MILJØMINISTERIET

Miljøstyrelsen

Glaskeramisk bundmaling til lystbåde

Jesper C. Højenvang
Dansk Sejlunion

Claus Bischoff
Teknologisk Institut

Miljøprojekt **Nr. 1239** 2008

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD 5

1 SAMMENDRAG 7

1.1 GLASKERAMISK BUNDMALING IKKE TILSTRÆKKELIGT BEGRONINGSHÆMMENDE. 7
1.2 BAGGRUND OG FORMÅL 7
1.3 UNDERSØGELSEN 8
1.4 HOVEDKONKLUSIONER 8
1.4.1 Generel anvendelighed som bundmaling: 8
1.4.2 Specifikke bundmalingsegenskaber: 8
1.5 PROJEKTRESULTATER: 8

2 SUMMARY AND CONCLUSIONS 11

3 SOL-GEL TEKNOLOGI 13

3.1 INTRODUKTION 13
3.2 AMORFT GLAS – SOL-GEL TEKNOLOGIENS FUNDAMENT 13
3.2.1 Kvarts 13
3.2.2 Amorft glas 14
3.2.3 Hybride Sol-Gel belægninger - smidige 14
3.2.4 Sol-Gel nanokompositter - hårde 15
3.3 ADDITIVERING 16

4 BEGRONINGSHÆMMENDE SOL-GEL 18

4.1 INC-46 19
4.1.1 INC-46, Basale egenskaber 19
4.1.2 INC-46, indlejring af begroningshæmmende nanopartikler 20
4.2 INC-47 22
4.2.1 INC-47 hæmmer bakteriebegroningen 22
4.2.2 INC-47's basale egenskaber 22
4.2.3 Test af INC-47's bevoksningshæmmende egenskaber 23

5 AFPRØVNING PÅ LYSTBÅDE 24

5.1 BESKRIVELSE AF INC-46 KIT 24
5.2 BESKRIVELSE AF TESTEDE BÅDE 27
5.2.1 Påføring 27
5.2.2 Vurdering af antibegroningsegenskaber 27
5.2.3 Afvaskning 28
5.3 HAVNETEST (PLADETEST) (AF INC-47) 28

6 RESULTATER 30

6.1 PÅFØRING OG HÆRDNING 30
6.2 STABILITET 30
6.2.1 Vedhæftning: 30
6.2.2 Hydrolysestabilitet: 31
6.2.3 UV stabilitet: 31
6.3 BEGRONINGSHÆMNING 31
6.3.1 Pladetest og "slip-let" egenskaber 34

7 KONKLUSION 36

8 PERSPEKTIVERING 37

9 REFERENCER 38

Bilag 1: Forsøgsinformation
Bilag 2: Påføringsvejledning
Bilag 3: Tegning

Forord

Handlingsplanen om bundmaling til lystbåde fra 2006 omfatter blandt andet udvikling af alternativer til de traditionelle begroningshæmmende malinger til skibe med særligt fokus på bionedbrydelighed og akkumuleringspotentiale.

Miljøstyrelsen har under Virksomhedsordningen støttet adskillige projekter med det formål at udvikle alternativer til de traditionelle bundmalinger. Senest med indkaldelse af projekter til udvikling af miljøeffektiv teknologi i regi af Miljøministeriets "Virksomhedsordningen 2006".

Under dette program er projektet "Glaskeramisk bundmaling til lystbåde" igangsat i januar 2007 med afslutning foråret 2008.

Der blev nedsat en styregruppe bestående af:

Lise Samsøe-Petersen	Miljøstyrelsen
Jesper C. Højenvang	Dansk Sejlunion
Claus Bischoff	Teknologisk Institut

I projektets testfase deltog:
Horsens Sejlklub
Jyllinge Sejlklub
Testbåd i Helsingør v/ Lars O. Hansen
Testbåd i Nivå v/ Henry Angelo
Testbåd i Nykøbing Mors v/ Ole Jensen

Der skal derfor lyde en stor tak til testfasens deltagere for at stille både og mandskab til rådighed, samt til Miljøstyrelsen for finansiering af projektet.

Århus d. 18/2-2008, Claus Bischoff

1 Sammendrag

1.1 Glaskeramisk bundmaling ikke tilstrækkeligt begroningshæmmende.

I sejlsæsonen 2007 er en glaskeramisk lak blevet udviklet og feltafprøvet med henblik på anvendelse som begroningshæmmende bundmaling. Den anvendte lak er en videreudvikling af en tidligere afprøvet lak, med lovende begroningshæmmende og rengøringslettende egenskaber, der dog ikke var holdbar gennem en hel sejlsæson. Feltafprøvningen viser, at den nye lak er holdbar og stabil gennem hele sæsonen, men desværre uden effektiv begroningshæmmende aktivitet.

1.2 Baggrund og formål

Formålet med arbejdet, der præsenteres i nærværende rapport, er at udvikle og teste forskellige Sol-Gel baserede overfladebehandlinger som begroningshæmmende bundmaling til lystfartøjer.
Som udgangspunkt har arbejdet været baseret på data og resultater opnået i et tidligere projekt (1), der bl.a. resulterede i nogle lovende data m.h.t. slip-let egenskaber overfor bevoksning.
I dette projekt er der blevet anvendt to typer overfladebehandling, INC-46 og INC-47, der teknologisk og funktionelt bygger på erfaringerne fra det ovennævnte projekt.
INC-46 er formuleret med det formål at opnå en hydrolyse og UV-stabil matrice med gode slip-let egenskaber. Der er i INC-46 indlejret kobber og sølv nanopartikler for at opnå en biostatisk effekt. I en række tidligere forsøg med biofouling har denne funktionalisering præsteret en tydelig biofilmhæmmende effekt. INC-46 har gennemgået komplet feltafprøvning
INC-47 er en hydrolyse- og UV-stabil matrice med gode biofouling-hæmmende egenskaber. INC-47 blev bragt til anvendelse, da det blev åbenlyst, at INC-46 ikke virkede begroningshæmmende, hvorfor INC-47 kun har gennemgået pladetest.
Begge belægningssystemer er desuden formuleret, så de tillader påføring med såvel pensel/rulle som spray. Ligeledes afhærder begge belægningssystemer ved temperaturer, der vil være gældende under relevante forhold.

Formålet med nærværende undersøgelse har dermed været at teste glaskeramiske belægningssystemer for:

- Generel anvendelighed som bundmaling.
  - Påføringsegenskaber
  - Hærdningsegenskaber
  - Vedhæftning
  - Hydrolysestabilitet
  - UV-stabilitet
- Specifikke bundmalings egenskaber:
  - Slip-let effekt
  - Begroningshæmmende effekt

1.3 Undersøgelsen

Udviklingen og feltafprøvningen er foregået i 2007. Thomas Zwieg, Jeanette Bennedsen og Claus Bischoff fra Teknologisk Institut har forestået lak udviklingen. Jesper C. Højenvang fra Dansk Sejlunion var ansvarlig for feltafprøvningen. Horsens Sejlklub og Jyllinge Sejlklub har stillet en række både til rådighed for feltafprøvningen. Derudover deltog tre private både, placeret i Helsingør, Nivå og Nykøbing Mors.

1.4 Hovedkonklusioner

Gennem udviklingen og testen er der blevet indhentet en række værdifulde informationer omkring anvendelsen af de udvalgte belægningssystemer som begroningshæmmende bundmaling. Disse informationer vil kunne komme til at ligge til grund for videre udviklinger med sigte på begroningshæmmende overfladeteknologier generelt (såvel overfor marin begroning, som med det formål at udvikle fx algeafvisende, bakterieafvisende eller svampeafvisende overflader).
Med hensyn til de ovenfor oplistede formål, kan det konkluderes:

1.4.1 Generel anvendelighed som bundmaling:

De anvendte belægningssystemer udviser gode basale egenskaber m.h.t. påføring, hærdning, vedhæftning, hydrolysestabilitet og UV-stabilitet. Påføringsegenskaber blev bedømt af de personer, der forestod påføringsarbejdet, og generelt har tilbagemeldingerne været positive, dog med et ønske om en mere tyktflydende konsistens. Ved de efterfølgende inspektioner, har det kunnet konkluderes at såvel vedhæftning som hydrolysestabilitet og UV-stabilitet har været fuldt ud tilfredsstillende. Kun på en båd blev der i enkelte mindre områder observeret mindre god substratvedhæftning. Dette kunne tilbageføres til, at båden sæsonen forinden var blevet anvendt til test af en silikonebaseret bundmaling, der ikke var blevet grundigt nok afrenset.

1.4.2 Specifikke bundmalingsegenskaber:

Det kan konkluderes, at de testede belægningssystemer ikke har levet op til forhåbningerne m.h.t. afvisning af begroning. Således er der blevet konstateret bevoksning af varierende art på de testede skrogområder. Almindelig sejlads har ikke slidt bevoksningen af, hvorfor opbygningen gennem sæsonen blev substantiel. Test for slip-let effekt af bevoksningen på de behandlede områder viser også kun en let forbedring i forhold til ubehandlede områder.

1.5 Projektresultater:

Den i dette projekt udviklede bundmaling blev kaldt INC-46. Til forskel fra den tidligere anvendte belægningsteknologi (1) adskiller INC-46 sig ved en polyurethan funktionalitet, der sikrer intern hydrolysestabil krydsbinding. Slip-let egenskaben der er patenteret teknologi i INC-33 er blevet overført til INC-46, så denne udviser samme gode anti-graffiti egenskaber.

INC-46 egenskaber:

- To komponent system, der blandes umiddelbart før påføring
- Hydrolysestabil polyurethan modificeret matrix
- Transparent
- Høj glans
- Fleksibel
- God substrat vædning
- God filmdannelse
- God substrat adhæsion
- Acceptabel bearbejdningstid

Laboratoriepåføring og tests af INC-46 har demonstreret:

- Hydrolysestabilitet: INC-46 udviser rigtig gode hydrolysestabile egenskaber. Således er INC-46 langt overlegen INC-33 i længerevarende tests, der under hydrolytiske betingelser tester isafvisende egenskaber.
- Fleksibilitet: INC-46 tolerer ekstrem substratdeformation ved påføring på aluminium. Således opstår der ikke revnedannelse eller adhæsions-slip under 180º fleks (bøjning) og tilbagefleks af aluminiumsemne (r = 2 cm).
- Substratadhæsion: Ved cross-cut test (gittersnit) af INC-46 på nedenstående substrater, blev adhæsion vurderet med højeste karakter:
  - Aluminium: ISO Class.: 0
  - Rustfrit stål: ISO Class.: 0
  - Glasfiber (Dansk sejlunion) med grunder: ISO Class.: 0
  - Kompositmateriale: ISO Class.: 0

For at tildele INC-46 en begroningshæmmende funktionalitet indlejres den med to begroningshæmmende nanopartikel-systemer, bestående af henholdsvis nano sølvpartikler og nano kobberpartikler.
I udviklingen af det nanopartikel indlejrede INC-46 belægningssystem fokuseres på kovalent binding af partiklerne til matricen, således at risikoen for migration af partikler til vandmiljøet minimeres.. Sammenholdt med belægningssystemets gode adhæsionsegenskaber, sikres hermed minimal belastning af vandmiljøet grundet minimeret migration af partikler samt maksimering af belægningens begroningshæmmende funktion.

Laboratorieanalyser af INC-46 prøver med Ag/Cu nanopartikler over en koncentrationsrække blev foretaget for at maksimere indholdet af nanopartikler, men samtidig bevare basale belægningsegenskaber. Specielt fokus var der på overfladebeskaffenhed, da forhøjet koncentration af aggregerede nanopartikler fører til udtalt forøgelse af overfladeruhed. Overfladeruheden af en række belægninger med varierende indhold af nanopartikler blev kvantificeret ved Atomic Force Microscopy (AFM).

I sejlsæsonen 2007 blev INC-46 testet på en række sejlbåde og motorbåde. Igennem sæsonen blev bådene overvåget, og udvalgte både blev bragt på land for inspektion. Ved sæsonafslutning blev alle både bragt på land og inspiceret.

Inspektioner og laboratorietest viser overensstemmende, at den udviklede bundmaling besidder gode basale lakegenskaber og i den retning er en forbedring i forhold til tidligere. Desværre må det også konkluderes, at lakken ikke besidder et tilstrækkeligt niveau af begroningshæmmende egenskaber, hvorfor det må konstateres, at der foreligger endnu et betydeligt

udviklingsarbejde for at opnå en anvendelig bundmaling ved hjælp af en Sol-Gel teknologisk løsning.

Parallelt med undersøgelsen af det glaskeramiske laksystem fra Teknologisk Institut, er tre bundmalinger blevet testet:

- Coatzyme fra Biolocus (kommercielt tilgængeligt)
- Nanocover marin forsegling fra Nanocover (kommercielt tilgængeligt)
- Ecomarine (ikke kommercielt tilgængeligt)

Ingen af de afprøvede bundmalinger kunne præstere samme begroningshæmmende egenskaber som reference bundmalingen.

2 Summary and conclusions

The purpose of the work presented in this report has been to test different Sol-Gel based surface treatments for the application as biofouling inhibiting ship hull paints for smaller vessels (sailboats and power boats). The development and tests were performed in 2007, with the development going on from January to April after which the Sol-Gel coatings were applied on a number of selected pleasure boats. Throughout the sailing season of 2007, the test boats were monitored, both while in daily use and during inspections on land.
The test was based on data and results from a previous project (1), which generated promising data on the use of easy-release Sol-Gel coatings as ship hull paints.
In the present project, two types of coatings were tested, INC-46 and INC-47. Both are technologically and functionally based on the experiences gained from the previously mentioned project. INC-46 was formulated with the purpose of obtaining a hydrolysis and UV stable matrix with excellent easy-release properties. INC-47 was formulated with the purpose of obtaining a hydrolysis and UV stable matrix with excellent biofouling inhibiting properties. Both coating systems have been formulated to facilitate application with both brush/roll and spray. Likewise, both systems cure at temperatures that would be expected under relevant circumstances
Furthermore INC-46 has been embedded with copper and silver nanoparticles to attain a biostatic effect. In a series of experiments with biofouling, this functionalization has resulted in significant biofilm inhibiting effect.

The purpose of the present investigation has been:

To test two selected coating systems for:

- General applicability as ship hull paint
  - Application properties
  - Curing properties
  - Adhesion
  - Hydrolysis stability
  - UV stability
- Specific ship hull paint properties:
  - Easy-release properties
  - Antifouling properties

Conclusions
Through the development and tests, a number of valuable data have been obtained on the selected coating systems and their properties as antifouling ship hull paints. These data will serve as the foundation for further developments aimed at formulating antifouling coatings (both with regard to maritime fouling and with regard to anti algae, anti bacteria or anti fungal coatings).
With regard to the *general applicability* as ship hull paint, it can be concluded that the applied coating systems exhibit excellent basic properties with regard to application, curing, adhesion, hydrolysis stability and UV stability.

The application properties were judged by the personnel responsible for the application, and as a whole the feedback was very positive, though there were expressed wishes for a higher viscosity. During the subsequent inspections, it was possible to conclude that adhesion, hydrolysis stability and UV stability were excellent. Only on minor spots on one boat, less than optimal substrate adhesion was observed. This observation could be explained by inferior preparation of the hull prior to coating, as the boat had previously been used for testing a silicone based ship hull paint.

With regard to the *specific ship hull paint properties*, it can be concluded that the tested coating systems have not lived up to the expectations in regard to prevention of maritime fouling. It has thus been possible to observe fouling, in varying degrees, on the tested areas of the ship hulls. Ordinary sailing has not been sufficient to wear down the fouling, explaining why the fouling during the season reached a substantial amount. Tests for easy-release properties of the coated areas only shows a moderate improvement compared to untreated areas.

In parallel with the testing of the glass ceramic coating systems from Danish Technological Institute, three ship hull paints were tested:

- Coatzyme from Biolocus (commercially available)
- Nanocover marine sealing from Nanocover (commercially available)
- Ecomarine (not commercially available)

None of the tested ship hull paints possessed maritime fouling inhibiting properties that could match that of the reference ship hull coating system.

3 Sol-Gel teknologi

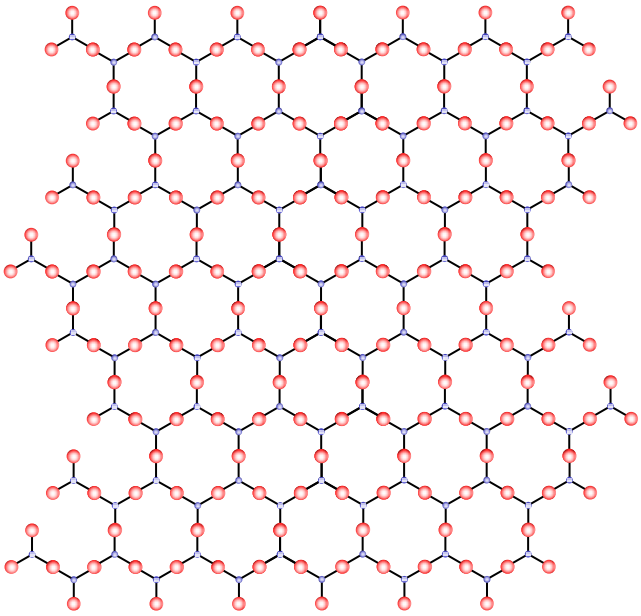
3.1 Introduktion

Begrebet Sol-Gel teknologi dækker over en metode til fremstilling af glaskeramiske overflader baseret på flydende precursorer, der hærder ved en relativt lav temperatur. 'Sol' er en forkortelse for det engelske ord solution, opløsning, og 'Gel' for gelling, gelering (2). Princippet bag sol-gel teknologiske lakker er, at en opløsning af primært alkoxy-silaner geleres ud på en overflade og hærdes op til en glaskeramisk overflade. Denne teknologi tillader dermed at der kan laves glaskeramiske belægninger på overflader, der ellers ikke vil kunne modstå de temperaturforhold der gør sig gældende under traditionelle metoder til glaskeramiske bearbejdninger.

3.2 Amorft glas – Sol-Gel teknologiens fundament

3.2.1 Kvarts

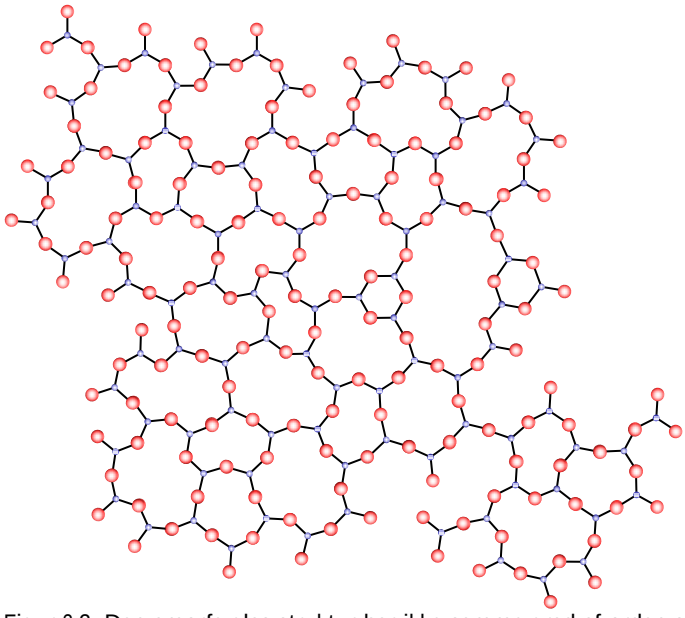
Kvarts eller krystalglas er, på molekylært niveau, karakteriseret ved en overordentlig høj grad af orden. Silicium og Ilt atomerne danner en perfekt tetrahedral krystalgitter struktur. I praksis er denne struktur mere kompliceret en illustreret i figur 3.1, men principskitsen demonstrerer to, i denne sammenhæng, vigtige parametre: Den perfekte krystalstruktur og det totale fravær af organiske komponenter.



Figur 3.1: Silicium- (små, blå) og ilt-atomerne (store, røde) er perfekt ordnede i krystalgitteret. For den to-dimensionelle illustrationen skyld er silicium atomerne koordineret af tre, og ikke fire, ilt-atomer.

3.2.2 Amorft glas

Amorft glas, som kendes fra fx vinduesglas, er ligeledes et arrangement af bl.a. silicium og ilt atomer (siliciumdioxid udgør ca. 70-72 vægt procent – resterende del udgøres typisk mestendels af natrium og calcium-oxider eller karbonater). Igen er silicium atomet koordineret af fire ilt-atomer, men i den amorfe struktur hersker ikke samme orden som er åbenlys i kvarts. I figur 3.2 illustreres den amorfe struktur af et en-komponent glas (SiO_2).
Fælles for krystalglasset og det amorfe glas, er at de traditionelt begge fremstilles ud fra solide råvarer, der opvarmes til over 1300 °C. Ved opvarmning til over 1800 °C kan kvarts og amorft glas transformeres fra den ene tilstand til den anden.



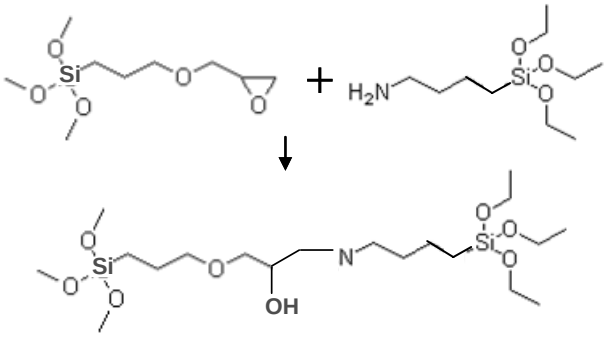
Figur 3.2: Den amorfe glas-struktur har ikke samme grad af orden som karakteriserer det perfekte kvartskrystal (silicium-atomer små/blå, ilt-atomer store/røde).

Sol-Gel teknologien er en metode til ved lav temperatur og ud fra flydende råvarer at lave en belægning der er opbygget som amorft glas. Derudover åbner Sol-Gel teknologien for fremstillingen af hybrider: amorfe glas strukturer funktionaliseret med organiske sidekæder (2,3).

3.2.3 Hybride Sol-Gel belægninger - smidige

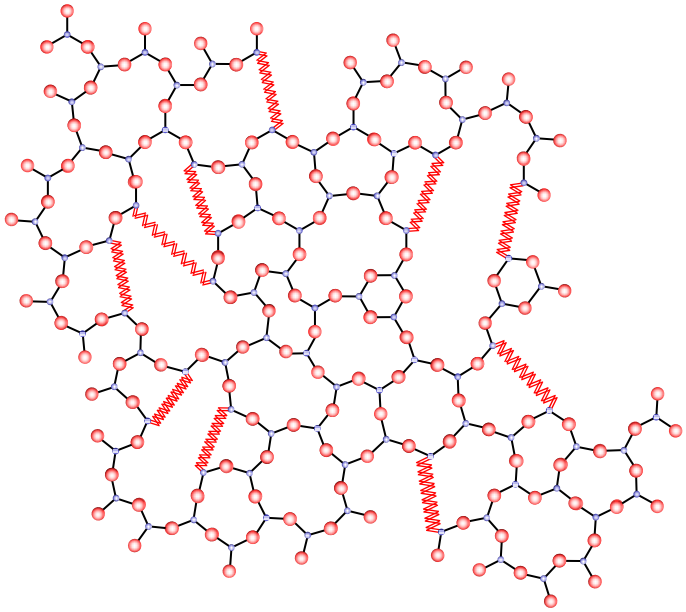
Syntesen af Sol-Gel belægninger er baseret på alkoxy-silaner; silicium atomer koordineret af alkoholgrupper der let hydrolyseres. Komplet hydrolyse af alle siliciumatomets fire sidekæder muliggør syntese af fuldstændigt uorganiske Sol-Gel belægninger, som illustreret i figur 3.2. Modificeres de grundlæggende alkoxy-silaner, så de indeholder en ikke hydrolyserbar sidekæde vil den endelige glaskeramiske belægning tildeles en organisk komponent. Med muligheden for, baseret på Sol-Gel teknologi, at syntetisere organiske/uorganiske glaskeramiske hybrider, er der åbnet for udviklingen af lakker der kan tildeles helt nye egenskaber(4). En traditionel glaskeramisk belægning er karakteriseret ved hårdhed og ringe fleksibilitet. En organisk/uorganisk Sol-Gel hybrid kan modificeres med lange, fleksible kemiske forbindelser som en integreret del af matricen (5,6). En sådan Sol-Gel vil i praksis være langt mere fleksibel end den traditionelle glaskeramiske overflade, og vil således kunne modstå langt voldsommere deformationer af det underliggende substrat. Til gengæld vil belægningen, såfremt der ikke foretages initiativer til at forhindre dette, typiske være mindre hård og dermed

mere modtagelig for ridser. Figur 3.3 viser en reaktion mellem to organiske sidekæder der leder til dannelsen af en stærk, fleksibel forbindelse de to silicium-atomer imellem.



Figur 3.3: Illustration af krydsbinding mellem 3-glycidoxypropyltrimethoxysilan (en epoxyfunktionel silan, traditionelt kaldet Glymo) og 3-aminopropyltriethoxysilan (en aminofunktionel silan, traditionelt kaldet Ameo).

Et andet karakteristisk træk der kan opnås ved hybrid-teknologien er en stærkt forbedre substrat adhæsion, da det netop er muligt at sætte sidekæder på silanerne, der vil krydsbinde sig stærkt til det specifikke substrat.
Figur 3.4 viser et eksempel på en Sol-Gel hybrid, hvor den amorfe struktur samt tilstedeværelsen af de organiske sidekæder er tydelig. Resultatet er en yderst fleksibel glaskeramisk belægning, der dog typisk ikke besidder stor hårdhed, og derfor er sårbar overfor slitage.

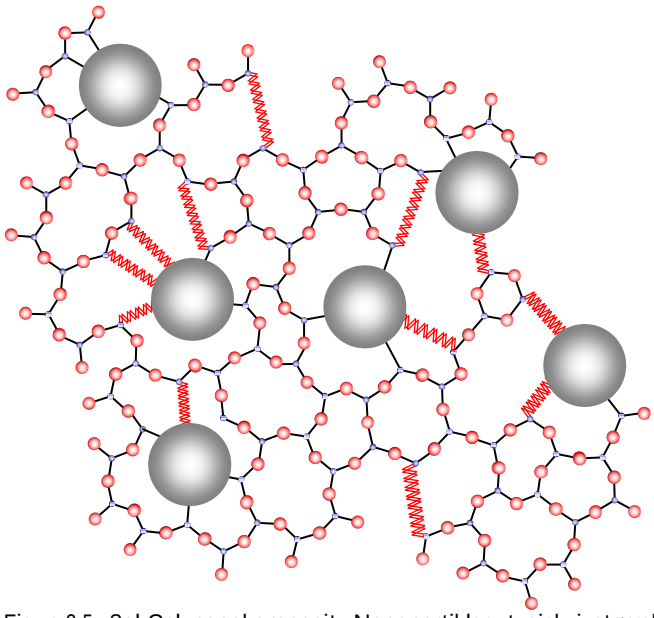


Figur 3.4: Organisk/uorganisk Sol-Gel hybrid. En del af tetraalkoxysilanerne, udgangspunktet for syntesen af den klassiske amorfe glaskeramiske belægning baseret på Sol-Gel teknologi, er substitueret med funktionelle alkyltrialkoxysilaner, der muliggør en fleksibel krydsbinding siliciumatomerne imellem. Silicium-atomer små/blå, ilt-atomer store/røde, rød zig-zag linie angiver en fleksibel organisk sidekæde.

3.2.4 Sol-Gel nanokompositter - hårde

Yderligere egenskaber kan indlejres i Sol-Gel baserede belægningssystemer ved krydsbinding af specialiserede nanopartikler. Afhængigt af nanopartiklernes beskaffenhed, kan Sol-Gel nanokompositter opnå hårdhed og ridsefasthed, der er sammenlignelig med glas samtidig med at fleksibiliteten bevares, korrosionsbeskyttende egenskaber, uv-absorberende egenskaber, fotokatalytiske egenskaber, m.m. I formuleringen af Sol-Gel belægningen tages der hensyn til nanopartiklernes overfladebeskaffenhed, således disse

bliver krydsbundet ind i belægningerne og ikke migrerer bort. Afhængigt af partiklernes egenskaber (materiale, overflademodifikationer, m.m.) opnås specialiserede funktioner. Figur 3.5 illustrerer princippet bag en amorf organisk/inorganisk hybrid sol-gel belægning med indlejrede nanopartikler.



Figur 3.5: Sol-Gel nanokomposit. Nanopartikler, typisk i størrelsesordnen 10 – 100 nm bindes kovalent ind i Sol-Gel matricen. Silicium-atomer små/blå, ilt-atomer store/røde, rød zig-zag linie angiver en fleksible organisk sidekæde, nanopartikler størst/grå.

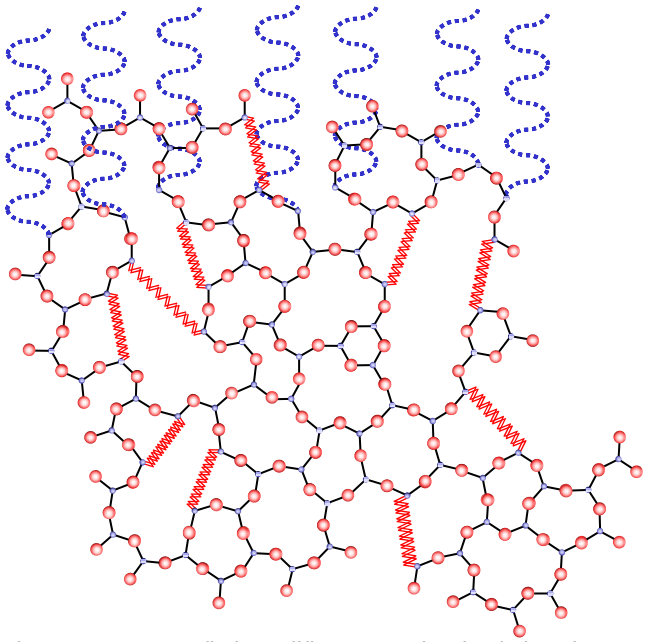
3.3 Additivering

Additivering benyttes for at tildele Sol-Gel belægningerne funktioner der ikke umiddelbart kan opnås gennem modifikation af matricen. I udviklingen af funktionelle belægninger er det et tilbagevendende problem at den teoretisk set optimale sammensætning, for at opnå en given overflade funktion, ikke nødvendigvis har optimale konventionelle lak-egenskaber. Ved konventionelle lak egenskaber forstås her fx:

- Substratvædning: specielt med slip-let belægninger, der er karakteriseret ved en meget lav overfladeenergi, kan der observeres ringe substratvædning. I stedet for at danne en tynd, sammenhængende film henover substratet, perler lakken i stedet sammen i dråber.
- Skumdannelse: under blanding eller påføring introduceres der ofte luftbobler i lakken. Den korrekt formulerede lak eliminerer hurtigt boblerne, men i en problematisk lak akkumulerer boblerne og giver anledning til skumdannelse.
- Overflade finish: lakker plages af en række overfladedefekter, der devaluerer såvel den funtionelle som den æstetiske værdi. Overfladedefekterne karakteriseres med en række fagtermer, hvoraf pinholes, benard celler og appelsinhud kan nævnes.

For at sikre en given Sol-Gel lak mod ovennævnte problemer, er det muligt at anvende en række kommercielle lak additiver. Et vist afprøvnings-/udviklingsarbejde er dog påkrævet for at identificere additiver med de bedste egenskaber og bedst kompatibilitet med den specifikke lak sammensætning. Sol-Gel lakkerne har vist sig at være udmærket kompatible med en række kommercielle lak additiver, således egenskaber der ikke nativt ligger i lak formuleringen kan tildeles ved additivering. Disse additiver er altså karakteriseret ved at de primært udspiller deres funktion under

påføringsprocessen og kun til en mindre grad tjener til at opnår en overflade funktionalitet.
Ligeledes kan der tildeles specifikke overfladeegenskaber vha. tilsætning af en række additiver, der ikke direkte er en del af Sol-Gel matricen, men dog stadig binder sig til denne på en måde således at der fx opnås ændret overfladeenergi eller slip-let egenskaber mod specifikke stoffer. Denne type additiver er altså primært rettet mod at opnå subtile overfladefunktioner, der enten ikke kan opnås direkte ved modificering af matricen, eller som ved modificering af matricen medfører uhensigtsmæssige bivirkninger. Princippet bag overflademodificering af en hybrid Sol-Gel belægning er illustreret i figur 3.6.



Figur 3.6: Overflademodificeret Sol-Gel belægning. Blå bølgestreger symboliserer overflademigrerende additiver, der fx mindsker overfladeenergien betydeligt. Silicium-atomer små/blå, ilt-atomer store/røde, rød zig-zag linie angiver en fleksible organisk sidekæde, stiplet blå bølgelinie angiver et overfladelokaliseret additiv.

4 Begroningshæmmende Sol-Gel

Udgangspunktet for udviklingen af en begroningsafvisende bundmaling baseret på Sol-Gel teknologi er et additiveret hybrid Sol-Gel system. Resultatet af et i 2004 gennemført forprojekt viste at sol-gel belægninger i sig selv har begroningshæmmende egenskaber. Men for yderligere minimering af begroning, viser indtil nu opnåede erfaringer at det er nødvendigt at tilsætte et antibegroningsmiddel, som ikke forventes at påvirke vandmiljøet i negativ retning. Da den silan-teknologiske udvikling tillader formulering af sol-gel belægninger med et stort tal af kemiske funktioner, er det essentielt at udvikle en optimal sol-gel belægning der i sig selv giver anledning til minimeret begroning. I 2005 har sol-gel gruppen med succes afprøvet flere sol-gel systemer med inkluderede sølv nanopartikler. Fra litteraturen er det kendt, at sølv udviser en antibakteriel effekt som skyldes frie sølv ioner i det elektrokemiske dobbelte lag (Stern-layer) på metaloverfladen og deres vekselvirkning med mikroorganismerne (7). Sølv nanopartikler indlejret i overfladebelægninger virker stærkt antibakterielt, hvilket bl.a. udnyttes af køleskabsindustrien som er begyndt at beklæde indersiden af køleskabe med sølv nanopartikler. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) har således udstukket retningsliner for brug af sølv i kontakt med fødevarer (8). Ligeledes har U.S. Food and Drug Administration (FDA) godkendt sølvpartikler til brug i forbindelse med fødevarer.
Et tidligere projekt målrettet mod udvikling af begroningshæmmende bundmaling baseret på Sol-Gel teknologi (1) har vist, at der hurtigt opstår begroning på alle overflader undtagen en Sol-Gel baseret overflade med inkluderede sølv nanopartikler. Denne overflade begyndte først i august at udvise dannelsen af en tynd, transparent slimfilm efterfulgt af overflade begroning med grønne alger i lighed med de andre testede overflader.
Det additiverede hybrid Sol-Gel belægningssystem der blev anvendt var afledt af en etableret teknologi, hvorpå Teknologisk Institut besidder et patent, til opnåelse af graffitiafvisende overflader (arbejdsnavnet for belægningen er INC-33). Efterfølgende vurdering af det gennemførte forprojekt, har ledt til konklusionen at det anvendte belægningssystem ikke besad den fornødne hydrolysestabilitet, hvorfor det for hurtigt degraderede og effekten ophørte.

I 2006 har forskning på området fokuseret på at udvikle en teknik til kovalent binding af sølv nanopartiklerne til sol-gel'en. Kovalent binding sikrer at nanopartiklerne bliver i belægningen og ikke migrere ud i vandmiljøet. Herved opnås to vigtige mål: for det første sker der ingen forurening af miljøet med nanopartikler og metaller, for det andet forventes det, grundet den permanente indlejring, at den antibakterielle effekt bibeholdes over lang tid. Den kovalente binding af sølv nanopartiklerne er baseret på at thiolgruppen på en mercapto-silan reagerer med overfladen på sølvpartiklerne, hvorved silanerne kovalent bindes til sølvpartiklerne. Efterfølgende kombineres reagenserne til den glaskeramiske bindemiddelmatrix i sol-gel'en, inkl. de silanerede sølvpartikler. Da silanerne på sølvpartiklerne herved bliver en integreret del af sol-gel netværket, er deres indlejring i belægningen permanent.

4.1 INC-46

Som alternativ til det hydrolyse ustabile belægningssystem INC-33 blev der i regi af indeværende projekt udviklet et Cu/Ag nanopartikel funktionaliseret belægningssystem med arbejdsnavnet INC-46.

4.1.1 INC-46, Basale egenskaber

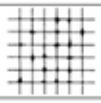
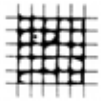
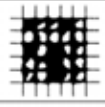
Til forskel fra den tidligere anvendte belægningsteknologi adskiller INC-46 sig ved en polyurethan funktionalitet, der sikrer intern hydrolysestabil krydsbinding. Slip-let egenskaben der er patenteret teknologi i INC-33 er blevet overført til INC-46, så denne udviser samme gode anti-graffiti egenskaber.
INC-46 egenskaber:

- To komponent system, der blandes umiddelbart før påføring
- Hydrolysestabil polyurethan modificeret matrix
- Transparent
- Høj glans
- Fleksibel
- God substrat vædning
- God filmdannelse
- God substrat adhæsion
- Acceptabel bearbejdningstid

Laboratoriepåføring og tests af INC-46 har demonstreret:

- Hydrolysestabilitet: INC-46 udviser rigtig gode hydrolysestabile egenskaber. Således er INC-46 langt overlegen INC-33 i længerevarende tests der under hydrolytiske betingelser tester isafvisende egenskaber.
- Fleksibilitet: INC-46 tolerer ekstrem substrat deformation ved påføring på aluminium. Således opstår der ikke revnedannelse eller adhæsions-slip under 180 º fleks (bøjning) og tilbagefleks af aluminiumsemne (r = 2 cm).
- Substratadhæsion: Ved cross-cut test (gittersnit) af INC-46 på nedenstående substrater, blev adhæsion vurderet:
  - Aluminium: ISO Class.: 0
  - Rustfrit stål: ISO Class.: 0
  - Glasfiber (Dansk sejlunion) med grunder: ISO Class.: 0
  - Kompositmateriale: ISO Class.: 0

  ISO klassificering i henhold til ISO 2409:1992. Gittersnits klassificeringen er beskrevet i figur 4.1. Kort beskrevet går testen ud på at klassificere vedhæftningen af en lak til en overflade ud fra fremtoningen af et gittersnitsmønster. Vha. et specialværktøj laves der et nøje defineret gittersnit helt i gennem en lakeret overflade. Der påsættes et stykke tape (Tesa 4287) som afrives og efterfølgende undersøges såvel gittersnittet som tape. Ved perfekt substrat vedhæftning fremstår gittersnittet intakt og der er ingen belægningsrester på tapen. Ved meget dårlig substrat vedhæftning vil store dele af belægningen være fjernet og tapen vil bære store belægningsfragmenter.

Klassifikation:	Beskrivelse:	Visuel effekt:
0	Alle kanter / hjørner er intakte. Ingen belægningsrester på tapen.	---
1	Mindre dele af belægningen sidder på tapen. Resterne på tapen svarer til maksimalt 5% af det samlede gittersnitområde.	
2	Belægningen er flere steder beskadiget ved kanter / hjørner. Resterne på tapen svarer til mellem 5% og 15% af det samlede gittersnitområde.	
3	Belægningen er flere steder kraftigt beskadiget. Resterne på tapen svarer til mellem 15% og 35% af det samlede gittersnitområde.	
4	Store dele af belægningen er fjernet ved testen, og hele felter mangler i gittersnittet. Resterne på tapen svarer til mellem 35% og 65% af det samlede gittersnitområde.	
5	Kraftig beskadigelse af belægningen. Dette svarer til, at over 65% af gittersnittet er beskadiget.	---

Figur 4.1: ISO 2409:1992 standard for gittersnittest. På alle de testede substrater leverer INC-46 et perfekt resultat.

Desuden udviser INC-46 kompatibilitet med såvel vædnings som slip-let additiver, hvorfor den i praksis opfører sig meget lig INC-33, dog med den primære forskel at den ikke er hydrolytisk instabil.

Mht. basale påføringsprocedure relaterede egenskaber adskiller INC-46 sig ikke tydeligt fra INC-33. Begge systemer kan således påføres ved spray, spin coating (belægning vha. apparatur der benytter centrifugalkraften til homogen distribuering af lakken), wire-rod (værktøj bestående af en metalstang (rod) hvorom der er vundet en metaltråd (wire) af nøje defineret tykkelse), rulle og pensel. INC-46 er dog i praksis en anelse sværere at have med at gøre idet den polyurethan baserede krydsbinding er accelereret i forhold til krydsbindingen i INC-33. Således har INC-46 et mindre pot-life (udtryk der dækker den tid malingen kan bearbejdes efter de to komponenter er blevet kombineret; kan i mangel af bedre oversættes til bearbejdningstid). Afhængigt af temperatur og luftfugtighed kan bearbejdningstiden for INC-46 ligge mellem 30 min og to timer, hvorfor der ikke bør blandes større mængder, end der kan påføres inden for dette tidsinterval.

4.1.2 INC-46, indlejring af begroningshæmmende nanopartikler

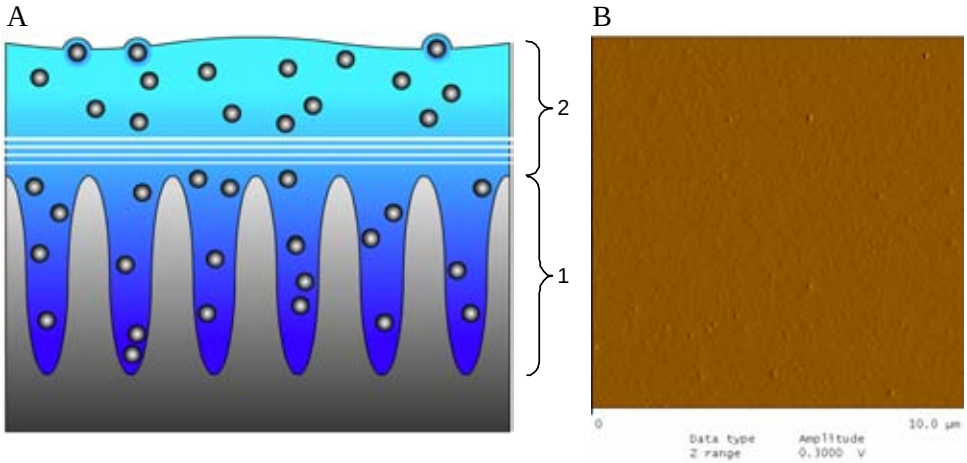
For at tildele INC-46 samme begroningshæmmende funktionalitet, som INC-33 udviste i forprojektet, indlejres INC-46 med to begroningshæmmende nanopartikel systemer.
Initielle eksperimenter er fokuseret på en kovalent binding mellem partiklerne og en Sol-Gel komponent, der vha. en reaktiv alkylalkoxysilan krydsbinder nanopartiklerne til matricen. I in-vitro assays kan alkylalkoxysilan reaktionen med nanopartiklerne monitoreres spektrofotometrisk. Efterfølgende indlejres de silan modificerede Ag-/ Cu-nanopartikler i INC-46 hvorved nanopartiklerne sikres kovalent binding til matrix. Sammenholdt med belægningssystemets gode adhæsionsegenskaber, sikres hermed minimal belastning af vandmiljøet grundet minimeret migration af partikler samt maksimering af belægningens begroningshæmmende funktion.

Specifikationer på anvendte nanopartikler:

Sølv nanopartikler:
Ag: 99,9+%
Average Particle Size (APS): 10 nm
Specific Surface Area (SSA): 9-11 m^2/g
I praksis vil sølvpartiklerne fremstå partielt oxiderede. Tilstedeværelse af reducerende komponenter i belægningssystemet vil hæmme oxideringen.

Kobber nanopartikler:
Cu: 99+%
APS: 25 nm
SSA: 8-10 m^2/g
I praksis vil kobberpartiklerne fremstå partielt oxiderede. Tilstedeværelse af reducerende komponenter i belægningssystemet vil hæmme oxideringen.

Laboratorieanalyser af INC-46 prøver med Ag/Cu nanopartikler over koncentrationerne 0,05 %, 0,5 %, 1 %, 5 % blev foretaget for at maksimere indholdet af nanopartikler, men samtidig bevare basale belægningsegenskaber. Specielt fokus var på overfladebeskaffenhed, da forhøjet koncentration af nanopartikler fører til udtalt forøgelse af overflade ruhed. Overflade ruheden af en række belægning med varierende indhold af nanopartikler er blevet kvantificeret ved Atomic Force Microscopy (AFM). Figur 4.2 viser et eksempel på en AFM analyse af en belægning med 0,05 % sølv nanopartikler.



Figur 4.2, A: Tværsnitsskitse af substrat med nanopartikel-indlejeret Sol-Gel belægning. 1: Substrat, ruhed (Ra) fx 0.3 µm, 2: Sol-Gel belægning, typisk 5-10 µm tyk, Ra ~1–2 nm. Det er dels tydeligt at substratets ruhed, elimineres af Sol-Gel belægningen, dels at overflade lokaliserede nanopartikler, grundet indkapsling i Sol-Gel materiale, fremstår større end de egentligt er. B: AFM topografisk analyse af Sol-Gel belægning med 0,05% sølv nanopartikler (betragtet ovenfra). AFM analyser af Sol-Gel belægninger viser en overflade ruhed på kun 1 til 2 nm. Det bemærkes at overflade lokaliserede partikler, der er fuldstændigt indsvøbt i lakken, umiddelbart forekommer større end APS på 10 nm (AFM billede af Saju Pillai, iNano, Århus Universitet).

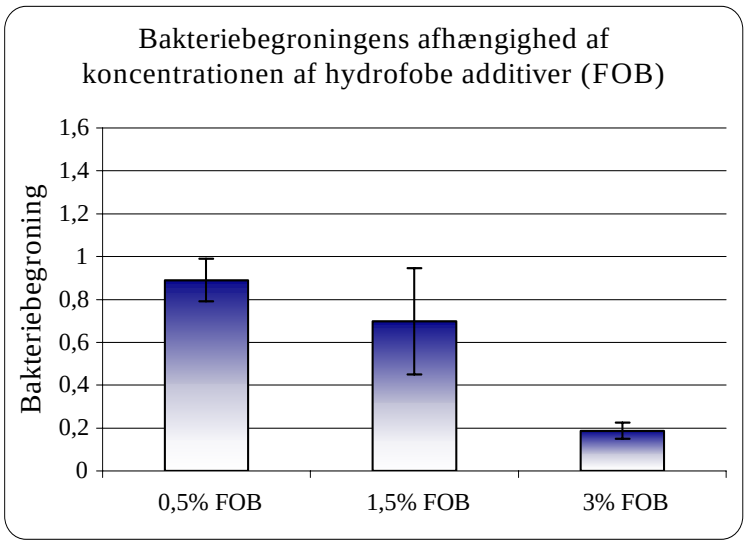
Bearbejdningstest og AFM analyser viser at en koncentration på 1 % Ag og 1 % Cu er det højeste niveau der kan opnås uden at påvirke belægningens basale egenskaber i betydelig grad (overflade ruhed/topografi, bearbejdning, hærdning, m.m.).

4.2 INC-47

INC-47 er en Sol-Gel nanokomposit der i anden projektsammenhæng har vist egenskaber, der begrunder nærmere undersøgelse af dette system med henblik på at opnå en begroningsafvisende bundmaling.

4.2.1 INC-47 hæmmer bakteriebegroningen

Data fra et projekt med fokus på udvikling af en biofilmhæmmende sol-gel lak til fødevareindustrien (finansieret af Svineafgiftsfonden og Mejeriernes Forskningsfond) viste i 2007 yderst lovende resultater. Således opnåedes der en 80 % reduktion af biofilm under forsøg i en bioreaktor, i sammenligning mellem en udviklet Sol-Gel lak (INC-47) og glas (illustreret i figur 4.3). Igangværende eksperimenter viser en overordentlig voldsom reduktion i biofilm dannelse på den udviklede sol-gel i forhold til den i fødevareindustrien typisk anvendte ståltype.



Figur 4.3: Grafisk fremstilling af biofilm opbygning på Sol-Gel lakerede emner sammenlignet med glas (biofilm-niveau på glas er 1). Idet indholdet af et overfladeadditiv der sænker overflade energien øges, mindskes biofilm opbygningen. Afhængigt af koncentrationen af hydrofobe additiver (FOB) nedsættes bakteriebegroningen væsentligt (figur af Rikke L. Meyer, iNano, Århus Universitet).

Forsøgene i projektet vedrørende udviklingen af biofilmhæmmende Sol-Gel lakker viser at biofilmopbygningen formes af det givne miljø og den eksisterende mikroflora.

4.2.2 INC-47's basale egenskaber

INC-47 er en Sol-Gel nanokomposit, dvs. en lak hvori matricen består af såvel en Sol-Gel komponent som en nanopartikel komponent, der er krydsbundet tæt sammen. Lakken har en række karakteristika, der gør den velegnet til bundmaling:

- Hydrolysestabil
- UV-stabil
- Transparent
- Hård
- Vandbaseret
- Hærder ved ca. 20 ºC
- Kan påføres med spray, rulle og pensel

Cross-cut analyser har vist overordentlig god adhæsion til en række forskellige substrater:
Aluminium, ISO Class.: 0
Stål, ISO Class.: 0
Glas, ISO Class.: 0
Polymerer (polypropylen, polymethylmethacrylat), plasmabehandlede, ISO Class.: 0
Komposit (epoxyfiber), ISO Class.: 0
(ISO klassificering i forhold til ISO 2409:1992, klassifikationerne beskrevet i figur 4.1).

I projektet omkring biofilmhæmmende overflader, er INC-47 blevet testet med forskellige koncentrationer af sølv- og kobbernanopartikler, dog uden at disse har haft nogen effekt på biofilmdannelsen. I andre Sol-Gel lakker har indlejring af nævnte nanopartikler betydet signifikant reduktion af biofilmopbygning. Analyser har vist at den manglende biostatiske effekt af nanopartikler i INC-47 skyldes at matricen er krydsbundet i en lang højere grad end traditionelle Sol-Gel lakker, hvorfor sølv- og kobberpartiklene formentlig er blevet inaktiverede. Den biostatiske effekt af INC-47 kan derfor alene tilskrives overfladens tætte beskaffenhed og lave overfladeenergi.

4.2.3 Test af INC-47's bevoksningshæmmende egenskaber

INC-47 blev sidst i juni 2007 påført på grundede testplader og gennemgik bevoksningstest i Jyllinge Lystbådehavn.

5 Afprøvning på lystbåde

INC-46 kan påføres ved spray, spin-coating, med rulle og med pensel. Dog har laboratorie-påføringer vist at påføring med rulle, hvis det ikke gøres meget omhyggeligt, kan forårsage bobledannelse i lakken. Med henblik på applicering på både, fandtes det derfor mest hensigtsmæssigt at anbefale brug af pensel.

5.1 Beskrivelse af INC-46 kit

For optimal påføring af INC-46 med 1 % Ag og 1 % Cu, herefter blot INC-46, blev der udarbejdet et kit, der ud over de to lak-komponenter indeholder sikkerhedsdatablad og en brugsvejledning. INC-46 er et to-komponent system, hvor komponent 2 indeholder de bevoksningshæmmende nanopartikler. Da partiklerne over tid bundfælder, understreger brugsvejledningen vigtigheden af en god dispergering af disse førend sammenblanding af de to komponenter. Ligeledes understreger brugsvejledningen vigtigheden af at blande de to komponenter grundigt – men uden at introducere luftbobler i lakken. Sikkerhedsdatablad og brugsvejledning er gengivet i figur 5.1 og 5.2, respektivt.

TEKNOLOGISK INSTITUT

Sikkerhedsdatablad

Meget brandfarlig

Sundhedsskadelig

Navn: Teknologisk Institut, *sol-gel lak komponent 1 og sol-gel lak komponent 2*

Sundhedsskadelige egenskaber/Førstehjælp: Indeholder isocyanat. Ved langtidspåvirkning af huden kan der opstå irritation, udtørring af huden og hudlidelser. Undgå indånding af dampe, kan give irritation af øvre luftveje og svimmelhed.

Ved øjenkontakt: Giver øjenirritation. Skyl straks med rigeligt vand i minimum 15 min. Fjern kontaktlinser. Kontakt læge ved vedvarende irritation.

Ved kontakt med huden: Irriterer og affedter huden. Kan blive absorberet gennem huden. Fjern straks forurenet tøj og sko, ved direkte kontakt med huden tørres først af med papir/klud og efterfølgende skyldes med masser af vand og vask med sæbe. Søg læge ved vedvarende irritation.

Ved indånding: Irriterende på øvre luftveje, i høje aerosol/damp-koncentrationer kan det påvirker central-nervesystemet. Søg frisk luft og hvile. Kontakt læge ved vedvarende ubehag. Stoppes vejrtrækning, giv kunstigt åndedræt og tilkald læge.

Indtagelse: Ved indtagelse fremkald ikke opkast og søg straks læge, vis mærkat. Ved evt. manglende vejrtrækning giv kunstigt åndedræt og tilkald læge.

Anvendelsesområde: Bundmaling

Anvendelsesbegrænsning: Må ikke anvendes til overflader, der kommer i kontakt med fødevarer.

Forholdsregler ved brug: Sørg for rigtig god udluftning, holdes væk fra varme, åben ild, gnister og andre antændelseskilder. Undgå kontakt med hud og øjne og indånding af dampe.

Tekniske foranstaltninger: Sørge for let adgang til vand og evt. øjenskylleflasker.

Arbejdstøj (hvilket)**:** Brug beskyttelsesdragt/arbejdstøj og nitril-, latex- eller neoprenhandsker.

Personlige værnemidler (hvilke)**:** Anvend tætsiddende sikkerhedsbriller.

Forholdsregler ved brand: Undgår indånding af dampe og røggasser, anvend fuldt beskyttelses- udstyr samt en selvstændig luftkilde ved slukning. Til slukning kan blød vandstråle eller vandtåge, pulver, skum eller CO_2-slukker. Kan danne eksplosive peroxider ved lufttilførelse.

Opbevaring: Sørg for god udluftning, opbevares væk fra antændelseskilder. Sørg for at holde beholder lukket, da der kan dannes eksplosive blandinger ved kontakt med luft, også i urensede tomme beholdere.

Forholdsregler ved spild/bortskaffelse: Undgå enhver kontakt og indånding. Hæld ikke i kloak, vandløb eller i jord. Oprens med inaktivt absorberende materialer (dvs. kiselgel, sand), put i egnet beholder, der mærkes med indhold, og bortskaf forskriftsmæssigt.

Dato: 2. april 2007 | **Udarbejdet af:**

Figur 5.1: Sikkerhedsdatablad, der blev medsendt alle lakpræparater (malinger), der blev udleveret til afprøvning på lystbåde.

TEKNOLOGISK INSTITUT

Brugsvejledning

ved anvendelse af

Teknologisk Institut,

Sol-gel lak komponent 1 og Sol-gel lak komponent 2.

Posen indeholder:

En beholder med **sol-gel lak komponent 1** (klar væske)

En beholder med **sol-gel lak komponent 2** (sort væske)

En beholder til brug ved påføringen af lakken på båden.

2 pensler

Et par handsker

Et sikkerhedsdatablad (læs nøje inden påbegyndelse af arbejde med lakken)

Vigtige forhold, der skal iagttages inden lakken blandes og arbejde påbegyndes:

- Da Sol-gel lakken har en optimal tid til hærdning på 24-48 timer, skal der sørges for overdækning af båden for at undgå regn og/eller dug på overfladen.
- Det optimale tidspunkt for påføringen er tidlig formiddag.
- Sørg for at der er god ventilation når der arbejdes med lakken.
- Fjern enhver form for antændelseskilder i nærheden af lakken
- Lakken vil blive til gele efter ca. en times tid efter sammenblandingen af de to komponenter.
- Sørg derfor at alt er klar, og at der er tid til påføring af lakken umiddelbart efter sammenblandingen af de to komponenter.
- Undgå legende børn og hunde i nærheden.

Optimal hærdning:

24 timer til 48 timer

Blanding:

1. Ryst sol-gel lak komponent **2** grundigt for at få en optimal opslæmning af lakken.
2. Hæld sol-gel lak komponent **1** ned i beholderen med sol-gel lak komponent **2** og omrør grundigt med malerpind i minimum 10 min. Undgå så vidt muligt dannelse af luftbobler i blandingen.
3. Sørg for en god opslæmning af lakken, rør godt i bunden.

Påføring:

- Hæld en lille mængde op i den vedlagte beholder (uden låg), dyp penslen heri og begynd påføringen. Husk at sætte låg på beholder med resten af lakken, så der undgås fordampning
- Påfør kun i små områder af gangen, da lakken meget hurtig vil blive klisteret og dermed umulig at male oven på igen.
- Sørg så vidt muligt at undgå luftbobler i lakken ved påføringen.
- Lakken skal påføres i et tyndt lag.
- Lakken indeholder ikke farvepigmenter, derfor kan lakken fremstå uens (fremstå som stribet) ved påføringen og efter hærdningen. Dette har ingen indflydelse på effekten af lakken.

Bortskaffelses af materialer der har været i kontakt med lakken: Alt skal samles sammen og puttes i en pose til bortskaffelse på nærmeste genbrugsstation.

Figur 5.2: Brugsvejledning, der blev medsendt alle lakpræparater (malinger), der blev udleveret til afprøvning på lystbåde.

5.2 Beskrivelse af testede både

For at få viden om INC-46 lakkens effektivitet over for begroning, blev det aftalt at teste produktet imod både andre miljøvenlige alternativer, nemlig: CoatZyme bundmaling (BioLocus), NanoCover Marineforsegling (NanoCover) og EcoMarine (produktet er under udvikling) samt en referencemaling - Hempel, Mille Ultimate II. Referencemalingen er en traditionel kobbermaling, svarende til en bundmaling udviklet gennem tidligere test (9). Referencemalingen anses for den absolutte minimumgrænse for en bundmalings antibegronings egenskaber (9). Succeskriteriet for Sol-Gel lakken og de øvrige alternativers effektivitet var således, om de klarede sig ligeså godt som eller bedre end referencen.

5.2.1 Påføring

De enkelte produkter blev påført i felter på testbådene, således at rækkefølgen af testmalingerne var forskellig på de to sider af båden. Bådejerne stod selv for påføring af en primer, referencemaling og de forskellige alternativer (dog ikke NanoCovers forsegling, som firmaet selv påførte). Primeren er påført som forbehandling for at forsegle tilbagesiddende gammel bundmaling. Herved sikres et ensartet udgangspunkt for testen, samt at den gamle bundmaling ikke påvirker forsøgsresultaterne. I alt har 10 både fordelt på 5 havne medvirket i afprøvningen.

Bådejerne fik forud for testen udleveret information om de enkelte produkter. Herunder en påføringsvejledning samt en lamineret tegning over, hvor på skroget de enkelte produkter skulle påføres. Alle både har således været inddelt i felter og der medfulgte desuden tape som testsejlerne anvendte til markering af felterne.

Vejledningen og tegningen var tilpasset den enkelte både mht. antallet af produkter samt påføringssteder. F.eks. er felterne på de enkelte både placeret forskelligt på hhv. styrborg og bagbord side ligesom felterne er rokeret de enkelte testbåde i mellem. Herved er den begroningsforskel der evt. kan forekomme mellem styrborg og bagbord og mellem stævn, midter- og agter sektion forsøgt elimineret.
Som eksempel på det materiale der er sendt til testsejlerne, se bilag 1 ”Forsøgsinfo, påføringsvejledning og tegning -4 felter”.

5.2.2 Vurdering af antibegroningsegenskaber

For at vurdere alternativernes effektivitet overfor begroning har Dansk Sejlunion inspiceret testbådene. Der er gennemført 3 inspektionsrunder i løbet af sejlsæsonen 2007:

1. runde – ultimo juni (her blev 4 både fra 2 havne inspiceret)
2. runde – august/september (her blev 6 både inspiceret i 3 testhavne)
3. runde – oktober/november (her er alle både, på nær en der forblev i vandet, inspiceret i forbindelse med vinteroptagning).

Ved inspektionerne er begroningen kvantificeret og beskrevet for at kunne vurdere, hvor godt de forskellige alternativer har klaret sig sammenlignet med referencemalingen.

De enkelte begroningstyper observeret på bundene er kvantificeret i forhold til, hvor stor en anden af de enkelte begroningstyper, der dækkede skroget. Nedenstående boks viser hvordan.

Begroning	**Ca. %-andel af skroget dækket af begroning**
Ingen bevoksning	0%
Lidt bevoksning	0 - 5%
En del bevoksning	5 – 25%
Kraftig bevoksning	25 – 50%
Særdeles kraftig bevoksning	50 - 100%

De mest fremtrædende begroningstyper som er kvantificeret er:

- Slim
- Alger
- Rurer
- Mosdyr
- Søpunge

5.2.3 Afvaskning

For at få et så præcist billede af testprodukternes virkning som muligt, har bådene som udgangspunkt ikke været rengjort for begroning gennem sæsonen.

Skulle produkternes imidlertid begro og være så generende for testsejlerne at akut afvaskning var nødvendig, blev det aftalt, at testsejlerne i rimelig tid forinden skulle informere Dansk Sejlunion herom. Herved er det forsøgt sikret, at produkternes reelle anti-begroningsegenskaber kunne vurderes.

I et tilfælde i løbet af testen blev det aktuelt, idet en bådejer i Horsens (motorbåd), ønskede at få båden på land og renset pga. generende begroning. Dansk Sejlunion var forinden informeret herom og deltog i bådoptagningen, hvor den generende begroning blev kvantificeret, beskrevet og dokumenteret inden den blev vaskes/skrabet af.

5.3 Havnetest (PLADETEST) (af INC-47)

Som supplement til bådtestene har de alternative produkter været påført mindre plader. Identiske plader har været hængt ud i Jyllinge og Horsens i starten af juni og er løbende inspiceret for begroning. Derudover har der i slutningen af sæsonen været gennemført en afrensningstest for at få viden om de enkelte produkters ”slip-let” egenskaber.

På billedet ses de produkter som indgik i pladetesten. Det drejer sig om:

1) Sol-Gel lak (INC-46)
2) Coatzyme
3) Reference maling
4) NanoCover
5) Prop-speed (kun pladetest)
6) Ubehandlet
7) Polyethan belægning (kun pladetest)

I juli 2007 blev pladetesten i Jyllinge Lystbådehavn udvidet med INC-47 påført på grundede testemner og gennemgik resten af sæsonen bevoksningstest.

6 Resultater

Som angivet i introduktionen, vurderes kandidat bundmalingerne efter en række karakteristiske egenskaber.

6.1 Påføring og hærdning

Bådejernes oplevelser af INC-46 Sol-gel lakkens påføringsegenskaber var lidt blandende. Generelt oplevede bådejerne lakken som meget tynd at påføre og at den var svær at ”holde” i penslen. To bådejere mente dog, til trods herfor, at den var ok at påføre, ”Som normalt” og ”Meget nem at påføre”.

Tre mente omvendt, at lakken var meget besværlig at påføre, hvoraf den ene mente det var testens mest besværlige produkt at arbejde med.

Tre oplevede, at der opstod en smule bobler/blærer i forbindelse med påføringen og at det var svært at undgå selv med meget langsomme strøg.

Hærde tiden på en time blev ikke oplevet som et problem af bådejerne og må derfor siges at være tilstrækkelig i forhold til de felter, som skulle behandles. Det kan dog godt tænkes, at den korte hærdetid kan opleves som et problem, såfremt lakken skal påføres på en hel bådbund.

6.2 Stabilitet

INC-46 blev ved inspektionerne på land nøje vurderet med hensyn til substrat vedhæftning, hydrolyse stabilitet (vurderet ud fra lakerede områder med permanent vandkontakt) samt UV stabilitet (vurderet ud fra lakerede områder med højest mulig lyspåvirkning). Overordnet fremstod lakken, idet der ses bort fra begroning, som da den blev påført. Der var altså ingen tegn der indikerede at lakken degraderede (pga. manglende vedhæftning eller hydrolytisk/UV-instabilitet) i løbet af testsæsonen.

6.2.1 Vedhæftning:

Ved inspektion af både blev det i på nær et tilfælde fundet, at INC-46 udviste perfekt vedhæftningen. Ses der bort fra den ene båd, der diskuteres i nedenstående, fremstod de lakerede både efter testsæsonen som da de var blevet lakeret. Kun ved brug af en spids skruetrækker var det muligt at kradse lakken af. Gittersnitstest på plader der gennem sæsonen gennemgik pladetest afslørede ingen ændringer i substratvedhæftningen.
På en båd blev der fundet enkelte områder med ringe vedhæftning til det underliggende materiale. Det var på denne båd muligt med relativt lille kraft at forøge de afskallede huller ved at kradse med en skruetrækker i de tilstødende lakerede områder. Andre testlakker der var appliceret på båden udviste samme fænomen. Det viste sig at netop denne båd havde fungeret som testbåd i en tidligere test af en silikonebaseret belægning og at den efterfølgende ikke var blevet afrenset tilstrækkeligt effektivt. Det er kendt at silikone effektivt hæmmer/umuliggør overmaling med konventionelle metoder, hvorfor det forklarer de observerede vedhæftningsproblemer.

6.2.2 Hydrolysestabilitet:

Ved inspektion af optagne både fremstod de lakerede områder intakte og uden tegn på hydrolytisk instabilitet. Disse observationer er fuldt ud i overensstemmelse med laboratorietests, hvor der ved accelererede hydrolyse stabilitets test ikke blev observeret instabilitet.

6.2.3 UV stabilitet:

Ved inspektion af optagne både blev områder over/omkring vandlinjen på bådene undersøgt med henblik på at finde evt. begyndende forandringer af lakken, der vil kunne indikere UV-instabilitet. Der kunne ikke observeres forskel, hverken på vedhæftning, lag-tykkelse eller visuel fremtoning mellem områder der vurderedes som udsat for / ikke udsat for UV påvirkning. Denne observation understøttes af laboratorieanalyser med accelereret UV-påvirkning i Hanau Suntest Unit 7011.

6.3 Begroningshæmning

INC-46 Sol-gel lakken viste sig kort tid efter søsætning at begro. Allerede efter en til to måneder i vandet viste inspektioner af en række testbåde i hhv. Jyllinge (søsat 16. april) og Horsens (søsat 24. maj), at lakken var særdeles kraftigt begroet med især rurer. Da de øvrige testbåde blev inspiceret i løbet af sæsonen og ved efterårsoptagningen var begroningsmængden øget yderligere. Generelt var billedet det samme for alle de ni testbåde, der afprøvede lakken. Der er tale om syv sejlbåde og to motorbåde, som hver har sejlet i størrelsesordnen 50-150 sømil. Hastigheden har været i området 3-13 knob. Begroningen sad godt fast og var svær af fjerne med en finger se billederne: ”Horsens Motorbåd Sol-Gel” og ”Nykøbing Mors”.

HORSENS MOTORBÅD SOL-GEL

Sol-Gel lak på testbåd i Horsens inspiceret den 25. juni efter 1 måned i vandet pga. voldsom begroning og nedsat fart. Det var ikke muligt for ejeren, at” sejle” begroningen af (forsøgt ved hastigheder op til 13 knob). Bådejeren ønskede herefter at udgå af testen. Det blå i bovpropelrøret er referencemalingen. Foto: Carl Gerstrøm.

NYKØBING MORS

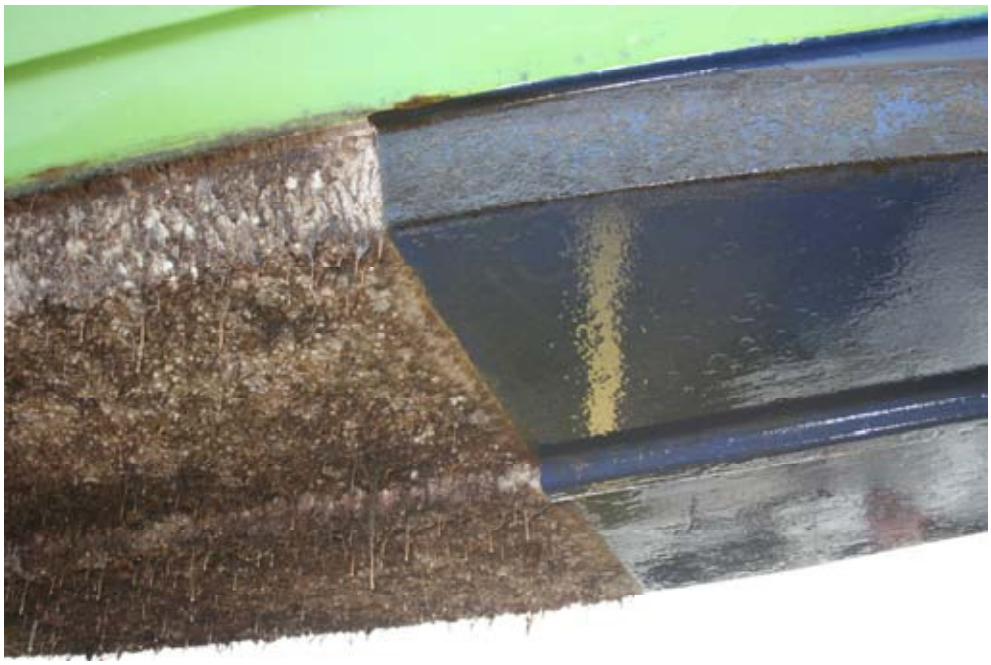
Båd inspiceret 9. nov. Det forreste felt er CoatZyme. Det blå midterfelt er referencen. Bagerste felt er Sol-Gel lak. Båden blev søsat den 6. maj og har sejlet omkring 100 sømil. Ejeren havde undladt at sejle i båden det seneste stykke tid pga. generende begroning. Felterne med Sol-Gel lak var særdeles kraftigt begroede med bl.a. rurer, muslinger og søpunge – Båden var ifølge ejeren meget svær at manøvrere. Foto: Jesper Højenvang.

CoatZyme bundmaling (BioLocus).
Er en selvpolerende bundmaling, der indeholder enzymer som aktivstof. Malingen er på vandbasis og indeholder zinkoxid, hvorfor den er mærket med risikosætning R53 (kan forårsage uønskede langtidsvirkninger i miljøet). Malingen har været påført på i alt 10 både og selvom resultaterne på de enkelte både har været svingende, har der generelt været mere begroning på CoatZyme felterne end på felterne med referencen. Det bedste resultatet sås på en båd i Jyllinge, der "kun" var begroet med et slim- og algelag samt rurer på 5-25% af testarealet. På øvrige testbåde var der, som det også er tilfældet for båden i Nykøbing Mors (se billedet "Nykøbing Mors"- feltet til venstre), væsentlig mere begroning på CoatZyme end på referencen. Begroningen sad på visse af testbådene rimelig godt fast. På andre var den nem at fjerne.

NanoCover Marineforsegling (NanoCover).
Forseglingen indeholder Nanopartikler, og virker ved at have en glat "slip-let" overflade. Udover primer er bådene, efter forhandlerens anvisning, blevet forbehandlet med en autolak for at sikre, at forseglingen fungerer optimalt. Autolakken skulle hærde i 14 dage, hvilket besværliggjorde påføringsprocessen, hvorfor det kun lykkedes at få tre bådejere til at påføre produktet. I første omgang blev produktet påført på to både. Desværre var den aftalte hærdetid på 14-dage ikke overholdt (hærdede hhv. 4 og 5 dage). Derfor blev der fundet endnu en båd som blev påført korrekt, for at eliminere denne eventuelle fejlkilde. Båden blev derfor først søsat i starten af juli og blev derfor ikke eksponeret for begroning gennem en hel sejlsæson. Båden har distancemæssigt ikke sejlet så meget, men har dog sejlet næsten ugentligt på kortere ture med hastigheder i størrelsesordenen 2-4 knob. Ved inspektionen en måned efter søsætning var der begyndende begroning på NanoCover

forseglingen med især slim og alger samt enkelte rurer. På referencen var der kun en smule slim. Ved inspektion den 9. nov. var NanoCover feltet væsentligt mere begroet end referencemalingen (se billedet: Nanocover). Begroningen bestod af et kraftigt lag af rurer og alger, som var svært at fjerne med en finger.

NANO COVER



Sammenligning mellem NanoCover forseglingen (til venstre) og referencemalingen (den blå til højre). Begroningen sad godt fast på NanoCover forseglingen.

EcoMarine

Produktet (pt. ikke kommercielt tilgængeligt) skaber via en biologisk proces et iltfrit miljø på bådbunden, som skulle forhindre organismer og bevoksning i at trives. Testen med Ecomarine er begrænset til en enkelt båd, idet produktet først kom på banen ret sent i forløbet. Testbåden blev søsat 16. maj og har sejlet meget (omkring 350 sømil) med hastigheder op til 10 knob. Båden blev inspiceret i vandet den 3. september. Her viste produktet sig at være særdeles kraftigt begroet med rurer, alger og muslinger (se billedet: ”Ecomarine”). Begroningen sad samtidig ret godt fast.

ECOMARINE

Billedtekst: Ecomarine (til højre) inspiceret under vand 3. september. Feltet til venstre er CoatZyme.

6.3.1 Pladetest og "slip-let" egenskaber

På pladerne udhængt i Jyllinge og Horsens malet med de samme produkter som de, der indgik i bådtesten, blev begroningen løbende kvantificeret. Pladetesten bekræftede resultatet fra bådtesten. Dog var der generelt mindre begroning på CoatZyme pladene sammenlignet med felterne på bådene med tilsvarende produkt. Forskellen kan skyldes af bådene blev søsat tidligere end pladerne, der derfor har været eksponeret for begroning i kortere tid. Observationer fra Jyllinge viser således en meget kraftig vækst med rurer i april og maj, hvorimod månederne juni – september tilsyneladende ikke bød på yderligere rurer. I det bådene i Jyllinge blev søsat i april og pladerne først blev hængt ud i starten af juni, synes det at være en nærliggende forklaring på den observerede forskel.

Sol-gel lakken INC-47 (kun plade test) blev som tidligere nævnt hængt ud i Jyllinge Lystbådehavn juli 2007. Disse plader var ved inspektion efter 3 måneder i vandet kraftig bevokset særligt med bryozoer (kalkplader/flager). Se billedet til højre.

Produkternes "Slip-let" egenskaber

På pladerne blev det samtidig undersøgt, hvor godt begroningen sad fast på de enkelte malinger for at få en indikation af deres "slip-let" egenskaber. I skemaet nedenfor er der angivet en sværhedsgrad på en skala fra 1-5, hvor 1

er: Let at fjerne begroningen med en finger og 5 er: Meget svært at fjerne begroningen. Kræver kraftig og længerevarende skrubning med skuresvamp.

Produkt	Sværhedsgrad	Bemærkninger
CoatZyme	1	Slim-/algelaget kunne nemt fjernes med en finger (overfladen meget glat)
Referencemaling (Hempel, Mille Ultimate II)	1	Slimlaget kunne nemt fjernes med en finger (overfladen meget glat)
Sol-Gel lak (INC-46) + (INC-47)	3	Nødvendigt at gnubbe med svampen. 4-5 strøg skulle der til for at få pladen ren. ”Rurerfødder” dog ikke til at fjerne med svampen.
NanoCover	4	Svært at fjerne begroningen. Rengøring med svamp nødvendig. ”Rurerfødder” dog ikke til at fjerne med svampen.
Ubehandlet plade	5	Meget svært at fjerne begroningen. Kraftig og længerevarende rengøring med skuresvamp nødvendig.

Produkternes ”Slip-let” egenskaber.

Som det fremgår af skemaet, var det nemt at fjerne begroningen fra referencemaling og CoatZyme ved blot at køre en finger henover overfladen. Derimod krævede det noget mere knofedt at fjerne den fra Sol-Gel lakkerne og NanoCover forseglingen.

Vurdering af ”slip-let” egenskaber på INC-47.

Samme iagttagelser blev, som beskrevet ovenfor, gjort på bådene. Som konstateret på motorbåden i Horsens, er der derfor ikke noget der tyder på, at begroningen på disse produkter vil kunne ”sejles” af.

7 Konklusion

Testens resultater viser, at selvom de sølv- og kobber-nanopartikel indlejerede Sol-Gel baserede belægninger demonstrerer mindsket vedhæftning af bevoksning, ift. ubehandlede arealer, besidder de udviklede lakker ingen anvendelige bevoksningshæmmende egenskaber i forhold til maritim brug. Sammenlignet med referencemalingen var de Sol-Gel baserede belægninger væsentligt mere begroede.

Alle øvrige alternativer afprøvet i testen klarede sig også dårligere end referencemalingen. CoatZyme er virkningsmæssigt den, der kommer tættest på referencen, men selv denne malings begroningshæmmende egenskaber er utilstrækkelige.

Idet den anvendte referencemaling anses for den absolutte minimumgrænse for en bundmalings antibegroningsegenskaber, må de afprøvede alternativer, i deres nuværende form, betegnes som utilstrækkelige.

Udviklingerne af de Sol-Gel baserede glaskeramiske bundmalinger i dette projekt bygger på erfaringer fra et tidligere projekt (1), hvor der blev vist lovende muligheder for anvendelse af en Sol-Gel baseret belægning som begroningshæmmende bundmaling. Den fra det tidligere projekt mest lovende belægning manglede dog visse essentielle lakegenskaber såsom god hydrolysebastandighed og UV-stabilitet. I dette projekt har sigtet været at udvikle en lak med samme/bedre begroningshæmmende egenskaber som før observeret, og samtidig at bedre de mere basale lakkarakteristika. Det har vist sig mulig at opnå en lak med rigtig gode karakteristika hvad angår hydrolysebestandighed, UV-stabilitet, fleksibilitet, vedhæftning, m.m. Men det må desværre konkluderes at disse forbedrede basale lakkarakteristika er blevet opnået på bekostning af de begroningshæmmende egenskaber. En mulig forklaring kan være at hydrolysebestandigheden, m.m. er blevet opnået ved en langt højere grad af krydsbindinger i lakken. Krydsbindinger, der er med til at øge lakkens tæthed og dermed også mindske adgang til de begroningshæmmende nanopartikler i lakken.

8 Perspektivering

Som testen viser, har alle de alternative bundmalinger dårligere antibegroningsegenskaber end referencemalingen. Der forestår derfor stadig et udviklingsarbejde, før det er muligt at erstatte de traditionelle bundmalinger med mindre miljøbelastende alternativer. Hermed må det også forudses, at denne målsætning i Handlingsplanen om bundmaling til lystbåde ikke for indeværende kan føres ud i livet.

For både den nanoteknologiske, den enzymbaserede og den iltreducerende teknologi gælder det, at der skal ske yderligere teknologi- og/eller produktudvikling, før der foreligger anvendelige alternativer til de traditionelle bundmalinger.

I dette projekt er det blevet forsøgt, baseret på tidligere indhentede erfaringer, at udvikle og teste en begroningshæmmende glaskeramisk afledt lak til lystbåde. Desværre må det konkluderes at den udviklede lak ikke har præsteret den forventede begroningshæmmende effekt.

Det hermed afrapporterede projekt, perspektiverer den mulige videre udvikling mod en miljøvenlig, begroningshæmmende bundmaling. Det er åbenlyst at udfordringen ved at udvikle en sådan overfladebehandling til maritim brug er stor. Så stor, at den formentlig ikke kan løftes alene i et projekt af den her præsenterede størrelse. Det kan i stedet forventes at udfordringen kræver et langsigtet, interdisciplinært samarbejde mellem universiteter, GTS og industrien, således at der både inddrages grundforskning, fx indenfor marinbiologi, kemi, overflade fysik, m.v., teknologisk service samt industriel erfaring og knowhow.

9 Referencer

1: Teknologisk Institut: ”Glaskeramisk Bundmaling til Lystbåde”. Miljøstyrelsen J.nr. M 1226-0026, 2005

2: Pierre, AC.: “Introduction to Sol-Gel processing”. Kluwer Academic Publishers, 2nd printing 2002

3: Fricke, J.: “Aerogels--highly tenuous solids with fascinating properties”. Journal of non-crystalline solids, 1988, 100: 169-173

4: Bradley D.C., Methotra R.C., Gaur D.P.:”Metal alkoxides”, Academic Press, London, 1978

5: Huang H. Bruce Orler B., Wilkes G.L.: ”Ceramers: Hybrid materials incorporating polymeric/oligomeric species with inorganic glasses by a sol-gel process”. Polymer Bull. , 1985, 14 (6): 557-564

6: Toki M., Chow T.Y., Ohnaka T., Samura H., Saegusa T.: “Structure of poly(vinylpyrrolidone)-silica hybrid”. Polymer Bull., 1992, 29: 653

7: Lansdown, A.B.: “Silver. I: Its antibacterial properties and mechanism of action”. J Wound Care. 2002, 11(4):125-30

8: Bundesinstitut für Risikobewertung: “Guidelines on metals and alloys used as food contact materials - Technical document”, 13 February 2002

9: Nielsen G., Porsbjerg M., Højenvang J.: “Undersøgelse af kritisk frigivelseshastighed for kobber fra bundmaling til lystbåde”. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 611 2001

Bilag 1

Bundmalingstest 2007

April 2007

Information til deltagerne i forsøget med alternativ bundmaling

Kære bådejer

Dansk Sejlunion og Teknologisk Institut takker for din deltagelse i denne bundmalingstest. Testen er en del af et større projekt vedr. udvikling af en nanoteknologisk lak (Sol-Gel lak) beregnet til antibegroning. Bag projektet står Teknologisk Institut i samarbejde med Miljøstyrelsen. Dansk Sejlunion er partner i projektet og ansvarlig for den praktiske afprøvning af Teknologisk Instituts lak.

I regi af dette projekt har parterne aftalt, at det vil være fint at kunne sammenligne lakken med andre miljøvenlige bundmalingsprodukter, som enten er på markedet eller under udvikling.

Der er derfor indgået aftaler med en række andre firmaer om også at lade deres produkter indgå i testen. Samlet set skal der derfor påføres en primer (forbehandling) samt 3 testprodukter + en almindelig bundmaling som reference (se uddybende information vedr. produkter og påføring i vedlagte: **"Overordnet påføringsvejledning"**).

Følgende materialer skal anvendes til testen og er enten med i denne pakke eller fremsendes separat:

- **Yacht Primer (Hempel)** til forbehandling, **vedlagt**
- **Sol-Gel lak (Teknologisk Institut)** ***fremsendes direkte fra Teknologisk Institut.***
- **CoatZyme bundmaling (BioLocus), vedlagt**
- **Autolak som forbehandling for NanoCover Marine (NanoCover)**
  Som forbehandling skal der påføres en autolak. Firmaet står herefter selv for påføringen af selv produktet (NanoCover Marineforsegling). Autolakken er med i pakken.
- **Mille Ultimate 2 (Hempel) bundmaling, vedlagt**
  Anvendes som referencemaling. Øvrige produkter vil blive vurderet i forhold til denne maling.

Derudover er følgende vedlagt:

- Tape, ruller/bakker samt omrøringspinde

Båden opdeles i 4 felter på hver side
I praksis skal båden således opdeles i 4 felter på hver side, så alle produkter påføres på hhv. styrbord og bagbord side. Se vedlagte: "**Tegning over hvor de enkelte produkter skal påføres"**.

Bilag 1

Vi takker på forhånd for din aktive deltagelse i forsøget. Skulle du have spørgsmål er du velkommen til at kontakte undertegnede.

Med ønsket om en god sejlsæson.

Dansk Sejlunion

Jesper Højenvang
Miljøkonsulent
jesper@sejlsport.dk
Tlf. 43 26 21 90
Mobil 30 52 87 38

Vedlagt

- Overordnet påføringsvejledning
- Tegning over hvor de enkelte produkter skal påføres

Bilag 2

Overordnet påføringsvejledning

Vigtigt; læs denne vejledning inden påføring!

For at resultaterne af forsøget skal kunne fortolkes entydigt er det nødvendigt at følge nedenstående instruktion meget nøje:

Forbehandling:

1) Slib din bund og køl, så du har en jævn og glat overflade.

2) Påfør **Yacht primer** (Hempel) på hele bunden (ror, køl og skrog) og lad denne tørre helt. Yachtprimeren forsegler tilbagesiddende gammel bundmaling. Herved sikres et ensartet udgangspunkt for testen, samt at den gamle bundmaling ikke influerer på resultaterne.

3) Opdel henholdsvis styrbord og bagbord side i 4 felter. Brug den medfølgende **tape**. Felterne skal arealmæssigt være nogenlunde lige store. Se ”**Tegning over hvor de enkelte produkter skal påføres”**

Påføring af testprodukter samt referencemaling:

Generelt:
Det er meget vigtigt at påføring sker i tørt vejr. Det skal minimum være 10 og helst 15 grader varmt – ellers kan visse af produkterne ikke tørre – hvilket vil medføre et ringere resultat. For uddybende information vedr. tørretider, behandling af malergrej etc. henvises til informationen på dåserne/særskilte vejledninger for de enkelte produkter.

N.B. Sol-Gel lakken påføres som det første produkt

Vigtig information vedr. påføring af de enkelte produkter:

- **Sol-Gel lakken,** Teknologisk Institut
  1) Sammenbland **Sol-Gel lak komponent 1** og **Sol-Gel lak komponent 2**
  2) Rør blandingen rigtig, rigtig godt sammen med rørepind i mimimum 10 minutter.
  3) Påfør blandingen i ét forholdsvis tyndt lag med den medfølgende pensel
  4) Blandingen skal påføres umiddelbart efter og **senest** indenfor 1 time.

  Læs mere om påføring i vejledningen om Sol-Gel lakken.
  Spørgsmål vedr. påføring af Sol-Gel lakken kan rettes til:
  Claus Bischoff, Teknologisk Institut på tlf. 72 20 17 77 (også i Påsken)

Vend

Bilag 2

- **CoatZyme bundmaling,** BioLocus

  1) Rør malingen fuldstændig op (rør i minimum 5 minutter), da der i bundfaldet er vigtige komponenter for bundmalingens virkning.

  2) Da CoatZyme virker ved at være selvpolerende, kan det ikke nytte at spare på bundmalingen. Hvis man vælger at 'spare' på malingen, vil man sandsynligvis opnå, at CoatZyme slides af inden sæsonen er ovre. Det vil være en invitation til rurer og anden uønsket begroning!

  3) Det anbefales, at der anvendes malerrulle og at CoatZyme påføres i et tykt lag - med få strøg.

  4) Efter 15 timer påføres endnu et tykt lag - med få strøg.

  .

- **AutoLak (på spray) som forbehandling for NanoCover**

  1) Der dækkes god af rundt om feltet, så der ikke kan komme lak på nabofelterne.

  2) Lakken spays på (Ford autolak).

  NanoCover vil på et senere tidspunkt stå for påføringen af selve nanoproduktet. Tidspunkt aftales med undertegnede.

- **Mille Ultimate 2** (Hempel)

  1) Tilsæt **Ultimate Active** (71210) til **Mille Ultimate 2 base** i blandingsforholdet 3 dele base til 1 del Ultimate Active og rør godt.
  (N.B. bemærk, at malingen når den er blandet sammen har en anvendelsestid på 12 timer)

  2) Påfør 1. lag af bundmalingen med rulle

  3) Efter minimum 9 timer påføres 2. lag.

Vi takker på forhånd for din aktive deltagelse i forsøget. Skulle du have spørgsmål er du velkommen til at kontakte undertegnede.

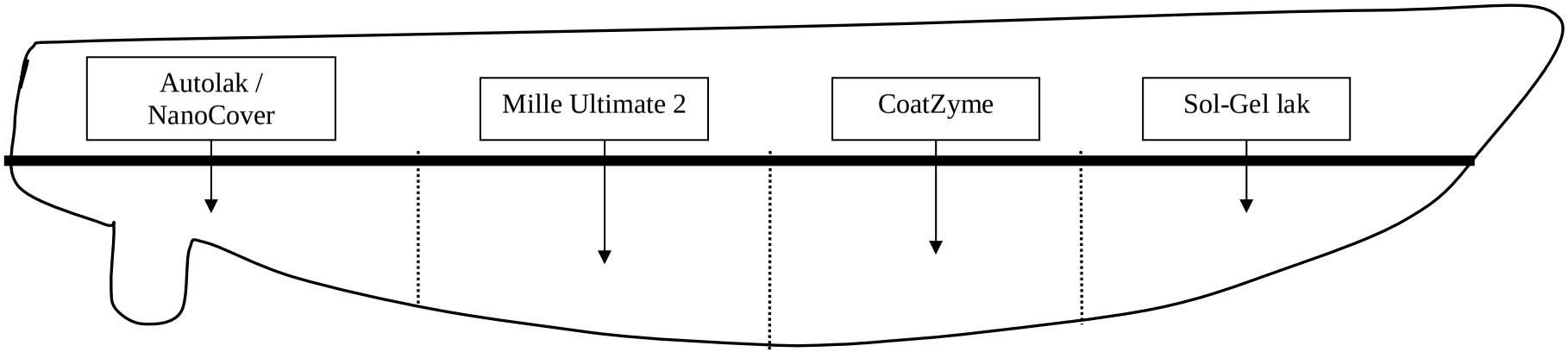
Med ønsket om en god sejlsæson.

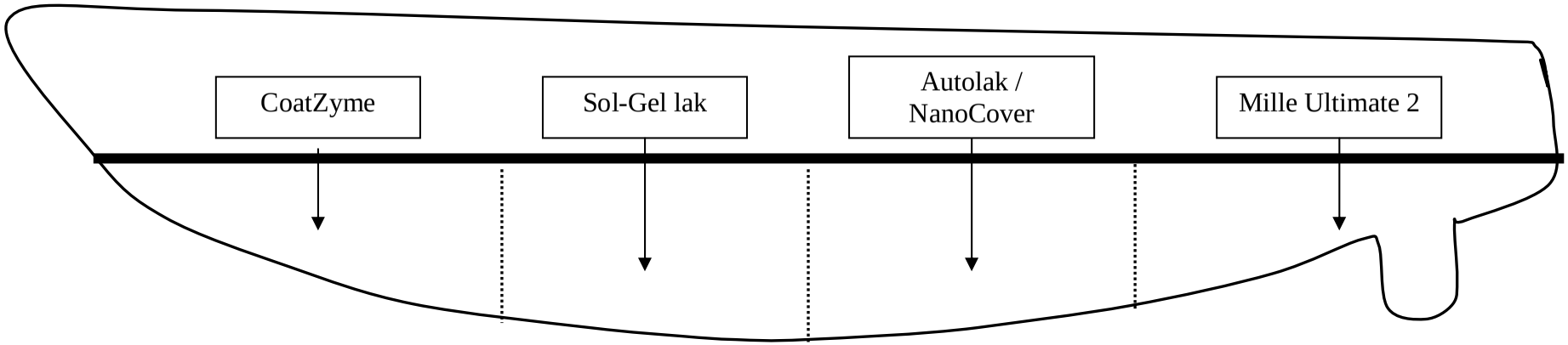
Jesper Højenvang
Dansk Sejlunion
jesper@sejlsport.dk
Tlf. 43 26 21 90
Mobil 30 52 8

Bilag 3

Tegning over hvor de enkelte produkter skal påføres

- Båden opdeles i 4 felter (med ca. samme areal) på hhv. styrbord og bagbord side. Produkterne påføres som vist på tegningerne. Følg den udleverede: **"Overordnet påføringsvejledning**". Bemærk at produkterne skal placeres forskelligt på hhv. styrbord og bagbord.



Motorbåd

Horsens