
**VÝVOJ MAGNETICKÉ METODY PRO TESTOVÁNÍ HOMOGENITY
DRÁTKOBETONOVÉ KONSTRUKCE A MOŽNOSTI APLIKACE V SOUDNÍM
INŽENÝRSTVÍ**

**DEVELOPMENT OF THE MAGNETIC METHODS FOR TESTING
HOMOGENEITY OF FIBER- CONCRETE STRUCTURES AND POTENTIAL
APPLICATIONS IN THE FORENSIC ENGINEERING**

Leonard Hobst⁵⁶, Petr Bílek⁵⁷

ABSTRAKT

Příznivých vlastností drátkobetonu lze využít, pokud potřebujeme zvýšit odolnost betonu vůči tahovému napětí překračujícímu jeho pevnost, cyklickému namáhání, nebo rázovému namáhání. Problémem je zpracování drátkobetonu. Zvláště u vyšší koncentrace drátků. Během výrobního procesu jsou vlákna často nerovnoměrně rozložena. Dráty jsou často seskupeny, což snižuje celkovou homogenitu a tím kvalitu vlákna betonových konstrukcí. Příspěvek se zabývá rozvojem magnetické metody za použití permanentních magnetů pro kontrolu rozložení vláken ve ztvrdlém drátkobetonu a srovnávacím měřením na kontrolních vzorcích.

ABSTRACT

The favorable properties of steel fiber can be used if we need to increase the durability of concrete tensile stress that exceeds its strength, cyclic stress or shock loads. The problem is the processing of steel fiber-concrete structure. Especially at higher concentrations of fibers. During the manufacturing process, the fibers are often unevenly distributed. Wires are often clustered, reducing the overall homogeneity and the quality of steel fiber-concrete structures. The paper deals with the development of the magnetic method using permanent magnets for monitoring the distribution of fibers in hardened steel fiber-concrete structures and comparative measurements on control samples.

KLÍČOVÁ SLOVA:

nedestruktivní testování, drátky, homogenita, magnetické metody

KEY WORDS:

non-destructive testing, steel fibre-concrete structures, homogeneity of wire distribution, magnetic method

1 ÚVOD

Betony vyztužené rozptýlenou ocelovou výztuží (drátky) jsou známé pod názvem drátkobetony. V posledních letech se díky dobrým fyzikálně mechanickým vlastnostem drátkobetonu velmi často vyskytuje snaha projektantů využít tohoto materiálu také pro nosné konstrukce. Ukazuje se, že aplikace drátkobetonu na takovéto konstrukce je cestou, která vede k ekonomickým efektům.

56) Prof. Ing. Leonard Hobst, CSc., VUT v Brně, Fakulta stavební, ÚSZK, Veveří 95, Brno, www.fce.vutbr.cz, tel.: +420 541 147 836, hobst.l@fce.vutbr.cz

57) Ing. et Ing. Petr Bílek, VUT v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 53, Brno, www.usi.vutbr.cz, petr.bilek@usi.vutbr.cz

Podmínkou efektivního využití drátkobetonu v konstrukcích je však zajištění homogenního rozložení drátků v celém objemu konstrukce.

Samotné drátky jsou tvarově nepříznivá složka směsi a velmi zhoršují zpracovatelnost drátkobetonové směsi. Současná kontrola homogenity probíhá dosud na čerstvé směsi, ale pokud drátkobeton ztvdne a je součástí konstrukce, nejsou v současnosti vyvinuty žádné známé spolehlivé metody, jak homogenitu drátkobetonu na konstrukci (např. drátkobetonové podlahové desky, nosníky) ověřit, aniž by došlo k jejímu znehodnocení.

Příspěvek se zabývá rozvojem semidestruktivní metody ověřování homogenity ztvrdlého drátkobetonu za pomoci permanentních magnetů. Tato nová metoda je vyvíjena na Ústavu stavebního zkušebnictví VUT v Brně.

2 HOMOGENITA STRUKTURY DRÁTKOBETONU

Není obtížné posoudit homogenitu drátkobetonu v případě čerstvého betonu, odebraného při betonáži. Složitější otázkou však zůstává, jak získat informaci o homogenitě ztvrdlého drátkobetonu zabudovaného v nosné konstrukci. V zásadě se dají využít dvě fyzikální vlastnosti, kterými se drátková výztuž odlišuje od okolního prostředí:

- vyšší měrná hmotnost drátků ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$) oproti betonu ($\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$)
- mag. vlastnosti drátků z měkké oceli (permeabilita $\mu_r \gg 1$ u železa, $\mu_r \sim 1$ u betonu)

Měrná hmotnost lze zjistit rentgenograficky, permeabilita lze zjistit magnetickými a elektromagnetickými metodami [1].

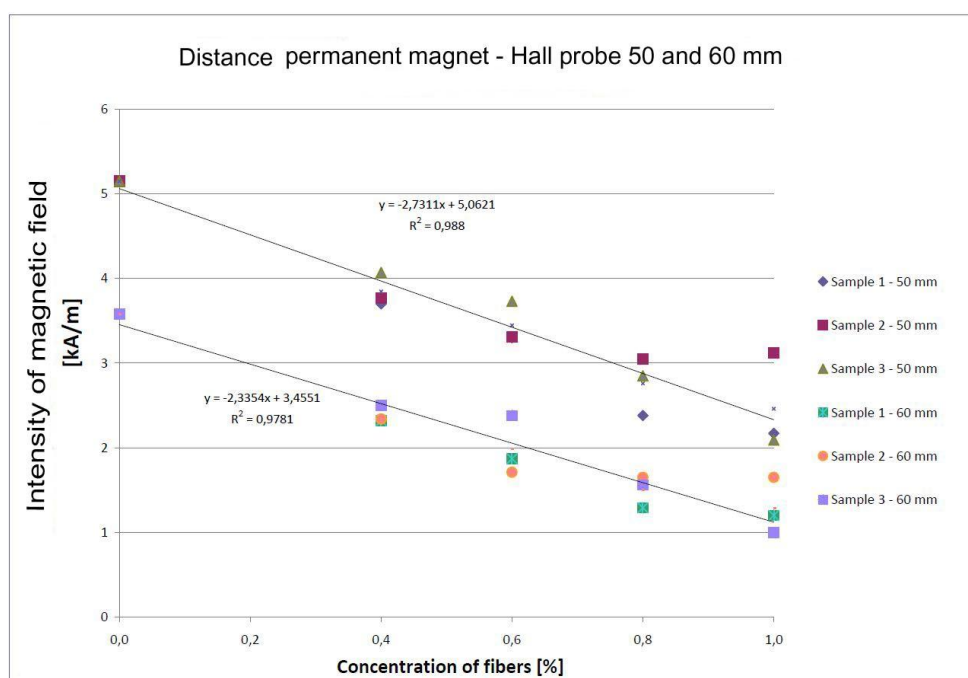
3 HLOUBKOVÁ PERMANENTNÍ MAGNETICKÁ SONDA (PEMASO)

V praxi jsou však požadovány kontroly, které zasahují do celého objemu konstrukce. Na základě získaných zkušeností bylo přikročeno k vývoji hloubkové magnetické sondy, kterou se měří koncentrace drátků v okolí předvrtaných otvorů do konstrukce. Průměr vývrtů činí $\varnothing 25 \text{ mm}$. Metoda je založena na vlastnostech permanentních magnetů, které kolem sebe vytváří magnetické pole, charakterizované magnetickými siločarami. Je logické, že pokud se permanentní magnet dostane do prostředí, ve kterém se nachází feromagnetický materiál (drátky), bude toto magnetické pole permanentních magnetů tvarově ovlivněno. Pokud bude toto pole vhodně změřeno, může být nalezena korelace mezi nárůstem koncentrace drátků v drátkobetonu a změnou intenzity magnetického pole.

4 VÝVOJOVÁ MAGNETICKÁ SONDA S PERMANENTNÍMI MAGNETY (PEMASO-01)

Pro ověření uvedených úvah byla sestrojena pokusná sonda (nazvaná PeMaSo-01), která byla tvořena hliníkovou trubicí vnějšího průměru 25 mm , do které mohly být umístovány válečkové permanentní magnety $\varnothing 22 \text{ mm}$. Ve volitelné vzdálenosti v ose válečků byla umístěna Hallova sonda, měřící magnetické pole uvnitř sondy (hliníkové trubice). Vzdálenost Hallové sondy od povrchu magnetů byla nastavitelná. Cílem měření bylo nalézt optimální množství permanentních magnetů a optimální vzdálenost Hallové sondy od povrchu magnetů. Při měření Hallovou sondou se prokázalo, že se vzrůstající vzdáleností Hallové sondy od povrchu magnetů sice roste citlivost přístroje, klesá však intenzita magnetického pole měřená Gauss/Teslametrem. Jako nejvýhodnější se jevila vzdálenost 50 mm až 60 mm Hallové sondy od povrchu magnetů. Kontrolní měření, provedená na 4 vzorcích - krychlích s vyvrtaným

otvorem, ukázala velmi dobrou korelaci (obr. 1) mezi úbytkem intenzity magnetického pole a rostoucí koncentrací drátků ve vzorcích.

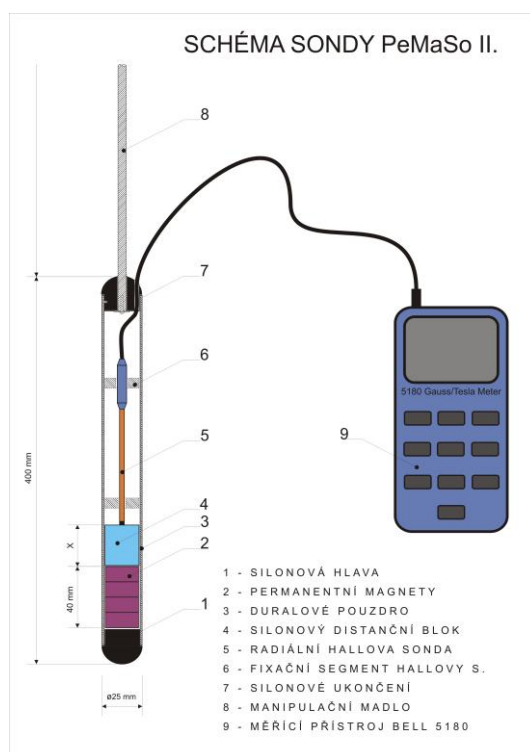


Obr.1 - Korelace mezi úbytkem intenzity magnetického pole a rostoucí koncentrací drátků ve vzorcích

Fig. 1 – Correlation between magnetic field strength and increasing concentrations of fibres in samples

5 POSTUP PROVEDENÝCH MĚŘENÍ PROTOTYPEM SONDY PEMASO-02

Po prvních zkušenostech z měření bylo nutné vývojovou sondu upravit, tak aby bylo možné zasunovat sondu do hlubších vývrtů, popř. posouvat sondu vývrtem (Obr.2 a Obr.3). Cílem měření je získat rozsáhlejší sady výsledků na nových vzorcích s delším vývrtem. Důležité bylo též vytvořit sadu vzorků se zaručenou koncentrací drátků, na kterých by se dala magnetická metoda nakalibrovat. Použité vzorky v předchozích měřeních bylo možné využít pouze pro tato první měření, protože při výrobě krychlí dochází ke „stěnovým efektům“, které mění koncentraci drátků v blízkosti stěn. Z tohoto hlediska bylo proto vhodné zhotovit větší kalibrační vzorky, které je pak možné řezáním upravit do tvaru vhodného pro kalibraci.



Obr. 2 - Schéma s popisem magnetické sondy PeMaSo-02
Fig. 2 – Schema with a description magnetic probe PeMaSo-02



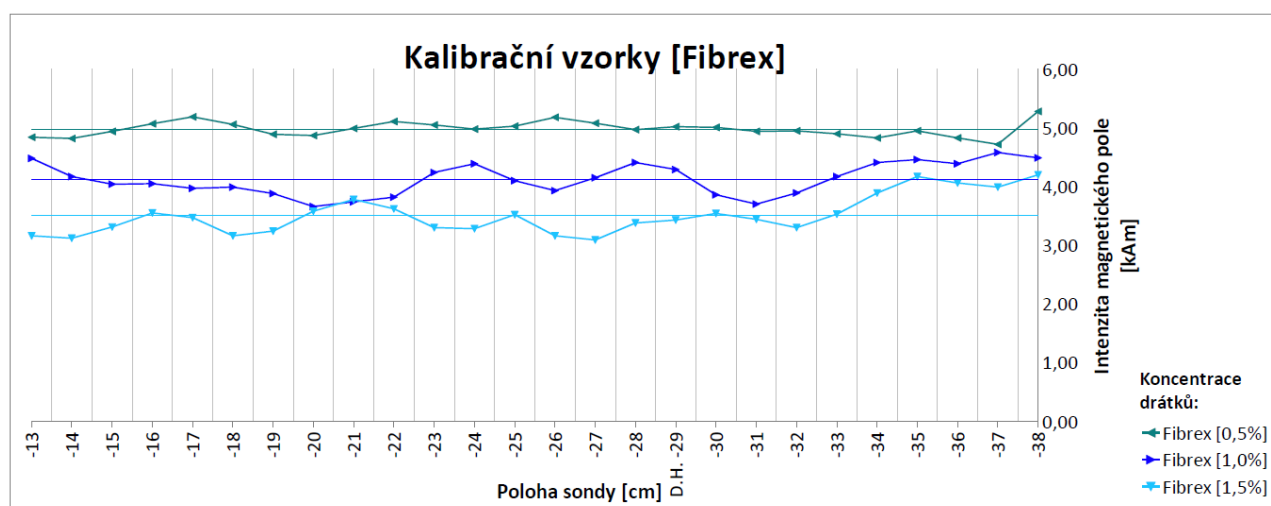
Obr. 3 - Prototyp magnetické sondy PeMaSo-02
Fig. 3 – Prototype magnetic probes PeMaSo-02

Vývojová sonda PeMaSo-01 sloužila k ověření činnosti a ověření volby parametrů. Nebylo možné jí měřit v hloubce drátkobetonové konstrukce. Za tím účelem byla zhotovena sonda PeMaSo-02, kde jsou napevno nastaveny parametry stanovené pro měření jako optimální (Obr. 3).

6 ZÍSKÁNÍ KALIBRAČNÍCH DAT NA KALIBRAČNÍCH VZORCÍCH

Pro další zkoušky byly zhotoveny drátkobetonové vzorky o délce 300 mm, ze tří typů drátků (FIBREX, TRI-TREG a DRAMIX), o třech různých objemových koncentracích drátků (0,5 %, 1,0 % a 1,5 %), u kterých se dá předpokládat, že se sníží okrajové efekty, způsobené jednosměrnou orientací drátků při hutnění kalibračního vzorku (celkem zhotoveno 9 vzorků).

Při měření sondou PeMaSo-2 ve všech devíti kalibračních vzorcích o délce 300 mm bylo zjištěno jisté kolísání hodnot při krokovém měření po 10 mm. Toto kolísání svědčí o tom, že i při zachování konstantní koncentrace drátků v kalibračním vzorku, může být měření ovlivněno převažujícím směrem rozptýlených drátků. Výsledná měření proto musí být stanovena jako aritmetický průměr řady dílčích měření. V ilustrativním grafu na obr. 4 je vynesena hodnota měření pro tři koncentrace drátků FIBREX ve třech vzorcích. V tab. 1 je pak uvedena i zprůměrovaná hodnota měření na vzorcích s drátky DRAMIX a TRI-TREG (výsledky z 9 vzorků).



Obr. 4 - Výsledky krokového měření na třech vzorcích s vlákny FIBREX

Fig. 4 – Results stepper measurements on three samples with fibers Fibrex

Tab. 1 - Průměrné naměřené hodnoty intenzity magnetického pole ve vývrtu na všech vzorcích

	Koncentrace drátků								
	Dramix			Tri-treg			Fibrex		
	0,5 [%]	1,0 [%]	1,5 [%]	0,5 [%]	1,0 [%]	1,5 [%]	0,5 [%]	1,0 [%]	1,5 [%]
Ø[kA/m]	5,1	4,1	3,7	5,0	4,5	3,9	5,0	4,1	3,5

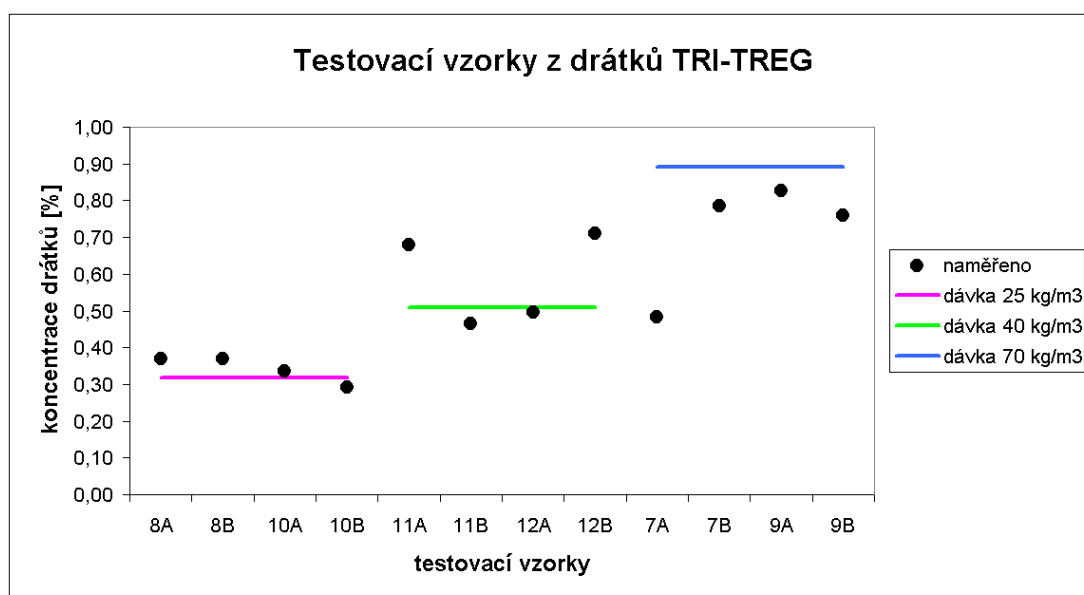
7 OVĚŘENÍ MAGNETICKÉ METODY NA TESTOVACÍCH VZORCÍCH

Pro ověření správnosti magnetické metody byly zhotoveny na Fakultě stavební ČVUT v Praze „testovací vzorky“, u kterých byla zaznamenána koncentrace drátků při výrobě, ale tato hodnota pro jednotlivé vzorky nebyla sdělena před měřením pracovníkům FAST VUT v Brně. Celkem bylo dodáno 12 krychlí drátkobetonu rozměrů 150 x 150 x 150 mm. Pro zvýšení přesnosti měření a počtu hodnocení byly do každého vzorku vyvrtány vždy 2 otvory Ø 25 mm, vzdálení od sebe 40 mm, což zaručovalo, že tyto paralelní otvory se nebudou ovlivňovat při měření.

Měření probíhala sondou PeMaSo-2 tak, že byla vyhodnocena 4 měření uprostřed sondy po krocích 10 mm. Další měření již by byla částečně ovlivněna „okrajovým efektem“ a měřená oblast tedy nabývá hodnot 8 až 12 cm od horního líce testovacího vzorku.

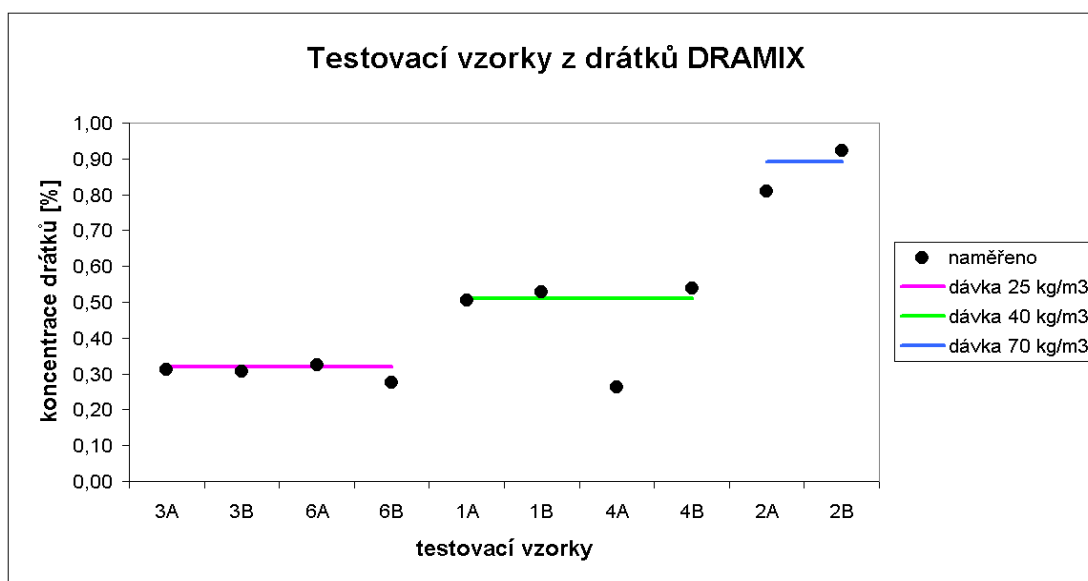
8 VÝSLEDKY SROVNÁVACÍCH MĚŘENÍ

Naměřené výsledky z „testovacích vzorků“ byly vyhodnoceny z kalibračních vztahů, získaných na „kalibračních vzorcích“ (obr. 1). Po „odtajnění“ hodnot koncentrace drátků v drátkobetonu byly výsledky vyneseny do dvou grafů – obr. 5. a obr. 6. Graf obr. 5 je vyneseno pro drátky Dramix o koncentraci 0,32 % (25 kg/m³), dále 0,51 % (40 kg/m³) a 0,89 % (70 kg/m³) a pro stejné koncentrace je vyneseno i graf obr. 6, kde ovšem výztuž tvoří drátky Tri-treg.



Obr. 5 - Graf výsledků měření vzorků z drátků TRI-TREG

Fig. 5 – Graph the results of measurements of samples of fibers TRI-TREG



Obr. 6 - Graf výsledků měření vzorků z drátků DRAMIX

Fig. 6 – Graph the results of measurements of samples of fibers DRAMIX

Z grafů je zřejmé, že pro nízké koncentrace drátkobetonu výsledky měření velmi dobře odpovídají koncentraci drátků v testovacích vzorcích. U vyšších koncentrací drátkobetonu roste i rozptyl měření na „testovacích vzorcích“. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že se zvyšující se koncentrací drátků roste i pravděpodobnost většího rozptylu. Liší se tedy (pravděpodobně) koncentrace drátků u kalibračních vzorků a testovacích vzorků při vyšší koncentraci drátků ve vzorcích. Přesné vyhodnocení příčiny rozptylu měření může spočívat v nedestruktivním způsobu pomocí CT, což je obtížně dostupná metoda, popř. destruktivním způsobem.

9 ZÁVĚR

Využití magnetických vlastností drátků, obsažených v drátkobetonu se ukazuje jako perspektivní metoda. Potvrdilo se však zjištění, že i při stejné koncentraci drátků v kalibračních vzorcích může být bezprostřední odezva jednotlivých metod ovlivněna orientací drátků v místě měření. Je zřejmé, že tyto metody budou vyžadovat k dosažení hodnověrných výsledků více dílčích měření, která budou statisticky zpracována.

Dalším úkolem bude určení přesné oblasti, ze které jsou získávána naměřená data. Znalost přesné oblasti pro jakou jsou získaná data platná, tzn. určení dosahu magnetického pole, je důležitým prvkem ověřování homogenity drátkobetonu, aby byla možná kontrola koncentrace drátků na rozsáhlých konstrukcích, zhotovených z drátkobetonu.

Vývoj nedestruktivních metod kontroly homogenity drátků v masivních drátkobetonových konstrukcích je důležitý i z pohledu soudního inženýrství. Výhodné vlastnosti kompozitního materiálu vedou k častějšímu využití drátkobetonu v konstrukcích. Stále tak roste počet případů, kdy se na soudní znalce obrací investoři, aby objektivně zhodnotili drátkobetonové konstrukce před možnými spory se zhotoviteli. Další postup při řešení bude proto zaměřen na vypracování potřebné metodiky měření s uvažováním její přesnosti na výsledek měření.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení Výzkumného záměru MSM 0021630519 a Specifického výzkumu FAST/ÚSI-S-12-1.

10 LITERATURA

- [1] HOBST, L.; ANTON, O.; VALA, J.; HORÁK, M. A Magnetic Method for Testing of Homogeneity of Fibre Concrete. In 9th International Conference NDT 2011 Nedestruktivní testování v technických oborech. Brno: 2011. s. 19-29. ISBN: 978-80-7204-774-1.
- [2] HOBST, L.; VALA, J.; VODIČKA, J.; ANTON, O.; BÍLEK, P. Non-destructive Testing of the Homogeneity of Fibre-Concrete Structures. Fortaleza, Brazil: Fabricado por Wave Media, 2012. s. 1-18.
- [3] VALA, J.; HORÁK, M. Nondestructive identification of engineering properties of metal fiber composites. American Institute of Physics: ICNAAM Proceedings (10th International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics in Kos, Greece), to appear.