



**Ústav fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR, v.v.i.**

Dolejškova 2155/3, 182 23 Praha 8

IČ: 61388955, DIČ: CZ61388955

Telefon: 28658 3014, 26605 2011

Fax: 28658 2307, e-mail: director@jh-inst.cas.cz

---

## **Komerční fotokatalytické nátěry – Technologie pro čištění vzduchu Srovnávací studie.**

### **Úvod**

Nebezpečné oxidu dusíku, NO<sub>x</sub>, patří mezi nejvíce studované znečišťující plynné látky kvůli své toxicitě na lidské zdraví. Hlavním zdrojem znečištění v Evropě je silniční doprava, která tvoří 40% všech produkovaných emisí NO<sub>x</sub>. Z tohoto množství 80% pochází od vozidel poháněných vznětovým motorem (dieselové motory).

Primárním produktem spalování v motorech automobilů je oxid dusnatý (NO), který může být během dne dále zoxidován na oxid dusičitý, NO<sub>2</sub>. Míra této sekundární oxidace závisí na různých parametrech (intenzitě slunečního záření, relativní vlhkosti vzduchu, přítomnosti dalších polutantů v ovzduší, proudění vzduchu, atd.). **Protože se NO<sub>2</sub> tvoří výhradně z NO a nakonec je veškerý NO převeden na NO<sub>2</sub>, je potřeba podstatně snížit koncentraci NO ve vzduchu.** Tohoto poklesu může být dosaženo pomocí fotokatalytické reakce na povrchu fotokatalyzátoru (materiál, která iniciuje chemickou reakci při dopadu slunečního záření o vhodné vlnové délce na jeho povrch). Oxid dusnatý je takto oxidován až do svého nejvyššího stavu, kyseliny dusičné, která je v alkalickém prostředí zneutralizována nebo vymyta deštěm.

### **Co je to fotokatalytický nátěr?**

Fotokatalytický nátěr je nátěr, který obsahuje polovodičový fotokatalyzátor, nejčastěji oxid titaničitý (TiO<sub>2</sub>), který působí jako katalyzátor, když je vystaven ultrafialovému (UV) záření. Fotokatalytický proces tak vede k přeměně látky znečišťující ovzduší. Podobně jako u jiných katalyzátorů, tento katalyzátor sám zůstává nezměněn. Neúčastní se ani chemické reakce, avšak podporuje přeměnu znečišťujících látek na jiné.

**Různorodé fotokatalytických nátěry jsou dostupné od několika komerčních společností, nicméně není jednoduché předpovědět jejich účinnost pouze z názvu výrobku a obalu etikety. To je důvod, proč by měl být každý produkt testován a certifikován vzhledem ke svým vlastnostem za použití standardizovaných postupů (ISO testů).**

Fotokatalytické nátěrové hmoty se staly součástí velké skupiny výrobků na bázi TiO<sub>2</sub>, jakými jsou například dlažby, samočisticí sklo či střešní tašky. Bylo vyvinuto oblečení, které má zmírnit znečištění ovzduší.

Hlavním směrem fotokatalytických nátěrů je potřeba snížit koncentrace emisí oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>). Po ošetření materiálu fotokatalytickým se povrch stává hydrofilní, což znamená, že vodu povrch skvěle smáčí a nedochází k tvorbě vodních kapek. Zájem o tyto materiály se v poslední době zvýšil vzhledem k nutnosti snížit koncentrace NO<sub>x</sub> na povolenou limitní hodnotu stanovenou legislativou Evropské Unie.

### **Fotokatalytické nátěry jako technologie čištění vzduchu**

Snižování polutantů životního prostředí pomocí povrchu s fotokatalyticky aktivním nátěrem je zajímavé v mnoha ohledech:

- jedná se o levnou technologii, která pro svou činnost potřebuje pouze sluneční záření. V případě absence slunečního světla je možné použít umělé zdroje UV záření.

- **Fotokatalytický nátěr může být snadno aplikován na širokou škálu stavebních materiálů při nízkých nákladech.**

**Fotokatalytické povrchy se zásadně liší od většiny technologií pro snižování znečištění ovzduší v tom, že nemají za cíl snížit emise u zdroje vzniku, kladou si za cíl snížit koncentrací látek již uvolněných do atmosféry.** V reálných podmínkách závisí účinnost nátěrů na toku znečištěného vzduchu k povrchu fotokatalyzátoru a následné interakci na povrchu.

#### **Znečištění ovzduší - znečištění stavby**

Povrchy s fotokatalytickým nátěrem jsou široce používány pro své samočisticí vlastnosti. Ošetřené povrchy zůstávají čisté, a to bez ohledu na jeho charakter. **Čištění budov (skla a konstrukce budovy) je velmi nákladné v porovnání s použitím fotokatalytické technologie, kdy nedochází k usazování nečistot na povrchu.** Organický materiál, který obaluje pevnou nečistotu je účinkem fotokatalýzy rozložen a přilnavost samotné nečistoty k povrchu již není dostatečná, aby odolala účinku gravitaci a nespadla či byla smyta deštěm.

#### **ISO test fotokatalytického stanovení snížení emisí NOx**

Fotokatalytický experiment pro snížení koncentrace NO ve vzduchu byl proveden podle **ISO 22197-1: 2007**. Tento standardizovaný test stanovuje množství přeměněného oxidu dusnatého a určuje míru čištění vzduchu u materiálů, které obsahují fotokatalyzátor, jako je například oxid titaničitý. Porovnali jsme účinnosti několika komerčních produktů na bázi TiO<sub>2</sub>. Všichni níže uvedení výrobci uvádí, že jejich výrobek má fotokatalytický efekt.

Protectam FN®1 (Advanced Materials-JTJ, Česká republika)

Protectam FN®2 (Advanced Materials-JTJ, Česká republika)

Protectam FN®3 (Advanced Materials-JTJ, Česká republika)

[redacted], Česká republika)

[redacted], Česká republika)

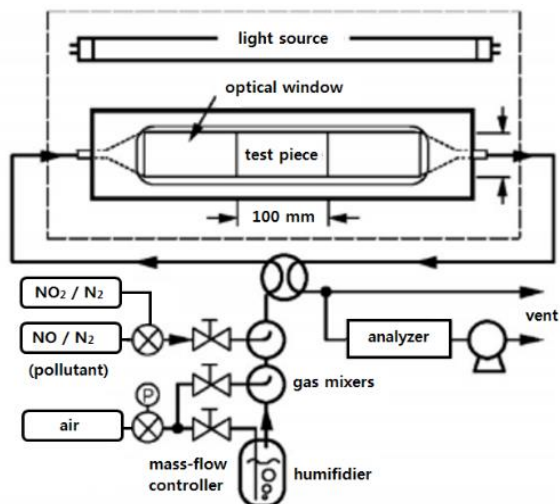
[redacted], Německo)

[redacted], Německo)

[redacted], Španělsko)

[redacted], Velká Británie)

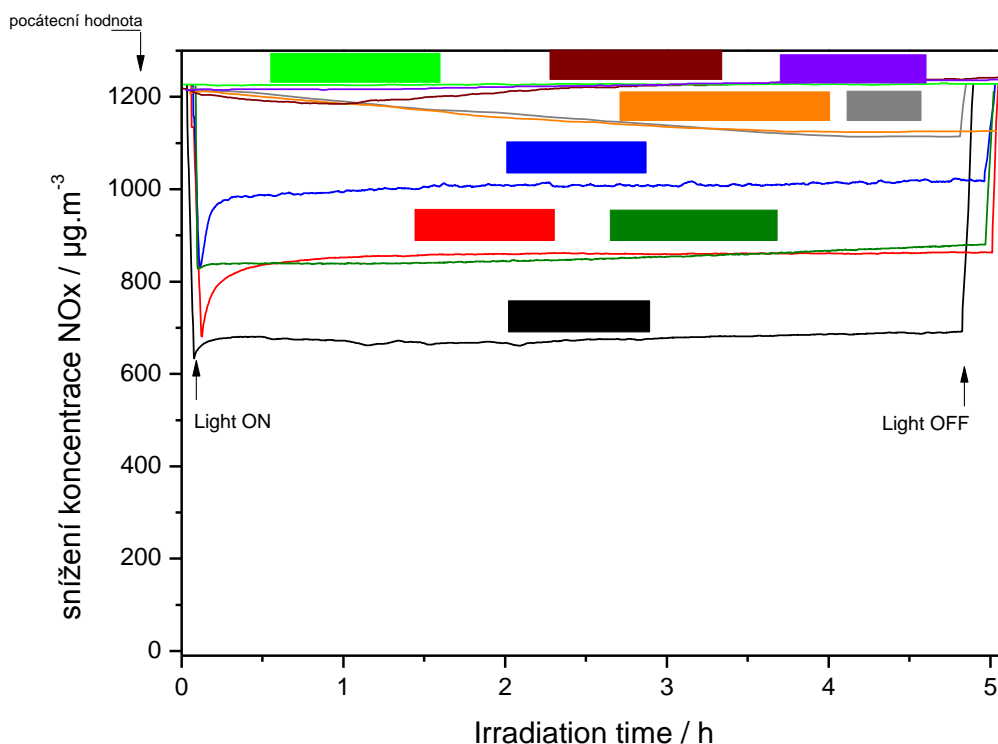
Všechny nátěry byly nanášeny na betonové bloky (5 x 10 cm) podle instrukce výrobce a hodnoceny z hlediska jejich schopnosti snižovat koncentrace NOx ve vzduchu. Před samotným testováním byl vzorek ozařován UV-A světlem (365 nm) o intenzitě 2 mW/cm<sup>2</sup> po 24 hodin, aby došlo k rozložení organických reziduí. Fotokatalytická oxidace NO byla měřena při relativní vlhkosti vzduchu 50%, obsahu 1 ppmv NO ve vzduchu (což odpovídá 1227 µg/m<sup>3</sup>), při rychlosti průtoku plynu 3 L/min (Obr. 1). Ozařování vzorku během testu bylo provedeno s použitím UV-A lamp o intenzitě 1 mW/cm<sup>2</sup>. **Před fotokatalytickým experimentem, byl NO sorbován na povrchu fotokatalyzátoru až do ustanovení rovnováhy (za tmy). Ke snížení koncentrace oxidů dusíku došlo jen a pouze procesem fotokatalýzy, nikoli fyzikální adsorpcí plynu na povrchu fotokatalytického nátěru.**



**Obr. 1:** Fotokatalytický reaktor s laminárním tokem plynu pro stanovení nízkých koncentrací oxidů dusíku.

## Výsledky a diskuze

Srovnání fotokatalytické účinnosti různých komerčních produktů na bázi TiO<sub>2</sub> bylo prováděno ve srovnání s základní aktivní látkou – fotokatalyzátorem Aeroxide®TiO<sub>2</sub> P 25. Měření přinesla zajímavá zjištění. Z výsledků testu je patrné, že fotokatalytická aktivita snižování koncentrace NO<sub>x</sub> se u jednotlivých produktů významně odlišovala (Tabulka 1, Obr. 2). Produkty [redacted], Španělsko; a oba [redacted], Česká republika, vedly k velmi nízkému snížení koncentrace NO<sub>x</sub> (3% < původní hodnoty). **Toto snížení koncentrace NO<sub>x</sub> je nedostatečné pro využití těchto produktů jako technologie čištění vzduchu.** Na druhé straně všechny produkty řady Protectam FN® a samotný fotokatalyzátor Aeroxide®TiO<sub>2</sub> P 25 byly velmi účinné, koncentraci NO<sub>x</sub> snížily o 20 až 50% původní hodnoty. Nejvyšší snížení koncentrace NO<sub>x</sub> bylo zaznamenáno u Protectam FN®3, kdy při vstupní koncentraci NO, která odpovídá silně znečištěnému ovzduší, byl její pokles téměř o 50% (z 1227 na 562 μg.m<sup>-3</sup>). Nejnižší pozorovaná fotokatalytická účinnost byla u naměřena u [redacted], Česká republika, snížení NO<sub>x</sub> pouze o 2% původní hodnoty. Produkt [redacted], Španělsko navíc vykazoval snížení NO<sub>x</sub> bez přítomnosti světelného záření. Tento pokles proto nelze považovat za fotokatalytický děj, nýbrž děj jiný. Aeroxide®TiO<sub>2</sub> P 25 je široce používaný fotokatalyzátor – základní surovina využívaná masově jako průmyslový fotokatalytický standard TiO<sub>2</sub> díky své vysoké účinnosti snižování NO<sub>x</sub>. Drtivá většina fotokatalytických nátěrů dosahuje fotokatalytické účinnosti výrazně nižší než P25. Protectam FN®3 tento průmyslový standard předčil, byl dokonce 1,5-krát účinnější. Produkty z řady Protectam® mají navíc v porovnání s práškovou formou Aeroxide®TiO<sub>2</sub> P 25 tu výhodu, že nanočástice oxidu titanu jsou pevně zabudovány do porézní struktury pojiva zajišťující dobrou soudržnost a přilnavost k různým typům povrchu. Bez pojiva jsou k sobě nanočástice samotného fotokatalyzátoru vázány pouze elektrostaticky, což není dostatečné k jejich praktické využití v reálných podmínkách.



Obr. 2: Fotokatalytické snížení koncentrace NOx různých komerčních produktů na bázi TiO<sub>2</sub>. Vstupní koncentrace NO 1 ppmv (odpovídající 1227µg.m<sup>-3</sup>) při relativní vlhkosti 50%.

Tabulka 1: Fotokatalytické snížení koncentrace NOx různých komerčních produktů na bázi TiO<sub>2</sub>. Vstupní koncentrace NO 1 ppmv (odpovídající 1227µg.m<sup>-3</sup>) při relativní vlhkosti 50%.

Fotokatalytický nátěr	deNOx v ustáleném stavu [µg. m <sup>-3</sup> ]	deNOx v ustáleném stavu [%]	r(deNOx) v ustáleném stavu [µg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]	r(deNOx) v ustáleném stavu [µmol m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]
Protectam FN®3	562	46	112 400	3740
Aeroxide®TiO <sub>2</sub> P 25	379	31	75 800	2500
Protectam FN®2	365	30	73 000	2400
Protectam FN®1	217	18	43 400	1450
[redacted] (Německo)	113	9	22 600	750
[redacted] (Velká Británie)	99	8	19 800	660
[redacted] (Španělsko)	31	3	6 200	200
[redacted] (ČR)	23	2	4 600	150
[redacted] (ČR)	21	2	4 200	140

Vysvětlivky k tabulce:

- deNOx v ustáleném stavu reakce [µg. m<sup>-3</sup>], odpovídá skutečnému snížení celkové koncentrace NO<sub>x</sub> na povrchu katalyzátoru o ploše 50 cm<sup>2</sup>.  
-převod jednotek na ug.m<sup>-3</sup>:  $Y_{mg/m^3} = [X_{ppm} * M_{r(NO)}] / 24.45 \rightarrow 1 \text{ ppm} = 1227 \mu\text{g.m}^{-3}$
- r(deNOx) v ustáleném stavu [µg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>], vztažen na rychlost reakce poklesu NO<sub>x</sub> na

ploše fotokatalyzátoru 1 m<sup>2</sup> za 1 hodinu.

- deNO<sub>x</sub> v ustáleném stavu reakce [%], pokles No<sub>x</sub> koncentrace vztažený k počáteční (vstupní) koncentraci 1227 µg. m<sup>-3</sup>.

### **Závěr**

Srovnávací studie různých komerčních produktů na bázi TiO<sub>2</sub> ukázala, že se jednotlivé produkty velmi lišily ve fotokatalytické účinnosti odstraňování oxidů dusíku. Pokles koncentrace NO<sub>x</sub> byl významně snížen všemi fotokatalytickými produkty řady Protectam FN®. Účinnosti ostatních produktů byly nižší, některé natolik výrazně, že nemohou být využity jako technologie čištění vzduchu od oxidů dusíku.

Je velmi důležité, aby každý produkt uvedený na trh byl certifikován a zařazen do příslušné kategorie podle jeho využitelnosti v praxi.

Praha, 23. únor, 2017

Radek Žouželka