

Návrh na robustnost

V Praze

18.5.2022

Marta KUŘÍKOVÁ, Matyáš KOŽICH,
Zuzana KUBÍKOVÁ a František WALD

České vysoké učení technické v Praze

FAILNOMORE

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

1. Úvod

■ Obsah prezentace

1. Úvod

2. Princip návrhu

3. Třídy následků

4. Identifikované zatížení

5. Neidentifikované zatížení

6. Význam styčníků

7. Závěry

1. Úvod

2. Princip návrhu

3. Třídy následků

4. Návrh na identifikované mimořádné zatížení

5. Návrh na neidentifikované mimořádné zatížení

6. Význam styčníků

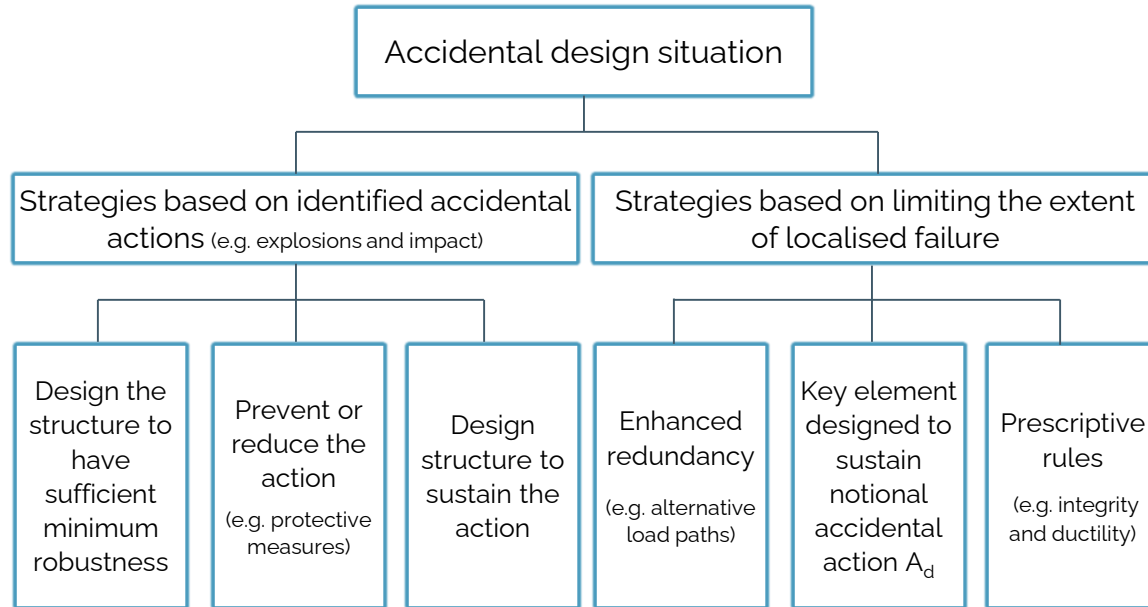
Požadavky na tažnost spojů

Zjednodušená metoda pro spoje čelní deskou

7. Závěry

1. Úvod

Možnosti návrhu podle prEN 1991-1-7



■ Slabiny:

- Volba návrhu
- Není soubor pravidel

→ **Chybí jasný návod, jak na robustnost navrhovat**

→ **Projekt FAILNOMORE se snaží nedostatky překlenout. V druhé kapitole přináší obecný princip návrhu, která je založena evropské praxi.**

→ **Dále je obecný princip shrnut.**

2. Princip návrhu

■ Obsah prezentace

1. Úvod

2. Princip návrhu

3. Třídy následků

4. Identifikované zatížení

5. Neidentifikované zatížení

6. Význam styčníků

7. Závěry

1. Úvod

2. Princip návrhu

3. Třídy následků

4. Návrh na identifikované mimořádné zatížení

5. Návrh na neidentifikované mimořádné zatížení

6. Význam styčníků

Požadavky na tažnost spojů

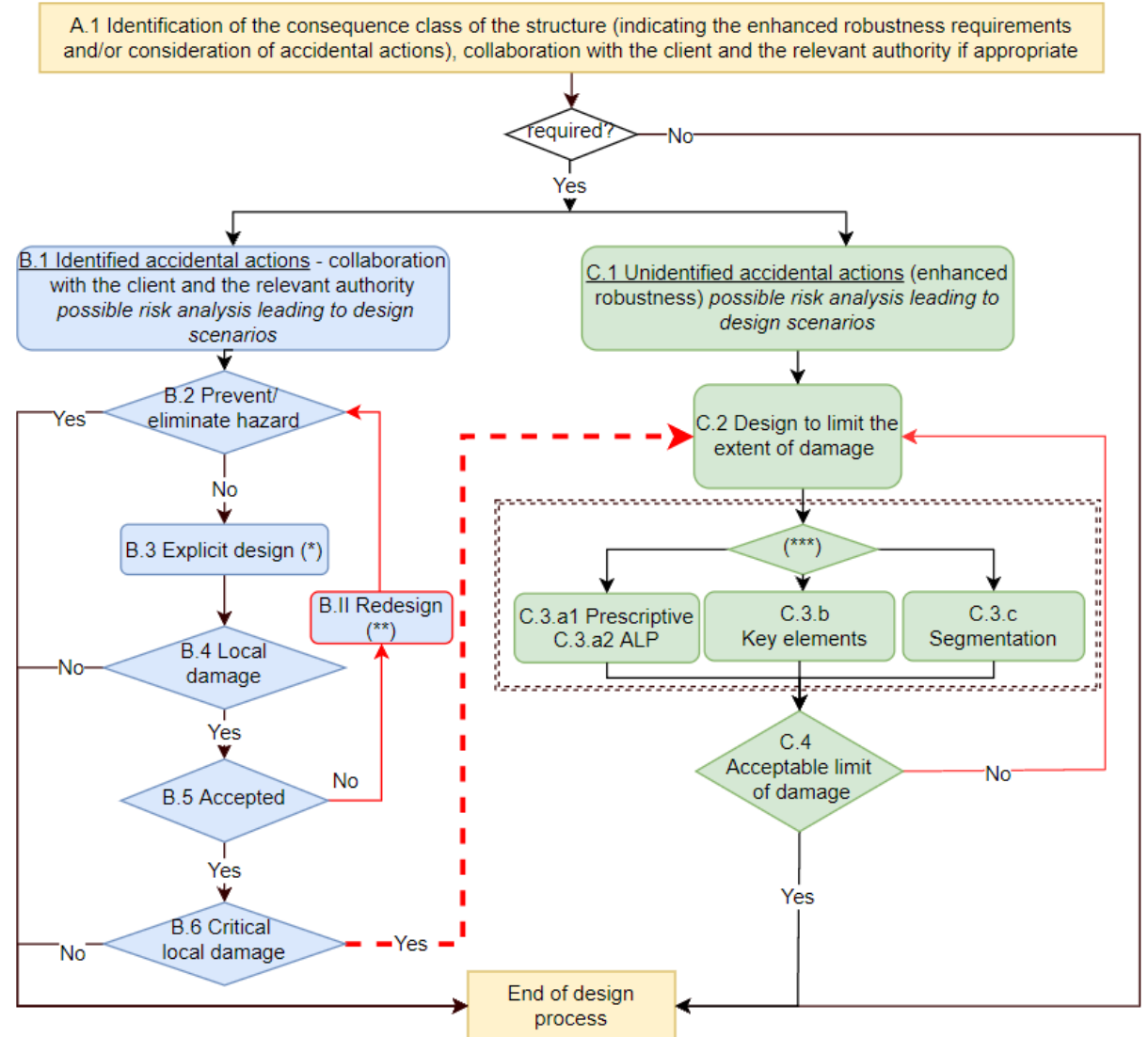
Zjednodušená metoda pro spoje čelní deskou

7. Závěry

2. Princip návrhu

■ Návrh robustnosti konstrukce je ve vývojovém diagramu

■ Vývojový diagram je základem monografie projektu



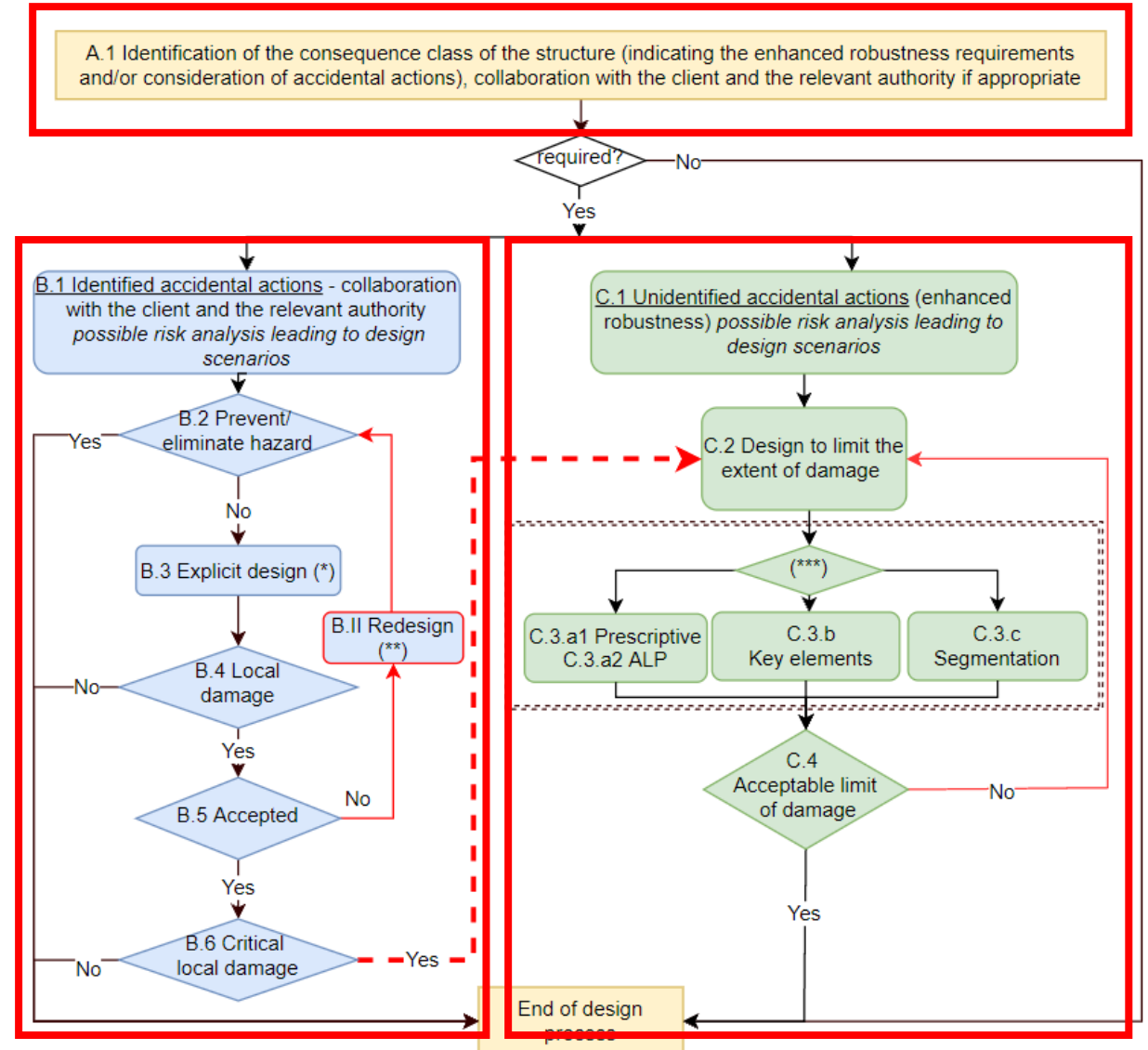
2. Princip návrhu

■ Tři hlavní části vývojového diagramu

A. Určení třídy následků dané konstrukce

B. Postup návrhu pro **identifikované** mimořádné zatížení

C. Postup návrhu pro **neidentifikované** mimořádné zatížení



3. Třídy následků

■ Obsah prezentace

1. Úvod
2. Princip návrhu
- 3. Třídy následků**
4. Identifikované zatížení
5. Neidentifikované zatížení
6. Význam styčníků
7. Závěry

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
4. Návrh na identifikované mimořádné zatížení
5. Návrh na neidentifikované mimořádné zatížení
6. Význam styčníků
 - Požadavky na tažnost spojů
 - Zjednodušená metoda pro spoje čelní deskou
7. Závěry

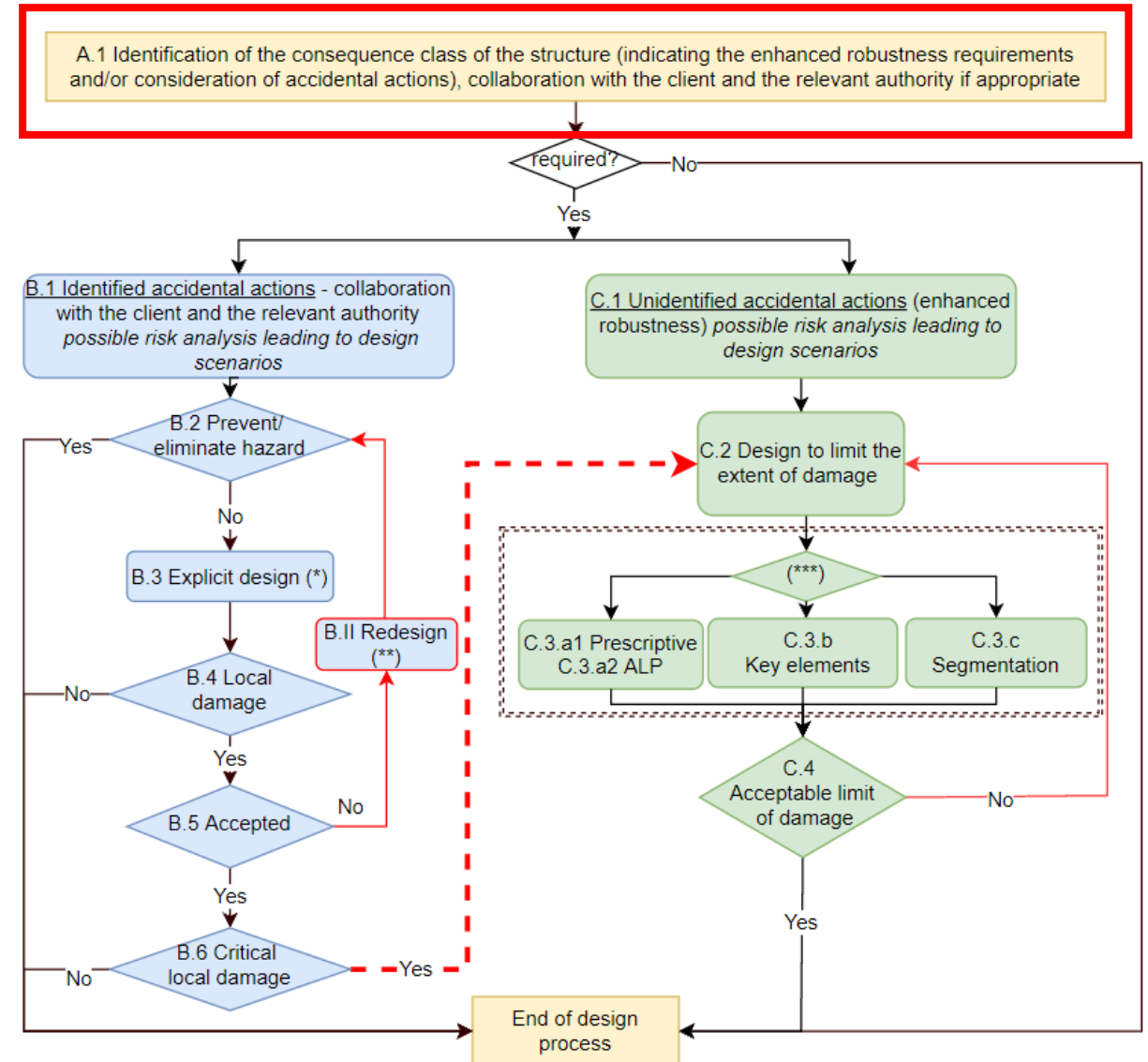
Princip návrhu

■ Tři hlavní části vývojového diagramu

A. Určení třídy následků dané konstrukce

B. Postup návrhu pro **identifikované** mimořádné zatížení

C. Postup návrhu pro **neidentifikované** mimořádné zatížení



3. Třídy následků

- **Stavební konstrukce jsou rozděleny do tříd následků, které odráží následky selhání konstrukce z hlediska:**
 - Ztráty života
 - Zranění
 - Sociálních ztrát
 - Ztrát na životním prostředí
 - Hospodářských ztrát

- **Klasifikace zjednodušuje stanovení rizika, podle tvyru budovy, výškou, obsazeností, materiálem konstrukce, ...**

3. Třídy následků

■ V příloze A k EN 1991-1-7 a v EN 1990 jsou popsány tři třídy následků

Consequence class (CC)	Categorization of building type and occupancy
1	Single occupancy houses ≤ 4 storeys - Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g., storage buildings), greenhouses - Buildings into which people rarely go, provided at distance 1.5 times height away from others
2a (Lower risk group)	5 storey single occupancy houses - Hotels, residential, offices ≤ 4 storeys - Industrial ≤ 3 storeys - Retailing premises ≤ 3 storeys and $<$ than 1000 m ² floor area in each storey - Single storey educational buildings - Buildings ≤ 2 storeys admitting public with floor areas ≤ 2000 m ² at each storey
2b (Upper risk group)	Hotels, residential, offices > 4 storeys but ≤ 15 storeys - Educational buildings $>$ single storey but ≤ 15 storeys - Retailing premises > 3 storeys but ≤ 15 storeys - Hospitals ≤ 3 storeys - Offices greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys - Buildings admitting public with floor areas > 2000 m ² but ≤ 5000 m ² at each storey - Car parking ≤ 6 storeys
3	Buildings defined above as Class 2a and 2b that exceed limits on area and storeys - Buildings to which members of the public are admitted in significant numbers (e.g., concert halls, grandstands, ...etc.) - Stadia accommodating more than 5000 spectators - Buildings with hazardous substances/processes

CC1: Low consequence for loss of human life, and **small or negligible one** for economic, social or environmental aspects

CC2: Medium consequence for loss of human life and **considerable one** for economic, social or environmental aspects

CC3: High consequence for loss of human life, or **significant one** for economic, social or environmental aspects

3. Třídy následků

■ V příloze A k EN 1991-1-7 a v EN 1990 jsou popsány tři třídy následků

Consequence class (CC)	Categorization of building type and occupancy
1	Single occupancy houses ≤ 4 storeys - Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g., storage buildings), greenhouses - Buildings into which people rarely go, provided at distance 1.5 times height away from others
2a (Lower risk group)	5 storey single occupancy houses - Hotels, residential, offices ≤ 4 storeys - Industrial ≤ 3 storeys - Retailing premises ≤ 3 storeys and $<$ than 1000 m ² floor area in each storey - Single storey educational buildings - Buildings ≤ 2 storeys admitting public with floor areas ≤ 2000 m ² at each storey
2b (Upper risk group)	Hotels, residential, offices > 4 storeys but ≤ 15 storeys - Educational buildings $>$ single storey but ≤ 15 storeys - Retailing premises > 3 storeys but ≤ 15 storeys - Hospitals ≤ 3 storeys - Offices greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys - Buildings admitting public with floor areas $>$ 2000 m ² but ≤ 5000 m ² at each storey - Car parking ≤ 6 storeys
3	Buildings defined above as Class 2a and 2b that exceed limits on area and storeys - Buildings to which members of the public are admitted in significant numbers (e.g., concert halls, grandstands, ...etc.) - Stadia accommodating more than 5000 spectators - Buildings with hazardous substances/processes



3. Třídy následků

■ V příloze A k EN 1991-1-7 a v EN 1990 jsou popsány tři třídy následků

Consequence class (CC)	Categorization of building type and occupancy
1	Single occupancy houses ≤ 4 storeys - Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g., storage buildings), greenhouses - Buildings into which people rarely go, provided at distance 1.5 times height away from others
2a (Lower risk group)	5 storey single occupancy houses - Hotels, residential, offices ≤ 4 storeys - Industrial ≤ 3 storeys - Retailing premises ≤ 3 storeys and $<$ than 1000 m ² floor area in each storey - Single storey educational buildings - Buildings ≤ 2 storeys admitting public with floor areas ≤ 2000 m ² at each storey
2b (Upper risk group)	Hotels, residential, offices > 4 storeys but ≤ 15 storeys - Educational buildings $>$ single storey but ≤ 15 storeys - Retailing premises > 3 storeys but ≤ 15 storeys - Hospitals ≤ 3 storeys - Offices greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys - Buildings admitting public with floor areas $>$ 2000 m ² but ≤ 5000 m ² at each storey - Car parking ≤ 6 storeys
3	Buildings defined above as Class 2a and 2b that exceed limits on area and storeys - Buildings to which members of the public are admitted in significant numbers (e.g., concert halls, grandstands, ...etc.) - Stadia accommodating more than 5000 spectators - Buildings with hazardous substances/processes



3. Třídy následků

■ V příloze A k EN 1991-1-7 a v EN 1990 jsou popsány tři třídy následků

Consequence class (CC)	Categorization of building type and occupancy
1	Single occupancy houses ≤ 4 storeys - Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g., storage buildings), greenhouses - Buildings into which people rarely go, provided at distance 1.5 times height away from others
2a (Lower risk group)	5 storey single occupancy houses - Hotels, residential, offices ≤ 4 storeys - Industrial ≤ 3 storeys - Retailing premises ≤ 3 storeys and $<$ than 1000 m ² floor area in each storey - Single storey educational buildings - Buildings ≤ 2 storeys admitting public with floor areas ≤ 2000 m ² at each storey
2b (Upper risk group)	Hotels, residential, offices > 4 storeys but ≤ 15 storeys - Educational buildings $>$ single storey but ≤ 15 storeys - Retailing premises > 3 storeys but ≤ 15 storeys - Hospitals ≤ 3 storeys - Offices greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys - Buildings admitting public with floor areas $>$ 2000 m ² but ≤ 5000 m ² at each storey - Car parking ≤ 6 storeys
3	Buildings defined above as Class 2a and 2b that exceed limits on area and storeys - Buildings to which members of the public are admitted in significant numbers (e.g., concert halls, grandstands, ...etc.) - Stadia accommodating more than 5000 spectators - Buildings with hazardous substances/processes



3. Třídy následků

■ V příloze A k EN 1991-1-7 a v EN 1990 jsou popsány tři třídy následků

Consequence class (CC)	Categorization of building type and occupancy
1	Single occupancy houses ≤ 4 storeys - Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g., storage buildings), greenhouses - Buildings into which people rarely go, provided at distance 1.5 times height away from others
2a (Lower risk group)	5 storey single occupancy houses - Hotels, residential, offices ≤ 4 storeys - Industrial ≤ 3 storeys - Retailing premises ≤ 3 storeys and $<$ than 1000 m ² floor area in each storey - Single storey educational buildings - Buildings ≤ 2 storeys admitting public with floor areas ≤ 2000 m ² at each storey
2b (Upper risk group)	Hotels, residential, offices > 4 storeys but ≤ 15 storeys - Educational buildings $>$ single storey but ≤ 15 storeys - Retailing premises > 3 storeys but ≤ 15 storeys - Hospitals ≤ 3 storeys - Offices greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys - Buildings admitting public with floor areas > 2000 m ² but ≤ 5000 m ² at each storey - Car parking ≤ 6 storeys
3	Buildings defined above as Class 2a and 2b that exceed limits on area and storeys - Buildings to which members of the public are admitted in significant numbers (e.g., concert halls, grandstands, ...etc.) - Stadia accommodating more than 5000 spectators - Buildings with hazardous substances/processes



3. Třídy následků

■ Všechny stavební konstrukce nelze přesně zařadit

→ Zdravý inženýrský názor

■ Další doporučení jsou kapitole 3 Příručky pro návrh FAILNOMORE

3. Třídy následků

■ **Třída následků umožňuje stanovit postup ověření robustnosti**

■ **Třída následků 1 (CC1):**

Postačuje návrh únosnosti podle evropských návrhových norem

■ **Třída následků 2 a 3 (CC2a, CC2b a CC3):**

Ověření robustnosti předpokládá specifické přístupy, od jednoduchých normativních pravidel až po pokročilou analýzu rizik a komplexní analytické nebo numerické řešení

3. Třídy následků

- **Po stanovení třídy následků určí projektant ve spolupráci se zadavatelem a příslušnými orgány potenciální hrozby a scénáře mimořádného zatížení**
- **Identifikace hrozeb a příslušných scénářů umožní projektantovi přijmout**
 - Návrh přímo na konkrétní identifikovatelné zatížení a/nebo
 - Konstrukční řešení, které rozsah poškození neidentifikovatelné mimořádnou událostí omezí
- **Pro CC3 se obecně vyžaduje úplné hodnocení rizik**

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
- 4. Identifikované zatížení**
5. Neidentifikované zatížení
6. Význam styčníků
7. Závěry

4. Návrh na identifikované mimořádné zatížení

■ Obsah prezentace

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
4. Návrh na identifikované mimořádné zatížení
5. Návrh na neidentifikované mimořádné zatížení
6. Význam styčníků
 - Požadavky na tažnost spojů
 - Zjednodušená metoda pro spoje čelní deskou
7. Závěry

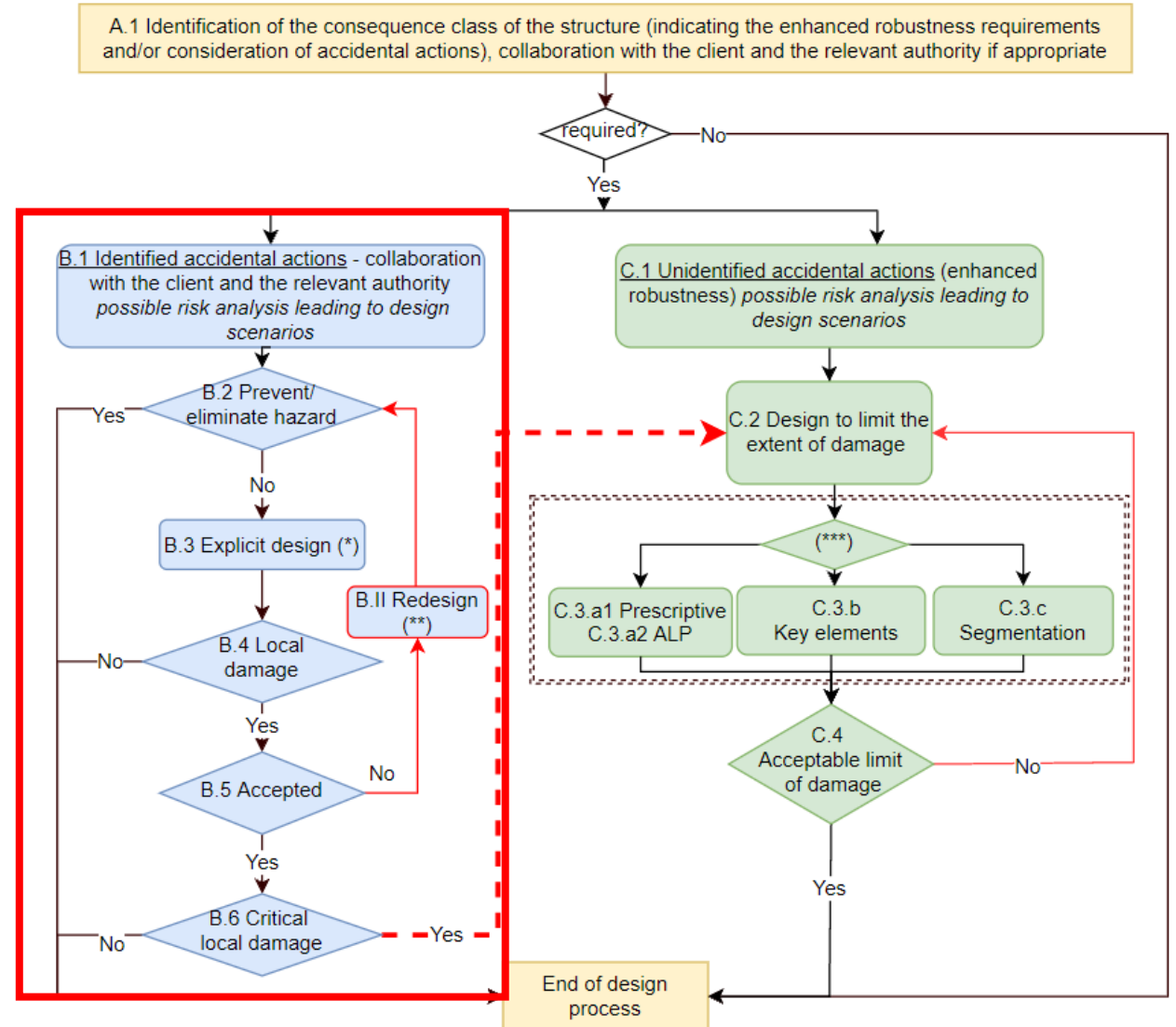
Princip návrhu

■ Tři hlavní části vývojového diagramu

A. Určení třídy následků dané konstrukce

B. Postup návrhu pro identifikované mimořádné zatížení

C. Postup návrhu pro **neidentifikované** mimořádné zatížení

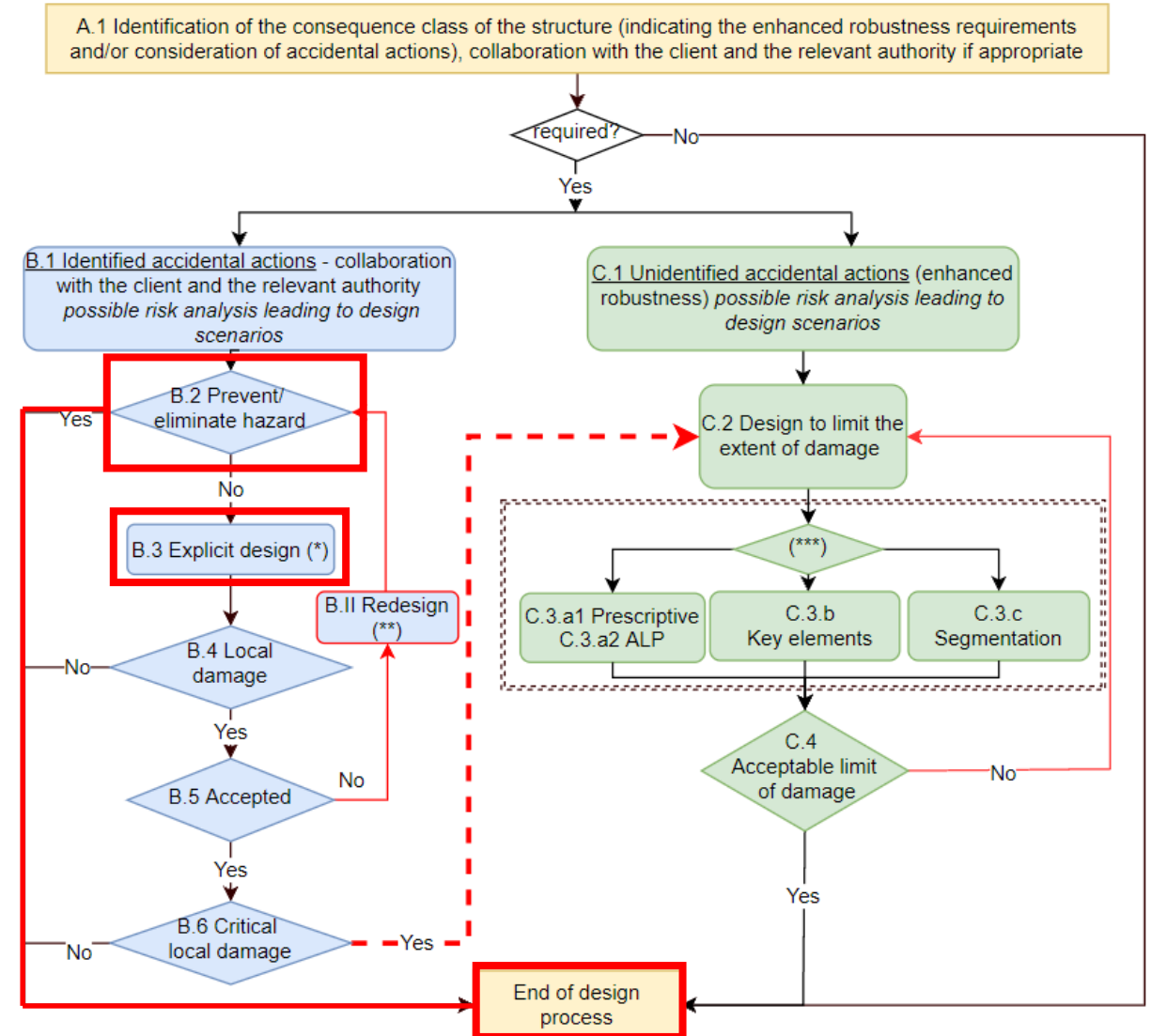


4. Identifikované mimořádné zatížení

■ **Ověří se možnost preventivních a/nebo ochranných opatření ke snížení nebo zmírnění mimořádné situace**

■ Pokud lze zatížení zabránit, lze návrh na tuto konkrétní hrozbu ukončit

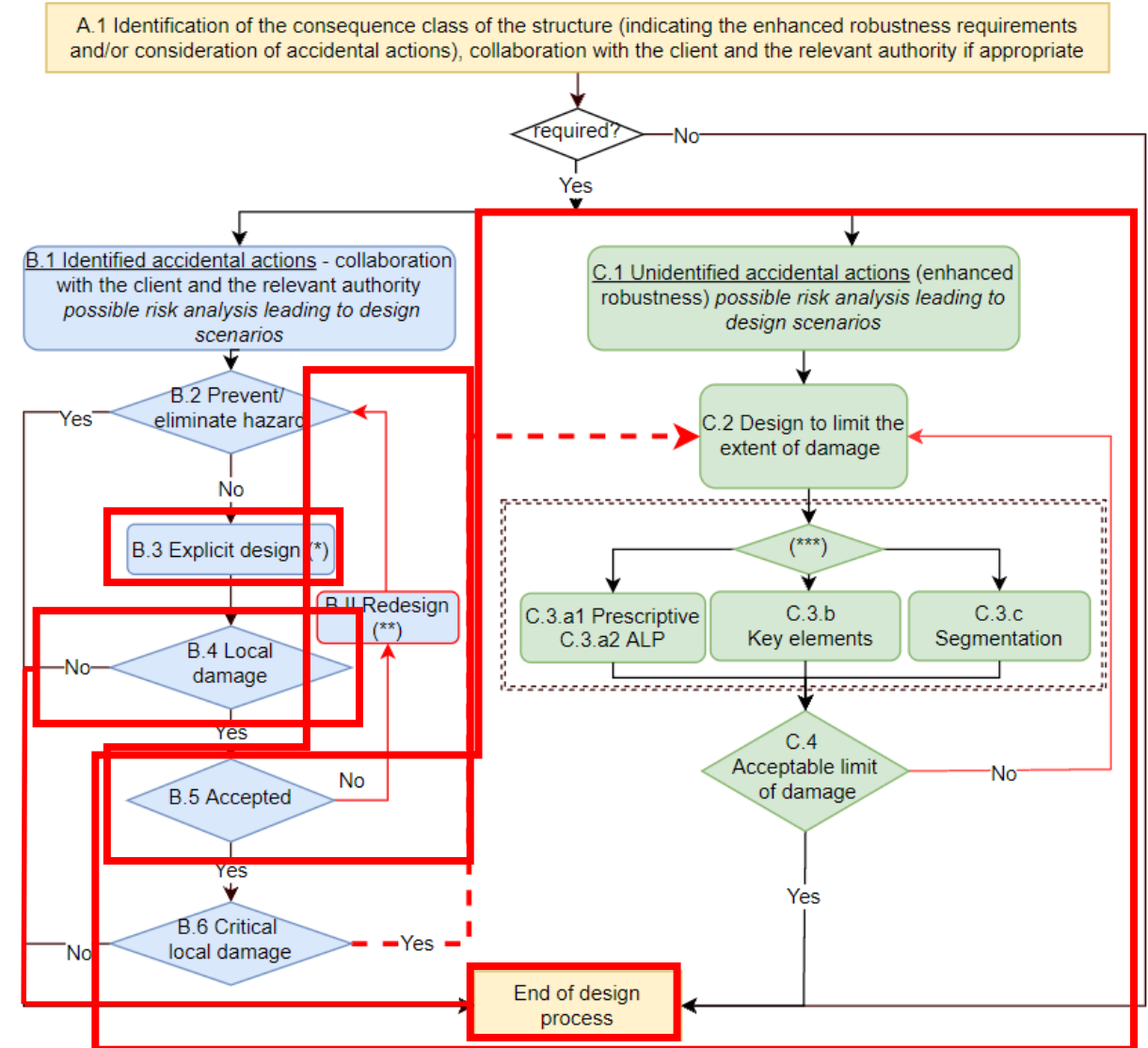
■ Pokud lze zatížení pouze omezit, je třeba posoudit možnou hrozbu explicitně



4. Identifikované mimořádné zatížení

■ Návrh na mimořádnou situaci

- Pokud nedojde k poškození, **návrh se ukončí**
- Pokud dojde k poškození, které je nepřijatelné, **→ konstrukci je třeba přepracovat**
- Pokud dojde k přijatelnému poškození, je jej třeba omezit podobně jako u **neidentifikovatelné** mimořádné situace



4. Identifikované mimořádné zatížení

- **Návrh na identifikované mimořádné zatížení lze opírat o analytické a/nebo numerické metody**
- **Úroveň pokročilých metod závisí na třídě následků**
 - Pro CC2 lze použít normativní postupy nebo zjednodušenou analýzu pomocí statického ekvivalentního zatížení
 - Pro CC3 mohou být požadovány pokročilé metody (dynamická analýza, nelineární modely...).

4. Identifikované mimořádné zatížení

■ V kapitole 4 se uvažují čtyři mimořádné zatížení

- Náraz
- Vnitřní a vnější výbuch
- Požár jako mimořádné zatížení
- Zemětřesení jako mimořádné zatížení

■ Volí se různé přístupy s různou úrovní propracovanosti

■ Jsou představeny ve zvláštní prezentaci

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
4. Identifikované zatížení
- 5. Neidentifikované zatížení**
6. Význam styčnicků
7. Závěry

5. Návrh na neidentifikované mimořádné zatížení

■ Obsah prezentace

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
4. Návrh na identifikované mimořádné zatížení
5. Návrh na neidentifikované mimořádné zatížení
6. Význam styčnicků
 - Požadavky na tažnost spojů
 - Zjednodušená metoda pro spoje čelní deskou
7. Závěry

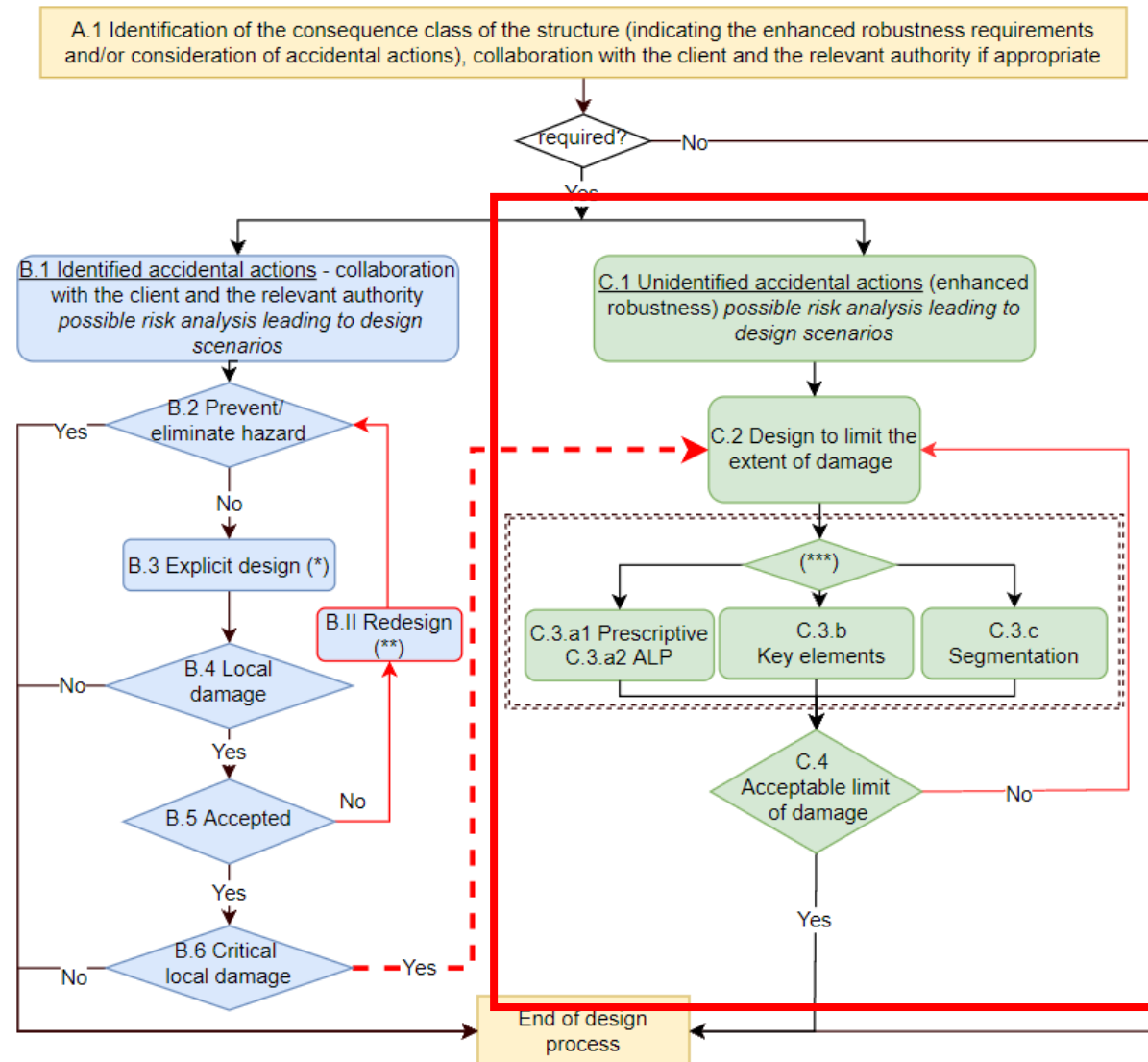
Princip návrhu

■ Tři hlavní části vývojového diagramu

A. Určení třídy následků dané konstrukce

B. Postup návrhu pro **identifikované** mimořádné zatížení

C. Postup návrhu pro neidentifikované mimořádné zatížení

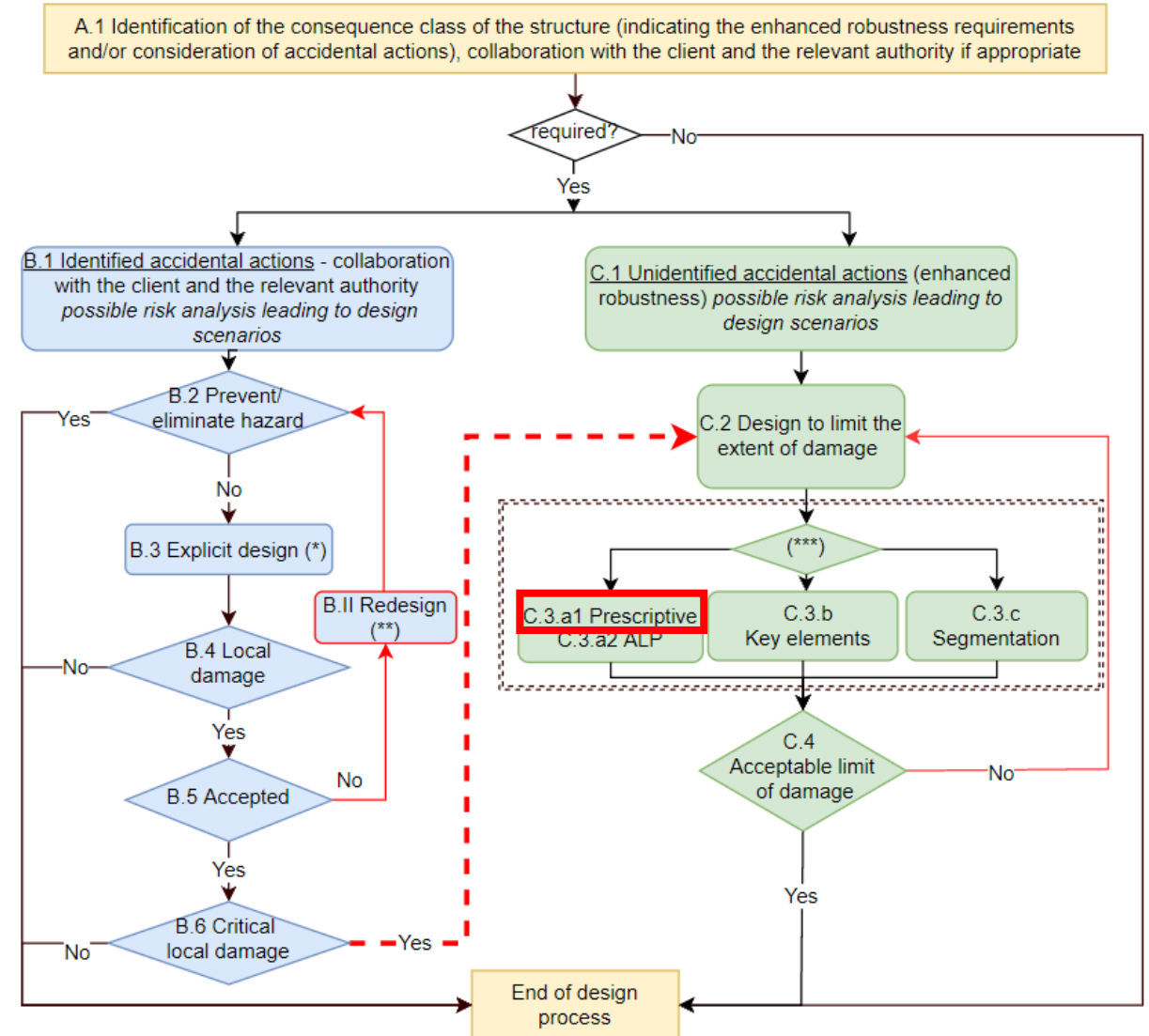


5. Neidentifikované mimořádné zatížení

- **Návrh pro neidentifikovaná zatížení je založen na omezení rozsah lokálního poškození**
 - Metoda alternativního přenesení sil (Alternative Load Path, ALP)
 - Metoda klíčových prvků
 - Metoda segmentace
- **Pokročilost návrhu se pohybuje od zjednodušených analytických modelů až po sofistikované plně nelineární analýzy**
- **Výběr metody závisí třídě následků**

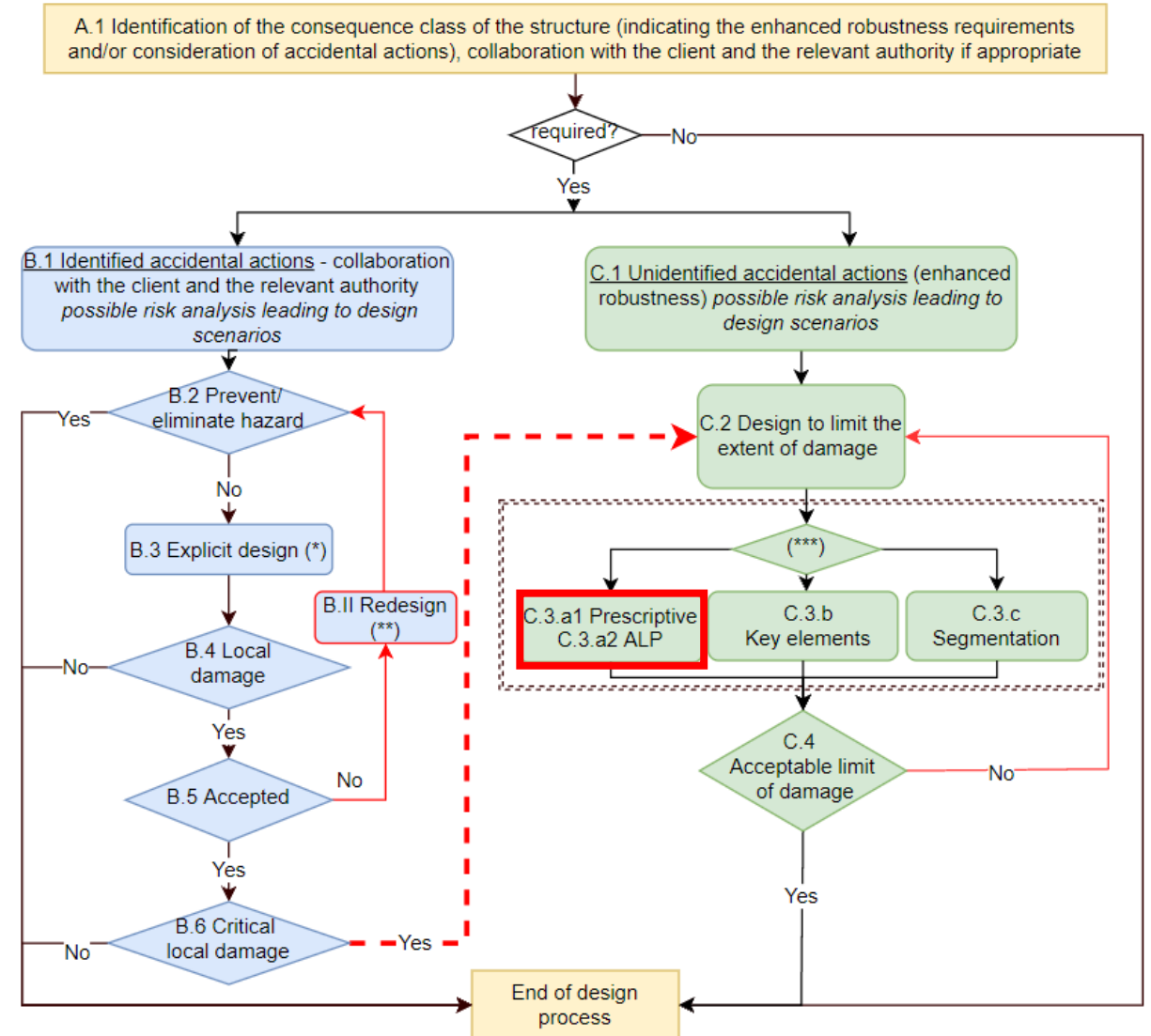
5. Neidentifikované mimořádné zatížení

- Pro CC2a norma EN 1991-1-7 navrhuje účinným systémem vodorovného spojení (Horizontal Tying systém), který je normován



5. Neidentifikované mimořádné zatížení

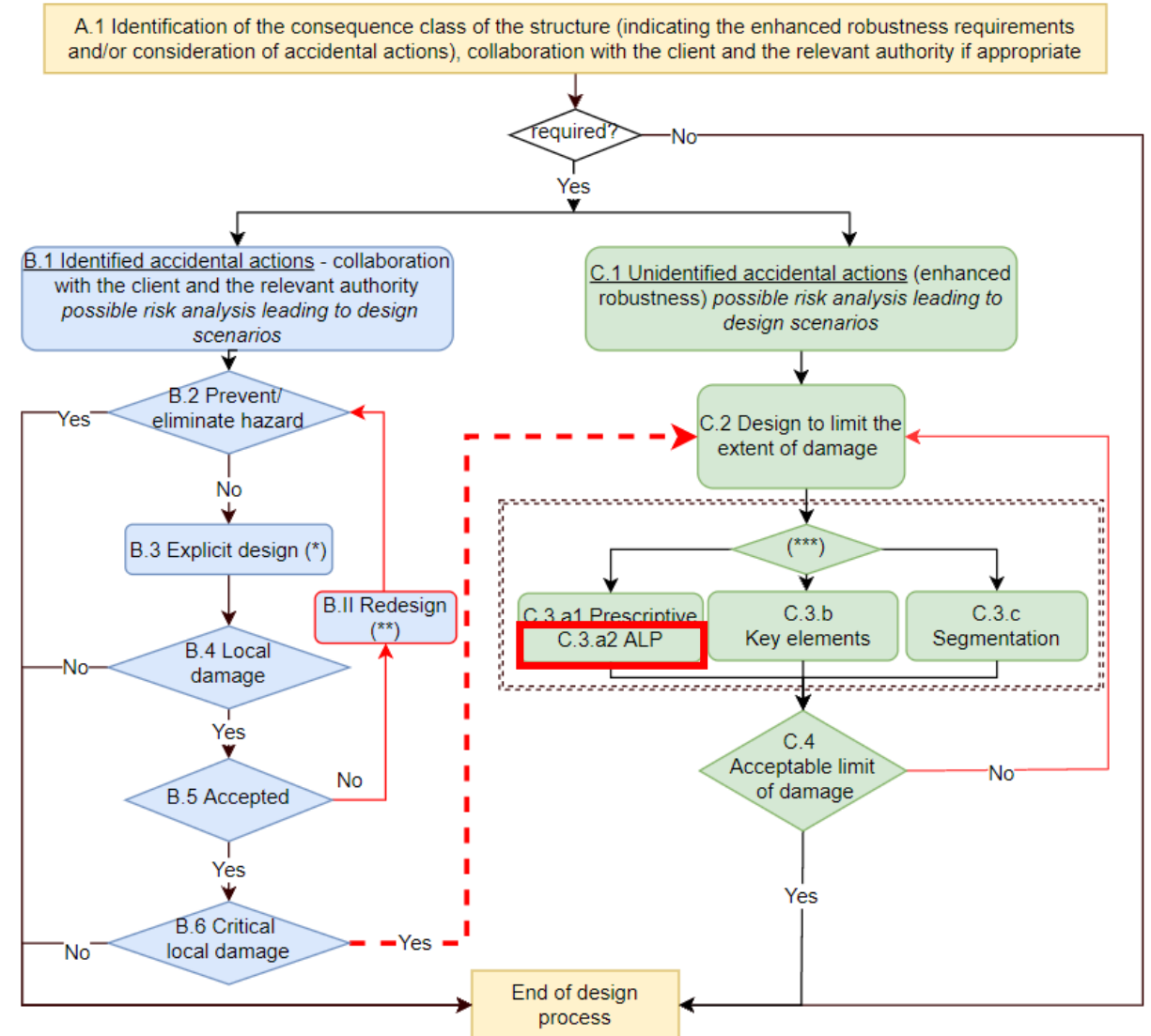
- Pro CC2b norma EN 1991-1-7 navrhuje účinným systémem vodorovného spojení (Horizontal Tying systém), který je normován
- nebo
- ověření vyjmutím prvku
- metoda ALP



5. Neidentifikované mimořádné zatížení

■ Pro CC3

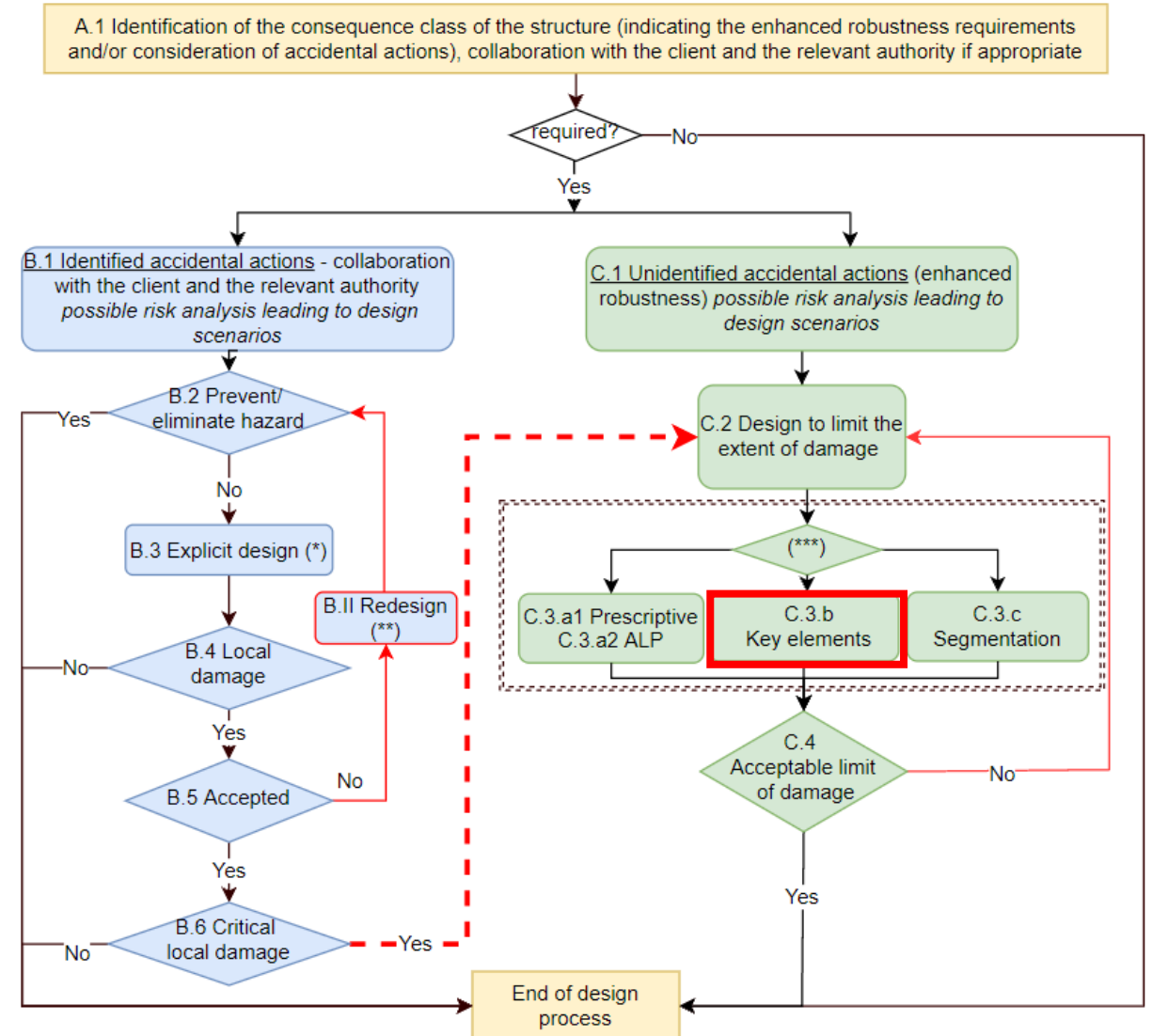
se doporučuje využít metodu ALP a zdokonalených přístupů, např. dynamické analýzy.



5. Neidentifikované mimořádné zatížení

■ Pokud ztráta nosného prvku způsobí zřícení celku, jedná se o klíčový prvek

■ Návrh se zaměří na místní zvýšení únosnosti klíčového prvku pro uvažovanou mimořádnou událost

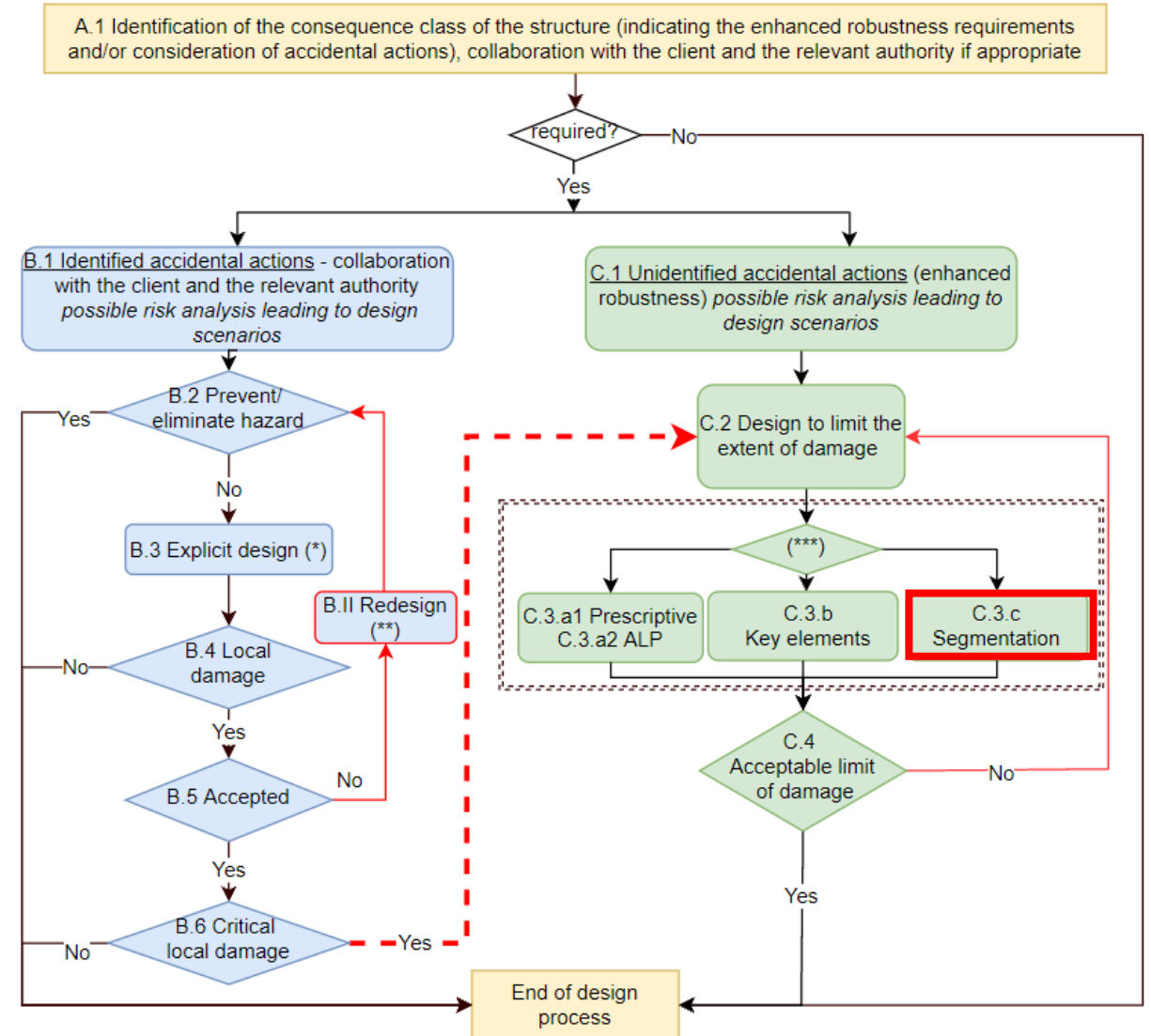


5. Neidentifikované mimořádné zatížení

■ Alternativou je segmentace

■ Cílem segmentace je zabránit nebo omezit počáteční poškození tím, že se poruchová část konstrukce oddělí od zbývajících konstrukce

■ Segmentaci lze založit na slabých nebo silných přípojích prvku



5. Neidentifikované mimořádné zatížení

- Možnosti návrhu jsou uvedeny
v kapitole 5 monografie FAILNOMORE

- Jsou dále popsány v řešených příkladech

6. Význam styčníků

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
4. Identifikované zatížení
5. Neidentifikované zatížení
- 6. Význam styčníků**
7. Závěry

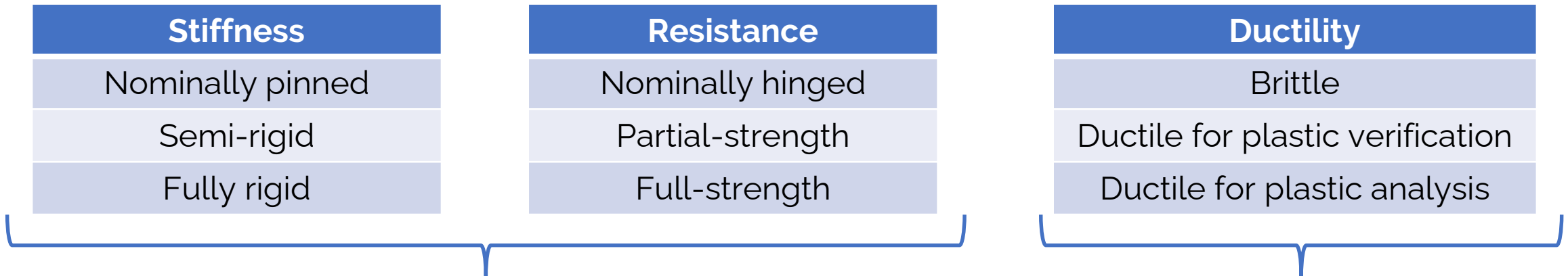
■ Obsah prezentace

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
4. Návrh na identifikované mimořádné zatížení
5. Návrh na neidentifikované mimořádné zatížení
6. Význam styčníků
 - Požadavky na tažnost spojů**
 - Zjednodušená metoda pro spoje čelní deskou**
7. Závěry

6. Význam styčníků

■ Structural joints are important structural elements influencing the global response of a steel or composite building

■ A joint can be classified in terms of stiffness, resistance and ductility:



6. Význam styčníků

- **The component method is the analytical method recommended in EN 1993-1-8 and in EN 1994-1-1 for the characterisation of steel and composite joints in terms of stiffness, resistance and ductility**
- **The calculation of these joint properties is basically possible, whatever is the applied loading but:**
 - the codes are only providing precise application rules for joints subjected to bending moments while, under accidental/exceptional events, interactions between bending moments and axial forces may develop at the level of the joints
 - the joint loading sequence under accidental/exceptional events usually differ significantly from those considered at ULS
- **In the FAILNOMORE Design Manual, methods allowing for an accurate prediction of the joint properties when subjected to M-N interaction are provided in Annex A.1**
These rules are not detailed in this presentation

6. Význam styčníků

- Ohybově tuhé styčníky s plnou únosností prvků umožňují zanedbat jejich vliv na rozložení vnitřních sil a na celkovou únosnost. Obvykle se jedná o neekonomické řešení.
- Pro plastickou globální analýzu, se vyhýbáme vzniku plastického kloubu ve styčníku.
V prvku v přiléhajícím k průřezu je třeba dát pozor na horní mez pevnosti oceli a uvažovat s duktilitou spoje případně s jeho zvýšenou únosností.

Resistance
Nominaly hinged
Partial-strength
Full-strength
Over-strength

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

Pokud styčník není navržen se zvýšenou únosností je třeba počítat robustnost!

6. Význam styčníků

- Under exceptional events, it is generally required to take advantage from the development of large deformations and from the ultimate resistance of the material with the objective of finding a new state of equilibrium in the deformed shape after an event
- So, ductility and large deformation capacity are seen as important properties to be provided to the structural joints
- Regardless the nature of the event or of the adopted design strategy, the preliminary design of all structural joints for ductility appears as a prerequisite (except for over-strength joints)

Ductility
Brittle
Ductile for plastic verification
Ductile for plastic analysis

To achieve it, **minimum ductility requirements** which should be all the time respected by the joints are provided in the **FAILNOMORE Design Manual**

6.1 Požadavky na tažnost spojů

- The objective is to avoid the activation of brittle joint components at failure
- For pinned joints, requirements are expressed for the welds and for the bolt diameter
 - For the welds, the use of **full penetration or full-strength welds** is recommended
 - Design criteria to guarantee the full-strength character of welds are provided in the FAILNOMORE Design Manual
 - For bolts in tension, it is recommended to respect the design criterion provided in EN 1993-1-8 which links the diameter "d" of the bolt to the thickness "t" of the component in bending
$$t \leq 0,36d\sqrt{f_{ub}/f_y}$$
This criterion guarantees the **activation of a ductile failure mode at the level of the component in bending**
 - Moreover, to allow a sufficient rotation, detailing requirements specific for pinned joints are also provided in the FAILNOMORE Design Manual

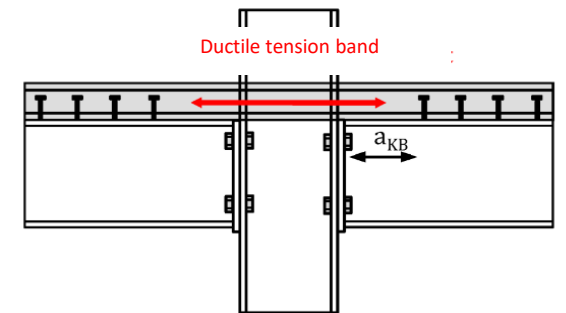
6.1 Požadavky na tažnost spojů

■ For partial-strength joints :

- the use of full-penetration or full-strength welds is also recommended
- If a component in bending is activated at failure, it is also recommended to respect the design criterion provided in EN 1993-1-8 which links the diameter “d” of the bolt to the thickness “t” of the component in bending
- Failure modes “column web in transverse compression” and “beam flange and web in compression” should be avoided as they involve local instability phenomena

■ Some specific recommendations are also provided for partial-strength composite joints regarding:

- The properties of the rebars to be used in the vicinity of the joints
- The positioning of the first shear stud to be kept at a certain distance from the column



6.1 Požadavky na tažnost spojů

■ For full-strength joints :

- The same recommendations as for partial-strength joints apply as the connected members may exhibit an overstrength which could lead to the activation of the joints at failure

■ For over-strength joints :

- There is no specific requirement

- **As stated in the title, these propositions have to be seen as minimum ductility requirements**
Addition requirements, more specific to the adopted design strategy, may also have to be respected

6.2 Spoje čelní deskou



■ An alternative to the previously presented criteria the simplified method proposed by Rölle can be used:

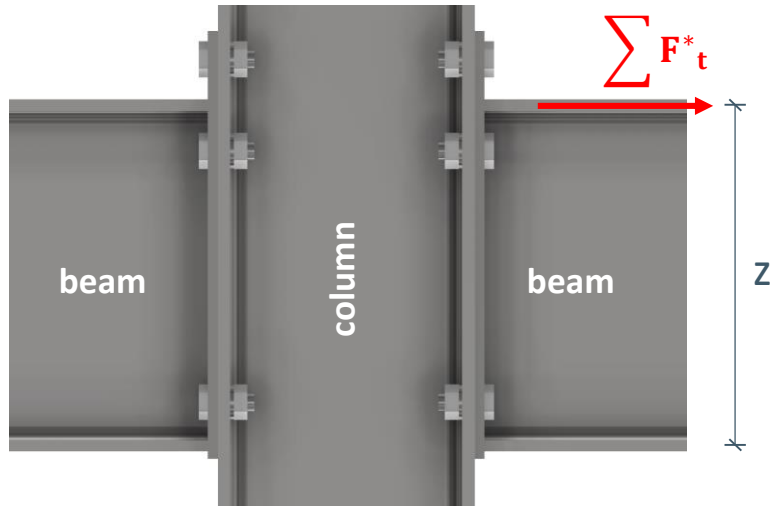
- User friendly
- Easy characterisation of joint
- Guarantee of ductility through simple constructive criteria
- Total joint rotations >80 mrad
- Aims to reach an optimal Mode 2 failure
- Validated by experiments

■ Applicable for:

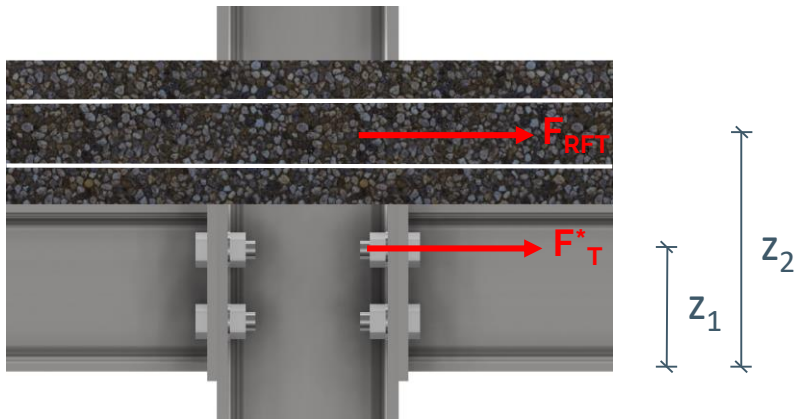
- Flush and extended endplate all-steel joints
- Steel concrete composite joints - 2 bolt rows
- Both plastic & ultimate joint moment resistance
- Partial strength joints: $M_{j,pl,Rd} < 0,7 \cdot M_{b,pl,Rd}$

6.2 Spoje čelní deskou

all-steel joint



composite joint



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

Simplified method of Rölle – how it works

- The product of bolts' tensile strength and relevant lever arm ($F_{t,Rd} \cdot z$) assumed to predominantly define M_j
- Additional parameters influencing M_j considered through a correction factor

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

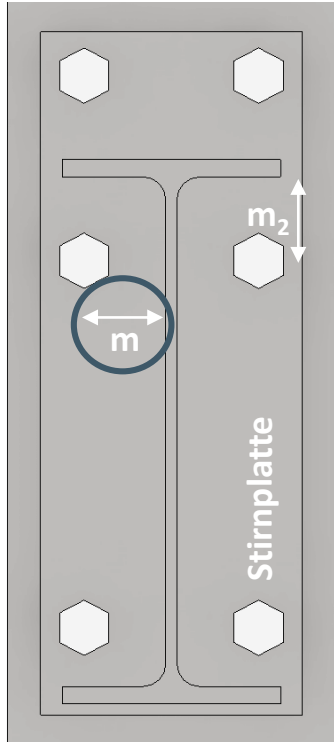
- Finally, moment capacity given by a simple formula:

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

(1) Case of extended all-steel joint

6.2 Spoje čelní deskou

Simplified method of Rölle – ductility criteria



- Strength of column guaranteed through simple geometrical criteria
- Highly ductile joints achieved through simple construction criteria for the components of joints
- Consideration of horizontal distance **m** for the ductility criterion of stiffened T-stub

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

	parameter	criterion*
Criteria for ductile joints	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

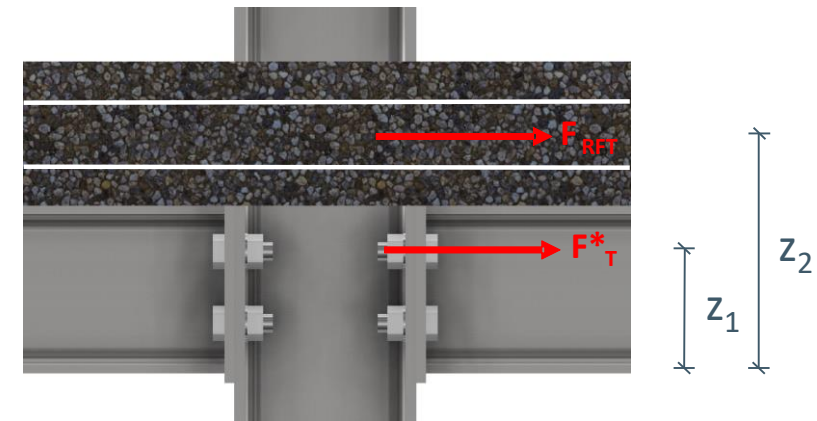
*The criteria limits are linked to the specified range of steel grades for which tests were available, but it should not be concluded that the higher steel grades do not allow for high ductility

6.2 Spoje čelní deskou

Simplified method of Rölle – Application in 3 steps

- **Step 1** - Selection of column profile on basis of simple geometrical criteria
- **Step 2** - Selection of the joint components with the help of simple ductility criteria for the T-stub
- **Step 3** - Derivation of moment resistance:

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

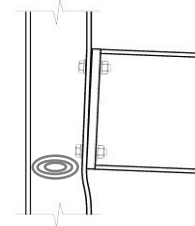


6.2 Spoje čelní deskou

Simplified method of Rölle – Application step 1

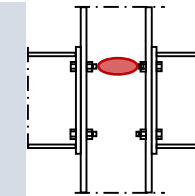
Column profile – range of validity

Column web in compression $\frac{\sqrt{h_c \cdot d_B}}{t_{wc}^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{355}{f_{y,c}}} \cdot \sqrt{\frac{f_{uB}}{1.000}} < 7,0$



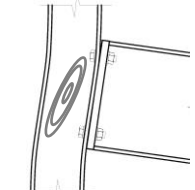
Column web in tension

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



Column web in shear

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



*See Annex A.3.1 in FAILNOMORE Design manual

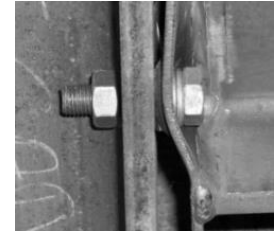
6.2 Spoje čelní deskou

Simplified method of Rölle – Application step 2

Ductility criteria for T-stub

Punching shear – lower limit t_{ep}

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



Ductility – upper limit t_{ep}
(case of stiffened T-stub)

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



Upper limit t_{fc}
for $0,9 \cdot t_{EP} \leq t_{fc} \leq t_{EP}$
(case of unstiffened T-stub)

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

*See Annex A.3.1 in FAILNOMORE Design manual

6.2 Spoje čelní deskou

Simplified method of Rölle – Application step 3

Derivation of moment resistance

Plastic joint resistance

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

Joint correction factor

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

Bolt tension load capacity

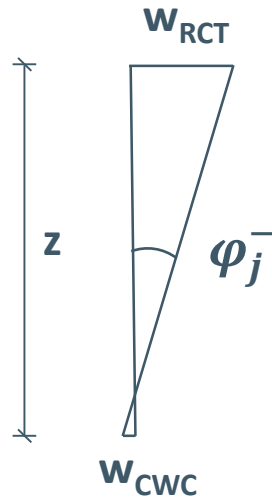
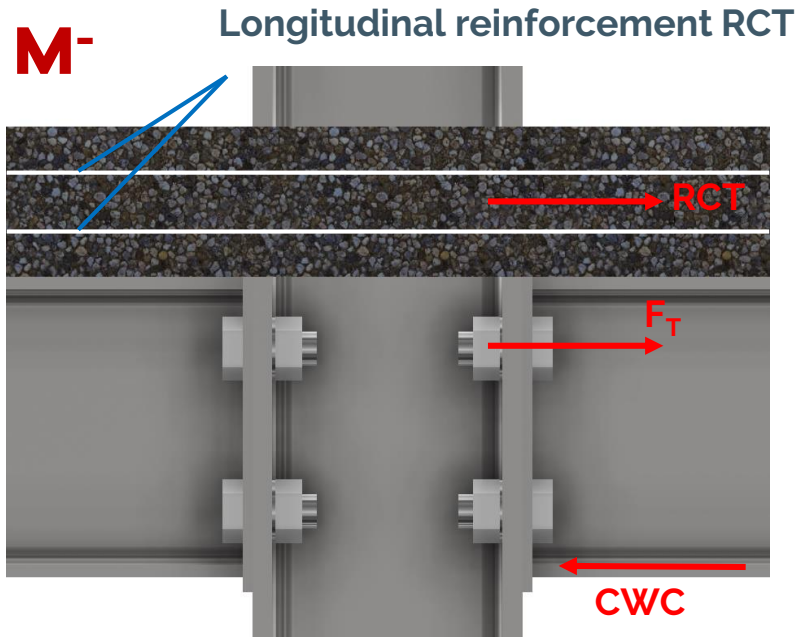
$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{uB} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

Tension load capacity of steel rebars

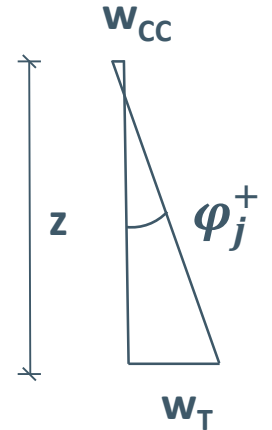
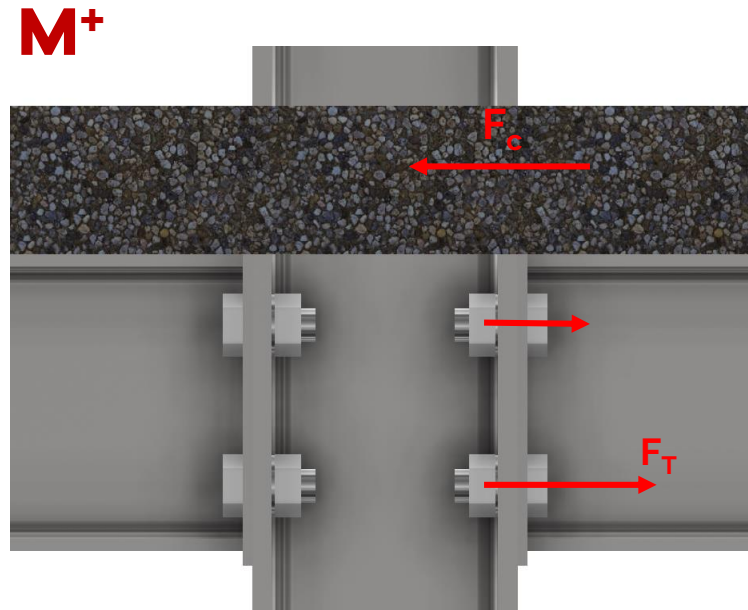
$$F_{t,RFT,Rd} = \frac{f_{sk} \cdot A_s}{\gamma_s}$$

*See Annex A.3.1 in FAILNOMORE Design manual

6.2 Spoje čelní deskou



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



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

■ Simplified method of Keller – deformation capacity of joints

- User friendly
- Easy estimation of the deformation capacity both for hogging and sagging moments
- Validated by experiments

*See Annex A.4.2 in FAILNOMORE Design manual

7. Závěry

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
4. Identifikované zatížení
5. Neidentifikované zatížení
6. Význam styčnicků
- 7. Závěry**

■ Obsah prezentace

1. Úvod
2. Princip návrhu
3. Třídy následků
4. Návrh na identifikované mimořádné zatížení
5. Návrh na neidentifikované mimořádné zatížení
6. Význam styčnicků
 - Požadavky na tažnost spojů
 - Zjednodušená metoda pro spoje čelní deskou
7. Závěry

7. Závěry

- V prezentaci byla představen princip návrhu únosnosti shrnutý v materiálech projektu FAILNOMORE
- Pozornost byla věnována spojům, které jsou pro únosnost klíčové.
Jsou popsány minimální požadavky na duktilitu.
- V dalších prezentacích budou popsán ukázány na praktických příkladech postupy návrhu na robustnost

V Praze

18.5.2022

**Děkuji! Dank je! Thank you! Merci!
Dankeschön! Grazie! Dziękuję Ci!
Obrigado! Mulțumesc! Gracias!**

Marta KUŘÍKOVÁ, Matyáš KOŽICH,
Zuzana KUBÍKOVÁ a František WALD

<http://steel.fsv.cvut.cz/FAILNOMORE/index.htm>

steelconstruct.com/eu-projects/failnomore



Research Fund for Coal & Steel

FAIL **NO
MORE**

