

VÝMĚNA A PŘESUN SLOUPŮ ŽELEZOBETONOVÉHO RÁMU S VYUŽITÍM PŘEDPÍNACÍCH KABELŮ ■ REPLACEMENT AND RELOCATION OF REINFORCED FRAME COLUMNS

Ladislav Klusáček, Zdeněk Bažant, Jiří Strnad

A prestigious engineering factory nearby Kroměříž has been using an old concrete object for production and storage purposes. To be able to exploit the ground floor better, it was required to remove two internal columns of the hall. To compensate for this removal, a new concrete column in the middle of the hall was constructed. Securing of the columns on upper floors was provided by using prestressed tendons. ■ A prestigious engineering factory nearby Kroměříž has been using an old concrete object for production and storage purposes. To be able to exploit the ground floor better, it was required to remove two internal columns of the hall. To compensate for this removal, a new concrete column in the middle of the hall was constructed. Securing of the columns on upper floors was provided by using prestressed tendons.

POPIS KONSTRUKCE A ZADÁNÍ

Masivní třípodlažní nepodsklepená stavba pochází dle výkresové dokumentace z roku 1960. Vzhledově prokazuje na první pohled svůj původ – jedná se o tzv. „Baťův skelet“, stavěný v dřívějších dobách firmou Baťa. Vystavěn byl ostatně Průmyslovými stavbami, n. p., Gottwaldov, což byla následná organizace, vzniklá z původní Baťovy stavební firmy.

Půdorysně jde o třítakt (obr. 1), osově (7,5 + 3 + 7,5) x (15 x 6) m, výšky podlaží (zaokrouhleně) jsou u 1. NP 6,2 m, u 2. NP 5,4 m a u 3. NP 3,8 m.

Základovou konstrukci tvoří železobetonové čtvercové dvoustupňové patky pod vnějšími sloupy, spojené podélným pásem, pod vnitřními dvěma sloupy je vybetonována společná obdélníková dvoustupňová patka.

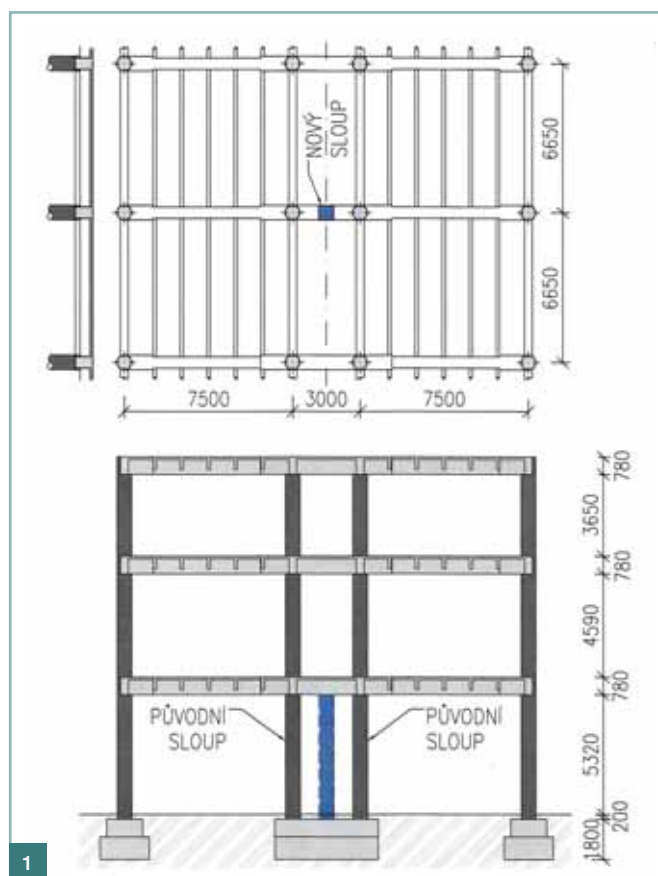
Nosnou svislou konstrukcí jsou sloupy kruhového půdorysu \varnothing 0,65 m, vodorovně mezi sloupy v příčném směru jsou provedeny rámové průvlaky, zčásti rozšířené u vnějších sloupů a v celé šíři mezi sloupy vnitřními. Tvar příčného rámu s původním průběhem ohybových momentů na příčnici nad 1. NP v charakteristických hodnotách je uveden na obr. 2. Mezi příčnými rámy jsou vedeny ve fasádách a uvnitř objektu čtyři podélné ztužující průvlaky. Strop byl vyroben jako železobetonový trámečkový, systému Hennebique (trámečky orientovány podélně stavby), bez podhledu.

Fasády jsou vyzděny (zdívo na podélných ztužidlech a na koncovém příčném rámu) a opatřeny velkými okny. Vnitřní členění stavby je jen místní – použity byly dělicí příčky, schodiště apod. Vstup do stavby je několika vraty a dveřmi v 1. NP, mimo to je stavba propojena s ostatními okolními objekty.

Pro zvětšení prostoru 1. NP pro montáž strojního automatu pro unikátní automobilovou výrobu bylo požadováno odstranění dvou středních sloupů jednoho vnitřního rámu haly. Z prostorových důvodů bylo přípustné jejich nahrazení pouze jedním novým železobetonovým sloupem uprostřed rozponu haly.

Dostupné podklady

Projektanti měli k dispozici neúplnou projektovou dokumentaci [4], která se v některých detailech lišila od skutečnosti. Z dokumentace nebylo patrné vyztužení konstrukce a sporná byla také hloubka založení patek.



Ověření a doměření výkresů provedli autoři statického projektu při zpracovávání dokumentace úpravy [2]. Při stavbě bylo pak nutné upravovat postup prací podle skutečnosti na místě samém – zejména se to týkalo základových konstrukcí, např. střední patka pod dvěma kruhovými sloupy uvnitř stavby měla zcela jiný tvar, než bylo uvedeno v původních výkresech. Skutečný tvar byl zjištěn až po odkopání základu při realizaci.

Stavebně statický, materiálový a inženýrsko-geologický průzkum

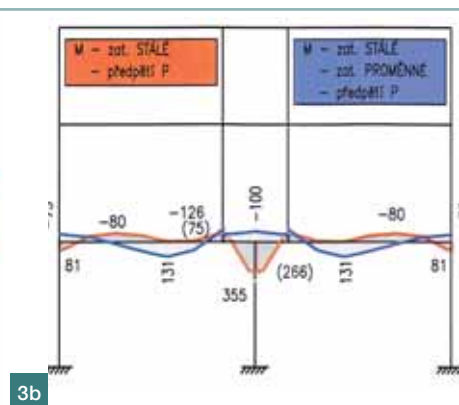
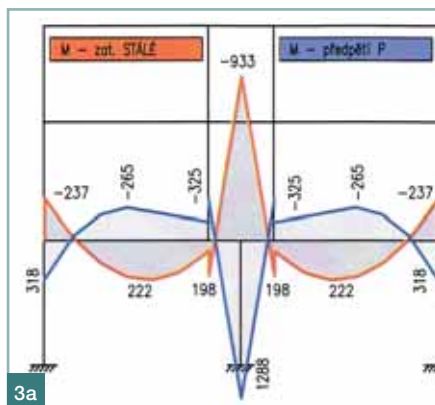
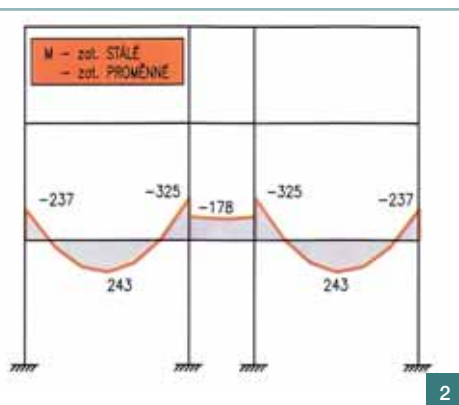
Stavebně statický a materiálový průzkum mohl být zajištěn z provozních důvodů jen v mírném předstihu před zahájením projekčních prací – to značně komplikovalo návrh řešení a projektování, neboť bylo nutné již hotové výkresy upravovat podle zjištěných skutečností. Zejména se to týkalo značně proměnné kvality betonu (C8/10 až C12/15). Vyztužení jednotlivých prvků bylo velmi úsporné, rozložení prutů bylo nepříliš pravidelné. Pro hlavní vyztuž byla použita ocel J – 10 335, tříminky byly provedeny z výztuže hladké (zřejmě E – 10 216) [5].

Stav budovy byl poměrně dobrý. Nebyly nalezeny žádné zřejmé poruchy, také nedocházelo k poklesům v základech. Na úspěšnost statické úpravy a rekonstrukce stav objektu neměl negativní vliv.

Inženýrsko-geologický průzkum nebyl z provozních důvodů proveden, skladba podzákladů však byla ověřena pomocí [7]. V podloží se vyskytují fluvialní písky až písčité štěrky ne-

Obr. 1 Tvar konstrukce; půdorys, řez ■ Fig. 1 Form of the structure, ground plan, cross section

Obr. 2 Ohybové momenty na původní konstrukci ■ Fig. 2 Bending moments on the original structure



Obr. 3 Ohybové momenty na konstrukci s novým sloupem, a) vyrovnání momentových účinků stálého zatížení předpínacími kabely, b) zbytkové ohybové momenty po sanaci ■ Fig. 3 Bending moments on the structure with new column, a) equalization of bending effects of death load using prestressing strands, b) residual bending moments after reconstruction

členěné hlavní terasy a dále i písčité štěrky výplavových kuželů (střední pleistocén – riss). Základovou půdu lze zatřídit jako S2, s charakteristickou únosností 500 až 600 kPa (dle šíře základu a hloubky založení).

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ NÁHRADY SLOUPŮ JEDNÍM NOVÝM SLOUPEM

Obecné řešení

Náhrada dvou původních sloupů jedním novým sloupem uprostřed rozponu celé haly představovala náročnou výzvu. Jde o zásadní změnu statického systému monolitického rámu o třech polích na rám o dvou polích, a to pouze ve spodním podlaží. Sloupy horního podlaží působí velkými silami na rámový přičel a po odstranění jejich podpor, spodních sloupů, je jejich přenesení klíčovou úlohou technického řešení.

Změna statického systému v existující rámové konstrukci vede vždy na výrazné zvýšení ohybového namáhání původního průvlaku. Jedná-li se navíc o železobetonovou konstrukci, objevují se komplikace z důvodu chybějící výztuže v průřezích nově silně namáhaných.

Obecně lze zesílení průvlaku řešit radikálním zvýšením jeho tuhosti. Toho lze dosáhnout u železobetonových rámu výrazným zvětšením jeho průřezu, např. přidáním výztuže a stříkaným betonem. Toto tradiční řešení lze uplatnit zpravidla jen tehdy, je-li pro zvětšovaný průřez dostatek prostoru nejen po stranách průvlaku, ale i pod ním a nad ním. Ve stísněných prostorech a také tam, kde se nejedná o celkovou rekonstrukci budovy se změnou podlah, je výrazné zvětšení původního průřezu nad ním omezeno mocností podlahových vrstev; jsou-li podlahy tenkovrstvé, pak tradiční zesílení nelze realizovat vůbec.

Řešení vhodně navrženou soustavou předpínacích kabelů využívající LBM (Load Balancing Method) nahrazuje radiálním působením kabelů podpůrný efekt původních sloupů a také výrazně redukuje záporné ohybové momenty nad nově budovanými podporami. Redukce může být při vhodném vedení kabelů tak účinná, že lze prakticky úplně eliminovat zvětšené ohybové účinky ze změny statického schématu, způsobené vlastní tíhou konstrukce. Tak tomu bylo i u popisované konstrukce. Zesílení původního průvlaku přidáním výztuže a stříkaným betonem potom přenáší spolu

s již předepnutým průvlakem jen namáhání způsobené proměnným zatížením. To bývá vzhledem k vlastní tíze relativně malé. Zvětšení původního průřezu lze pak provést úsporně, v řešeném případě postačovalo rozšíření o 100 mm pouze v části původního průvlaku.

Vedení přepínacích kabelů

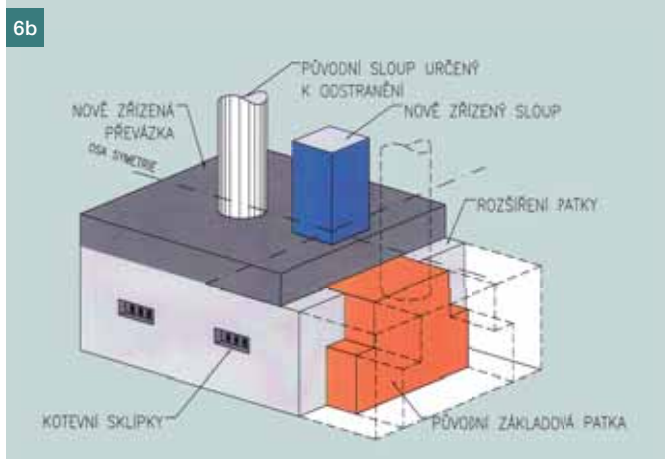
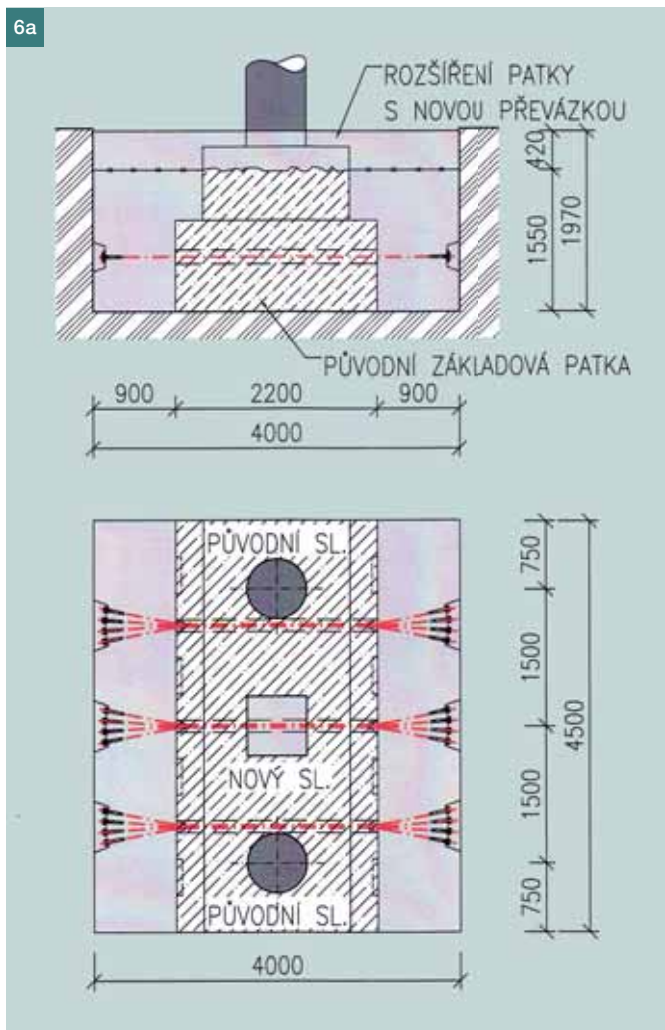
Náhrada původního podepření dvou středních sloupů ve vyšších podlažích se provedla jejich vynesením ve stropu nad 1. NP předpínacími kabely, které byly vedeny přes nový sloup; takto byla vybalancována vlastní tíha skeletu. Namáhání, vznikající proměnným zatížením, jsou nově přenesena ohybovým zesílením stávajícího rámového průvlaku přibetonováním a přidáním výztuže v celé jeho střední části. Úpravou vznikl v 1. NP z třítaktu dvoutakt.

Návrh vedení lan prodělal několik fází. Všechny nerealizované verze vždy předpokládaly vynesení sloupů vyšších podlaží pomocí nového středního sloupu v 1. NP. Výsledný a provedený návrh se lišil tím, že lana nebyla již vedena šikmými dlouhými vrty od vnějších sloupů ke dvojici v 1. NP odstraněných sloupů a nad novým středním sloupem stavby, ale z důvodů snazšího provádění byly dlouhé vrty nahrazeny v jiné poloze soustavou vrtů kratších, šikmých. Pro výsledný projekt, vzhledem ke změně statického schématu, byl proveden nový výpočet, který ovšem vyžadoval větší počet lan.

Nový tvar příčného rámu se změněným průběhem ohybových momentů na přičli nad 1. NP v charakteristických hodnotách je uveden na obr. 3. Je třeba poznamenat, že oba tyto průběhy momentů jsou ve skutečnosti fiktivní – tento stav nenastal, neboť původní sloupy nebyly dosud odstraněny. Ukázka vedení předpínacích lan je uvedena na obr. 4.

Zesílení základu

Více než dvojnásobná síla proti akcím původních dvou sloupů se převedla do upraveného starého společného základu novým středním sloupem. Původní základ byl konstruován jako slabě vyztužený krátký pás pro dvojici odstraňovaných sloupů (přitom o vyztužení tohoto spojovacího žebra jinde než u povrchu nebylo nic známo). Po přenesení bodové síly do jeho středu se zvýšené namáhání jak v konstrukci základu, tak nově přerozdělené napětí v základové spáře, řešilo rozšířením základu a doplněním vyztužení. Nejprve se zesílila (přibetonovala) dolní část patky (obr. 5), která se



příčně předeptala tak, aby se zatížení v novém uspořádání přeneslo do středu původní patky. Pro předeptnutí základu byly použity tři kabely, každý po čtyřech lanech (předpínací stabilizovaná nízkorelaxační obalovaná lana Monostrand – 15,7/20 mm, 1770/1860 MPa), která se napínala na síly cca 200 kN. Množství lan a velikosti napínacích sil byly voleny bezpečně tak, aby se vyloučila jakákoliv porucha původně problematické, nově zesílené patky. Bylo popsáno pořadí napínání jednotlivých lan a napínalo se z obou stran. Teprve po předeptnutí se dobetonovala horní část patky a vytvořila se tak „převázka“ (obr. 6).

Pro zesílení patky bylo vyloučeno použití mikropilot jako nevhodné a neproduktivní. Původní patka byla příliš subtilní a málo vyztužená, než aby u ní bylo možné bez manžetového zesílení (obetonováním) aplikovat mikropiloty.

Obr. 4 Vedení předpínacích lan na spodním líci průvlaku
 ■ Fig. 4 Leading of the prestressed tendons on the floor girder soffit

Obr. 5 Pohled na původní konstrukci, zesílený základ je přichystán k betonáži
 ■ Fig. 5 View of the original structure, strengthened foundation is ready to the concreting

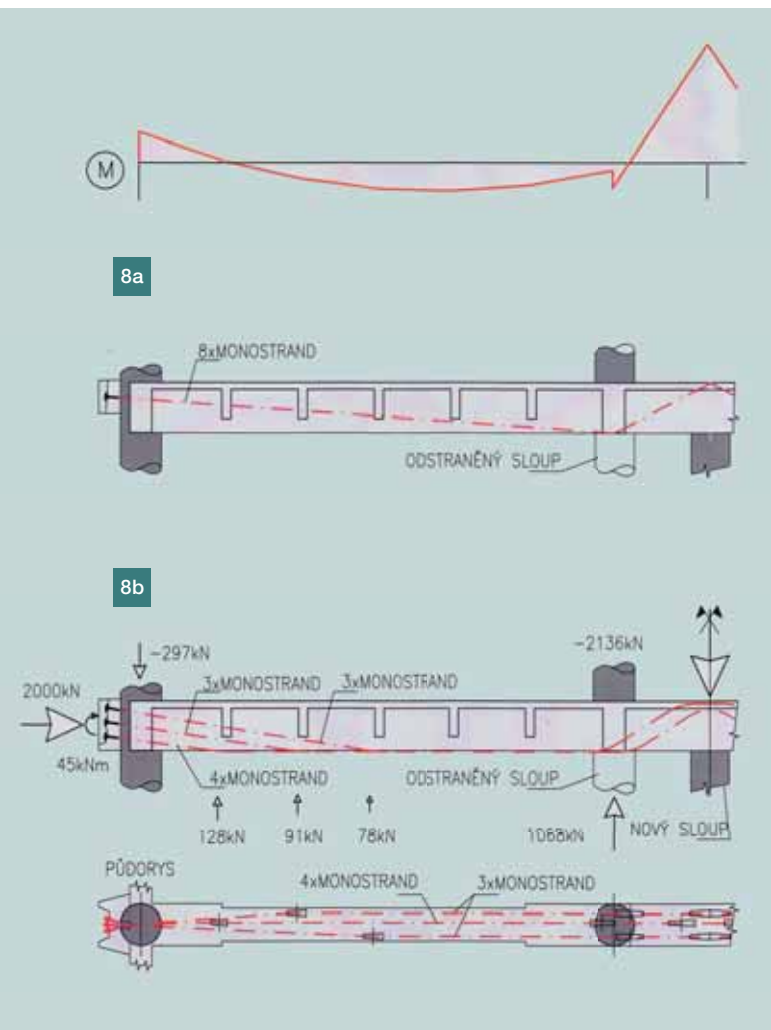
Obr. 6 a) Tvar původní patky se zesílením a spřažením příčným předpětím, b) skladba původní a zesílené patky s novým sloupem
 ■ Fig. 6 a) Form of the original foot, strengthening using transversal prestressing, b) original and strengthened foot with a new column

Obr. 7 Připravená výztuž nového sloupu
 ■ Fig. 7 Ready-to-use new column reinforcement

Obr. 8 Uspořádání předpínací soustavy; a) teoretický návrh, b) skutečně realizované dráhy jednotlivých lan
 ■ Fig. 8 Arrangement of prestressing system, a) theoretical design, b) real individual strand trajectories

Obr. 9 Nový sloup, zesílení střední části průvlaku
 ■ Fig. 9 New column, strengthening of the middle part of the floor girder

Obr. 10 Konečná úprava konstrukce, dva sloupy odstraněny
 ■ Fig. 10 Final form of the structure, two columns were removed



Následně byl na zesílenou patku vybetonován nový střední sloup 0,65 x 0,65 m; propojení sloupu s průvlakem nad 1. NP bylo provedeno později (obr. 7).

Soustava předpínacích kabelů

Pro předpínání průvlaku bylo použito deset předpínacích stabilizovaných (nízkorelaxačních) obalovaných sedmistrátových lan (Monostrandů – 15,7/20 mm, 1770/1860 MPa), která se napínala na síly cca 200 kN (obr. 8). Vzhledem k tomu, že proměnné zatížení ve 2. a 3. NP rekonstruované stavby nebylo jednoznačně definováno, bylo množství lan a velikosti napínacích sil voleno bezpečně tak, aby nedošlo v budoucnosti při zvýšení zátěže k problémům. Bylo přesně popsáno pořadí napínání jednotlivých lan; napínalo se z obou stran. Nový tvar příčného rámu se změněným průběhem ohybo-

vých momentů na příčli nad 1. NP v charakteristických hodnotách od předpětí je uveden na obr. 3b. Opět je třeba poznamenat, že průběh momentů je ve skutečnosti fiktivní, neboť původní sloupy nebyly v této fázi ještě odstraněny.

Dodatečné vedení a působení zesilujících předpínacích kabelů do betonu u základu i průvlaku se provedlo metodou SDC – metodou náhradních kabelových kanálků. Náhradní kabelové kanálky se realizovaly diamantovou vrtací technikou s elektrickým pohonem ze spodního líce průvlaku. K vrtání byl použit vrtací suport, který umožnil s dostatečnou přesností nastavení směru vrtání ve svislé i vodorovné rovině. Pro zajištění plynulého přechodu lan při změnách směru byly použity deviátory (sedla), zajišťující přenos radiálních sil a současně vhodným a šetrným způsobem dovolily měnit směr lan.

Podklady a literatura:

- [1] Prohlídka objektu, dokumentace stávajícího stavu 09/2010
- [2] Ověření rozměrů konstrukce 10/2010 (Anton O., Bažant Z., Klusáček L., Strnad J.)
- [3] Objednávka z 08/2010 na vypracování projektové dokumentace stavební úpravy. Mitrenga-stavby, spol. s r. o., Malešovice 144, 664 65 Malešovice
- [4] Část původní výkresové dokumentace. Průmyslové stavby Gottwaldov, n. p., 1960 (archiv Chropyšské strojírny, a. s.)
- [5] Anton O., Cikrle P.: Zpráva o průzkumu železobetonové haly Chropyšské strojírny, a. s., VUT v Brně, FAST, ÚSZ, Veveří 92, 602 00 Brno, 10/2010
- [6] Bažant Z., Klusáček L.: Statika při rekonstrukcích objektů. 5. vydání, CERM Brno 08/2010
- [7] Geologická mapa ČR, list 25–31 Kroměříž, 1 : 50 000
- [8] Bureš J.: Protokol o měření deformací při statické úpravě jednoho pole příčného rámu nosné konstrukce, číslo 00693/2010, Brno 2010

Kotvení se provedlo zapouzdřeným jednolanovým kotevním systémem Dywidag CPS. Kotevní oblasti byly navrženy kombinací sekání a betonování mikrobetonem v původní a nové konstrukci. Tvar kotevního sklípku byl zhotoven a upraven tak, aby tvar dosedací plochy byl kolmý k ose kanálu.

Spojení mezi průvlakem a novým sloupem bylo zajištěno ocelovým svařencem, který zajistil průchod předpínacích lan a současně umožňoval později na dolním líci zesílit střední částí průvlaku přidanou betonářskou výztuží. Po aktivaci byl svařenec shora proinjektován. Teprve tehdy, po předeptnutí kabelů a tedy po přenesení reakce od vlastní tíhy na střední sloup, byly odbourány oba, nyní již nepotřebné sloupy. Po napnutí kabelů byly kabelové kanálky zainjektovány, k injektáži byl použit Groutex Fine.

Zesílení střední části průvlaku střikaným betonem

Posléze (po napnutí kabelů a následném odbourání sloupů) byl střední průvlak zesílen pro proměnné zatížení položením doplňující výztuže na vykrytí dodatečných vnitřních sil na dolní i horní líc průvlaku. Výztuž byla uložena do drážek a vývrtů v původním betonu, těmínky se protáhly vrtanými otvory přes stropní desku až na horní povrch průvlaku. Průvlak byl pak obetonován (obr. 9) a deska se na horním povrchu zesílila. Přitom došlo k mírnému zvýšení úrovně betonu, jehož povrch nyní tvoří přímo podlahu; výškový rozdíl se napojil vrstvou betonu ve sklonu. Výsledný průběh momentů v charakteristických hodnotách je uveden na obr. 3b. I po předpětí zůstává zvýšené normálové napětí v příčli v přípustných hodnotách.

Ochrana kabelů

Ochrana předpínacích lan na spodním povrchu průvlaku před mechanickým (i náhodným) narušením byla zajištěna dodatečným překrytím. Připomíná se, že spolehlivost překrytí jak lan, tak i výztuže je o to důležitější, že nikdy nelze vyloučit možnost požáru. Přitom u oceli i betonu se s výrazným nárůstem teploty mění jejich pevnostní charakteristiky a následky zahoření by mohly mít destruktivní charakter. Proto musela být konstrukce posouzena i na účinky požáru.

GEODETICKÉ OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI REKONSTRUKCE

Kontrolní výpočty deformací prvků stavby při rekonstrukci byly předem zjištěny početně a počítačovou simulací. Pro potvrzení získaných výsledků bylo před, během a po dokončení prací zajištěno přesné geodetické chování konstrukce [8], které prokázalo velmi dobrou shodu výpočtů se skutečností.

Při předpínání (bez odstraněných původních sloupů a se sloupem novým) došlo k pozvednutí konstrukce o cca 0,5 mm; po odbourání sloupů došlo k celkovému poklesu o 1,78 mm.

KE KVALIFIKACI PROVÁDĚCÍHO PODNIKU

Prováděcí podnik, který prováděl statické zajištění, musel mít:

- potřebné vyškolené pracovníky a zařízení pro realizaci velmi přesných a dlouhých vrtů pod malými úhly bez vnášení otřesů do konstrukce,
- odborné pracovníky pro předpínací práce, kteří vlastní průkazy pro obsluhu strojů a jsou odpovídajícím způsobem vyškoleni,
- zařízení pro předpínací práci,
- odpovídající reference a zkušenosti se zmíněnými technologiemi,
- osvědčení ISO 9001.

ZÁVĚR

Náročná rekonstrukce, spojená s radikální změnou statického systému, lze výhodně navrhovat pomocí dodatečného předpětí vhodně navrženou soustavou předpínacích kabelů z monostrandů (obr. 10). V šikmých úsecích je lze výhodně umístit do původního betonu, v přímých úsecích je lze vést při povrchu původní konstrukce. Statické a deformační efekty jsou jasné a předvídatelné. Dodatečná deformace konstrukce je zanedbatelná.

Na základě realizovaných zkoušek, projektu a provedení prací je nutno všeobecně podotknout:

- Nelze se spoléhat na tvary z původní dokumentace (což platí i tehdy, pokud výkresy vůbec existují). Skutečné tvary a vyztužení se mohou od výkresů zásadně lišit a platí to i pro poměrně nové konstrukce.
- Dodavatel si musí zajistit vhodným jednáním s investorem spolehlivé financování prací. Pokud investor není dostatečně velkorysý, mohla by se prováděcí firma dostat do potíží. Tak tomu bylo v popsáném případě, kdy se skutečnosti na stavbě podstatně lišily od torza existujících výkresů.
- Práce je třeba rozplánovat tak, aby byl dostatečný časový prostor na nezbytné technologické přestávky (např. pro tvrdnutí betonu).
- Pokud se jedná o rekonstrukci složitou a citlivou na zajištění správné statické funkce rekonstruované konstrukce, měl by mít stavbyvedoucí vysokoškolskou kvalifikaci s odpovídající autorizací. Nižší odborné vzdělání v podobných případech nepostačuje.
- Práce vyžadují trvalý dozor projektantů ve všech závažných fázích prací (vrtání kanálků, protahování lan, napínání lan, betonáž základů a sloupů, bourání původních sloupů atd.).

Projekt byl zpracován za finančního přispění MŠMT ČR v rámci výzkumného záměru MSM 0021630519 „Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce“.

Doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.



Doc. Ing. Zdeněk Bažant, CSc.

Ing. Jiří Strnad, Ph.D.



všichni: Ústav betonových a zděných konstrukcí
Stavební fakulta VUT v Brně
Veveří 95, 602 00 Brno