

INOVATIVNÍ FOTOKATALYTICKÝ CEMENT OBSAHUJÍCÍ NANOČÁSTICE TiO_2 ■ INNOVATIVE PHOTOCATALYTIC CEMENTITIOUS MATERIALS CONTAINING NANOSIZED TiO_2

Andrea Folli

Řešený projekt se soustředí na zkoumání vlivu nanočástic oxidu titanu (TiO_2) na samočištění a bránění znečištění fotokatalytického bílého cementu. Pro stanovení samočisticího výkonu betonů obsahujících TiO_2 byla sledována degradace organického barviva rodamin a oxidační reakce plyných oxidů dusíku (NO_x), znečišťovatelů atmosféry způsobujících kyselou dešť a fotochemický smog. Výsledky experimentálních měření jsou diskutovány ve vztahu k chemickému prostředí cementu a dopadům na užití v konstrukčním betonu. ■ The present work addresses the influence of nanosized titania (TiO_2) on the self-cleaning and depollution performances of photocatalytic white cement. Degradation of Rhodamine B (RhB), a red dye used to assess self-cleaning performances of concretes containing TiO_2 , as well as oxidation of gaseous nitrogen oxides (NO_x), atmospheric pollutants responsible for acid rains and photochemical smog, are investigated. Experimental data on photocatalytic performances are discussed in relation to the chemical environment of cement and impacts on applications in structural concrete.

POLOVODIČOVÁ FOTOKATALÝZA – OBECNĚ

Objev fotokatalytických vlastností dioxidu titanu TiO_2 na začátku sedmdesátých let 20. století [1] otevřel novou širokou oblast výzkumu, který brzy nabídl přijatelné způsoby nápravy znečištěného ovzduší a vod. Termín **fotokatalytický** napovídá, že se jedná o katalytický proces (urychlení chemické reakce pomocí přítomnosti substance, která sama není reakcí spotřebována – **katalyzátor**), který vyžaduje **světlo**. V heterogenní fotokatalýze je skutečným katalyzátorem obvykle pevný **polovodič**.

Spuštění polovodičové fotokatalýzy nastává excitací elektronu z valenčního pásu polovodiče (VB v obr. 1) do vodivostního pásu (CB v obr. 1); k tomu dochází pohlcením částice světla, fotonu. Je nutné, aby světlo obsahovalo fotony o energii aspoň tak velké, jako rozdíl energií elektronů v obou pásech (energie zakázaného pásu: bublina se schématem energií v obr. 1).

Výsledkem je elektron (e^- , ve vodivostním páse) a elektronová díra s kladným nábojem (h^+ , ve valenčním páse). Oba náboje jsou v krystalu pohyblivé (obr. 1).

Když nosiče náboje (e^- a h^+) doputují k povrchu částice a setkají se tam s adsorbentem, který je akceptorem elektronů (A na obr. 1) nebo jejích donorem (D na obr. 1), dojde k pohlcení elektronu (e^-) nebo naopak ke zrušení díry (h^+) při chemické reakci. Vysoce efektivními akceptory jsou molekuly O_2 a donory molekuly H_2O . Při obou typech reakcí s účastí přenosu náboje vznikají radikály na bázi kyslíku s vysokou oxidační schopností (jako radikály superoxidové, $\text{O}_2^{\bullet-}$, peroxidové, HO_2^{\bullet} , hydroxylové radicals, HO^{\bullet}). Konečným důsledkem je pak oxidace organických i neorganických látek v okolním prostředí.

UŽITÍ POLOVODIČOVÉ FOTOKATALÝZY V CEMENTOVÝCH MATERIÁLECH

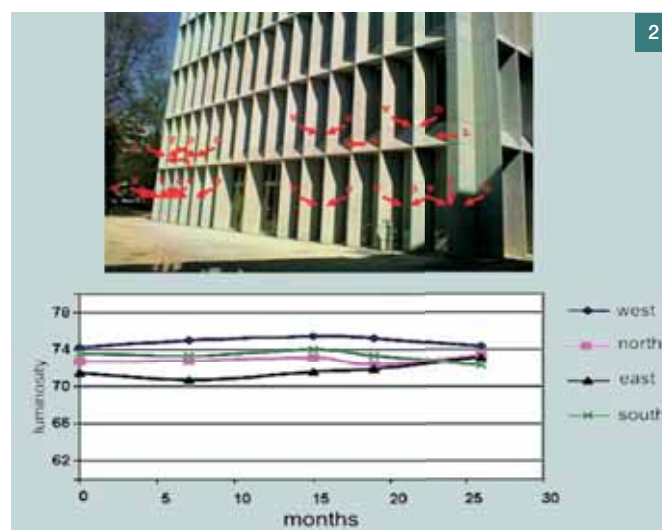
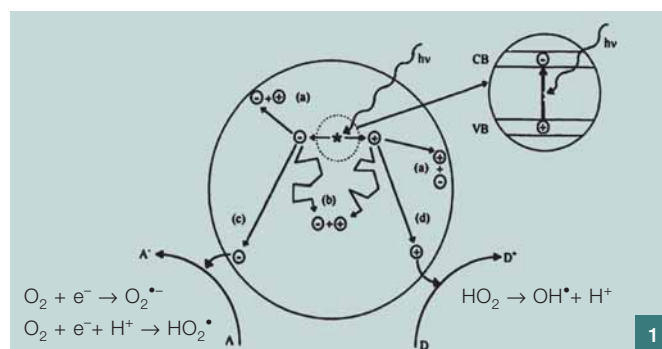
S využíváním polovodičové fotokatalýzy v cementových materiálech se začalo koncem osmdesátých let 20. století. V té době byly objeveny dva důležité jevy související s povahou fotoaktivních TiO_2 povlaků:

- samočisticí účinek oxidačně-redukční reakce vyvolané dopadem slunečního světla (nebo obecně slabého UV záření) na povrch fotokatalyzátoru [2],
- světlem vyvolaná hydrofilie (přichylnost k vodě/smáčivost) povrchu katalyzátoru [3, 4], která podporuje samočisticí účinek (anorganické znečištění povrchu je spláchnuto dešťovou vodou, která snadno pronikne mezi znečišťující částici a povrch s TiO_2).

Fotokatalytická skla jsou příkladem samočisticích a protizamlžovacích vlastností, např. Pilkington Active™ [5, 6]. V současné době mají fotokatalytické cementové materiály patentovány Mitsubishi Corp. (NOxer™) a Italcementi SpA (TX-Aria™ and TX-Arca™) [7 až 10]. V uvedených stavebních materiálech je aktivním fotokatalyzátorem anatas TiO_2 (*Modročerný lesklý nerost užívaný jako bílé barvivo, pozn. red.*, je neaktivnější ze tří modifikací oxidu titaničitého, další jsou rutil a brookit.) Hlavními důvody, proč je TiO_2 nejužívanějším fotokatalyzátorem pro uvedené aplikace, jsou:

- je výborným bílým barvivem, proto je velmi vhodný pro beton z bílého cementu,
- je levný ve srovnání s dalšími polovodičovými fotokatalyzátory,
- je velmi stabilní, nedochází u něj k fotoanodické korozi (tak jako u jiných n-typů polovodičů užívaných při fotokatalýze [11]) a nereaguje s cementovou fází.

Ačkoliv je užívání fotokatalytického cementu (běžné označení pro směs cementu a fotokatalyzátoru) chráněno a ome-

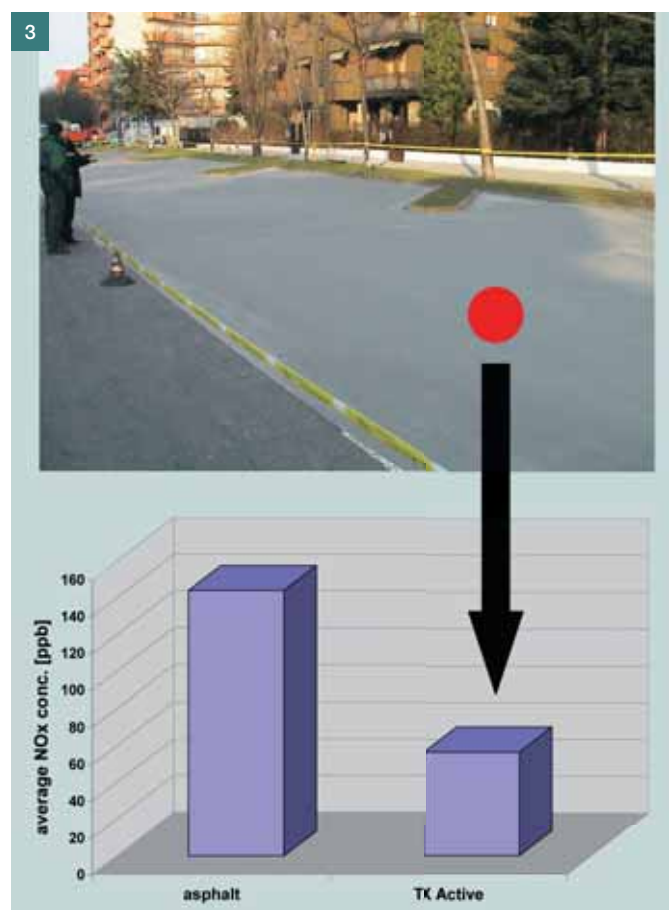


zeno ve srovnání s běžným cementem, byla již od roku 2000 navržena a postavena řada budov a městských komunikací z betonu obsahujícího TiO_2 . K nejznámějším z nich patří chrám „Dives in Misericordia“ v Římě, Music and Arts City Hall ve francouzském Chambéry; Hlavní policejní stanice v Bordeaux, budova Air France v Roissy na letišti Charles de Gaulle, Saint John's Court v monackém Monte Carlu, několik městských chodníků a vozovek v Itálii a parkovací plocha v belgických Antverpách.

Užití TiO_2 jako fotokatalyzátoru do betonu má dva hlavní cíle, samočisticí účinek popsáný v úvodu (důležitý zejména pro konstrukce postavené z bílého betonu) a účinek snižující znečištění vzduchu daný reakcí oxidů dusíku (NO_x) v atmosféře na NO_3^- ; to je důležité zejména pro města, kde je v hlubokých uličních „kaňonech“ obvykle vysoká koncentrace NO_x jako důsledek provozu spalovacích motorů automobilů. Zkoušky realizované na různých stavbách potvrzují dobrou úroveň „estetické trvanlivosti“ a snížení znečištění vzduchu v místech, kde je přítomný TiO_2 . Na obr. 2 je Music and Arts City Hall ve francouzském Chambéry s vyznačenými místy, kde probíhají dlouhodobá měření. Po třiceti měsících je zářivost světlé fasády objektu výborně zachovaná a žádný významný pokles její jasnosti vzhledem k počátečním hodnotám nebyl zaznamenán.

Obr. 3 ukazuje průměrnou úroveň obsahu oxidů dusíku za devět měsíců v blízkosti chodníku a parkovací plochy opravených s použitím fotokatalytického cementu TX Active od Italcementi ve srovnání s podobnou plochou s asfaltovým povrchem [12].

Pro získání celkového přehledu o samočisticích a znečišťujících účincích TiO_2 je v článku zaměřena pozornost zejména na chemické procesy a vlastnosti fotokatalytických cementových materiálů.



EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

Během popsaného experimentálního výzkumu byl zkoušen komerčně dostupný TiO_2 (Millennium Chemicals PC-105), 100% anatas. Fyzikálně-chemické vlastnosti vzorku jsou uvedeny v tab. 1, kde název n- TiO_2 označuje nanočástice TiO_2 .

Trvanlivost estetických vlastností a samočisticí schopnosti (Test rodamínem B)

Byl připraven vzorek cementové pasty obsahující n- TiO_2 . Za sucha byly smíchány n- TiO_2 a bílý Portlandský cement (CEM I 52,5 R) v hmotnostním poměru 3,5 : 96,5. 20 g směsi bylo následně smáčeno 8 g destilované vody (poměr voda/suchá směs w/s = 0,4). Druhý (kontrolní) vzorek byl připraven bez fotokatalyzátoru. Po zamíšení byly pasty uloženy do nízkých válcových forem (průměr 42 mm, výška 5 mm), které byly ponechány jeden den v pokojové teplotě a relativní vlhkosti 80,5 % (nad nasyceným roztokem $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Z každého vzorku pasty bylo vyrobeno šest cementových „disků“. Po jednom dni ošetřování byly všechny zkušební vzorky (disky) natřeny 20 μl vodného roztoku Rodaminu B (RhB, 1 g/l). Plocha nátěru byla přibližně 120 mm^2 . Rodamin B je červené barvivo, které je používáno jako modelové znečištění na betonový povrch. Oba soubory vzorků byly následně ozářovány UV lampou UVItec LI-208.m (dvě trubice, každá o výkonu 8 W o hlavní vlnové délce 312 nm) a po stanovených časech proběhla měření odrazivosti jejich povrchů spektrometrem StellarNet EPP2000.

Účinek snižování znečištění (NO_x oxidační test)

Pro NO_x oxidační test byly připraveny vzorky malty dle postupu popsaného v evropské normě ISO 679 [13]. Maltové vzorky byly nality do Petriho misek o průměru 90 mm do výšky 10 mm. Byly připraveny dva soubory po dvanácti maltových discích, jeden s TiO_2 a druhý, kontrolní, bez fotokatalyzátoru. Vzorky byly ošetřovány sedm dní v pokojové teplotě v uzavřených plastových pytlích a dalších sedm dní v pokojové teplotě a 60% relativní vlhkosti.

NO_x oxidační zkoušky byly provedeny v plynovém průtokovém reaktoru dle Italian Standard UNI 11247 [14] (obr. 4). Fotokatalytický reaktor tvoří box o objemu 3,58 l se stěnami z pyrexového skla, kde je vzorek během zkoušky uchycen zespodu na speciálním držáku. Plyná směs vzduchu a NO_x proudí do uzavřeného prostoru nad vzorek, protéká přímo na horní povrch disku a odtéká otvorem umístěným pod držákem vzorku. Systém je udržován v pokojové teplotě. Pro-

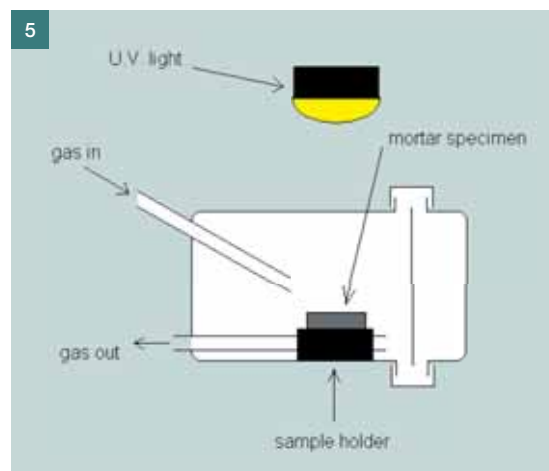
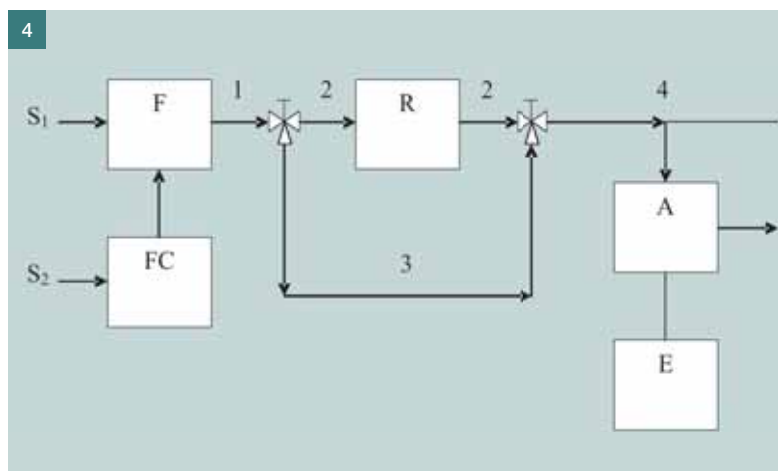
Obr. 1 Zobrazení základních procesů odehrávajících se na částicích polovodiče během excitace elektronů ■ Fig. 1 Illustration of the major processes occurring on a semiconductor particle following electronic excitation

Obr. 2 Samočisticí účinek fotokatalytického cementu TX Active ■ Fig. 2 Self-cleaning effect of photocatalytic cement TX Active

Obr. 3 Účinek fotokatalytického cementu TX Active na obsah oxidů dusíku ve vzduchu, chodník a parkovací plocha v Segrate, Itálie [12] ■ Fig. 3 Effect of photocatalytic cement TX Active on nitrogen oxides content in the air. Sidewalk and parking area in Segrate, Italy [12]

Tab. 1 Fyzikálně-chemické vlastnosti vzorku n- TiO_2 (Millennium Chemicals PC-105) ■ Tab. 1 n- TiO_2 (Millennium Chemicals PC-105) physical chemical characterisation data

Vzorek	Krystalová struktura	Energie zakázaného pásu [eV]	Měrný povrch [m^2g^{-1}]	Střední rozměr krystalu [nm]
n- TiO_2	100% anatas	3,34 ± 0,02	78,9	17



stor je ozářován UV zářením z OSRAM ULTRAVITALUX lampy emitující paprsky v poli U.V.-A s maximální vlnovou délkou 365 nm. Vzdálenost mezi lampou a vzorkem byla zvolena tak, aby na horní povrch vzorku v průměru dopadalo záření $20 \pm 1 \text{ Wm}^{-2}$ (obr. 5).

Vtoková koncentrace NO při experimentech byla 600 ppb ($\mu\text{g/kg}$) ve vzduchu s poměrem NO/NO₂ rovnému 2 ve třech různých rychlostech proudění: 3, 2 a 1,5 l/min. Všechny oxidační experimenty proběhly následujícím postupem. Diskové vzorky byly obaleny těsnou fólií tak, aby horní plocha zůstala volná a plášť válce a spodní podstava byly chráněny. Po vložení disku do fotokatalytického reaktoru byl dovnitř puštěn proud plynu (v dané rychlosti proudění) a zhruba půl hodiny se vyčkal, než se uvnitř vytvořilo stabilní prostředí o konstantní koncentraci směsi NO a NO₂. Po té byla rozsvícena UV lampa a po 90 min byla sledována koncentrace NO a NO₂.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Estetická trvanlivost a samočisticí schopnosti (Test rodaminem B)

Pokles sytosti barvy RhB byl kvantitativně vyjádřen pohlcováním světla jako funkce vlnové délky světla odraženého od cementového povrchu s nanosenou barvou (U.V.-vis Diffuse Reflectance Spectroscopy). Obr. 6 ukazuje vizuální účinek degradace barvy na cementových discích. Po 3 h vystavení disků s fotokatalytickým cementem působení UV záření Rodamin B na jejich povrchu téměř úplně degradoval.

Je třeba poznamenat, že jistá degradace barvy je zřejmá i na discích, které neobsahovaly fotokatalyzátor. Toto zjištění ukazuje na snadnou špatnou interpretaci výsledků účinnosti katalyzátoru, pokud by nebyla možná kontrola srovnáním obou typů vzorků. Ztráta sytosti barvy působením světla je celkem běžná, tento jev je pozorován na barvených textiliích, které na slunečním světle vyblednou. I při uvážení tohoto jevu je zřejmá vyšší degradace barvy za přítomnosti fotokatalyzátoru [15]. Celková fotolytická degradace barvy po třech hodinách ozáření byla 38 % (vzorek A na obr. 6), zatímco za přítomnosti TiO₂ byl pokles sytosti barvy až 86 % (vzorek B na obr. 6). Výsledek potvrzuje samočisticí účinek povrchu cementu, je-li v materiálu obsažen TiO₂.

Snižování znečištění prostředí

Obr. 7 ukazuje změny koncentrací oxidů dusíku během oxidační zkoušky za použití tří různých rychlostí proudění a nasvícení UV lampou. Každý z grafů popisujících vliv fotokatalytického cementu je porovnán s výsledky naměřenými nad vzor-

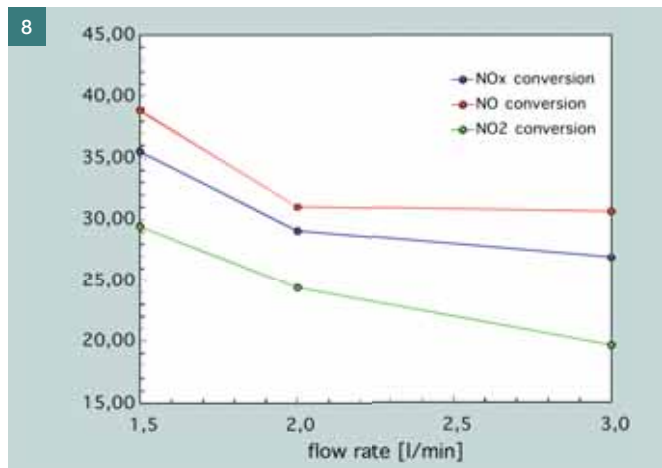
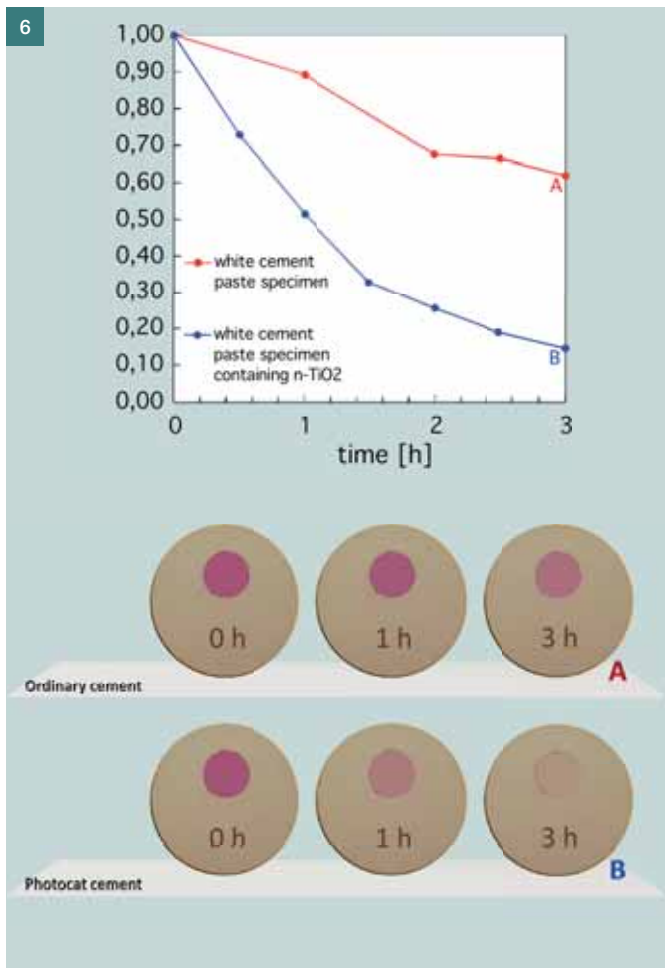
ky z bílého cementu bez použití TiO₂. Ploché charakter profílů bez použití TiO₂ ukazuje velmi nízký vliv cementového prostředí samotného na oxidaci NO a NO₂. Pokud však byl TiO₂ ve vzorcích cementu přítomný, koncentrace NO and NO₂ během prvních minut výrazně poklesla a potom si udržovala celkem stálou úroveň. Je také zřejmé, že při nižších rychlostech proudění (a tedy delším postupovém čase plynu boxem) je výsledná koncentrace nižší (po 90 min.), a tedy vyšší účinnost. Toto je zřejmější na obr. 8, kde jsou vykresleny celkové konverze NOx, NO a NO₂ za 90 min pro jednotlivé rychlosti proudění. Vypočítaná světelná účinnost 0,1 % se pohybuje ve stejné oblasti, jako hodnota určená Kalouskem a spol. [16] na velmi podobném systému.

Analýza kinetik degradace NOx pro čistý n-TiO₂ [17] a pro n-TiO₂ obsažený v maltové matici [18] umožňuje identifikovat oxidační mechanismy NO and NO₂. Obr. 9a ukazuje možnou dráhu NOx oxidace pro čistý n-TiO₂ a obr. 9b pro n-TiO₂ obsažený v cementovém systému. V obou případech jsou oxidy dusíku oxidovány na nitrity NO₂⁻ a nitráty NO₃⁻. Avšak zdá se, že výsledný poměr nitritů/nitrátů je velmi významně ovlivněn vysokým pH v prostředí cementových matic. Vysoké pH prostředí zřejmě reakční dráhu typickou pro čistý TiO₂ (obr. 9a) modifikuje na sérii reakcí, kde NO₂⁻, výrazně termodynamicky stabilnější ve vysokém pH, není tak jednoduše transformován na NO₂ (obr. 9b).

ZÁVĚRY

Využití fotokatalýzy TiO₂ v cementu a betonu poskytuje účinnou strategii jak současně dosáhnout samočisticího účinku na fasádách budov, zpomalení přirozeného stárnutí povrchů a čistějšího vzduchu, jednoduše s podporou slunečního svítu, atmosférického kyslíku a vody přítomné ve formě vzdušné vlhkosti nebo dešťových srážek. V článku je popsána sledovaná degradace NOx nanočásticemi TiO₂ (tab. 1) zkoušená v cementu a maltách společně se základním vysvětlením těchto chemických procesů probíhajících během fotosenzitivních reakcí způsobujících za přítomnosti TiO₂ degradační procesy.

Test rodaminem B zaměřený na posouzení samočisticí schopnosti cementových systémů obsahujících fotoaktivní TiO₂ potvrdila výrazný pokles sytosti barvy. Už po 3 h ozáření klesla sytost barvy o 86 % ve srovnání s 38 % v případě bílého cementu bez přidání TiO₂, kde je ztráta barvy způsobena fotolýzou pouhého UV záření. Zvýšená degradace barvy dosažená přidáním 3,5 % fotoaktivního TiO₂ do cementu otvírá širokou oblast využití k dosažení vysoké estetické úrovně a trvanlivosti estetického vzhledu archi-



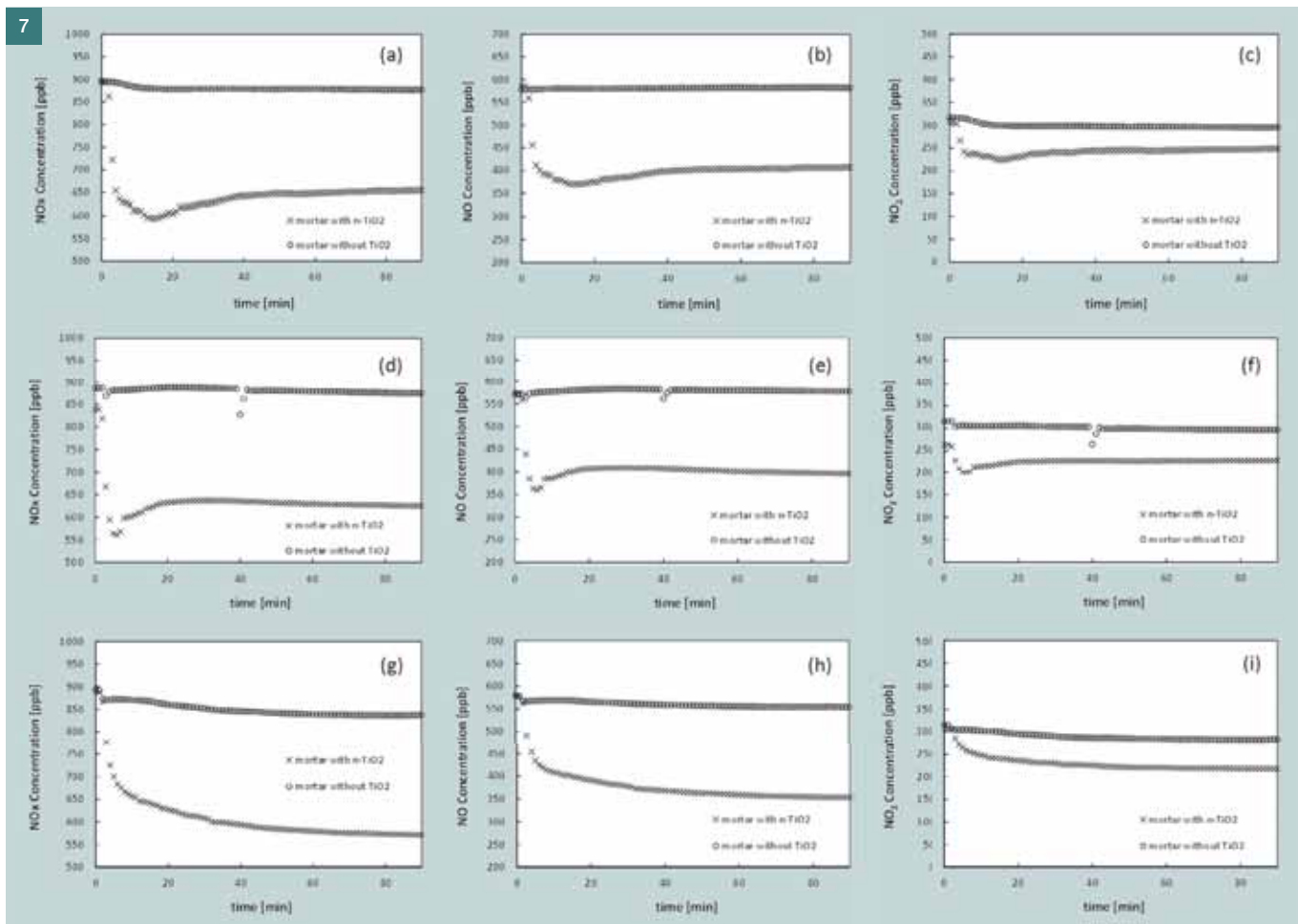
Obr. 4 Schéma uspořádání oxidačního testu: S1 – válec s NO_x, S2 – válec se vzduchem, F – měření průtoku NO_x, FC – měření průtoku vzduchu, R – fotokatalytický reaktor, A – analýza koncentrace NO_x a E – počítač ■ Fig. 4 NO_x oxidation lab plant flow chart: S1 NO_x cylinder, S2 air cylinder, F NO_x flow meter, FC air flow meter, R photocatalytic reactor, A NO_x analyser, E computer

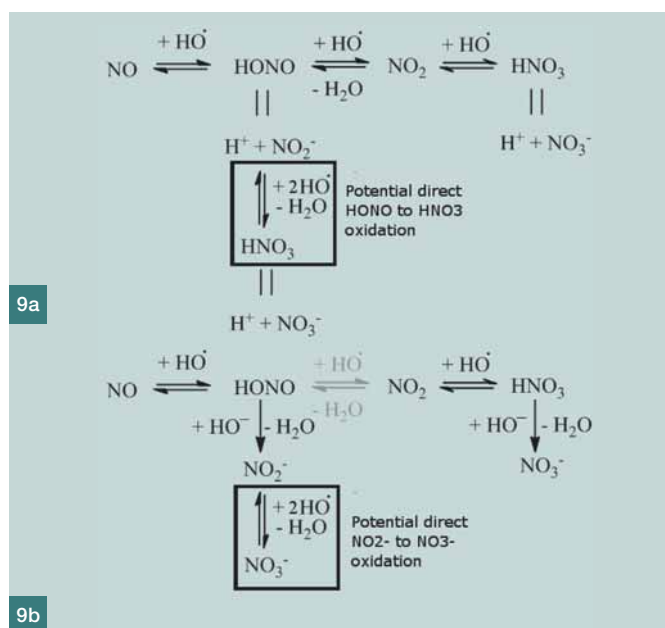
Obr. 5 Fotokatalytický reaktor pro oxidaci NO_x ■ Fig. 5 Photocatalytic reactor for NO_x oxidation

Obr. 6 Degradace terčů Rhodaminu B na bílém cementu a bílém cementu obsahujícím n-TiO₂ ■ Fig. 6 Rhodamine B degradation kinetics on ordinary white cement and white cement containing n-TiO₂

Obr. 7 Koncentrace profilů NO_x, NO a NO₂ při rychlostech proudění: a), b), c) 3 l/min, d), e), f) 2 l/min, g), h), i) 1.5 l/min ■ Fig. 7 NO_x, NO and NO₂ concentration profiles at: a), b), c) 3 l/min, d), e), f) 2 l/min, g), h), i) 1.5 l/min

Obr. 8 Celková přeměna NO_x v závislosti na rychlosti proudění pro zkušební vzorky obsahující n-TiO₂ ■ Fig. 8 NO_x overall conversion versus flow rate for mortar specimens containing n-TiO₂





Obr. 9 Proces oxidace NOx na a) čistém TiO₂, b) TiO₂ v maltovém vzorku, šedý člen rovnice znázorňuje zpomalování oxidační fáze ■ Fig. 9 Proposed mechanism of NOx oxidation on pure TiO₂ (a) and on TiO₂ in mortar specimens (b). The equilibrium in grey indicates inhibition of the oxidative step

tektonických návrhů (zejména jsou-li založeny na užití bílého cementu/betonu).

Oxidace NOx zobrazuje postup fotokatalýzy, kde jsou oxidy dusíku NO a NO₂ oxidovány na nitrity NO₂⁻ a nitráty NO₃⁻. Nahrazením 3,5 % cementu TiO₂ při přípravě malty byl vyroben materiál schopný rozložit až 35 % NOx. Tzn. že zejména v úzkých uličních kaňonech měst, charakteristických velmi špatnou ventilací a vysokým znečištěním vzduchu, může být dosaženo 50 až 60% snížení obsahu NOx (v podmínkách slunečního svitu jižní Evropy) [19].

Ve všech fázích procesu hrají zásadní roli voda a kyslík, protože z nich vznikají hydroxylové radikály HO[•] a další kyslík obsahující částice (např. peroxidy a superperoxidy) zodpovědné za mineralizaci a oxidaci organických a anorganických nečistot.

Další práce a výhled

Prezentovaná práce slouží jako experimentální a teoretický základ pro návrh nového projektu podporovaného EU (FP7 Eco Innovation Scheme) nazvaného **Visible Light Active PhotoCATalytic Concretes for Air Pollution Treatment (Light²CAT)**.

Nový projekt, který bude otevřen na počátku roku 2012, bude zaměřen na vývoj nové generace fotokatalytických cementových materiálů a betonů obsahující viditelně světlocitlivé TiO₂. Metody, kterými má být dosaženo zjevné světlocitlivosti budou vybírány z širokého okruhu technologií, např. zdvojování iontů kovů, výběrová hydrogenace povrchu nebo krystalografické inženýrství, k změně původní pásové struktury polovodičové krystalové mřížky TiO₂. Hlavním úkolem Light²CAT je významně vylepšit schopnosti fotokatalytických betonů v:

- **severních zeměpisných šířkách**, kde vlivem atmosférických a slunečních podmínek nemůže být účinnost fotokatalytických betonů založených pouze na původním TiO₂ tak vysoká jako v jižní Evropě (původní TiO₂ je aktivní pouze za přítomnosti UV záření);

Literatura:

- [1] Fujishima A., Honda K.: Nature, Vol. 238, 1972, pp. 37-38
- [2] Fujishima A., Hashimoto K., Watanabe T.: "TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Application", 1 ed., BKC, Tokyo, 1999
- [3] Irie H., Tee S. P., Shibata T., Hashimoto K.: "Photo-induced Wettability Control on TiO₂ Surface", Electrochem Solid-State Lett, Vol. 8, 2005, pp. 23-25
- [4] Wang R., Hashimoto K., Fujishima A., Chikuni M., Kojima E., Kitamura K., Shimohigoshi M., Watanabe T.: "Light-induced amphiphilic surfaces", Nature, Vol. 338, 1997, pp. 431-432
- [5] Rimmer D., Sanderson K. D., Paul T.: "Coated glass", WO/2004/108619, 2010
- [6] "Pilkington Active", 1998
- [7] Cucitore R., Cangiano S., Cassar L.: "High durability photocatalytic paving for reducing urban polluting agent", WO/2006/000565, 2006
- [8] Murata Y., Tawara H., Obata H., Murata K.: "NOx-cleaning paving block", EP0786283, 2003
- [9] Cassar L., Beeldens A., Pimpinelli N., Guerrini G. L.: "Photocatalysis of cementitious materials", in: L. Cassar, P. Baglioni (Eds.) International RILEM Symp. on Photocatalysis, Environment and Construction Materials, RILEM, Florence, 2007, pp. 131-145
- [10] Guerrini G. L., Plassais A., Pepe C., Cassar L.: "Use of photocatalytic cementitious materials for self-cleaning applications", in: L. Cassar, P. Baglioni (Eds.) Inter. RILEM Symp. on Photocatalysis, Environment and Construction Materials, RILEM, Florence, 2007, pp. 219-226
- [11] Mills A., Le Hunte S.: "An overview of semiconductor photocatalysis", J Photochem Photobiol A, Vol. 108, 1997, pp. 1-35
- [12] "TX Actice Applications – pavements (Italcementi Group)", http://www.italcementi.it/ITA/Prodotti+servizi+e+qualita/Prodotti+Fotocatalitici/Realizzazioni/Gallerie_Realizzazioni/Pavimentazioni.htm
- [13] "Cement – Test methods – Determination of strength", ISO 679 (2009), pp. 1-30
- [14] "Determination of the degradation of nitrogen oxides in the air by inorganic photocatalytic materials: continuous flow test method", UNI 11247 (2009), pp. 1-11
- [15] Folli A., Jakobsen U. H., Guerrini G. L., Macphee D. E.: "Rhodamine B Discolouration on TiO₂ in the Cement Environment: A Look at Fundamental Aspects of the Self-cleaning Effect in Concretes", J Adv Oxid Technol, Vol. 12, 2009, pp. 126-133
- [16] Kalousek V., Tschirch J., Bahnmann D., Rathouský J.: "Mesoporous layers of TiO₂ as highly efficient photocatalysts for the purification of air", Superlattice Microst, Vol. 44, 2008, pp. 506-513
- [17] Folli A., Campbell S. B., Anderson J. A., Macphee D. E.: "Role of TiO₂ surface hydration on NO oxidation photo-activity", J Photochem Photobiol A, Vol. 220, 2011, pp. 85-93
- [18] Folli A., Macphee D. E.: "Photocatalytic cement: influence of TiO₂ particle size on photocatalytic performances", in: G. Fischer, M.R. Geiker, O. Heddal, L.M. Ottosen, H. Stang (Eds.) The 8th fib PhD symposium in civil engineering, DTU, Copenhagen 2010, pp. 443-448
- [19] "PICADA Project", <http://www.picada-project.com/dominio/SitePicada/Picada.nsf?OpenDataBase>

- **vnitřním prostředí**, s možností využití umělých vnitřních světelných zdrojů k zvýšení fotokatalytického účinku.

V projektu Light²CAT je zapojeno dvanáct partnerských organizací, univerzity, výzkumná pracoviště, SMEs a velké nadnárodní společnosti stejně jako místní a státní instituce v pěti evropských zemích, Dánsku, Švédsku, Velké Británii, Španělsku a Itálii. Celkový rozpočet projektu Light²CAT je cca 5 M Euro s celkovým příspěvkem EU 3,6 M Euro.

Andrea Folli

Danish Technological Institute – Byggeri – Beton
Gregersensvej 4, DK-2630 Høje Taastrup
Denmark
e-mail: anfl@teknologisk.dk

