



INOVACE NÁVRHU CEMENTOBETONOVÝCH VOZOVEK

Zpracovali: Ing. Bohuslav Novotný, DrSc., doc. Ing. Ludvík Věbr, CSc., Ing. Petr Pánek, Ph.D. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

Výzkumné aktivity v rámci dílčího tématu 1.2.1 byly zaměřeny na odstranění základních nedostatků návrhu cementobetonových (dále CB) vozovek podle technických podmínek TP170 [1]: (a) nedostatečné zohlednění únosnosti podkladních vrstev, (b) nevhodné modelování stavu napjatosti desek CB vozovky od účinků vnějšího zatížení a účinků teploty. Základním výpočtovým modelem je „Kirchhoffova deska“ na ekvivalentním homogenním podloží, výpočty napětí CB desek pro základní polohy návrhové nápravy se provádějí dvourozměrnou metodou konečných prvků. Byla zavedena skupina vlivových koeficientů, která umožňuje přesněji modelovat vliv teploty, vliv příčného rozdělení dopravního proudu a vliv celkové intenzity dopravy. Byl vypracován výpočtový program s pracovním názvem CB_Design, který zahrnuje všechny etapy výpočtu a umožňuje efektivní kalibraci vlivových koeficientů. Byly provedeny první ověřovací výpočty, které potvrdily vhodnost navrženého postupu pro efektivnější návrh CB vozovek. Pokračuje se v rozpracované kalibraci návrhového postupu.

Oblast použití

Úprava návrhové metody se uplatní při návrhu cementobetonových vozovek dálnic a rychlostních silnic. Výpočtový program CB_Design značně zjednoduší zadávání vstupních údajů, navíc umožní tímto postupem navrhovat a posuzovat CB vozovky industriálních ploch a v prvním „nástřelu“ i vozovky letišť vhodnou volbou vlivových koeficientů a parametrů návrhového zatížení.

Metodika a postup řešení

Výpočtovým modelem inovovaného návrhového postupu je pružná deska na ekvivalentním pružném poloprostoru. Modifikovaný postup řešení přitom zavádí vlivové koeficienty:

ψ_c koeficient spolehlivosti výpočtové metody,

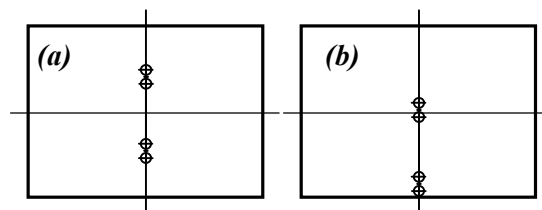
ψ_w koeficient příčného rozdělení dopravního proudu,

ψ_T koeficient vlivu teploty.

Postup řešení je algoritmovaný v programu CB_Design, který provádí tři základní úkony:

(A) Výpočet ekvivalentního modulu E_{ekv} podkladního systému (průhyb ekvivalentního podloží je rovný průhybu vrstevnatého podkladního systému).

(B) Výpočet napětí v CB desce na ekvivalentním podloží pro dvě pozice návrhové nápravy (obr. 1).



Obr. 1 Pozice nápravy (a) střed, (b) okraj.

Uvažujeme případ bez vlivu teploty a s teplotním rozdílem ΔT určeným postupem podle [1]. Celkově tedy řešíme čtyři případy podle tab. 1 – v každém uzlu sítě MKP určíme přitom maximální napětí $\sigma_{ohyb,i}$.

Tab. 1 Parametry čtyř výpočtů CB desek.

i	pozice zatížení	teplotní rozdíl	koeficient vlivu λ_i
1	(a)	0	$(1-\psi_w)(1-\psi_T)$
2	(b)	0	$\psi_w(1-\psi_T)$
3	(a)	ΔT	$(1-\psi_w)\psi_T$
4	(b)	ΔT	$\psi_w\psi_T$

(C) Hodnocení únavové únosnosti CB desek se provádí podle upraveného vztahu práce [2]:

$$\log \hat{N}_{lim,i} = 17.61 \times \left(\gamma_D - \frac{\psi_c \sigma_{ohyb,i}}{\eta \sigma_{ohyb,pev}} \right) \quad (1)$$

kde $\hat{N}_{lim,i}$ je limitní počet opakování zatížení do porušení, γ_D je (modifikovaný) součinitel spolehlivosti porušení vozovky v závislosti na návrhové úrovni porušení ($\gamma_{D0} = 0,94321$), ψ_c je koeficient spolehlivosti výpočtové metody, $\sigma_{ohyb,i}$ je maximální napětí, $\sigma_{ohyb,pev}$ je pevnost betonu v tahu za ohybu a η je koeficient nárůstu pevnosti betonu s časem.

Mezní počet přejezdů návrhové nápravy při uvažování výše uvedených čtyř zatěžovacích případů se potom určí ze vztahu:

$$N_{cd,lim} = \left\{ \sum_{i=1}^4 \frac{\lambda_i}{\hat{N}_{lim,i}} \right\}^{-1} \quad (2)$$

a celkové poměrné porušení vozovky D_{cd} ze vztahu

$$D_{cd} = \frac{N_{cd}}{N_{cd,lim}} \quad (3)$$

kde N_{cd} je celkový počet přejezdů návrhových náprav za návrhové období. Kritériem úspěšnosti návrhu vozovky je splnění podmínky $D_{cd} \leq 1$.

Výsledky

Problematicčnost postupů TP170 byla prokázána posouzením katalogových vozovek D0-T-1 předpisu TP170 pro třídu dopravního zatížení I: pro tři standardní zeminy podloží PI, PII a PIII je kryt CB I 260 „podepřen“ třemi variantními podkladními systémy:

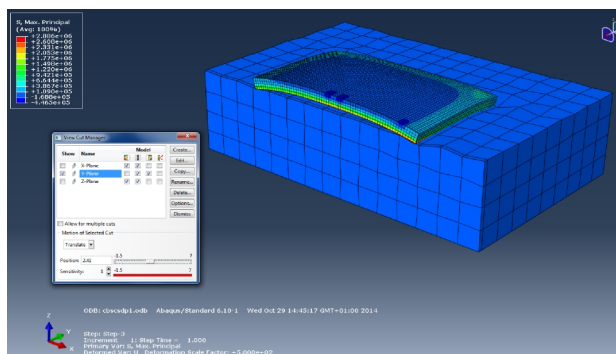
- (PSI) SC C_{8/10} 150 // PI;
- (PSII) SC C_{8/10} 150 // ŠD_A 150 // PII;
- (PSIII) SC C_{8/10} 150 // ŠD_A 250 // PIII.

Tab. 2 uvádí hodnoty celkového poměrného porušení D_{cd} (má být $D_{cd} \leq 1$), hodnoty modulu standardního podloží E_{pod} a hodnoty ekvivalentního homogenního podloží E_{ekv} (průhyb ekvivalentního podloží je rovný průhybu vrstevnatého podkladního systému).

Tab. 2 Posouzení katalogových vozovek D0-T-1 TP170.

	PSI	PSII	PSIII
D_{cd}	1.098	1.825	2.417
E_{pod} [MPa]	120.0	80.0	50.0
E_{ekv} [MPa]	325.5	311.7	270.7

I když jsou si ekvivalentní moduly variantních podkladních systémů blízké, postup podle TP170 vede na neodůvodnitelně velké rozdíly v hodnotách kritické veličiny D_{cd} (CB vozovky s podkladními systémy PSII a PSIII potom už kritériím TP170 nevyhovují). V rámci testování vlastností inovovaného návrhového postupu byla dále ověřována vhodnost dvojrozměrného výpočtového modelu desky na pružném prostředí srovnáním s 3D modelem výpočtového systému ABAQUS (obr. 2).



Obr.2 Napětí od teploty a kola ABAQUS.

Pro CB desku 5.5×4.25 m tloušťky 26 cm na třech variantních podkladních systémech a pozici (b) návrhové nápravy (podle obr. 1) dostáváme hodnoty napětí uvedené v tab. 3.

Tab. 3 Srovnání napětí 2D a 3D modelů.

podkladní systém	ΔT [°C]	napětí σ_{ohyb} [MPa]	
		2D model	3D model
PSI	0	1.199	1.116
	14.64	2.495	2.886
PSII	0	1.215	1.129
	14.64	2.504	2.895
PSIII	0	1.268	1.172
	14.64	2.536	2.922

Další etapou ověřování bylo posouzení katalogových vozovek D0-T-1 za stejných předpokladů o dopravním zatížení a vlivu teploty, které vedly na výsledky tab. 2. Byly zvoleny tyto hodnoty základních koeficientů a parametrů:

$$\psi_c = 1.08, \quad \psi_w = 0.3, \quad \psi_T = 0.4, \quad \gamma_{D0} = 0.94321, \\ \sigma_{ohyb,pev} = 4.30 \text{ MPa}, \quad \eta = 1.15.$$

Výsledky posouzení inovací návrhového postupu jsou uvedeny v tab. 4. Ve srovnání s tab. 2 tyto výsledky ukazují, že inovovaná metoda dává rozumné (i když konzervativnější) odhady únavové výkonnosti CB vozovek.

Tab. 4. Posouzení katalogových vozovek D0-T-1 inovací návrhového postupu.

	PSI	PSII	PSIII
D_{cd}	0.466	0.508	0.668

Závěr

Inovovaná návrhová metoda odstraňuje nejproblematictější postupy platné návrhové metody TP170 pro CB vozovky. Lépe modeluje vliv podkladního systému vozovky a vliv vnějšího zatížení na napjatost a celkovou únavovou výkonnost CB desek krytu. Metoda bude dále kalibrována a zdokonalována.

Literatura

- [1] TP170 Navrhování vozovek pozemních komunikací, MD ČR 2004 & Dodatek TP170, MD ČR 2010.
- [2] M. I. Darter - E. J. Barenberg: Design of Zero-Maintenance Plain Jointed Concrete Pavement, Rep. FHWA-RD-77-111, Vol. 1; Federal Highway Administration, 1977.