



POUŽITÍ AKUSTICKÉ EMISE PŘI POZOROVÁNÍ VÝVOJE MIKROTRHLIN BĚHEM TUHNUTÍ A ZRÁNÍ BETONOVÝCH SMĚSÍ

Libor Topolář, Luboš Pazdera

Vysoké učení technické v Brně, Ústav fyziky

ABSTRAKT: *Mikrotrhliny vznikají díky objemovým změnám betonu a pro jejich vznik je podstatná také intenzita vývoje teploty a způsob ošetřování betonu. Kvantifikace mikrotrhlin ovšem není jednoduchá. Pomocí akustické emise je možné sledovat, kdy trhliny v tvrdnoucím betonu vznikají, kolik jich vzniká a jak se intenzita jejich vzniku mění při různých režimech ošetřování nebo v různých betonech (s různou dávkou cementu, různými přísadami a příměsemi, apod.).*

KLÍČOVÁ SLOVA: *mikrotrhlina, akustická emise, hydratace betonu, tuhnutí betonu*

ÚVOD

Na vlastnosti betonu, zejména na jeho trvanlivost, mají zásadní vliv mikrotrhliny. K jejich vzniku dochází již během tuhnutí a tvrdnutí betonu. Mikrotrhliny se ovšem vyvíjejí ve zrajícím betonu i v dalším období. Vznikají díky objemovým změnám betonu a pro jejich vznik je podstatná také intenzita vývoje teploty a způsob ošetřování betonu.

Kvantifikace mikrotrhlin ovšem není snadná. Zde se mohou uplatnit nedestruktivní metody, například metoda akustická emise. S jejíž pomocí je možné sledovat, kdy trhliny v tvrdnoucím betonu vznikají, kolik jich vzniká a jak se intenzita jejich vzniku mění při různých režimech ošetřování.

Tento příspěvek je zaměřen na popis základních tendencí – kdy vznikají mikrotrhliny, jak se intenzita jejich vzniku mění při uložení betonu volně na vzduchu nebo při obalení trámů fólií (bez výměny vody s okolím) a jaký vliv má obalení vzorku na změny teploty uvnitř vzorku.

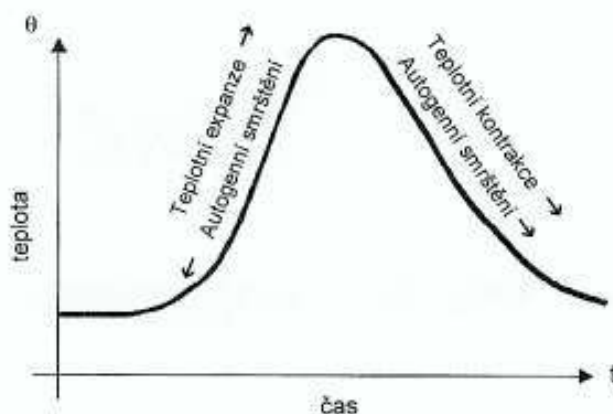
VZNIK MIKROTRHLIN V BETONU

Pokud pro znázornění zrání betonu použijeme graf vývoje teploty vlivem hydratačního tepla cementu, získáme průběh podobný jako na obrázku 1 [1,2]. Po mrtvé době, kdy nedochází ke zvýšení teploty, nastává počátek tuhnutí, který se projevuje zvýšením teploty betonu. Nastává růst teploty, počátek tuhnutí a intenzivní hydratace. Během tohoto stadia získává beton mechanické vlastnosti, zejména pevnost, ale probíhají také objemové změny.

Při zvyšování teploty dochází k objemové teplotní expanzi dosud víceméně plastického materiálu. Díky hydrataci, při které klesá absolutní objem reagujících složek, však

zároveň dochází ke smrštění. Obě uvedené objemové změny působí proti sobě a předpokládá se, že toto období není z hlediska vzniku mikrotrhlin tak nebezpečné, jako období bezprostředně následující. Beton díky intenzivní hydrataci dosáhl určité pevnosti a také teploty, hydratační reakce se zpomalují a beton začíná chladnout. V tomto období se beton smršťuje z dvojího důvodu: klesá jeho teplota a hydratace, i když pomaleji, ovšem stále intenzivně, pokračuje. Toto období je pokládáno za kritické z hlediska vzniku mikrotrhlin. Situaci lze zlepšit různým způsobem. Nejdůležitější je vhodné ošetřování.

Kvantifikace vznikajících mikrotrhlin není snadná. Metody založené na jejich mikroskopickém zobrazení vyžadují úpravu vzorku a nejsou tedy příliš objektivní. Nabízejí se nedestruktivní metody. Jednou z nich je i metoda akustické emise. [5]



Obrázek 1: Objemové změny během indukční doby [1]

AKUSTICKÁ EMISE

Událost akustické emise je emitována nevratnými dislokačními a degradačními procesy v mikrostruktuře a makrostruktuře materiálu. Uvolněná energie se transformuje na mechanický napěťový impuls šířící se materiálem jako elastická napěťová podélná nebo příčná vlna. Jakmile vlna dopadne na povrch materiálu, částečně se odrazí a částečně dochází k její transformaci na jeden nebo více módů a vlna se šíří převážně Rayleighovou, tj. povrchovou vlnou. Kromě povrchové vlny dochází také k transformaci např. na Lambovy, tj. deskové vlny. Každá z těchto vln se šíří různou rychlostí. Elektrický signál detekovaný na snímači akustické emise se označuje jako signál akustické emise.

Výhodou akustické emise oproti jiným defektoskopickým metodám je kontinuální monitorování objektu a úspora času v porovnání s postupným testováním jinými metodami. Nevýhodou této metody je, že příčinu vzniku akustické vlny přesně neznáme, neboť uvolněná energie je ovlivňována řadou faktorů jako je tvar a povrch tělesa, přenosová cesta vlny (funkce šíření akustické vlny) daná strukturou a homogenitou materiálu, aj. [4]

Měřené parametry akustické emise

Závislost N (počet překmitů) na čase nám udává kolikrát signál akustické emise překročil danou prahovou hodnotu během měřeného intervalu. Kumulativní křivka (v grafech označení N_c) nám pak dává celkový přehled o počtu překmitů akustické emise ve vzorku či dané struktuře.

Amplituda (v grafech označení A) odpovídá maximálnímu elektrickému napětí, které dosáhly události akustické emise na snímači. Amplituda je velmi důležitý parametr, protože nám ukazuje detekovatelné události akustické emise (odhalení události závisí na rozkmitu, které překoná prahovou hodnotu).

Události s amplitudami 40 - 55dB jsou považované za středně velké.

Události s amplitudami 55 - 75dB jsou považované za velké.

Události s amplitudami > 75dB jsou považované za velmi velké.

MĚŘENÍ AKUSTICKÉ EMISE A TEPLOTY UVNITŘ VZORKU

Běžná zařízení pro sledování akustické emise se skládají z piezoelektrických snímačů, které obvykle pracují v oblasti od 20 kHz do cca 2 MHz, tedy v oblasti ultrazvuku. Tyto měniče snímají chování povrchové vlny a převádějí je na elektrický signál, který je vhodnými zesilovači a filtry upraven tak, aby přinášel informace o dějích, které probíhají v zatěženém materiálu.

Měření spočívá v kontinuálním akustickém monitorování betonového vzorku v průběhu tuhnutí. Začátek měření akustické emise byl ve chvíli, kdy bylo možno připevnit snímače na povrch vzorku, tj. cca 6 hodin po odlití.



Obrázek 2: Fotografie měřených vzorků

Měření teploty probíhalo pomocí odporových čidel. Použitá odporová čidla teploty jsou termistory a jsou charakterizovány hodnotou odporu při 25 °C. Termistory jsou nelineární polovodičové snímače s velkým teplotním součinitelem odporu α . NTC – termistory (Negative Temperature Coefficient) mají α negativní, tj. jejich odpor s teplotou klesá.

Měření probíhalo současně na dvou vzorcích. Tři čidla měřila teplotu uvnitř jednoho vzorku, tři uvnitř druhého vzorku a dvě čidla měřila referenční teplotu v laboratoři. Teplotní čidla byla připojena k měřicímu modulu, který je spojen s přenosným počítačem s patřičným softwarovým vybavením, které umožňuje odečítat hodnoty odporu resp. teploty v reálném čase. Umístění vzorků a čidel je zřejmé z Obrázku 2.

Vlastní měření teploty bylo průběžné nejprve v 6 minutových později ve 20 minutových intervalech. Měření teploty začínalo několik málo minut po odlití vzorku. Zpočátku byla teplota měřena častěji, neboť se předpokládala její častá změna. Čidla byla nenávratně zalita do struktury tuhnoucí betonové směsi.

SLOŽENÍ SMĚSÍ A PRŮBĚH EXPERIMENTU

Pro zkoušky byla zvolena betonová směs jejíž složení udává Tabulka 1. Stejná betonová směs byla zvolena z důvodu možného porovnání změn chování u obaleného a neobaleného trámečku.

Pro měření průběhu teploty a AE-signalů byly zhotoveny hranoly 100x100x400 mm. Zatímco teplota byla měřena již od začátku, akustická emise až ve chvíli, kdy beton poněkud zatvrdnul, kdy bylo možno připevnit snímače. Vzorky byly měřeny při dvou způsobech uložení – volně zrající na vzduchu a obalené fólií, aby se zabránilo výměně vody s okolím.

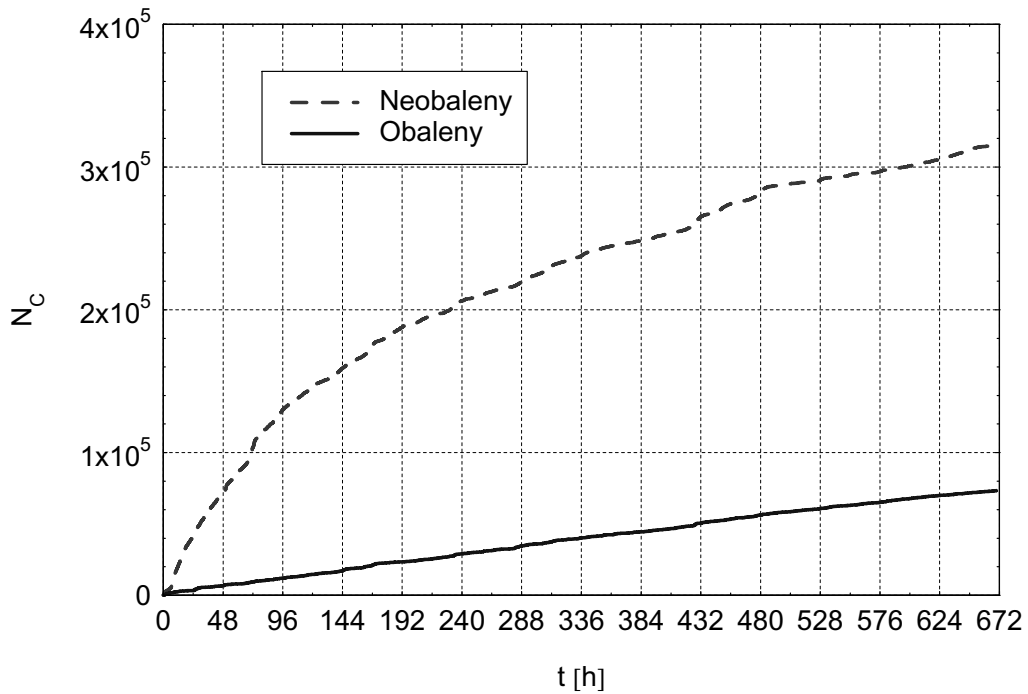
Tabulka 1: Složení měřené betonové směsi na 1m³

Složka	Hmotnost [kg]
CEM I 52,5 N	330
Plastifikátor	2,7
Voda	110
Písek 0/4 mm	720
Drť 8/16 mm	1310

NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

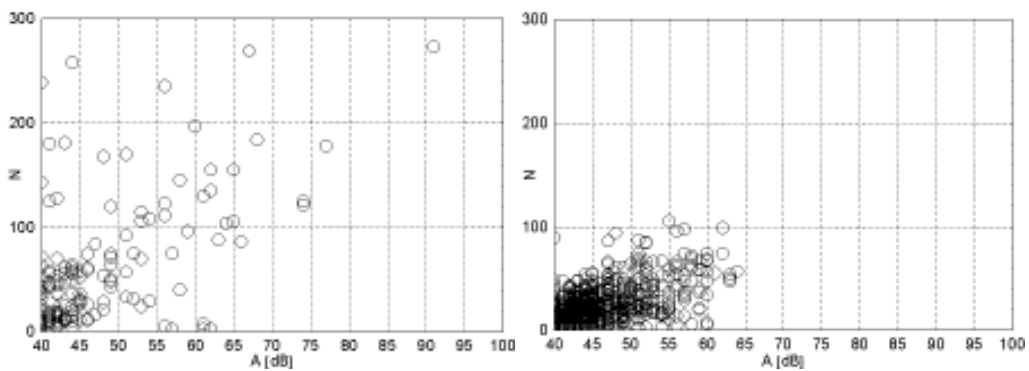
Z grafu na Obrázku 3 je patrné, že větší aktivitu počtu událostí akustické emise vykazuje vzorek, který tvrdnul volně na vzduchu. Předpokládáme, že menší aktivita akustické emise nám ukazuje i menší počet trhlin ve vzorku.

Na grafech na Obrázku 4 je vidět, že obalená směs má sice menší počet událostí akustické emise, ale oproti neobalenému vzorku jsou tyto amplitudy podstatně větší. Lze tedy usuzovat menší počet trhlin, které jsou větší u vzorku obaleného. Vzorek neobalený má více menších trhlin.

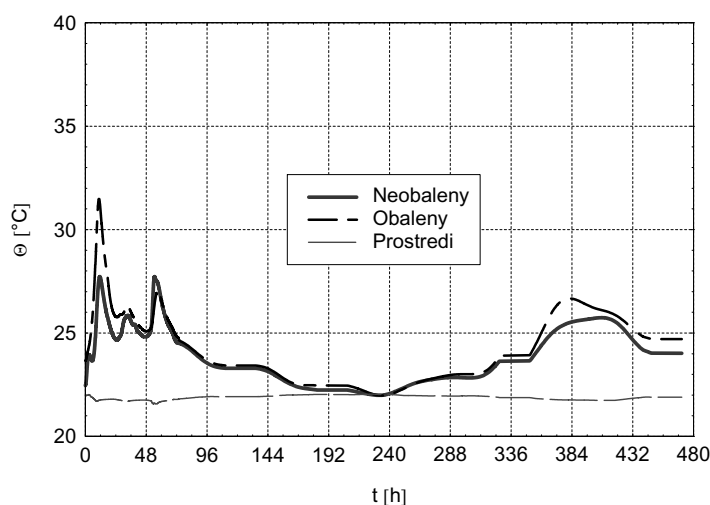


Obrázek 3: Srovnání závislosti kumulativní četnosti akustické emise N_C na čase t

Z grafu na Obrázku 5 je vidět počáteční vyšší teplota u obaleného vzorku a i vyšší teplota po indukční periodě. Z tohoto grafu je vidět, že šlo o stejnou směs, protože průběhy teplot se vzájemně kopírují.



Obrázek 4: Srovnání závislosti počtu událostí na amplitudě (levý graf obalený, pravý graf neobalený)



Obrázek 5: Srovnání teplot uvnitř vzorků

ZÁVĚR

Naměřené výsledky dokladují vhodnost aplikace akustické emise pro posouzení tendence betonu k vývoji mikrotrhlin. Akustická emise spolu se současným měřením teploty tedy může být velmi užitečným nástrojem pro posouzení náchylnosti betonu ke vzniku mikrotrhlin nebo k smysluplné volbě režimu ošetřování betonu.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl na Ústavu fyziky, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně za podpory GACR 103/05/H044 – Stimulace vědeckého rozvoje doktorandů na oboru stavebně materiálové inženýrství.

Chtěl bych také poděkovat Vlastimilu Bílkovi za přípravu betonových směsí a odborné konzultace.

LITERATURA

- [1] Morin, R., Haddad, G., Aïtcin, P.-C.: Crack-Free High-Performance Concrete structures, *Concrete International*, Vol.24, No.9, (Sept 2002), pp.43-48
- [2] Aïtcin, P.-C.: Vysokohodnotný beton, ČKAIT edice Betonové stavitelství, Praha 2005, ISBN 80-86769-39-9
- [3] Van Den Abeelie, K., Desadeleer, W., De Schutter, G., Wevers, M.: Non-destructive online evaluation of concrete hardening using acoustic emission and harmonic wave spectroscopy, *ECNDT 2006 – Th.4.6.4*, pp.1 – 9
- [4] Bílek, V.; Pazdera, L.; Topolář, L.: *Studium vývoje mikrotrhlin během tuhnutí a zrání betonu prostřednictvím akustické emise*, in: in: 6. konference Technologie betonu, Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí, 11. 4. 2007, ed. by Pardubice: CBS, s. 72-76, ISBN: 978-80-903807-4-5