

TIIVISTELMÄRAPORTTI (SUMMARY REPORT)

”CB-agensseilta suojaavan itsepuhdistuvan naamiopinnoitteen kehittäminen” / ”DESSCO” /
”Development of self-cleaning stealth coating for protection against CB-agents”

Jyrki M. Mäkelä ja Mikko Aromaa,
Aerosolifysiikan laboratorio, Fysiikan Laitos, Tampereen teknillinen yliopisto (TTY),
Korkeakoulunkatu 3, PL 692, 33101 Tampere,
Mika Valden ja Kimmo Lahtonen, Pintatieteen laboratorio/Optoelektroniikan tutkimuskes-
kus/TTY,
Miia Luhtalampi ja Matti Hemmilä, Puolustusvoimien Teknillinen Tutkimuslaitos, Räjähde- ja
suojelutekniikkaosasto

Tiivistelmä / Abstract

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää puolustusvoimien käyttämälle naamiopinnoitteelle päällyste, joka pysyisi paremmin puhtaana kuin aiemmat pinnat. Samalla päällyste toimii CB-aineita vastaan inaktivoivasti tai niin, että ne eivät edes tarttuisi pintaan. Tutkimuksessa valmistettiin nesteliekkiruisku-laitteistolla (LFS, Liquid Flame Spray) nanohiukkasia ja pinnoitettiin niillä testipintoja, joilla oletetaan olevan sotateknisesti strategista merkitystä. Nanopäällysteen perusaineena on käytetty titaanidioksidia, jonka tiedetään olevan fotokatalyyttinen. Tuotettujen pintojen havaittiin olevan fotokatalyyttisiä ja muuttuvan kolmen kuukauden mittaisissa testeissä kenttäolosuhteissa hydrofiiliseksi. Tutkimuksessa todettiin myös, että nanohiukkaspäällyste säilyi muuttumattomana ulkoilma-altistuksen aikana. Pintojen aktiivisuus voitiin todeta testeillä joissa pinnalla oleva metyleenisininen hajosi UV-valon vaikutuksesta. Lisäaineina on testattu hopeaa, jonka oletetaan lisäävän antibakteerisuutta sekä rautaoksidia jonka oletetaan lisäävän titaanioksidipinnan fotokatalyyttisyyttä. Testit lisäaineiden kanssa jatkuvat edelleen. Pitkän ajan testeissä pintojen oletetaan pysyvän kenttäolosuhteissa puhtaampana kuin pinnat, joita ei ole päällystetty. Seuranta pintojen pitempiäaikaisesta puhtaanapysyvyydestä ja kestävydestä jatketaan (1 vuosi), ja suoritetaan kontaktikulmakokeet CB-simulanttiaineilla.

1. Johdanto / Introduction

Nanoteknologia on tunnistettu Suomen puolustusvoimissa seurattavaksi alueeksi erityisesti sen puolustuksellisten ja sotilaallisten sovellusten vuoksi. Nanoteknologia on tutkimusta ja teknologista kehitystä atomi-, molekyyli- ja makromolekyyli- ja -tasolla, missä etäisyydet ovat luokkaa 1 – 100 nm. Nanoteknologia tarjoaa edellytykset nanomittakaavaisten ilmiöiden ja materiaalien perimmäiselle ymmärtämiselle. Nanomittakaavaisten rakenteiden, laitteiden ja systeemien uudenlaiset ja erilaiset ominaisuudet ja toiminnot tulevat ilmi tyypillisesti alle 100 nm mittakaavassa. Useimmat toiminnalliset pinnat valmistetaan erilaisten nanotekniikoiden avulla. Nanoteknologia voi, muodostuessaan tulevaisuudessa innovaatioiksi, merkittävällä tavalla muuttaa mm. sotateknologisten välineiden materiaaleja.

Nanopinnoitteita voidaan tehdä nestekemialla (mm. sooli-geeli tekniikat) tai kaasufaasimenetelmillä, joissa nanohiukkaset syntyvät pinnalla tai jo ennen tarttumistaan pinnalle. Kaasufaasi-menetelmistä (PVD, CVD jne.) erityisesti liekkimenetelmät ovat prosessointivaiheiden vähälukuisuuden ansiosta skaalattavissa ylöspäin jopa useiden neliömetrien kokosiin pintoihin. Teollisuudessa esiintyy jo ratkaisuja, joissa liekkiverholla voidaan pinnoittaa verhon alta liikkuvaa ratamaista laattamateriaalia (mm. Beneq Oy). TTY:n omassa tekniikassa, nesteliekkiruiskutuksessa, vetyhappiliekkiin syötetään nestemäinen lähtöaine, joka höyrystyy ja reagoi liekissä muodostaen nanohiukkasia. Pinnoitustilanteessa liekki suunnataan suoraan

Postiosoite	MATINE Puolustusministeriö PL 31 00131 HELSINKI	Sähköposti	matine@defmin.fi
Käyntiosoite	Eteläinen Makasiinikatu 8 00130 HELSINKI	WWW-sivut	www.defmin.fi/matine
Puhelinvaihe	(09) 16001	Y-tunnus	FI01460105
Pääsihteeri	(09) 160 88310	OVT-tunnus/verkkolaskuosoite	003701460105
		Itellan operaattorivälittäjä-tunnus	003710948874
Suunnittelusihteeri	(09) 160 88314	Verkkolaskuoperaattori	Itella Information Oy
Toimistosihteeri	050 5555 837	Yhteyshenkilö/Itella	helpdesk@itella.net
Faksi kirjaamo	(09) 160 88244		

pintaan johon kerääntyy liekissä syntyneitä nanohiukkasia diffuusion ja termoforeesin vaikutuksesta. Liekin ja pinnan välinen etäisyys on säädettävissä. Kun pinnoitteessa käytetään monikomponentti-nanohiukkasia, saadaan pinnoitteeseen monia ominaisuuksia. Voidaan esimerkiksi valmistaa hydrofobinen, fotokatalyyttinen ja antimikrobinen pinnoite yhdessä prosessivaiheessa. Eri lähteissä on esitelty nesteliekkiruiskutuksella tehtyjä pinnoitteita mm. lasille (Pimenoff et al., 2009), metallipinnalle (Keskinen et al., 2007), piikiekolle (Sainiemi et al., 2007) ja kartongille (Teisala et al., 2010).

Pimenoff J, Hovinen, A. Rajala, M. (2009) Nanostructured coatings by liquid flame spraying, *Thin Solid Films*, 519, 3057-3060

Keskinen, H., Mäkelä, J.M., Aromaa, M., Ristimäki, J., Kanerva, T., Levänen, E., Mäntylä, T., and Keskinen, J. (2007) Effect of silver addition on the formation and deposition of titania nanoparticles produced by Liquid Flame Spray, *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 569-588, 2007(DOI 10.1007/s11051-007-9215-9)

Sainiemi, L., Keskinen, H., Aromaa, M. Luosujärvi, L., Grigoras, K., Kotiaho, T., Mäkelä, J. M., Franssila, S. (2007) Rapid fabrication of high aspect ratio silicon nanopillars for chemical analysis, *Nanotechnology*, 18, 505303.

Teisala H., Tuominen, M., Aromaa, M., Mäkelä, J.M., Stepien, M., Saarinen, J.J., Toivakka, M., and Kuusipalo, J. (2010) Development of Superhydrophobic Coating on Paperboard Surface Using the Liquid Flame Spray, *Surface and Coatings Technology*, 205 (2010) 436-445

2. Tutkimuksen tavoite ja suunnitelma / Research objectives and accomplishment plan

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää puolustusvoimien käyttämälle naamiopinnoitteelle päällyste, joka pysyisi paremmin puhtaana kuin aiemmat pinnat. Samalla päällyste toimii CB-aineita vastaan inaktiivisesti tai niin, että ne eivät edes tarttuisi pintaan. Käytännössä tämä tehdään pinnoittamalla naamioainepinta ohuella nanohiukkas-kerroksella. Tällöin maalia ja/tai lakkamateriaalia ei tarvitse välttämättä ensisijaisesti muuttaa. Nanopinnoitteella parannetaan pinnan puhtaana pysyvyyttä ja saadaan heijastusominaisuudet säilymään pitkäaikaisessakin käytössä. Lisäksi on tarkoitus tutkia pinnoitteen käyttäytymistä päällemaalauksen yhteydessä. Myös tämä ominaisuus on tärkeä ajatellen ajoneuvojen vuosittaista uudelleenmaalausta.

3. Aineisto ja menetelmät / Materials and methods

Tutkimuksen ensimmäisenä vuonna 2010 pinnoitettiin TTY:n Aerosolifysiikan laboratorion nesteliekkiruisku-laitteistolla (LFS, Liquid Flame Spray) ja tunnetuilla nanomateriaaleilla naamiomaalattuja ja -lakattuja pintoja, tutkittiin niiden vettyvyyskäyttäytyminen (veden kontaktikulma pinnalla) ja laitettiin näytteet pitkäaikaisiin ulkoilmatesteihin. Nanopinnoiteaineena käytettyyn titaanidioksidiä (TiO_2 , ns. titania). Pinnoitettava substraatti oli aikaisempiin sovellutuskohteisiin nähden uusi, naamiomaalilla tai -lakalla pinnoitettu pinta. Kokeissa voidaan säätää tuotettu hiukaskoko sekä useita liekin ominaisuuksiin (kaasut, liuotin, syöttönopeus), liekin ja pinnan asemaan, pinnoitusnopeuteen ja lämpötilaan liittyviä parametreja.

Toisen vuoden (2011) tavoitteena oli tuottaa vastaavanlaisia pintoja kuin ensimmäisenä vuonna, mutta seostaa nanorakenteista titaanidioksidiä mm. hopealla (Ag) ja rautaoksidilla (Fe_xO_y). Hopea oletetusti lisää pinnan antibakteerisuutta ja rautaoksidin oletetaan lisäävän



titaanidioksidi-pinnan fotokatalyyttisyyttä, koska se muuttaa titaanidioksidin johtavuusvöiden välin (band gap) suuruutta. Lisäksi oli tavoitteena lisätä uusia näytteitä pitkän ajan testeihin ja jatkaa osaa vanhoista testeistä.

Titaanidioksidia varten liekkiin syötetään nestemäistä titaani(IV) isopropoksidia (TTIP) isopropanoliliuoksena. Seostusaineet Ag ja Fe_xO_y syötettiin näytteen pintaan samaan aikaan titaani-prekursorin kanssa ns. yksivaihepinoituksena, jonka edellytys on, että kaikki lähtöaineet voidaan syöttää liekkiin samassa liuoksessa. On mahdollista pinnoittaa myös kahdessa vaiheessa eli ensin titaani-nanohiukkaset, jonka jälkeen lisäaineet tuotetaan titaani-päälle. Tuotettu hiukkaskoko on luokkaa 5 - 100 nm, eivätkä hiukkaset ehdi agglomeroitua merkittävästi ennen kiinnittymistään pintaan. Seostetun hopean määrä (suhteessa titaaniin) oli vakio, mutta rautaoksidille tehtiin sarjoja muuttaen lähtöliuoksessa olevan raudan mooliprosenttisuutta.

Toisen vuoden (2011) aikana suoritettiin suuri määrä pinnoituskokeita, jotka suunniteltiin edellisen vuoden tulosten perusteella. Pintoja testattiin veden kontaktikulma-analyysillä, jolla selvitettiin pinnoitteen hydrofobisuutta. Kontaktikulmamittauksista saatiin palautetta pinnoitteen onnistumisesta. Osa keväällä 2011 valmistetuista näytteistä vietiin ulkoilmaltistukseen kenttäolosuhteisiin Lakialaan, missä pinnoitetut kappaleet olivat kolme kuukautta ulkoilmassa alttiina likaantumiselle. Osa näytteistä jätettiin pitkäaikaisaltistukseen, jossa pinnat altistetaan säälle ympäri vuoden, eli pinnat voidaan analysoida vasta kesällä 2012. Edellinen vuosi jo osoitti, että pelkällä titaanidioksidi-nanopinnoitteella saadaan kontaktikulma-analyseissa tuloksia, jotka kertovat, että pinta on aktiivinen. Pitkäaikaisaltistuksen tarkoituksena on selvittää pintojen ikääntymistä ja pinnoitteen kestoa. Myöhemmin hankkeessa on suunniteltu siirryttävän testaamaan käytännön olosuhteiden aiheuttamia haasteita esimerkiksi päällemaalaamisen vaikutusta jo käsiteltyihin ja käytettyihin pintoihin. Myöhemmin aiotaan tehdä kontaktikulmamittaukset myös taisteluainesimulanteilla sekä heijastusominaisuusanalyysejä. Koekappaleiden lisäksi Maavoimien Esikunta toimitti testipinnoitettavaksi todellisen kenttämittauslaitteen kuoren. Kuori pinnoitettiin tähän mennessä parhaaksi todetuilla parametreilla ja sille tehtiin vastaavat testit kuin koekappaleille, joita on käytetty tähän mennessä pinnoitteen kehittämiseen.

Pintojen antibakteerisuuden tutkimiseksi teetettiin tutkimustilauksena testejä, joiden tulokset eivät tämän raportin kirjoittamishetkellä olleet vielä kokonaisuudessaan valmiina. Vaadittava menetelmäkehitys on haasteellinen. Aluksi testibakteerina käytetään *E. colia*.

TTY:n pintatieteen laboratoriossa analysoitiin näytelevyjen alkuainekoostumus ja pintojen yhdisteiden kemialliset tilat röntgenviritteisellä fotoelektronispekroskopiolla (XPS, X-ray Photoelectron Spectroscopy). Suhteelliset alkuainekonsentraatiot määritettiin alueelta, jonka halkaisija oli ~600 μm . Menetelmä on pintaherkkä: Tyypillisesti XPS-mittauksessa 95% informaatiosta saadaan ~4–8 nm:n paksuisesta pintakerroksesta ja suhteellinen sensitiivisyys on luokkaa ~0.1 at. %.

Pintojen fotokatalyyttisyyttä testattiin keinotekoisella UV-säteilyllä ja metyleenisinisen avulla. Testimenetelmässä titaanidioksidi-nanohiukkasilla pinnoitettu naamiolakkalevyn pala n. 4 cm^2 upotettiin metyleenisinisen vesiliuokseen. Tavoitteena oli saada metyleenisininen hajoamaan prosessissa, jossa nanohiukkaspinnoite toimii fotokatalyyttinä UV-säteilyllä vaikutuksestaan. Jos hajoamista tapahtuu, näytepinta on aktiivinen. Menetelmä on teoriassa mahdollista soveltaa myös biologisille aineille. Koejärjestely oli mukautettu standardiin BS ISO 10678:2010. Standardimenetelmä ei täysin soveltunut ruostuville näytteille. Koejärjestelyssä metyleenisinisen konsentraatio oli 10 $\mu\text{mol/l}$, nestemäärä 20 ml ja näytelevy 2 cm korkean nestepatsaan pohjalla. Käytetyn mustavalolampun aallonpituus oli 365 nm sekä säteilyllä intensiteetti välillä 7 - 10 W/m^2 . Astia peitettiin UV-säteilyllä läpäisevällä muovilevyllä veden



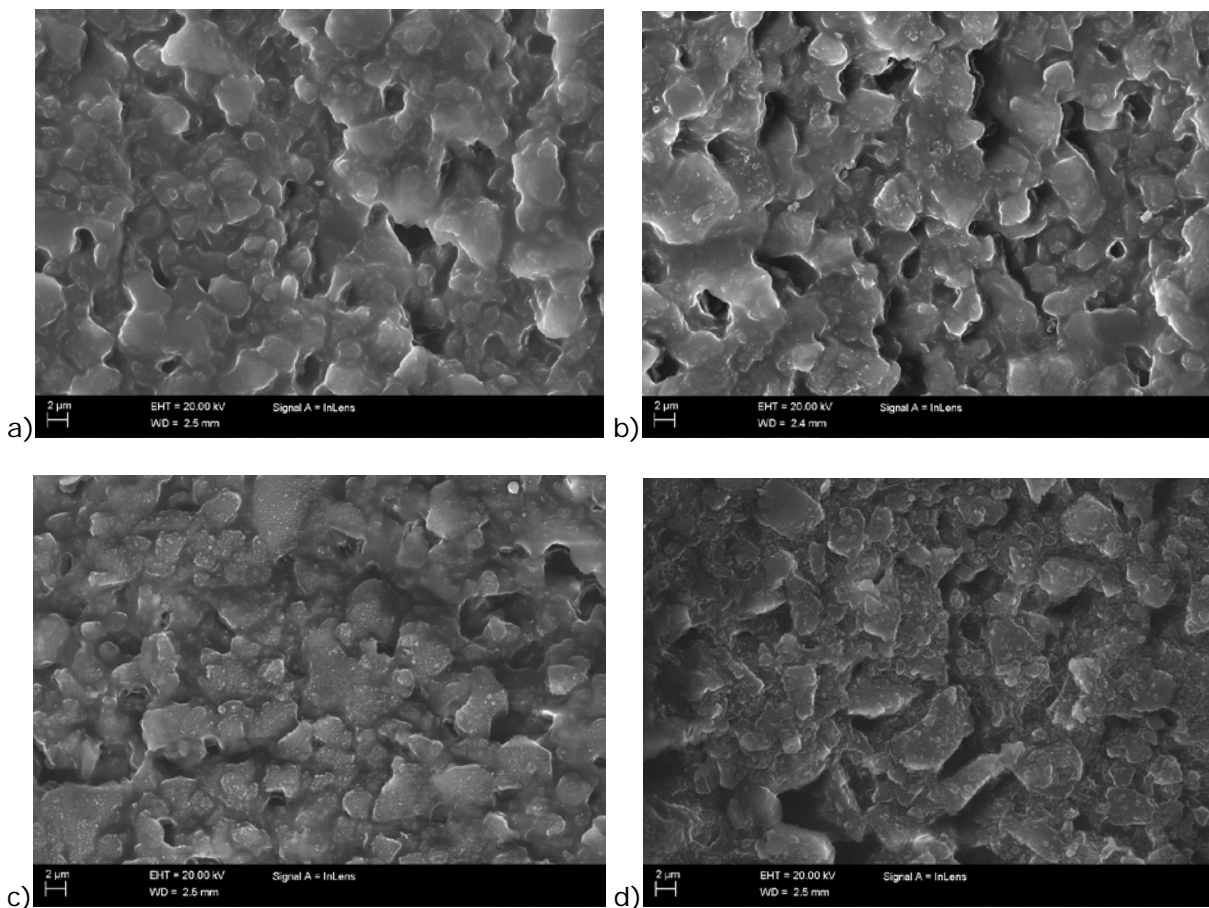
haihtumisen estämiseksi. Näytteen absorbanssi mitattiin tietyin väliajoin spektrofotometrillä, jonka aallonpituusalue oli 200 - 700 nm.

Näyteliuosta sekoitettiin paineilmalla tunnin välein ja samalla mitattiin valon absorbanssi aallonpituudella 667 nm, jossa oli suurin piikki spektrissä. Mittaus kesti useimmiten 6 h, mutta myös 24 h mittauksia testattiin. Tällöin näytteen absorbanssia ei mitattu joka tunti eikä näyteliuosta sekoitettu.

Tällä hetkellä pinnoite tehdään pistemäisen polttimen avulla. Jos menetelmä otetaan käyttöön suuressa mittakaavassa, pinnoitus on mahdollista tehdä verhomaisen polttimen kanssa. Pistemäisen polttimen takia osalle näytteistä tutkittiin myös pinnoitteen tehollista leveyttä eli miten tehokkaasti yksi liekki pystyy pinnoittamaan n. 80 mm leveään näytelevyn. Tätä tutkittiin keinotekoisella UV-valolla säteilyttämättä näytteitä ja mittaamalla kontaktikulman leveysjakauma. Testillä seurattiin samalla, miten nopeasti kontaktikulma muuttuu ajan funktiona.

4. Tulokset ja pohdinta / Results and discussion

Pintojen ulkoilma-altistus ei näytä muuttavan pinnan mikro- eikä nanorakennetta. Pyyhkäisy-elektronimikroskoopi-kuvat (SEM) osoittavat, että nanohiukkaspinnoite ei muuta merkittävästi pinnan rakennetta (kuva 1 a ja c). Tämä on tärkeää, että voidaan säilyttää pinnan heijastusominaisuudet. Heijastusominaisuuksia tullaan testaamaan myöhemmin, mutta kuvat ovat lupaavia ominaisuuden säilymisen suhteen. Lisäksi havaitaan, että nanohiukkaspinnoite pysyy pinnalla kenttäkokeiden ulkoilma-altistuksessa. Tämä on tärkeää, kun ajatellaan pinnoitteen pysyvyyttä oikeilla kappaleilla todellisen käytön aikana. Tämä osoittaa, että pinnoite pysyy hyvin kiinni, eikä kappaleilla ole tarvetta jatkuvaan uudelleenpinnoitukseen, jos menetelmä otetaan käyttöön laajassa mittakaavassa. Lakkareferenssinäytteiden kuvat osoittavat, että pinnalle on ulkoaltistuksen aikana kertynyt epäpuhtaushiukkasia. Referenssinäytteessä ei ole nanopinnoitetta.



Kuva 1. SEM-kuvia näytepinnoista. (a) Pinnoittamaton lakkapintareferenssi, jota säilytetty huoneenlämmössä pimeässä. (b) Pinnoittamaton lakkapintareferenssi, joka ollut ulkoilma-altistuksessa 3 kk. (c) Huoneenlämpötilassa pimeässä ollut pinnoitettu näyte (prosessi-parametrit: TTIP+IpA syöttönopeus 5,5 ml/min, 36 kierrosta liekin läpi. (d) c-kohdan parametreilla valmistettu näyte, joka oli altistettuna ulkoilmalle 3 kk.

Pinnoille tehdyt kontaktikulma-analyysit osoittavat, että 3 kk ulkoilma-altistuksessa useimmat titaanidioksidilla tai titaanidioksidilla ja hopealla pinnoitetut näytteet saavuttavat erittäin alhaisen veden kontaktikulman eli ovat erittäin hydrofiilisiä. Hydrofiilisuuden saavuttaminen ulkoilma-altistuksessa on indikaatio pintojen fotoaktiivisuudesta. Pintojen seostus rautaoksidilla ei vaikutta-

nut tuovan vastaavaa tulosta. Pinnat muuttuivat hydrofiiliseiksi, mutta rautaoksidiseostetut pinnat saavuttivat kontaktikulman 40 - 50° kun taas em. näytteiden veden kontaktikulma lähes 0°. Pinnalla olevan raudan olomuoto saattaa vaikuttaa fotoaktiivisuuteen negatiivisesti ja tämän vuoksi raudan olomuotoa pinnalla tutkitaan vielä. Tarkoituksena on jatkaa kokeita rautaseostuksella, koska kirjallisuudessa on osoitettu raudan tiettyjen kidemuotojen parantavan fotokatalyyttisiä ominaisuuksia. Rautaoksidilla saattaa olla myös merkitystä pinnan emissiivisyyteen. Asiaa on tarkoitus tutkia myöhemmin.

Osa näytteistä valikoitiin XPS-mittauksiin. Tuloksia on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Valikoitujen lakattujen pintojen XPS-tuloksia. Neljä ensimmäistä pintaa on tehty ja ulkoilma-altistettu vuonna 2010, ja loput yhdeksän vuonna 2011.

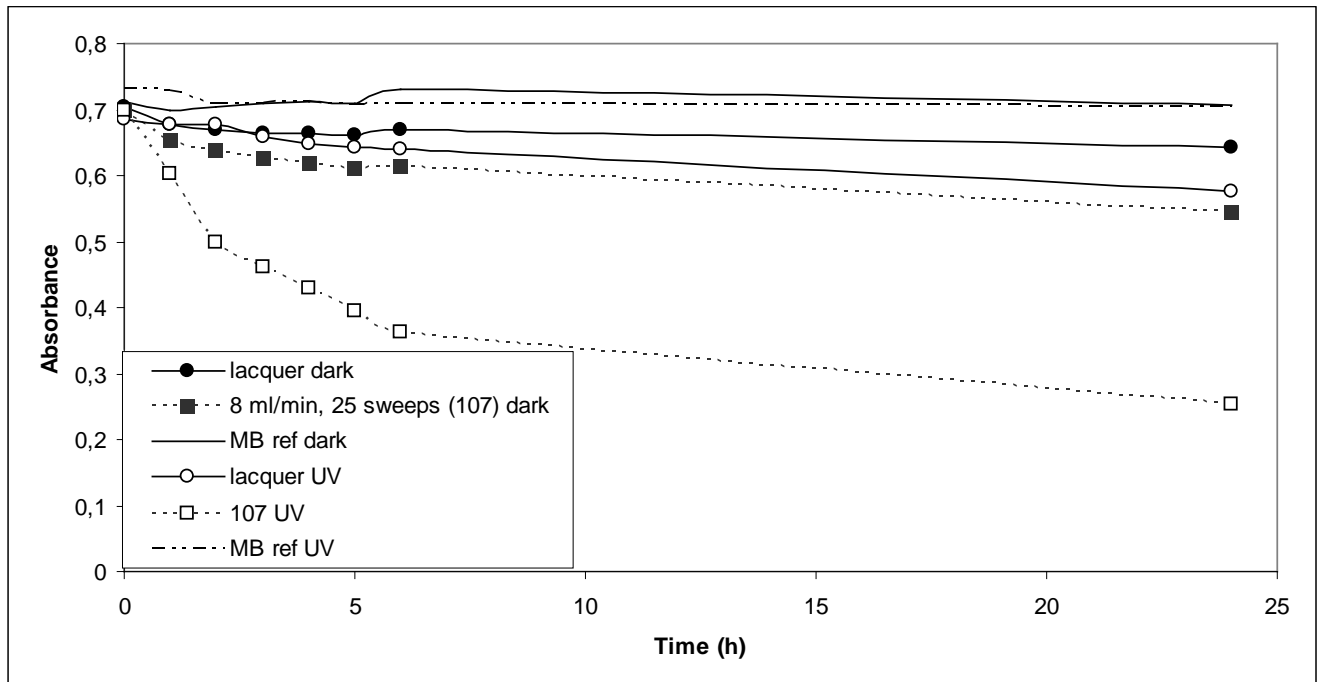
Lakattujen pinnan käsittelyt					Pinnan alkuainekoostumus (at. %)							
TTIP/lpA syöttö	kierrokset liekin läpi	AgNO ₃	Fe(C ₅ H ₅) ₂	ulkoilma	C	O	Ti	N	Si	Ag	Fe	Pb
ref					81.66	13.27	–	2.59	2.48	–	–	–
ref				3 kk	81.61	15.10	–	1.71	1.58	–	–	–
5.5 ml/min	36				67.18	26.13	4.56	1.28	0.87	–	–	–
5.5 ml/min	36			3 kk	17.08	57.15	7.19	0.73	17.87	–	–	–
ref					80.52	14.42	–	3.74	1.32	–	–	–
ref				3 kk	82.26	13.59	–	2.53	1.61	–	–	–
2 ml/min	100	1 mol%			57.96	34.44	4.54	1.74	1.01	0.30	–	–
4 ml/min	50	1 mol%			59.47	33.08	4.67	1.87	0.59	0.30	–	–
8 ml/min	25	1 mol%			60.12	31.61	5.74	1.54	0.62	0.38	–	–
8 ml/min	25		0.5 mol%		67.40	24.04	4.24	2.29	1.78	–	0.24	–
8 ml/min	25		1 mol%		62.95	29.08	5.14	1.76	0.77	–	0.31	–
8 ml/min	25		8 mol%		74.09	20.41	2.09	1.42	1.06	–	0.91	–
8 ml/min	25		0.5 mol%	3 kk	46.47	39.17	6.95	3.02	3.96	–	0.32	0.10

Pinnoittamattomien lakattujen referenssilevyjen pintakoostumus ei muuttunut kenttäolosuhteissa tehdyn 3 kk ulkoilma-altistuksen aikana. Tämä havaittiin toistettavasti sekä vuoden 2010 että 2011 mittauksissa. Pinnoitettujen näytelevyjen alkuainekoostumukset sen sijaan muuttuivat merkittävästi 3 kk pitkäaikaisaltistuksen aikana: Hiilen määrä väheni (-30% Fe_xO_y/TiO₂-pinnalla, ja jopa -75% TiO₂-pinnalla), ja samalla hapen, titaanin ja piin osuudet kasvoivat. Titaanin suhteellisen osuuden kasvaminen (+60%) selittyy pääosin hiliyhdisteiden irtoamisella titaanidioksiidihiukkasten päältä. XPS-tulokset siis tukevat sitä teoriaa, että TiO₂-nanohiukkaspinnoite on itsepuhdistuva. Hapen suhteellisen osuuden kasvaminen johtuu vastaavasti Ti- ja Si-oksidiin osuuden kasvamisesta. Huomionarvoista on myös se, että piin osuus pitkäaikaisaltistusten jälkeen oli kasvanut jopa suuremmaksi kuin pinnoittamattomilla lakatuilla levyillä oli alunperin. Tämä saattaa johtua levyjen altistamisesta ulkoilman hiekkapölylle, joka sisältää piidioksidia. Pii voi olla peräisin myös pinnoitteen alla olevasta lakasta, josta pii voi kulkeutua kohti pintaa segregatioilmiöiden aiheuttamana.

Eniten rautaa (8 mol%) sisältävällä näytteellä TiO₂:n määrä (2%) on selvästi alhaisempi kuin muilla pinnoitetuilla näytteillä (4–6%). Rauta saattaa pinnoitusprosessissa peittää TiO₂-partikkelien pinnan, jolloin titaanin signaali mittauksessa vaimenee. Vuonna 2011 ulkoilma-altistetulle pinnoitetulle pinnalle on jostain syystä kertynyt pieni määrä lyijyä (Taulukko 1, viimeinen rivi). Tämä saattaa johtua puolustusvoimien muusta koetoiminnasta. Vuonna 2011 ulkoilma-altistettujen näytelevyjen XPS-mittauksia on tarkoitus jatkaa vielä tämän joulukuun aikana.

Kuvassa 2 on esimerkkitapaus metyleenisinisen hajoamisesta. Metyleenisininen pelkästään ilman näytelevyä ei sanottavasti hajonnut UV-valossa eikä pimeässä. Lakattu näytepinta hajotti metyleenisinistä myös melko minimaalisesti. Titaniananohiukkasilla pinnoitettu lakattu näytepinta sen

sijaan osoittaa metyleenisinisen hajoamista jo muutamassa tunnissa. Käytetyn säteilyn intensiteetti oli huomattavasti heikompi kuin auringonsäteilyn intensiteetti, joka on kirkkaimmillaan n. 800-1000 W/m².



Kuva 2. Metyleenisinisen (MB) hajoaminen UV-säteilyn vaikutuksesta. Kuvassa metyleenisininen ilman näytelevyn paloja, lakatut levynpalat MB-vesiliuoksessa sekä titaniananopinnoitetut näytepalat MB-vesiliuoksessa. Puolet näytteistä oli UV:n vaikutuksessa ja puolet pimeässä. Titanianäytteen pinnoinenparametrit olivat TTIP+Ipa syöttönopeus 8 ml/min ja 25 kierrosta liekki läpi (näyte nro 107).

Pinnoille tehtiin myös ICP-analyysi, jolla selvitettiin vesihuutelussa pinnasta irtoavan titaanidioksidin määrää. Pinnasta irtoaa päällimmäiset kerrokset, mutta suurin osa pinnoitteesta jää pintaan. Näytekappaleen koko oli n. 10 cm² ja testattujen näytteen parametrit olivat TTIP+Ipa syöttönopeus 4 ml/min ja liekin yli kierrosten lukumäärä 100 sekä toisen näytteen vastaavat parametrit olivat 8 ml/min ja 25 kierrosta. Tulokseksi saatiin, että pinnoista irtoaa reilusti alle 1 mg/m² kun tarve toimivalle pinnalle on oletettavasti luokkaa 0.1-1 g/m².

5. Loppupäätelmät / Conclusions

Pystymme nyt tuottamaan menetelmällä naamiomaalatuille ja lakatuille metallilevyille hallitusti vettä hylkiviä, superhydrofobisia, pintoja, jotka muuttuvat kentällä hydrofiiliseksi, ja siten pysyvät puhtaampana kuin pinnat, joita ei ole päällystetty. Tuotetut pinnat ovat fotokatalyyttisiä. Tämä on verifioitu sekä veden kontaktikulmamittauksilla ulkoilma-altistuksen jälkeen että metyleenisinisen hajotuskokeilla UV-valon vaikutuksesta. Myös lisäaineiden seostaminen nanopinnoitteeseen onnistuu. Jatkossa on suunnitelmassa tutkia sekä pintojen pidempiaikaista puhtaana pysyvyyttä kuten myös suorittaa kontaktikulmakokeet CB-simulanttiaineilla. Lisäksi tutkimuksessa on pinnoitettu kolmiulotteisia kappaleita, joiden antamat tulokset kertovat miten todellisten kenttäkäyttöön tarkoitettujen esineiden pinnoittaminen onnistuu.



6. Tutkimuksen tuottamat tieteelliset julkaisut ja muut mahdolliset raportit / Scientific publishing and other reports produced by the research project

Mikko Aromaa, suullinen esitelmä ja abstrakti: Mikko Aromaa, Miia Luhtalampi, Mika Valden and Jyrki M. Mäkelä: Liquid Flame Spray Deposited Nanocoatings On Painted Metal. American Institute of Chemical Engineering (AIChE) Annual meeting, November 8-13, 2009, Nashville, Tennessee.

Miia Luhtalampi, suullinen esitelmä ja abstrakti: Miia Luhtalampi, Mikko Aromaa, Kimmo Lahtonen, Leena Kanninen, Mika Valden and Jyrki M. Mäkelä: Controlled Superhydrophobicity of Lacquered Metal Surface by Liquid Flame Spray Deposited TiO₂ Nanoparticles. American Institute of Chemical Engineering (AIChE) Annual meeting, November 7-12, 2010, Salt Lake City, Utah.

Miia Luhtalampi, suullinen esitelmä ja abstrakti: Miia Luhtalampi, Mikko Aromaa, Kimmo Lahtonen, Oskari Kangasniemi, Janne Haapanen, Mika Valden, Jyrki M. Mäkelä: Superhydrophobic properties of lacquered steel surface coated by Liquid Flame Spray generated TiO₂ nanoparticles, NOSA (*Nordic Society for Aerosol Research*) Symposium, November 9-11, 2011, Tampere

2011 Luhtalampi et al. 1. peer-review -julkaisun käsikirjoitus valmiina 12/2011 (Thin Solid Films), Artikkelikäsikirjoitus aiheesta "Controlled superhydrophobicity of lacquered metal surface by Liquid Flame Spray deposited TiO₂ nanoparticles"

7. Hankkeen seuraajan lausunto raportista

Toimitettaneen erikseen



MATINE-hankkeen loppulaskutuksen edellytyksenä on loppuraportointi, joka koostuu tälle pohjalle laaditusta Tiivistelmäraportista sekä erillisestä vapaamuotoisesta Kustannus selvityksestä. (Tiivistelmäraportti korvaa aiemmin vaaditut Loppuraportin ja Tiivistelmän).

Tiivistelmäraportti keskittyy hankkeen tieteellisiin aikaansaannoksiin tiedon käytettävyyttä ja sovellettavuutta korostaen. Tutkimustulosten osalta MATINE kannustaa avoimeen tieteelliseen kansainväliseen tai kansalliseen julkaisutapaan ja/tai muuhun aktiiviseen omatoimiseen julkaisemiseen (esim. tutkimuslaitoksen omissa sarjoissa); näissä julkaisuissa tulee MATINE mainita rahoittajana.

Tiivistelmäraportin tulee olla itsenäinen esitys MATINEn rahoittaman tutkimushankkeen tavoitteista, sisällöstä, toteutuksesta ja tuloksista. **Tiivistelmäraportti on pituudeltaan 6-10 sivua ja se julkaistaan sellaisenaan MATINEn verkkosivuilla.** Tiivistelmäraportti kirjoitetaan Word-tiedostoon joko suomeksi tai englanniksi. Poikkeustapauksissa jolloin hankkeessa käsitellään tai hankkeessa on syntynyt maanpuolustuksellisista syistä salassa pidettävää tietoa, tulee tiivistelmäraportin laadinnassa rajoittua julkiselle tasolle.

Kirjoita teksti harmaalle alueelle pohjaan tehdyn jaottelun mukaisesti otsakkeen alle (poista otsikosta tarpeeton engl. / suomenkielinen vaihtoehto). Fontti Verdana 10. Omia väliotsakkeita saa käyttää jäsentelyn tueksi. Käytä otsakkeissa ja tekstissä pohjan tyylejä. Kohtaan Tiivistelmä/Abstract on tarkoitus tehdä koko tutkimusta lyhyesti kuvaava teksti, jonka lukemalla saa käsityksen tutkimuksen sisällöstä.

Tutkimuksen johtaja voi halutessaan pyytää asiantuntijalausunnon hanketta seuranneelta jaostolta tai hallinnonalan edustajalta hankkeen tulosten sovellettavuudesta ja relevanssista toimialalla.

MATINEn sihteeristö pyytää MPKK:n kirjastosta julkaisulle sähköisen ISBN tunnuksen (PDF), jolloin tiivistelmäraporttiin voidaan viitata julkaisuna. Verkkojulkaisun ISSN numero on 1797-3457.