



Tema-katalog omkring

Functional Coating

Reducer omkostninger til korrosion og slid  
gennem brug af Chesterton Kompositmaterialer

April 2006

## General information om ARC komposit

### Producent/forhandler af ARC kompositprodukter:

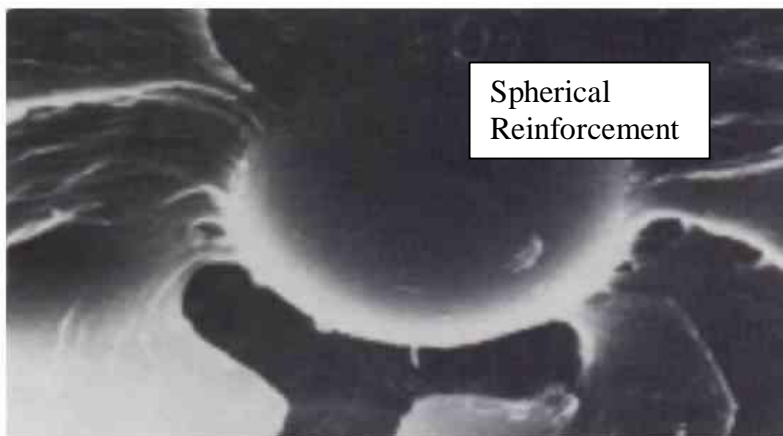
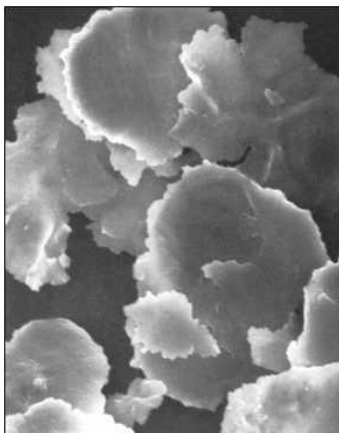
W. Chesterton ([www.chesterton.com](http://www.chesterton.com)), som har hovedkvarter i USA Boston området, er producent af ARC kompositmaterialerne. Foruden ARC, producerer Chesterton mekaniske tætninger, pakninger og vedligeholdsprodukter til industrien (fedt, olie, renevæsker mm.).

Chesterton er et familieejet selskab som er stiftet i Boston i 1884, med mere end 2000 ansatte og en årlig omsætning på 200 millioner US dollars. Focusområder er teknologi og innovation. Chesterton er ISO 9001 og 14000 certificeret. Chesterton er repræsenteret multinationalt med salg og teknisk support, enten via egne afdelinger eller selvstændige nationale forhandlere.

I Skandinavien er en række selvstændige firmaer lokal Chesterton repræsentant, i Danmark med firmaerne Danseal A/S og datterselskabet Mastertech A/S, som er dansk ejede og har haft Chesterton forhandlingen i 32 år. Påføringen af ARC kompositmaterialerne sker i Danmark af specialudannede selvstændige firmaer, hvoraf Jakob Albertsen Komposit A/S er den absolut primære udenfor kraftværkssektoren.

### ARC teknologien:

Chesterton udviklede ARC kompositmaterialerne for ca. 25 år siden. Udgangspunktet var efterspørgsel fra industrien på højteknologiske coatingsmaterialer med høj vedhæftning, stor kemikalie resistens og mulighed for at kunne modstå erosion eller slid samt lang levetid. Chestertons basis udgangspunkt for ARC var en speciel komposit epoxy med mange molekylebindinger og forstærket med keramiske partikler (der er således ikke metal i ARC komposit).



Epoxy er et bindemiddel, som for alvor er slået igennem i industrien på grund af sin særlig høje styrke og vedhæftningsevne.

I forhold til alm. malinger, som de eksempel kendes fra husholdningen, med PVA, alkyd eller akryl som bindemiddel, eller polyesterer til skibs- og vindmølleindustrien, er epoxyen særlig stærk, da der er flere bindinger mellem de enkelte molekyler.

En alm. epoxy har således 2 – 4 bindinger pr. molekyle. Den epoxy der bruges til komposit har mellem 12 og 14 bindinger pr. molekyle. Det giver særlig høj styrke og det giver særlig god vedhæftning til underlaget. ARC kompositoverfladen er meget hård, glat og ikke elektrisk ledende, hvorfor begroninger eller påbagning fra medier normalt ikke forekommer på overfladen eller i betydeligt mindre omfang end på ståloverflader.



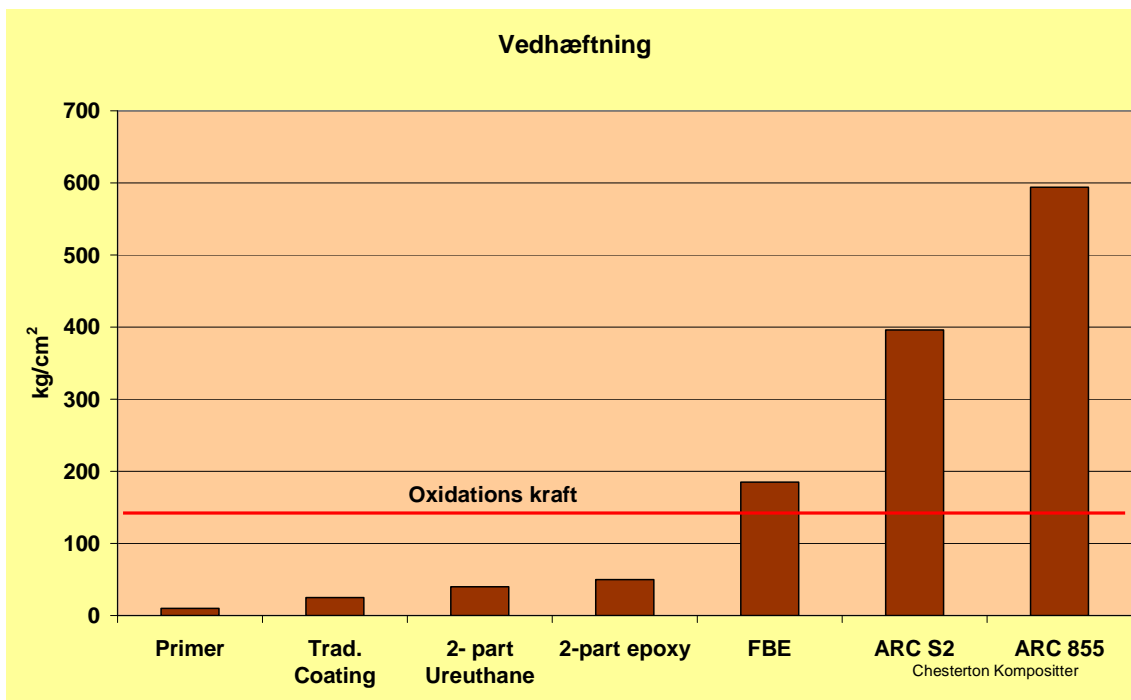
Eksempelvis fra ARC coating af ventilatorer anvendes egenskaberne med den hårde glatte overflade som mindsker eller fjerner påbagninger. Derudover forbedres ydelsen som også er gældende for pumper. Test fra bl.a. Teknologisk i forbindelse med ELFOR finansierede projekter påviser dette.

Epoxy kompositten er herudover i forskellig grad, afhængig af formålet, armeret med keramiske partikler, typisk silisiumkarbid. Skal et emne modstå høj grad af slid, for eksempel fra sand, slam etc. er der ekstra mange og ekstra store keramiske partikler i kompositten og skal emnet omvendt kun levere rent vand, er kompositten kun forstærket i mindre grad og kun med små keramiske partikler. Bemærk der er ikke metal, men alene keramik i ARC komposit.

Epoxyens gode bindingsevne fastholder keramikken, som kun langsomt slides i selv stærkt slidende miljøer. En komposit armeret med keramik er efter hærning så stærk, at der skal bruges diamantstål, hvis der efterfølgende skal bearbejdes i kompositten.

Vedhæftningsevnen til underlaget er særlig unik for kompositten. Vedhæftningsevnen skyldes dels de mange bindinger pr. molekyle, men også et særligt højt krav til renhed og ruhed på den overflade, der skal belægges med komposit.

Der er lavet test af vedhæftningsevnen for kompositten ved flere tilfælde. Alle forsøg er foretaget ved autoriserede institutter, som eksempelvis Teknologisk Institut. Der er ved alle forsøg opnået trækstyrker på over 300 kg/cm<sup>2</sup>.



Bemærk at ARC har en langt højere vedhæftning end korrosion trykker med, hvorfor underfilmkorrosion ikke kan forekomme.

Den høje trækstyrke er medvirkende til at kompositten også kan modstå høj grad af slid. Herudover betyder det at korrosionen ikke kan "kravle" ind under kompositten, hvis der opstår en skade, da den normale korrosionsproces "kun" udvikler et tryk svarende til 150 kg/cm<sup>2</sup>.

Det vil sige at hvis der sker en skade på en belægning med komposit, vil skaden begrænse sig til et mindre areal. Der kan dog godt opstå grubetæringer i skadearealet, som følge af galvanisk korrosion, så det er en fordel at udbedre skaden i tiden.



ARC S2

### ARC, kemisk resistens.

Opbygningen med de mange molekylebindinger betyder også, at kemisk resistens er højere end i traditionelle coatingsmaterialer på grund af materialernes vedhæftning og tætte struktur. ARC anvendes derfor i stort omfang til kemisk beskyttelse i kraftværkers afsvovlingsanlæg hvor kraftige syrepåvirkninger forekommer ved temperaturer under kondenseringspunktet, eksempelvis Gas/gas heatere, ren- og rågaskanaler samt i absorbere.

ARC har i stort omfang udvist længere levetider end materialetyper som korstenstål, syrefast rustfrit, Hastaloy C og SMO stål. I medicinalindustrien anvendes ARC også bredt til korrosionsbeskyttelse af kemisk/termisk meget belastede områder. I bilag e er oplistet en reduceret og dermed offshore relevant kemisk resistens tabel. Den fulde tabel fylder 6 A4 sider.

### Påføring af ARC komposit:

Der anvendes påføringsmetoder afhængig af opgavens art. Ved stort slid, spartles en typisk 3 mm. tyk ARC belægning på emnet. Ved beskyttelse imod korrosion og erosion påføres typisk 2 lag ARC til samlet lagtykkelse på 800 – 1000 my, ved pensel, rulle eller 2 komponent sprøjte.

Chestertons krav til overfladeforberedelse er sandblæst overflade fri for enhver form for forurening\*) renheden skal være min. SA 2,5 og ruhedsprofilen (R-max.) mellem 75 – 125 my. Der kræves en min. temp. på 10°C for påføring og hærkning. Hvis man har mulighed for det, vil en temperatur på emnet og påføringsomgivelserne på 20 – 25°C, være og foretrække. Hærdetiden før emnet er klar til drift, er afhængig af temperaturen, kan vare fra timer til dage. Dog kan hærdeprocessen accelereres ved tilførsel af varme og typisk forkortes til max. 4 – 6 timer, således at hurtige coatinger og eventuelle reparationer er mulige.

\*) måleudstyr for eventuel overfladeforurening samt måleudstyr til kvalitetssikring. Chesterton har grænseværdier for forskellige former for forureninger som stål-overflader kan have, samt henvisninger til og vejledning for forskelligt egnet måleudstyr og metoder for fjernelse af forurenin-gerne. Efter påføringen måles og kontrolleres f.eks. lagtykkelsen og poretest. Til højre ses noget at det anvendte måleudstyr.



### Anvendelsesområder for ARC komposit.

Globalt anvendes ARC teknologien i dag indenfor alle væsentlige industriområder, dog med variationer fra de forskellige verdensdele og lande. I Skandinavien er kemisk industri, papirfabrikker og kraftværker de større anvendelsesområder.

I Danmark er anvendelsen bred i industrien dog har kraftværkerne, i særdeleshed det sjællandske E2, taget teknologien til sig og anvender ARC coatinger som primært coatingsmateriale i saltvandssystemer udsatte for korrosion og erosion. Et andet stort anvendelsesområde på kraftværkerne er ekstrem korrosionsbeskyttelse og slidbeskyttelse i afsvovlingsanlæg samt slidbeskyttelse af udstyr til aske og slagge behandling. E2 kraftværkerne har for 6 år siden, etableret Deres egen kompositafdeling som arbejder for alle E2 værkerne, både kraftværkerne og de decentrale kraftvarmeværker.

Afdelingen er beliggende på Asnæsværket i Kalundborg. Indenfor de seneste år udføres også mange ARC coatingsarbejder for ELSAM værkerne, igen med hovedvægt på emner i saltvand og udsatte for korrosion og erosion. '

Der er i bilag d oplistet relevante danske referencer.

### Referencer for anvendelse af ARC komposit off-shore.

ARC coatinger anvendes i større omfang i Brasilien af Petrobras. For nylig har man i USA, på opgave fra Petrobras, hos CENPES, materials testing and approval center, testet produktet ARC 855 HT med en temperaturresistens i våde medier på 150°C., med henblik på fortsat/yderligere anvendelse i separatorer.

Test parametrene, temperatur og mediesammensætning, er forsøgt genskabt i testen incl. CO<sup>2</sup> (96%) og H<sup>2</sup>S (4%). Resultatet herfra var at ARC 855 HT klarede testkravene, som var opstillet af Petrobras. Der var af Petrobras udvalgt ca. 20 forskellige produkter til testen. Kun 1 produkt ud over ARC 855 HT klarede testen.

Der bliver også anvendt ARC indenfor off-shore andre steder end i Brasilien, men anvendelserne disse steder er typisk begrænset til enkelte anvendelsesområder, f.eks. i Norge hvor saltvandspumper har været ARC coatede igennem mange år.

Der er i bilagene opliste relevante referencer for ARC anvendelse.

## Bilag a: Referencer Chesteton Komposit

Eksempler på Danske ARC referencer, udvalgt efter anvendelse som korrosionsbeskyttelse og beskyttelse imod erosion fra søvand og spildevand.



Spildevandspumpe fra **Københavns Energi**, Kløvermarkens Pumpestation. Kapacitet er 4000 l. spildevand/sec. Spildevandet, som kommer fra Amager, indeholder relativt meget sand og andre partikler samt ofte også kemikalier fra industriområdet. Tv. billeder fra ARC kompositbelægningen, ARC 855 i 2 lag a ca. 400 my.



Pumpehus og løbehjul efter mere end 2 års kontinuerlig drift. Ingen skader på ARC belægningen. NB. Det der ligner skader er belægninger.



Hovedkølevandspumper fra **Energi E2 Asnæsværket**. Pumpernes kapacitet er på 22 m<sup>3</sup>/sec. søvand med sandpartikler Billeder stammer fra ARC kompositbelægning i 1996. Det lille billede viser pumpens tilstand før ARC belægning, med kraftig underfilmkorrosion. Fra 1996 og indtil nu, er stort set alle hovedkølevandspumper + hjælpekølevandspumper på alle E 2 værker belagt med ARC.



Samme pumper i 2004 efter 8 års kontinuerlig drift. Yderst minimale skader, sammenlagt mindre en 0,5 m<sup>2</sup>. Den brune beægning er rest af jernvitriol som tilsættes kølevandet for at beskytte rør i kondensatorer. Værket havde afsat budget til indkøb af 2 nye hovedkølevandspumper i 2004, men på grund af pumperne tilstand efter ARC coatingen, blev sparet en investering på et to-cifret millionbeløb.



ARC pålægning af båndsigte, placeret før hovedkølevandspumper, i dette tilfælde til **E2 Avedøreværket**. Båndsigte er udsatte for gennemløb af ekstremt store vandmængder og erosion fra sand, muslinger mm.



ARC belægning af kondensatorvandskamre (afgang) i 1998, i dette tilfælde blok 5 på **E2 Asnæsværket**. Alle 8 kamre, til og afgang blev ARC belagt. ARC komposit blev valgt på de tidligere gummierede arealer, på grund af pris, levetid og mulighed for hurtig efter reparation.





Samme kondensatorvandkammer i 2005 ved inspektion. Resultat, minimale skader på ARC belægningen, alle opstået ved mekanisk påvirkning ved udskiftning eller lukning af kondensatorrør.



ARC coatede rørføringer fra hovedkølevandspumper til kondensatorer, i dette tilfælde fra **E2 Asnæsværket** blok 5. Indvendig ARC SD4i og udvendig ARC S1.



Eksempel på ARC anvendt som slidbelægning. Øverste billede viser prelrør (kul) placeret efter kulmølle. Pålagt 3 mm. ARC 897, før drift. I dette tilfælde **fra E2 Amagerværket**.

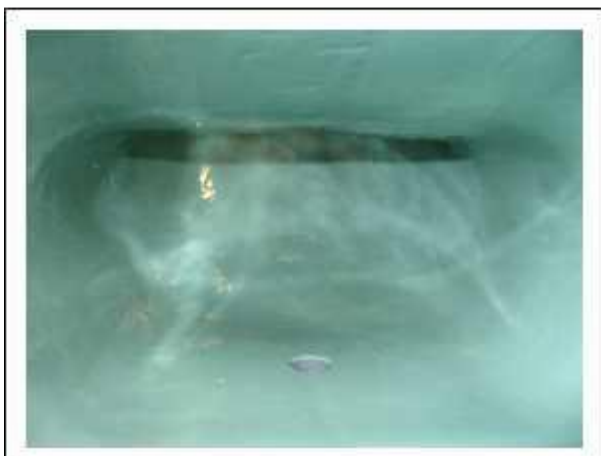


Nederste billede er rør efter mere end 2 års kontinuerlig drift, mindre end 1 mm. ARC 897 er bortslidt.



### Bilag c: Coating af pumper

Efter rensning og sandblæsning, coates i to lag i forskellig farve af ca. 3 – 400 my. Løbehjul coates også. Det viste eksempel er en Grundfos pumpe til en svømmehal. Den meget glatte overflade reducerer energiforbruget til pumpen med 10- 20%, samtidig med at pumpen ikke korroderer.



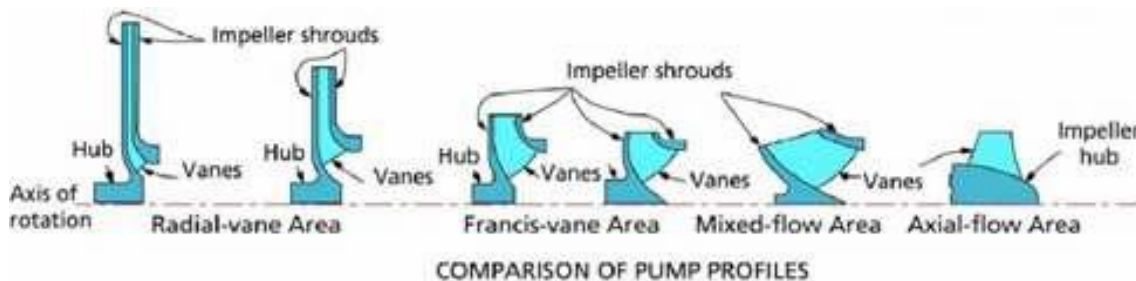
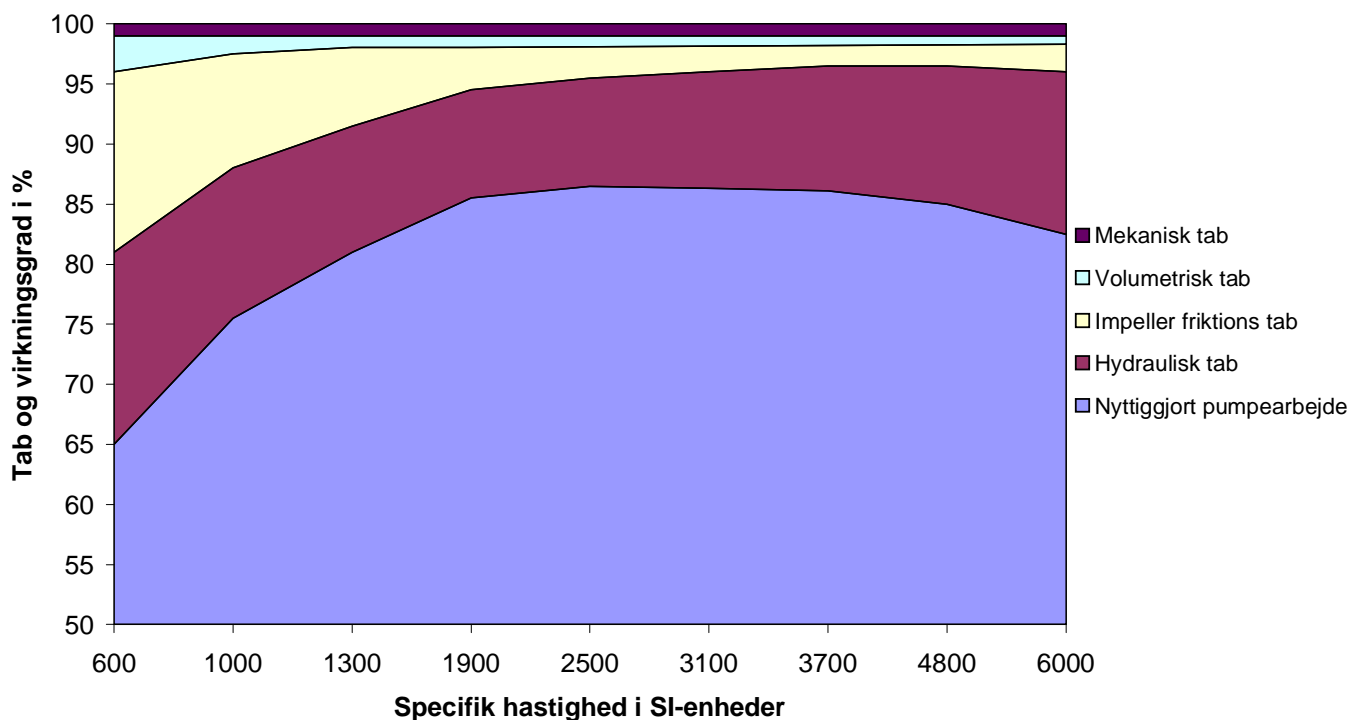
## Bilag d: Energibesparelser ved at coate pumper

Universitetet i Darmstadt i Tyskland har ved hjælp af mange test på forskellige pumpetyper, fra radiale til aksiale pumper, kunnet beskrive sammenhængen mellem tab i en pumpe og så pumpens konstruktion.

Tab i pumper skyldes dels hydrauliske tab gennem pumpen, dels tab ved at impelleren (løbejule) roterer med høj hastighed i væsken i pumpen.

Begge tab reduceres ved en coating af pumpens inderside.

Tab i pumper

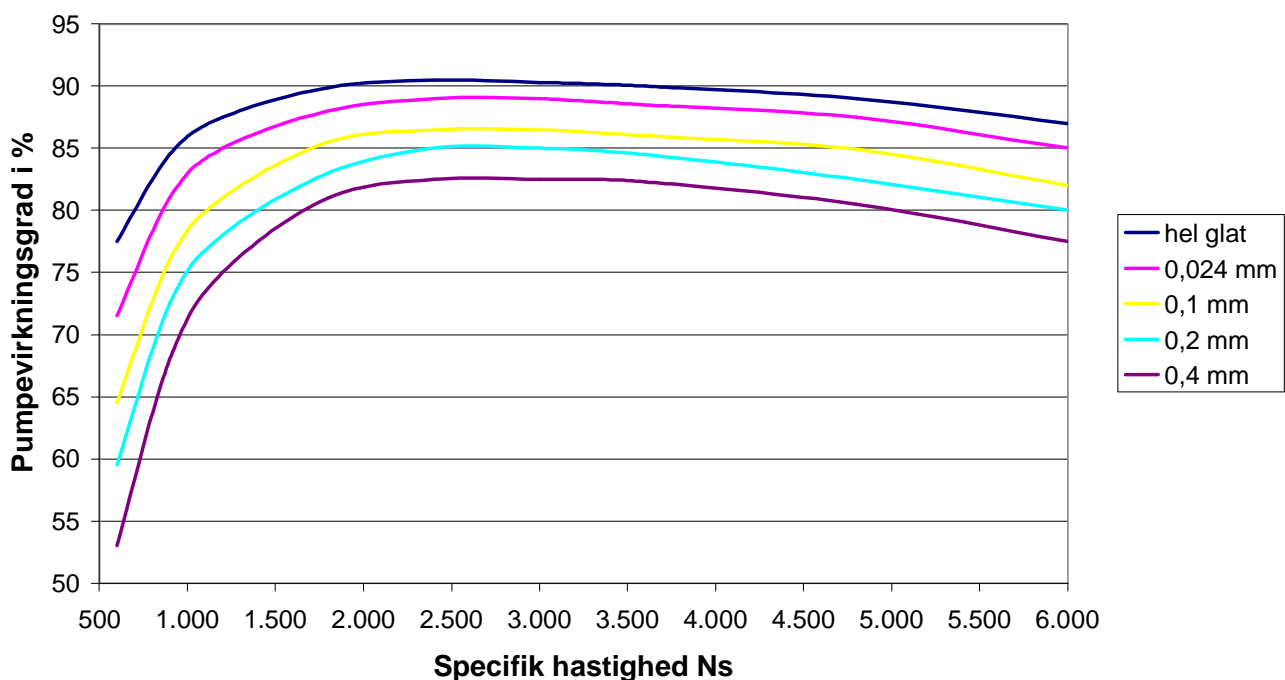


Forskerne på Darmstadt Universitet i Tyskland har efterfølgende kunnet bevise at det er ruheden af metallet inde i pumpen, der forårsager energitabet.

Beviset er ført ved at gøre en pumpe helt glat ved polering. Den heraf følgende virkningsgrad kommer op på over 90%.

Ved herefter at pålime den glatte overflade stigende størrelser af sandkorn, og dermed stigende ruhed, og herefter at måle på pumpen igen, har forskerne kunnet påvise at virkningsgraden falder ved stigende ruhed i pumpen.

**Pumpevirkningsgrad i afhængighed af ruhed**



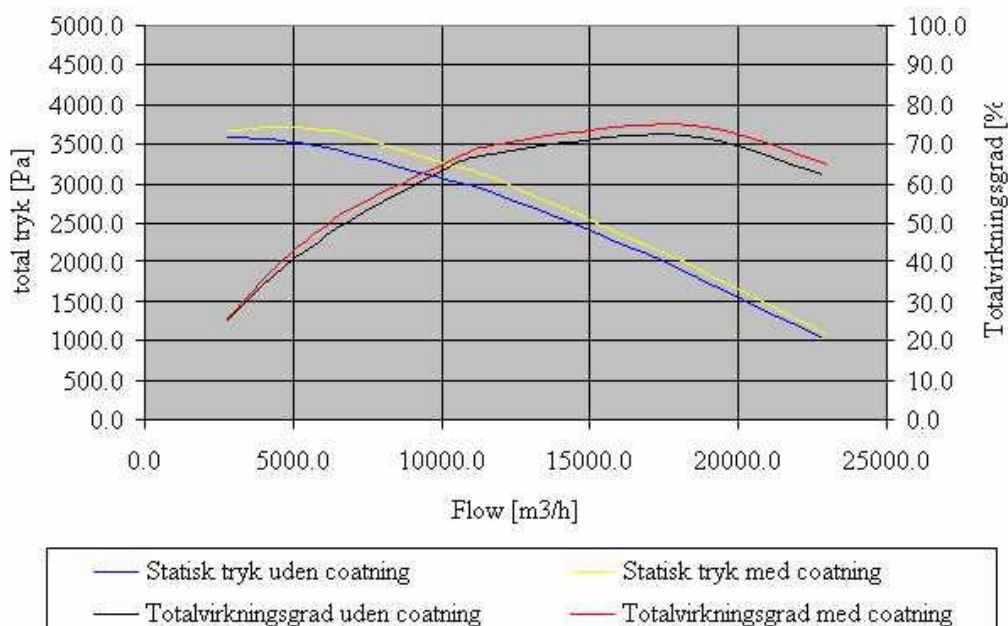
## Bilag e: Energibesparelse ved at coate ventilatorer

Foreløbige undersøgelser har vist at der ligeledes kan opnås energibesparelser ved at coate ventilatorer. Det skyldes ligesom ved pumper, komposittens glatte overflade.

Udover den opnåelige energibesparelse viser erfaringerne at coatede ventilatorer ikke har tilsvarende problemer med påbagninger fra støv eller materialer i den luftstrøm, der transporteres. Evt. mindre påbagninger vil efter en coating let kunne fjernes med en højtryksrensning.



Test af ventilator med/ uden coating



### Bilag f: Modifikation af coatede emner



Når først rør eller andre emner er coatet med FBE eller komposit, er det muligt at foretage modifikationer på installationerne og herefter reetablere coatingen til oprindelig kvalitet og niveau.

Det er simpelt at foretage modifikationer på coatede installationer, men det er samtidig vigtigt at give aktiviteter foretages og overholdes, da levetiden for reparationen ellers reduceres.

Skal der eksempelvis monteres et T-stykke på et lige coatet rør, gøres det på følgende måde:

- 1) Røret overskæres og en afmålt passende længde af røret fjernes.
- 2) Der foretages rengøring af den indvendige og den udvendige side af røret i 2 x diameteren med passende solvent for at fjerne belægninger og forureninger på coatingen.
- 3) De tilbageblevne rør ender slibes rene for coating, svarende til 1 x diameteren inde og uden på røret. Skal der slibes i komposit, må der forventes længere slibetid, da komposit er mere eller mindre armeret med keramiske partikler, som reducerer levetiden for slibemidlet.
- 4) På de rene rør ender påsvejses flanger. Herefter kontrolleres svejsning efter sædvanlige standarder.
- 5) Det er vigtigt at det rene stål er så ru som muligt. Det opnås ved at bruge en grov sliberondel eller groft slibepapir. Efter endt svejsning foretages ru slibning.
- 6) Der slibes ca. 5 cm. ind over den intakte coating, for at få overlap. Det gøres med forsigtighed, således at belægningen her ikke slibes helt af, men kun gøres ru.
- 7) Er røret udført i rustfri kvalitet foretaget evt. bejdsning af svejsningen med pensel.

- 8) Det nu ru og rene stål, samt den ru slebne coating er nu klar til reparationsbelægning
- 9) FBE belagte rør repareres med Hempadur, som er kemisk hærdende våd epoxy, eller Komposit eksempelvis ARC 855 eller ARC S2.
- 10) Komposit belagte rør repareres med den tilsvarende kemisk hærdende Komposit.
- 11) Der gives to lag coating. 2. lag gives indenfor overmalingsintervallet.
- 12) Coatingen hærdes færdig. Hærdningen kan evt. forceres ved at tilsætte varme til processen. Ved forceret hærdning kan hærdningstiden reduceres til 4 - 5 timer.
- 13) Efter endt hærdning af belægningen, kontrolleres reparationen for porer efter vådsvamp metoden.
- 14) Evt. porer repareres ved en let ru slibning omkring hullet og en efterfølgende coating som 9) og frem.
- 15) Det indsætte T-stykke kan coates efter ovennævnte princip eller det kan coates on-shore. Den bedste løsning er en coating på vor fabrik, vor alle omgivelsesbetingelse, såsom temperatur og fugtighed er kontrollerede.



**Bilag g: Reduktion af Scale**

Scale er belægninger af mineraler. Belægningerne viser sig eksempelvis i rør, ventiler og pumper. Opbygningen af scale i rørene medfører stigende ruhed og turbulens og dermed i sidste ende øget tryktab i rørene. Øget tryktab medfører stigende belastning for pumperne og reduceret flow. Scale belægninger kan indeslutte små væskemængder op mod en rørvæg, i denne kan der dannes forudsætning for et fremskyndet korrosivt miljø der kan medføre reduceret levetid for rørsystemet.



Problemerne med scale kan betyde, at der på trods af tilsætning af kemiske scale inhibitorer til processen stadig er behov at udføre udsyring i anlægget for at opretholde effektiviteten. Udsyringsvæsken er en syreholdig væske som pumpes igennem rørene og til dels opløser scalen, som derved opløses/løses sig og rives med væsken videre i proces systemet.

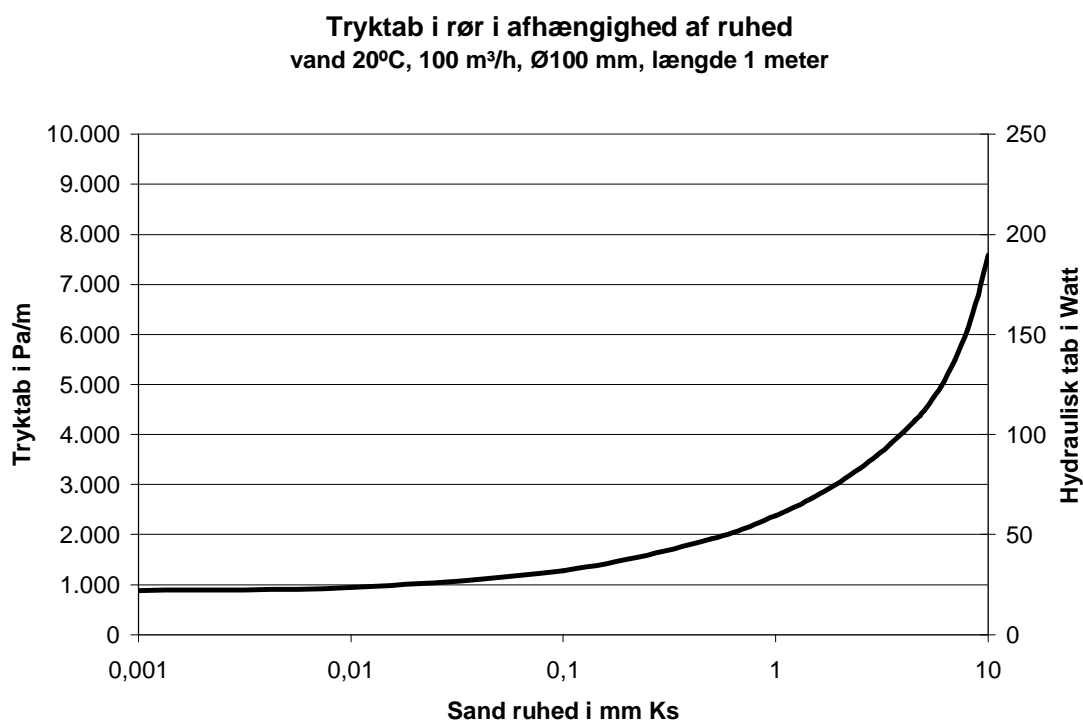
Afsyringerne virker ikke tilfredsstillende i alle tilfælde. I nogle anlægsdele opbygges scalen kraftigere end andre steder, evt. forårsaget af rørenes geometri, tryk / temperatur forhold det pågældende sted. Opbygningen af scale på disse steder opløses kun langsomt af syren, med det resultat at der langsomt bygges mere scale op end der fjernes ved periodiske udsyrings aktiviteter. Endelig vil de jævnlige afsyringer i rørstrækningerne med tiden korrodere rørene, som herved bliver ru og ujævne med det resultat, at scale har endnu nemmere ved at bygge op og rest levetiden for rørene reduceres.

Belægning på indersiden af rørene med FBE eller Komposit vil til dels kunne løse problemet med opbygningen af scale i rørene. Det skyldes følgende forhold:

- Begge materialer er opbygget af epoxy, som har en lav friktionskoefficient
- Evt. pågroning kan let fjernes mekanisk eller kemisk
- Begge produkter kan tåle den kemiske afsyring og forbliver intakte
- Modstandsdygtig over for et varigt korrosivt miljø

Resultatet af en belægning med FBE eller Komposit vil derfor være at opbygningen af scale i rørene vil foregå i et langsommere tempo, således at intervallerne for afsyring kan reduceres.

Herudover vil resultatet af en afsyring være at rørene hver gang bliver mere rene, da den evt. pågroning er beskeden og har ringe vedhæftning til den glatte overflade. Dvs. efter en afsyring starter evt. pågroning forfra og igen langsommere. Belægningen med FBE eller Komposit kan tåle den kemiske afsyring og tager således ikke skade heraf.



Figur 1: Tryktab i rør i afhængighed af ruhed

På ovenstående figur ses tryktabet i rør i afhængighed af ruheden i røret. Ruheden er her defineret efter Nikarauds Standard for ruhed, hvor sandruheden i mm. refererer til diameteren på sandkorn, som er pålimet en given overflade. Ved f.eks. en sand ruhed på 1 mm. vil det svare den til ruhed der fremkommer ved pålimning af 1 mm. store sandkorn på en overflade.

**Sandruheder**

materiale	tilstand	sandruhed i mm
Letmetal	teknisk glat	0,001 - 0,005
Stål	nyt	0,03 - 0,1
	rustent	0,1 - 0,5
	meget rustent	1 - 4
Galvaniseret stål	nyt	0,1 - 0,3
	kalkbelagt	0,5 - 2,0
Støbejern	nyt	0,2 - 0,6
	rustent	0,5 - 1,5
	meget rustent	2 - 5