

TIOFIELD - UNDERSÖKNING OM PARTIKELEMISSIONER I TRAFIKMILJÖ



FÖRORD

Denna rapport sammanfattar några undersökningar om hur betong påverkas när ett fotokatalytisk tillsatsmedel innehållande titandioxid blandas in i betongen. Bakgrunden till dessa undersökningar är att tidigare studier har visat att fotokatalytisk tillsats i betong har en förmåga att bryta ner kväveoxider. Syftet med en tillsats av fotokatalytisk titandioxid är alltså att åstadkomma en betong med luftrenande effekt. Fotokatalytisk betong har med andra ord en inneboende egenskap att kunna bidra till renare luft. Därför är fotokatalytisk betong ett potentiellt mycket intressant byggnadsmaterial att använda i vägar och i andra trafikrelaterade konstruktioner såsom i marksten, i tunnlar och på broar.

Med denna kunskap om fotokatalytisk betong är det samtidigt viktigt att också undersöka hur övriga egenskaper påverkas, såsom t.ex. hållfasthet och nötningmotstånd. Det är också viktigt att veta mängden och storleksfördelningen på de partiklar som bildas i kontakten mellan dubbdäck och en dylik betongbeläggning. Denna rapport redogör för sådana undersökningar av fotokatalytisk vägbetong och sprutbetong. Jämförande studier av materialegenskaper genomfördes på CBI Betonginstitutet, och jämförande studier av nötning och partikelalstring gjordes på en provvägsmaskin hos Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI, i Linköping. Man jämförde också slitage och partikelalstringen med motsvarande provning på asfalt.

Eftersom den fotokatalytiska titandioxiden är ett nytt material i betong och dessutom består av mycket små partiklar, så kallade nanopartiklar, är det även viktigt att få en bättre förståelse av hur den nya sammansättnings partikelemissioner påverkar trafikmiljön. Finns t.ex partiklar med innehåll av TiO_2 och har de en annan påverkan på miljö och hälsa än vanligt vägdamm? För att kunna förstå sig på detta bättre och borgen för att denna typ av tillsats i betong endast medför positiva effekter på miljön sammanställdes även en omfattande litteraturstudie om toxicitet hos TiO_2 -partiklar.

Genomförandet av detta mycket intressanta projekt har gett mig möjlighet att inhämta många nya och intressanta kunskaper. För detta vill jag tacka samtliga inblandade i projektet för deras engagemang och kunskapsstöd. Först och främst vill jag tacka Cementa som varit en av initiativtagarna till projektet och som har bidragit med både medel, material och kompetens. Inte heller hade projektet varit möjligt utan stödet från Färdig betong och Betongindustri. Särskilt tack riktas också till engagemanget och uthålligheten hos medarbetarna på VTI som under resans gång haft otur med både utrustning och väder vid genomförandet av provningarna i Linköping. Sist men inte minst tackar jag SBUF för de medel som de valde att stötta projektet med.

Lars Kraft, oktober 2012

SAMMANFATTNING

Denna rapport redovisar resultaten från studier i ett projekt med syfte att undersöka om betongs egenskaper förändras vid en ersättningstilläts av fotokatalytisk titandioxid. Som fotokatalytiskt tillsatsmaterial användes Cementas produkt TiOmix N. Totalt genomfördes fyra delprojekt, vilket resulterat i fyra rapporter. Två typer av betong undersöktes för inblandning av TiOmix N, vägbetong och sprutbetong. Två olika doseringar av TiOmix provades i båda typerna av betong. Betongreceptet i vägbetongen var samma recept som användes vid beläggningen av E4 utanför Uppsala. Tryckhållfasthet, böjdraghållfasthet, E-modul, volymstabilitet (krympning), termisk expansionskoefficient, abrasionsmotstånd och frostbeständighet samt fotokatalytisk effekt (reduktionsförmåga av NO_x) hos betongen undersöktes. Provningsen visade att en dos på 25 kg/m³ TiOmix som ersättningstilläts fungerade väl i både vägbetong och sprutbetong. För vägbetongen gjordes därefter även en modellstudie i en provvägsmaskin för jämförelse av slitage och partikelgenerering från dubbdäck på asfalt (ABS16) och vägbetong, med och utan tillsats av TiOmix N. Samtliga beläggningar hade samma stenmaterial (granit). Provning i provvägsmaskinen visade att betongen med TiOmix i det här fallet hade ett högt slitage, högre slitaget än asfalten. Lägst slitage hade dock vägbetongen utan TiOmix. Betongbeläggningarna alstrade fler PM10 partiklar än asfalten, men färre partiklar av nanometerstorlek. En intressant iakttagelse var att TiO₂ endast fanns i partikelstorlekar större än 0,1 µm. Till viss del var dock provningen på provvägsmaskinen av betongen med TiOmix misslyckad eftersom den uppvisade så högt slitage. Tryckhållfasthetsprovning och strukturanalys i ljusmikroskop av de förtillverkade provningsplattorna visade att de två betongerna hade olika tryckhållfasthet och att mer TiOmixbetongen hade högre halt tillsatt luft och ett högre vattencementtal. Provningsen bör därför upprepas för att få säkra och rättvisa resultat. En litteraturstudie om toxicitet av TiO₂ partiklar sammanställdes också. Det mest intressanta slutsatsen från den är att den visar att TiO₂ partiklar i de flesta undersökningarna uppvisar en lägre toxicitet än motsvarande partiklar av ZnO, CuO och kvarts. I tidigare toxicitetsstudier på fina partiklar har ofta TiO₂ använts som inert referens (dvs, som icke reaktiv referens). Sammantaget visar projektet att man kan tillsätta TiOmix i betong med ersättningsinblandning utan att förändra betongens övriga egenskaper. Analys av genererade partiklar i provvägsmaskinen visar att TiO₂ partiklar endast förekommer i partiklar större än 0,1 µm. Publicerade forskningsartiklar visar att fina partiklar (0,1 – 10 µm) oftast är mindre toxiska än nanopartiklar (1 – 100 nm) samt att nanopartiklar av TiO₂ oftast är mindre toxiskt än motsvarande partiklar av ZnO, CuO och SiO₂.

INNEHÅLL

BAKGRUND	4
SYFTE	4
GENOMFÖRDA PROJEKT	4
METODER	5
SAMMANFATTNING AV RESULTAT FRÅN DELPROJEKTEN	5
DELPROJEKT 1, BILAGA 1	5
DELPROJEKT 2, BILAGA 2	6
DELPROJEKT 3, BILAGA 3	6
DELRAPPORT 4, BILAGA 4.....	8
<i>Ordförklaringar, Litteraturstudien</i>	9
SLUTSATSER	9
REFERENSER	10

BAKGRUND

Fotokatalytisk betong har visat sig ha goda möjligheter att reducera kväveoxid(NOx)-halter i trafikmiljö. Detta har visats i såväl lab. [1-3] som fält [4, 5]. Exempel på fältförsök finns utomlands i t ex Bergamo [6] och Antwerpen [7], men ett framgångsrikt fältförsök i Malmö har redan också genomförts [8]. I Malmöprojektet användes fotokatalytiska betongplattor (Econox) som tillverkades av Starka AB. Man använde sig där av Cementas produkt TiOmix N vid tillverkning av dessa plattor. Mätningarna genomfördes under ett års tid och man kunde visa att kväveoxidhalterna minskade med mellan 10 och 15 % under dagtid, detta trots att endast en trottoar på ena sidan av en 100 m lång sträcka på Amiralsgatan belades med Econoxplattor.

Mot bakgrund av ovanstående resultat finns ett fortsatt intresse av att tillämpa TiOmix N även i andra typer av betong. Till exempel vore det intressant att gjuta hela vägsträckor med fotokatalytisk vägbetong för att minska kväveoxidhalterna från avgaserna. En annan intressant tillämpning är att använda betongen i tunnlar, förutsatt att man också har belysning som har förmåga att inducera fotokatalys i betongen. Tunnelväggar kan beläggas med fotokatalytisk sprutbetong. (Normalt krävs ultraviolett ljus eller solljus för att fotokatalys skall ske i TiO₂, men nya produkter som kan aktiveras fotokatalytiskt vid lägre energinivåer, dvs av vanligt vitt ljus, är under utveckling.)

Men för att säkerställa ett framgångsrikt användande av fotokatalytisk betong måste man också se till att betongens andra goda egenskaper inte påverkas negativt vid inblandning av fotokatalytiskt tillsatsmedel som TiOmix.

SYFTE

Målet med detta utvecklingsprojekt var initialt att utvärdera hur fotokatalytisk tillsats (TiOmix)

- ✓ påverkar den hårdnade betongens egenskaper,
- ✓ har för effekter på hälsa och miljö, både beträffande NOx-reduktion och partikelalstring,
- ✓ fungerar vid genomförandet och byggandet med fotokatalytisk betong i ett fältförsök.

Men efter ett par misslyckade försök i samtal med beställare om genomförandet av ett fältförsök, i likhet med det som redan genomförts i Malmö, fokuserades istället på att göra en *litteraturstudie* angående toxicitet hos nanopartiklar av titandioxid. Detta för att bättre kunna utvärdera resultaten från slitage och partikelalstringen vid provningen på provvägsmaskinen på VTI i Linköping.

GENOMFÖRDA PROJEKT

Fyra delprojekt har genomförts i denna undersökning. Dessa projekt har vart och ett resulterat i redan publicerade rapporter, förutom litteraturstudien som fortfarande är en interim rapport men som är tillgänglig i denna slutrapport. De fyra delprojekten och tillhörande rapport redovisas i TABELL 1. Samtliga fyra rapporter bifogas som bilagor till denna rapport.

TABELL 1. Delprojekt och tillhörande rapporter.

Delprojekt	Rapport
1. Lab.studie, CBI, vägbetong.	CBI Uppdragsrapport P900734, "Study on TiOmix replacement in white topping and in shotcrete - effects on physical properties". L. Kraft
2. Lab.studie, CBI, sprutbetong	CBI Uppdragsrapport P900734-B, "Provning av tryckhållfasthet, krympning och frostbeständighet av sprutbetong med TiOmix". L. Kraft
3. Lab.studie, VTI, slitage och partiklar	VTI Rapport 766, "Slitage av och partikelemissioner från betongbeläggning". M. Gustafsson
4. Litteraturstudie, CBI, toxikologi nanopartiklar	Interimsrapport CBI, "Review of hazards concerning titaniumdioxide nanoparticle inhalation - state of the art". L. Kraft

Utifrån det första delprojektet har även ett konferensbidrag publicerats och presenterats på en konferens om vägbetong [9].

METODER

De metoder som har använts vid undersökningarna redovisas i respektive rapport i bilagorna.

SAMMANFATTNING AV RESULTAT FRÅN DELPROJEKTEN

Delprojekt 1, Bilaga 1

Studien undersökte hur ett antal fysikaliska egenskaper i betong påverkades genom en ersättningsinblandning av en fotokatalytisk produkt, TiOmix N.

Två sorters betong undersöktes, dels en vägbetong (överbetong), dels en sprutbetong. TiOmix N blandades med båda betongsorterna i två olika koncentrationer. I studien provades två doseringar av TiOmix i vägbetongen och sprutbetongen, 25 respektive 50 kg TiOmix per m³ betong och dessa blandningar jämfördes med referensrecept utan tillsats av TiOmix. Som referensrecept till vägbetongen användes det betongrecept som man använt vid konstruktionen av betongvägen på E4 nordost om Uppsala. Referensrecept till sprutbetongen var ett recept som använts vid ett flertal andra provningar av sprutbetong på CBI. Tryckhållfasthet, böjdraghållfasthet, E-modul, volymstabilitet (krympning), termisk expansionskoefficient, abrasionsmotstånd och frostbeständighet samt fotokatalytisk effekt (reduktionsförmåga av NOx) hos vägbetongen undersöktes.

Resultaten från samtliga provningar är redovisade i rapporten och sammanfattas i en tabell som återges här, se TABELL 2. (WT 25 är betongblandningen med 25 kg TiOmix och WT 50 den med 50 kg. WT är en förkortning för "white topping".)

TABELL 2. Egenskaper i TiOmix betonger jämförda med referensbetongen.

Egenskap	WT T25	WT T50
Tryckhållfasthet	Högre eller lika bra	Högre eller lika bra
Böjdraghållfasthet	Lika bra	Nästan lika bra
Elasticitetsmodul	Lika bra	Lite sämre
Abrasionsmotstånd	Lika bra	Lite sämre
Krympning	Lika bra	Lika bra
Termisk expansionskoefficient	Lika bra	Lika bra
Frostresistens	Lika bra	Lite sämre
Fotokatalytisk effekt	25-30%	20 % eller mer*

*) WT T50 betongen provades inte på korrekt blandad betong.

Resultaten visar sålunda att 25 kg ersättningsinblandning av TiOmix i vägbetongen inte påverkar betongens fysikaliska egenskaper, men att en ersättningsinblandning av 50 kg TiOmix möjligen påverkar egenskaperna negativt.

Angående försöken med sprutbetongen försämrades tryckhållfastheten, krympningen och frostresistensen vid inblandningen av TiOmix. Detta berodde dock på utförandet vid tillverkning av proverna pga. av olika dosering av accelerator vid sprutningen. Det skapade skiktningar i betongen vilket i stor grad påverkade provningen. Därför kunde inga slutsatser dras angående ersättningsinblandning av TiOmix i sprutbetongen och alltså beslöts att försöken måste upprepas. (Se delprojekt 2.)

Delprojekt 2, Bilaga 2

Denna studie redovisar de upprepade sprutbetongförsöken angående hur sprutbetong påverkas vid inblandning av TiOmix N. Återigen provades två doseringar av TiOmix i sprutbetongen. Denna gång utfördes sprutningen med framgång och med lika dosering av accelerator. Provkropparna uppvisade denna gång inga skiktningar. Resultaten visade nu att varken 25 eller 50 kg ersättningsinblandning av TiOmix i sprutbetongen påverkade betongens tryckhållfasthet, krympning och frostbeständighet. BILD 1 visar hur sprutbetongen sprutats i tallrikar som skickades till Cementa Research AB i Slite för analys av betongens fotokatalytiska effekt (NO_x-nedbrytande förmåga).



BILD 1. Den sprutade betongen. Konsistensen var något för lös i T50 blandningen vilket gjorde att provytorna blev lite hängande.

Den NO_x-nedbrytande förmågan var mycket god i alla prover. Se TABELL 3. T50 blandningen hade en större NO_x-nedbrytande förmåga än T25 blandningen.

TABELL 3. Den NO_x-nedbrytande förmågan.

Prov	Märkning	NO reduktion
1	T25 brädriven	39 %
2	T25 orörd	54 %
3	T50 brädriven	53 %
4	T50 orörd	66 %

Delprojekt 3, Bilaga 3

Denna studie tillkom ursprungligen inom ramen för ett annat projekt med syftet att i laboratoriemiljö ge kompletterande data till en redan genomförd fältmätning av partiklar på motorvägen utanför Uppsala [10]. (Mätningarna utfördes på likvärdiga platser avseende lutning och vindförhållanden m.m.) Fältmätningen hade visat att bildningen av PM₁₀ för dubbdäck var ca 30 % lägre från betongbeläggning jämfört med asfaltsbeläggning. Beläggningarna hade samma största stenstorlek, men olika slitagetåligt stenmaterial. Kulkvarnsvärdet för betongbeläggningens stenmaterial var 8,2 jämfört med 5,8 för asfaltsbeläggningen, dvs. asfaltsbeläggningens sten var mer slitagetålig. Vidare var andelen fint stenmaterial högre i betongbeläggningen. Båda dessa faktorer borde ha medfört att asfaltsbeläggningen genererade färre partiklar jämfört med betongbeläggningen, vilket alltså inte var fallet. Alltså måste finnas ytterligare faktorer som

förklarar skillnaden. Mätningarna i ytterfilen visade dock motsatta resultat. Den rapport som sammanfattas här jämför alltså, i likhet med nämnda fältmätningar, direktmissionen från både betongbeläggning och asfaltsbeläggning men i en mer kontrollerad laboratoriemiljö och innehåller även kompletterande försök på vägbetong med tillsats av TiOmix N, 25 kg/m³ betong. Rapporten redovisar alltså delprojekt 3 i denna slutrapport till SBUF.

Provning genomfördes alltså på asfalt, referensbetong och på betong med ersättningsinblandning av TiOmix N. Det var samma stenmaterial (granit) i alla vägbeläggningar och provning utfördes med dubbdäck av samma märke i alla försök.

Slitaget på vägbeläggningarna uppmättes och under provningarna uppmättes partikelhalterna i hallen med ett antal olika partikelanalysinstrument som beskrivs utförligare i rapporten.

PM10, uppmättes med TEOM och storleksfördelningen inom PM10 (ca 10 nm – 10 µm) mättes med APS och SMPS. PM10 och PM2,5 mättes även med optisk instrument med högre tidsupplösning än TEOM. PM10 provtogs med 12-steps kaskadimpaktorer för analys av olika partikelstorlekar grundämnessammansättning. Grundämnen analyserades med PIXE på avdelningen för kärnfysik vid Lund tekniska högskola. Filter med PM10 och PM2,5 provades även för analys av PAH för asfalts- och betongbeläggningen. I hallen mättes temperatur (luft, däck, beläggning) och luftfuktighet. Dubbutstick och slitage av beläggningen registerades före och efter varje test.

Utifrån provningarna på provningarna på provvägsmaskinen drogs följande slutsatser:

- ✓ Slitaget var högst för betongbeläggningen med TiOmix och lägst för referensbetongen. Asfalten hade ett slitage mitt emellan de två betongbeläggningarna.
- ✓ Betongbeläggningarna ger högre direkta emissioner av PM10 än referensbeläggningen av asfalt (ABS16).
- ✓ Ett något mindre dubbutstick vid försöket med asfalt bedöms utgöra en mindre del av förklaringen till de lägre emissionerna.
- ✓ PM10-emissionerna från TiOmix-beläggningen var högre än de från referensbetongen, troligen på grund av andra blandningsförhållanden som resulterat i mer tillsatt luft, ett högre vct och därmed lägre hållfasthet i TiOmix-beläggningen.
- ✓ Cementen i betongbeläggningar bidrar till PM10-emissionerna, vilket framgår av ett påtagligt tillskott av kalcium jämfört med PM10 från referensbeläggningen ABS16.
- ✓ Titandioxid (TiO₂) finns i PM10 från TiOmix-beläggningen, vilket påvisas av tydligt ökad titanhalt jämfört med PM10 från betong utan TiO₂.
- ✓ TiO₂ återfinns i partiklar större än 0,1 µm, med masstopp runt 3–7 µm, vilket tyder på att partiklarna inte sprids i sin ursprungliga storlek, utan ingår i grövre slitagepartiklar av cement.
- ✓ Svavel förekommer i högre koncentrationer i proverna från asfalt än i de från betongerna, vilket indikerar att svavel har bitumen som huvudsaklig källa.
- ✓ Betongbeläggningar emitterar mot slutet av partikeltesterna betydligt färre ultrafina partiklar än asfalten. Dessa partiklar är också mindre än de ultrafina partiklar som emitteras från asfaltsslitage.
- ✓ PM10 och PM2,5 från såväl betong som asfalt innehåller PAH¹. Koncentrationerna är lägre i proverna från betongbeläggning vilken kan tyda på att en del av PAH härrör ur bitumen. Dock har inte samma däck använts i de jämförande testerna, varför skillnaden även kan bero på olika PAH-innehåll i däcken.
- ✓ PAH-halterna i PM2,5 är högre än i PM10, vilket tyder på att PAH är knutet till partiklar i denna fraktion i högre grad än till PM10-2,5.

¹ (PAH – Polycykliska aromatiska kolväten, även polyaromatiska kolväten eller polyaromater, ofta förkortat PAH av engelska Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Exponering för material som innehåller PAH kan medföra en ökad risk för cancer.)

Särskilt intressant var att TiO₂ endast återfanns i partiklar större än 0,1 µm. Det var dock oväntat att betongbeläggningarna gav högre emissioner av PM10 än asfalt. Däremot emitterade båda betongbeläggningarna färre nanopartiklar än asfaltsbeläggningen. Angående det höga slitaget på TiOmixbeläggningen visade tryckhållfasthetsprovning och strukturanalys i ljusmikroskop att den hade en högre halt tillsatt luft och ett högre vattencementtal och därför också lägre tryckhållfasthet. Eftersom de två betongbeläggningarna hade alltför olika hållfasthet och slitage måste provningen upprepas för att få säkra och rättvisa resultat. Enligt den tidigare genomförda laboratoriestudien borde båda beläggningarna haft snarlika egenskaper. Orsaken till att så inte var fallet är oklar, men stor betydelse har säkert att blandningarna gjordes vid två olika tillfällen av två olika operatörer på två olika platser.

Delrapport 4, Bilaga 4

Litteraturstudien redogör i korthet för slutsatser av drygt 100 st toxikologiska publikationer rörande toxicitet av TiO₂-partiklar av storlekar mindre än 10 µm. Studien beskriver kort på vilket sätt som toxikologiska studier utförs och vilka svårigheter och osäkerheter som finns inom den tvärvetenskapliga disciplinen *toxikologi*. Det kommer dock kontinuerligt nya studier eftersom varje ny typ av tillverkade *nanopartiklar* (NP) av TiO₂ ofta har nya specifika egenskaper och därför också måste provas. Dock har testmetoderna successivt förbättrats de senaste 4-5 åren vilket medfört mer exakta antaganden beträffande olika nanopartiklars toxicitet. Denna tilltagande information kommer att öka kunskapen betydligt de närmaste åren.

Följande försiktiga slutsatser sammanfattas i studien: (Ordförklaringar av *kursiverade* ord ges i nästa avsnitt.)

- ✓ Det står klart att nanopartiklar av TiO₂ generellt innehar en förmåga att negativt påverka olika typer av celler och biologisk vävnad vid växelverkan genom att orsaka inflammatoriska, genotoxiska och/eller cytotoxiska reaktioner. Detta i betydligt större utsträckning än likadana men större partiklar i mikrometerstorlek, då sådana partiklar ofta använts som inert referens i toxikologiska studier av ämnen och partiklar i mikrometerstorlek. Toxiska reaktioner är dock beroende av dosering och i många av studierna har mycket höga doser använts.
- ✓ Det finns även studier (*in vivo intravenöst*) där ingen toxicitet för TiO₂-NP har observerats, samt studier där en initial inflammatorisk respons (i lungor hos råttor) avtar med tiden för att sedan försvinna.
- ✓ Klart är att partikelstorlek spelar roll i studier av toxicitet i lungor, *in vivo* och *in vitro*, där likadant material av olika storlek administreras vid konstant massa. Då är finare storlekar mer toxiska. Men om partiklarna administreras med samma ytarea, då uppvisar inte nanopartiklar större toxicitet än fina (mikrometerstora) partiklar. Det finns nu en konsensus att försöksmetodiken med att administrera provmaterialet utifrån konstant yt-area är mer relevant för att undersöka hur de fysikalisk-kemiska egenskaperna inverkar på toxicitet, eftersom växelverkan sker vid gränsskikt mellan ytor av biologisk vävnad och materialet. De flesta studierna har dock hittills undersökt partiklar av olika storlek administrerade med samma massa.
- ✓ Partiklarnas form och struktur inverkar på toxiciteten. Det har dels jämförande studier på *anatas* och *rutil* visat, dels i andra studier där partiklar jämförts med nano-trådar, nanofibrer, nano-band och nanotuber av samma material. I de flesta studier uppvisar *anatas* större inflammatorisk respons.
- ✓ Även materialets yt-egenskaper har stor betydelse för hur toxiskt materialet är. T.ex. har partikelns *z-potential*, vilken även beror av omgivande medium, en avgörande betydelse för ämnets benägenhet att bilda agglomerat, vilket i sin tur spelar stor roll för ämnets effektiva yt-area. För övrigt har denna benägenhet hos nanopartiklar att bilda agglomerat en stor

betydelse för utvärderingen av många resultat, något som hittills inte tycks ha beaktats i tillräcklig utsträckning. Ytbeläggningar av olika slag på partiklarna kan också starkt påverka dessa egenskaper.

- ✓ I de allra flesta studier där nanopartiklar av titandioxid jämförs med nanopartiklar av kvarts (SiO_2), ZnO och CuO är titandioxid oftast minst toxiskt. Samtidigt är nanopartiklar av Ca sällan undersökta, eftersom man kan karakterisera Ca som ett näringsämne.

Sammanfattningsvis tycks det osannolikt att tillsats av fotokatalytisk TiO_2 i vägbetong skulle medföra en större hälso- eller miljörisk än partiklar genererade från konventionell betong vid dubbdäcksslitage, under förutsättningen att beläggningarna har samma nötningsmotstånd.

Ordförklaringar, Litteraturstudien

<i>Toxikologi</i>	Läran om gifterna, speciellt i förhållande till människan, en vetenskapsgren som är besläktad med farmakologi. Det viktigaste kriteriet för ett ämnes giftighet är dosens storlek. Man kan till och med påstå att alla ämnen är giftiga om dosen är alltför stor.
<i>Nanopartiklar</i>	Partiklar med minst en dimension < 100 nm, vanligtvis partiklar i storleksintervallet 1 – 100 nm.
<i>In vivo</i>	Syftar på biologiska processer i levande celler och vävnader när de befinner sig på sin naturliga plats i hela organismer, särskilt om processer som används i vetenskapliga försök och kliniska tester.
<i>In vitro</i>	Syftar på biokemiska processer som pågår i en artificiell miljö, t.ex i provrör i uttagna levande celler.
<i>Intravenöst</i>	In till venen, dvs. in i blodomloppet.
<i>Rutil och Anatas</i>	Två olika kristallstrukturer av titandioxid.
<i>z-potential</i>	Förenklat kan det sägas vara den elektriska potentialen mellan medium (t.ex. serum, kroppsvätska) och ytan på partikeln i mediet.

SLUTSATSER

Provningsen av betong med olika dosering av TiOmix visade att en ersättningsinblandning på 25 kg/m^3 fungerade väl i både vägbetong och sprutbetong. I motsats till det tidigare utförda fältförsöket [10] alstrade betongbeläggningarna i den här studien fler PM10 partiklar än asfalten, men färre partiklar av nanometerstorlek. En viktig iakttagelse var att TiO_2 endast fanns i partikelstorlekar större än 0,1 μm . En litteraturstudie om toxicitet av TiO_2 partiklar sammanställdes också. De mest intressanta slutsatserna från den var att TiO_2 partiklarna uppvisar en lägre toxicitet än motsvarande partiklar av ZnO, CuO och kvarts (SiO_2) och att fina partiklar (0,1 – 10 μm) är mindre toxiska än nanopartiklar (1 – 100 nm).

Delvis var provningen av betongbeläggningen med TiOmix på provvägsmaskinen misslyckad eftersom den oväntat uppvisade det högsta slitaget. Provning av de tillverkade betongplattorna visade att de hade mycket olika hållfasthet och luftporstruktur vilket de inte hade i laboriestudien. Provningsen på slitage och partikelgenerering på betong med tillsats av TiOmix måste därför upprepas på provplattor med validerade egenskaper för att få säkra och rättvisa resultat.

REFERENSER

- [1] Fujishima A., Rao Tata N., and Tryk Donald A., "Titanium dioxide photocatalysis," *J. of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, pp. 1-21, 2000.
- [2] Hüsken G., Hunger M., and Brouwers H.J.H., "Experimental study of photocatalytic concrete products for air purification," *Building and environment*, pp. 2463-2474, 2009.
- [3] Hunger M., Hüsken G., and Brouwers H.J.H., "Photocatalytic degradation of air pollutants - From modelling to large scale application," *Cement and Concrete Research*, pp. 313-320, 2010.
- [4] Maggos Th., Plassis A., Bartzis J.G., Vasilakos Ch., Moussiopoulos N., and Bonafous L., "Photocatalytic degradation of NO_x in a pilot street canyon configuration using TiO₂-mortar panels," *Environ Monit Assess*, pp. 35-44, 2008.
- [5] Bygott Claire E., Maltby Julie E., Stratton John L., and McIntyre Robert, "Photocatalytic coatings for the construction industry," in *International RILEM Symposium on Photocatalysis*, Florence, 2007, pp. 251-258.
- [6] Guerrini G.L. and Peccei E., "Photocatalytic cementitious roads for depollution," in *International RILEM Symposium on Photocatalysis*, Florence, 2007.
- [7] Beeldens Anne, "An environmental friendly solution for air purification and self cleaning effect: the application of TiO₂ as photocatalyst in concrete," in *TRA 2006*, Göteborg 12-15 June 2006.
- [8] Nilsson H. and Häger A., "Utvärdering av försöket med plattor med fotokatalytisk titandioxid på Amiralsgatan i Malmö," Miljöförvaltningen, Malmö stad 2010.
- [9] Kraft L. and Silfwerbrand J., "Study on TiO₂ replacement in white topping - effects on physical properties," in *IBRACON conference*, Florianopolis, Brazil, 2011.
- [10] Johansson Christer, Karlsson Hans, and Rosman Kai, "PM₁₀ emission från betongbeläggning," *ITM-rapport 192, Institutionen för tillämpad miljövetenskap, Stockholms universitet*, 2009.