

Coating af pumper

Hans Andersen Teknologisk Institut,
John Moritzen Jakob Albertsen A/S og
Erik Gudbjerg Lokalenergi Handel A/S



| | |
|-----------------------------|---|
| Titel | Coating af pumper |
| Serietitel | Lokalenergi 2006:1 |
| Udgave | 1 |
| Udgivelsesår | 2006 |
| Forfatter | Hans Andersen, John Moritzen og Erik Gudbjerg |
| Sprog | Dansk |
| Sidetal | 45 |
| Emneord | Coating, pumper, elforbrug, energiadfærd, energioptimering, vedligehold |
| ISBN | 87-991436-1-5 |
| Pris | Kr. 75,00 inkl. 25% moms |
| Tekstbehandling | Jeanette Søndberg |
| Omslag/ Tryk/ Udgiver | Lokalenergi Handel A/S Skanderborgvej 180 8260 Viby J E-post: post@lokalenergi.dk www.lokalenergi.dk |

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:
Lokalenergi 2006: 1: Coating af pumper

Indhold

| | |
|---|----|
| Indhold | 3 |
| Forord | 4 |
| Sammenfatning | 5 |
| Konklusion | 6 |
| 1 Overfladenedbrydning | 8 |
| 1.1 Overfladenedbrydning ved korrosion | 8 |
| 1.2 Overfladenedbrydning ved erosion | 9 |
| 1.3 Tab af virkningsgrad som følge af overfladenedbrydning | 10 |
| 2 Energiomsætning i pumper | 11 |
| 2.1 Mekaniske tab | 12 |
| 2.2 Volumetriske tab (lækagetab) | 12 |
| 2.3 Løbehjulsrotationstab | 12 |
| 2.4 Hydrauliske tab | 12 |
| 3 Beskrivelse af den nuværende anvendte teknologi til coating af pumper | 13 |
| 3.1 Epoxycoating armeret med keramiske partikler | 13 |
| 3.2 Vedhæftningsevne til underlaget | 14 |
| 3.3 Coatingtyper til forskellige applikationer | 15 |
| 4 Beskrivelse af arbejdsprocessen ved den nuværende coating af en pumpe | 16 |
| 4.1 Nedtagning og transport af pumpen | 16 |
| 4.2 Adskillelse og rensning af pumpehus og løbehjul | 17 |
| 4.3 Sandblæsning og ønsket ruhed | 17 |
| 4.4 Coating | 19 |
| 4.5 Renovering af indre slidring og akseltætning | 21 |
| 4.5.1 Renovering af slidringen | 21 |
| 4.5.2 Renovering af lejer og akseltætninger | 22 |
| 4.6 Reetablering af pumpens ydelse efter coating | 22 |
| 4.7 Viden omkring effektivitetsforbedring ved en coating af en pumpe | 23 |
| 5 Beskrivelse af alternative teknologier til den traditionelle coating | 24 |
| 5.1 Analyse af de enkelte teknologier til beskyttelse af pumper | 25 |
| 5.2 Analyse af forventet levetid for beskyttelsesmetoder | 25 |
| 5.3 Analyse og sammenligning af prisniveau | 26 |
| 6 Test på udvalgte pumper | 27 |
| 6.1 Alle resultater | 29 |
| 6.1.1 Roskilde Sygehus | 30 |
| 6.1.2 Skagen Varmeværk | 32 |
| 6.1.3 Holstebro Badeland | 34 |
| 6.1.4 Hjørring Varmeforsyning | 38 |
| 6.1.5 Holstebro Varmeforsyning | 40 |
| 6.1.6 DESMI - model PVLN 1050.23 | 43 |

Bilagsrapport:

- 1 Coatingteori og teknologi
- 2 Formidlingsoversigt

Forord

Dette projekt er gennemført i et samarbejde mellem Lokalenergi (LE) og Jakob Albertsen A/S, Mastertech, Desmi, Teknologisk Institut (TI) og er støttet af Elnetselskabernes F&U program for effektiv elanvendelse.

Projektleder på projektet var Jeanette Thøgersen (LE), som sammen med Hans Andersen (TI) har stået for den praktiske afvikling af projektet. Mastertec har sammen med John Mouritzen og Mads Kogsgaard Hansen stået for fagligheden inden for coatings- og overfladebehandlingsteknikken.

Rapporten er udarbejdet af Jeanette Thøgersen, Hans Andersen, John Mouritzen og Mads Krogsgaard Hansen, Erik Gudbjerg har været faglig konsulent.

Vi ser denne rapport som et værktøj til at belyse mulighederne for at anvende coatings-teknikken til at øge energieffektiviteten i DK samt reducere vedligeholdelsesomkostninger på pumpeområdet.

Ud over nærværende rapport er der offentliggjort en række artikler i diverse fagblade samt internationale artikler (Erik Gudbjerg og Hans Andersen 2005).

Projektet vil gerne takke Desmi og de firmaer, der har indvilget i at være testsite i projektet.

2006-10-03

Erik Gudbjerg
Lokalenergi

Sammenfatning

Coating af pumper er en relativ ny aktivitet. Man har i mange år coatet rør og beholdere indvendig for at undgå korrosion, men i pumper er teknologien først benyttet inden for de seneste 10 år. Teknologien stammer fra USA og er oprindeligt udviklet i rumfartsindustrien som en særlig slidstærk og korrosionsbestandig belægning. Alligevel er fænomenet at coate en pumpe inderside nævnt så tidligt som i 1947 i den amerikanske lærebog "Axial flow pump" som et middel til at reducere ruhed og dermed opnå højere ydelse og reducere energiforbrug.

I forbindelse med Europump, et europæisk pumpe samarbejde og den Europæiske kommissions arbejde med energibesparelser i pumper, er der kommet mere interesse omkring tab i pumper og dermed også coating af pumper med det formål at forbedre pumpevirkningsgrad. Universitetet i Darmstadt, der har specielle kompetencer inden for pumpe systemer og energiforbrug, har i denne forbindelse i en årrække forsket i energiomsætning i pumper, herunder effektivitetstab som følge af ruhed.

På trods af denne omtale er teknologien ikke særligt udbredt. Det skyldes dels et manglende kendskab fra pumpefabrikanternes og slutbrugernes side, dels almindelige barrierer for markedsindtrængning til brugerne af pumper. Dette projekt er støttet med det formål at opnå større viden og markedsindtrængning i Danmark omkring coating af pumper.

Projektet er en videreudvikling af resultater fundet i et tidligere F&U-projekt, hvor der blev udført målinger før og efter en coating på to forskellige installationer. Begge installationer viste store forbedringer i virkningsgraden.

En granskning af teorien bag tab i pumper, og hvad der har indflydelse på virkningsgraden, var derfor nødvendig, for at kunne "opskallere" resultaterne til at gælde et bredere udsnit af pumper.

Derfor dette projekt, hvor den teoretiske granskning suppleres med målinger på flere pumper – det er i udvælgelsen af pumperne forsøgt at styre hvilke typer af tab, man kunne forbedre på. F.eks. er nogle af forsøgene gennemført i etaper – en coating af løberen alene sammenlignet med en coating af både løber og pumpehus. Det er forsøgt at gøre hver forsøgsrække unik for på denne måde at teste teorien bag coating – med det begrænsede antal af forsøg, der var til rådighed inden for projektets rammer.

Konklusion

Resultater

Coating af komposit-typen har en meget høj grad af vedhæftning og danner en helt glat overflade (med lavere ruhed end fabriksnye pumper). I projektet har vi undersøgt ruhedens indflydelse på virkningsgraden – både teoretisk og via forsøg – begge undersøgelser understreger, at en mindre ruhed giver en forbedret virkningsgrad.

Projektet viser, at coating har en positiv energimæssig effekt på 5 ud af de 7 test-pumper – forsøgene viser forbedringer helt op til 20 %.

Ud over den forbedrede virkningsgrad vil coating også give lavere vedligeholdelsesomkostninger, idet pumperne vil blive mere modstandsdygtige over for korrosion og slid. Pumperne vil altså kunne fastholde den høje virkningsgrad længere med coating.

Caseberegningerne viser, at det (bortset fra den allermindste pumpe) vil være økonomisk fordelagtigt at coate pumperne – med coatingomkostningerne dækket ind igen efter 3-8 år. For pumper i varmforsyninger er selv 8 år interessant – da man her må forvente en meget længere levetid på pumpen.

Hovedbarrieren for at udbrede coating-teknologien er, at den stadig er relativt omkostningstung – blandt andet på grund af den vigtige overfladeklargøring, inden materialet påføres. I projektet har vi via Teknologisk Institut's Tribologi-center undersøgt mulige alternativer – uden dog at kunne pege specifikt på en pt. tilgængelig teknologi, når pris, funktionalitet og forventet levetid indgår i sammenligningen.

Med tiden forventes det, at coatingprisen vil falde – dels pga. en større udbredelse og dels pga. udvikling af nye og mindre omkostningstunge påføringsmetoder. Det vil specielt for de små pumper være oplagt, at påføre coatingmaterialet allerede i produktionen, hvis løsningen skal være økonomisk attraktiv.

Aktiviteter

Projektet har via kontakter til universiteter og coatingleverandørens udviklingsafdeling kunnet leverere et hidtil uset samlet overblik over tab i pumper – og de faktorer, hvormed man kan påvirke disse tab.

Som verifikation af teorien er der udført forsøg på en række pumper – badeland, varmeværk, varmeanlæg – både gamle og fabriksnye pumper fra 0,75–110kW – 26 forsøg i alt. Forsøgene er udført på hhv. Teknologisk Institut, Grundfos, Desmi eller på selve installationen. Forsøgsrækken har givet et mere nuanceret billede af coatingens effekt på de forskellige pumper.

De meget små pumper er taget med i projektet for at afdække coatingens effekt på disse små pumper, hvor dimensionerne er noget mindre, og ydelsen derfor kunne tænkes at ville falde pga. coatingens lagtykkelse. Ydelsen blev ikke forringet – men der kunne heller ikke måles en signifikant forbedring i virkningsgrad for en ny pumpe.

De øvrige resultater viser en energimæssig forbedring over hele linien. I pumpernes bedst-virkningsgradpunkt er der målt forbedringer i virkningsgraden imellem 3 og 20 %. De mest markante forbedringer ses på de "gamle" slidte pumper, hvilket ikke er overraskende. Mere overraskende er det, at coatingen giver virkningsgradsforbedringer på 12-14 % på nogle af de helt fabriksnye pumper. Så bortset fra de mindste pumper er konklusionen, at coatingen er en energimæssig forbedring for langt de fleste pumper.

Et af projektets formål har været at få formidlet viden omkring coating. Dette er sket via foredrag, offentliggørelse af projektets resultater i artikler i tekniske fagblade og via trykning af en folder med vejledning til, hvordan man skal gennemføre en coating-opgave.

Fremtidsperspektiver

Der tegner sig et spændende fremtidsperspektiv, hvis man kunne sænke prisen for coatingen, enten med samme påføringsteknologi, som anvendt i dette projekt, eller med andre typer af påføring. Overfladeklargøringen vil dog stadig være en essentiel opgave at få løst, idet holdbarheden af coatingen afhænger af den rette overflade, for at vedhæftningen er god nok. Man kunne også arbejde videre med andre typer af coating, hvor holdbarheden ikke er så høj, men energibesparelsen den samme. Det store potentiale ligger jo i "almindelige" pumper, hvor krav til korrosionsbestandighed ikke er det vigtige.

I det store perspektiv kunne coatingen udbredes til f.eks. ventilation i belastede miljøer, hvor en glattere overflade ud over en energimæssig gevinst også kunne give brugerne mindre udgifter til vedligehold og bedre kvalitet p.g.a. fastholdt ydelse over tid og færre driftsstop for at rense ventilatorerne.

1 Overfladenedbrydning

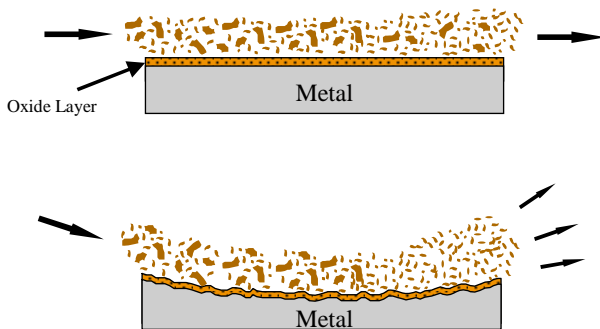
Pumpers virkningsgrad reduceres over tid på grund af korrosion og slid. Derfor er det valgt at give en teoretisk generel indføring i begreberne om korrosion og slid.

1.1 Overfladenedbrydning ved korrosion

Fra ny har en pumpe en ren og forholdsvis glat overflade i pumpehus og på løbehjulet. Med tiden bliver denne overflade nedbrudt dels af korrosion, dels af erosion i pumpen.

Korrosion af pumpens overflade er en naturlig og forventelig proces. Korrosionshastigheden afhænger af det materiale, som pumpehus og løbehjul er lavet af, og det afhænger af det medie, der skal pumpes. I medfølgende bilagsrapport er der redegjort teoretisk for korrosion i pumper.

Resultatet af korrosion i pumper er, at der fjernes materiale fra pumpes overflade, som giver pumpe og løbehjul en ru og uensartet overflade.



Figur 1: Overfladenedbrydning som følge af korrosion.
Kilde: Chesterton



Billede 1: Korroderet pumpehus.
Kilde: Chesterton

Korrosionstabet kan antage store værdier. Eksempelvis er korrosion i havvand særlig stor, da saltindholdet i havvandet forstærker korrosionsprocessen.

Korrosion af stål neddyppet i havvand

| Korrosionstab | $\mu\text{m}/\text{år}$ |
|-----------------------------|-------------------------|
| Gennemsnitlig korrosionstab | 100 - 200 |
| Grubetæringsdybde op til | 400 - 600 |

Tabel 1: Korrosion af stål i havvand

Kilde: Korrosion, Force-Instituttet, 2004

I medfølgende bilagsrapport er der yderligere redegjort teoretisk for korrosion i pumper.

1.2 Overfladenedbrydning ved erosion

Er korrosion ligeledes ledsaget af erosion, dvs. påvirkning fra slidende partikler eller kavitation, forstærkes overfladenedbrydningen yderligere.

De slidende partikler kan være grovkornede som sandpartikler, men de kan også være små, eksempelvis i en kalkopløsning. Et sådant slid på pumpen kan være særdeles stort, specielt hvis påvirkningen er konstant.

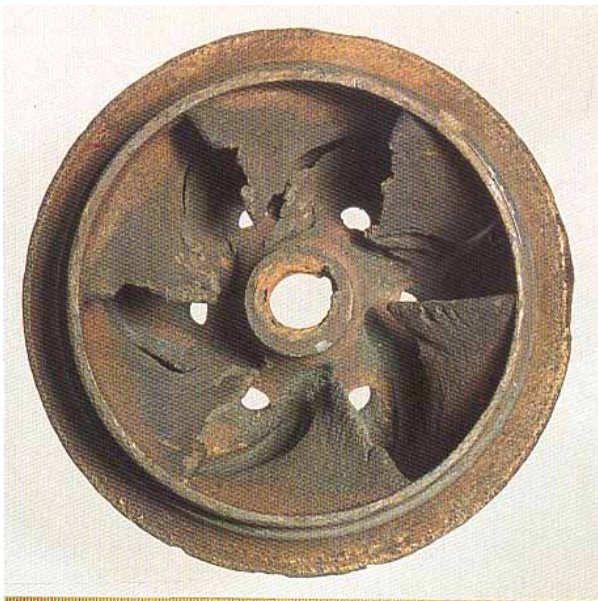
Kavitation i en pumpe er forårsaget af for lavt sugetryk i forhold til pumpemediets kogepunkt. Herved dannes bobler, som falder sammen, når de når pumpens trykside. Det medfører meget store kræfter på pumpen, hvorved materiale fra pumpes overflade fjernes.

I medfølgende bilagsrapport er der redegjort teoretisk for erosion i pumper.

| Hastighedserosion | Erosionshastighed i mg/dm ² /d | | |
|-------------------|---|---------|---------|
| | 0,3 m/s | 1,2 m/s | 8,2 m/s |
| Metal | | | |
| Stål | 34 | 72 | 254 |
| Støbejern | 45 | - | 270 |
| Bronze | 7 | 2 | 280 |
| Aluminiums bronze | 5 | - | 236 |
| rustfrit stål | 1 | 0 | 1 |

Tabel 2: Hastighedserosion for forskellige metaller udsat for havvand. Hastigheden er givet i mg fjernet materiale pr. kvadratdecimeter pr. døgn.

Kilde: *Metals Handbook 9. edition, volume 13, Corrosion*



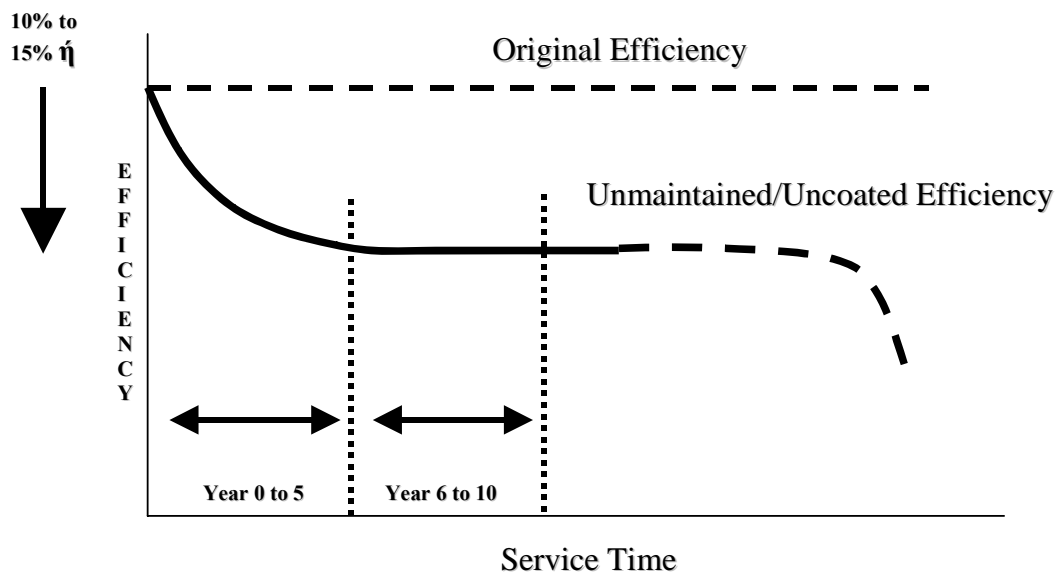
Billede 2: Eksempel på erosions korrosion i et løbehjul af støbejern. Her forekommer der både korrosive og et slidende elementer. De korrosive elementer skaber korrosionsprodukter, som de slidende elementer herefter fjerner, hvorved materialet langsomt fjernes

Kilde: *Korrosion Atlas, steel metals*

1.3 Tab af virkningsgrad som følge af overfladenedbrydning

Overfladenedbrydningen i pumper medfører stigende ruhed, som igen medfører tab i ydelse og virkningsgrad. Der er i medfølgende bilagsrapport redegjort teoretisk herfor.

Universitetet i Darmstadt har forsket en del i energiomsætningen i pumper og dermed energitabet ved stigende overfladeruhed som følge af korrosion og slid. De har følgende bud på udviklingen i virkningsgradstab over tid.



Figur 2: Resultat af overfladenedbrydning i pumper over tid

Kilde: *Study on improving the energy efficiency of pumps, European Commission, february 2001*

Det er ved forsøg dokumenteret, at en beskyttelse af pumpens indre dels vil optimere pumpen, dels fastholde den optimerede virkningsgrad i årene fremover.

Der er således to anskuelser:

- 1) Beskyttelse af en ny pumpe med det formål, at pumpen ikke korroderes og slides og dermed får ruhed med deraf følgende energitab til følge.
- 2) Renovering og beskyttelse af en eksisterende pumpe med det formål, at pumpen kommer tilbage til udgangspunktet og endog forbedres i forhold til de oprindelige udgangspunkt, og således herefter fastholder denne forbedrede performance og energieffektivitet fremover.

Ud over energibesparelserne vil en beskyttelse af pumper reducere vedligeholdelsesomkostningerne samt omkostninger til afskrivninger/reinvesteringer til nye pumper. Disse besparelser kan ligeledes andrage betydelige samfundsøkonomiske dimensioner.

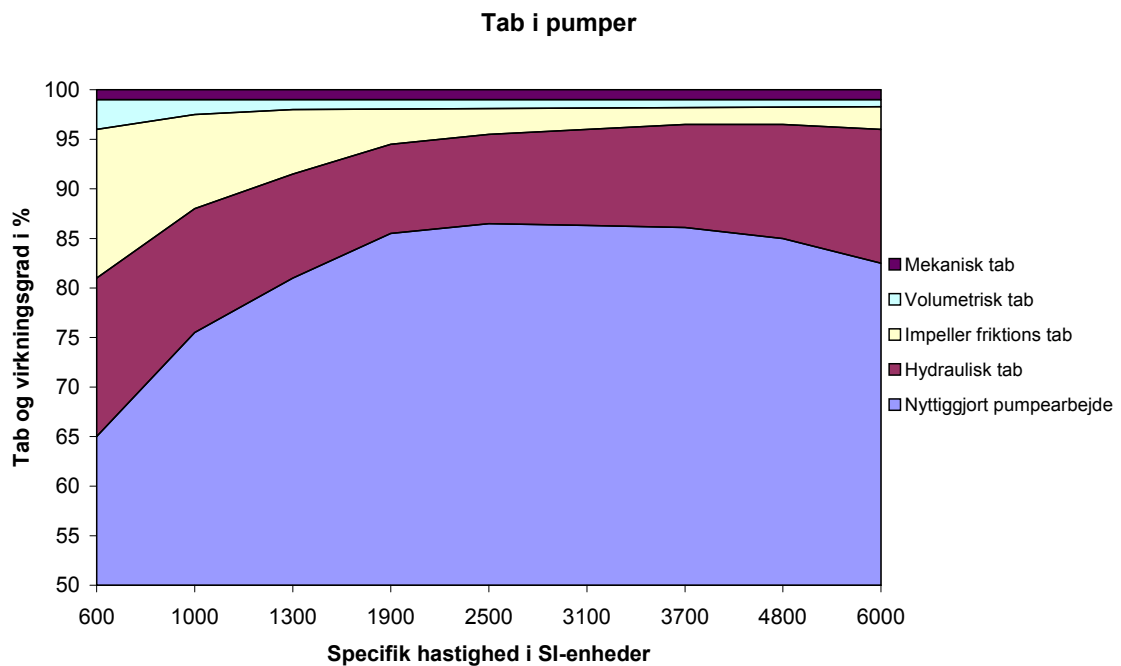
2 Energiomsætning i pumper

Forsøg har vist, at selv nye pumper får forbedret deres virkningsgrad ved en coating med kompostmaterialer. Det skyldes, at selv nye pumper på grund af støbeprocessen har en ru overflade, som medfører energitab.

Der findes en del viden om energiomsætningen i pumper og dermed tab. Der er i medfølgende bilagsrapport redegjort teoretisk herfor.

Universitetet i Darmstadt har i 2001 kortlagt tabene i centrifugalpumper. Dette er dels gjort ved detaljerede undersøgelser af pumper i en speciel teststand, dels ved hjælp af teoretiske computersimuleringer i forbindelse med testene. Resultatet kan ses af figuren herunder.

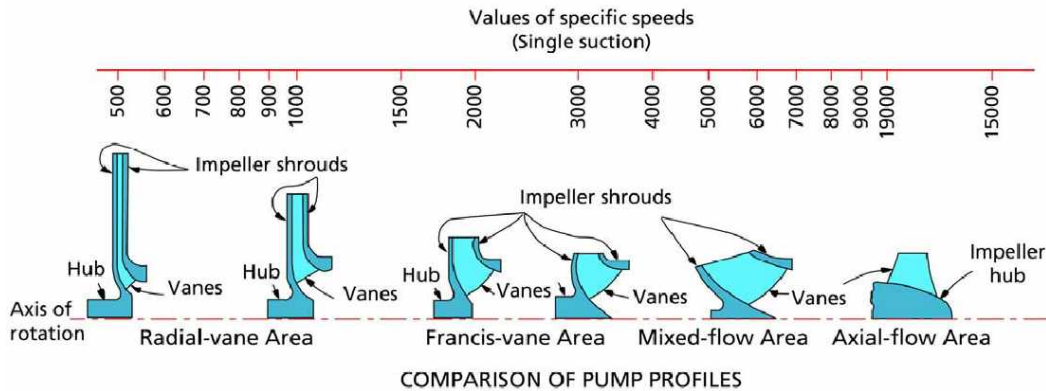
Udgangspunktet for figuren er en pumpe, der leverer 180 m³/h og har et omdrejningstal på 1.450 o/min.



Figur 3: Tab i pumper i afhængighed af specifik hastighed

Kilde: *Study on improving the energy efficiency of pumps, European Commission, february 2001*

Den specifikke hastighed refererer til et begreb, som anvendes inden for pumpebranchen til at identificere pumpe-design. Figuren på næste side viser forskellige pumpe-designs. Der er i medfølgende bilagsrapport redegjort detaljeret for begrebet specifik hastighed.



Figur 4: Design for givne pumper i afhængighed af specifik hastighed
 Kilde: *Centrifugal and Axial Flow pumps, 2. edition, Stepanoff, 1957*

Der er i det følgende kort redegjort for de enkelte tab ved energiomsætningen i pumper. I medfølgende bilagsrapport kan detaljerede beskrivelser ses.

2.1 Mekaniske tab

Mekaniske tab er tab i lejer, pakdåser og lejetætninger. Disse udgør normalt konstante tab i en pumpe på ca. 1 % af pumpens tilførte akseleffekt. Kun i specielle tilfælde med ekstraordinære krav til tætninger eller i tilfælde med defekte tætninger, vil dette tab være interessant. I relation til coating af en pumpe er disse tab ikke interessante.

2.2 Volumetriske tab (lækagetab)

Lækagetabet refererer til det tab, der opstår som følge af slidte slidringe mellem trykside og sugeside i pumpen. Dette tab kaldes også leveringsgrad, dvs. forholdet mellem det flow der er leveres af omløberen og det flow, der rent faktisk forlader pumpen. Differencen løber internt i pumpen, som en recirkulerende massestrøm. Coating af en pumpe har ikke særlig relation til dette tab, men når en pumpe adskilles for coating, bør slidringen skiftes. Ved større pumper kan slidringen opbygges med coating komposit materiale, som efterfølgende afdrejes på mål.

2.3 Løbehjulsrotationstab

Løbehjulsrotationsstab refererer til det tab, der er som følge af, at den cirkulære omløber roterer i pumpemediet tæt på pumpehuset. Herved opstår der et friktionsstab, som er afhængig af dels overfladeruhed, dels omløbstal og omløberens diameter. Stigende overfladeruhed, stigende omløbstal og stigende diameter for omløberen vil alle betyde større omløberrotationsstab. En coating af pumpehus og løbehjul reducerer dette tab.

2.4 Hydrauliske tab

De sidste tab kaldes under et hydrauliske tab. Det refererer til det tab, der opstår som følge af, at der strømmer væske gennem pumpens indløb, gennem løbehjulet og ud af pumpens udløb. Jo højere flow og jo højere ruhed, desto større tab vil der forekomme. Derfor vil dette tab også være størst i forbindelse med pumper med høj specifik hastighed, dvs. pumper med forholdsvis lav trykhøjde, men meget højt flow. En coating af pumpehus og løbehjul reducerer dette tab.

3 Beskrivelse af den nuværende anvendte teknologi til coating af pumper

Den nuværende anvendte teknologi til coating af pumper og tekniske emner, som er udsat for en høj grad af korrosion og erosion, er en særlig stærk epoxymatrix armeret med keramik.

Teknologien er ikke særlig gammel, højst 20 år, udviklet i USA i forbindelse med rumfartsteknologien. Først på et senere tidspunkt er man blevet opmærksom på den særlige gode evne til at beskytte pumper, idet udgangspunktet var de bedre slidegenskaber. Der er således adskillige referencer fra hele verden over pumper, som har fået forlænget levetiden drastisk, eksempelvis fra 3 måneder til mere end 3 år.

For ca. 3 år siden blev man desuden opmærksom på at ud over den længere levetid for specielt pumperne, kunne der ved epoxycoating desuden opnås energibesparelser.

3.1 Epoxycoating armeret med keramiske partikler

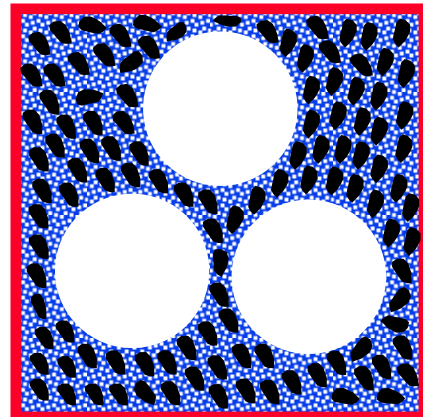
Epoxy er et bindemiddel, som for alvor er slået igennem i industrien på grund af sin særlig høje styrke og vedhæftningsevne.

I forhold til alm. maling, som de eksempel kendes fra husholdningen, med PVA, alkyd eller akryl som bindemiddel, eller polyesteren 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.



Billede 3: Mikroskopisk billede af epoxybindinger
Kilde: Chesterton



Figur 5: Grafisk visning af partikelstruktur i komposit. Kilde: Chesterton

Epoxy kompositten er herudover i forskellig grad, afhængig af formålet, armeret med keramiske partikler, typisk silisiumkarbid.

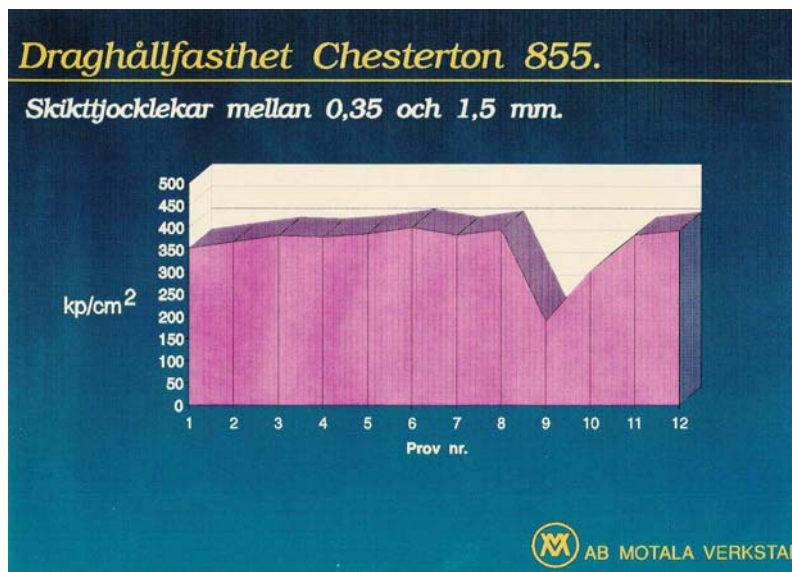
Skal en pumpe modstå høj grad af slid, for eksempel fra sand, er der ekstra mange og ekstra store keramiske partikler i kompositten, og skal pumpen omvendt kun levere rent vand, er kompositten kun forstærket i mindre grad og kun med små keramiske partikler.

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

3.2 Vedhæftningsevne til underlaget

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/cm².



Billede 4: Test af vedhæftningsevne af kompositcoating

Kilde: Chesterton

Figuren herover viser test af trækstyrken for coatingmaterialet Chesterton Arc855. Testen er udført for Motala fabrikkene i Sverige af Surftech A/S i Norge. Motala har blandt andet i en årrække haft stor succes med at coate og beskytte vandringsvakuumpumper. I testen er der undersøgt coatings med lagtykkelser på 350 til 1500 µm. Test 1-6 er udført efter Chestertons forskrifter for overfladeforberedelse. Test 7-12 er test af unladte overfladeforberedelser samt øvrige afvigelser fra Chestertons forskrifter.

Den høje trækstyrke er medvirkende til at kompositten 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/cm².

Det vil sige, at hvis der sker en skade på kompositens belægning, 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 tide.

3.3 Coatingtyper til forskellige applikationer

Der anvendes forskellige coatingtyper til den enkelte opgave. Nogle coatings er beregnet til kemiske angreb, andre til varmt vand, og endelig er der coatings der er specielt egnede til slidende miljø.

Komposit coatings og deres overfladeruhed

| Eksempel på formål | Eksempel på miljø | Normalt anvendt coating type | Partikelstørrelse af keramik | Lagtykkelse af coating i μm |
|---|---|--|------------------------------|--|
| Rent spildevand | Alm. vand | Alm. glat coating armeret med små keramiske partikler | < 0,5 mm | 800 |
| Fjernvarmevand | Alm. varmt vand | Alm. glat coating, med specielle termiske egenskaber armeret med små keramiske partikler | < 0,5 mm | 800 |
| Drikkevand | Alm. vand godkendt til fødevarer kvalitet | Speciel og glat coating med lav grad af toksilitet | < 0,5 mm | 600-800 |
| Kemisk industri eller spildevand uden partikler | Korrosivt miljø med PH under 7,0 | Alm. glat coating med specielt modstandskraft overfor kemisk sure angreb | < 0,5 mm | 800 |
| Svømmehaller | Korrosivt miljø med PH over 7,0 | Alm. glat coating med specielt modstandskraft overfor kemisk basiske angreb | < 0,5 mm | 800 |
| Kemisk industri eller spildevand med partikler | Slidende korrosivt miljø med PH under 7,0 | Mindre glat coating med modstandskraft overfor sure angreb, specielt armeret med store partikler af keramik | 1 - 2 mm | 3000 |
| Havvand med partikler | Slidende korrosivt miljø med PH over 7,0 | Mindre glat coating med modstandskraft overfor basiske angreb, specielt armeret med store partikler af keramik | 1- 2 mm | 800-1200 |
| Sandpumpning | Stærkt slidende miljø | Ru coating armeret med mængde og meget store partikler af keramik. | 2- 5 mm | 3000 |

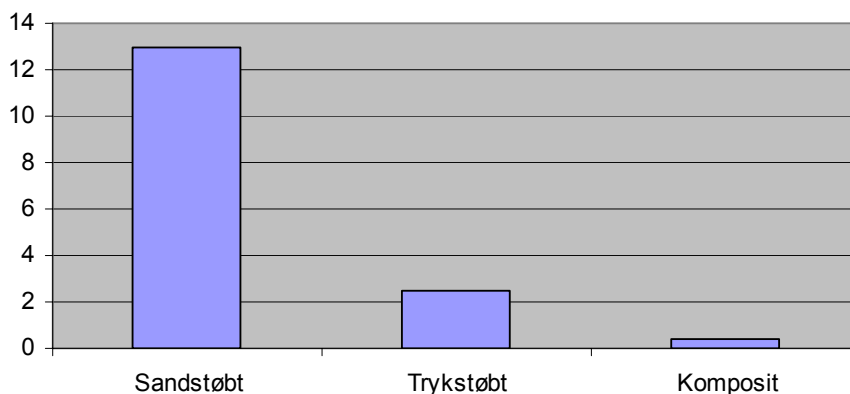
Tabel 3: Typer af kompositcoating og deres overfladeruhed

Kilde: Chesterton

De alm. coatings armeret med små keramiske partikler er glatte, hvorimod de coatings, der kan modstå høj grad af slid, er mere ru. Ruheden har betydning for energieffektiviteten. De fleste af de coatingtyper der anvendes er dog den glatte type, som i sig selv er noget glattere end det metal, de påføres på.

Det ses af figuren herunder, som viser overfladeruheden på en ubehandlet sandstøbt/trykstøbt pumpe, og overfladeruheden på den færdige komposit, i dette tilfælde den glatte type. Det er således muligt at opnå en glattere overflade på selv en helt ny pumpe efter coating.

Overfladeruhed i μm RMS



Figur 6: Overfladeruhed på støbt metal sammenlignet med komposit (ARC S2)

Kilde: Chesterton

4 Beskrivelse af arbejdsprocessen ved den nuværende coating af en pumpe

Før det besluttes at en pumpe skal coates med komposit, bør der foretages analyser at det medie, som pumpen skal levere, således at den rigtige type af coating kan findes.

Der kan også indledningsvis foretages beregninger over den forventede energi-/vedligeholdelsesbesparelse som følge af coatingen. Hermed vil en kapitalisering af gevinsten indledningsvis kunne vise, om coatingen er rentabel.

Endelig bør der aftales en pris for coatingen, som dels dækker transport, indkøb af coatingmateriale, samt nødvendigt lønarbejde i forbindelse med adskillelse, rengøring, klargøring og påføring af kompositmaterialet. Hvis der skal foretages yderligere reoveringer, kan dette ligeledes aftales.

Arbejdsgangen omfatter en nedtagning af pumpen, transport til overfladebehandling og coating, transport tilbage samt montage af pumpen igen. Ud over selve coatingen anbefales det, at slidring og akseltætning reoveres, når pumpen er adskilt. Når pumpen monteres igen, kan pumpekurven have ændret sig, og det er vigtigt, at pumpen indreguleres til samme ydelse som før. I værste fald kan man påføre brugeren ekstra energiudgifter, hvis dette forømmes. Alle disse arbejds gange bliver beskrevet i de følgende afsnit.

4.1 Nedtagning og transport af pumpen

For at pumpen kan coates, er det nødvendigt at demontere pumpen for at transportere den til det serviceværksted, som foretager coatingen. Når en pumpe skal coates, er det ofte nødvendigt med en reservepumpe. I nogle tilfælde er der to eller flere ens pumper til at løse en pumpeopgave, og så er det ofte ikke noget problem at fjerne den ene pumpe.

I andre tilfælde er pumpen, der skal coates, den eneste pumpe i applikationen, og så er det nødvendigt at indsætte en reservepumpe, i stedet for den pumpe der fjernes. Der findes i mange tilfælde en reservepumpe på stedet i tilfælde af havari.

Efter nedtagning af pumpen, placeres pumpen typisk på en alm. palle, hvor den fastsures for transporten til serviceværkstedet. Er pumpen så stor, at den ikke kan være på en alm. palle, må der enten anvendes specielle paller eller en anden form for en transport, hvor pumpen lastes og losses med en kranbil. I enkelte tilfælde er pumpen så stor, at det er nødvendigt at foretage forarbejde og coating på stedet.



Billede 5: Pumpe og løbehjul ankommer på palle til serviceværksted for coating.

Kilde: Chesterton

4.2 Adskillelse og rensning af pumpehus og løbehjul

Når pumpen ankommer til serviceværkstedet, adskilles den, og løbehjulet demonteres, hvis det ikke allerede er foretaget før transporten.

Hvis pumpen har kørt med væske indeholdende klorider eller syre, er det nødvendigt at foretage en kloridtest. Er testen positiv, er det nødvendigt at fjerne evt. forurening fra overfladen af metallet, da de ellers vil skade vedhæftningen af coatingen til overfladen samt coatingens levetid. Forureningen fra klorid eller syre kan fjernes enten ved en damprensning, en opbevaring i blødgjort vand eller ved en opvarmning til 400°C i en ovn i nogle timer.

Efter endt adskillelse og rensning er pumpehus og løbehjul klar til sandblæsning.

4.3 Sandblæsning og ønsket ruhed

Før det er muligt at belægge et emne med et beskyttende lag af komposit, er det nødvendigt med en grundig forbehandling. Dels skal forureninger fjernes fra overfladen, dels skal der opnås en passende ruhed. Renhed og ruhed er nødvendig for at opnå optimal vedhæftning af belægningen.

Forureningerne kan være følgende:

Forureninger der skal fjernes før belægning

| emne | resultat |
|------------------|---------------------------|
| salte / syre | klorider, osmosisk effekt |
| olie | manglende vedhæftning |
| fedt | |
| støv | |
| rust | |
| gammel belægning | |
| glødeskål | galvanisk korrosion |

Tabel 4: Forureninger der skal fjernes før coating, normalt med sandblæsning, klorider og syre fjernes ved speciel rensning eller opvarmning

Kilde: *Korrosion, Force-Instituttet, 2004*

Forureningerne fjernes normalt ved en sandblæsning. Det kan dels ske i kabiner med fristråledyser drevet vha. trykluft eller i et elektrisk drevet slyngrenseanlæg. Blæsemidlet er normalt stålsand eller stålgrit, men der kan også anvendes kvartssand, aluminiumoxid (korrund), nøddeskaller eller bagepulver.

Der foretages afdækning af skruehuller og pumpedele, som ikke må sandblæses, eksempelvis indre tætninger.

Der blæses til ønsket renhed, normalt Sa2½ til Sa3.

Renhed

| Betegnelse | renhed |
|------------|-----------------------|
| Sa1 | stadig uren og rusten |
| Sa2 | rimeligt ren |
| Sa2½ | normalt renhedskrav |
| Sa3 | ultra ren |

Tabel 5: Klassificering af renhedskrav efter sandblæsning.

Kilde: *Korrosion, Force-Instituttet, 2004*

Renhed har stor betydning for den efterfølgende holdbarhed af belægningen. Et svensk korrosionsinstitut har på et tidspunkt lavet en undersøgelse, der viser følgende levetider for alm. maling bestående af 4 x alkydmaling m. blymønje primer påført metaloverflader med forskellige renheder.

Holdbarhed i afhængighed af renhed

eks. 4 x alkydmaling m. blymønje primer

| renhed | levetid for belægning (år) |
|------------------|----------------------------|
| ingen rengøring | 1,5 |
| Sa1 | 5 |
| manuel børstning | 6 |
| Sa2 | 8 |
| Sa2½ | 10 |
| Sa3 | 12 |

Tabel 6: Levetid for en coating i afhængighed af renhed før coating.

Kilde: Korrosion, Force-Instituttet, 2004

Det er ligeledes nødvendigt, at der opnås en passende ruhed på metallet, således at kompositten har ruhed at fæstne på. En blæsning til renhed SA 2½ giver normalt en passende normal ruhed på ca. 75 µm i middelruhed, når der vælges et tilpas grovkornet blæsemiddel.



Billede 6: Sandblæst pumpehus til renhedsgrad Sa2½ til Sa3.

Slidring er fjernet, og skruehuller er afdækket med løse bolte.

Kilde: Jakob Albertsen A/S

Efter sandblæsning blæses pumpen helt ren med tør trykluft, således at al løst støv fjernes. Herefter skylles pumpen med en organisk solvent, dels for at fjerne de sidste små korn af støv, dels for at fjerne organisk forurening, eksempelvis fedt fra berøring med hænderne.

4.4 Coating

Efter sandblæsning skal coatingen foretages hurtigst muligt, før den rå og ubeskyttede metaloverflade begynder at anløbe. Coatingen foregår normalt i et opvarmet værksted, hvor pumpehus og løbehjul kan tempereres, og give coatingen en passende viskositet.

Der foretages nødvendig afdækning af skruehuller, slidring og andre dele, som ikke skal tildækkes med komposit.

Coatingmaterialet, der påføres, er kemisk hærdet og består af en base og en hærdere, som blandes sammen før påføring. Når hærdere først er iblandet basen, er der kun ca. 15 min. at arbejde i, før coatingmaterialet er så trægt, at de ikke er til at påføre (pot-life). Derfor blandes materialet i små portioner, som det tager under 15 min. at påføre.

Normalt påføres coatingmaterialet med pensel. Det skyldes følgende forhold:

- Den første befugtning af metaloverfladen (vedhæftning) gøres bedst med en pensel, idet man derved har mulighed for at trykke kompositten ned i alle metallets overfladehuller.
- Det er vanskeligt at komme ind i alle kroge og hulrum i en pumpe, medmindre der anvendes en pensel. En rulle eller en sprøjte vil ikke fysisk kunne komme ind i alle hulrum.
- Kompositmaterialet er temmelig bekosteligt, normalt 600-800 kr. pr. kg. Det er derfor vigtigt, at der ikke blandes og bruges mere end højest nødvendigt. Hvis der eksempelvis skal anvendes en sprøjte, vil der gå en del materiale til spilde i slanger og blandekammer, ligesom der vil være en del rengøringsarbejde.
- Endelig er en sprøjte til komposit bekostelig. Den koster i størrelsesordenen 350.000 - 500.000 kr., og hertil kommer løbende høje driftsomkostninger til eksempelvis dyser, som hele tiden slides på grund af de hårde keramiske partikler. Der anvendes dog undertiden sprøjte, men det er mere til store overflader, hvor det er rentabelt i forhold til lønarbejde.

Der påføres normalt flere lag komposit. I pumper udsat for alm. slid normalt kun 2 lag på hver ca. 400 µm, således at den samlede lagtykkelse bliver ca. 800 µm.

Det er almindeligt, at der anvendes komposit af forskellige farver til de to lag. Dels for at kunne se hvor langt man når under påføringen af andet lag, dels for at kunne følge et evt. slid af kompositten ved en senere inspektion af pumpen. Imellem hvert lag hærdes kompositten op i ca. 1 time, før det næste lag påføres. Det er imidlertid vigtigt, at det næste lag påføres, inden hærdningen er tilendebragt, da vedhæftningen mellem lagene ellers ikke bliver optimal.

Pensler, målebægre, malerbøtter og diverse rørepinde må alle kasseres efter endt coating, da kompositten hærdes op og ikke kan opløses igen.

Efter endt påføring af det sidste lag komposit hæves temperaturen omkring pumpen til ca. 40°C, hvorved hærdningen af kompositten fremskyndes, ligesom kompositten flyder bedre sammen.

Efter hærdning af 2. lag foretages der poretest af belægningen. Det sker for at sikre, at der ikke er små porer i belægningen, som vil kunne skabe galvanisk korrosion. Det gælder specielt for pumper, der kører med korrosive medier som saltvand, vand til svømmehaller eller kemiske stoffer.

En poretest foretages efter vådsvampmetoden, hvor en vædet svamp påtrykkes en spænding i forhold til stel, som monteres på pumpen. Herved kan selv små porer findes og udbedres.

En pore repareres ved, at området omkring poren slibes let med særligt sandpapir, således at det reparerende lag komposit har ruhed at hæfte i.

Efter endt poresøgning og evt. reparation, fjernes alle afdækninger, og øvrige reparationer foretages, før pumpen kan returneres til kunden.

I nogle tilfælde er det nødvendigt at varmehærde coatingmaterialet. Det er tilfældet, hvis pumpen skal operere med særligt varme væsker, eksempelvis fjernvarmepumper. Ved varmehærdningen placeres hele pumpen i en ovn i op til 12 timer ved en temperatur på ca. 100°C



Billede 7 og 8: Pumpehus og løbehjul til en fjernvarmepumpe. Her ses de efter den færdige coating med komposit i 800 µm lag-tykkelse. Slidringen og pakkeflader må normalt ikke coates af hensyn til pasningerne her. Er coating heraf alligevel nødvendigt pga. slid, er en maskinel efterfølgende bearbejdning af kompositten ligeledes nødvendig Bemærk komposittens meget glatte overflade, som i forhold til pumpens og løbehjulets oprindelige sandstøbte overflade reducerer friktion og pågroning betydeligt.

Kilde: Chesterton

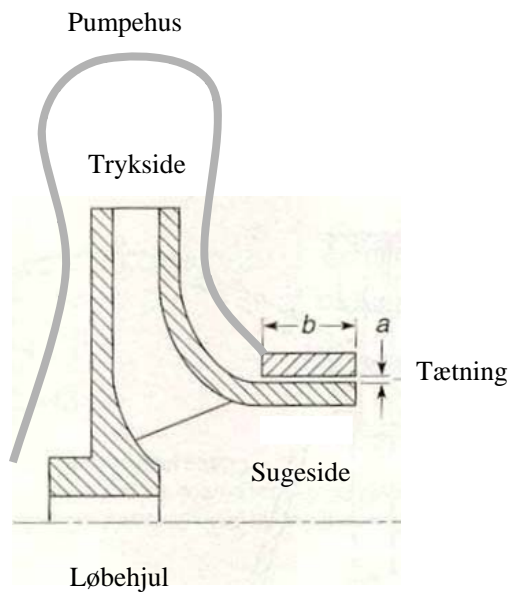


4.5 Renovering af indre slidring og akseltætning

Ud over den traditionelle coating kan der desuden foretages forbedringer i pumpen vedr. de indre slidringe og akseltætninger. Afsnittet beskriver, hvad der gøres, og hvilken effekt operationerne har for energiforbrug og levetidsforlængelsen af pumpen.

4.5.1 Renovering af slidringen

Den indre slidring har til formål at hindre vandgennemstrømning fra pumpens trykside til pumpens sugeside, netop på det sted hvor løbehjulet er tættest på pumpehuset. Selve slidringen består af 2 ringe, som kører tæt på hinanden og dermed kun efterlader en smal spalte imellem sig. En normal og intakt slidring har en spalte på 0,2 – 0,3 mm.



Figur 7: Illustration af slidringens placering i en pumpe. a er spaltens bredde, og b er spaltens længde. Hvis målet a bliver for stort, vil der flyde pumpemedie igennem spalten fra pumpens trykside til pumpens sugeside, alt afhængig af trykforskellen.

Kilde: Egen tilvirkning ud fra figur i *Centrifugal pump, Users Guidebook*, Sam Yedidiah, 1996

Hvis ikke slidringen er intakt vil det betyde, at der løber vand forbi slidringene tilbage til sugesiden med det resultat, at der ikke leveres tilstrækkelig vandmængde ud af pumpen.

Det er derfor vigtigt at renovere slidringen, såfremt den er slidt. Med en meget slidt slidring kan der tabes op til 20-30 % af flowet igennem pumper og dermed 30 % energiforbrug. Normale tab igennem ikke slidte slidringe udgør sjældent mere end 2-4 %.

Slidringene slides normalt ved, at partikler i det medie, der pumpes, kommer imellem slidringen og løbehjulet og herved med tiden slider lidt af metallet. Slidringene er normalt udført i messing.

En renovering af en slidt slidring består normalt i, at de slidte ringe demonteres og nye isættes. Ringene kan være fastgjort med skruer, men de kan også være presset/slået i. Enkelte slidringe kan ikke skiftes, idet de er opbygget sammen med pumpen. I sådanne tilfælde er det nødvendigt at opbygge det slidte materiale med komposit og herefter med diamantstål bearbejde kompositten tilbage på mål, ved at løbehjul og pumpehuset monteres i en stor drejebænk. Denne sidste operation er bekostelig i forhold til blot at udskifte en slidring i messing.



Billede 9: Coated pumpe med ucoatet slidring (blå pil).
Kilde: Jakob Albertsen A/S

4.5.2 Renovering af lejer og akseltætninger

I forbindelse med en renovering af pumper, er det almindeligt, at lejer og ydre akseltætninger renoveres, såfremt det er nødvendigt. Der er normalt 2 til 3 lejer i pumpen og 1 til 2 akseltætninger.

Slidte lejer og akseltætninger giver kun mindre anledning til stigende tab ved pumpedriften. Normale tab ved alm. slidte lejer og akseltætninger er ca. 1 % af det samlede energiforbrug til pumpen.

Slidte lejer giver anledning til flere vibrationer og mere støj under driften, men energiforbruget stiger kun beskedent. På samme måde vil en slidt akseltætning give anledning til utætheder og dermed lidt mere tab, men det er kun mindre tab i den store sammenhæng.

Det er ikke muligt at finde referencer over fortilfælde, hvor der er skiftet lejer og akseltætninger, og hvor der samtidigt er foretaget målinger på energibesparelsen efter en renovering.

Det er valgt i dette projekt ikke at fokusere på lejetab og tab i akseltætninger.

4.6 Reetablering af pumpens ydelse efter coating

Når pumpen er coated, slidringen og akseltætningen er skiftet, og pumpen igen skal i drift, er det meget vigtigt, at der udføres målinger på den leverede vandmængde. Nogle af de coatede pumper vil have ændret pumpekurve ved coatingen, og det er derfor nødvendigt at sikre, den fornødne vandmængde er til stede – men heller ikke mere. Jo mere vand og tryk pumpen skal levere, jo mere energi vil den optage. Efter coatingen vil det ske med en højere virkningsgrad, men stadig påføre brugeren udnødige energjudgifter.

Hvis pumpen leverer for høj en ydelse, skal den reguleres ned - helst med frekvensomformer, afdrejning af løbehjul eller som minimum drøvles via en ventil. Mht. hvordan man udfører målingerne i praksis og beregner besparelsen, henvises til Elfor's "Den lille blå om Sparepumper" afsnit 9, 10 og 11, der kan downloades fra www.sparepumpe.dk.

4.7 Viden omkring effektivitetsforbedring ved en coating af en pumpe

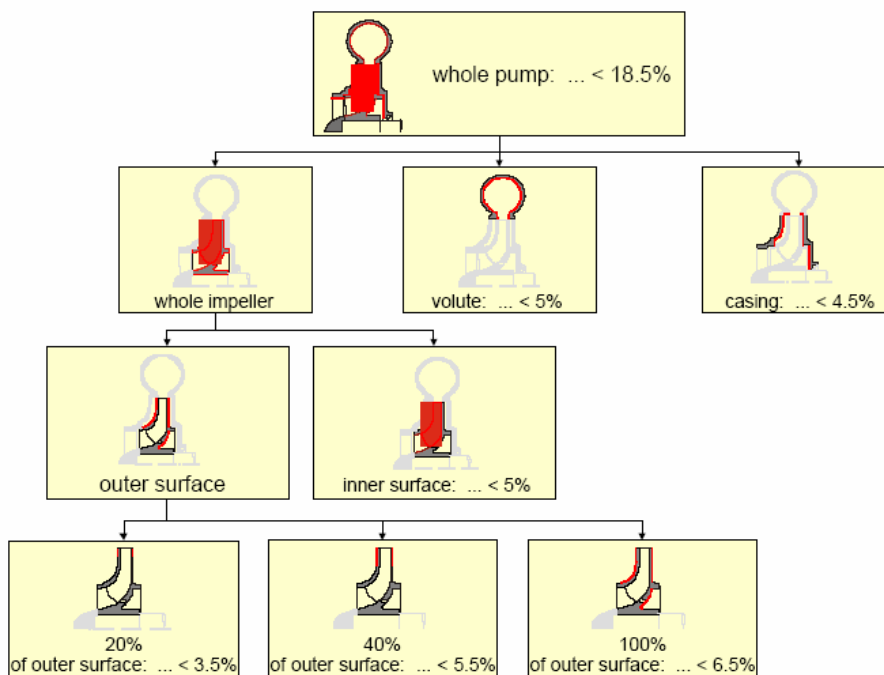
Tidligere coatingprojekter har vist effektivitetsforbedringer på mellem 5 og 25 % efter coating af en pumpe. Der er i medfølgende bilagsrapport redegjort herfor.

Forskerne i Darmstadt har ligeledes forsket i de opnåelige besparelser ved at coate de enkelte dele af en pumpe indre. Dette er gjort dels ved at foretage test i prøvestand og dels underbygge disse test med computer-simuleringer.

Undersøgelserne viser, at der kan opnås op til 18,5 % ved at coate en hel pumpe. Den viser også, at der kan opnås gode resultater ved alene at coate løbehjulet, eller alene at coate pumpehuset afhængig af, hvad der er mest hensigtsmæssigt.

Normalt vil en coating af løbehjulet alene være en arealmæssig overkommelig omgave. Omvendt kan det være svært at komme til at coate små løbehjuls inderside, hvorfor det kan være en fordel at nøjes med ydersiden og evt. pumpehusets inderside.

Den pumpe, der er taget udgangspunkt i undersøgelse fra Darmstadt Universitet, leverer et flow på 180 m³/h, og den har et omløbstal på 1.450 o/min.



Opnåelig besparelse ved coating af en pumpe

| Pumpedel | Coating areal | Besparelse |
|-----------------------|---------------|------------|
| Yderside af løbehjul | 20 % øverst | 3,5% |
| | 40% øverst | 5,5% |
| | 100% | 6,5% |
| Inderside af løbehjul | 100% | 5,5% |
| Hele løbehjulet | 100% | 10,0% |
| Hus omkring løbehjul | 100% | 4,5% |
| Øvrig pumpehus | 100% | 5,0% |
| Både hus og løbehjul | 100% | 18,5% |

Tabel 7: Opnåelig effektivitetsforbedring ved at coate de enkelte dele af en pumpe indre. Kilde: Study on improving the energy efficiency of pumps, European Commission, february 2001

5 Beskrivelse af alternative teknologier til den traditionelle coating

Coating af pumper er ikke den eneste tilgængelige teknologi på markedet til at beskytte pumper og give dem en glat slidstærk overflade. Derfor er det valgt i rapporten at kigge på andre alternative metoder også. Alle metoder sammenlignes mht. pris, funktionalitet og forventet levetid.

Tabellen herunder viser andre anvendelige teknologier, som dog i dag bruges til andre formål, eksempelvis at hærde og forstærke metaloverflader eller korrosionsbeskyttelse. Maling og polymerbelægninger, metallisering samt elektrokemiske processer er ikke medtaget i denne rapport, da det ikke er anset for anvendeligt til beskyttelse af pumper.

| Alternativer til komposit | Karakteristika | Anvendelighed |
|--------------------------------|---|---|
| Maling og polymerbelægninger | Diverse malingssystemer og plastbelægninger benyttes traditionelt til korrosionsbeskyttelse af metaller i alle slags miljøer. | Til specielt pumper med høj belastning og slid, vurderes dette alternativ ikke aktuelt |
| Metallisering | En metallisering, er hvor et bestandigt og evt. meget stærkt metal smeltes og sprøjtes på den overflader der skal beskyttes. | Metallisering kan være et alternativ, men det vurderes ikke muligt at metallisere inde i en pumpe |
| Elektrokemiske processer | Dækker over en række processer, hvor emnet neddyppes i elektrolytter og herefter af elektrokemisk vej opnår en belægning af et korrosionsbeskyttende og evt. hårdt metal. | Da der er mange steder på en pumpe at der ikke skal belægges vurderes denne teknologi ikke anvendelig |
| Plasmabaserede vakuumprocesser | Plasmabaserede vakuumprocesser dækker over række processer hvor et ønsket belægning skydes eller implanteres i en emneroverfalde. Disse processer kan være aktuelle. | Vurderes anvendelig |
| Sol-gel -teknologi | Er det nyeste skud på stammen indenfor overfladebehandling, nemlig behandling med nanopartikler. Denne proces kan være aktuel. | Vurderes anvendelig |

Tabel 8: Skematisk oversigt over mulige teknologier til beskyttelse af metaloverflader imod korrosion og slid.

Kilde: Teknologisk Institut, Tribologicentret.

De enkelte processer er gennemgået detaljeret i medfølgende bilagsrapport. Her er i det følgende givet en kort beskrivelse.

Plasmabaserede vakuumprocesser

Den gruppe af overfladebehandlingsprocesser, som betegnes plasmabaserede vakuumprocesser, udgøres af forskellige processtyper. Eksempler på sådanne processer er plasmanitrering, ionimplantering, plasma CVD og PVD.

Sol-gel belægninger

Overfladebehandlingen, som bygger på sol-gel teknologien, må betragtes som en laktype. Den kan være opbygget som 1-komponent eller fler-komponent system. Hærdeprocessen foregår ved stuetemperatur eller ved at varme op til ca. 200°C eller alternativt med UV-lys eller IR stråling.

5.1 Analyse af de enkelte teknologier til beskyttelse af pumper

I tabellen herunder er der foretaget en sammenligning mellem de enkelte belægningstyper.

| Belægning | Lagtykkelse | Slidbestandighed | Korrosionsbestandighed | Anvendelighed |
|--------------------|--|--|---|---|
| Kompositbelægning | Typisk 500 µm, men i enkelte tilfælde op til flere mm. | Der kan opnås gode styrkeegenskaber ved belægning med komposit, armeret med siliciumkarbid | Komposittens tæthed og høje vedhæftning giver god beskyttelse overfor korrosion | Det er muligt at komme til overalt i en pumpe, dog kan små pumper give problemer. Begrænsninger i forhold til øvre anvendelsestemperatur |
| Plasmanitrering | 5 til 50 µm | Der opnås høj overfladehårdhed og slidstyrke | Forbedret korrosionsbestandighed for ikke-rustfrie ståltyper | Hele pumpen kan behandles. Dog begrænset af maks.-mål af emne. Øvre anvendelsestemperatur bestemt af grundmateriale. |
| CVD | 3 til 15 µm | Der kan opnås særlig høj overfladehårdhed og meget høj slidstyrke | Der opnås ikke specielle korrosionsbestandige egenskaber | Hele pumpen kan belægges. Dog begrænset af maks.-mål af emne. Øvre anvendelsestemperatur 500-800 °C |
| PVD | 1 til 25 µm | Der kan opnås særlig høj overfladehårdhed og meget høj slidstyrke | Der kan opnås korrosionsbeskyttende egenskaber | Sigtelinieproces. Kun synlige dele belægges. Begrænset belægning i snævre geometrier. Øvre anvendelsestemperatur 500-800 °C. Reduktion af kalkaflejring. |
| Sol-gel -teknologi | 1 til 10 µm | Der kan opnås forbedrede slidegenskaber | Der kan opnås korrosionsbeskyttende egenskaber | Det er muligt at komme til overalt i pumpen. Mulighed for design af overfladeegenskaber til reduktion af f.eks. Kalkaflejring. Begrænsninger i forhold til øvre anvendelsestemperatur |

Tabel 9: Sammenligning af belægningstyper.

Kilde: Chesterton og Teknologisk Institut Tribologiceentret i Århus

5.2 Analyse af forventet levetid for beskyttelsesmetoder

På baggrund af erfaringer hos Mastertech/Chesterton er der lavet følgende vurderinger over forventet levetid af de enkelte belægninger med komposit i pumper.

| Belægning | Fjernvarme | Vandforsyning | Spildevand | Industri |
|-------------------|--|--|--|---|
| Kompositbelægning | Her kan forventes høj levetid, > 10 år | Her kan forventes høj levetid, > 10 år | Afhængig af belastningen moderat levetid, > 5 år | Ved rent vand høj levetid, ved slidende medie moderat levetid |

Tabel 10: Sammenligning af levetid.

Kilde: Chesterton og Tribologiceentret i Århus



Billede 10: Løber og pumpehus coatet med ARC S2 efter 8 måneders drift i klorvand.

Kilde: Mastertech

Med hensyn til overfladebehandlinger ved hjælp af plasmabaserede vakuumprocesser og sol-gel teknologi er der på nuværende tidspunkt ikke dokumenterede empiriske resultater til rådighed med henblik på at foretage konkrete levetidsbetragtninger for centrifugalpumper. Det er dog et fokusområde, som Teknologisk Institut har på dagsordenen i fremtiden, da det er opfattelsen, at de nævnte overfladebehandlinger har deres berettigelse i specielle tilfælde, hvor kompositbelægningerne har deres begrænsninger.

Dette kunne være ved højtemperaturapplikationer, fouling problemer eller snævre geometrier. Hos specielt Tribologisentret er de enkelte teknologier ikke tidligere anvendt på pumper, hvorfor levetiderne er vanskelige at estimere.

5.3 Analyse og sammenligning af prisniveau

På baggrund af erfaringer fra Mastertech/Chesterton er der lavet følgende betragtninger over forventelige omkostninger til belægninger i pumper. Specielt priserne fra Teknologisk Institut, Tribologiscenter i Århus er skønnet ud fra tilsvarende belægninger udført på andre applikationer, da ingen af belægningerne endnu er udført på pumper.

- Pris for kompositbelægning er tilnærmelsesvis en lineær sammenhæng. Uanset pumpens størrelse vil der være faste udgifter i størrelsesordenen 4-5.000 kr., hvilket dækker transport, adskillelse, rengøring, afdækning, kloride test, kvalitetskontrol m.v. Variable udgifter består af sandblæsning, materialeforbrug samt tidsforbrug til påføring. Hertil kommer evt. udgifter til maskinel og varmhærdning i oven. Den lille/ukomplicerede pumpe vil dermed koste 4-5.000 kr. at få coatet, mens udgiften til at få den store/komplicerede pumpe coatet vil kunne komme op på 25-30.000 kr.
- Prisen for overfladebehandling ved plasmabaserede vakuumprocesser er proces- og geometriafhængig. Alle processer er batch-processer, hvilket betyder, at der er begrænset kapacitet pr. proces, hvorfor stykprisen afhænger af emnets volumen. Da kapaciteten er begrænset, vil emner over 700 mm x 900 mm (400 mm x 400 mm for PVD og PCVD) ikke kunne behandles. Batchprisen for en plasmanitrering er 3.000–9.000 kr. afhængig af nitreringsdybde. Batch-prisen for PVD er 8.000–15.000 kr. afhængig af belægningstype og processtype (høj- eller lavtemperaturproces). Prisen for en PCVD batch er 2.500 kr. Alle priser en inkl. rens, forbehandling og forsendelse.

6 Test på udvalgte pumper

For at underbygge den teoretiske del af rapporten indeholder projektet desuden en række tests. Der er dels foretaget laboratorietests i teststand hos Teknologisk Institut, Grundfos, Desmi og dels felttests hos brugere af pumper. Alle tests er underbygget af detaljerede målinger, som præsenteres i rapporten.

I det tidligere projekt blev der dokumenteret besparelser på to større pumper (45 kW og 55 kW). I denne undersøgelse har det været et ønske at undersøge andre dele af markedet. Derfor er de tidligere undersøgelser suppleret med følgende installationer, der dels omfatter pumper taget direkte fra fabrik, dels pumper taget fra en konkret applikation. Nedenfor er de pågældende pumper listet:

- Roskilde Sygehus (Smedegaard)
- Skagen Varmeværk (DESMI)
- Holstebro Badeland (Grundfos)
- Hjørring Varmeforsyning (DESMI)
- Holstebro Varmeforsyning (DESMI)
- Ny1 – projekt (DESMI)
- Ny2 – projekt (DESMI)

De testede pumperne udgør et repræsentativ udsnit af den danske anvendelse af pumper:

- Der er testet pumper med et nominelt flow i området fra 15 m³/h til 700 m³/h
- Der er testet pumper med en elmotorstørrelse i området fra 0,2 kW til 110 kW
- Der er testet pumper med en nominal trykydelse fra 6 mVS til 37 mVS

Alle testede pumper er af konstruktionstypen centrifugal - og er alle tørløbere.

Den store bredde af test (både fra forprojekt se bilagsrapport afsnit 1.4 og nærværende projekt) bevirker, at der nu er belæg for konklusion af følgende:

- Coatingens nødvendige lagtykkelse på 0,8 mm har ikke nogen betydende negativ indflydelse på ydelsesevnen for den coatede pumpe, selv for pumper af meget små dimensioner med motorstørrelser mindre end 1 kW. De forsøg, hvor ydelsesevnen er forringet, viser meget små forskelle.
- På de fleste brugte pumper er der konstateret en forringelse i ydeevne og/eller effektivitet efter nogle års drift. Forringelsen er størst i oplagt korrosive miljøer (faststof, kemikalier m.v.), men indtræder også i betydelig grad, selvom det udelukkende er vand, der pumpes.
- Coatingens relative pris varierer lige fra 100 % af pumpens indkøbspris for små pumper ned til 20 % af pumpens pris for de store pumper. Hvad angår sparepotentialet forholder det sig stik modsat – der er større potentiale for de mindre pumper, mens der er fundet relativt reducerede potentialer, jo større pumpen er. Til gengæld er prisen på vedligehold betydelig for de større pumper (pakdåser, løbehjul, lejer m.v.). For de mindre pumper skiftes hele pumpen.

- Der er synlige energimæssige forskelle afhængig af valget af kompositmateriale. Det er dog stadigvæk i mindre grad, ca. 1 % på totalvirkningsgraden, og derfor mere væsentligt at få valgt en komposit, der passer til belastningen med henblik på holdbarhed (kemikalier, partikler, temperatur osv.).

Ud over at vise konkrete målereultater i forhold til pumpekurver og virkningsgradkurver er udformet en mindre økonomisk case for hver enkelt af de involverede pumper. Alle kurver fra coatede pumper er grønne.

I den økonomiske beregning er prisen på en coating perspektiveret i forhold til prisen på en ucoated pumpe samt en estimeret elomkostning til pumpedrift set over en 10-årig periode. Ud fra undersøgelserne i Darmstadt kan der forventes, at virkningsgraden vil aftage 1-2 % pr. år pga. slid i ikke korrosive miljøer. Ud fra test er der eftervist et fald på 6 % på 10 år i en varmforsyning, derfor er der i de økonomiske betragtninger kun anvendt 0,5 % fald pr. år.

I alle cases er forudsat, at pumpen er i stand til at fastholde den leverede vandmængde på trods af den påviste forringelse af den u-coatede pumpe. Dette er kun muligt, såfremt der er en eller anden form for reguleringsudrustning (frekvensomformer, automatisk drøvling m.v.) eller pumpen kan kompensere i form af flere driftstimer.

Det er simple estimater (overslag), der er udformet. Der er benyttet en lineær udvikling (stigning) af effektoptaget for den ucoatede pumpe, vel vidende, at dette ikke er tilfældet. Som beskrevet i kapitel 1 forventes en kraftig nedbrydning de første par år, hvorefter nedbrydningen bliver mere afdæmpet/kontrolleret for til sidst at accelerere igen, når pumpen er tæt på nedbrydning. I praksis betyder dette, at de beregnede cases må anses som et konservativt bud på rentabiliteten i en coating.

Caseberegningerne viser, at det (bortset fra den allermindste pumpe) vil være økonomisk fordelagtigt at coate pumperne – med coatingomkostningerne dækket ind igen efter 3-8 år. For pumper i varmforsyninger er selv 8 år interessant, da man her må forvente en meget længere levetid på pumpen.

6.1 Alle resultater

I tabellen nedenfor er vist alle projektets resultater. For hver pumpe er vist den maksimalt målte forbedring, men nogle af forsøgene er målt i flere punkter undervejs i arbejdsprocessen. Disse resultater kan ses i de efterfølgende afsnit, hvor flere detaljer om de enkelte forsøg er vist.

| | Roskilde Sygehus | Skagen Varmev. | Holsteb. Badeland | Hjørring Varmef. | Holsteb. Varmef. | Desmi Nr. 1 | Desmi Nr. 2 |
|--------------------------|------------------|----------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|
| Flow [m ³ /h] | 15 | 200 | 200 | 700 | 300 | 34 | 34 |
| Δp [mVS] | 6 | 19 | 14 | 37 | 30 | 18 | 18 |
| N [o/min] | 2.840 | 1.450 | 1.500 | 1.325 | 1.445 | 2.900 | 2.900 |
| N _s | 2.850 | 2.250 | 2.950 | 2.350 | 1.950 | 1.950 | 1.950 |
| Hfør [%] | 34 | 77 | 58 | 81 | 72 | 50 | 50 |
| η _{fter} [%] | 34 | 77 | 69 | 86 | 74 | 56 | 57 |
| Δη [%] | 0 | 0 | 19 | 6 | 3 | 12 | 14 |
| Pumpetype | C / TL | C / TL | C / TL | C / TL | C / TL | C / TL | C / TL |
| Str. P ₂ [kW] | 0,75 | 11 | 11 | 110 | 37 | 3 | 3 |
| Coat | 855 HT | 855 HT | S2 | 855 HT | 855 HT | 855 | S2 |
| Status | Brugt | Ny | Brugt | Brugt | Ny | Ny | Ny |
| Belastning | Vand | Vand | Klor | Vand | Vand | Vand | Vand |

Tabel 12: Samlet oversigt med forsøgsresultater.

Kilde: Teknologisk Institut

Størrelserne flow, tryk og specifik hastighed er angivet i arbejds punktet med maksimal afgivet hydraulisk effekt for pumpen.

Specifik hastighed er givet ved nedenstående formel (se bilagsrapport):

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{(H)^{3/4}}$$

Ved Europæiske enheder indsættes:

N [omd/min]

H [mVS]

Q [m³/h]

For den givne pumpe indsættes data, hvor pumpen har maksimal effektivitet ved den givne hastighed på løbehjulet.

Alle de testede pumper i projektet har et specifikt omløbstal på mellem 2000 og 3000, hvilket er det mest almindelige for pumpeanvendelse i varmeapplikationer og andre applikationer, hvor pumpens primære formål er at cirkulere/transportere en væske.

6.1.1 Roskilde Sygehus

Pumpetype: *Omega 4-90-2*

Fabrikat: *Smedegaard*

Nominelt flow: *15 m³/h, v. 2840 omd./min*

Nominelt tryk: *6,1 mVS, 600 mbar*

Nominel effekt på pumpemotor: *0,75 kW*

Benyttet testudrustning: *Testbænk på Teknologisk Institut*

Miljø:

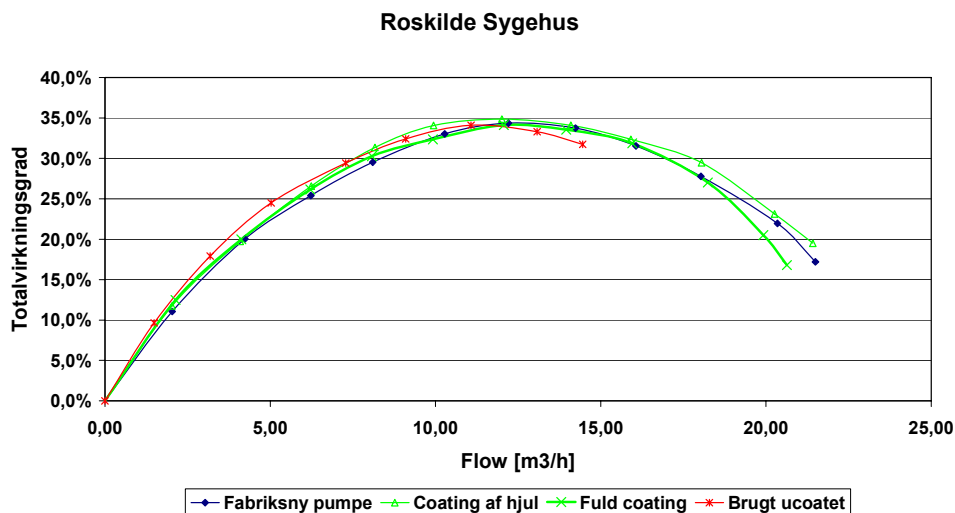
Den pågældende pumpe er monteret i kedelhuset og cirkulerer dermed rent varmt vand.

Udførte forsøg:

Pumpen er en meget lille pumpe, som har været i drift siden 1996, dvs. ca. 9 år. Pumpen er valgt til projektet for at undersøge, hvor små pumper coatingteknologien kan benyttes på, og yderligere om en evt. effektivisering opstår i form af coating af pumpehjul og/eller coating af pumpehus. Endelig har man for dette forsøg testet den oprindelige pumpe, som har siddet i anlægget i 9 år for at se, om pumpens virkningsgrad falder over tid.

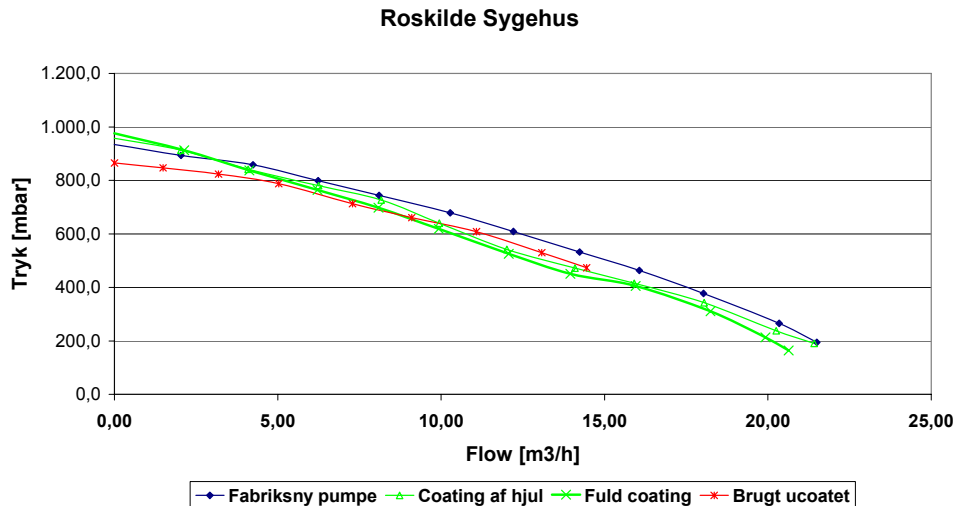
Fire kurver er derfor vist i både performance- og effektivitetsdiagrammet.

- fabriksny pumpe ucoatet
- fabriksny pumpe coatet løber (855 HT)
- fabriksny pumpe coatet løber og hus (855 HT)
- 9 år gammel pumpe ucoatet



Figur 8: Kurver over virkningsgrader fra testresultater.

Kilde: *Teknologisk Institut*



Figur 9: Pumpekurver fra testresultater.
Kilde: Teknologisk Institut

Følgende interessante konklusioner kan udformes baseret på den valgte forsøgsrække:

- Coatingteknologien kan anvendes selv for en meget beskeden størrelse pumpe. Forskellene i pumpekurverne er forsvindende, dog kan skimtes, at den nødvendige lagtykkelse tager relativt mere af pumperummet for en sådan lille pumpe, og dermed også forringer pumpekurven en lille smule i forhold til den fabriksny pumpe.
- Der kan ses en mindre forringelse i pumpeperformance for den 9 årige pumpe sammenlignet med den fabriksny. Det er to identiske pumpekonstruktioner. Til gengæld ser det ud til, at den ældre/tilkørte pumpe ligefrem er mere effektiv end den fabriksny pumpe, hvilket virker ulogisk. Dette kan måske skyldes kvaliteten af den valgte elmotor.
- Det kan være svært at se en forbedring af totalvirkningsgraden for en sådan størrelse pumpe, i og med de elektriske tab i motoren er relativt store. Belastningsgraden er under 50 %, og motorvirkningsgraden er dermed sandsynligvis nede på 50-60 %.

Case-økonomi:

Nedenfor er opstillet et regnskab for driftsøkonomien omkring coating af kedelpumpen på Roskilde Sygehus:

Pris på pumpe: 3.000 kr.

Pris på coating: 5.000 kr.

Årligt eludgift: 3.690 kr. (4.900 kWh)

El-besparelse fra coating på 10 år: 0 kr.

Pris på pumpe skift: 1.000 kr.

Årligt vedligehold: 0 kr.

Der er antaget 8.760 årlige driftstimer og en gennemsnitlige elpris på 75 øre pr. kWh. Det kan ikke anbefales at coate en sådan lille pumpe alene ud fra et energiøkonomisk perspektiv. Teknologien virker, men skal for at være rentabel anvendes i et belastet miljø, hvor man har problemer med holdbarhed, hvilket ikke var tilfældet for testinstallationen.

6.1.2 Skagen Varmeværk

Pumpetype: *NSL150-265*

Fabrikat: *DESMI*

Nominelt flow: *200 m³/h, v 1450 omd./min*

Nominelt tryk: *20 mVS2.000 mbar*

Nominel effekt på pumpemotor: *11 kW*

Benyttet testudrustning: *Testbænk hos DESMI*

Miljø:

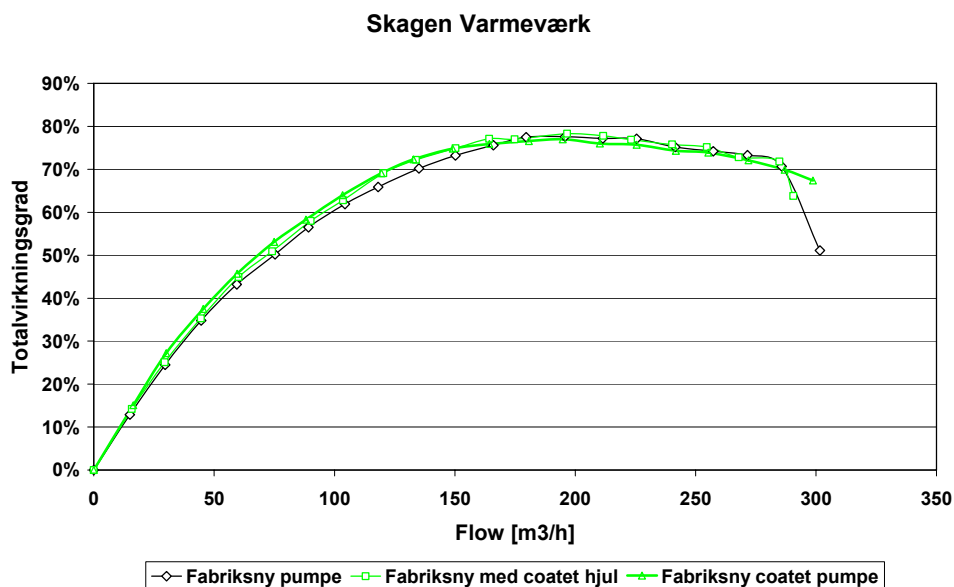
Pumpen er testet med vand fra den offentlige varmforsyning.

Udførte forsøg:

Det er en fabriksny pumpe, der skal installeres i varmforsyningen. Pumpen har været udsat for tre gennemmålinger. Det første forsøg var pumpen i en stand, den normalt ville være leveret ved. I andet forsøg var pumpens løber blevet coatet med ARC855 HT, som er bestandig ved høje temperaturer. I tredje forsøg var såvel hus som løber coatet med ARC 855 HT.

Tre kurver er derfor vist i både performance- og effektivitetsdiagrammet

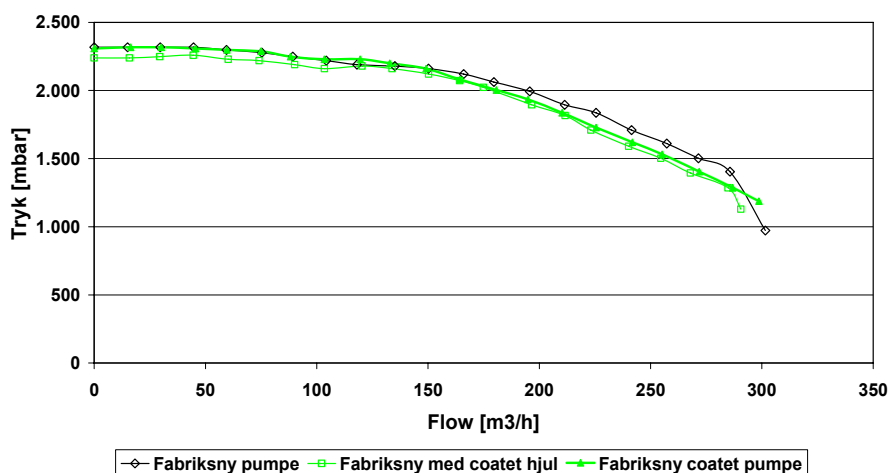
- fabriksny pumpe ucoatet
- fabriksny pumpe coatet løber (855 HT)
- fabriksny pumpe coatet løber og hus (855 HT)



Figur 10: Kurver over virkningsgrader fra testresultater.

Kilde: Teknologisk Institut

Skagen Varmeværk



Figur 11: Pumpekurver fra testresultater.

Kilde: Teknologisk Institut

Der er ikke nogle signifikante indvirkninger på den ny pumpe totalvirkningsgrad. Den ny pumpe har i såvel ucoatet som coatet tilstand en totalvirkningsgrad på 77 % i sit bedste driftspunkt ved 200 m³/h.

Pumpen har en størrelse (11 kW), der bevirker, at producenten allerede i udgangspunktet har optimeret pumpen rent hydraulisk. På disse størrelser er virkningsgraden allerede i dag en konkurrenceparameter, og derfor har pumpen allerede inden coating en meget høj totalvirkningsgrad på næsten 80 %. Da både pumpe og hus består af støbejern, vil pumpen dog på sigt helt sikkert tabe såvel ydelsesevne som effektivitet helt på lige fod med billedet set ud fra test af alle de øvrige slidte pumper af en vis størrelse.

Ud fra de målte værdier ses, at den ekstra lagtykkelse på løberen tilsyneladende får pumpen til at miste noget af ydeevnen i det høje flowområde. Det samme sker i det lave flowområde, men her kompenserer coatingen af huset tilsyneladende ydelseskurven tilbage til udgangspunktet.

Case-økonomi:

Nedenfor er opstillet et regnskab for driftsøkonomien omkring distributionspumpen for Skagen Varmeværk:

Pris på pumpe: 20.000 kr.

Pris på coating: 10.000 kr.

Årligt eludgift: 42.700 kr. (56.900 kWh)

EI-besparelse fra coating på 10 år: 12.600 kr.

Pris på pumpekift: 5.000 kr.

Årligt vedligehold: 2.000 kr.

Der er antaget 4.000 årlige driftstimer ved nominelt flow og en gennemsnitlige elpris på 75 øre pr. kWh. Antages en ucoatet pumpe at miste 0,5 % i virkningsgrad pr. år, vil det svare til en øgning i eludgifterne på 12.600 kr. over 10 år. Coatingen vil bibeholde en høj virkningsgrad og tjene sig hjem på 8 år. Levetiden for pumper i denne type af installationer vil typisk ligge langt over 10 år.

6.1.3 Holstebro Badeland

Pumpetype: *CLM 150-242*

Fabrikat: *Grundfos*

Nominelt flow: *200 m³/h, v. 1500 omd./min*

Nominelt tryk: *14 mVS, 1375 mbar*

Nominel effekt på pumpemotor: *11 kW*

Pumpekonstruktionen er af typen centrifugal. Huset er lavet af støbejern. Løberen er også lavet af støbejern og er tilsluttet en 4-polet asynkronmotor med et omdrejningstal på ca. 1500 o/min – lidt afhængig af belastningsformen.

Pumpen pumper klorvand, og på fotografiet nedenfor kan ses, hvorledes miljøet tærer på pumpen efter ca. 10 års drift. Pumpen blev installeret i 1996.



Billede 11: Pumpehus og løber efter drift i klorvand i ca 10 år.

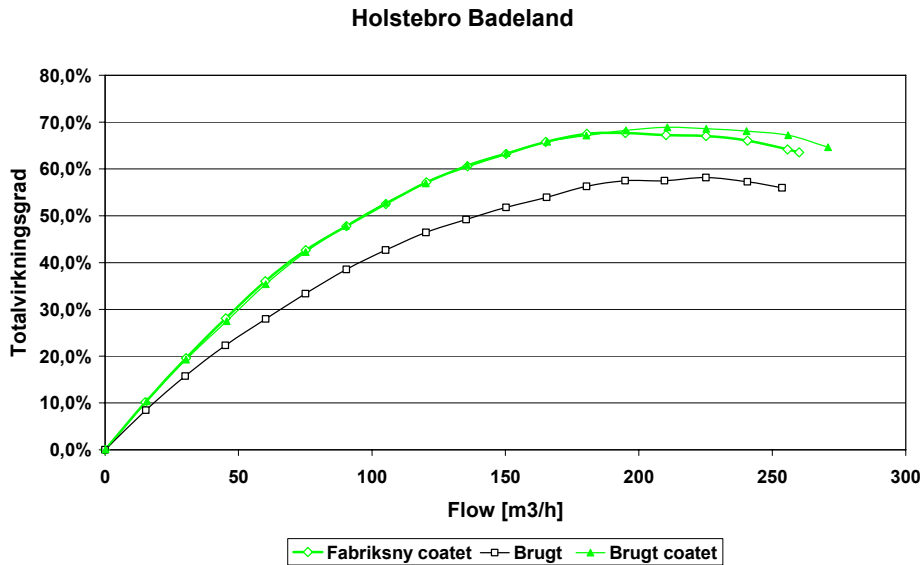
Kilde: *Mastertech*

Pumpen er testet i Grundfos' egen testbænk, og de viste data er resultatet af aflæste kurver. Grundfos tester efter ISO9906. Kurver er ikke korrigeret til et fast omdrejningstal, men flyder 30-40 omdrejninger pr. minut alt afhængig af asynkronmotorens belastningsgrad.

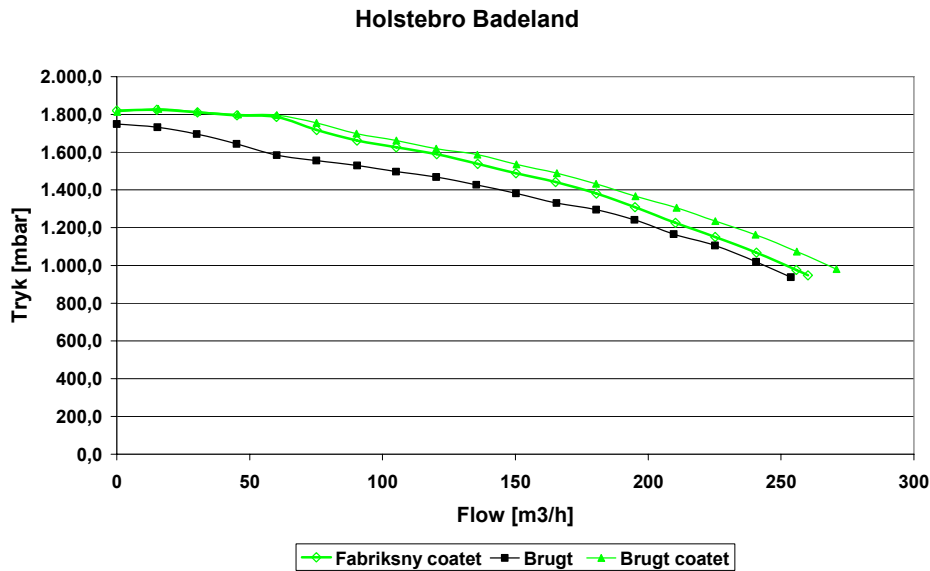
Yderligere er foretaget målinger af elforbrug før og efter reovering. Disse målinger er foretaget (tryk og energi) med mobilt måleudstyr fra Teknologisk Institut.

I de efterfølgende diagrammer er følgende pumpesituationer gennemmålt:

- slidt pumpe fra installation ucoatet
- reoveret pumpe fra installation coatet
- fabriksny pumpe coatet



Figur 12: Kurver over virkningsgrader fra testresultater.
 Kilde: Teknologisk Institut



Figur 13: Pumpekurver fra testresultater.
 Kilde: Teknologisk Institut

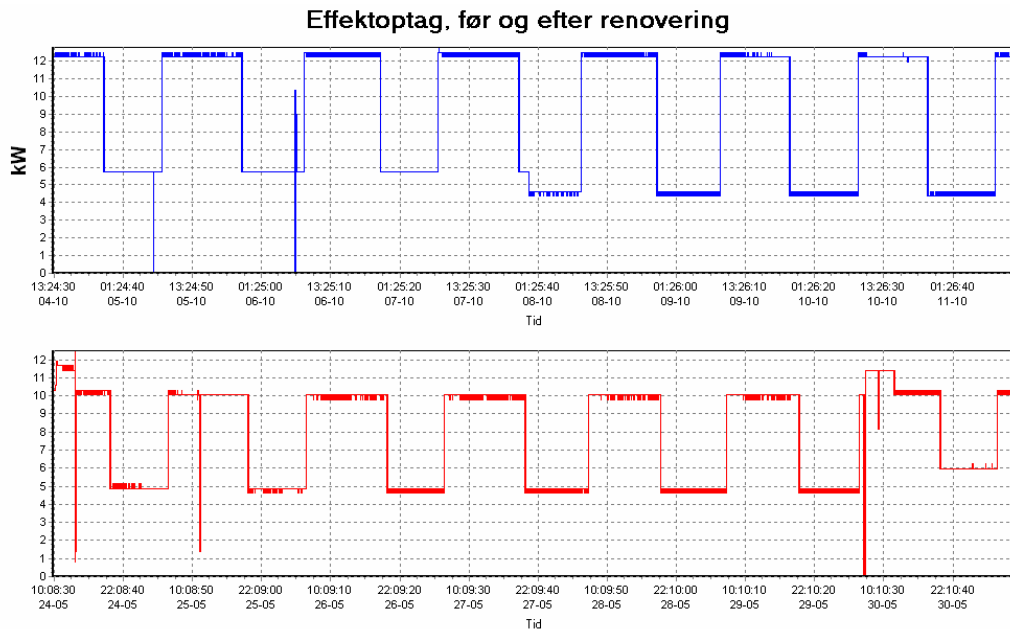
Kurvesættet viser en markant forbedring ved at coate den slidte pumpe, hvad angår såvel effektivitet som ydeevne. Rent faktisk er det muligt at bringe pumpen tilbage til et niveau, der ligger på højde med en ny coatet pumpe.

Det tyder på, at den nye coatede pumpe mister ydeevne i det høje flowområde, hvilket kan skyldes at selv den beskedne lagtykkelse har negativ effekt på ydeevnen så længe, pumpen ikke er slidt. Endvidere tyder det ligeledes på, at pumpen i dette område med sin bedste hydrauliske effektivitet, høj virkningsgrad, er mere påvirkelig over for påføring af materiale i negativ retning, hvad angår ydeevne (pumpekurven).

For den slidte pumpe kan man se, at den faktisk har mistet 15 % af evnen til at producere tryk i hele ydelsesområdet. Dette kan som sagt reetableres igen ved at reovere pumpen coating.

Case-økonomi:

I figurene nedenfor ses resultatet af en feltmåling foretaget i badelandet. Pumpen er monteret med frekvensomformer og styres efter et fast flow. Om natten reduceres driften til et mindre flow. Energibesparelsen heraf ses meget tydelig på kurverne for såvel den ucoatede som den coatede pumpe, effekten ændres normalt fra 12 kW i dagtimerne til 6 kW i natdriften.



Figur 14: Effektøptag målt på installationen.

Kilde: Teknologisk Institut

Effekten af coatingen er meget tydelig. Det maksimale effektøptag i dagtimerne er ændret fra 12,3 kW til 10,0 kW, mens det er mere uklart, om der indtræder en besparelse i natdriften. En evt. besparelse i natdriften er derfor ikke medtaget i kalkulationen af den årlige besparelse i kroner.

Nedenfor er opstillet et regnskab for driftsøkonomien omkring bassinpumpen for Holstebro Badeland:

Pris på pumpe: 20.000 kr.

Pris på coating: 10.000 kr.

Årligt eludgift år 1: 35.600 kr. (47.500 kWh)

EI-besparelse fra coating på 10 år: 41.200 kr.

Pris på pumpekift: 5.000 kr.

Årligt vedligehold: 1.000 kr.

En ucoated pumpe har ifølge bademesteren en forventet levetid på 12-13 år, jævnfør billederne efter 10 års drift. En coated pumpe forventes at have en langt længere levetid, også på nogle af de normale sliddele som lejer, pakdåser m.v., pga. en mere stabil drift med langt færre vibrationer. Med disse resultater er der god økonomi i at coate pumpen i Holstebro Badeland, idet coatingen er betalt tilbage inden for de første 5 års drift.

Coatingleverandøren oplyser, at pumper i svømmehaller, badelande og lignende ofte er lige så tærede, hvilket peger på et stort potentiale ved at coate pumper i denne branche.

Inden projektet er helt afsluttet, har de haft nedbrud pga. motorfejl, og der er derfor billeder af coatingen efter af have været i drift i 8 måneder. Coatingen ser ud til at have fin modstandsdygtighed over for klorvandet, uden at dette dog er underbygget af test.



Billede 12: Coated løber og pumpehus efter 8 måneders drift.

Kilde: Teknologisk Institut

6.1.4 Hjørring Varmeforsyning

Pumpetype: *SL250-415*

Fabrikat: *DESMI*

Nominelt flow: *700 m³/h, v 1325 omd./min*

Nominelt tryk: *3.500 mbar*

Nominel effekt på pumpemotor: *110 kW*

Benyttet testudrustning: *Testbænk hos DESMI*

Miljø:

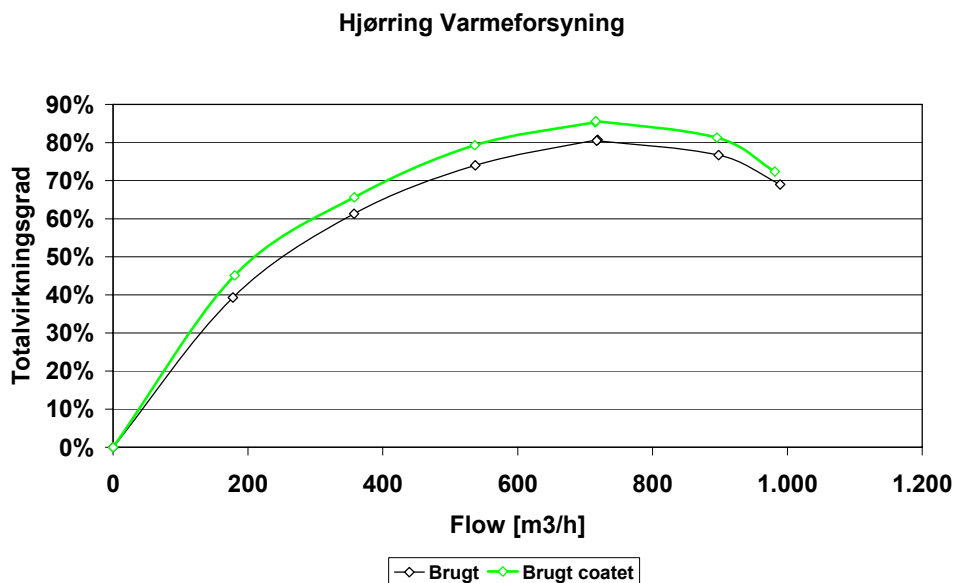
Pumpen er testet med vand fra den offentlige vandforsyning.

Udførte forsøg:

Det er en brugt pumpe, der efter 10 års drift er demonteret og coatet. Pumpen har været udsat for to gennemmålinger. Ved det første forsøg var pumpen ucoatet. I det andet forsøg var den slidte pumpe coatet med ARC855 HT, som er bestandig ved høje temperaturer.

To kurver er derfor vist i både performance- og effektivitetsdiagrammet

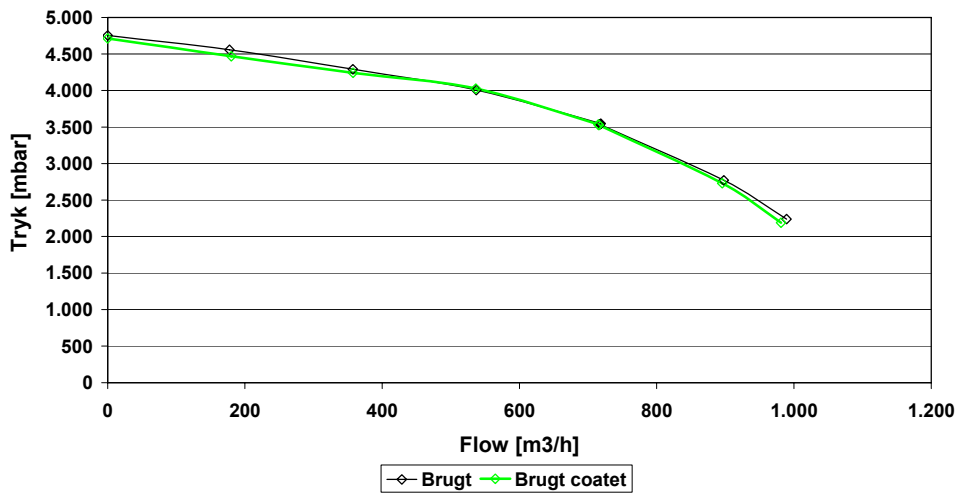
- slidt pumpe ucoatet
- slidt pumpe coatet løber og hus (855 HT)



Figur 15: Kurver over virkningsgrader fra testresultater.

Kilde: *Teknologisk Institut*

Hjørring Varmeforsyning



Figur 16: Pumpekurver fra testresultater.
Kilde: Teknologisk Institut

På kurverne ses en meget tydelig positiv påvirkning af pumpens totalvirkningsgrad i hele pumpens arbejdsområde. Den maksimale totalvirkningsgrad er forbedret fra 81 % til 86 % i pumpens bedste driftspunkt, hvilket svarer til en effektivitetsforbedring på 6 %.

I forhold til tidligere forventede potentialer på 1-2 % pr. år (kilde: Darmstadt) er den verificerede besparelse i underkanten, men her skal bemærkes, at det er en betydelig størrelse pumpe, og mediet er rent vand.

Pumpeperformance er fuldstændig uændret.

Case-økonomi:

Nedenfor er opstillet et regnskab for driftsøkonomien omkring distributionspumpen for Hjørring Varmeforsyning Varmeværk:

Pris på pumpe: 90.000 kr.

Pris på coating: 20.000 kr.

Årligt eludgift år 1: 237.400 kr. (316.500 kWh)

El-besparelse fra coating på 10 år: 84.800 kr.

Pris på pumpekift: 10.000 kr.

Årligt vedligehold: 5.000 kr.

Der er antaget 4.000 årlige driftstimer ved maksimalt flow og en gennemsnitlige elpris på 75 øre pr. kWh. Det har ikke været muligt at måle totalvirkningsgraden for en ny u-coatet pumpe, hvorfor hele forbedringen tilskrives slid over de 10 års drift. Coatingen vil bibeholde en høj virkningsgrad og tjene sig hjem på 5 år. Levetiden for pumper i denne type af installationer vil typisk ligge langt over 10 år.

I eksemplet er benyttet det beregnede driftspunkt ved 1.325 omd./min. Nominelt kører pumpen ved ca. 1.500 omd./min, hvilket giver et højere effektoptag og dermed en større besparelse.

6.1.5 Holstebro Varmeforsyning

Pumpetype: *NSL150-330*

Fabrikat: *DESMI*

Nominelt flow: *300 m³/h (v. 1445 omd./min)*

Nominelt tryk: *3.000 mbar*

Nominel effekt på pumpemotor: *37 kW*

Benyttet testudrustning: *Testbænk hos DESMI*

Miljø:

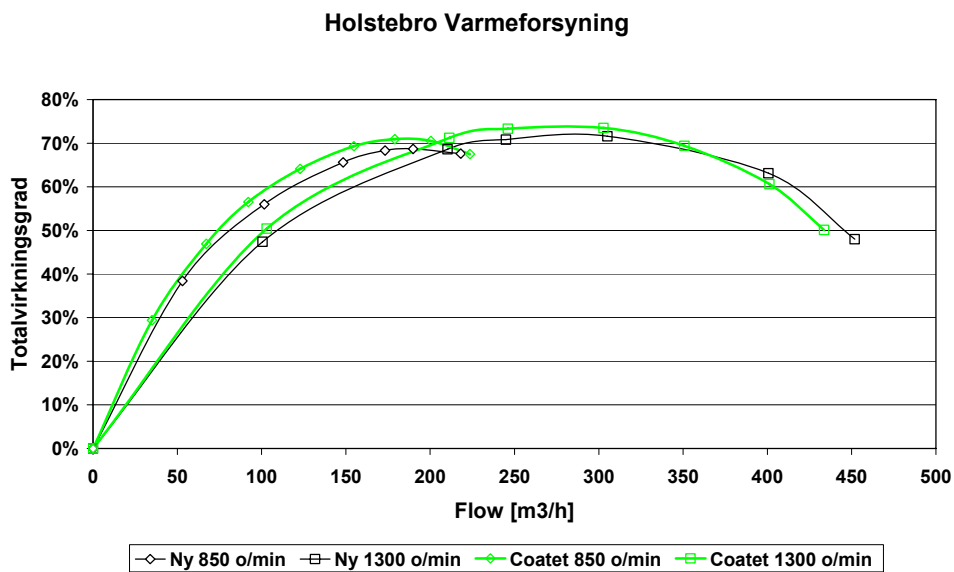
Pumpen er testet med vand fra den offentlige vandforsyning.

Udførte forsøg:

Det er en ny pumpe, der er testet i såvel coatet (855HT) som ucoatet tilstand. Pumpen har været udsat for gennemmålinger ved forskellige omdrejningstal.

8 kurver er derfor vist i både performance- og effektivitetsdiagrammet

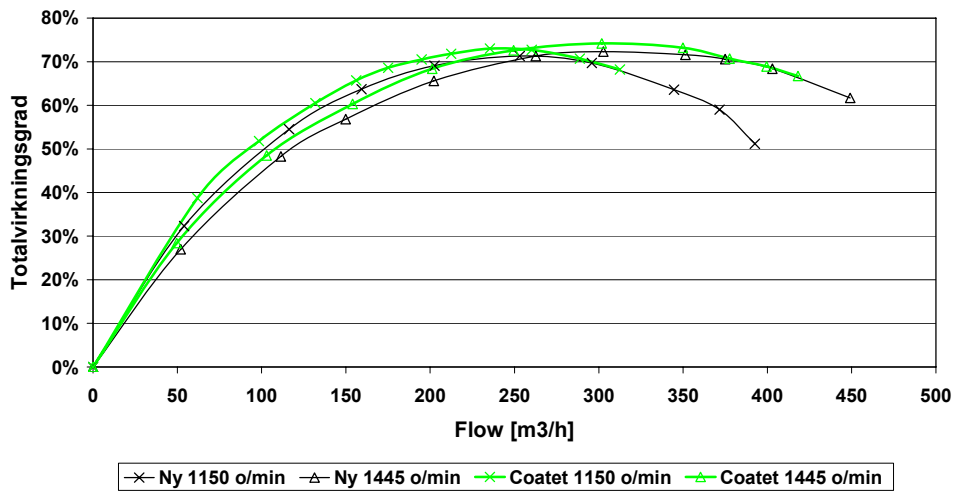
- ucoatet og coatet – 850 omd./min
- ucoatet og coatet – 1150 omd./min
- ucoatet og coatet – 1300 omd./min
- ucoatet og coatet – 1445 omd./min



Figur 17: Kurver over virkningsgrader fra testresultater.

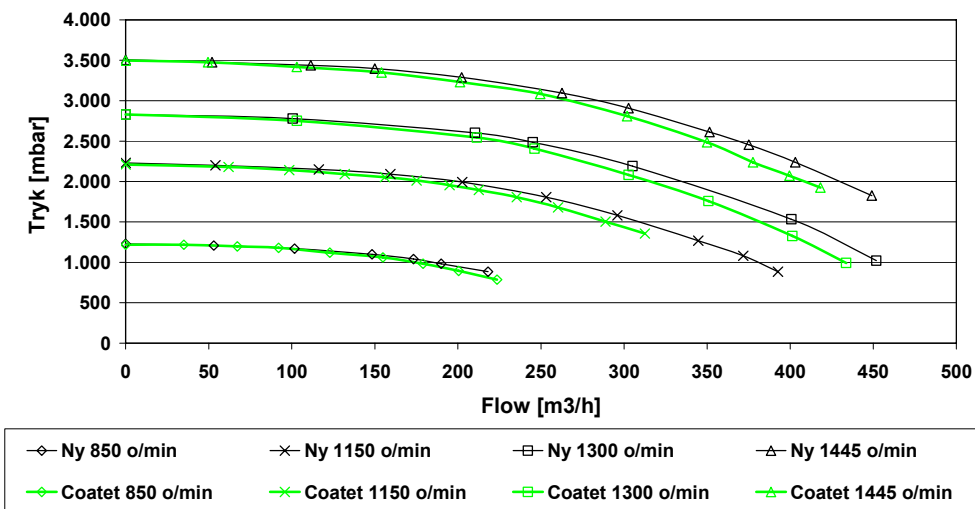
Kilde: *Teknologisk Institut*

Holstebro Varmeforsyning



Figur 18: Kurver over virkningsgrader fra testresultater.
Kilde: Teknologisk Institut

Holstebro Varmeforsyning



Figur 19: Pumpekurver fra testresultater.
Kilde: Teknologisk Institut

Tendensen er den samme ved alle omløbstal. Der kan ses en positiv indflydelse på pumpens virkningsgrad, selvom det er en ny pumpe samtidig med, at pumpen mister lidt af sin dydeevne i den høje del af flowområdet.

Den maksimale totalvirkningsgrad hæves fra 72 % til 74 %, hvilket svarer til en effektivitetsfremgang på ca. 3 %.

Case-økonomi:

Nedenfor er opstillet et regnskab for driftsøkonomien omkring distributionspumpen for Holstebro Varmeforsyning:

Pris på pumpe: *30.000 kr.*

Pris på coating: *15.000 kr.*

Årligt eludgift år 1: *90.300 kr. (120.400 kWh)*

El-besparelse fra coating på 10 år: *53.900 kr.*

Pris på pumpeskift: *5.000 kr.*

Årligt vedligehold: *2.000 kr.*

Der er antaget 4.000 årlige driftstimer ved maksimalt flow og en gennemsnitlige elpris på 75 øre pr. kWh. Da målingerne er udført på en ny pumpe vil besparelsen komme dels fra virkningsgradsforbedringen og dels fra fastholdelse af virkningsgraden over tid. Det antages, at virkningsgraden for en u-coatet pumpe falder 0,5 % pr. år. Coatingen vil bibeholde en høj virkningsgrad og tjene sig hjem på under 3 år. Levetiden for pumper i denne type af installationer vil typisk ligge langt over 10 år.

6.1.6 DESMI – model PVLN 1050.23

Pumpetype: *PVLN 1050.23*

Fabrikat: *DESMI*

Nominelt flow: *34 m³/h (v.2950 omd./min)*

Nominelt tryk: *3.000 mbar*

Nominel effekt på pumpe motor: *3 kW*

Benyttet testudrustning: *Testbænk hos Teknologisk Institut*

Miljø:

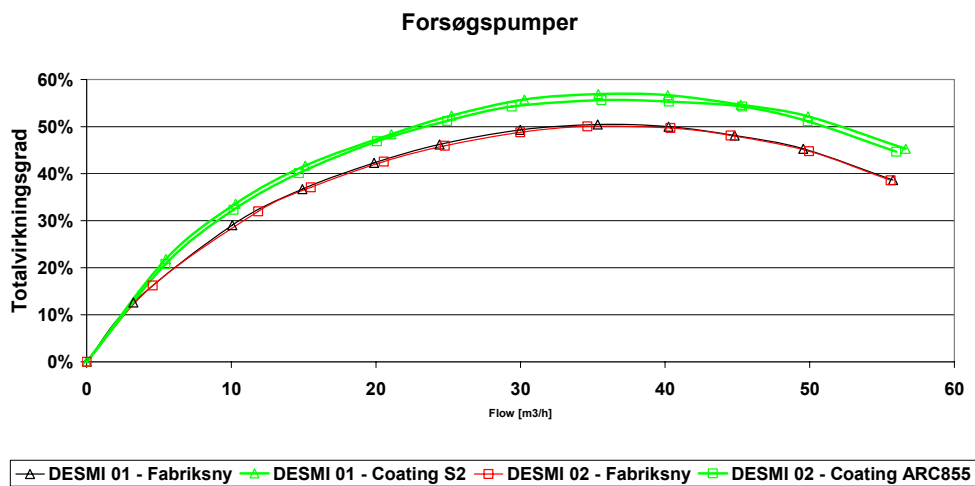
Pumpen er testet med vand fra den offentlige vandforsyning.

Udførte forsøg:

Det er benyttet to ens pumper i forsøgsrækken, og de er begge testet i ucoatet og coatet tilstand. Den ene af pumperne er coatet med det meget glatte ARC S2, mens den anden pumpe er coatet med det mere robuste, men mere ru ARC 855.

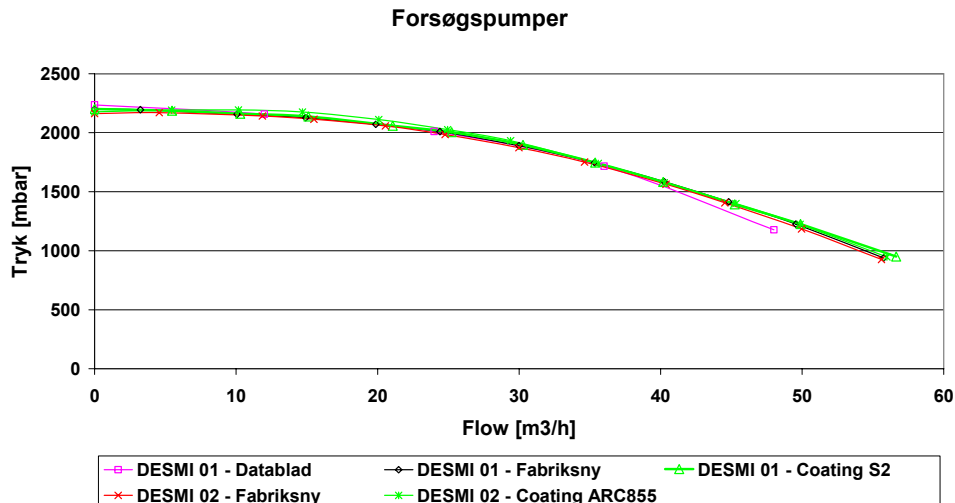
4 kurver er derfor vist i både performance- og effektivitetsdiagrammet:

- DESMI 1 i ucoatet tilstand
- DESMI 1 coatet med ARC S2
- DESMI 2 i ucoatet tilstand
- DESMI 2 coatet med ARC 855



Figur 20: Kurver over virkningsgrader fra testresultater.

Kilde: *Teknologisk Institut*



Figur 21: Kurver over virkningsgrader fra testresultater.

Kilde: Teknologisk Institut

Kurverne viser markant forbedring af pumpens totalvirkningsgrad både ved at coate med 855 og ved at coate med S2. Man kan godt ane, at S2 er en smule bedre, men det er meget lidt set i forhold til risikoen for at fravælge robusthed over for slid.

Den maksimale totalvirkningsgrad er hævet fra 50 % til henholdsvis 56 % og 57 %. Denne effektivitetsøgning på henholdsvis 12 % og 14 % er meget markant i og med, at det er set i forhold til en fabriksny pumpe.

Forbedringen skyldes ikke et unormalt materialevalg for denne lille pumpe (3 kW), men snarere at der er tale om en ældre velfungerende og billig konstruktion, som ikke er blevet optimeret rent hydraulisk over en længere årrække ifølge producentens oplysninger.

Case-økonomi:

Nedenfor er opstillet et regnskab for driftsøkonomien omkring pumperne anvendt i laboratorietesten:

Pris på pumpe: 6.000 kr.

Pris på coating: 6.000 kr.

Årligt eludgift år 1: 10.200 kr. (13.600 kWh)

El-besparelse fra coating på 10 år: 16.700 kr.

Pris på pumpekift: 2.000 kr.

Årligt vedligehold: 500 kr.

Der er antaget 4.000 årlige driftstimer ved maksimalt flow og en gennemsnitlige elpris på 75 øre pr. kWh. Da målingerne er udført på en ny pumpe, vil besparelsen komme dels fra virkningsgradsforbedringen og dels fra fastholdelse af virkningsgraden over tid. Det antages, at virkningsgraden for en ucoatet pumpe falder 0,5 % pr. år. Coatingen vil bibeholde en høj virkningsgrad og tjene sig hjem på under 4 år. Levetiden for pumper i denne type af installationer vil typisk ligge langt over 10 år.

Bagsidetekst

Denne rapport omhandler et forskningsprojekt, hvor det ønskes at udvikle og udbrede viden omkring coating af pumper.

Formålet med at coate pumper er at hæve pumpernes virkningsgrad og dermed mindske deres elforbrug i drift. Dertil kommer, at coating vil øge pumpernes holdbarhed mod slid og korrosion og dermed forlænge deres levetid.

Projektets primære formål har været at øge markedsindtrængning gennem påvisning af den gavnlige effekt for elforbruget ved at coate pumper. Dette er sket ved at teste flere nye og eksisterende pumper i laboratoriestand, hvorved der er opnået tilstrækkelig viden om effekten af coating af pumper i forskellige applikationer. Virkningsgradsforbedringer svinger fra 0 til 29 % og et middeltal på 10 %.

ISBN 87-991436-1-5