

**Av EIVIND SOLVANG**  
Seniorforsker ved SINTEF  
Energiforskning



**JØRN HEGGSET**  
Forsker ved SINTEF  
Energiforskning

**S**INTEF Energiforskning har utviklet analyseopplegg for vedlikehold og rehabilitering i kraftverk (faktaramme). Videreutvikling av disse verktøyene, samt utvikling av nye, inngår i det nystartede prosjektet "Verdiskapende vedlikehold innen kraftproduksjon" (2006-2010). Oppdragsgiver er EBL Kompetanse på vegne av norske og svenske kraftselskaper og leverandørindustri. Den svenske deltakelsen er organisert gjennom ELFORSK.

#### Økonomisk nytteverdi

Excel-verktøy for estimering av økonomisk nytteverdi (lønnsomhet) av vedlikehold og rehabilitering i kraftverk omfatter fem deler: Resultatpresentasjon, inntekter og korstnader knyttet til tiltaket, økonomiske og tekniske grunnlagsdata og kostnader ved eventuell svikt.

Sannsynlighet for svikt estimeres i et separat Excel-verktøy, og resultatet fra denne analysen brukes som input til økonomiberegningen. Den økonomiske analysen er en nåverdianalyse av kostnader og inntekter knyttet til et tiltak (prosjekt) innenfor en

# Optimalt vedlikehold

*Forebyggende vedlikehold og rehabilitering er "utgifter til inntekts ervervelse". Utgiftene er reelle størrelser som vises direkte på bunnlinsen. Inntektene er primært forventede reduserte kostnader i framtida som følge av redusert sannsynlighet for svikt. Disse inntektene er ikke observerbare, selv om de kan bli betydelige. Utfordringen er å vurdere kostnader i dag mot framtidig risiko når man skal argumentere for denne type prosjekter. En del tiltak har også "sikre" inntekter, f.eks. knyttet til økt virkningsgrad ved rehabilitering av løpehjul.*



Foto: Flincken-Kraft Produktion

svikt (restlevetid) og et 10 % kvantil. Verktøyet tilpasser disse verdiene til en gammafordeling med definerte parametere, og bruker denne fordelingen som utgangspunkt for videre analyser.

Figur 2 viser sannsynligheten for oljelekkasje fra et slitt turbinlager. Her har man antatt at forventet tid til svikt (oljelekkasje) er 5 år, og at det er 10 % sannsynlighet for at svikt skjer i løpet av 2 år. Fra figuren ser man at det er ca 25 % sannsynlighet for svikt i løpet av de 3 første årene (summen av de tre første stolpene).

#### Eksempel på analyse

Eksemplet omfatter skifte av løpehjul på ett av aggregatene i et elvekraftverk pga store slitasjeskader på løpehjulet og fare for oljelekkasje fra lager. Hvis dette ikke blir gjort, anses risikoen for oljelekkasje å være stor, med en påfølgende utetid på ca 5 måneder. Løpehjulet vil bli skiftet om vinteren, med liten sannsynlighet for vanntap. Kostnadene knyttet til prosjektet er beregnet til 4,06 mill kr.

Hvis utskiftingen ikke gjennomføres og det oppstår oljelekkasje, antar man at kostnadene vil være de samme som for en planlagt utskifting av løpehjulet. I tillegg må det påregnes vanntap, da lekkasjen kan oppstå på et vilkårlig tidspunkt på året. Forventet vanntap er estimert til 10 GWh.

Ekspertene har vurdert forventet tid til svikt (oljelekkasje) til 5 år, med 10 % sann-

analyseperiode. Tiltaket er lønnsomt hvis estimert netto nærverdi i forhold til et referansetiltak, er positiv.

#### Inntekter

Inntektene omfatter økt virkningsgrad, økt tilgjengelighet som følge av redusert sviktsannsynlighet, utsettelse av framtidige kostnader og andre inntekter.

#### Kostnader

Kostnadene omfatter ressursbruk forbundet med tiltaket, utgjengelighet under tiltaket, vedlikeholdsintroduserte feil og andre kostnader.

#### Sannsynlighet for svikt

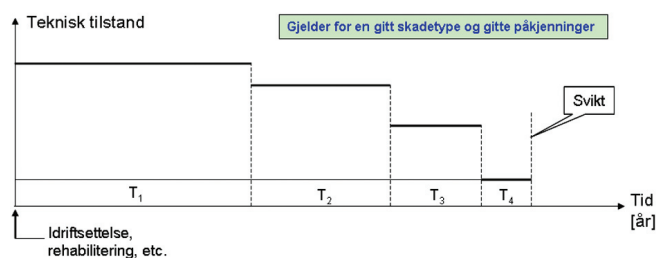
Forventet sannsynlighet for svikt pr år estimeres på grunnlag av levetidskurver og aktuell teknisk tilstand for en komponent. En levetidskurve (Figur 1) for en gitt svikttype

deler inn tiden fra nytilstand til svikt i fire faser tilsvarende tilstandskodene 1-4 i EBLs tilstandskontrollhåndbøker. Tilstand 1 er "ingen tegn til svekkelse", tilstand 2 er "noe tegn til nedbrytning", tilstand 3 er "utbredt tegn til nedbrytning" og tilstand 4 er "kritisk". Svikt defineres her som slutt på tilstand 4.

Ved bruk av levetidskurve må brukeren angi aktuell tilstand for komponenten som vurderes. For hver av tilstandene kan man velge mellom "god", "middels" og "dårlig". Hvis tilstanden vurderes til å være en dårlig 3'er, så vil det normalt være tid for et eller annet tiltak. Komponenter som ikke skal kjøres til havari bør normalt ikke havne i tilstand 4.

I stedet for å angi teknisk tilstand knyttet til en definert levetidskurve, kan brukeren angi direkte forventet tid til

Figur 1



synlighet for at svikt skjer i løpet av 2 år (Figur 2).

I tillegg til redusert sannsynlighet for oljelekkasje, vil tiltaket også ha andre gunstige effekter. Man regner med økt produksjonsevne på 2 GWh/år, samt en virkningsgradsforbedring på 1 %.

Figur 3 viser et utsnitt av resultatpresentasjonen. Sum inntekter og kostnader i analyseperioden er henholdsvis 10195 kkr og 3651 kkr (første kolonne). Det gir en netto nåverdi på 6544 kkr. Det er med andre ord meget lønnsomt å skifte løpehjul i 2006 sammenlignet med å kjøre til havari.

#### Referansealternativ

Estimert lønnsomhet påvirkes av hvilket referansealternativ man velger. Referansealternativet i eksemplet var å kjøre til havari. I mange tilfeller er dette et urealistisk (uakseptabelt) alternativ. Problemstillingen er heller å estimere lønnsomheten av å gjennomføre tiltak i dag i forhold til å utsette det med noen år.

Hvis referansealternativet i eksemplet er utskifting av løpehjul i 2011, blir netto nåverdi 3408 kkr i stedet for 6544 kkr. Lønnsomheten av å skifte løpehjul i 2006 blir altså nesten halvert når referansealternativet er utskifting i 2011 i stedet for kjøring til havari. Det er derfor viktig å velge referanse-

alternativer som gir relevante sammenligninger av estimert lønnsomhet ved rangering og prioritering av prosjekter. I dette eksemplet er utskifting i 2006 lønnsomt i forhold til å vente i 5 år siden netto nåverdi er positiv (3408 kkr).

#### Kvalitativ nytteverdi

Det er også utviklet et verktøy for flermåls beslutningsanalyse med håndtering av kvalitative kriterier knyttet til personsikkerhet, ytre miljø, omdømme, etc. Verktøyet brukes til å gi en objektiv vurdering basert på slike kriterier i prioriteringen mellom ulike prosjekter/prosjektalternativer.

Det objektive går på at prosjektene vurderes mot de samme kriteriene og at den innbyrdes vektningen av kriteriene er den samme for alle prosjektene. For å angi hvor godt et prosjekt er i forhold til de enkelte kriteriene, brukes verbale eller numeriske skalaer. Etableringen av den kvalitative modellen er en engangsjobb for selskapene. Da fastlegges hvilke kriterier som skal inngå, den innbyrdes vektningen og hvilke verbale/numeriske skalaer som skal brukes.

#### Helhetsvurdering

Flermåls beslutningsanalyse er et hjelpemiddel for beslutningstakere til å få oversikt over de viktigste sidene av

Figur 3

Vedlikeholdskalkyle			
(alle tall i 1000 kr)			
Tiltak:	Utskifting av løpehjul		
<b>Inntekter</b>	<b>Nåverdi</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
Økt virkningsgrad	6205	500	500
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	3990	92	510
Unngår/utsetter fremtidige kostnader	0	0	0
Andre inntekter	0	0	0
<b>Sum</b>	<b>10195</b>	<b>592</b>	<b>1010</b>
<b>Kostnader</b>			
Ressurser	-3651	-4060	0
Utilj. het under tiltaket	0	0	0
Vedlikeholdsinntroduserte feil	0	0	0
Andre kostnader	0	0	0
<b>Sum</b>	<b>-3651</b>	<b>-4060</b>	<b>0</b>
<b>Resultat</b>	<b>6544</b>	<b>-3468</b>	<b>1010</b>

prosjektene som fremmes. Målet er å kombinere vurderinger av kvalitative kriterier med lønnsomhetsvurderinger, og gjennom dette framskaffe et bedre og mer komplett beslutningsgrunnlag.

Figur 4 viser et eksempel på sammenstilling av økonomisk og kvalitativ nytteverdi for fire alternative prosjekter. Den horisontale akse er økonomisk nytteverdi (netto nåverdi). Den vertikale akse er her samlet kvalitativ nytteverdi (skala 0 til 1) med hensyn til personsikkerhet, ytre miljø og omdømme.

Prosjekt 3 er det mest lønnsomme prosjektet, mens prosjekt 1 har høyest kvalitativ nytteverdi. I valget mellom disse to prosjektene må man veie den økonomiske forskjellen mot den kvalitative. Prosjekt 1 og 4 "utkonkurreres" av prosjekt 2, fordi de kommer dårligere ut både økonomisk og kvalitativt. Valget står mellom prosjekt 2 og 3. Velger man prosjekt 2, betyr det at selskapet verdsetter økningen i kvalitativ nytteverdi fra 0,2 til 0,8 til minst 100 kkr, som er differansen i netto nåverdi for de to prosjektene.

### Fakta:

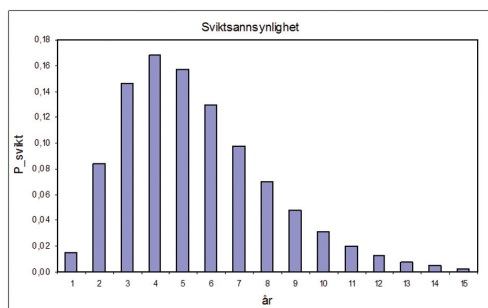
Optimalt vedlikehold er fellesbetegnelsen på følgende Excel-baserte verktøy som SINTEF Energiforskning har utviklet på oppdrag av EBL Kompetanse for kraftselskaper i Norge:

- **Vedlikeholdskalkyle:** Beregning av økonomisk nytteverdi (nåverdi) av vedlikeholds- og rehabiliteringstiltak.
- **Estimering av sviktsannsynlighet:** Estimering av sviktsannsynlighet basert på kunnskap om en komponents tekniske tilstand m.m.
- **Håndtering av kvalitative kriterier:** Bergning av kvalitativ nytte (HMS, etc.) av vedlikeholds- og rehabiliteringstiltak, inkl. verktøy for etablering av beslutningsmodell.
- **Prosjektsammenstilling:** Innlesing og presentasjon av delresultater fra et antall vedlikeholds- og rehabiliteringsprosjekter, som underlag for prosjektprioritering/-timing.

Disse verktøyene er beskrevet i en teknisk rapport fra SINTEF Energiforskning med tittelen "Brukerveiledning Optimalt vedlikehold" (TR A6333/ EBL-K 212-2006).

Informasjon om prosjektet, som ble avsluttet i 2005, finnes på <http://www.energy.sintef.no/prosjekt/VRV>.

Figur 2



Figur 4

