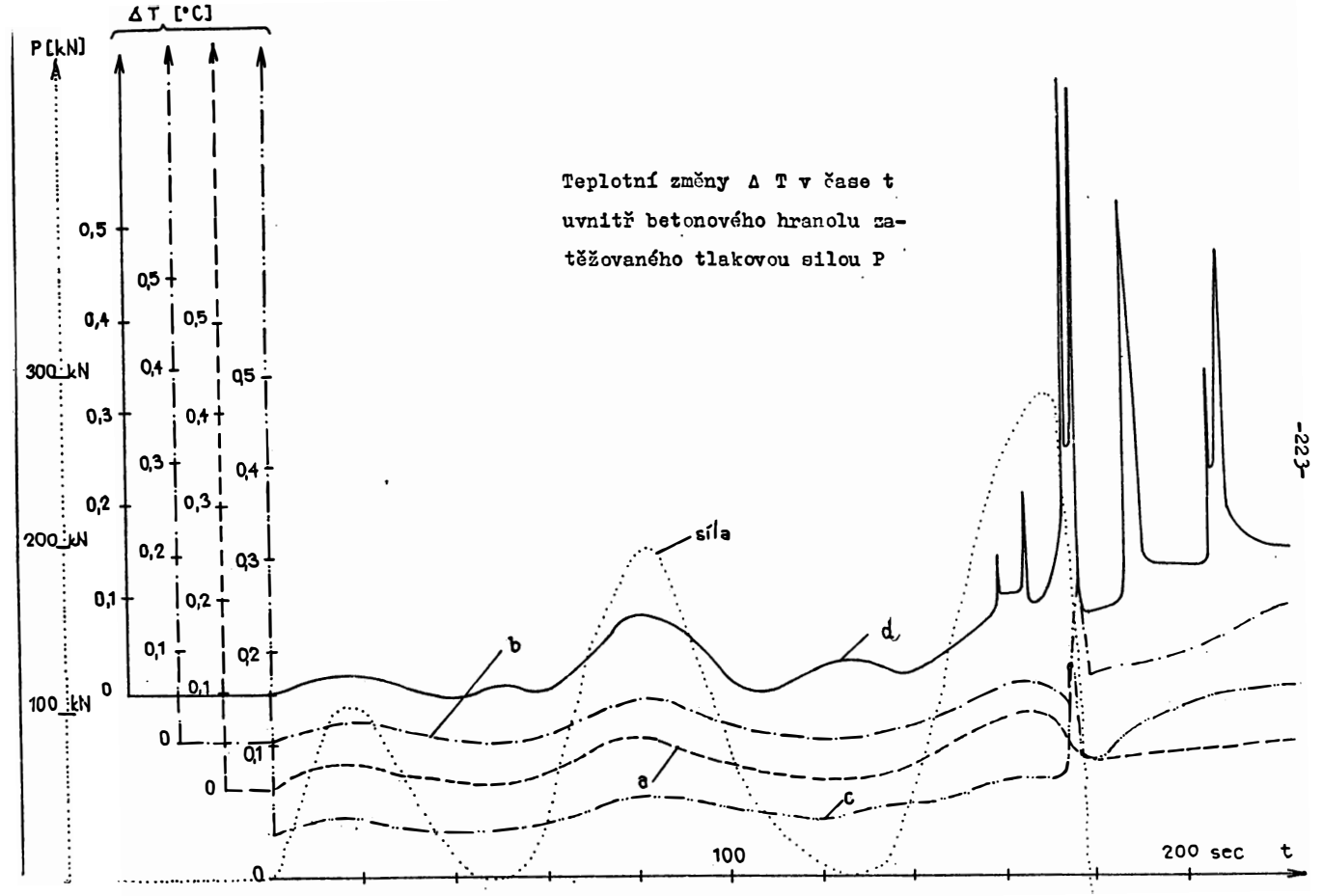
DALŠÍ VÝSLEDKY ZE SLEDOVÁNÍ ENERGETICKÝCH PROCESŮ V BETONU PŘI JEHO ZATĚŽOVÁNÍ

Ing.Vladimír Weiss CSc, RNDr.Zdeněk Weber CSc, Doc.Ing.František Draxler CSc, Zbyněk Madej, Ing.Marcela Vítová

Podrobnější vyhodnocení časových diagramů vnitřních teplotních změn v betonových hranolech zatěžovaných jednoosým tlakem prokázalo výraznou závislost časového průběhu dissipované energie na vzdálenosti termistorového čidla od průběžné trhliny a přineslo též další informace o procesech vedoucích ke vzniku této trhliny. Z registrovaných signálů akustické emise bylo zjištěno, že k přesunu plastické části mechanické energie do struktury betonu dochází jen pomalou rychlostí, určovanou vlastní odezvou materiálu. Při zatěžování betonu trojosým tlakem probíhají energetické změny obdobně, ale jsou asi o polovinu řádu intenzivnější.

Na předešlých konferencích EAN ´83 až ´85 bylo referováno o měření vnitřních teplot při krátkodobém zatěžování betonových těles pomocí speciálních termistorových čidel v můstkovém zapojení, kdy se podařilo dosáhnout citlivosti na milistupně K nebo i vyšší. Současně byly měřeny odporovými tensometry i podélné a příčné deformace a zachycovány signály akustické emise. Vyhodnocením těchto zkoušek byla získána řada nových poznatků o chování betonu při zatěžování prostým tlakem.

V předloženém příspěvku je na připojeném obrázku dokumentován časový průběh vnitřních teplotních změn v porovnání s průběhem zatěžovací síly při třech zatěžovacích cyklech až do porušení tělesa i krátce poté. Z diagramů je jasně patrná závislost průběhu teplotních změn na vzdálenosti čidel od průběžných trhlin, způsobujících porušení tělesa po vyčerpání jeho únosnosti, jak bylo stručně popisováno již v příspěvku předchozím. Diagram a byl naměřen čidlem nalézajícím se daleko od budoucí průběžné trhliny a svědčí o tom, že se v těchto místech až do porušení výrazně uplatňují pouze vratné teplotní změny provázející stlačování a odlehčování betonu. Na diagramu b , získaném čidlem již ve větší blízkosti od této trhliny, je vratný pokles teploty na počátku porušování tělesa vystřídán špičkou (náhlým vzrůstem



Teplotní změny Δ T v čase t uvnitř betonového hranolu zatěžovaného tlakovou silou P

a okamžitě následujícím poklesem) od průchodu lomové energie přeměněné již v teplo. Diagram c , zaregistrovaný ze signálů čidla blízko u zmíněné trhliny, nevykazuje již při porušení tělesa žádný vratný pokles teploty, neboť tento pokles je úplně překryt uvedenou špičkou od průchodu lomové energie. Nejzajímavější je diagram d , představující záznam čidla situovaného náhodou přímo v místě dané budoucí trhliny. Teplotní špičky při vlastním porušení jsou zde velmi výrazné a přesahují hodnotu C,5° K, mimo to před tímto porušením a zejména po něm se objevují další teplotní špičky a při předcházejících dvou odlehčeních dochází k mírnému plynulému nárůstu a poklesu teploty. Popsaný průběh ukazuje, že k porušení betonového tělesa přinejmenším pro namáhání prostým tlakem dochází zákonitě v určité zoně, kde nastávají již dříve značné smykové posuny absorbující větší množství energie, přímo před porušením je jasně patrno intenzivní šíření strukturních trhlinek a po porušení vyčerpávajícím únosnost tělesa pak další navazující porušování celistvosti tělesa od vysokých zbytkových pnutí. Charakter tohoto celého procesu je v souladu s pulzačním způsobem porušování betonových těles za podmínek omezeného přísunu energie (zvlášť markantní jsou dvě zaregistrované teplotní špičky v okamžiku vlastního porušení), kdy energie dodávaná zvnějška nestačí zajistit šíření průběžné trhliny maximální rychlostí a porušování se proto vždy zbrzdí resp. omezí na šíření strukturních trhlinek až do okamžiku doplnění zásoby energie do výše potřebné k nezadržitelnému šíření trhliny průběžné. Třeba ještě poznamenat, že na diagramech teplotních změn je dobře vidět postupné vyrovnání teplotních změn v tělese vyvolaných lomovými procesy, přičemž příslušný nárůst teploty postupuje rychleji v oblastech položených blíže k průběžné trhlině.

Naměřené vnitřní teplotní změny při deformačním a lomovém procesu umožňují při znalosti měrné tepelné kapacity materiálu vypočítat příslušná množství tepla a posoudit tak přímo energetické změny, které se v materiálu během jeho zatěžování odehrávají. Zejména lze tím stanovit množství dissipované energie, neboť při statickém zatěžování jsou dynamické ztráty unikající z tělesa malé, a odečtením od celkové vynaložené energie pak nepřímo vypočítat povrchovou energii a tím i rozsah nově vzniklých lomových ploch, což je úloha v případě materiálů typu beton

jen velmi obtížně řešitelná přímými experimentálními metodami.

Ze signálů akustické emise, zachycených při provedených tlakových zkouškách betonu, byl amplitudovou analyzou kumulativní křivky jasně rozlišen rozvoj trhlinek v soudržnosti (tj. na povrchu štěrkových zrn), tzv. trhlinek maltových a trhlin průběžných, pro něž byla nalezena příslušná tři lokální maxima v okolí amplitud o 10, 20 a 28 dB vyšších oproti šumu pozadí. Výskyt signálů při odlehčování a podstatné snížení hranice Kaiserova efektu při opakovaném zatěžování (již při 15,8 % únosnosti po předchozím zatížení na 28,5 % únosnosti) dále bezpečně prokázaly existenci smykových posuvů ve strukturních trhlinkách během těchto fází. Konečně byl na základě uvedených měření učiněn významný závěr, že obdobně jako při zatěžování horninových vzorků a masivů dochází k dokončení přesunu mechanické energie vyvozované zatěžováním do betonového tělesa (přesněji řečeno k přesunu její "plastické" části) jen pomalou rychlostí, která je právě určována vlastní odezvou materiálu.

Zkouškami betonových krychlí, provedenými při zatěžování trojosým tlakem až do porušení v rámci spolupráce s Technische Universität Dresden s použitím termistorových čidel a vnitřních odporových tensometrů i vnějších deformetrů, byly zjištěny několikanásobně vyšší hodnoty energetických změn než při jednoosém tlaku, i když zatížení v příčných směrech činilo s přihlédnutím ke kapacitě zkušebního stroje pouze 10 % a 20 % zatížení podélného. Byly zaregistrovány ještě dlouho před vyčerpáním únosnosti teplotní změny odpovídající dosti podstatným změnám napjatosti uvnitř struktury betonu. Nicméně charakter teplotních změn při porušování v místech průběžných trhlin byl podobný jako v případě jednoosého tlaku, takže pro další výzkumy může být dané metodiky využito k identifikaci vyčerpání únosnosti i v případech zatížení blízkých hydrostatickému tlaku, kdy sice podle fenomenologických teorií by měla být skutečná pevnost betonu nekonečně veliká, avšak vzhledem k nehomogenní napjatosti struktury a k rozvoji strukturních trhlinek může i za tohoto stavu dojít k porušení celistvosti tělesa resp. k oslabení jeho další odolnosti zvláště v důsledku smykových posuvů mezi některými součástmi struktury a toto porušení resp. oslabení se projeví až po odlehčení tělesa.