



# FASÁDY Z UHPC – BETONOVÉ „ZÁVOJE“ | UHPC FACADES – CONCRETE “VEILS”

JANA MARGOLDOVÁ

Moderní fasády jsou stále častěji vícevrstvé konstrukce, které musí splnit náročné požadavky konstrukční, funkční i estetické. Po skleněných co nejvíce odhmotněných lesklých plochách se pozornost nově zaměřuje na tvarování, materiálový charakter a barvu fasád. UHPC – materiál na špičce inovací pro nové architektonické aplikace je kombinací mimořádných vlastností, které dovolují navrhnout a vyrobit tenké prvky složitých tvarů, zakřivené a s různou texturou dle požadavků klienta, a realizovat projekty dříve obtížné až nemožné v tradiční železobetonové technologii. Článek představuje některé zajímavé stavby a upozorňuje na specifické možnosti materiálu využití na fasádních prvcích. | Modern facades are more and more often sandwich constructions that must fulfil high demands on construction and function. After focusing on glass, shiny, light as possible surfaces, attention is now focused on shaping, character of material and color of the facades. UHPC – innovative cutting edge material for new architectural applications – is a combination of extraordinary which allow to design and produce slim elements of intricate shapes, curved and with variable texture according to the client's demands, and to realize project that were difficult or impossible in the traditional reinforced concrete technology. This article some of the interesting constructions and brings attention to specific features of the material used for the facade elements.

Projekty představené v článku jsou jen malou částí již dokončených staveb s použitím UHPC [1]. Byly vybrány pro své neobvyklé znaky, rysy, které přispěly k uskutečnění vizí architektů.

Železobeton změnil fasády domů na počátku 20. století, neboť umožnil zvětšit rozměry oken obytných domů ale zejména okenních výkladců obchodů. Podobně UHPC fasádní prvky mění vzhled fasád 21. století. Ačkoliv je Ductal (obchodní název jednoho z nejznámějších betonů ze skupiny UHPC vyráběný společností Lafarge) relativně nový materiál, v posledních letech byl učiněn opravdu velký pokrok v jeho využívání (navrhování i výrobě) na nových a skutečně unikátních fasádách a dalších obvodových konstrukcích.

Tlaková pevnost tohoto ultra vysokohodnotného betonu (UHPC – ultra high performance concrete) dosahuje až neuvěřitelných 200 MPa a jeho ohybová pevnost až 40 MPa [2]. (Organická nebo kovová vlákna mu dávají houževnatost umožňující jeho využití v ohybově namáhaných prvcích.) Architekti mohou navrhnout štíhlé dlouhé nebo ploché tenké prvky, které jsou lehké, elegantní a inovativní a při tom mají vysokou trvanlivost, danou hutností a nepropustností materiálu, který zajišťuje vysokou odolnost prvků proti korozi výztuže, abrazi a účinkům dynamického zatížení.

Nebývalé hodnoty mechanických vlastností Ductalu, které vysoko překračují hodnoty dosažitelné u běžných betonů, umožňují jeho použití na velmi tenké prvky, které jsou vysoce trvanlivé a s dlouhou životností. Jejich odolnost vůči korozi, abrazi, karbonataci, účinkům dynamického zatížení a požárů z něj činí materiál vhodný pro konstrukce do drsného prostředí (přístavní konstrukce nebo průmyslové objekty) a veřejné budovy, které mají přísné požadavky na zajištění bezpečnosti, údržbu a seismickou odolnost.

Protože jde o nový materiál se zajímavými vlastnostmi pro jeho praktické použití, bylo potřeba vyvinout také odpovídající závěsné a spojovací prvky a celé systémy stejně jako povrchové úpravy. Každý nově navržený fasádní panel je třeba vyrobit jako prototyp, zkoušet a vyhodnocovat všechny

jeho části včetně závěsných a spojovacích prvků. Betonové prvky mohou být na jednu stranu velmi tenké, na druhé je však třeba řešit mezní hodnoty dosažených průhybů a vibrací, které mohou výslednou podobu prvku významně ovlivnit.

Využití UHPC se zdá neomezené. Po počátečních investicích do vývoje speciálního bednění, míchání a ukládání betonové směsi, lze vyrobit téměř jakýkoliv složitý tvar. Jemná matrice betonové směsi a její dobrá tekutost umožňují vyplnit až filigránské detaily na budoucím povrchu betonového prvku – to jsou vlastnosti, které však vyžadují od výrobců forem a bednění zcela jiný přístup, aby bylo možno využít široký potenciál materiálu.

Architekti a projektanti v těsné spolupráci s technologií a výrobcem teprve objevují rozsah možných variací betonových fasád a jejich povrchů.

## KŘIVKY

Plošně zaoblené UHPC panely umožňují obložit zaoblená nároží budov panely vcelku beze spár. Celistvá plocha nečleněná spárami je elegantní a efektivnější. Není třeba řešit množství spojů ve spárách, jejich utěsnění, sníží se počet závěsných prvků pro jednotlivé panely, které by všechny bylo potřeba patřičně rektifikovat, aby výsledná plocha byla rovná. Právě tyto důvody vedly architekta (D'Ambrosio Architecture + Urbanism) při návrhu fasády budovy The Atrium v kanadské Britské Kolumbii k rozhodnutí použít panely vyrobené z UHPC, **obr. 1**, [1].

Unifikovaný systém závěsných fasádních panelů musel být co nejtenčí, aby mohl překrýt posunuté rozvody klimatizace. Vysoká pevnost a duktilita použitého materiálu vyztuženého plastickými vlákny umožnila snížit tloušťku fasádních panelů až na 20 mm. Tím došlo ke snížení vlastní váhy konstrukce a průřezy nosných prvků mohly být zredukovány. Snížená hmotnost stavby umožnila vyhovět všem požadavkům návrhu konstrukce z hlediska seismického zatížení. (Viktoria je zahrnuta v Kanadě do nejvyšší seismické zóny.)



Obr. 1a



Obr. 1b



Obr. 1d



Obr. 1c



Obr. 1e



Obr. 2a



Obr. 2b

Bednění použité pro fasádní panely na budově Atria nebylo příliš složité. S pečlivě načasovanou betonáží a odbedněním se podařilo vyrobit panely s vnější plochou zdobenou jemným žebrováním (výška žebra 5 mm a šířka 10 až 15 mm). Podkladem pro žebrování byl ručně kreslený návrh architekta, který byl později přenesen na matrice vkládané do forem. Pro fasádu bylo vyrobeno cca 690 panelů ve třech různých formách. Běžná betonářská výztuž nebyla vůbec použita. Všechny panely jsou vysoké 1 300 mm a jejich šířka se mění od 750 do 2 150 mm, přičemž nejvíce panelů bylo vyrobeno v šířce 1 300 mm. Očekávané změny rozměrů panelu vyvolávané změnami vnější teploty (rozdíl nejnižších zimních a nejvyš-

ších letních vnějších teplot může běžně dosahovat přes 55 °C) jsou vyřešeny v rámci závěsného systému. Panely do šířky 1450 mm jsou podepřeny ve čtyřech místech, širší v šesti.

### TEXTURA

Autobusové centrum RATP v Thiais na okraji Paříže (navržené ateliérem ECMD – Emmanuel Combarel a Dominique Marrec) je pokryto fasádou z UHPC (Ductal) s texturou v „Lego“ stylu, která je symbolikou protismykové úpravy pojižděných povrchů [3]. Stavba jakoby vyrůstá z manipulační a odstavné plochy autobusů a fasádní panely tloušťky 30 mm ji pokrývají spojitě od země až po střechu. Výrazná pravidelná textura

**Obr. 1** Fasády budovy The Atrium v Britské Kolumbii, Kanada, D'Ambrosio Architecture + Urbanism, a) fasády se zakřivenými parapetními panely, b) vstup do budovy, c) lití čerstvé směsi UHPC do formy, d) detail panelu, e) detail povrchu panelu | **Fig. 1** Facades of The Atrium building in British Columbia, Canada, D'Ambrosio Architecture + Urbanism, a) facades with curved windowsill panels, b) building entrance, c) pouring of the fresh UHPC mixture into the form, d) detail of the panel, e) detail of the panel surface

**Obr. 2** Autobusové centrum RATP v Thiais, Paříž, ateliér ECMD – Emmanuel Combarel a Dominique Marrec, a) celkový pohled, b) detail povrchu panelu | **Fig. 2** Bus centre RATP in Thiais, Paris, ECMD Atelier – Emmanuel Combarel a Dominique Marrec, a) general view, b) detail of the panel surface



Obr. 3a



Obr. 3b



Obr. 3c

povrchů panelů vytváří v barevných odrazech na skleněných stěnách zajímavá moaré, [obr. 2](#).

Práci na projektu budovy předcházelo dlouhé období konzultací, diskuzí o fasádě, výroby prototypů panelů a jejich zkoušení. Obtížná byla i fáze návrhu a přípravy bednění pro rovinné ale zejména zakřivené plochy. Na budově jsou použity panely s konkávními i konvexními plochami. Přípravné období bylo ukončeno až po té, co bylo zřejmé, že projekt splní všechny požadavky z hlediska trvanlivosti konstrukce a ekonomiky nákladů. UHPC byl klíčovým prvkem, jež tvoří obálku, kůži stavby a dává jí neopakovatelný výraz. Tekutost materiálu umožnila vytvořit mnohokrát opakované otisky forem v neob-

vyklé přesnosti a jemnosti. Tmavošedá fasáda s kruhovými výstupky je zcela stejná na plochách přilehlých k budově, svislých stěnách i zaoblených horních hranách střešní atiky.

Bylo vyrobeno 378 fasádních panelů o celkové ploše 12 000 m<sup>2</sup>. Bylo třeba vyřešit řadu technických a technologických problémů spojených se zajištěním přesného tvaru 97 000 nízkých výstupků tvaru komolého kuželu (24 mm průměr, 7 mm výška) v pravidelném rastru s 12mm mezerou bez ohledu na zakřivení plochy fasádního panelu. Pro výrobu forem i vlastních panelů bylo třeba rozpracovat návrh do všech detailů a přesně a pečlivě rozplánovat a popsat i všechny nutné servisní práce (od skladování a čištění forem po přesnou iden-



Obr. 4a



Obr. 4b



Obr. 4c

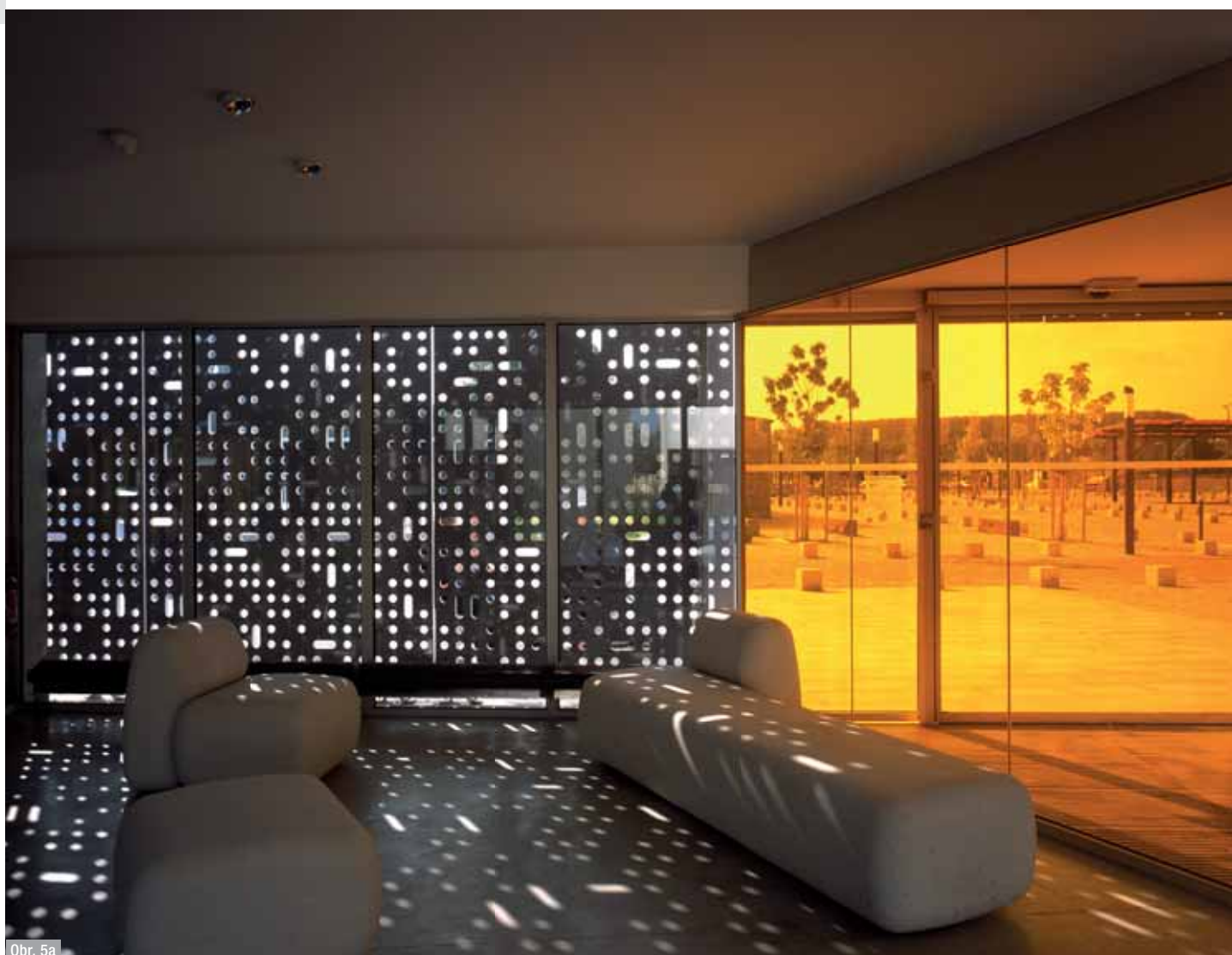
tifikaci všech panelů včetně jejich umístění v konstrukci), které realizace projektu vyžadovala. Pro osazování panelů na fasádu byl navržen a odzkoušen jednoduchý závěsný systém z prvků z nerezavějící oceli, který celou fázi významně usnadnil.

## FASÁDNÍ PANELE S OTVORY A MŘÍŽOVINY

Fasády sestavené z panelů s otvory geometrických tvarů nebo rostlinnými motivy jsou velmi atraktivní a architekti je rádi používají pro zastínění budovy před dopadem ostrého slunečního světla, či přehřívání vnitřních prostor nebo ochránění před hlukem a ruchem obklopujícího městského prostředí.

**Obr. 3** Přístavba radnice v Plescop, Morbihan, Bretaň, Francie, ateliér L'hyver-Brechet-Lohé, a) celkový pohled na fasádu, b) a c) detaily fasády | **Fig. 3** Annex to the Plescop Town Hall, Morbihan, Bretagne, France, L'hyver-Brechet-Lohé Atelier, a) general view, b) and c) detail of the facade

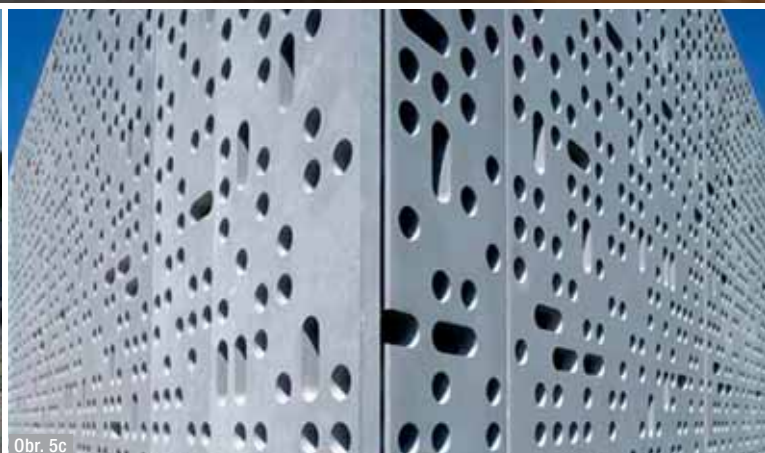
**Obr. 4** Rozšíření Městského muzea moderního umění v Lille, Manuelle Gautrand, a) pohled na fasádu dostavby z parku (fotografie Philippe Ruault), b) interiér výstavního sálu (fotografie Max Lerouge), c) večerní kontrasty (fotografie Max Lerouge) | **Fig. 4** Annexe to the City Museum of Modern Arts in Lille, Manuelle Gautrand, a) view at the annexe facade from the park (Photo Philippe Ruault), b) interior of the exhibition hall (Photo Max Lerouge), c) night contrasts (Photo Max Lerouge)



Obr. 5a



Obr. 5b



Obr. 5c

Tradiční děrované fasádní panely jsou vyráběny z lakované nebo nerezové oceli, hliníku, dříve se používala i litina. UHPC (Ductal) nabízí alternativy k vytváření různých dekorativních prvků, které jsou trvanlivé a jejich výroba vyžaduje významně nižší množství energie a času.

Architektonický ateliér L'hyver-Brechet-Lohé navrhnul rozšíření radnice městečka Plescop v oblasti Morbihan na jihu francouzské Bretaně [1]. Bílé, vyztužené panely s 50 % otvorů jsou vyrobeny z Ductalu a pokrývají 2. NP budovy, [obr. 3](#). Panely šesti různých typů, největší o rozměrech až 5,5 x 3,9 x 0,1 m, pokrývají více než 170 m<sup>2</sup> fasády.

Uspořádání muzeálních expozic často vyžaduje práci s denním světlem. Ve stejném čase však vystavené exponáty musí zůstat chráněny před možným poškozením dopadem UV paprsků. Unikátní UHPC mřížovina fasády navržená architektkou Manuelle Gautrand pro rozšíření Městského muzea moderního umění v Lille připomínající lehký závoj je krásným příkladem, jak oba, zdánlivě neslučitelné, požadavky vyřešit, [obr. 4](#). Architektka vycházela při návrhu nových částí muzea z jeho původních architektonicky cenných budov (1983). Výraz nové přístavby však měl být zcela současný [4]. Umělecká díla jsou často velmi „křehká“ a je třeba je chránit, přičemž využití denního světla může významně přispět



Obr. 5d



Obr. 6

k vytvoření správné atmosféry expozice. Z nové části muzea se otevírají krásné výhledy do přilehlého parku a autorka je citlivě využila ve svém návrhu. Závoj z Ductalu splnil funkční i estetické požadavky a dal novým budovám jedinečný výraz. Výrazně děrované (30 %) UHPC stěnové panely šířky 5,5 m, výšky 3 až 8 m a tloušťky jen 70 až 90 mm pokrývají 185 m<sup>2</sup> fasády nové přístavby.

Komunitní centrum ve francouzském Sedanu bylo postaveno v roce 2008 jako část regeneračního programu problematické části města. Architekt Philippe Gilbert navrhnul dvojitou fasádu, aby ochránil vnitřní prostor oddělený bohatě prosklenou fasádou, **obr. 5**, [1]. Na západní a jižní straně budovy jsou fasády kryty stěnovými panely z Ductalu (2 x 4 m, tloušťky 45 mm) s hustou perforací (30 %) kruhovými a protáhlými otvory, které dovolují dovnitř proniknout jen úzkým kuželům slunečního světla. 330 m<sup>2</sup> panelů bylo na fasády osazeno během dvaceti dnů.

Jako část revitalizace průmyslové oblasti Rive Gauche ZAC ve 13. pařížské čtvrti ležící na levém břehu Seiny, architekti z ateliéru Badia-Berger navrhli několik bloků bytových domů, které upoutají pozornost kolemjdoucích – zelené výhonky vinně révy šplhají po fasádě a vytvářejí zajímavou vertikální krajinu, **obr. 6**, [1]. Bytové domy stojí v sousedství prestižní budovy Národní knihovny (1996) a pařížské Školy architektury Val de Seine (2006), proto architekti hledali něco nadčasového

než jen stěny porostlé zelení, jejichž udržování v dobrém stavu je přece jen finančně dosti náročné. Zkusili převést představu pnoucích se rostlin do abstraktní mřížoviny stínících fasádních panelů. Výsledkem je 44 kusů panelů z UHPC (Ductal). Tvar mřížoviny na panelech výšky 6,6 m (přes dvě podlaží) a šířky 2,3 m navrhla malířka Elisabeth Guilhem, která se ve své tvorbě nechává často inspirovat rostlinou říší. Plochu panelu (15 m<sup>2</sup>) tvoří 50 % materiálu a z 50 % otvory a při tloušťce 70 až 90 mm váží každý 1,8 t. Při jejich osazení na okraj balkonové desky jsou dodržena všechna normová omezení pro zatížení balkonů.

**Obr. 5** Komunitní centrum v Sedanu, Francie, Philippe Gilbert, a), b) proměny fasády během dne, c) detail rohu fasády, d) interiér budovy | **Fig. 5** Community centre in Sedan, France, Philippe Gilbert, a), b) changes of the facade during the day, c) detail of the corner of the facade, d) interior of the building

**Obr. 6** Fasáda bytového domu ZAC, Paříž, Francie, Badia-Berger a Elisabeth Guilhem | **Fig. 6** Facade of the apartment house YAC, Paris, France, Badia-Berger a Elisabeth Guilhem





Obr. 7a



Obr. 7b



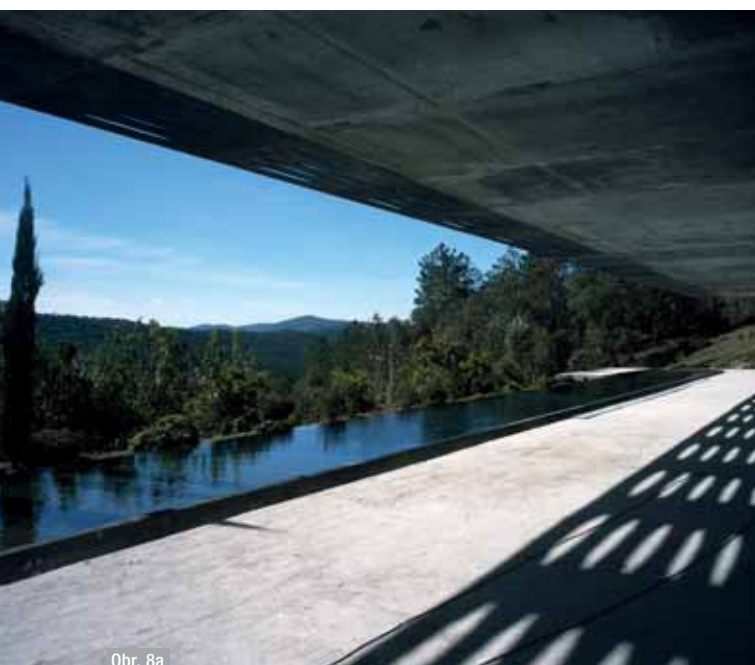
Obr. 7c

## LEHKÉ FASÁDY

Nový samonosný fasádní systém s dlouhodobou trvanlivostí je tvořen sendvičovými panely, kde je 200 a 300 mm silná vrstva tepelné izolace kryta 30 mm UHPC (Ductal). Systém brání vzniku tepelných mostů na styku stropní konstrukce s fasádou, chrání fasádu proti pronikání srážkové vody a dává naprostou volnost v umisťování okenních otvorů, neboť panely neobsahují konvenční výztuž železobetonu. Poprvé byl nový systém využit na budově mateřské školky Pierre Budin Daycare (květen 2012) v 18. pařížském obvodu, kterou navrhnul architekt Dominique Marrec z ateliéru ECDM, [obr. 7](#), [1]. Rohová budova na křižovatce rušné Rue



Obr. 7d



Obr. 8a



Obr. 8b

Poissonniere a Rue Budin je navržena jako nízkoenergetická. Její bílá fasáda o ploše 520 m<sup>2</sup> vyrobená z Ductalu s příměsí TiO<sub>2</sub> je zvlněná ve vodorovném i svislém směru.

Dalo by se říci, že lehkou fasádou je i výrazně vykonzolovaná střecha Villy Navarra, **obr. 8**, od architekta Rudi Ricciotti [5]. Jen mírně vespádovanou konstrukci střechy navrhnul architekt ze sedmnácti 9,25 m dlouhých U nosníků širokých 2,35 m. Volná vykonzolovaná část přesahuje o 7,8 m přes skleněnou fasádu a brání tak pohledům z okolí do vnitřních soukromých prostor. Nosníky z Ductalu jsou po délce vyztuženy nízkými žebry, která mají v hřebeni střechy výšku 510 mm a k okrajům se snižují, až zcela vymizí. 1,41 m široký pás podél podélného okraje střechy je na každém nosníku odlehčen pěti 2,1 m dlouhými příčnými otvory. V těchto místech je panel střechy vysoký jen 30 mm. Sluneční paprsky pronikají otvory v tmavé střeše a posunují po podlaze široké terasy jasné ovály.

## ZÁVĚR

UHPC vyztužený jemnými vlákny (Ductal) přináší do architektonické tvorby nové inovativní možnosti. Svou velmi vysokou pevností a houževnatostí dovoluje navrhovat štíhlé nebo velmi tenké prvky v rozměrech ocelových konstrukcí avšak bez komplikovaných spojů jednoduše lité do formy téměř libovolného tvaru. Konstrukce překvapují minimálními nároky na údržbu a vysokou trvanlivostí.

Samozřejmě, že je třeba počítat s úpravou norem, které ve svých předpisech zahrnují všechna doporučení pro správný a bezpečný návrh konstrukcí, aby obsahovaly i charakteristiky a chování nového materiálu. Avšak bez zájmu veřejnosti (trhu) o použití nového materiálu by nebyl žádný zájem normy měnit.

Cena materiálu, která je důležitou položkou rozpočtu projektu, však bude vyvážena při komplexním pohledu na celoživotní náklady stavby, nulovou cenou za další nepotřebné konstrukční prvky (povrchové vrstvy a úpravy), nízkou cenou za údržbu a vysokou trvanlivostí materiálu.

Ukázky použití UHPC představené v tomto článku jsou jen

malou částí úspěšných architektonických projektů, které byly od roku 2000, kdy byl materiál představen veřejnosti, dokončeny a předány vlastníkům a uživatelům.

Hranice možností využití ultra vysokohodnotných betonů jsou posouvány dále invencí architektů a konstrukčních inženýrů. Jen na nich záleží, jaké stavby vyrostou kolem nás v příštích měsících a letech. Postupný růst obliby betonových materiálů se projevuje i v české společnosti. Je proto velmi důležité poskytnout veřejnosti dostatek informací, aby si uvědomila, co vše může po architektech a inženýrech žádat.

Redakce časopisu Beton TKS děkuje společnosti Lafarge za všechny fotografie publikované v článku.

Fotografie 1, 2, 3, 5, 6 a 7 Médiatheque Lafarge

### Literatura:

- [1] [www.ductal-lafarge.com](http://www.ductal-lafarge.com)
- [2] Henry K. A., Seibert P. I.: Filigree dreams, opus C, 6.2011, str. 42–46
- [3] Combarel E., Marrec D.: Administrativní budova a operační centrum autobusové dopravy v Thais na okraji Paříže, Beton TKS 1/2011, str. 8–9
- [4] Gautrand M.: Rozšíření Muzea moderního umění ve francouzském Lille, Beton TKS 1/2011, str. 10–13
- [5] Vila Navarra, Beton TKS 1/2010, str. 27–29

**Obr. 7** Pierre Budin Daycare Paříž, Francie, Dominique Marrec, ECDM, a), b) pohledy na fasády, c) výroba teploizolačního panelu, d) osazování panelu na nosnou konstrukci budovy | **Fig. 7** Pierre Budin Daycare Paris, France, Dominique Marrec, ECDM, a), b) view to the facades, c) manufacturing of the thermal insulation panel, d) mounting of the panel onto the bearing structure of the building

**Obr. 8** Villa Navarra, Rudi Ricciotti, a) konzola střechy odlehčená otvory (fotografie Philippe Ruault), b) střešní nosníky ve tvaru plochého U (fotografie Philippe Ruault)

| **Fig. 8** Villa Navarra, Rudi Ricciotti, a) cantilever of the roof with holes reducing dead load (Photo Philippe Ruault), c) roof beams in the shape of flat U (Photo Philippe Ruault)