

# DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ V PRAXI ■

## DIAGNOSTICS OF BUILDING STRUCTURES IN PRACTICE

Jiří Litoš

V příspěvku je na konkrétních příkladech popsáno několik obecně použitelných metod diagnostiky stavebních konstrukcí – stavebně technický průzkum historické budovy, monitoring objektů sousedících s novostavbou při demolicí původních objektů a následně při výstavbě nového objektu a statické zatěžovací zkoušky. ■ This paper shows on specific examples some generally useful diagnostic methods of building structures – recognition of a historical building, monitoring of neighbour buildings to a new construction while demolishing the original objects and building new objects and static load bearing tests.

Oficiální definice slova diagnostika zní – soubor detekčních metod pro určení stupně poškození materiálu a zařízení. Ve stavebnictví tento pojem zahrnuje soubor destruktivních i nedestruktivních metod, které byly mnohokrát popsány a které zjišťují skutečný stav určitých konstrukcí, a na základě zjištěného stavu se pak případně navrhnou příslušná opatření.

Důvodů, proč se i v současnosti, kdy je možné téměř vše počítačově simulovat, provádí experimentální ověřování a posuzování stavebních konstrukcí, je celá řada. Mezi ty nejdůležitější patří ověření spolehlivosti konstrukcí před jejich uvedením do provozu, experimentální vyšetření poškozených nebo opravovaných konstrukcí, monitoring stavebních konstrukcí či posouzení úrovně dynamického kmitání s ohledem na poškození sledované stavby.

Následující článek se věnuje experimentálnímu vyšetřování konkrétních stavebních konstrukcí, které několik těchto metod využívají v netradičním pojetí.

### STAVEBNĚ-TECHNICKÝ PRŮZKUM

Stavebně-technický průzkum (STP) je jednou z částí diagnostiky stavebních konstrukcí, stavebně-historický průzkum je dokonce rámcově zakotven i v zákoně. Průzkum může sloužit pro zjištění komplexního aktuálního stavu celé konstrukce nebo může řešit pouze lokální problém, jako např. zatékání, tvorbu plísně či trhliny v jednotlivých částech stavby. Výsledkem STP je zjištění stavu konstrukcí budov, analýza materiálových charakteristik stavebních

hmot, složení konstrukcí, zjištění vad a poruch konstrukcí a jejich příčin, návrh nápravných opatření, stanovení priorit oprav, vyčíslení jejich finanční náročnosti, sestavení plánu oprav či zjištění odchylek od projektu.

Před demolicí bývalé České typografie a stavbou nového Florentina v Praze v ulici Na Florenci byl proveden STP objektu označeného A (obr. 1), který byl součástí tohoto tiskařského areálu a jako jediný, díky své historické hodnotě, nepodleh demolicí. Tento objekt byl postaven v letech 1926 až 1928 firmou J. Blecha pro firmu L. G. Bondy a sloužil jako administrativní budova. Fasáda dle návrhu Gustava Fantla pochází z roku 1932.

Cílem STP bylo zjištění systému, tvaru a rozměrů betonových základových konstrukcí, včetně materiálových charakteristik, a průzkum nosných svislých i vodorovných betonových konstrukcí objektu v 1. a 2. PP v oblasti plánované pasáže v úrovni 1. NP. Jedinými získanými podklady byly historické půdorysy podzemních podlaží a řez objektem (obr. 2a až c). Půdorys základových konstrukcí se nepodařilo získat.

První zvolenou metodou STP bylo použití pulzního geologického radaru, který pracuje na principu registrace odrazů vysokofrekvenčního elektromagnetického vlnění od nehomogenit sledovaného prostředí. Přes značné snížení kvality signálu, způsobené konstrukční ocelovou výztuží betonové podlahy ve 2. PP objektu, byly provedeným průzkumem vymezeny lokální indikace nehomogenit v georadarových řezech. Na základě korelace georadarových řezů s archivními dokumenty (obr. 2c) bylo

možné konstatovat, že radarové indikace neodporují zakresu konstrukce založení objektu v archivní dokumentaci.

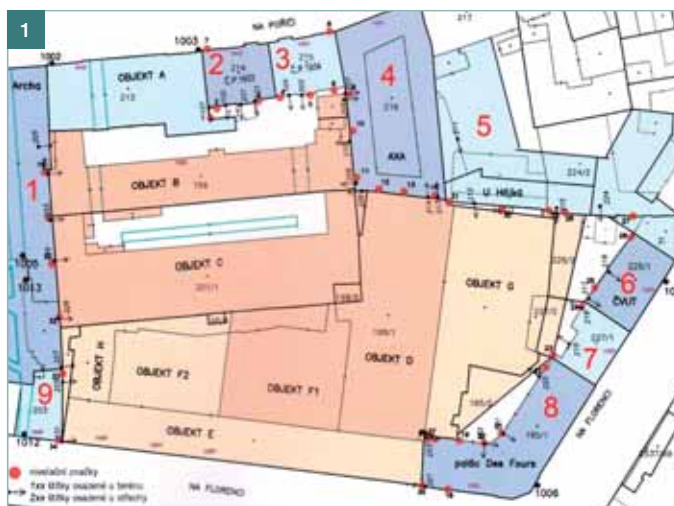
Cílem těchto měření georadarem bylo zejména vymezení hran základových konstrukcí a prokázání, zda se jedná o základové patky, základové pasy či základovou desku, což není ze získaného dokumentu patrné.

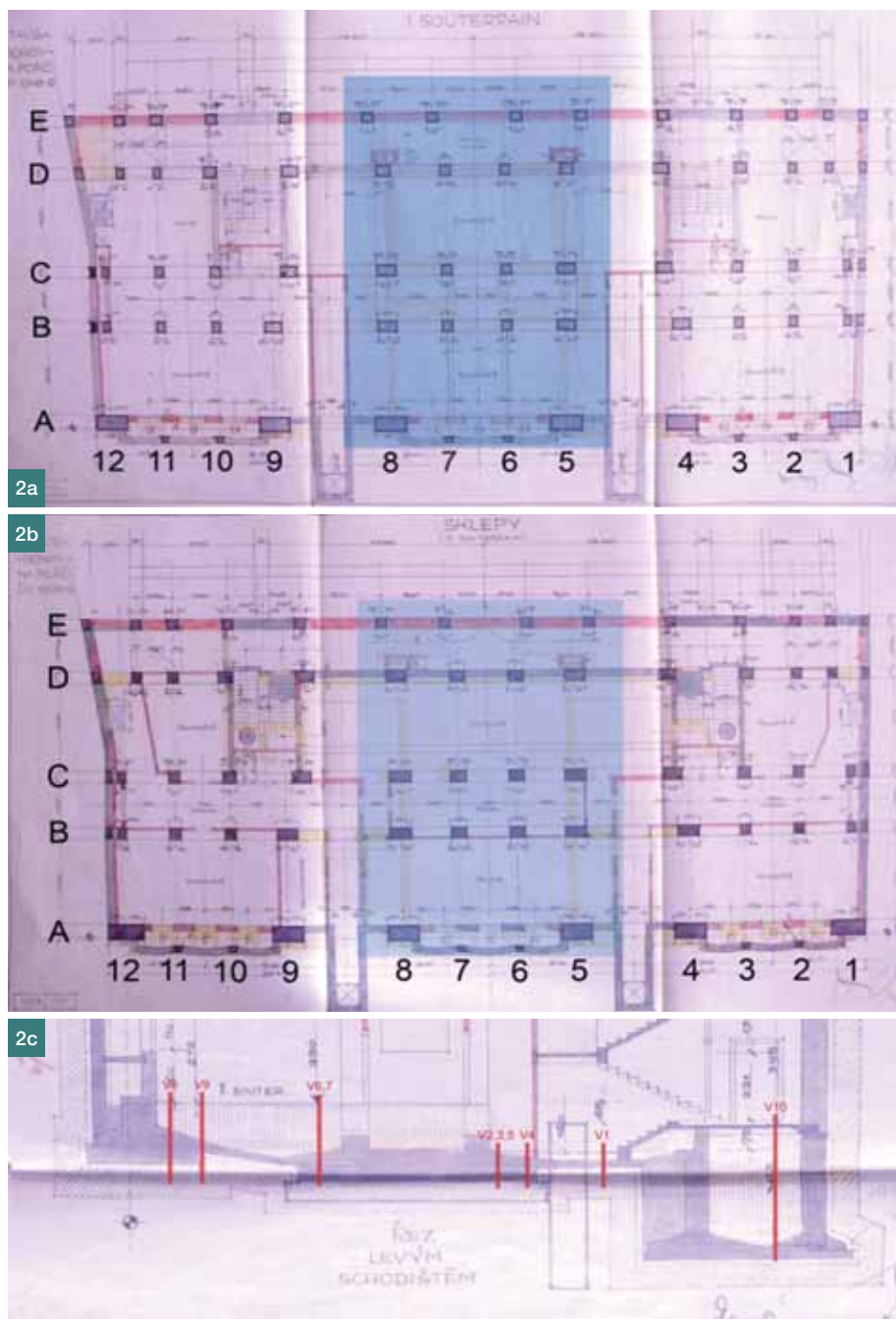
Po získání výsledků z geofyzikálního průzkumu, které potvrzují platnost získaného dobového řezu základovou konstrukcí, byly pro komplexní doplnění průzkumu provedeny jádrové vývrtky do základových konstrukcí. Vývrtky měly taktéž potvrdit původní dokument a dále pak sloužily pro získání mocností základových konstrukcí a v neposlední řadě přinesly podrobné informace o materiálových charakteristikách použitého betonu.

Vývrtky byly situovány jak v blízkosti sloupů, tak mezi sloupy (obr. 2c). Účelem takového rozmístění bylo ověření, zda se základová deska ve stejném profilu nachází průběžně pod celým objektem či nikoli. U všech zmíněných vývrtů byla zjištěna totožná skladba. Nejprve byla odvrtna vrchní vrstva podlahové konstrukce s izolací a podkladním betonem, pak následoval násyp a nakonec samotná základová konstrukce. Ve všech případech jádrových vývrtů se konstrukce dělila ve vrstvách. Zřejmě tak nastalo v pracovních spárách, způsobených časovými odstupy jednotlivých betonáží. Ve druhém podzemním podlaží bylo provedeno celkem deset průzkumných jádrových vývrtů. Všechny provedené sondy potvrzují pravdivost dodaného dobového řezu konstrukcí základů (obr. 2c). Jediná

Obr. 1 Pražské Florentinum – objekt A až H, sousední budovy sledované během stavby – 1 až 9 ■

Fig. 1 Florentinum in Prague – objects A – H, neighbour buildings monitored during the construction process – 1 to 9





Obr. 2 Půdorysy s označením sloupů a s vyznačenou zájmovou oblastí: a) 1. PP, b) 2. PP, c) řez objektem ■ Fig. 2 Layouts with marked columns and marked area of interest: a) 1<sup>st</sup> underground floor, b) 2<sup>nd</sup> underground floor, c) cross section

Obr. 3 Georadarový řez (250 Hz) ■ Fig. 3 Georadar section (250 Hz)

Obr. 4 Fresky v paláci Des Fours porušené trhlinami ■ Fig. 4 Frescoes in the Des Fours Palace with cracks

Obr. 5 Charakteristické řezy konstrukcí střešky a měřená stojka střešní konstrukce ■ Fig. 5 Characteristic sections of the roof structure and measured abutment of the roof structure

Obr. 6 Schéma zatěžovací zkoušky ■ Fig. 6 Load bearing test scheme

ze stropní konstrukci v nezměněném počtu (vyjma stykových). Za zmínku určitě stojí také fakt, že veškerá destruktivně odhalená výztuž nevykazovala téměř žádné známky koroze.

Veškeré zjištěné hodnoty STP prokázaly proveditelnost návrhu pasáže procházející objektem A v úrovni 1. NP do navazujících částí Florentina. V současnosti již tato pasáž plní svoji funkci.

#### MONITORING STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Při provádění staveb rozsáhlého charakteru, které ovlivňují své okolí, je prováděn také monitoring. Monitoring je soubor měření a sledování jak vlastní realizované konstrukce, tak i objektů v bezprostředním sousedství se stavbou. Zejména se jedná o měření, kterými je zjišťován pokles terénu, změna hydrogeologických poměrů nebo seizmické účinky od demoličních prací či stavební techniky. Sledovanými parametry jsou zejména deformace, náklony, poklesy, vznik a rozvoj poruch nosných konstrukcí nebo zatížení nadměrným hlukem.

V těsné blízkosti novostavby Florentina se nachází několik dalších funkčních budov (obr. 1) a bylo třeba zajistit jejich monitoring tak, aby v průběhu demolice starých budov i stavby nového objektu u nich nedošlo k porušení statiky nebo k jinému poškození.

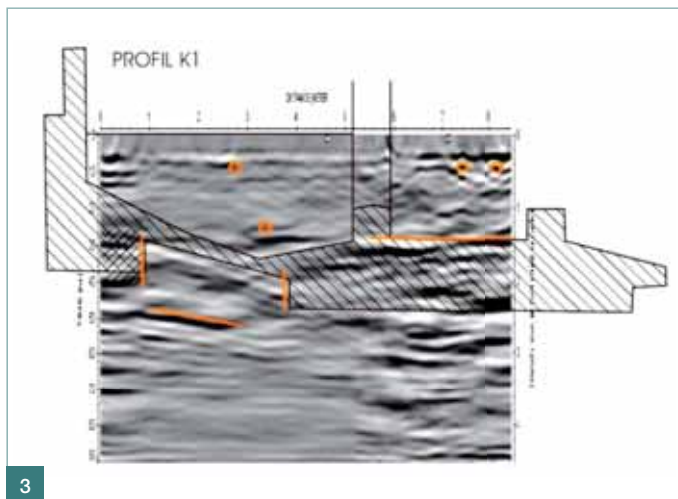
První z budov byl palác Archa, kde kromě kancelářských a komerčních prostor sídlí i divadlo Archa, dále bytový dům, s nímž přímo sousedí objekt AXA, kde se nachází mimo jiné hotel a plavecký bazén. Na něj pak navazuje budova kongresového centra U Hájků, která jižní stěnou přímo sousedí s objektem Typografie. V sousedství kongresového centra se nachází budova Fakulty dopravní ČVUT, administrativ-

neznámá je v případě vrtu označeného V10 provedeného ve čtvrtém traktu objektu. V tomto případě nebylo možné z technických důvodů vrt dokončit, ale ze získaných indicií se i v tomto případě dá předpokládat pravdivost zmíněné dokumentace.

Diagnostika svislých a vodorovných konstrukcí skeletového systému budovy již probíhala standardním způsobem, a to v kombinaci destruktivních i nedestruktivních metod. U přístupných konstrukcí byly provedeny jádrové vývrty a tam, kde nebylo možné odvrtačící aparaturu instalovat, byly provedeny zkoušky měření pevnosti betonu v tlaku pomocí Schmidtova kladívka.

Zjištění stupně vyztužení spočívalo v lokalizaci betonářské výztuže pomo-

cí Ferodetektoru a jejím následném obnažení pomocí bouracího kladiva. Ve všech zkoumaných vodorovných i svislých prvcích byla sondami zjištěna ocel kruhového průřezu s hladkým povrchem, která se lišila u různých prvků pouze průměrem. U sloupů bylo možné dle nalezené výztuže v jednotlivých konstrukcích konstatovat, že jsou tyto prvky vyztuženy souměrně, a to jak z hlediska vlastních os souměrnosti jednotlivých prvků, tak z hlediska příčné osy souměrnosti celého objektu, tzn. že prvky řady 5 jsou vyztuženy stejně jako prvky řady 8 (Sloup A5 = A8, B5 = B8, atd., obr. 2a). Dále se také prokázalo, že prvky jsou stejně vyztuženy i v obou podzemních podlažích (sloup A5\_1PP = A5\_2PP, atd.). Pruty tedy probíhají skr-



ní budova a vedle ní rohový palác Des Fours, historicky cenná budova z let 1845 až 1847. Budova, dnes nepoužívaná, je bohužel ve velmi nelichotivém stavu, a proto si vyžádala zvýšenou pozornost. Posledním sledovaným objektem byla budova Výzkumného a vývojového ústavu dřevařského.

Návrh metodiky monitorování byl vytvořen na základě pasportizace všech uvedených objektů před započítím demoličních prací. Pasportizaci i návrh metodiky provedli odborníci z ČVUT v Praze, částečně Experimentální centrum Fakulty stavební a částečně Kloknerův ústav. Navržené a schválené postupy monitoringu byly pak následně periodicky prováděny, kontrolovány a porovnávány s tzv. nulovým stavem. Metodika zahrnovala různé metody tak, aby jejich výsledky mohly poskytovat komplexní informace o sledovaných objektech.

První navrženou metodou bylo geodetické měření, kdy byly měřeny svislé posuny metodou velmi přesné nivelace a vodorovné posuny metodou sítě geodetických bodů.

Další použitou metodou bylo sledování šířky trhlin nalezených během pasportizace. V tomto případě byly použity dva postupy: jeden spočíval v lepení sádrových pásků kolmo přes trhliny s vizuální kontrolou jejich případného porušení, druhým navrženým postupem bylo sledování šířky a případného rozvoje trhlin pomocí deformetrů. K měření odklonu nosných konstrukcí od svislice byly použity inklinometrické snímače.

Důležité bylo také měření rozevírání kleneb, vzhledem k povaze konstrukčního systému budov paláce Des Fours a bytového domu v ulici Na Poříčí, protože byly obavy z jejich rozevírání po plánovaném odebrání zeminy, která celá desetiletí působila svým tlakem

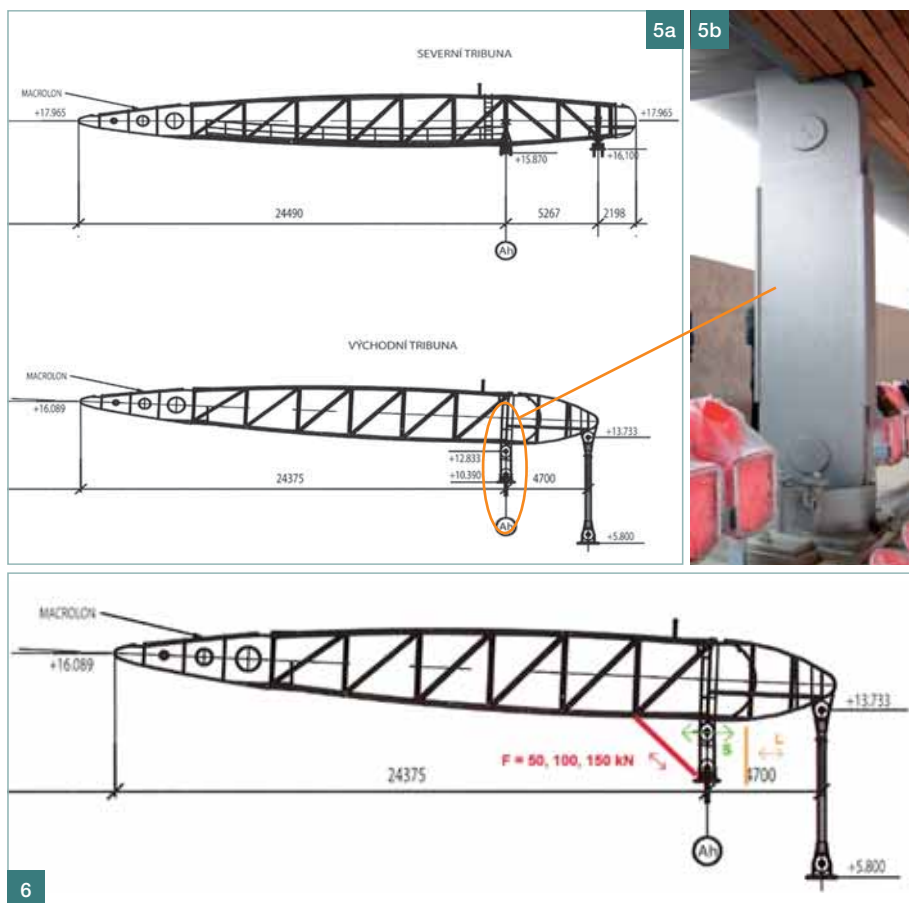
na spodní nosné stěny objektů. Ve vybraných budovách byly také před započítím prací měřeny účinky technické seismicity v souladu s ČSN 73 0040, např. v paláci Des Fours, v místnostech, kde jsou na stěnách vzácné fresky (obr. 4).

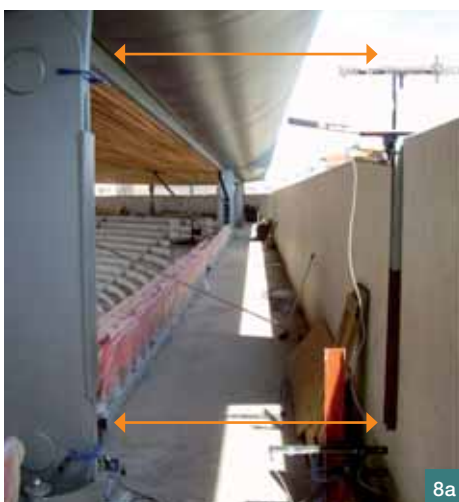
Po celou dobu monitoringu probíhala detailní vizuální kontrola, zejména nejexponovanějších částí objektů, s průběžným vyhodnocováním případných změn.

Monitoring byl přizpůsoben povaze a stavu jednotlivých sledovaných objektů a veškeré postupy, metody a časové intervaly měření byly projednávány

a schvalovány na tzv. radě monitoringu, ve které se setkávali zástupci všech participujících firem. Na těchto radách se posuzovaly výsledky měření, případně doporučovaly změny či mimořádná měření při zjištění zvýšení některých naměřených hodnot.

Během celé doby monitoringu, který trval téměř dva roky, nebyly naměřeny žádné deformace, které by dosahovaly mimořádných hodnot. Významné změny byly naměřeny pouze v případě paláce Des Fours a hotelu AXA, který byl právě v rekonstrukci. Změny však souvisely s tím, že během zimních měsíců nebyly tyto budovy vytápěny a teplotní





roztážnost materiálů se navenek projevila jako smršťení objektů, které bylo vyhodnoceno jako odklon budovy od stavební jámy.

Nadstandardní spolupráce stavebních firem a výzkumných pracovišť společně s investorem umožnila ochranu budov s architektonickou i historickou hodnotou v průběhu náročných demoličních a stavebních prací.

### STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

K přímému zjištění či ověření deformačních charakteristik konstrukcí v závislosti na zatížení se používají statické zatěžovací zkoušky. Jejich výsledky slouží především pro zjištění funkce zkoušené konstrukce, hodnocení její spolehlivosti z hlediska mezních stavů použitelnosti, hodnocení výpočtových modelů nebo posouzení spolehlivosti konstrukce, zejména v případě pochybností o shodě jejího provedení s požadavky návrhu. Měřenými parametry jsou v tomto případě zejména deformace, průhyby, posuny nebo poměrná přetvoření.

### Zjišťování deformací střešní konstrukce

Statická zatěžovací zkouška byla provedena při zjišťování deformací střešní konstrukce stadionu Slavie Praha. Nosná konstrukce střechy stadionu byla navržena z ocelových prvků a tvoří jeden velký celek bez dilatací. Tímto je dosaženo potřebné prostorové spolupůsobení excentricky podepřené konstrukce. Zastřešení tvoří uzavřený prsteneček po celém obvodu stadionu, a to v celé půdorysné ploše tribun.

Důvodem zkoušky bylo zjištění deformací střešní konstrukce vyvozené proudícím vzduchem. Především ve východní části tribuny může nastat situace, kdy rychlost proudu vzduchu mezi

tribunou a spodní plochou střechy bude výrazně vyšší než při horním povrchu střechy. Střecha tak bude přitěžována zvýšeným sáním při dolním povrchu. Rozhodující pro stabilitu celé konstrukce je vodorovná tuhost prstence. Během výstavby došlo ke změně projektu a podhledový trapézový plech byl nahrazen dřevěnými prkny a bylo obtížné stanovit horizontální tuhost výpočtem. Skutečná tuhost tak byla zjištěna zatěžovací zkouškou.

Požadavkem zatěžovací zkoušky bylo zjištění vlivu vodorovného zatížení střední dvojice střešních vazníků východní části tribuny na chování stojek (obr. 5). Prvním měřeným parametrem bylo zjištění relativního posunu horních čepů stojek vůči spodním čepům – vklonění stojek (obr. 6, označeno S). Dalším měřeným parametrem bylo zjištění absolutního posunu dolních čepů stojek – odtlačení konstrukce tribuny – vůči sousedním dilatačním polím tribuny (obr. 6, označeno L). Vodorovné zatížení v oblasti dvou středních vazníků východní tribuny mělo být 2 x 100 kN ve třech postupných krocích. Po konzultaci se zadavatelem zkoušky bylo dohodnuto, že vodorovné zatížení bude do konstrukce vneseno pomocí vložené šikmé vzpěry (obr. 6, označeno F), ve které bude vyvozen tlak postupně 50, 100 a 150 kN.

K monitorování relativního posunu horního vůči spodnímu čepu stojek A a B (obr. 7) byly použity indukativní snímače dráhy. Při měření bylo jádro snímače spojeno s měřeným bodem pomocí ocelové struny. Soustava struna – snímač – předpínací pružina byla na jednom konci ukotvena v měřeném bodě na nosné konstrukci čepu stojky, na druhém konci byla tato soustava upevněna na betonové konstrukci stěny ochozu (obr. 8). K získání požadova-

Obr. 7 Pohled na měřené stojky ■  
Fig. 7 View to the measured abutment

Obr. 8 a) Měření posunů čepů stojky, b) měřicí systém (struna – snímač – předpínací pružina) ■ Fig. 8 a) Measuring of the abutment hinges, b) measuring system (string – sensor – prestressed spring)

Obr. 9 Bezkontaktní měření posunu spodních čepů stojek ■ Fig. 9 Contactless measurement of the shift of the lower abutment hinges

Obr. 10 Hydraulický válec vložený do vzpěry ■ Fig. 10 Hydraulic drum placed into the brace

né hodnoty byly měřeny posuny obou čepů stojek vztažené ke zmíněné stěně, ze kterých byla následně získána hodnota jejich vzájemného posunu.

Absolutní posun dolních čepů stojek A a B vzhledem k okolním stojkám byl měřen bezkontaktní metodou pomocí laserových snímačů dráhy sledujících vzdálenost měřených bodů od lanka nataženého mezi stojkami sousedních dilatačních polí tribuny (obr. 9). Na takto nataženém lanku byly zavěšeny odrazné destičky pro odraz signálu laserových snímačů.

Střecha byla zatížena dvojicí vodorovných sil. Síly působily současně při dolním pase středních vazníků, kam byly vnášeny prostřednictvím šikmých vzpěr. Síly byly vyvozeny dvojicí hydraulických válců, které byly pomocí přírub, speciálně vyrobených pro tento konkrétní případ zkoušky, vloženy do těchto šikmých vzpěr. Zatěžovací válce byly napojeny na hydraulické pumpy s odečítáním hodnot z manometrů (obr. 10).

Oba hydraulické válce bylo nutné předem nakalibrovat v laboratoři, aby byl zjištěn přepočít tlaku oleje v soustavě, který ukazovaly manometry na výslednou sílu válce v kN.

Požadavkem zadavatele bylo, aby ce-



9



10

lá zkouška byla provedena za bezvětrí a do konstrukce tak nebyly vnášeny žádné síly. Rychlost větru byla proto monitorována anemometrem umístěným nad střechou tribuny. Měření bylo doplněno monitorováním průběhu teploty prostředí pomocí platinových teploměrů.

Zatěžování probíhalo postupně ve třech krocích a při každém zatěžovacím stupni byla síla vnášena do konstrukce po dobu 60 s. Po odlehčení konstrukce byla změřena trvalá deformace zatěžované konstrukce. Stejný postup zatěžování byl opakován celkem třikrát.

Při maximálním zatížení vykazovaly deformace cca polovičních hodnot, než byla maximální výchylka stanovená porovnávacím výpočtem, který vycházel z horizontální tuhosti prstence střechy potřebné pro bezpečné zajištění stability konstrukce namáhané nejnepříznivější kombinací zatížení.

### ZÁVĚR

Článek popisuje na konkrétních příkladech několik metod diagnostiky stavebních konstrukcí.

Pomocí stavebně-technického průzkumu budovy v těsném sousedství nové stavby Florentina na pražském Florenci byly ověřeny a doplněny historické dokumenty a výsledky tohoto průzkumu zároveň sloužily pro další projektovou činnost svázanou s návrhem nové pasáže procházející tímto objektem v oblasti 1. NP.

Při stavbě Florentina byl proveden také monitoring všech okolních budov v bezprostřední blízkosti nejprve demolice původních a poté nově vznikajících objektů. Vzhledem k charakteru stavby sloužil monitoring jako bezpečnostní indikátor všech činností, které byly na stavbě prováděny.

Zatěžovací zkouška ocelové konstrukce na stadionu Slavie Praha v Edenu

naproti tomu prokázala spolehlivost a bezpečnou stabilitu nově postavené stavby. Naměřené deformace mnohdy i několikanásobně splňovaly požadavky dané statickým výpočtem či dané bezpečným a spolehlivým provozem instalovaných zařízení.

Všechna v článku popisovaná měření byla provedena pracovníky Experimentálního centra stavební fakulty ČVUT v Praze.

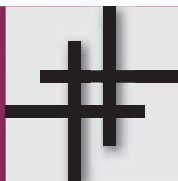
Článek vznikl za podpory projektu Centrum excelence v základním výzkumu P105/12/G059.

doc. Ing. Jiří Litoš, Ph.D.  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Experimentální centrum  
tel: 602 684 437  
e-mail: litos@fsv.cvut.cz



# BETOSAN<sup>®</sup>

DRŽITEL CERTIFIKÁTU ČSN EN ISO 9001 A 14001



alternativa,  
kterou oceníte

## Sanace železobetonu

ZPEVNĚNÍ PODKLADU  
ADHEZNÍ MŮSTKY – ZLEPŠENÍ ADHEZE  
REPROFILACE BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ  
FINALIZACE POVRCHU – TENKOVRSŤVÉ STĚRKY  
HYDROFOBIZACE – OCHRANA POVRCHU  
NÁTĚROVÉ SYSTÉMY

[www.betosan.cz](http://www.betosan.cz)

OBCHODNĚ-TECHNICKÁ KANCELÁŘ

Nová cesta 291/40 tel./fax: 241 431 212  
140 00 Praha 4 e-mail: praha@betosan.cz