



# TEKNISK RAPPORT

## vedrørende

Fejlanalyse af Siemens Geafol cast-resin transformer.

Type: 4GB6382-8KZ

Nr: K7 54077

Destination: Danmark, Middelgrunden, Wind Turbine 11

Udført for:

### **Middelgrundens Vindmøllelaug**

Att.: Jens H. Larsen

Blegdamsvej 4B, Økologihuset

DK-2200 København N

Dato: 2003-12-16

Rapporten udført af: Martin Olsen  
Vort sagsnr.: 1154834  
Teknisk rapport nr. 1154834-2

Antal bilag: Bilag A: Transformer fra mølle 11 HV fase W sideprøve  
Bilag B: Transformer fra mølle 11 HV fase W bagside  
Bilag C: Transformer fra mølle 11 HV fase V revneoverfladeanalyse

## Fejlanalyse af Siemens Geafol cast-resin transformere

Indhold	Side
1: Resume indeholdende hovedkonklusion	2
2: Forhistorie	2
3: Opgavebeskrivelse	3
4: Undersøgelse	3
5: Konklusion	4
Bilag A: Transformer fra mølle 11 HV fase W sideprøve	
Bilag B: Transformer fra mølle 11 HV fase W bagside	
Bilag C: Transformer fra mølle 11 HV fase V revneoverfladeanalyse	

### 1: Resume indeholdende hovedkonklusion

De supplerende undersøgelser viser, at revnedannelsen ikke er afgrænset til området omkring øverste HV delspoles overside og udføringsenden, der føres over spolen. (Det område, hvor revner tidligere er konstateret).

Der er fundet revner ved begge supplerende prøver, og revnerne er fundet i præcis samme område som tidligere set.

Elektronmikroskopiundersøgelsen har ikke været i stand til at dokumentere evt. elektrisk aktivitet i den undersøgte revne.

### 2: Forhistorie

Der er som resultat af tidligere fejlstedundersøgelse (rapport 1154834-1, dateret 21.05.2003) rejst spørgsmål i Task Force gruppen om revnernes eventuelle udbredelse og muligheden for, at der kunne påvises revner andre steder i HV spolens isolationssystem.

På baggrund af revner fundet under de første fejlstedundersøgelser har der været behov for yderligere undersøgelser for at forsøge at finde årsagssammenhænge til belysning af revnernes udbredelse og opståen.

### 3: Opgavebeskrivelse

Der ønskes en opskæring 2 steder på transformer fra mølle 11 i tilstrækkelig afstand fra fejlstedsområdet.

Dette skal belyse, om der også findes revner i en større afstand fra udføringsenderne, hvilket kan indikere, om det er temperaturrelaterede revner.

Ligeledes ønskes der gennemført en revne/brudfladeundersøgelse af en typisk revne for at undersøge, om der kan påvises tegn på elektrisk aktivitet, hvilket i bekræftende fald vil kunne fortælle om den pågældende revnes alder.

### 4: Undersøgelse

Transformerproducenten Siemens har tidligere som kommentar til ”fundet” af revnerne fremført den overbevisning, at de opstår under prøveudtagningen.

For at imødekomme og belyse dette synspunkt nærmere blev Siemens inviteret til at deltage i prøveudtagningen til denne rapport.

(Siemens deltog 24.-25. juni 2003 i prøveudtagning og indledende undersøgelse).

Der er som nævnt fundet revner ved begge supplerende prøver. (Bilag A+B)

Prøverne er udtaget henholdsvis på siden af HV spolen, hvor indstøbningsmassen er meget tyndere, samt på spolens bagside, hvor indstøbningsmassen har samme tykkelse og geometri som spoleforsiden med den forskel, at der ikke er nogen udføringsende, som påvirker indstøbningen.

Revnerne er fundet i præcis samme område som tidligere set, men er ikke så store/udviklede som tidligere set, hvilket vi umiddelbart mener skyldes, at indstøbningsmassen ikke er ”svækket” af en udføringsende, som det har været tilfældet ved tidligere prøver.

Vi har som ved tidligere undersøgelser fikseret prøven under udtagning netop for at undgå, at indre spændinger udløser revner under prøveudtagningen.

Dette gør vi ved hjælp af stagbolte, der monteres og spændes igennem prøveemnet før udskæring. Prøven vakuumindstøbes umiddelbart efter udtagning, og efter opskæring og udførelse af slib inspiceres og undersøges prøven.

Det er vores overbevisning, at de revner, vi har påvist i undersøgelsen, er opstået før prøveudtagning og bearbejdning.

Revnegeometrier og udbredelsesretning indikerer, at revnerne skyldes forskydningskræfter på langs i spolesystemet.

Ved undersøgelsen er der endvidere fundet revneudbredelser ned i det yderste folie isolationsmateriale og ikke i de forventede overgange mellem enkelte folielag.

Dette fænomen underbygger efter vor opfattelse, at revnerne er opstået før prøveudtagning.

Elektronmikroskopiundersøgelsen har ikke været i stand til at dokumentere evt. elektrisk aktivitet i den undersøgte revne. (Bilag C)

Det er vores opfattelse, at revner af den størrelse, der er konstateret, medfører øget risiko for elektriske udladninger (Partiel Discharge, PD) i revnerne.

Vi har ikke fundet tegn på udladninger i den revne, vi har undersøgt, hvilket vi samtidig skal understrege, ikke er ensbetydende med, at der ikke kan findes tegn på PD i andre revner.

Vores undersøgelser af den konkrete revne er debatteret med PD eksperten Joachim T. Holbøll, DTU og mylarrevnerne er præsenteret for Povl Brøndsted, Risø, Kompositter og Materiale-mekanik, Afdelingen for Materialeforskning.

## 5: Konklusion

De supplerende undersøgelser viser, at revnedannelsen ikke er afgrænset til området omkring øverste HV delspoles overside og udføringsenden, der føres over spolen. (Det område, hvor revner tidligere er konstateret).

Der er fundet revner ved begge supplerende prøver, og revnerne er fundet i præcis samme område af HV spolens øverste hjørneafslutninger som tidligere set.

Det er tidligere konstateret, at revnerne dels orienterer/udbreder sig diagonalt mod spoleindstøbningens hjørne, og samtidig løber ned mellem den yderste grundisolerings enkelte mylarlag.

Som supplement til disse iagttagelser ses der ved de nye undersøgelser en udbredelse ned i selve de enkelte mylarlag.

Dette er en ny iagttagelse, og sammenholdt med tidligere undersøgelsesresultater er det vores opfattelse, at det underbygger det tidligere fremførte scenario, at årsagen skal findes i indspændingsforholdene.

En revne opstået i forbindelse med prøveudtagning vil ikke delaminere et mylarlag, men skabe revner i overgangen imellem de enkelte mylarlag og indstøbningssmasse.

En revne opstået i forbindelse med en ”for stor” temperaturforskel i transformerens enkeltdeler vil kunne skabe forskydningskræfter på langs af spolesystemet og dermed på langs af mylarlagene. Denne forskydningspænding vil kunne skabe revner i selve mylarlaget.

Indspændingsforholdene varierer med driftsituation, termiske forhold samt størrelsen af de ”rest-spændinger” i støbemassen, der opstår under fremstillingen ved indstøbningen og afhærdning af spolesystemet.

Elektronmikroskopiundersøgelsen har ikke været i stand til at dokumentere evt. elektrisk aktivitet i den undersøgte revne.

16. december 2003



---

**Teknologisk Institut**  
Center for Havari og Sikkerhed

**Martin L. Olsen**  
Direct phone: +45 7220 1698  
Mobile phone: +45 2270 5283  
Direct fax: +45 7220 1717  
[martin.l.olsen@teknologisk.dk](mailto:martin.l.olsen@teknologisk.dk)

Kongsvang Allé 29  
DK-8000 Aarhus C  
Denmark  
[www.teknologisk.dk](http://www.teknologisk.dk)