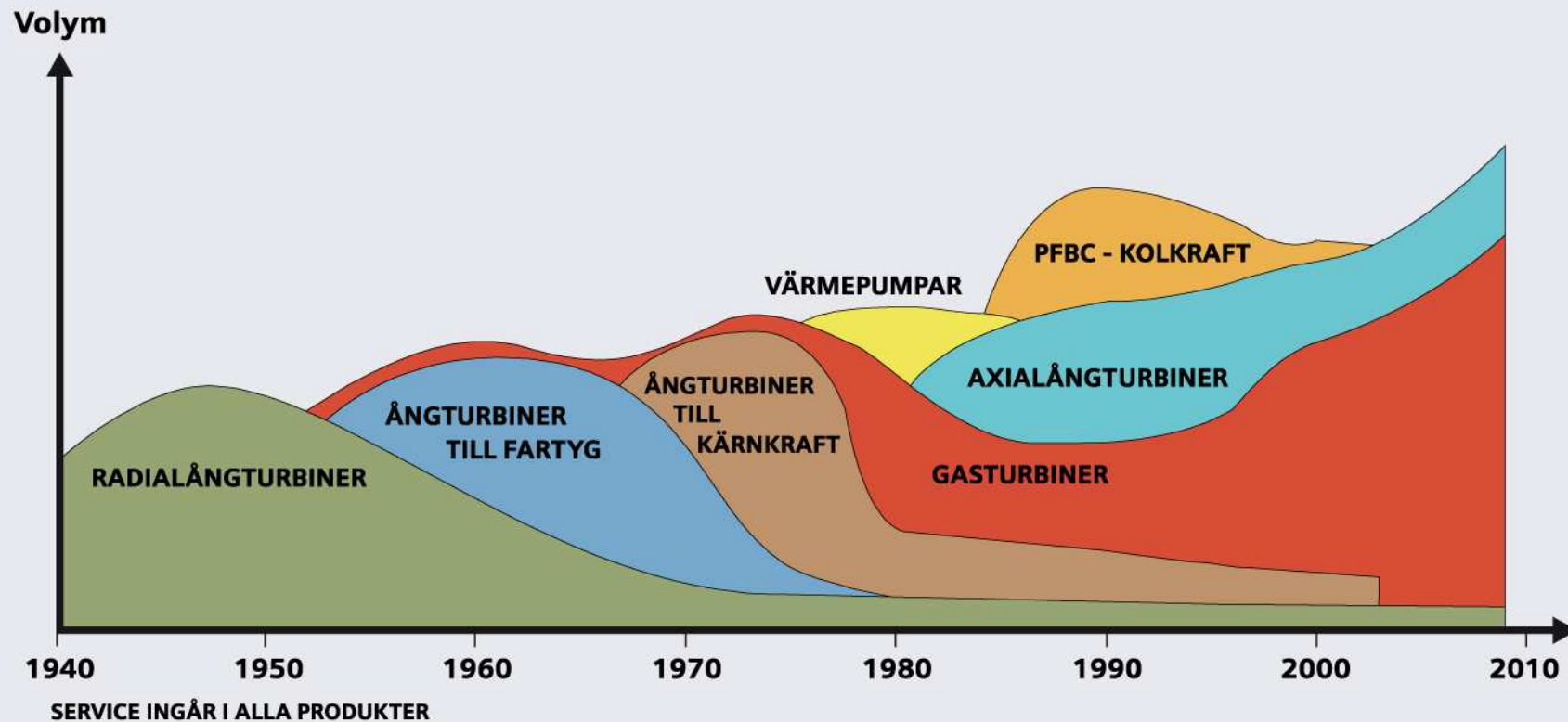


# **Modellbaserad mätning av ytbeläggning och vägg tjocklek med induktiv provning**

Mattias Broddegård  
Siemens Industrial Turbomachinery AB

## Siemens Industrial Turbomachinery

Oavbruten turbintillverkning sedan 1913. STAL, Stal-Laval, ASEA Stal, ABB Stal, Alstom Power Sweden, Siemens Industrial Turbomachinery



For internal use only / Copyright © Siemens Industrial Turbomachinery AB 2007. All rights reserved.

## Ständig anpassning till ny efterfrågan

- **Stopp för kanontillverkning –» ångturbiner**
- **Stopp för jetmotorer –» gasturbiner**
- **Stopp för fartygsångturbiner –» kärnkraftturbiner**
- **Stopp för kärnkraft –» nya gasturbinmodeller**
- **Nu: ångturbiner för solkraft**
- **Kärt barn har många namn:**  
STAL, Stal-Laval, ASEA Stal, ABB Stal, Alstom Power Sweden, Siemens Industrial Turbomachinery



## Solig framtid för ångturbiner

- **Vi är världsledande på turbiner för solkraftverk, helt utan koldioxidutsläpp!**
- **Globalt ansvar för Siemens ångturbiner 60–250 MW**
- **Modell SST-900 med/utan mellanöverhettning**
- **Modell SST-700 med/utan mellanöverhettning**



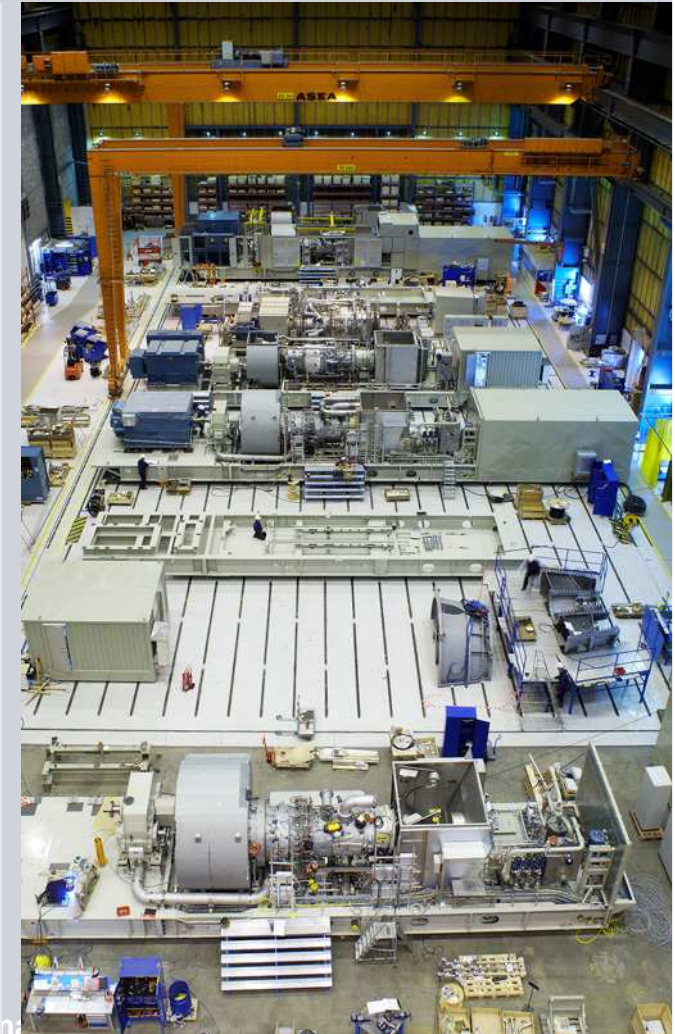
## Två exempel på solkraftanläggningar

- **Andasol i Spanien (bilden). El till 25 000 hushåll. Här sparar var och en av våra ångturbiner 152 000 ton koldioxid per år jämfört med tidigare kraftkällor.**
- **Nevada Solar One i USA. Vår ångturbin SST-700 på 64 MW ger 15 000 hushåll el – helt utan koldioxidutsläpp**



## Sällsynt effektiva gasturbiner 15–50 MW

- För att producera el/värme, eller som ”motor”
- **Gasturbin + ångturbin = Kombikraftverk.** Mycket hög verkningsgrad, dvs miljövänligare.
- **Absolut världsklass** vad gäller miljövänlighet
- **4 huvudtyper tillverkas här:** SGT-500, SGT-600, SGT-700, SGT-800



## Ett nyckelfärdigt kraftverk, tack!

- **Exempel:** Rya Kraftvärmeverk – en nyckelfärdig gaskombianläggning för Göteborg Energi. Producerar en tredjedel av Göteborgs behov av el och fjärrvärme – med extremt låga utsläpp.
- **En leverantör för hela anläggningen!**
- **Gasturbin, panna, ångturbin, generator, kontrollsystem, miljösystem**
- **Mycket pålitlig drift, tack vare kompatibla komponenter och system**



## Avancerad OFP på Siemens Industrial Turbomachinery

**SIEMENS**

Avdelningen för materialteknik ansvarar för identifiering och införande av ny provningsteknik.

Phased Array

TOFD av elektronstrålesvetsar i turbinrotorer

Akustisk Termografering – Siemat

FSECT – Frequency Scanning Eddy Current Testing



## Användning av ytbeläggningar på turbinkomponenter

**SIEMENS**

Turbinskovlar är utsatta för stora påfrestningar under drift i form av hög temperatur (>1000°) och hög mekanisk belastning (10 000 rpm).

Verkningsgraden hos turbinen ökar med ökande temperatur. I moderna gasturbiner används turbinskovlar i form av precisionsgjutgods med invändiga kylkanaler vilket gör att tillverkningskostnaden blir hög.

För att skydda materialet i turbinskoveln mot oxidation används ytbeläggningar innehållande bland annat aluminium. Under drift förbrukas aluminium genom att ett skyddande oxidskikt kontinuerligt bildas.

Genom att mäta den återstående aluminiumhalten kan återstående livslängd hos ytbeläggningen fastställas. Om skoveln tas ur drift innan grundmaterialet börjar oxidera kan en ny ytbeläggning appliceras.

## FSECT - Frequency Scanning Eddy Current Testing

**SIEMENS**

Modellbaserad teknik för mätning av egenskaper hos ytbeläggningar: tjocklek, elektrisk ledningsförmåga, permeabilitet. Den elektriska ledningsförmågan är kopplad till aluminiumhalten.

Tekniken kan dessutom användas för väggjockleksmätning.

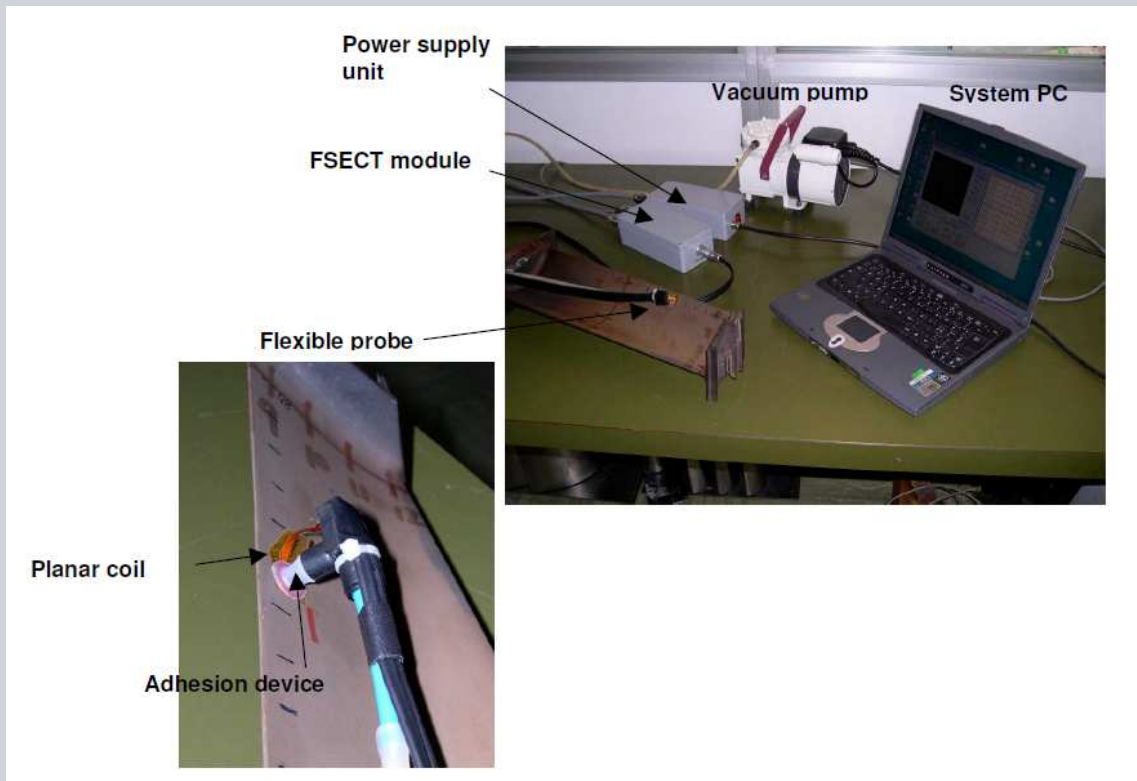
- 1: Mätningar vid ett antal olika frekvenser = inträngningsdjup.
- 2: Anpassning av parametrar hos matematisk modell av provningsobjektet för att efterlikna mätresultaten.

Kalibrering av systemet utförs på två referensroppar med känd elektrisk ledningsförmåga. Inget behov av ytbelagda provbitar för kalibrering!

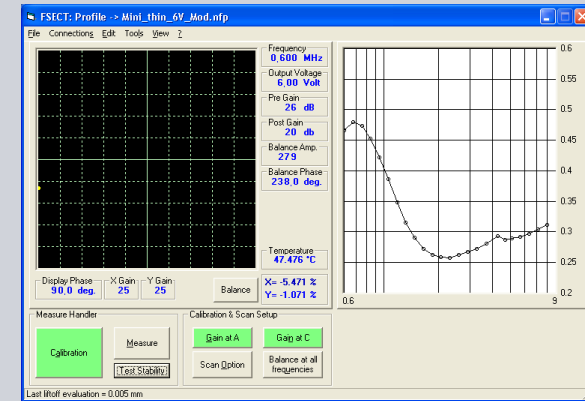
Utvecklad av CESI – Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano

## FSECT utrustning

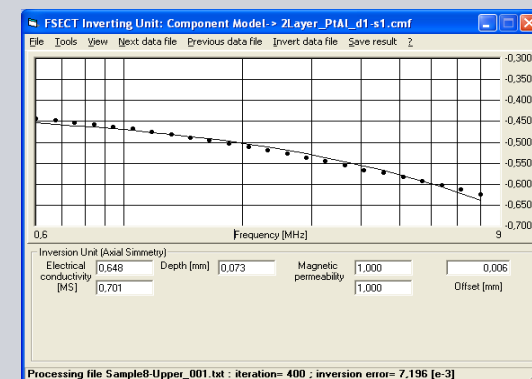
### Hårdvara



### Mjukvara



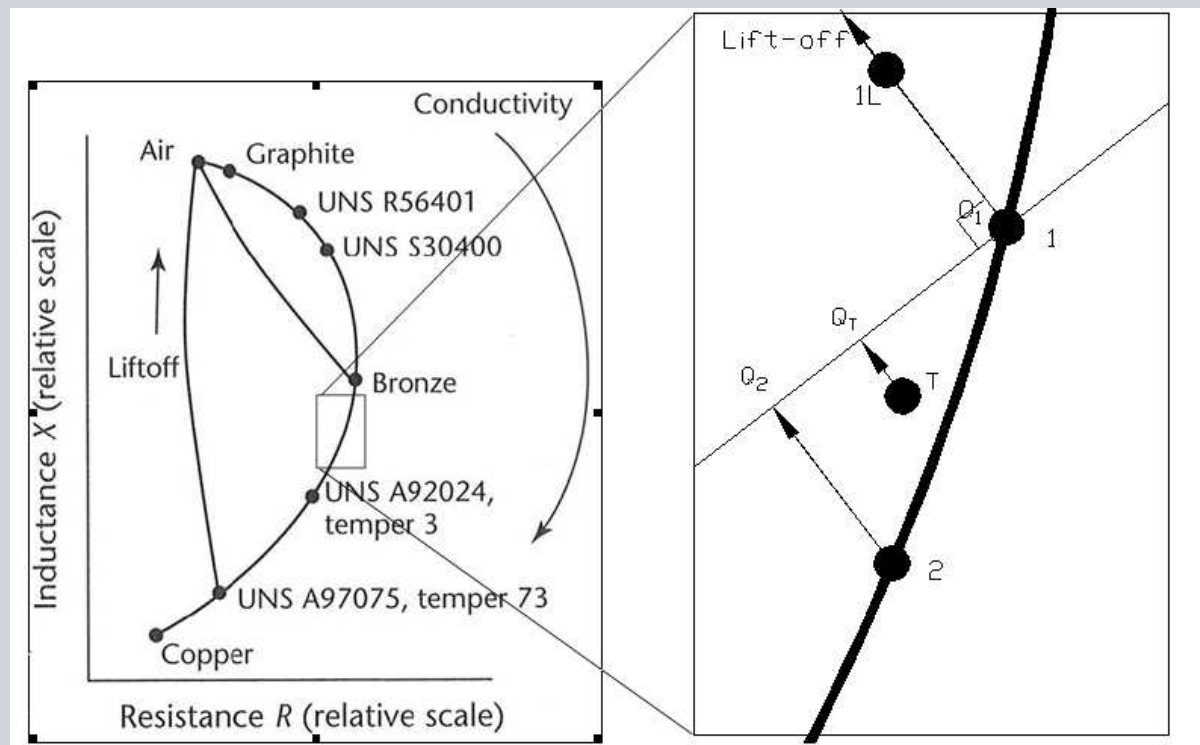
### Mätning



### Analys

## Princip för normalisering av mätdata

Mätdata utgörs av en parameter kallad "Normaliserad impedans". Denna erhålls genom att först utföra mätningar med och utan lift-off på två kalibreringsblock med känd elektrisk ledningsförmåga

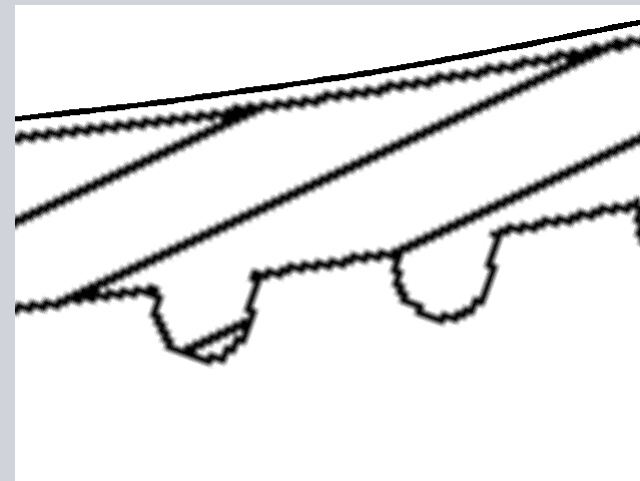
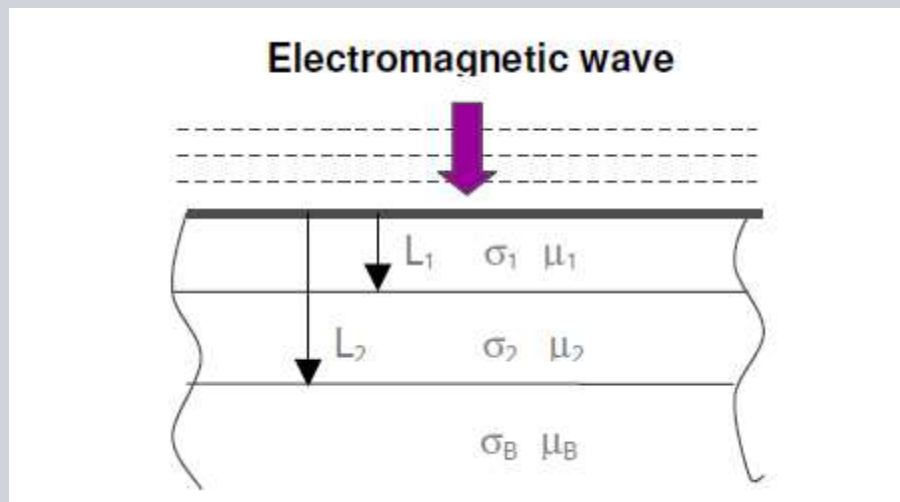


$$R_T \equiv \frac{Q_T - Q_1}{Q_2 - Q_1}$$

## Matematisk modell av provningsobjektet

En modell bestående av 2-4 lager med olika elektrisk ledningsförmåga, tjocklek och magnetisk permeabilitet

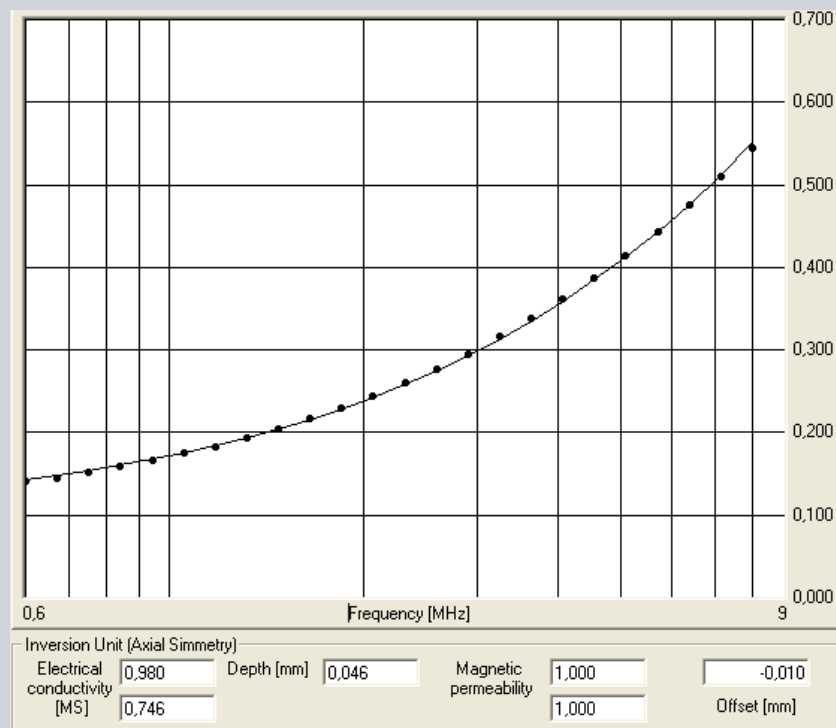
Exempel på modell med tre lager och ett motsvarande provningsobjekt



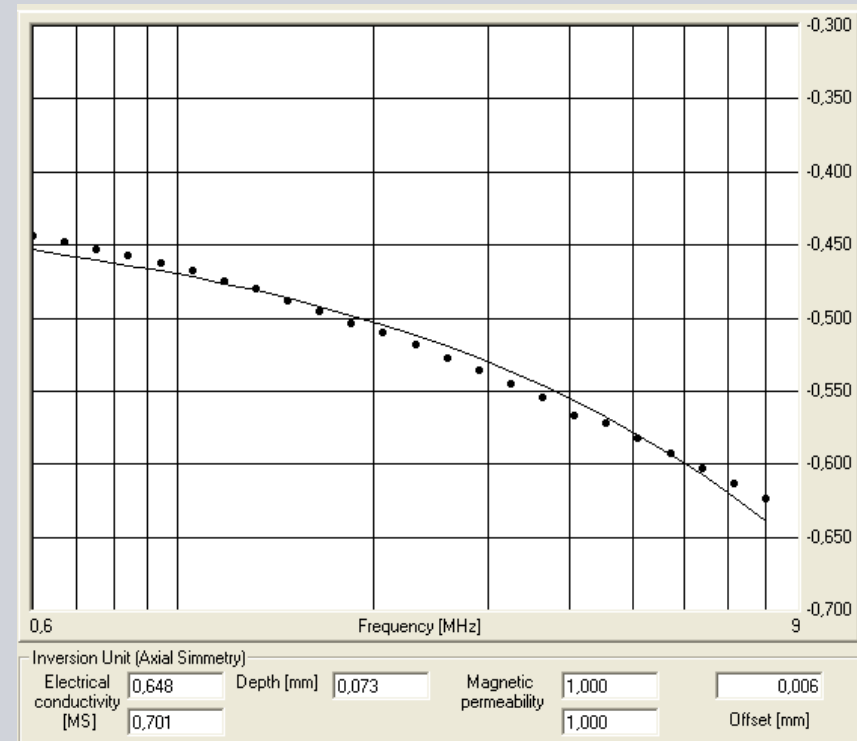
# Mätningar på PtAl ytbeläggning på testbitar exponerade i ugn



Resultat från mätning och analys av testbitar exponerade i ugn. 2 lager



Oexponerad testbit. Ytbeläggningens elektriska ledningsförmåga är 0,980 MS/m vilket är större än grundmaterialets som är 0,746 MS/m. Ytbeläggningens tjocklek beräknas till 0,046 mm

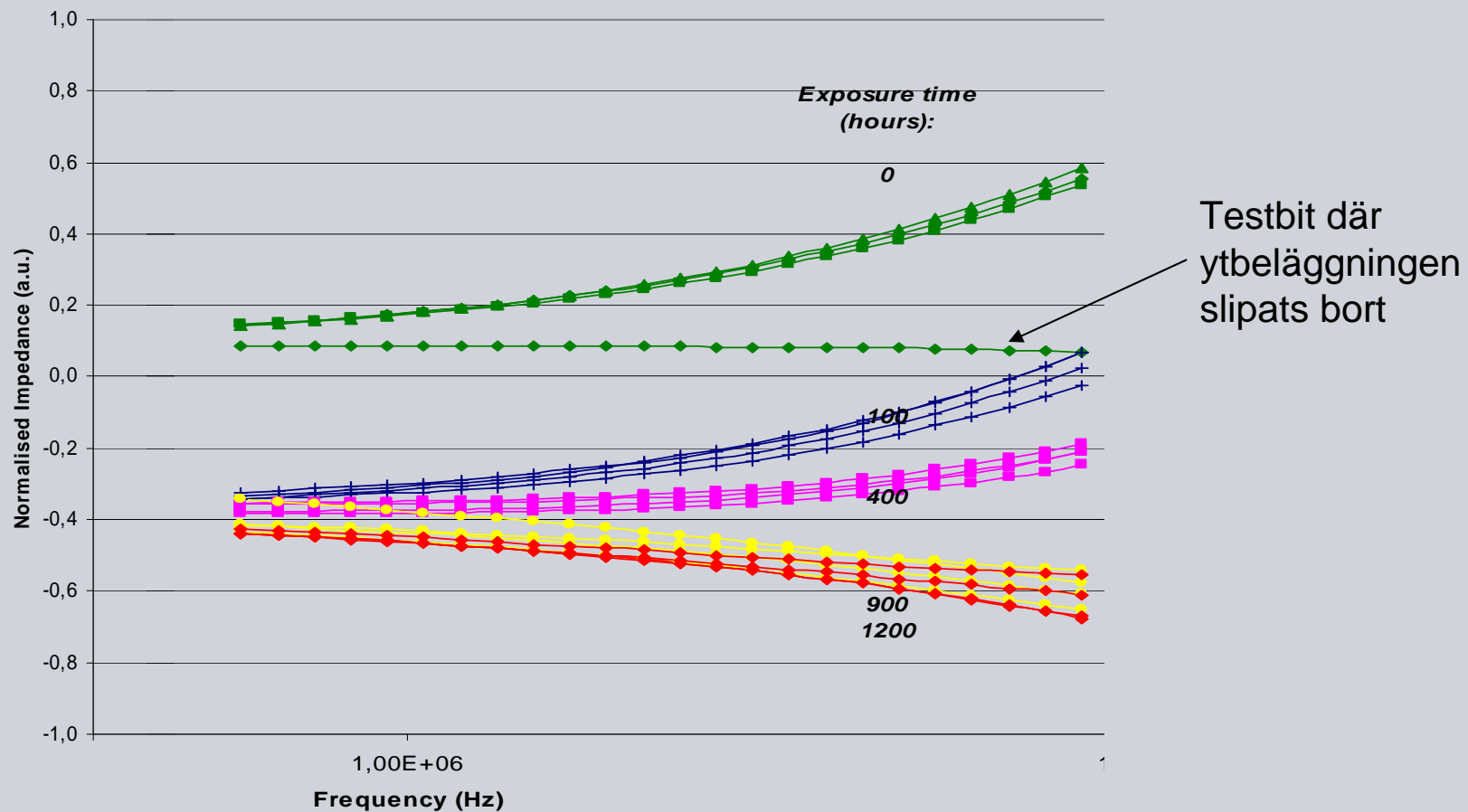


Exponerad testbit. Ytbeläggningens elektriska ledningsförmåga är här 0,648 MS/m vilket är lägre än grundmaterialets som är 0,701 MS/m. Ytbeläggningens tjocklek beräknas till 0,073 mm

# Mätresultat från testbitar med PtAl ytbeläggning, exponerade i ugn under olika lång tid



Mätningar vid 24 frekvenser från 600 kHz till 8 MHz



For internal use only / Copyright © Siemens Industrial Turbomachinery AB 2007. All rights reserved.

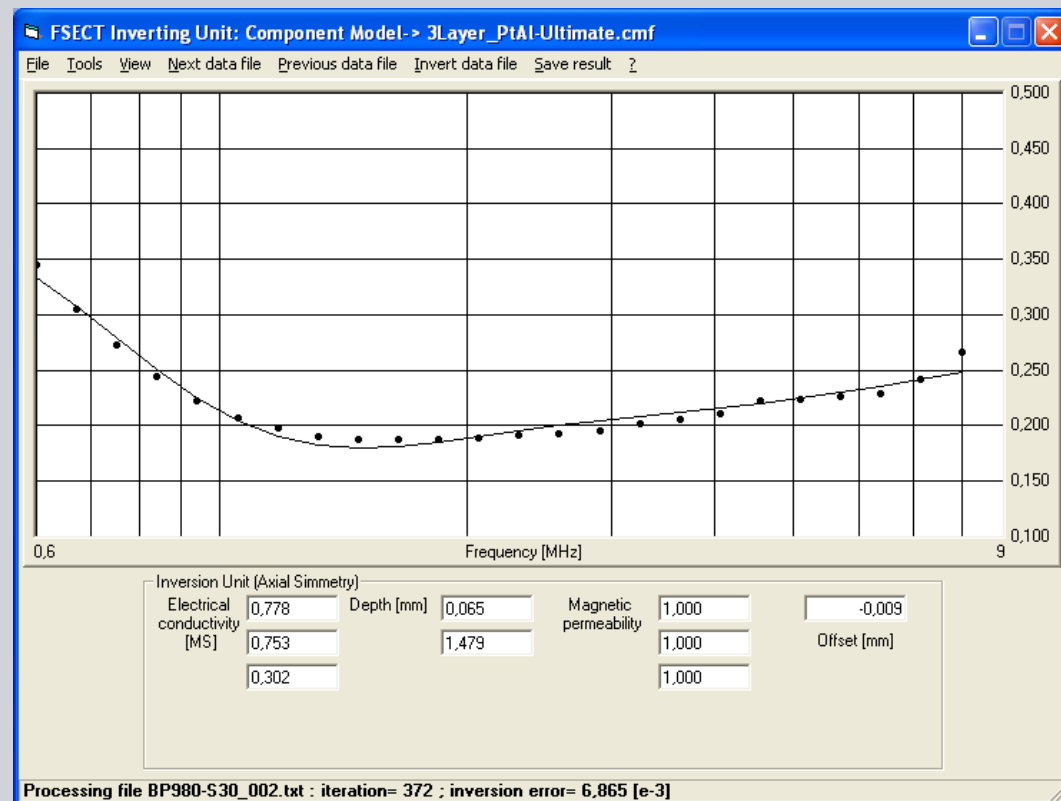
## Mätning av PtAl ytbeläggning på turbinskovel som varit i drift

SIEMENS

På grund av den begränsade väggjockleken hos turbinskoveln behövs ytterligare ett lager i den matematiska modellen

Genom att utföra mätning på ett antal skovlar där Al-halten sedan uppmätts genom metallografisk undersökning har ett samband mellan elektrisk ledningsförmåga och Al-halt kunnat fastställas

Detta kan i sin tur användas för att uppskatta återstående livslängd.



Resultat från turbinskovel med 17000 drifttimmar.

For internal use only / Copyright © Siemens Industrial Turbomachinery AB 2007. All rights reserved.



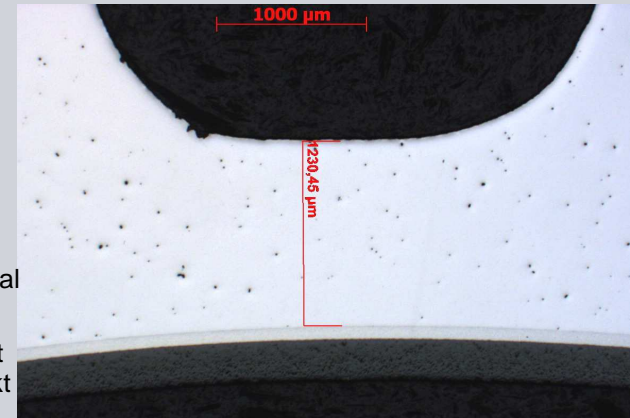
## Mätning av vägg tjocklek hos turbinskovlar med keramisk ytbeläggning

SIEMENS

För att ytterligare kunna öka temperaturen kan en keramisk ytbeläggning appliceras ovanpå den oxidationsskyddande. Detta kallas TBC (Thermal Barrier Coating).

Grundmaterial

Bindskikt  
Toppskikt



På grund av ett processfel hos en leverantör av skovelämnen befarades att ett antal skovlar med avvikande vägg tjocklek hade levererats. Då en del av dessa skovlar redan var ytbelagda med TBC valdes att utföra vägg tjockleksmätning med FSECT istället för ultraljud.

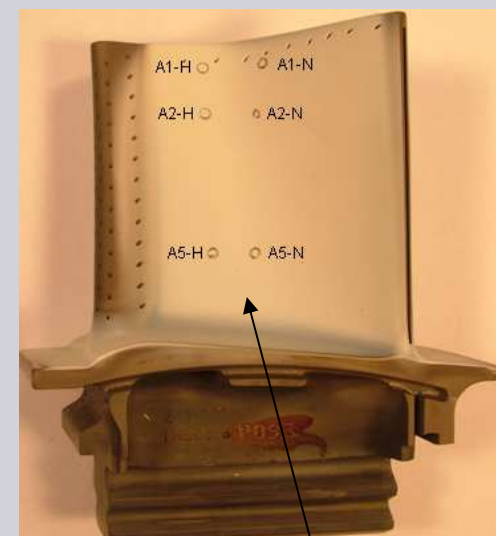
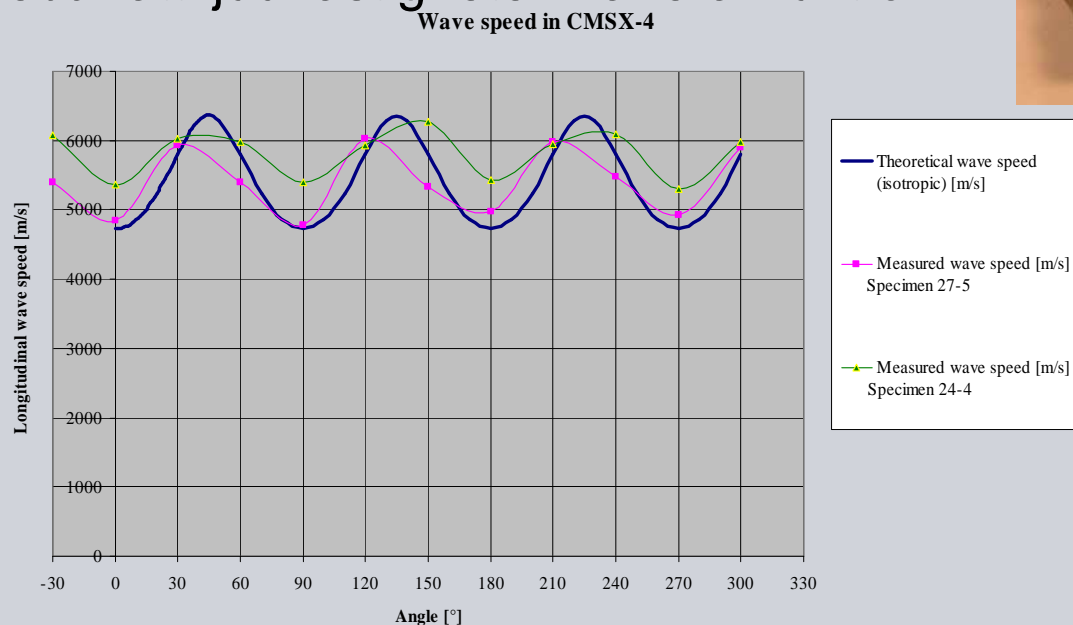
Det keramiska toppskiktet leder till lift-off vid mätningen. Genom att utföra kalibreringen med åtminstone ett värde på lift-off överstigande toppskiktets tjocklek kan denna mätas samtidigt som skovelns vägg tjocklek kontrolleras.

# Mätning av vägg tjocklek hos turbinskovlar med keramisk ytbeläggning

SIEMENS

Grundmaterialet i skoveln är en s.k. enkristall, CMSX-4. Vid gjutningen sker stelningen så att kristallriktningen sammanfaller med skovelns längdaxel vilket ger mycket goda krypegenskaper.

Detta innebär att ljudhastigheten varierar runt om skoveln.

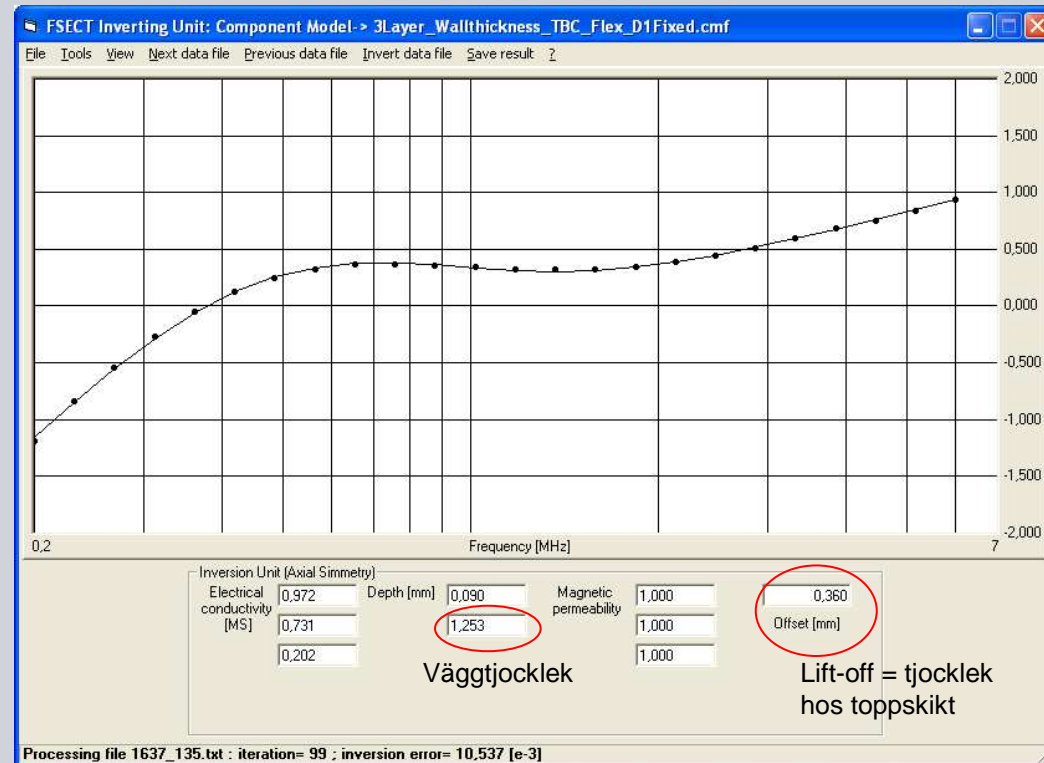


Vägg tjockleken mätes i 6 lägen

## Mätning av vägg tjocklek hos turbinskovlar med keramisk ytbeläggning

SIEMENS

Även i detta fall användes en modell med tre lager. Toppskiktet, som motsvaras av lift-off, behöver inte tas med i modellen utan erhålls ”på köpet”



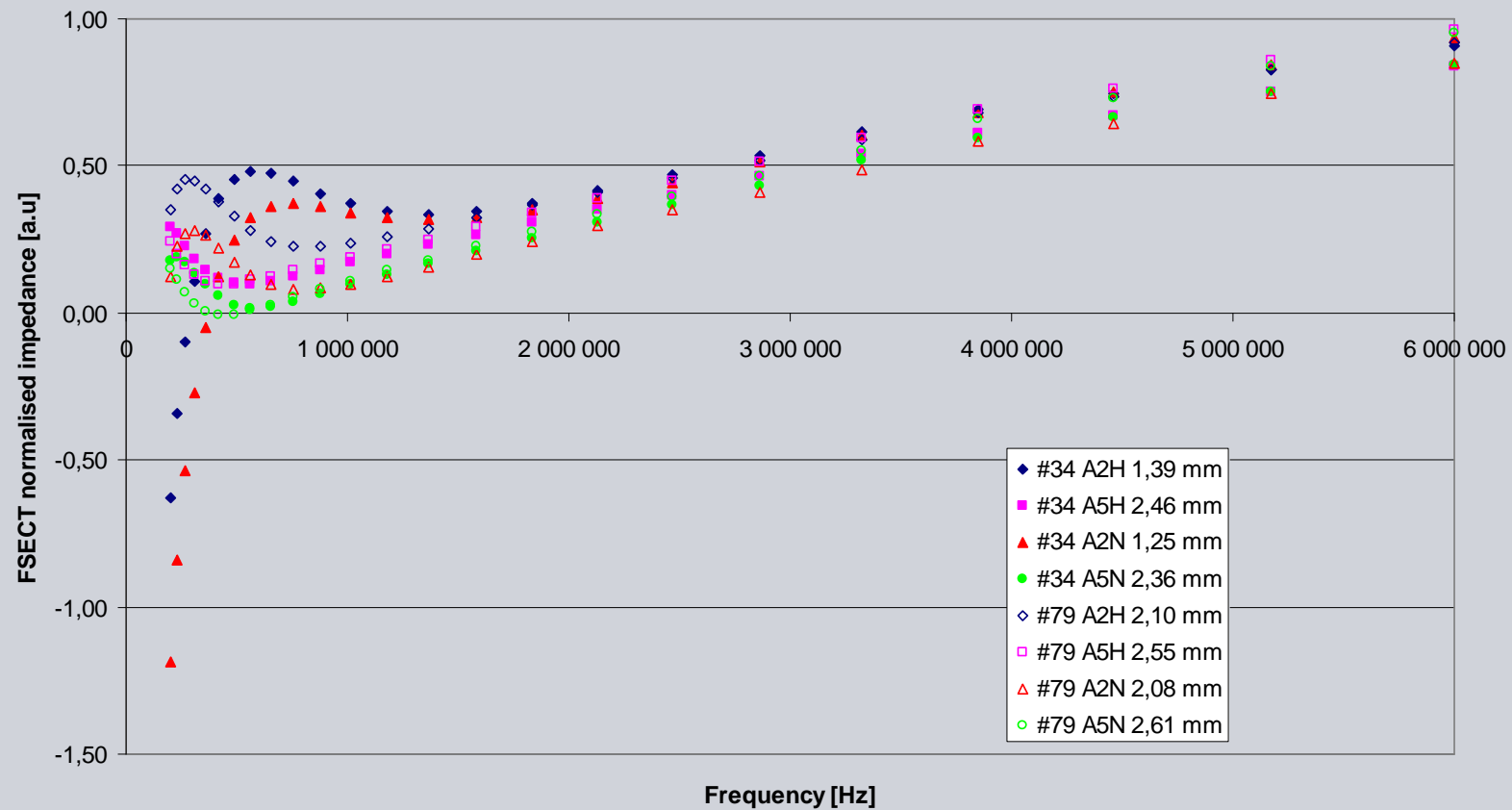
För att få mer vikt från inverkan av vägg tjockleken användes 200 kHz – 6 MHz frekvens. Den elektriska ledningsförmågan för CMSX-4 uppmättes med FSECT till 0,74 MS/m vilket innebär att standard inträngningsdjup vid 200 kHz frekvens blir 1,7 mm.

For internal use only / Copyright © Siemens Industrial Turbomachinery AB 2007. All rights reserved.

# Mätning av vägg tjocklek hos turbinskovlar med keramisk ytbeläggning



Inverkan från vägg tjocklek är påtaglig för frekvenser upp till 2 MHz

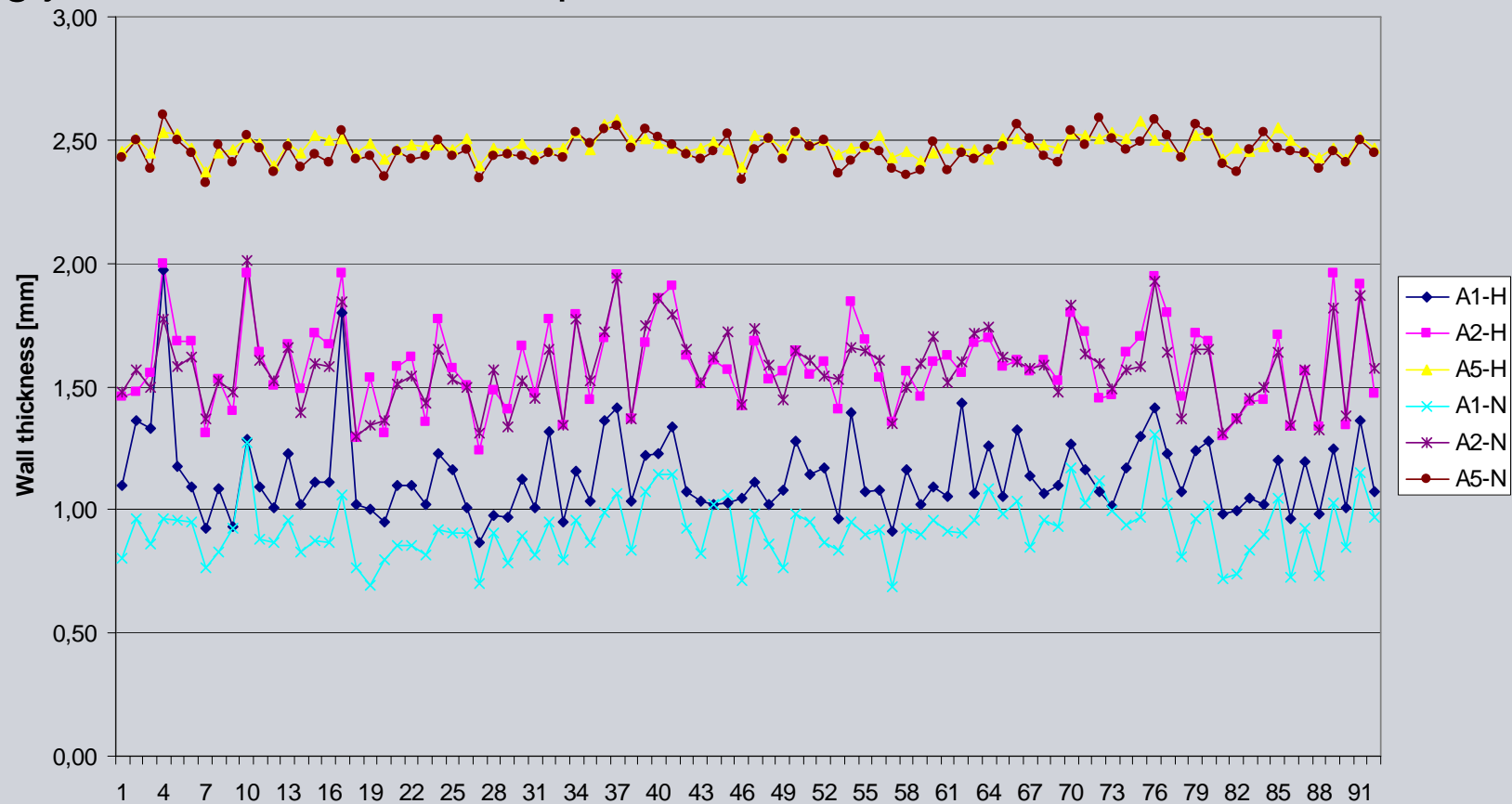


For internal use only / Copyright © Siemens Industrial Turbomachinery AB 2007. All rights reserved.

# Mätning av vägg tjocklek hos turbinskovlar med keramisk ytbeläggning



Mätresultat från en sats med skovlar. God korrelation mellan vägg tjockleken i de olika mätpunkterna.

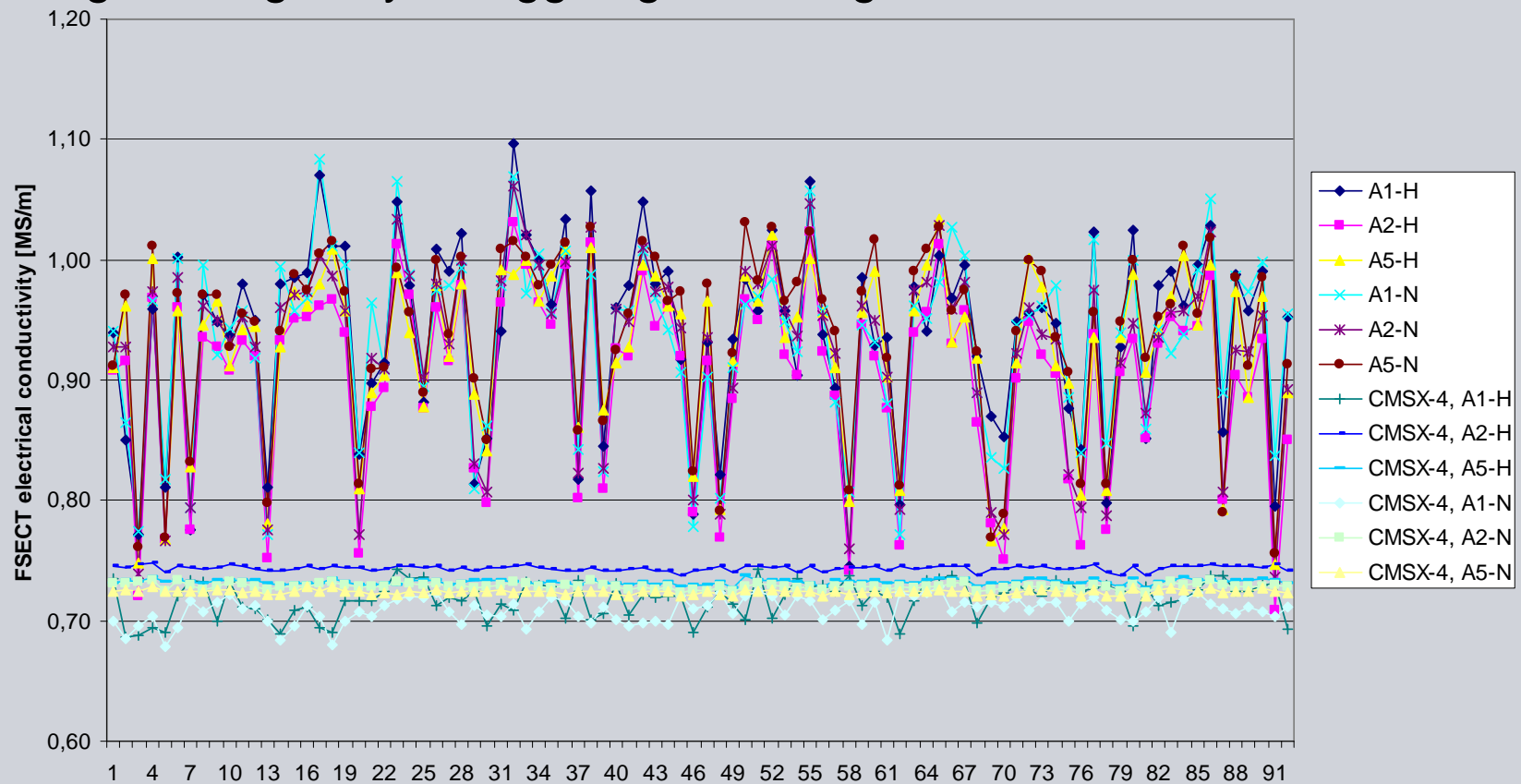


For internal use only / Copyright © Siemens Industrial Turbomachinery AB 2007. All rights reserved.

# Förekomst av skovlar med avvikande ytbeläggning i samband med vägg tjockleksmätning



Vid utvärdering av en sats skovlar noterades att den elektriska ledningsförmågan i ytbeläggningen var lägre för vissa skovlar.

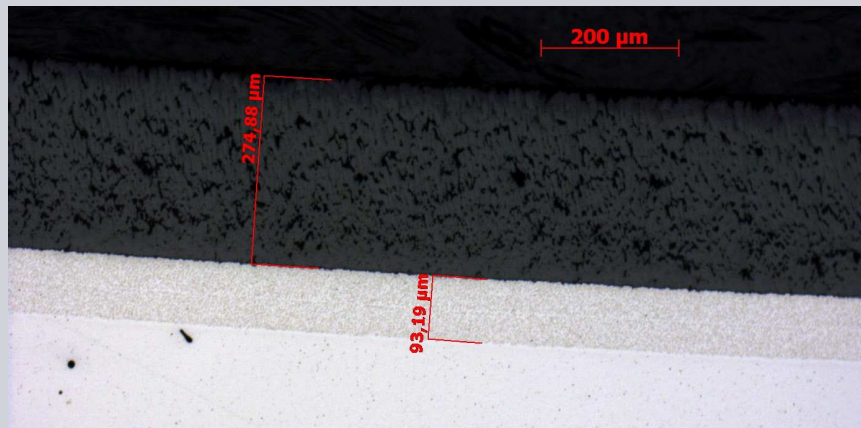


For internal use only / Copyright © Siemens Industrial Turbomachinery AB 2007. All rights reserved.

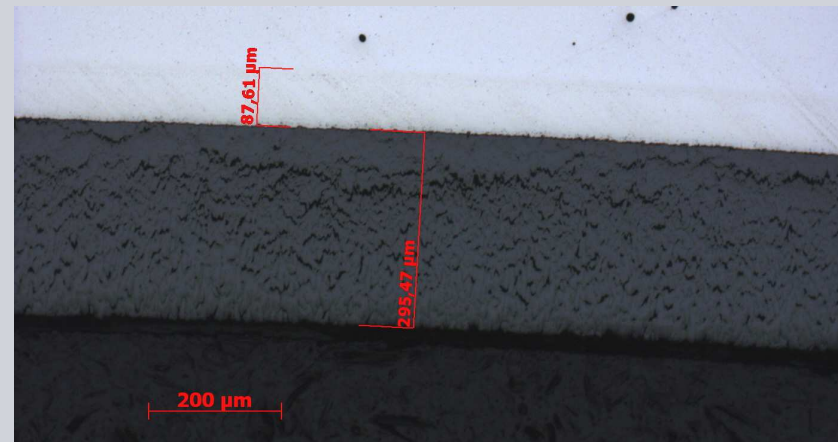
## Upptäckt av skovlar med avvikande ytbeläggning i samband med vägg tjockleksmätning

SIEMENS

Metallografisk undersökning av en skovel visade att ytbeläggningens kemiska sammansättning var felaktig. Detta berodde på ett processfel hos ytbeläggningens leverantören...



Tvärsnitt av skovel med normal elektrisk ledningsförmåga i bindskiktet



Tvärsnitt av skovel med låg elektrisk ledningsförmåga i bindskiktet. Analys i med EDS i svepelektronmikroskop visade att kromhalten i ytbeläggningen var för låg