



STANOVENÍ PARAMETRŮ A POŽADAVKŮ NA STATICKÉ A DYNAMICKÉ ANALÝZY A MODELOVÁNÍ

Zpracoval: Ing. Petr Guziur (Fakulta stavební, VUT v Brně)

Souhrn

Tento technický list je věnován dílčímu pracovnímu tématu „Drážní svršek – zvyšování technologické úrovně s ohledem na odolnost a životnost konstrukce“, které spadá pod dílčí cíl „Stanovení parametrů a požadavků na statické a dynamické analýzy a modelování“. Dílčí cíl je zaměřen na identifikaci vlivů vedoucích ke zvýšeným nákladům na údržbu či investice vyplývající zejména z degradace kameniva kolejového lože.

Oblast použití

V následujícím textu jsou shrnuty požadavky na měření a modelování, které je naplní dílčího tématu věnovanému problematice namáhání železničního svršku:

- návrh a provozní ověření nových betonových prazců firmy SKANSKA (problematika je podrobněji řešena v technickém listu 2.2.1b),
- laboratorní měření tuhosti podložek pod patu kolejnice dle OTP a ČSN EN – nalezení korelačního vztahu mezi použitými metodikami měření,
- změny parametrů kameniva kolejového lože – matematický model (problematika je podrobněji řešena v technickém listu 2.2.2).

Metodika a postup řešení

Betonový prazec firmy SKANSKA

Firma SKANSKA v rámci projektu CESTI ve spolupráci s univerzitami vyvíjí nový typ předpjatého betonového prazce. Jedním z hlavních řešených problémů je otázka stanovení vhodného okamžiku pro vnesení předpětí v závislosti na vývoji tlakové pevnosti betonu. Ten je dán zejména počáteční teplotou směsi a teplotou okolního prostředí. Pomocí víceúrovňových modelů hydratace betonu byl hledán optimální způsob zateplení formy a další opatření nutná pro zkrácení doby dosažení požadované pevnosti.

Pro ověření výrobního procesu byl sestaven výpočetní konečněprvkový model nárůstu pevnosti betonu. Matematický model byl vytvořen v software OOFEM, který je vyvíjen na Fakultě stavební

ČVUT v Praze. Vstupními parametry ke kalibraci modelu byla pevnost betonu v tlaku a stupeň hydratace. Kalibrace konečněprvkového modelu byla prováděna pomocí dat získaných z experimentu. Cílem parametrické studie bylo předpovědět čas, kdy beton dosáhne průměrné pevnosti v tlaku 42 MPa pro vnesení předpětí.

Podložky pod patu kolejnice

Oba standardy, OTP i ČSN EN, stanovují metodiku měření statické tuhosti podložek. Metodiky měření se ovšem liší. ČSN EN definuje navíc nízkofrekvenční a vysokofrekvenční dynamickou zkoušku.

- dle OTP:

Pro vyhodnocení se uvažují hodnoty zjištěné při 3. cyklu zatěžování. Ze získaných hodnot třetího zatěžování se vynáší deformační křivka vzorku, která vyjadřuje závislost deformace podložky na působící tlakové síle. Deformační křivka podložky musí ležet v rozmezí dvou limitních křivek diagramu vyhovujícího rozsahu tuhosti uvedených v příslušných OTP. Zároveň musí být hodnota tuhosti podložky, definována jako „sečná tuhost“, vyjádřena vztahem (1):

$$k = \frac{\Delta F}{\Delta d} \quad [\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (1)$$

ΔF – vyvozená síla

Δd – vyvolané stlačení podložky

- dle ČSN EN:

Statická tuhost podložky pod patu kolejnice se vypočte pomocí rovnice (2) **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, kde d_{SP} je střední hodnota posunutí v milimetrech při zvýšení působící síly z F_{SP1} na F_{SP2} :

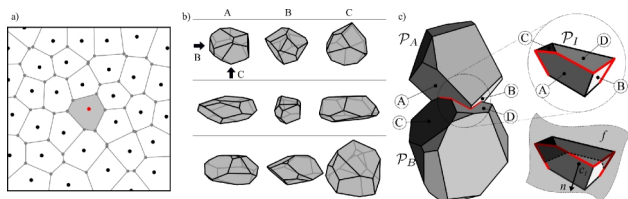
$$k_{SP} = \frac{F_{SP2} - F_{SP1}}{d_{SP}} \quad [\text{kN} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (2)$$

Kolejové lože

Pro zjišťování změn uložení kameniva v kolejovém loži je vyvíjen matematický model. Pro modelování se předpokládá použití spojitého modelu pro

železniční pražec a diskrétního modelu pro šterk, kdy jsou jednotlivá zrna kameniva modelována jako mnohostěny. Náhodná geometrie je generována pomocí Voroného tesalace na množině bodů s náhodnými souřadnicemi, které mají předepsanou minimální vzájemnou vzdálenost.

Vzájemné interakce mezi jednotlivými zrny jsou velmi jednoduché. Uvažujeme, že zrna jsou dokonale tuhá, tedy nedeformovatelná. U materiálů bez koheze (což je i náš šterk) vzniká normálová síla pouze odpudivá, a to při vzájemném překrytí dvou zrn. Tato normálová síla F_n působící na dva polyhedrony v interakci je uvažována jako lineárně závislá na objemu průniku těchto polyhedronů V_I : $|F_n| = k_n V_I$, kde k_n je materiálová konstanta s významem objemové tuhosti a jednotkou N/m^3 . Takovýto přístup vede k mocninnému vztahu mezi normálovou silou a hloubkou průniku δ : $|F_n| \approx \delta^r$, kde exponent r závisí na geometrii kontaktu. Takováto závislost odpovídá dosavadním experimentálním měřením, exponent r je však u některých standardních kontaktních úloh vyšší než teoreticky odvozený. Přesto považujeme tento kontaktní model za vhodný. Směr normálové síly je stanoven jako kolmý na rovinu, která prokládá (metodou nejmenších čtverců) průnik povrchů polyhedronů.



Obr. 1 a) Voroného tesalace ve 2D; b) zrna s různým tvarovým indexem a s náhodnou geometrií; c) dva polyhedrony a jejich společný průnik.

Výsledky

Betonový pražec firmy SKANSKA

Z provedených měření a výpočtů vyplývá, že pevnost betonu v tlaku 42 MPa je dosažena při stupni hydratace 0,431. Dosažení požadované pevnosti v tlaku během 18 hodin v zimním období (při teplotách okolí a betonové směsi pod 15 °C) není možné pouze s využitím hydratačního tepla standardního betonu. V zimním období je potřeba dalších opatření, např. zateplit formu, betonovou směs předehřát nebo použít urychlovače tuhnutí.

Kolejové lože

Model byl úspěšně verifikován pomocí simulace oedometrické zkoušky provedené na universitě v Nottinghamu. Výsledky byly publikovány v prestižním zahraničním impaktovaném časopise [3] a předneseny na konferencích [2], [4]. Tento model v současné době považujeme za velmi realistický

Literatura

- [1] ČSN EN 13146-9+A1 Železniční aplikace – Kolej – Metody zkoušení systémů upevnění – Část 9: Stanovení tuhosti, 2012.
- [2] Eliáš J. (2014a). DEM simulation of ballast oedometric test, International Conference Engineering Mechanics 2012, Svratka, ČR.
- [3] Eliáš, J. (2014b). Simulation of railway ballast using crushable polyhedral particles, Powder Technology, 264, 458-465.
- [4] Eliáš J. & O. Plášek (2013). DEM simulation of railway ballast oedometric test, The railway track science & engineering international workshop – ballast: issues & challenges, abstract only, held in Paris, France.
- [5] Hertz, H. (1882). Ueber die berührung fester elastischer körper (on the contact of rigid elastic solids), J. Reine Angew. Math. 1882 (92), 156–171 (translated and reprinted in English in “Hertz's Miscellaneous Papers” (Macmillan & Co., London, 1896)).
- [6] Lim, W.L. & G.R. McDowell (2005). Discrete element modelling of railway ballast. Granular Matter. 7(1), 19-29.
- [7] Obecné technické podmínky SŽDC Pružné podložky pod patu kolejnice v bezpodkladnicovém upevnění, č. j. 57 045/95-S13, účinnost od 15. 7. 1996 včetně změny č. 1 z roku 2001.
- [8] Obecné technické podmínky Pružné podložky pod patu kolejnice v podkladnicovém upevnění, č. j. 60 789/99-O13, účinnost od 27. 12. 1999 včetně změny č. 1 z roku 2001.
- [9] Protokol o zkoušce: Stanovení průběhu hydratačního tepla v železničním pražci vyrobeném v provozovně Skanska Prefa Štětí dne 22. 1. 2014 z betonu C55/67 XD3, XA1. ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, Experimentální oddělení. Číslo protokolu: 4/14/EXPO. 31. 1. 2014. 10 s.
- [10] Sneddon, I.N. (1965). The relation between load and penetration in the axisymmetric Boussinesq problem for a punch of arbitrary profile, Int. J. Eng. Sci. 3 (1), 47–57.
- [11] Stránský, J. & M. Jirásek (2013). Open source DEM-FEM coupling. PARTICLES, 18, 1237-1251.
- [12] Šmilauer, V.: Optimalizace výroby železničního pražce – simulace nárůstu pevnosti v závislosti na počátečních a okrajových podmínkách. [Výzkumná zpráva]. 2014. 12 s.