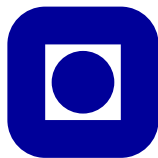


NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR INDUSTRIELL ØKONOMI OG TEKNOLOGILEDELSE



MASTEROPPGAVE

Produksjons- og risikostyring av vannkraftporteføljer

Agnes Nybø

Siri Line Hove Ås



Foto: Mikal Sveen

Trondheim, 13. juni 2005

Produksjons- og risikostyring av vannkraftporteføljer

Agnes Nybø

Siri Line Hove Ås

Forord

Denne masteroppgaven er utført av to studenter ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse ved NTNU vårsemesteret 2005 og representerer avslutningen på sivilingeniørstudiet. Masteroppgaven er utført i samarbeid med Trondheim Energiverk.

Vi vil gjerne takke veileder ved NTNU Stein Erik Fleten, og Stig Rolstadsaas, Erling Kylling, Lars Andersen, Trond Brevik og Henning Nymann ved Trondheim Energiverk. I tillegg vil vi takke Tor Green fra Powel og Erik Leivestad fra VIZ for innspill angående bruk av henholdsvis Vansimtap og Elviz, som er software benyttet gjennom denne masteroppgaven. Til slutt vil vi takke Dagny Nybø for hjelp med tekstbehandlingssystemet L^AT_EX.

Trondheim, 13 juni 2005

Agnes Nybø

Siri Line Hove Ås

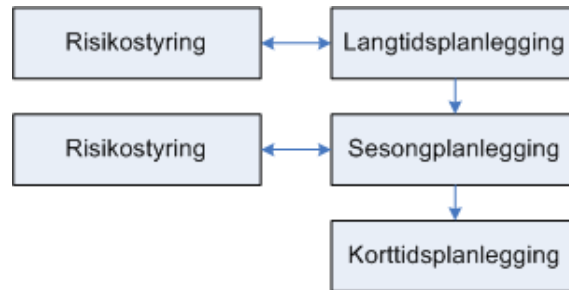
Sammendrag

Gjennom denne masteroppgaven er det sett på om endring av magasindisponering kan være med på å redusere den økonomiske risikoen til en vannkraftprodusent. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Trondheim Energiverk (TEV), og det er tatt utgangspunkt i dataverktøy som er i bruk i bedriften.

Etter dereguleringen av det nordiske kraftmarkedet har kraftbransjen blitt mer opptatt av risikostyring på bedriftsnivå. På grunn av flere ulike typer risiko i kraftmarkedet, kan det være vanskelig å drive risikostyring. De viktigste usikkerhetsfaktorene er pris og mengde.

Kapittel 2 Produksjonsplanlegging

For en vannkraftprodusent er det nødvendig med en langsiktig strategi for disponering av ressursene for å oppnå optimal drift av produksjonsanleggene. Denne strategien må sees i sammenheng med virkningsgrader og forventninger til det kortsiktige markedet [Haugstad & Belsnes 1999]. Driftsplanlegging i vannkraftsystemer deles vanligvis inn i langtidsplanlegging og korttidsplanlegging. I tillegg finnes sesongplanlegging, som er mellomnivå hvor langtids- og korttidsplanleggingen kobles sammen [Fosso & Gjengedal 2004]. Både for langtidsplanlegging og sesongplanlegging vil risiko være en viktig faktor, da det er stor usikkerhet knyttet til blant annet pris og tilsig. Korttidsplanlegging innebærer en mer deterministisk tilnærming, slik at risikostyring er mindre aktuelt her. Gjennom denne masteroppgaven har det vært fokus på langtidsplanlegging.



Figur 2.1: Nivåer i produksjonsplanleggingen

Langtidsplanlegging

Langtidsplanlegging skal sikre en fornuftig disponering av ressursene over tid, og planleggingshorisonten er typisk opptil 5 år. Prisutviklingen i kraftmarkedet vil være den viktigste parameteren for produsentens økonomiske resultat, og prisprognosering står derfor sentralt i planleggingsprosessen. Meteorologisk statistikk og prognoser vedrørende kraftteterspørsel, vårflom, oppstart av nye anlegg, revisjoner m.v. spiller også en viktig rolle i langtidsplanleggingen i det nordiske markedet [Fosso & Gjengedal 2004].

2.1 Vannkraftprodusentens optimaliseringsproblem

Driftsoptimaliseringsproblemet til en vannkraftprodusent går ut på å maksimere forventede inntekter (markedsverdi), gitt prediksjon om fremtidige priser og gjeldende restriksjoner. Produksjonsoptimalisering innebærer en maksimering av inntekter fra kraft solgt i markedet, samt verdien av fremtidige inntektsmuligheter, som i hovedsak er bestemt av magasinutfyllingen i slutten av perioden. Optimaliseringsproblemet kan formuleres som vist i likning 2.1. Foreløpig regnes produsenten som risikonøytral, håndtering av risiko behandles nærmere i avsnitt 6.4.

$$\text{maks } E \left[\sum_{k=1}^N (1+r)^{-T_k} q_k p_k + (1+r)^{-T_N} S(y_N) \right] \quad (2.1)$$

2.1 Vannkraftprodusentens optimaliseringsproblem

hvor

\mathbf{E} – forventningsverdi

\mathbf{k} – tidssteg

\mathbf{N} – planleggingsperiode

\mathbf{r} – diskonteringsrente

\mathbf{T}_k – antall år (fraksjoner) til periode k

\mathbf{q}_k – produksjon, periode k . Beslutningsvariabel

\mathbf{p}_k – markedspris, periode k

$\mathbf{S}(\mathbf{y}_k)$ – restverdi som funksjon av systemets tilstand

\mathbf{y}_k – systemtilstander, magasininnhold som viktigste parameter

Vannbalanse for systemet kan skrives som følger:

$$x_k = x_{k-1} + i_k - f_k - q_k \quad \forall k = 1, 2, \dots, N \quad (2.2)$$

hvor

\mathbf{k} – tidssteg

\mathbf{x}_k – magasinifylling, periode k [MWh]

\mathbf{x}_{k-1} – magasinifylling, periode $k - 1$ [MWh]

\mathbf{q}_k – produksjon, periode k [MWh]. Beslutningsvariabel

\mathbf{i}_k – (regulerbart tilsig + uregulerbart tilsig - forbitapping), periode k [MWh]

\mathbf{f}_k – flom, periode k [MWh]

Magasininnholdet x_k er en stokastisk variabel fordi tilsiget er stokastisk. Det henvises til avsnitt 7.2.1 for illustrasjon av en standard vannkraftmodul.

På grunn av krav til øvre og nedre magasinifylling, samt grenser for produksjon kan følgende restriksjoner formuleres:

$$a_k \leq q_k \leq b_k \quad \forall k = 1, 2, \dots, N \quad (2.3)$$

$$c_k \leq x_k \leq d_k \quad \forall k = 1, 2, \dots, N \quad (2.4)$$

a_k og b_k er henholdsvis nedre og øvre grense for produksjonen q_k i periode k . a_k representerer uregulerbart tilsig - forbitapping i periode k .

c_k og d_k er henholdsvis nedre og øvre grense for magasinifyllingen x_k i periode k .

Referanser

- Anderson, R. W. & Danthine, J.-P. [1980], 'Hedging and joint production: Theory and illustrations', *The Journal of Finance* **35**(5), p. 487–498.
- Anderson, R. W. & Danthine, J.-P. [1983], 'Hedger diversity in futures markets', *The Economic Journal* **93**(37), p. 370–389.
- Benninga, S. & Oosterhof, C. [2002], 'Hedging with forwards and puts in complete and incomplete markets'.
- Bjerksund, P., Rasmussen, H. & Stensland, G. [2000], 'Valuation and risk management in the Norwegian electricity market'.
- Bowden, R. J. [1995], 'Production organization and risk control when market instruments are available', *Management Science* **41**(6), p. 1073–1082.
- Brealey, R. A. & Myers, S. C. [2003], *Principles of corporate finance, 7th edition*, McGraw-Hill.
- Brevik, T. [2004], 'Drøftingsnotat - Sikringsbånd i TEV Kraft'.
- Culp, C. L. [2001], *The risk management process, Business strategy and tactics*, John Wiley & Sons, Inc.
- Danthine, J. P. [1978], 'HInformation, futures prised, and stabilizing speculation', *Journal of Economic Theory* **17**(1), p. 79–98.
- Feder, G., Just, R. E. & Schmitz, A. [1980], 'Futures markets and the theory of the firm under price uncertainty', *The Quarterly Journal of Economics* **95**, p. 317–328.
- Finans og Tolldepartementet [1996], 'NOU 1996: 9'.
- Flatabø, N., Haugstad, A., Mo, B. & Fosso, O. B. [2002], Hydro Scheduling in competitive electricity markets. An overview, Teknisk rapport, SINTEF Energiforskning / Institutt for elkraftteknikk, NTNU.
- Flatabø, N., Mo, B., Gjelsvik, A. & Botterud, A. [2001], Integrasjon av vannkraftoptimalisering og sikringshandel, Teknisk rapport, SINTEF Energiforskning.
- Fleten, S.-E. [2000], Portfolio management emphasizing electricity market applications. A stochastic programming approach, Doktorgradsavhandling, Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, NTNU.
- Fleten, S. E., Tomasgard, A. & Wallace, S. W. [2001], 'Produksjonsplanlegging og risikostyring i et deregulert marked med finansielle instrumenter', *Magma* **4**(5), p. 22–33.
- Fosso, O. B. & Gjengedal, T. [2004], 'Produksjonsplanlegging i vannkraftbaserte systemer'. Forelesningsmaterieil i TET14 Driftsplanlegging, Institutt for elkraftteknikk, NTNU.
- Fosso, O. B., Haugstad, A. & Mo, B. [2004], 'Langtidsplanlegging'. Forelesningsmaterieil i TET14 Driftsplanlegging, Institutt for elkraftteknikk, NTNU.
- Førsund, F. R., Golombek, R., Hoel, M. & Kittelsen, S. [2003], Utnyttelse av vannkraftmagasiner, Teknisk rapport, Stiftelsen Frischsenteret for samfunnsøkonomisk forskning.
- Haugstad, A. & Belsnes, M. [1999], 'Kraftproduksjon: Bedre driftsplanlegging = større inntekt', *Xergi* (4).
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. [2001], *Introduction to operations research, 7th edition*, McGraw-Hill.
- Holtan, J. A. & Mo, B. [1995], Risikohåndtering i kraftmarkedet, Teknisk rapport, EFI / SINTEF.
- Holthausen, D. M. [1971], 'Hedging and the competitive firm under price uncertainty', *The American Economic Review* **61**(1), p. 65–73.
- Hvornes, H. [2005], 'Derivatives in Elkem Energi'. Materieil fra presentasjon ved NTNU 10.03.05.
- Jansen, S. L. & Østby, C. [2002], Integreert risikostyring for en vannkraftprodusent, Mas-

REFERANSER

- teroppgave, Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, NTNU.
- Javed, A. Y. [2000], 'Alternative Capital Asset Pricing Models: A Review of Theory and Evidence'.
- Kristiansen, T. [2004], Risk management in electricity markets emphasizing transmission congestion, Doktorgradsavhandling, Institutt for elkraftteknikk, NTNU.
- Magnus, E. & Midttun, A., eds [2000], *Electricity market reform in Norway*, Macmillan Press Ltd.
- Moschini, G. & Lapan, H. [1992], 'Hedging price risk with options and futures for the competitive firm with production flexibility', *International Economic Review* **33**(3), p. 607–618.
- Moschini, G. & Lapan, H. [1995], 'The hedging role of options and futures under joint price, basis, and production risk', *International Economic Review* **36**(4), p. 1025–1049.
- Nord Pool (1) [2005].
URL: <http://www.nordpool.no>, (03.03.05)
- Nord Pool (2) [2003], 'The Nordic Power Exchange Nord Pool and the Nordic Model for a Liberalised Power Market'.
- Olje og Energidepartementet (1) [2003-2004], 'St.meld. nr. 18: Om forsyningsikkerheten for strøm mv.'.
- Olje og Energidepartementet (2) [1998], 'NOU 1998: 11'.
- Røen, M. [2003], 'Trondheim Energiverk Kraft AS sine produksjonsanlegg'. Materiell fra presentasjon for Statkraft 20.05.03.
- Røystrand, J. [1998], Data og korrelasjon i integrert driftsplanlegging og risikostyring, Teknisk rapport, SINTEF Energiforskning.
- Sandmo, A. [1971], 'On the theory of the competitive firm under price uncertainty', *The American Economic Review* **61**(1), p. 65–73.
- Sevi, B. [2004], The competitive firm under both input and output price uncertainties with futures markets and basis risk, Teknisk rapport, CREDEN, Cahiers de recherche, Université de Montpellier I.
- Sintef Energiforskning [n.d.], *Programpakken Vansimtap*.
- T. A. Johnsen, S. K. Verma, C. W. [1999], 'Zonal pricing and demand-side bidding in the Norwegian electricity market'.
- Unger, G. [2002], Hedging strategy and electricity contract engineering, Doktorgradsavhandling, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
URL: <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/diss/fulltext/eth14727.pdf> (18.04.2005)
- Vehviläinen, I. [2002], 'Applying financial theory to the deregulated electricity markets'.
URL: <http://users.tkk.fi/iivo/> (06.04.2005)
- Viane, J.-M. & Zilcha, I. [1998], 'The behavior of competitive exporting firms under multiple uncertainty', *International Economic Review* **39**(3), p. 592–609.
- Wangensteen, I. [2001], *SIE 1065 Kraftmarkeder*, NTNU.