

MĚŘENÍ PŘI PŘESUNECH VELKÝCH STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

Ing. Miloš Vlk, CSc

Ing. Ivan Wasgestian

Vítkovice - železářny a strojířny KG

Výzkumné úřtavy

1. ÚVOD

Požadavky na přesuny stavebních objektů se vyskytují v technické praxi, jde-li o vzácné umělecko historické památky nebo o objekty s vysokou užitkovou hodnotou, kdy je přesun ekonomicky výhodnější než demolice a nová výstavba. V zahraničí se prováděním těchto prací zabývají speciální firmy. Rovněž v ČSSR - v souvislosti s rozhodnutím o přesunu gotického kostela v Mostě - byla založena hospodářská organizace Transfera, která dostala za úkol vyvinout, vyprojektovat, zajistit výrobu zařízení a realizovat tuto náročnou akci. K jejímu úspěšnému uskutečnění bylo též nezbytné experimentální ověření některých vyvíjených zařízení; k tomuto účelu posloužily přesuny rodinného domu v Klíncích u Jíloviště (leden 1973) a skladu chmele v Úštěku (říjen 1973).

Snaha o co největší snížení možnosti vzniku rizikových stavů si vynucuje provádění rozsáhlých měření. Kontrolní měření při těchto třech přesunech zajišťoval Ústav aplikované mechaniky VŽKG v Erně. Problematika a způsob provádění těchto měření má řadu společných rysů; v dalším bude o nich podrobněji pojednáno v souvislosti s realizací přesunu děkanského kostela v Mostě v září - říjnu 1975.

Podle své časové posloupnosti proběhla tato měření ve dvou etapách :

1. při přípravných pracích
2. při nakládání a vlastním přesunu

2. MĚŘENÍ PŘI PŘÍPRAVNÝCH PRACÍCH

Již v této etapě docházelo v objektu ke vzniku různých přídevných namáhání, které bylo nutno sledovat.

Především se jednalo o zjištění velikosti ssezení zdíva při šramování okolo nosného pilíře a deformací žeber klenby při betonáži. K těmto účelům byly použity indukční snímače posunutí typu W 1 fy Hottinger Baldwin Messtechnik.

Důležité byly též velikosti dynamických účinků na zdivo od sbíječky a při dlátování děr pro piloty. Tyto údaje byly měřeny akcelerometry B 12/200 a B 3-5 od téže firmy.

Potřebná byla též znalost namáhání ocelové konstrukce při aktivaci a odbourání petky sloupu a změny síly v patentovaném drátě spínajícím pilíř při předepnutí tohoto pilíře.

Do tohoto časového období spadají též rozsáhlá měření při zkouškách transportního vozu ve speciálním zkušebním rámu.

3. MĚŘÍCÍ SYSTÉMY PŘI NAKLÁDÁNÍ A VLASTNÍM PŘESUNU

Pro komplexní řízení a sledování objektu v průběhu přesunu byl instalován rozsáhlý měřicí systém, který byl soustředěn na dvě pracoviště - operátora přesunu a kontrolních měření.

A) Operátoru přesunu poskytoval bezprostřední informace :

- a) hydrostatický nivelační systém Inovy Praha, kdy na signalizačním panelu bylo možno odečíst vzájemnou výšku v místech snímačů umístěných na zdivu na 41 místech a tedy si učinit představu o tvaru transportní roviny;
- b) systém manometrů v hydraulických obvodech zvedacích válců udávající přehledně, avšak nepřesně a ne vždy zcela spolehlivě velikosti reakcí v jednotlivých vozech;
- c) systém polohových vysílačů signalizujících velikost vysunutí pístnic zvedacích válců. Doplnkově bylo možno zjistit tvar transportní roviny z údajů 53 snímačů hydrostatické nivelace umístěných na ocelové konstrukci u transportních vozů a zapojených na systém automatické nivelace. Příslušné hodnoty byly ukládány do paměti stolního kalkulátoru a podle potřeby mohly být vytištěny.

B) Pracoviště kontrolních měření; zde se zjišťovala :

- velikost podpěrných reakcí,
- velikost trakčních sil,
- tvarová stálost objektu,

- namáhání klenby v okolí věže
- síly ve spřáhlech,
- namáhání ocelové konstrukce,
- dynamické účinky pojezdu,
- rychlost pojezdu,
- ujetá dráha.

V dalším si všimněme podrobněji pouze měření uvedených pod bodem B. Tato měření měla kontrolní charakter; tedy příslušné mechanické veličiny nezasahovaly přímo do řídicího systému technologického zařízení. Použitý měřicí systém měl za úkol sledovat požadované veličiny (buď všechny nebo pouze vybrané), registrovat je a upozorňovat obsluhu na překročení přípustných úrovní. Provedení případných nápravných opatření pak již spadalo do kompetence vedoucího přesunu.

Vzhledem k vysokému počtu měřených míst i požadovanému charakteru sledování se jevílo jako jedině možné použití měřicích ústředen. Taková souprava vyžaduje minimální obsluhu, požaduje se však po ní vynikající přesnost a vysoká funkční spolehlivost. plnou odpovědností lze říci, že použité zařízení, tvořené naprosto převažující míře výrobky firmy Hottinger Baldwin, plnilo tyto požadavky beze zbytku.

3.1 Měření podpěrných reakcí

Kostel byl přesouván na 53 vozech. Na každém voze bylo hydraulické zařízení, tvořící podpěrný bod konstrukce. Velikost reakce se určovala z údajů dvou dynamometrů umístěných pod opěrnými tornami mostu. Celkem tedy bylo instalováno 106 dynamometrů o jmenovité nosnosti 2,5 MN s vnějšími rozměry ϕ 158/80 mm.

Dynamometry byly připojeny k přepínacím skříním typu UMG 21/03 umožňujícím nulové vyvážení. Přepínání jednotlivých míst bylo prováděno řídicím přístrojem US 02 s frekvencí 1 místo za vteřinu.

Použitý měřicí zesilovač typu KWS 3050 pracuje s nosnou frekvencí 225 Hz. Jako analogově číslicový převodník s výstupem v BCD kódu sloužil DA 3415 A. Souprava byla seřizena tak, že tiskárna Kienzle D 044-G7 tiskla údaje přímo v kN. Případné přetížení vozu signalizovala kontrolní žárovka úrovněvého spínače M 3541.

Stabilita soupravy byla velmi dobrá. Byla kontrolována při opravách nosného zařízení některých vozů v průběhu přesunu; při odlehčení dynamometrů byl v tomto případě měřicí soupravou poskytován údaj vždy menší než 10 - 20 kN.

Dalším měřítkem byla celková váha objektu včetně ocelové konstrukce získané z údajů dynamometrů. V průměru se pohybovala kolem 9600 Mp.

3.2 Měření trakční síly

Trakční síla byla vyvozována osmi hydraulickými válci - čtyřmi tlačnými a čtyřmi brzdícími (na čtyřech dráhách A, B, C, D). V původní variantě se uvažovalo o měření těchto sil pomocí tenzometrických dynamometrů vložených mezi ocelovou konstrukci a hydraulický válec.

V konečném řešení byly nalepeny na všechny pístnice vždy 4 tenzometrické kříže. Použité tenzometry byly typu 10/120 LY 11, lepidlo X-60.

Proti vlivu vlhkosti a mechanickému poškození byly chráněny vrstvou silikonového kaučuku (BLH Barrier C) a krycí páskou DKT - 2. Tenzometry jednotlivých pístnic v součtovém zapojení (při kompenzaci vlivu ohybového namáhání a teploty) pak byly připojeny ke kanálům měřících zesilovačů KWS/6 T-5. Jejich výstupy pak byly spojeny jednak s přímopíšícími zapisovači He 18 (které tak průběžně zaznamenávaly velikosti tlačných a brzdných sil), jednak s analogově číslicovým převodníkem kalibrovaným přímo v kN, který mohl být připojen k libovolnému válci.

Relace mezi měřenými poměrnými deformacemi a působící silou byly určeny jejichováním pomocí dynamometru v n.p. Škoda.

Získané údaje o velikosti sil byly velmi cennou informací pro obsluhu válců i vedoucího přesunu. Umožnily snížit na minimum možné důsledky kritických stavů, kterými byl rozjezd a přetovování; tehdy byly dynamické účinky nejvyšší.

Z měření též vyplynulo, že díky spádu 12,3% byla příslušná složka tíhy větší než trakční odpory, takže bylo třeba objekt brzdit silou cca 1000 kN.

3.3 Tvarová stálost objektu

V průběhu zvedání, přesunu a uložení kostela byl též sledován stav nosného zdiva a kleneb. Tento stav byl posuzován podle vzájemné deformace jednotlivých stavebních prvků, resp. jejich osunutí.

V původním objektu se předpokládalo též použití destrukčních detektorů z vodivých laků, nanesených přímo na omítku. Tato metoda se ověřovala při přesunu sklaďu chmele v Úštěku. Zde bylo zjištěno, že vzhledem ke své vysoké citlivosti je pro naše účely nepoužitelná; registruje totiž trhlinky v malbě nebo omítce velikosti řádově desetin až setin mm, které jsou z hlediska stavu objektu bezpředmětné. Další nevýhodou této metody je též to, že neposkytuje průběžnou, ale pouze jednorázovou informaci; po přerušení je nutno vždy snímače obnovit.

V konečném řešení se použilo 81 indukčních snímačů typu Wfy HBM, které umožnily sledovat a určit okamžik vzniku trhlinky i její další chování v průběhu přesunu. Tyto snímače pak byly připojeny k přepínacím skříním UMG 21/01 umožňujícím nulové vyvážení. Řídící přístroj US 02 je pak postupně připojoval k měřicímu zesilovači KWS/3S-5; jeho výstup vedl přes analogové číslicový převodník DA 3415 A na tiskárnu Kienzle D 044 G-7. Výstup byl tak upraven, že tištěný údaj odpovídal přímo tisícínám mm. K výstupu byl rovněž připojen úrovnový spínač s optickou signa-

lizací překročení dovolené úrovně.

Ze změřených údajů bylo zřejmé deformování objektu vlivem slunečního ozáření; tyto hodnoty kolísaly v rozmezí $\pm 0,05$ mm. Změna velikosti starých trhlin nepřekročila cca 0,2 mm; pouze vyjimečně došlo v jediném případě k sevření trhliny o 0,5 mm.

3.4 Klenba v okolí věže

Tato část klenby je velmi exponovaná. V průběhu přípravy kostela pro přesun byla totiž odbourána věž a tím došlo ke změně v uchycení klenby. Příslušné změny deformací registrovaly tenzometry zalité do výztužných žeber klenby při jejich zhotovení.

Použité tenzometry byly typu DB 2. Jsou tvořeny tělískem z plexiskla s vnějšími rozměry 120 x 13 x 5 mm; v něm je potom zapouzdřen odporový tenzometr. Na povrchu je nanesena vrstva křemenného písku.

Některé technické údaje :

- odpor 350 Ω , 1/4 můstek, třídátové zapojení
- konstanta snímače $k = 2$
- maximální poměrná deformace $\pm 5000 \mu\text{m/m}$
- teplotní rozsah $-20 \dots +60^\circ\text{C}$
- aktivní délka 60 mm

(V současné době máme s velmi dobrými výsledky již vyzkoušeny podobné snímače vlastní výroby).

Těchto tenzometrů bylo nainstalováno 45.

Měřicí ústřednu tvořily :

- přepínací a vyvažovací skříně UG 50
- řídicí přístroj US 100 St
- digitální tenzometrický můstek DDM 4
- tiskárna D 11 E7

3.5 Příčné vedení objektu

Zaručovala soustava 14 spráhel (v podstatě mohutných pružin, schopných přenášet tahové i tlakové síly), spojujících jednu řadu vozů s ocelovou konstrukcí. Všechny ostatní vozy byly s objektem volně vázány.

Na spráhle byly proto nalepeny odporové tenzometry; relace mezi poměrnou deformací a silou ve spráhle byly zjištěny cejchováním v n.p. Škoda.

3.6 Namáhání ocelové konstrukce

Říhřadové ocelové konstrukce měla za úkol přenést tíhu zdi-
ve do podporových bodů na jednotlivých vozech. Změny tvaru objek-
tu se pak měly projevit jako změny namáhání ocel. konstrukce.
Malo se předpokládat, že veškeré změny, které by mohly ohrozit
bezpečnost přesunu budou velmi pomalé; proto i při občasně kont-
role resp. při odečítání s relativně nízkou rychlostí bude možno
čas zjistit nebezpečí a zabránit poškození.

Toto namáhání ocelové konstrukce, přesněji řečeno její po-
měrné deformace, byly sledovány pomocí odporových tenzometrů.
Tenzometry byly nalepeny na spodní části OK - na příčnicích -
a to v místech maximálního ohybového momentu na spodní a vrchní
straně nosníku.

Celkem bylo instalováno 313 tenzometrů typu 10/120 LY 11
fy HBM. Lepeny byly rychlotvrditelným lepidlem firmy Hottinger
typu X-60 a chráněny vrstvou silikonového kaučuku firmy Baldwin
- Barrier system C. Takto aplikované tenzometry vykazují velmi
dobrou stabilitu. Krycí silikonový prostředek chrání spolehlivě
proti vodě v rozsahu teplot $-70 \dots +260^{\circ}\text{C}$; práce s ním je
velmi jednoduchá.

Připojeny byly k měřicí ústředně tvořené přepínací a vyva-
žovací jednotkou UP 3300 (rozšířenou o US 03), měřicím zesilova-
čem KWS 3050 (nosná frekvence 225 HZ), analogově-číslíkovým pří-
vodníkem DA 3415 A a tiskárnou D 044 G-7.

Uvedený zesilovač má vynikající stabilitu. Díky nízké nosné frekvenci se nevyskytovaly problémy s kapacitou kabeláže, i když její délka dosahovala až 100 m.

Pro účely kompenzace byly tenzometry roztrženy do 32 skupin. (I tak byl obtížně vylučitelný vliv ohřátí pouze částí konstrukce slunečním osvitem).

3.7 Dynamické účinky pojezdu

Byly sledovány

- a) na jednom voze,
- b) na ocelové konstrukci
- c) na klenbě.

Jako nejnebezpečnější se předpokládaly dynamické účinky vznikající při rozjezdu objektu, kdy počáteční trakční odpory mohou způsobit nerovnoměrný rozjezd.

K tomuto účelu bylo použito 11 snímačů typu B 3-5 a B 12/200 instalovaných ve směru pojezdu, kolmo k němu a ve svislém směru. Byly připojeny ke dvěma šestikanálovým měřicím zesilovačům typu KWS/6T-5 a podle potřeby přepínány pro záznam na měřicí magnetofon MBS-6, 36 místný UV-zapisovač Honeywell UV-31 nebo na osciloskop OPD.

Měřením se prokázal naprosto klidný rozjezd; ani při rázech, k nimž docházelo při necitlivém kotvení, nepřekročilo zrychlení na klenbě 2 cm/s^2 . Pro srovnání - připouští se až 100 cm/s^2 . Průjezd tramvaje v blízkosti kostela způsoboval na klenbě zrychlení $0,5 - 1 \text{ cm/s}^2$.

3.8 Rychlost pojezdu a ujetá dráha

Rychlost transportu byla předpokládána v rozmezí $0,8 - 4 \text{ cm/min}$.

V původním projektu se uvažovalo měření rychlosti pomocí přístroje vyvinutého Ústavem termomechaniky ČSAV Praha, označeného E 5, jehož princip je následující : pojezd je mechanickým převodem převeden na pohyb nekonečné smyčky magnetofonové pásky na níž je nahrán sinusový signál z pásky. Měřená frekvence je pak přímo úměrná pojezdové rychlosti.

Při konečném řešení se pro tyto účely použilo jednoduššího způsobu. Na hřídeli kola podvozku byl instalován kotouč s výřezy; délka výřezu odpovídala ujeté dráze 1 cm. Proti tomuto kotouči byl umístěn bezdotykový indukční snímač vzdálenosti typu TrK, připojený k zesilovači KWS/6T-5. Výstup byl veden na přímo-píšící zapisovače He 18; z pohybu jejich písátka i pořízeného záznamu bylo možno velmi snadno odečíst rychlost pojezdu. Paralelně k zapisovačům pak byla zapojena počítadla úrovňového čítače KS 16, která zaznamenávala ujetou dráhu v cm za směnu, za en a od zahájení přesunu. Přesnost tohoto systému byla více než stačující: při ujetí 800 m byl zjištěn rozdíl pouhých 18 cm.

Ukazatele o rychlosti přesunu byly též zavedeny k obsluhám dících a tlačných válců.

.9 Některé souhrnné údaje o měření

- celkem instalováno 525 snímačů
- použito 78 km vodičů
- instalace si vyžádala práci 5 osob po dobu 3 měsíců
- měření bylo nepřetržité: po dobu cca 1100 h
- teplota ve velínu kolísala od -10 do +28°C.

4. ZÁVĚR

Použité měřicí systémy splnily plnou měrou požadavky na ně kladené. Po celou dobu měření pracovaly naprosto spolehlivě a přesně. Je samozřejmé, že v případě méně komplikovaných přesunů bude potřebný systém podstatně jednodušší - omezený pouze např. na hydrostatickou niveleci a snímače pohybu.

BLOKOVÉ SCHEMA KONTROLNÍHO MĚŘENÍ

