SERIÁL EN 1991

EUROKÓD 1 ČSN EN 1991-2 ZATÍŽENÍ KONSTRUKCÍ ČÁST 2: ZATÍŽENÍ MOSTŮ DOPRAVOU (2. ČÁST – ZATÍŽENÍ KOLEJOVOU DOPRAVOU A JINÁ ZATÍŽENÍ SPECIFICKÁ PRO ŽELEZNIČNÍ MOSTY)

EUROCODE 1 EN 1991-2 ACTIONS ON STRUCTURES – PART 2: TRAFFIC LOADS ON BRIDGES (2ND PART – RAIL TRAFFIC ACTIONS AND OTHER ACTIONS SPECIFICALLY FOR RAILWAY BRIDGES)

JOSEF SLÁMA

Norma ČSN EN 1991-2 stanoví zatížení mostů pozemních komunikací, železničních mostů a lávek pro chodce od dopravy. Je zavedena do soustavy českých technických norem od července 2005. Je určena pro navrhování nových mostů a lze ji použít pouze s ostatními Eurokódy EN 1990 až EN 1999.

Eurocode ČSN EN 1991-2 specifies traffic loads of road bridges, railway bridges and footbridges. It has been implemented into the system of Czech technical standards in July 2005. For the design of new bridges, ČSN EN 1991-2 is intended to be used, for direct application, together with Eurocodes EN 1990 to EN 1999.

Tento článek (2. část) volně navazuje na předchozí 1. část vypracovanou Ing. Marií Studničkovou, CSc. a zveřejněnou v tomto časopise č. 4/2005 [10]. Informace společné pro obě části a obsažené v 1. části se zde nebudou opakovat a pokud bude potřeba bude na ně odvolávka.

Zatížení železniční dopravou a jiná zatížení specifická pro železniční mosty jsou obsahem kapitoly 6 a příloh C až H v [1, 2]. Ustanovení jsou velmi rozsáhlá a obsahují řadu informací a pokynů, které dosud v normách pro zatížení mostů nebyly. Např. velmi podrobně je popisována problematika dynamických účinků na konstrukci mostu od kolejové dopravy, zvláště dynamická analýza při nebezpečí rezonančních jevů; dále vzájemné působení koleje a mostu od teplotních změn, rozjezdových a brzdných sil, od přetvoření ze zatížení dopravou, dotvarování, smršťování apod., také je zaváděn výpočet aerodynamických zatížení od projíždějících vlaků a rovněž nutno připomenout rozsáhlé kombinace zatížení vedoucí k posuzování mnoha zatěžovacích stavů.

Kapitola 6 platí pro stanovení zatížení železniční dopravou na tratích s normálním a širokým rozchodem evropské hlavní železniční sítě.

Modely zatížení definované v této kapitole nepopisují skutečná zatížení. Byly vybrány tak, aby jejich účinky, s dynamickými zvětšeními uvažovanými odděleně, reprezentovaly účinky od dopravy. Pokud je třeba uvažovat dopravu, která je mimo rozsah modelů zatížení definovaných v této normě, mohou být v případě potřeby pro konkrétní projekt definovány alternativní modely zatížení a k nim příslušná kombinační pravidla.

Norma [1, 2] neplatí pro zatížení:
- úzkorozchodných železnic
- tramvajových a jiných lehkých tratí
- historických železnic
- ozubnicových drah
- lanových drah

Zatížení a charakteristické hodnoty zatížení pro tyto typy drah je třeba stanovit. Národní příloha k [2] obsažená v [1] v NA.2.51 stanoví, že mosty na úzkorozchodných tratích jsou navrhovány na model zatížení 71 se součinitelem α = 1,0 a zatížení tramvajovými vozidly a vozidly metra je stanoveno podle ČSN 73 6203 [5] tak, že příslušná normová zatížení jsou považována za charakteristické hodnoty zatížení.

V normě jsou uvedena následující zatížení od železniční dopravy:
- svislá zatížení: modely zatížení 71, SW (SW/0 a SW/2), „nezatížený vlak" a HSLM *(High Speed Load Model – model zatížení pro vysokorychlostní dopravu)*;
- svislé zatížení na zemní těleso
- dynamické účinky
- odstředivé síly
- boční ráz
- rozjezdové a brzdné síly
- aerodynamická zatížení od projíždějících vlaků
- zatížení od trakčního vedení a od jiné železniční infrastruktury a zařízení

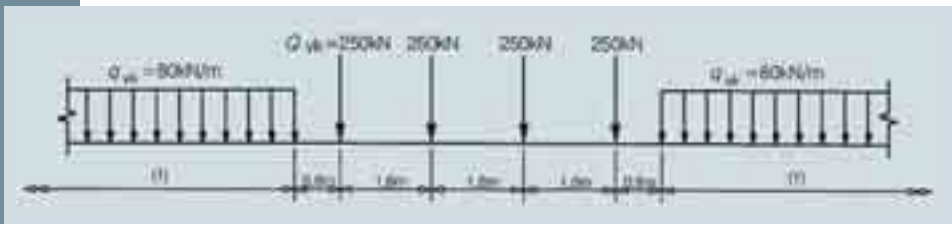
Zatížení od vykolejení pro mimořádné návrhové situace jsou uvedena pro účinek vykolejené železniční dopravy na konstrukci převádějící železniční dopravu.

Proměnná zatížení od vzájemného působení (interakce) konstrukce a koleje jsou definována pro rozdílné teplotní změny, přetvoření vyvolaná zatížením železniční dopravou, dotvarováním, smršťováním apod.

Zatížení pro únavu charakterizují různé typy a druhy skutečného zatížení během provozování mostní konstrukce.

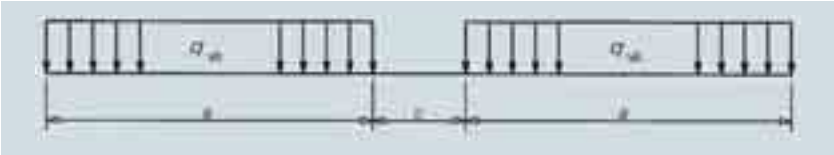
SVISLÁ ZATÍŽENÍ

Svislá zatížení železniční dopravou jsou definována prostřednictvím pěti modelů zatížení:
- **model zatížení 71 (a model zatížení SW/0** pro spojité mosty) reprezentu-



Obr. 1 Model zatížení 71 a charakteristické hodnoty svislých zatížení (1) bez omezení

Fig. 1 Load Model 71 and characteristic values for vertical load



Obr. 2 Modely zatížení SW/0 a SW/2
Fig. 2 Load Models SW/0 and SW/2

je normální železniční dopravu na hlavních železničních tratích;

- **model zatížení SW/2** reprezentuje těžká zatížení a těžkou železniční dopravu;
- **model zatížení HSLM** reprezentuje zatížení od osobních vlaků o rychlostech překračujících 200 km/h až do 350 km/h;
- **model zatížení „nezatížený vlak"** reprezentuje účinek nezatíženého vlaku.

Model zatížení 71

Uspořádání zatížení a charakteristické hodnoty svislých zatížení musí být uvažovány podle obr. 1.

Charakteristické hodnoty uvedené na obr. 1 se musí násobit součinitelem α na tratích, které jsou určeny pro těžší nebo lehčí dopravu, než je běžná železniční doprava. Pokud jsou zatížení násobena součinitelem α, nazývají se **„klasifikovaná svislá zatížení"**. Součinitel α musí být jeden z následujících:

0,75 – 0,83 – 0,91 – 1,00 – 1,10 – 1,21 – 1,33 – 1,46

Zatížení uvedená níže se musí násobit stejným součinitelem α:

- ekvivalentní svislé zatížení na zemní těleso a účinky zemního tlaku
- odstředivé síly
- boční ráz (násobený α pouze pro $\alpha \geq 1$)
- rozjezdové a brzdné síly
- kombinovaná odezva konstrukce a koleje na proměnná zatížení
- zatížení od vykolejení pro mimořádné návrhové situace
- model zatížení SW/0 pro spojitá pole mostu

V národní příloze v NA.2.53 je stanoven součinitel $\alpha = 1{,}10$ pro tratě 3. třídy a $\alpha = 1{,}21$ pro tratě 1. a 2. třídy. Podle NA.2.52 se zatímní železniční mosty a mostní provizoria navrhují na model zatížení 71 se součinitelem $\alpha = 1{,}00$, třídy tratí viz [11].

Modely zatížení SW/0 a SW/2

Model zatížení SW/0 reprezentuje statický účinek svislého zatížení normální železniční dopravou na spojité nosníky.

Model zatížení SW/2 reprezentuje statický účinek svislého zatížení těžkou železniční dopravou.

Uspořádání zatížení se musí uvažovat podle obr. 2 s charakteristickými hodnotami svislého zatížení podle tab. 1.

Model zatížení SW/2 se použije podle NA.2.54 v [1] na tratích 1. třídy s těžkou železniční dopravou.

Charakteristické hodnoty modelu zatížení SW/0 musí být vynásobeny příslušným součinitelem α jako hodnoty modelu zatížení 71.

Model zatížení „nezatížený vlak"

Tento zvláštní model zatížení nazývaný „nezatížený vlak" se používá pro některá specifická ověření, např. ověření stability konstrukce při příčném zatížení větrem. Model zatížení „nezatížený vlak" sestává ze svislého rovnoměrného zatížení s charakteristickou hodnotou 10,0 kN/m.

Model zatížení HSLM

Tento zvláštní model zatížení reprezentuje zatížení osobních vlaků jedoucích rychlostmi 200 až 350 km/h. Meze platnosti tohoto modelu zatížení jsou podrobně uvedeny v 6.4.6 a informativní příloze E v [1, 2].

Model zatížení	qvk [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Tab. 1 Charakteristické hodnoty svislého zatížení pro modely zatížení SW/0 a SW/2
Tab. 1 Charakteristic values for vertical loads for Load Models SW/0 and SW/2

Excentricita svislých zatížení (model zatížení 71 a SW/0)

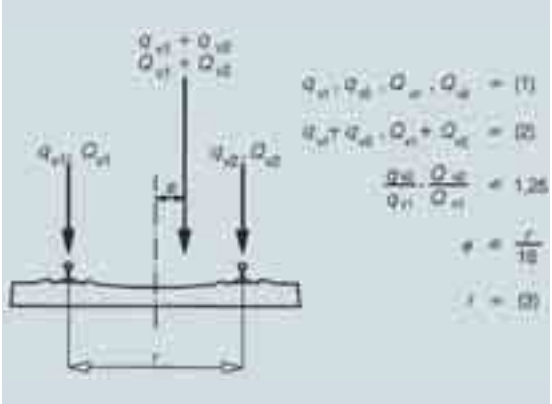
Účinek bočního (příčného) posunutí svislých zatížení se musí uvažovat poměrem kolových zatížení u všech náprav až do 1,25 : 1,00 na kterékoli koleji. Výsledná excentricita **e** je uvedena na obr. 3. Excentricitu svislých zatížení lze zanedbat při posuzování na únavu.

Roznášení nápravových zatížení kolejnicemi, pražci a kolejovým ložem

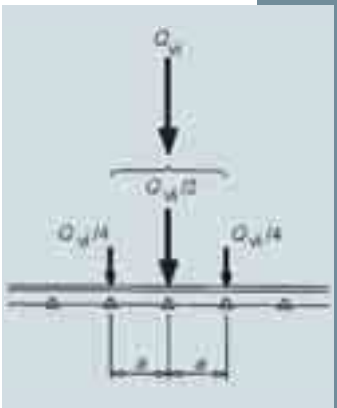
Platí pro skutečné vlaky, vlaky pro únavu, modely zatížení 71, SW/0, SW/2, „nezatížený vlak" a HSLM, pokud není stanoveno jinak.

Podélné roznášení osamělé síly nebo kolového zatížení kolejnicí se může roznášet do tří podporových bodů kolejnice, jak je ukázáno na obr. 4.

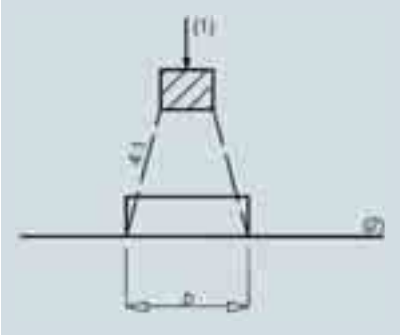
Podélné roznášení zatížení pražci a kolejovým ložem při navrhování lokálních prvků mostovky atd. (např. podélných a příčných výztuh, podélníků, příční-



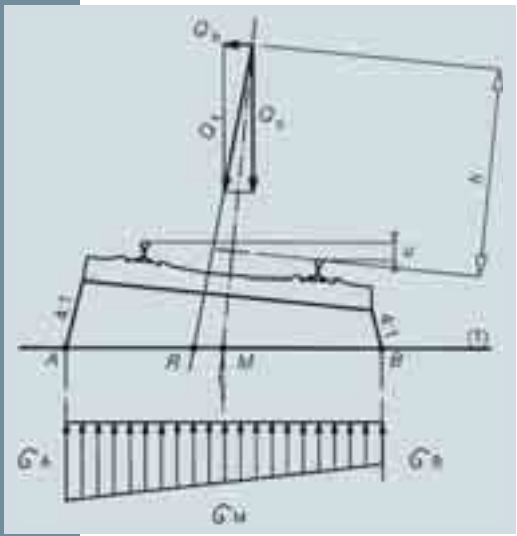
Obr. 3 Excentricita svislých zatížení
(1) rovnoměrné zatížení a osamělé síly na každé kolejnici (2) LM 71 (a SW/0, kde se požaduje)
(3) příčná vzdálenost mezi kolovými zatíženími
Fig. 3 Excentricity of vertical loads



Obr. 4 Podélné roznášení osamělé síly nebo kolového zatížení kolejnicí
Q_{vi} je osamělá síla na každé kolejnici od modelu zatížení 71 nebo kolového zatížení skutečného vlaku, vlaku pro únavu nebo HSLM (kromě HSLM-B)
a je vzdálenost mezi podporovými body kolejnice
Fig. 4 Longitudinal distribution of a point force or wheel load by the rail



Obr. 5 Podélné roznášení zatížení pražci a kolejovým ložem
(1) zatížení pražce
(2) referenční rovina
Fig. 5 Longitudinal distribution of load by a sleeper and ballast



Obr. 6 Příčné roznášení zatížení pražci a kolejovým ložem, kolej s převýšením (účinek excentricity svislého zatížení není znázorněn)
(1) referenční rovina
Fig. 6 Transverse distribution of actions by the sleepers and ballast, track with cant (effect of eccentricity of vertical loads not shown)

ků, desek mostovky, tenkých betonových desek atd.) se má vzít pod pražci podle obr. 5, kde referenční rovina je definována jako horní povrch mostovky.

Příčné roznášení zatížení pražci a kolejovým ložem

Na mostech s kolejovým ložem s převýšením koleje se mají zatížení roznášet v příčném směru např. podle obr. 6. Další případy příčného roznášení jsou uvedeny v [1, 2].

DYNAMICKÉ ÚČINKY ŽELEZNIČNÍHO ZATÍŽENÍ (VČETNĚ REZONANCE)

Dynamické účinky zatížení jsou buď pokrývány dynamickým součinitelem, kterým se násobí statické účinky od modelů zatížení 71, SW/0 a SW/2 nebo je prováděna dynamická analýza.

Zásadní faktory ovlivňující dynamické chování jsou:

- rychlost dopravy na mostě
- rozpětí L a délka příčinkové čáry průhybu uvažovaného prvku
- hmotnost konstrukce
- vlastní frekvence celé konstrukce a důležitých prvků konstrukce a příslušné vlastní tvary kmitání ve směru koleje
- počet náprav, nápravová zatížení a vzdálenost náprav
- útlum konstrukce
- svislé nerovnosti koleje
- neodpružená/odpružená hmota a charakteristiky zavěšení a vypružení vozidla
- přítomnost pravidelně vzdálených podpěr mostovky a/nebo koleje (příčníky, pražce atd.)
- imperfekce vozidla (plochá kola, nekruhová kola, poruchy zavěšení a vypružení atd.)
- dynamické charakteristiky koleje (kolejové lože, pražce, prvky koleje atd.).

Tyto faktory jsou uvažovány v dynamické analýze.

Kritéria pro rozhodnutí, zda je vyžadována dynamická analýza, nebo se vystačí s kvazistatickým výpočtem s dynamickým součinitelem, jsou uvedena ve vývojovém diagramu na obr. 6.9 v [1, 2]. Pokud kritéria uvedená v 6.4.4 nejsou splněna, existuje nebezpečí, že může nastat rezonance nebo nadměrné kmitání mostu.

Kritéria pro bezpečnost dopravy, pohodu cestujících atd. jsou uvedena v příloze A2 EN 1990 viz [8].

Dynamická analýza je prováděna podle 6.4.6 a informativních příloh E a F v [1, 2], kde je podrobně popsána. Uvádějí se druhy a schémata zatížení (HSLM), způsoby zatěžování, rychlosti přejezdu, parametry mostu (tuhost, hmotnost, útlum atd.), modelování buzení a dynamického chování konstrukce a ověřování mezních stavů.

V běžných případech postačí kvazistatické metody, kde jsou účinky statického zatížení násobeny dynamickým součinitelem podle NA.2.56 pro standardně udržovanou kolej Φ_3 v rozsahu hodnot 1,05 až 2,00 obdobně jako δ v ČSN 73 6203 [5]. Náhradní délky L_Φ jsou podrobně uvedeny v závislosti na nosných prvcích v tab. 6.2 v [1, 2] mnohem detailněji než v ČSN 73 6203 [5].

$$\Phi = \frac{2{,}16}{\sqrt{L_\Phi} - 0{,}2} + 0{,}73 \qquad (6.5)$$

Dále jsou používány dynamické součinitele $1 + \varphi$ pro skutečné vlaky a pro posouzení konstrukcí železničních mostů na únavu, viz přílohy C a D.

VODOROVNÁ ZATÍŽENÍ

Příčná vodorovná zatížení, tj. odstředivé síly a boční rázy v [1, 2] jsou uvažována obdobně jako v ČSN 73 6203 [5].

Podélná vodorovná zatížení, tj. rozjezdové a brzdné síly působí v úrovni temene kolejnic v podélném směru koleje. Zavádějí se jako rovnoměrně rozložené po odpovídající přičiňující délce $L_{a,b}$ účinků rozjezdu a brzdění pro uvažovaný nosný prvek. Směr rozjezdových a brzdných sil musí souhlasit s dovolenými směry dopravy na každé koleji.

Charakteristické hodnoty rozjezdových a brzdných sil musí být uvažovány následovně:

Rozjezdová síla:
$Q_{lak} = 33$ [kN/m] $L_{a,b}$ [m]
$\leq 1\,000$ [kN] (6.20)
pro modely zatížení 71, SW/0, SW/2 a model zatížení HSLM

Brzdná síla:
$Q_{lbk} = 20$ [kN/m] $L_{a,b}$ [m]
$\leq 6\,000$ [kN] (6.21)
pro modely zatížení 71, SW/0 a model zatížení HSLM

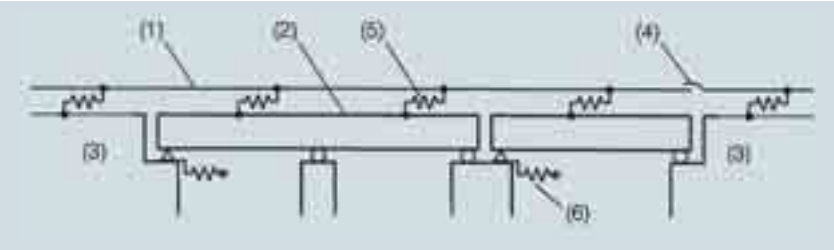
$Q_{lbk} = 35$ [kN/m] $L_{a,b}$ [m] (6.22)
pro model zatížení SW/2

Charakteristické hodnoty rozjezdových a brzdných sil nesmí být násobeny dynamickým součinitelem Φ nebo redukčním součinitelem f pro odstředivou sílu.

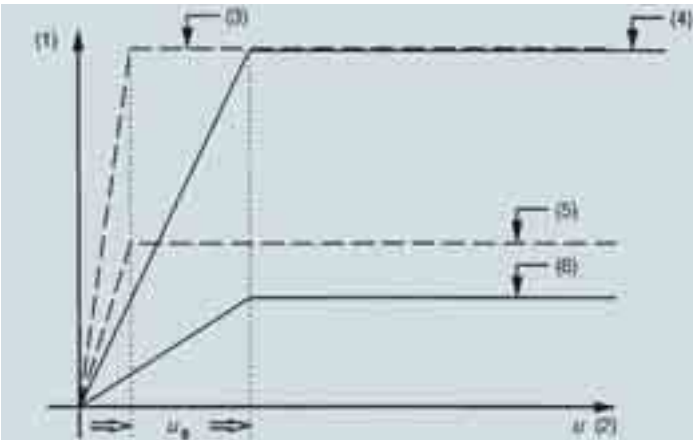
Kombinovaná odezva konstrukce a koleje na proměnná zatížení

Kombinovaná odezva konstrukce a koleje na proměnná zatížení analyzuje problém vzájemného působení koleje a mostu od účinků teplotních změn a dalších zatížení.

Účinky vyplývající z kombinované odezvy konstrukce a koleje na proměnná



Obr. 7 Příklad modelu systému kolej/konstrukce
(1) kolej
(2) nosná konstrukce (znázorněn spojitý nosník o dvou polích a prostý nosník)
(3) těleso železničního spodku
(4) kolejnicové dilatační zařízení (je-li vloženo)
(5) podélné nelineární pružiny vyjadřující průběh závislosti podélné zatížení/posunutí koleje
(6) podélné pružiny vyjadřující podélnou tuhost K pevného uložení nosné konstrukce s uvážením tuhosti základů, pilířů a ložisek atd.
Fig. 7 Example of a model of track/structure system



Obr. 8 Změna podélné smykové síly s podélným posunutím koleje pro jednu kolej
(1) podélná smyková síla v koleji na jednotku délky
(2) posunutí kolejnice vzhledem k hornímu povrchu podporující nosné konstrukce (dnu žlabu kolejového lože)
(3) odpor kolejnice v pražci (zatížená kolej) (zamrzlé kolejové lože nebo kolej bez kolejového lože s běžnými upevněními)
(4) odpor pražce v kolejovém loži (zatížená kolej)
(5) odpor kolejnice v pražci (nezatížená kolej) (zamrzlé kolejové lože nebo kolej bez kolejového lože s běžnými upevněními)
(6) odpor pražce v kolejovém loži (nezatížená kolej)
Fig. 8 Variation of longitudinal shear force with longitudinal track displacement for one track

zatížení se musí uvažovat při návrhu hlavní nosné konstrukce, pevných ložisek, spodní stavby a při posouzení účinku zatížení v kolejnicích.

Požadavky jsou platné pro obvyklou (konvenční) kolej s kolejovým ložem. Pro kolej bez kolejového lože je lze stanovit pro konkrétní projekt.

Parametry ovlivňující kombinovanou odezvu konstrukce a koleje, které se musí vzít v úvahu při analýze jsou následující:

- uspořádání konstrukce
- uspořádání koleje
- vlastnosti konstrukce
- vlastnosti koleje

Zatížení uvažovaná pro kombinovanou odezvu jsou následující:

- rozjezdové a brzdné síly
- teplotní účinky v kombinovaném systému konstrukce a koleje
- klasifikovaná svislá zatížení dopravou (včetně SW/0 a SW/2, pokud se požadují)
- související dynamické účinky lze zanedbat
- jiná zatížení jako např. dotvarování, smršťování, teplotní spád atd. musí být vzata v úvahu pro stanovení pootočení a souvisících podélných posunutí konců nosných konstrukcí, pokud je to relevantní.

Teplotní změny v mostě mají být uvažovány jako ΔT_N podle ČSN EN 1991-1-5 „Zatížení teplotou", s γ a ψ rovnými 1,0. Hodnoty uvedené v ČSN EN 1991-1-5 jsou doporučené. Alternativní hodnoty ΔT_N lze stanovit pro konkrétní projekt na základě informací Českého hydrometeorologického ústavu viz NA.2.73 a NA.2.74. Při stanovení alternativních hodnot ΔT_N pro území ČR se vychází z národní přílohy k ČSN EN 1991-1-5 a specifik zde uvedených, zejména pro dané místo (teplotní mapy, orientace mostního objektu, konfigurace terénu, zastínění apod.), typ mostní konstrukce, její uspořádání atd. Pro zjednodušené výpočty lze uvažovat teplotní změnu nosné konstrukce hodnotou $\Delta T_N = \pm$ 35 K.

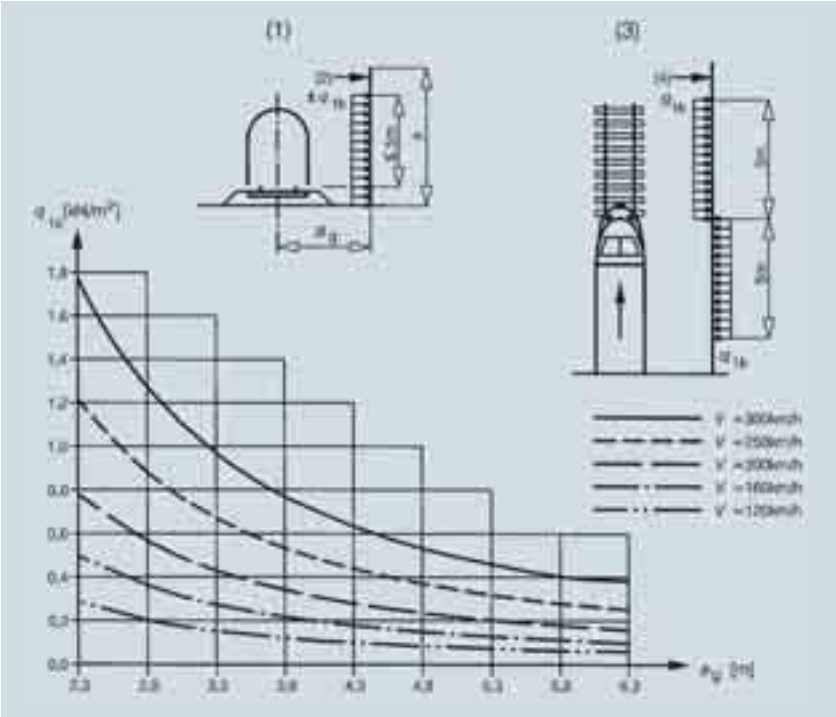
Modelování a výpočet kombinovaného systému kolej/konstrukce

Pro stanovení účinků zatížení v kombinovaném systému kolej/konstrukce lze použít model založený na obr. 7.

Závislost podélné zatížení/posunutí koleje nebo kolejnicových podpor lze znázornit vztahem ukázaným na obr. 8 s počátečním pružným smykovým odporem [kN/mm posunutí na m koleje] a potom plastickým smykovým odporem *k* [kN/m koleje].

V 6.5 [1. 2] jsou dále uvedena návrhová kritéria pro kolej a mezní hodnoty pro deformaci konstrukce, výpočetní metody a zjednodušená výpočetní metoda pro jednotlivou nosnou konstrukci a v příloze G je pro nejčastější případy mostů zpracována metoda pro stanovení kombinované odezvy konstrukce a koleje na proměnná zatížení.

V 6.5.3, 6.5.4 a příloze G [1] jsou uváděny termíny průběžně svařené kolejnice a průběžná kolej, které v některých případech mohou být, ale také v některých případech nemusí být totožné s termínem „bezstyková kolej" zavedeným a užívaným v ČR. Proto v ČSN EN je často „přeložený ekvivalent" doplněn v závorce termínem („bezstyková kolej"). Pro vysvětlení a zopakování. Definice a požadavky na bezstykovou kolej v ČR jsou uvedeny v předpisu ČD S3 „Železniční svršek", zejména v části dvanácté „Železniční svršek na mostních objektech" a v předpisu ČD S3/2 „Bezstyková kolej". Dle předpisů ČD nesmí dýchající konec bezstykové koleje zasahovat na



Obr. 9 Charakteristické hodnoty zatížení q_{1k} pro jednoduché svislé plochy rovnoběžné s kolejí
(1) příčný řez
(2) povrch konstrukce
(3) půdorys
(4) povrch konstrukce

Fig. 9 Charakteristic values of actions q_{1k} for simple vertical surfaces parallel to the track

most a z toho vyplývá, že začátek a konec bezstykové koleje musí být alespoň 75 m před a za mostem. Pokud není splněna tato nebo některá z dalších podmínek pro bezstykovou kolej, musí se kolej na mostě od koleje na zemním tělese oddělit kolejnicovými dilatačními zařízeními nebo kolejnicovými styky, a to i v případech, že na krajní opěře jsou pevná ložiska. Důvodem je vyloučení nejasného vzájemného působení koleje a mostu a přemáhání některých částí koleje, mostní konstrukce, včetně ložisek, zejména pevných, od vodorovných podélných sil, především u stávajících mostů, které na toto uspořádání, zatížení a namáhání nebyly nikdy navrhovány a posuzovány. EN platná pro navrhování nových mostů připouští svaření kolejnic kromě případů shodných s předpisy ČD také svaření v jiných místech, zvláště pak nad opěrou u pevných ložisek. Pro nové mosty budou platit ustanovení ČSN EN 1991-2 a dalších souvisících ČSN EN a bude nutné je respektovat. Uspořádání koleje na mostech jsou v konkrétních případech stanovena na základě výpočtu.

AERODYNAMICKÁ ZATÍŽENÍ OD PROJÍŽDĚJÍCÍCH VLAKŮ

Aerodynamická zatížení od projíždějících vlaků musí být uvažována při navrhování konstrukcí sousedících s železničními kolejemi.

Projíždějící železniční doprava působí na každou konstrukci, která stojí v blízkosti trati, pohybující se vlnou střídavého tlaku a sání (obr. 9). Velikost zatížení závisí hlavně na:

- kvadrátu rychlosti vlaku
- aerodynamickém tvaru vlaku
- tvaru konstrukce
- umístění konstrukce, zejména vzdálenosti mezi vozidlem a konstrukcí.

Tato zatížení mohou být pro posouzení mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti nahrazena ekvivalentními zatíženími na čele a zádi vlaku. Charakteristické hodnoty ekvivalentních zatížení jsou uvedeny v 6.6.2 až 6.6.6 [1, 2].

Na začátku a na konci konstrukcí sousedících s kolejemi mají být na délce 5 m, měřeno od začátku a konce konstrukce rovnoběžně s kolejemi, ekvivalentní zatížení z 6.6.2 až 6.6.6 násobena dynamickým součinitelem 2,0.

Pro dynamicky citlivé konstrukce může být výše uvedený dynamický součinitel nedostatečný a může být potřebné stanovit ho zvláštní studií. Studie má uvažovat dynamické vlastnosti konstrukce včetně podepření a podmínek na koncích, rychlost železniční dopravy na sousední koleji a souvisící aerodynamická zatížení a dynamickou odezvu konstrukce, včetně rychlosti deformační vlny indukované v konstrukci. Pro dynamicky citlivé konstrukce může být dynamický součinitel nutný i pro části konstrukce mezi začátkem a koncem konstrukce.

Jednoduché svislé plochy rovnoběžné s kolejí (např. protihlukové stěny)

Charakteristické hodnoty zatížení $\pm q_{1k}$ jsou uvedeny na obr. 9.

Charakteristické hodnoty platí pro vlaky s aerodynamicky nepříznivým tvarem a lze je snížit:

- součinitelem k_1 = 0,85 pro vlaky se hladkými povrchy železničních vozidel,
- součinitelem k_1 = 0,6 pro aerodynamická železniční vozidla (např. ETR, ICE, TGV, Eurostar nebo podobná).

Pokud se uvažuje malá část stěny s výškou ≤ 1 m a délkou ≤ 2,5 m, např. prvek protihlukové ochranné stěny, zatížení q_{1k} se má zvýšit součinitelem k_2 = 1,3.

Aerodynamická zatížení jiných ploch v blízkosti koleje (např. protidotykové zábrany, přístřešky nad nástupišti) jsou obdobná a jsou podrobně popsána v 6.6 [1, 2].

VYKOLEJENÍ A JINÁ ZATÍŽENÍ ŽELEZNIČNÍCH MOSTŮ

Železniční konstrukce se musí navrhnout takovým způsobem, aby při vykolejení bylo výsledné poškození mostu (zejména převrácení nebo zřícení konstrukce jako celku) omezeno na minimum. Vykolejení železniční dopravy na železničním mostě se musí uvažovat jako mimořádná návrhová situace.

Zatížení železničního mostu od vykolejení železniční dopravy musí být uvažováno pro dvě návrhové situace:

- návrhová situace I – vykolejení železničních vozidel, kdy vykolejená vozidla zůstanou v prostoru koleje na nosné konstrukci a vozidla jsou zadržena sousední kolejnicí nebo postranní stěnou nebo okrajovým nosníkem;
- návrhová situace II – vykolejení železničních vozidel, kdy vykolejená vozidla jsou zachycena na okraji mostu a zatěžují okraj nosné konstrukce (kromě

nenosných prvků jako chodník pro pěší).

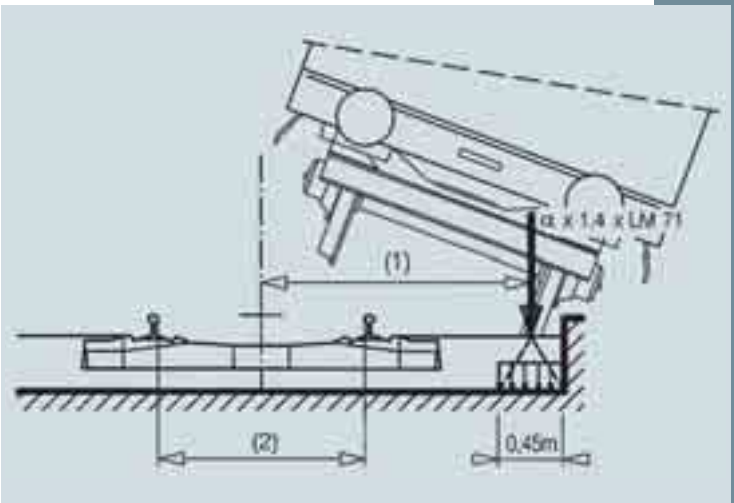
Při návrhové situaci I musí být vyloučeno zřícení hlavní části nosné konstrukce. Místní poškození však lze tolerovat. Části dotčených konstrukcí musí být navrženy na následující návrhová zatížení v mimořádné návrhové situaci; 2 (α 0,7 LM71) (osamělé síly Q_{A1d} a rovnoměrně rozdělené zatížení q_{A1d}) rovnoběžně s kolejí v nejnepříznivější poloze uvnitř oblasti o šířce 1,5 násobku rozchodu koleje na obě strany od osy koleje.

Při návrhové situaci II se most nemá převrátit nebo zřítit. Pro určení celkové stability musí být na maximální celkové délce 20 m uvažováno $q_{A2d} = \alpha$ 1,4 LM71 jako rovnoměrně rozdělené svislé liniové zatížení působící na okraji uvažované konstrukce (obr. 10). Výše zmíněné ekvivalentní zatížení se uvažuje pouze pro stanovení mezní pevnosti nebo stability konstrukce jako celku. Menší nosné prvky nemusí být navrhovány na toto zatížení.

Návrhové situace I a II musí být ověřeny odděleně. Kombinace těchto zatížení nemusí být uvažována. Při návrhové situaci I a II se pro kolej zatíženou vykolejením mají jiná zatížení železniční dopravou zanedbat.

Vykolejení pod konstrukcí nebo sousedící s konstrukcí a jiná zatížení v mimořádných návrhových situacích

Při vykolejení vzniká nebezpečí nárazu vykolejených vozidel na konstrukci nad kolejí nebo sousedící s kolejí. Požadavky na zatížení při nárazu a jiné návrhové požadavky jsou stanoveny v EN 1991-1-7 [9]. Rovněž mají být uvážena jiná zatížení pro mimořádné návrhové situace uvedená.



Obr. 10 Návrhová situace II – ekvivalentní zatížení q_{A2d}
(1) zatížení působící na okraji konstrukce
(2) rozchod koleje s
Fig. 10 Design situation II – equivalent load q_{A2d}

ZATÍŽENÍ DOPRAVOU PRO ÚNAVU

Posouzení únavového poškození musí být provedeno pro všechny nosné prvky, které jsou zatěžovány proměnným namáháním. Posouzení na únavu má být prováděno na základě skladby dopravy v závislosti na tom, zda konstrukce přenáší smíšenou dopravu, převážně těžkou nákladní dopravu nebo lehkou osobní dopravu. Podrobnosti o uvažovaných vlacích v provozu, skladbě dopravy a dynamickém zvětšení jsou uvedeny v 6.9 a příloze D.

POUŽITÍ ZATÍŽENÍ DOPRAVOU NA ŽELEZNIČNÍCH MOSTECH

Konstrukce musí být navržena na požadovaný počet a polohu kolejí podle stanovených poloh kolejí a tolerancí. Polohy kolejí a tolerance lze stanovit pro konkrétní projekt.

Každá konstrukce má být také navržena na největší, geometricky a konstrukčně možný, počet kolejí v nejméně příznivé poloze, bez ohledu na polohu zamýšlených kolejí, přičemž jsou brány v úvahu stanovené minimální vzdálenosti kolejí a požadavky na průjezdní průřez. Minimální vzdálenost kolejí a požadavky na průjezdní průřez lze stanovit pro konkrétní projekt.

Účinky všech zatížení musí být stanoveny ze zatížení dopravou umístěných v nejnepříznivějších polohách. Zatížení dopravou, která vyvolávají odlehčující účinek, musí být zanedbána.

Podrobná pravidla jsou uvedena pro umístění a kombinace různých modelů zatížení na jedno- a vícekolejných mostech různého konstrukčního uspořádání při statickém a dynamickém zatěžování pro různé mezní stavy v 6.8 [1, 2]. V tab. 6.10 jsou uvedeny počty zatížených kolejí při posuzování mezí přetvoření a kmitání. Tab. 6.11 stanovuje sestavy zatížení železniční dopravou (charakteristické hodnoty vícesložkových zatížení).

Takto stanovená zatížení se dosazují do kombinačních rovnic uvedených a upřesněných v národní příloze k ČSN EN 1990 [4], jak je zdůvodněno a uvedeno v [3]. Pro železniční mosty platí obdobně jako pro mosty pozemních komunikací, pro které je to podrobněji rozvedeno v [10].

Literatura:
[1] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. ČNI, 2005
[2] EN 1991-2 Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges. CEN, 2003
[3] *Holický M., Marková J.:* Eurokód ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí, Beton TKS, 2/2005
[4] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí. ČSNI, 2004
[5] ČSN 73 6203: 1986 Zatížení mostů. ÚNM Praha
[6] ČSN P ENV 1991-3 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí Část 3: Zatížení mostů dopravou. ČSNI, 1997
[7] ENV 1991-3 Basis of design and actions on structures Part 3: Traffic loads on bridges. CEN, 1995
[8] EN 1990 – Annex A2: Application for bridges (Normative). CEN, 2005 (Final version after formal vote)
[9] EN 1991-1-7 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení (zatím nevyšel)
[10] *Studničková M.:* Eurokód 1 ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí-Část 2: Zatížení mostů dopravou (2. část – zatížení kolejovou dopravou a jiná zatížení specifická pro železniční mosty, Beton TKS 4/2005
[11] Předpis 18/1986-PMR kategorie železničních tratí z hlediska mostů, zveřejněno ve Věstníku dopravy č. 6/1987

Ing. Josef Sláma, CSc.
Zvonařská 881, 156 00 Praha 516 – Zbraslav
tel.: 257 923 021