewnym czasie, np. po upływie okresu gwarancyjnego.

Przyczyną błędów na tym etapie wykonania konstrukcji jest często złe przygotowanie powierzchni elementu do nakładania powłok antykorozyjnych. Niestaranne wykonanie tych prac sprawia, że na powierzchni stali, zwłaszcza w trudno dostępnych miejscach połączeń, mogą pozostać nieusuńnięte zanieczyszczenia: zendra i rdza, pył, rozpryski spawalnicze, żużel lub topnik spawalniczy, smary lub inne zatłuszczenia itp. Wadliwy może być również sam dobór metody przygotowania powierzchni stali, skutkujący brakiem odpowiedniej chropowatości powierzchni, wymaganej dla danego rodzaju powłoki antykorozyjnej. Błędem jest także stosowanie metody oczyszczania płomieniem acetylenowym elementów stalowych o grubościach ścianek mniejszych niż 4 mm, ponieważ może to skutkować powstaniem niepożądanych deformacji. Ignorancja i presja czasu mogą być przyczynami błędów podczas aplikacji powłok malarskich. Niezachowanie warunków technologicznych podanych w karcie produktu, przede wszystkim temperatury podłoża oraz temperatury i wilgotności powietrza, może powodować obniżenie przyczepności powłok do podłoża i przyczepności międzywarstwowej oraz

zółknięcie i utratę połysku farb epoksydowych. W przypadku farb poliuretanowych może wystąpić pęcherzenie powłok oraz zmniejszenie połysku.

Szereg błędów popełnianych jest również na etapie przygotowania konstrukcji stalowej do cynkowania zanurzeniowego, w tym:

- brak otworów lub uchwytów technologicznych umożliwiających podwieszenie elementów,
- łączenie stali czarnej z elementami wstępnie ocynkowanymi,
- identyfikacyjne znakowanie elementów farbami,
- wykonywanie otworów przelewowo-odpowietrzających bez konsultacji z projektantem – może być to szczególnie niebezpieczne w przypadku elementów wykonanych z cienkościennych rur o stosunkowo niewielkich średnicach,
- pozostawienie na powierzchniach elementów zanieczyszczeń nieusuwalnych podczas procesów odtłuszczenia i trawienia w ocynkowni, np. smoła, pokost, żużel spawalniczy, środki przeciwdpryskowe typu Silspaw,
- brak szczelnego zamknięcia przylegających do siebie powierzchni połączeń zakładkowych,
- brak zabezpieczenia przed cynkowaniem powierzchni styku połączeń ciernych,
- brak stężeń tymczasowych lub stałych elementów konstrukcyjnych wrażliwych na deformacje termiczne wywołane oddziaływaniem płynnego cynku,
- brak, zbyt małe lub niewłaściwie usytuowane otwory technologiczne mające umożliwić swobodny przepływ ciepłego cynku przez żebra (rys. 6c), przepony, profile lub inne przestrzenie zamknięte.

Podczas wykonywania powłok cynkowych widoczne stają się efekty tzw. błędów utajonych, popełnionych na etapie projektowania, a wywołanych niedostosowaniem konstrukcji do technologicznych wymagań procesu cynkowania. Jest to np. zły dobór materiału, niewłaściwe ukształtowanie geometrii konstrukcji lub jej połączeń, niedostosowanie gabarytów oraz masy elementów do wymiarów wanny cynkowniczej i udźwigu środków transportowych ocynkowni.

### 4.3. Przyczyny błędów podczas transportu i składowania elementów wysyłkowych

Transport elementów wysyłkowych z wytwórni na miejsce budowy jest etapem, na którym stosunkowo łatwo można popełnić błędy wynikające zarówno z braku wiedzy i doświadczenia, jak i będące efektem psychofizycznej sprawności pracownika. Ograniczenia transportowe stanowią zwykle gabaryty, ciężar całkowity oraz kształt i rozkład masy elementu wysyłkowego. Transport elementów, których wymiary są nieznacznie większe od dopuszczalnych, jest możliwy po uzyskaniu specjalnych pozwoleń. Niesie on jednak niebezpieczeństwo zaczepienia przewożonym elementem np. o spód wiaduktu lub elementy infrastruktury drogowej. Szczególną ostrożność należy zachować podczas transportu elementów niesymetrycznych, ponieważ ich niewłaściwe przygotowanie do przewozu, poprzez brak odpowiedniego zamocowania lub balastu, może być przyczyną upadku lub wywrócenia, mogącego uszkodzić element wysyłkowy lub spowodować wypadek drogowy.

W przypadku transportowania smukłych elementów konstrukcji stalowych należy stosować odpowiednie tymczasowe stężenia transportowe, które powinny zapobiegać niepożądanym trwałym deformacjom konstrukcji lub pękaniu spoin [5].

Błędy ludzkie popełniane są również podczas transportu pionowego elementów wysyłkowych lub rozbiórki konstrukcji. Źle dobrany udźwig żurawia lub niewłaściwe jego oparcie na gruncie może doprowadzić do przewrócenia się maszyny wraz z podnoszonym ładunkiem. Przykładem może być niewłaściwie przeprowadzona projektem rozbiórka kolejowego wiaduktu stalowego (rys. 7). Zgodnie z projektem rozbiórki

demontaż pomostu powinien zostać przeprowadzony za pomocą żurawia samochodowego, po wcześniejszym usunięciu wszystkich elementów urządzeń kolejowych i wyposażenia, m.in. torów, podkładów oraz osłon bocznych. Wykonawca nie dostosował się do projektu i usunął jedynie część wspomnianych elementów. W trakcie rozbiórki niemal nie doszło do katastrofy i przewrócenia się żurawia, ponieważ udźwig maszyny był dobrany do ciężaru przęsła bez wyposażenia, a demontowana płyta z ciężkimi podkładami i osłonami ważyła znacznie więcej, niż przewidziano w projekcie rozbiórki [14].

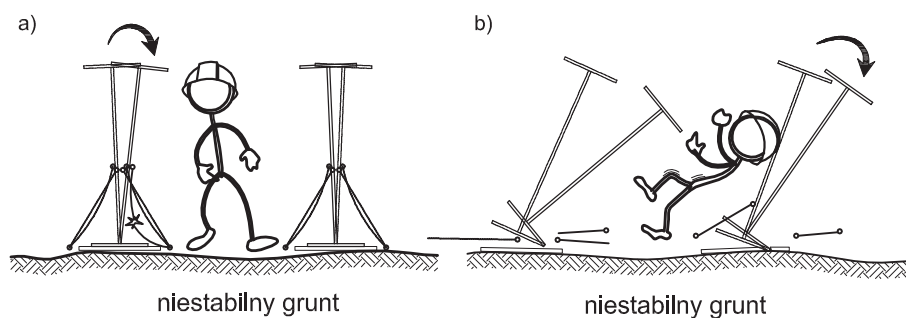
Przyczyną błędów w trakcie transportu pionowego elementów stalowych może być także brak wystarczającej przestrzeni koniecznej do ustawienia i bezpiecznego operowania żurawiem stacjonarnym. Ograniczenie pola widzenia operatora może doprowadzić do kolizji unoszonego elementu z istniejącą konstrukcją i ich uszkodzenia.

Większość błędów popełnianych podczas urządzania i funkcjonowania przyobiekтового składowiska elementów konstrukcyjnych można zakwalifikować jako błędy wynikające z ignorancji lub braku odpowiedniego doświadczenia zawodowego. Składowanie nie powinno wprowadzać trwałych deformacji elementów, dlatego ciężkie elementy o znacznie różniących się ekstremalnych sztywnościach giętnych przekroju poprzecznego, takie jak blachownice lub kratownice, powinno się składować w pozycji pionowej (osią słabą przekroju w kierunku pionowym). Elementy składowane powinny być układane na podkładach drewnianych, których liczba i gabaryty powinny być dostosowane do masy elementu i nośności gruntu oraz umożliwiać wygodne założenie zawiesi transportowych. Bezwzględnie należy przy tym pamiętać o zabezpieczeniu tych elementów przed niekontrolowanym przewróceniem się (rys. 8).

Sposób składowania powinien ułatwiać sprawne i efektywne prowadzenie montażu konstrukcji. Elementy powinny być odpowiednio posortowane, ułożone zgodnie z kolejnością montażu, przy zachowaniu dobrej widoczności ich oznakowań. Należy również zapewnić dobre przewietrzanie składowanych elementów oraz zabezpieczyć je przed gromadzeniem się na nich wód opadowych, śniegu i zanieczyszczeń. Wymagane to dotyczy szczególnie świeżo ocynkowanych elementów stalowych, na których może się pojawić tzw. biała rdza, zanim samoistnie wytworzy się na nich ochronna warstewka patyny w postaci węglanu cynku.



**Rys. 7.** Niezgodna z projektem rozbiórka stalowego wiaduktu; fot. z archiwum GDDKiA [29]



**Rys. 8.** Sekwencja wypadku i jego skutek – śmiertelne przygniecenie pracownika, wynikające z braku podparcia bocznego składowanych blachownic; fot. z archiwum PIP [30]



**Rys. 9.** Katastrofa w trakcie montażu stalowego wiaduktu drogowego spowodowana niewłaściwym przygotowaniem podłoża; fot. z archiwum PIP [30]



#### 4.4. Przyczyny błędów w trakcie montażu elementów stalowych

Ostatni etap wykonania konstrukcji stalowej jest jednocześnie najtrudniejszy, ponieważ na zastosowaną metodę montażu, na postęp i jakość robót może mieć wpływ szereg czynników poprzedzających montaż, czasem niemożliwych do wcześniejszego przewidzenia. Przykładami mogą być: błędy popełnione na etapie projektowania, błędna ocena lub nieprzewidziana zmiana warunków gruntowych, nieprzygotowanie do zmienności warunków atmosferycznych – opadów, wiatru, temperatury powietrza. Stosunkowo częstym błędem jest przystępowanie do prac montażowych bez zaznajomienia się z przebiegiem dotychczas wykonanych prac oraz działań zaplanowanych, a także bez kontroli jakości i poprawności wcześniejszych prac budowlanych, np. fundamentów, zakotwień, marek czy zabezpieczeń antykorozyjnych.

Wadliwie przeprowadzone badania gruntu lub błędna ocena właściwości podłoża gruntowego i jego warunków wodnych może skutkować niewłaściwym przygotowaniem podłoża do oparcia konstrukcji głównej lub konstrukcji pomocniczej na czas montażu. Przykładem może być brak zabezpieczenia przed wymywaniem pospółki z podłoża podpór tymczasowych, który spowodował nadmierne ich osiadanie, a następnie zawalenie się montowanego stalowego wiaduktu drogowego (rys. 9).

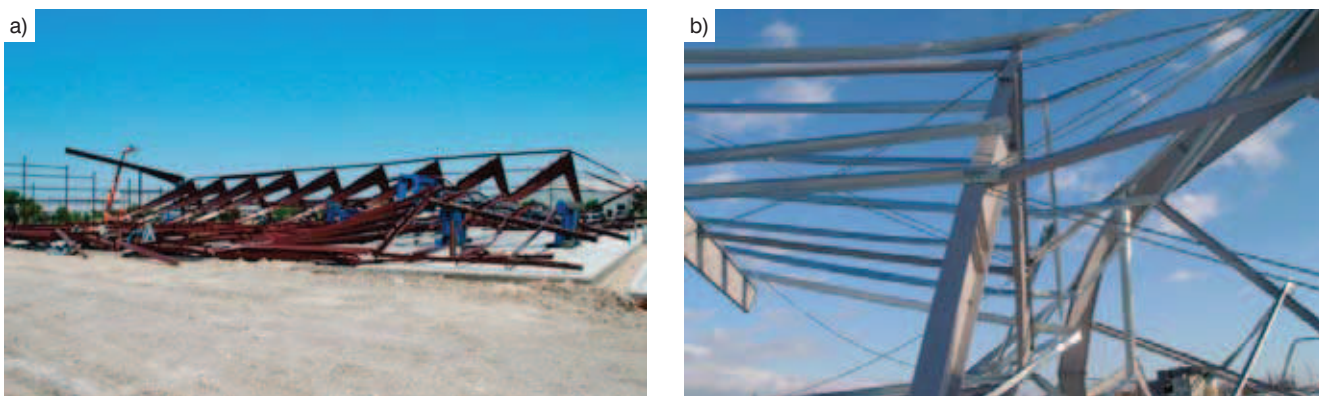
Do najbardziej powszechnych przyczyn błędów występujących podczas montażu konstrukcji stalowych można zaliczyć m.in.:

- powierzanie prac wykonawcom bez odpowiedniego przeszkolenia, praktyki i wymaganych uprawnień zawodowych,
- wbudowywanie elementów lub wyrobów niewiadomej jakości i pochodzenia, bez odpowiednich dokumentów technicznych,
- bezkrytyczny montaż konstrukcji obiektów sprowadzanych z zagranicy, projektowanych na inne warunki klimatyczne i gruntowe [15],
- kolejność i terminy dostaw elementów konstrukcyjnych niedostosowane do kolejności ich montażu,
- wbudowywanie elementów uszkodzonych w czasie transportu, rozładunku lub składowania,

- prowadzenie prac bez opracowania projektu montażu, niezgodnie z jego założeniami lub przy niewłaściwie dobranej technologii jego wykonania,
- montaż konstrukcji z użyciem naciągu, prowadzący do powstania nieprzewidzianych w projekcie naprężeń wstępnych, stosowany w przypadku geometrycznego niedopasowania elementów wysyłkowych,
- brak nadzoru geodezyjnego,
- brak lub niewystarczające stężenie konstrukcji w trakcie montażu,
- błędy wykonania połączeń montażowych,
- nieprawidłowa rektyfikacja elementów,
- brak lub nieprawidłowe wykonanie podlewek,
- błędy wykonania elementów wykończeniowych (np. obróbek blacharskich), często prowadzące do przesączenia się wód opadowych i stopniowej korozyjnej degradacji obiektu i nośności elementów konstrukcyjnych.

Szczególną ostrożnością i uwagą należy się wykazać podczas planowania zabezpieczeń stateczności konstrukcji w czasie montażu. W trakcie trwania montażu konstrukcji jej schemat statyczny, w tym wartości i miejsca przyłożenia obciążeń mogą się wielokrotnie zmieniać, a przy tym istotnie różnić od schematu docelowego. W związku z tym rozwiązania zapewniające właściwą nośność i stateczność konstrukcji muszą obejmować nie tylko stan docelowy, lecz również fazę montażu. W przypadku błędnie zaplanowanego lub niewłaściwie prowadzonego montażu nawet w prawidłowo zaprojektowanej konstrukcji może dojść do lokalnych przeciążeń i deformacji prowadzących niekiedy do zniszczenia całego obiektu. Katastrofy budowlane, których przyczyną była utrata stateczności położenia stalowych elementów konstrukcyjnych, są jedną z najgroźniejszych form zniszczenia, skutkujących niejednokrotnie ofiarami śmiertelnymi lub znacznymi stratami materialnymi. Zazwyczaj przebiegają one bardzo szybko, uniemożliwiając przez to ucieczkę pracowników oraz ewakuację maszyn i sprzętu budowlanego (rys. 9). Przy dużej liczbie połączeń przegubowych w montowanej konstrukcji oraz braku pełnego układu stężeń awaria jednego elementu nierzadko może prowadzić do tzw. katastrofy postępującej, która swoim zasięgiem może objąć cały obiekt budowlany. Przykłady





**Rys. 10.** Przykłady katastrof w trakcie montażu spowodowane niedostatecznym stężeniem układu konstrukcyjnego; fot. OSHA [31] (a), fot. J. Gierczak [4] (b)

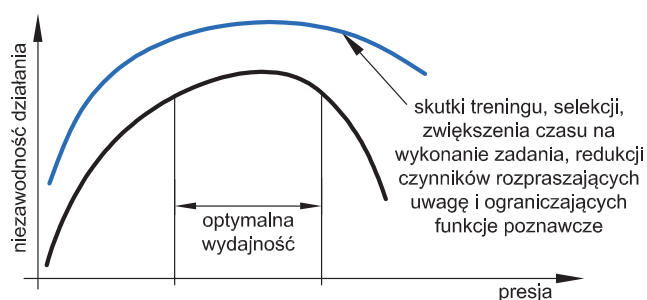
katastrof budowlanych w trakcie montażu konstrukcji stalowej, wywołane niewystarczającą sztywnością stężeń pokazano na rysunku 10.

Wady wykonania połączeń montażowych wynikają zwykle z ignorancji oraz niestaranności prac, często będących skutkiem niezachowania odpowiednich tolerancji wymiarowych. Typowe przykłady wad tego typu to: nieskorygowana mimośrodowość otworów w połączeniu, brak kompletu śrub w połączeniu, brak szczelności powierzchni stykowych, brak pełnego przylegania nakrętki i łba do powierzchni łączonych elementów, stosowanie śrub o długości zaciskowej niedostosowanej do grubości łączonych części albo o gwincie wykonanym na całej długości trzpienia, czego nie uwzględniono w obliczeniach nośności połączenia. Naganną praktyką jest maskowanie przez wykonawcę błędów wynikających z trudności wykonania połączeń montażowych, np. wykonanie atrapy połączenia przez sklejanie śrub akrylem [23]. Zdarza się, że błędy wykonania połączeń montażowych, skutkujące obniżeniem ich nośności, są przyczyną utraty stateczności konstrukcji w trakcie montażu.

Sporym utrudnieniem podczas montażu konstrukcji stalowej jest również wcześniejszy brak uzgodnienia kolejności dostaw na budowę poszczególnych elementów wysyłkowych konstrukcji, co może prowadzić do zabrudzenia lub uszkodzenia konstrukcji, która została przywieziona przed wykonaniem robót żelbetowych lub murarskich, poprzedzających montaż konstrukcji stalowej.

## 5. Działania sprzyjające zapobieganiu błędom ludzkim

Badania i analizy dotyczące zachowań ludzkich wskazują, że niezawodność działań podjętych przez człowieka i jego wydajność zależą w dużej mierze od wywieranej na niego presji (rys. 11), przy czym zarówno zbyt duża, jak i zbyt mała jej poziom może obniżać niezawodność działań człowieka. Źródłem presji może być stres, brak znajomości wykonywanych działań oraz ich złożoności, narzucone ograniczenia czasowe, wpływ czynników rozpraszających uwagę i ograniczeń funkcji poznawczych [2]. Stwierdzono, że znaczący wpływ na ograniczenie popełnianych błędów ma uczestnictwo w szkoleniach, właściwy dobór personelu oraz redukcja złożoności zleczanych

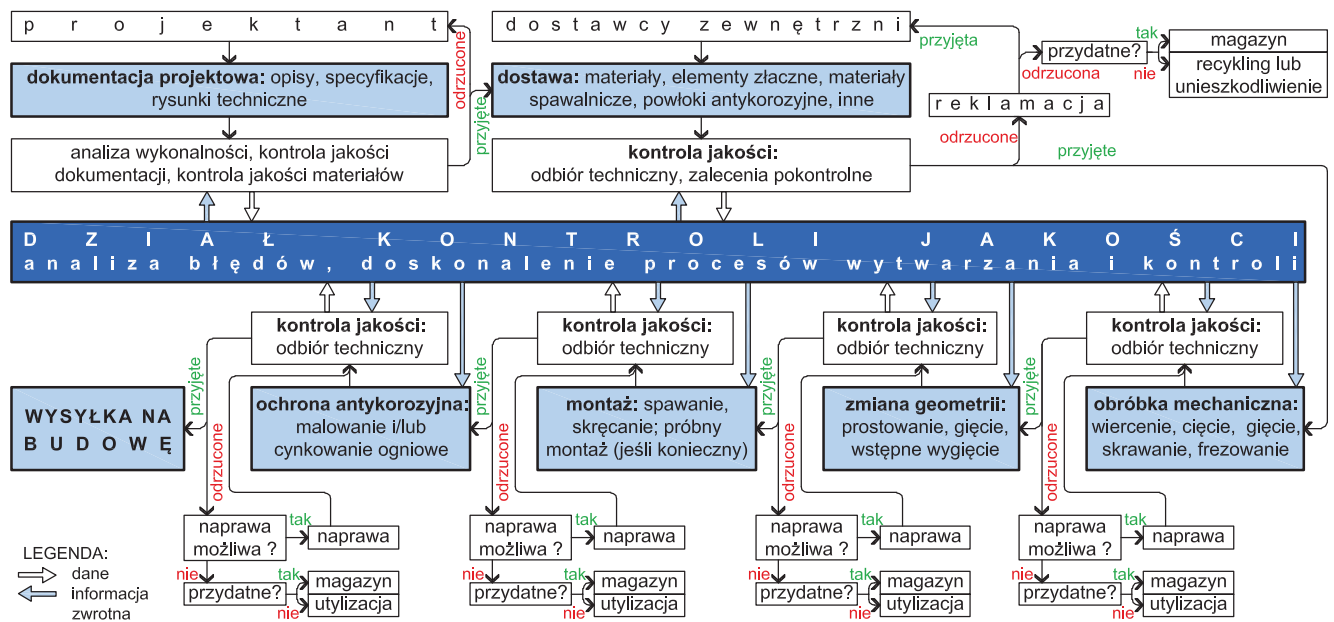


**Rys. 11.** Wpływ presji na niezawodność działań ludzkich i wydajność człowieka

zadań. Duże znaczenie ma również zapewnienie wystarczającej ilości czasu na wykonanie zadania oraz eliminacja lub ograniczenie czynników powodujących brak odpowiedniego skupienia uwagi. Nie zawsze istnieje jednak możliwość redukcji wszystkich czynników zmniejszających prawdopodobieństwo popełnienia błędu, w związku z tym każdy etap wykonania i montażu bądź rozbiórki konstrukcji stalowej powinien być nadzorowany i poddany odpowiedniej kontroli. Zapewnienie efektywnego nadzoru nad wykonywanymi czynnościami jest jedną z metod ograniczania wpływu błędów ludzkich na bezpieczeństwo konstrukcji podczas jej wytwarzania, montażu bądź rozbiórki (por. p. 3).

Najłatwiejszym do kontrolowania etapem procesu realizacji konstrukcji stalowej są prace warsztatowe, ze względu na ich dużą regularność i powtarzalność. Przykładowy schemat organizacji prac warsztatowych przy wykonaniu konstrukcji stalowej, w którym uwzględniono działanie systemu kontroli jakości, pokazano na rysunku 12.

W każdym przypadku rozpoczęcie prac warsztatowych powinno być poprzedzone analizą ich wykonalności. Przez to pojęcie autorzy rozumieją konieczność sprawdzenia, czy przyjęte przez projektanta rozwiązania techniczne są możliwe do wykonania z technologicznego punktu widzenia i czy wykonawca dysponuje odpowiednim doświadczeniem, uprawnieniami oraz bazą sprzętu. Przykładowo sprawdzić należy, czy detale połączeń zostały zaprojektowane w taki sposób, aby istniała techniczna możliwość wykonania spoin lub zamontowania śrub. Konieczna jest również weryfikacja, czy zakład



**Rys. 12.** Przykładowy schemat organizacji prac warsztatowych z uwzględnieniem działania systemu kontroli jakości według [21]

wykonujący konstrukcję jest w stanie zapewnić odpowiednie maszyny i sprzęt (np. suwnice o odpowiednim udźwigu, maszyny do gięcia itp.) i może powierzone prace wykonać samodzielnie. Jeżeli część prac należy zlecić podwykonawcom, musi to zostać uwzględnione w harmonogramach robót.

Każdy etap prac warsztatowych powinien podlegać kontroli jakości poprzez techniczne odbiory międzyoperacyjne. W zależności od uzyskanej jakości prac kontroli podejmuje się decyzje o przekazaniu elementu do następnego etapu produkcji lub naprawie w przypadku niezadowolającej jakości. Jeśli stwierdzone wady uniemożliwiają naprawę, to element jest wycofywany z produkcji i może być składowany w celu wykorzystania w innych zleceniach lub przekazany do utylizacji albo recyklingu. Informacje o wynikach kontroli są przekazywane do działu kontroli jakości w celu dalszej analizy i archiwizacji. Wyniki analiz służą osiągnięciu stałej poprawy jakości wykonania wyrobów oraz doskonalenia samego systemu kontroli jakości.

Nadzór, będąc jednym z głównych narzędzi kontroli jakości, również może nie być wolny od błędów. Ich główną przyczyną są luki w wykształceniu i doświadczeniu zawodowym osób nadzorujących oraz, wynikająca z presji czasu, niewystarczająca kontrola lub jej brak.

Działanie systemu kontroli jakości można poprawić, stosując właściwą selekcję personelu technicznego, biorąc pod uwagę wykształcenie, wiedzę, doświadczenie zawodowe oraz predyspozycje psychofizyczne kandydatów, w efekcie czego właściwe osoby wykonują pracę na odpowiednich stanowiskach [11]. Zmniejszeniu częstości błędów popełnionych przez pracowników działu kontroli jakości sprzyja także ich odpowiednie okresowe szkolenie podnoszące poziom wiedzy i umiejętności.

Aby unikać błędów, których przyczyną mogą być same procedury kontrolne, należy sformułować je w sposób jasny

i jednoznaczny. Racjonalnie opracowane zasady prowadzenia kontroli są narzędziem oceny prawidłowości poszczególnych etapów procesu inwestycyjnego. Jak istotną rolę odgrywa system zarządzania jakością w zapobieganiu błędom ludzkim, pokazały szczegółowe analizy 800 przypadków uszkodzeń konstrukcji, przeprowadzone przez Matouška pod koniec lat 70. ubiegłego wieku. Aż w 94% analizowanych przypadków przyczyną awarii konstrukcji były błędy ludzkie. Okazało się również, że 87% tych błędów można było uniknąć, w tym 32% dzięki dokładnej analizie dokumentacji i 55% w wyniku dodatkowej kontroli, będącej częścią prawidłowo funkcjonującego systemu zarządzania jakością [20].

## 6. Rola list kontrolnych w ograniczaniu błędów ludzkich

Jednym z podstawowych, a przy tym stosunkowo prostych narzędzi ograniczania błędów ludzkich i identyfikacji zagrożeń w trakcie prowadzonych inwestycji jest lista kontrolna (ang. *checklist*). Europejska Organizacja Jakości zaleca jej stosowanie w systemach kontroli jakości w celu ciągłego doskonalenia procesów produkcyjnych. Wykorzystując listy kontrolne można sprawdzić spełnienie wymagań, zachowanie właściwej kolejności zadań oraz zidentyfikować tzw. słabe punkty danego procesu.

Lista ma najczęściej postać tabeli lub punktów, zawierających wykaz czynności koniecznych do wykonania podczas kontroli danego zadania. Listy kontrolne są szczególnie skuteczne w przypadku zadań o wysokim stopniu powtarzalności wykonywanych czynności. Początkowo stosowano je w lotnictwie, następnie w astronautyce, finansach i systemach zarządzania ryzykiem. Są efektywnie wykorzystywane w medycynie, zgodnie z nimi przygotowuje się pacjentów do skomplikowanych zabiegów. W branży budowlanej listy kontrolne są stosowane

**Tabela 2.** Przykładowa lista kontrolna wybranych etapów wytwarzania konstrukcji stalowej

Etap	Pytania kontrolne		✓, ✗, nd	uwagi	
Planowanie wstępne	Czy wykonawcza dokumentacja projektowa jest uzgodniona i kompletna (opisy, w tym klasy wykonania, tolerancji i stopnia przygotowania powierzchni, specyfikacje części składowych, rysunki)				
	Czy wykonawca konstrukcji posiada niezbędne kwalifikacje oraz stosuje odpowiednie wyposażenie i środki (niezbędne urządzenia spawalnicze, wykwalifikowanych spawaczy), aby osiągnąć zgodność z wymaganiami określonymi w specyfikacji technicznej i przywołanych normach				
	Czy dostarczono projekt montażu				
	Czy dostarczono projekt konstrukcji tymczasowych wymaganych ze względu na metodę montażu				
	Czy stanowiska montażu zostały przygotowane do bezpiecznej pracy				
	Czy pracownicy zostali zapoznani z projektem montażu				
	Czy pracownicy zostali zapoznani z Instrukcją Bezpiecznego Wykonywania Robót oraz zasadami BHP				
	Czy dostarczono harmonogramy dostaw elementów wysyłkowych na plac budowy oraz identyfikację ich umiejscowienia w zmontowanej konstrukcji				
Montaż konstrukcji stalowej	Czy kontrolowana jest pogoda, z uwagi na możliwość wystąpienia potencjalnie niebezpiecznych wpływów wiatru, deszczu, śniegu i temperatury				
	Czy wynik pomiarów geodezyjnych lokalizacji kotew/osi podkładek wyrównujących na fundamentach jest zgodny z dokumentacją				
	Czy śruby mocujące wbudowane w fundament są usytuowane w granicach tolerancji				
	Czy wyroby konstrukcyjne i materiały (wyroby hutnicze, łączniki mechaniczne, materiały dodatkowe do spawania, powłoki antykorozyjne, inne) są zgodne ze specyfikacją, w nienaruszonym stanie i bez wad (dokumenty kontroli wyrobów w załączeniu)				
	Czy wszystkie elementy są odpowiednio oznakowane, mają trwałe opakowania z etykietą				
	Czy materiał podlewek jest zgodny ze specyfikacją i ma instrukcję stosowania				
	stal	Czy stal jest czytelnie i trwałe oznakowana, w sposób umożliwiający identyfikację			
		Czy zachowane są podstawowe tolerancje wytwarzania w zakresie płaskości elementów (pochylenia, wgniecenia/dystorsje, sfałowania, wygięcia, przesunięcia, uszkodzone fragmenty)			
		Czy elementy stalowe mają wady powierzchniowe (pęknięcia, złuszczenia, rysy, wżery)			
		Czy zachowane są podstawowe tolerancje wytwarzania w zakresie wymiarów przekroju ( $d \times B \times L$ )			
		Czy usytuowanie żeber usztywniających (przesunięcia, mimośrodowość ustawienia) jest zgodne z rysunkami i dopuszczalnymi odchyłkami			
		Czy elementy cięte mają zachowane tolerancje dotyczące geometrii i gładkości brzegów (grań, zadziory, zanieczyszczenia żużlem)			
		Czy podjęto działania korygujące dotyczące niezgodności (sprawozdanie w załączeniu)			
	połączenie śrubowe	Czy klasa i rodzaj zestawów śrubowych jest zgodna ze specyfikacją			
		Czy wymiary zestawów śrubowych są prawidłowe (średnica x długość)			
		Czy przeświły nominalne (luzy) w otworach zgodne ze specyfikacją			
		Czy połączenia wykonane są zgodnie z rysunkami			
		Czy śruby są dokręcone odpowiednim momentem			
		Czy minimum 1,5 gwintu wystaje poza nakrętkę			
		Czy występują jakieś wady (np. śruby przechylone w stosunku do płaszczyzny styku)			
Czy zastosowano środki blokujące przed rozluźnieniem przy drganiach (np. nakrętki samozabezpieczające, blokady nakrętek)					
Czy rozmieszczenie śrub i długości zakotwienia są prawidłowe (sprawozdanie w załączeniu)					
Czy odporność na korozję złączy, łączników i podkładek uszczelniających odpowiada odporności środków łącznych					
Czy podjęto działania korygujące dotyczące niezgodności (sprawozdanie w załączeniu)					
złącza spawane	Czy spawacze i operatorzy urządzeń spawalniczych posiadają wymagane kwalifikacje potwierdzone dokumentami				
	Czy dostarczono instrukcje technologiczne spawania (WPS)				
	Czy nadzór spawalniczy jest prowadzony przez odpowiednio uprawniony personel nadzoru				
	Czy materiały dodatkowe do spawania są dobrane odpowiednio do procesu spawalniczego, właściwości materiału i procedury spawalniczej				
	Czy przygotowano brzegi odpowiednio do procesu spawania, zgodnie z badaniem technologii spawania				

Etap	Pytania kontrolne		✓, ✗, nd	uwagi
Montaż konstrukcji stalowej	złącza spawane	Czy powierzchnia do spawania jest sucha, czysta i wolna od zanieczyszczeń (rdza, materiał organiczny lub ocynkowanie)		
		Czy oględziny zewnętrzne wykazały jakieś niezgodności spawalnicze (brak przetopu, pęcherze, przyklejenia, podtopienia, pęknięcia, wycieki, wtrącenia)		
		Czy grubość i długość spoin są zgodne z projektem i nie mniejsze niż wyspecyfikowane		
		Czy usunięto spoiny szczepne niewbudowane oraz płytki dobiegowe i wybiegowe		
		Czy podjęto działania korygujące dotyczące niezgodności (sprawozdanie w załączeniu)		
	Czy sprawdzono jakość spawów metodami NDT	badaniem radiograficznym (test RT)		
		badaniem magnetyczno-proszkowym (test MP)		
		badaniem ultradźwiękowym (test UT)		
		badaniem penetracyjnym (test PT)		
		innym (np. badaniem twardości HT, badaniem szczelności LT)		
	Czy podjęto działania korygujące dotyczące niezgodności, jeśli wyniki testów były negatywne (sprawozdanie w załączeniu)			
	Czy ochronę antykorozyjną wykonano zgodnie ze specyfikacją			
	Czy podjęto działania korygujące dotyczące niezgodności w zakresie ochrony antykorozyjnej			

od lat 60. ubiegłego wieku. Pierwszą tego typu listą była tzw. Lista Dortmundzka, stosowana w celu ułatwienia nadzoru nad warunkami pracy i oceną stanu zdrowotnego pracowników. Przykładem eksperckich list kontrolnych, wykorzystywanych do oceny stanu technicznego drogowych obiektów inżynierskich, jest Instrukcja [6] wprowadzona Zarządzeniem Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad.

Skuteczność listy kontrolnej zależy od jej właściwego sformułowania. Dokładność i szczegółowość pytań zwiększa efektywność kontroli, jednak wydłuża zarówno czas sporządzenia listy, jak i czas trwania samej kontroli [13]. Listą kontrolną może być objęty cały proces budowlany, może ona także dotyczyć jedynie wybranego etapu inwestycji, szczególnie newralgicznego z punktu widzenia bezpieczeństwa. Zaletami prawidłowo sporządzonej listy kontrolnej są m.in.:

- łatwość stosowania,
- czytelne przedstawienie zadań kontrolnych,
- systematyzacja działań,
- powiązanie ze sobą kolejnych etapów procesu,
- personalne przypisanie odpowiedzialności za podjęte działania,
- gromadzenie informacji na temat popełnianych błędów.

Przykładową listę kontrolną wybranych etapów wytwarzania konstrukcji stalowej, opartą o wymagania podane w [22, 27], pokazano w tabeli 2.

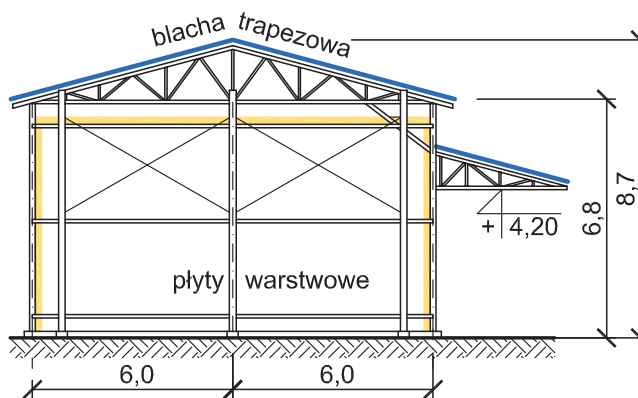
Chociaż pytania zawarte w tabeli 2 mogą wydawać się dość trywialne, odpowiedź na nie może znacznie zmniejszyć prawdopodobieństwo popełnienia błędów nie tylko przez niedoświadczonych pracowników pracujących bez nadzoru, lecz również doświadczonych inżynierów działających pod presją czasu. Lista kontrolna jest również formą zapisu czynności wykonywanych na terenie budowy, może zatem być cennym uzupełnieniem dziennika budowy. Nie bez znaczenia jest fakt, że składając podpis pod listą kontrolną, osoba sprawująca nadzór poświadcza prawidłowość wykonanych prac i przyjmuje personalną odpowiedzialność za podjęte

działania kontrolne, co zazwyczaj wpływa korzystnie na staranność sprawowanego nadzoru. Pozwala to również uniknąć rozmycia odpowiedzialności, np. przy postępowaniu ugodowym lub sądowym.

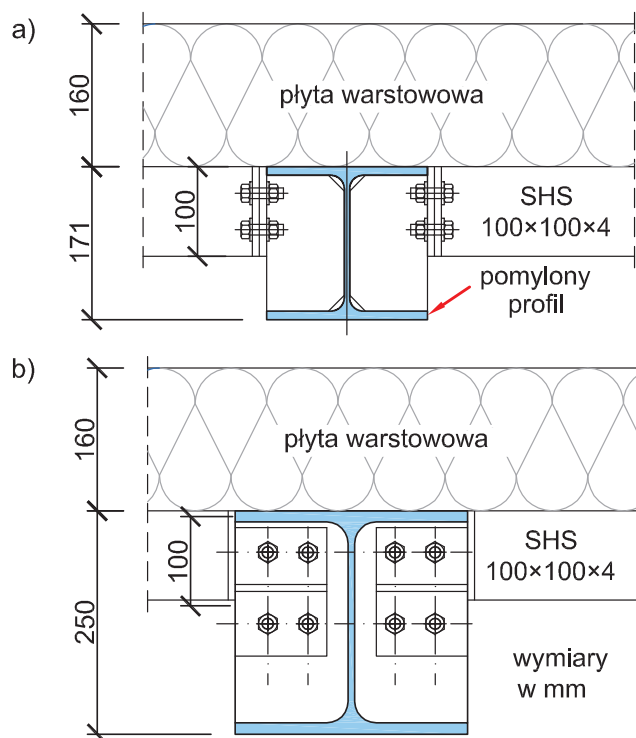
W omawianym poniżej przypadku nie korzystano z list kontrolnych. Zdaniem autorów ich zastosowanie mogłoby pomóc w uniknięciu wielu błędów, przykładowo: negatywna odpowiedź na pytanie: „Czy wynik pomiarów geodezyjnych lokalizacji kotew/osi podkładek wyrównujących na fundamentach jest zgodny z dokumentacją?” powinna uniemożliwić dalszy wadliwy montaż kotew fundamentowych w deskowaniu (rys. 15b).

## 7. Błędy ludzkie w realizacji przykładowej konstrukcji stalowej

Konsekwencje braku właściwie działającego systemu zapewnienia jakości na etapie wykonania obiektu budowlanego przedstawiono na przykładzie wolno stojącej hali stalowej (rys. 13). Obiekt ten miał być przeznaczony do wstępnego



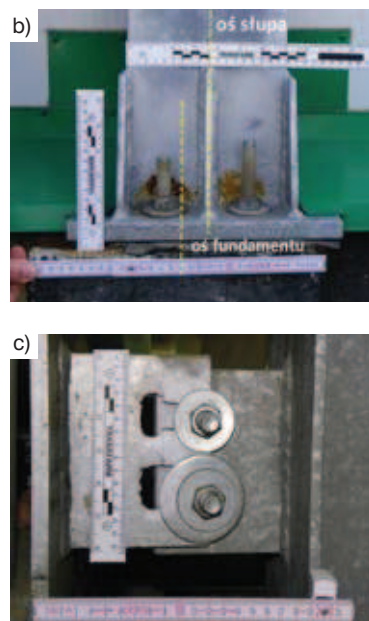
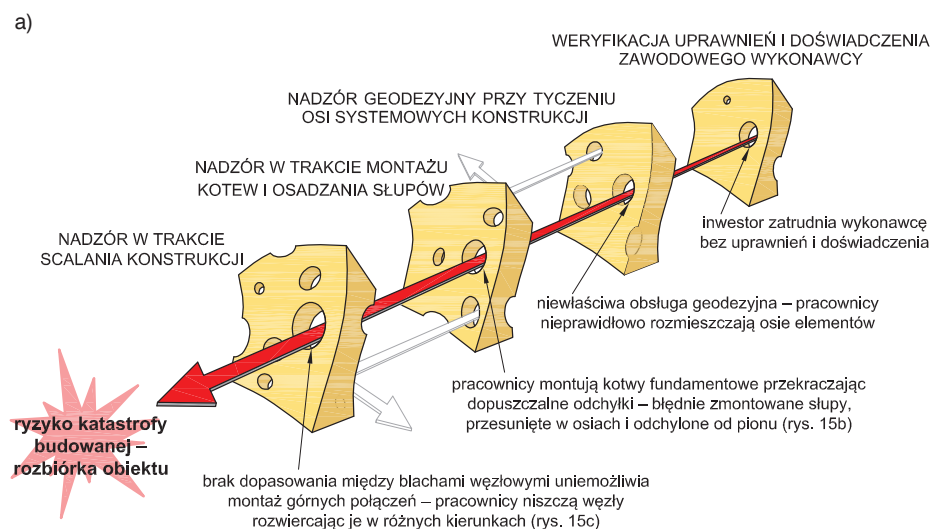
Rys. 13. Widok ściany szczytowej hali przetwórstwa warzyw



**Rys. 14.** Połączenie rygiel ścienny – słup w analizowanej hali: a) rozwiązanie pierwotne, b) rozwiązanie zamiennie wprowadzone przez wykonawcę, c) realizacja rozwiązania zamiennego stwarzająca zagrożenie katastrofą budowlaną

mycia i przechowywania warzyw korzeniowych w warunkach chłodniczych (2–5°C), przy jednoczesnej dużej wilgotności powietrza (~97%). Ze względu na stosunkowo długi, niesymetryczny wspornik kratowy zadaszenia rampy, zgodnie z aktualnymi wymogami prawnymi [24], konieczne stało się powołanie inspektora nadzoru inwestorskiego. Na podstawie analizy przebiegu inwestycji wykazano, że błędy mające wpływ na bezpieczeństwo konstrukcji zostały

popelnione już na etapie wstępnego planowania i projektowania konstrukcji, a kolejne pojawiły się w fazie realizacji. Na żadnym z tych etapów nie zadziałał prawidłowo wymagany normą PN-EN 1990 [28] i ustawą Prawo budowlane [25] system nadzoru nad jakością realizowanej konstrukcji. W niniejszym artykule autorzy ograniczyli się do wskazania wybranych błędów popelnionych podczas wykonywania omawianej konstrukcji.



**Rys. 15.** Sekwencja błędów prowadząca do ryzyka katastrofy budowlanej: a) schemat opracowany przez autorów na podstawie [17], b) przesunięta oś słupa, c) zniszczone złącze zakładkowe w górnej części słupa – konsekwencja przesunięcia osi słupa

Pierwszym, słabym ogniwem systemu kontroli jakości wykonywanej konstrukcji był inspektor nadzoru inwestorskiego, który dopuścił do realizacji robót wykonawcę bez wymaganych uprawnień zakładowych, doświadczenia zawodowego i wiedzy technicznej. Zezwolił on również na prowadzenie budowy bez fachowej obsługi geodezyjnej. Kolejne błędy popełniane podczas wykonywania konstrukcji w znacznej mierze były konsekwencjami tych decyzji. Pośredni wpływ na pojawiające się na etapie realizacji błędy miał projektant konstrukcji, który wyrażając zgodę na zmianę systemu zabezpieczenia antykorozyjnego z powłok malarskich na bardziej trwałe cynkowanie ogniowe, nie dostarczył kompletnej zamiennej dokumentacji projektowej. Źródłem błędów stało się również wybrane przez projektanta rozwiązanie połączeń rygli ściennych ze słupami, w postaci wrażliwych na niedokładności montażu połączeń doczołowych. Ze względu na brak odpowiednich umiejętności wykonawca bez uzgodnienia z projektantem zastosował prostsze w wykonaniu połączenia zakładkowe. Połączenia te zostały jednak wykonane nieprawidłowo (rys. 14), co doprowadziło do zmiany schematu statycznego konstrukcji, a w konsekwencji do zagrożenia katastrofą budowlaną.

Kolejnym działaniem projektanta stymulującym pojawianie się błędów podczas montażu omawianej konstrukcji było niewłaściwe sporządzenie specyfikacji. Projektant nie dostarczył wykazów śrub i nakrętek, nie określił sposobu wykonania podlewek między fundamentem a podstawą słupa, nie podał wytycznych dotyczących sposobu korekty odchyłek montażowych. Niedbały nadzór ze strony inspektora nałożył się na brak informacji od projektanta, w skutek czego wykonawca zamontował słupy, kilkukrotnie przekraczając dopuszczalne odchyłki, zarówno usytuowania podstaw, jak i pionowości słupów. Odchyłki montażowe były tak duże, że pracownicy nie mogąc wykonać połączeń zakładkowych w górnej części słupów nacięli blachy węzłowe, niszcząc je nieodwracalnie (rys. 15c).

Przypadek sprawił, że po wykryciu śladów korozji nieświadomy stanu technicznego konstrukcji inwestor wstrzymał zapłatę za jej wykonanie i skierował sprawę na drogę sądową. Na podstawie przeprowadzonej ekspertyzy biegły sądowy wykazał, że łączny efekt błędów ludzkich popełnionych na kolejnych etapach inwestycji doprowadził do stanu, w którym naprawa konstrukcji wiązała się z jej częściową rozbiórką i znacznymi kosztami. W tej sytuacji została podjęta decyzja o całkowitym demontażu obiektu.

W analizowanym przypadku niefortunny zbieg okoliczności sprawił, że w jednym przedsięwzięciu budowlanym uczestniczyli niedoświadczony projektant i wykonawca, a nadzór sprawował nierzetelny inspektor. Na szczęście nie doszło do potencjalnie tragicznej w skutkach katastrofy budowlanej. Jednak z finansowego punktu widzenia inwestycja była porażką; straty inwestora z tytułu niezrealizowanych umów były kilkukrotnie wyższe niż koszt budowy.

Analizując opisany powyżej przypadek, autorzy opierając się na przytaczanym często w literaturze tzw. modelu sera szwajcarskiego [17], przedstawili na rysunku 15a przykład sekwencji błędów w trakcie wykonywania konstrukcji, które mogły

prowadzić do katastrofy budowlanej. Niewłaściwe funkcjonowanie systemu kontroli i nadzoru spowodowało powstanie „dziur” naruszających „szczelność” kolejnych barier tego systemu, co umożliwiło zaistnienie zjawisk niepożądanych. W omawianym przypadku nie zadziałał żaden z mechanizmów zarządzania jakością, ponieważ kolejne etapy kontroli nie wykryły popełnionych wcześniej błędów.

## 8. Podsumowanie

Błędy ludzkie są nieodłączną częścią każdego procesu budowlanego, stanowiąc główną przyczynę katastrof i awarii budowlanych. W celu zapewnienia wymaganej niezawodności konstrukcji, na każdym etapie jej realizacji należy zastosować odpowiedni i efektywnie działający system zarządzania jakością. Nadzór techniczny, choć często niedoceniany, jest niezwykle istotnym ogniwem systemu mającego zapewnić bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych. Kontrole techniczne prowadzone na placu budowy można uważać za ostatnią barierę umożliwiającą wykrycie i skorygowanie błędów ludzkich.

W analizowanym w punkcie 7 przypadku system zapewnienia niezawodności obiektu budowlanego nie zadziałał prawidłowo, choć konstrukcja nie była skomplikowana, a inwestor, zgodnie z wymaganiami prawnymi, zapewnił właściwy nadzór na każdym etapie procesu budowlanego. Pojawia się więc pytanie, jak mogło do tego dojść? W opinii autorów, słabym ogniwem systemu okazali się ludzie mający nadzorować poszczególne etapy inwestycji.

Wyciągając wnioski z przytoczonych przykładów, autorzy proponują podjęcie następujących działań mających na celu ulepszenie obecnego systemu kontroli i nadzoru przy wykonywaniu i rozbiórkach konstrukcji stalowych:

- stosowanie list kontrolnych,
- bardziej staranna selekcja osób sprawujących nadzór, np. dobór na podstawie predyspozycji psychologicznych czy wymóg posiadania co najmniej kilkuletniej praktyki po uzyskaniu uprawnień budowlanych, podobnie jak ma to miejsce w przypadku rzeczoznawców budowlanych,
- częstsze szkolenia zawodowe,
- rozpowszechnianie w środowisku inżynierskim wniosków i zaleceń formułowanych na podstawie analiz przyczyn awarii i katastrof budowlanych.

Spośród wymienionych powyżej propozycji listy kontrolne wydają się być narzędziem, które może zostać relatywnie łatwo wprowadzone do stosowania w budownictwie. Są one już powszechnie stosowane podczas przeglądów technicznych mostów, co potwierdza skuteczność ich działania.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Augustyn J., Śledziwski E., Technologiczność konstrukcji stalowych, wydanie II, Arkady, Warszawa, 1981
- [2] Bea R. G., The role of human error in design, construction, and reliability of marine structures. Ship Structure Committee National Technical Information Service, 1994
- [3] Eldukair Z. A., Ayyub B. M., Analysis of Recent U.S. Structural and Construction Failures. Journal of Performance of Constructed Facilities, American Society of Civil Engineers 1/1991

XX WARSZTATY NADZORU INWESTYCYJNEGO  
W WAŁCZU  
ORAZ XVI KONFERENCJA NAUKOWA

## REWITALIZACJA OBSZARÓW ZURBANIZOWANYCH

REWITALIZACJA OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH,  
OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW  
ORAZ INFRASTRUKTURY KANALIZACYJNEJ W MIASTACH  
06-08 WRZEŚNIA 2018 WAŁCZ



KOMITET ORGANIZACYJNY  
mgr inż. Andrzej Piątkowski - przewodniczący

### KOMITET NAUKOWY

prof. dr hab. inż. Wiesław Buczkowski – Przewodniczący  
prof. dr hab. inż. Ryszard Błażejowski – Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak – Politechnika Poznańska  
prof. dr hab. inż. Edward Szczechowiak – Politechnika Poznańska  
dr hab. inż. Barbara Goszczyńska, prof. PŚk – Politechnika  
Politechnika Świętokrzyska  
dr hab. inż. Wiesława Głodkowska, prof. PKol. – Politechnika Koszalińska  
prof. dr hab. inż. Bogdan Nazarewicz – Politechnika Łwowska  
dr hab. inż. Jolanta A. Prusiel – Politechnika Białostocka  
dr hab. inż. Wojciech Tschuschke, prof. UP – Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
dr inż. Anna Szymczak-Graczyk – Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
dr inż. Barbara Ksit – Politechnika Poznańska  
dr inż. Daniel Pawliński – CUTOB PZITB w Poznaniu  
dr inż. arch. Roman Pilch – CUTOB PZITB w Poznaniu  
dr inż. Ireneusz Łaks – Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

### ZGŁOSZENIA I INFORMACJE

Centrum Usług Techniczno-Organizacyjnych Budownictwa  
Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa Sp. z o.o.  
Ul. Wieniawskiego 5/9, 61-712 Poznań  
tel. +48 601 576 665  
e-mail: a.piatkowski@culob-poznan.pl agraczyk@up.poznan.pl  
www.cutob-poznan.pl



[4] Gierczak J., Ignatowicz R. L., Katastrofa budowlana hali stalowej podczas montażu, Materiały Budowlane 5/2016, DOI: 10.15199/33.2016.05.

[5] Hołała E., Rykaluk K., Ignatowicz R., Awaryjne zagrożenie stalowej konstrukcji dachu hali widowiskowo-sportowej w Sopocie, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne Budowlane, Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

[6] Janas L., Jarominiak A., Michalak E., Instrukcja przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich, GDDKiA, Warszawa, 2005

[7] Kowalski D., Problemy realizacji inwestycji z zakresu konstrukcji stalowych, Inżynieria Morska i Geotechnika 5/2013

[8] Kuchta K., Tylek I., Rawska-Skotniczny A., Przyczyny i metody zapobiegania błędom ludzkim w inżynierskiej działalności budowlanej. Część I: Klasyfikacja i źródła błędów, Przegląd Budowlany 5/2017

[9] Matousek M., Schneider J., Untersuchungen zur Struktur des Sicherheitsproblems bei Bauwerken, Technical report, Institut für Baustatik und Konstruktion ETH Zürich, 1976

[10] Melchers R. E., Human error in structural reliability assessments, Reliability Engineering 7/1984

[11] Migdalski J., Jethon Z., Niezawodność obiektów biotechnicznych, w: Migdalski J. (red.), Inżynieria Niezawodności. Poradnik., ATR Bydgoszcz, Zetom Warszawa, 1992

[12] Palmisano F., Ratay R., The Practice of Forensic Structural Engineering in IABSE Member Countries: Review of a Survey. IABSE Symposium Report of the IABSE Conference, Genewa, 2015

[13] Parfitt M. K., Sanvido V. E., Checklist of critical success factors for building projects. Journal of Management in Engineering 3/1993

[14] Rawska-Skotniczny A., Margazyn A., Rozbiórki budynków i budowli, PWN, 2016

[15] Rawska-Skotniczny A., Marynowicz A., Nalepka M., Błędy przy projektowaniu stałych i tymczasowych hal namiotowych, XXVIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Awaryjne budowlane, Międzyzdroje, 2017

[16] Rawska-Skotniczny A., Tylek I., Wybrane aspekty działalności biegłych sądowych, Inżynieria i Budownictwo 2/2015

[17] Reason J., Human Error. New York: Cambridge University Press, 1990

[18] Runkiewicz L., Katastrofy i awaryjne budowlane – informacje techniczne i wnioski, Przegląd Budowlany 9/2008

[19] Runkiewicz L., Sieczkowski J., Wnioski techniczne wynikające z zagrożeń, awarii i katastrof dla rzeczoznawców budowlanych, Rzeczoznawstwo Budowlane, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2016

[20] Schneider J., Introduction to safety and reliability of structures, Zurich: IABSE-AIPC-IVBH, 2006

[21] Tylek I., Kuchta K., Rawska-Skotniczny A., Human Errors in the Design and Execution of Steel Structures – a Case Study. Structural Engineering International, Special Issue FORENSICS, 3/2017

[22] Urbańska-Galewska E., Kowalski D., Dokumentacja projektowa i wykonawcza. Obiekty o konstrukcji stalowej, PWN, 2015

[23] Wierzbicki S., Król P. A., Żółtowski W., Kołdej A., Błędy wykonawcze przyczyną stanu przedawaryjnego konstrukcji stalowej hali, Awaryjne Budowlane, XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

[24] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 19 listopada 2001 r. w sprawie rodzajów obiektów budowlanych, przy których realizacji jest wymagane ustanowienie inspektora nadzoru inwestorskiego (Dz.U. 01.138.1554)

[25] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (tekst jednolity Dz.U. 2017.1332, z późniejszymi zm.)

[26] PN-EN 1090-1 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 1: Zasady oceny zgodności elementów konstrukcyjnych, PKN, Warszawa

[27] PN-EN 1090-2. Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych, PKN, Warszawa

[28] PN-EN 1990. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji, PKN, Warszawa

[29] Materiały informacyjne Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad

[30] Materiały informacyjne Państwowej Inspekcji Pracy

[31] Materiały informacyjne U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration