

OVĚŘOVÁNÍ STÁVAJÍCÍCH BETONOVÝCH MOSTŮ PODLE NOVÝCH TECHNICKÝCH PODMÍNEK ■ VERIFICATION OF EXISTING CONCRETE BRIDGES ACCORDING TO NEW TECHNICAL REQUIREMENTS

Milan Holický, Jana Marková, Miroslav Sýkora

Současná generace Eurokódů je určena především pro navrhování nových konstrukcí, pro ověřování stávajících konstrukcí jsou potřebné doplňující pokyny. Nové technické podmínky MD ČR proto uvádějí doplňující operativní postupy pro ověřování existujících mostů. ■ Eurocodes are focused mainly on the design of new structures and supplementary rules for verification of existing structures are needed. Therefore new technical requirements of the Ministry of Transport of the Czech Republic provide the operational procedures for verification of existing bridges.

Nepříznivé účinky prostředí a zvyšující se intenzita dopravy vedou k degradaci stávajících mostů. Zajištění jejich provozuschopnosti není pouze velkým ekonomickým problémem, ale má i význam společenský – v ČR je více než 350 mostů s významnou architektonickou, historickou, nebo technologickou hodnotou registrováno jako industriální dědictví. Opravy a rekonstrukce stávajících mostů jsou proto naléhavým úkolem mostních inženýrů a odpovědných úřadů. Kvalifikovaná rozhodnutí o stávajících mostech by měla být založena na dostupných informacích o skutečných materiálových vlastnostech, zatíženích, nepříznivých vlivech prostředí a očekávaných následcích jejich porušení. Klíčovým úkolem v rozhodovacím procesu je ověření spolehlivosti existujícího mostu.

Stávající konstrukce včetně mostů se v současnosti mohou ověřovat v ČR podle platných předpisů, kterými jsou nyní výhradně ČSN EN Eurokódy. Nové evropské předpisy jsou však určeny především pro navrhování nových konstrukcí a nezahrnují doplňující pokyny pro ověřování existujících konstrukcí. Nová část Eurokódů pro stávající konstrukce má být připravena v rámci střednědobého plánu jejich dalšího rozvoje [1] do pěti let. Zařazení tohoto dokumentu do plánu tvorby předcházelo mnoho jednání členských zemí na setkáních technické komise CEN/TC 250. Některé země se totiž stavěly k tvorbě nového dokumentu velmi zdrženlivě a měly zájem zachovat své národní postupy. U nás byla v roce 2005 zavedena do soustavy českých norem ČSN ISO 13822 [9] s šesti národními přílohami, které doplňují některá ustanovení a poskytují doporučení pro určení vlastností železobetonu, oceli, ocelobetonu, dřeva a zdva používaných pro stávající konstrukce v ČR.

Nové Technické podmínky (TP) ověřování existujících betonových mostů pozemních komunikací [2], které budou vydány v druhé polovině letošního roku, podrobněji vysvětlují nebo rozšiřují vybrané pokyny ČSN ISO 13822 [9]. Základní text TP vypracovaných s podporou projektu MD ČR č. 1F82C/072/910 tvoří čtyři kapitoly, které poskytují obecné zásady ověřování stávajících mostů, zabývají se jejich kategorizací podle následků poruchy a směrnou úroveň spolehlivosti. Uvádí se zde postupy uplatnění metody dílčích součinitelů pro ověřování existujících mostů a možnosti úpravy hodnot dílčích součinitelů pro zatížení a materiálové vlastnosti podle požadované úrovně spolehlivosti. V pěti přílohách je popsán způsob stanovení vlastní tíhy, stálých zatí-

žení a materiálových vlastností na základě zkoušek, zásady uplatnění metody globálních součinitelů a pravděpodobnostních metod pro ověřování existujících mostů včetně několika příkladů. Jsou zde také orientační tabulky pro odhad zatížitelnosti u mostů o rozpětí do 33 m.

ZÁSADY OVĚŘOVÁNÍ STÁVAJÍCÍCH BETONOVÝCH MOSTŮ

Při ověřování existujícího betonového mostu nebo pro navrhování jeho obnovy (oprava, rekonstrukce) se vychází z platných technických norem a TP. Dříve platné předpisy, podle kterých byl most navržen, slouží pouze jako informativní podklady, které mohou usnadnit celkový postup ověřování. Pokud je most památkově chráněn, pak se musí projekt obnovy konzultovat s příslušným orgánem státní památkové péče.

Podkladem pro ověření mostu nebo pro návrh jeho opravy/rekonstrukce je diagnostický průzkum, při kterém se zjistí stav mostu, aktuální vlastnosti materiálů a základové půdy, poruchy a vady, příčiny těchto vad, zatížení a nepříznivé vlivy prostředí. Pokud se při prohlídce zjistí, že most nevykazuje žádné známky významného poškození, přetížení nebo degradace, a jeho uspokojivé chování dává předpoklad, že most bude během své další životnosti spolehlivý, tak se podrobné hodnocení nevyžaduje. Jestliže se vyskytnou pochybnosti o zatíženích, o účincích zatížení, o vlastnostech materiálů nebo o chování mostu, pak je potřebné provést podrobné hodnocení.

Spolehlivost stávajícího mostu se musí ověřit, jestliže:

- se navrhuje oprava/rekonstrukce existujícího mostu,
- nastane neočekávané porušení nebo rychlá degradace mostu, nebo jeho nosných prvků, zjištěná např. při prohlídce,
- se plánuje změna v účelu používání nebo je potřebné prodloužit životnost mostu,
- se pochybuje o spolehlivosti mostu, např. po povodni nebo po nárazu vozidla.

V některých případech může být ověření požadováno úřadem, pojišťovnami nebo vlastníkem.

POŽADOVANÁ SPOLEHLIVOST

Směrnou úroveň spolehlivosti konstrukce lze určit minimalizací celkových očekávaných nákladů. Mají se uvážit příslušná hlediska, která zahrnují:

- možnou příčinu nebo způsob, jakým se mezní stav dosáhne; např. může-li dojít k náhlému zřícení mostu nebo jeho nosného prvku, musí se prvek navrhnout na vyšší úroveň spolehlivosti než prvek, u kterého vlastním zřícením předchází určité známky porušení umožňující provést potřebná opatření, viz ČSN EN 1991-1-7 [6],
- velikost následků poruchy vyjádřenou na základě pravděpodobnosti ztráty lidských životů, zranění, očekávaných ekonomických, sociálních nebo ekologických ztrát a rozsahem společenské závažnosti včetně ztráty kulturních hodnot,

- předpokládanou reakci veřejnosti na uvažovaný typ poruchy s ohledem na sociální a ekonomické podmínky,
- velikost nákladů na opatření potřebná pro snížení pravděpodobnosti poruchy.

Směrné hodnoty indexu spolehlivosti β_t , které lze použít pro ověřování mezních stavů únosnosti a nevratných mezních stavů použitelnosti existujících betonových mostů podle nových TP, jsou uvedeny v tab. 1. Směrné hodnoty se požadují pro určitou referenční dobu, která je obvykle rovna zbytkové životnosti mostu. Parametr ρ , který je v tab. 1 také uveden, vyjadřuje poměr mezi celkovými náklady (na stavbu mostu, jeho údržbu a potenciální porušení) a počátečními náklady na pořízení mostu.

ZBYTKOVÁ ŽIVOTNOST

Použití pravděpodobnostních metod pro odhad zbytkové životnosti stávajícího mostu je znázorněno na obr. 1. Předpokládá se, že hodnocení existujícího mostu se provádí v čase t_{pr} od počátku uvedení mostu do provozu. Pokud je známa časová závislost odolnosti mostní konstrukce nebo jejího prvku $R(t)$ a účinků zatížení $E(t)$, je možné stanovit zbytkovou životnost mostu. Pravděpodobnostní rozdělení odolnosti a účinků zatížení je znázorněno prostřednictvím funkcí hustot pravděpodobnosti. Obrázek také ukazuje vliv snížení zatížitelnosti (omezení dopravy) a vliv opravy mostu.

Pravděpodobnost poruchy $P_f(t)$ je funkcí rostoucí v čase t . Pro odhad zbytkové doby životnosti mostu lze zapsat vztah

$$P_f(t_{res}) = P\{R(t_{res}) - E(t_{res}) < 0\} \approx P_{f,t} \quad (1)$$

kde t_{res} je doba zbytkové životnosti mostu a $P_{f,t}$ směrná pravděpodobnost poruchy (odpovídá indexu spolehlivosti β_t).

Dosažení konce životnosti mostu vypočtené podle vztahu (1) však neznamená, že most je již zcela nepoužitelný. Před uplynutím konce životnosti mostu by se proto mělo provést nové hodnocení mostu s využitím aktuálních údajů o materiálových vlastnostech, vlivu skutečných zatížení a působení degradačních procesů. Na základě těchto údajů se provede aktualizace odhadu životnosti mostu.

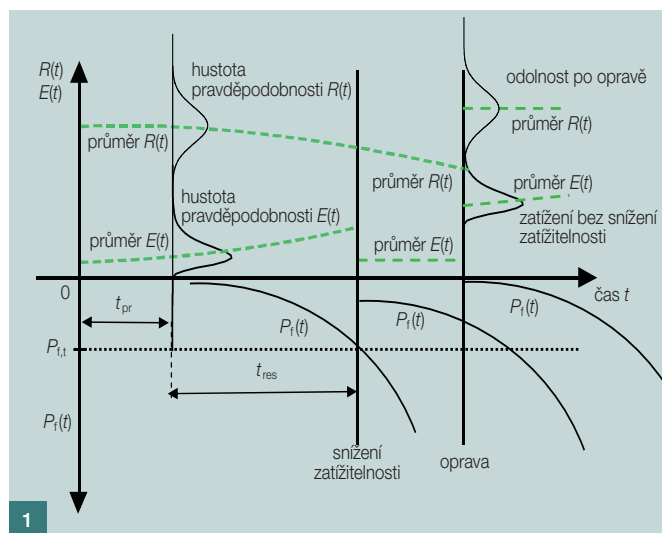
OVĚŘENÍ METODOU DÍLČÍCH SOUČINITELŮ

Dílčí součinitele pro stálá zatížení

Charakteristickou hodnotu stálého zatížení G_k lze obvykle uvážit jako průměrnou hodnotu (viz ČSN EN 1990 [3]) a ČSN

Tab. 1 Kategorizace mostů podle následků porušení pro mezní stavy únosnosti a použitelnosti | Tab. 1 Classification of bridges with respect to the consequences of failure at ULS and SLS

Třída následků	Popis následků; poměr ρ	Příklady	Směrný index spolehlivosti pro MSÚ	Směrný index spolehlivosti pro MSP
CC1a	velmi malý $1,0 < \rho \leq 1,5$	mosty na málo frekventovaných komunikacích	2,3	1,2
CC1b	malý $1,5 < \rho \leq 2,5$	mosty malého rozpětí na silnicích 2. a 3. třídy	3,1	1,3
CC2	střední $2,5 < \rho \leq 5$	běžné mosty	3,8	1,5
CC3	velký $5 < \rho \leq 10$	mosty o velkém rozpětí a mosty na dálnicích	4,3	2,3



Obr. 1 Pravděpodobnostní hodnocení životnosti mostu | Fig. 1 Probabilistic assessment of the remaining working life

EN 1991-1-1 [4]), která se stanovuje z nominálních rozměrů a průměrných hodnot objemových tíh, platí tedy $G_k = \mu_G$. Jestliže je však variabilita stálého zatížení vyšší, nebo je při ověřování určitého mezního stavu důležitá tato variabilita uvažovat, pak je třeba použít dolní 5% a horní 95% kvantil, např. podle [10].

Dílčí součinitel stálého zatížení γ_G se určí na základě poměru příslušné návrhové a charakteristické hodnoty tohoto zatížení

$$\gamma_G = G_d / G_k = \mu_G (1 - \alpha_G \beta V_G) / \mu_G = 1 - \alpha_G \beta V_G \quad (2)$$

kde součinitel citlivosti $\alpha_G = -0,7$ platí pro stálé zatížení uvažované jako dominantní [3]. Variační koeficient stálého zatížení V_G je možno stanovit na základě výsledků zkoušek z podrobné prohlídky existujícího mostu s uvážením modelových nejistot. V obvyklých případech lze variační koeficient vlastní tíhy konstrukce (beton, ocel) uvážit hodnotou $V_G = 0,05$. Pro ostatní stálá zatížení bývá variační koeficient větší, běžně asi 10 %.

Pokud se bude předpokládat vlastní tíha mostu o variačním koeficientu $V_G = 0,05$ a stálé zatížení dominantní (ve vztahu (6.10) nebo (6.10a) pro základní kombinaci zatížení podle ČSN EN 1990 [3]), pak pro součinitel citlivosti $\alpha_G = -0,7$ a směrnou hodnotu indexu spolehlivosti $\beta_t = 3,8$ (třída následků CC2) se stanoví dílčí součinitel stálého zatížení na základě vztahu (2) jako

$$\gamma_G = 1 - \alpha_G \beta V_G = 1 + 0,7 \cdot 3,8 \cdot 0,05 = 1,13 \quad (3)$$

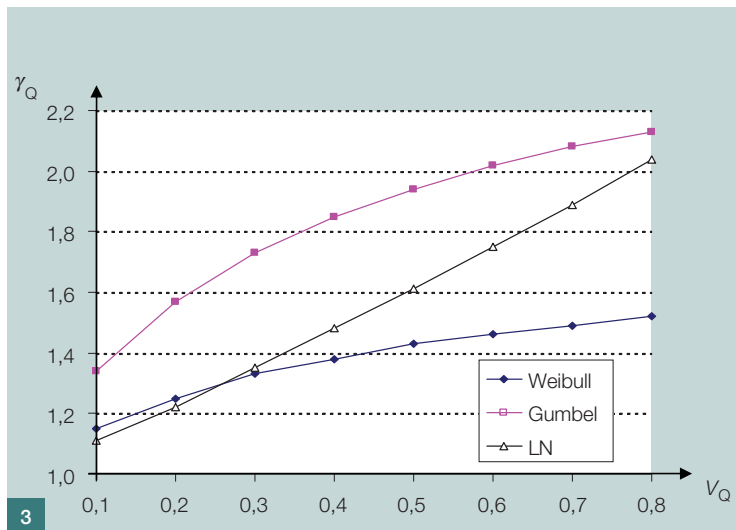
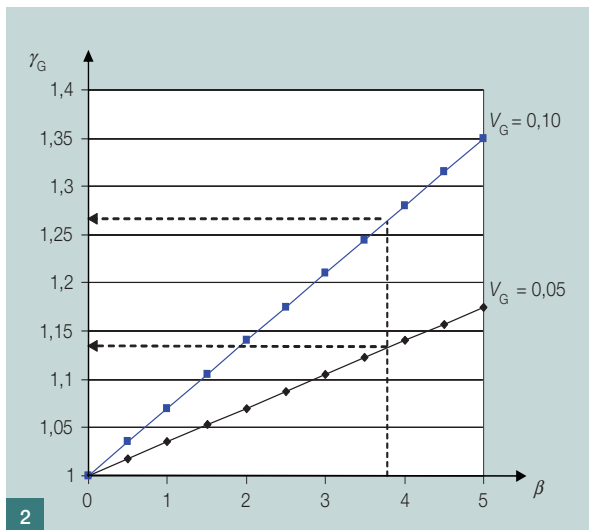
Stanovený dílčí součinitel pro vlastní tíhu se blíží hodnotě podle původních ČSN. Pokud je však potřebné uvažovat u stálých zatížení s větším variačním koeficientem, běžně asi 10 %, pak se dílčí součinitel vypočítá

$$\gamma_G = 1 - \alpha_G \beta V_G = 1 + 0,7 \cdot 3,8 \cdot 0,10 = 1,27 \quad (4)$$

Jestliže se předpokládá, že zatížení od vlastní tíhy není dominantní ($\alpha_G = -0,28$ a vztah (6.10b) podle [3]) a variační koeficient je $V_G = 0,05$, pak se stanoví dílčí součinitel

$$\gamma_G = 1 + 0,28 \cdot 3,8 \cdot 0,05 = 1,05 \quad (5)$$

kde je již zahrnuta redukce součinitelem $\xi = 0,85$, a tedy ve výrazu (6.10b) se již redukce součinitelem ξ dále neuplatňuje.



V hodnotě dílčího součinitele stálého zatížení doporučeného v Eurokódech se ještě uvažuje součinitel modelových nejistot ($\gamma_s = 1,05$ až $1,10$). Jestliže se v hodnotě dílčího součinitele $\gamma_G = 1,27$ podle vztahu (3) uváží dolní mez γ_s , pak $\gamma_G = 1,27 \cdot 1,05 = 1,33$, ze které se zaokrouhlením získá hodnota dílčího součinitele $\gamma_G = 1,35$ doporučená v EN 1990 [3].

Pokud je tedy u konkrétního případu existujícího mostu k dispozici dostatek údajů, lze použít dolní mez součinitele modelových nejistot, případně ve výjimečných případech tento součinitel již neuvažovat.

Vliv indexu spolehlivosti β na výslednou hodnotu dílčího součinitele γ_G pro stálé zatížení je znázorněn na obr. 2 pro vybrané hodnoty variačního koeficientu V_G . Poznává se, že v následujících grafech se součinitel modelových nejistot neuplatňuje.

Dílčí součinitele pro proměnná zatížení

Pro stanovení dílčích součinitelů pro proměnná zatížení je potřebné určit jejich vhodné modely na základě výsledků diagnostického průzkumu a zásad TP [2].

Zatížení dopravou

Základním proměnným zatížením u mostů je zatížení dopravou. Pro ověření stávajících mostů se v obvyklých případech použijí modely zatížení dopravou uvedené v ČSN EN 1991-2 [7] s doporučenými hodnotami dílčích součinitelů. Pokud jsou k dispozici data o intenzitě a skladbě dopravy pro konkrétní most, lze provést aktualizaci zatížení dopravou prostřednictvím regulačních součinitelů.

Dílčí součinitel pro zatížení dopravou je doporučen v ČSN EN 1990 [3] hodnotou $\gamma_Q = 1,35$. Předpokládá se, že stanovené charakteristické hodnoty jednotlivých modelů zatížení dopravou jsou natolik přesně určeny, že lze uvažovat menší hodnotu dílčího součinitele ($\gamma_Q = 1,35$), než je tomu u dalších typů proměnných zatížení, kde $\gamma_Q = 1,5$. Menší hodnota dílčího součinitele zatížení dopravou vyplývá také ze skutečnosti, že variační koeficient zatížení dopravou pro referenční dobu jednoho roku je velmi nízký.

Klimatická zatížení

Charakteristická hodnota klimatického zatížení (vítr, námraza, teplota) je stanovena podle ČSN EN 1990 [3] tak, aby pravděpodobnost jejího překročení v průběhu referenční doby jednoho roku byla 0,02 (odpovídá střední době návratu 50 let).

Pokud se pro klimatické zatížení přijme Gumbelovo rozdělení, které je doporučeno v příslušných částech ČSN EN 1991, pak se p -kvantil klimatického zatížení Q_p stanoví

$$Q_p = \mu_Q \{1 - V_Q [0,45 - 0,78 \ln N + 0,78 \ln (-\ln p)]\}, \quad (6)$$

kde p je pravděpodobnost překročení tohoto zatížení v dané referenční době, V_Q označuje variační koeficient příslušného klimatického zatížení pro základní časový interval (např. jeden rok) a N označuje počet očekávaných změn intenzity zatížení během zbytkové životnosti mostu. Dílčí součinitel klimatického zatížení se stanoví

$$\gamma_Q = \frac{1 - V_Q (0,45 - 0,78 \ln N + 0,78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta))))}{1 - V_Q (0,45 + 0,78 \ln(-\ln 0,98))}. \quad (7)$$

Vztah (7) lze použít pro stanovení dílčího součinitele klimatického zatížení za předpokladu platnosti Gumbelova rozdělení. Variační koeficient klimatického zatížení se určí pro místo staveniště na základě údajů ČHMÚ. Směrnou hodnotu indexu spolehlivosti lze pro uvažovanou kategorii existujícího mostu určit podle tab. 1.

Pro některá klimatická zatížení (např. teploty [5]) může být výstižnější uvažovat Weibullovo rozdělení extrémních hodnot. Vliv hodnoty variačního koeficientu zatížení pro N opakování a typ pravděpodobnostního rozdělení na výslednou hodnotu dílčího součinitele γ_Q pro klimatické zatížení je znázorněn na obr. 3.

Dílčí součinitele pro materiálové vlastnosti

Dílčí součinitel pro pevnost materiálu (odolnost konstrukce) lze vyjádřit vztahem

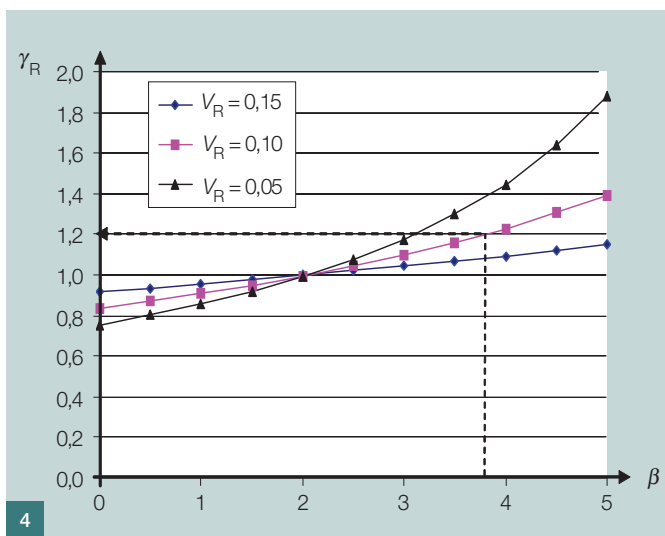
$$\gamma_x = \exp(-1,645 V_x) / \exp(-\alpha_x \beta V_x), \quad (8)$$

kde pro stanovení hodnoty tohoto dílčího součinitele je potřebné určit variační koeficient pevnosti materiálu (odolnosti).

Dílčí součinitel odolnosti γ_R vzhledem k indexu spolehlivosti a pro tři hodnoty variačního koeficientu V_R je znázorněn na obr. 4.

V některých případech je potřebné uvažovat nejen variační koeficient pevnosti materiálu, popř. odolnosti konstrukce, avšak také variační koeficient geometrických vlastností V_{geo} a případně také modelových nejistot V_ξ .

Variační koeficient celkové odolnosti V_R se stanoví na základě dílčích variačních koeficientů jednotlivých veličin. Pokud by se např. odolnost stanovovala na základě lineárního vztahu mezi základními veličinami pro materiálové a geo-



Obr. 2 Vliv indexu spolehlivosti β na dílčí součinitel γ_G pro stálé zatížení
 Fig. 2 Variation of the partial factor γ_G of a permanent action with the reliability index β

Obr. 3 Dílčí součinitel γ_Q klimatického zatížení vzhledem k variačnímu koeficientu V_Q
 Fig. 3 Variation of the partial factor γ_Q of a climatic action with the coefficient of variation V_Q

Obr. 4 Dílčí součinitel odolnosti γ_R vzhledem k indexu spolehlivosti β
 Fig. 4 Variation of the partial factor for resistance γ_R with the reliability index β

metrické vlastnosti a modelové nejistoty, pak se určí variační koeficient V_R pro odolnost jako

$$V_R = \sqrt{V_X^2 + V_{geo}^2 + V_\xi^2}, \quad (9)$$

kde V_X je variační koeficient pevnosti materiálu, V_{geo} je variační koeficient geometrických vlastností a V_ξ je koeficient modelových nejistot. Informativní hodnoty variačních koeficientů pro beton a betonářskou výztuž jsou uvedeny v tab. 2 podle [2].

Pokud by se použily hodnoty z tab. 2 pro stanovení dílčích součinitelů, je možno zapsat podle vztahu (9) pro dílčí součinitel betonu

$$\gamma_{mc} = \exp(-1,645 \cdot 0,15) / \exp(0,8 \cdot 3,8 \cdot 0,166) = 1,3 \quad (10)$$

a pro dílčí součinitel oceli

$$\gamma_{ms} = \exp(-1,645 \cdot 0,05) / \exp(0,8 \cdot 3,8 \cdot 0,087) = 1,2. \quad (11)$$

V ČSN EN 1992-1-1 [8] se uvažují nejistoty plynoucí z toho, že pevnost betonu v tlaku se sleduje na základě zkoušek betonových vzorků, které se přímo nezískávají z konstrukce. Proto se předpokládá součinitel konverze $\eta = 1,15$, kterým se zvyšuje dílčí součinitel pro beton γ_{mc} , a dílčí součinitel betonu se pak stanoví

$$\gamma_c = \eta \gamma_{mc} = 1,15 \cdot 1,3 = 1,5, \quad (12)$$

což je hodnota doporučená v ČSN EN 1992-1-1 [8]. Příloha A této normy umožňuje za jistých předpokladů snížit hodnotu dílčího součinitele. Proto i u existujících konstrukcí se podle míry znalostí může upravit dílčí součinitel, případně se uváží hodnota převodního součinitele $\eta \approx 1$.

ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Nové technické podmínky navazují na ČSN ISO 13822 a Eurokódy a poskytují doplňující pokyny pro ověřování existujících mostů metodou dílčích součinitelů, která je základní me-

Literatura:

- [1] Calgaro J. A.: Medium-term plan for the development of Eurocodes, CEN/TC250, 2009
- [2] TP Ověřování spolehlivosti existujících betonových mostů, připravuje se, 2010
- [3] ČSN EN 1990 Eurokód Zásady navrhování konstrukcí, 2004, Změna A1, 2007, Z1, 2010
- [4] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-1 Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, 2004, Z1, 2010
- [5] EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-5 Obecná zatížení – Zatížení teplotou, 2005, Z1, 2010
- [6] EN 1991-1-7 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 1-4 Obecná zatížení – Mimořádná zatížení, 2007
- [7] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí, Část 2 Zatížení mostů dopravou, 2005, Z1, 2010
- [8] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 2006, Z1, 2010
- [9] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí, 2005
- [10] Holický M., Marková J.: Základy teorie spolehlivosti a hodnocení rizik, ČVUT v Praze, 2005

Tab. 2 Informativní hodnoty variačních koeficientů pro beton a betonářskou výztuž
 Tab. 2 Informative values of the coefficients of variation for concrete and reinforcement

Materiál	V_X	V_{geo}	V_ξ	V_R
beton	0,15	0,05	0,05	0,166
betonářská výztuž	0,05	0,05	0,05	0,087

todou navrhování podle ČSN EN 1990. Uvádějí se zde také informace pro možnost použití metody globálních součinitelů i pravděpodobnostních metod. Zásady obsažené v těchto technických podmínkách mají obecnou platnost pro všechny typy materiálů a konstrukcí.

Technické podmínky uvádějí postupy pro aktualizaci základních veličin a úpravu dílčích součinitelů pro zatížení a materiálové vlastnosti s ohledem na znalosti získané z diagnostického průzkumu a pro požadovanou kategorii stávajícího mostu. Pokud např. průzkum stanoví variační koeficient vlastní tíhy menší než 0,05, lze významně snížit dílčí součinitel stálého zatížení.

Předpokládá se, že zavedení nových technických podmínek do stavební praxe zvýší možnost uplatnění ČSN ISO 13822 pro ověřování existujících betonových mostů i navrhování jejich oprav nebo rekonstrukcí.

Příspěvek byl vypracován v Kloknerově ústavu ČVUT v Praze, v rámci řešení výzkumného projektu A/CZ0046/2/0013 Assessment of historical immovables, podporovaného grantem z Islandu, Lichtenštejska a Norska v rámci Finančního mechanismu EHP a Norského finančního mechanismu.

Prof. Ing. Milan Holický, DrSc.



Doc. Ing. Jana Marková, Ph.D.



Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D.



všichni: Kloknerův ústav ČVUT v Praze
 Šolínova 7, 165 00 Praha

Text článku byl posouzen odborným lektorem.