

VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ NAPĚTÍ V ŽIVIČNÝCH VRSTVÁCH A ZEMINÁCH

Jiří Sýkora, Fakulta stavební ČVUT Praha

1. Úvod.

Měření napětí resp. poměrných deformací v různých vrstvách vozovky, v jejím podloží a v zeminách vůbec je stále nedostatečně vyřešenou záležitostí. Přesnost výsledku závisí nejen na užití vhodných snímačů a způsobu zatěžování, ale i na možné kontrole změřených hodnot. Protože nejsou dosud k dispozici dostatečně přesná exaktní řešení, která by dovozovala vypočítat očekávané hodnoty, je nutno předpokládat, že změřené hodnoty se liší od skutečnosti.

V tomto příspěvku jsou uvedeny zkušenosti s měřením a vyhodnocováním, vzniklé obtíže a některé rozpory ve výsledcích.

2. Výběr a posouzení tenzometrů do živičných vrstev.

K testování tenzometrů byly zhotoveny trámečky z asfaltobetonu a z litého asfaltu o rozměrech 500x160x80 mm. Při jejich výrobě byly při povrchu umístěny odporové tenzometry DA 3 Hottinger a prototypy VUIS Bratislava. Trámečky byly z technických důvodů zatěžovány pouze na ohyb jednou nebo dvěma osamělými silami. Při zatěžování byl kromě signálů tenzometrů registrován i průhyb. Trámeček se však nechoval při zatěžování a odtěžování pružně a to ani tehdy, když byl podepřen ocelovou 3 mm silnou deskou. Proto nebylo možno porovnat poměrnou deformaci výpočtem ze zatížení nebo z změřeného průhybu. Relativně dobré porovnání bylo možno provést po té, kdy na povrch vzorků byly nalepeny tenzometry X 350 Mikrotechna. Toto porovnání prokázalo, že pro měření jsou použitelné DA 3, i když pružnost podložky neodpovídá při vyšších teplotách pružnosti živičného materiálu a změřené hodnoty se liší od skutečnosti zhruba o 20%. Lepších výsledků by mělo být dosaženo u tenzometrů firmy Eaton Corporation (USA, Californie), které jsou však velice drahé (dle vybavení více než 650 US \$ za kus). Přesto budou vyzkoušeny v terénu. Tyto snímáče vy-

robce doporučuje zejména k zabudování do cementového betonu, ale mají být vhodné i do živců, ledu a pod. Sestávají z malých děrovaných čel z hliníkového plechu průměru asi 20 mm, vzdálených od sebe buď 50, 102 nebo 152 mm, mezi nimi je odporový drát izolovaný práškovým MgO v anti-korózní ocelové trubce $\varnothing$ 1 mm.

3. Použití tenzometru DA 3 v živičných vrstvách vozovky.

3.1. Postup při ukládání.

Pro zajištění kontrolovatelnosti měřených hodnot se vyskytla vhodná příležitost. Na silničním mostě v Praze-Spořilově byly experimentálně sledovány vhodné izolační úpravy mostovky zakryté živičnými vrstvami. Tyto vrstvy spolupůsobí s mostní konstrukcí a bylo proto možné užít teoretických výpočtů pro stanovení přetvoření od daného zatížení v místech uložených tenzometrů. Další kontrolou byl sledovaný skutečný průhyb konstrukce a dále bylo možno posuzovat i dynamické vlastnosti.

Vlastní uložení tenzometru bylo provedeno během strojní pokládky živičné vrstvy finišerem bez zvláštního upevňování. Byl položen rovnoběžně s povrchem vrstvy na ručně rozprostřenou plochu (asi 20 mm nad předcházející vrstvou) a přikryt dalším materiálem, který byl ručně předhutnán. Obdobně byly zabudovány přírodní kabely chráněné bužírkou $\varnothing$ 4 mm. Po konečném strojním zhutnění se nad kabely místy vytvořily trhlinky v povrchu. Běžným provozem však později se uzavřely.

3.2. Měření poměrných deformací.

Měření od deterministického zatížení mostu bylo prováděno v různých ročních obdobích. Po mostě bylo pojížděno naloženými 3-nápravovými vozidly. Stopa jejich kol byla volena tak, aby se kryla s místy uložených tenzometrů. To se projevilo v charakteru výstupního signálu. Dokud kolo nezatížilo přímo tenzometr, poměrná deformace odpovídala deformaci vozovky. V okamžiku, kdy kolo působilo přímo nad snímačem, došlo k výraznému překmitu (počet překmitů odpovídal počtu náprav). V teplejším období však tento překmit byl tak velký, že pro sledování signálu by-

lo nutné na zesilovači nastavit tak hrubou citlivost, že vliv deformace konstrukce zanikl v šumu. Z tohoto plyne, že tensometry v živičných vrstvách určených pro silniční provoz je nutné umisťovat tak, aby nebyly přímo pojižděny. Je pravděpodobné, že selhání asi 65% tensometrů po dvou letech je třeba přičíst opakovanému přímému zatížení, to bude možné potvrdit po vyjmutí snímačů z konstrukce.

3.3. Vyhodnocení změřených hodnot.

Vyhodnocení se provádí na vyhodnocovacím zařízení fakulty (Peekel, IBM AT PC). Poměrně rozsáhlý a komplikovaný program využívá i XY zapisovač. Na něm se zakreslují průběhy signálů a i vyhodnocované veličiny, tento postup je sice zdoluhavý, je ale nutný kvůli kontrole výsledků. Při průjezdu vozidla po vozovce se sledují tyto fyzikální veličiny:

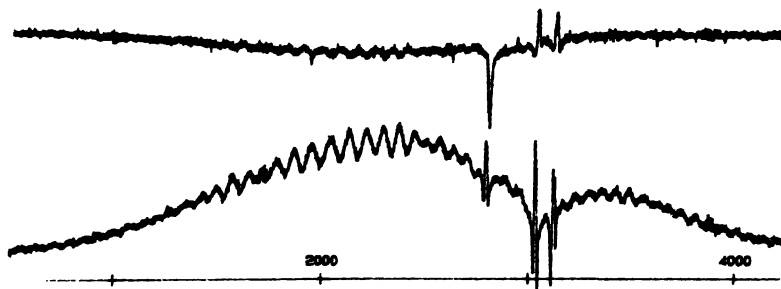
- a) vzdálenost vlivu zatížení od měřeného místa
- b) rozkmit napětí pod každým kolem
- c) největší hodnota napětí pod každým kolem
- d) extrémní hodnoty napětí bez přímého vlivu kol
- e) dynamické zvětšení vzhledem ke statickému průběhu
- f) první tři nejvýznamnější vynucené frekvence

Z vyhodnocení souboru jízd při stejných podmínkách zatím vyplynulo, že veličiny a), d), e) a f) vykazují malé rozptyly (variační koeficient až na výjimky nepřesáhne hodnotu 0.3). Naproti tomu hodnoty veličin b) a c) jsou vysoce citlivé na přesné dodržování jízdní stopy zatěžujících vozidel a jejich hodnoty vykazují velký rozptyl a dokonce někdy i opačnou polaritu.

Hodnoty pro d) a e) se získávají z průběhu dynamického signálu (obr.1) číslicovou filtrací spolu s užitím váhové funkce k potlačení rozkmitu vlivem přímého působení kol. Zjištění největších hodnot uvedeným postupem je podstatně přesnější než lze získat statickým zatížením. Nezjistí se sice velikost dotvarování, avšak vyloučí se hrubé chyby způsobené nesprávným postavením zatěžujícího prostředku.

Z obr.1 je zřejmý průběh signálů tensometrů v horní krycí vrstvě (ABS I) tloušťky 50 mm, která byla ulo-

žena na mostě se spojitým nosníkem o třech polích. Tenzometry byly umístěny nad pilířem. K průběhům nebyl zakreslen filtrovaný průběh, protože by překryl dynamický signál. Levá část průběhu odpovídá poměrnému prodloužení vrstvy nad pilířem v době průjezdu vozidla středním polem (rozpětí 32,85 m), pravá část průjezdu krajním polem (rozpětí 14,6 m).



obr. 1

Horní průběh je signál tensometru uloženého kolmo k ose mostu, spodní průběh je signál tensometru rovnoběžně s osou.

4. Flakové krabice v zeminách.

4.1. Zkušební s použitím.

Jedná se o snímače vlastní výroby, které měří napětí v kolmém směru k jejich kruhové ploše $d = 100$ mm (lit.1 a 2). Nemají pevné okraje a neuplatňuje se u nich klenbový efekt. Základní kalibrace se provádí v mechanickém zatěžovacím rámu bez problémů. Po zabudování do vrstev vozovky z nesoudržných materiálů a nebo do zemin vykazují dlouhodobou stálost, je možno měřit několik let po zabudování a nejsou citlivé na přímé zatěžování. V případě malé krycí vrstvy se projeví na př. vliv kola výraznou špičkou v signálu, hodnoty z jednotlivých jízd jsou srovnatelné

a vykazují velmi malý rozptyl. V běžně měřených rozsazích jsou dostatečně lineární, pro měření v dodatečně zshutňovaných materiálech je nutné předem provést kalibraci při počátečním předtížení krabice.

4.2. Cejchování ve zkušební vaně.

Problémem stále zůstává určení skutečného napětí prostředí, ve kterém je tlaková krabice uložena. Prozatím se podařilo dokázat, že na rozhraní tuhého materiálu a zeminy odpovídá napětí výpočtu z kalibrační křivky. Pochybnosti trvají v případech, kdy je krabice na př. na rozhraní různých nestmelených vrstev silniční vozovky, v zemině a pod. Proto se provádějí dlouhodobá měření ve zkušební vaně 3 m hluboké, kde jsou do zeminy uloženy v různých hloubkách tlakové krabice. Povrch zeminy je zatěžován jednak stupňovitě, jednak mnohocyklově a to na různých místech přes kruhovou desku.

4.3. Rozpor s teorií.

Doposud dosažené výsledky měření ve skutečných vozovkách i ve zkušební vaně se liší od vypočtených hodnot dle používaných teorií. Nutno poznamenat, že na př. klasické řešení Boussinesqovo (lit. 3) využívá matematických vztahů, které vyhovují možným okrajovým podmínkám, ale nemusí odpovídat proto ještě skutečnosti. Pokud by se podařilo prokázat, že dosud změřené hodnoty jsou reálné, bylo by nutno přehodnotit dosavadní výpočtové postupy a vedle by to k výrazným úsporám při výstavbě zejména silnic. Je nutné pokračovat velice pečlivě v dalším výzkumu, aby mohlo být dosaženo zcela objektivního zhodnocení.

5. Literatura.

Sýkora: Experimentální vyšetřování napětí v zeminách.

(1) Sborník 8.věd.konf. VŠDS Žilina 1988 sekce 8.3

Sýkora: Měření napětí v silniční vozovce.

(2) Sborník EAN Vysoké Tatry 1981.

Fischer: Beispiele zur Bodenmechanik.

(3) nakl. Wilhelm Ernst a syn 1965.