

# AKTUÁLNÍ LEGISLATIVA ČR PRO NÁVRH MOSTŮ VYSOKORYCHLOSTNÍCH TRATÍ

Pavel Vrba, \*

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,  
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.  
pavel.vrba@fsv.cvut.cz

## ABSTRAKT

Výstavba vysokorychlostních tratí je v současnosti často zmiňovaný způsob zkvalitnění železniční dopravy ve světě i ČR. S rozvojem těchto tratí se objevuje potřeba nových přemostění splňující nové požadavky. Požadavky na návrh mostů vysokorychlostních tratí se týkají samotného chování konstrukce s ohledem na dynamická zatížení, ale také přibývají omezení vyplývající z návrhu železničního svršku. Zásadním aspektem při návrhu mostní konstrukce vysokorychlostních tratí je odezva na dynamická zatížení, která při vysokých rychlostech vlakových souprav vznikají. Příspěvek shrnuje problematiku dynamického zatížení železničních mostů z pohledu aktuální legislativy. Pozornost je dále věnována obecně platným normám a interním předpisům Správy železnic, které řeší problematiku návrhu mostů a jejich uplatnění při návrhu mostů vysokorychlostních tratí.

Cílem příspěvku je shrnutí aktuálního stavu legislativy pro návrh mostů vysokorychlostních tratí.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Vysokorychlostní trať, dynamická analýza, železniční most, normy

## ABSTRACT

Currently, the construction of high-speed railways is a frequently mentioned method for the improvement of railway transportation across the Czech Republic as well as the world. Due to its development, there is a need to analyze new approaches to bridge construction to comply with new demands. Bridge design requirements of high-speed railway bridges relate to the dynamic response of construction. Furthermore, there is an addition due to increased demands of railway superstructure because of high speed.

The main aspect of high-speed railway bridge design is the response to the dynamic load which emerges from the high-speed train set. The paper describes the dynamic loads of railway bridges from the point of current legislation. In addition, it focuses on European norms and internal regulation of the railway's state organization Správa železnic., which

deals with bridge design application of high-speed railway bridges.

The paper aims to summarize the current legislation state of high-speed railway bridge design

## KEYWORDS

High-speed railway, dynamic response, railway bridge, Norms

## 1. ÚVOD

### 1.1. Vysokorychlostní tratě

Projekty staveb vysokorychlostních tratí (dále VRT) na území české republiky s sebou přináší potřebu přemostění stávajících komunikací, vodních toků a terénních překážek. Návrh mostních konstrukcí pro traťové rychlosti přesahující 200 km/h s sebou přináší značná dynamická zatížení, která musí být v návrhu zohledněna.

V současné době na našem území probíhá příprava pilotních projektů rychlých spojení. Pro projektování vysokorychlostních tratí v minulých letech vznikla řada studií a podkladových materiálů vycházející ze zkušeností ze zahraničí (zejména Francie). Krom provedených studií a interních předpisů Správy Železnic, jsou pro návrh konstrukcí závazné normové podklady jejíž využití, v kontextu projektování dynamicky významně zatížených konstrukcí, je nejednoznačně uchopitelné.

Cílem příspěvku je shrnutí aktuálního stavu legislativy (technické normy a interní předpisy správce železnic) s ohledem na návrh mostů vysokorychlostních tratí, tedy dynamicky významně zatížených konstrukcí. Snahou tohoto příspěvku je ucelení problematiky navrhování dynamicky zatížených konstrukcí a poukázání na případné nesoulady.

### 1.2. Dynamika železničních mostů

Vlakové soupravy projíždějící rychlostí přesahující 200 km/h generují nezanedbatelná dynamická zatížení podobná Rayleiovým vlnám. Jedná se o povrchové vlnění s kruhovým charakterem, jehož následkem je oscilace povrchu konstrukce (a s tím i kolejového svršku). Jedná o zatížení technickou

---

\* Školitel: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

seismicitu jejíž zdroje účinků jsou známé a na které se návrh mostu musí uzpůsobit.

Z níže uvedeného znění dynamické pohybové rovnice vynuceného kmitání jsou patrné parametry, ovlivňující dynamickou odezvu konstrukce. Jsou jimi tuhost, hmotnost, útlum a časový průběh zatížení.

$$Kr(t) + C\dot{r}(t) + M\ddot{r}(t) = f(t) \quad (1)$$

Hmotnost zahrnuje vlastní tíhu samotné konstrukce i další stálé zatížení konstrukcí a vybavení mostního svršku. Tuhost je dána průřezovými a materiálovými charakteristikami nosné konstrukce a případným spolupůsobením v úrovni nosné konstrukce – kolejový svršek. Tyto parametry jsou ovlivněny samotným návrhem konstrukce.

Průběh zatížení je odvozený od použitého vlaku a traťové rychlosti. Zatížení definuje norma formou HSLM sestav nebo jinými vlakovými soupravami, jejíž provoz lze na dané trati předpokládat.

Útlum je klíčovým parametrem dynamické analýzy, jehož hodnotu nelze spolehlivě odhadnout. Hodnota je zde ovlivněna použitým materiálem, jeho vadami, skladbou kolejového svršku a jeho dynamickými parametry nebo charakterem deformace.

Vibrace konstrukce mohou mít vliv na velikost vnitřních sil, způsobovat lokální únavová poškození a důsledkem rezonance může být kolaps celé konstrukce. Deformace způsobené vibracemi mohou ovlivnit bezpečnost, plynulost a komfort dopravy. Z těchto důvodů je dynamické vyšetřování mostů vysokorychlostních tratí důležité. Vhodným návrhem lze docílit požadovaného komfortu, bezpečnosti a udržitelnosti železniční dopravy.

*„Správné pochopení problémů dynamiky mostů přispívá totiž k hospodárnému navrhování nových konstrukcí a k racionálnímu využívání mostů v provozu.“*  
(Frýba, Dynamika železničních mostů)

## 2. POŽADAVKY NA MOSTY VYSOKORYCHLOSTNÍCH TRATÍ

Mosty vysokorychlostních tratí jsou v našem regionu zcela novou skupinou navrhovaných konstrukcí. Přináší tak řadu nových principů a pravidel platných pro jejich návrh. Rostoucí dopravní rychlosti je nutné zohlednit geometrii příčného uspořádání na mostě i dalšími pravidly definující umístění konstrukce z hlediska požadavků železničního svršku. Další požadavky pro tyto mosty vycházejí například z potřeb pro údržbu a plynulosti dopravy.

Parametrům návrhu mostů z hlediska koncepce návrhu se dle provedené rešerše podkladů věnují následující zdroje (zpravidla se tyto podklady nevěnují statické nebo dynamické analýze).

- Interní předpisy Správy železnic (S3, MVL 110, MVL150, Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR)
- Normové podklady (ČSN EN 1990, ČSN EN 73 6201)
- Odborná literatura

Obecně se pro mosty VRT požaduje splnění nejvyššího stupně spolehlivosti, kvality, bezpečnosti staveb. Předpokládá se

velkokorysé geometrické vedení tratě s ohledem na pohodlí cestujících, které musí být splněno i v rámci souvisejících inženýrských konstrukcích. S ohledem na bezpečnost a plynulost provozu jsou tratě VRT vždy vedeny minimálně ve dvoukolejném uspořádání.

### 2.1. Navrhování mostů dle interních předpisů

#### 2.1.1. Interní předpis SŽ S3

Předpis SŽ S3 se obsahuje souhrn zásad pro projektování železničního svršku tratí s normálním rozchodem. V nejnovější verzi (od roku 2021) byl doplněn o díl XVII pojednávající o železničním svršku pro rychlosti nad 200 km/h (do 360 km/h). V oboru rychlostí odpovídající VRT předpis definuje rozměry drážní stezky, odstupy překážek od osy koleje, pravidla pro umístování výhybek a kolejových dilatačních zařízení (KDZ). Nové parametry jsou v souladu s Manuálem VRT.

Z hlediska projektování mostů vrt předpis definuje geometrické uspořádání koleje a mostního svršku. Předpis nijak neřeší problematiku návrhu mostu z hlediska dynamických zatížení. Ustanovení ohledně umístování bezстыkové koleji jsou dle předpisu podrobně řešena v MVL 150.

#### 2.1.2. Interní předpis MVL 110 a MVL 150

MVL 110 Standardní typy nosných konstrukcí železničních mostních objektů definuje zásady pro navrhování „běžných“ železničních mostních objektů. MVL 110 předkládá základní kritéria pro návrh železničních mostů a způsob jak přistupovat k návrhu konstrukce. První část tohoto předpisu společně s ČSN EN 73 6201 a ČSN EN 1990 tvoří myšlenkový základ vhodný pro návrh koncepce železničního mostu.

Část předpisu, věnující se výčtu jednotlivých „běžných“ konstrukcí není z pohledu VRT použitelná (jako standardní konstrukce jsou uvažovány jednokolejné, kolmé mosty o jednom poli). Návrhu konstrukcí významně zatížených dynamickými účinky se MVL 110 nevěnuje.

MVL 150 Kombinovaná odezva mostu a koleje navazuje svým pojetím na předpisy SŽ S3. Podrobněji se věnuje návrhu bezстыkové koleje a jejího dopadu na návrh mostu. Předpis definuje požadavky umístění kolejových dilatačních zařízení (KDZ) a jejich vliv na návrh mostu.

Předpis požaduje stanovení namáhání, od dynamických účinků dopravy, pro posouzení únosnosti kolejnic. MVL 150 se nevěnuje návrhu mostu z hlediska dynamického zatížení ani neuvádí dynamické parametry bezстыkové koleje a mostního svršku.

#### 2.1.3. Manuál pro mosty VRT ve stupni DÚR

Další požadavky pro návrh mostů VRT jsou definovány v Manuálu pro projektování VRT ve stupni DÚR (dále jen Manuál VRT) jehož znění je v tuto chvíli utajováno. Manuál nelze v tuto chvíli citovat, avšak většina požadavků z něj vyplývajících je v souladu se zkoumanými předpisy.

### 2.2. Zásady navrhování mostů dle norem

Základními normami pro návrh mostních konstrukcí jsou ČSN EN 73 6201 Projektování mostů, která se primárně věnují

návrhu mostu z hlediska geometrie a údržby. Další normou je ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí, která definuje zatížení, princip mezních stavů, pravidla týkající se zatížení a posuzování konstrukcí.

#### 2.2.1. Zásady navrhování konstrukcí ČSN EN 1990

V základní části norma definuje způsoby zatěžování konstrukcí a metodiku posuzování dle mezních stavů. Pro návrh konstrukcí je dle normy požadována vhodná volba materiálu, statického schématu a konstrukčními zásadami. Norma definuje metodiku mezních stavů a požadavky jejich omezení.

Norma dále klasifikuje zatížení na zatížení, statická, dynamická a kvazistatická. Pro návrh mostních konstrukcí na dynamické účinky se zpravidla používají kvazistatické zatížení (požadavek platný pro konvenční tratě). Pro mosty VRT platí předpoklad značných dynamických zatížení, pro které je předběžné stanovení dynamického součinitele nepřesné (bez dynamické analýzy).

Příloha A2 normy definuje požadavky pro aplikaci na mostní konstrukce. Definuje požadavky kombinační pravidla, požadované hodnoty součinitelů a kritéria pro omezení mezních stavů.

#### 2.2.2. Norma projektování mostů ČSN EN 73 6201

Norma ČSN EN 73 6201 definuje základní požadavky pro návrh konstrukcí z hlediska prostorového uspořádání, vedení koleje, požadavků na odstupy od překážek, požadavky na služební chodník/drážní stezku nebo požadované geometrické rezervy. Norma definuje volný mostní prostor (VMP) v závislosti dopravní rychlosti (pro VRT je dle rychlosti příslušný VMP=3,5m). Statické schéma a nosná konstrukce se má volit dle vzájemného působení nosné konstrukce, spodní stavby a železničního svršku (s odkazem na ČSN EN 1991-2). Doporučení článku 14.11.1 hovoří o snaze minimalizovat počet přechodů mezi nosnými konstrukcemi, z čehož vyplývá preference spojených nosníků (protichůdný požadavek z hlediska návrhu bezстыkové koleje nebo možný rozkol s politikou používání KDZ). Kolejnicové pásy na nově budovaných mostech se dle této normy a požadavků předpisu SŽ S3 požadují řešit ve smyslu průběžného kolejového lože v odůvodněných případech pevné jízdní dráhy.

### 2.3. Obecné požadavky dynamicky zatížených konstrukcí

Dynamika železničních mostů je obor věnující se studiu odezvy mostní konstrukce na železniční zatížení, které je reprezentováno pohybujícími se nápravovými silami. Nejdůležitějšími vlastnostmi ovlivňující dynamické chování železničních mostů jsou frekvenční vlastnosti konstrukce, frekvenční vlastnosti vozidel, útlumové vlastnosti konstrukce a rychlost pohybu vozidel.

Mezi frekvenční vlastnosti konstrukce patří délka, hmotnost a tuhost nosné konstrukce mostu. Frekvenční vlastnosti vozidel reprezentují hmotu vozidel a jejich způsob tlumení. Pro popis útlumových charakteristik se často používá tzv. logaritmický dekrement útlumu. Logaritmický dekrement je definován jako

přirozený logaritmus poměru po sobě následujících amplitud. Rychlost pohybu vozidel je nutno uvažovat jako celé spektrum možných rychlostí v daném úseku.

Pohybující se vozidla působí na mostní konstrukce formou svislých, ale i vodorovných zatížení. Následkem těchto dynamických složek zatížení je nárůst deformací ve srovnání se složkami statickými. V běžné praxi se tyto účinky zohledňují formou tzv. dynamického součinitele. Dynamický součinitel vyjadřuje násobnost účinku dynamického zatížení vůči statickému. S ohledem na míru zjednodušení není dynamickým součinitelem možno dostatečně popsat všechny vlivy, avšak pro návrh mostů konvenčních tratí jde o přijatelný postup. V případě vysokorychlostních tratí se jedná o nevhodné zjednodušení.

Dynamická odezva mostní konstrukce patří mezi nejdůležitější aspekty návrhu mostů VRT. Výzkumy ukazují, že s rostoucí se rychlostí vlaku je návrh více ovlivňován tuhostí konstrukce než pevností jednotlivých materiálů. Dalšími rozhodujícími faktory jsou provozní bezpečnost a komfort jízdy.

Vlivem úpravy jednotlivých mostních parametrů dochází k ovlivnění samotné odezvy. S rostoucí hmotností průřezu (setrvačná hmota) klesá hodnota vlastní frekvence kmitání. S rostoucí tuhostí průřezu roste hodnota vlastní frekvence kmitání. Dle teorie dynamiky by se vlastní frekvence kmitání (nebo jejich násobky) neměli blížit nebo rovnat budící frekvenci zatížení (nebo jejím násobkům), aby se předešlo jevu rezonance. Kmitání konstrukce může dále způsobovat materiálovou únavu prvků, snížení jejich únosnosti nebo ztrátu stability.

Na výše uvedené parametry a vlastnosti byl kladen důraz při zpracovávání rešerše legislativních podkladů. Získané poznatky o přístupu legislativy k dynamickému namáhání jsou popsány v další kapitole.

## 3. LEGISLATIVA A DYNAMICKÁ ODEZVA KONSTRUKCE

Na VRT tratích jsou kritickými parametry při posouzení omezení MSP. Mezní hodnoty pro posouzení mezního stavu použitelnosti je uvedeno v Eurokódu ČSN EN 1990 ed.2. Snahou je zaručení dostatečného komfortu jízdy pro cestující a bezpečnost provozu na trati.

Provádění dynamické analýzy a podmínky pro její splnění jsou popsány v ČSN EN 1991-2. Norma dále definuje zatížení železničních mostů, jejich specifika a pravidla užití.

### 3.1. Normy definující dynamiku konstrukcí

#### 3.1.1. Zásady navrhování konstrukcí ČSN EN 1990

Pro konvenční tratě platí použití implicitního nebo explicitního (dynamické součinitele) zohlednění dynamických účinků zatížení. Pro návrh mostů VRT definuje pravidla pro provádění dynamické analýzy konstrukcí. Podrobně je řešena problematika šetření, pro které konstrukce je dynamická analýza nutná.

Pro případy, kdy je dynamická analýza požadována se musí ve výpočtu uvažovat všechny nosné prvky a všechny nenosné prvky osazené na nosné konstrukci s jejich vlastnostmi

(hmota, tuhost, útlum). V případě interakce konstrukce se základovou půdou se může vliv zeminy modelovat vhodnou náhradou tlumičů a pružin.

Aby byla zajištěna bezpečnost dopravy pro konstrukce vyžadující dynamickou analýzu, musí se ověřit maximální zrychlení konstrukce. Svislé zrychlení konstrukce nesmí přesáhnout hodnoty  $3,5\text{m/s}^2$  pro konstrukce s průběžným kolejovým ložem (preferovaný železniční svršek pro VRT) nebo  $5,0\text{m/s}^2$  pro mosty s pevnou jízdní dráhou. Během posouzení se mají prověřit všechny frekvence až do maxima z hodnot 30 Hz, 1,5 násobek vlastní frekvence kmitání nosné konstrukce nebo frekvence příslušející třetímu vlastnímu tvaru kmitání. První vlastní frekvence kmitání ve vodorovném směru nesmí překročit hodnotu 1,2 Hz.

Dle přílohy A2 se musí vězení přetvoření mostu provést z důvodu bezpečnosti dopravy pro následující požadavky.

- Svislá zrychlení a průhyby nosné konstrukce
- Volné zdvihání v místě ložisek
- Zkroucení nosné konstrukce
- Natočení, svislé a podélné posunutí konců nosné konstrukce
- Vodorovné posunutí a pootočení nosné konstrukce

#### 3.1.1. Zatížení dopravou ČSN EN 1991-2

Dynamická analýza se musí dle normy (1991-2) provést s využitím charakteristických hodnot zatížení stanovených ze skutečných vlaků. Výběr skutečných vlaků musí uvažovat každé přípustné vozidlo přejíždějící po konstrukci rychlostí nad 200 km/h. Dynamická analýza se musí provést také s využitím modelu zatížení HSLM na mostech navrhovaných pro mezinárodní trať (všechny plánované VRT jsou předpokládány jako mezinárodní trať). Pro mosty se dvěma nebo více kolejemi má být pro účely dynamické analýzy uvažováno zatížení pouze jedné koleje.

Pro každý skutečný vlak a modely zatížení HSLM musí být uvažována řada rychlostí od 40 km/h až po maximální návrhovou rychlost. Maximální návrhová rychlost odpovídá 1,2 násobku maximální traťové rychlosti v daném úseku. Volba „kroků“ mezi rychlostmi není normou definována, norma pouze požaduje zahuštění v oblastech rezonančních rychlostí.

Norma připouští aplikaci roznosu zatížení na trojici sousedících kolejových podpor v poměru 1:2:1. Tento předpoklad následně přejímá norma ČSN EN 15528 a interní předpis SŽ S5. Podélné roznašení zatížení není dle normy možné řešit pomocí přerozdělení v kolejovém loži.

Pro návrh železničních mostů norma požaduje použití pouze dolní meze předpokládaného útlumu. Pro rozpětí menší než 30 m mají dynamické účinky vzájemného působení vozidla a mostu tendenci snižovat extrém odezvy při rezonanci. Účinek tohoto jevu je možné předcházet uvažováním dodatečného útlumu  $\Delta\theta$  dle postupu této normy.

Kapitola 6.4 této normy definuje požadavky na provádění dynamické analýzy a rozsah použití (případně stanovení) dynamického součinitele. Dle provedené dynamické analýzy je možné sestavit příslušný dynamický součinitel, který lze následně použít při kvazistatickém návrhu konstrukce.

Maximální dynamické účinky jsou předpokládány při rezonančních špičkách. Jakékoli podhodnocení hmotnosti

bude nadhodnocovat vlastní frekvenci konstrukce a tím i dopravní rychlost, při které k rezonanci dochází. Každé nadhodnocení tuhosti mostu nadhodnocuje vlastní frekvenci konstrukce a rychlost, při které k rezonanci dochází.

Pro zajištění bezpečnosti dopravy je dle normy nutné provést následující kroky.

- Ověření maximálních hodnot zrychlení nosné konstrukce.
- Při nutnosti dynamické analýzy porovnat výsledky této analýzy s účinky statické analýzy zvětšené o dynamický součinitel. Pro návrh se použije méně příznivý stav.

Norma mimo jiné definuje standardní způsoby zatěžování železničních mostů, kombinací pravidla, součinitele a postupy spojené s návrhem železničních mostů.

#### 3.1.2. Příloha P Železniční aplikace ČSN EN 15528

Tato norma ve své základní části nedefinuje způsob navrhování mostů, avšak příloha P představuje příklad provádění základní dynamické analýzy mostu.

Dle normy má být v prvním kroku dynamické analýzy proveden posudek parametrů konstrukce, identifikace vlastností mostu a potenciálního rizika nadměrné dynamické odezvy. Modely pohyblivých zatížení pro jednotlivé nápravy jsou dle normy konzervativní a zjednodušující, protože zanedbávají odpružení vozidla, setrvačnost vozidla a jeho neodpružené hmotnosti. Pro provádění dynamické analýzy je možné použít roznos nápravových ve smyslu normy ČSN EN 1991-2.

Pro zpřesnění dynamické analýzy může být zavedena dynamická interakce mostu a vozidla. Tento postup není dále nijak rozveden. Norma dále předpokládá použití dat o tlumení konkrétního mostu, pokud jsou dostupná (dle ČSN EN 1991-2 toho v návrhu konstrukce není možné dosáhnout a proto uvádí doporučené hodnoty).

#### 3.2. Normy navrhování konstrukcí

Za účelem navrhování konstrukcí na účinky dynamického zatížení byly analyzovány Eurokódy navrhování konstrukcí (obecná pravidla a rozšíření věnovaná mostním konstrukcím) v následujícím rozsahu.

- Navrhování betonových konstrukcí (ČSN EN 1992-1 a 1992-2)
- Navrhování ocelových konstrukcí (ČSN EN 1993-1 a 1993-2)
- Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí (ČSN EN 1994-1 a 1994-2)
- Navrhování geotechnických konstrukcí (ČSN EN 1997-1)

Eurokód navrhování betonových konstrukcí (ČSN EN 1992-1) se k otázce ověřování dynamického zatížení konstrukcí v kapitole 7.1 (Mezní stavy použitelnosti) zmiňuje následujícím způsobem: „*Další mezní stavy (jako jsou vibrace) mohou být důležité u zvláštních konstrukcí, ale nejsou obsaženy v této normě*“ (EN 1992-1). Společně s rozšířením pro mosty (ČSN EN 1992-2) pak obě tyto normy řeší

namáhání konstrukce únavou (cyklické zatížení), ale problematiku dynamického namáhání konstrukcí více neřeší. Eurokódy věnující se ocelovým a spráženým konstrukcím (viz výše) se o dynamické odezvě konstrukcí zmiňují v souvislosti s mezním stavem použitelnosti, kde zmiňují nepříznivý vliv na pohodlí uživatelů a případné poškození konstrukce vlivem rezonance. Následně se tyto normy odvolávají na ustanovení normy ČSN EN 1990. Národní příloha NA2.24 normy ČSN EN 1993-1 pojednává o snaze vyvarovat se podobnosti rozsahu mezi budícími frekvencemi zatížení a vlastními frekvencemi konstrukce. Normy předpokládají užití dynamických součinitelů při posuzování nežádoucích účinků únavy.

Geotechnické konstrukce (dle ČSN EN 1997-1) musí vzít v úvahu zatížení vyvolávající interakci založení s konstrukcí. Zvláštní pozornost se má věnovat zatížením vyvolávající dynamickou odezvu v konstrukci. Dle kapitoly 6 (plošné základy) mají být provedeny opatření, aby se nevyskytla rezonance v úrovni základové spáry. Dle základního ustanovení kapitoly 7.2 (piloty) má být zamezeno nepříjemným vibracím. Způsob konkrétního zohlednění těchto zatížení a nebezpečné rozsahy vibrací nejsou popsány.

### 3.3. Další ustanovující předpisy

Předpis SŽ S5 k roku 2021 řeší problematiku přechodnosti železničních objektů s rychlostí do 200 km/h. Pro určování přechodností vyššími rychlostmi není aktualizován. Z hlediska návrhu konstrukce na účinky dynamických zatížení předpis hovoří o mezním stavu použitelnosti. Omezení nežádoucího kmitání se má provést s ohledem na zajištění bezpečnosti jízdy a vyloučení nežádoucích únavových namáhání. V odůvodněných případech se má provést dynamická analýza (VRT).

Pro přepočet mostní konstrukce se doporučuje rozdělení nápravového zatížení v podélném směru na tři kolejnicové podpory v doporučené vzdálenosti 533 mm. Dynamické účinky se dle předpisu řeší pomocí dynamického součinitele uvedeného v příloze (platí do rychlostí 200 km/h, dále součinitele nejsou stanoveny). Dle přílohy A daného předpisu se dynamická analýza konstrukce provádí dle požadavků uvedených v ČSN EN 1993-2 (viz příslušná kapitola tohoto příspěvku).

Předpis ve své přílohové části řeší provádění diagnostických průzkumů a dynamické studijní zkoušky (podrobněji viz ČSN EN 73 6209). Poznatky z těchto příloh nemají pro dynamickou analýzu konstrukce zásadní význam.

## 4. SHRUTÍ

### 4.1. Aktuální nedostatky v legislativě

ČSN EN 1990 uvádí možnost zahrnutí vlastností základové půdy do modelů pomocí vhodné náhrady pružin a tlumičů. Tento postup není dále rozepsán.

Dle požadavků na provádění dynamické analýzy dle ČSN EN 1990 (příloha A2) se má zohlednit interakce hmot mezi vozidly vlaku a konstrukcí nebo dle dalšího bodu útlumové a tuhostní charakteristiky odpružení vozidla. Jakým způsobem

norma neuvádí. Avšak dle ČSN EN 1991-2 lze za předpokladu použití skutečných vlakových souprav v dynamické analýze interakci vozidla a konstrukce zanedbat. Zároveň se však má uvažovat s kolísáním nápravových zatížení po délce vlaku (dále není rozvedeno).

Eurokódy věnující se navrhování konstrukcí (ČSN EN 1992 až 1997) problematiku dynamicky zatížených konstrukcí obecně neřeší, pouze vymezují případná negativa spojená s vibracemi konstrukce (MSP).

Útlum způsobuje postupné uklidnění kmitavého pohybu konstrukce po přejezdu vlakové soupravy. S rostoucí hodnotou útlumu dochází k dřívějšímu ustálení pohybu konstrukce. Pro zohlednění dynamických vlastností kolejového lože nebyl nalezen vhodný prováděcí předpis.

Předpis SŽ S5 neřeší stanovení přechodnosti železničních mostů s dopravními rychlostmi přesahující 200 km/h. Vyjádření dynamického chování v předpisu se orientuje na konstrukce konvenčních tratí pomocí stanovení dynamického součinitele.

Předpis SŽ S5 doporučuje pro určení přechodnosti použít logaritmický dekrement útlumu měřený na skutečné konstrukci. Tento postup je z hlediska ČSN EN 1991-2 příliš složitý, náhradním řešením je pak volba logaritmického útlumu dle materiálu konstrukce. Tento postup však nezohledňuje žádné další parametry daného mostu.

Dle teorie dynamiky je odezvou mostu na přejezd vozidla kmitání konstrukce. Kmitání může být popsáno jako Deterministický pohyb (pohyb lze po celou dobu konkrétně popsat) nebo pohyb Stochastický (náhodný). V prvním případě se jedná o pohyb vyvolaný vlakovou soupravou. Druhý případ odkazuje na případné nerovnosti trati (kolej, změny tuhosti pláň, atd.), které jsou těžko predikovatelné. Popis druhého pohybu a jeho vliv na odezvu konstrukce žádná z uvedených norem nepopisuje.

### 4.2. Vhodné legislativní podklady

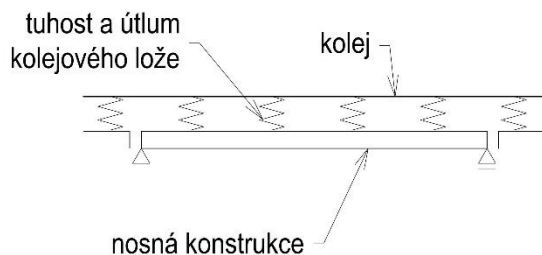
Základní požadavky na mostní konstrukce jsou pro navrhování vysokorychlostních tratí shodné s předpisy pro konvenční tratě. V souvislosti s navrhování VRT stojí za zmínku díl XVII předpisu SŽ S3 a dále pak Manuál pro projektování VRT.

Pro návrh mostů vysokorychlostních tratí (z pohledu dynamické analýzy) jsou dle aktuálního stavu legislativy vhodné zejména následující zdroje.

- ČSN EN 1990 – Příloha A2
- ČSN EN 1991-2
- ČSN EN 15528 – Příloha P

### 4.3. Řešení některých požadavků

Odborná literatura často pojednává o zohlednění dynamických charakteristik kolejového lože (zejména útlumu) pomocí různých teorií. V tuto chvíli nebyl nalezen předpis, o který by se taková analýza mohla opírat. Aplikace dynamických a geometrických parametrů kolejového lože by mohla probíhat dle následujícího schématu (prozatím není prováděcí předpis).



Důležitým aspektem pro návrh konstrukcí je nalezení vhodného způsobu zohlednění kolejového lože. Zejména vlastnosti kolejového lože spojené s útlumem. Útlum a jeho vliv na dynamickou odezvu konstrukce je zásadním faktorem. V současné době existuje teorii popisující útlum konstrukcí, nicméně neexistuje právní opora určující preferovaný přístup, jednotlivé dynamické parametry nebo konkrétní postup v naší krajině.

Dle požadavků ČSN EN 1990 je možné zohlednit charakteristiky zemin při provádění analýzy. Norma ČSN EN 1997-1 požaduje ověření při dynamické interakci mezi konstrukcí a založením. Oba zmiňované požadavky vytváří prostor pro úvahy nad způsobem zohlednění těchto požadavků a jejich vlivu na návrh konstrukce mostu.

## 5. ZÁVĚR

Cílem tohoto příspěvku je shrnutí stavu aktuální legislativy týkající se návrhu mostních konstrukcí pro vysokorychlostní tratě. Postupně jsou popsány standardně používané předpisy pro návrh železničních mostů konvenčních tratí, ve kterých je hledán přínos pro mosty VRT. Dopad jednotlivých podkladů je zhodnocen v příslušných kapitolách.

Na základě prozkoumané literatury jsou následně sepsány požadavky nebo přístupy jednotlivých předpisů, které by mohli být pro návrh mostů VRT důležité, ale v aktuální době je jejich výklad nejednoznačný.

Z dosavadních poznatků se pozitivní přínos setrvačné hmoty s rostoucím rozpětím pole snižuje a tím vzniká prostor pro použití lehčích konstrukcí jako jsou ocelobetonové spřažené konstrukce, případně samotné ocelové konstrukce. Se zmenšujícím se rozpětím nosné konstrukce roste vlastní frekvence kmitání a zároveň roste citlivost konstrukce na dynamická zatížení.

Pro splnění požadavků na MSP je u těchto konstrukcí potřeba značné tuhosti a hmotnosti. Dále je nutné zohlednit aplikaci možných úlev jako je roznos zatížení skrze blízké pražce viz ČSN EN 15528 a přidavného útlumu dle ČSN EN 1991-2 (nelze aplikovat článek 6.3.6.2 – geometrický roznos v kolejovém loži). Vhodným nástrojem pro zefektivnění návrhu mostních konstrukcí krátkých rozpětí by bylo zohlednění dynamických vlastností kolejového lože jako soustavy pružin, případně objemových prvků. Tento přístup je v této chvíli čistě teoretický, bez normového podkladu.

## PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za finanční podpory SGS21/042/OHK1/1T/11, Českého Vysokého učení technického v Praze.

## Reference

### Technické normy:

- ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění, Praha: ČNI, 2011
- ČSN EN 73 6201: Projektování mostních objektů, Praha, ČNI, 2008
- ČSN EN 1990 ed. 2 (ČSN 73 0002): Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Ed. 2. Praha: ČNI, 2021.
- ČSN EN 1991-2 ed. 2 (ČSN 73 6203): Eurokód: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. Ed. 2. Praha: ČNI, 2018.
- ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, Praha, ČNI, 2004
- ČSN EN 1992-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha, ČNI, 2006
- ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady, Praha, ČNI, 2007
- ČSN EN 1993-1-1, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha, ČNI, 2011
- ČSN EN 1993-2, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty, Praha, ČNI, 2008
- ČSN EN 1994-1-1 Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha, ČNI, 2011
- ČSN EN 1994-2 Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 2: Obecná pravidla a pravidla pro mosty, Praha, ČNI, 2007
- ČSN EN 1997, Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla, Praha, ČNI, 2006
- ČSN EN 15528 - Železniční aplikace - Traťové třídy zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidla, Praha: UNMZ, 2016

### Interní předpisy

- SŽ S3 Železniční svršek, Praha, SŽ, 2020
- SŽ S5 Správa mostních objektů, Praha, SŽ, 2021
- MVL 150 Kombinovaná odezva mostu a koleje, Praha, SŽDC, 2016
- MVL 110 Standardní typy nosných konstrukcí železničních mostních objektů, Praha, SŽDC, 2018
- Manuál pro projektování VRT ve stupni DÚR. Praha, 2020.

### Odborná literatura

- Frýba, Ladislav. *Dynamika železničních mostů*. Praha: Academia, 1992. ISBN 80-200-0262-6.
- Frýba, Ladislav. *Dynamics of railway bridges*. Praha: Academia, 1996. ISBN 80-200-0544-7.

- Vlasák, Martin a Filip Kutina. *Technicko-Provozní studie - Technická řešení VRT: Subsystém INF - Mosty*. Praha, 2017.
- Vrba, Pavel. Betonové mosty středních rozpětí na vysokorychlostních tratích. In: *10th PhD Workshop of the Department of Concrete and Masonry Structures 2021*. Praha: ČVUT, 2021, s. 6. ISBN 978-80-01-06842-7.