ÚNAVOVÁ ANALÝZA CEMENTOBETONOVÉHO KRYTU VOZOVEK PK

Zpracovali: Ing. Petr Pánek, Ph.D., doc. Ing. Ludvík Vébr, CSc. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

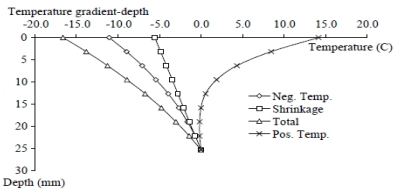
Současné návrhové metody pro cementobetonové vozovky u nás i ve světě obsahují několik nedostatků, které výrazně ovlivňují celkovou predikovanou životnost vozovky. Mezi tyto nedostatky patří uvažování lineárních průběhů teplotních gradientů po tloušťce desky a předpoklad lineárního průběhu nárůstu poškození. Současné metody předpokládají hromadění únavových trhlin pouze směrem od horního povrchu CB desky. Novější studie [1] prokazují významný vliv vzniku a hromadění únavových trhlin na spodním okraji desky a jejich vliv na celkovou životnost. Moderní analýzy této problematiky probíhají ve 3D MKP programech kvůli možnosti zohlednění většiny vlivů a s ohledem k realističtějšímu (prostorovému) chování modelované CB desky.

Oblast použití

Finálním cílem tohoto výzkumu je zjistit a co nejpřesněji implementovat významné a doposud zanedbávané faktory (lépe modelovat proměnný průběh teplotního zatížení v kombinaci s cyklickým kolovým zatížením, definovat okrajové podmínky, podloží, kontakt na styku vrstev, podmínky při vzniku CB desky a výztužné prvky) a hlavně definovat vhodný degradační materiálový model pro cementobetonový kryt vozovek pozemních komunikací (PK). Výsledný model následně pomůže lépe predikovat chování tuhé CB vozovky a jeho využití se předpokládá u návrhu CB vozovek významných PK a při určování jejich zbytkové životnosti.

Metodika a postup řešení

V předcházejícím období byla zkoumána celá řada zahraničních studií, např. [2], [3] a mnoho dalších, které se zabývají problematikou degradačních modelů vozovek. Již samotné modelování některých faktorů (teplotní zatížení, vlhkost, materiálové vlastnosti, kolové zatížení) je ze své podstaty vysoce komplikované (časová proměnlivost, proměnlivost polohy a velikosti zatížení). Pro výpočetní analýzu je třeba nejprve specifikovat určitá zjednodušení a méně významné faktory vyloučit. Z hlediska predikce životnosti CB krytu vozovek také přichází do úvahy různé negativní vlivy, které ji snižují. Jedná se např. o tzv. expanzivní reakce (alkalicko-křemičité, síranové), degradace krytu vlivem působení chemických látek a dále např. nekvalitní podkladní systém (vznik tzv. pumpování desek). Některé tyto vlivy je možno omezit při dodržení technologických postupů a využití kvalitních materiálů. Únavové chování CB krytu je nejvíce závislé na velikosti a četnosti tahových napětí vznikajících v různých místech CB desky a to hlavně od teplotních a kolových zatížení. Dále je závislé na vlastnostech materiálů CB. Obsah vlhkosti a její rozložení v CB desce také ovlivňuje její výslednou únavovou odolnost. Vliv vlhkosti není vzhledem ke složitosti modelování součástí tohoto výzkumu. V dalších fázích výzkumu by mu měla být nicméně věnována pozornost. Kolové zatížení od různých těžkých nákladních vozidel se dá aproximovat tzv. návrhovou nápravou a přes kontaktní plochu a velikost dotykového tlaku umístit do polohy na CB desce. Při řešení únavové analýzy je nutné zavést toto zatížení jako časově proměnné a alespoň jako cyklické (ve skutečnosti má dynamické složky, nerovnoměrné rozložení tlaku na kontaktní ploše). Teplotní zatížení je vysoce komplikovaným jevem, který je ve většině stávajících metod uvažován nepřesně. Teplotní zatížení je časově proměnné během dne i roku a má nelineární průběh po tloušťce desky (obr. 1). V návrhové metodě TP 170 [4] je uvažován lineární kladný gradient. Prakticky je nemožné namodelovat přesně tento proměnný zatěžovací stav na dobu v řádech let. Proto je nutné stanovit charakteristické kladné i záporné teplotní gradienty, které vystihnou průběh v určitém období.

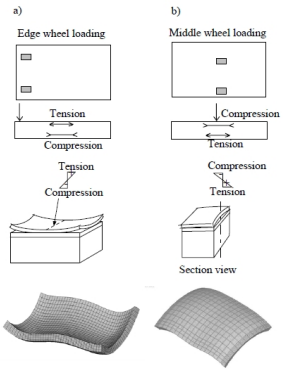


Obr. 1 Teplotní gradienty po tloušťce CB desky [1].

Vzájemná kombinace kolového a teplotního zatížení je při analýze naprosto zásadní. Při různých teplotních gradientech v CB desce působí kolové

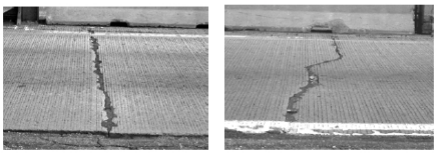
Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

zatížení, v závislosti na své aktuální poloze, buď v součinnosti, nebo proti teplotnímu namáhání (obr. 2). Při kladném teplotním gradientu a poloze kolového zatížení v polovině podélné hrany desky dosahují tahová napětí svého maxima. Naopak při záporném teplotním gradientu vznikají největší tahová napětí na horním povrchu při umístění kol v blízkosti příčné spáry. Díky současnému působení obou zatížení, můžeme lokalizovat místa CB desky, ve kterých nejčastěji vznikají největší tahová napětí, a kde se předpokládá hromadění únavových trhlin („dílčích poškození“).



Obr. 2 Negativní (a) a pozitivní teplotní gradient (b), vzniklá napětí a odpovídající poloha kolového zatížení [1]

Správné by bylo uvažovat všechny vzniklé teplotní gradienty v různých obdobích během roku a dne v kombinaci s pohyblivým kolovým zatížením. Zjednodušením je uvažování jen nejvýznamnějších kombinací zatížení. V praxi jsou často pozorovány příčné trhliny v polovině CB desky (obr. 3), a v blízkosti příčných spár. To by odpovídalo nejvíce namáhaným místům (viz předchozí). Další častou poruchou je lámání rohů vlivem špatného podepření a tzv. pumpování desek. Tento únavový jev není v rámci tohoto výzkumu řešen.

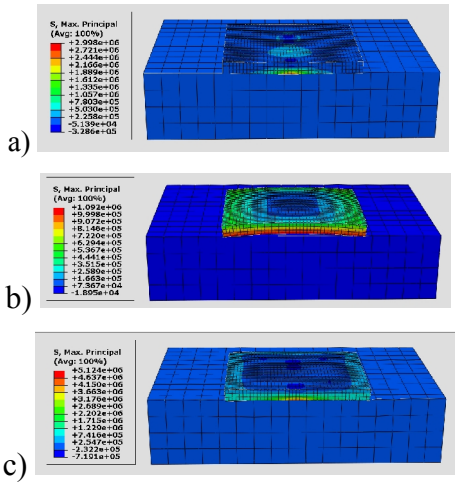


Obr. 3 Různé průběhy trhlin v CB krytu [1].

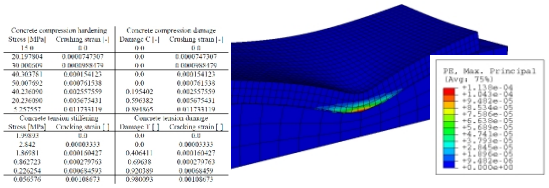
Vhodný materiálový degradační model pro CB kryt musí umožnit hromadění dílčích poškození, která jsou závislá na četnosti a velikosti tahových napětí vznikajících v CB desce. Byla vyvinuta řada postupů a únavových rovnic, které na základě experimentů prováděných na trámečcích prokazují nelineární závislost hromadění tahových poškození v čase. V rámci tohoto výzkumu je pro definici únavového chování CB použit „Concrete damaged plasticity“ (CDP) model obsažený v programu ABAQUS [5]. Model reprezentuje pružné i plastické chování CB. Je určený pro cyklická i dynamická zatížení a umožňuje řadu dalších nastavení.

Výsledky

V době řešení byly vytvořeny pokusné pracovní modely zabývající se převážně kombinací zatížení (obr. 4). Vytvořen byl také první pokusný únavový model CDP na obr. 5, s využitím vstupních údajů [6].



Obr. 4 Průběhy tahových napětí v CB desce – a) zatížení od kol, b) zatížení od teploty, c) kombinace zatížení.



Obr. 5 Plastické deformace v CB desce (CDP model).

Závěr

V dalším období řešení se výzkum zaměří na zpřesňování vstupních údajů pro modelaci účinků teploty a kolového zatížení a hlavně na parametry únavového materiálového (CDP) modelu pro cementové betony vozovek pozemních komunikací.

Literatura

[1] Sotelino, E. D., A. Asgari, A. C. Saksa, and G. Cedeno. Damage Analysis of Jointed Plain Concrete Pavements in Indiana, West Lafayette, Indiana, 2005. doi: 10.5703/1288284313170.

[2] Darter, M. I. and Barenberg, E. J., “Design of Zero Maintenance Plain Jointed Concrete Pavement”, Report Number FHWA-RD-77-11, Volume 1, Federal Highway Administration, 1977

[3] Miner, M.A., “Cumulative Damage in Fatigue”, American Society of Civil Mechanical Engineers, Transactions, Volume 67, 1945

[4] Fakulta stavební, ČVUT v Praze, VUT v Brně, Stavby silnic a železnic, a.s., ODS, a.s., TP 170, Navrhování vozovek pozemních komunikací (včetně Dodatku). 1st ed. Praha : MDČR, 2004. 400 pp.

[5] “ABAQUS/Standard User’s Manual”, Version 10.1,

[6] Jankowiak, T., Lodygowski, T., ” Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model”, Poznan University of Technology, Institute of Structural Engineering (ISE), Poland, 2005.

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168