



TERMO-MECHANICKÉ SIMULACE DESKY CB KRYTU

Zpracoval: doc. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D. a Ing. Petr Havlásek, Ph.D. (VUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra mechaniky)

Souhrn

Nevyztužené betonové desky rozměrů cca 4×6 metrů a tloušťky cca 290 mm tvoří vřetev cementobetonových (CB) krytů v R dle TP170. Zatížení teplotou hraje velkou roli v situaci, kdy dochází k separaci desky od podkladu. Zde je představena analýza pro lineárně elastický materiál a pro materiál s omezenou tahovou pevností na 2 MPa. Výsledky ukazují, že při změně betonu nedochází k lokalizaci deformace do jedné makrotrhliny, ale díky deformaci podloží ke vzniku sítě jemných trhlin.

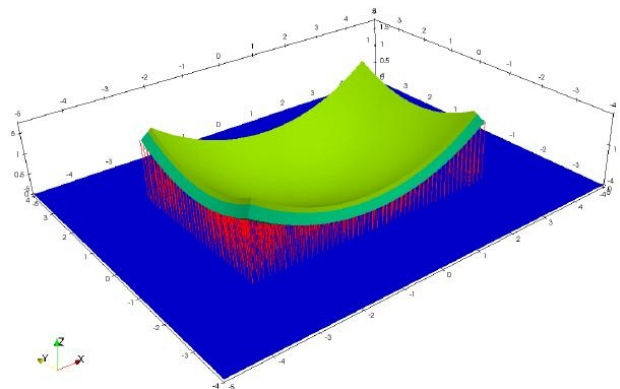
Oblast použití

Uvedené poznatky mají za cíl zmírnit přístup k navrhování CB krytů pouze na základě limitního napětí (dovolené namáhání). Velkou roli hraje duktilita nevyztuženého materiálu a samohojící schopnosti betonu, které se ve standardním návrhu neuvažují.

Metodika a postup řešení

Pro řešení nelineární slabě sdužené termo-mechanické úlohy v programu OOFEM [1] byl vytvořen 3D konečný prvkový model s kontaktními prvky působícími pouze v tlaku, viz Obr. 1. Deska 4×6 metrů tloušťky 290 mm leží na kontaktních prvcích, které jsou spojeny s Winkler-Pasternakovým podložím. Pro popis betonu byl použit lineárně pružný materiál s modulem pružnosti 36 GPa, Poissonovým číslem 0,20 a součinitelem délkové teplotní roztažnosti $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Parametry Winkler-Pasternakova podloží byly určeny s použitím programu Depth [2] jako $C_1=52,5 \text{ MN/m}^3$, $C_2=56,1 \text{ MN/m}$. Deformační zóna odpovídá 4,9 metrů při předkonsolidaci zeminou mocností 1 m.

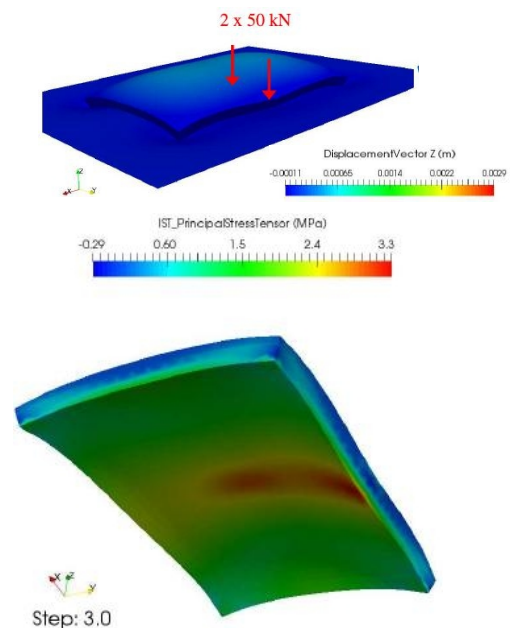
Rozložení teploty po tloušťce desky bylo uvažováno lineárně (konstantní gradient). Oproti normě TP170, která předepisuje rozdíl teplot povrchů 15,76°C, zde byla použita hodnota 11,6°C získaná z reálného měření [3]. Silové zatížení představovala návrhová náprava 100 kN dle TP170.



Obr. 1 Použité materiály a deformace desky při negativním gradientu teploty.

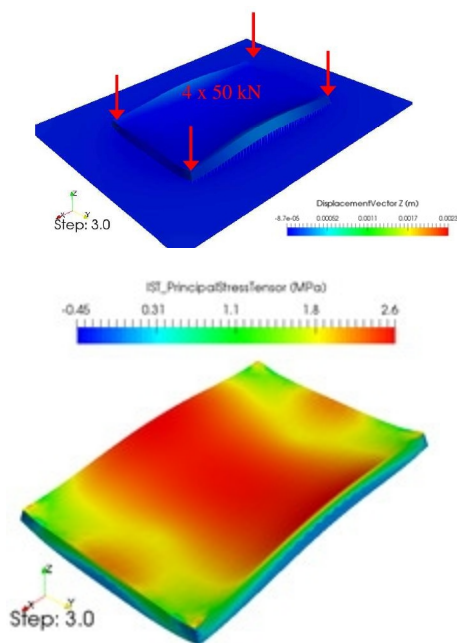
Výsledky

Nejvyšší tahové napětí na spodním líci desky vzniká při kladném gradientu teploty v kombinaci se zatížením 2×50 kN a dosahuje hodnoty 3,3 MPa, viz Obr. 2.



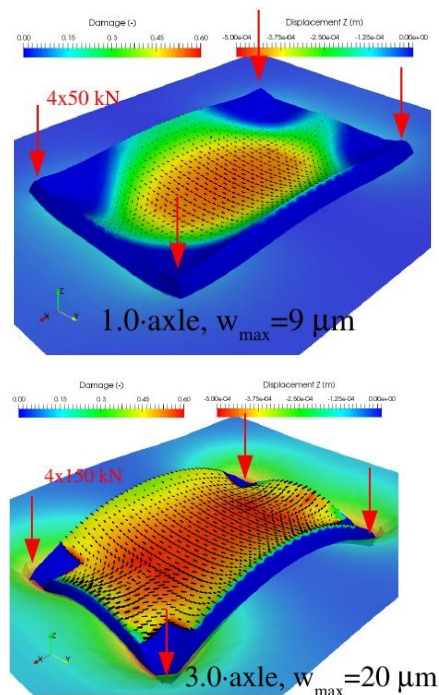
Obr. 2 Maximální tahové napětí na spodním líci desky.

Nejvyšší tahové napětí na horním líci desky vzniká při záporném rozdílu teplot $11,6^{\circ}\text{C}$ a zatížení 4×50 kN a má hodnotu $2,6$ MPa, viz Obr. 3.



Obr. 3 Maximální tahové napětí při horním líci desky.

Uvedené výpočty byly zopakovány s nelineárním modelem betonu s tahovou pevností pouze $2,0$ MPa a lomovou energií 100 J/m^2 . Při zatížení záporným teplotním gradientem a návrhovou nápravou dojde při horním líci ke vzniku trhlinek maximální šířky $9 \mu\text{m}$ zasahujících do hloubky 29 mm . Při trojnásobném přetížení (pouze silami) se trhlinky rozšíří na $20 \mu\text{m}$ a jejich délka se zvýší na 33 mm .



Obr. 4 Vznik trhlin na deskách s nízkou tahovou pevností betonu a při trojnásobném přetížení

Závěr

Analýzy desek CB krytí potvrdily, že maximální tahové napětí dosahuje na horním líci hodnot $2,6$ MPa, což dle přístupu EN 1992-2 vyžaduje charakteristickou pevnost betonu $f_{tk}=2,6 \cdot 1,27/0,843=3,92$ MPa. Ta byla předepsána i dřívejší normou SN 736123 jako $4,5$ MPa. Uvedený předpis by již nevyhovoval na napětí při dolním líci, kde by bylo třeba $f_{tk}=3,3 \cdot 1,27/0,843=4,97$ MPa. Tyto výsledky ukazují, že je třeba změnit návrh CB krytí a vzít do úvahy nelineární chování materiálu i únavu, a to zejména s ohledem na to, že se jedná o úlohu více závislou na nesilových úincích (teplota, smrštění, deformace podkladu) než na silovém zatížení od nápravy.

Nelineární analýza pomocí izotropního modelu poškození se záměrně sníženou tahovou pevností betonu na $f_t=2,0$ MPa ukazuje alternativní přístup. Zde je výsledkem šířka trhlin, kterou si deska pomáhá k přerozdělení zatížení do podkladu. Otázkou zůstává, co je přípustná šířka trhlin, která souvisí s volbou pojiva. Výsledky od roku 1943 ukazují, že pojiva odolná proti vzniku a šíření trhlin jsou pomaluvazné cementy a betony s vyšší duktilitou, tj. s nižší pevností [4]. Mikrotrhliny se formují už během vysychání desky do hloubky cca $3-5 \text{ mm}$ v důsledku smršťování. Samostatnou kapitolou je určení optimální betonové směsi a doby betonování s ohledem na minimalizaci tahových napětí způsobených uvolněním hydratačního tepla a vysycháním.

Pro CB desky je důležité najít rovnováhu mezi pevností a duktilitou; málo pevné betony se poruší zmrazovacími cykly i lomy desek, příliš pevné betony se poruší sítí makrotrhlin a rozpadem na části [4]. Současný stav rychlé výstavby vozovek ukazuje na problém příliš pevných a křehkých betonů. Jako referenční stavba může sloužit stará D1, která, v absenci kluzných trnů, vydržela $40+$ let.

Literatura

- [1] B. Patzák a kol.: OOFEM, www.oofem.org
- [2] P. Kuklík, M. Brouček: program Depth, <http://www.stavarina.cz/depth/depth.htm>
- [3] R. E. Asbahan and J. M. Vandebossche: Effects of Temperature and Moisture Gradients on Slab Deformation for Jointed Plain Concrete Pavements, Journal of Transportation Engineering 137(8), 2011.
- [4] R. Burrows: The visible and invisible cracking of concrete. ACI International, 1998.