

# Navrhování betonových železničních mostů podle evropských norem

Doc. Ing. Vladislav Hrdoušek, CSc., Stavební fakulta ČVUT v Praze

Ing. Roman Šafář, Stavební fakulta ČVUT v Praze

*Do soustavy ČSN se postupně zavádějí evropské normy, které se dotýkají všech oblastí stavebnictví. Navrhování mostních konstrukcí je vždy obsahem Částí 2 příslušných návrhových norem (Eurokódů 2 až 7). Současně s návrhovými normami se mění zásadně i normy pro zatížení, které je obsahem Eurokódu 1, jehož všechny části obsahují zvláštní oddíly pro mosty, kterým je třeba věnovat patřičnou pozornost. Zatížení dopravou je obsahem samostatné Části 2 Eurokódu 1.*

## Všeobecně

Zásady navrhování a posuzování konstrukce jsou obsaženy v EN 1990, přičemž pro mosty také platí příloha A2, podle které se stanoví součinitele kombinace a součinitele zatížení.

Všechny tyto evropské normy byly vydány překladem a k nim jsou připojeny národní přílohy. Účelem národních příloh je uvedení tzv. „národně stanovených parametrů“, ovšem pouze k těm ustanovením, která jsou přímo v EN jmenovitě uvedena.

Dosud platné ČSN i nadále platí současně s normami pro zatížení a dalšími českými normami. Z toho plyne, že v současné době platí souběžně dvě soustavy norem, jedna pro navrhování podle ČSN a druhá pro navrhování podle EN (ČSN EN), která je založena na metodice mezních stavů. Souběžná platnost dvou soustav norem je ovšem jen stav přechodný a evropské společenství zastoupené CEN (Comité Européen de Normalisation) předpokládá, že platnost všech národních norem, které jsou v rozporu se soustavou EN (to se týká ČSN 73 6203, 05,06 a 07) skončí nejpozději po tříleté souběžné platnosti, tedy k 1. dubnu 2010. Do tohoto termínu je třeba seznámit odbornou veřejnost s novou metodikou navrhování a vypracovat ukázkové nebo kontrolní příklady, na kterých se teprve ukáží přínosy, ale také obtížnosti a složitosti nové metodiky navrhování. To není pro osvětu doba příliš dlouhá a proto probíhají k nové soustavě norem školení. Pro betonové mosty se na květen 2009 připravuje vstupní školení, na které navážou školení další.

## Změny v EN oproti ENV

Při transformaci ENV na EN došlo pouze k formálním úpravám, které vedly k posílení základních částí norem.

- došlo k přečíslování EN pro zatížení, vznikl Eurokód – EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí (dříve ENV 1991-1),
- pro mosty byla vytvořena samostatná Příloha A2 k EN 1990, kde jsou definovány kombinace zatížení, součinitele kombinace  $\psi$  a součinitele spolehlivosti zatížení  $\gamma$  a požadavky na mezní stavy specifické pro mosty, zejména mezní stavy použitelnosti,
- byl rozšířen základní Eurokód pro navrhování betonových konstrukcí [9] (spojeny všechny části ENV a doplněno o ustanovení pro posouzení únavy),
- k EN 1992-2 byly připojeny Přílohy A až QQ, které jsou sice jen informativní, avšak obsahují doporučení pro posuzování (např. Příloha B popisuje přetvoření od dotvarování a smršťování, Příloha KK pojednává o vlivu časově závislého chování betonu, Příloha OO obsahuje řešení ztužidel pomocí příhradové analogie),

- vznikly další EN, takže lze konstatovat, že existuje kompletní soubor evropských norem.

Připojená národní příloha k [10] většinou nemění doporučení EN, avšak po provedení dalších výpočtů nelze určité změny vyloučit. Měnit by se měly pouze parametry, které jsou prokazatelně nevyhovující.

### Zásady s ohledem na stupeň vlivu prostředí

Při volbě materiálu se vychází z ČSN EN 206-1, ve které se volí minimální pevnostní třída betonu podle stupně vlivu prostředí (svp). Současně je třeba, aby byly splněny požadavky příslušných TKP (kap. 18) a požadavky na třídu konstrukce S podle ČSN EN 1992-1-1 (viz Tab. 4.3N až 4.5N). Do těchto tabulek je třeba dohodnout začlenění prostředí XF.

Pro třídu konstrukce S a svp jsou uvedeny minimální tloušťky krycí vrstvy betonářské výztuže (Tab. 4.4N) a předpínací výztuže (Tab. 4.5N). Zde byly převzaty hodnoty doporučené v EN, ale – pokud by to bylo vhodné - je možné je v národní příloze upřesnit.

Doporučené hodnoty přípustných šířek trhlin  $w_{max}$  a odpovídající kombinační pravidla pro vybraná prostředí podle ČSN EN 1992-2 jsou uvedeny v tab. 1.

Stupeň vlivu prostředí	Železobetonové prvky a prvky předpjaté nesoudržnou výztuží	Prvky předpjaté soudržnou výztuží
	Kvazi-stálá kombinace zatížení	Častá kombinace zatížení
X0, XC1	0,3a)	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2b)
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3		dekomprese
<p>a) POZNÁMKA 1 Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a uvedená hodnota má zajistit přijatelný vzhled. Pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit.</p> <p>b) POZNÁMKA 2 Pro tyto stupně vlivu prostředí má být kromě toho posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.</p>		

Tab.1 Požadavky na omezení trhlin

### Zatížení

Zásady pro uplatnění vlastní tíhy konstrukce jsou uvedeny v [2], Tab.A.1, podle které lze uvažovat pro obyčejné vyztužené betony (železobeton i předpjatý beton) objemovou tíhu jednotně hodnotou 25 kN/m<sup>3</sup>.

Objemové tíhy nenosných částí mostů jsou uvedeny v Tab. A.6 [2]. Zatížení štěrkovým ložem se má uvažovat jako zatížení stálé a při navrhování je nutné uvážit jeho přerozdělení, avšak současně se požaduje, aby se na železničních mostech uvažovala odchylka od nominální hodnoty  $\pm 30\%$ . Tento požadavek je třeba zvážit a vhodnou hodnotu uvést v národní příloze. Podobně je tomu také u dalších ostatních zatížení stálých.

Pro zatížení dopravou je základním zatěžovacím schématem tzv. Model zatížení 71 (LM71), který odpovídá vlaku UIC-71 podle ČSN 73 6203. Obdobně jako vlak UIC-71,

i schéma LM71 se obvykle nepoužívá se základními nominálními hodnotami sil, ale přenásobené součinitelem  $\alpha$  podle traťové třídy. Třídy tratí jsou uvedeny ve Věstníku dopravy č. 6/1987. Zatížení přenásobené tímto součinitelem se nazývá „klasifikované zatížení“. Pokud se Model zatížení 71 násobí součinitelem  $\alpha$ , je nutné stejným součinitelem násobit i další zatížení dopravou na železničních mostech.

Dále se na železničních mostech uvažuje zatěžovací schéma:

- SW/0 – je nutno uvažovat na všech spojitých konstrukcích,
- SW/2 – jedná se o schéma používané na tratích s těžkým provozem,
- nezatížený vlak (jako rovnoměrné zatížení s charakteristickou hodnotou 10 kN/m, v ENV bylo 12,5 kN/m),
- vykolejení na mostě (ve dvou mimořádných návrhových situacích).

Traťová třída	$\alpha$ . LM71	SW
1.	1,21.LM71	SW/2
2.	1,21.LM71	1,21.SW/0 *)
3.	1,10.LM71	1,10.SW/0 *)
Mostní provizoria	1,00.LM71	-

\*) pro spojité nosníky

Tab.2 Základní modely zatížení dopravou uvažované na železničních mostech

Dynamická analýza je obecně požadována, pokud:

- častá provozní rychlost skutečného vlaku je rovna rezonanční rychlosti konstrukce ([8], a pokud nejsou splněna kritéria uvedená v Příloze F),
- první vlastní frekvence  $n_0$  překračuje horní mez (1), obr. 6.10 [8] (viz též obr. 3 ČSN 73 6203).

Pokud není dynamická analýza požadována, pak se musí účinky Modelu zatížení 71, SW/0 a SW/2 násobit dynamickým součinitelem  $\Phi$ , který závisí na náhradní délce (obdobně jako v ČSN 73 6203) a na kvalitě údržby koleje. Podle národní přílohy k ČSN EN 1991-2 se používá dynamický součinitel  $\Phi_3$ , což je hodnota pro standardně udržovanou kolej.

Další proměnná zatížení:

- zatížení teplotou - v EN [5] je mostům věnována kap. 6 s drobnými úpravami oproti dnes platné ČSN 73 6203,
- zatížení větrem - pro většinu mostů bude postačující postupovat zjednodušenou metodou podle [4].
- zatížení při provádění - tato zatížení jsou definována v [6]. Jsou uvedeny kombinace zatížení včetně zatížení staveništních (osoby a ruční nářadí, přemístitelná skládka, dočasné vybavení, přemístitelné strojní zařízení) a také mimořádná zatížení (např. pád zavěšeného břemena, náraz vozidla).

Kombinace zatížení

a) pro mezní stavy únosnosti:

- pro trvalé a dočasné návrhové situace může být obecně vyjádřena buď jako:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

nebo alternativně pro mezní stavy STR a GEO (viz mezní stavy únosnosti) jako méně příznivá kombinace z následujících dvou výrazů:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

kde  $\xi$  je redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení G,

- pro mimořádné návrhové situace se sestaví podle následujícího pravidla:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

b) pro mezní stavy použitelnosti

- charakteristická kombinace zatížení (obvykle se používá pro nevratné stavy):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- častá kombinace zatížení (obvykle se používá pro vratné - opakované stavy):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- kvazistálá kombinace zatížení (obvykle se používá pro dlouhodobé účinky a deformace - vzhled konstrukce):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

## Navrhování a posuzování mostů

V mezních stavech použitelnosti se posuzuje zejména:

- *Mezní stav omezení napětí*: předmětem posouzení konstrukce v tomto mezním stavu je ověření, že konstrukce v provozním stavu působí pružně. Podle 7.2 [10] nemá napětí betonu při charakteristické kombinaci zatížení překročit hodnotu  $k_1 \cdot f_{ck}$ . EN Doporučuje  $k_1 = 0,6$ , přičemž je možné tuto hodnotu upravit v národní příloze. V ČR se tato hodnota nemění.

- *Mezní stav omezení trhlin*: pro omezení šířky trhlin je třeba navrhnout alespoň minimální průřezovou plochu výztuže a splnit podmínky podle 7.3.2 a 7.3.3 [10] nebo posoudit šířku trhlin výpočtem, např. podle 7.3.4 [9].

- ověření železničních mostů s ohledem na přetvoření a kmitání z hlediska bezpečnosti dopravy, tzn. posoudit:

- svislé zrychlení nosné konstrukce,
- zkroucení hlavní nosné konstrukce,
- svislá přetvoření hlavní nosné konstrukce,
- příčná přetvoření a kmitání hlavní nosné konstrukce,
- podélné posunutí hlavní nosné konstrukce,

- ověření mezních hodnot maximálních svislých průhybů z hlediska pohody cestujících.

V mezních stavech únosnosti zejména:

a) EQU: ztráta statické rovnováhy

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

kde  $E_{d,dst}$  je návrhová hodnota účinku destabilizujících zatížení,

$E_{d,stab}$  je návrhová hodnota účinku stabilizujících zatížení.

b) STR: porucha konstrukce nebo nosných prvků včetně základových patek, pilot, podzemních stěn atd., kde rozhoduje pevnost konstrukčních materiálů;

$$E_d \leq R_d$$

kde  $E_d$  je návrhová hodnota účinku zatížení, jako je vnitřní síla, moment nebo vektor několika vnitřních sil nebo momentů,

$R_d$  je návrhová hodnota příslušné únosnosti.

c) GEO: porucha základové půdy, kde pevnosti zeminy nebo skalního podloží jsou významné pro únosnost;

d) FAT: únavová porucha konstrukce nebo nosných prvků.

Při posouzení na únavu je třeba provést:

- posouzení betonu:

Odolnost na únavu betonu namáhaného tlakem lze považovat za dostatečnou, pokud je splněna podmínka:

$$14. \frac{1 - E_{cd,max,equ}}{\sqrt{1 - R_{equ}}} \geq 6$$

$$\text{kde } R_{equ} = \frac{E_{cd,min,equ}}{E_{cd,max,equ}}, \quad E_{cd,min,equ} = \gamma_{sd} \frac{\sigma_{cd,min,equ}}{f_{cd,fat}}, \quad E_{cd,max,equ} = \gamma_{sd} \frac{\sigma_{cd,max,equ}}{f_{cd,fat}}$$

$\sigma_{cd,max,equ}$ ,  $\sigma_{cd,min,equ}$  jsou horní a dolní napětí poškozujícího ekvivalentního napěťového spektra pro počet cyklů  $N = 10^6$ .

- posouzení výztuže (betonářské, přepínací):

Poškozující ekvivalentní rozkmit napětí pro betonářskou a přepínací výztuž se vypočítá podle vztahu

$$\Delta\sigma_{s,eq} = \lambda_s \cdot \Phi \cdot \Delta\sigma_{s,71}$$

kde  $\Delta\sigma_{s,71}$  je rozkmit napětí od modelu zatížení 71 (a od SW/0, pokud je to požadováno), umístěného v nejnepříznivější poloze pro uvažovaný konstrukční prvek, avšak bez součinitele  $\alpha$  podle [8]. U konstrukcí nesoucích více kolejí se model zatížení 71 umísťuje maximálně na dvě koleje,

$\lambda_s$  je opravný součinitel pro výpočet poškozujícího ekvivalentního rozkmitu napětí z rozkmitu napětí vyvolaného  $\Phi \cdot \Delta\sigma_{s,71}$ ,

$\Phi$  je dynamický součinitel podle [8].

### Literatura:

- [1] ČSN EN 1990 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem, vč. Změny NA ed. A (2005), NA/Z1 ed. A (2006) a Z1 (2006)
- [4] ČSN EN 1991-1-4 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1991-1-5 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou, vč. Změny NA ed. A (2005)
- [6] ČSN EN 1991-1-6 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-6: Obecná zatížení - Zatížení během provádění, vč. Změny NA ed. A (2007)
- [7] ČSN EN 1991-1-7 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-7: Obecná zatížení - Mimořádná zatížení
- [8] ČSN EN 1991-2 (73 6203) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou", vč. Změny NA ed. A (2005)
- [9] ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, vč. Změny NA ed. A (2007)
- [10] ČSN EN 1992-2 (73 6208) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady
- [11] ČSN EN 1997-1 (73 1000) Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla
- [12] ČSN EN 206-1 (73 2403) Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

*Tento příspěvek vznikl za finančního přispění MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.*