IDENTIFIKACE A KVANTIFIKACE ZDROJŮ NEBEZPEČÍ U DOPRAVNÍCH STAVEB

Zpracovali: Ing. Eva Novotná, Ph.D., Ing. Tomáš Janda, Ph.D., Ing. Vladimír Srnec, prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc., FEng. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

Tento technický list (TL) předkládá dva přístupy ke sledování nebezpečí (rizik). Expertní přístup je podložen Katalogy rizik pro jednotlivé typy infrastrukturních staveb sledovaných ve WP1 až WP5. Simulační přístup využívá efektivních nástrojů MKP a generace náhodných veličin a je v této fázi výzkumu zaměřen na interakci ražby tunelu s nadzemními stavbami. Výsledky jsou použitelné i v jiných oblastech stavebnictví, např. v pozemním stavitelství.

Oblast použití

Výsledky řešení jsou použitelné ve všech oblastech pokrývajících infrastrukturní stavby, tj. pozemní komunikace, kolejovou infrastrukturu, mosty a tunely. Řadu poznatků lze uplatnit i v jiných oblastech, např. v pozemním stavitelství.

Metodika a postup řešení

Riziko je zde chápáno v jeho užším smyslu, tedy jako nebezpečí (hazard). V širším smyslu je riziko pojímáno jako pravděpodobná škoda, tedy finanční ztráta způsobená realizací nebezpečí. Riziko se zde hodnotí dvěma způsoby

- expertním
- simulačním.

Tento TL je zaměřen na rizika související s projektováním a realizací infrastrukturních staveb. V rámci řešení projektu bude třeba rozhodnout, zda se v další fázi výzkumu zabývat i riziky provozními.

Expertní rizikové analýzy vycházejí z Katalogů nebezpečí (rizik), které jsou odvozeny z vytipovaných zdrojů nebezpečí. Závažnost rizika se hodnotí veličinou, viz [1]

$$RPN = Sv \cdot Lk \cdot Dt, \qquad (1)$$

kde Sv je mohutnost rizika (Severity), Lk je věrohodnost (Likelihood) a Dt je zjistitelnost (Detection), viz Katalogy rizik.

Důsledky realizace nebezpečí se sledují v návaznosti na Katalogy rizik expertními metodami typu FMA (Failure Mode Analysis), ETA (Event Tree Analysis), u nás se osvědčila metoda UMRA (Universální Metoda Rizikové Analýzy), a další.

Simulační rizikové analýzy vyžadují dva nástroje

- počítačový model pro predikci odezvy na účinky ohrožující stavbu
- simulační model.

První nástroj je zpravidla založen na MKP, druhý pak využívá různých modifikací metody Monte Carlo. V této souvislosti se osvědčila metoda Subset Simulation (s ohledem na sledování velmi malých pravděpodobností v důsledku malých oblastí vymezujících riziko) v kombinaci s metodou typu „reject – accept" popsanou Metropolis-Hastingsovým algoritmem.

S pravděpodobnostním navrhováním úzce souvisí aktualizace modelových parametrů využívající měření in situ. V praxi je obvyklé měření poklesů geodetickou nivelací, měření změn polohy pomocí extenzometrie, inklinometrie a další. Vychází se z Bayesovy statistické metody (Bayesian updating)

popsané vztahem

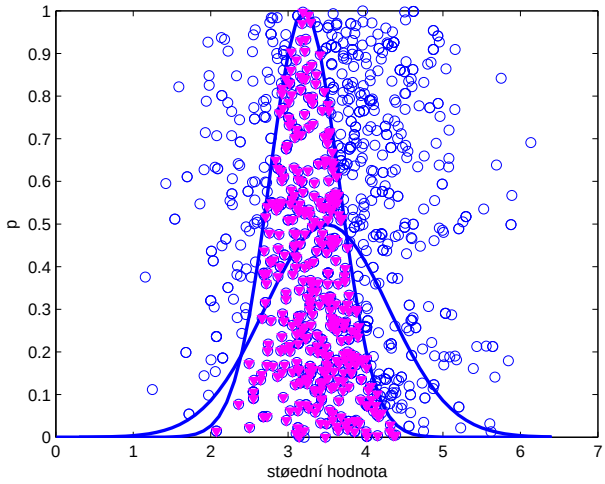
$$f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}|w_1, w_2, \dots, w_n) \propto L_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}). \qquad (2)$$

Aposteriorní (aktualizované) rozdělení modelových parametrů je úměrné apriornímu rozdělení. Součinitelem úměrnosti je funkce věrohodnosti,viz [2]

$$L_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^{n} L_i = \prod_{i=1}^{n} \frac{1}{\left(\sqrt[2]{2\pi}\sigma_\varepsilon\right)^n} \left[-\frac{1}{2}\frac{(w_i - w_i(\mathbf{x}))^2}{\sigma_\varepsilon^2}\right]. \qquad (3)$$

Postup výpočtu je ilustrován obrázkem 1 s jednou náhodnou proměnnou a s jedním měřeným výstupem. Aposteriorní rozdělení se odvozuje z generovaných hodnot znázorněných plnými kroužky pod funkcí věrohodnosti. Plošší křivka představuje rozdělení náhodné veličiny.

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



Obr. 1 Aktualizace modelových parametrů

Výsledky

V rámci *expertního přístupu* byl vypracován vzorový katalog rizik a následně (po jednotlivých WP1 až WP5) specifické Katalogy pro jednotlivé typy staveb. Katalogy mají 5 kapitol:

- A - Stavebně-technologická a projekční rizika
- B - Strategická rizika
- C - Kreditní a tržní rizika
- D - Vnější rizika
- E - Operační rizika.

Ty se dále dělí na podkapitoly např.

- A1 - Stavební a projekční rizika
- A2 - Riziko lokality
- A3 - Rizika chybných technologií a sítí

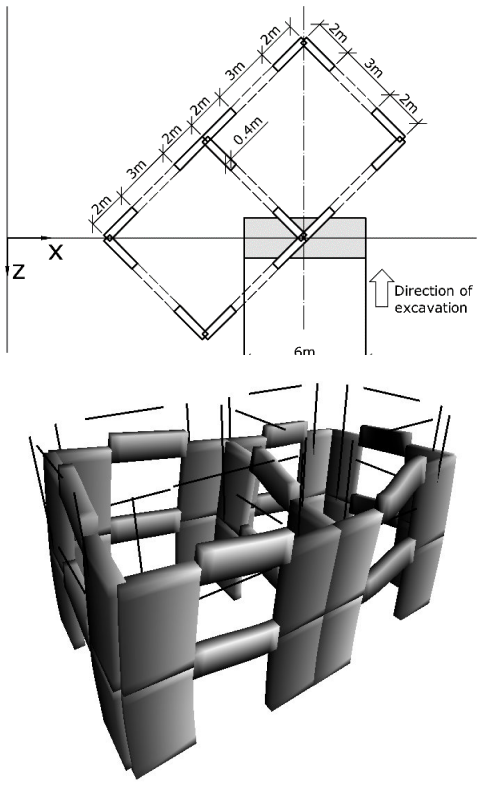
Navazuje dvouúrovňové dělení až ke konkrétním rizikům.

Před dokončením Katalogů je třeba rozhodnout o environmentálních rizicích:

Var. 1 Řešit samostatně v rámci WP5 se specifiky WP1 až WP4

Var. 2 Řešit v rámci katalogů pro WP1 až WP4 s konzultacemi s WP5

Simulační přístupy byly v tomto roce řešení zaměřeny na tunelové stavby a jejich interakci s nadzemními stavbami. Vychází se s osvědčeného 2D/3D modelu v kombinaci se zjednodušeným modelem vrchní stavby viz [3]. Vlastnosti modelu lze ve stručnosti charakterizovat takto:



Obr. 2 Modelování interakce ražby s vrchní stavbou

- Model ražby 2D/3D
  - Pružnoplastické materiálové modely
- Model budovy - 3D rámová konstrukce
  - Uvažuje se poškození materiálu
- Model interakce
  - Tuhost budovy ovlivňuje deformace při ražbě

Pro aktualizaci parametrů byl vytvořen zjednodušený model se třemi stupni volnosti a bázovými funkcemi predikovanými modelem 2D/3D (rychlá simulace).

Literatura

[1] TICHÝ, M. *Ovládání rizika: analýza a management*. 1st ed. 2006. ISBN 80-7179-415-5.

[2] STRAUB, D. Reliability updating with equality information. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 2011, vol. 26, p. 254–258.

[3] JANDA, T., ŠEJNOHA, M., ŠEJNOHA, J. Modeling of soil structure interaction during tunnel excavation: An engineering approach. *Advances in Engineering Software*, 2013, vol. 62-3, p. 51–60.

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