

## ZMĚNY VNITŘNÍCH TEPLŮT V BETONU PŘI NAMÁHÁNÍ OHYBEM

Vladimír Weiss, František Draxler, Zbyněk Madej, Marcela Vítová, Stavební fakulta ČVUT Praha

**Résumé:** Jsou podány výsledky zkoušky v prostém ohybu betonového tráčku se zabudovanými termistorovými čidly. Podalo se zajistit citlivost měření teplotních změn na 0,1 až 0,2 milistupně K. Teplotní změny při lomovém procesu byly srovnatelné se změnami naměřenými dříve při tlakovém porušení. Lomová energie kompozit typu beton tedy není příliš ovlivněna způsobem namáhání.

V návaznosti na předchozí výzkum chování betonu při krátkodobém zatěžování prostým nebo tříosým tlakem, kdy byly vyšetřovány energetické procesy vysoce citlivým měřením vnitřních teplotních změn, poměrných deformací a případně i vyhodnocení signálů akustické emise /WEISS et CZARNECKI 1986, WEISS et al. 1987 a příspěvky na dalších konferencích EAH/, byl vyzkoušen ještě betonový tráček se zabetonovanými termistorovými čidly namáhaný prostým ohybem.

Zkušební těleso i metodika měření byly stejné nebo obdobné jako při dřívějších zkouškách v prostém tlaku. Použitý beton měl kvalitu B 50 /MPa/, kamenivo mělo zrnitost do 16 mm, stáří betonu v čase zkoušky činilo 7 roků. K měření vnitřních teplotních změn bylo použito zabetonovaných termistorových čidel vlastní výroby, v nichž do epoxidové pryskyřice byly zalaty perličkové termistory Pramet řady NR 09 chráněné skleněnou kapkou  $\varnothing$  1,2 mm. Tato čidla byla zapojena do Wheatstoneových můstků vlastní výroby s přesnými vyvažovacími 20 otáčkovými potenciometry Arifpot a registrace měřených hodnot se prováděla na liniových zapisovačích Laboratorní přístroje TZ 4200. Citlivost při nastavení 10 mV na plný rozsah /250 mm/ činila přibližně 0,1 stupně K, takže bylo možno vyhodnotit teplotní změny řádu 0,0001 až 0,0002 °K. Stálost výchozího čtení v průběhu

měření trvajících několik minut byla velmi dobrá. Poměrné deformace byly měřeny odporovými tensometry Mikrotechna H 350, zapojenými do výchylkových můstků Iemi H 2301 s výstupem na liniový zapisovač Riken-Denshi D 72, zatěžovací síla zjišťovaná potenciometrem zabudovaným do zkušebního stroje WPM 3000 kN byla registrována pomocí liniového zapisovače Goerz 544.

Schema zkoušky, tj. způsob zatěžování a rozmístění jednotlivých čidel i tensometrů, podává obr. 1. Na dalších obrázcích jsou po zpracování vyneseny výsledky provedených měření. Obr. 2 ukazuje pracovní diagramy betonu, tj. závislosti mezi krajními napětími na taženém a tlakém lici a naměřenými poměrnými deformacemi, přičemž napětí jsou vyčíslována z momentu vyvozovaného zatěžovací silou  $F$  podle technické teorie pružnosti. Obr. 3 představuje časový průběh vnitřních teplotních změn v místech jednotlivých termistorových čidel během zkoušky, obr. 4 pak závislost zaznamenaných teplotních změn na zatěžovací síle.

Z pracovních diagramů na obr. 2, získaných při postupném zatěžování, jsou dobře patrné značné nepružné deformace betonu v tažené zóně od rozvoje strukturálních trhlin, v souladu s dřívějšími výzkumy /KOCIAN et WEISS 1982/. Při podrobnějším vyhodnocení výsledků opakovaného zatěžování na nejnižší zatěžovací stupeň /prováděného na počátku kvůli kontrole funkce zkušební soustavy - pro omezený rozsah příspěvku není zde doloženo/ bylo též konstatováno známé "pokládání" pracovních diagramů směrem k ose poměrných deformací.

Na dalších dvou obrázcích, ukazujících teplotní změny uvnitř tráčku, jsou předně vidět malé monotonní změny až do porušení /zejména na obr. 4 při velkém zvětšení/, které mohly být způsobeny dissipací mechanické energie při opakovaném zatěžování, určitými změnami vnější teploty prostředí /na rozdíl od předchozích zkoušek za prostého tlaku byla nyníjší ohybová zkouška po přestěhování zkušebního stroje konána v hale s ústředním topením/, popřípadě snad i ma-

lymi odchylkami od výchozích čtení během doby. V diagramech teplotních změn bohužel i při neobyčejně vysoké citlivosti nejsou pozorovatelné změny působené adiabatickým ochlazením a ohříváním čidla d v důsledku vznikajících a zanikajících tahových napětí během zatěžovacích cyklů. Je to proto, že krajní napětí i krajní deformace byly při ohybovém namáhání zhruba o jeden řád nižší než při namáhání prostým tlakem a mechanické energie z nich plynoucí byly tedy nižší o dva řády, dále pak zmíněné čidlo bylo umístěno v poloviční vzdálenosti mezi taženým lícem a teoretickou neutrálnou osou a příslušné energie byly proto ve srovnání s nejvíce namáhanou oblastí u taženého líce ještě čtyřikrát redukovány. Jestliže adiabatické teplotní změny v případě deformování betonu prostým tlakem činily nejvýše asi  $0,1^{\circ}\text{K}$ , bylo možno očekávat ve vyšetřovaném místě za ohybu změny řádově pouze  $0,0002^{\circ}\text{K}$ , což je již na mezi dosažené citlivosti. Ostatní termistorová čidla byla situována v teoretické neutrálné ose a adiabatické teplotní změny od mechanického namáhání betonu tedy neregistrovala vůbec.

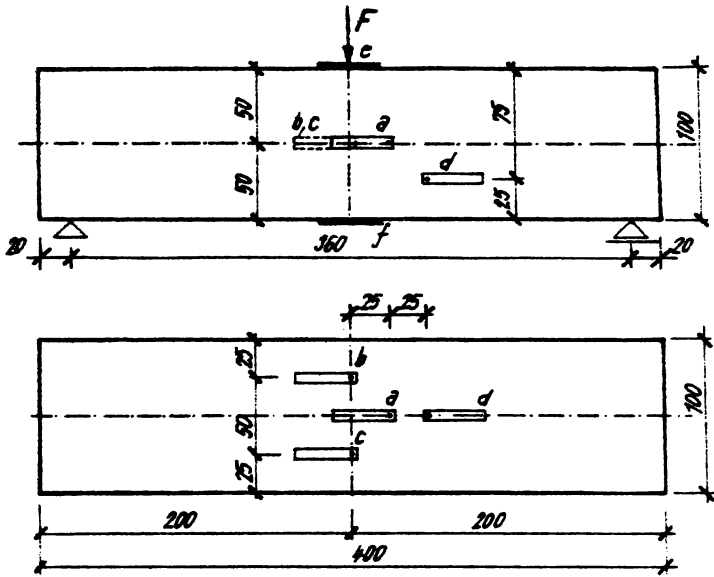
Zajímavé výsledky však přinesly teplotní změny registrované během lomového procesu a ve fázi po něm. V místě čidla g, které leželo přímo u lomové plochy, byl zaznamenán prudký vzrůst teploty způsobený lomovou energií, avšak vzápětí došlo k přerušení přírodních drátků k termistoru a čidlo pak již dále nefungovalo. V místech čidel b a c, jež ležely rovněž v přímé blízkosti lomové plochy, avšak na její opačné straně, se podařilo registrovat teplotní změny během vlastního porušení a pak v další fázi. Jak je na obr. 3 dobře vidět, zaznamenalo čidlo c výrazný adiabatický pokles od velikého protažení v místě porušení, následovaný prudkým vzestupem vlivem lomové energie a pak opět poklesem postupně dozívajícím od šíření této energie do vzdálenějších míst zkušebního tělesa. Obdobná je i závislost získaná v místě čidla b, pouze s tím rozdílem, že ihned po porušení nebyla závislost zaznamenána /bylo nutno přepnutím zmenšit citlivost, neboť záznam se dostal mimo rozsah/. Časová závislost z místa čidla d, které bylo již

od lomové plochy více vzdálené svědčí o postupném přesunu uvolněné lomové energie vzdálenějších oblastí zatím chladnějších.

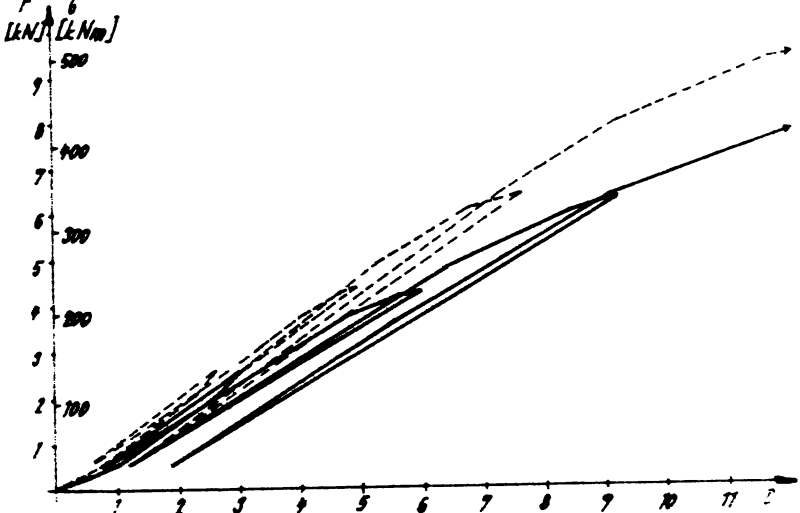
Jak je z obr. 3 zřejmé, činí teplotní změna způsobená uvolněním lomové energie přibližně  $0,15^{\circ}\text{K}$ . Ve srovnání s tím nebyly teplotní změny při porušení betonu prostým tlakem podstatně větší a činily v průměru asi  $0,3^{\circ}\text{K}$ . Především lze proto soudit, že energie potřebná k vytvoření hlavní lomové plochy i doprovázejícího narušení struktury v jejím blízkém okolí je u kompozit typu beton poměrně málo závislá na způsobu, kterým k tomuto porušení dojde. Je ovšem třeba zdůraznit, že v případě namáhání ohybem jde zatím jen o výsledek jediné zkoušky a že by proto bylo třeba uvedený důležitý závěr doložit dalšími experimenty.

Citovaná literatura:

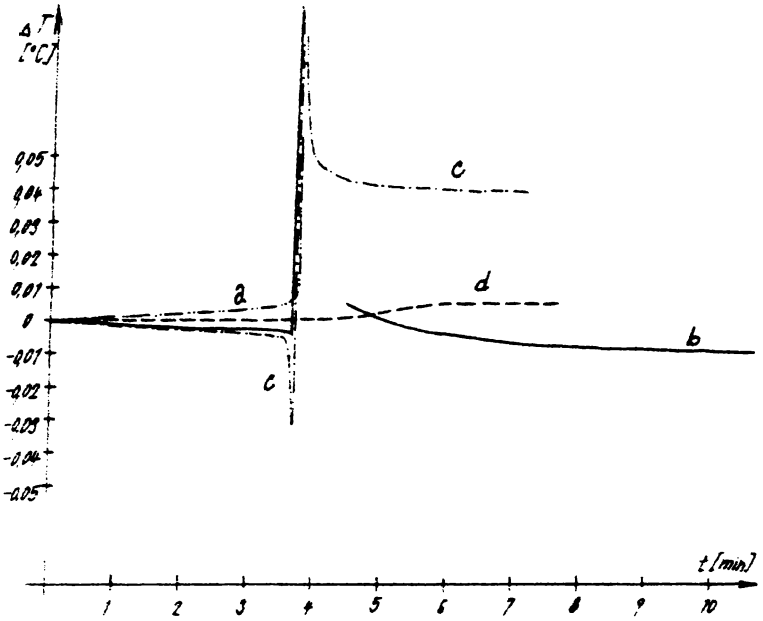
- KOČIAN V., WEISS V.: The use of photoelastic foils for stress and strain investigation of concrete beams /Cement and concrete research, 1982 pp. 497-510/  
WEISS V., CZARNECKI L.: Relationships between crack formation and energy changes in concrete. In: Brittle matrix composites 1, ed. Brandt A.M., Marshall I.H. Elsevier, London, New York 1986, pp. 311-321  
WEISS V., DRAXLER F., VÍTOVÁ M., MADEJ Z., OPITZ H., KLESS R., SCHRÖDER U.: Vztah mezi deformacemi a vnitřními teplotami při víceosém zatěžování betonu. In: Měření statických a dynamických parametrů konstrukcí a materiálů, DT ČSVTS Plzeň 1987, pp. 609-614.



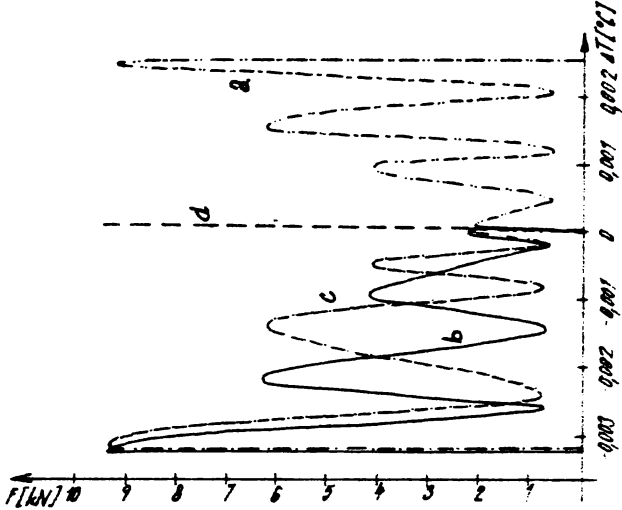
Obr. 1 Schéma zkoušky



Obr. 2 Pracovní diagramy  $\sigma \times \epsilon$  betonu na taženém a tlačném líci trámku



Obr. 3 Časové závislosti změn  $\Delta T$  vnitřních teplot



Obr. 4 Závislosti teplotních změn  $\Delta T$  na zatěžovací síle  $P$ .