

VÝZNAM OPAKOVANÉHO ZATÍŽENÍ U KONSTRUKCÍ ZE ŽELEZOBETONU A PŘEDPJATÉHO BETONU

THE IMPORTANCE OF THE REPEATED LOADING OF STRUCTURES FROM REINFORCED AND PRESTRESSED CONCRETE

ZDENĚK ŠMERDA, JAN ŠMERDA

Zvyšování intenzity provozu na mostech vede k úvahám, jak se při projekci těchto konstrukcí vyrovnat se zvyšováním trvalých průhybů od opakovaného zatěžování, neboť je třeba připustit, že představy o reálných hodnotách tohoto nárůstu mohou být velmi zkrácené.

The increasing intensity of traffic on bridges triggers discussions on how these structures should be best designed considering the increase in the permanent deflections from their repeated loading. It should also be admitted that estimates regarding real values of this rise can be very distorted.

Za zdroj nárůstu trvalých přetvoření betonových konstrukcí od mnohokrát opakovaného zatížení lze považovat dotvarování betonu. Je však nesporné, že přetvoření betonu se mnohokrát opakovaným namáháním betonu zvětšuje [9], (Obr. 1) a že se tedy takové zatěžování konstrukce musí dotknout i jejího přetvoření. Musí se to tedy respektovat a to podle základních požadavků na spolehlivost konstrukce tak, jak je to dáno v [2] a [4] (ze které vychází norma [5]), tedy s ohledem na spolehlivost po celou dobu užívání objektu. Norma [3] přitom např. přímo předepisuje, jak se má počítat reologické přetvoření od mnohokrát opakovaného namáhání. I v normě [6] se bere ohled na zvýšení účinků od zatížení dopravou a poznámku v NAD k [6] je možno chápat tak, že to má být např. u mostů v blízkosti hraničních přechodů.

Výpočty přetvoření konstrukce od opakovaného namáhání s sebou přináší komplikace, které mohou vést k tomu, že se řešení buď nedají vůbec realizovat, anebo že jeho výsledky mají jen malou vypovídací váhu. Pokud se má vypočíst vliv mnohokrát opakovaného zatěžování na přetvoření, musí být k dispozici

a) údaje o **spektru namáhání**, tj. o velikostech maximálních σ_{max} a minimálních σ_{min} napětí na různých hladinách a o k nim příslušejících počtech opakování n_c a

b) vztah podávající informaci o závislosti **dotvarování při mnohokrát opakovaném zatěžování** na těchže veličinách a i na dalších parametrech, kterými se dotvarování může řídit (vlhkost prostředí, rozměry průřezu, čas počátku působení zatížení atd.).

SPEKTRUM NAMÁHÁNÍ

Údaje o spektru namáhání se dají získat jen tím, že se vyhodnotí výsledky měření při skutečném provozu. K tomu je třeba poznamenat, že napětí σ_{max} a σ_{min} (spektrum namáhání), vypočtená přímo ze **spektra zatížení**, tj. z hmotností pohybujících se břemen, nejsou reprezentativní, neboť skutečné hodnoty napětí závisí nejen na hmotnostech pohybujících se břemen, ale také na jiných okolnostech (např. kvalitě vozovky a pod.) a obvykle jsou tedy vyšší.

Z hlediska informací o spektru namáhání (tj. napětích σ_{max} a σ_{min}) je v silničních mostech současný stav asi tento:

- Dobrá informace je v [8], kde je k dispozici v tabulce I.12 a I.12a na str. 76 závislost počtu cyklů napětí vzhledem k poměru rozkmitu napětí, a to i vzhledem k hustotě P_1 až P_4 provozu. Je jí možno použít pro sestavení spektra namáhání a její využití se také doporučuje v [6] v Národním aplikačním dokumentu.
- Údaje v [6] (Model 4), které umožňují sestavit spektrum zatížení.

PŘETVOŘENÍ BETONU PŘI MNOHOKRÁT OPAKOVANÉM NAMÁHÁNÍ

Přetvoření při cyklování

V poměru k jiným druhům namáhání je pro opakované zatěžování závislost mezi přetvořením ϵ_c , napětím $\sigma_{c,max}$ a $\sigma_{c,min}$ a počtem cyklů (n) poměrně málo známá. Některé informace jsou uvedeny v [11] a novější v [9] a [10]. Je však možno použít tyto vztahy:

a) **Výpočet přetvoření podle [3]**

U konstrukcí, u nichž mohou vznikat trhliny, lze vypočíst přetvoření pomocí vztahu

$$\beta_{rc} = \phi_{bf} \alpha_i (1 - \exp(-0,005 n_c^{0,5})), \quad (1)$$

$$\alpha_i = 0,15 + 0,08 \exp(-0,015 t_i),$$

ϕ_{bf} je základní hodnota součinitele dotvarování.

Vztah umožňuje vypočíst součinitel β_{rc} , jednak v závislosti na době t_i , kdy se betonový prvek začal zatěžovat, jednak na počtu n_c cyklů a také na prostředí.

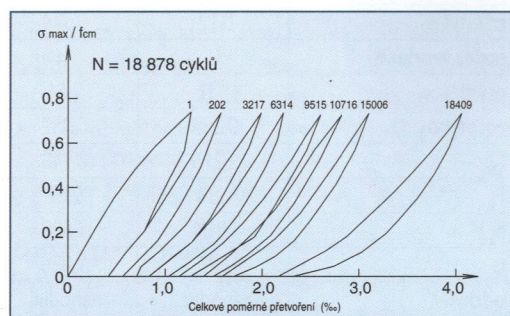
b) **Výpočet přetvoření podle [7]**

Pro výpočet přetvoření prvků bez trhlin lze použít vztah

$$\epsilon_{cf}(n) = \sigma_{c,max} / E_{ci}(t_0) + (\sigma_{c,max} + \sigma_{c,min}) \times \Phi(t,t_0) / 2E_{ci} \quad (2)$$

Obr. 1 Závislost napětí – přetvoření při cyklování betonu v tlaku

Fig. 1 Cyclic stress-strain curves for concrete in compression



$\sigma_{c,max} + \sigma_{c,min}$ maximální, minimální tlakové napětí, E_{ci} a $E_{ci}(t_0)$ moduly pružnosti betonu v 28 dnech a v době, kdy se beton zatížil, t, t_0 čas, v němž se přetvoření sleduje, kdy se beton začal opakovaně zatěžovat $\Phi(t, t_0)$ je součinitel dotvarování tvaru $\Phi_0 \beta_c (t - t_0)$ a $\beta_c(t, t_0) = ((t - t_0) / (\beta_H + (t - t_0)^{0,3}))$, ve výrazu je vypuštěn čas $t_1 = 1$ den, $(t - t_0) = n_c / 1440 f$. Ostatní výrazy pro výpočet E_{ci} , $E_{ci}(t_0)$ a Φ_0 jsou uvedeny v [7].

Výraz (2) platí jen pro $|\sigma_{c,max}| \leq 0,6$ pevnosti f_{ck} betonu v tlaku, pro $(|\sigma_{c,max}| + |\sigma_{c,min}|) / 2 < 0,5 f_{ck}$, odpovídá dotvarování při konstantním napětí $(\sigma_{c,max} + \sigma_{c,min}) / 2$ po délce intervalu $(t - t_0)$, který závisí na počtu cyklů n a jejich frekvenci f . Je třeba poznamenat, že přijme-li se předpoklad, že frekvence f (počet kmitů za jednotku času) závisí na době průjezdu vozidla po mostě (nebo jeho části), tj. na rychlosti v vozidla a na rozpětí l mostu, je $f = v/l$. Za tohoto předpokladu lze zavést do řešení i vliv rychlosti při daném rozpětí mostu.

VÝPOČET PODLE CEB-FIP 1990 PRO PŘEDPJATÉ KONSTRUKCE (TAB. 1)

- Průměrná rychlost pojezdu vozidel nahodilého zatížení $v = 90$ km/h.
- Průměrná vlhkost prostředí $RH = 60$ %.
- Třída betonu B50 (C40/50).
- Náhradní tloušťka průřezu konstrukce mostu uvažována $h = 1190$ rozpětí.
- Začátek zatěžování (provozu) konstrukce ve stáří $t_0 = 3$ měsíce.

Tab. 1 CEB-FIP 1990

Náhradní délka	Začátek zatěžování konstrukce			
	90 dní = 3 měsíce			
Ld (m)	P1	P2	P3	P4
10	37	31	26	21
15	35	29	25	20
20	34	28	24	19
25	33	27	23	19
30	32	26	23	18
35	31	26	22	18
40	31	25	22	17

Tab. 2 ČSN 73 1201

Náhradní délka	Začátek zatěžování konstrukce			
	90 dní = 3 měsíce			
Ld (m)	P1	P2	P3	P4
5	79	74	69	61
10	78	72	67	58
15	77	71	65	57
20	76	70	64	56
25	76	70	64	55
30	76	69	63	54

VÝPOČET PODLE ČSN 73 1201 PRO ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE (TAB. 2)

- Průměrná rychlost pojezdu vozidel nahodilého zatížení $v = 90$ km/h.

- Součinitel dotvarování dle ČSN 73 1201. $\phi_{bf} = 3,8$ pro běžné prostředí.
- Začátek zatěžování (provozu) konstrukce ve stáří $t_0 = 3$ měsíce.

ZÁVĚR

- Výrazy (1) a (2) umožňují posoudit, jak velké bude přetvoření (průhyb) konstrukce v provozu, tj. od mnohokrát opakovaného namáhání v daném stáří t , a to u prvků ze železobetonu a u konstrukcí předpjatých.
- Vztahy (1) i (2) jsou vázány na prostředí (RH), stáří betonu konstrukce, kdy na něj začalo působit zatížení a na počet cyklů.
- Výpočty průhybů y_c od opakovaného namáhání ukazují, že:
 - řešení je možné,
 - řešení může dávat kvantifikovanější představu o skutečných průhybech,
 - nárůst přetvoření od opakovaného zatížení je významný a je třeba jej vzít při statickém řešení v úvahu alespoň rozumným odhadem.

Článek byl zpracován v rámci řešení grantu č. 103/99/0735 "Průhyby komorových mostů z předpjatého betonu"

Literatura

- [1] Lovegrove J. H., Salah El Din A. S.: Deflection and Cracking of Reinforced Concrete under Repeated Loading and Fatigue, ACI Publication SP 75-6, Detroit 1982
- [2] ČSN 73 0031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd
- [3] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí
- [4] ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] ČSN P ENV 1992-2 Navrhování betonových konstrukcí- Část 2: Betonové mosty
- [6] ČSN P ENV 1991-3 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Část 3: Zatížení mostů dopravy
- [7] CEB-FIP MODEL CODE 1990, Bull. dělnformation No 213/214, May 1993
- [8] ČSN 73 6203 Zatížení mostů
- [9] Fatigue of concrete structures CEB, Bull. dělnformation No 188, Juin 1988
- [10] Regles BPEL 1991- Annexe I
- [11] Šmerda Z., Křístek V.: Creep and Shrinkage of Concrete Elements and Structures, Amsterdam 1988
- [12] Šmerda Z., Šmerda J.: Řešení průhybů betonových mostů od zatížení provozem, Inž. stavby, č. 5-6, roč. 48. 2000 Bratislava

Tab. 1 a 2
Zvětšení trvalého průhybu v % pružného průhybu od nahodilého návrhového zatížení

Prof. Ing. Dr. Zdeněk Šmerda, CSc., Ing. Jan Šmerda
VIAPONT, s.r.o., Vodní 13, 602 00 Brno
tel: 05 4321 7590 / kl.20, fax: 05 4321 6212
e-mail: viapont@viapont.cz