

Rzeszów

19.05.2022

Informacja o projekcie FailNoMore

Kamil Szylak¹

¹ Politechnika Rzeszowska

FAILNOMORE

Mitigation of the risk of progressive collapse
in steel and composite building frames
under exceptional events



Research Fund for Coal & Steel

FAIL **NO**
MORE



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA

Projekt FAILNOMORE

■ Fundusz Badawczy Węgla i Stali

- Projekt FAILNOMORE finansowany był przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali (RFCS)
- Fundusz Badawczy Węgla i Stali (RFCS) zarządzany jest przez Komisję Europejską
- Celem funduszu jest wspieranie uczelni, ośrodków badawczych i podmiotów gospodarczych realizujących zadania mające na celu rozwój technologiczny
- Kluczowe zagadnienia:
 - wspieranie transformacji sektora węgla i stali
 - poprawa kwestii zdrowia i bezpieczeństwa
 - zrównoważony rozwój
 - ochrona środowiska
 - innowacyjne rozwiązania techniczne i materiałowe
 - zarządzanie personelem i poprawa warunków pracy



Projekt FAILNOMORE



■ Głównym celem projektu było opracowanie praktycznych i przyjaznych dla projektanta wytycznych mających na celu ograniczenie ryzyka wystąpienia katastrofy postępującej konstrukcji stalowych i zespolonych, poddanych zdarzeniom wyjątkowym

■ Czas realizacji projektu: 1 lipiec 2020 – 30 czerwiec 2022

Projekt FAILNOMORE

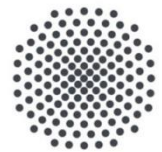
Partnerzy:

- University of Liège – Belgia
- University of Coimbra – Portugalia
- Imperial College London – Wielka Brytania
- University of Stuttgart – Niemcy
- University of Trento – Włochy
- University of Timisoara – Rumunia
- Czech Technical University of Prague – Czechy
- Rzeszow University of Technology - Polska
- Technical University of Delft – Holandia
- Universitat Politècnica de Catalunya – Spain
- INSA de Rennes – Francja
- ECCS – Europa
- Feldmann + Weynand GmbH – Niemcy
- ArcelorMittal Belval & Differdange S.A.- Luksemburg



Projekt FAILNOMORE

Partnerzy:



Universität
Stuttgart



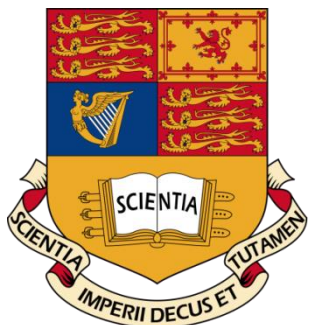
ArcelorMittal



C



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA



POLITECHNIKA
RZESZOWSKA
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



Projekt FAILNOMORE



■ Realizowane zadania:

- Przegląd aktualnej literatury dotyczącej zagadnienia
- Ocena aktualnego stanu wiedzy i wybór materiałów do podręcznika
- Opracowanie podręcznika do projektowania wraz z przykładami
- Stworzenie prezentacji zgodnych z tematyką podręcznika
- Przetłumaczenie podręcznika i prezentacji na wybrane języki europejskie
- Organizacja seminarium (warsztatów) upowszechniającego wiedzę w wybranych ośrodkach w Europie

Projekt FAILNOMORE

■ Podręcznik:

Część 1 – Projektowanie na odporność

1. Podejście normatywne
2. Projektowanie na odporność
3. Klasy konsekwencji
4. Określone zagrożenia
5. Nieokreślone zagrożenia
6. Ocena ryzyka
7. Wnioski

Część 2 – Przykłady obliczeniowe

- Konstrukcja stalowa projektowana w strefie asejsmicznej
- Konstrukcja stalowa projektowana w strefie sejsmicznej
- Konstrukcja zespolona projektowana w strefie asejsmicznej
- Konstrukcja zespolona projektowana w strefie sejsmicznej

Część 3 – Załączniki

Część 4 - Bibliografia

<https://www.steelconstruct.com/eu-projects/failnomore/design-manuals/>

Projekt FAILNOMORE

Warsztaty:



UNIVERSITE DE LIEGE
(Belgium)



UNIVERSITA DEGLI STUDI DI
TRENTO (Italy)



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA (Spain)



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE (Czech
Republic)



TECHNISCHE UNIVERSITEIT
DELFT (The Netherlands)



INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
RENNES
INSTITUT NATIONAL DES
SCIENCES APPLIQUÉES DE
RENNES (France)



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA
(Portugal)



IMPERIAL COLLEGE OF
SCIENCE TECHNOLOGY AND
MEDICINE (United Kingdom)



UNIVERSITÄT STUTTGART
(Germany)



UNIVERSITATEA POLITEHNICA
TIMISOARA (Romania)

Rzeszów

19.05.2022

Wprowadzenie

Szczepan Woliński

¹ Politechnika Rzeszowska

FAILNOMORE

Mitigation of the risk of progressive collapse
in steel and composite building frames
under exceptional events



Research Fund for Coal & Steel

FAIL **NO**
MORE



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA

1. WPROWADZENIE

Bezpieczeństwo w budownictwie: względny brak zagrożenia, ryzyka, szkody lub utraty życia, zdrowia, dóbr materialnych, spowodowanych rozmyślnie lub przez przypadek.

Dyrektywa nr 89/106/EWG i ustawa „Prawo budowlane” nakazują spełnienie podstawowych wymagań dotyczących bezpieczeństwa:

- *bezpieczeństwa pożarowego;*
- *bezpieczeństwa użytkowania;*
- *bezpieczeństwo i higiena pracy*
- *bezpieczeństwa konstrukcji;*

1. WPROWADZENIE

1. Wprowadzenie

Konstrukcję można uznać za bezpieczną jeżeli:

- Standardowe, przewidywalne oddziaływania nie powodują zniszczeń stanowiących zagrożenia życia, nieakceptowalnych strat materialnych, społecznych i środowiskowych i jeśli będzie odporna na wyjątkowe obciążenia, katastrofalne i nieprzewidywalne zdarzenia i okoliczności.
- Warunkowe prawdopodobieństwo zniszczenia lub nieakceptowalnych uszkodzeń w projektowanym okresie użytkowania nie przekroczy wartości dopuszczalnej:

$$Prob\{(R \geq E) | (R \geq R_{min}; E \leq E_{max})\} \leq P_{ft}$$

1. WPROWADZENIE

1. Wprowadzenie

Współczesne normy projektowania konstrukcji (PN-EN 1990, PN-ISO 2394) odnoszą się do *minimum niezawodności*.

Niezawodność: probabilistyczna miara zdolności konstrukcji do spełnienia określonych wymagań w okresie użytkowania.

- Wymagania dotyczące niezawodności, trwałości i rozsądnych kosztów są **sformułowane w sposób uwikłany (implicite)**.
- Wybór dopuszczalnego (minimalnego) poziomu niezawodności na podstawie „**zasady afirmacji stanu istniejącego**”.

Przepisy prawa odnoszą się do zapewnienia odpowiedniego **bezpieczeństwa**.

Bezpieczeństwo: brak istotnych zagrożeń (przede dla wszystkim życia i zdrowia ludzi).

1. WPROWADZENIE

1. Wprowadzenie

Wymagania podstawowe: konstrukcje należy zaprojektować i wykonać w taki sposób, aby w *zamierzonym okresie* użytkowania, z *należyłą niezawodnością* i *bez nadmiernych kosztów*:

- *przejmowała wszystkie oddziaływania i wpływy* oraz pozostawała przydatna do przewidzianego użytkowania;
- jej *nośność, użytkowalność i trwałość były należyte*;
- *wskutek zdarzeń takich jak: wybuch, uderzenie, błędy ludzi, nie została uszkodzona w zakresie nieproporcjonalnym do przyczyny.*

1. WPROWADZENIE

ZAGROŻENIA W PROCESIE BUDOWLANYM

Zagrożenie – możliwość wystąpienia zdarzenia powodującego utratę życia, zdrowia i / lub straty materialne, społeczne, ekologiczne, itp. (wg PN-EN 1990: „wyjątkowo niezwykle i istotne zdarzenie”).

Rodzaje zagrożeń:

- Naturalne i spowodowane przez ludzi
- Obiektywne i subiektywne
- Związane i niezwiązane z procesem budowlanym
- Zdeterminowane, losowe i nieprecyzyjnie określone

1. WPROWADZENIE

1. Wprowadzenie

Główne czynniki decydujące o występowaniu zagrożeń w projektowaniu i ocenie stanu konstrukcji:

- błędna ocena właściwości materiałów,
- niewłaściwe oszacowanie oddziaływań i ich kombinacji,
- błędny lub zbyt uproszczony schemat konstrukcji, zła metoda analizy, błędy w wymiarowaniu i kształtowaniu,
- niedostateczna wiedza i/lub doświadczenie projektanta, brak lub zdawkowa weryfikacja projektu,
- niski stan wiedzy i kultury technicznej, ograniczenia finansowe, presja czasu, itp.

1. WPROWADZENIE

■ Ekstremalne oddziaływania i zdarzenia - przykłady

- Eksplozja, uderzenie, pożar, ponadnormatywne obciążenie śniegiem, tsunami, tornado, ataki terrorystyczne.....
- Określone zagrożenia a nieokreślone zagrożenia
- Duże deformacje elementów konstrukcyjnych, w tym ich połączeń
- Nieadekwatność metod projektowania opartych na nośności
- Potrzeba podejścia projektowego opartego na ciągłości

1. WPROWADZENIE

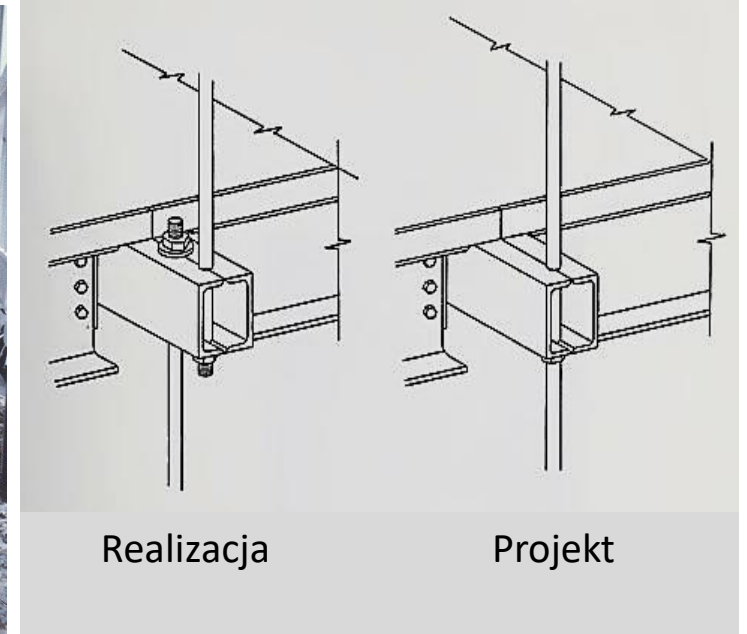


Przeciążenie



Błędy w projekcie

1. WPROWADZENIE



Realizacja

Projekt

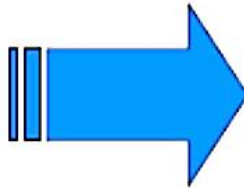
Błąd wykonawcy - Kansas City Hotel Hyatt Regency (17.07.1981 r.) – 114 zabitych, 200 rannych

1. WPROWADZENIE



Trzęsienia ziemi

1. WPROWADZENIE

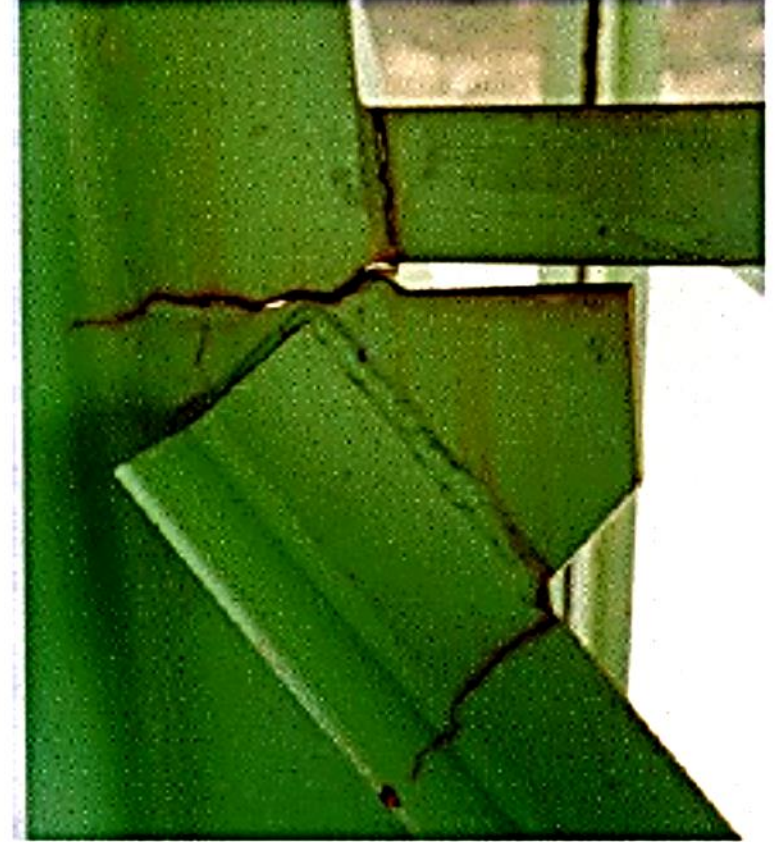


Wichury i tornada

1. WPROWADZENIE



Korozja



Zmęczenie

1. WPROWADZENIE

ODPORNOŚĆ KONSTRUKCJI (ROBUSTNESS):

Zdolność konstrukcji do przetrwania zdarzeń, takich jak: pożar, wybuchy, uderzenia lub konsekwencje ludzkich błędów, bez uszkodzenia w stopniu niewspółmiernym do pierwotnej przyczyny.

KATASTROFA POSTĘPUJĄCA / ZNISZCZENIE O ZASIĘGU NIEPROPORCJONALNYM:

Postępująca katastrofa budynku to sytuacja, kiedy lokalne uszkodzenie głównego elementu konstrukcyjnego prowadzi do zawalenia się sąsiednich elementów i do zniszczenia całej konstrukcji, w zakresie nieproporcjonalnym do początkowej przyczyny.

1. WPROWADZENIE



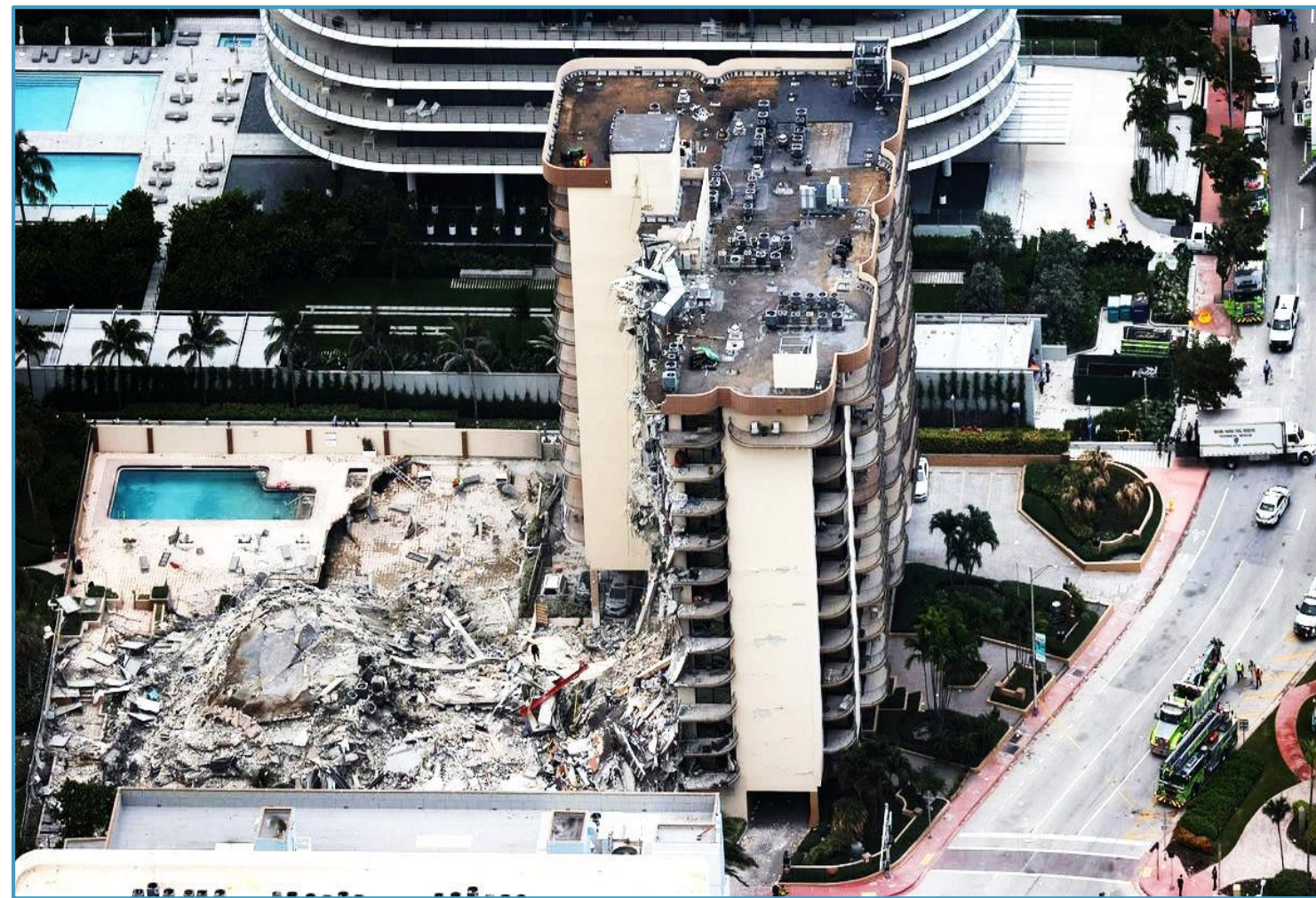
Ronan Point (Londyn, 1968 r., wybuch gazu) - 4 ofiary , 17 rannych

1. WPROWADZENIE



Zamach terrorystyczny w Oklahoma City – zamach, który miał miejsce w środę, 19 kwietnia 1995 roku przed budynkiem federalnym im. Alfreda P. Murraha w Oklahoma City (196 ofiar)

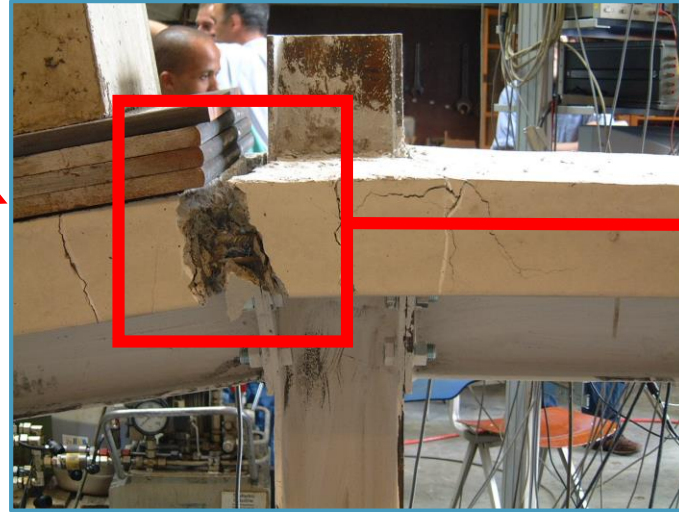
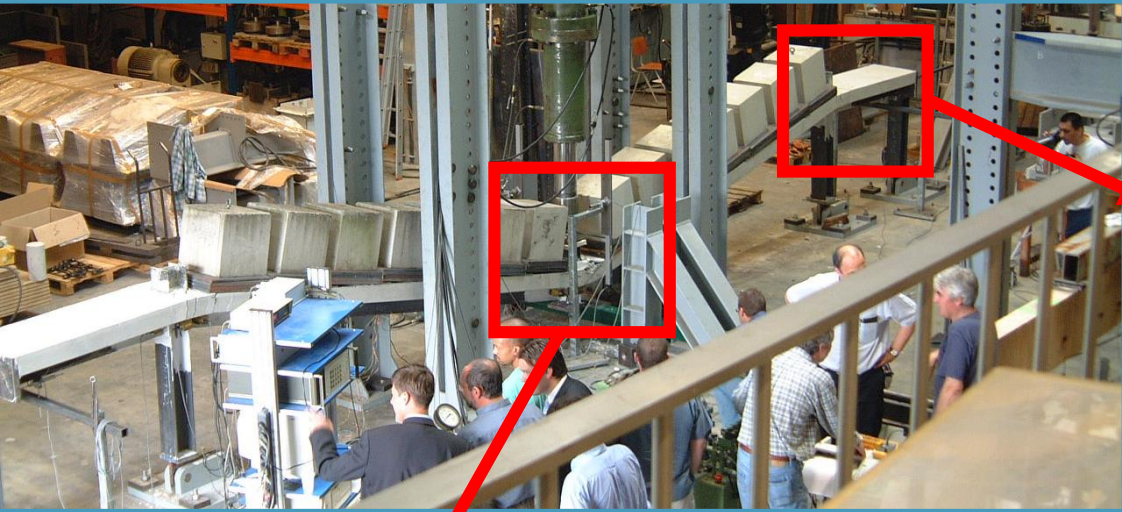
1. WPROWADZENIE



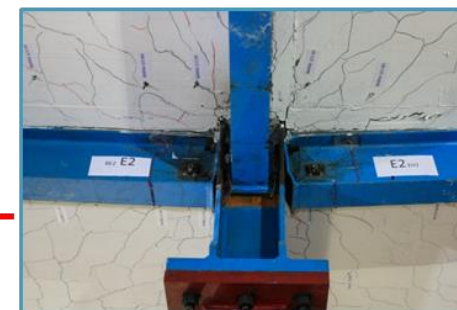
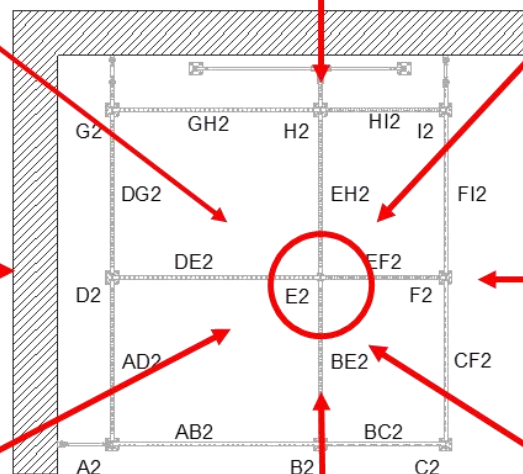
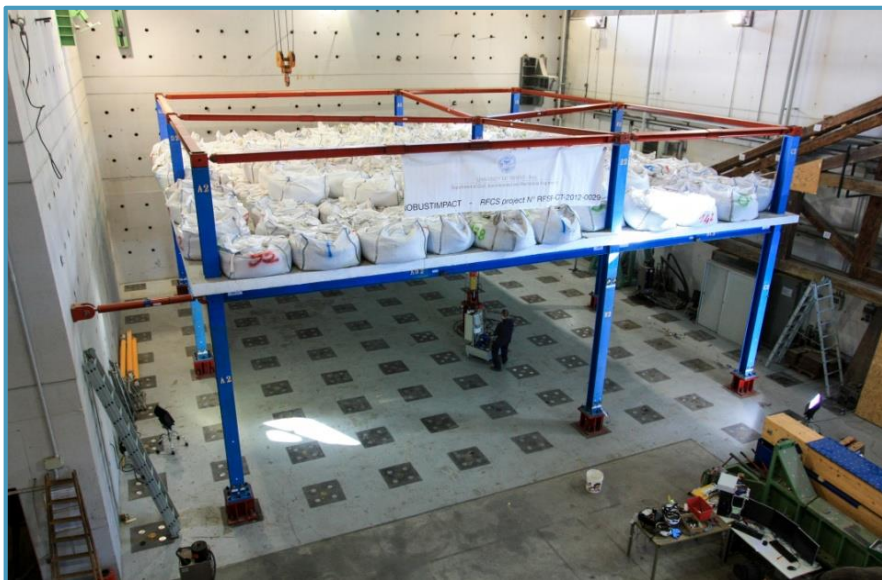
Champlain Towers (24.06.2021 r., Surferside, Floryda , 98 ofiar, straty ponad 1 mld \$, przyczyny: splot zdarzeń)

1. WPROWADZENIE

■ Odporność konstrukcji stalowych i zespolonych



1. WPROWADZENIE



Odporność konstrukcji stalowych
i zespolonych w skali naturalnej

Dziękuję za uwagę !

Projektowanie na odporność

Część 1

Szczepan Woliński

¹ Politechnika Rzeszowska

FAILNOMORE

Mitigation of the risk of progressive collapse
in steel and composite building frames
under exceptional events

Zakres prezentacji

- 1. Ogólne zasady projektowania na odporność**
- 2. Podejście normatywne**
- 3. Definicja klas konsekwencji**
- 4. Projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe**

1. Ogólne zasady projektowania na odporność

Miary i skale reakcji konstrukcji na zdarzenia katastrofalne

- a) *Ilościowe* - ilościowe miary i skale oceny uszkodzeń, np. wielkość i zakres odkształceń plastycznych ;
- b) *Jakościowe* - miara i skala wyrażone opisowo;
- c) *Mieszane* - ilościowo określona miara uszkodzenia, opisowa skala oceny uszkodzenia.

Kryteria oceny

- a) *Zakres uszkodzeń i stan konstrukcji:* od braku uszkodzeń i spełnienia warunków ULS i SLS do katastrofy budowlanej;
- b) *Mechanizm zniszczenia:* utrata nośności lub stateczności, przekształcenie konstrukcji w mechanizm, zmęczenie, itp.

1. Ogólne zasady projektowania na odporność

Miary odporności (robustness)

a) *Miary tradycyjne*, oparte na pojedynczej charakterystyce konstrukcji: stopień statycznej niewyznaczalności, zdolność do odkształceń plastycznych, zabezpieczenia przed postępującym zniszczeniem, m.in.:

- *ISO Standard 19902*

$$RSR = \frac{R_c}{S_c}$$

R_c - wartość charakterystyczna nośności,

S_c - wartość obliczeniowa oddziaływania odpowiadająca zniszczeniu konstrukcji.

- *Współczynnik odporności (Lind, 1995)*

$$V = \frac{P(r_d, S)}{P(r_0, S)}$$

$P(r_d, S)$ $P(r_0, S)$ - oznaczają prawdopodobieństwa zniszczenia konstrukcji uszkodzonej r_d i nieuszkodzonej r_0

1. Ogólne zasady projektowania na odporność

Ryzyko (ogólnie): funkcja prawdopodobieństwa i negatywnych konsekwencji zajścia niepożądanych zdarzeń (najczęściej ich iloczyn).

$$R = \sum_{i=1}^n p(E_i) D_i$$

Negatywne konsekwencje oddziaływań i odpowiadające im rodzaje ryzyka:

- **Bezpośrednie** związane z uszkodzeniami elementów systemu konstrukcyjnego i całej konstrukcji (utrata nośności, awariami, katastrofą);
- **Pośrednie** związane utratą zdolności do pełnienia przewidzianej funkcji i wyłączeniem konstrukcji z eksploatacji.

Straty (również związane z utratą życia lub zdrowia ludzi) wycenia się zwykle **w jednostkach monetarnych**.

Statystyczne wskaźniki „wartości życia”: Human Development Index (**HDI**), Life Quality Index (**LQI**), Societal Value of Statistical Life (**SVSL**), etc.

1. Ogólne zasady projektowania na odporność

Cechy „dobrej” miary odporności: powinna uwzględniać główne czynniki decydujące o niezawodności, odporności na postępujące zniszczenie, konsekwencje ekonomiczne, społeczne i ekologiczne zniszczenia lub wyłączenia z eksploatacji konstrukcji.

Miary odporności

b) Miary kompleksowe: wiążące prawdopodobieństwo zniszczenia z jego konsekwencjami lub uszkodzenia z tolerancją konstrukcji na uszkodzenia, oparte na analizie ryzyka związanego ze zdarzeniami ekstremalnymi.

- indeks odporności (*Faber, et. al. 2006*)

$$I_R = R_{Dir} / (R_{Dir} + R_{Ind})$$

1. Ogólne zasady projektowania na odporność

Ryzyko bezpośrednie (miara podatności systemu na uszkodzenia):

$$R_D = \sum_{k=1}^{n_{EX}} \sum_{l=1}^{n_{CD}} p(C_l | EX_k) c_D(C_l) p(EX_k)$$

gdzie: n_{EX} , n_{CD} - liczba zdarzeń powodujących bezpośrednio konsekwencje i liczba możliwych stanów elementu C_l systemu konstrukcyjnego, $p(C_l | EX_k)$ - warunkowe prawdopodobieństwo l -tego uszkodzenia elementu C_l spowodowanego zdarzeniem EX_k o prawdopodobieństwie wystąpienia $p(EX_k)$, $c_D(C_l)$ - bezpośrednie konsekwencje l -tego uszkodzenia spośród n_{CD} możliwych uszkodzeń elementu

1. Ogólne zasady projektowania na odporność

Ryzyko pośrednie:

$$R_{ID} = \sum_{k=1}^{n_{EX}} \sum_{l=1}^{n_{CD}} \sum_{m=1}^{n_{ST}} c_{ID}(S_m, c_D(C_l)) p(S_m | C_l, EX_k) p(C_l | EX_k) p(EX_k)$$

gdzie: n_{ST} - liczba możliwych stanów konstrukcji S_m związanych z konsekwencjami pośrednimi $c_{ID}(S_m, c_D(C_l))$,
 $p(S_m | C_l, EX_k)$ - warunkowe prawdopodobieństwo konsekwencji pośrednich dla rozważanego stanu elementu C_l i zdarzenia EX_k .

Wskaźnik odporności konstrukcji na zdarzenia wyjątkowe:

$$I_R = R_{Dir} / (R_{Dir} + R_{Ind})$$

2. PODEJŚCIE NORMATYWNE

- Łagodzenie skutków katastrofy postępującej opisane zostało w kilku europejskich i międzynarodowych normach i wytycznych
- Sformułowanie głównych zaleceń dotyczących spełnienia wymagań dla odporności konstrukcji
- Oparte głównie na metodach normatywnych

2. PODEJŚCIE NORMATYWNE

Aktualna wersja Eurokodów

- **EN 1990, 2.1 (4)P** podaje podstawowe wymagania związane z uzyskaniem odporności: *Konstrukcję należy tak zaprojektować i wykonać, aby na skutek zdarzeń takich jak: wybuch, uderzenie i konsekwencje błędów ludzkich nie została ona uszkodzona w zakresie nieproporcjonalnym do początkowej przyczyny.*
- **EN 1990, 2.1 (5)P** zawiera stwierdzenie „*należy unikać lub ograniczać możliwości uszkodzenia konstrukcji poprzez zastosowanie jednego lub kilku następujących zabezpieczeń*”:
 - *ograniczenie, wyeliminowanie lub redukcję zagrożenia, na które konstrukcja może być narażona;*
 - *dobór ustroju konstrukcyjnego mało wrażliwego na możliwe zagrożenia;*
 - *dobór ustroju konstrukcyjnego i takie jego zwymiarowanie, aby mógł odpowiednio przetrwać utratę na skutek wypadku pojedynczego elementu lub pewnej części konstrukcji;*
 - *unikanie, tak dalece jak jest to możliwe, ustrojów konstrukcyjnych, które mogą ulec zniszczeniu bez uprzedniego ostrzeżenia;*
 - *wzajemne powiązanie elementów konstrukcji.*

2. PODEJŚCIE NORMATYWNE

Strategia projektowania zaproponowana w EN 1991-1-7



Zastrzeżenia: *brak jasnych wskazówek, jak wybrać strategie projektowania, które należy zastosować, brak dostępnego spójnego zestawu zasad i konkretnych wytycznych jak projektować na odporność*

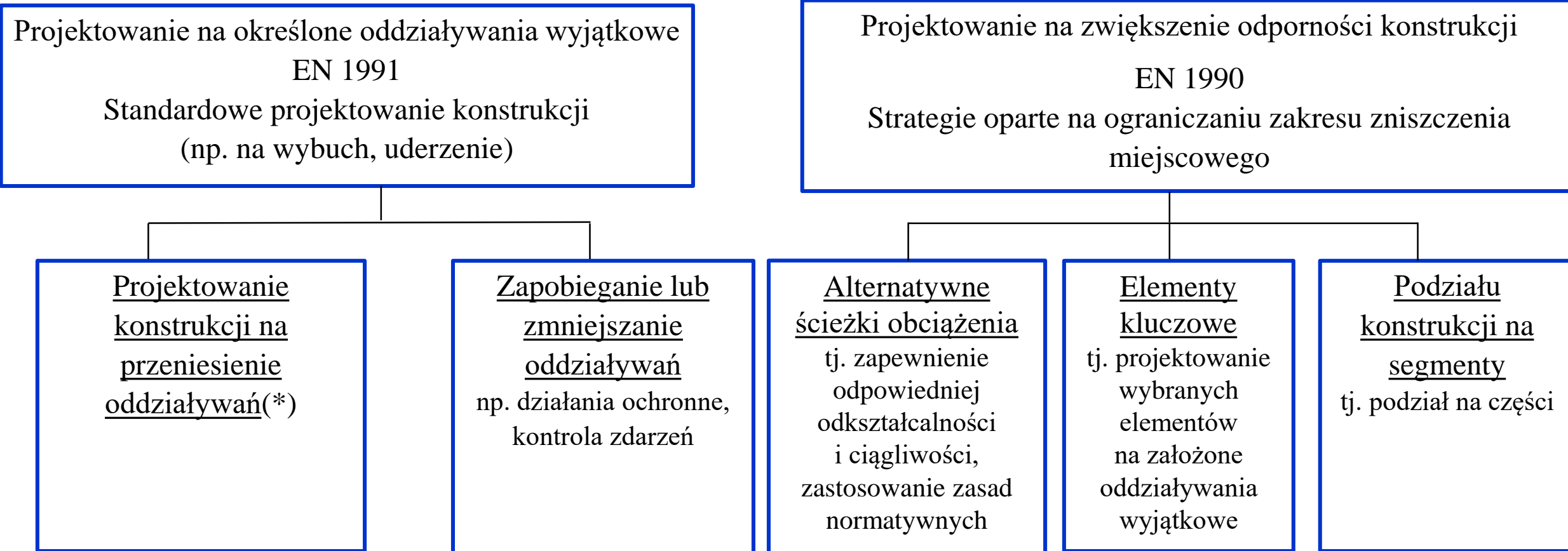
2. PODEJŚCIE NORMATYWNE

NADCHODZĄCA WERSJA EUROKODÓW

- Aktualna wersja Eurokodów
- ISO Standard 2394, “General principles on reliability for structures”, 2015.
- ISO Standard 13824, General principles on risk assessment of systems involving structures, 2009.
- Grupa Robocza CEN/TC 250/WG 6 “Robustness”.
- EN 1990 - Rozdział 4.4 i Załącznik Informacyjny E przedstawiające strategie oparte na ograniczeniu zakresu zniszczenia miejscowego.
- Projektowanie konstrukcji na określone oddziaływania wyjątkowe zgodnie z EN 1991.
- Wprowadzenie do “Metody podziału konstrukcji na segmenty”.
- Zmiany w normach EN 1993 i EN 1998 mające bezpośredni lub pośredni wpływ na zapewnienie konstrukcji odporności .

2. PODEJŚCIE NORMATYWNE

NADCHODZĄCA WERSJA EUROKODÓW



(*) Projektowanie konstrukcji z uwzględnieniem określonych oddziaływań wyjątkowych może obejmować, po uzgodnieniu z osobami decyzyjnymi, specjalne zaprojektowane elementy, które ulegają częściowemu lub całkowitemu uszkodzeniu, pod warunkiem, że ich uszkodzenie nie prowadzi do katastrofy postępującej

2. PODEJŚCIE NORMATYWNE

PODSUMOWANIE (ocena wymagań dotyczących odporności konstrukcji zawartych w Eurokodach)

- Ogólne/nieprecyzyjne wymagania, które mogą być trudne do zinterpretowania
- Brak spójności zasad
- Wymagania dotyczące ciągłości
- Potrzeba uwzględnienia najnowszych wyników badań
- Potrzeba opracowaniu uproszczonych i praktycznych metod i narzędzi

2. PODEJŚCIE NORMATYWNE

Projektowanie na odporność jest proponowane jako procedura krok po kroku przedstawiona w postaci schematu blokowego

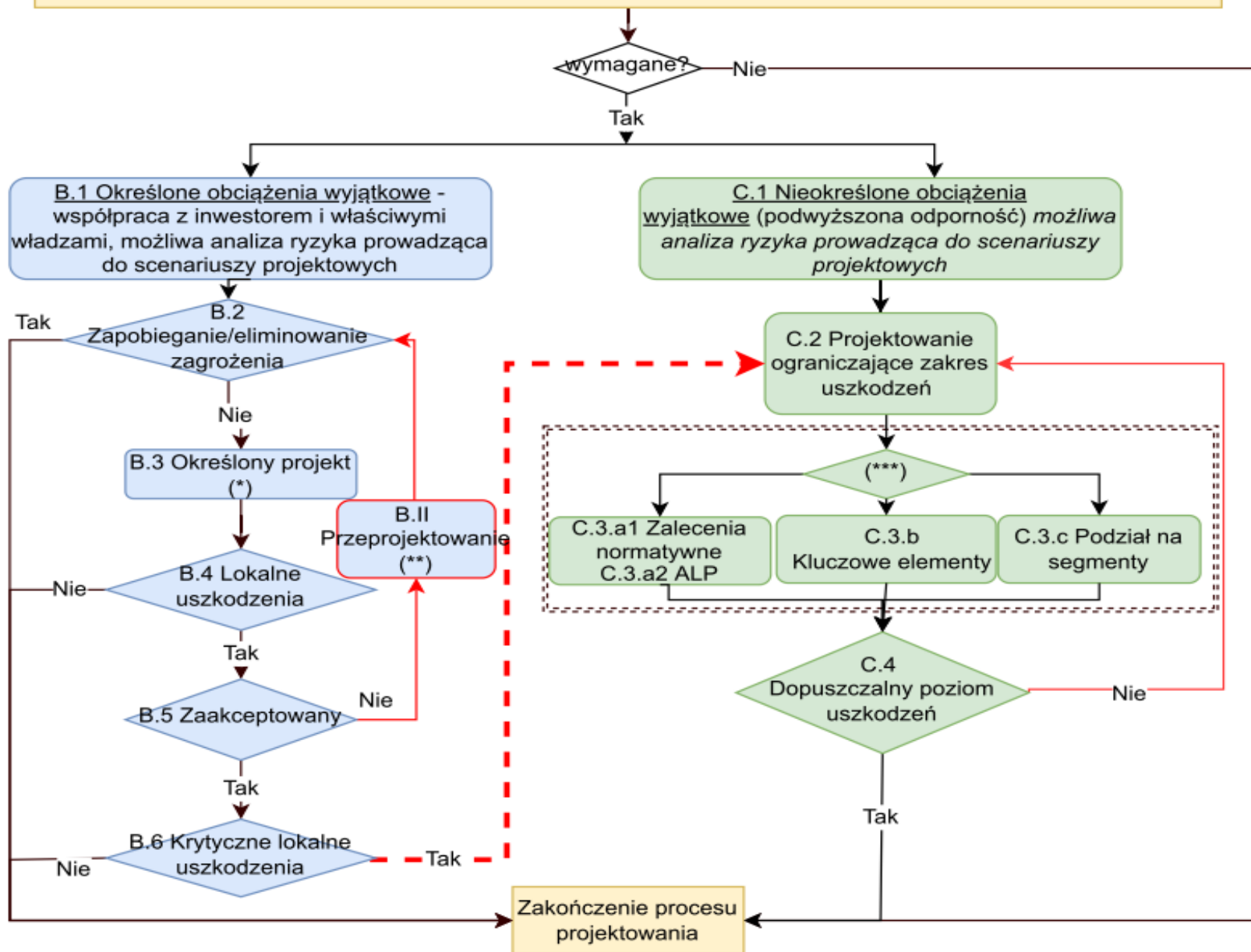
Schemat ten jest podstawą podręcznika projektowania FAILNOMORE

Schemat ten dzieli się na trzy części:

A. Określenie klasy konsekwencji konstrukcji

B. Strategie projektowania w warunkach określonych oddziaływań wyjątkowych

C. Strategie projektowania w warunkach nieokreślonych oddziaływań wyjątkowych



3. Klasy konsekwencji

- Konstrukcje budowlane są przyporządkowane do "klas konsekwencji" na podstawie oceny skutków zniszczeń, których miarą są:
 - **utrata życia**
 - **zranienia ludzi**
 - **straty ekonomiczne**
 - **straty społeczne**
 - **straty środowiskowe**
- Ta klasyfikacja jest uważana za uproszczenie złożonego systemu opartego na ryzyku, związanego między innymi z rodzajem budynku, jego wysokością, sposobem użytkowania, materiałem konstrukcyjnym...

3. Klasy konsekwencji

■ W załączniku A normy EN 1991-1-7 oraz w normie EN 1990, zidentyfikowano trzy klasy konsekwencji:

Klasa konsekwencji (CC)	Przykłady przyporządkowania rodzaju budynku i sposobu użytkowania
1	Domy prywatne ≤ 4 kondygnacji. Budynki rolnicze, w których ludzie zazwyczaj nie przebywają (np. budynki magazynowe), szklarnie. Budynki, w których przebywają rzadko, pod warunkiem że żadna część budynku nie jest bliżej innego budynku niż w odległości równej 1 ½ - krotnej wysokości budynku.
2a (Grupa niższego ryzyka)	5-kondygnacyjne domy prywatne. Hotele, apartamenty, biura ≤ 4 kondygnacji. Budynki przemysłowe ≤ 3 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej ≤ 3 kondygnacji o powierzchni podłogi ≤ 1 000 m ² na każdej kondygnacji. Jednokondygnacyjne budynki oświatowe. Wszystkie budynki z dostępem publicznym ≤ 2 kondygnacji, które mają powierzchnię podłogi ≤ 2 000 m ² na każdej kondygnacji.
2b (Grupa wyższego ryzyka)	Hotele, apartamenty, biura > 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Budynki oświatowe > 1-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej > 3-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Szpitale ≤ 3 kondygnacji. Biura wyższe niż 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Wszystkie budynki z dostępem publicznym, które mają powierzchnię podłogi > 2 000 m ² , ale ≤ 5 000 m ² na każdej kondygnacji. Parkingi samochodowe ≤ 6 kondygnacji.
3	Wszystkie budynki zdefiniowane wyżej jako klasy konsekwencji 2 niższego i wyższego ryzyka, które przekraczają ograniczenia powierzchni i liczby kondygnacji. Wszystkie budynki, do których ma dostęp znaczna liczba osób (np., hale koncertowe, trybuny, itp.). Stadiony mieszczące więcej niż 5 000 widzów. Budynki, w których przechowuje się niebezpieczne substancje lub prowadzi niebezpieczne procesy.

CC1: Niskie zagrożenie życia ludzkiego lub **małe lub nieznaczne** konsekwencje społeczne, ekonomiczne i środowiskowe

CC2: Przeciętne zagrożenie życia ludzkiego lub **małe lub znaczne** konsekwencje społeczne, ekonomiczne i środowiskowe

CC3: Wysokie zagrożenie życia ludzkiego lub **bardzo duże** konsekwencje społeczne, ekonomiczne i środowiskowe

3. Klasy konsekwencji

■ W załączniku A normy EN 1991-1-7 oraz w normie EN 1990, zidentyfikowano trzy klasy konsekwencji:

Klasa konsekwencji (CC)	Przykłady przyporządkowania rodzaju budynku i sposobu użytkowania
1	Domy prywatne ≤ 4 kondygnacji. Budynki rolnicze, w których ludzie zazwyczaj nie przebywają (np. budynki magazynowe), szklarnie. Budynki, w których przebywają rzadko, pod warunkiem że żadna część budynku nie jest bliżej innego budynku niż w odległości równej 1 ½ - krotnej wysokości budynku.
2a (Grupa niższego ryzyka)	5-kondygnacyjne domy prywatne. Hotele, apartamenty, biura ≤ 4 kondygnacji. Budynki przemysłowe ≤ 3 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej ≤ 3 kondygnacji o powierzchni podłogi ≤ 1 000 m ² na każdej kondygnacji. Jednokondygnacyjne budynki oświatowe. Wszystkie budynki z dostępem publicznym ≤ 2 kondygnacji, które mają powierzchnię podłogi ≤ 2 000 m ² na każdej kondygnacji.
2b (Grupa wyższego ryzyka)	Hotele, apartamenty, biura > 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Budynki oświatowe > 1-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej > 3-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Szpitale ≤ 3 kondygnacji. Biura wyższe niż 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Wszystkie budynki z dostępem publicznym, które mają powierzchnię podłogi > 2 000 m ² , ale ≤ 5 000 m ² na każdej kondygnacji. Parkingi samochodowe ≤ 6 kondygnacji.
3	Wszystkie budynki zdefiniowane wyżej jako klasy konsekwencji 2 niższego i wyższego ryzyka, które przekraczają ograniczenia powierzchni i liczby kondygnacji. Wszystkie budynki, do których ma dostęp znaczna liczba osób (np., hale koncertowe, trybuny, itp.). Stadiony mieszczące więcej niż 5 000 widzów. Budynki, w których przechowuje się niebezpieczne substancje lub prowadzi niebezpieczne procesy.



3. Klasy konsekwencji

■ W załączniku A normy EN 1991-1-7 oraz w normie EN 1990, zidentyfikowano trzy klasy konsekwencji:

Klasa konsekwencji (CC)	Przykłady przyporządkowania rodzaju budynku i sposobu użytkowania
1	Domy prywatne ≤ 4 kondygnacji. Budynki rolnicze, w których ludzie zazwyczaj nie przebywają (np. budynki magazynowe), szklarnie. Budynki, w których przebywają rzadko, pod warunkiem że żadna część budynku nie jest bliżej innego budynku niż w odległości równej 1 ½ - krotnej wysokości budynku.
2a (Grupa niższego ryzyka)	5-kondygnacyjne domy prywatne. Hotele, apartamenty, biura ≤ 4 kondygnacji. Budynki przemysłowe ≤ 3 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej ≤ 3 kondygnacji o powierzchni podłogi ≤ 1 000 m ² na każdej kondygnacji. Jednokondygnacyjne budynki oświatowe. Wszystkie budynki z dostępem publicznym ≤ 2 kondygnacji, które mają powierzchnię podłogi ≤ 2 000 m ² na każdej kondygnacji.
2b (Grupa wyższego ryzyka)	Hotele, apartamenty, biura > 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Budynki oświatowe > 1-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej > 3-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Szpitale ≤ 3 kondygnacji. Biura wyższe niż 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Wszystkie budynki z dostępem publicznym, które mają powierzchnię podłogi > 2 000 m ² , ale ≤ 5 000 m ² na każdej kondygnacji. Parkingi samochodowe ≤ 6 kondygnacji.
3	Wszystkie budynki zdefiniowane wyżej jako klasy konsekwencji 2 niższego i wyższego ryzyka, które przekraczają ograniczenia powierzchni i liczby kondygnacji. Wszystkie budynki, do których ma dostęp znaczna liczba osób (np., hale koncertowe, trybuny, itp.). Stadiony mieszczące więcej niż 5 000 widzów. Budynki, w których przechowuje się niebezpieczne substancje lub prowadzi niebezpieczne procesy.



3. Klasy konsekwencji

■ W załączniku A normy EN 1991-1-7 oraz w normie EN 1990, zidentyfikowano trzy klasy konsekwencji:

Klasa konsekwencji (CC)	Przykłady przyporządkowania rodzaju budynku i sposobu użytkowania
1	Domy prywatne ≤ 4 kondygnacji. Budynki rolnicze, w których ludzie zazwyczaj nie przebywają (np. budynki magazynowe), szklarnie. Budynki, w których przebywają rzadko, pod warunkiem że żadna część budynku nie jest bliżej innego budynku niż w odległości równej 1 ½ - krotnej wysokości budynku.
2a (Grupa niższego ryzyka)	5-kondygnacyjne domy prywatne. Hotele, apartamenty, biura ≤ 4 kondygnacji. Budynki przemysłowe ≤ 3 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej ≤ 3 kondygnacji o powierzchni podłogi ≤ 1 000 m ² na każdej kondygnacji. Jednokondygnacyjne budynki oświatowe. Wszystkie budynki z dostępem publicznym ≤ 2 kondygnacji, które mają powierzchnię podłogi ≤ 2 000 m ² na każdej kondygnacji.
2b (Grupa wyższego ryzyka)	Hotele, apartamenty, biura > 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Budynki oświatowe > 1-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej > 3-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Szpitale ≤ 3 kondygnacji. Biura wyższe niż 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Wszystkie budynki z dostępem publicznym, które mają powierzchnię podłogi > 2 000 m ² , ale ≤ 5 000 m ² na każdej kondygnacji. Parkingi samochodowe ≤ 6 kondygnacji.
3	Wszystkie budynki zdefiniowane wyżej jako klasy konsekwencji 2 niższego i wyższego ryzyka, które przekraczają ograniczenia powierzchni i liczby kondygnacji. Wszystkie budynki, do których ma dostęp znaczna liczba osób (np., hale koncertowe, trybuny, itp.). Stadiony mieszczące więcej niż 5 000 widzów. Budynki, w których przechowuje się niebezpieczne substancje lub prowadzi niebezpieczne procesy.



3. Klasy konsekwencji

■ W załączniku A normy EN 1991-1-7 oraz w normie EN 1990, zidentyfikowano trzy klasy konsekwencji:

Klasa konsekwencji (CC)	Przykłady przyporządkowania rodzaju budynku i sposobu użytkowania
1	Domy prywatne ≤ 4 kondygnacji. Budynki rolnicze, w których ludzie zazwyczaj nie przebywają (np. budynki magazynowe), szklarnie. Budynki, w których przebywają rzadko, pod warunkiem że żadna część budynku nie jest bliżej innego budynku niż w odległości równej 1 ½ - krotnej wysokości budynku.
2a (Grupa niższego ryzyka)	5-kondygnacyjne domy prywatne. Hotele, apartamenty, biura ≤ 4 kondygnacji. Budynki przemysłowe ≤ 3 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej ≤ 3 kondygnacji o powierzchni podłogi ≤ 1 000 m ² na każdej kondygnacji. Jednokondygnacyjne budynki oświatowe. Wszystkie budynki z dostępem publicznym ≤ 2 kondygnacji, które mają powierzchnię podłogi ≤ 2 000 m ² na każdej kondygnacji.
2b (Grupa wyższego ryzyka)	Hotele, apartamenty, biura > 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Budynki oświatowe > 1-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Obiekty sprzedaży detalicznej > 3-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Szpitale ≤ 3 kondygnacji. Biura wyższe niż 4-kondygnacyjne, ale ≤ 15 kondygnacji. Wszystkie budynki z dostępem publicznym, które mają powierzchnię podłogi > 2 000 m ² , ale ≤ 5 000 m ² na każdej kondygnacji. Parkingi samochodowe ≤ 6 kondygnacji.
3	Wszystkie budynki zdefiniowane wyżej jako klasy konsekwencji 2 niższego i wyższego ryzyka, które przekraczają ograniczenia powierzchni i liczby kondygnacji. Wszystkie budynki, do których ma dostęp znaczna liczba osób (np., hale koncertowe, trybuny, itp.). Stadiony mieszczące więcej niż 5 000 widzów. Budynki, w których przechowuje się niebezpieczne substancje lub prowadzi niebezpieczne procesy.



3. Klasy konsekwencji

■ Nie wszystkie konstrukcje budowlane są dokładnie ujęte w tej tabeli

→ Wymaganie dokładnej analizy inżynierskiej

■ Dodatkowe wytyczne znajdują się w Rozdziale 3 Podręcznika projektowania FAILNOMORE

■ Klasa konsekwencji przypisana do budynku pozwala praktykowi ocenić podejście projektowe, które należy przyjąć w celu osiągnięcia odpowiedniego poziomu odporności.

■ Klasa konsekwencji 1 (CC1):

Projektowanie na odporność nie pociąga za sobą potrzeby żadnych szczególnych rozważań, o ile jest przeprowadzane w pełnej zgodności z zasadami podanymi w zestawie Eurokodów

■ Klasy konsekwencji 2 i 3 (CC2a, CC2b i CC3):

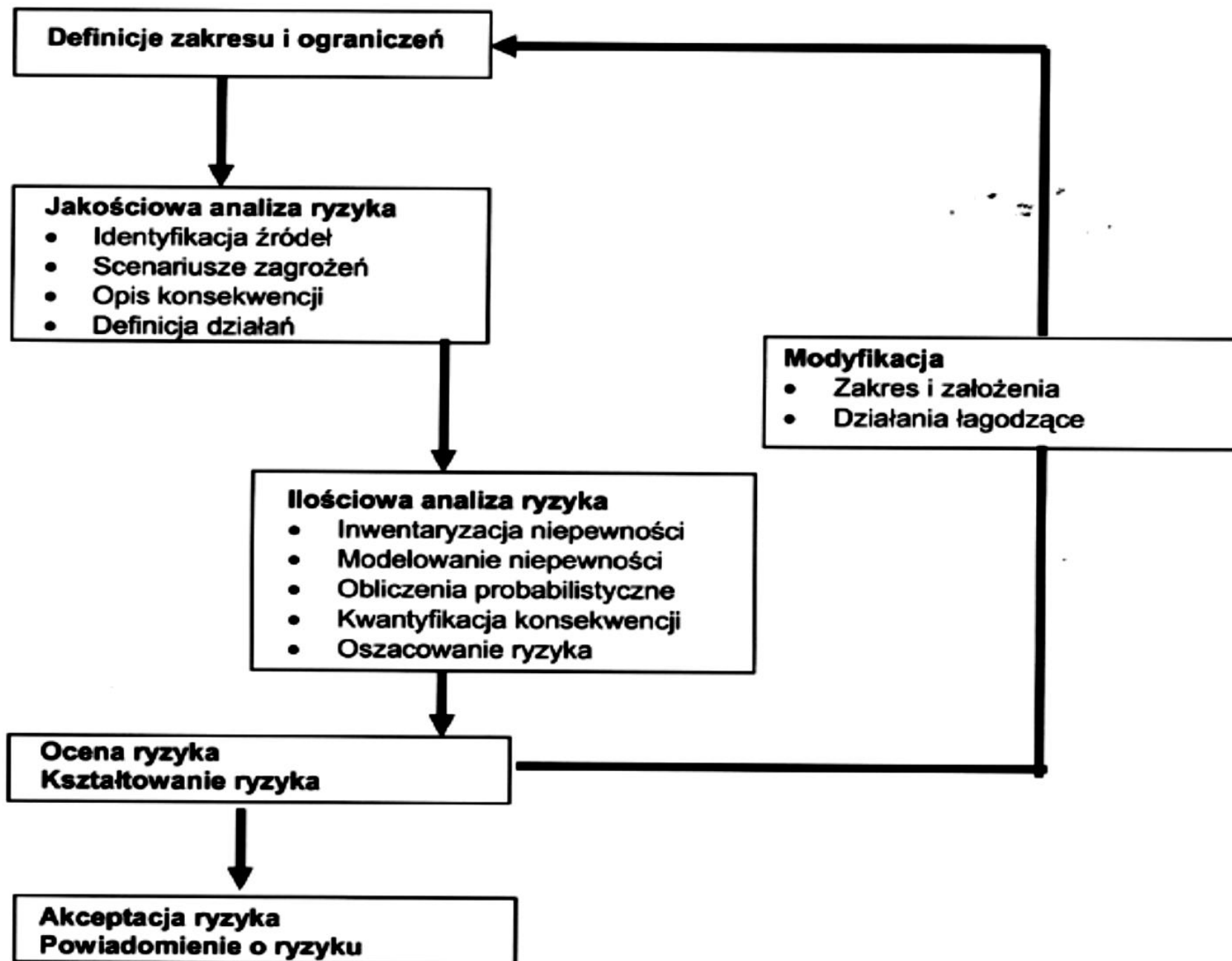
Projektowanie na odporność implikuje specyficzne podejścia, które mogą obejmować szeroki zakres rozwiązań, od prostych reguł normatywnych po zaawansowane analizy ryzyka i złożone metody analityczne lub numeryczne

3. Klasy konsekwencji

- Po ustaleniu klasy konsekwencji, **potencjalne zagrożenia i odpowiednie scenariusze obciążenia wyjątkowego powinny zostać zidentyfikowane przez projektanta w ścisłej współpracy z inwestorem i odpowiednimi władzami.**
- Identyfikacja zagrożeń i odpowiednich scenariuszy umożliwi projektantowi przyjęcie jednego z podejść:
 - projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe i/lub
 - strategia projektowania, która ogranicza zakres początkowych uszkodzeń powstałych w wyniku dowolnego nieokreślonego zdarzenia wyjątkowego
- **Ponadto w przypadku CC3 jest wymagana na ogół systematyczna ocena ryzyka**

Metody analizy ryzyka

(ISO Standard 13824: 2009)

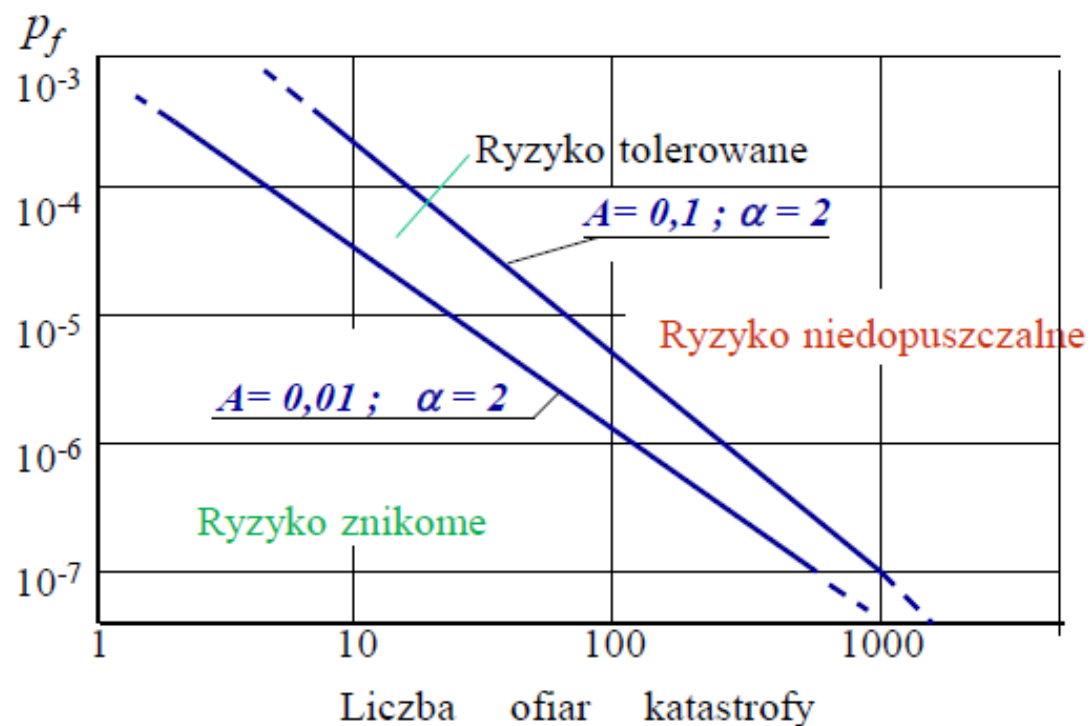


Kryteria akceptacji ryzyka

Według normy ISO 2394: 2015

- bezpieczeństwo ludzi:

$$p_{f1}(T_0=1 \text{ rok}) < AN^{-\alpha}, \quad p_{fn}(T_0 = n \text{ lat}) = 1 - (1 - p_{f1})^n$$



AKCEPTOWALNE RYZYKO UTRATY ŻYCIA wg PN-EN 1990 i ISO 2394

Klasa niezawodności (PN-EN 1990)	P_{fd}	P_{fd}
	N ($T_0=1$ rok)	N ($T_0=50$ lat)
RC3	9.96×10^{-8} 1000 / 316	8.54×10^{-6} 108 / 34
RC2	1.30×10^{-6} 277 / 88	7.23×10^{-5} 37 / 12
RC1	1.33×10^{-5} 87 / 28	4.84×10^{-4} 15 / 2

Spolecznie akceptowalne prawdopodobieństwo utraty życia p_{fa} [1 osoby/1 rok, (1 osoba/50 lat)]:

- ryzyko podjęte dobrowolnie $p_{fa} = 10^{-3}$, ($p_{fa} = 5 \cdot 10^{-2}$)
- ryzyko naturalne $p_{fa} = 10^{-4}$, ($p_{fa} = 5 \cdot 10^{-3}$)
- ryzyko narzucone $p_{fa} = 10^{-5}$, ($p_{fa} = 5 \cdot 10^{-4}$)

Wartości p_{fa} (1 osoby/1 rok) wynikające z zaleceń PN-EN 1990 i ISO 2394:

- RC3 : $p_{fa} (T_0 = 1 \text{ rok}) = (0,99 \div 3,15) \cdot 10^{-10}$
 $p_{fa} (T_0 = 50 \text{ lat}) = (0,79 \div 2,5) \cdot 10^{-7}$
- RC2 : $p_{fa} (T_0 = 1 \text{ rok}) = (1,4 \div 4,7) \cdot 10^{-8}$
 $p_{fa} (T_0 = 50 \text{ lat}) = (1,95 \div 6,0) \cdot 10^{-6}$
- RC1 : $p_{fa} (T_0 = 50 \text{ lat}) = (3,45 \div 9,7) \cdot 10^{-5}$

DIAGRAMY RYZYKA

Wskaźnik SVSL dla Polski (R. Rakwitz): ~ 3 mln zł

Straty związane z utratą życia ludzi dla $T_0 = 50$ lat i klasy konstrukcji : RC3 $\Rightarrow C_f > 100$ mln zł,

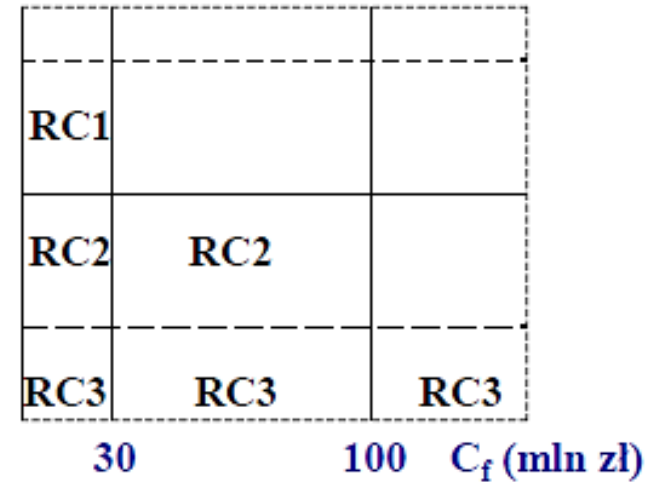
RC2 $\Rightarrow C_f = (30 \div 100)$ mln zł, RC1 $\Rightarrow C_f < 30$ mln zł

(RC1) 4,83

(RC2) 0,723

(RC3) 0,0854

$p_f \times 10^{-4}$

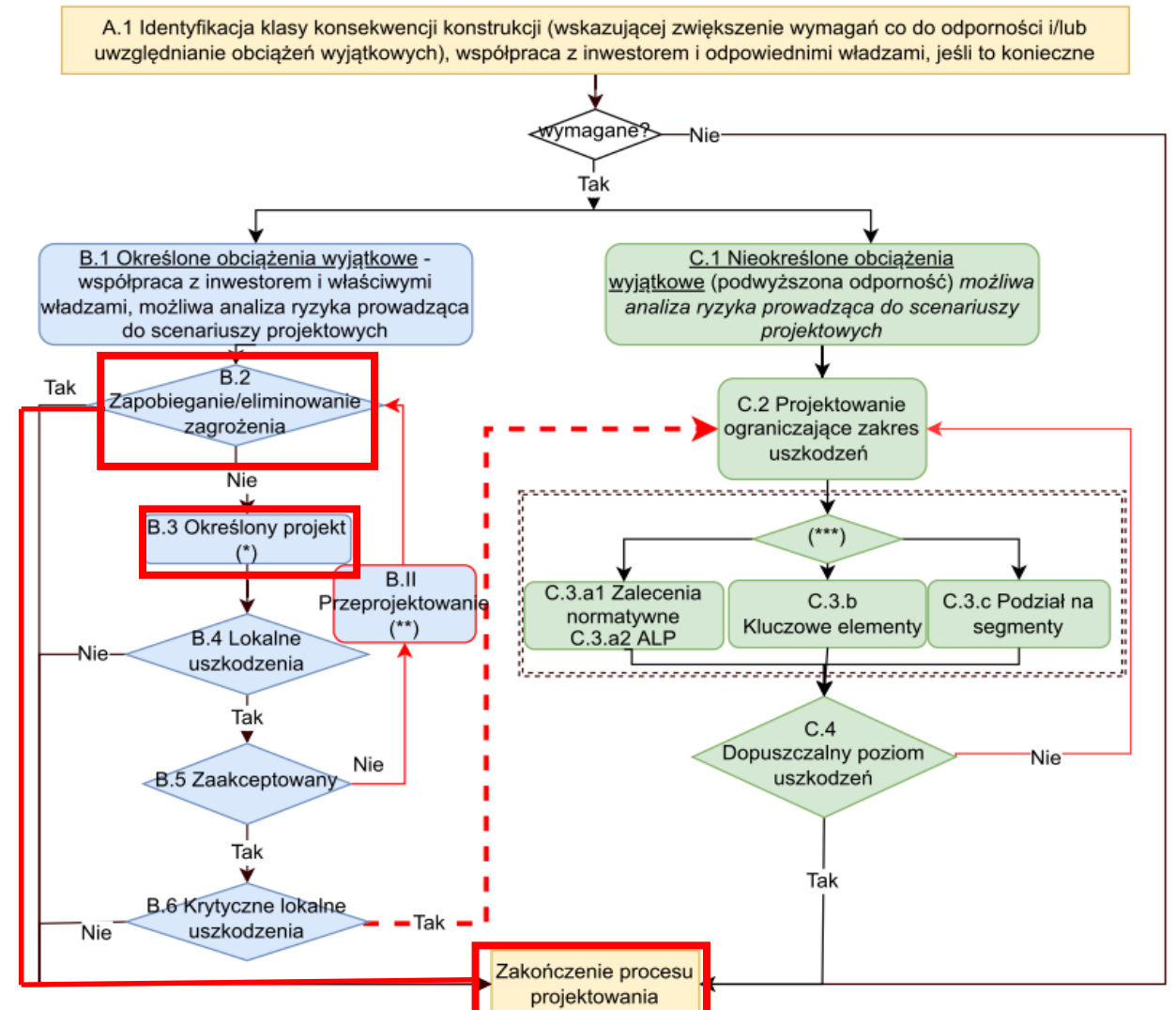


4. Projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe

■ Sprawdzenie możliwości zastosowania środków zapobiegawczych i/lub ochronnych w celu zmniejszenia lub ograniczenia skutków oddziaływań wyjątkowych

■ Gdy środki podjęte w celu zapobiegania wyjątkowym zdarzeniom prowadzą do całkowitego uniknięcia pełnego zakresu możliwych zagrożeń, uzasadnione jest uznanie, że projektowanie konstrukcji na odporność jest w pełni zgodne z wymaganiami.

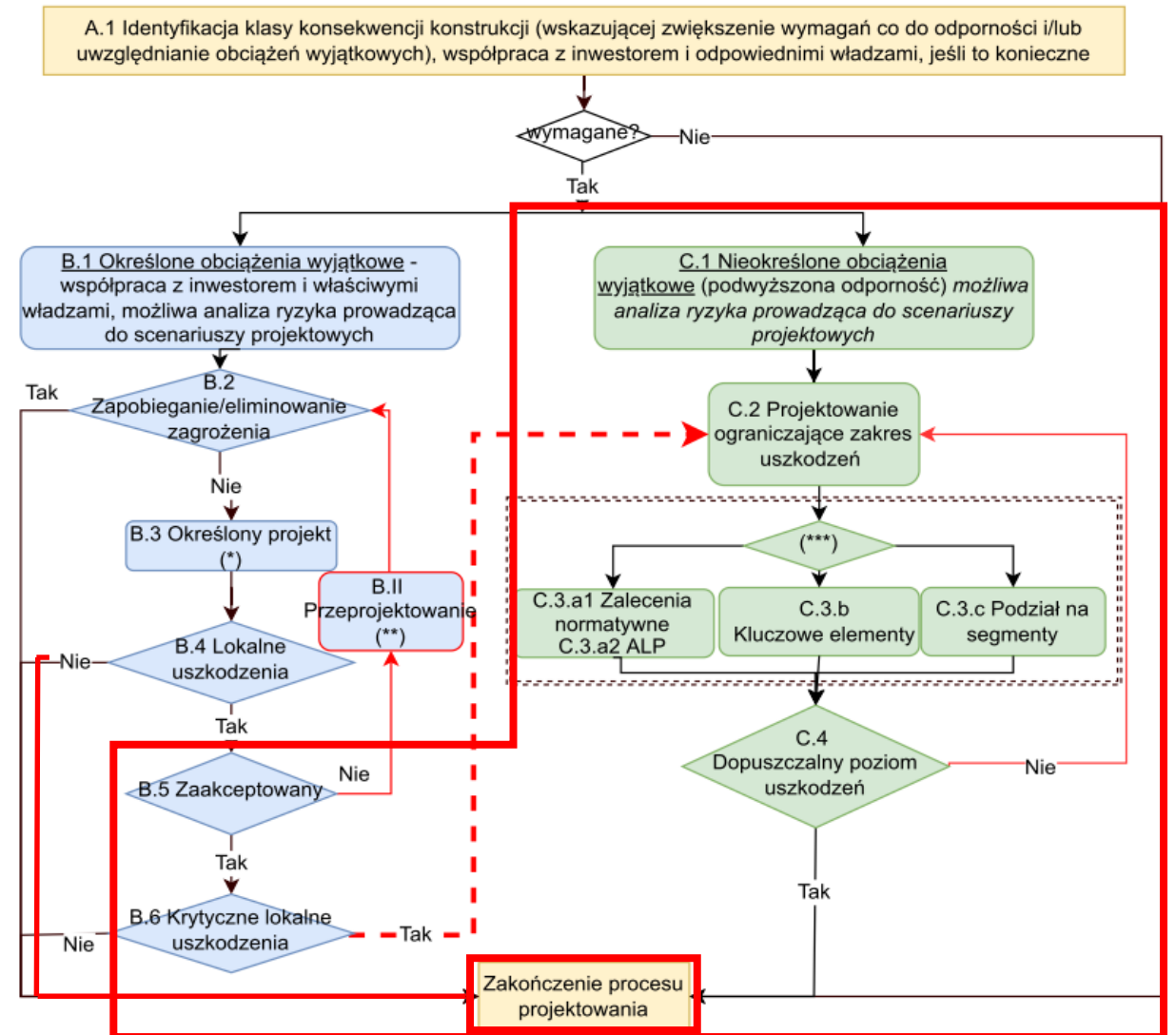
■ Jeśli środki ochronne tylko zmniejszają wielkość (lub prawdopodobieństwo wystąpienia) oddziaływania wyjątkowego lub po prostu nie mogą zostać wdrożone, lokalne szkody są nieuchronne i wymagana jest ocena możliwych lokalnych szkód na etapie projektowania.



4. Projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe

Projektowanie dla rozważanego oddziaływania wyjątkowego

- Jeśli nie ma uszkodzeń lokalnych, kończy to proces projektowania
- W przypadku wystąpienia uszkodzenia, które jest nie do zaakceptowania → wymagane przeprojektowanie konstrukcji
- Jeżeli istnieje dopuszczalna szkoda, należy zapobiec jej zasięgowi, stosując odpowiednie strategie projektowe, jak zaproponowano dla nieokreślonych oddziaływań wyjątkowych.



4. Projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe

- **Projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe może opierać się na metodach analitycznych i/lub numerycznych**
- **Poziom zaawansowania metod jest silnie powiązany z klasą konsekwencji:**
 - W przypadku CC2 możliwe jest zastosowanie podejścia normatywnego lub uproszczonych metod analizy uwzględniających statyczne oddziaływania równoważne
 - W przypadku CC3 może być wymagane zastosowanie udoskonalonych metod (analiza dynamiczna, modele nieliniowe...).

4. Projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe

■ W rozdziale 4 podręcznika projektowania FAILNOMORE rozważane są cztery oddziaływania wyjątkowe:

■ Uderzenie

■ Eksplozje wewnętrzne i zewnętrzne

■ Pożar

■ Trzęsienie ziemi

■ Proponowane są różne podejścia o różnym stopniu zaawansowania.

■ Te ostatnie zostaną przedstawione w odrębnej prezentacji. |

5. Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe

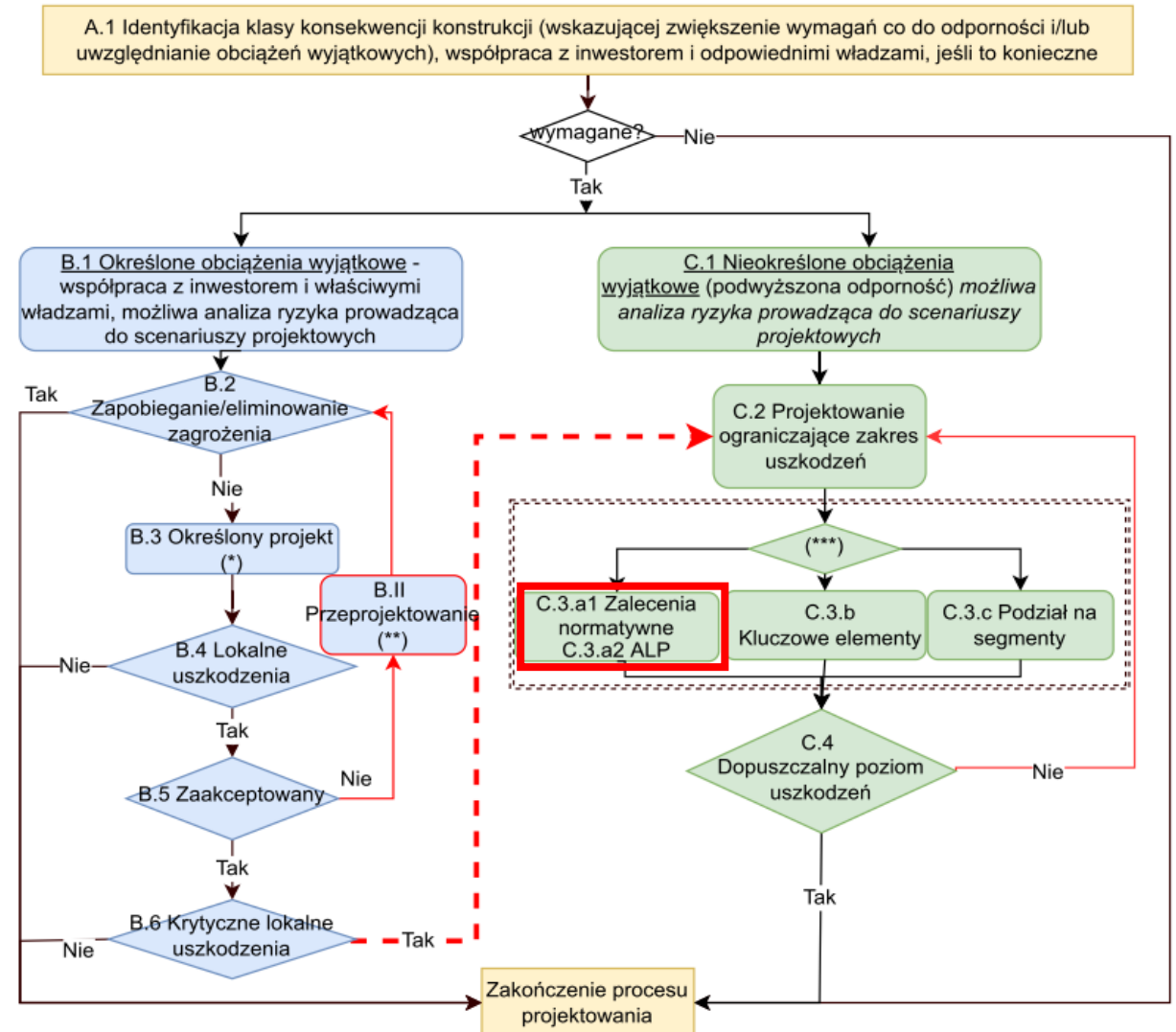
- Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe opiera się na strategiach mających na celu ograniczenie zasięgu lokalnego uszkodzenia, niezależnie od jego przyczyny:
 - Metoda alternatywnych ścieżek obciążenia (ALP)
 - Metoda elementu kluczowego
 - Metoda podziału na segmenty
- Poziom zaawansowania proponowanych metod będzie miał zakres od metod normatywnych do zaawansowanych, pełnych analiz nieliniowych.
- Wybór metody, która ma być zastosowana, jest silnie powiązany z klasą konsekwencji.

5. Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe

■ W przypadku CC2a norma EN 1991-1-7 sugeruje zapewnienie konstrukcji efektywnego systemu stężeń poziomych przy użyciu metody zwanej „metodą stężeń”.

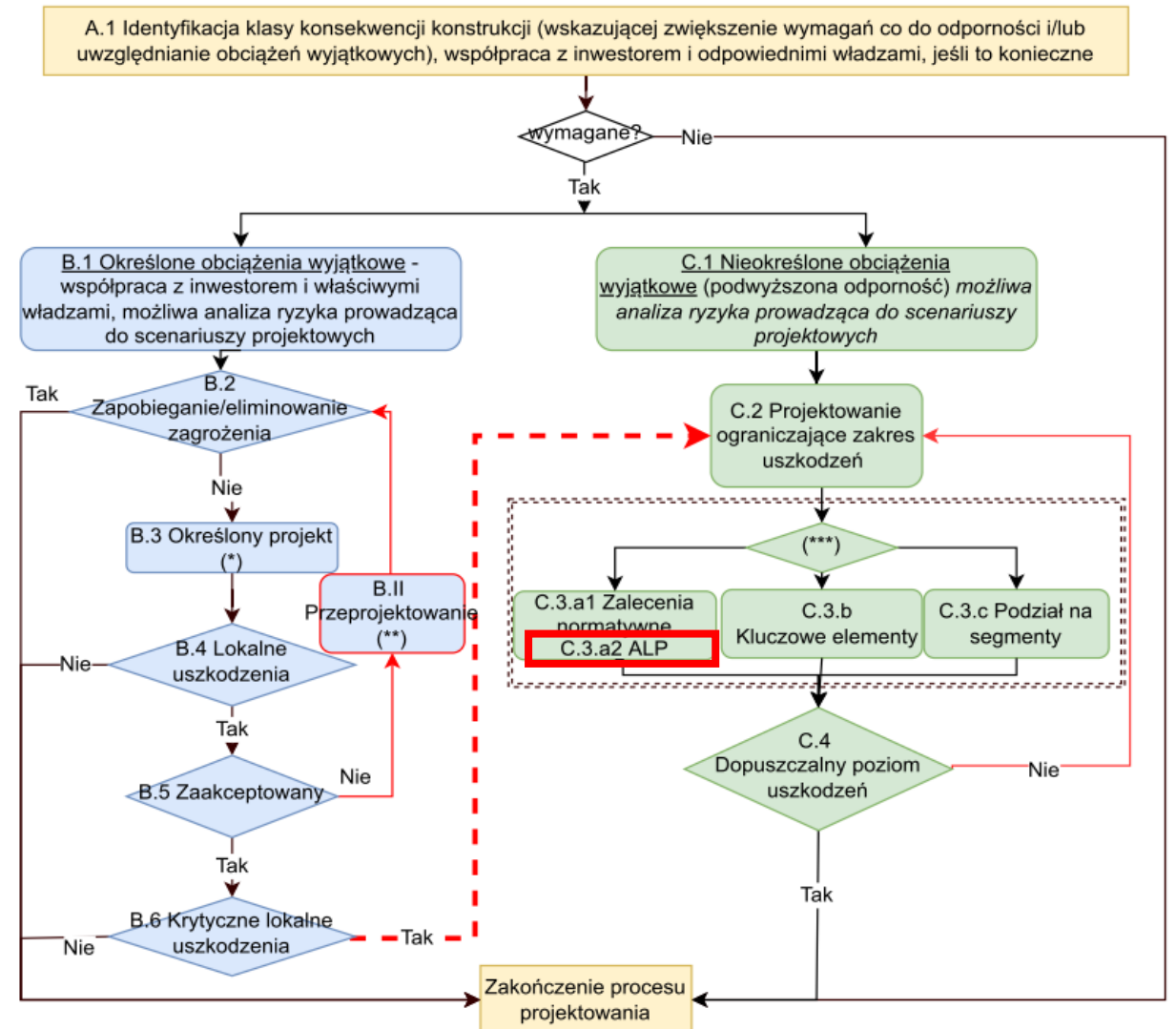
lub

Rozważenie całkowitego usunięcia elementów nośnych → metoda ALP



5. Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe

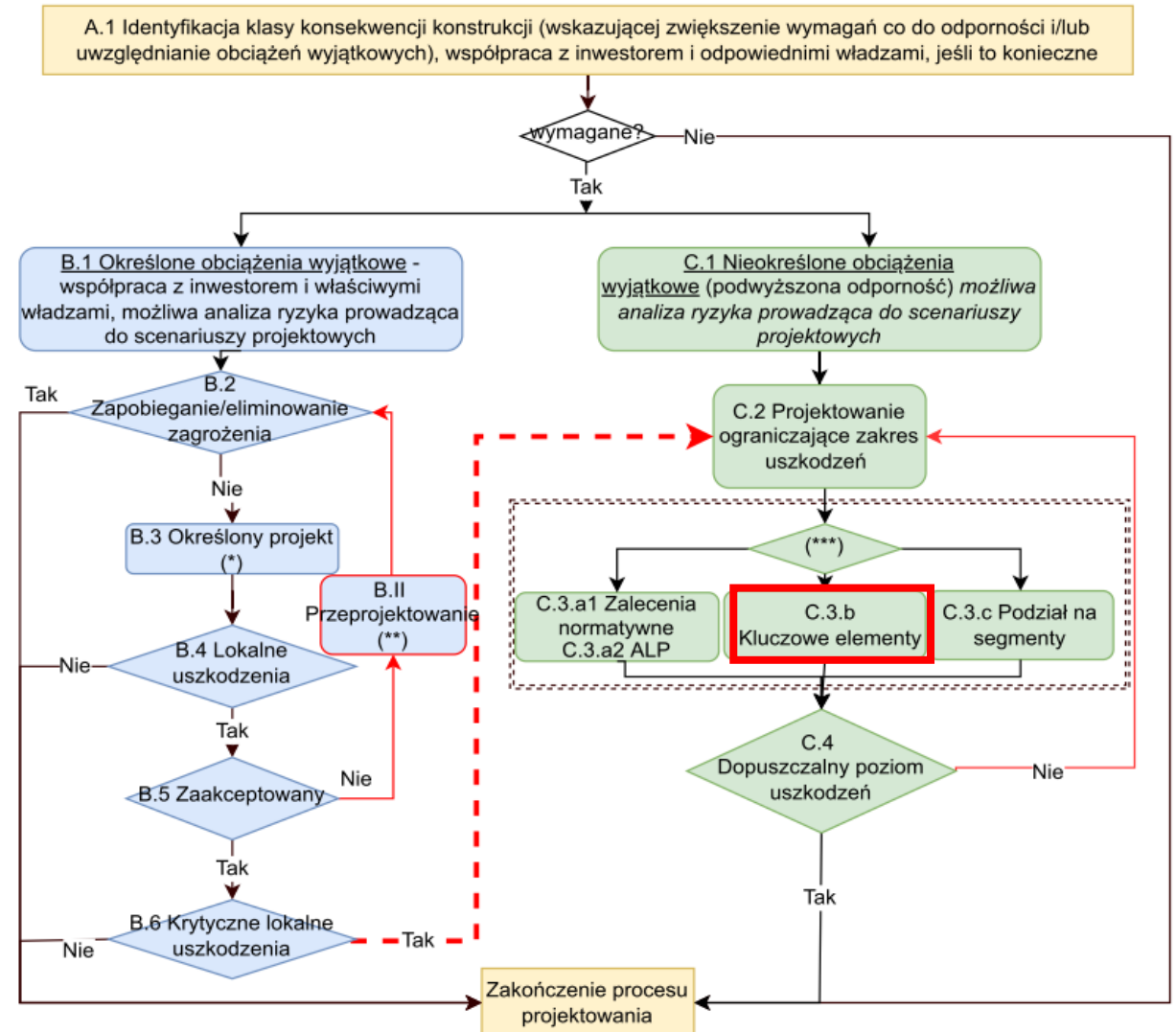
■ W przypadku CC3 zaleca się stosowanie metody ALP poprzez zastosowanie udoskonalonych metod, takich jak analiza dynamiczna.



5. Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe

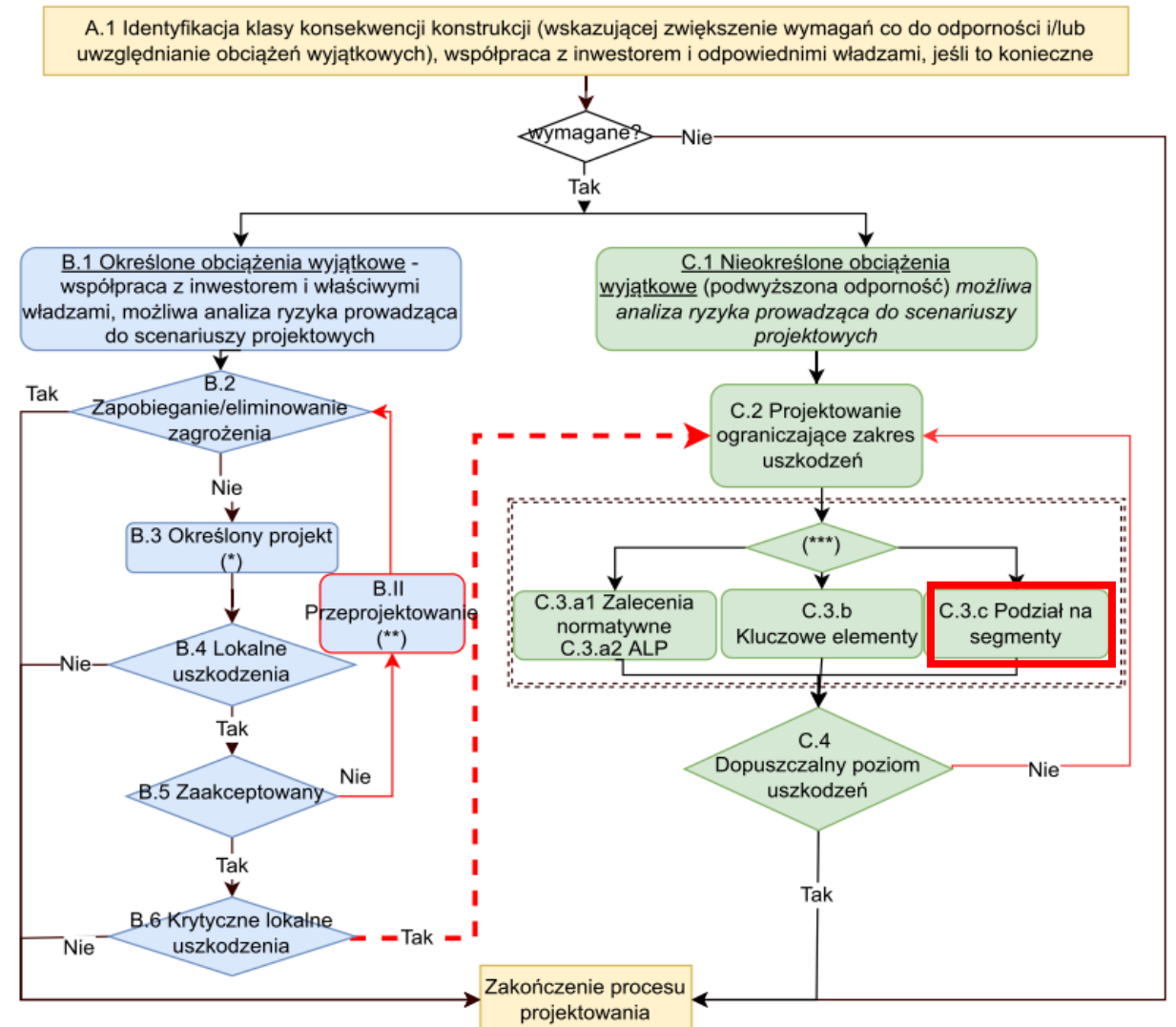
■ Jeżeli utrata elementu nośnego powoduje nieproporcjonalne zawalenie się, usunięty element powinien być oznaczony jako "element kluczowy".

■ Projekt powinien być ukierunkowany na metodę lokalnego zwiększenia nośności elementu kluczowego, biorąc pod uwagę oddziaływanie wyjątkowe.



5. Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe

- Alternatywą dla tych metod jest zastosowanie **metody podziału na segmenty**
- Metoda podziału na segmenty jest strategią projektową mającą na celu zapobieganie lub ograniczenie początkowego uszkodzenia **poprzez izolowanie uszkodzonej części konstrukcji** od pozostałej konstrukcji
- Strategie podziału na segmenty mogą być oparte na **słabych lub mocnych granicach segmentów**



5. Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe

- Różne metody stojące za tymi strategiami projektowymi zostały przedstawione w Rozdziale 5 Podręcznika projektowania FAILNOMORE.
- Zostaną one szczegółowo omówione w odrębnej prezentacji

Dziękuję za uwagę !

Rzeszów 19.05.2022

Znaczenie węzłów konstrukcyjnych

Lucjan Ślęczka

Politechnika Rzeszowska

FAILNOMORE

Mitigation of the risk of progressive collapse
in steel and composite building frames
under exceptional events



Research Fund for Coal & Steel

FAIL **NO**
MORE



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA

SPIS TREŚCI

■ Prezentacja jest zorganizowana w następujący sposób:

1. Wprowadzenie
2. Ogólne zasady projektowania na odporność
3. Definicja klas konsekwencji
4. Projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe
5. Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe

6. Znaczenie węzłów konstrukcyjnych

6.1 Podstawowe wymagania dotyczące ciągłości węzłów

6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową

7. Wnioski

1. Wprowadzenie
2. Ogólne zasady projektowania na odporność
3. Definicja klas konsekwencji
4. Projektowanie na określone oddziaływania wyjątkowe
5. Projektowanie na nieokreślone oddziaływania wyjątkowe
6. Znaczenie węzłów konstrukcyjnych
7. Wnioski

6. Znaczenie węzłów konstrukcyjnych

- Węzły konstrukcyjne są kluczowymi fragmentami konstrukcji, które mają znaczny wpływ na globalne zachowanie budynku stalowego lub zespolonego
- Węzły można klasyfikować pod względem sztywności, nośności i zdolności do obrotu:

Sztywność	Nośność	Zdolność do obrotu
Nominalnie przegubowe	Nominalnie przegubowe	Węzły o kruchej formie zniszczenia
Podatne	Węzły o niepełnej nośności	Węzły o ograniczonej ciągliwości
Sztywne	Węzły o pełnej nośności	Węzły o ciągliwej formie zniszczenia

Wyraźnie określone granice klasyfikacji w PN-EN 1993-1-8

Nieostre granice klasyfikacji w PN-EN 1993-1-8

6. Znaczenie węzłów konstrukcyjnych

- **Metoda składnikowa jest metodą analityczną, zalecaną w PN-EN 1993-1-8 i PN-EN 1994-1-1 do określania charakterystyk strukturalnych węzłów stalowych i zespolonych pod względem sztywności, nośności i zdolności do obrotu**
- **Wyznaczenie tych właściwości węzła jest w zasadzie możliwe, niezależnie od rodzaju przyłożonego obciążenia, ale:**
 - Normy podają precyzyjne zalecenia jedynie dla węzłów poddanych obciążeniu momentem zginającym, podczas gdy w zdarzeniach wyjątkowych w obrębie węzła może wystąpić interakcja między momentem zginającym i siłami podłużnymi
 - Proces obciążania węzła w przypadku zdarzeń wyjątkowych zwykle różni się znacznie od tych rozważanych w ULS
- **W Poradniku Projektowym FAILNOMORE, metody pozwalające na oszacowanie właściwości węzła poddanego oddziaływaniu interakcji M-N przedstawiono w Załączniku A.1.
W tej prezentacji zasady te nie są szczegółowo wyjaśniane**

6. Znaczenie węzłów konstrukcyjnych

- Zastosowanie węzłów sztywnych o pełnej nośności pozwala pominąć wpływ węzłów na rozkład sił wewnętrznych i nośność graniczną układu, ale nie stanowi zwykle najbardziej ekonomicznej opcji!
- Jeśli przeprowadzana jest analiza plastyczna, to należy unikać ryzyka powstania przegubu plastycznego w węźle sąsiadującym z przekrojem przegubu plastycznego w elemencie, ze względu na możliwość zwiększonej wytrzymałości materiału w elemencie (jeśli ciągłość węzła nie może być zapewniona)
→ wprowadzenie nowej klasy: węzły o ZWIĘKSZONEJ NOŚNOŚCI

Nośność
Nominalnie przegubowe
Węzły o niepełnej nośności
Węzły o pełnej nośności
Węzły o zwiększonej nośności

gdzie $f_{ov} = 1,1 \times \gamma_{ov} \times f_y$

Jeśli węzeł nie spełnia kryterium węzła o zwiększonej nośności, wówczas jego zachowanie powinno być uwzględnione w projektowaniu na odporność!

6. Znaczenie węzłów konstrukcyjnych

- W przypadku zdarzeń wyjątkowych, w celu znalezienia nowego stanu równowagi zdeformowanej konstrukcji, na ogół wymagane jest uwzględnienie rozwoju dużych odkształceń oraz wytrzymałości stali na rozciąganie
- Dlatego ciągłość węzłów (zdolność do obrotu) są postrzegane jako ważne ich właściwości, które należy zapewnić
- Niezależnie od charakteru zdarzenia wyjątkowego lub przyjętej strategii projektowania na te wydarzenia, wydaje się być warunkiem niezbędnym - nawet, jeśli nie jest formalnie wymagane - wstępne projektowanie wszystkich węzłów konstrukcyjnych pod kątem zapewniania ciągłości w warunkach ULS (z wyjątkiem węzłów o zwiększonej nośności)

Zdolność do obrotu

Węzły o kruchej formie zniszczenia

Węzły o ograniczonej ciągłości

Węzły o ciągłej formie zniszczenia

Podstawowe wymagania dotyczące ciągłości, które powinny być zawsze spełnione przez węzeł, są opisane w Podręczniku Projektowym FAILNOMORE

6.1 Podstawowe wymagania dotyczące ciągłości węzłów

- W przypadku uszkodzenia konstrukcji celem jest uniknięcie aktywacji kruchych składników węzła

- W przypadku węzłów przegubowych wymagania takie są wyrażone w odniesieniu do spoin i średnicy śruby

- Spoiny - zalecane jest stosowanie spoin czołowych z pełnym przetopem lub spoin pachwinowych o pełnej nośności

→ Kryteria projektowe są zawarte w Podręczniku Projektowania FAILNOMORE

- Śruby rozciągane - zaleca się przestrzeganie kryterium projektowego zawartego w PN-EN 1993-1-8, które łączy średnicę śruby d_B z grubością blachy czołowej t

$$t \leq 0,36d_B \sqrt{f_{ub}/f_y}$$

Kryterium to gwarantuje powstanie zniszczenia ciągłego na poziomie składnika węzła poddanego zginaniu

- Szczegółowe wymagania dotyczące połączeń przegubowych konieczne do osiągnięcia odpowiedniego obrotu węzła, są zawarte w Podręczniku Projektowania FAILNOMORE

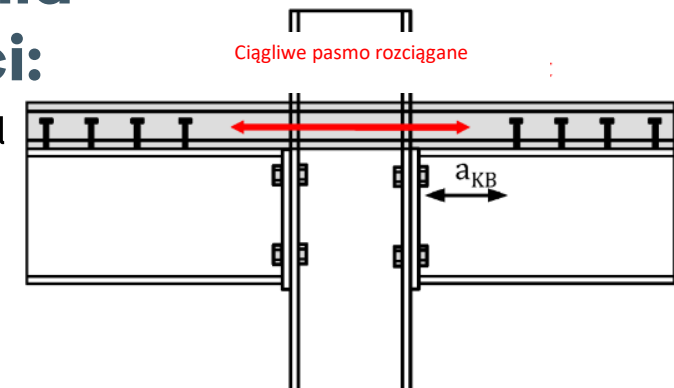
6.1 Podstawowe wymagania dotyczące ciągłości węzłów

■ Węzły o niepełnej nośności:

- Zalecane jest stosowanie spoin czółowych z pełnym przetopem lub spoin pachwinowych o pełnej nośności
- Jeżeli w momencie zniszczenia jest aktywowana blacha czołowa zginana, zaleca się przestrzegać kryterium zawartego w PN-EN 1993-1-8, które łączy średnicę śruby d_B z grubością tej blachy t
- Należy unikać zniszczenia składników: "średnik stupa poddany ścisłkaniu poprzecznemu" i "pas i średnik belki poddany ścisłkaniu", w których powstać mechanizmy utraty stateczności miejscowej

■ Przedstawiono również pewne szczegółowe zalecenia dotyczące węzłów zespolonych o niepełnej nośności:

- Właściwości prętów zbrojeniowych do zastosowania w pobliżu węzłów
- Umieszczenie pierwszego łącznika sworzniowego w pewnej odległości od stupa



6.1 Podstawowe wymagania dotyczące ciągłości węzłów

■ Węzły o pełnej nośności:

- Obowiązują te same zalecenia, co w przypadku węzłów o niepełnej nośności, ponieważ połączone elementy mogą wykazywać zwiększoną wytrzymałość, co w tym przypadku może prowadzić do aktywacji zniszczenia węzła

■ Węzły o zwiększonej nośności:

- W przypadku tych węzłów nie ma szczególnych wymagań

■ Przedstawione uwagi należy traktować, jako podstawowe wymagania dotyczące ciągłości.

Konieczne może być przestrzeganie dodatkowych wymagań, bardziej szczegółowych dla przyjętej strategii projektowej

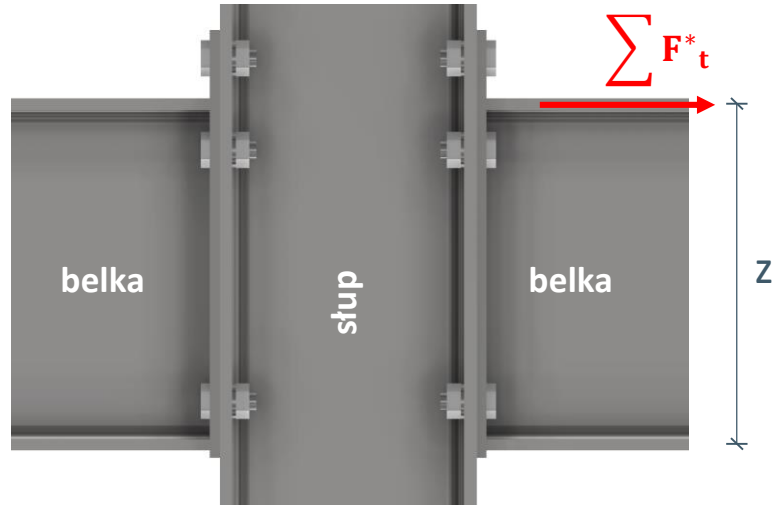
6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową



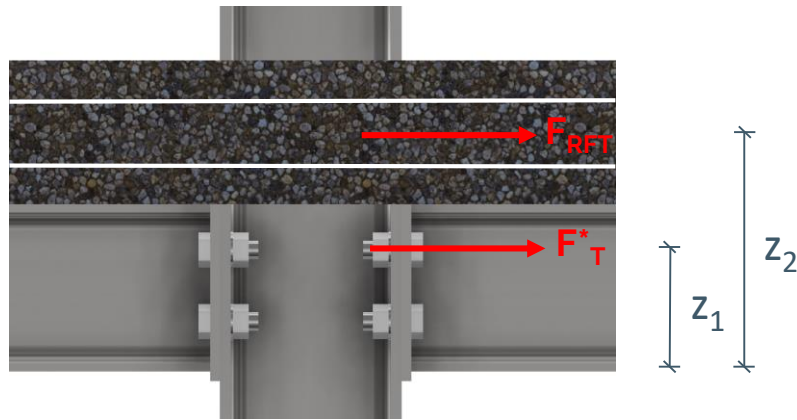
- Jako alternatywę wcześniej przedstawionych kryteriów można zastosować uproszczoną metodę zaproponowaną przez Larsa Röllego:
 - Przyjazna użytkownikowi
 - Łatwa ocena właściwości węzła
 - Gwarancja ciągłości dzięki prostym kryteriom konstrukcyjnym
 - Całkowity obrót węzłów >80 mrad
 - Cel do osiągnięcia, to 2 forma zniszczenia
 - Weryfikowana eksperymentalnie
- **Metoda obejmuje:**
 - Węzły stalowe z blachą czołową wpuszczoną i wystającą
 - Węzły zespolone stalowo – betonowych (2 szeregi śrub)
 - Ocenę nośności plastycznej i granicznej węzłów
 - Węzły o niepełnej nośności: $M_{j,pl,Rd} < 0,7 \cdot M_{b,pl,Rd}$

6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową

węzeł stalowy



węzeł zespolony



$$M_j = F^*_{t,Rd} \cdot z_1 + F_{RFT,Rd} \cdot z_2$$

Uproszczona metoda L. Röllego – jak to działa:

- Nośność węzła przy zginaniu M_j określa iloczyn nośności śrub na rozciąganie i odpowiedniego ramienia sił wewnętrznych ($F_{t,Rd} \cdot z$)
- Dodatkowe parametry wpływające na M_j są rozpatrywane poprzez współczynnik korygujący

$$k_{j(EEP)}^* = 0,75 \cdot 1,95 \cdot \left(\frac{t_{EP} \cdot t_{cf} \cdot f_y}{m \cdot m_x \cdot f_{uB}} \right)^{0,25}$$

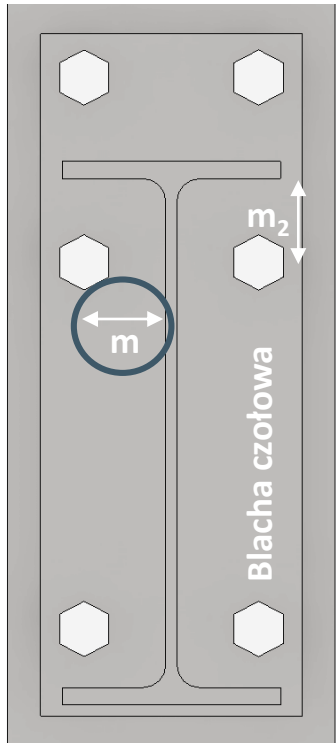
- Ostatecznie, nośność na zginanie jest podana prostym wzorem⁽¹⁾:

$$M_{j,pl,Rd} = 0,9 \cdot F_{t,Rd} \cdot k_j^* \cdot z^{(1)}$$

⁽¹⁾Przypadek węzła stalowego z blachą wystającą

6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową

Uproszczona metoda L. Röllego – kryteria ciągliwości:



- Nośność słupa jest gwarantowana przez proste kryteria geometryczne
- Wysoka ciągliwość węzłów jest uzyskiwana dzięki prostym kryteriom konstrukcyjnym dla składników węzłów
- Uwzględnienie odległości poziomej m dla kryterium ciągliwości usztywnionego króćca teowego

$$t_{EP} \leq 0,33 \cdot d_B \cdot \sqrt{\frac{f_{uB}}{f_y}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{2,5d_B}\right)} \cdot \sqrt{\frac{m_2}{2,0d_B}}$$

	parametr	kryterium
Kryteria ciągliwości węzłów	t_{EP} / d_B	$< 0,65$
	f_y	$\leq S355$
	f_{uB}	≥ 8.8
	m	$\geq 3.0d_B$
	m_2	$\geq 2.5d_B$
	h_{beam}	≤ 500

*Granice kryteriów są związane z określonym zakresem gatunków stali, dla których dostępne były badania. Nie należy wyciągać wniosku, że wyższe gatunki stali nie pozwalają na osiągnięcie wysokiej ciągliwości.

6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową

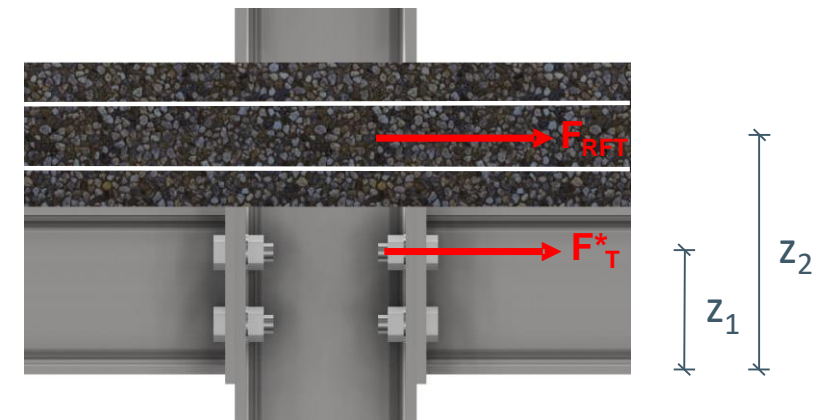
Uproszczona metoda L. Röllego – zastosowanie w 3 krokach:

■ **Krok 1** - Dobór przekroju słupa na podstawie prostych kryteriów geometrycznych

■ **Krok 2** - Wybór składników węzła za pomocą prostych kryteriów ciągłości dla króćca teowego

■ **Krok 3** – Wyznaczenie nośności na zginanie:

$$M_j = F_{t,Rd}^* \cdot z_1 + F_{RFT,Rd} \cdot z_2^{(1)}$$



(1) Przypadek węzła zespolonego

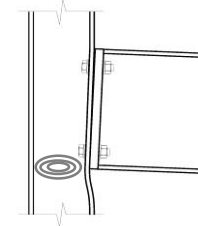
6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową

Uproszczona metoda L. Röllego – zastosowanie – krok 1:

Przekrój stupa – zakres ważności

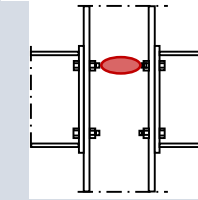
Środek stupa przy ściskaniu

$$\frac{\sqrt{h_c \cdot d_B}}{t_{wc}^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{355}{f_{y,c}}} \cdot \sqrt{\frac{f_{uB}}{1000}} < 7,0$$



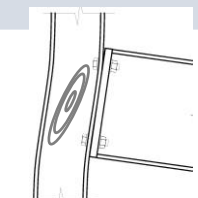
Środek stupa przy rozciąganiu

$$t_{wc} > 0,092 \cdot d_B \cdot \frac{f_{uB}}{f_{y,c}}$$



Środek stupa przy ścinaniu

$$t_{wc} > 1,12 \cdot \frac{d_B^2 \cdot f_{uB}}{h_c \cdot f_{y,c}}$$



*Patrz Załącznik A.3.1 Podręcznika Projektowania FAILNOMORE

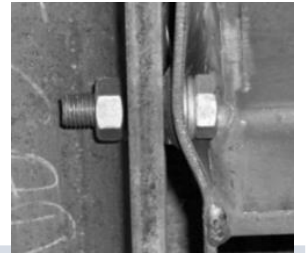
6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową

Uproszczona metoda L. Röllego – zastosowanie – krok 2:

Kryteria ciągłości króćca teowego

Przeciągnięcie tba śruby – granica dolna t_{ep}

$$t_{EP} \geq 0,186 \cdot d_B \cdot \frac{f_{uB}}{f_{u,EP}}$$



Ciągliwość – granica górna t_{ep}
(przypadek usztywnionego króćca teowego)

$$t_{EP} \leq 0,33 \cdot d_B \cdot \sqrt{\frac{f_{uB}}{f_y}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{2,5d_B}\right)} \cdot \sqrt{\frac{m_2}{2,0d_B}}$$



Granica górna t_{fc}
dla $0,9 \cdot t_{EP} \leq t_{fc} \leq t_{EP}$
(przypadek nieusztywnionego króćca teowego)

$$t_{fc} \leq 0,4 \cdot d_B \cdot \sqrt{\frac{f_{uB} \cdot m}{f_y \cdot 2,5d_B}}$$

*Patrz Załącznik A.3.1 Podręcznika Projektowania FAILNOMORE

6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową

Uproszczona metoda L. Röllego – zastosowanie – krok 3:

Wyznaczanie nośności przy zginaniu

Nośność plastyczna węzła

$$M_{j,pl,Rd} = 0,9 \cdot F_{t,Rd} \cdot k_j \cdot z_1 + F_{T,RFT,Rd} \cdot z_2$$

Współczynnik korygujący węzła

$$k_{j(EEP)}^* = 0,75 \cdot 1,95 \cdot \left(\frac{t_{EP} \cdot t_{cf} \cdot f_y}{m \cdot m_x \cdot f_{ub}} \right)^{0,25} \leq 1,0$$

Nośność śruby na rozciąganie

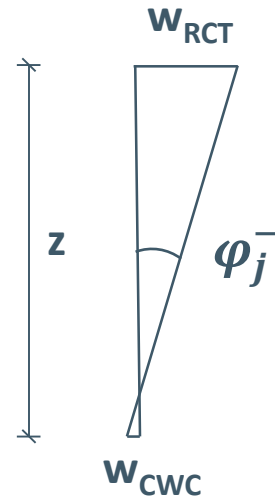
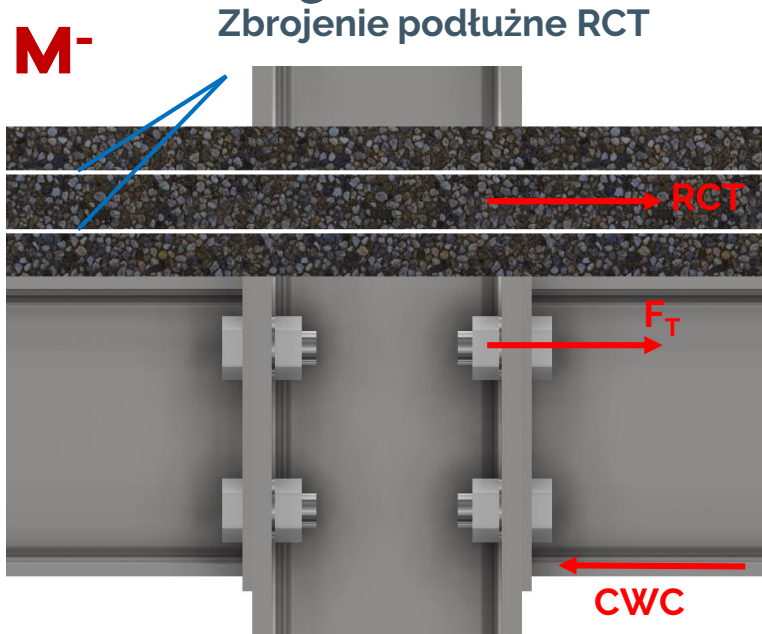
$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{uB} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

Nośność na rozciąganie stalowych prętów zbrojenia

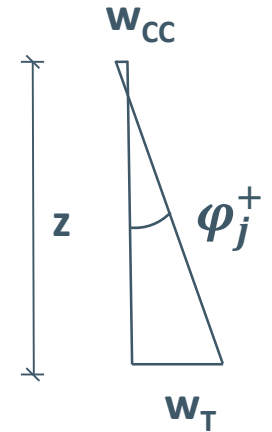
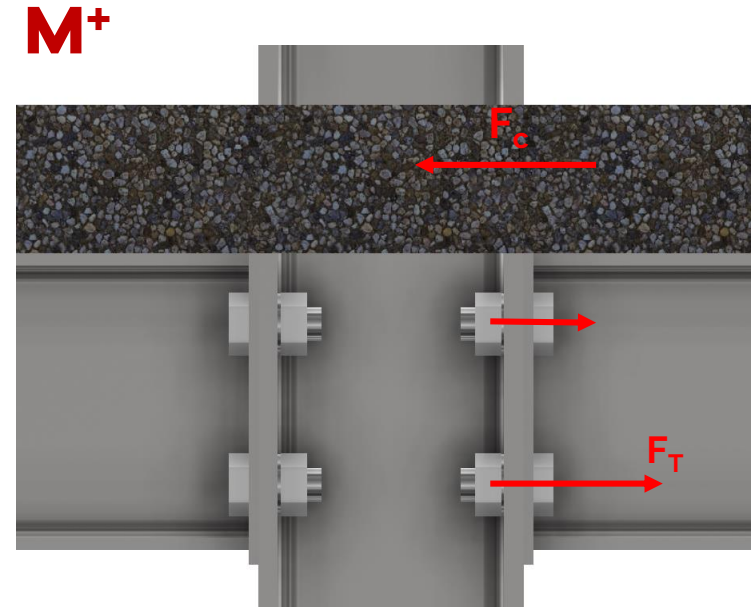
$$F_{t,RFT,Rd} = \frac{f_{sk} \cdot A_s}{\gamma_s}$$

*Patrz Załącznik A.3.1 Podręcznika Projektowania FAILNOMORE

6.2 Uproszczona metoda projektowania węzłów z blachą czołową



$$\varphi_{j,available}^- = \frac{W_{RCT} + W_{CWC}}{z}$$



$$\varphi_{j,available}^+ = \frac{W_T}{2}$$

Uproszczona metoda Nadine Keller – zdolność do odkształceń węzłów

- Przyjazna użytkownikowi
- Łatwe oszacowanie zdolności do odkształceń (momenty zginające dodatnie, i ujemne)
- Weryfikowana eksperymentalnie

*Patrz Załącznik A.4.2 Podręcznika Projektowania FAILNOMORE

Podsumowanie

- **W prezentacji szczególną uwagę zwrócono na węzły, które uznano za kluczowe elementy podczas projektowania na odporność**
- **W szczególności określono podstawowe wymagania dotyczące ich ciągłości**
- **W kolejnych prezentacjach zostaną przedstawione na przykładach różne metody projektowania**