

MĚŘENÍ NAPĚTÍ V SILNIČNÍ VOZOVCE

Ing. Jiří Šykora, CSc

Fakulta stavební ČVUT Praha

1. Úvod.

Cílem měření je stanovit pokud možno dostatečně přesně relativní hodnoty napětí v konstrukci vozovky a přiblížit se skutečným hodnotám. V r. 1980 byl vybudován experimentální úsek betonové vozovky v areálu stavebního dvora Staveb silnic a železnic v Praze-Stodůlkách. Byly zde osazeny různé snímače, jejichž funkce byla ověřena při prvním již provedeném měření.

2. Použité snímače.

2.1. Tlakové krabice GS 4.

Na základě zkušeností s předchozími typy (lit. 1) byly navrženy dva druhy snímačů. Mají vyšší tuhost membrány a nové uspořádání podpor měrného nosníčku. U většího snímače ($r=50$ mm) je možno volit 4 různá rozpětí nosníčku od 30 mm do 74 mm, u menšího ($r=25$ mm) 2 rozpětí 20 a 25 mm. Tím je usnadněno dle zjištěných vlastností prostředí upravovat tuhost krabic před jejich uložením.

Bylo vyrobeno celkem 10 menších a 9 větších krabic, které byly po předchozím pečlivém ocejšování uloženy do podkladních vrstev a do podloží experimentálního úseku vozovky. Větší krabice mají tuhost v rozmezí 2900 až 9300 kPa, menší 10000 až 30000 kPa. Měrným elementem u obou typů je nosníček, na kterém jsou nalepeny dva polovodičové tenzometry (příčně jako kompensace, podélně aktivní) určené k zapojení do polomostu.

Bylo provedeno dvojí základní cejšování. První v laboratoři, kdy v zatěžovacím rámu byla každá krabice zatěžována diskrétně odstupňovaným zatížením a snímány současně signál krabice, indukčním snímačem dráhy osové deformace a údaj tlakového kapacitního snímače Kistler. Při tom byla v režimu on-line využita vyhodnocovací linka tak, že

analogové signály byly po digitalisaci uloženy do paměti kalkulátoru HP 9820A, pro kontrolu linearity vynesena průběh dat zapisovačem XY a po zjištění správnosti celého cyklu byla data nahrána na magnetofonovou pásku. Takto získaná data byla pak kalkulátorem zpracována. Výsledkem jsou kalibrační křivky včetně statistických údajů linearity.

Druhé cejchování bylo provedeno až po zabudování tlakových krabic do konstrukce. Nad každou skupinou snímačů byla dokončená konstrukční vrstva zatěžována kruhovou deskou plochy 5000 cm^2 a opět vyhodnocovací linkou on-line zaznamenané vztahy mezi zatížením desky (signál tensometru na zatěžovaném těmnu) a signálem krabic. Těmito skutečnými vztahy byly opraveny laboratorně určené kalibrační křivky. Tento postup zlepšil věrohodnost měřených hodnot napětí.

Dále byly provedeny doplňující výzkumy vlastností tlakových krabic. Na dynamickém zatěžovacím lisu Instron byla potvrzena věrohodnost signálů až do kmitočtu 50 Hz (malá hmotnost pohyblivých částí a dráha jsou důvodem pro zanedbání setrvačných sil).

2.2. Kontaktometry.

Ke zjištění kontaktu mezi betonovým krytem a podkladní vrstvou byly vyvinuty jednoduché snímače vhodné pro stělené vrstvy. Měřným elementem je ocelový pásek (20.400 mm) na obou koncích zakotvený do spodní vrstvy. Uprostřed má kotevní úchytku, která je určena k pevnému spojení s horní vrstvou. Přilepené odporové tensometry na pásku signalisují jeho prohnutí při změně vzdálenosti mezi vrstvami. Cejchování těchto snímačů v laboratoři se neosvědčilo, protože signály byly značně závislé na způsobu upnutí kotev. Proto byly cejchovní křivky pořízeny až po zabudování kontaktometrů do spodní vrstvy, v daném případě do cementové stabilisace. Byl zjišťován vztah signálů tensometru k dráze úchytky, která byla později zakotvena v betonové desce.

2.3. Odporové teploměry.

Tyto snímače mají ve vybudované konstrukci pouze doplňující význam. Mají signalisovat změny teploty k posouzení závislosti na změřených hodnotách ostatních veličin. Keramický teploměr DMT R-0°C-100 byl vložen do měděné trubičky a salit

tnalem X60 Hottinger. Teplota je zjišťována analogově.

2.4. Tensometry do betonu.

Protože tlakové krabice jsou nevhodné k měření napětí v tuhých vrstvách, byly na objednávku vyrobeny tensometry do betonu. Jejich měrným elementem je tensometr Hottinger 120 Ω obalený metylakrylátem. Výsledkem je hrubozrnná destička rozměrů 102.17.8mm, která tvoří s betonem soudržný celek. Ověření spolehlivosti těchto snímačů bude provedeno po skončených měření na vyjmutých vzorcích betonového krytu.

3. Výsledky měření.

3.1. Zatěžování zabudovaných tlakových krabic kruhovou deskou.

Byly zjištěny určité závislosti mezi kalibrační křivkou jednotlivých snímačů. Při zatěžování podloží, v němž byly 3 a 33cm pod lícem souose uloženy tlakové krabice, byly naměřeny dosti shodné hodnoty bez ohledu na tuhost a velikost jednotlivých krabic. Po statistickém zpracování byly určeny pro horní snímače koeficienty k , kterými je nutno opravit lineární rovnici kalibrační křivky :

$$y = a + kbx, \quad (1)$$

kde x je v 1000 $\mu\text{m/m}$ signál tensometru krabice

y je hodnota přibližného napětí v konstrukci v kPa

Hodnoty koef. k pro jednotlivé menší krabice jsou 0,572; 0,447; 0,588; pro větší 0,519; 0,745; 1,157. Tento rozptyl výsledků se jeví přijatelný ve srovnání s hodnotami, které byly změřeny při zatěžování na provedené cementové stabilisaci. V tomto případě totiž rozdíly mezi přepočtenými hodnotami pro menší a větší krabice jsou až 100%. Vysvětlit tento jev bude možno až po další serii měření, případě po řadě experimentů ve zkušební vaně.

3.2. Zatížení betonové vozovky.

Přestože stále ještě není možno ze signálů tlakových krabic určit dostatečně přesné hodnoty napětí, bylo provedeno v r.1980 za oblačného počasí zatěžování vozovky automobilem Škoda Tr (kropicí vůz). K registraci signálů byl použit 7m1 stopový měřicí magnetofon Honeywell 5600E, při čemž bylo současně registrováno 15 veličin (5 jako analogový záznam,

zbytek PCM). Z 19 uložených tlakových krabic bylo 18 použitelných k měření. Rovněž 19 tensometrů do betonu bylo v činnosti. Z 10 kontaktometrů pouze 4 signalizovaly změnu kontaktu, funkci dalších bude možno ověřit až opět v letním období v době intenzivního slunečního svitu, kdy vlivem velkého tepelného spádu bude betonový kryt deformován.

Měření bylo poměrně přesně určena příčinková čára jednotlivých veličin, jejich vzájemná vazba a relativní napětí v konstrukčních vrstvách.

Výsledkem tohoto měření a měření dříve provedených jsou tyto závěry:

- a) Vliv předního kola je vždy větší než zadních zdvojených kol při přepočtu na stejné zatížení obou náprav.
 - b) Lze stanovit vliv betonového krytu na snížení napětí jednotlivých konstrukčních vrstev a podloží vzhledem k přímému zatížení podkladu. To umožní všude tam, kde budou osazeny tl. krabice, rozhodnout po vybudování podkladní vrstvy o vhodné tloušťce krytu a zamezit tak předimansování konstrukce.
 - c) Zvyšování rychlosti jízdy nad 10km/h za předpokladu rovného povrchu a neporušenosti vozovky nemění velikost probíhajících napětí. Stojící vozidlo však namáhání konstrukce zvyšuje nejméně o 20%.
4. Vyhodnocení měření.

Kalkulátorem HP 9820A je nyní možno současně zpracovat nejvýše signály 5ti snímačů vzorkovací rychlostí 200 vz/s. I když vyhodnocovací linka umožňuje současně ukládat data až ze 16 snímačů, nelze toho využít proto, že by se snížila vzorkovací frekvence a tím požadovaná přesnost dat.

Z každého měření jsou pod kontrolou programu vypsány tabulky obsahující rychlost jízdy, vzdálenost předního kola od každého snímače při počátku namáhání, amplitudy sledované veličiny a příp. frekvence rozkmitaného vozidla. Porovnáním různých druhů jízdy a měření v nesterjných klimatických podmínkách lze pak získat potřebné závěry o vlastnostech konstrukce, o vlivu různých vrstev, konstrukcí a pod.

5. Literatura.

1. Sýkora: Měření deformací a napětí v seminář. Sborník z IV.konference EAM, Plzeň 1977.