



VÝROBA A NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ Z UHPC

Zpracoval: prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng. (Fakulta stavební ČVUT v Praze a Metrostav a.s.)

Souhrn

Aplikace UHPC (Ultra High Performance Concrete, u nás označovaný jako beton velmi vysoké pevnosti) na nosné konstrukce vyžaduje řešení řady dílčích úloh. Výsledkem bude proces, který zajistí, že konstrukce vyrobená z UHPC bude spolehlivě sloužit svému účelu a bude splňovat požadavky na bezpečnost, použitelnost a trvanlivost tak, jak je to požadováno od klasických betonových konstrukcí. Předmětem tohoto technického listu je přehled těchto dílčích úloh. Vychází se ze zkušeností získaných při realizaci pilotního projektu lávky přes Labe v Čelákovících [1] a ze zahraniční literatury [2], [3].

Oblast použití

Využití výsledků se předpokládá při projektování a realizaci dalších staveb z vysokohodnotného betonu UHPC nebo jemu podobných materiálů.

Metodika a postup řešení

Úspěšná realizace projektu, kde nosná konstrukce bude z UHPC, popř. podobného materiálu, vyžaduje inovace ve dvou základních oblastech, a to: 1. Oblast technologie a zkušebnictví a 2. Oblast navrhování.

První oblast lze rozdělit do několika dílčích činností:

1. **Stanovení požadavků na parametry vyvíjeného UHPC.** Standardně se předpokládá, že UHPC je směsí betonu a rozptýlené výztuže (proto někdy označení UHPFRC) a že je definován zejména pevností přesahující 150 MPa na standardních válcích, pevností v tahu za ohybu 15 až 20 MPa. Takový beton zaručuje, že bude mít vysoké mechanické parametry a zároveň že jeho odolnost proti účinkům prostředí bude natolik vysoká, že zajistí velmi dlouhou životnost konstrukce s plánovanou trvanlivostí až 120 let. Podle druhu konstrukce je třeba rozhodnout, zda požadavky na takto vysoké mechanické parametry jsou skutečně nutné. Zkušenosti ukazují, že k dosažení válcové pevnosti 150 MPa, je třeba vynaložit velké úsilí a též náklady na vývoj a složení betonové směsi. Relativně malé snížení pevnostních parametrů na

cca 130 MPa, pak znamená nezanedbatelné snížení nákladů na beton a zároveň nemusí dojít k významnému snížení trvanlivosti. Tahové vlastnosti UHPC jsou dány zejména typem a objemem ocelových vláken. Lze proto dosáhnout relativně vysoké tahové pevnosti betonu, i když jeho tlaková pevnost je menší než obvykle uznávaných 150 MPa. Je proto zejména z ekonomických důvodů důležité rozhodovat o skutečně požadovaných vlastnostech UHPC pro danou konstrukci. Např. řada aplikací využívá předpjatý beton a tam tlaková pevnost přesahující 150 MPa nemusí být vždy nutná, pokud jsou splněny ostatní požadované parametry betonu.

2. **Návrh betonové směsi.** Návrh betonové směsi, kde beton v zatvrdlém stavu má dosahovat vysokých mechanických parametrů, vyžaduje a) použití velkého množství cementu, b) použití jemnozrnných příměsí např. typu mikrosiliky, a zejména c) vhodné navrženou granulometrii kameniva vysoké kvality. Takový návrh vyžaduje řadu experimentů a ověřování a není jednoduchý.

3. **Zkoušení materiálu.** Je třeba realizovat řadu zkoušek. Zkoušky vstupních materiálů, které jsou náročnější než zkoušky pro běžné betony. Zkoušky UHPC v čerstvém stavu. Hledá se vhodný typ zkoušek, který by využil stávající vybavení zkušebních laboratoří a zároveň poskytl dostatečnou vypovídající schopnost pro ověření kvality čerstvého UHPC. Zkoušky UHPC v zatvrdlém stavu opět vycházejí ze zkušebních postupů běžných betonů. Naráží se však na problém vysoké pevnosti. Např. běžná zkouška tlakové pevnosti na krychlich o délce hrany 150 mm je pro širší aplikaci UHPC v praxi nereálná, neboť vybavení většiny laboratoří nedisponuje zařízením, které je schopné vyvinout dostatečný tlak pro rozdrčení takto velkých krychlí. Bude třeba používat krychle menší (např. s délkou hrany 100 mm) nebo jiné vzorky. Pro zkoušky v tahu za ohybu jsou používány dvě metodiky – dle RILEM, kde se zkouší ohyb na trámci s vrubem při tříbodovém ohybu, nebo dle německých zvyklostí, kde se zkouší trámec bez vrubu čtyřbodovým ohybem. Obě zkoušky mají své přednosti a nevýhody a je třeba se shodnout na některé, která by se měla stát součástí našich budoucích předpisů.

Zkoušky pro ověření trvanlivosti (mrazuvzdornost, odolnost proti CHRL, průsak, atd.) užívané pro běžný beton, lze použít, avšak je k další diskusi, zda jejich výsledky na UHPC budou dostatečně vypovídající. Zatím se ukazuje, že téměř všechny výsledky jsou vyhovující, tzn., že by jejich provádění bylo zcela zbytečné.

4. Technologie výroby prvků. Výroba konstrukčních prvků není jednoduchá. Je třeba navrhnout postup betonáže tak, aby bylo dosaženo kvalitní odlití prvku. Lze použít beton vibrovaný, který je tužší, a je schopen vytvořit v bedně skloněný povrch. Jinou variantou je beton samozhutnitelný, který dobře vyplňuje prostor v bedně i bez vibrace, ale na druhé straně není schopen vytvořit skloněný nebo stupňovitý povrch prvku. Samozhutnitelný beton má výhodu, že jeho zhutnění je většinou velmi dobré a méně rizikové než u vibrovaného betonu. Zejména je důležité navrhnout postup betonáže a vyplňování formy tak, aby bylo zajištěno spolehlivé vyplnění prostoru formy/bedně a dále aby bylo zajištěno spolehlivé rozložení disperzní výztuže, tj. aby ve všech místech byla zajištěna homogenita čerstvého betonu. Protože to může být problém, je třeba vhodně zvolit velikost formy/bedně a záběru betonáže a dále vhodně navrhnout způsob plnění včetně počtu a umístění plnicích otvorů. Navržený postup výroby je vhodné ověřit na prototypch, dříve než se zahájí sériová výroba elementů zabudovaných do konstrukce.

5. Ověření výroby prvků. Výroba prvků z UHPC musí být kontrolována z několika hledisek. Kvalita betonáže a kvalita povrchů a dále rozmístění vláken v betonu. Zatímco první dvě vlastnosti lze obvykle kontrolovat vizuálně, rozmístění vláken je třeba kontrolovat na prototypch destruktivně a při výrobě lépe nedestruktivními metodami. V této oblasti není dosud shoda na jednoznačném postupu.

6. Ověření a kontrola betonu v konstrukci. U prefabrikovaných konstrukcí je tato kontrola nahraditelná kontrolou výroby prvků (viz. bod 5). U monolitických konstrukcí je kontrola obtížnější, protože jde o jednorázovou výrobu nikoli opakovanou jako u prefabrikátů. Je třeba dle konkrétních podmínek analyzovat možné postupy betonáže, vybrat nejvhodnější a též vybrat vhodné metody kontroly. Jednou z možností může být i nutnost výroby modelu části konstrukce v měřítku 1:1 a ověření jeho vlastností destruktivními metodami.

Oblast navrhování konstrukcí z UHPC má opět svá specifika a pokud neexistují předpisy upravující postup návrhu, je nutné věnovat této oblasti vysokou pozornost. Konstrukce z UHPC jsou vystaveny různým způsobům namáhání. Pokud jsou

předepnuty, nebo vyztuženy klasickou výztuží a nespolehá se na přenos tahových sil betonem, pak lze pro návrh použít obvyklé postupy. Problém nastává zejména, pokud se využívá tahových vlastností UHPC. V tomto případě je třeba **stanovit materiálové parametry na základě zkoušek** konkrétního betonu. Nejčastěji se používají zkoušky na trácích v tahu za ohybu, nebo se využívá tahové zkoušky na zvláštních tělesech. Popř. by bylo možné použít i zkoušky v příčném tahu. Ze zkoušek vychází tahová pevnost, popř. lomová energie určující houževnatost materiálu. Konkrétní postupy je třeba definovat, což je mimo jiné předmětem výzkumu v projektu CESTI v dalším období.

Se stanovením materiálových parametrů souvisí další okruh problémů a **to stanovení bezpečnostních limitů pro návrh konstrukcí**. Jde o problematiku spolehlivosti a koncepce návrhu dle mezních stavů. K optimálnímu nastavení těchto parametrů je třeba využít větší statistické soubory výsledků zkoušek, které dosud nejsou u nás k dispozici.

S navrhováním konstrukcí souvisí i řada dalších skutečností, které dosud omezují používání UHPC. V současné době má návrh konstrukcí splňovat existující návrhové normy. Tam je řada ustanovení, která nejsou pro konstrukce z UHPC vhodná. Např. požadavek na krycí vrstvu výztuže, který je stanoven pro běžné betony, není pro UHPC vůbec nutný. Vyšší kvalita UHPC zakládá oprávněný požadavek na snížení krycí vrstvy výztuže. Podobně by bylo žádoucí **revidovat řadu konstrukčních ustanovení** s ohledem na odlišné vlastnosti UHPC proti běžným betonům.

Závěr

Technický list uvádí oblasti výroby, ověření a navrhování konstrukcí z UHPC, kde je nutná další výzkumná činnost, aby tyto konstrukce mohly být vyráběny v širším měřítku. Jde zejména o oblast ověřování kvality výroby konstrukcí, stanovení návrhových metod a úpravy konstrukčních zásad.

Literatura

- [1] Vítek, J.L., Kalný M. TL 3.6c Využití UHPC na lávce v Čelákovcích. Projekt CESTI, WP3, 2014.
- [2] AFGC: Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete. Recommendations AFGC, France, Paris Cedex 6/2013.
- [3] Fehling, E., Schmidt, M., Walraven, J., Leutbecher, M., Fröhlich, S.: UHPC, BetonKalender 2013.