

Optimalt vedlikehold av vannkraftverk

Optimalt vedlikehold

Eivind Solvang, SINTEF Energiforskning

Innhold

- Prinsipper, kriterier
- Analyser
- Datagrunnlag
- Analyseverktøy
- Tilstandsparametre

Optimalt vedlikehold

Optimalt vedlikehold for et anlegg:

- Den vedlikeholdsstrategi som gir maksimalt overskudd (netto inntekt) i løpet av levetiden,

eller

- Den vedlikeholdsstrategi som gir minimale totale kostnader i løpet av levetiden, inkl. produksjonstap.

Samtidig må strategien bidra til at aktuelle krav til kvalitet, sikkerhet og miljø overholdes.

Vedlikehold inkluderer her rehabilitering og tilstandskontroll i tillegg til forebyggende og korrigerende vedlikeholdstiltak.

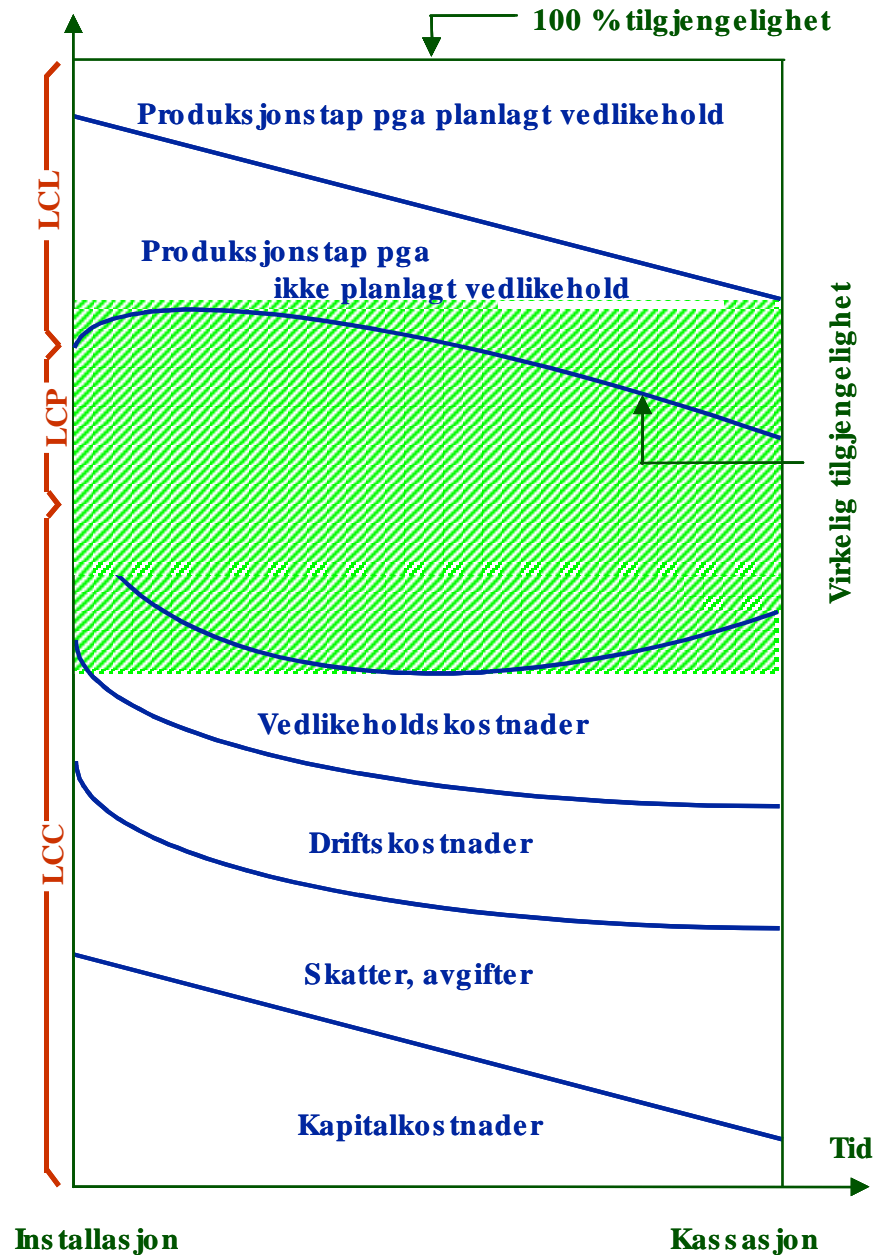
LCP

Life Cycle Profit

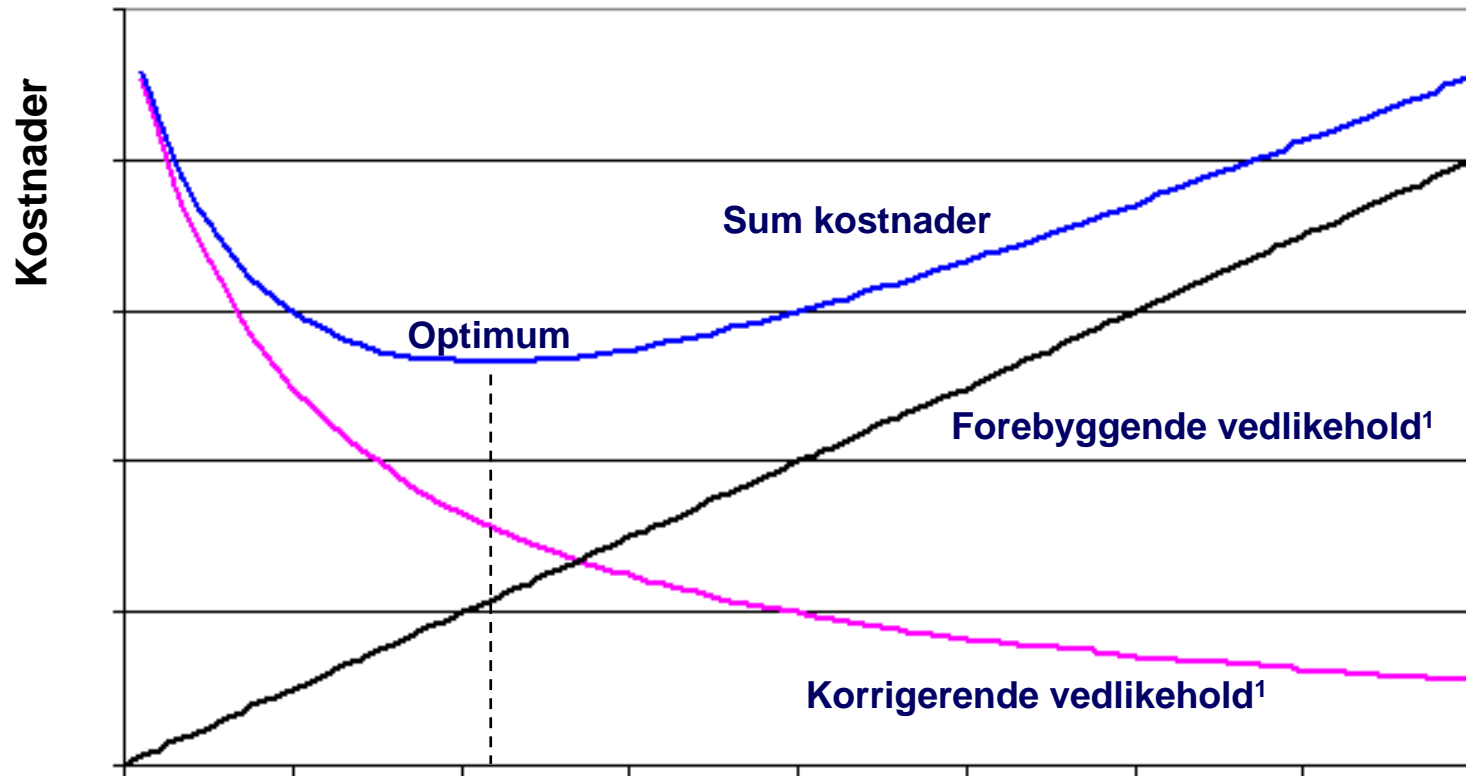
Levetids-overskudd

LCP =
Mulig oppnåelig inntekt -
LCC - LCL

LCC = Life Cycle Cost
LCL = Life Cycle Loss

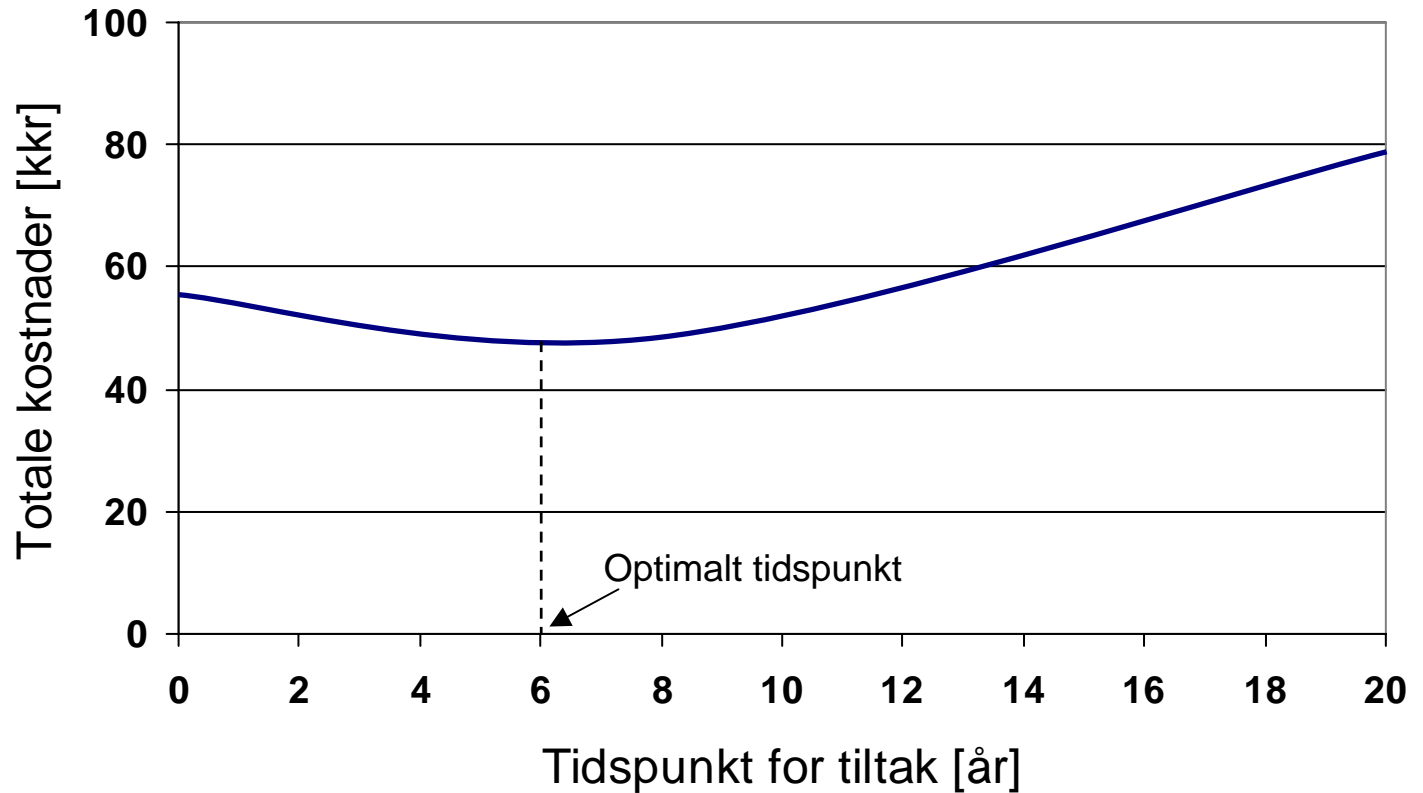


Optimalt vedlikehold (min. kostnader)

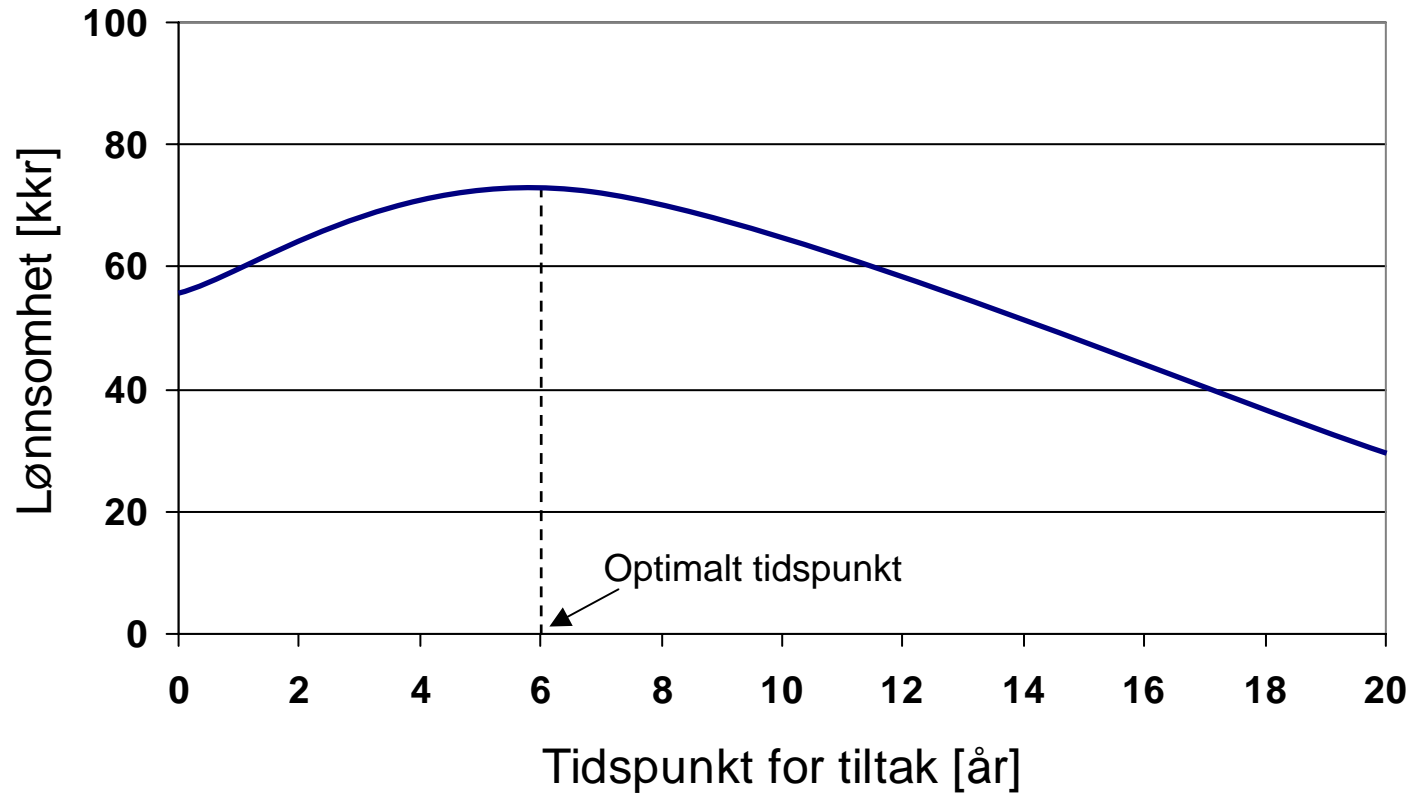


Økende andel forebyggende vedlikehold →

Optimalt tidspunkt mht kostnader



Optimalt tidspunkt mht lønnsomhet



Lønnsomhet for et tiltak

Lønnsomheten av et tiltak defineres her som endringen i totale inntekter og kostnader innenfor en analyseperiode som følge av at tiltaket gjennomføres.

For et tiltak A_1 (alternativ 1) kan lønnsomheten $NPV(A_1)$ formuleres som:

$$NPV(A_1) = \Sigma K(A_0) - \Sigma K(A_1)$$

der:

$NPV(A_1)$ = Lønnsomhet for tiltak A1 (netto nåverdi)

$\Sigma K(A_0)$ = Sum diskonterte kostnader i analyseperioden uten tiltak (alternativ 0)

$\Sigma K(A_1)$ = Sum diskonterte kostnader i analyseperioden når tiltaket gjennomføres

NPV er lik nåverdien av besparelsen man oppnår innenfor analyseperioden ved å gjennomføre tiltaket, dvs netto nåverdi (Net Present Value).

Tiltaket er lønnsomt hvis tiltaket medfører at sum kostnader (inkludert kostnaden av selve tiltaket) reduseres.

Økonomisk kalkyle for et tiltak

Inntekter som følge av:

- økt virkningsgrad
- økt tilgjengelighet / redusert sviktsannsynlighet
- utsettelse av fremtidige kostnader
- andre inntekter (ev. reduserte kostnader)

Kostnader som følge av:

- selve tiltaket (materiell, arbeid, transport, etc.)
- utilgjengelighet under gjennomføringen av tiltaket
- vedlikeholdsintroduserte feil
- andre kostnader

Eksempel på økonomisk kalkyle for et tiltak

Inntekter som følge av:

- økt tilgjengelighet (færre feil): 10 kkr/år
- andre inntekter (reduuerte kostnader): 5 kkr/år

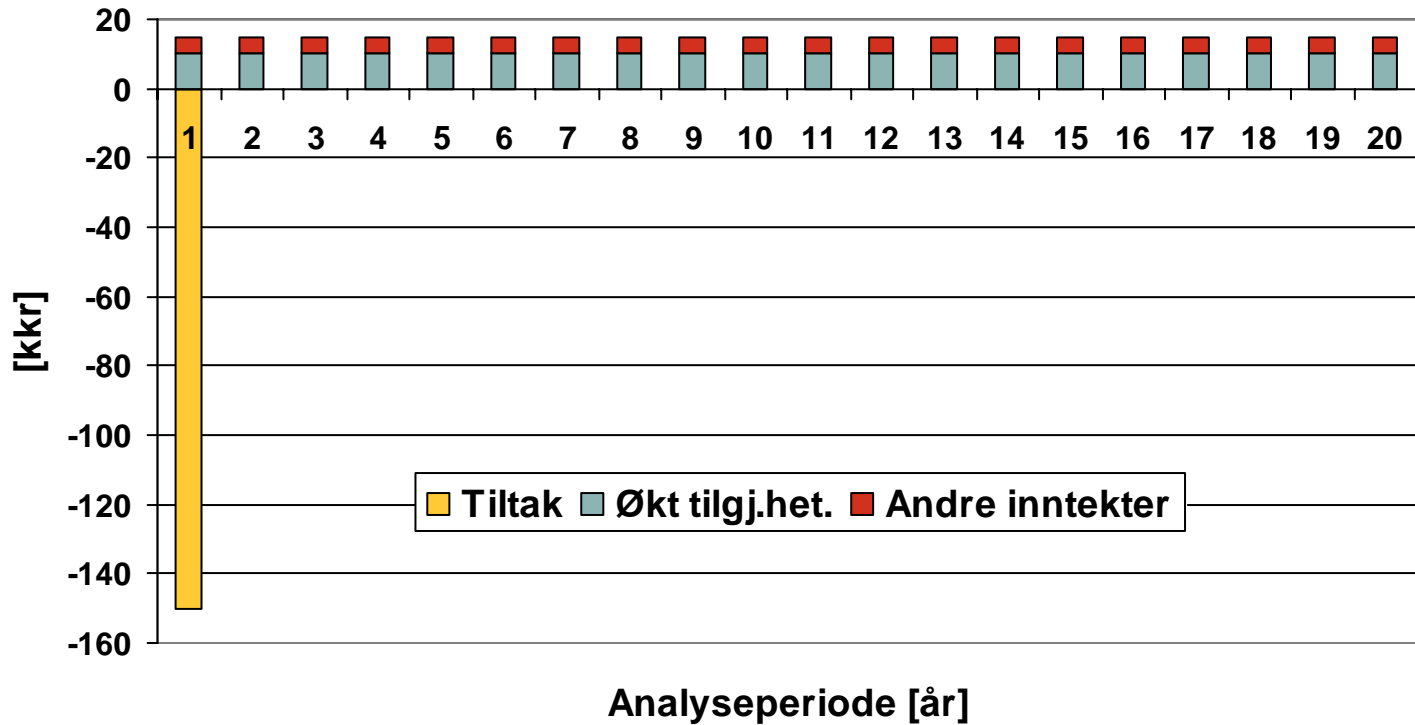
Kostnader som følge av:

- selve tiltaket: 150 kkr

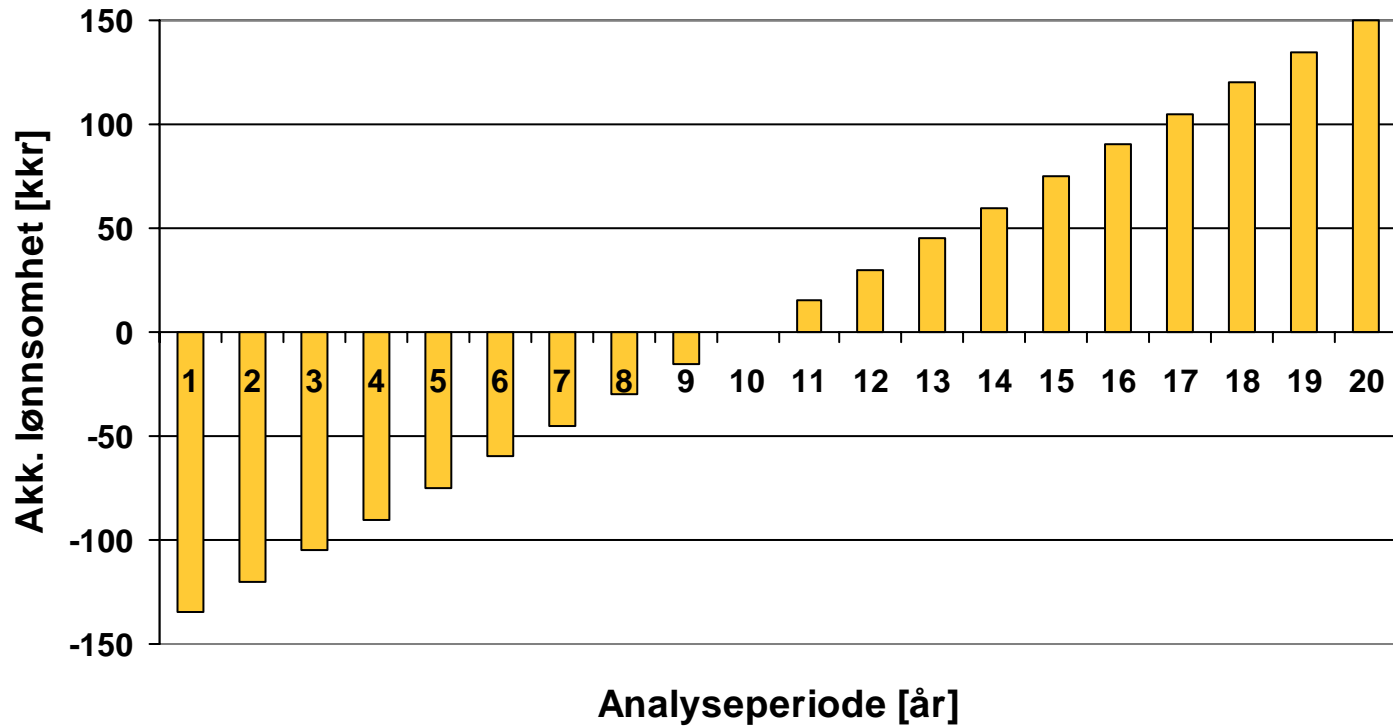
Analyseperiode: 20 år

Kalkulasjonsrente: 7 % pa

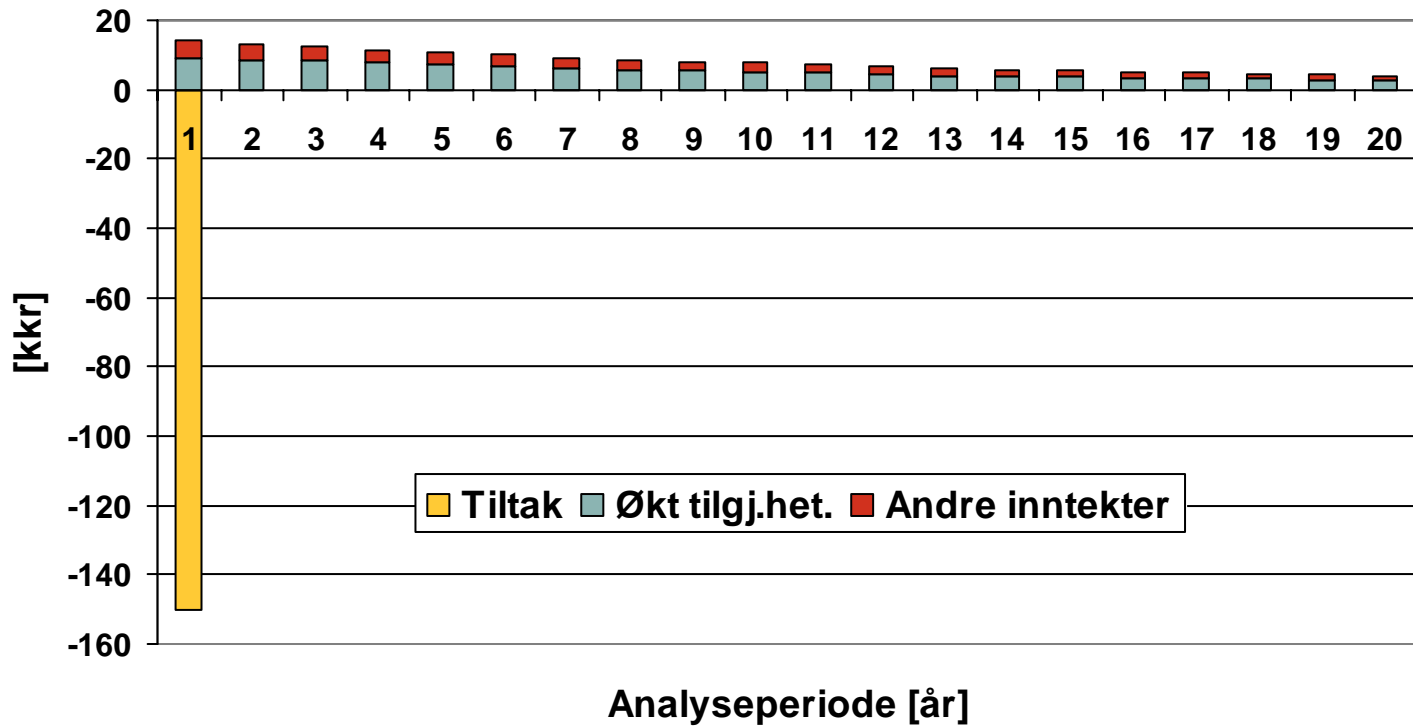
Inntekter og utgifter (faste kroner)



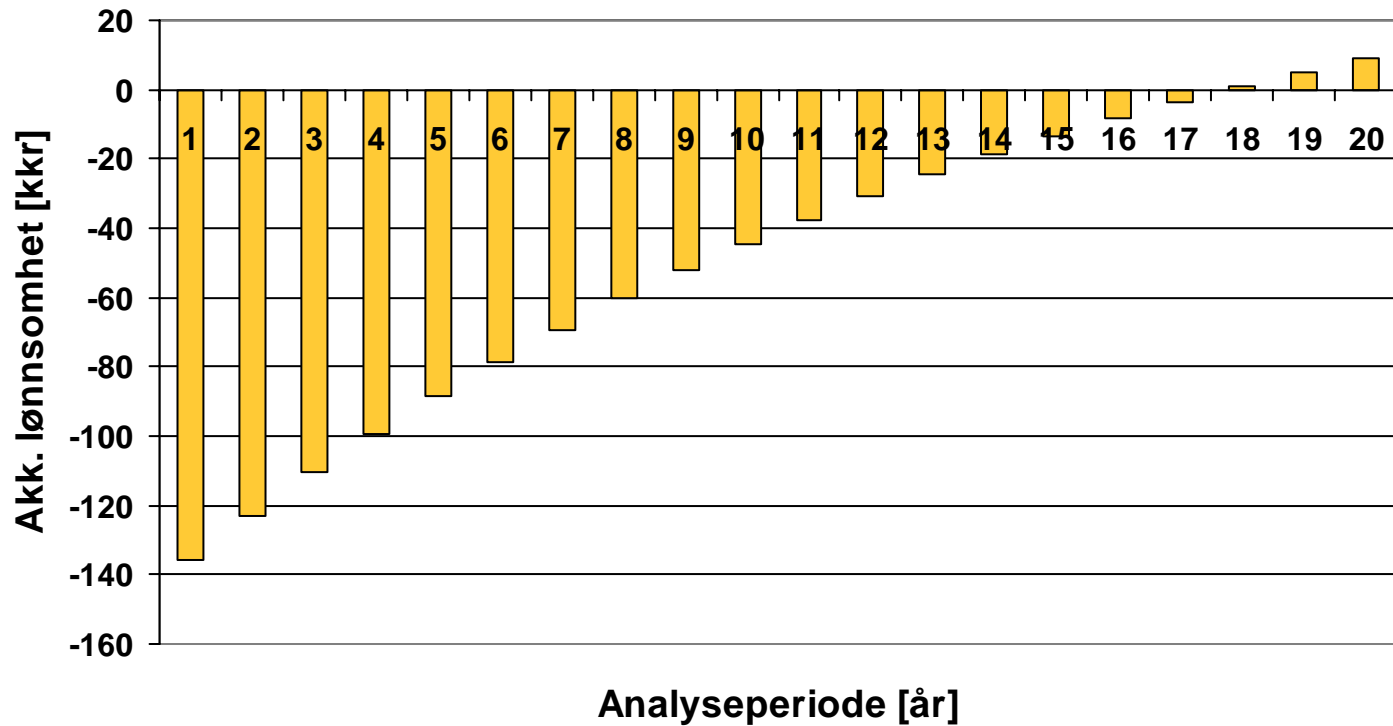
Akkumulert lønnsomhet (faste kroner)



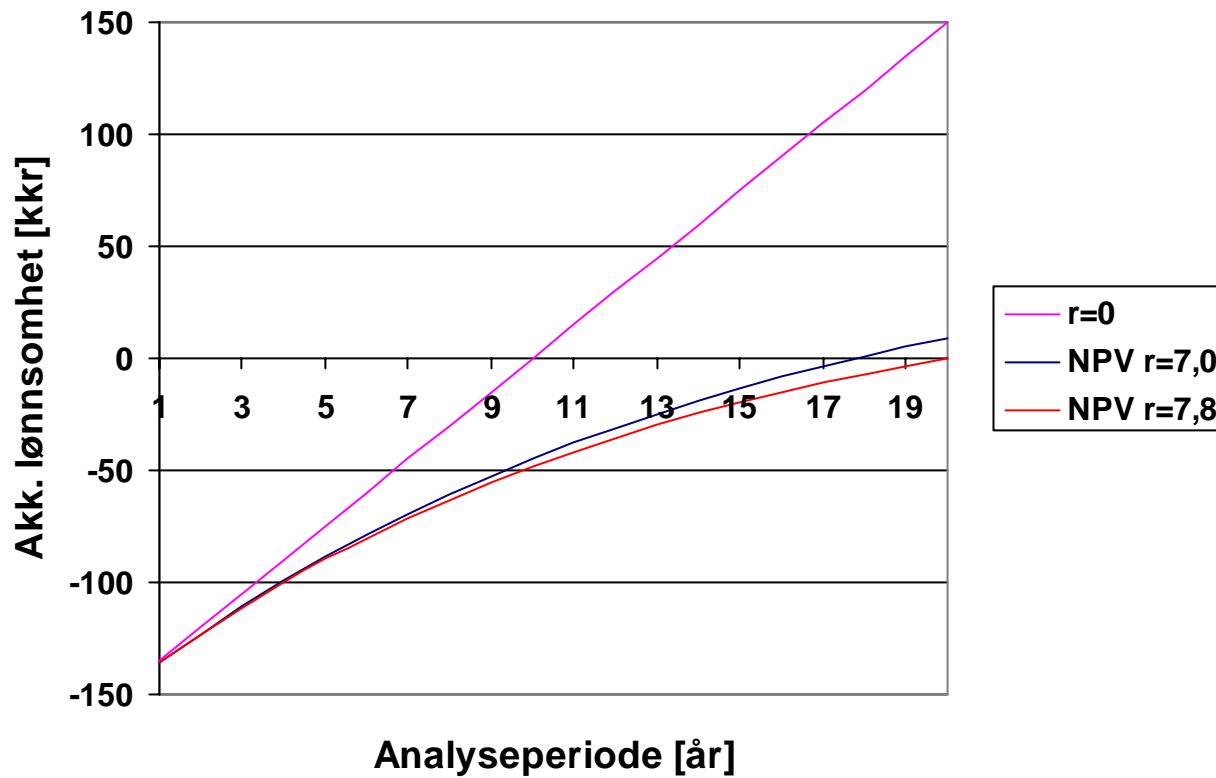
Inntekter og utgifter (nåverdi)



Akkumulert lønnsomhet (nåverdi)



Lønnsomhet ved ulike renter



Eksempler på analyser

- Tekniske analyser

- Sannsynlighet for svikt
 - Restlevetid
 - Virkningsgradsutvikling

- Konsekvensanalyser

- Utilgjengelighetstap ved ulike hendelser (svikt)
 - Virkningsgradstap

- Økonomiske analyser (nåverdi)

- Kostnader for tiltak, inkl. sum kostnader
 - Lønnsomhet av tiltak

Eksempler på analyseverktøy

- VTGRevision

Verktøy for analyse av optimale revisjons- og oppgraderingsbeslutninger i Vannvei, Turbin og Generator

- Vansimtap

Verktøy for bl.a. analyse av tapte produksjonsinntekter ved havari og inntekter/kostnader ved rehabilitering

- Vedlikeholdskalkyler

Regnearkmal i Excel

- Flermåls beslutningsanalyse (FMBA)

Analysemuligheter i VTGRevision

- Rehabiliteringsanalyser

Perspektiv - system tilbake til nytilstand

Optimalt revisjonsintervall basert på virkningsgrad og sviktsannsynligheter

Turbinvirkningsgrad

Spaltevannstap

Generator

For turbin og vannvei er optimal beslutning knyttet til tilstandsmåliger for virkningsgrad og falltap

Analysemuligheter i VTGRevision

- Prosjektanalyser – oppgradering

Perspektiv - Oppgradering av kraftverk

Lønnsomhetsanalyser for ny design

Ny layout for hele kraftverket eller deler av det

Ny tunnel

Ny trykksjaktutforming

Endret turbin og generatordesign

Endrede tilsigs- eller magasinforhold

⇒ Nye produksjonsplaner gitt tilsigsforhold

Beregner lønnsomhet ved å sammenlikne ny og eksisterende teknisk design på kraftverket

Eksempel på arbeidsgang ved bruk av VTGRevision



Kunnskap om eget kraftverk

Kunnskap om 'best practice'



Personnel

VTG: Beregn økonomisk potensiale

Resultat - preliminært

JA

NEI

Anbud eller leverandørkontakt

Forhandlinger

VTG: Legg inn data fra leverandør. Utfør analyse

Resultat

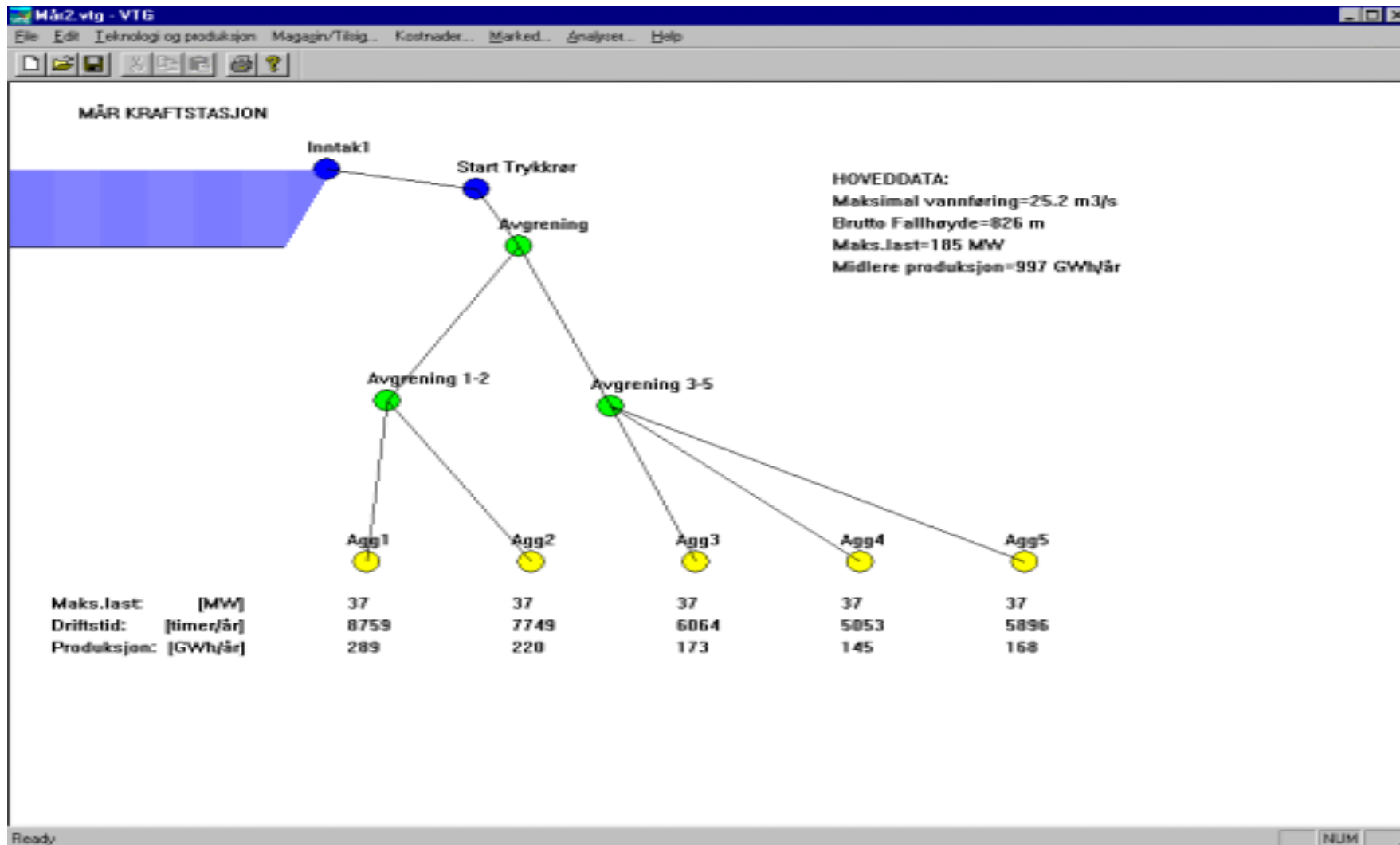
Er leverandørgaranti god nok ?

JA

Ikke tiltak

Iverksett tiltak

Hovedbilde VTGRevision



Vansimtap

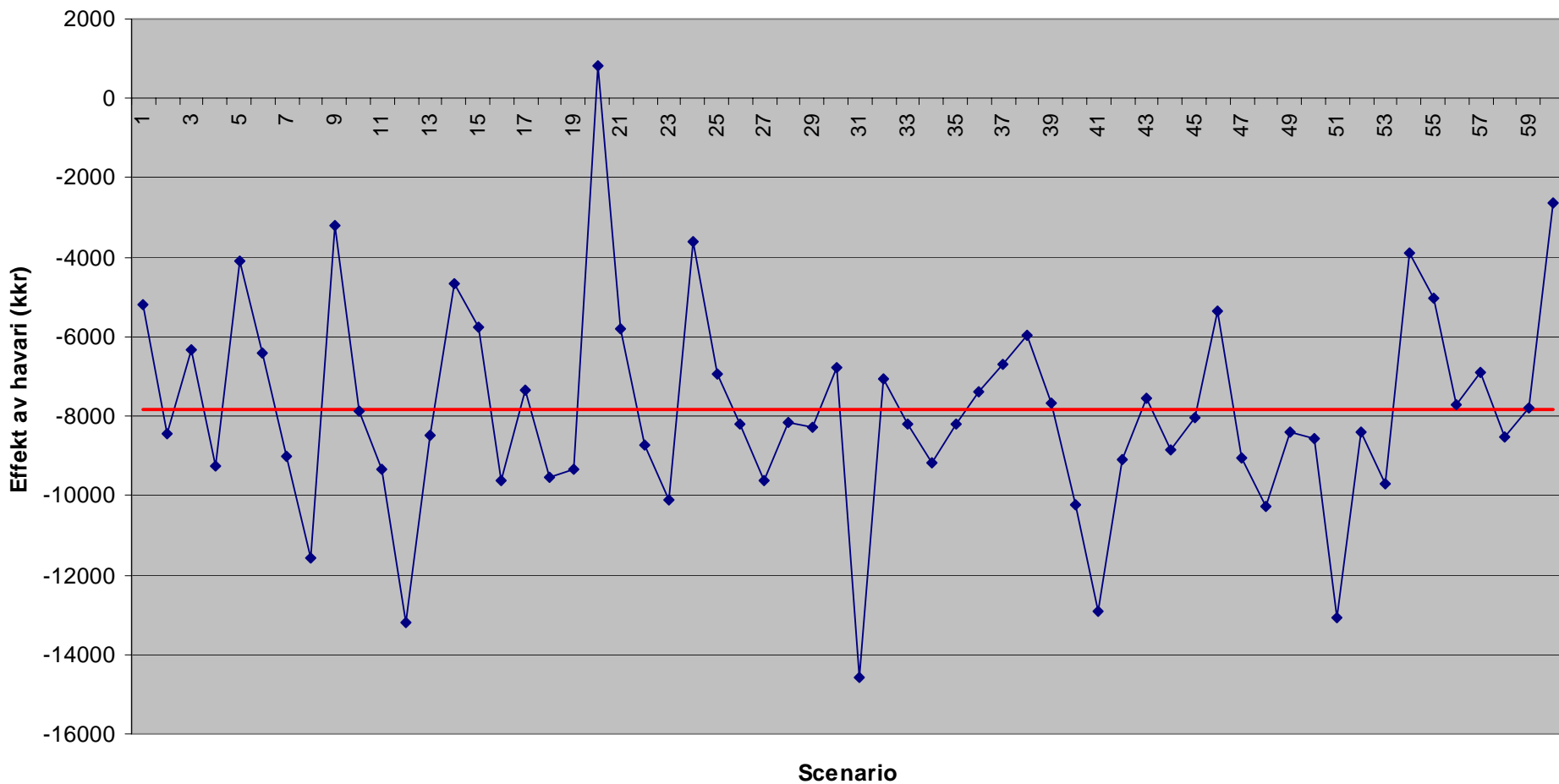
- Programsystem for optimalisering og simulering av vannkraftproduksjon
- Benyttes av de fleste produsenter i Norden
- Lang historie (20-30 år)
- Planleggingsperioden inntil 10 år frem i tid
- Tidsoppløsning uke eller prisavsnitt innenfor uken
- Usikkerhet i tilsig, markedspriser og eventuelt forbruk pga. temperatur

Bruksområder Vansimtap

- Marginalverdi av lagret vann. (vannverdi), produksjon første uke etc.
- Prognoser for produksjon, magasininnhold, flom etc for mulige pris og tilsigsscenarioer
- Input til risikoanalyser, produksjonsprognoser
- Investeringsanalyser
- Revisjonsplanlegging
- Konsekvenser av utfall
- Byggestein for Samkjøringsmodellen
 - Prisprognosering
 - Investeringsanalyser, nye kabler, nye nett, gasskraft

Tapte produksjonsinntekter for hvert tilsigsår

Havari uke 6-14 (KR4)



Vedlikeholdskalkyler

- Regnearkmal i Excel
- Økonomisk analyse av tiltak (nåverdi)
 - Inntekter
 - Kostnader
 - Lønnsomhet
- Eksempler på tiltak
 - Turbinrevisjon
 - Utbedring av oljelekkasje på løpehjulskovler
 - Installasjon av luke i vannvei

Tiltak: Turbinrevisjon i elvekraftverk

- Slitasjeskader på løpehjul \Rightarrow stans i 5 måneder hvis oljelekkasje (høy risiko)
- Revisjon av løpehjul m.m. gjennomføres om vinteren med liten sannsynlighet for vanntap
- Revisjonskostnader: 4,06 mill kr
- Kostnader ved oljelekkasje:
 - Reparasjon: 4,06 mill kr
 - Vanntap: Gjennomsnitt 10 GWh (varierer mellom 0 og 20 GWh avhengig av tidspunkt for svikt)
- Sannsynlighet for svikt: 20% pr år

Økonomisk analyse, grunnlagsdata

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen

Tiltak:

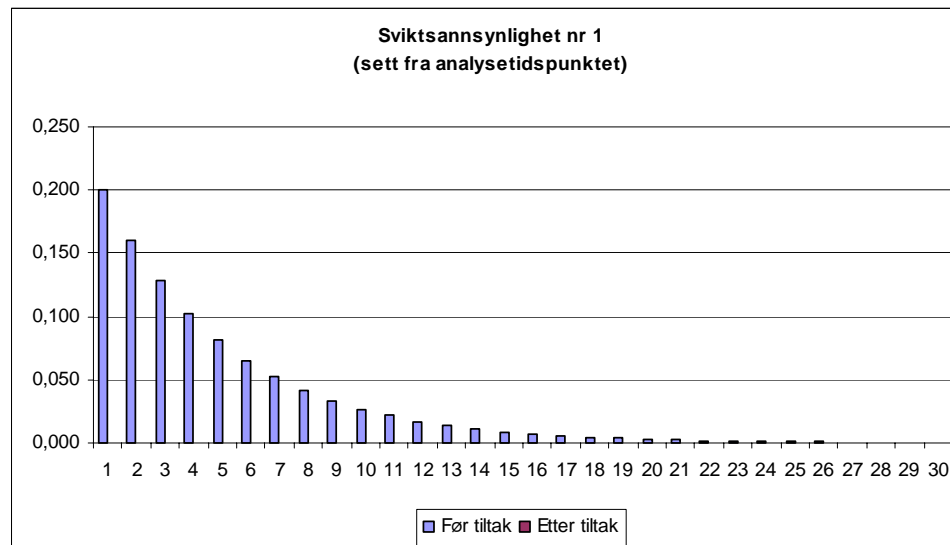
Turbinrevisjon

Økonomiske grunnlagsdata

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Startverdi (kr/MWh)										
	Årlig endring (%)										
Kraftpris 1	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Kraftpris 2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalkulasjonsrente	7,0 %										
Start analyseperiode	2001										
Slutt analyseperiode	2029										

Tekniske grunnlagsdata

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Startverdi (%)										
	Årlig økning (%)										
Sviktsannsynlighet nr. 1											
Før tiltak	20	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Etter tiltak		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Økonomisk analyse, kostnader

Kostnader knyttet til tiltaket

(alle tall i kkr, investeringskostnader påløper i starten av året)

Tiltak:

Turbinrevisjon

Ressurser	Nåverdi	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Egen arbeidskraft	1440	1440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fremmedytelser	1900	1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Materiell/utstyr	370	370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verktøy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transport	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avhending	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Annet	350	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	4060	4060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgj.het under tiltaket													
Flyttet/ redusert salg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tapt vann	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil													
På enheten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
På andre enheter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader													
Kostnad 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kostnad 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kostnad 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum alle relevante kostnader	4060	4060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Økonomisk analyse, inntekter

Inntekter knyttet til tiltaket

(alle tall i kkr)

Tiltak:

Turbinrevisjon

Økt virkningsgrad

Nåverdi	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Virkningsgrad 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Virkningsgrad 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet

Unngår produksjonstap (pga svikt 1)	1111	300	240	192	154	123	98	79	63	50	40	32
Unngår rep.kostnader (etter svikt 1)	3007	812	650	520	416	333	266	213	170	136	109	87
Unngår produksjonstap (pga svikt 2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unngår rep.kostnader (etter svikt 2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unngår produksjonstap (pga svikt 3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unngår rep.kostnader (etter svikt 3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	4118	1112	890	712	569	455	364	292	233	187	149	119

Utsettelse av fremtidige kostnader

Investering 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investering 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiltak 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiltak 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Andre inntekter

Redusert forsikringspremie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt vedlikeholdsevne etter tiltak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inntekt 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sum alle relevante inntekter

4118	1112	890	712	569	455	364	292	233	187	149	119
-------------	-------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Økonomisk analyse, resultat

Vedlikeholdskalkyle

(alle tall i kkr)

Tiltak:

Turbinrevisjon

Inntekter

	Nåverdi	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Økt virkningsgrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	4118	1112	890	712	569	455	364	292	233	187	149	119	96	76
Utsettelse av fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre inntekter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	4118	1112	890	712	569	455	364	292	233	187	149	119	96	76

Kostnader

Ressurser	-4060	-4060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utlgj.het under tiltaket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	-4060	-4060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Resultat

Sum	58	-2948	890	712	569	455	364	292	233	187	149	119	96	76
------------	-----------	--------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-----------	-----------

Akkumulert nåverdi

Sum	-3021	-2244	-1663	-1228	-904	-661	-479	-344	-242	-166	-110	-67	-35
------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------	------------

Kalkulasjonsrente

7,0 %

