

MEMBRÁNOVÉ STŘECHY Z PŘEDJATÉHO BETONU MEMBRANE ROOFS FROM PRESTRESSED CONCRETE

JIŘÍ STRÁSKÝ

Membránové střechy z předjatého betonu jsou popsány z hlediska architektonického a konstrukčního řešení, statické analýzy a postupu výstavby. Konstrukce umožňují zastřešit velké prostory, vyznačují se minimální spotřebou materiálu a pro jejich výstavbu není nutná skruž.

Membrane roofs from prestressed concrete are described in terms of their architectural and structural solution, static analysis and process of construction. The structures enable to cover large space, require minimum amount of material and a falsework is not needed for their erection.

Skutečnost, že cena práce je v porovnání s cenou základních stavebních materiálů neustále vyšší a vyšší, vede k tomu, že jsou stále více navrhovány jednoduché trémové konstrukce. Úžasné skopepinové konstrukce vyžadující náročné skruže, které byly běžné v padesátých a šedesátých letech minulého století, jsou nyní navrhovány jen zřídka. S ohledem na minimální spotřebu materiálu a zajímavý architektonický tvar, považujeme za vhodné tyto konstrukce dále studovat a hledat způsob, jak je hospodárně stavět. Jednou z možností je nahradit skruž



Obr. 1 Portugalský národní pavilon pro EXPO'98, Lisabon, návrh architekt Alvaro Siza ve spolupráci s inženýrskou kanceláří STA – Segadaes Tavares & Partners

Fig. 1 Portuguese national pavilion at EXPO'98, Lisbon, design of architect Alvaro Siza in cooperation with structural design office STA – Segadaes Tavares & Partners

lanovou sítí, na kterou se zavěsí jednoduché betonové prvky. Tuhost konstrukce se zajistí předepnutím kabelů vedených ve spárách mezi těmito prvky.

Membránové střechy z předjatého betonu, pro které jsme dříve používali název „visuté střechy“, se ve světě navrhují od počátku předjatého betonu. Bohužel, v posledních letech byly opomenuty a nahrazeny na údržbu náročnějšími konstrukcemi podporovanými vnější-

Obr. 2 Působení membránových střech: a), b) lanová konstrukce bez ztužení, c) ztužení tíhou střechy, d), e) ztužení kabely opačné křivosti, f) ztužení předpjatou membránou

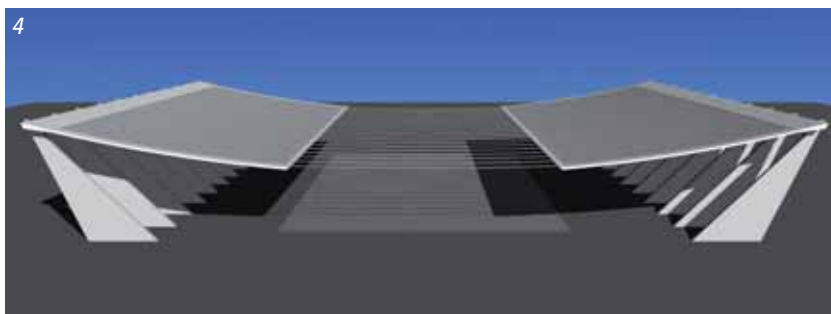
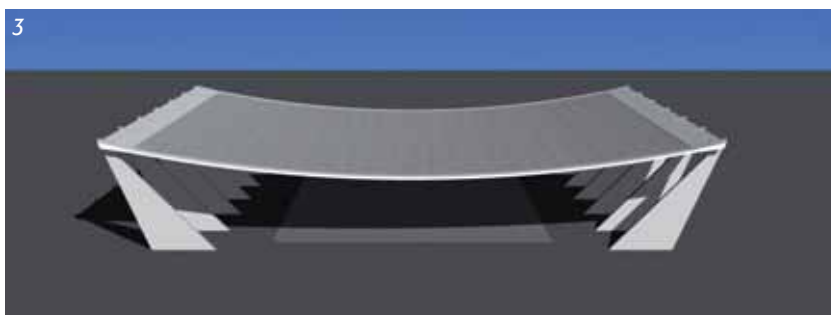
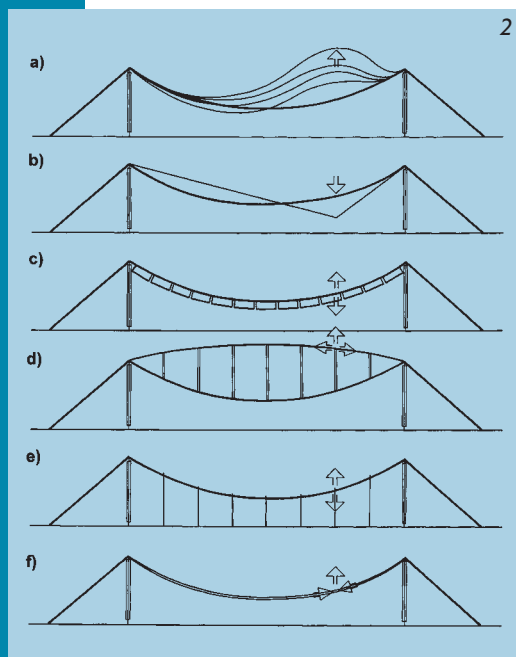
Fig. 2 Performance of the membrane roofs: a), b) cable structure without stiffening, c) stiffening by dead load, d), e) stiffening by cables of the opposite curvature, f) stiffening by a prestressed membrane

Obr. 3 Konstrukce jednoduché křivosti – nad celou plochou

Fig. 3 Structures of a single curvature – above the whole area

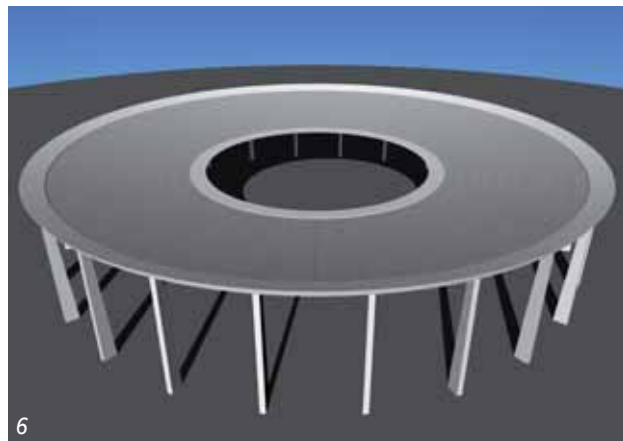
Obr. 4 Konstrukce jednoduché křivosti – nad částí plochy

Fig. 4 Structures of a single curvature – above a portion of the area





5



6



7



8

mi kabely. Nedávné realizace v Portugalsku (obr. 1), které získaly řadu architektonických cen, však potvrzují, že tyto konstrukce jsou stále moderní, ekonomické a umožňují architektonicky obohatit naše prostředí. Přehled realizovaných konstrukcí a základní problémy návrhu těchto konstrukcí jsou popsány v [1] [2]. Tento článek navazuje na tyto příspěvky a uvádí příklady studovaných konstrukcí.

Membrána z předpjatého betonu dává konstrukci tvarovou stálost a dostatečnou tuhost zajišťující bezporuchový provoz (obr. 2) [3]. Konstrukční řešení střech je podobné řešením lávek z předpjatého pásu, které jsou u nás stavěny od roku 1989 a které jsme také navrhovali v USA a UK. Lávky mají jednoduchý čistý tvar daný staticky jasným působením. Jejich nespornou výhodou je minimální spotřeba materiálu a montáž nezávislá na terénu. Navíc, protože je lze navrhnout bez ložisek a dilatačních závěrů, jsou takřka bezúdržbové. Bohužel, předpjaté membránové střechy z předpjatého betonu nebyly u nás dosud realizovány. Proto autor příspěvku považuje za účelné na tyto konstrukce znovu upozornit a na příkladech studovaných konstrukcí poukázat na možná řešení.

TYPY MEMBRÁNOVÝCH KONSTRUKCÍ

Membránové konstrukce mají buď jednoduchou křivost, nebo tvoří rotačně symetrické plochy, popřípadě vytváří konstrukce dvojitě křivé. Je zřejmé, že membránové konstrukce mohou být navrženy nad jakýmkoliv půdorysem. Jejich tvar však v počátečním stavu musí být bezmomentový – výslednicový (*funicular*) k danému zatížení.

Konstrukce jednoduché křivosti

Membránové konstrukce jednoduché křivosti jsou tvořeny jednoduchou válcovou plochou – vlastně širokým předpjatým pásem. Protože průběh pásu je poměrně malý, jeho tvar se blíží parabole druhého stupně. Aby bylo usnadněno odvodnění, je válcová plocha podélně skloněna, nebo v podélném směru konstrukce střechy sleduje konkávní křivku.

Jak bylo uvedeno v [1] jsou nosné kabely obvykle kotveny v hlavicích sloupů. Vodorovná síla je z hlavic sloupů přenášena do základů buď jako u visutých mostů vnějšími skloněnými kabely, nebo ohybovou tuhostí sloupů (obr. 3, 4). Lze také navrhnout tzv. samokotvený systém. V tomto případě jsou hlavice slou-

Obr. 5 Rotačně symetrické konstrukce: – nad celou plochou

Fig. 5 Revolving symmetrical structure – above the whole area

Obr. 6 Rotačně symetrické konstrukce: – nad částí plochy

Fig. 6 Revolving symmetrical structure – above a portion of the area

Obr. 7 Rotačně symetrické konstrukce se střední podpěrou

Fig. 7 Revolving symmetrical structure with a central support

Obr. 8 Rotačně symetrická konstrukce – pravoúhlé uspořádání sítě a prefabrikovaných prvků

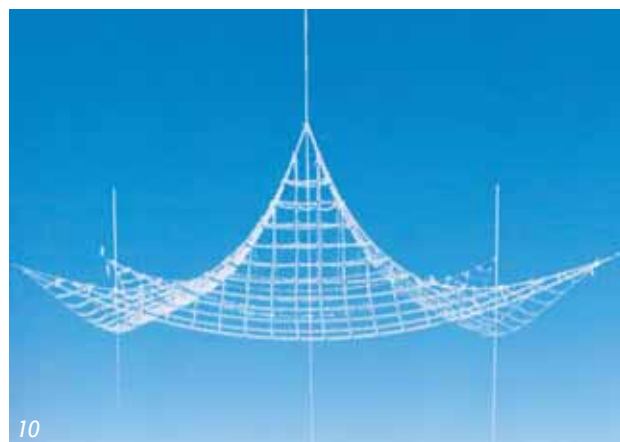
Fig. 8 Revolving symmetrical structures – rectangular arrangement of the cables and precast members

pů vzájemně spojeny ohybově tuhým nosníkem, který přenáší vodorovnou sílu do tlačných prvků spojujících protilehlé strany. Tlačný prvek může být tvořen vzpěrou a nebo obloukem. Vzpěra je obvykle spojena s taženým předpjatým pásem, který zajišťuje její stabilitu. Oblouk bývá situován na vnějších okra-



9

Obr. 9 Konstrukce dvojí křivosti
Fig. 9 Structure of a double curvature



10

Obr. 10 Prostorová síť kabelů [4]
Fig. 10 Space net of cables [4]

jích střechy a spojen sloupy se základy. Sloupy brání vybočení oblouků, a proto může být oblouk velmi štíhlý. Je samozřejmé, že v konstrukcích lze tyto základní systémy vzájemně kombinovat.

Konstrukce střechy může zakrývat celý prostor (obr. 3), anebo jen část (obr. 4).

Potom nosné kabely překenují celou plochu a předpínací kabely jsou kotveny v kotevních blocích a v okrajovém nosníku, který ukončuje předpjatou membránu.

Rotačně symetrické konstrukce

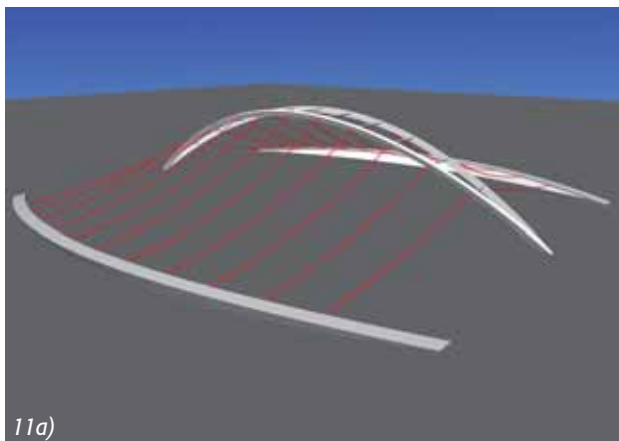
Většina rotačně symetrických ploch je obvykle tvořena okrajovým tlačným a středním taženým prstencem, mezi kterými jsou natažena radiální lana nesoucí prefabrikované prvky lichoběžníkového tvaru (obr. 5, 6). Konstrukce je předepnuta radiálními kabely kotvenými v obou prstencích. Většinou je tlakový prstenec

Obr. 11 Membrána podepřená oblouky:
a) prostorová síť kabelů,
b) membrána

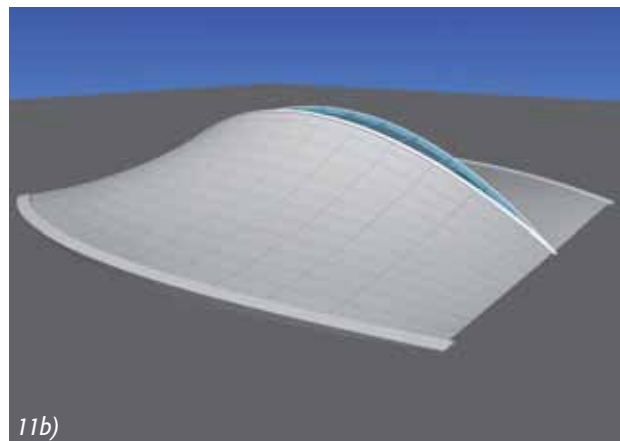
Fig. 11 Membrane supported by arches:
a) space net of cables,
b) membrane

Obr. 12 Membrána podepřená visutými kabely:
a) prostorová síť kabelů,
b) membrána

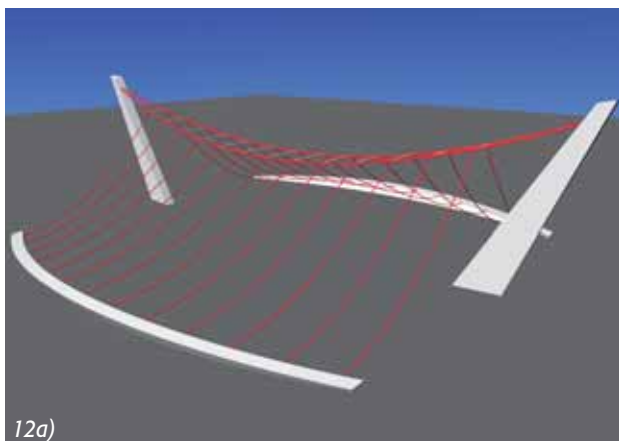
Fig. 12 Membrane supported by suspension cables:
a) space net of cables,
b) membrane



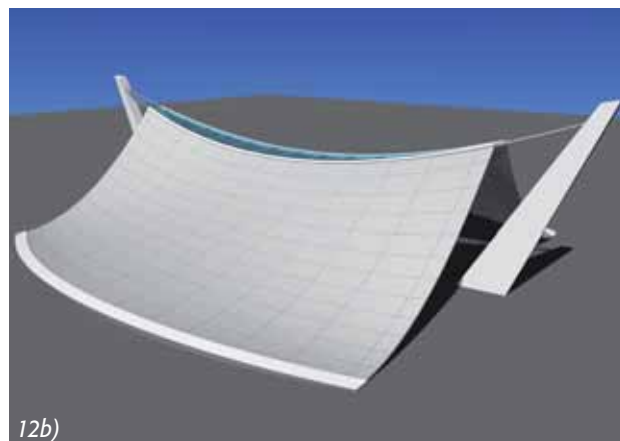
11a)



11b)



12a)



12b)

z betonu, střední tažený prstenec z konstrukční oceli, anebo z předpjatého betonu. Je samozřejmé, že střední tažený prstenec může mít poměrně velký poloměr. Potom má předpjatá membrána tvar mezikruží (obr. 6) a konstrukce střechy zakrývá jen část plochy. Rotačně symetrická konstrukce může být také navržena se střední podpěrou (obr. 7).

Střední tažený prstenec a lichoběžníkové prvky lze nahradit ortogonálním uspořádáním nosných a předpínacích kabelů, které nesou a předpínají pravidelné čtvercové prvky (obr. 8).

Konstrukce dvojí křivosti

Zatímco tuhost membránových konstrukcí jednoduché křivosti je především dána jejich ohybovou tuhostí, tuhost konstrukcí dvojí křivosti je navíc zvýšena jejich smykovou únosností a **zborcením** povrchu skořepiny – tedy skutečností, že sklon protilehlých stran elementu konstrukce je rozdílný.

Je nepřehledné množství konstrukcí dvojí křivosti, které lze navrhnout nad požadovaným půdorysem. Nejčastější z nich je hyperbolický paraboloid. Hyperbolický paraboloid navržený nad kruho-

vým půdorysem elegantně řeší odvodnění střechy.

Konstrukci tvarem blízkou hyperbolickému paraboloidu lze také vytvořit z lanové sítě, na kterou se zavěsí deskové prvky. Po předepnutí lan vznikne tvarově stálá skořepina požadované tuhosti. (obr. 9).

Membránu z předpjatého betonu lze vytvořit nad jakýmkoliv půdorysem, nad kterým můžeme pro dané zatížení a uspořádání podpěr vytvořit prostorovou síť kabelů (obr.10) [4]. Při hledání tvarů je vhodné vyjít ze známých konstrukcí a ty pak dále vyvíjet [5] [6]. Základní nosnou síť z kabelů lze podepřít rámovou konstrukcí, oblouky (obr. 11) a nebo visutými prvky (obr. 12). Tyto základní konstrukční prvky lze vzájemně kombinovat a doplňovat o další prvky – vzpěry a závěsy.

PŘÍKLADY STUDOVANÝCH MEMBRÁNOVÝCH KONSTRUKCÍ

Abychom pochopili chování membránových konstrukcí z předpjatého betonu, vypracovali jsme řadu studijních projektů možných řešení. Tyto projekty, které řeší konstrukce jednoduché a dvojí křivosti, vyšly z dosud realizovaných konstrukcí. Konstrukci dvojí křivosti jsme ověřili

na modelu konstrukce v měřítku 1:10 [7] [8]. Model sloužil nejen pro ověření statického působení konstrukce, ale také k ověření montážních postupů a k nalezení způsobu porušení.

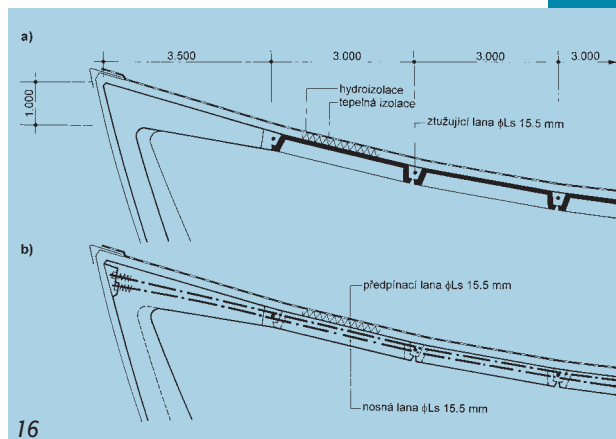
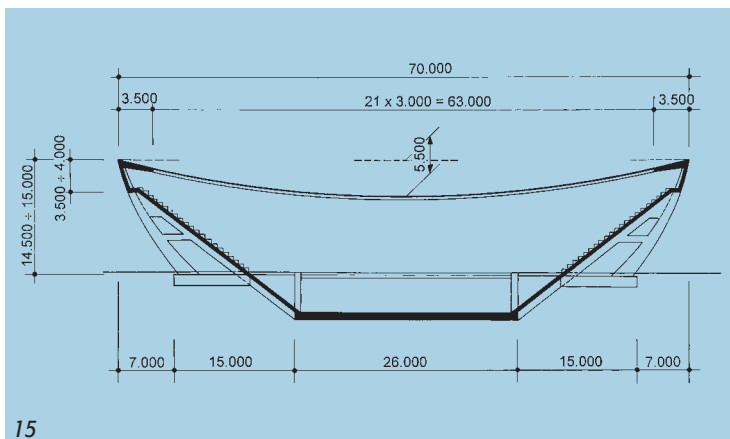
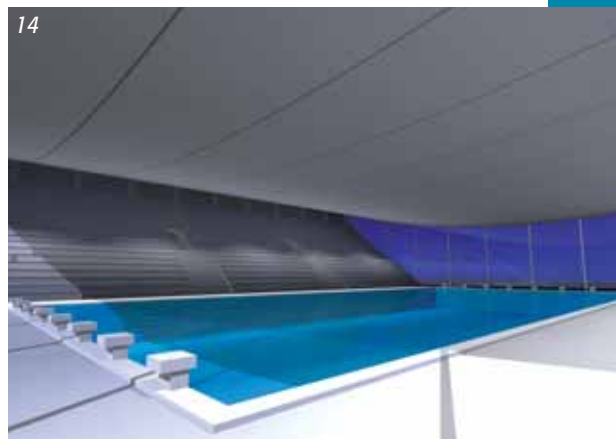
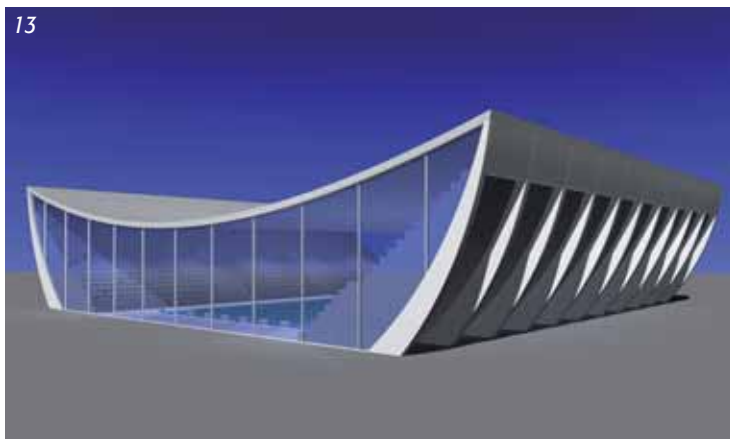
Je samozřejmé, že skutečné konstrukce lze upravit tak, aby co nejlépe vyhovovaly místním podmínkám a požadavkům na projektovanou konstrukci. Studo-

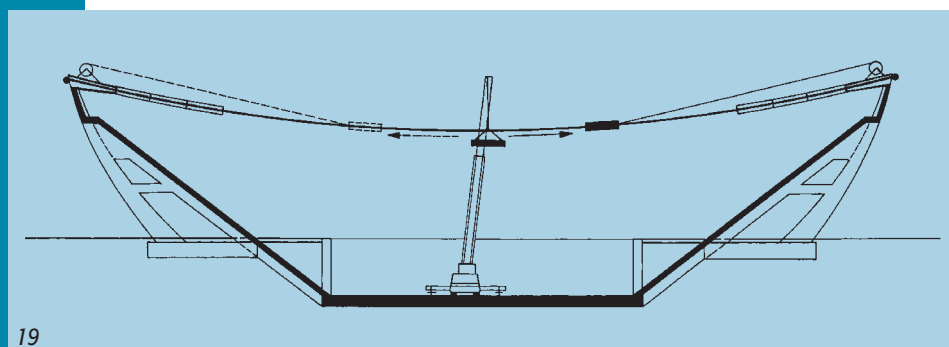
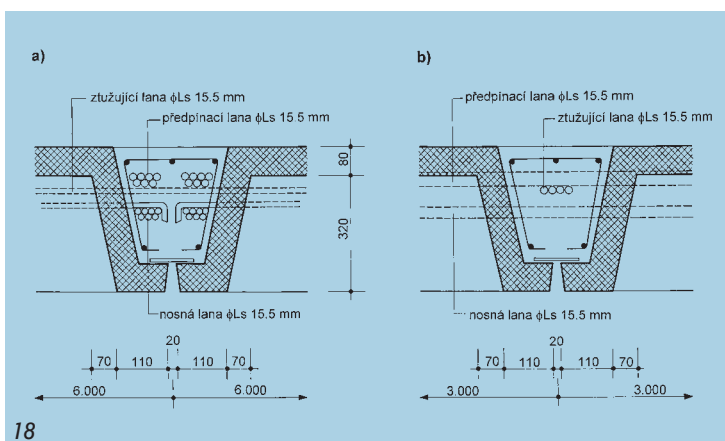
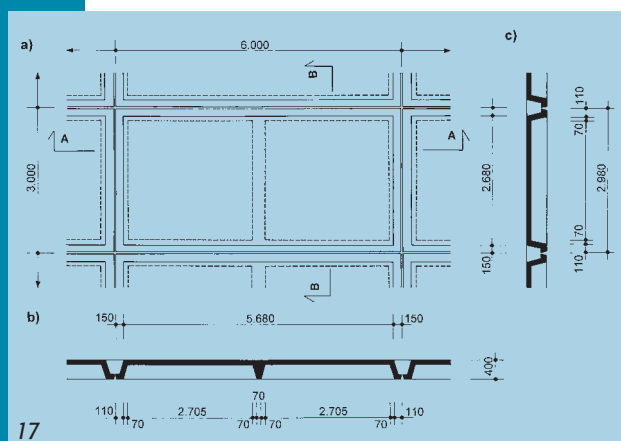
Obr. 13 Plavecký stadion – vizualizace
Fig. 13 Swimming pool – image

Obr. 14 Plavecký stadion – vizualizace
Fig. 14 Swimming pool – image

Obr. 15 Plavecký stadion – příčný řez konstrukcí
Fig. 15 Swimming pool – cross section of the structure

Obr. 16 Plavecký stadion – spojení membrány s příčnými rámy:
a) příčný řez prefabrikovaným prvkem, b) příčný řez spárou
Fig. 16 Swimming pool – connection of the membrane with the cross frames:
a) cross section through a precast member, b) cross section through the joint





Obr. 17 Plavecký stadion – prefabrikované prvky: a) půdorys, b) řez A-A, c) řez B-B

Fig. 17 Swimming pool – precast members: a) plan, b) section A-A, c) section B-B

Obr. 18 Plavecký stadion – detail spáry mezi prefabrikovanými prvky: a) příčná spára, b) podélná spára

Fig. 18 Swimming pool – detail of the joint between precast members: a) transverse joint, b) longitudinal joint

Obr. 19 Plavecký stadion – montáž prefabrikovaných prvků

Fig. 19 Swimming pool – erection of precast members

vané konstrukce jsme označili podle jejich možného použití. Je však zřejmé, že jejich možné aplikace jsou mnohem širší.

Plavecký stadion

Jednoduchost řešení konstrukce jednoduché křivosti je demonstrována na příkladu zastřešení konstrukce plaveckého stadionu (obr. 13 a 14). Konstrukci střechy s rozpětím 70 m tvoří membrána sestavená z prefabrikovaných prvků tloušťky 400 mm (obr. 15 a 16). Prefabrikované prvky jsou nesené předpínacími lany, které jsou kotveny v příčných rámech situovaných po 6 m. Příčné rámy podporující hlediště jsou pod bazénem spojeny žebry podporujícími dno bazénu a přenášejícími část vodorovné síly z kabelů. Hlavice ráků jsou spojeny plochými podélnými nosníky z betonu C50/60 nejen ztužujícími konstrukci v podélném směru, ale také přenášejícími část vodorovné síly z kabelů do krajních oblouků. Zbývající část vodorovné síly je přenášena ohybovou tuhostí příčných ráků.

Prefabrikované prvky skladebných rozměrů 6 x 3 m vylehčené kazetou (obr. 17) jsou tvořeny deskou ztuženou okrajovými nosníky a příčným žebrem. Jsou navrženy z lehkého konstrukčního betonu LC30/33. Prefabrikované prvky jsou při montáži zavěšeny na nosná lana

situovaná v příčných spárách mezi těmito prvky (obr. 18). V těchto spárách jsou také umístěna předpínací lana. Zatímco nosná lana ØLs 15,5 mohou být chráněna proti korozi jen předpjatým betonem spár, předpínací lana jsou navržena jako monostrandy. To umožní jejich napnutí po vybetonování spár mezi prvky. V podélném směru je konstrukce ztužena podélnými spárami, které je vhodné slabě předepnout monostrandy. Krytí nosných a předpínacích kabelů zaručuje stejnou protipožární odolnost jako u tradičních betonových konstrukcí.

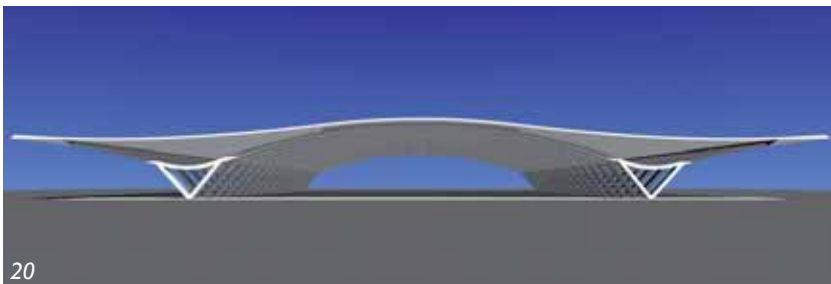
Konstrukce střechy je doplněna tepelnou izolací a hydroizolací.

Montáž konstrukce střechy je zřejmá z obr. 19. Po vybetonování příčných ráků a podélných ztužujících ráků je vybetonován okrajový oblouk spojený sloupy se základy. Potom jsou smontována a napnuta nosná předpínací lana. Následně jsou smontovány jednotlivé pásy – pruhy střechy. Montáž může začít od středu rozpětí jednotlivých pásů. Podobně jako u lávek pro pěší se prefabrikované prvky podvěšou pod nosná lana, zavěsí se na ně a zabezpečí se proti sklouznutí z lan. Potom jsou tahem vrátka přesunuta do projektované polohy. Po smontování jednoho pruhu, bude provedena montáž sousedního pruhu.

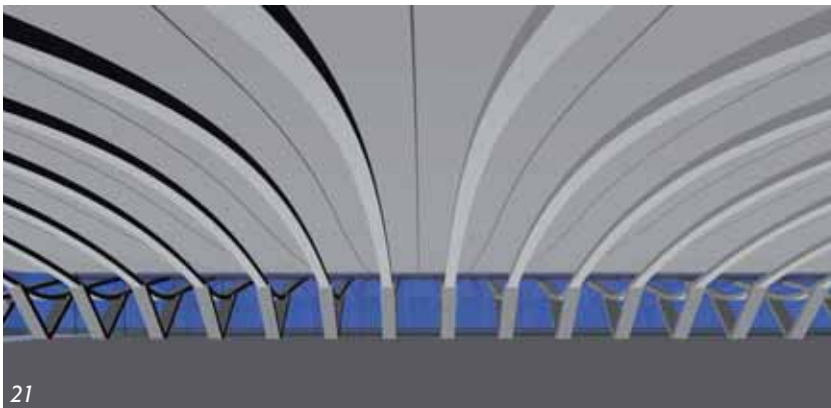
Montáž se opakuje, pokud není smontována celá střecha.

Potom je osazeno ztracené bednění spár a betonářská a předpínací výtěž. Následně se vybetonují spáry a po dosažení dostatečné pevnosti betonu se konstrukce střechy příčně a podélně předepne. Radiální síly od předpětí spolu s kotevními silami působícími v místě kotvení lan, vyvodí v konstrukci střechy tlakové namáhání.

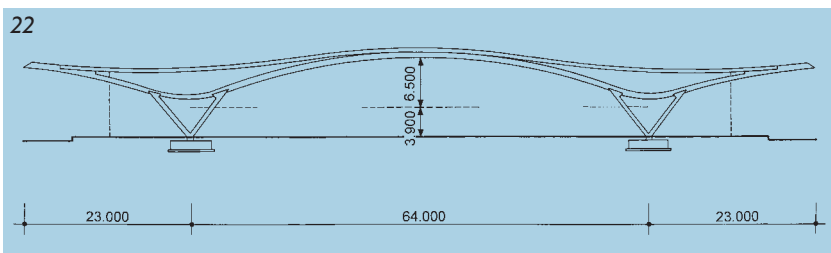
Statický výpočet zohlednil nelineární působení konstrukce a postup stavby. Vlastní tíhu lan, tíhu betonových prvků a spár přenáší nosná lana, která působí jako dokonale ohebná vlákna. Všechna ostatní zatížení, to je účinky předpětí, tíhu izolace, sněh, vítr, možné nahodilé zatížení a objemové změny betonu přenáší předpjatá membránová konstrukce, která je namáhána nejen tahem, ale i ohybem. Ohybové namáhání je výrazné zejména v místě kotvení pásů do příčných ráků. Podrobná analýza prokázala, že ohybové namáhání lze redukovat



20



21



22

Obr. 20 Letištní hala – vizualizace
Fig. 20 Airport hall – image

Obr. 21 Letištní hala – vizualizace
Fig. 21 Airport hall – image

Obr. 22 Letištní hala – příčný řez konstrukcí
Fig. 22 Airport hall – cross section of the structure

buď krátkým náběhem a nebo uložení pásu na sedlo. U popisované konstrukce je navrženo první řešení.

Letištní hala

Nedávno bylo realizováno několik eko-duktdů a lávek pro pěší, jejichž konstrukci tvoří předpjatý pás podporovaný oblouky [9]. Předpjatý pás nejen přenáší dopravu, ale také působí jako táhlo, které přenáší vodorovnou složku obloukové síly. Podobný princip může být aplikován při návrhu zastřešení hal (obr. 20 a 21).

Konstrukci střechy šířky 110 m tvoří membrána o dvou polích 2 x 55 m, která je vetknuta do krajních ztužujících nosníků a je podporována plochým obloukem

s rozpětím 64 m (obr. 22). Na plochý oblouk navazují vnější zakřivené konzoly, vlastně půblouky s rozpětími 23 m. Oblouky, které jsou v podélném směru haly situovány po 6 m, tvoří s vnějšími konzolami základní nosný systém. Oblouky jsou podporovány podpěrami tvaru písmene V, které spolu s membránou ztužují konstrukci v podélném směru.

Membránová konstrukce je vlastně tvořena širokým předpjatým pásem. Průvės předpjatého pásu a vzepětí oblouku a půblouků jsou voleny tak, aby pro zatížení stále byla vodorovná složka tahové síly v pásu stejná, jako vodorovná složka obloukové síly. Potom jsou základy namáhány jen svislými reakcemi. Membrána je sestavena z prefabrikovaných prvků totožných s prvky plaveckého stadionu (obr. 17). Také uspořádání spár a systém předpětí je totožný. Nejnižší výška pásu nad podlahou je v místě, kde lze situovat krajní stěny a tedy i svody odvodnění střechy.

Předpokládá se, že se nejdříve vybetonují oblouky s vnějšími konzolami a kraj-

ními ztužujícími nosníky. Před odskrucením se konzoly vzájemně spojí nosnými lany přenášeujícími vodorovnou složku obloukové síly. Poloha lan nad oblouky je dána jednoduchými ocelovými přípravky umožňujícími následnou montáž prefabrikovaných prvků situovaných nad oblouky a konzolami. Dále se na nosná lana zavěsí zbývající prvky, osadí se ztracené bednění spár a předpínací a betonářská výztuž. Po jejich vybetonování se nosná konstrukce předepne.

Podobně jako u předcházející konstrukce zohlednil statický výpočet nelineární působení konstrukce a postup stavby.

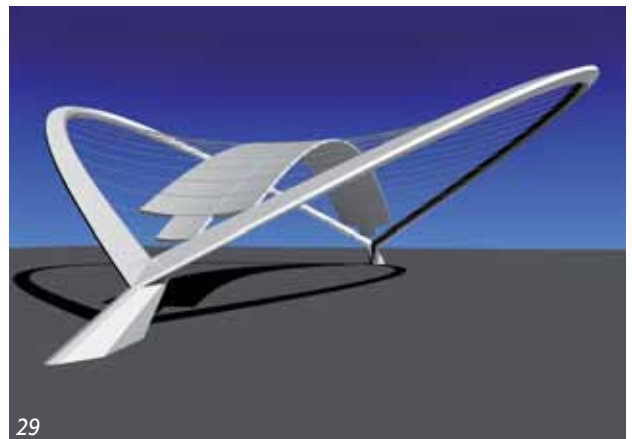
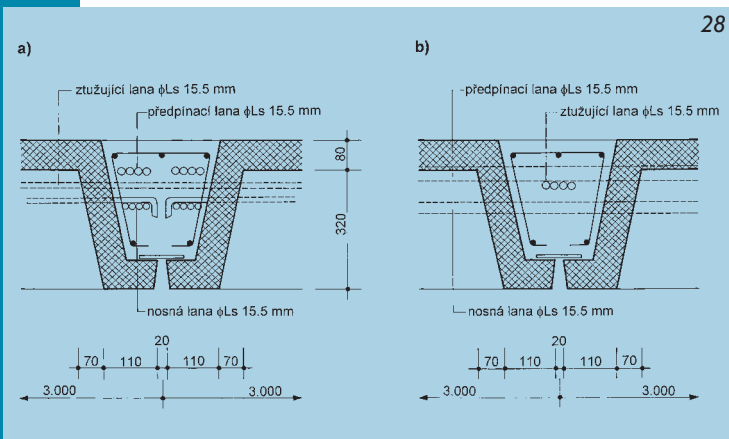
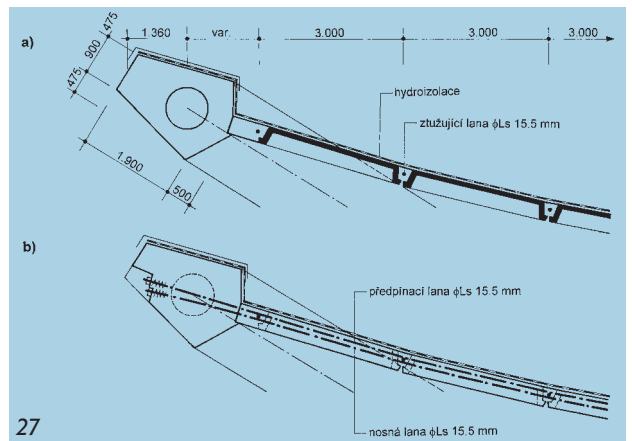
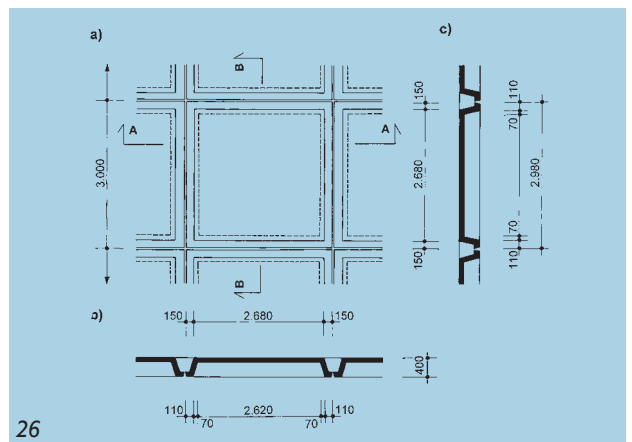
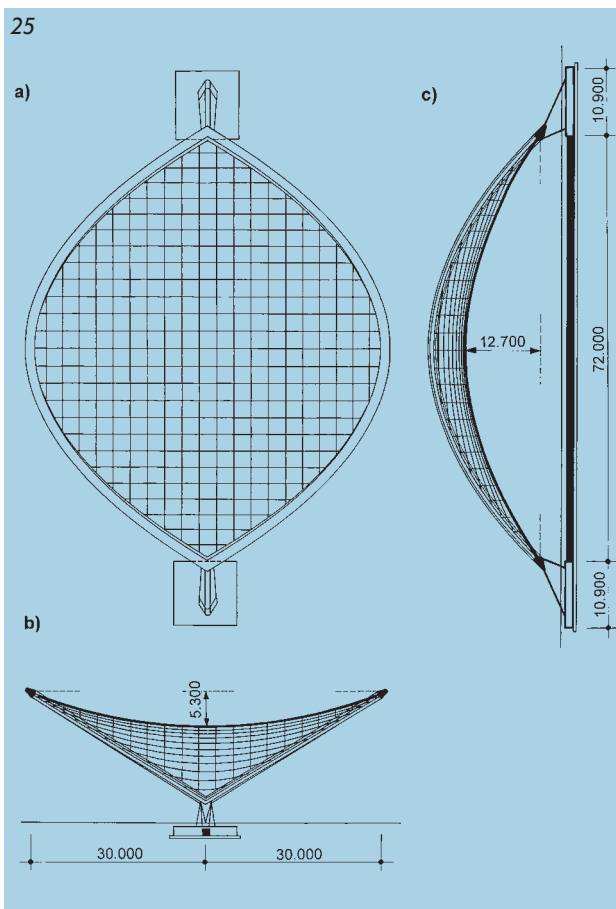
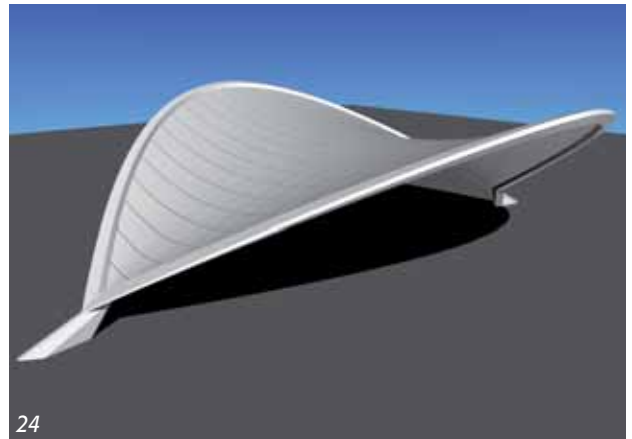
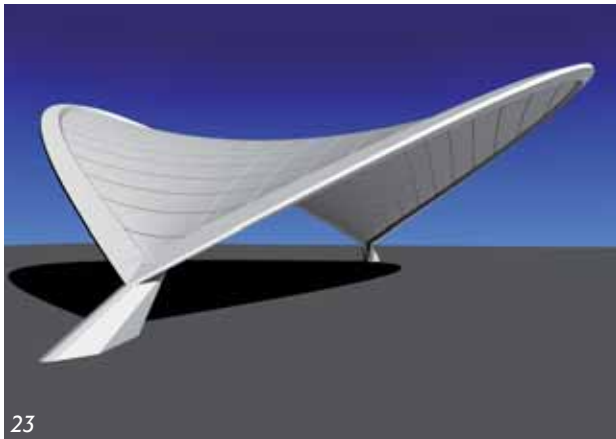
Kongresová hala

Membrána dvojí křivosti byla studována na konstrukci, která vychází z řešení rekonstruované kongresové haly postavené v Berlíně [1]. Zatímco hala v Berlíně je monolitická, námi studovaná konstrukce je sestavená z prefabrikovaných prvků. Střechu tvoří zborcená plocha podporovaná skloněnými oblouky (obr. 24). Protilehlé rovinné oblouky jsou rámově spojeny se šikmými stojkami, které jsou vetknuty do patek vzájemně spojených předpjatým táhlem (obr. 25).

Tvar konstrukce vyplynul z podrobné statické analýzy. Půdorysný průmět skloněných oblouků má přibližně tvar paraboly druhého stupně. Membrána je sestavena z prefabrikovaných prvků skladebných rozměrů 3 x 3 m (obr. 26) nesených lany příčně pnutými mezi oblouky. Tvar nosných lan odpovídá přibližně parabole druhého stupně. Poměr f/L^2 všech lan je konstantní, to znamená, že každé lano je vlastně výsekem z nejdelšího situovaného lana mezi vrcholy oblouků. Potom horizontální složka tahové síly je ve všech lanech stejná. Sklon oblouků a průvės lan byly určeny tak, aby výslednice vnitřních sil (od tahové síly lana a tíhy oblouku) působila v rovině oblouků.

S ohledem na půdorysný tvar konstrukce jsou u oblouků prefabrikované prvky doplněny monolitickými klíny betonovanými spolu se spárami mezi prvky (obr. 27). Tuhost konstrukce je dána předpětím vyvozeným lany situovanými jak v příčných, tak i v podélných spárách (obr. 28). Podobně jako u předcházejících konstrukcí jsou předpínací lana tvořena monostrandy.

Skloněné oblouky mají pětiúhelníkový průřez. Předpokládá se, že budou tvořeny trubkou spáženou s betonem. Trub-



Obr. 23 Kongresová hala – vizualizace

Fig. 23 Congress hall – image

Obr. 24 Kongresová hala – vizualizace

Fig. 24 Congress hall – image

Obr. 25 Kongresová hala – konstrukční uspořádání: a) půdorys, b) příčný řez A-A, c) podélný řez B-B

Fig. 25 Congress hall – structural arrangement: a) plan, b) cross section A-A, c) longitudinal section B-B

Obr. 26 Kongresová hala – prefabrikované prvky: a) půdorys, b) řez A-A, c) řez B-B

Fig. 26 Congress hall – precast members: a) plan, b) section A-A, c) section B-B

Obr. 27 Kongresová hala – spojení membrány s nosnými oblouky: a) příčný řez prefabrikovaným prvkem, b) příčný řez spárou

Fig. 27 Congress hall – connection of the membrane with load bearing arches: a) cross section through a precast member, b) cross section through the joint

Obr. 28 Kongresová hala – detail spáry mezi prvky: a) příčná spára, b) podélná spára

Fig. 28 Congress hall – detail of the joint between precast members: a) transverse joint, b) longitudinal joint

Obr. 29 Kongresová hala – montáž prefabrikovaných prvků (vizualizace)

Fig. 29 Congress hall – erection of precast members (image)

ka slouží k přesnému osazení kabelových kanálků a kotev lan a k zavěšení bednění oblouků.

Montáž konstrukce střechy bude zahájena stavbou skloněných oblouků. Nejdříve se na montážních podpěrách smontují ocelové trubky, na které se zavěsí bednění oblouků. Po vybetonování oblouků se osadí a napnou nosná lana; montážní podpěry se odstraní. Potom se na nosná lana postupně zavěsí prefabrikované prvky (obr. 29). Protože z roviných prefabrikovaných prvků se vytváří zborcená plocha, je nutno vždy pod jeden zavěs prefabrikovaného prvku vložit podkladek. Zborcení střechy je dosaženo ve spárách. Po smontování prefabrikovaných prvků se u oblouků osadí bednění klínů, ztracené bednění spár a předpínací a betonářská výztuž. Následně se

Literatura:

- [1] Stráský J.: Visuté předpjaté střechy. Beton TKS 4/2005, 1/2006
- [2] Strasky J.: Stress ribbon and cable supported pedestrian bridges, ISBN: 0 7277 3282 X, Thomas Telford Publishing, London 2005
- [3] Engel H.: Structural Systems. Verlag Gerd Hatje, 1997
- [4] Otto F., Rash B.: Finding form. Towards an architecture of the minimal. ISBN 3-930698-66-8. Edition Maxel Magnes. Deutsche Werkbund Bayern 1995
- [5] Hampe E., Büttner O.: Bauwerk, Tragwerk, Tragstruktur, Band 1, Band 2. VEB Verlag für Bauwesen. Berlin 1977, 1984
- [6] Salvadori M.: Why Buildings stand up. The strength of architecture. W. W. Norton & Company. New York, London 1990
- [7] Strasky J., Kalab P.: Model Test of the Prestressed Concrete Hypar Shell. Shell and Spatial Structures. IASS Conference, Venice, Italy 2007
- [8] Kaláb P., Bernát M., Stráský J.: Model membránové střechy z předpjatého betonu, Beton TKS 1/2008
- [9] Strasky J., Rayor G.: Stress-Ribbon Pedestrian Bridges Supported or Suspended on Arches. International Bridge Conference, Pittsburgh 2007

vybetonují spáry a po dosažení dostatečné pevnosti betonu se konstrukce střechy příčně a podélně předepne. Radiální síly od předpětí spolu s kotevními silami působícími v místě kotvení lan vyvodí v konstrukci střechy tlakové namáhání.

Statický výpočet zohlednil nelineární působení konstrukce a postup stavby. Vlastní tíhu lan, tíhu betonových prvků a spár přenáší nosná lana, která působí jako dokonale ohebná vlákna. Všechna ostatní zatížení, to je účinky předpětí, tíhu izolace, sněh, vítr, možné nahodilé zatížení a objemové změny betonu přenáší předpjatá membránová konstrukce, která je namáhána nejen tahem, ale i ohybem. Ohybové namáhání je výrazné zejména v místě vetknutí membrány do oblouků.

ZÁVĚR

Jak bylo uvedeno v úvodu, protože cena práce je v porovnání s cenou základních stavebních materiálů neustále vyšší

a vyšší, jsou častěji navrhovány jednoduché trémové konstrukce.

Na druhou stranu se ve světě objevují konstrukce charakterizované naprostou volností tvarů odvozených z představ architekta. Mluví se o hledání volných tvarů (*free form finding*) a o tzv. **tekuté architektuře** (*liquid architecture*). Protože tyto tvary nejsou dány statickou funkcí, navrhují se tyto stavby obvykle tak, že se vytvoří tradiční nosný systém, na který se připevní tvarovaný plášť. Bohužel se nevyužívá tvárný beton tvořící konstrukci i plášť, ale obvykle se navrhuje ocelová příhradovina, na kterou se připevní betonové panely.

Je škoda, že neumíme přesvědčit naše partnery, aby pro tyto stavby přijali tvárnou betonovou konstrukci spojovací funkci s tvarem. Podle mého názoru membránové konstrukce z předpjatého betonu mohou pomoci řešit tento problém. Lze je navrhnout nad jakýmkoliv půdorysem. A protože jejich výchozí tvar vychází z tvaru lanové sítě, umožňují návrh **volného tvaru** (*free form*), který je současně staticky čistý a tedy i ekonomický.

Je zřejmé, že membránové konstrukce z předpjatého betonu opravdu umožňují návrh architektonicky zajímavých a současně hospodárných konstrukcí. Předpětím lze zajistit, aby konstrukce byly namáhány jen tlakem a tak omezit vznik trhlin. Při správném návrhu detailů a pečlivém provedení lze postavit konstrukce, které vyžadují minimální údržbu.

Popisované konstrukce byly navrženy na Ústavu betonových a zděných konstrukcí FAST VUT v Brně ve spolupráci s firmou Stráský, Hustý a partneři, s. r. o., Brno.

Při řešení popisovaných mostů byly aplikovány výsledky projektu Ministerstva průmyslu FI-IM/185 „Nové úsporné konstrukce z vysokopevnostního betonu“. Příspěvek vznikl za podpory projektu 1M6840770001 MŠMT, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Prof. Ing. Jiří Stráský, DSc., PE

FAST VUT v Brně

Veveří 95, 662 37 Brno

tel.: 541 147 845, fax: 549 250 218

Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.

Bohunická 50, 619 00 Brno

tel.: 547 101 882, fax: 547 101 881

e-mail: j.strasky@shp.eu

foto: Archiv SHP, vizualizace: Ing. Jaroslav Baron