

STN EN 1991-7 ZAŤAŽENIE KONŠTRUKCIÍ

ČASŤ 7: MIMORIADNE ZAŤAŽENIA

Prednášajúci: Ing. Richard Hlinka, PhD.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Vzdelávanie pre projekt „Podpora kvality vzdelávania a výskumu pre oblasť dopravy ako motora ekonomiky“ (ITMS: 26110230076), ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho sociálneho fondu.



Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Obsah normy

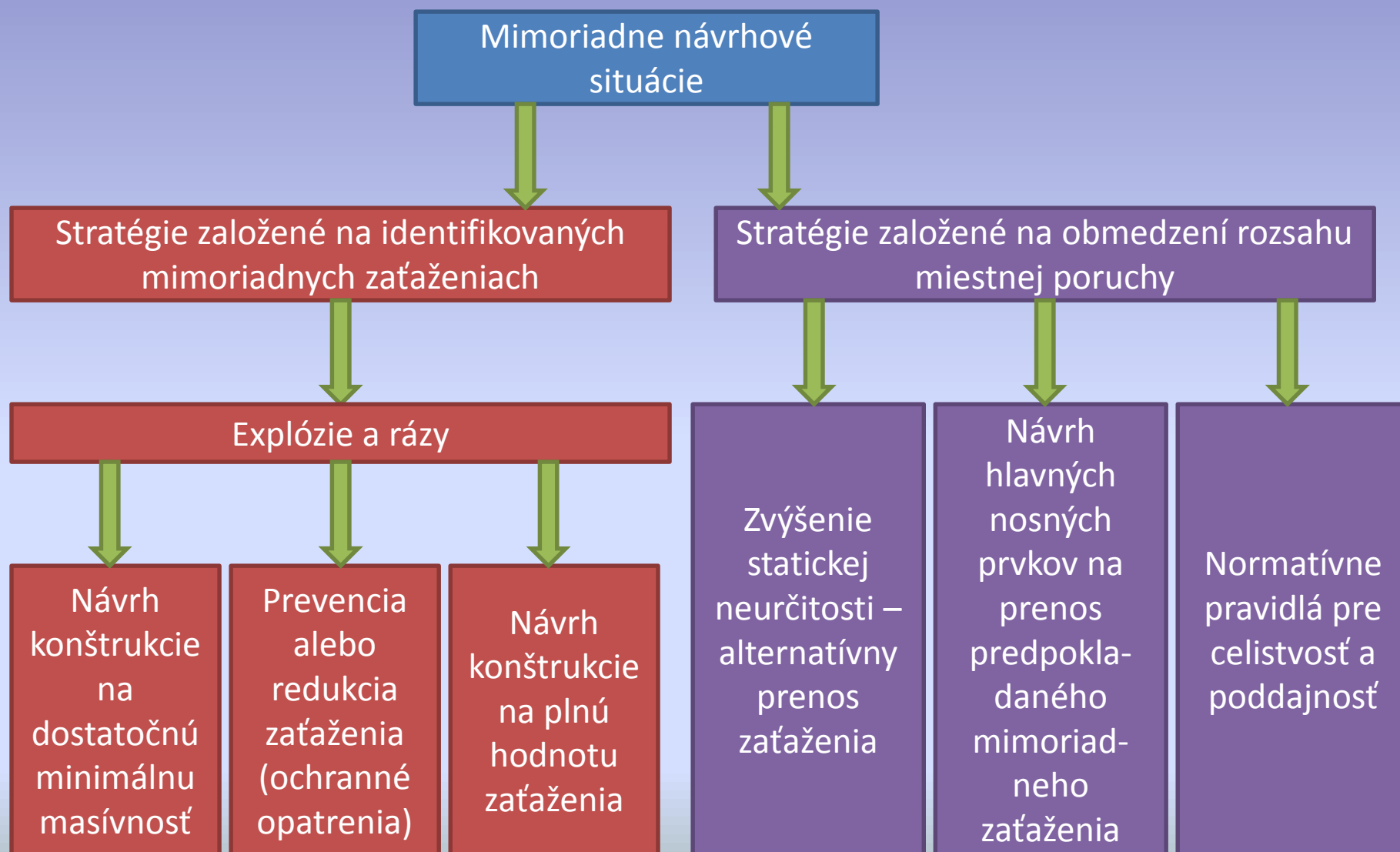
STN EN 1991-7 uvádza stratégie a pravidlá pre zabezpečenie budov a inžinierskych stavieb:

- stratégie založené na identifikovaných mimoriadnych zaťaženiach,
- stratégie založené na obmedzení rozsahu lokálnej poruchy.

- **Obsah:**
 - klasifikácia zaťažení (mimoriadne voľné zaťaženia)
 - návrhové situácie
 - rázy
 - explózie

- **Neplatí pre:**
 - explózie prachu v zásobníkoch (STN EN 1991-4)
 - nárazy vozidiel idúcich po moste (STN EN 1991-2)
 - vonkajšie explózie, vojenské udalosti, teroristické činy
 - zostatkovú stabilitu konštrukcií poškodených seizmicitou a požiarom

Návrhové situácie



Stratégie založené na identifikovaných mimoriadnych zaťaženiach

Mimoriadne zaťaženia, ktoré sa berú do úvahy, závisia od:

- **prijatých opatrení na zamedzenie alebo zmenšenie veľkosti mimoriadneho zaťaženia**
- **pravdepodobnosti výskytu mimoriadneho zaťaženia**
- **následkov poruchy spôsobenej identifikovaným mimoriadnym zaťažením**
- **verejnej mienky**
- **úrovne prijateľného rizika**

Mimoriadnym zaťaženiám sa priradzujú miery rizika. Je nereálne riziko úplne vylúčiť – istú mieru rizika treba prijať. Táto miera sa stanovuje na základe niekoľkých hľadísk.

Miestna porucha konštrukcie je akceptovateľná, ak nedôjde k porušeniu celej konštrukcie a je možné urobiť nevyhnutné bezpečnostné opatrenia.

Stratégie založené na identifikovaných mimoriadnych zaťaženiach

Opatrenia - stratégie:

- **prevencia vzniku mimoriadnych zaťažení**
- **zmenšenie pravdepodobnosti výskytu mimoriadnych zaťažení**
- **zmenšenie hodnôt mimoriadnych zaťažení**

- **ochrana konštrukcie proti účinkom mimoriadneho zaťaženia**

- **zaistenie dostatočnej tuhosti konštrukcie**
 - **návrh niektorých prvkov (od ktorých je závislá stabilita konštrukcie), ako nosných prvkov**
 - **použitie materiálov s dostatočnou poddajnosťou na pohltenie energie bez porušenia prvkov**
 - **zvýšenie statickej neurčitosti pre alternatívny prenos zaťaženia**

Hodnotenie rizík

Definícia rozsahu a obmedzení

Kvalitatívna analýza rizík

- identifikácia zdroja
- scenáre nebezpečenstva
 - opis následkov
- stanovenie opatrení

Kvantitatívna analýza rizík

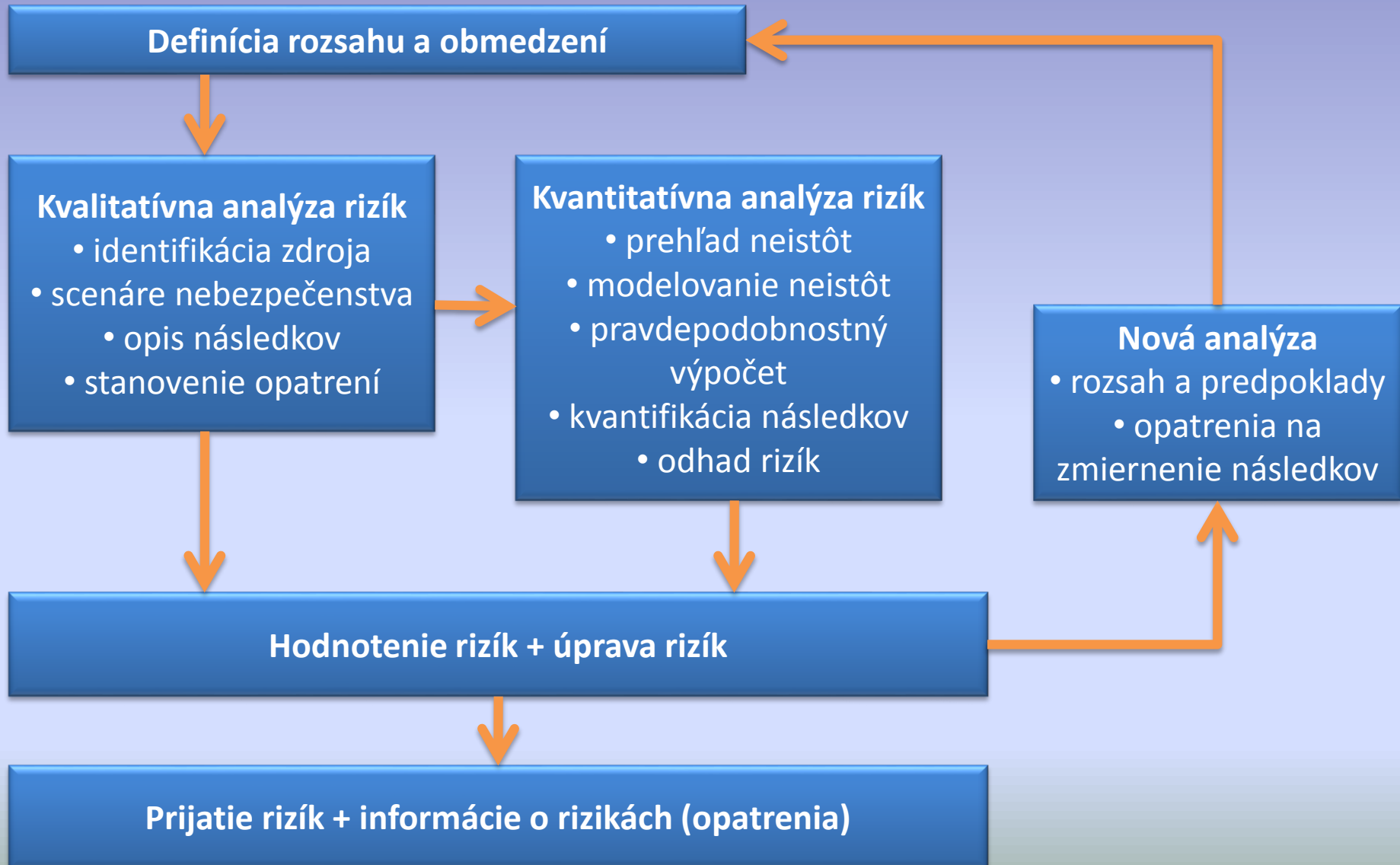
- prehľad neistôt
- modelovanie neistôt
- pravdepodobnostný výpočet
- kvantifikácia následkov
- odhad rizík

Nová analýza

- rozsah a predpoklady
- opatrenia na zmiernenie následkov

Hodnotenie rizík + úprava rizík

Prijatie rizík + informácie o rizikách (opatrenia)



Ráz

Rozdelenie:

- náraz cestných vozidiel
- náraz vysokozdvížných vozíkov
- náraz vlakov
- náraz plavidiel
- tvrdé pristátie helikoptér na strechách budov

Charakteristika zaťaženi:

- zaťaženia nárazom sa stanovujú cez dynamickú analýzu alebo pomocou ekvivalentnej statickej sily
- predpoklad, že narážajúce teleso pohltí celú energiu nárazu

Mimoriadne zaťaženia vyvolané vozidlami cestnej dopravy

Náraz na spodnú konštrukciu:

- piliere a opory mostov
- sila v smere jazdy a sila kolmo na smer jazdy

Kategórie pozemnej komunikácie	Sila F_{dx} ^{a)} [kN]	Sila F_{dy} ^{a)} [kN]
Diaľnice a hlavné cestné komunikácie	1 000	500
Ostatné cestné komunikácie	750	375
Miestne komunikácie	500	250
Uzavreté plochy a parkovacie garáže s prístupom:		
– osobných vozidiel	50	25
– ťažkých vozidiel ^{b)}	150	75

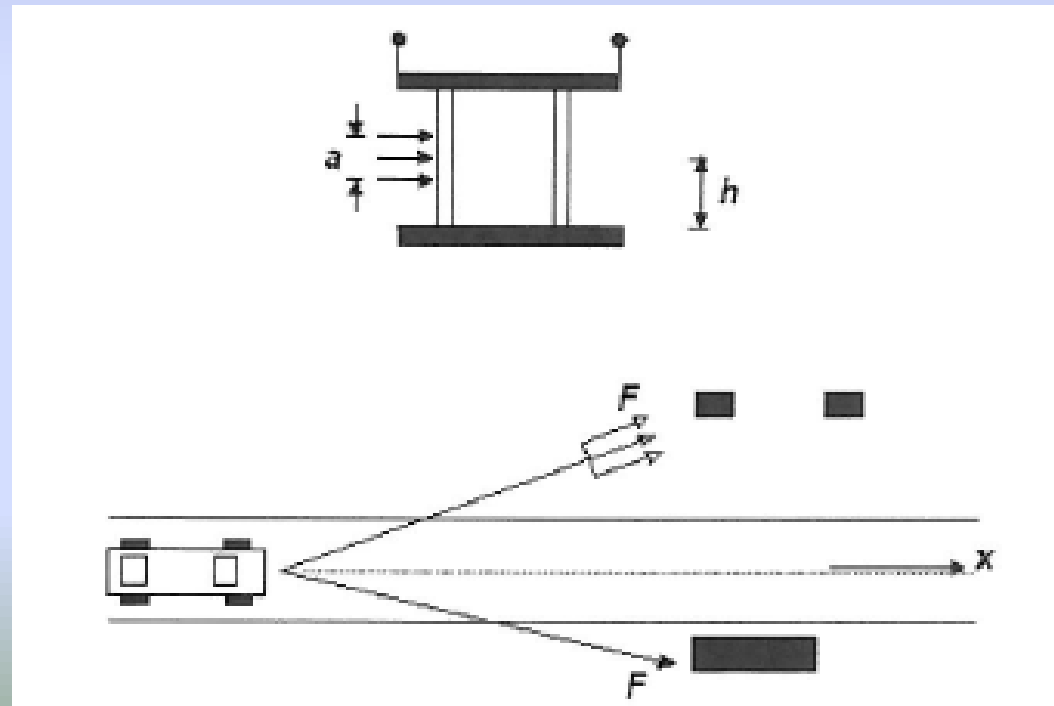
^{a)} x – smer jazdy, y – kolmo na smer jazdy.

^{b)} Termín „ťažké vozidlo“ sa vzťahuje na vozidlá s celkovou maximálnou hmotnosťou väčšou ako 3,5 t

Mimoriadne zaťaženia vyvolané vozidlami cestnej dopravy

Pôsobisko nárazovej sily:

- **ťažké vozidlá:**
 - 0,5 až 1,5 m nad úrovňou vozovky
 - v mieste bezpečnostných zariadení
 - na ploche max. 0,5 x 1,5 m
- **osobné autá:**
 - 0,5 nad úrovňou vozovky
 - na ploche max. 0,25 x 1,5 m



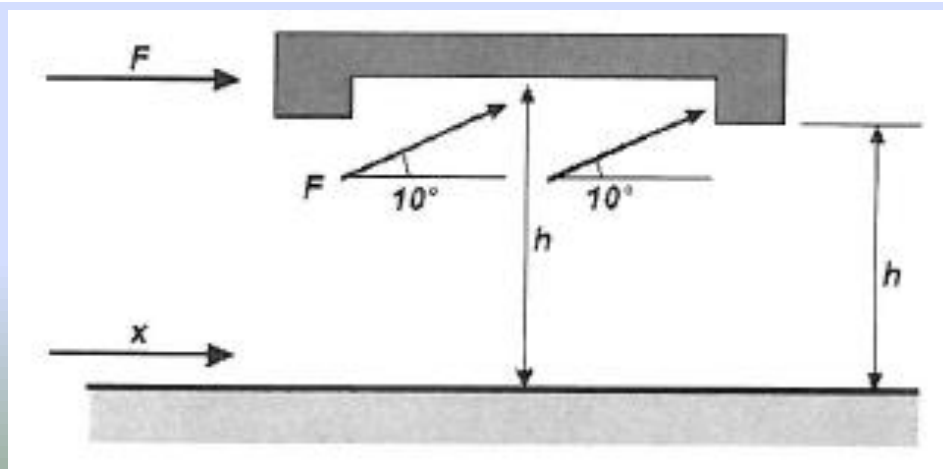
Mimoriadne zaťaženia vyvolané vozidlami cestnej dopravy

Náraz na hornú konštrukciu:

- ak nie je potrebná svetlá výška
- nie sú ochranné opatrenia

Kategória pozemnej komunikácie	Návrhová hodnota ekvivalentnej statickej sily F_{dx} ^{a)} [kN]
Diaľnice a hlavné cestné komunikácie	500
Ostatné cestné komunikácie	375
Miestne komunikácie	250
Uzavreté plochy a parkovacie garáže	75

^{a)} x = smer jazdy



Mimoriadne zaťaženia vyvolané vysokozdvížnými vozíkmi

Návrhové hodnoty zaťaženia sa stanovujú:

- s ohľadom na dynamické vlastnosti vysokozdvížného vozíka
- s ohľadom na dynamické vlastnosti konštrukcie
- na základe nelineárnych deformácií konštrukcie
- použitím ekvivalentnej statickej sily F

$$F = 5.W$$

W = tiaž vozíka + tiaž zdvíhaného nákladu

Sila F pôsobí vo výške 0,75 m od podlahy

Mimoriadne zaťaženia spôsobené železničnými vozidlami

Návrhové hodnoty zaťaženia od nárazu sa stanovujú na nosné prvky spodnej stavby (piliere, opory, stĺpy).

Klasifikácia konštrukcií – triedy konštrukcií vystavených nárazom od železničných vozidiel pri vykoľájení

Trieda A	Konštrukcie ponad alebo v blízkosti prevádzkovej železnice, buď trvalo obývané alebo slúžiace dočasne pre verejnosť, alebo viac ako jednopodlažné.
Trieda B	Masívne konštrukcie v blízkosti prevádzkovej železnice ako sú mosty s cestnou komunikáciou alebo jednopodlažné budovy, ktoré nie sú trvale obývané alebo neslúžia ako dočasné miesto, kde sa zhromažďuje verejnosť.

Mimoriadne zaťaženia spôsobené železničnými vozidlami

Konštrukcie triedy A

- pre rýchlosť do 120 km/h

Vzdialenosť „ d “ od nosných prvkov k osi najbližšej koľaje (m)	Sila F_{dx} ^{a)} (kN)	Sila F_{dy} ^{a)} (kN)
Nosné prvky: $d < 3$ m	Má sa stanoviť pre konkrétny projekt. Ďalšie informácie sú uvedené v prílohe B.	Má sa stanoviť pre konkrétny projekt. Ďalšie informácie sú uvedené v prílohe B.
Pre spojité steny a konštrukcie stenového charakteru: $3 \text{ m} \leq d \leq 5 \text{ m}$	4 000	1 500
$d > 5 \text{ m}$	0	0

^{a)} x = smer jazdy, y = kolmo na smer jazdy.

- pre rýchlosť do 50 km/h sa hodnoty redukujú o 50%

- pre rýchlosti nad 120 km/h treba uvažovať ďalšie ochranné opatrenia

Mimoriadne zaťaženia spôsobené železničnými vozidlami

Konštrukcie triedy B

- musia spĺňať podmienky pre triedu A + ďalšie požiadavky

Konštrukcie v oblastiach za ukončením koľají

- výjazd vozidiel za ukončenie koľají sa považuje za mimoriadnu návrhovú situáciu
- opatrenia pre zabránenie výjazdu vozidla sa stanovujú na základe využitia priestoru za koncom koľají



Mimoriadne zaťaženia spôsobené loďami

Mimoriadne zaťaženia od nárazu plavidiel sa stanovujú vzhľadom na:

- typ vodnej cesty
- podmienky pri povodniach
- typ a ponor plavidiel a ich správanie pri náraze (CEMT)
- typ konštrukcie a jej charakteristiky na pohltenie nárazu

CEMT ^{a)} zatriedenie	Referenčný typ plavidla	Dĺžka l (m)	Hmotnosť m (t) ^{b)}	Sila F_{dx} ^{c)} (kN)	Sila F_{dy} ^{c)} (kN)
I		30 – 50	200 – 400	2 000	1 000
II		50 – 60	400 – 650	3 000	1 500
III	„Gustav König“	60 – 80	650 – 1 000	4 000	2 000
IV	trieda „Europa“	80 – 90	1 000 – 1 500	5 000	2 500
Va	veľké plavidlo	90 – 110	1 500 – 3 000	8 000	3 500
Vb	remorkér + 2 nákladné člny	110 – 180	3 000 – 6 000	10 000	4 000
Vla	remorkér + 2 nákladné člny	110 – 180	3 000 – 6 000	10 000	4 000
Vlb	remorkér + 4 nákladné člny	110 – 190	6 000 – 12 000	14 000	5 000
Vlc	remorkér + 6 nákladných člnov	190 – 280	10 000 – 18 000	17 000	8 000
VII	remorkér + 9 nákladných člnov	300	14 000 – 27 000	20 000	10 000

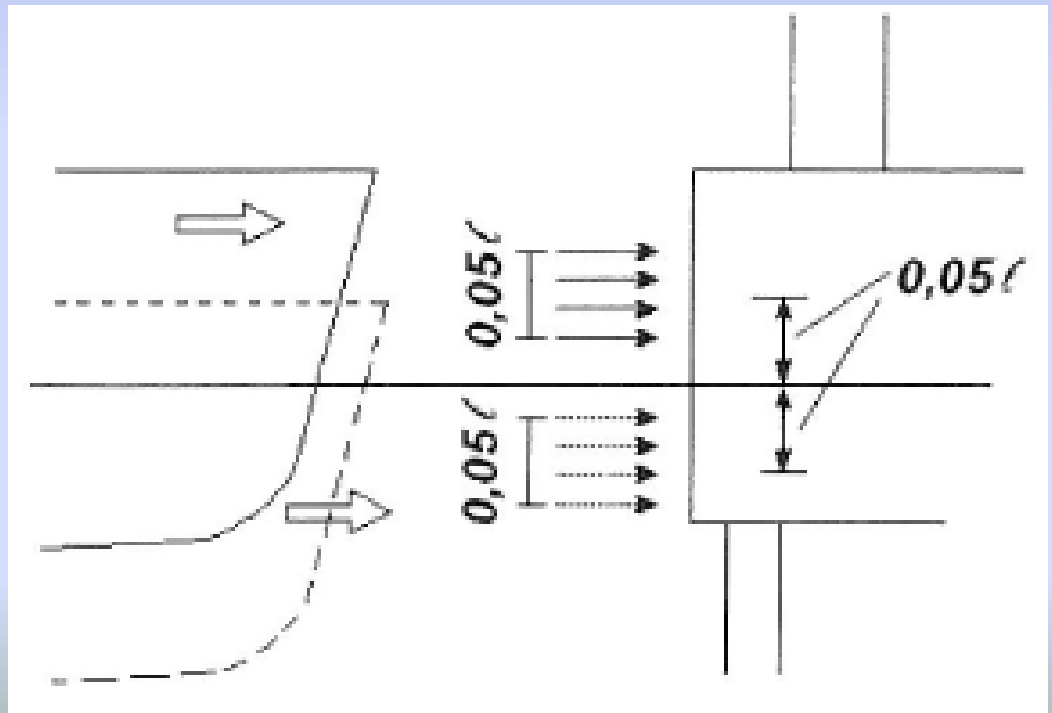
Mimoriadne zaťaženia spôsobené loďami

Nárazová sila:

- čelná F_{dx}

- bočná F_{dy}

- trecia $F_R = \mu \cdot F_{dy}$



Mimoriadne zaťaženia spôsobené helikoptérmi

Návrhová hodnota ekvivalentnej statickej sily:

$$F_d = C\sqrt{m}$$

kde m je hmotnosť helikoptéry

$$C = 3,0 \text{ kNkg}^{-0,5}$$

Sila pôsobí na ploche 2 x 2 m, kdekoľvek v oblasti do 7,0 m od okraja pristávacej plochy

Vnútorne explózie

Uvažujú sa pri budovách:

- **v ktorých sa používa plyn,**
- **kde sa skladujú výbušné látky,**
- **kde sa používajú tekutiny tvoriace výbušné plyny,**
- **kde sa výbušné plyn skladujú alebo prepravujú.**

Explózia je definovaná ako rýchla chemická reakcia prachu, plynu a pár zo vzduchu. Vznikajú vysoké teploty a vysoké pretlaky v miestnosti. Explózia sa šíri pomocou tlakových vln.

Pri konštrukciách triedy CC1 sa nemusia účinky explózií overovať.

Pri konštrukciách triedy CC2 a CC3 sa môžu pri posúdení na mimoriadne zaťaženia od vnútorných explózií použiť zjednodušené výpočtové modely. Tie využívajú ekvivalentné statické zaťaženia. Pre konštrukcie triedy CC3 sa odporúča dynamická analýza.

Vnútorne explózie

Opatrenia na zníženie účinkov zaťaženia od explózií:

- návrh vetracích panelov s definovanou kapacitou uvoľňovania tlakov,
- bezpečnostné pravidlá pri skladovaní nebezpečných látok,
- ďalšie opatrenia

Zásady navrhovania:

- konštrukcia musí byť navrhnutá tak, aby nedošlo k jej zrúteniu,
- pripúšťa sa porušenie prvkov, ktoré nie sú hlavnými nosnými prvkami tak, aby nebola porušená stabilita celej konštrukcie
- snaha o zmiernenie účinkov explózie
 - návrh konštrukcie na maximálny tlak od explózie,
 - použitie vetracích prvkov s dostatočnou kapacitou
 - oddelením príľahlých častí, kde sa skladujú výbušné látky
 - obmedzenie priestorov s rizikom vzniku explózie
 - ochranné opatrenia pre zabezpečenie nešírenia sa výbuchu na okolité konštrukcie

Vnútorne explózie – explózie prachových materiálov

Prachový materiál je charakterizovaný materiálovou konštantou, ktorá určuje stupeň výbušnosti.

Na základe tejto konštanty sa stanovuje potrebná plocha vetracích otvorov.

Druh prachu	K_{St} (kN/m ² m/s)
Hnedé uhlie	18 000
Celulóza	27 000
Káva	9 000
Kukurica, drvená kukurica	12 000
Kukuričný škrob	21 000
Obilie	13 000
Sušené mlieko	16 000
Prachové uhlie	13 000
Kýmna zmes	4 000
Papier	6 000
Hrachová múka	14 000
Pigmentové farbivo	29 000
Guma	14 000
Ražná múka, pšeničná múka	10 000
Sójová múka	12 000
Cukor	15 000
Prášok na pranie	27 000
Drevo, piliny	22 000

Vnútorne explózie – explózie zemného plynu

Tlak na prvky konštrukcie pri výbuchu plynu sa stanoví ako väčšia z hodnôt:

$$p_d = 3 + p_{stat}$$

$$p_d = 3 + p_{stat} / 2 + 0,04 / (A_v / V)^2$$

p_{stat} tlak , pri ktorom sa porušia vetracie prvky

A_v plocha vetracích prvkov

V objem priestoru

Stratégie založené na obmedzení rozsahu miestnej poruchy

Zmenšenie možnosti vzniku poruchy – postupy:

- návrh nosných prvkov konštrukcie na účinok mimoriadneho zaťaženia
- návrh konštrukcie tak, aby pri vzniku lokálnej poruchy nedošlo k celkovému poškodeniu konštrukcie alebo jej podstatnej časti
- použitie konštrukčných pravidiel na navrhovanie
 - priestorové previazanie väzbami na získanie dostatočnej celistvosti konštrukcie
 - minimálna úroveň poddajnosti nosných prvkov vystavených rázom

Navrhovanie vzhľadom na následky lokálnej poruchy v budovách

Metódy sú založené na predpoklade, že nedôjde k neúmernému zrúteniu konštrukcie pri vzniku lokálnej poruchy. Stavba má v závislosti od tried následkov dostatočnú masívnosť. Minimálny čas, ktorý je potrebný, aby stavba po havárii vydržala, je stanovený ako čas potrebný na evakuáciu a záchranu osôb. Dlhšie časové intervaly sa požadujú pri zabezpečení nebezpečných látok.

Triedy následkov pre budovy

- **CC1 až CC3**

Mimoriadne návrhové situácie – triedy následkov

CC1 – malé následky poruchy

- nevyžadujú sa žiadne mimoriadne opatrenia, overuje sa len masívnosť a stabilita konštrukcie

CC2 – stredné následky poruchy

- použitie normatívnych návrhových pravidiel alebo zjednodušený výpočet pomocou staticky ekvivalentných modelov

CC3 – veľké následky poruchy

- rozbor špecifického prípadu s cieľom stanoviť požadovanú úroveň spoľahlivosti
- zdokonalené metódy – dynamická analýza
 - nelineárne modely
 - interakcia medzi zaťažením a konštrukciou

Mimoriadne návrhové situácie – triedy následkov

Trieda následkov CC	Príklady kategorizácie podľa typu budov a ich používani
1 Skupina s malým stupňom rizika	<p>Samostatné obytné domy max. štvorpodlažné.</p> <p>Poľnohospodárske budovy</p> <p>Budovy s občasným výskytom osôb za predpokladu, že každá časť takejto stavby je vzdialená od ďalšej obytnej budovy alebo oblasti navštevovanej ľuďmi aspoň o 1,5 násobok výšky stavby</p>
2a Skupina s nižším stupňom rizika	<p>Samostatné 5 podlažné obytné domy</p> <p>Hotely max 4 podlažné</p> <p>Budovy s bytmi, apartmánmi a ďalšie obytné budovy nepresahujúce 4 podlažia.</p> <p>Administratívne budovy nepresahujúce 4 podlažia</p> <p>Priemyselné stavby nepresahujúce 3 podlažia</p> <p>Obchodné plochy nepresahujúce 3 podlažia s plochou každého podlažia max. 1000 m²</p> <p>Školské zariadenia jednopodlažné</p> <p>Budovy max dvojpodlažné, kde je povolený vstup verejnosti a plocha jednotlivých podlaží je najviac 2000 m²</p>

Mimoriadne návrhové situácie – triedy následkov

Trieda následkov CC	Príklady kategorizácie podľa typu budov a ich používaní
<p>2b</p> <p>Skupina s vyšším stupňom rizika</p>	<p>Hotely, budovy s bytmi, apartmánmi a ďalšie obytné budovy vyššie ako 4 podlažia ale nanajvýš pätnásťpodlažné</p> <p>Školské zariadenia vyššie ako 1 podlažie, max. pätnásťpodlažné</p> <p>Obchodné plochy vyššie ako 3 podlažia, max pätnásťpodlažné</p> <p>Nemocnice nepresahujúce 3 podlažia</p> <p>Administratívne budovy vyššie ako 4 podlažia ale max. pätnásťpodlažné</p> <p>Všetky budovy s prístupnosťou verejnosti a s plochou podlažia väčšieho ako 2000 m² avšak na každom podlaží nanajvýš 5000 m²</p> <p>Budovy s parkovacími plochami max 6 podlaží</p>
<p>3</p> <p>Skupina s vysokým stupňom rizika</p>	<p>Všetky stavby, ktoré presahujú obmedzenie plôch jednotlivých podlaží a ich počtu v triedach následkov 2a a 2b</p> <p>Všetky stavby, kde sa zhromažďuje značný počet osôb</p> <p>Štadióny s viac ako 5 000 divákmi</p> <p>Stavby s nebezpečnými látkami alebo s technologickými procesmi</p>

Odporúčané stratégie

- CC1** - stavba je navrhnutá podľa STN EN 1990 až 1999
 - nie sú potrebné ďalšie špeciálne opatrenia

- CC2a** - CC1 +
 - vodorovné väzby alebo účinné ukotvenia zavesených stropov ku stenám

- CC2b** - CC1 +
 - vodorovné väzby pre rámové konštrukcie a nosné steny
 - zvislé väzby vo všetkých podperných stĺpoch a stenách
 - overenie medznej hodnoty lokálneho poškodenia a stability pri odstránení ľubovoľného stĺpu alebo nosníka podopierajúceho stĺp alebo ľubovoľnú časť nosnej steny

- CC3** - systematické hodnotenie rizík pri uvážení predvídateľných i nepredvídateľných rizík

Vodorovné väzby

Rámové konštrukcie:

- po obvode každého podlažia v úrovni podlahy a vo vnútorných častiach kolmo na seba
- bezpečné previazanie stĺpov a stien s ďalšími časťami konštrukcie
- spojité väzby
- väzby čo najbližšie k okrajom stropov, k osiam stĺpov a stien (aspoň 30%)
- materiál:
 - oceľové valcované profily,
 - betonárska výstuž v doske,
 - profilované oceľové plechy, ...
- spojitá vodorovná väzba musí preniesť ťahovú silu:

- vnútorné väzby $T_i = 0,8(g_k + \psi q_k) sL$ (min 75 kN)

- obvodové väzby $T_p = 0,4(g_k + \psi q_k) sL$ (min 75 kN)

s je vzdialenosť väzieb
L rozpätie väzby

Vodorovné väzby

Nosná stena:

- v triede následkov 2a sa masívnosť zabezpečuje usporiadaním konštrukcie do jednotlivých úsekov, aby sa zjednodušilo vzájomné pôsobenie všetkých častí
- pri triede 2b je potrebné vytvoriť v stropných konštrukciách spojitú vodorovnú väzbu (rozmiestňujú sa v dvoch na seba kolmých smeroch). Obvodové tiahla majú mať šírku 1,2 m

- vnútorné väzby
$$T_i = \frac{F_t (g_k + \psi q_k)}{7,5} \frac{z}{5} \quad (\min F_t)$$

- obvodové väzby
$$T_p = F_t$$

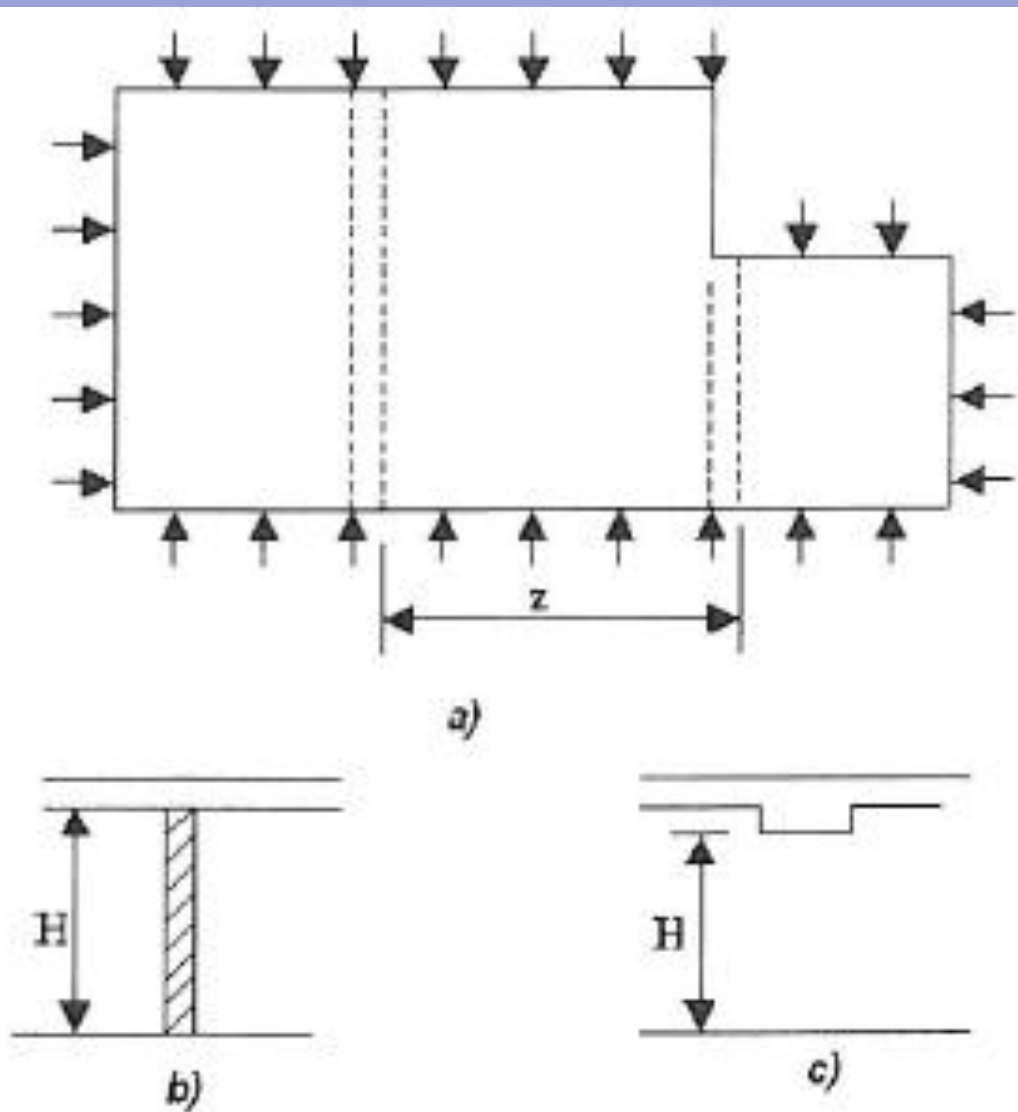
kde F_t menšia z hodnôt 60 kNm^{-1} alebo $20 + 4n_s$

n_s počet podlaží

z menšia z hodnôt - 5 x H

- najväčšia vzdialenosť (m) medzi osami stĺpov alebo iných zvislých nosných prvkov

Vodorovné väzby



Zvislé väzby

- všetky stĺpy musia byť previazané od základov až po úroveň stĺpov
- pri rámových konštrukciách musia nosné stĺpy a steny preniesť vodorovnú ťahovú silu
- ťahová sila sa stanoví ako najväčšia reakcia od návrhových hodnôt zvislých zaťažení (stálych a premenných) pôsobiacich na stĺp z ľubovoľného podlažia
- tieto mimoriadne zaťaženia nepôsobia súčasne so stálymi alebo premennými zaťažzeniami