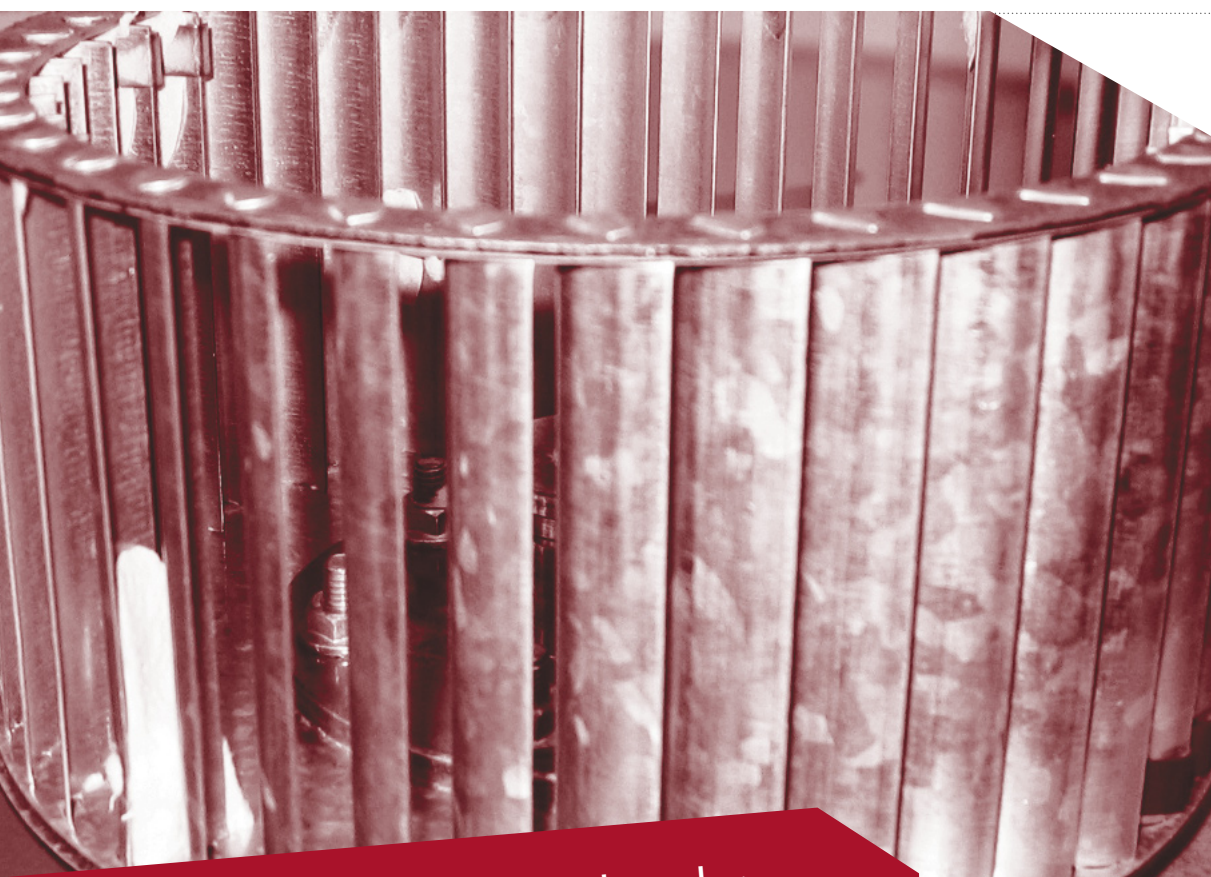




PSO 2002 - FORSKNING & UDVIKLING I EFFEKTIV ENERGIANVENDELSE

# Elbesparelser ved kalk-, fouling- og friktionsnedsættende materialer, fase 1



Fase 1 med laboratorieforsøg og feltundersøgelser af den elbesparende effekt ved brug af tribologiske overflader og sol-gel overflader



danskenergi | net

ELFORSK

## RESUMÉ:

Teknologisk Institut har påvist, at nye typer overflader i form af tribologiske overflader og sol-gel overflader har gode kalkafvisende egenskaber. Gennem en korrosionstest i salttågekammer er det desuden påvist, at sol-gel overfladerne også er korrosionshæmmende.

Disse overfladematerialer er afprøvet på blæserhjul, varmelegemer og ladeluftskøler med generelt positive resultater, idet sol-gel overfladen dog medførte en uacceptabel forringelse af varmeovergangen mellem luft og køler.

## MÅLSÆTNING:

Teknologisk Institut har udviklet nye materialer med lave overfladespændinger i form af tribologiske overflader (wolfram med kulstof og DLC-belægninger) og varianter af lakbaserede sol-gel overflader. I den første af tre faser har Teknologisk Institut i samarbejde med Electrolux og Vestas AirCoil ønsket at få bekræftet en teori om, at disse overflader vil være foulingafvisende og afvisende over for kalkbelægninger pga. de lave overfladespændinger.

Det skulle ske gennem laborietests for kalkbelægning og korrosionstest i salttågekammer samt gennem feltundersøgelser af overfladebehandlede blæserhjul i tørretumbler, varmelegemer og ladeluftskøler.

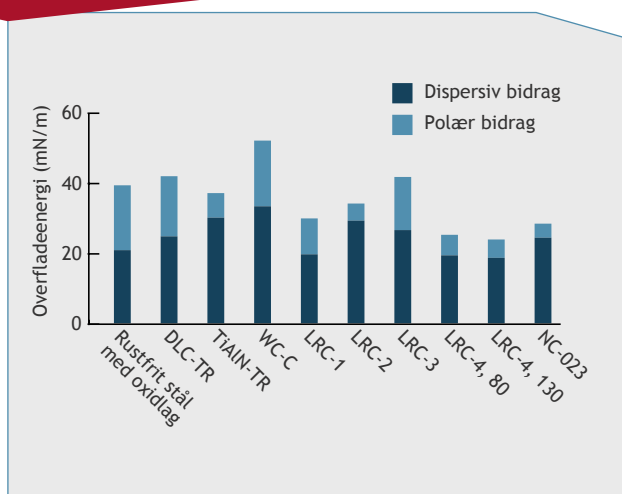
## PROCESSEN:

Projektet er gennemført af en projektgruppe med Teknologisk Institut Industri og Energi som projektleder og med specialviden inden for materialeudvikling og -håndtering. Electrolux har stillet varmelegemer til vaskemaskiner og blæserhjul til tørretumbler til rådighed for feltundersøgelser, mens Vestas AirCoil har bidraget med en overfladebehandlet ladeluftskøler hos gartneriet Varpelev Tomater.

En efterfølgende fase 2, der er bevilget som et PSO-2005 projekt, vil bl.a. inddrage andre apparattyper, og der vil blive arbejdet på at forbedre sol-gel overfladens varmeovergang, optimere sprøjte- og dyppprocesser m.v.

POSITIVE RESULTATER AF FELTUNDER-  
SØGELSER PÅ UDVALGTE APPARATTYPER

FIGUR NR. 1



Teknologisk institut har målt overfladeenergier i tre tribologiske og seks sol-gel behandlede overflader og sammenlignet med en reference i rustfrit stål med intakt oxidlag. Overfladeenergier måles i milliNewton/meter (mN/m) og opdeles i to parametre, det dispersive og det polære bidrag.

I et af Teknologisk Instituts laboratorier er overfladeenergien i tre tribologiske overflader og seks forskellige typer sol-gel belægninger blevet målt sammen med en reference i rustfrit stål. Desuden er der udført laboratorieforsøg med disse overfladers evne til at afvise kalkvedhæftning efter et døgn oversprøjtning med drikkevand af rør, der blev opvarmet til 80° C. Vedhæftningen er derefter blevet målt gennem tapeprøver og ved faldtest.

Herudover har Vestas AirCoil udført korrosionsforsøg med sol-gel behandlede ladeluftskølerer, der blev oversprøjtet med 70° C varmt saltholdigt havvand i 500 timer.

I samarbejde med Electrolux har Teknologisk Institut gennemført felttests med vaskemaskiners varmelegemer med i alt fem forskellige belægninger og med et sol-gel belagt blæserhjul i tørretumbler. Vestas AirCoil har testet en sol-gel belagt ladeluftskøler til en forbrændingsmotor hos Varpelev Tomater og forberedt felttest af motorens vandudskiller.

I alle de gennemførte feltundersøgelser er der indsat referencekomponenter med standard-overflader for at kunne sammenligne vedhæftningerne hos de overfladebehandlede komponenter.

## RESULTATER:

Laboratorieprøverne på de forskellige overfladers evne til at afvise kalkbelægning viste, at begge de tribologiske overflader havde gode kalkafvisende egenskaber. Overfladen af wolfram med kulstof var blandt prøvernes bedste, selv om denne belægning havde forholdsvis høje overfladeenergier. Fire af de fem testede sol-gel overflader havde også gode eller overordentlig gode kalkafvisende egenskaber. Se figur 2 for detaljerede oplysninger om resultaterne fra tapeprøver og faldtests.

Korrosionstesten i salttågekammer viste, at sol-gel overfladerne også hæmmer korrosion fra saltholdigt vand, idet de overfladebehandlede ladeluftskølere havde markant mindre korrosion end referencen (se de to fotos side 4).

Afprøvning af et sol-gel behandlet blæserhjul fra en Electrolux-tørretumbler viste, at denne overflade er god til at afvise fnuller fra det tørrede tøj (se forsidefoto) sammenlignet med referencen i rustfrit stål. Denne felttest er derfor fulgt op i USA, hvor der er særlige problemer med tilsudsning af blæserhjul. Også her har resultater af tre måneders forsøg været meget lovende.

Et forsøg med varmelegemer i vaskemaskiner er gennemført i både Danmark og Sverige, men inden afslutningen af 1. fase nåede kalkbelægningen ikke et omfang, der gjorde det muligt at sammenligne de tribologiske overflader og sol-gel behandlede legemer med de ubehandlede referencer. Denne felttest fortsætter derfor i projektets 2. fase.

Et feltforsøg med sol-gel behandlet ladeluftskøler afslørede, at sol-gel overfladen reducerede varmeovergangen, formentlig pga. en ændret strømningsprofil omkring kølefinerne. Vestas AirCoil vil derfor i projektets 2. fase forsøge at forbedre varmeovergangen med en ændret geometri af kølefinerne og gennem profilering af sol-gel overfladen, da sol-gel behandlingen har en meget positiv effekt på sodaflejring og korrosion i motoren.

**TRIBOLOGISKE OVERFLADER OG SOL-GEL OVERFLADER HAR GODE KALKAFVISENDE EGENSKABER**

## KONKLUSION:

Både laboratorie- og feltforsøg har bekræftet Teknologisk Instituts antagelse om, at tribologiske overflader og sol-gel behandlede overflader har gode kalkafvisende egenskaber, og at øget anvendelse af disse overflader kan reducere energiforbrug og øvrige drifts- og vedligeholdelsesomkostninger i de apparattyper, som har været testet i fase 1. Sol-gel behandlede overflader giver desuden god beskyttelse mod korrosion og kan derfor bane vej for øget anvendelse af aluminium, fx til ladeluftskølere og vand-

udskillere, ligesom det kan reducere behovet for de meget energikrævende processer for el- og varmforzinkning af rørplader og fortinning af elementer.

Fase 1 har afdækket enkelte problematiske aspekter ved brug af de kalkafvisende overflader, men de bør kunne løses ved tekniske indgreb, der planlægges udviklet under projektets senere faser.

FIGUR NR. 2

Tribologiske overflader - Tapetest			
4 stk. rør for hver type sammen med to referencer er belagt med kalk			
Type	Karakter	Reference	Karakter
DLC-TR 9	Rustfrit	stål	2
WC/C 10	Rustfrit	stål	2
Lakbaserede sol-gel overflader - Tapetest			
4 stk. rør for hver type sammen med to referencer er belagt med kalk			
Type	Karakter	Reference	Karakter
LRC-1 7	Rustfrit	stål	3
LRC-2 3	Rustfrit	stål	2
Lakbaserede sol-gel overflader - Tape og faldtest			
Et rør af hver type samt to referencer er belagt med kalk sammen og gentaget tre gange			
Type	Karakter tapetest		Faldtest Afrivning af kalk
	Mix 1	Mix 2	Mix 3
LRC-4, 50 nr. 1	8	9	50%
LRC-4, Rt	9	10	17%
LRC-4, 130	10	10	98%
LRC-4, M-Rt	9	10	93%
Reference 1	4	0	4%
Reference 2	2	7	28%

Med karakterer på 7-10 for de tribologiske og sol-gel behandlede overflader var hovedparten af disse klart bedre end de ubehandlede referencer med karakterer fra 2-4. Kun LRC-2 skilte sig negativt ud. Også ved faldtest var der markant forskel fra de fleste af de behandlede overflader til referencerne.

# ANBEFALINGER FOR VIDERE ANVENDELSE AF FORSKNINGSRISULTATERNE

## PRAKTISK ANVENDELSE:

Projektgruppen har fået mulighed for at fortsætte arbejdet via en bevilning fra PSO 2005. Her vil Grundfos og APV Invensys supplere Electrolux og Vestas AirCoil som leverandører af apparater, og der sættes på også at teste apparater som pumper, sensorer, vekslerplader og flader, der skal rengøres i levedsmiddelindustrien. Arla Foods medvirker i den praktiske afprøvning som slutbruger.

Herudover skal projektgruppen i fase 2 forsøge at forbedre sol-gel overfladens varmeovergang fra luft til køleelement, fx ved at ændre kølefladernes geometri.

## EFFEKT:

Der er et meget betydeligt elbesparelspotentiale i at forsyne forskellige apparater med kalk- og smudsafvisende overflader. I mange tilfælde kan der også regnes med supplerende besparelser på drift- og vedligeholdelsesomkostninger, ligesom der kan forventes længere levetider.

Teknologisk Institut har beregnet de forventede maksimale årlige elbesparelser ved at forsyne forskellige apparater med de kalk- og smudsafvisende overflader:

- Ladeluftskølere til dieselmotorer: Ca. 500 MWh
- Blæserhjul i tørretumblere: 3.800 MWh
- Varmelegemer i opvaske- og vaskemaskiner: 15.000 MWh
- Vekslerplader, især i fjernvarmenet: 40.000 MWh

Overfladeenergier og kalkafvisende egenskaber hænger ikke entydigt sammen. Derfor er der behov for at klarlægge andre parametre, som har betydning for vedhæftning af kalk og smuds.

En anden vigtig udviklingsopgave gælder metoder til at skabe indre spændinger mellem kalk og underlag og optimere disse med overfladernes gode kalkafvisende egenskaber. Med Teknologisk Instituts erfaringer fra teknik, der anvendes til produktion af sjapis, kan nanoteknologi komme på tale, ligesom der kan bruges bl.a. ultralyd og temperaturudvidelse.

I en senere fase vil der også blive brug for at optimere de sprøjte- og dyppeprocesser, der skal påføre de kalkafvisende overflader på elementer med komplicerede geometrier, for at gøre overfladebehandlede produkter mere konkurrencedygtige.

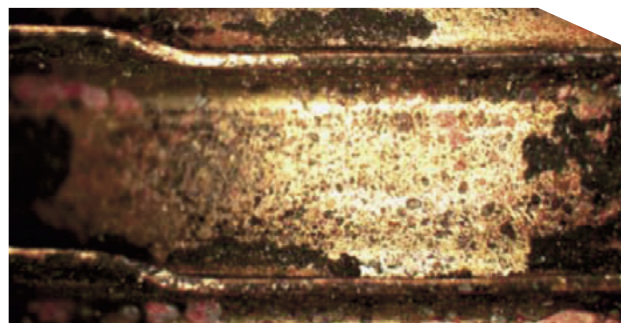
- Vådpumper: 7.000 MWh
- Støbejerns-pumpehjul: 7.500 MWh
- Kølekondensatorer: 30.000 MWh (ikke omfattet af projektets fase 2)

De beregnede elbesparelser vil blive verificeret gennem målinger under projektets fase 2. Hertil kommer et besparelspotentiale på 75.000 MWh i kraftvarmeanlæg pga. overfladernes positive bidrag til anlæggets samlede virkningsgrad.

Endelig kan der regnes med en positiv effekt på elforbrug og CO<sub>2</sub>-emissioner uden for Danmark i det omfang, dansk produceret udstyr med de kalk- og smudsafvisende overflader eksporteres.



Den ubehandlede veksler udviste kraftig korrosion efter testen hos Vestas AirCoil.



En veksler belagt med sol-gel af typen INC-23 blev ikke korroderet under testen.

[WWW.ELFORSK.DK](http://WWW.ELFORSK.DK)

### PROJEKTLEDER:

Jens Brusgaard Vestergaard  
Teknologisk Institut Industri og Energi  
Kongsvang Allé 29  
8000 Århus C

Telefon: 72 20 20 00  
Web: [www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk)

### PROJEKT:

Titel: Elbesparelser ved kalk-, fouling- og friktionsnedsættende materialer, fase 1  
Nr.: 334-008  
PSO-program 2002  
Budget: 1.400.000 kr., heraf 700.000 kr. i tilskud fra ELFORSK  
Tidsplan: 01.03.2003 - 30.09.2004

### PROGRAMKOORDINATOR:

Forskningskoordinator Jørn Borup Jensen  
Dansk Energi Net  
Rosenørns Allé 9  
1970 Frederiksberg C

E-mail: [jbj@danskenergi.dk](mailto:jbj@danskenergi.dk)  
Telefon: 35 300 934  
[www.elforsk.dk](http://www.elforsk.dk)