

Využití nových účinných technologií k ochraně ovzduší

Využití nanotechnologií (např. aplikace fotokatalytických nátěrů) jako další opatření ke snížování imisní zátěže obyvatelstva a zlepšování kvality ovzduší (PZKO)

1. Nanotechnologie
 - 1.1 Fotokatalýza – princip
 - 1.2 Možnosti využití fotokatalýzy k ochraně životního prostředí
2. Program TRIO dotovaný MPO (grant)
 - 2.1 Projekt FV40209 “Využití optimalizovaných fotokatalytických nanokompozitů k odstraňování škodlivých látek ze vzduchu”
 - 2.2 Dosažené výsledky z laboratorního měření a z měření v reálných podmínkách venkovního prostředí
 - 2.2.1 Laboratorní měření
 - 2.2.2 Měření v reálných podmínkách venkovního prostředí
3. Záměr k využití dosažených výsledků a směry záměru
 - 3.1 Snížení koncentrace znečišťujících látek v ovzduší – snížení imisní zátěže obyvatelstva

1. Nanotechnologie

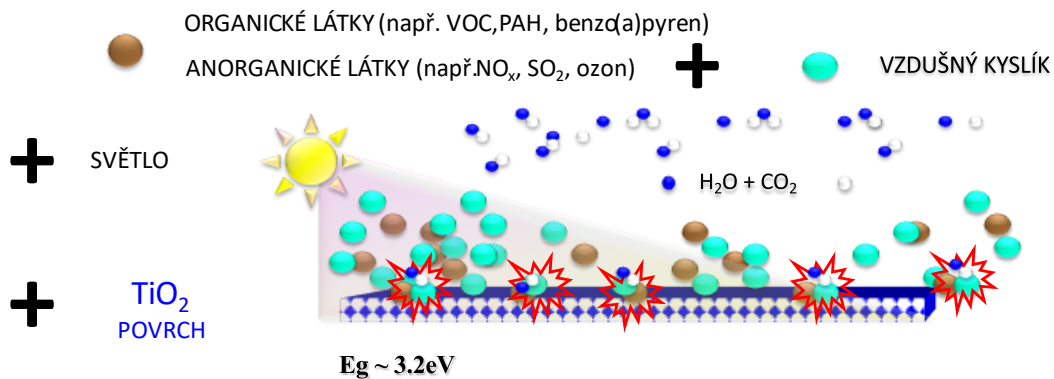
- Jako **nanotechnologie** se obecně označuje technický obor, který se zabývá tvorbou a využíváním objektů v měřítku řádově nanometrů (obvykle cca 1–100 nm), tzn. 10^{-9} m (miliardtiny metru), což je přibližně tisícina tloušťky lidského vlasu.
- Nanotechnologie přináší nové užité vlastnosti a umožňuje řešení v různých oblastech života, které se doposud obtížně řešily (např. vysoké finanční náklady)
- Nanotechnologie přináší nové, účinnější a progresivnější procesy, materiály s novými užitečnými vlastnostmi
- **Mezi nanotechnologie patří také fotokatalýza.**

1.1 Fotokatalýza – princip

Absorbací světelných kvant oxidem titaničitým dochází ke vzniku volného páru elektronu a díry. Elektrony redukují a díry oxidují molekuly polutantů. Konečnými produkty fotokatalytické degradace molekul polutantů jsou anorganické látky, např. oxid uhličitý a voda.

POLOVODIČOVÝ JEV

Oxidační potenciál na aktivovaném TiO_2 povrchu je vyšší než na chlóru nebo ozónu!



1.2 Možnosti využití fotokatalýzy k ochraně životního prostředí

A. Venkovní prostředí

- Čištění vzduchu od exhalací a znečišťujících organických i anorganických látek (NO_x , SO_2 , VOC, PAH, benzo(a)pyren, organické složky prachových částic - včetně PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a menších)
- Čištění nebo dočišťování vody

B. Vnitřní prostředí

- Čištění vzduchu a povrchu stěn od alergenů, virů a bakterií
- Snížení koncentrace formaldehydu, VOC, ale i oxidů dusíku ve vzduchu pronikajícího do interiérů

2. Program TRIO dotovaný MPO (grant)

Výzkumný projekt „Využití optimalizovaných fotokatalytických nanokompozitů pro odstraňování zdraví škodlivých látek ze vzduchu“.

Hlavním smyslem a praktickým účelem tohoto projektu bylo vytvoření podkladů a instrumentáře pro praktické využívání fotokatalýzy jako účinné a ekonomicky efektivní environmentální technologie pro ochranu ovzduší.

Projekt byl financován ze státního rozpočtu ČR v rámci programu MPO TRIO. Řešitelem a realizátorem Projektu byla firma Advanced Materials-TJT, s.r.o. ve spolupráci s Ústavem fyzikální chemie J. Heyrovského AV ČR v Praze.

Program, realizovaný formou jednostupňových veřejných soutěží ve výzkumu, experimentálním vývoji a inovacích. Realizován podle zákona č. 130/2002 Sb., o podpoře výzkumu, experimentálního vývoje a inovací z veřejných prostředků a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o podpoře výzkumu, experimentálního vývoje a inovací), ve znění pozdějších předpisů; Nařízení Komise (EU) č. 651/2014 ze dne 17. června 2014, kterým se v souladu s články 107 a 108 Smlouvy prohlašují určité kategorie podpory za slučitelné s vnitřním trhem; sdělení Komise Rámcem pro státní podporu výzkumu, vývoje a

inovací (2014/C 198/01) a podle ostatních souvisejících předpisů. Program vycházel z **Aktualizace Národní politiky výzkumu, vývoje a inovací České republiky na léta 2009 až 2015 s výhledem do roku 2020**, schválené usnesením vlády ze dne 24. dubna 2013 č. 294, která mj. ukládá realizovat program na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje pro potřeby průmyslu za účelem posílení konkurenceschopnosti ČR.

2.1 Projekt FV40209 “Využití optimalizovaných fotokatalytických nanokompozitů k odstraňování škodlivých látek ze vzduchu”

- Projekt byl přímo spojen s rozvojem klíčových technologií „Nanotechnologie“.
- Projekt přispěl do technologií „Pokročilých materiálů“.

Hlavní cíle projektu:

- Vypracování kvantitativní metodologie pro stanovení účinnosti fotokatalytické technologie při čištění vzduchu pro odstraňování imisí v exteriéru i pro čištění vzduchu v interiérech budov
- Ověření využitelnosti fotokatalytické technologie pro environmentální účely.

Etapy projektu:

1.etapa: Projekční návrh a konstrukce testovací aparatury pro stanovení degradace polutantů vzduchu pomocí fotokatalytického procesu a orientační experimenty (červenec 2019 – červen 2020)

2.etapa: Výzkum optimálního složení kompozitního materiálu pro fotokatalytické čištění vzduchu a testování jeho praktické využitelnosti (červenec 2019- prosinec 2020)

3.etapa: Systematický experimentální výzkum odstraňování polutantů ze vzduchu pomocí fotokatalýzy a analýza dat (červenec 2019 – duben 2022)

4.etapa: Vybudování a ověření funkce experimentální stanice pro stanovení účinnosti fotokatalytického procesu při čištění vzduchu a vyhotovení podkladů pro normy (červenec 2021 – červen 2022)

2.2 Dosažené výsledky z laboratorního měření a z měření v reálných podmínkách venkovního prostředí

V rámci projektu byly prováděny dva druhy měření:

- Laboratorní měření na vybudované speciální aparatuře s použitím reaktoru dle normy řady ISO 22197 (modifikovaný test) a dalších speciálně vyrobených reaktorů
- Měření v reálných podmínkách venkovního prostředí na vybrané lokalitě městské aglomerace s vysokou imisní zátěží, zejména oxidů dusíku a ozonu

Před každým druhem měření byl vypracován podrobný plán jednotlivých měření, který byl operativně upravován a aktualizován dle získaných výsledků měření.

Všechny získané výsledky z jednotlivých měření byly podrobně zpracovány do Zpráv a příslušných Protokolů. Zároveň byly vypracovány průběžné souhrnné roční Technická zprávy od obou subjektů realizující výše uvedený projekt.

Použité normy:

ISO 22197-1:2007 „Testovací metody pro určení účinnosti čištění vzduchu polovodičovými fotokatalytickými materiály“ pro oxid dusnatý

ISO 22197-2:2011 „Testovací metody pro určení účinnosti čištění vzduchu polovodičovými fotokatalytickými materiály“ pro acetaldehyd

ČSN EN 14211 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu dusičitého a oxidu dusnatého na principu chemiluminiscence,

ČSN EN 14212 Kvalita ovzduší – Normovaná metoda stanovení oxidu siřičitého na principu ultrafialové fluorescence,

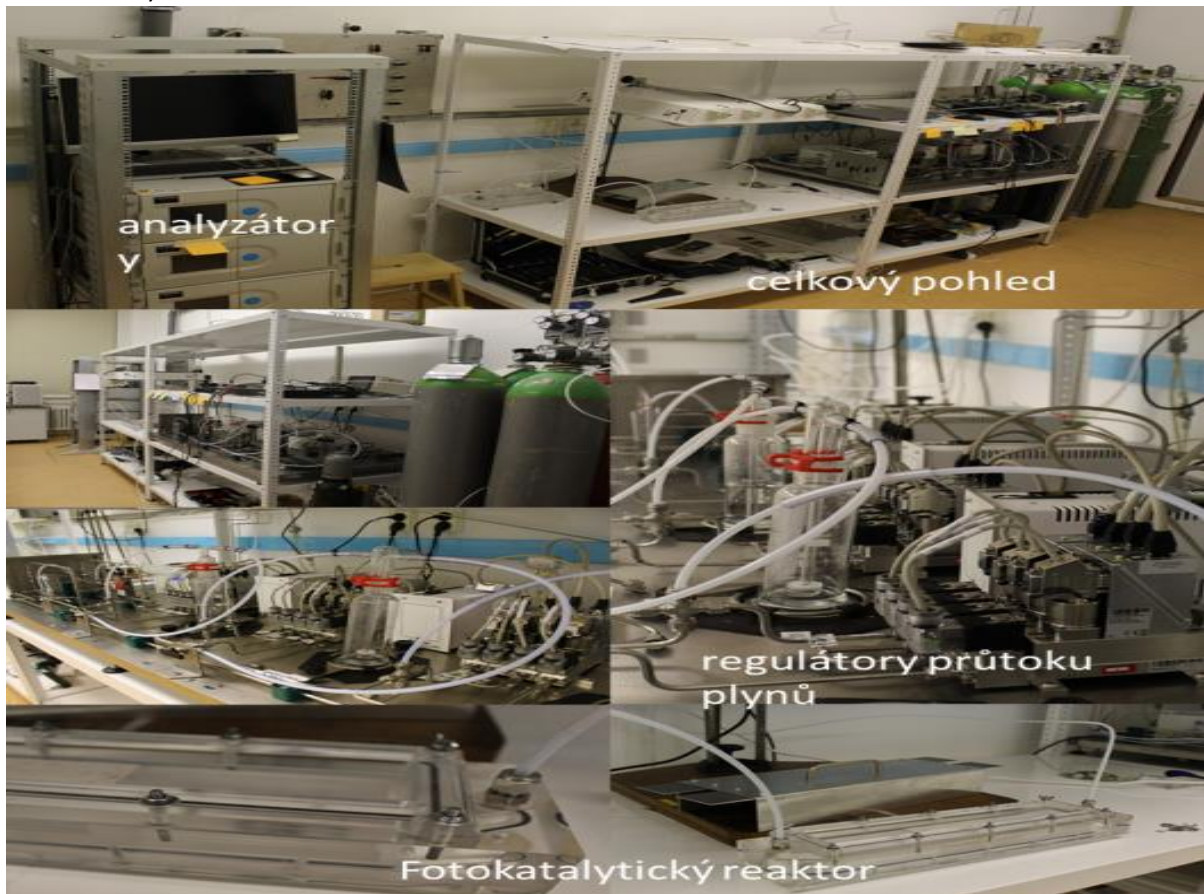
ČSN EN 16450: Kvalita ovzduší – Automatické měřicí systémy pro stanovení aerosolových částic (PM₁₀ a PM_{2,5}).

2.2.1 Laboratorní měření

Byla vybudována měřicí aparatura pro přesné měření fotokatalytické účinnosti různých materiálů s využitím různých typů fotokatalytických reaktorů a za různých procesních parametrů pro jednotlivé polutanty a jejich směsi.

Aparatura umožňovala stanovení vlivu následujících procesních parametrů:

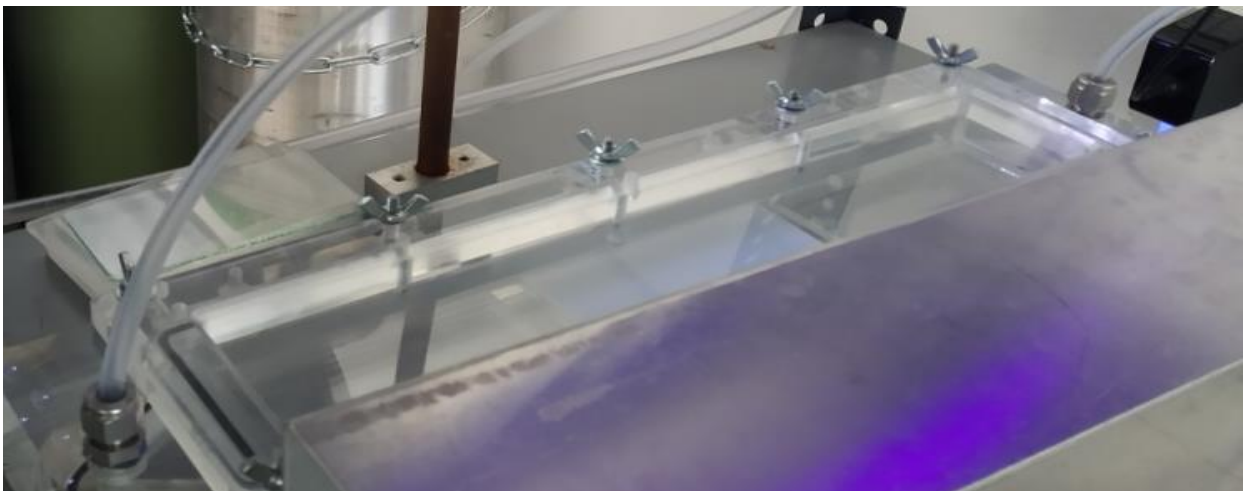
- Charakter proudění vzduchu (laminární nebo turbulentní)
- Objem proudícího vzduchu
- Vlnové délky světla
- Intenzity světla
- Složení analyzovaného vzduchu (jednotlivé látky i jejich směsi, koncentrace polutantů, vlhkost)



Bylo zkoumáno přes tisíc vzorků fotoaktivních nátěrových povrchů s různými druhy fotokatalyzátorů (dopovaných i směsí) a bylo zjištěno, že:

- Použité „dopanty“ nebo směsi dokáží selektivně zlepšit účinnost povrchu, ale celkově obvykle dochází ke zhoršení.
- Struktura/přístupnost povrchu hraje zásadní roli pro správnou funkci a účinnost fotokatalytického povrchu.

Laboratorní výzkum plyných směsí proběhl za využití modifikací mezinárodní normy ISO 22197 a testovací aparatury se zapojením analyzátorů APNA (stanovení koncentrace NO, NO₂ a celkových NO_x), APHA (stanovení koncentrace metanu, nemetanických organických složek a celkového organického uhlíku) a APOA (stanovení koncentrace ozónu) firmy Horiba.



Měření směsí byla prováděna v reaktoru dle normy ISO 22197 (modifikovaný test). Pro všechna měření byl použitý syntetický vzduch pro eliminaci dalších příměsí a aplikován fotokatalytický nátěr (50 g/m²) štětcem nebo pomocí stříkacího zařízení na různém podkladovém substrátu (sklo, beton, plast).

Měření binárních směsí:

I. Směs NO/NO₂

Pro měření byla zvolena koncentrace obou polutantů 200 a 2000 ppbv, a různé koncentrační poměry 1:1, 1:2, 2:1. Tyto koncentrace byly vybrány z důvodu, že poměr NO/NO₂ se v průběhu dne mění, zatímco ráno a dopoledne je převaha NO, odpoledne je převaha NO₂.

Závěr:

- Při vyšších koncentracích docházelo k relativně rychlé deaktivaci povrchu vlivem adsorpce vznikajících produktů
- Při nižších koncentracích představujících asi desetinásobek povolených hodnot bylo odbourávání NO_x povrchu velmi stabilní a dosahovalo konverze přes 50 %
- Rozdíly mezi jednotlivými poměry NO/NO₂ byly prakticky zanedbatelné a obě složky NO a NO₂ ve směsi se rychle odbourávaly

II. Směs O₃/acetaldehyd jako VOC (poměr 1:1 a 1:10)

Měření směsi bylo zvoleno tak, aby odpovídalo co nejvíce realitě, kdy VOC se nejvíce vyskytují v interiéru a v průmyslových provozech, kde je koncentrace vyšší v důsledku výparů z lepidel, barev, laků, nebo může vznikat spalovacími procesy.

Závěr:

- Oba polutanty ve směsi se účinně odbourávaly souběžně

III. Směs NO/VOC (poměr 1:1 a 1:2)

Stanovení fotonické účinnosti procesů při různém průtoku vzduchu od 3-11 l/min

Závěr:

- Na základě výsledků měření lze konstatovat, že fotokatalytický nátěr dosahuje vysokou účinnost při společném odbourávání NO i acetaldehydu při všech průtocích
- Nejnižší průtoky vykazují nejlepší účinnost a při vyšších průtocích se dekontaminuje mnohonásobně vyšší objem vzduchu

IV. Směs NO₂/VOC (poměr 1:1) – studie tvorby ozónu

Závěr:

- Měření ukázala, že na všech fotokatalytických površích docházelo k rozbíjení molekuly ozónu a jeho přeměně na kyslík. V přítomnosti fotokatalytického povrchu k syntéze ozónu buď vůbec nedocházelo nebo byla jeho fotokatalytická degradace nejméně o řád vyšší než jeho vznik. Toto platilo i v přítomnosti organických látek.

V. Měření kvarterních směsí NO/NO₂/O₃/VOC

- Poměr vstupních koncentrací jednotlivých polutantů:
- NO – 65 ppbv, NO₂ – 120 ppbv, O₃ – 70 ppbv, VOC – 100 ppbv

Závěr:

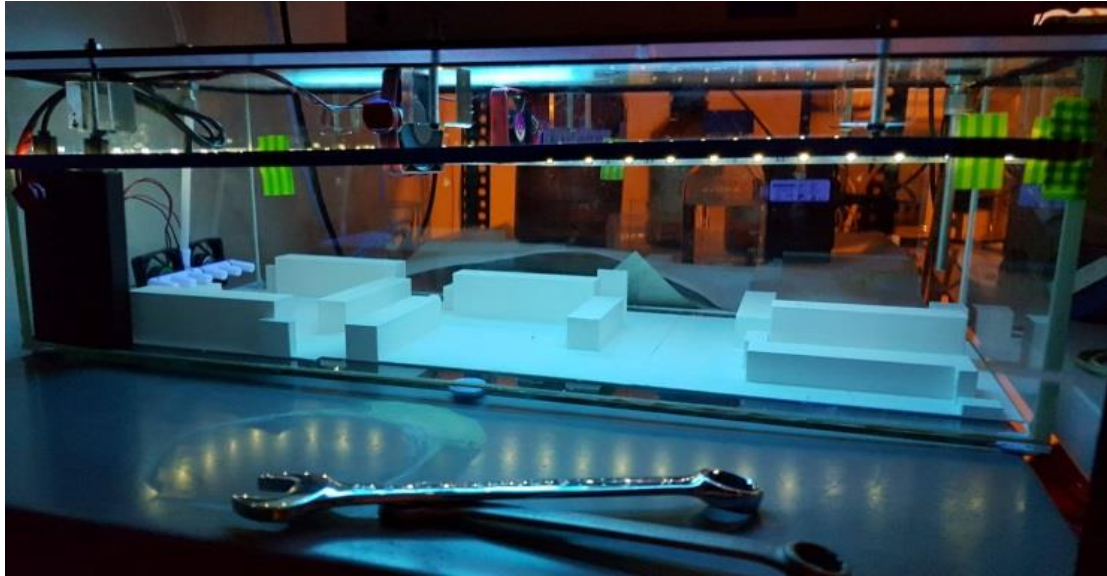
- Všechny polutanty vykazovaly pokles koncentrací během celé doby měření při zapnutí zdroje UV-A záření a návrat do původních hodnot koncentrací při vypnutí zdroje UV-A záření. Nejvyšší procento odbourání bylo změřeno pro NO - 46 % a nejnižší pro O₃ – 28 %.

VI. Laboratorní měření směsí v reaktoru pro modelování fotokatalytických reakcí za definovaných podmínek /model města-generace I.

S využitím 3D tisku bylo připraveno několik reaktorů typu modelových měst, kde proběhla měření simulující metodu dle normy ISO 22197 jak v laminárním, tak turbulentním prostředí

Koncentrace oxidů dusíku se přechodem přes konkrétní městskou zástavbu snížila až 4x. Při oxidaci NO vznikalo malé množství NO₂, ale pokud byl ve vzduchu oxid dusičitý přítomen již při vstupu do reaktoru, docházelo okamžitě k jeho účinnému odstraňování, podobně jako v případě NO.

Tyto reaktory jsou nyní chráněny užitným vzorem - značka spisů PUV 2021 – 39200



2.2.2 Měření v reálných podmínkách venkovního prostředí

Výběr znečištěné lokality – Legerova ulice v Praze

Legerova ulice v Praze na Novém Městě patří v naší metropoli k dopravně nejzatíženějším. V důsledku toho je v ní také silně znečištěné ovzduší a například emise oxidů dusíku tam pravidelně přesahují všechny zákonné limity. Opatření, která se ke zlepšení tohoto stavu podnikla, jsou zatím málo účinná.



V Legerově ulici byly v minulosti pravidelně přesahovány nejen roční limity emisí oxidů dusíku, ale i limity hodinové. K dokreslení situace v této lokalitě je možno sledovat i údaje z meteorologické stanice ČHMÚ, které však jsou pouze hodinové a reportují pouze omezené parametry znečištění vzduchu.

Použité přístroje:

- Meteorologická stanice GARNI 940 měřící vlhkost vzduchu, intenzitu světla, rychlost a směr proudění vzduchu
- UV-A metr General UV513AB pro orientační měření intenzity UV-A záření (hodnoty srovnávány periodicky podle kalibrovaného přístroje)
- Analyzátoři Horiba APNA-370, Horiba APOA-370 a Horiba APHA-370 pro měření koncentrací jednotlivých polutantů

Použité materiály a pomůcky:

- Fotokatalytická nátěrová směs nanosená štětcem nebo speciálním stříkacím zařízením na použitých substrátech - plast, silikátová fasáda, penetrace, betonové a skleněné destičky
- Měření bylo provedeno dle normy ISO 22197 - 1:200 (modifikovaný test s větší štěrbinou, kde jsou výsledky a účinnost již prakticky konstantní)

Podmínky měření:

- Polutanty a koncentrace [ppm]: NO_x, O₃, VOC; koncentrace proměnlivé
- Průtok vzduchu [l min⁻¹]: proměnlivý
- Vlhkost [%]: proměnlivá
- Vlnová délka a intenzita [mW cm⁻²]: proměnlivá

Teplota vzduchu, rychlost a směr proudění vzduchu, vlhkost vzduchu, intenzita světelného záření ovlivňující proces fotokatalýzy byly proměnlivé a závislé na aktuálním počasí.

Měření UV-A metrem bylo prováděno tak, že byla nejdříve měřena intenzita UV záření na několika místech cca 2-5 cm nad zkušební fotokatalytickou plochou případně srovnávací plochou. Potom bylo provedeno měření intenzity světla pod stejným druhem plexiskla s vysokou propustností UV-A záření, který byl použit ke konstrukci příslušných reaktorů a k překrytí měřících desek. Převážná většina měření ve venkovním prostředí, společně se zaznamenáváním dat z meteostanice, byla prováděna ve výšce okolo 10 m nad úrovní městské ulice od 8 hodiny ranní a byla ukončována v odpoledních hodinách. V několika případech proběhly týdenní bloky nepřerušovaných měření, které dokumentují vlivy provozu a dalších podmínek na kvalitu ovzduší v této lokalitě. Digitální meteostanice byla instalována ve stejné výšce jako měřící desky.

Od června 2021 proběhly stovky měření s reálnou atmosférou kontaminovaného vzduchu, které sledovaly přesné koncentrace polutantů NO, NO₂, NO_x, VOC, ozónu, SO₂ a prachových částic. Před začátkem měření na fotokatalytických plochách proběhly 3 dny měření polutantů ve vzduchu (atmosféře/ovzduší) a studování souvislosti s provozem na ulici.

Měření oxidů dusíku probíhala alternativně:

- s jedním analyzátozem (po 20 minutách se střídaly vstupy aktivní plocha/atmosféra (neaktivní plocha),
- se dvěma analyzátory souběžně měřící složení vzduchu před kontaktem s fotokatalytickou plochou a úbytek polutantů na aktivní ploše.

Měření v reaktoru dle normy ISO 22197:

Na balkón v Legerově ulici byl umístěn reaktor dle normy ISO 22197 a byla provedena měření s reálným znečištěným vzduchem. Definovaný průtok vzduchu reaktorem cca 2,6 l/min zajišťoval součet odběrů (objemů vzduchu) jednotlivých analyzátorů.



V noci, kdy nebylo přítomno aktivační světlo se NO prakticky nerozkládal a docházelo pouze k adsorpci NO₂ na povrchu fotokatalytické vrstvy. Se začátkem slunečního svitu docházelo k uvolnění části tohoto přes noc „nasorbovaného“ NO₂. Pokud by se tato část „nenasorbovala“ na povrchu vzorku, skončila by v ovzduší, nejedná se tedy o něco, co by fotokatalýza do prostředí vnášela. V celkové bilanci byl zásadní pokles koncentrace NO₂, a tedy i celkový pokles koncentrace NO_x.

Hodnoty pro jednotlivé substráty:

- Silikátová fasáda: průměrně se za noc adsorbovalo 13,8 µg NO_x a ráno se uvolnilo 3,1 µg NO_x, zbytek byl odstraněn na povrchu;
- Betonový substrát: průměrně se za noc adsorbovalo 4,9 µg NO_x a ráno bylo vše odstraněno na povrchu;
- Skleněný substrát: adsorpce byla zanedbatelná.

Průběžné i statistické vyjádření účinnosti fotokatalytického povrchu pro odstranění oxidů dusíku ukázalo vysokou účinnost až okolo 60 %. Fotokatalytický nátěr adsorbuje NO_x a odstraňuje jej ze vzduchu i v noci.

Závěr:

Ve standardním reaktoru dle normy ISO 22197 docházelo k účinnému odbourávání NO_x nejenom v laboratoři, ale i ve venkovním prostředí. Výsledky výzkumu jednoznačně prokazují využitelnost fotokatalytické technologie jako efektivní řešení environmentálních problémů s kvalitou znečištěného ovzduší. Účinnost odbourávání polutantů závisí na intenzitě světla. Ale i v podzimním období nebo když je nízká energie denního světla stačí k aktivaci fotokatalytického povrchu.

Měření v plošně 200x zvětšeném deskovém reaktoru dle normy ISO 22197:

Jako pilotní měření probíhala v plošně zvětšeném deskovém reaktoru 60x60cm. Nejprve probíhala všechna měření pouze za pomoci jedné řady analyzátorů, kdy se v 20 minutových intervalech měřily koncentrace na fotokatalytickém povrchu a mimo něj (těsně nad krycí deskou). Krycí deska měla za úkol stabilizovat výsledky měření proti poryvům větru.



Pro první sérii měření byla použita 1x1m plastová měřící deska s nanesenou požadovanou fotokatalytickou vrstvou. Bylo provedeno měření koncentrace plynů v okolním ovzduší po průchodu přes fotokatalyticky aktivní plochu. Zároveň byla měřena koncentrace mimo aktivní plochu pro ověření účinnosti fotokatalýzy na povrchu. Jelikož byla použita pouze jedna sada analyzátorů, bylo třeba periodicky přepínat mezi měřením z aktivní plochy a mimo aktivní plochu každých 20 minut. V průběhu měření byly zaznamenávány hodnoty jednotlivých parametrů (vlhkost, intenzita světla, rychlost proudění).

Závěr:

S tímto reaktorem byly provedeny stovky měření a osvědčil se jako reprezentativní fotokatalytická plocha, svědčící o vysoké efektivitě rozkladu všech polutantů na této ploše v praxi.

Měření v reaktoru pro modelování fotokatalytických reakcí za definovaných podmínek/model města-generace I. (Citireactor):



Bylo provedeno dlouhodobé (4 denní) měření ve venkovním prostředí, za reálných podmínek intenzity světla, vlhkosti vzduchu nebo koncentrace polutantů. Jelikož nebyla možnost si vstupní koncentraci namíchat jako v případě laboratoře, byly souběžně použity dva analyzátory, z nichž první měřil koncentraci NO_x v plynu před vstupem do reaktoru (neaktivní plocha) a druhý po průchodu reaktorem (aktivní plocha).

V reaktoru simulujícím městskou zástavbu bylo provedeno několik experimentů v reálných i laboratorních podmínkách, pro ověření schopnosti fotokatalytického nátěru odstraňovat oxidy dusíku ze vzduchu. Vzhledem k tomu, že měření probíhalo i v nočních hodinách, byl pozorován úbytek NO_x i v noci, ten však nebyl způsoben fotokatalýzou, ale byl způsoben adsorpcí na povrchu modelového města a s východem slunce docházelo k odstranění sorbovaného polutantů.

Závěr:

Měření ukázala, že v „Cityreactoru“ docházelo k odstraňování velkého množství NO_x (NO i NO₂) a prokázala, že podobným způsobem lze očekávat funkci i v reálné městské zástavbě. prakticky nepřetržitě dochází k odstraňování velkého množství NO_x v desítkách procent ze vstupní koncentrace.

Získané údaje budou základem pro měření modelových měst pomocí vytvořené Experimentální stanice a tvorbu matematických modelů na určení vlivu fotokatalytických nátěrů pro danou oblast.

Srovnávací měření autorizovanou zkušebnou na zkušebních deskách o rozměrech 100x100 cm:

Pro ověření reprodukovatelnosti naměřených dat (validace) byla provedena srovnávací měření autorizovanou zkušebnou (ORGREZ, a.s. Divize kontroly imisí a paliv - Zkušební laboratoř Most) na měřících deskách o rozměrech 100x100 cm.



Měřící desky 100x100 cm byly nastříkány nejprve stanovenou silikátovou fasádní barvou, na kterou byl aplikován fotokatalytický nátěr. Druhá deska byla nastříkána pouze silikátovou barvou bez vrchní vrstvy fotokatalytického nátěru. Pro simulaci průtočného reaktoru byly desky opatřeny konstrukcí pro vložení plexiskla s vysokou propustností UV-A záření. Ve středu měřící desky vyvrtán otvor, kterým byla zavedena hadička pro nasávání venkovního vzduchu s vyústěním těsně u povrchu desky. Pro měření mimo desku byla hadička vyvedena do okolního venkovního prostředí.

Srovnávací měření probíhala na měřícím voze autorizované zkušebny cca 2 m nad úrovní městské ulice, kdy měřící desky byly instalovány v horizontální poloze na střeše měřícího vozu po dobu několika dnů. V další fázi byla provedena srovnávací měření prachových částic $PM_{2,5}$ a PM_{10} v reálných podmínkách na obou měřících deskách. Další měření odbourávání SO_2 byla provedena v laboratorních podmínkách autorizované zkušebny a na vytipované lokalitě s vyšší koncentrací SO_2 v ovzduší (okolí města Most). Venkovní ovzduší bylo paralelně odebráno dvěma sondami z prostorů reaktorů. Sondy pro vzorkování ovzduší byly umístěny ve středu reaktorů. Nejednalo se tedy o běžné měření kvality venkovního ovzduší.

Závěr:

Výsledná data z měření odbourávání prachových částic $PM_{2,5}$ a SO_2 ukázala vysokou účinnost jejich odbourávání na fotokatalytickém povrchu. Koncentrace ozonu na měřící desce i mimo měřící desku byly málo rozdílné. Při měření organických látek (VOC) nebyl zjištěn žádný významný pokles jejich koncentrací. Zároveň bylo zjištěno, že naměřená vysoká koncentrace methanu byla konstantní na fotokatalytickém povrchu i mimo tento povrch. Odstranění

organických látek (VOC) bylo nevýznamné, neboť jejich koncentrace v ovzduší na vytipovaném místě městské aglomerace byly zanedbatelné.

Ověřovací měření na zkušebních deskách o rozměrech 100x100 cm:

Na obou měřících deskách o rozměrech 100x100 cm byla po skončení srovnávacích měření autorizovanou zkušebnou provedena měření redukce NO_x za stejných podmínek jako měření autorizovanou zkušebnou. Měřící desky však byly instalovány jednotlivě a vertikálně ve výšce cca 10 m nad úrovní městské ulice.

Závěr:

Při ověřovacích měření bylo zjištěno vyšší odbourávání NO_x než při srovnávacích měření o cca 20 %.

Doplňující měření:

Byla prováděna i další doplňující měření za předem zvolených podmínek pro ověření účinnosti fotokatalytického nátěru:

- měření redukce NO_x přes fotokatalytickou plochu měřící desky o rozměrech 100x100 cm ve vnitřním prostředí (nízká intenzita světla) s fotokatalytickým nátěrem a měřící desce bez fotokatalytického nátěru

Závěr:

Na základě výsledků měření bylo zjištěno, že i při nízké intenzitě světla docházelo k redukcí NO_x na fotokatalytické ploše (cca 10 %). Na ploše bez fotokatalytického nátěru nedocházelo prakticky k žádné redukcí NO_x.

V rámci dosavadního výzkumu a realizace výše uvedeného projektu byly již vynaloženy velké finanční prostředky i z veřejných zdrojů (podpora MPO). Je proto nutné zhodnotit vynaložené finanční prostředky využitím získaných výsledků a poznatků tak, aby z toho měla užitek i široká veřejnost!!!

3. Záměr k využití dosažených výsledků a směry záměru

Záměr k praktickému využití účinných fotokatalytických nátěrů na základě získaných dlouhodobých výsledků vychází z těchto závěrů:

- Výsledky výzkumu jednoznačně prokazují využitelnost fotokatalytické technologie jako efektivní řešení environmentálních problémů s kvalitou znečištěného ovzduší.
- Porovnávací testy ukázaly, že výsledky testů v reálném prostředí vykazovaly ještě vyšší účinnosti, než testy v laboratoři provedené dle norem ISO 22197.
- Na základě výzkumu byla vypracována metodologie pro posuzování environmentálních efektů fotokatalytických ploch v jakékoli konkrétní zástavbě.

- Byl vytvořen měřicí systém, který simuluje průtočný reaktor s možností nastavitelné štěrby.
- Byly porovnány získané výsledky laboratorních měření odstraňování vybraných polutantů (NO_x, ozon, VOC, PM_{2,5}) s experimentálním měřením v reálných podmínkách městské aglomerace.
- Byly formulovány jednoznačné závěry k účinnosti fotokatalytických nátěrů v reálných podmínkách venkovního prostředí na základě získaných naměřených a zpracovaných dat.
- Byla ověřena přesnost měřících zařízení (analyzátorů) vytipovanou autorizovanou zkušební pro NO_x, včetně doplňujících údajů o analýze odstraňování SO_x a prachových částic PM_{2,5}.
- Bylo provedeno experimentální ověření účinnosti fotokatalýzy v reálných podmínkách městské aglomerace pomocí experimentálního reaktoru s modelem zmenšené části města (v měřítku 1:1000) natřeného fotokatalytickým nátěrem.
- Na základě výsledků experimentálního měření byl vytvořen nástroj „kalkulátoru měření“, který umožní přesnější systém celkového hodnocení účinnosti fotokatalyzátorů s efektivním využitím při plánování skutečného snižování nebezpečných látek v ovzduší.

Směry záměru pro využití dosažených výsledků účinnosti fotokatalytických nátěrů a získaných poznatků z jednotlivých měření k využitelnosti pro danou společnost:

- I. Snižování koncentrace znečišťujících látek v ovzduší – snížení imisní zátěže obyvatelstva – zejména NO_x, VOC, PAH, O₃ a PM_{2,5} a menší.
- II. Snižování koncentrací vypouštěných průmyslových emisí uplatněním účinných nanotechnologií (např. fotokatalýza) jako nově vznikající technika, případně později jako BAT.
- III. Preventivní opatření k šíření infekčních onemocnění.

Princip fotokatalýzy je již v současné době využíván ke snížení průmyslových emisí v rámci EU. Fotokatalýza je uvedena jako nově vznikající technika v revidovaném dokumentu BREF „Běžné čištění odpadních vod a odpadních plynů/Systémy managementu v chemickém průmyslu (BREF CWW), kapitola 5.2.1.

Pro všechny směry je důležitá prevence – ušetření finančních nákladů!!!

Jednotlivé směry záměru budou realizovány ve spolupráci s příslušným resortem státní správy (MŽP, MPO, MZd), případně i s neziskovými ekologickými organizacemi, Státním zdravotním ústavem a s dalšími vědeckými institucemi. Důležitá je úzká spolupráce a podpora výše uvedených institucí.

3.1 Snížení koncentrace znečišťujících látek v ovzduší – snížení imisní zátěže obyvatelstva

Chytrá města („Smart Cities“) začínají u čistého vzduchu, čistého vzhledu, příjemného prostředí a úspor energie. Hlavní vrstva smogu v desítkách až stovkách metrů.



Fotokatalytické funkční nátěry – IDEÁLNÍ TECHNOLOGIE PRO čištění vzduchu a SNÍŽENÍ IMISNÍ ZÁTĚŽE OBYVATEL

Prakticky všechny exhaláty se tvoří na zemi. Hlavní zdroj je doprava.

Sledované organické znečišťující látky – VOC, PAH, benzo(a)pyren

Sledované anorganické znečišťující Látky – NO_x, SO₂, ozon

Příklady dosavadního využití fotokatalytických nátěrů 1. generace v EVROPĚ a ČR:



*Ulice Jean Bleuzen – Vanves, Francie
redukce NOx o 15%*



*Umberto I Tunnel – Rome, Italy
redukce NOx o 20%*



Villa Bianca, Ulice Pod Kaštany, Praha 6, po více než 10 letech od aplikace



Zámek Paskov, Frýdek-Místek, ochrana kulturního dědictví



Karlovarská ulice, Barrandov, Praha

Společným hlavním a prioritním záměrem je ochrana životního prostředí:

Stát využívá zákon o ochraně ovzduší, který vymezuje celý komplex opatření ke snižování imisní zátěže obyvatelstva. Pokroky ve vědeckém poznání a nových technologiích přinášejí pro odstraňování imisí ze vzduchu zcela nové účinné technologie, například nanotechnologie (aplikace fotokatalytických nátěrů), které jsou obecně označeny jako Preventivní technologická opatření (PTO).

Podrobně je záměr k realizaci PTO uveden ve „Studii proveditelnosti záměru ke snižování imisní zátěže obyvatel“

Předpokladem pro správný výběr a využití PTO jsou dvě základní kritéria:

- Snadná proveditelnost PTO a jejich účinnost
- Nízké finanční náklady (např. „Studie LCA“ vypracovaná ČVÚT)
- Řídícím orgánem při realizaci PTO by měl být Krajský úřad (KÚ)
- KÚ by měl při řízení spolupracovat s MŽP, případně s neziskovými ekologickými organizacemi, odbornými institucemi (např. ČSAF), aplikačními nátěrovými firmami, developery, architekty, projektanty a dalšími organizacemi
- Příklad záměru KÚ úřadu na základě podnětu MŽP, neziskové ekologické organizace (např. organizace ARNIKA), případně dalších institucí - např. snížení imisní zátěže obyvatel v městské aglomeraci redukcí oxidů dusíku a VOC způsobené emisemi z dopravy a provozem stacionárního zařízení dle Přílohy I zákona o integrované prevenci.

Preventivní nástroj ke snižování imisní zátěže obyvatel a úrovně znečištění a znečišťování ovzduší - Preventivní technologická opatření (PTO):

- PTO jako další možná podpůrná opatření v rámci Programu zlepšování kvality ovzduší (PZKO) – doplnění již stávajících a uplatňovaných podpůrných opatření ke snížení imisní zátěže obyvatel, např. předcházení smogových zátěží způsobených zejména oxidy dusíku, síry, ozonu a prachových částic PM_{2,5} a snížení „uhlíkové stopy“ redukcí organických polutantů v ovzduší ve vztahu ke snižování skleníkových plynů.
- PTO - opatření (např. neúčinnější fotokatalytické nátěry venkovních ploch snižující obsah znečišťujících látek v ovzduší) vedoucí ke snižování znečištění a znečišťování ovzduší a ke snížení imisní zátěže obyvatelstva, využívající poznatků vědy a výzkumu, a kdy jsou PTO ekonomicky dostupné a dobře uplatnitelné pro všechny uživatele.

Navržený postup podpůrných opatření jako PTO:

- Stanovení lokality s vysokou koncentrací znečišťujících látek
- Příprava realizace PTO s využitím nástroje „kalkulátoru“ pro stanovení velikosti plochy s aplikovaným fotokatalytickým nátěrem (FN)

- Výběr nejúčinnějšího FN nezávislou autorizovanou zkušebnou na základě provedených ověřovacích zkoušek dle příslušných norem (ISO 22197 a nově vytvořených norem pro hodnocení kvality fotokatalytických komponentů)
- Prověření účinnosti redukce vybraných polutantů v dané lokalitě pomocí speciálního reaktoru („Citireaktor“) s vytvořeným modelem dané lokality (3D tisk dle předlohy) s aplikovaným vybraným nejúčinnějším fotokatalytickým nátěrem (aplikace na minimálně 50 % plochy modelu)
- Příprava vybraných ploch k aplikaci fotokatalytického nátěru dle „Metodiky aplikace fotokatalytických nátěrů – aplikace FN“ daného výrobce fotokatalytické nátěrové směsi
- Samotná realizace aplikace FN dle výše uvedené metodiky a návodu daného výrobce

Náklady na realizaci PTO:

- Aplikací nejúčinnějších fotokatalytických nátěrů lze dle aktuálních informací vyčistit 1 milion m³ kontaminovaného vzduchu od znečišťujících látek za maximálně 24,-Kč a zároveň tyto náklady mnohonásobně získat zpět formou úspor na údržbě fasád a konstrukcí.
- Realizaci PTO je doporučeno provádět nejenom při nové výstavbě ale i při renovaci fasád, případně i jiných venkovních svislých ploch, např. v rámci zateplování budov.
- Pro realizaci PTO by mohla být případná možnost získání finanční podpory ze strany MŽP (např. výzva „Nová Zelená úsporám“) jako významný motivační stimul!
- Veřejná podpora vlastníkům domů může uplatnění této ekotechnologie ještě urychlit a podpořit tak zdravé životní prostředí a krásný vzhled obcí a měst.

Finanční podpora MŽP :

- MŽP by mohlo v rámci programu zlepšování kvality ovzduší provádět finanční podporu uživatelům, kteří aktivně uplatňují PTO ke snižování imisní zátěže obyvatelstva. Podmínky pro provádění finanční podpory budou uvedeny v pokynech k provádění PTO, které vydá MŽP ve spolupráci s Krajským úřadem
- Realizace a postup při finanční podpoře ze strany MŽP by mohla být obdobná jako při výzvě „Nová Zelená úsporám“, případně jeho součástí
- Případná další možnost využití finančních zdrojů z realizovaných „offsetových programů“ ke snižování „uhlíkové stopy“ a snižování emisí skleníkových plynů (např. doplnění stávajících kompenzačních opatření - vysazováním zeleně), emisní povolenky a poplatky za znečišťování ovzduší

- Offsetové programy by bylo možno aplikovat i v rámci snižování imisní zátěže obyvatel exhalacemi z dopravy a průmyslových zdrojů (smogová situace), zejména imisní zátěž způsobená oxidy dusíku, síry, ozonem a VOC
- V případě finanční podpory informovat zástupce krajů, obcí, měst, developery, zájmové organizace, aplikační nátěrové firmy, Cech malířů a lakýrníků, AVNH a další instituce o možnosti finanční podpory ze strany MŽP při uplatňování PTO

Podmínky realizace záměru:

- Úzká spolupráce s MŽP, případně neziskovými ekologickými organizacemi pro realizaci záměru
- Předložení návrhu úpravy (doplnění) zákona o ochraně ovzduší o preventivní technologická opatření (PTO), vypracovat podklady pro předkládací a důvodovou zprávu
- Spolupráce s ORP Praha 1-22 při realizaci pilotního projektu
- Získání informací o případných dotačních environmentálních programech Magistrátu hl. města Prahy a Státního fondu životního prostředí