

TENSOMETR PRO MĚŘENÍ DEFORMACÍ UVNITŘ BETONOVÝCH TĚLES.

Ing. Jaromír Rosenkranz, Stavební fakulta ČVUT, F r a h a

Při experimentálním vyšetřování stavebních prvků a konstrukcí jsou často kladeny požadavky na měření poměrných deformací uvnitř betonových těles. Na používané tensometry jsou kladeny poměrně tvrdé požadavky. Jednak musí vydržet technologické procesy spojené s výrobou tělesa, jednak musí mít vhodnou odměrnou délku respektující složení betonové směsi.

K volbě odměrné délky tensometrů.

V homogenním materiálu jako je beton, je třeba uvážit velice nerovnoměrné rozložení napětí vznikající na zrnech kameniva a na maltě. Na jejich rozhraní se mohou snadno vyskytovat značné gradienty napětí. Zahraňní práce ukazují, že maximální napětí mohou dosahovat až pětinasobku střední hodnoty. Jestliže použijeme při měření tensometr s malou odměrnou délkou, pak záleží na tom, bude-li tensometr přímo na zrnu nebo na rozhraní zrno-malta nebo v prostředí malty s velmi malými zrny.

Zatím co zkoumání napěťových stavů v mikroměřítku může mít velký význam v základních zkoumáních chování vzniku trhlin a lomů, většinu uživatelů zajímá - při měření napětí na stavebních konstrukcích - obvykle střední hodnota napětí, která je důsledkem deformační změny vyvolané vnější zátěží. Z toho vyplývá, že pro měření napětí uvnitř betonu musíme použít tensometry větší odměrné délky 1, závislé na velikosti zrna kameniva.

Na základě fotoelastometrických měření doporučil v roce 1963 Franz [1] odměrnou délku 1 rovnou tří až pětinasobku velikosti největšího zrna, zatímco jiní, např. Schwederer považovali za nutné volit pěti až desetinásobek největšího průměru zrna. Systematicky byly tyto změny zkoumány Rohrbachem a Müllerem [2] dále Paulem a Liersem [3]. Byly stanoveny závislosti očekávaných

odchylek měřených hodnot na poměru odměrné délky tensometru ku průměru zrna kameniva (rozumí se největší průměr zrna kameniva, který je ověřitelný při výrobě betonu a na hotovém díle). Výsledky citovaných statí se dají shrnout do několika následujících bodů:

- při malých napětích v betonu má poměr l/D podstatný vliv na přesnost měření
- vliv cementových malt o malé pevnosti opadá při stoupajícím zatížení
- při pokusech až do porušení se dají očekávat uspokojivé výsledky i při použití tensometrů s malou odměrnou délkou
- při vysokém zatížení jsou poměrné deformace určeny téměř jen elastickým chováním kameniva

Na základě práce [3] dají se zjištěné údaje o přesnosti vyrovnat křivkou dle vztahu

$$v = \frac{15 + l/D}{1/D}$$

kde je: V ... variační koeficient měřených hodnot (%)
 l ... odměrná délka tensometru (mm)
 D ... největší průměr zrna kameniva (mm)

V uvedeném variačním koeficientu jsou zahrnuty nejistoty o údajích k-faktoru tensometru, vliv nehomogenního napěťového pole a vlivy lepení tensometru.

Ve stísněných prostorových poměrech má uživatel zájem o použití co nejkratšího tensometru. V případě jednoho experimentu s panelem z keramzitového betonu (provedeno v ústředních laboratořích FSv v r. 1988) bylo zjištěno zrno o max. $D = 22$ mm. Odměrná délka l byla zvolena 60 mm: pak vychází $V \approx 6,5$ %. S touto nepřesností je nezbytné počítat zejména při malých poměrných deformacích.

Ke konstrukci a provedení tensometru.

Při měření uvnitř betonu je třeba odporové tensometry co nejpečlivěji chránit proti vlivu vlhkosti a proti mechanickému namáhání při betonáži. Mimo to je třeba volit takové uspořádání, které zaručí přenos deformací do mřížky tensometru.

Pro daný úkol existují tensometry, např. typ DB1 fy. Hottinger. Z cenových důvodů (cena 1 ks 350,- DEM) bylo přistoupeno ke konstrukci vlastního tensometru.

Je známo, že mezi velkými molekulami každé umělé hmoty difundují malé molekuly vody tak, že dříve nebo později dospějí k podložce tensometru, způsobí její bobtnání (v mikroskopickém měřítku) a tím nastane změna údajů. Proto byla jako nosný a separační prvek zvolena měděná folie tloušťky 0,08 mm. Uvedená tloušťka byla volena na doporučení výzk. ústavu materiálu technologie A.S.AKIMOVA (nejmenší možná tloušťka by byla 0,05 mm). Na tuto folii byly lepeny tensometry čs. výroby, lepidlem typu BF 2, při čemž bylo přísně dbáno doporučených technologických postupů. Po nalepení byla v suchém prostředí provedena ochrana tmelem AK 22 fy. Hottinger. Po provedení vývodů a po překrytí další Cu folií stejných rozměrů byl celek zahájen. Volná zůstala pouze strana s vývody, které byly zality tmelem X-60 (Hottinger). Celek tak vytvořil uzavřenou tenkou kapsli, která byla opatřena na kratších stranách kotevními dráty.

Je nezbytné podotknout, že klíčem k úspěchu je pečlivé a důsledné zachování technologického postupu, jehož popis se vymyká z rámce tohoto referátu.

Výsledky.

Tensometry byly zkoušeny ponořením do vody na dobu 1 měsíce. Během zkušební doby se údaj měnil v mezích $\pm 5 \mu\text{V/V}$ (měřeno můstkem Peekel s citlivostí lepší než $1 \mu\text{V/V}$), při čemž naměřené změny korespondovaly s kolísáním teploty vody v níž byly tensometry ponořeny.

Pro experiment ve zkušebně FSv bylo vyrobeno 40 ks

tensometrů, zabetonováno 36 ks, z měření vypadlo hned po betonáži 6 ks, po zatvrdnutí betonu další 1 ks, celkem tedy cca 20 %.

Vzhledem k tomu, že použité tensometry jsou drátkové, čs. výroby, nepokládáme tento výpadek za příliš velký.

Byla měřena též teplotní závislost tensometrů. Do cca 29°C není třeba - při použití kompenzačního tensometru - provádět korekci. Nad 29°C je nezbytné provádět korekci na teplotu. Teplota je měřena termočlánkem zabudovaným do tensometru, korekce je prováděna počtetně, korekční křivku je třeba zjistit experimentálně, neboť u čs. tensometrů nejsou známy potřebné konstanty drátku.

Při stoupající teplotě do cca 80°C byly dosaženy uspokojivé výsledky, avšak při klesání teploty se projevíly podstatné rozdíly proti výpočtům (až 25 %). Domnívám se, že zde hrají podstatnou roli materiály tensometru, zejména podložka a lepidlo jímž je drátek na podložku lepen. Pro objasnění tohoto jevu jsou podnikány další kroky.

Na závěr lze konstatovat, že navržený tensometr lze vyrobit tak, aby vyhovoval betonáži provedené s patřičnými ohledy a aby pokryl potřeby měření poměrných deformací uvnitř betonu při běžných pokojových teplotách.

Použitá literatura:

- [1] Franz: Konstruktionslehre des Stahlbetons
Springer Verlag 1970
- [2] Müller: Handbuch der Modellstatik, 1973
- [3] Lierse K: Dehnungs u. Durchbiegungsmessungen an
Masivbauwerke. I.U. Hannover 1985
(disertační práce)