

Vedlikehold og rehabilitering innen vannkraft

- Integrasjon av IKT-systemer
- Beslutningsstøttesystemer
- Tilstandskontrollsystemer
- Sviktmodellering
- Nytteverdideregninger
- Tilstandskontrollhåndbøker



Bakgrunn og utfordring

Vedlikehold og rehabilitering av vannkraftanlegg innebærer prosjekter med store økonomiske og sikkerhetsmessige konsekvenser. Hovedutfordringen sett fra beslutningstaker er ut fra en helhetsvurdering å prioritere og å velge ut riktige prosjekter til riktig tid.

For å hente ut den potensielle gevinsten som ligger i et mer effektivt vedlikehold, kreves bruk av moderne teknologi og metoder, høyere kompetanse hos personalet, og eventuelt organisatoriske endringer.

Prosjektet "Vedlikehold og rehabilitering innen vannkraft" ble gjennomført i perioden 2001 - 2005 som et fellesfinansiert EBL Kompetanse (EBLK) prosjekt med støtte fra bransjen og Norges forskningsråd. Totale kostnader var 24,2 MNOK hvorav Forskningsrådet dekket 8,8 MNOK. Prosjektet ble utført ved SINTEF Energiforskning i meget aktivt samarbeid med prosjektets brukergruppe og ulike arbeidsgrupper.

Målsetning

Målsetningen med prosjektet var å gi et bidrag til at vedlikeholdsfunksjonen i kraftselskapene kan drive et mer effektivt og systematisk vedlikehold. Dette skulle gjøres ved å:

- etablere et helhetlig analyseopplegg og tilhørende beslutningsstøtteverktøy for optimal utvalgelse og planlegging av vedlikeholds- og rehabiliteringsprosjekter.
- analysere og evaluere tekniske, økonomiske og organisatoriske konsekvenser ved installasjon og integrasjon av moderne IKT-systemer for tilstandsovervåking av vannkraftverk.
- formidle kunnskap og etablere kompetanse i bransjen på dette området.

I det etterfølgende presenteres hovedresultatene fra prosjektet.

Integrasjon av IKT-systemer for tilstandskontroll og vedlikehold av vannkraftverk

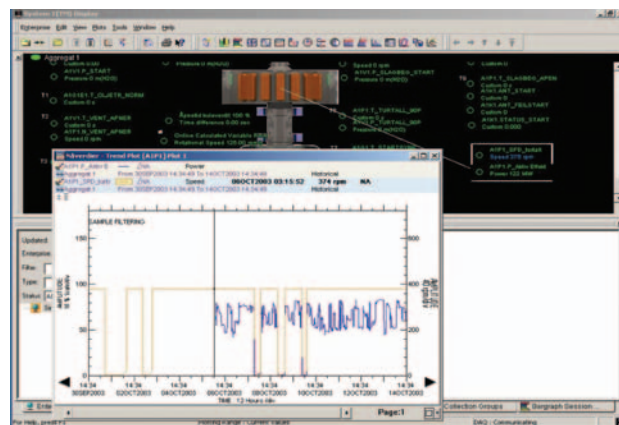
Hensikten med dette arbeidet var å kartlegge eksisterende arbeidsprosesser for gjennomføring av vedlikehold hos Sira-Kvina kraftselskap. Denne beskrivelsen har dannet basis for videre arbeid hvor det er satt fokus på forbedret effektivitet ved anvendelse av IKT-systemer og ved økt anvendelse av metoder for tilstandskontroll.

Kartleggingen av hovedprosessen vedlikehold er utført ved hjelp av flytskjema. Delprosesser og underprosesser beskriver detaljert sammenhengen mellom aktivi-

teter og beslutninger, med referanse til organisatoriske enheter, tilstandskontroll og støtte i FDV-systemet.

Prosessbeskrivelsen danner grunnlaget for å kunne jobbe etter felles retningslinjer, for på den måten å gjøre arbeidet mest mulig effektivt. Strukturen i prosessene danner også grunnlaget for å etablere et opplegg for interne effektivitetsmålinger. Det er utarbeidet et forslag til bruk av måltall og indikatorer for å knytte arbeidsprosessene til et opplegg for målstyrt vedlikehold. Knytningen til arbeidsprosessene er gjort ved at det er laget aggregerte arbeidsprosesser på et nivå hvor det passer med knytning til de valgte måltall og indikatorer. Dette danner grunnlaget for en mulig implementasjon med utgangspunkt i timeregistreringsmodulen i JobTech.

Vedlikeholdsprosesser i Sira-Kvina kraftselskap, EBLK 95-2002



Evaluering av metoder og systemer for tilstandskontroll og diagnose av vannkraftverk

Det er utarbeidet en oversikt over hvilke tilstandsparametre som måles/registreres av noen utvalgte kraftselskap. Oversikten viser i hvilket omfang målingene gjøres (dvs på alle eller kun utvalgte enheter), om målingene gjøres med fast montert utstyr eller manuelt, og om målingene gjøres i forbindelse med revisjon, ved behov, periodisk eller automatisk. Mange av tilstandsparametrene er av kvalitativ art. Det utføres færre målinger med avanserte systemer enn det man kunne forvente.

Det er foretatt en evaluering av tilstandsparametrene og tilhørende målemetoder med hensyn til bl.a. parametrene anvendelse, målemetodenes gjennomførbarhet og kvalitet, samt krav til kompetanse mht å utføre målingene og eventuelle påfølgende tilstandsanalyser.

Kartlegging og evaluering av tilstandsparametre i vannkraftverk, EBLK 92-2002

Det er utarbeidet en modell for nytteverdivurdering av tilstandskontrollsystemer. Modellen omfatter vurdering av nytteverdier i form av økt tilgjengelighet, økt levetidsutnyttelse, økt produksjonseffektivitet, økt produksjonskapasitet, redusert vedlikehold, økt personsikkerhet, redusert miljøbelastning og bedre omdømme. Nytteverdivurderinger er både av kvalitativ og kvantitativ karakter. Den kvalitative vurderingen av nytteverdiene angis på en skala fra 1 til 3 (1 - ingen/liten nytteverdi, 2 - middels nytteverdi, 3 - stor nytteverdi), mens den kvantitative vurderingen er en analyse av forventet lønnsomhet (netto nåverdi) knyttet til anskaffelse og drift av tilstandskontrollsystemet. Resultatet av nytteverdivurderingen presenteres i et skjema sammen med aktuelle forutsetninger.

Bruksområdet for nytteverdimodellen er knyttet til vurdering og dokumentasjon ved anskaffelse av nytt tilstandskontrollsystem, samt ved vurdering av konkret anvendelse av tilstandskontrollsystemet (på hvilke enheter, hvilke tilstandsparametere skal overvåkes og hvor ofte, etc).

Med tilstandskontrollsystemer menes her både fast montert måleutstyr og måleutstyr som tilkobles for f.eks. periodiske målinger. I første kategori inngår både systemer for kontinuerlig tilstandsovervåking og systemer som foretar målinger ved behov. Nytteverdimodellen vil imidlertid også kunne anvendes for vurdering av tilstandskontroller som utføres uten avansert måleutstyr. Det er gjennomført en spørreundersøkelse hos 13 norske kraftselskaper med hensyn til utbredelse og anvendelse av tilstandskontroll i vannkraftverk. Resultatet av undersøkelsen viste at det er få avanserte systemer for tilstandskontroll i bruk i norske kraftverk i dag.

Nytteverdi av tilstandskontrollsystemer,
EBLK 197-2006

Nytteverdi av tilstandskontrollsystemer,
Regnearkmodell

Ledelse og kunnskapsforvaltning i kraftbransjen med fokus på drift og vedlikehold

Samfunnsmessige trender både nasjonalt og internasjonalt påvirker kraftbransjen. Utvikling i retning av et globalisert samfunn med fri konkurranse er et viktig element. I tillegg har også lovgivingen for kraftbransjen bidratt til å endre situasjonen vesentlig. Innføring av Energiloven i 1991 har hatt store konsekvenser. Effekten av alle disse ytre betingelsene er merkbare på alle nivå i kraftselskapene, ikke minst for de som skal velge strategi innen drift og vedlikehold.

Forståelsen for nødvendigheten av omstruktureringer er god internt i selskapene, men kunne vært bedre blant de som arbeider ute i anleggene. Enda mer synlighet og engasjement i tekniske spørsmål fra ledelsens side kan bedre dette. På kunnskapssiden er det en utfordring å finne ut hvilken andel av den tause kunnskapen som er viktig i dagens situasjon. Videre må det avklares hvordan man kan anvende kunnskap som ikke kan formaliseres i dagens data-systemer.

Kartlegging av utfordringer innen ledelse og kunnskapsforvaltning vedrørende drift og vedlikehold hos norske kraftselskaper,
EBLK 94-2002

Strategi for innføring og effektiv utnyttelse av IKT-systemer for vedlikehold

Det er utarbeidet en veileder for kraftselskaper som vurderer innføring av nye tilstandskontrollsystemer, eller som ønsker en bedre utnyttelse av systemer og metoder som allerede er anskaffet. Det er bl.a. vist hvilke forutsetninger som må oppfylles for å oppnå forventet nytte av tilstandskontrollsystemer.

Den teknologiske utvikling innen området har vært stor de senere år, og både kraftselskaper, leverandører og konsulenter har skapt betydelige forventninger. Forventningene er store både innen økonomi, HMS og til økt effektivitet. Så langt har forventningene kun delvis blitt oppfylt. Årsaken til dette ligger ikke først og fremst i selve teknologien, men i for dårlig integrasjon av den nye teknologien, både datateknisk og organisatorisk. Både tekniske og organisatoriske forutsetninger for integrasjon av tilstandskontrollmetoder er behandlet. Tekniske forhold vedrørende de enkelte tilstandskontrollmetodene er ikke utredet eller diskutert, men noen viktige systemer er omtalt.

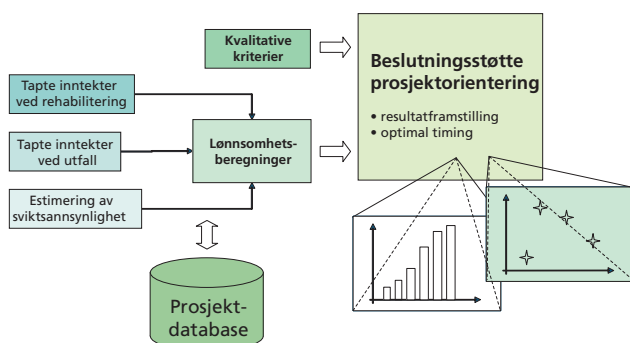
Anvendelse av ny teknologi for tilstandskontroll må forankres strategisk i selskapenes organisasjon, noe som krever ledelsesfokus både ved innføring og under drift. Dette er nødvendig for å unngå at gamle rutiner og praksis blir bibeholdt, noe som vil være til hinder for å oppnå ønsket nytte. Resultater oppnås kun når nye metoder blir en integrert del av virksomheten i drifts- og vedlikeholdsorganisasjonen. Derneft må integrasjonen gjøres ved et sterkt engasjement fra selskapenes IKT-organisasjon. Kun på den måten kan tilstandsinformasjon utnyttes løpende i ulike beslutningsprosesser. Valg av løsninger for tilstandskontroll er sterkt avhengig av alder og teknologi på utstyr. Instrumentering av gammelt utstyr kan være meget kostbart, og må vurderes i lys av kritikalitet i systemet. Datatekniske krav som må stilles til innføring og

integrasjon av metoder og systemer for tilstandskontroll er også behandlet. Lagring av data, representasjon av data, kommunikasjon med andre systemer, og data og datasikkerhet er områder hvor det må stilles krav til gode løsninger. Tilstandskontrollsystemer vil innebære at ny informasjon skal flyte mellom ulike deler av selskapet. Dette må løses under forutsetning av at allmenne krav til datasikkerhet i prosessnettverk og administrasjonsnettverk er ivaretatt. Ulike løsninger for dette er diskutert og vurdert i veilederen.

Strategi for innføring og effektiv utnyttelse av IKT-systemer for vedlikehold, EBLK 198-2006

Beslutningsstøtte for vedlikehold og rehabilitering innen vannkraft

Et av hovedresultatene i prosjektet er et helhetlig analyseopplegg og tilhørende beslutningsstøtteverktøy for analyse og prioritering av vedlikeholds- og rehabiliteringsprosjekter. Opplegget er skissert i følgende figur:



Beslutningsstøttesystemet består av en del enkeltmoduler som i sum gir essensiell informasjon om de prosjektene som er oppe til vurdering. Dette er symbolisert i figuren ved at data og resultater hentes fra enkeltmodulene og samles i modulen til høyre som grunnlag for prosjektprioritering. Dette gjør det mulig å lese resultater fra enkeltmoduler på spesifiserte filformater, og deretter presentere dette på en brukervennlig måte i ulike tabeller og figurer. Samtidig kan enkeltmodulene godt brukes på selvstendig grunnlag.

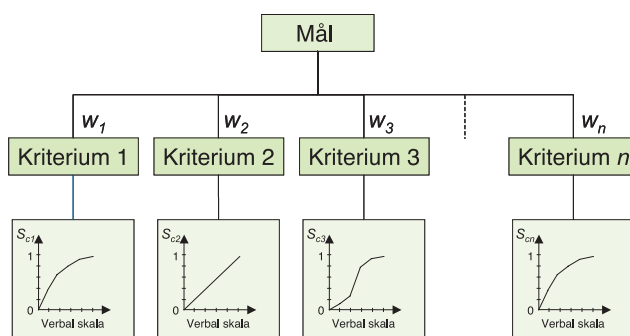
Modulene "Tapte inntekter ved rehabilitering" og "Tapte inntekter ved utfall" benyttes til å estimere hva det koster å gjennomføre en rehabilitering, og hvilke kostnader man pådrar seg hvis det oppstår en svikt. Begge disse verktøyene er realisert i programmet Vansimtap, men omtales ikke nærmere her.

Flermåls beslutningsanalyse

Flermåls beslutningsanalyse er et hjelpemiddel for beslutningstakere til lettere å få oversikt over de viktigste sidene av prosjektene som foreslås.

Det overordnede målet er å kombinere vurderinger av kvalitative kriterier med lønnsomhetsbetraktninger, og gjennom dette framskaffe et bedre og mer komplett beslutningsgrunnlag. Framgangsmåten gir en enhetlig vurdering av ulike prosjekter, og en systematisk presentasjon av resultatene.

Verktøyet som er utviklet, og pilotstudiene som er gjennomført, viser at en slik metodikk egner seg godt til å rangere prosjekter som i sin natur har ulik motivasjon, men som likevel konkurrerer om de samme ressursene - et typisk kjennetegn på vedlikeholds- og rehabiliteringstiltak i kraftverk.

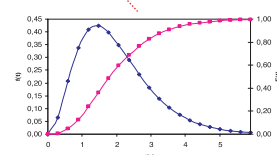
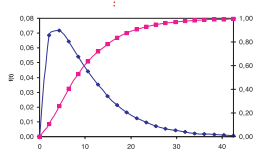
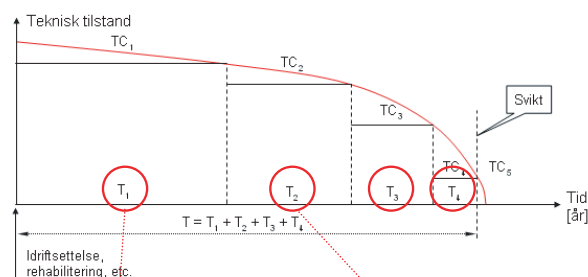


Bruk av flermåls beslutningsanalyse til prioritering av vedlikeholdsprosjekter, EBLK 122-2003

Vurdering av kvalitative kriterier, Dataverktøy
Nåverdberegning, Dataverktøy

Estimering av sviktsannsynlighet

Det er utviklet en metodikk for estimering av årlig sviktsannsynlighet for en gitt komponent og en definert sviktmekanisme. Metodikken er basert på karaktersetningen i håndbøker for tilstandskontroll fra EBLK. Informasjon om sviktsannsynlighet inngår som et viktig element i analyse av forventede kostnader knyttet til utfall (driftsavbrudd).



Målgruppen for sviktmodellen er primært personer i kraftselskapene som arbeider med analyse og vurdering av behov for vedlikehold og rehabilitering av kraftverk. Dette er ikke en modell for eksperter med detaljkunnskap og lang erfaring i vurdering av teknisk tilstand og restlevetid. Målet er at modellen skal gi planleggerne "eksperthjelp" til å foreta faglig begrunnede vurderinger av sannsynlighet for svikt basert på tilgjengelig informasjon om det aktuelle anlegget.

Sviktmodell for komponenter i vannkraftverk, EBLK 199-2006

Estimering av sviktsannsynlighet, Regnearkmodell

Nasjonal driftstatistikk

Som underlag for erfaringsutveksling, sviktmodellering, m.m. er det viktig at det blir opprettet en nasjonal database med driftsdata. Med driftsdata menes her informasjon om svikt, tilstandsdata, påkjenninger, driftsmønster, utført vedlikehold, osv. I tillegg er det viktig å ha tilgang til informasjon om det utstyret som omfattes av statistikken, slik som fabrikat, alder, ytelse, osv.

I tidligere prosjekter er det utarbeidet en spesifikasjon for innsamling av slike data, og i dette prosjektet har man testet ut dette i praksis gjennom et samarbeid mellom noen kraftselskaper, en utstyrsleverandør og en leverandør av FDV-system. Konklusjonen er at dette er et utfordrende arbeid, men at det lar seg gjennomføre hvis man tar små skritt (i riktig retning).

Tilpasninger ved implementering av nasjonal driftstatistikk i FDV-system, EBLK 200-2006

Optimal timing

Utgangspunktet er en situasjon der et selskap har en rekke vedlikeholdsprosjekter som ønskes gjennomført de kommende år. Av ulike grunner kan ikke alle gjennomføres på opprinnelig ønsket tidspunkt - dette kan skyldes budsjettrestriksjoner, mangel på personell eller eventuelt andre begrensninger.

I en slik situasjon må man gjøre prioriteringer med hensyn til å velge hvilke prosjekter som bør gjennomføres i år, hvilke som bør tas neste år og så videre. Utfordringen består dermed i å legge en plan for prosjektporteføljen i årene fremover som gir best måloppnåelse samlet sett.

I prosjektet er det gjennomført en aktivitet for å belyse gjennomførbarheten og mulig gevinst av å innføre mer formaliserte prioriteringsrutiner i slike beslutningsprosesser. I tillegg til å beskrive problemstillingen og databehov for å gjennomføre analysene, er det implementert en testmodell som er prøvd ut på en eksempel-portefølje.

Optimal innfasing av vedlikeholdsprosjekter i vannkraftverk, EBLK 201-2006

Håndbøker og læremidler for god design og tilstandsbasert vedlikehold

Det er gjort en grundig faglig gjennomgang, oppdatering og komplettering av de eksisterende håndbøkene for tilstandskontroll av vannvei, kjølevannsanlegg, tømme- og lenseanlegg, turbiner og generator.

Et betydelig antall ressurspersoner fra kraftselskaper, leverandører og konsulenter har velvillig bistått ved revisjonen av disse håndbøkene.

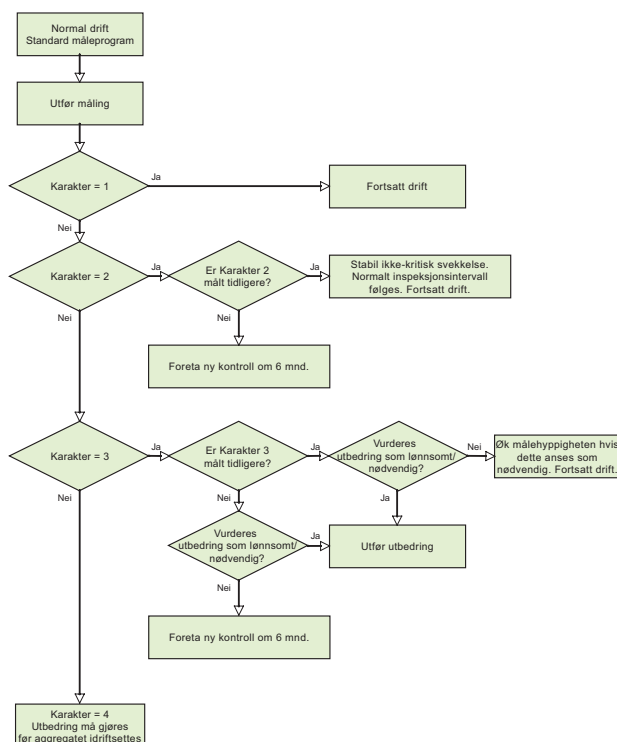
De enkelte anleggs enheter er beskrevet i separate kapitler med følgende inndeling:

- **Komponentbeskrivelse** gir en kort beskrivelse av enhetens oppbygging og virkemåte.
- **Skadetyper** gir en kort beskrivelse av de mest forekommende skadetyper.

Francisturbin - Løpehjul - Sprekker

Årsaker	- Utmatting
Mulige konsekvenser	- Skovlbrudd - Subbing/rivninger i løpehjulstetningene
Prøvetoder for påvisning [Utsagnskraft]	- Visuell inspeksjon [C] - Penetrantprøving [A] - Magnetpulverprøving [A] - Virvelstrømsprøving [A] - Vibrasjonsmåling [C]
Påvisning	- Synlige tegn til sprekker - Endret turbinlyd og vibrasjonsnivå - Positivt utslag på NDT-kontroll

- **Målemetoder** gir en kort beskrivelse av de mest aktuelle målemetodene.
- **Måleprogram** gir et veiledende måleprogram.
- **Vedlegg 1 Flytdiagrammer med tolkningskriterier** inneholder flytdiagrammer som skal være en hjelp til å stille diagnose for enhetens tilstand ved at et sett med regler (tolkningskriterier) anvendes på måleresultatene. Diagnosen leder fram til de tiltak som bør iverksettes ved avvikende verdier.
- **Vedlegg 2 Tilstandskontrollskjemaer** inneholder skjemaer for registrering av de enkelte målingene.



De reviderte håndbøkene er gjort tilgjengelig for bransjen som elektroniske dokumenter under "abonnement" på EBLs hjemmeside www.ebl.no

Kompetanseformidling og resultatspredning

Resultater fra prosjektet har vært presentert for bransjen i ulike fora. Bl.a. har EBL Kompetanse gjennomført to 3-dagers innføringskurs hvor det ble undervist i grunnleggende teori innen vedlikeholdsstrategier, analysemetoder, planlegging og organisering av vedlikeholdet.

Det er i tillegg gjennomført to eksamensrettede etterutdanningskurs på masternivå ved NTNU innen optimalt vedlikehold av vannkraftverk med basis i prosjektene. Kurset omfatter metoder, forutsetninger, datagrunnlag, kriterier og verktøy for analyse og planlegging av optimalt vedlikehold av vannkraftverk, inkludert trening i oppgaveløsning. Undervisningen gikk over to uker med et opphold på to uker mellom de to undervisningsukene. Kursene ble avsluttet med en skriftlig eksamen, og gir 7,5 studiepoeng.

Internasjonalt er prosjektene presentert på HydroPower 2001 i Bergen, IEEE PowerTech 2003 i Bologna, Euromaintenance 2004 i Barcelona, IEEE PowerTech 2005 i St. Petersburg, HydroVision 2005 i Montreal og og PMAPS 2006 i Stockholm.

Organisering og utførelse

Prosjektet er gjennomført i perioden 2001 - 2005 av SINTEF Energiforskning AS i samarbeid med SINTEF Teknologi og samfunn, Sira-Kvina kraftselskap, andre kraftselskap som har støttet prosjektet, samt Alstom Power, GE Hydro, Norconsult Informasjonssystemer og Powel.

Prosjektet ble ledet av en brukergroupe med Jan Daleng, Statkraft Energi AS, som leder.

Bidragstyttere og samarbeidende parter

Prosjektet ble finansiert av Norges forskningsråd, EBL Kompetanse AS, Alstom Power, GE Hydro, VA Tech, Norconsult, Norconsult Informasjonssystemer, Agder Energi AS, Akershus Kraft AS, Aust-Agder Energi, BKK Produksjon AS, Dalane energi IKS, E-CO Vannkraft AS, HelgelandsKraft, Kristiansand Energiverk AS, Narvik Energi AS, Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk, Norsk Hydro ASA, Oppland Energi AS, Otra Kraft DA, Sira-Kvina kraftselskap, Skagerak Energi AS, Sogn og Fjordane Energiverk AS, Statkraft SF, Sunnhordland Kraftlag AS, Tafjord Kraftproduksjon AS, Trondheim Energiverk AS, TrønderEnergi, Vest-Agder Energiverk, Vannkraft Øst AS, Østfold Energi AS, Røros Elektrisitetsverk.

Informasjon

For ytterligere informasjon vises det til prosjektets internettsider: www.energy.sintef.no/prosjekt/VRV eller kontakt:

Thomas C. Wiborg, EBL Kompetanse AS
Tlf 23 20 57 17, tcw@EBL-Kompetanse.no

Arnt Ove Eggen, SINTEF Energiforskning AS
Tlf 73 59 64 82, Arnt.O.Eggen@sintef.no

Jørn Heggset, SINTEF Energiforskning AS
Tlf 73 59 71 83, Jorn.Heggset@sintef.no

Eivind Solvang, SINTEF Energiforskning AS
Tlf 73 59 71 81, Eivind.Solvang@sintef.no

Videreføring 2006 - 2010

Innsatsen for fortsatt forbedring av vedlikeholdet av kraftverkene fortsetter i prosjektet "SyDK-6_06": Verdiskapende vedlikehold innen kraftproduksjon. Det nye prosjektet har fått bred oppslutning innen bransjen og støttes av Norges forskningsråd. Samlet budsjett 2006 - 2010 er 28 MNOK.