



ZPŘESNĚNÍ TECHNICKÉHO NÁVRHU CB VOZOVEK, VČETNĚ PŘEDPOVĚDI DEGRADACE VOZOVKY V ZÁVISLOSTI NA VNĚJŠÍCH A VNITŘNÍCH PARAMETRECH

Zpracovali: doc. Ing. Ludvík Vébr, CSc., Ing. Petr Pánek, Ph.D., Ing. Bohuslav Novotný, DrSc. (Fakulta stavební ČVUT v Praze); Ing. Bohuslav Slánský, Ph.D., Ing. Jiří Šrůtka (Skanska a.s.); Ing. Tomáš Vladík (Hochtief CZ a.s.); Ing. Dušan Stehlík, Ph.D. (Fakulta stavební VUT Brno)

Souhrn

Stávající zahraniční a české výpočetní metody, používané k výpočtu napjatosti a přetvoření v konstrukcích cementobetonových (dále CB) vozovek, mají společný základ ve dvou klasických teoriích vyvinutých Westergaardem a Burmisterem. V ČR se v současné době navrhování CB vozovek provádí podle platných technických podmínek Ministerstva dopravy ČR TP 170 „Navrhování vozovek pozemních komunikací“ včetně jejich Dodatku TP 170 z 09/2010 (dále jen TP 170) [1]. Tato metoda je založena na teorii Kirchhoffovy desky uložené na Winklerově podkladu. Ta ovšem nemusí, vzhledem k mnoha zjednodušením, poskytnout vždy správný výsledek. V některých případech může tedy být výpočtem navržená konstrukce vozovky značně předimenzována, v horším případě pak ale i poddimenzována. Je tedy nutné definovat nedostatky stávající návrhové metody a formulovat doporučení pro její úpravu. Část řešitelského týmu se v letošním roce zabývala problematikou předpjatých CB vozovek určených k použití na mostech. Z dosavadních zkušeností z realizace standardních CB vozovek a CB vozovek na mostech s použitím současných předpisů [2] se ukazuje, že existuje celá řada ne zcela vhodných řešení. V rámci tohoto projektu se řešitelé letos zaměřili především na návrh vozovky pro její budoucí experimentální ověření.

Oblast použití

Jednou z možností, jak lze přesně stanovit napětí v různých konstrukcích, je využití programů pracujících na základě metody konečných prvků (dále jen MKP). V současnosti na různých (zejména zahraničních) pracovištích probíhají výzkumy orientované např. na oblasti únavového chování cementového betonu, nelineárního chování zrnitých materiálů pod zatížením a problematiku teplotních a vlhkostních vlivů, které je možné řešit právě pomocí MKP. Důvody pro co nejpřesnější stanovování napětí a deformací ve vozovkovém systému jsou

naprosto zřejmé. Tím hlavním jsou zvýšené ekonomické náklady investora vznikající přeceněním napětí a deformací, vznikajících ve vozovce (vede k předimenzování konstrukce). Naopak při podcenění napětí a deformací vznikají v konstrukci poruchy, snižuje se bezpečnost provozu a opět se zvyšují ekonomické náklady, které je nutné vynaložit na opravy. Při návrhu CB vozovky je jedním z nejčastějších a nejdůležitějších úkolů správné stanovení maximálních tahových napětí v CB desce. Tahová napětí je nutno stanovit pro různé zatěžovací stavy, a to při zohlednění všech faktorů ovlivňujících chování vozovky:

- parametry dopravního zatížení,
- klimatické podmínky (teplota, vlhkost),
- vlastní tíha,
- rozměry CB desky,
- vyztužení CB desek, vyztužení spár,
- materiály cementového betonu,
- charakteristiky podloží včetně vodního režimu,
- spolupůsobení vrstev,
- residuální napětí v CB desce,
- technologie výstavby,
- délka návrhového období,
- předpokládaná míra porušení.

Zásadními nedostatky dnešní návrhové metody jsou:

- nepřesné určování působícího zatížení,
- zjednodušené definování zatížení od klimatických podmínek (teploty),
- nahrazování n-vrstvého systému podkladních vrstev a podloží vrstvou ekvivalentní,
- nemožnost definování složitějších materiálových vlastností,
- zjednodušené určení spolupůsobení (míry přenosu zatížení) jednotlivých CB desek,
- spolupůsobení jednotlivých vrstev vozovky.

Metodika a postup řešení

Na základě provedené analýzy problematiky CB vozovek a s uvážením budoucích technických a finančních možností tohoto projektu byla v této fázi

pozornost zaměřena na dvě hlavní, vzájemně propojené části výzkumu. První částí výzkumu bylo ověření možnosti využití 3D modelů pro analýzu CB vozovek. Do budoucna předpokládáme rozšíření 3D modelu zahrnutím nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících chování vozovky a sloužících k následné predikci zbytkové životnosti CB vozovky. Pro modelování byl vybrán program ABAQUS [3]. Druhá část výzkumu byla zaměřena na experimenty zkoumající únavové chování CB vozovky pod cyklickým zatížením, jejichž výsledky jsou a budou jedním z hlavních vstupních údajů pro výpočetní model CB vozovky.

Výsledky

(1) V rámci tohoto projektu byly v programu [3] vytvořeny čtyři modely vozovkového systému, z nichž dva jsou relativně jednoduché (jedna CB deska na dvou různých podkladních systémech) a druhé dva již o něco složitější (čtyři CB desky na dvou různých podkladních systémech). Využitelnost modelů byla posuzována porovnáním napětí vypočtených na 3D modelech s napětími stanovenými pomocí současných a starších metod.

Tab. 1 - Porovnání tahových napětí

Napětí σ_{RMAX}	podélná hrana	příčná hrana	střed	roh
Westergaard	2,18	---	1,00	1,21
Laymed	---	---	0,84	---
TP 170	1,97	1,78	---	---
(ABAQUS) Model A	1,06	0,96	0,71	0,58
(ABAQUS) Model B	1,19	1,14	0,85	0,64
(ABAQUS) Model C	0,97	0,94	0,66	0,76
(ABAQUS) Model D	1,18	1,13	0,83	0,65

(2) Rozsáhlé analýzy problematiky 3D modelování prováděné v letošním roce poukazují na značný potenciál MKP programů. Vytvořené základní 3D modely se dají rozvíjet a mohou eliminovat mnoho výpočetních problémů stávajících metod. Dále mohou zahrnout řadu vlivů působících na CB vozovky. V dalších fázích projektu budou v programu [3] zkoumány a implementovány do 3D modelů následující nejvýznamnější faktory:

- kolové zatížení,
- zatížení od klimatických podmínek (teplota),
- trny a kotvy – určení míry přenosu zatížení,
- definice interakčního chování (spolupůsobení) vrstev,
- cyklické zatížení, únava materiálu.

(3) Byl proveden experimentální výzkum únavového působení CB desky rozměrů $1,1 \times 1,4 \times 0,08$ m na poddajném podloží (modul podloží E_p), který

doplňuje výsledky práce [4]. Deska byla zatížena ve středu zatížením kruhového půdorysu poloměru 0,05 m. Výsledky jsou zaznamenány v tab. 2 pro dvě hodnoty modulu podloží. Zatěžování proběhlo ve 4 etapách (počet cyklů v etapě i je N_i^* , výslednice maximálního zatížení $Q_{max,i}$ a maximální napětí v desce σ_i^* určené výpočtem metodou konečných prvků). Parametr κ dosáhl hodnot řádu 1.6, experiment byl ovšem ukončen před porušením desky (obdobný experiment byl v [4] ukončen porušením desky při náběhu zatížení $Q_{max} = 30$ kN).

Tab. 2 - Únavové testování CB desky

i	N_i^* [10^5 cyk]	$Q_{max,i}$ [kN]	napětí σ_i^* [MPa]	
			$E_p = 60$	$E_p = 75$
1	1.0	10.0	2.215	2.162
2	2.5	20.0	4.383	4.281
3	2.5	25.0	5.467	5.341
4	4.0	30.0	6.551	6.400
parametr κ			1.672	1.614

Závěry

V rámci letošního řešení projektu, tématu 1.2.1, zaměřeného na zpřesnění návrhové metody TP 170 pro CB vozovky, se podařilo prokázat využitelnost 3D modelů vytvořených a určených k analýze v moderních MKP programech. Dále byly vyhodnoceny důležité faktory ovlivňující návrh CB vozovek, které budou postupně implementovány do základních 3D modelů. V rámci projektu byl také uskutečněn experimentální výzkum únavového působení CB desky, který plynule navazuje na předchozí výzkumy. V dalších fázích projektu je ale nutné provést obdobné experimenty tak, aby výsledky měly vypovídací hodnotu. Základní cíl „zpřesnění návrhové metody pro CB vozovky obsažené v TP 170“ byl členy řešitelského kolektivu rozšířen o problematiku předjatých betonových vozovek na mostech. Konkrétním výstupem pak bude projektový a výpočtový návrh pro realizaci experimentální předjaté betonové vozovky.

Literatura

- [1] TP170 Navrhování vozovek pozemních komunikací [technické podmínky], Ministerstvo dopravy ČR, 2004, Dodatek TP 170, 2010,
- [2] TP 212 Vozovky s cementobetonovým krytem na mostech PK [technické podmínky], Ministerstvo dopravy ČR, 2010,
- [3] Abaqus 6.10-1, Abaqus, Providence, Rhode Island, USA, 2006,
- [4] Vébr, L., Pánek, P., Novotný, B.: On fatigue resistance of pavement concrete slabs. In: Proc. 7th European Congress on Concrete Engineering, Balatonfüred, Hungary, pp. 413 – 416, 22.-23. September 2011.