

EVU-kurs:
Optimalt vedlikehold av vannkraftverk II
NTNU, 20-23 okt./17-21 nov. 2003



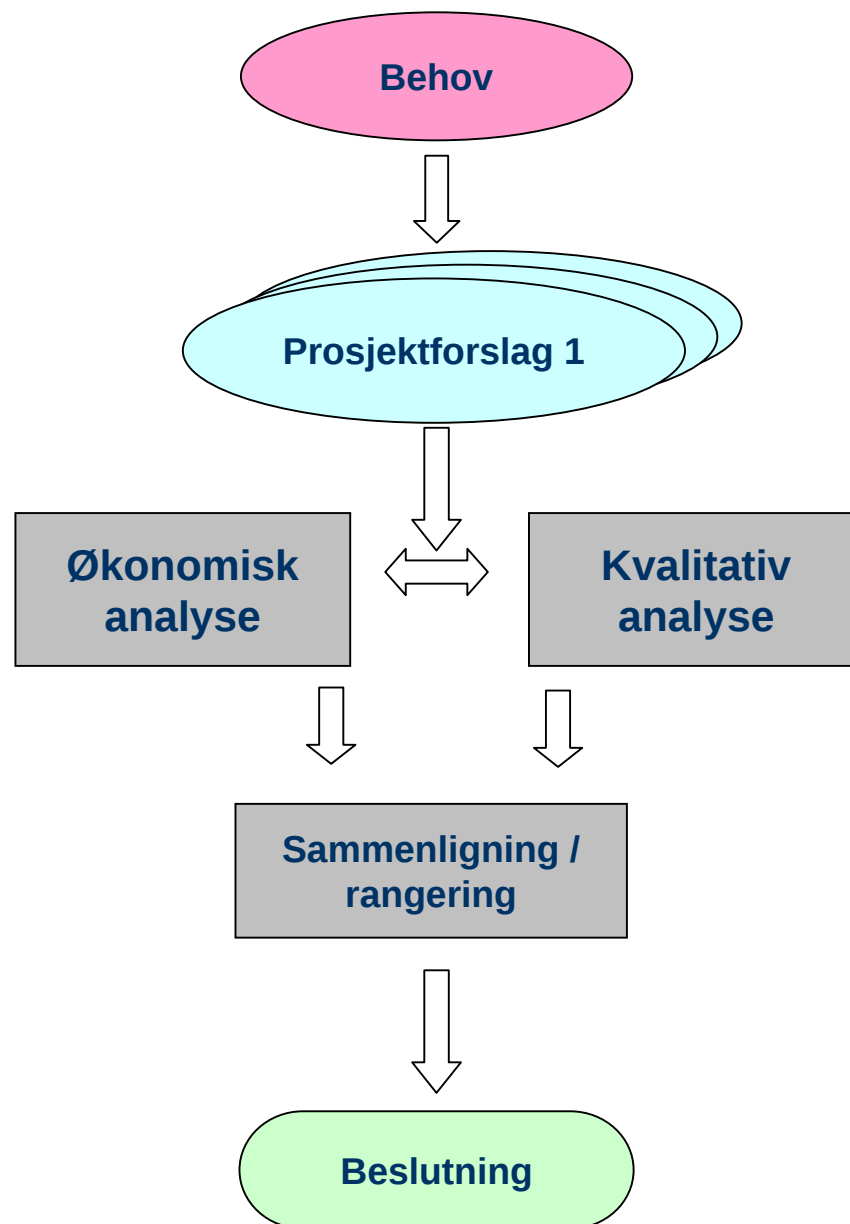
Lønnsomhet av vedlikeholdstiltak

Jørn Heggset
SINTEF Energiforskning AS

Utgangspunkt

- Vedlikehold er tradisjonelt sett på som en kostnad, "et nødvendig onde"
- Økonomisk nytteverdi av vedlikeholds- og rehabiliteringstiltak tillegges større og større vekt i kraftselskapene
- Beregning og dokumentasjon av økonomisk nytteverdi er en del av rutinen i veldig mange (alle?) selskap

Beslutnings- prosess ved vurdering av flere tiltak (prosjekt)



Hva er et tiltak?

- Større (og mindre) rehabiliteringer
- Forebyggende vedlikeholdstiltak (periodisk eller tilstandsbasert)
- Større tilstandskontroller
- osv.

Alt man ønsker å beregne økonomisk nytteverdi av.

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

Eksempler på tiltak

Selskap	Tiltak	Grunnlagsdata	Kostnader	Inntekter
NTE	Ny akseltetningsboks	Intet spesielt	Investering	Unngår revisjon og vanntap hvert 6. år
NTE	Regenerering av transf.olje	Uavhengig av kraftpris	Regenerering Ny trafo om 17 år	Unngår ny trafo om 7 år (utsettes i 10 år)
NTE	Nytt løpehjul	Prisforskjell sommer/vinter Brukstid	Investering Effektøkning gir økte tap Økte tap pga vinterkjøring Økte falltap pga redusert vanntap	Virkningsgradsøkning Effektkjøring Sommer- til vinterkraft Redusert vanntap
AK	Formendring av sugerør	Prisøkning i tid	Investering Vanntap under tiltaket	Virkningsgradsøkning
AK	Ny turbinregulator	Intet spesielt	Investering	Virkningsgradsøkning Redusert servicebehov Bedre styring fra driftsentral
AK	Turbinrevisjon	Sviktsannsynlighet	Investering	Unngår havari (reparasjonskostnad og vanntap)
AK/Hydro	Rehabilitering aggregat	Prisforskjell sommer/vinter Økt produksjon i GWh etter tiltak (ikke endring i %)	Investering (eget regneark) Årlige driftsutgifter	Virkningsgradsøkning
Statkraft	Prosjekt XX	Prosjekt startes om 3 år	Investering Vanntap under tiltak	Virkningsgradsøkning Redusere årlige vedl.utgifter
BKK	Ny luke i vannvei	Internrente (prøving og feiling) Prosjekt starter om 1 år	Investering Vanntap under bygging Vedlikehold om 20 år Falltap luke	Redusert falltap grind Unngår vanntap ved rensk Unngår tømning av tunnel
SEfAS (Viken E.)	Tørking av trafoisolasjon	Intet spesielt	Tørking	Unngår ny trafo om 44 (!) år
SEfAS	Tilstandskontroll av effektbrytere	Økende sviktsannsynlighet	Tilstandskontroll, utstyr, opplæring	Oppdager noen alvorlige feil, og unngår dermed havari. Unngår periodiske revisjoner.

Regnark for beregning av økonomisk nytteverdi

- Beregner nytteverdien av å gjennomføre et tiltak nå
- Finner netto nåverdi av et tiltak (NNV, NPV)
- Beregner internrente (den rente som gir NPV lik 0)
- Finner ikke optimalt tidspunkt for gjennomføring av et tiltak
- Beregner økonomisk nytteverdi av ett tiltak, ingen portefølje av tiltak

Oppbygging av regnearket

- Regnearket er bygd opp av 5 delark
 1. Resultatpresentasjon/oppsummering av analysen
 2. Inntekter knyttet til tiltaket
 3. Kostnader knyttet til tiltaket
 4. Datagrunnlag (økonomiske og tekniske grunnlagsdata)
 5. Kostnader ved eventuell svikt

Grunnlagsdata

- Kraftpris (sommerpris/vinterpris, beregnet i f.eks. Samkjøringsmodellen)
- Kalkulasjonsrente
- Start/slutt analyseperiode
- Forventet energitilgang
- Brukstid
- Vinterkraftsesong (antall timer vinterpris skal benyttes)
- Tiltakets økonomiske levetid (for beregning av evt. restverdi)
- Virkningsgrad før og etter tiltak
- Sviktsannsynlighet før og etter tiltak

(ikke alle dataene er relevante for alle tiltak)

Kostnader ved evt. svikt

- I dette arket angis hvor mye en svikt (havari) sannsynligvis vil koste hvis den skulle oppstå
- Direktekostnader (skader, reparasjonskostnader, etc)
- Vanntap / produksjonsntap
- Kostanden multipliseres med sannsynlighet for svikt (i et annet delark) for å finne forventede årlige kostnader

Kostnader

■ Ressursbruk

- kostnader som påløper som en direkte følge av at prosjektet gjennomføres (arbeidskraft, fremmedytelser, materiell, transport, avhending, m.m).

■ Utilgjengelighet under tiltaket

- kostnader knyttet til tapt vann eller produksjon på et mer ugunstig tidspunkt med tilhørende redusert inntekt.

■ Vedlikeholdsintroduserte feil

- kostnader som har en viss sannsynlighet for å oppstå, og i regnearket inngis forventede kostnader pr år basert på denne sannsynligheten.

■ Andre kostnader

- f.eks. økt vedlikeholdsbehov etter tiltaket, økte falltap pga økt produksjonsevne, mm.

Inntekter

- Økt virkningsgrad
 - i mange tilfeller målet med et vedlikeholds- eller rehabiliteringsiltak.
- Økt tilgjengelighet (reduisert havaririsiko)
 - også ofte et mål med et tiltak
 - umulig å "måle" dette inntekten, da det er snakk om forventede framtidige årlige inntekter basert på redusert sviktsannsynlighet
- Utsettelse av framtidige kostnader
 - ofte den største gevinsten knyttet til et tiltak forutsatt at de framtidige kostnadene er tilstrekkelig store i forhold til tiltakskostnadene.
 - her snakker vi enten om utsatte investeringer eller utsettelse/opphør av framtidige (større) vedlikeholdstiltak.
- Andre inntekter
 - f.eks. redusert forsikringspremie og økt vedlikeholdsevne etter tiltaket.

MERK: Flere av "inntektselementene" er egentlig reduserte eller utsatte kostnader pga av tiltaket gjennomføres.

Resultatpresentasjon

- Netto nåverdi (kr)
 - Netto nåverdi pr budsjettkrone (%)
 - Internrente (%)
 - Akkumulert nåverdi (kr/år)
- I tillegg er det i alle arkene lagt opp til flere grafiske presentasjoner av interessante sammenhenger

Netto nåverdi pr budsjettkrone (NNB)

- Netto nåverdi (NPV) dividert med nåverdien av alle kostnadene
- Får dermed et tall i % som viser størrelsen på overskuddet i forhold til kostnadene (økonomisk "virkningsgrad")
- relevant for å sammenligne prosjekter av ulik størrelse
 - et prosjekt med kostnader på 10 mill kr og NPV på 1 mill kr er ikke nødvendigvis bedre enn et prosjekt til 100 kkr og NPV på 50 kkr.
 - poenget er å finne den sum (portefølje) av prosjekter som til sammen gir høyeste NPV (hvis man kun tenker økonomi)

Beregning av sviktsannsynlighet i regnearket

- I delark *Grunnlagsdata* angis sannsynlighet (i %) for at enheten svikter i et gitt år, når man står ved inngangen til det aktuelle året
- Regnearket beregner ut fra dette sannsynligheten for svikt for hvert enkelt år, sett fra analysetidspunktet (år 0)
- Beregningen er basert på en *geometrisk fordeling*:

$$P(T=t) = p (1-p)^{t-1}$$

Eksempel på analyse og prioritering av tre ulike tiltak

- Tiltak 1: Turbinrevisjon
- Tiltak 2: Utbedring av oljelekkasje på løpehjulskovler
- Tiltak 3: Installasjon av luke i vannvei

Tiltak 1: Turbinrevisjon i elvekraftverk

- Slitasjeskader på løpehjul $\Rightarrow$ stans i 5 måneder hvis oljelekkasje
- 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 (estimert)

Tiltak 1: Økonomisk analyse, grunnlagsdata

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen

Tiltak:

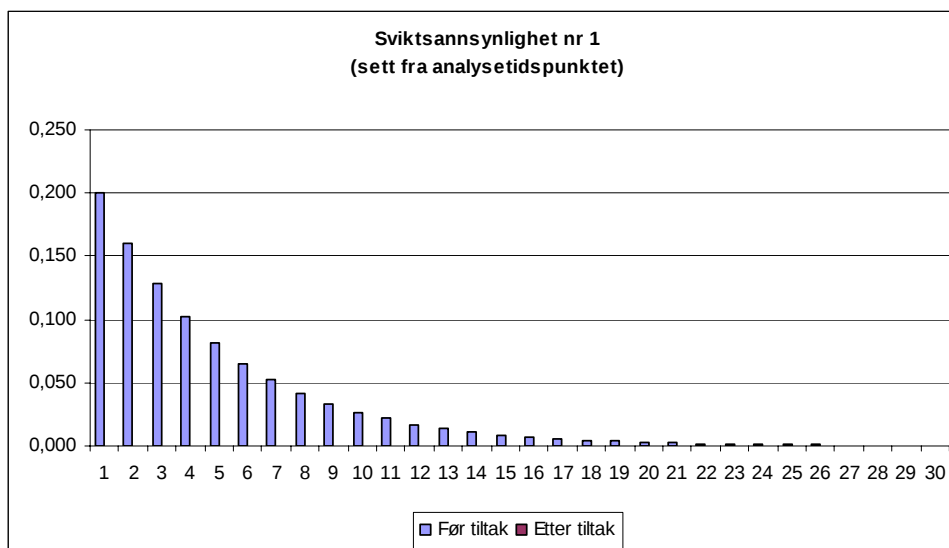
Turbinrevisjon

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



Tiltak 1: 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
Fremmedytelser	1900	1900	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Materiell/utstyr	370	370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verktøy	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
Avhending	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
Sum	4060	4060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Utlgj.het under tiltaket

Flyttet/reduert salg	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
Annet	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

Vedlikeholdsintroduserte feil

På enheten	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
Annet	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

Andre kostnader

Kostnad 1	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
Kostnad 3	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

Sum alle relevante kostnader	4060	4060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-------------------------------------	-------------	-------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Tiltak 1: 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	0
Investering 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiltak 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiltak 2	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

Andre inntekter

Redusert forsikringspremie	0	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	0
Inntekt 3	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

Sum alle relevante inntekter	4118	1112	890	712	569	455	364	292	233	187	149	119
-------------------------------------	-------------	-------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Tiltak 1: 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
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	4118	1112	890	712	569	455	364	292	233	187	149	119	96
Utsettelse av fremtidige kostnader	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
Sum	4118	1112	890	712	569	455	364	292	233	187	149	119	96

Kostnader

Ressurser	-4060	-4060	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
Vedlikeholdsinntroduserte feil	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
Sum	-4060	-4060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Resultat

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

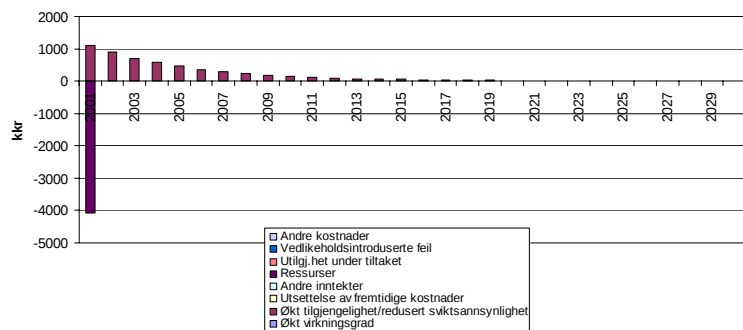
Akkumulert nåverdi

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

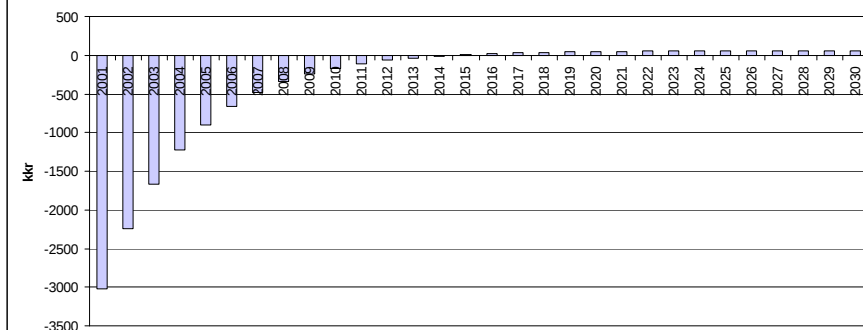
Kalkulasjonsrente

7,0 %

Inntekter/kostnader



Akkumulert nåverdi



Tiltak 2: Skifte av pakninger på løpehjulskovler i elvekraftverk

- Oljelekkasje i pakning rundt innfesting av løpehjulskovler ⇒ olje i elva
- Liten lekkasje, men oljen vises godt i elva
- Reparasjon kan utsettes (rent teknisk), men bør tas omgående av miljø- og PR-hensyn (media)
- Kostnader ved reparasjon:
 - Produksjonstap: 86 000 kr (8 MW i 3 døgn til 150 kr/MWh)
 - Timekostnader: 15 000 kr
 - Materiell: 5000 kr
- Reparasjon utsatt til sommeren:
 - Produksjonstap: 10 000 kr (1,5 MW i 3 døgn til 90 kr/MWh)
 - Timekostnader: 10 000 kr (tas sammen med andre jobber)
 - Materiell: 5000 kr

Tiltak 2: Økonomisk analyse, grunnlagsdata

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen

Tiltak:

Skifte av pakninger, løpehjulsskovler

Økonomiske grunnlagsdata

		1999	2000
	Startverdi (kr/MWh)	Årlig endring (%)	
Vinterpris	150	150	150
Sommerpris	90	90	90
Kalkulasjonsrente	7,0 %		
Start analyseperiode	1999		
Slutt analyseperiode	2028		

Tiltak 2: Økonomisk analyse, kostnader

Kostnader knyttet til tiltaket

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

Tiltak:

Skifte av pakninger, løpehjulsskovler

Ressurser	Nåverdi	1999	2000	2001	2002
Egen arbeidskraft	15	15	0	0	0
Fremmedytelser	0	0	0	0	0
Materiell/utstyr	5	5	0	0	0
Verktøy	0	0	0	0	0
Transport	0	0	0	0	0
Avhending	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0
Sum	20	20	0	0	0
Utlgj.het under tiltaket					
Flyttet/reduert salg	0	0	0	0	0
Tapt vann	86	86	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0
Sum	86	86	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil					
På enheten	0	0	0	0	0
På andre enheter	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0
Andre kostnader					
Kostnad 1	0	0	0	0	0
Kostnad 2	0	0	0	0	0
Kostnad 3	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0
Sum alle relevante kostnader	106	106	0	0	0

Tiltak 2: Økonomisk analyse, inntekter

Inntekter knyttet til tiltaket						
(alle tall i kkr)						
Tiltak:		Skifte av pakninger, løpehjulsskovler				
Økt virkningsgrad	Nåverdi	1999	2000	2001	2002	2003
Virkningsgrad 1	0	0	0	0	0	0
Virkningsgrad 2	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet						
Unngår produksjonstap (pga svikt 1)	0	0	0	0	0	0
Unngår rep.kostnader (etter svikt 1)	0	0	0	0	0	0
Unngår produksjonstap (pga svikt 2)	0	0	0	0	0	0
Unngår rep.kostnader (etter svikt 2)	0	0	0	0	0	0
Unngår produksjonstap (pga svikt 3)	0	0	0	0	0	0
Unngår rep.kostnader (etter svikt 3)	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0
Utsettelse av fremtidige kostnader						
Investering 1	0	0	0	0	0	0
Investering 2	0	0	0	0	0	0
Tiltak 1	0	0	0	0	0	0
Tiltak 2	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0
Sparte kostnader sommeren 2000						
Egen arbeidskraft	9	0	10	0	0	0
Materiell	4	0	5	0	0	0
Tapt vann	9	0	10	0	0	0
Sum	22	0	25	0	0	0
Sum alle relevante inntekter	22	0	25	0	0	0

Tiltak 2: Økonomisk analyse, resultat

Vedlikeholdskalkyle

(alle tall i kkr)

Tiltak:

Skifte av pakninger, løpehjulsskovler

Inntekter

Økt virkningsgrad
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet
Utsettelse av fremtidige kostnader
Sparte kostnader sommeren 2000

Nåverdi	1999	2000	2001	2002	2003
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
22	0	25	0	0	0
22	0	25	0	0	0

Kostnader

Ressurser
Utlgj.het under tiltaket
Vedlikeholdsintroduserte feil
Andre kostnader

-20	-20	0	0	0	0
-86	-86	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
-106	-106	0	0	0	0

Resultat

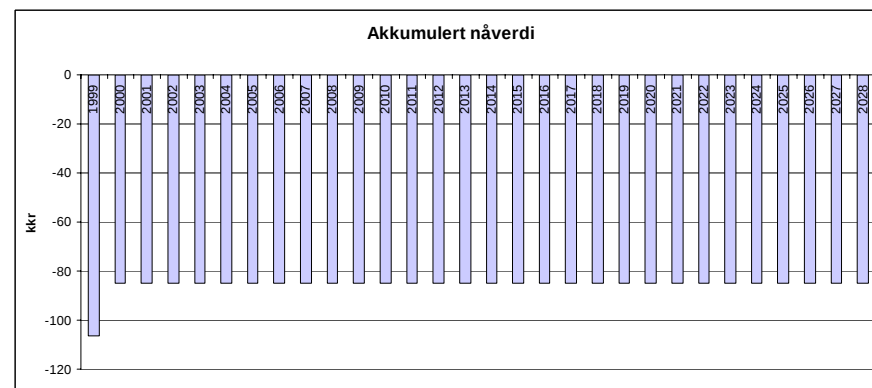
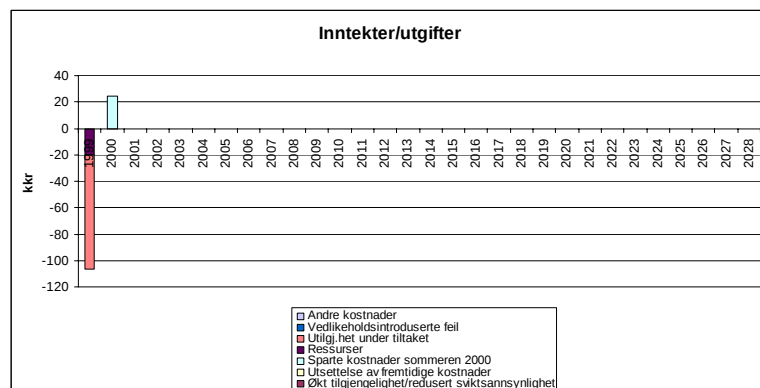
-84	-106	25	0	0	0
------------	-------------	-----------	----------	----------	----------

Akkumulert nåverdi

-106	-85	-85	-85	-85
------	-----	-----	-----	-----

Kalkulasjonsrente

7,0 %



Tiltak 3: Installering av luke i vannvei, oppstrøms varegrind/sandfang

- Ved rengjøring av varegring m.m. må hele driftstunnelen tømmes
- Med luke: Økt fleksibilitet og økt sikkerhet ved tømming av sandfang og rensk av varegrind
- Kostnader luke:
 - Luke+arbeid: 1,6 + 1,5 mill kr = 3,1 mill kr
 - Produksjonstap: 4,7 mill kr
 - Vedlikeholdsutgifter: 400 kkr om 20 år (korrosjonsbehandling)
 - Falltap: 14 kkr/år (70 MWh/år)
- Inntekter luke:
 - Redusert vanntap (tømming, falltap grind, m.m.): 800 kkr/år (4 GWh/år)
 - Reduserte timekostnader: 22 kkr/år
- Økonomisk resultat (NPV): 1,9 mill kr (7%, 30 år)

Oppsummering økonomisk analyse av tiltakene

- Tiltak 1 (turbinrevisjon):
 - Netto nåverdi (NPV): 58 kkr
 - Netto nåverdi pr budsjettkrone (NNB): $58/4060 = 0,014$
- Tiltak 2 (reparasjon av oljelekkasje):
 - Netto nåverdi (NPV): -84 kkr
 - Netto nåverdi pr budsjettkrone (NNB): $-84/106 = -0,79$
- Tiltak 3 (installasjon av luke i vannvei):
 - Netto nåverdi (NPV): 1876 kkr
 - Netto nåverdi pr budsjettkrone (NNB): $1876/7592 = 0,25$
- Både NPV og NNB gir rangeringen: 3, 1, 2
- Hva med andre nytteverdier av tiltakene??
(vi kommer tilbake til dette i del 2 av kurset)