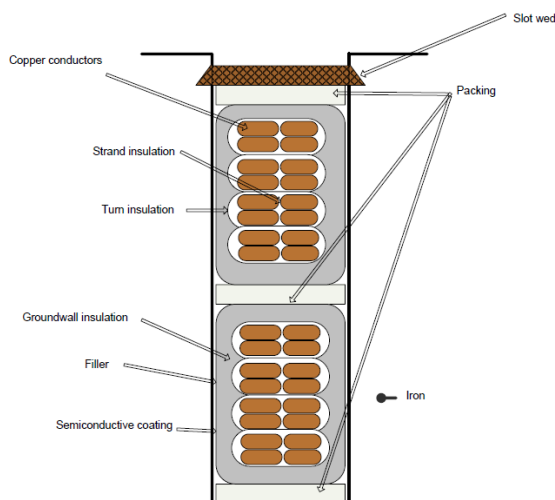




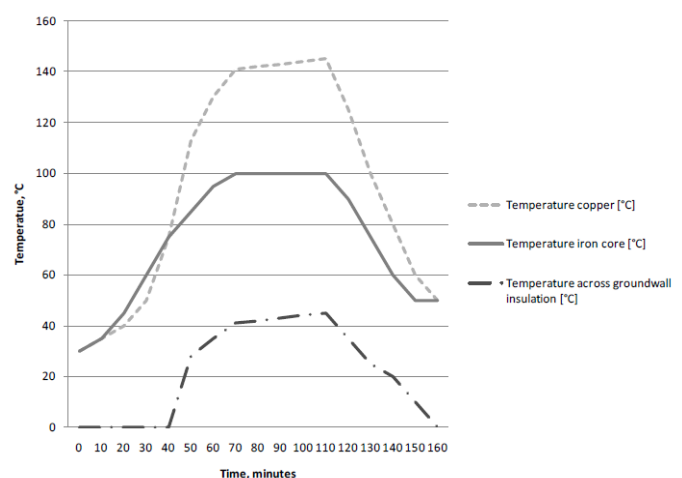
## Litteraturstudie - termisk sykling av statorviklinger for vannkraftgeneratorer

I "Verdiskapende vedlikehold innen kraftproduksjon" inngår to PhD-oppgaver. Den første ble ferdigstilt i 2008 (Thomas Welte). Den andre PhD-oppgaven utføres av Maren Istad og omhandler statorviklinger, se Figur 1, og virkningen av effektkjøring på viklinger der hovedisolasjonen består av mica/epoxy/polyester. Dette arbeidet ble igangsatt høsten 2009.

I oppgaven til Maren Istad er det gjennomført en litteraturstudie. Bakgrunnen for denne studien var å få oversikt over relevant litteratur publisert internasjonalt. Det er gjennomført mange laboratorietester med statorviklinger for å se om de tåler effektkjøring, og for å studere tilstandsutviklingen i løpet av mange termiske sykler for ulike typer statorviklinger med tanke på sammenligning. Disse laboratorietestene er ofte utført ved å kjøre strøm igjennom viklingene og bruke kobbertapene til å varme opp isolasjonen. Når maksimaltemperatur er nådd, avkjøles viklingen ved hjelp av vifter. Et eksempel på en slik termisk sykel er vist i Figur 2. Dette gjøres igjen og igjen, ofte avbrutt av diagnostiske tester, som tanø og ulike PD-målinger. Når forsøket avsluttes måles noen ganger overslagsspenning eller tid til overslag (breakdown voltage or voltage endurance). Testene er ment å akselerere nedbryting av isolasjonen forårsaket av effektkjøring.



Figur 1 Statorvikling i spor



Figur 2 Eksempel på termisk sykel

De viktigste konklusjonene fra litteraturstudien er gjengitt under:

- Det er enighet om at effektkjøring øker termomekaniske stress for hovedisolasjonen. Dette forårsaker aldring som er synlig på mange måte; delaminering av isolasjonen, kobber og hovedisolasjon separeres, slitasje på yttersiden av isolasjonen, osv. Rapporter om isolasjonsproblemer på grunn av effektkjøring eksisterer, men det er vanskelig å estimere omfanget. Generatorfeil forårsakes ofte av mange faktorer samtidig, så det er vanskelig å si om effektkjøring fører til flere isolasjonsfeil.
- I noen tilfeller øker  $\tan\delta$  og PD-aktivitet med antall termiske sykler og kan gi nyttig informasjon om noen sider av tilstanden til isolasjonen for en gitt generator. Men i andre tilfeller er det vanskelig å tolke målingene, og dermed blir ingen ny informasjon om tilstanden tilgjengelig.
- Økende  $\tan\delta$  med økende antall termiske sykler er av flere kilder rapportert å være knyttet til separasjon av kobber og hovedisolasjon, se Figur 1. Økende  $\tan\delta$  kan indikere at det er kommet hulrom mellom kobber og hovedisolasjon. Stabil  $\tan\delta$  kan indikere at det er god heft mellom kobber og isolasjon.
- Det er krevende å tolke resultater fra PD-målinger. Nyttverdien av PD-målinger for å kunne si noe om tilstanden til isolasjonen varierer veldig i ulike kilder i litteraturen. Det er viktig å huske at PD-målinger kan si noe om visse aspekter ved tilstandsutviklingen og mindre om "totaltilstanden".
- Ulike destruktive målemetoder som måling av overslagsspenning og tid til overslag stemmer i noen tilfeller overrens med  $\tan\delta$  og PD-målinger og i andre tilfeller ikke. Ulike målemetoder gir altså ikke nødvendigvis den samme informasjonen om tilstanden til isolasjonen.
- Det er mange kilder som er enige om at overslagsspenning kan gi en indikasjon om tilstanden til isolasjonen og restlevetiden. Det er heller usikkert om  $\tan\delta$  og PD-målinger kan brukes til å estimere restlevetid. Det kan være at disse målingene kan si noe om restlevetiden når viklingen nærmer seg feil, men er ubrukelig til å si noe om restlevetiden når det er lang tid til feil.
- Det foregår lite forskning på materialeegenskapene til hovedisolasjonen og slike egenskaper er sjelden brukt til å forklare skadene som effektkjøring forårsaker. Et unntak er termisk ledningsevne. Det gjøres mye arbeid for å øke den termiske ledningsevnen til hovedisolasjonen.

Erfaring med vannkraftgeneratorer utsatt for effektkjøring er beskrevet i en rapport fra CIGRE i 2010 (Kämpe et.al.: Intermittent Operation - Experience with Hydrogenerators. Electra februar 2010 (248), s. 20-28). Denne rapporten omfatter 917 generatorer i 7 land. 70 % av disse var brukt til effektkjøring – definert som flere enn to start/stopp i uka. 9 % ble brukt til grunnlast – definert som mindre enn en stopp i måneden. Resten av generatorene hadde en drift mellom disse kategoriene. De viktigste problemene for generatorer brukt til effektkjøring var at sporkiler og pressfingre løsnet. Delaminering av viklingsisolasjonen ble rapportert for 5 % av generatorene brukt til effektkjøring, og 3 % av generatorene brukt til grunnlast. I følge denne rapporten er ikke effektkjøring noe elektrisk isolasjonsproblem, ennå.

## Møter/kurs/konferanser

Møte	Tidspunkt	Sted
Brukergruppemøte	2010-12-08	Trondheim
EVU-kurs "Optimalt vedlikehold av vannkraftverk"	2011-01-24..27 2011-02-14..17	NTNU, Trondheim