

Lukáš NOVÁK<sup>1</sup>, Ladislav ŘOUTIL<sup>2</sup>, Drahomír NOVÁK<sup>3</sup>

IMPLEMENTACE DATABÁZE LOMOVĚ-MECHANICKÝCH PARAMETRŮ VYBRANÝCH  
BETONŮ DO SOFTWARE FREET

DATABASE OF FRACTURE-MECHANICAL CONCRETE PARAMETERS AND ITS  
IMPLEMENTATION INTO SOFTWARE FREET

**Abstrakt**

Příspěvek přibližuje tvorbu databáze lomově-mechanických parametrů betonů vybraných pevnostních tříd a její implementaci do pravděpodobnostního softwaru FReET. Podklad databáze představují výsledky dříve provedených lomových zkoušek trámů se zářezem, na jejichž realizaci se podílely širší týmy pracovníků Ústavu stavební mechaniky a Ústavu stavebního zkušebnictví fakulty stavební VUT v Brně. Implementovaná databáze bude využita pro potřeby pravděpodobnostních výpočtů betonových konstrukcí.

**Klíčová slova**

Beton, databáze lomově-mechanických parametrů.

**Abstract**

The paper presents the database of fracture-mechanical parameters of selected concrete strength classes and its implementation into probabilistic software FReET. A basis for the database were the results of earlier performed fracture tests of notched beams, which were realized in close cooperation of research teams from Institute of Structural Mechanics and Institute of Testing, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology. The implemented database will be used for the reliability calculations in mentioned software.

**Keywords**

Concrete, database of mechanical fracture parameters.

## 1 ÚVOD, EXPERIMENTÁLNÍ POZADÍ ZPRACOVÁVANÝCH DAT

Při analýze mechanické odezvy/poškození kvazikřehkých materiálů/konstrukcí nelze zanedbat lomovou procesní zónu vznikající před čelem trhliny, která způsobuje charakteristické nelineární chování. Při tom je klíčová znalost lomově-mechanických parametrů vyšetřovaného materiálu. Stanovené lomově-mechanické parametry mohou sloužit pro kvantifikaci odolnosti proti vzniku/šíření trhliny či křehkosti/houževnatosti kompozitu, dále jako srovnávací parametr studovaných cementových kompozitů (resp. prvků/konstrukcí po zavedení dimenze zohledňující geometrické charakteristiky konstrukce) a zároveň jako součást vstupních dat do numerických modelů chování prvků/konstrukcí z kvazikřehkých materiálů (založených na metodě konečných

---

<sup>1</sup> Lukáš Novák, Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: NovakL2@study.fce.vutbr.cz.

<sup>2</sup> Ing. Ladislav Routil, Ph.D., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: routil.l@fce.vutbr.cz.

<sup>3</sup> Prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, VUT v Brně, Veveří 331/95, 602 00 Brno, e-mail: novak.d@fce.vutbr.cz.

prvků s implementovanými principy nelineární lomové mechaniky), a to na deterministické či stochastické úrovni. Stochastický model umožňuje provést spolehlivostní analýzu řešeného problému, což představuje významnou úlohu právě v oblasti cementových kompozitů, kdy experimentálně získaná data vykazují velkou proměnlivost.

Podporu nastíněnému postupu má představovat databáze lomově-mechanických parametrů betonů vybraných pevnostních tříd, zpracovaná a implementovaná do prostředí softwaru FReET [1]. Představovaná databáze mohla být zpracována díky výsledkům rozsáhlého experimentálního programu, který byl realizován na FAST VUT v Brně ve spolupráci s IKI BOKU University Wien a rakouskou firmou Franz Oberndorfer GmbH & Co KG. Připomeňme, že úspěšná realizace brněnské části experimentů je výsledkem nasazení mnoha kolegů – pracovníků Ústavu stavební mechaniky (prof. Novák, doc. Keršner, Ing. Lehký, Ph.D, Ing. Řoutil, Ph.D., Ing. Frantík, Ph.D., Ing. Šimonová, Ph.D., Ing. Havlíková, M. Friedl) a Ústavu stavebního zkušebnictví (doc. Schmid, Ing. Kucharczyková, Ph.D., Ing. Daněk, Ph.D.). Detaily provedených experimentů lze nalézt ve výzkumných zprávách či publikacích, např. [2], [3], [4].

## 2 STRUKTURA DATABÁZE

Údaje zahrnuté v databázi představují výsledky výše nastíněných experimentů. Dodejme, že zkušební konfiguraci představovaly trámce se zářezem (100×100×400 mm), resp. krychle (100×100×100 mm) pro určení tlakové pevnosti. Ze záznamů závislosti zatížení–posun uprostřed rozpětí trámce byly stanoveny hodnoty lomově-mechanických parametrů [2], [3], [4], [5]. Pro stanovení vybraných parametrů (modul pružnosti, pevnost v tahu, lomová energie) byly využity i identifikační metody [6] – v těchto případech jsou uživatelé databáze nabídnuty výsledky experimentů i identifikace.

Databáze je zpracována hierarchicky ve třech úrovních (Obr. 1):

- Úroveň 1 – Třída betonu.
- Úroveň 2 – Stáří betonu.
- Úroveň 3 – Jednotlivé parametry.

Třída betonu – aktuálně jsou v databázi zpracovány dvě třídy testovaného betonu, C40/50 a C50/60. Betony byly připraveny ve výrobně firmy Franz Oberndorfer GmbH & Co KG a jsou určeny pro výrobu předpjatých nosníků. Předpokládá se další rozšíření, včetně např. betonů vyztužených ocelovými vlákny [4].

Stáří betonu – testovány a do databáze byly zahrnuty vzorky ve stáří 1 den, 7 dní, 28 dní a 126 dní. Pro uvedená stáří bylo testováno vždy 7 vzorků.

Jednotlivé parametry – modul pružnosti, pevnost v tlaku, pevnost v tahu (pouze identifikovaná hodnota), efektivní lomová houževnatost, lomová energie.

Pro každý parametr je definován vhodný model rozdělení pravděpodobnosti a základní statistické parametry, což představuje podporu při tvorbě pravděpodobnostních modelů. Vybraný náhled databáze v prostředí FReET ukazuje Obr. 2.

Zmínme ještě jeden aspekt – série zkušebních vzorků ve stáří 28 dní byly, kromě základního uložení v běžných podmínkách, skladovány paralelně také v prostředí s vyšší vlhkostí. I v tomto případě jsou všechny získané výsledky zahrnuty do databáze a jsou k dispozici uživatelům.

Už v současné podobě představuje databáze jedinečný souhrn lomově-mechanických parametrů pro vybrané betony. Nyní obsahuje záznamy pro celkem 72 parametrů (Obr. 2).

```

#Level 1
  C50/60
    #Level 2 [1]
      age of testing: 1 day
        #Level 3
          Modulus of elasticity [GPa]
          #Distri
          RLGH
          #Mean
          26.616666666666667
          #Std
          1.3948715592005838

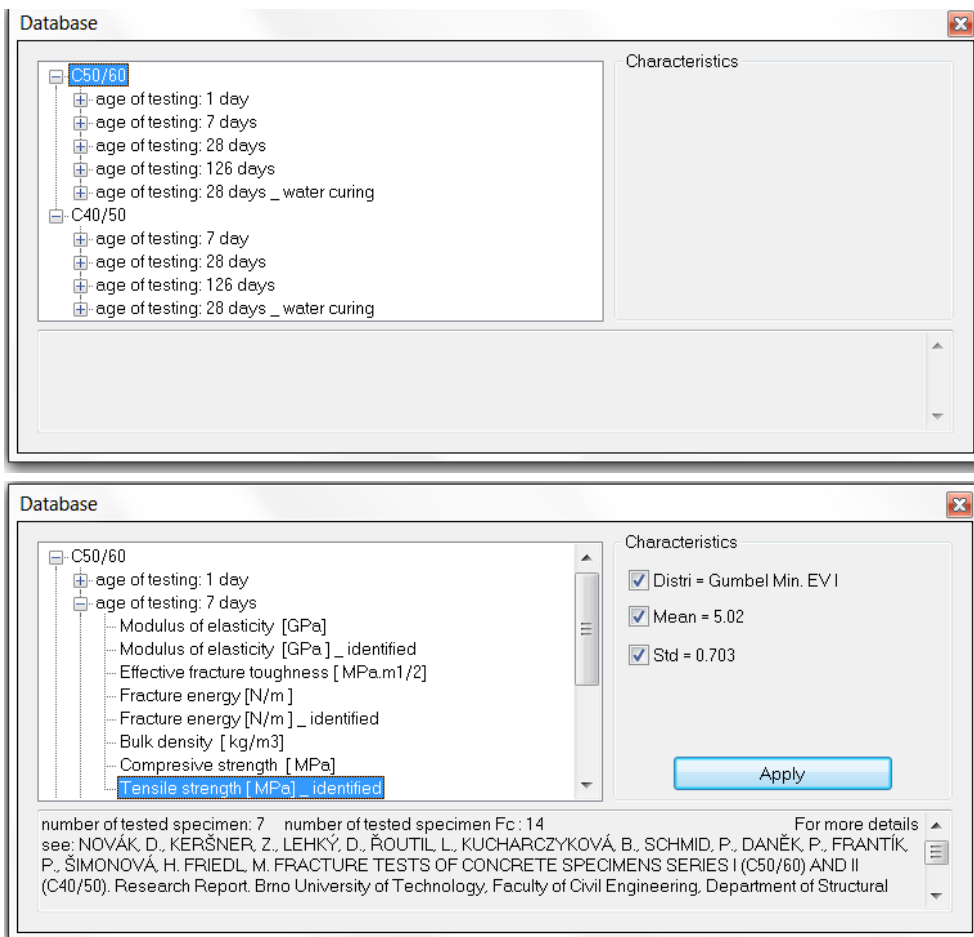
        #Level 2 [1]
          ...

#Level 1
  C40/50
    #Level 2 [1]
      ...

#References
[1] number of tested specimen: 7    number of tested specimen Fc : 14
For more details see:
NOVÁK, D., KERŠNER, Z., LEHKÝ, D., ŘOUTIL, L., KUCHARCZYKOVÁ, B., SCHMID, P.,
DANĚK, P., FRANTÍK, P., ŠIMONOVÁ, H., FRIEDL, M. FRACTURE TESTS OF CONCRETE SPECIMENS SI
Research Report. Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Department
Building Testing. September 2014, 248 p.
Řoutil, L., Lehký, D., Šimonová, H., Kucharczyková, B., Keršner, Z., Novák, T., Zimmer

```

Obr. 1: Struktura databáze ASCII



Obr. 2: Náhledy databáze v programu FRcET

### 3 ZÁVĚR

Příspěvek představuje implementaci databáze lomově-mechanických parametrů betonů vybraných pevnostních tříd do prostředí softwaru FReET. Nastihuje zvolenou strukturu databáze, která je takto připravena na další rozšiřování a doplňování. Uživatelům přináší v přehledné podobě možnost definovat potřebné lomově-mechanické parametry např. pro potřeby numerických simulací chování studovaných kvazikřehkých kompozitů. Pro každý parametr je definováno vhodné rozdělení pravděpodobnosti a základní statistické parametry, což představuje podporu při tvorbě pravděpodobnostních modelů.

Databáze mohla být zpracována díky výsledkům rozsáhlého experimentálního programu, který byl realizován na FAST VUT v Brně (kolektivy STM a SZK) ve spolupráci s IKI BOKU University Wien a rakouskou firmou Franz Oberndorfer GmbH & Co KG.

### PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finanční podpory projektu GAČR 13-03662S (FRAPA) a CZ.1.07/2.3.00/30.0005 – “Podpora tvorby excelentních týmů mezioborového výzkumu na VUT” a v rámci řešení projektu č. LO1408 "AdMaS UP - Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie" podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I”.



### LITERATURA

- [1] NOVÁK, D., VOŘECHOVSKÝ, M., TEPLÝ, B. FReET: Software for the statistical and reliability analysis of engineering problems and FReET-D: Degradation module. *Advances in Engineering Software*, Elsevier, 2014, 72, 179–192.
- [2] NOVÁK, D., KERŠNER, Z., LEHKÝ, D., ŘOUTIL, L., KUCHARCZYKOVÁ, B., SCHMID, P., DANĚK, P., FRANTÍK, P., ŠIMONOVÁ, H., FRIEDL, M. *Fracture tests of concrete specimens series I (C50/60) and II (C40/50)*. Research Report. Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Institute of Structural Mechanics & Institute of Building Testing, 2014. 248 p.
- [3] ŘOUTIL, L., LEHKÝ, D., ŠIMONOVÁ, H., KUCHARCZYKOVÁ, B., KERŠNER, Z., NOVÁK, T., ZIMMERMANN, T., STRAUSS, A., KRUG B. *Experimental-computational determination of mechanical fracture parameters of concrete for probabilistic life-cycle assessment*. In: IALCCE 2014, Tokyo, Japan, 16<sup>th</sup>–19<sup>th</sup> November 2014. © 2015 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00120-6, pp. 801–807.
- [4] LEHKÝ, D., ŘOUTIL, L., KERŠNER, Z., NOVÁK, D., ŠIMONOVÁ, H., HAVLÍKOVÁ, I., SCHMID, P. *Experimental determination of mechanical fracture parameters of steel fiber reinforced concrete for probabilistic life-cycle assessment*, In: 2015 fib Symposium, Copenhagen, Denmark, 18<sup>th</sup>–20<sup>th</sup> May 2015.
- [5] KARIHALOO, B. L. *Fracture mechanics of concrete*. New York: Longman Scientific & Technical, 1995.
- [6] LEHKÝ, D., KERŠNER, Z., NOVÁK, D. FraMePID-3PB Software for Material Parameters Identification Using Fracture Test and Inverse Analysis. *Advances in Engineering Software*, in press, available online 29 October 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.10.001>.

### Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Petr Konečný, Ph.D., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, VŠB-TU Ostrava.

Prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc., FEng., Katedra stavební mechaniky, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.