DALŠÍ VÝVOJ MAGNETICKÉ METODY PRO TESTOVÁNÍ HOMOGENITY DRÁTKOBETONOVÉ KONSTRUKCE

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAST
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
ÚSI
ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Prof. Ing. Leonard Hobst, Csc. / Prof. Ing. Jiří Vala, Csc. / Ing. Ondřej Anton, Ph.D. / Ing. et Ing. Petr Bílek

Úvod

Betony vyztužené rozptýlenou ocelovou výztuží (drátky) jsou známé pod názvem drátkobetony.
Jedním z nejdůležitějších faktorů pro zajištění spolehlivosti drátkobetonové konstrukce je homogenní struktura drátkobetonu. Pokud homogenita drátkobetonu není dodržena, dochází k tomu, že v různých částech konstrukce má materiál jiné charakteristiky (např. tahovou pevnost), což může vést k poruchám konstrukce (vznik a vývoj trhlin).

Stanovení homogenity 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:

a) vyšší měrná hmotnost drátků
(ρ= 7850 kg/m^3) oproti betonu (ρ = 2300 kg/m^3)

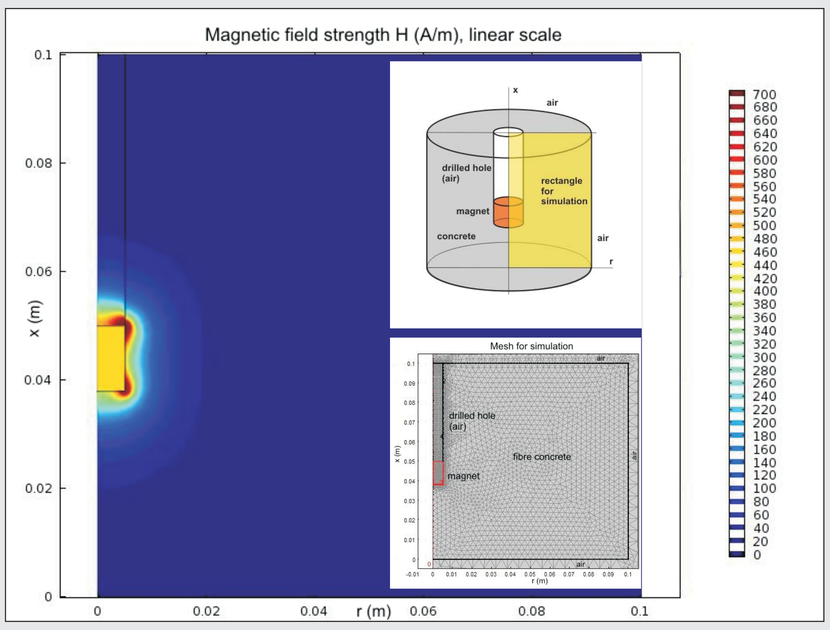
b) mag. vlastnosti drátků z měkké oceli
(permeabilita μr >> 1 u železa, μr ~1 u betonu)

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

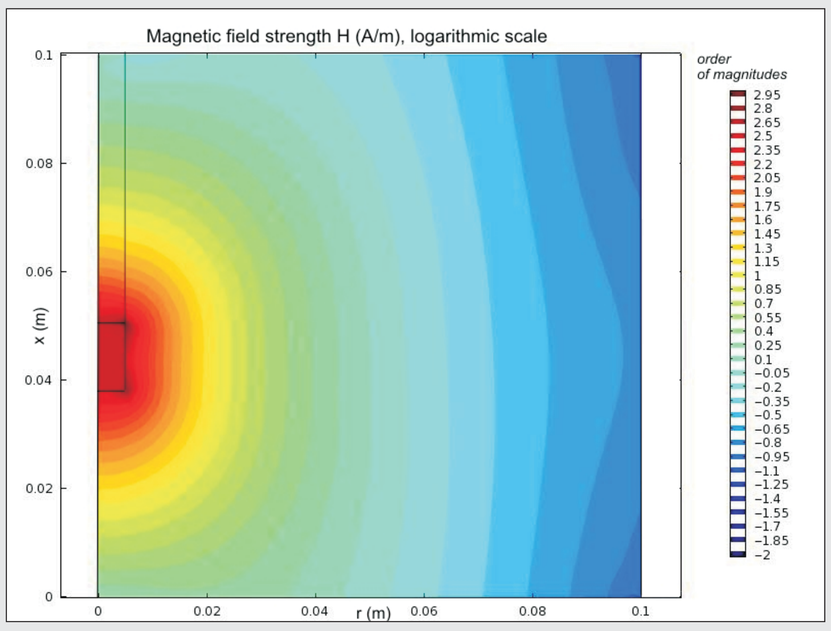
Hloubková permanentní magnetická sonda (PeMaSo)

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 ø 25 mm.
Pro zjištění přibližného prostupu magnetického pole (permeability permanentních magnetů) v drátkobetonu byl vytvořen matematický model a spočten v programu MATLAB (autor prof. Ing. Jiří Vala, CSc.). Výsledky byly ověřeny experimentálně v rámci řešení projektu.
Z výsledků je patrné (Obr. 1 a 2.), že intenzita magnetické pole je nejsilnější na povrchu permanentních magnetů a do 20 mm od středu magnetu, dále pak výrazně ubývá. Pozdějším výzkumem a měřením na vzorcích bylo ověřeno, že největší odezva je do 10 mm od povrchu sondy a nad 20 mm od povrchu sondy je ovlivnění strukturou drátkobetonu již velmi nízké.

Průběh magnetického pole v okolí permanentních magnetů

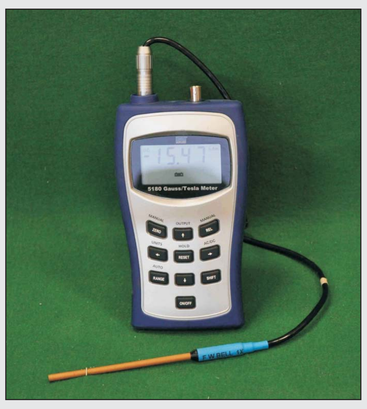


Obr. 1: Lineární stupnice

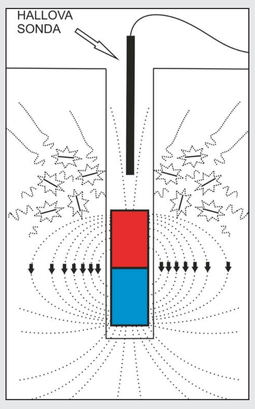


Obr. 2: Logaritmická stupnice

Metoda je založena na vlastnostech permanentních magnetů, které kolem sebe vytváří magnetické pole, charakterizované magnetickými siločárami, které je měřitelné Hallovou sondou (obr.3). 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 (obr. 4).



Obr.3:Gauss-Teslameter Bell 5180 s radiální Hallovou sondou

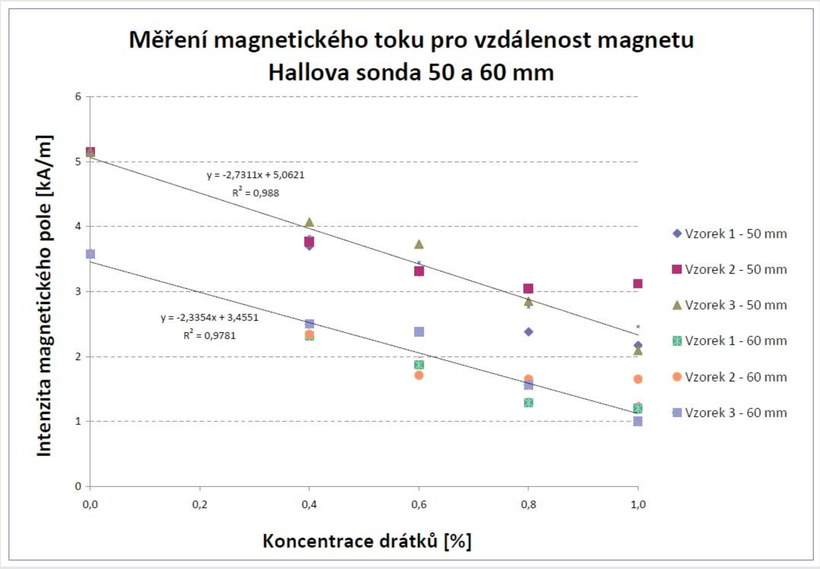


Obr.4: Porušení magnetických siločar v drátkobetonu vlivem drátků

Pokud bude toto pole vhodně změřeno, může být nalezena korelace mezi nárůstem koncentrace drátků v drátkobetonu a změnou intenzity magnetického pole.

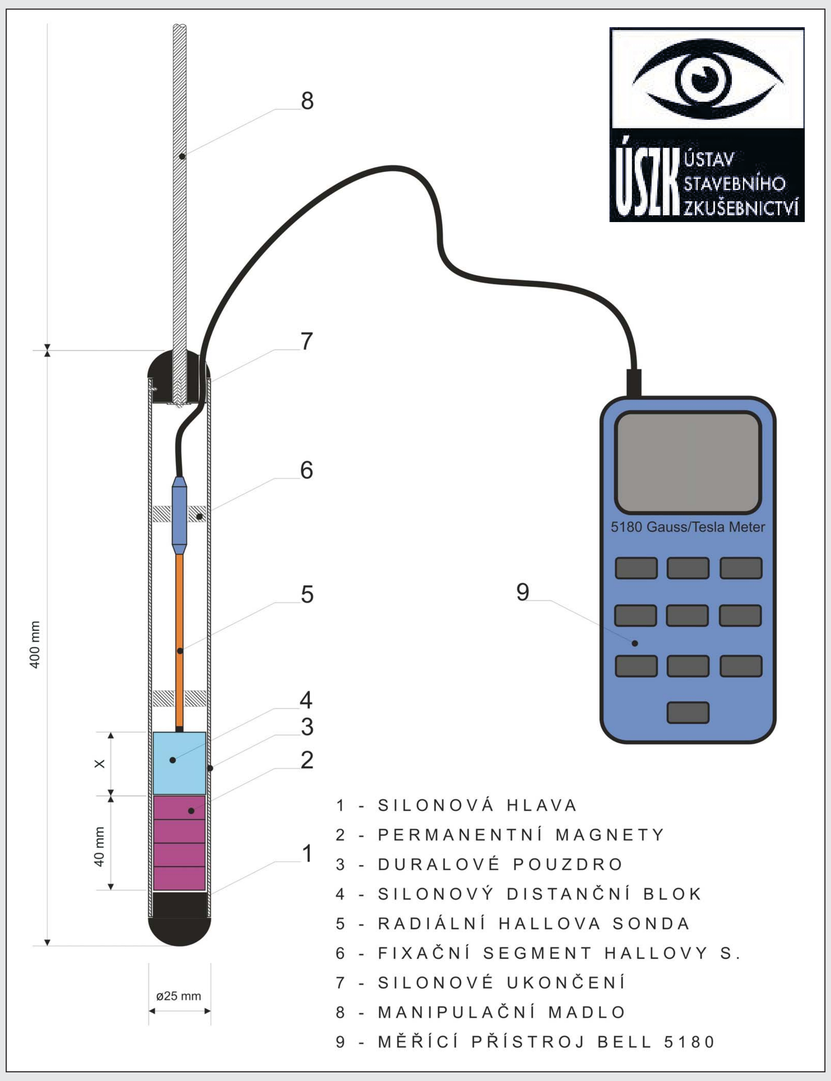
Cílem měření bylo nalézt optimální množství permanentních magnetů a optimální vzdálenost Hallovy sondy od povrchu magnetů. Při měření Hallovou sondou se prokázalo, že se vzrůstající vzdáleností Hallovy sondy od povrchu magnetů sice roste citlivost přístroje, klesá však intenzita magnetického pole měřená Gauss/Teslametrem.

Jako nejvýhodnější se jevila vzdálenost 50 mm až 60 mm Hallovy sondy od povrchu magnetů. Kontrolní měření, provedená na 4 vzorcích - krychlích s vyvrtaným otvorem, ukázala velmi dobrou korelaci (obr. 5) mezi úbytkem intenzity magnetického pole a rostoucí koncentrací drátků ve vzorcích.



Obr. 5: Korelace mezi úbytkem intenzity magnetického pole a rostoucí koncentrací drátků ve vzorcích.

Pro ověření uvedených úvah byla sestrojena pokusná sonda (nazvaná PeMaSo), která byla tvořena hliníkovou trubkou vnějšího průměru 25 mm, do které mohly být umisťovány válečkové permanentní magnety Ø 22 mm. Ve volitelné vzdálenosti v ose válečků byla umístěna Hallova sonda, měřící magnetické pole uvnitř sondy (hliníkové trubice). Vzdálenost Hallovy sondy od povrchu magnetů byla nastavitelná (obr. 6).



Obr. 6: Schéma s popisem magnetické sondy PeMaSo.

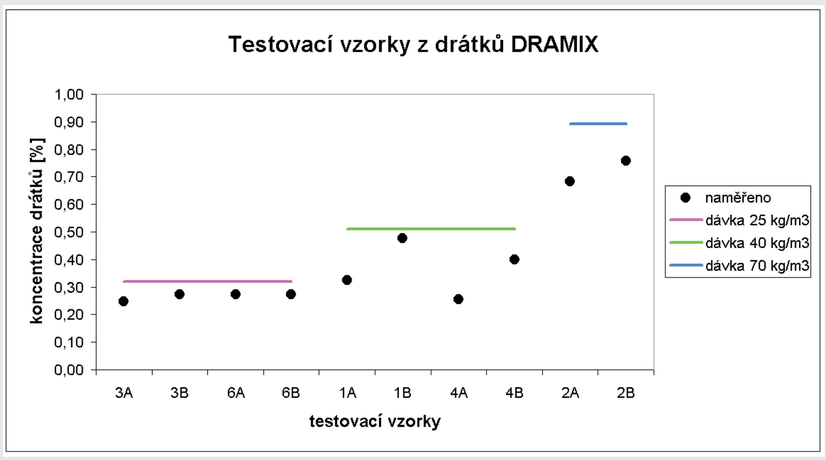
Ověření magnetické metody na testovacích vzorcích

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 tak, že byla vyhodnocena měření uprostřed sondy po krocích 10 mm. Další měření již by byla částečně ovlivněna „okrajovým efektem“.

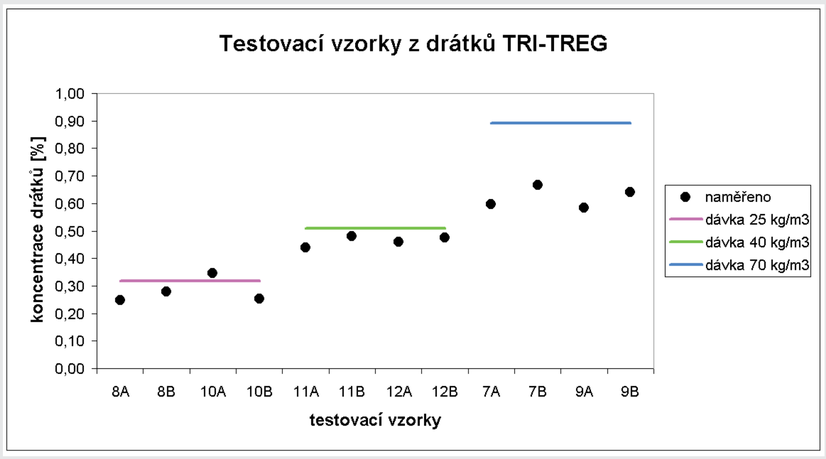
Výsledky srovnávacích měření

Naměřené výsledky z „testovacích vzorků“ byly vyhodnoceny z kalibračních vztahů (obr. 5), získaných na „kalibračních vzorcích“. Po „odtajnění“ hodnot koncentrace drátků v drátkobetonu byly výsledky vyneseny do dvou grafů obr. 7 a obr. 8. Graf obr. 7 je vynesen 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 vynesen i graf obr. 8, kde ovšem výztuž tvoří drátky Tri-treg.

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, přičemž naměřené hodnoty zůstávají „pod hodnotami“, které jsou uváděny 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.



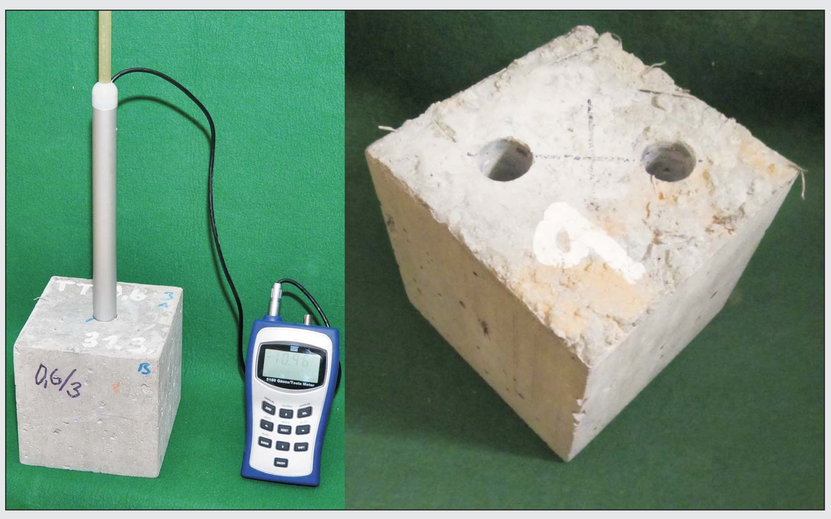
Obr. 7: Graf výsledků měření vzorků z drátků DRAMIX



Obr. 8: Graf výsledků měření vzorků z drátků TRI-TREG

Závěr

Z hlediska rychlého a operativního vyhodnocování koncentrace drátků v drátkobetonových konstrukcích byl další výzkum zaměřen na magnetické a elektromagnetické metody. Většina z odzkoušených metod prokázala pozitivní výsledky, metody však byly zatíženy i určitými omezeními, vyplývajícími z fyzikální podstaty měření. Jako velmi perspektivní se ukázala metoda, založená na měření deformace magnetického pole permanentních magnetů v „hloubkové sondě“, která se umisťuje do předvrtaných mikrovývrtů v drátkobetonové konstrukci [2]. Matematické a výpočetní aspekty tohoto přístupu byly nedávno publikovány v [3].



Obr. 9: Ukázka měření vzorku a vzorek opatřený vývrty

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 propertied of metal fiber composites. American Institute of Physics: ICNAAM Proceedings (10th International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics in Kos, Greece), to appear.*

Autoři

Prof. Ing. Leonard Hobst, Csc.
Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební
Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, Brno
hobst.l@fce.vutbr.cz

Prof. Ing. Jiří Vala, Csc.
Ústav matematiky a deskriptivní geometrie, Fakulta stavební
Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, Brno
vala.j@fce.vutbr.cz

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební
Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, Brno
anton.o@fce.vutbr.cz

Ing. et Ing. Petr Bílek
Ústav soudního inženýrství, Fakulta stavební
Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, Brno
petr.bilek@usi.vutbr.cz

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu **GAČR 103/09/H085 a FAST/ÚSI-S-12-1.**