



VELKOROZPONOVÁ KONSTRUKCE SPORTOVNÍ HALY Z PREFABRIKOVANÝCH BETONOVÝCH LOMENIC

INNOVATIVE LARGE SPAN SPORTS HALL STRUCTURE FROM PRECAST CONCRETE WITH FOLDED PLATES

Massimo Lafranchi, Armand Fürst

1

Nová hala pro sportovní tréninkové centrum Univerzity aplikovaných věd FHNW v Brugg (Aargau, Švýcarsko) byla postavena podle vítězného projektu, který vzešel z mezinárodní architektonické soutěže. Výsledkem inovativního architektonického a konstrukčního řešení je uspořádání všech sportovišť do jediné budovy o délce 80 m a šířce 55 m zastřešené lomenicovou konstrukcí z pohledového betonu. Prefabrikovaná dodatečně předpínaná betonová skořepina tvořená dvaceti sedmi rámy překlenuje více než 52,6 m. ■ The new hall for a sports training centre of the University of Applied Sciences FHNW in Brugg (Aargau, Switzerland) is a result of a competition for interdisciplinary teams with architects and structural engineers. The innovative architectural and structural idea of the winning team resulted in arranging the sports facilities in a unique building with a length of 80 m and a width of 55 m roofed by a folded fair-faced concrete structure. The folded structure spans over 52.6 m and is conceived as a precast and post-tensioned concrete shell with 27 structural frame units.

Švýcarské město Brugg a Univerzita aplikovaných věd FHNW zorganizovaly architektonicko-konstrukční soutěž, jejímž cílem byl návrh nového sportovního centra s dvěma velkými tělocvičnami (pro tři hřiště), několika menšími, učebnami a také s venkovním hřištěm. Pozemek pro stavbu leží v rekreační oblasti u řeky Aare, v těsné blízkosti železniční trati Zürich-Basel a citlivé zasažení nové budovy do okolního terénu s respektem k jeho charakteru bylo jednou z podmínek soutěže.

Prostory velkých tělocvičen jsou zvednuty nad úroveň terénu a umožňují volný výhled do okolní krajiny. Mírný sklon terénu směrem k řece dovolil umístit menší tělocvičny a foyer pod hlavní prostor a jsou přístupné od řeky (obr. 1). Kanceláře, šatny a zázemí se nacházejí jednak v centrálním křídle mezi dvěma velkými tělocvičnami a jednak pod nimi (obr. 2).

Vzhledem k poloze a vnějším proporcím bude stavba přitahovat pozornost cestujících ve vlacích projíždějících

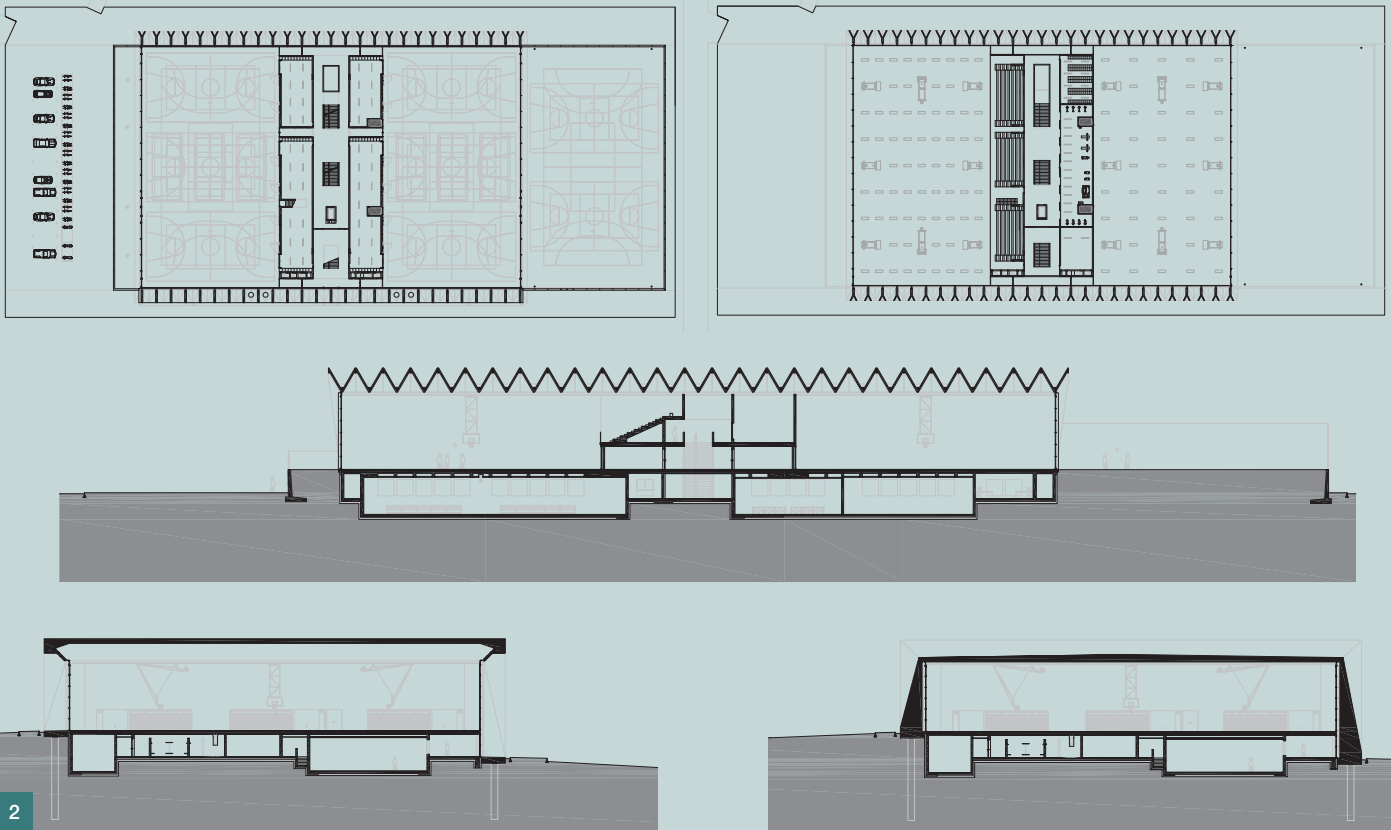
v těsném sousedství. Tento fakt stejně jako potřeba zastřešit volný prostor o rozpětí více než 50 m vedly k čistému konstrukčnímu přístupu pro návrh vnějšího pláště budovy. Výsledkem je tenkostěnná betonová lomenice, která zastřešuje všechna sportovní a učební zařízení. Pro prosklené fasády v čele budovy jsou podporou čelní střešní vazníky. Stropní konstrukce s tepelnou izolací je zavěšena na spodním líci střešních vazníků, zatímco prolomané sloupy chrání a stíní prosklení na podélných stranách budovy. Dešťová voda se shromažďuje v úžlabí střešních desek a stéká po sloupech, které svým tvarem slouží jako odvodňovací žlaby, k zemi.

POPIS A NÁVRH PREFABRIKOVANÉ KONSTRUKCE

Veškeré podzemní konstrukce, stropní desky a stěny malých tělocvičen jsou z monolitického betonu. Rámová konstrukce s lomenými deskami je navržena z betonových prefabrikátů. Jejich

konstrukční tvar a příčný řez byly navrženy s přihlédnutím k možnostem daným výrobním zařízení. Samozhnutelný beton a technologie dodatečného předpínání umožnily realizovat ekonomicky nejvhodnější návrh ve vysoké kvalitě provedení. Tloušťka konstrukčních prvků je zredukována na minimum, ale pouze do té míry, aby bylo možné do průřezu umístit předpínací výztuž kotvenou v rozích rámu, aniž by došlo k narušení vzhledu pohledové konstrukce. Rozměry dílců konstrukce byly zvoleny s cílem minimalizovat celkový počet styčniců. Váha a délka prvků byla dále omezena manipulací při výrobě a také podmínkami silniční přepravy. Dvacet sedm sloupů směrem k železnici má výšku 11,1 m a hmotnost 35 t, sloupy na straně u řeky mají každý výšku 14,3 m a hmotnost 43 t. Střešní vazníky (81 kusů) mají konstantní délku 16,3 m a hmotnost okolo 49 t.

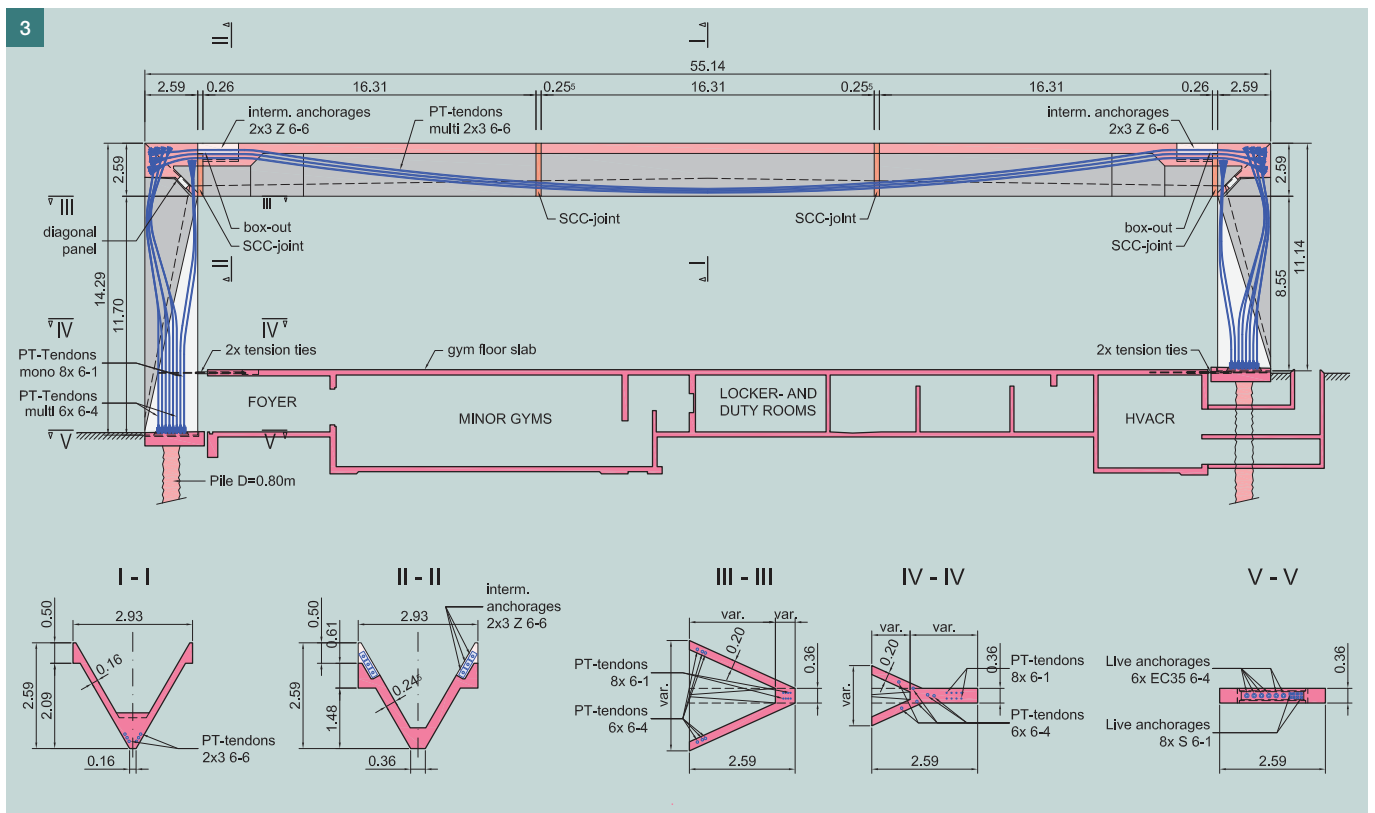
Spoje střešních a sloupových prvků jsou zmonolitněny betonovou zá-

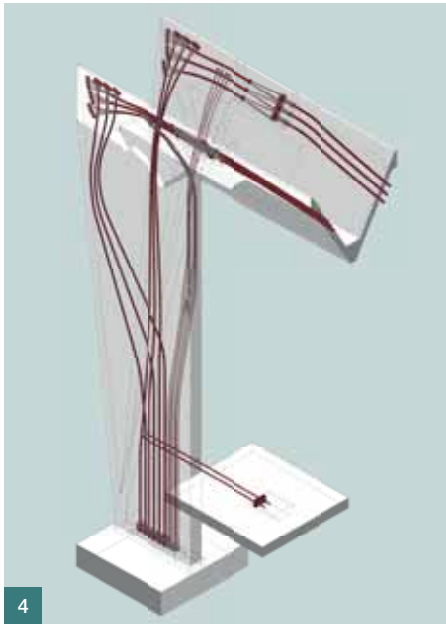


Obr. 1 Pohled na betonovou lomenicovou konstrukci s prosklenými fasádami ■ Fig. 1 View of the folded-plated concrete structure with glazed facades at the front and longitudinal sides

Obr. 2 Půdorysy a řezy ■ Fig. 2 Layouts and sections

Obr. 3 Podélný a příčné řezy příčným rámem, prefabrikované střešní a sloupové nosníky na stavbě zmonolitněné styčníky a dodatečně předpínanou výztuží ■ Fig. 3 Longitudinal section and cross sections of a frame unit (FU), showing the precast roof and columns beams, the cast-in-situ joints and the post-tensioning tendons





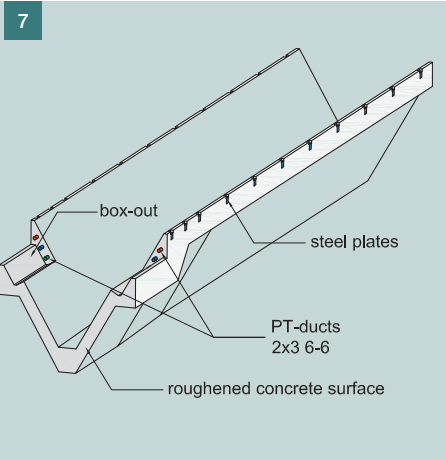
4



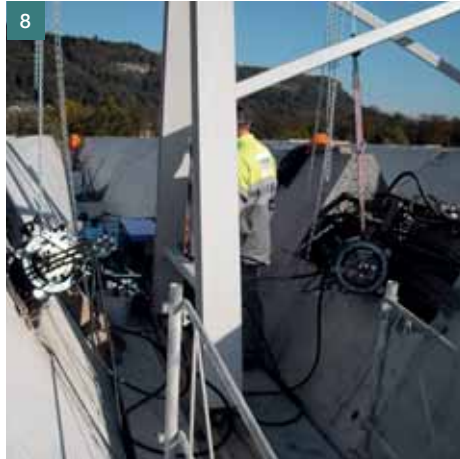
5



6



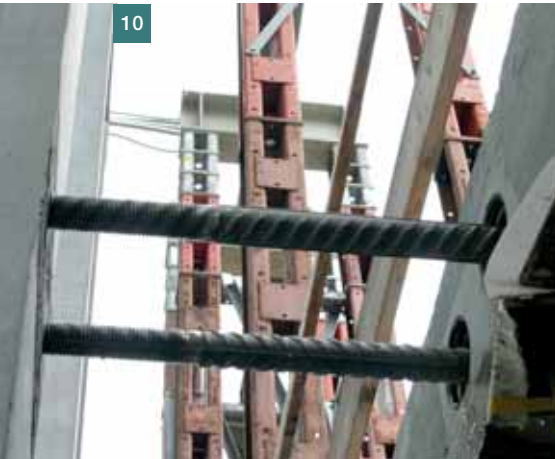
7



8



9



10



11



Obr. 4 Předpínací výztuž, kotvy a táhla připojující desku tělocvičny ■ Fig. 4 Tendons, anchorages and tension ties to connect the gym slab

Obr. 5 Předpínání sloupů ve výrobě prefabrikátů ■ Fig. 5 Tensioning of the column beams at the factory

Obr. 6 Kapsy pro navaření ocelových spojovacích desek a 30 mm široká mezera v hřebenu střechy ■ Fig. 6 Box-outs for the welding plates and 3 cm-wide gap on the roof ridge

Obr. 7 Prefabrikovaný střešní nosník s kapsami pro kotvy dodatečně předpínané výztuže ■ Fig. 7 Precast roof beam with box-outs for post-tensioning anchorages

Obr. 8 Dodatečné předpínání střešních vazníků na staveništi pomocí mezilehlých kotev ■ Fig. 8 Post-tensioning of the roof beams by means of intermediate anchorages on the construction site

Obr. 9 Výrobní hala s ocelovým bedněním pro střešní nosníky ■ Fig. 9 Factory hall with steel formworks for the roof beams

Obr. 10 Nerezová táhla mezi stropní deskou spodní tělocvičny a sloupem ■ Fig. 10 Stainless tension ties between the gym slab and one column beam

Obr. 11 Pata sloupu po zainjektování ■ Fig. 11 Column beam base joint after grouting

Obr. 12a Sloupy po vztyčení: připravené diagonální panely v rozích rámu, b) táhla v diagonálních panelech před zabetonováním ■ Fig. 12a Column beams after erection: the diagonal panels in the FU-corners are visible, b) tension tie in the diagonal panel at the frame corner before concreting



12a



12b

livkou a vnitřní dodatečně předpínanou výztuží. Dohromady tvoří dvacet sedm zmonolitněných „rámů“ s rozpětím 52,6 m (obr. 3). Mezery mezi jednotlivými rámy šířky 30 mm jsou vyplněny speciální záливkovou maltou. Navíc jsou v hřebenu zalomených desek navařeny ocelové desky zajišťující tuhé spojení jednotlivých lomenic dohromady. Pro proměnné zatížení tak celá konstrukce spolupůsobí jako skořepina (obr. 6). Prefabrikované střešní a sloupové nosníky mají konstantní vnější rozměry průřezu 2,59 x 2,93 m, avšak tvar průřezu sloupů se po výšce mění (obr. 3). Průměrná tloušťka střešní konstrukce vztažená na plochu jejího průmětu je 0,37 m.

Lomené desky střešních nosníků mají tloušťku 0,16 m a jsou skloněny pod úhlem 60° (obr. 3, řez I-I). V blízkosti rámového rohu je jejich tloušťka zesílena na 0,245 m, aby byl zajištěn dostatečný prostor pro předpínací výztuž (řez II-II). V rozích rámu jsou desky „přehnuty“ a přecházejí do sloupového nosníku ve tvaru písmene V s tloušťkou stěny 0,2 m (řez III-III). Tento průřez se průběžně mění přes tvar Y (řez IV-IV) do obdélníku tloušťky 0,36 m v patě rámu (řez V-V).

Rámové jednotky zajišťují stabilitu konstrukce v příčném směru. V podélném směru jsou do rámových rohů umístěny diagonální panely tvořící průběžné táhlo a zajišťující polohu lomenic (obr. 12). Ve vrcholech spojují sloupové nosníky do průběžného rámu, který zajišťuje podélnou stabilitu budovy.

Vodorovné reakce od jednotlivých rámu jsou eliminovány propojením rámu s dodatečně předpínanou betonovou

deskou podlahy velké tělocvičny, která působí jako táhlo. Z každého sloupu se tak do šterkového podloží přenáší prostřednictvím jediné betonové piloty pouze svislé síly. Všechny piloty mají průměr 0,8 m a délku v rozmezí 7 až 11 m. Aby se snížilo riziko možného rozdílného sedání, jsou jejich hlavy spojeny tuhým základovým pasem. Monolitická konstrukce spodních tělocvičen je založena nezávisle na základové desce. Vzájemně rozdílné sedání monolitické a prefabrikované konstrukce do 20 mm přenesou nerezová táhla spojující každý sloup se stropní deskou tělocvičny (obr. 3 a 10).

Dodatečné předpětí

Koncepce dodatečného předpětí byla navržena s ohledem na požadovaný konstrukční tvar a tenkostěnné konstrukční prvky. Předpínací výztuž je malého průřezu s maximálně šesti lany předpínávacími silou 1,1 MN, aby se vše vešlo do průřezu prvku (obr. 4). Takže v rámovém rohu bylo potřeba jen malé místo pro pasivní kotvy, speciálně navržené pro tento projekt. Prefabrikované sloupy byly předepnuty v panelárně (obr. 5). Výztuž byla napínána od paty sloupů, kde jsou aktivní kotvy umístěny v běžných kapsách. Naproti tomu prefabrikované střešní nosníky byly předepnuty až poté, co byla sestavena celá konstrukce (každý nosník je tvořen ze tří částí – obr. 3) a zabetonovány styčníky. Výztuž byla vložena do kanálků a předepínána postupně pomocí mezilehlých kotev umístěných v kapsách na hřebeni střechy. Kapsy byly následně zality betonem a nejsou po dokončení viditel-

né (obr. 7 a 8). Všechny průřezy jsou při působení stálého a proměnného zatížení tlačené, průměrné tlakové napětí v betonu je díky předpětí $\sigma_{c,End} = -4,6$ MPa.

Samozhutnitelný beton

Všechny prefabrikované prvky jsou vyrobeny z vysokopevnostního samozhutnitelného betonu třídy C50/60. Prvky ve tvaru písmen V a Y byly betonovány otočené „vzhůru nohama“, aby bylo zajištěno jak optimální vyplnění bednění, tak i co nejkompaktnější povrch bez vzduchových bublin na vrchní, resp. vnější straně prvků. Ze stejného důvodu byla maximální velikost zrna kameniva pouze 8 mm. Aby se při betonáži zabránilo segregaci větších zrn kameniva, byla betonová směs během předběžných testů optimalizována. Samozhutnitelný beton byl do forem pumpován od spodu průřezu (obr. 9).

Pohledové povrchy betonových prvků jsou chráněny hydrofobní impregnací. Plochy vystavené přímo vlivu deště jsou opatřeny dodatečným transparentním nátěrem. Povrch střechy je chráněn vrstvou vodotěsného polyuretanového nátěru odolného proti UV záření.

Konstrukční detaily

Při návrhu spojují mezi prefabrikovanými prvky a monolitickou konstrukcí muselo být zohledněno předpokládané rozdílné sedání obou částí konstrukce a montážní nepřesnosti. Nerezová táhla o průměru 40 mm přenášejí vodorovné reakce $H_d = 0,9$ MN z každého rámu do stropní desky malé tělocvičny.

Při výstavbě byla táhla nejdříve



13

Obr. 13 Otáčení prefabrikovaných dílců v panelárně pomocí speciálního zařízení ■ Fig. 13 Turning of the precast elements at the factory with special equipment



14

Obr. 14 Stavěniště z ptáčích perspektivy ■ Fig. 14 Bird's eye view during construction stage

Obr. 15 Stavěniště – zvedání sloupů do svislé polohy ■ Fig. 15 Handling and turning into the vertical position of the column beam on the construction site

Obr. 16 Dočasná podpora střešních nosníků montážním lešením ■ Fig. 16 Temporary support of the roof beams by falsework

Obr. 17 a) Pohled od řeky, b) pohled na čelní fasádu ■ Fig. 17 a) View from the river, b) view of the front facade

Obr. 18 Detailní záběry na prefabrikované sloupky a ztužující čelní střešní vazník ■ Fig. 18 Details of precast pylon beams and reinforced frontal roof beam



15



16



17a



17b

ukotvena v konstrukci monolitické desky, z které volně vychází trubkou o průměru 80mm, a po vztyčení sloupů byla s nimi spojena. Volný prostor kolem táhel v ústí trubky (20 mm) dovoluje různé relativní sednutí obou částí konstrukce (obr. 10).

Spojení sloupu se základem je zajištěno pomocí ocelových desek, přivařených na patu sloupu a výztuž základového pasu a vzájemně svařených během vztyčování. Mezera mezi základem a patou sloupu byla poté zalita vysokopevnostní cementovou zálivkou (obr. 11).

Přenos sil v podélných táhlech v rozích rámu je zajištěn přesahy zdvojené

stýčkové výztuže umístěné v mezích ve všech diagonálních panelech (obr. 12a, b): jedná se o šroubovaný spoj, pruty s objímkami jsou umístěny v přilehlých sloupech a krátké spojovací pruty se závity jsou našroubovány po vztyčení rámu.

REALIZACE

Vlastní práce na staveništi byly zahájeny v říjnu 2008 realizací základových pilot. Celá monolitická konstrukce byla postavena do června 2009, předtím než byla dokončena montáž prefabrikovaných prvků lomenice. Sloupy a střešní nosníky byly osazovány od prosince 2008 do dubna 2009.

Sloupy obou výšek a stejně tak i středové a boční střešní vazníky vyžadovaly specifické ocelové bednění. Proto byly v jedné továrně vyráběny současně čtyři typy prvků s pracovním cyklem dva až tři dny pro každý prvek. Složení betonu bylo optimalizováno, aby se zajistil rychlý nárůst pevnosti. Otáčení těžkých prvků, které byly odlévány „vzhůru nohama“, vyžadovalo speciální zařízení (obr. 13).

Manipulace a montáž prefabrikovaných prvků byla probíhala pomocí 500t pojízdného jeřábu umístěného vedle haly (obr. 14 a 15). Střešní nosníky byly podepřeny provizorním montážním lešením, které bylo odstraněno po vne-



18a 18b



19a



19b



20a



20b



21



22

Obr. 19 Velká tělocvična, a) celkový pohled, b) detail vstupu do hlediště pro diváky ■ Fig. 19 The big gym, a) complex view, b) detail of the viewers entrance to the auditorium

Obr. 20 a) Posilovna ve střední části budovy, b) tréninková lezecká stěna ■ Fig. 20 a) Power building in the mid-section of the building, b) practice climbing wall

Obr. 21 Pohled z centrální chodby do učebny ■ Fig. 21 View from the central corridor into the classroom

Obr. 22 Komunikační prostory ■ Fig. 22 Communicating spaces

Obr. 23 Noční záběry ■ Fig. 23 Night views

Architektonický návrh	Studio Vacchini Architetti, Locarno
Koordinátor stavby	Paul Zimmermann + Partner AG, Vitznau
Projekt	Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH, Wolfwil
Generální dodavatel	ARIGON Generalunternehmung AG, Zürich
Dodavatel prefabrikovaných prvků	Element AG, Veltheim
Předpínání	VSL Schweiz, Subingen AG



23a



23b

sení dodatečného předpětí (obr. 16). Spouštění montážního lešení bylo kontrolováno systémem hydraulických zvedáků. Sestavení celé velkorozponové prefabrikované konstrukce trvalo čtyři měsíce.

Náklady na sportovní halu včetně technického vybavení byly 24 mil CHF, celkové náklady zahrnující i venkovní vybavení a terénní úpravy 30 mil CHF.

ZÁVĚR

Představená konstrukce s tenkými lomenými deskami ukazuje, že navzdory současným přísným regulacím týkajícím se energetických požadavků na budovy, je inovativní velkorozponová konstrukce mimořádných tvarů stále možná a žádaná. Výhody prefabrikace a technologie samozhutnitelného betonu spolu s možnostmi danými technologií dodatečného předpínání

umožnily navrhnout a realizovat stabilní a trvanlivou pohledovou betonovou konstrukci vysokých estetických kvalit. Tyto výhody by měly naplnit žádanou větší konstrukční a architektonickou rozmanitost při stavbě betonových konstrukcí.

Poděkování autorů patří kantonu Aargau, Studiu Vacchini Architetti, CH-Locarno a společnosti VSL AG, CH-Subingen. Dík patří také společnostem Arigon AG, CH-Zurich a Element AG, CH-Veltheim.

Fotografie: 1, 17 až 23 – René Rötheli; 2 – archiv ateliéru Studio Vacchini, 3 až 8, 10 až 13, 16 – archiv společnosti Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH; 9, 14, 15 – archiv společnosti Element AG, Veltheim.

Massimo Laffranchi,
Dr. Sc. Techn., dipl. Bauing. ETH
e-mail: laffranchi@fuerstlaffranchi.ch



Armand Fürst,
Dr. Sc. Techn., dipl. Bauing. ETH
e-mail: fuerst@fuerstlaffranchi.ch

oba: Fürst Laffranchi
Bauingenieure GmbH
Vordere Gasse 57, Postfach 21
CH-4628 Wolfwil (Switzerland)
<http://www.fuerstlaffranchi.ch>

Příspěvek na toto téma zazněl na konferenci *fib* Symposium Prague 2011 (pozn. redakce).

Redakce děkuje společnosti Fürst Laffranchi Bauingenieure GmbH za poskytnuté informace a fotografie z průběhu výstavby, panu René Rötheli za fotografie dokončené stavby a ateliéru Studio Vacchini za výkresovou dokumentaci.