

Prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.
Metrostav a.s.
Koželužská 2450/4
180 00 Praha 8

Posudek doktorské dizertační práce

**Experimentální a numerická analýza reologických procesů v průběhu zrání betonu,
kterou předložil**

Ing. Lukáš Zvolánek

Aktuálnost tématu

Rozvoj technologie betonu v posledních letech poskytuje vysokou variabilitu používaných betonů. Přispívá tomu řada nových přísad a příměsí, větší výběr cementů a též používání různých vláken. Modifikované betony se chovají odlišně, a je nutné se touto problematikou zabývat, aby bylo možné vlastnosti použitého betonu uvážit při návrhu konstrukcí. V předložené dizertační práci se zkoumá vliv protismršťovacích a expanzivních přísad na chování mikrobetonů a betonů a dále vliv nekovových vláken na vývoj smršťování betonů a dále na citlivost betonů na vznik trhlin. Proto lze práci považovat za vysoce aktuální.

Splnění cílů dizertační práce

Cíle práce jsou definovány v kapitole 3. Hlavním cílem bylo stanovení metodiky k experimentální analýze citlivosti betonu na vznik trhlin v důsledku objemových změn. Dílčí cíle obsahují popis jednotlivých experimentálních metod vedoucích ke splnění hlavního cíle a dále upřesnění vybraných numerických modelů na základě zkušeností z vlastních experimentálních programů. Lze konstatovat, že všechny cíle byly v dizertační práci splněny.

Postupy řešení a konkrétní přínosy doktoranda

Úvodní kapitoly 1 a 2 popisují objemové změny betonu zejména jeho smršťování a dva dnes nejčastěji používané numerické modely, model dle EC2 a model B4. Těžiště práce je ve vlastní experimentální činnosti (kap. 4 a 5). Nejprve byly zkoumány mikrobetony, kde se sledovaly rozdíly v chování mezi referenčním betonem, betonem s protismršťovací přísadou a betonem s protismršťovací a současně expanzivní přísadou. Metodika výzkumné činnosti spočívá v provedení tzv. komplexního experimentu, který zahrnuje měření volného a vázaného smršťování, měření pevnosti v tlaku, tahu za ohybu a pevnosti v příčném tahu a v neposlední řadě měření statického a dynamického modulu pružnosti. Naměřené údaje poskytují dobrý základ pro stanovení odolnosti pro zjištění odolnosti proti vzniku trhlin. Výsledky na mikrobetonech prokázaly, jak protismršťovací, popř. expanzivní přísady ovlivňují mechanické vlastnosti a citlivost na vznik trhlin.

V další kapitole se zkoumaly již reálné betony. Experimentální program zahrnoval referenční beton bez speciálních přísad a bez vláken, dále se zkoumaly betony s protismršťovací a expanzivní přísadou a betony s různým obsahem vláken Forta Ferro a karbonových vláken. Poslední série obsahovala referenční beton a beton s protismršťovací a expanzivní přísadou, kde byla současně přimíchána vlákna Forta Ferro.

V práci jsou podrobně vyhodnoceny výsledky jednotlivých experimentů, včetně porovnání s výsledky numerických modelů. Dále je na základě numerické analýzy výsledků vyhodnocen parametr „kritický stupeň omezení deformace“, který definuje citlivost betonu na vznik trhlin.

Největší přínosy dizertanta lze vidět v rozsáhlém experimentálním programu a ve vyhodnocení vlivu protismršťovací a expanzivní přísady a vlivu vláken na citlivost betonu na vznik trhlin.

Význam pro praxi a rozvoj oboru

Množství přísad a vláken na trhu je velké a informace jejich výrobců jsou často ne zcela přesné. Komplexní posouzení vlivu speciálních přísad a vláken na působení betonu je tedy jednoznačným přínosem předložené práce. Přínosem je nejen zjištění jejich vlivu na smršťování betonu, ale komplexní přístup zahrnující i jejich vliv na pevnosti v tlaku a v tahu a na moduly pružnosti. Definice kritického omezení deformace je též novým parametrem, který může být pro citlivost betonu na vznik trhlin používán. Práce má proto bezesporu význam jak pro rozvoj vědního oboru technologie betonu, tak i pro praktické využití.

Formální úprava a jazyková úroveň

Po formální stránce je předložená dizertační práce zpracována pečlivě, přehledně s jasně popsány obrázky a přílohami. I jazyk je srozumitelný a překlepů je minimum.

Podrobně popsaná složení betonu jsou v kontrastu s popisem použitých vláken. U vláken PP vláken je popsána délka, avšak zcela chybí popis mechanických vlastností (pevnost, modul, atd.) a u uhlíkových vláken není popis žádný. Přitom vlastnosti vláken jsou podstatné pro jejich funkci v betonu.

Poznámky k předložené práci a doplňující dotazy

Práce se zabývá vlivem smršťování na vznik trhlin v betonových vzorcích. V reálné konstrukci má vliv na vznik trhlin v počáteční fázi zejména rozdělení teplot od hydratačního tepla po průřezu konstrukce. To se v práci neuvažuje patrně proto, že se pracuje s malými vzorky. S tím souvisí i numerické modelování. V práci se používají modely, které jsou upraveny pro chování celých průřezů, nikoliv jednotlivých bodů v průřezích. Výsledkem jsou vztahy spíše mezi normálovou silou a posunutím, než vztahy mezi napětím a poměrnou deformací. Jinými slovy modely neuvažují vlastní pnutí po průřezu, která mohou být právě pro vznik trhlin rozhodující. Vzhledem k velikosti vzorků, asi nebudou vlastní pnutí příliš významná, avšak při extrapolaci dosažených výsledků na reálné konstrukce je třeba tyto skutečnosti vzít v úvahu. Další významný prvek ovlivňující stupeň omezení deformace je konstrukční upořádání prvku. Autor si je této skutečnosti vědom, jak konstatuje v závěru práce. Je zřejmé, že rozšíření práce i na tyto faktory by vedlo k jejímu velmi nepřiměřenému rozsahu.

Obecná poznámka k dotvarování betonu v tahu. Běžně se předpokládá, že dotvarování v tahu je stejné jako v tlaku, protože není dostatek naměřených údajů. Někteří autoři poukazují na silnou interakci poškozování betonu tahem (vznik mikrotrhlin), spíše než dotvarování v tahu. Není vůbec jasné, jaký je mechanismus působení, proto užívaný předpoklad je asi jediné možné řešení (viz str. 23).

Přepočet pevnosti v tahu za ohybu, resp. pevnosti v příčném tahu, na pevnost v přímém tahu je velmi diskutabilní. Je závislý na velikosti zkoušených prvků a dále křivka na obr. 4.17 je převzata ze zdroje, kde se jednalo o vysokopevnostní betony. Nejistota ve stanovení pevnosti v přímém tahu může být i jedním ze zdrojů neshody při numerickém modelování (obr. 4.33 nebo 4.39).

Jak se vysvětlí lokální pokles tahové pevnosti v čase – obr. 4.28 a 4.35 ve stáří betonu cca 3 dny?

Měření smršťování. Naše zkušenosti ukazují, že vždy i u běžných betonů naměříme nabývání v první fázi po zabetonování. Pak nastane smršťování. V předložené práci je toto nabývání způsobeno

protismršťovací, popř. expanzivní přísadou. Bylo něco takového pozorováno, i pokud nebyly přísady použity? Kolik hodin po zabetonování začalo měření volného smršťování?

Vláknobeton. Předpoklad pravidelného rozmístění vláken není platný (str. 87). Zkoušky ukazují, že vlákna se při betonáži sklápějí a projevuje se vliv bednění u malých vzorků. To je správně konstatováno i na str. 104 – 105

Pro omezení počátečních trhlin se používají menší PP nebo PE vlákna s obsahem cca do 2 kg/m³. Máte nějaké podobné výsledky s těmito vlákny?

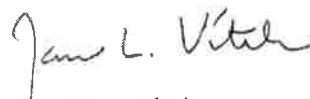
Nejlepší výsledky s ohledem na odolnost proti vzniku trhlin byly dosaženy na betonu C-fiber. Není to též důsledkem toho, že byl použit CEM II místo CEM I, jako ve většině ostatních receptur?

Závěr

Předložená dizertační práce se zabývá vysoce aktuální problematikou, obsahuje originální výsledky experimentálních programů a představuje komplexní metodiku zkoušení vzorků s ohledem na stanovení citlivosti na vznik trhlin v betonu. Přestože rozsah a složitost problematiky neumožňuje její komplexní vyřešení v rámci jedné dizertační práce, doktorand přispěl významnou měrou k dosažení tohoto cíle. Doktorand prokázal schopnost provádět samostatný výzkum, analyzovat získané výsledky a formulovat správné závěry. Doporučuji proto, aby mu byl po úspěšné obhajobě udělen titul

Doktor „Ph.D.“

V Praze, 26. 5. 2017



Jan L. Vítek