

Rapport
4/2003

Utnyttelse av vannkraftmagasiner

Finn R. Før Sund
Rolf Golombek
Michael Hoel
Sverre A.C. Kittelsen



Stiftelsen Frichsenteret for samfunnsøkonomisk forskning
Ragnar Frisch Centre for Economic Research

Utnyttelse av vannkraftmagasiner

Finn R. Førsvund
Rolf Golombek
Michael Hoel
Sverre Kittelsen

Sammendrag: Et viktig samfunnsøkonomisk spørsmål er om produsentenes disponering av vannmagasinene, gitt usikkerheten i tilsiget, er i samsvar med en samfunnsøkonomisk optimal disponering av vannmagasinene. Vi argumenterer for at i en desentralisert markedsøkonomi vil utnyttelsen av vannmagasinene være samfunnsøkonomisk optimal.

Utnyttelsen av vannmagasinene vil ikke være samfunnsøkonomisk optimal når produsentene har markedsrett, og det ikke hersker usikkerhet om fremtidig tilsig. Vi argumenterer for at indikasjonene for utøvelse av markedsrett, som er utledet under full sikkerhet, neppe bør endres når usikkerhet om tilsiget innføres.

Nøkkelord: Vannkraft, usikkerhet, samfunnsøkonomisk effektivitet.

Kontakt: www.frisch.uio.no

Rapport fra prosjektet "Utnyttelse av vannkraftmagasiner" (internt prosjektnummer 3352), finansiert av Olje- og energidepartementet

ISBN 82-7988-042-9
ISSN 1501-9721

Utnyttelse av vannkraftmagasiner

Innhold:

Sammendrag

1 Innledning

2 Optimal utnyttelse av vannmagasiner

3 Markedslikevekt når alle aktører er pristagere

3.1 Tilstandsbetingede markeder

3.2 Produsenter

3.3 Konsumenter

3.4 Marked versus samfunnsøkonomisk optimum

4 Utvidelser av den enkle modellen

4.1 Mulighet for overflom av magasinene

4.2 Kapasitetsskranke på produksjonen i hver periode

4.3 Muligheter for eksport og import

4.4 Rasjonering som alternativ til høy pris i periode 2

4.5 Heterogene konsumenter

5 Markedsmakt

5.1 Innledning

5.2 Monopol

- Monopolistens tilpasning
- Monopol og begrenset magasinkapasitet

5.3 Usikkerhet

- Usikkerhet og samfunnsøkonomisk tilpasning ved risikonøytralitet
- Usikkerhet og monopol under risikonøytralitet
- Usikkerhet, monopol og risikoaversjon
- Sammenlikning samfunnsløsning og monopolløsning under usikkerhet og risikonøytralitet
- Investeringer og markedsmakt

5.4 Mulighet for import/eksport av elektrisitet

5.4.1 Samfunnsøkonomisk tilpasning

- Ingen beskrankninger
- Begrenset overføringskapasitet til utlandet
- Begrenset magasinkapasitet

5.4.2 Monopol og handel

- Monopolisten kontrollerer handelen
- Monopolisten har ikke kontroll over handelen
- Monopol når det er skranker på handelen

5.5 Optimal bruk av vann- og varmekraft i et integrert Nord Pool – område

- Det samfunnsøkonomiske optimeringsproblemet
- Monopol for hele Nord pool – området
- Monopol og frikonkurranssefløy

Referanser

Sammendrag

Den norske kraftforsyningen er nesten hundre prosent basert på vannkraft. Det aller meste av kraftproduksjonen skjer i kraftverk hvor vannforsyningen kommer fra vannkraftmagasiner. Et viktig økonomisk problemstilling er hvordan vannkraftmagasinene tappes gjennom året. Det normale er at fra tidlig i mai til tidlig i oktober er bruken av vann mindre enn tilsiget, mens tilsiget er mindre enn bruken fra oktober og til tidlig i mai året etter. Tilsiget varierer med nedbøren og er derfor usikkert. Kraftprodusentenes beslutninger om disponering av magasinene skjer derfor under usikkerhet. Et viktig samfunnsøkonomisk spørsmål er om produsentens disponering av vannmagasinene gitt denne usikkerheten er i samsvar med en samfunnsøkonomisk optimal disponering av vannmagasinene. Dette notatet gir en drøfting av denne problemstillingen.

I første del av notatet drøftes hvordan vannkraftmagasiner bør utnyttes på kort sikt når nedbørsmengden er usikker. Vi drøfter også tilpasningen i en markedsøkonomi når produsentene er pristakere, samt sammenlikner markedslikevekten med det samfunnsøkonomisk optimale.

Det er hensiktsmessig å skille mellom delene av året hvor vannmagasinene fylles opp, og hvor de tappes ned. For å illustrere dette benytter vi en modell der året er inndelt i to perioder, som vi kan tenke oss består av månedene mai-september (periode 1) og oktober–april (periode 2). I starten av periode 1 er total nedbør det kommende året til hvert magasin ukjent. Imidlertid antar vi at total nedbørsmengde er kjent når periode 2 starter (i virkeligheten er det usikkerhet også etter oktober, men den er liten i forhold til usikkerheten tidligere). Våre viktigste resultater er som følger:

1. *Samfunnsøkonomisk optimalitet.* Samfunnsøkonomisk riktig bruk av vannkraftressursene krever at forventet marginalnytte av elektrisk kraft er den samme i begge periodene, se kapittel 2.

2. *Risikonøytrale kraftprodusenter.* Med risikonøytrale kraftprodusenter er markedslikevekten kjennetegnet ved at den sikre kraftprisen i periode 1 er lik forventet kraftpris i periode 2. Brudd på denne betingelsen ville innebære at kraftproduksjonen blir størst mulig i den perioden som har den høyeste (forventede) prisen. En slik produksjonsprofil er imidlertid ikke forenlig med markedslikevekt når etterspørselssiden trekkes inn, se kapittel 3.2.
3. *Noen få risikoaverse kraftprodusenter.* Også med noen få risikoaverse kraftprodusenter (de øvrige produsentene er risikonøytrale) er markedslikevekten kjennetegnet ved at (den sikre) kraftprisen i periode 1 er lik forventet kraftpris i periode 2. Da vil de risikoaverse produsentene tappe magasinene så mye som mulig i periode 1, mens de risikonøytrale vil tilpasse sin produksjon slik at markedslikevekten blir uendret.
4. *Risikoaversjon og fravær av terminmarked for kraft.* Hvis mange eller alle kraftprodusentene har risikoaversjon, og det ikke fins terminmarked for kraft, kan markedslikevekten være kjennetegnet av at forventet kraftpris i periode 2 er høyere enn kraftprisen i periode 1. Risikoaverse produsenter vil da fordele sin produksjon mellom de to periodene, mens risikonøytrale produsenter sparer alt vannet sitt til periode 2.
5. *Risikoaversjon og terminmarked for kraft.* Konklusjonen i punkt 4 er kritisk avhengig av at det ikke fins et terminmarked for kraft. Med terminmarked for kraft vil risikonøytrale aktører sørge for at terminprisen for periode 2 blir lik forventet spotpris i periode 2. Hvis hypotetisk forventet spotpris i periode 2 er høyere enn kraftprisen i periode 1 (jf. punkt 4), blir nå terminprisen for periode 2 høyere enn kraftprisen i periode 1. Da vil ikke risikoaverse produsenter ønske å produsere kraft i periode 1; det er gunstigere å spare vannet og selge kraft på terminkontrakt. Dette vil drive spotprisen i periode 1 opp og terminprisen for periode 2 ned, slik at i likevekt vil spotprisen i periode 1 være lik forventet kraftpris i periode 2, som igjen er lik terminprisen for periode 2, se kapittel 3.2.

6. *Markedsøkonomiens effektivitetsegenskaper.* Vil en desentralisert markedsøkonomi frembringe den samfunnsøkonomisk optimale utnyttelsen av vannmagasinene? Det er velkjent fra generell økonomisk teori at svaret er *ja* hvis det fins et fullt sett av markeder for såkalte tilstandsbetingede goder. I praksis vil imidlertid ikke alle disse markedene eksistere. Svaret på spørsmålet over er da generelt ikke opplagt. Innenfor vår modell er svaret på spørsmålet knyttet til hvorvidt marginal nytte av elektrisitet avhenger av konsumet av andre varer. Hvis marginal nytte av elektrisitet er uavhengig av konsumet av andre varer, vil markedsøkonomien frembringe den samfunnsøkonomisk optimale utnyttelsen av vannmagasinene, se kapittel 3.4.

Anta imidlertid at marginal nytte av elektrisitet er høyere (lavere) jo mer som konsumeres av andre varer. Da vil landet ønske å tegne en (aktuarmessig rettfærdig) forsikringskontrakt som er slik at annet konsum er høyere (lavere) jo større nedbørmengden er (dvs. jo større elektrisitetskonsumet er). I dette tilfellet er det ikke opplagt at markedsøkonomien - uten den ønskede forsikringskontrakten - vil frembringe den samfunnsøkonomisk optimale utnyttelsen av vannmagasinene. Vi argumenterer imidlertid for at markedsøkonomien også i dette tilfellet vil frembringe den samfunnsøkonomisk optimale utnyttelsen av vannmagasinene (siste del av kapittel 3.4).

7. *Robusthet.* Konklusjonen om markedsøkonomiens effektivitetsegenskap hviler på en rekke forutsetninger. Vi viser imidlertid at konklusjonen ikke endres dersom det er mulighet for overflom i magasinene (kapittel 4.1). Konklusjonen endres heller ikke dersom det er kapasitetsskranker i kraftproduksjonen (kapittel 4.2). Heller ikke innføring av internasjonal handel med kraft endrer konklusjonen (kapittel 4.3). Her er det imidlertid et forbehold: Hvis prisene på eksport og import avhenger av handelsvolumet, mens hver produsent opptrer som om prisene er gitte, vil en markedsøkonomi ikke gi det samfunnsøkonomisk optimale resultatet for Norge. Dette er imidlertid en velkjent egenskap til åpne økonomier, og har ingenting å gjøre med særtrekk ved kraftmarkedet.

Vi har også studert tilfellet der kraftprodusentene tror at det er en mulighet for at myndighetene innfører maksimalpris og rasjonering av strøm (i periode 2) dersom det blir tilstrekkelig lite nedbør. Da vil nedtappingen av vannmagasinene (i periode 1) blir større enn det samfunnsøkonomisk optimale, se kapittel 4.4.

8. *Heterogene konsumenter.* I resonnementene ovenfor har vi sett bort fra fordelingsvirkninger, dvs. vi har antatt at kraftprodusentenes inntekter blir jevnt fordelt mellom konsumentene. Denne antakelsen vil ikke være oppfylt. Spesielt vil mange husholdningers nominelle inntekt være uavhengig av kraftprisen. For slike husholdninger vil høy kraftpris ikke bare gi lavt konsum av kraft, men også lavt konsum av andre goder. Disse husholdningene står derfor overfor usikkerhet mht. realinntekten. Merk at denne usikkerheten eksisterer selv om det for økonomien som helhet ikke er ønskelig å tegne en forsikringskontrakt som knytter konsumet av andre varer til realisert nedbørmengde (marginal nytte av kraft avhenger ikke av konsumet av andre varer, jf. punkt 6). Den usikre realinntekten trekker mot større nedtapping av vannmagasinene i periode 1 enn det samfunnsøkonomisk optimale.

Hvis en husholdning har risikoaversjon, vil den ønske å tegne en forsikring mot usikkerheten i realinntekten. En aktuarmessig rettferdig forsikringskontrakt vil innebære at husholdningen netto betaler til forsikringsselskapet hvis kraftprisen blir lav, og netto mottar penger fra forsikringsselskapet hvis kraftprisen blir høy. En slik forsikringsordning kan organiseres som kjøp av et avtalt kvantum til en fast pris. Avtalen angir også at hvis husholdningen kjøper mer enn det avtalte kvantumet, betaler husholdningen spotpris for alle enheter som overstiger dette kvantumet. (Motsatt hvis husholdningen kjøper mindre enn det avtalte kvantumet). Denne ordningen sikrer at husholdningen har korrekt prisinsentiv på marginen. Med utgangspunkt i et eksempel viser vi at husholdningen kan velge det avtalte kvantumet slik at all usikkerhet i utgifter elimineres, se kapittel 4.5.

I kapittel 5 studerer vi markedsløsningen når vannkraftproduksjonen kontrolleres av en monopolist. Her fokuserer vi på forskjeller mellom monopolløsningen og den samfunnsøkonomisk optimale løsningen. Vi studerer både tilfellet der nedbørsmengden er kjent, samt kommenterer hvordan konklusjonene eventuelt endres med stokastisk tilsig. De viktigste resultatene er som følger:

9. *Monopol uten usikkerhet.* I et rent vannkraftsystem med gode magasineringsmuligheter for vann, men uten internasjonal handel med kraft, vil en monopolist fordele nedbørsmengden, og dermed kraftproduksjonen, slik at grenseinntekten er den samme i de to periodene. Dette innebærer at prisen blir høyest i perioden med mest prisufølsom (uelatisk) etterspørsel, noe som betinger at monopolisten reduserer produksjonen i denne perioden sammenliknet med det samfunnsøkonomisk optimale, se avsnitt 5.2. I et slikt system leder utøvelse av markedsmakt til at prisene varierer mellom perioder, både over døgnet og mellom sesonger. Likeledes kan spill av vann indikere utøvelse av markedsmakt.

10. *Monopol under usikkerhet.* I et rent vannkraftsystem med gode magasineringsmuligheter for vann, men uten internasjonal handel med kraft, vil en monopolist fordele nedbørsmengden, og dermed kraftproduksjonen, slik at grenseinntekten i periode 1 er lik forventet grenseinntekt i periode 2. Denne regelen innebærer at monopolisten bruker mindre vann (produserer mindre kraft) i periode 1 enn i tilfellet uten usikkerhet, se avsnitt 5.3

11. *Monopol med beskrankninger.* Vi har også studert monopolløsningen når (i) produsenten har begrenset magasinkapasitet, (ii) kraft kan handles internasjonalt til en gitt pris, (iii) overføringskapasiteten til utlandet er begrenset, og (iv) ulike kombinasjoner av tilfellene ovenfor, se avsnitt 5.4. Monopolløsningen er kritisk avhengig av hvilke skranker som er bindende. Imidlertid vil innføring av usikkerhet i hvert tilfelle enten ikke endre bruken av vann i de to periodene, eller så er endringen av en karakter som krever meget detaljert kunnskap om etterspørselsfunksjonene. I begge tilfellene er det vanskelig å se at indikasjonene på utøvelse av markedsmakt, som er utledet i tilfellene under full sikkerhet, bør endres når usikkerhet om tilsiget innføres.

12. *Vann- og varmekraft i Nord Pool området.* I et integrert Nord Pool område med både vann- og varmekraftanlegg kan utøvelse av markedsrett gi redusert samlet kraftproduksjon og redusert varmekraftproduksjon (sammenliknet med det samfunnsøkonomisk optimale). Videre kan markedsrett lede til reallokering av vannkraft fra perioder med uelastisk etterspørsel til perioder med elastisk etterspørsel, se kapittel 5.5.

1 Innledning

I dette notatet skal vi se på utnyttelsen av vannkraftmagasiner. Vi skal begrense oss til den kortsiktige problemstillingen hvor alle kapasiteter er gitt. Først skal vi se på den optimale utnyttelsen av vannkraftmagasiner over tid, deretter på hvordan vannkraftmagasinene vil bli utnyttet i en markedsøkonomi. For hele analysen gjør vi en rekke forenklinger, slik at vi kan fokusere på hovedproblemstillingen. De viktigste forenklingene er:

- Vi antar at alle drifts- og overføringskostnader er null
- Vi ser bare på et enkelt nedbørsår (med start tidlig i mai), og ser bort fra at disposisjoner i dette året har konsekvenser for året etter.
- Året deles inn i to perioder. I starten av periode 1 er total nedbør ukjent, men blir kjent før starten av periode 2.
- Vi ser bort fra neddiskontering fra periode 2 til 1, dvs. renten for tidsrommet mellom periodene settes til 0 (modifikasjon av dette er rett frem, men gir bare mer notasjon uten å gi noe nytt).
- Summen over de to periodene av konsumet i økonomien utenom elektrisitet er gitt.
- Vi ser i hovedsak bort fra annen usikkerhet enn den knyttet til samlet nedbørsmengde.
- Vi antar at alle aktører er rasjonelle i den forstand at de oppfører seg i overensstemmelse med standard økonomisk teori.
- Aktørene har rasjonelle forventninger. Den statistiske fordelingen av en endogen stokastisk variabel (el-prisen i periode 2) er dannet på grunnlag av modellen vi bruker og de statistiske fordelingene av de eksogene stokastiske variable (samlet nedbør/tilsig i hvert magasin).
- Når ikke annet sies eksplisitt, ser vi bort fra alle fordelingsvirkninger, dvs. vi betrakter økonomien som om den består av én konsument.
- Elektrisk kraft brukes bare av husholdninger (det vil føre til mer notasjon, men gi lite nytt, å inkludere næringslivets bruk).

- I avsnitt 2 ser vi på optimal utnyttelse av magasiner i det enklest mulige tilfellet. Avsnitt 3 ser på markedslikevekten når vi antar at alle aktører er pristagere. Avsnitt 4 tar for seg enkelte utvidelser av den enkleste modellen, men hvor det fortsatt antas at aktørene er pristagere. Avsnitt 5 ser på tilfellet der vi har aktører på produksjonssiden som er så store at de har markedsrett, dvs. at de tar hensyn til at deres beslutninger påvirker prisene.

Notasjon brukt i hele notatet:

x_t = bruk av elektrisk kraft, periode t ($t=1,2$)

z_{it} = produksjon av elektrisk kraft knyttet til magasin i , periode t ($t=1,2$)

Z_i = sum produksjon av elektrisk kraft knyttet til magasin i , bestemt av sum nedbør

y_t = annet konsum, periode t ($t=1,2$)

Y = sum annet konsum over de to periodene (eksogent gitt)

U_t = nyttefunksjon for konsument, periode t ($t=1,2$)

p_t = pris på elektrisk kraft i periode t ($t=1,2$); prisen på numeraire-godet y_t er 1

E = forventningsoperator

2 Optimal utnyttelse av vannkraftmagasiner

I tillegg til forutsetningene listet opp i innledningen antar vi i dette avsnittet:

- Magasinene er så store at overflom aldri er aktuelt.
- Ingen kapasitetsgrense på hvor mye som kan produseres i hver av de to periodene (dvs. eneste begrensning er på summen av produksjon over de to periodene, som er bestemt av nedbørsmengden).
- Ingen handel med utlandet.

Vi skal se kort på konsekvensene av å modifisere disse forutsetningene i avsnitt 4.

Vi tenker oss året delt inn i to perioder. Det er naturlig å tenke seg periode 1 som mai-oktober, og periode 2 som resten av året. I starten av periode 1 er nedbørsmengden knyttet til hvert magasin usikker. Vår formulering av problemet forutsetter at det ikke er noen usikkerhet når periode 2 starter. Hvis periode 2 starter i november, er dette ikke spesielt urimelig, da samlet mengde magasinspåfyll i løpet av periode 2 (dvs. omtrent perioden november - april) er noenlunde kjent. Dersom vi skulle modellert usikkerhet vedrørende vintertemperaturen (og dermed etterspørselen i vintermånedene), ville det derimot vært urimelig å anta at denne var kjent i starten av november. Denne usikkerheten vedvarer hele vinteren, og en grundig analyse av temperaturusikkerhet ville derfor kreve at periode 2 ble delt inn i en rekke delperioder. Lengden på hver av disse delperiodene burde i så fall ikke blitt valgt lengre enn det antall dager en typisk har et rimelig værvarsel for. Imidlertid vil det for de prinsipielle betraktningene i dette notatet gi lite nytt å inkludere usikkerhet vedrørende vintertemperatur. Vi begrenser oss derfor til usikkerhet vedrørende nedbør.

Optimeringsproblemet i starten av periode 1 er

$$\text{Max } U_1(x_1, y_1) + EU_2(x_2, y_2) \quad (1)$$

gitt at

$$x_t = \sum_i z_{ti} \quad t=1,2 \quad (2)$$

$$z_{1i} + z_{2i} = Z_i \quad \text{alle } i \quad (3)$$

$$y_1 + y_2 = Y \quad (4)$$

I starten av periode 1 besluttes alle z_{1i} , samt y_1 (og dermed y_2). På dette tidspunkt er alle Z_i usikre, dermed blir også x_2 usikker.

Førsteordensbetingelsene til optimaliseringsproblemet (1)-(4) er (med rett fremnotasjon)

$$U_{1x}(x_1, y_1) = EU_{2x}(x_2, y_2) \quad (5)$$

$$U_{1y}(x_1, y_1) = EU_{2y}(x_2, y_2) \quad (6)$$

I disse ligningene er x_2 en stokastisk variabel pga. nedbørsusikkerheten.

For vår problemstilling er (5) den viktigste ligningen. Den sier at i optimum er forventet marginalnytte av elektrisk kraft like stor i begge perioder. Dette gir en bestemt fordeling av samlet bruk av vannmagasinene i periode 1. Fordelingen av denne bruken på de enkelte magasinene sier imidlertid denne enkle modellen ingenting om.

Ligning (6) sier at forventet marginalnytte av annet konsum også skal være lik i de to periodene. Dersom den kryssderiverte $U_{2xy}=0$, vil en ikke "angre" på beslutningen om y_2 uansett hvilken nedbørsmengde som blir realisert, dvs. uansett hva forbruket av kraft blir i periode 2. Er derimot $U_{2xy} \neq 0$, vil fordelingen av Y på de to periodene en

valgte i starten av periode 2 bare unntakskvis være ex post optimal. Vi vil senere se at fortegnet på U_{2xy} spiller en rolle for sammenligningen av en markedsøkonomi med den optimale løsningen. Det er derfor nyttig å se hva fortegnet på denne størrelsen betyr.

Anta et øyeblikk at økonomien som helhet kan tegne en forsikring (hos andre land) som er slik at annet konsum i periode 2 (y_2) avhenger av realisert nedbørmengde, dvs. bruk av elektrisk kraft i periode 2 (x_2). Forsikringen antas å være aktuarmessig rettferdig (dvs. forsikringsselskapets forventede overskudd på denne forsikringen er null), slik at $y_1 + Ey_2 = Y$. Hvis $U_{2xy} > 0$, vil en ønske en forsikringsordning som er slik at annet konsum i periode 2 er høyere jo større nedbørmengden er (dvs. jo større elektrisitetkonsumet er). Motsatt hvis $U_{2xy} < 0$, da vil samfunnet ønske en forsikringsordning som gir lavere annet konsum i periode 2 jo større nedbørmengden (dvs. jo større elektrisitetkonsumet er). Det er ikke opplagt for oss hva slags forsikring samfunnet kunne ønske seg, det er derfor vanskelig å ha noen formening om hva fortegnet på U_{2xy} er. Siden vi ikke observerer noe forsøk på å skaffe oss en slik forsikringsordning, kan dette tyde på at $U_{2xy} = 0$ er en god approksimasjon. Vi bruker derfor denne approksimasjonen i det følgende.

3 Markedslikevekt når alle aktører er pristagere

3.1 Tilstandsbetingede markeder

Det er velkjent fra generell velferdsteori at når vi har et fullt sett av markeder, vil en frikonkurranselikevekt være Pareto-optimal. Betingelsen om et fullt sett av markeder betyr spesielt at når det er usikkerhet finnes det et marked for tilstandsbetingede goder. I vår enkle modell ville det bety at det finnes et marked for elektrisitet i periode 2 for hvert mulige utfall av de stokastiske variablene. Med slike markeder kan en person i periode 1 kjøpe et tilstandsbetinget gode av typen "kunden får 1 kWh i periode 2 dersom nedbørmengden i magasin X blir lik Y".

I praksis vil det aldri forekomme et fullt sett av markeder for slike tilstandsbetingede goder. I økonomisk teori er det vist hvordan en i noen tilfeller kan opprettholde markedsøkonomiens effektivitetsegenskap selv om det er et noe mer begrenset sett av slike markeder. Terminmarkeder for elektrisk kraft, som vi skal omtale nedenfor, er ett slikt marked. Ulike forsikringsmarkeder for husholdninger er også eksempler på markeder som bidrar til at en markedsøkonomi vil fungere tilsvarende tilfellet med et fullt sett av markeder for tilstandsbetingede goder. Vi skal nedenfor se på tilfellet hvor terminmarkeder eksisterer for elektrisk kraft, men i første omgang ser vi bort fra forsikringsmarkeder. I avsnitt 4.5 vil vi også kort omtale en spesiell type forsikringsmulighet for husholdninger.

3.2 Produsenter

Hver enkelt eier av et vannkraftmagasin står ovenfor to typer usikkerhet:

Usikkerhet om samlet nedbørmengde knyttet til eget magasin

Usikkerhet om fremtidig kraftpris (pris i periode 2, vi antar prisen i periode 1 er kjent når beslutning om produksjon i periode 1 treffes)

Det er en sammenheng mellom disse to typene usikkerhet, da det i hvert fall for de fleste magasiner er positiv korrelasjon mellom nedbør til eget magasin og nedbør til andre magasiner. Fremtidig pris vil bli lavere jo høyere samlet nedbør (for alle magasiner) er, dermed blir det for de fleste kraftprodusenter en negativ korrelasjon mellom fremtidig pris og nedbørmengde knyttet til eget magasin. Fremtidig pris avhenger imidlertid også av andre forhold enn samlet nedbør, spesielt avhenger den

av vintertemperaturene og dermed etterspørselen i det vi har kalt periode 2. Selv om det er negativ korrelasjon mellom fremtidig pris og nedbørsmengde knyttet til eget magasin, er ikke denne negative korrelasjonen nødvendigvis veldig sterk.

Anta først at alle produsenter er risikonøytrale, og se bort fra terminmarkeder. Når produsenten skal beslutte hvor mye som skal produseres i periode 1, er det avgjørende hvordan forventet pris i periode 2 er i forhold til faktisk pris i periode 1. En produsent som maksimerer forventet overskudd vil ha følgende enkle beslutningsregel:

$Ep_2 < p_1$: Produksjonen i periode 1 er så stor som mulig, dvs. alt tilgjengelig nedbør tappes i periode 1.

$Ep_2 > p_1$: Ingen produksjonen i periode 1, alt vann spares til periode 2.

$Ep_2 = p_1$: Produsenten er indifferent mht. hvor mye som produseres i periode 1 og hvor mye som produseres i periode 2. Alle fordelinger av produksjonen mellom de to periodene er derfor fra produsentsiden forenelig med markedsliekevt.

Det er rett frem å se at ingen av de to første tilfellene er forenelig med markedsliekevt når vi trekker inn etterspørselsiden (ved null eller svært lav produksjon i periode 2 vil prisen i denne perioden helt sikkert overstige prisen i periode 1; og ved null produksjon i periode 1 vil prisen i periode 1 overstige prisen i periode 2). Likevekten må derfor være karakterisert ved $Ep_2 = p_1$.

Anta nå at en eller flere produsenter har risikoaversjon. En slik produsent vil bare være villig til å spare på vann i periode 1 for å produsere i periode 2 dersom $Ep_2 > p_1$: Hvis $Ep_2 = p_1$ ville den risikoaverse produsenten foretrekke å produsere til sikker pris i periode 1 enn til usikker pris i periode 2. Dersom bare en liten andel av kraftprodusentene er risikoaverse, vil en markedsliekevt likevel være karakterisert ved $Ep_2 = p_1$. I så fall vil de produsentene som har risikoaversjon tappe magasinene så mye som mulig i periode 1. Magasindisponeringen til de risikonøytrale produsentene vil likevel sørge for at betingelsen $Ep_2 = p_1$ vil være oppfylt i likevekt.

Hvis mange eller alle kraftprodusenter har risikoaversjon, og vi foreløpig ser bort fra terminmarkeder, kan vi ha en likevekt hvor $Ep_2 > p_1$. De risikonøytrale produsentene vil i så fall ha null produksjon i periode 1, dvs. alt deres vann spares til periode 2. En risikoavers produsent k vil disponere sitt vann slik at følgende maksimeringsproblem løses:

$$\text{Max } EV_k(p_1 z_{1k} + p_2(Z_k - z_{1k})) \quad (7)$$

Hvor V_k er en stigende og strengt konkav funksjon. Dette gir følgende tilpasningsbetingelse:

$$\frac{E\{p_2 V_k'(p_1 z_{1k} + p_2(Z_k - z_{1k}))\}}{EV_k'(p_1 z_{1k} + p_2(Z_k - z_{1k}))} = p_1$$

eller¹

$$Ep_2 - p_1 = -\frac{\text{cov}\{p_2, V_k'(p_1 z_{1k} + p_2(Z_k - z_{1k}))\}}{EV_k'(p_1 z_{1k} + p_2(Z_k - z_{1k}))} \quad (8)$$

Vi antar at prisen i periode 2 er positivt korrelert med produsentens overskudd, slik at cov-uttrykket i (8) er negativ (siden $V_k'' < 0$). Høyresiden av (8) er derfor positiv. For en gitt størrelse (fra markedslikevekten) av $Ep_2 - p_1$, blir z_{1k} bestemt slik at høyresiden er lik denne differansen. (For en gitt fordeling av Z_k og p_2 er størrelsen på høyresiden av (8) bestemt av størrelsen z_{1k} . Det typiske vil være at høyresiden av (8) er større jo mindre z_{1k} er).

Så lenge vi ser bort fra terminmarkeder er det teoretisk mulig at en markedslikevekt er karakterisert ved $Ep_2 > p_1$, så sant det er mange nok risikoaverse kraftprodusenter. Når vi inkluderer terminmarkeder, virker imidlertid dette lite rimelig. Dersom vi kaller terminprisen i periode 2 for q_2 , vil risikonøytrale aktører (kraftprodusenter og/eller andre aktører) sørge for at denne terminprisen blir lik den forventede spotprisen i periode 2, dvs. $Ep_2 = q_2$. Men dersom $q_2 > p_1$ vil selv ikke risikoaverse kraftprodusenter

¹ Her bruker vi formelen $E(xy) = (Ex)(Ey) + \text{cov}(x,y)$.

ønske å produsere kraft i periode 1: De vil heller produsere så mye som mulig i periode 2, og selge alt² på terminkontrakt til prisen q_2 . Dette vil drive spotprisen i periode 1 opp og terminprisen ned, slik at likevekt oppnås når $q_2 = Ep_2 = p_1$.

Vi kan konkludere med at så sant det finnes noen tilstrekkelig store risikonøytrale aktører i markedet (som ikke trenger å være kraftprodusenter) vil en markedslikevekt være kjennetegnet ved $Ep_2 = p_1$. For å se om dette er i samsvar med det samfunnsøkonomisk optimale utfallet som vi utledet i avsnitt 2, må vi se på konsumentens side av økonomien.

3.3 Konsumenter

Den representative konsumenten i vår økonomi står overfor en budsjettbetingelse som kan beskrives ved følgende to ligninger:

$$p_1 x_1 + y_1 = R_1 - S \quad (9)$$

$$p_2 x_2 + y_2 = R_2 + S \quad (10)$$

I starten av periode 1 er prisen p_1 og inntekten R_1 kjent, mens prisen p_2 og inntekten R_2 er usikker (R_2 vil avhenge av overskuddet hos kraftprodusentene). I begynnelsen av periode 1 må konsumenten bestemme konsumet av de to godene i periode 1, dvs. x_1 og y_1 . Dermed følger også sparingen i periode 1, S . I begynnelsen av periode 2 er prisen p_2 og inntekten R_2 kjent, og konsumet av de to godene i periode 2, x_2 og y_2 , blir bestemt.

Konsumentens optimaliseringsproblem består av maksimeringsproblemet (1) gitt (9) og (10). Løsningen på dette problemet er at i starten av periode 1 blir x_1 og y_1 , og dermed også S , fastsatt slik at betingelsen (6) samt

$$\frac{U_{1x}(x_1, y_1)}{U_{1y}(x_1, y_1)} = p_1 \quad (11)$$

² Selv om de produserer minimalt (i vår modell null) i periode 1, vet de pga. den usikre nedbørmengden ikke hvor mye de kan produsere i periode 2. Det er derfor ikke opplagt hvor mye de vil selge på terminmarkedet, men de vil i hvert fall selge så mye som den lavest mulige periode 2 produksjonen (svarende til den lavest mulige nedbørmengden).

blir oppfylt. I starten av periode 2 blir x_2 og y_2 fastsatt slik at

$$\frac{U_{2x}(x_2, y_2)}{U_{2y}(x_2, y_2)} = p_2 \quad (12)$$

Disse tilpasningsbetingelsene vil, sammen med betingelsen $Ep_2=p_1$ fra produsentsiden og økosirken (4), gi en bestemt løsning for x_1 , y_1 og y_2 , mens x_2 også vil avhenge av realisert magasinifylling.

3.4 Marked versus samfunnsøkonomisk optimum

Vi skal nå se hvorvidt markedsløsningen sammenfaller med optimumsløsningen vi utledet i avsnitt 2. Fra (12) har vi (med litt forenklet notasjon)

$$EU_{2x} = E(p_2 U_{2y}) = (Ep_2)(EU_{2y}) + \text{cov}\{p_2, U_{2y}\} \quad (13)$$

Kombinerer vi dette med (6) samt $Ep_2=p_1$ får vi

$$EU_{2x} = p_1 U_{1y} + \text{cov}\{p_2, U_{2y}\} \quad (14)$$

som sammen med (11) gir

$$EU_{2x} = U_{1x} + \text{cov}\{p_2, U_{2y}(x_2, y_2)\} \quad (15)$$

I cov-leddet i (15) er y_2 bestemt fra beslutningene som blir truffet i periode 1 samt likevektsbetingelsen (4), og er derfor ukorrelert med utfallet for p_2 . Hvis $U_{2xy}=0$, som vi argumenterte for i slutten av avsnitt 2, er derfor dette cov-leddet lik null. I så fall ser vi at betingelsen (5) for en samfunnsøkonomisk optimal utnyttelse av vannmagasinene blir oppfylt i en markedsøkonomi.

Vi avslutter dette avsnittet med å se kort på tilfellet hvor cov-leddet over er forskjellig fra null. Anta at $U_{2xy}>0$, dvs. at marginal nytte av elektrisitet er større jo mer som

konsumeres av andre varer³. Da vil U_{2xy} være lavere jo høyere kraftprisen er i periode 2 (siden høy pris gir lavt forbruk), dvs. cov-leddet i (15) er negativt. I så fall følger det fra (15) at vi får $U_{1x} > EU_{2x}$ i stedet for likhet, som er det samfunnsøkonomisk optimale (jfr. (5)). Vi får derfor tilsynelatende en for høy verdi av x_1 i forhold til hva som er samfunnsøkonomisk optimalt, dvs. mindre nedtapping av vannmagasinene i periode 1 enn det samfunnsøkonomisk optimale.

Konklusjonen over er imidlertid basert på at produsentene er risikonøytrale, jfr. resonnementet som ledet til (15). Men hvis cov-leddet i (15) er negativt vil husholdningene, som er eiere av kraftselskapene, ikke ønske at eierne er risikonøytrale. Som eiere vil de nemlig verdsette all inntekt, inklusiv overskudd fra kraftprodusentene, høyere når kraftprisen er lav enn når den er høy. De vil dermed ønske at kraftprodusentene opptrer som risikoarverse aktører, som leder til (8) hvor høyresiden er positiv. Kaller vi høyresiden i (8) for H og gjennomfører resonnementet som ledet frem til (15) med denne betingelsen i stedet for $Ep_2 = p_1$, får vi i stedet for (15)

$$EU_{2x} = U_{1x} + HU_{1y} + \text{cov}\{p_2, U_{2y}(x_2, y_2)\} \quad (15')$$

Det er rimelig å anta at innenfor en modell av den typen vi studerer vil produsentene på en korrekt måte ta hensyn til eiernes preferanser (som avspeiles av den positive størrelsen H). Da vil summen av de to siste leddene på høyre side av (15') være null, slik at vi får samfunnsøkonomisk optimalitet gitt ved (5).

Vi kan derfor konkludere at for den enkle modellen vi har sett på, vil en markedsøkonomi gi en samfunnsøkonomisk optimal utnyttelse av vannmagasinene, uansett fortegnet på U_{2xy} . I det følgende vil vi holde oss til tilfellet hvor $U_{2xy} = 0$ og hvor produsentene er risikonøytrale, da vi mener at dette vil være det rimeligste i en virkelig verden hvor mulighetene for risikodiversifisering er større enn i vår enkle modell. I avsnitt 4.4 vil vi likevel komme tilbake til tilfellet hvor $U_{2xy} \neq 0$.

³ Tilfellet med $U_{2xy} < 0$ blir tilsvarende, men med motsatt fortegn i resonnementene.

4 Utvidelser av den enkle modellen

Vår modell er svært enkel i mange henseende. Spesielt kan en argumentere for at tilbudssiden er svært enkelt modellert, da vi har sett bort fra viktige momenter som for eksempel mulighet for overflom av magasinene, samt kapasitetsskranker på kraftproduksjon i hver periode. Vi skal i dette avsnittet se på muligheten for overflom, og vise at dette ikke endrer på konklusjonen i slutten av avsnitt 3.3. Vi skal også kort omtale betydningen av å innføre kapasitetsskranker og/eller mulighet for import/eksport av kraft. Endelig vil vi se på andre modifikasjoner av modellen som kan ha betydning for egenskapene til en markedsøkonomi.

4.1 Mulighet for overflom av magasinene⁴

Modellen i avsnitt 2 har den egenskapen at uansett hvor mye nedbør som kommer, vil den komme til nytte som produsert kraft i periode 2. I virkeligheten er det en mulighet for overflom: Med tilstrekkelig mye nedbør vil ytterligere nedbør bare føre til overflom, og ikke økt kraftproduksjon. Men hvor mye nedbør som på denne måten går til spille, avhenger av hvor mye en tapper magasinene tidlig i kraftåret. Dette kan innebære at den optimale magasintappingen er noe mer komplisert enn beskrevet ved (5).

La oss modifisere modellen i avsnitt 2 ved at (3) erstattes med

$$z_{2i} = \text{Min}\{Z_i - z_{1i}, M_i\} \quad \text{alle } i \quad (16)$$

hvor M_i er maksimal magasinifylling, og dermed maksimal mulig kraftproduksjon i periode 2. Når (3) erstattes med (16) er det ikke lengre sikkert av kraftproduksjon i periode 1 går på bekostning av produksjon i periode 2, da det er magasin kapasiteten som vil bestemme produksjonen i periode 2 ved tilstrekkelig mye nedbør.

Når (3) erstattes med (16) vil optimumsbetingelsen (5) bli erstattet med

⁴ Dette er også drøftet i avsnitt 5.4

$$U_{1x}(x_1, y_1) = E \left\{ U_{2x}(x_2, y_2) \left[-\frac{\partial z_{2i}}{\partial z_{1i}} \right] \right\} \quad \text{alle } i \quad (17)$$

Høyresiden av (17) er en sum av en rekke ledd, ett for hvert mulige utfall av nedbørmengden. Hvert ledd består av en sannsynlighet multiplisert med klammeparentesen i (17) for det relevante utfallet. Hakeparentesen i hvert av disse leddene vil avhenge av hvilket utfall vi ser på. I ledd svarende til lave nedbørmengder (dvs. for $z_{2i} = Z_i - z_{1i}$) vil hakeparentesen være lik 1, mens den vil være 0 for leddene svarende til store nedbørmengder (dvs. for $z_{2i} = M_i$). Hvis mange kraftprodusenter har så store magasiner at overflom ikke er aktuelt for disse uansett deres valg av produksjon i periode 1, vil tilpasningsbetingelsen (5) likevel gjelde. Da vil nemlig hakeparentesen være lik 1 for disse uansett nedbørmengde og uansett kraftproduksjon i periode 1. For magasinene som er så små at overflom er mulig hvis magasinene ikke tappes nok ned i periode 1, vil produksjonen i periode 1 bli satt så høyt at overflom likevel ikke vil forekomme (jfr. (16)). Da blir z_{1i} satt så høyt at uansett hvor stor Z_i blir, vil $Z_i - z_{1i} < M_i$.

Det mer interessante tilfellet er når overflom er mulig i likevekt i noen av magasinene. Da vil (17) gi en helt bestemt magasinertapping for hvert magasin i periode 1, slik at høyresiden blir lik for alle i som har positiv produksjon i periode 1⁵. I en slik likevekt vil høyresiden av (17) være mindre enn EU_{2x} da det i forventningsuttrykket i (17) nå vil inngå nuller i leddene som representerer store nedbørmengder, i stedet for positive tall knyttet til de tilsvarende leddene for EU_{2x} . Likevekten er altså kjennetegnet ved $U_{1x} < EU_{2x}$, vi får derfor mer nedtapping av magasinene i periode 1 i dette tilfellet enn i tilfellet uten mulighet for overflom.

La oss nå se på hvordan produsentene vil tilpasse seg i en markedsøkonomi. Vi begrenser oss til å se på risikonøytrale produsenter. En risikonøytral produsent vil tilpasse seg slik at $p_1 z_{1i} + E(p_2 z_{2i})$ blir maksimert, gitt (16).

⁵ For magasiner som er så store at hakeparentesene i (17) uansett er lik 1, vil den optimale løsningen være karakterisert ved at vi har null produksjon i periode 1 og "<" i stedet for "=" i (17). Vi omtaler ikke denne modifikasjonen i vår videre drøfting, da den ikke spiller noen rolle for konklusjonene.

Optimumsbetingelsen er

$$p_1 = E \left\{ p_2 \left[-\frac{\partial z_{2i}}{\partial z_{1i}} \right] \right\} \quad \text{alle } i \quad (18)$$

Dette er helt likt med betingelsen for samfunnsøkonomisk optimalitet (17), bortsett fra at vi nå har p_t der det i (17) sto U_{ix} . Fra resonnetet etter (17) følger det spesielt at dersom det i likevekt er en mulighet for å få overflom i noen av magasinene, er likevekten kjennetegnet ved $Ep_2 > p_1$. Som før vil risikonøytrale aktører sørge for at terminprisen i periode 2 blir lik forventet spotpris i periode 2. Muligheten for overflom i noen magasiner vil derfor typisk innebære at terminprisen i periode 2 vil være høyere enn spotprisen i periode 1.

Markedsøkonomien vil fortsatt gi en samfunnsøkonomisk optimal bruk av vannmagasinene. Vi viser dette for tilfellet hvor $U_{2xy} = 0$. Da er U_{2y} uavhengig av x_2 , dvs. ikke-stokastisk, slik at betingelsen (6) blir $U_{1y} = U_{2y}$. Da følger det fra konsumentens tilpasningsbetingelser (11) og (12) at

$$p_t = \frac{U_{ix}}{U_{1y}} \quad t=1,2 \quad (19)$$

Setter vi dette inn i (18) og multipliserer med U_{1y} får vi (17). Så lenge $U_{2xy} = 0$ vil altså en markedsøkonomi gi den samfunnsmessig optimale utnyttelsen av vannmagasiner.

4.2 Kapasitetsskranke på produksjonen i hver av periodene

Hvis det er bindende kapasitetsskranker på kraftproduksjonen i en eller begge perioder, vil den optimale disponeringen av vannmagasiner bli en annen enn den gitt ved den tilpasningsbetingelsen (5). Imidlertid vil ikke egenskapen til en markedsøkonomi i forhold til det samfunnsøkonomisk optimale bli påvirket. Ved å bruke samme type analyse som i forrige avsnitt, kan vi vise at optimumsbetingelsene til risikonøytrale produsenter vil være den samme som for samfunnet, bortsett fra at U_{ix} og U_{2x} blir erstattet med henholdsvis p_1 og p_2 . Når vi så setter betingelsen (19) fra

konsumentens side inn i tilpasningsbetingelsene til produsentene, får vi betingelsen for samfunnsøkonomisk optimalitet.

4.3 Muligheter for eksport og import⁶

Resonnementet i avsnittet over er gyldig også om vi innfører muligheten for eksport og import av kraft. Her er det ett forbehold: Hvis prisene på eksport/import avhenger av handelsvolum, mens hver produsent opptrer som om prisene er eksogent gitt, vil en markedsøkonomi ikke gi det samfunnsøkonomisk optimale resultat. Dette er imidlertid en velkjent egenskap til åpne økonomier, og har ingenting å gjøre med særtrekk ved kraftmarkedet. Vi omtaler derfor ikke dette mer i det følgende.

Hvis prisene på eksport/import var eksogene for Norge, og det ikke var noen kapasitetsskranke på handelen med utlandet, ville konsumentens side bli helt separert fra produsentens side. Den optimale disponeringen av vannmagasiner ville da bare vært et spørsmål om å gjøre inntekten til Norge så stor som mulig, men ville ikke påvirke kraftprisene konsumentene sto overfor. For det realistiske tilfellet hvor prisene på eksport/import avhenger av hvor mye Norge produserer og bruker, samt at det eksisterer kapasitetsskranke på handelen, vil situasjonen bli mer lik den vi har drøftet over: Disponeringen av vannmagasinene vil ha betydning for prisene konsumentene vil stå overfor i de to periodene.

4.4 Rasjonering som alternativ til høy pris i periode 2

Anta nå at kraftprodusentene tror – korrekt eller feilaktig – at dersom det blir tilstrekkelig lite nedbør, er det en positiv sannsynlighet for at myndighetene vil innføre maksimalpris og rasjonering av strøm i periode 2. Dette betyr at produsentene antar at for de høyeste utfallene av U_{2x} er det en viss mulighet for at (19) for $t=2$ blir erstattet av $p_2 < U_{2x}/U_{1y}$. Dermed blir $Ep_2 < EU_{2x}/U_{1y}$, som sammen med betingelsen $p_1 = Ep_2$ gir⁷

$$U_{1x}(x_1, y_1) < EU_{2x}(x_2, y_2) \quad (20)$$

⁶ En mer utførlig drøfting av dette tilfellet er gitt i avsnitt 5.4

⁷ Vi ser her på det enkle tilfellet analysert i avsnitt 3. Vi ville fått samme konklusjon om vi f.eks. hadde sett på tilfellet analysert i avsnitt 4.1.

Sammenligner vi dette med (5) ser vi at vi nå får større nedtapping av vannmagasinene i periode 1 enn hva som er samfunnsøkonomisk optimalt. Tolkningen av dette resultatet er rett frem: Ved ”trussel” om en maksimalpris er det en viss mulighet for at produsentene ikke vil nyte godt av konsumentenes betalingsvilje for kraft i periode 2. Dette vil vri tilpasningen i retning av større kraftproduksjon i periode 1, der kraftprisen helt sikkert er lik konsumentenes marginale betalingsvilje.

4.5 Heterogene konsumenter

Til nå har vi antatt at vi kan studere økonomien som om det bare er én konsument. Dette betyr at vi ser bort fra alle fordelingsvirkninger. I vår sammenheng er det spesielt viktig at vi har antatt at inntekten som opptjenes i kraftsektoren blir likt fordelt på alle konsumenter. I en situasjon med høy kraftpris og samtidig høye overskudd hos kraftprodusentene vil derfor konsumentene ikke bare få høy kraftpris, men også høy inntekt. I vår modell betyr dette at R_2 er høy når p_2 er høy. I virkeligheten vil kraftprodusentenes inntekter ikke bli jevnt fordelt blant konsumenter, da ulike husholdninger har ulik eierandel i kraftselskapene. Dette skyldes dels at det finnes mange privateide kraftselskaper, og dels at husholdningenes indirekte eierskap av kraftselskaper gjennom kommunaleide selskaper varierer med kommunen husholdningen bor i. Endelig er det trolig slik at inntekten fra et kraftselskap som er eid av en kommune eller staten ikke oppfattes som egen inntekt av innbyggerne på lik linje med annen personlig inntekt

For å rendyrke betydningen av heterogene konsumenter ser vi på en husholdning som ikke får noen del av kraftprodusentenes overskudd. I vår analyse kan vi modellere dette ved å anta at husholdningens nominelle inntekt i periode 2, dvs. R_2 , er uavhengig av prisen p_2 . For en slik husholdning vil et utfall med høy kraftpris ikke bare gi lavt konsum av kraft, men også lavt konsum av andre goder (når priselastisiteten for elektrisk kraft er mindre enn 1). I vår modell betyr dette at y_2 er lav når p_2 er høy. Cov-leddet i (15) blir derfor i dette tilfellet positivt selv om $U_{2xy}=0$. Dersom produsentene er risikonøytrale vil (15) implisere samme ulikhet som vi hadde i (20). Sammenlignet med (5) skulle dette altså tilsi at vi nå får større nedtapping av vannmagasinene i periode 1 enn hva som er samfunnsøkonomisk optimalt.

Resonnementet over er imidlertid ufullstendig. Dersom vi skal studere heterogene konsumenter, må vi også gjøre dette i utledningen av betingelsene for samfunnsøkonomisk optimum. Det faller utenfor rammen av dette notatet å utføre en slik analyse. Vi skal imidlertid si litt om hvordan en kan begrense husholdningenes usikkerhet vedrørende realinntekten når usikkerheten er forårsaket av at nominell inntekt (R_2) er gitt mens elektrisitetsprisen (p_2) er usikker.

Hvis husholdningen har risikoaversjon, vil den ønske å tegne en forsikring som forsikrer den mot usikkerhet i realinntekt. En aktuarmessig rettferdig forsikring av denne typen (dvs. forsikringsselskapets forventede overskudd på denne forsikringen er null) innebærer at husholdningen netto *betaler til* forsikringsselskapet hvis el-prisen i periode 2 blir lav, og netto *mottar penger fra* forsikringsselskapet hvis el-prisen i periode 2 er høy. En måte å organisere en slik forsikringsordning på er gjennom en avtale om fast pris og fast kvantum av kraft. Vi belyser dette med følgende eksempel, hvor vi for å holde eksempelet så enkelt som mulig ser bort fra offentlige avgifter samt påslag på spotprisen som husholdningene i virkeligheten betaler i en vanlig spotkontrakt. Anta det er to mulige kraftpriser i periode 2, hver med sannsynlighet 0,5. Prisene er 20 og 40 øre per kWh, slik at forventet pris er 30 øre per kWh. Anta at konsumenten bruker 12.000 kWh hvis prisen blir 20 øre per kWh og 9.000 hvis prisen blir 40 øre per kWh.⁸ Utgiftene til elektrisitet i periode 2 er kr. 2.400 hvis prisen blir 20 øre, og kr. 3.600 hvis prisen blir 40 øre. Forventet utgifter på el-forbruk i periode 2 er kr. 3.000⁹.

Anta nå at husholdningen kan kjøpe et selvvalgt kvantum kraft for periode 2 til prisen 30 øre per kWh. Anta i vårt talleksempel at konsumenten kjøper K kWh for periode 2. Dette koster konsumenten kr. $0,3K$. Bruk av kraft utover det avtalte kvantum betaler konsumenten spotpris for, og hvis konsumenten bruker mindre enn K kWh får konsumenten kompensert for dette i henhold til spotprisen. Da ser vi at konsumenten netto vil betale kr. $([0,3K+0,2(12.000-K)] = \text{kr. } [0,1K+2400]$ hvis el-prisen blir 20 øre, og kr. $[0,3K+0,4(9.000-K)] = [-0,1K+3600]$ hvis el-prisen blir 40 øre. Forventet utgifter på el-forbruk i periode 2 er kr. 3.000 som for tilfellet uten mulighet for

⁸ Som en forenkling antar vi at bruken av elektrisk kraft i periode 2 bare avhenger v kraftprisen.

⁹ Hvis husholdningen ville brukt mer enn 10.000 kWh ved en el-pris på 30 øre, er forventet utgift lavere under usikkerhet enn under sikkerhet, for same forventede el-pris. Konsumenten kan likevel foretrekke situasjonen uten usikkerhet dersom han har risikoaversjon.

fastpriskontrakt. Imidlertid kan husholdningen redusere usikkerheten i disse utgiftene gjennom valget av K . Spesielt kan husholdningen i vårt eksempel helt eliminere usikkerheten i utgifter til elektrisitet ved å velge $K=6000$. For det valget vil utgiftene til elektrisitet bli kr. 3000 enten el-prisen blir 20 øre eller 40 øre per kWh.

I praksis vil det ikke være mulig for husholdningene å eliminere all usikkerhet knyttet til utgifter til strøm bare ved hjelp av en fastpriskontrakt. I eksempelet var dette mulig fordi bruken av kraft var mindre jo høyere spot-prisen var. Men med usikkerhet også knyttet til vintertemperatur kan vi få situasjoner hvor spotprisen er høy samtidig som etterspørselen er høy. I en slik situasjon vil en fastpriskontrakt redusere usikkerheten knyttet til husholdningenes strømregning, men ikke eliminere all usikkerhet.

For å innføre fastpriskontrakter av denne typen trenger en ikke noe annet måleutstyr enn det en har i dag. Avregningen vil bli akkurat som ved en spotkontrakt: Her legger kraftleverandøren til grunn at hver husholdning mellom to avlesningstidspunkter har en forbruksprofil over tid som er lik summen av brukernes forbruksprofil (som kan måles). Ved en fastpriskontrakt som går over f.eks. et år, kan en ”omregne” det årlige kvantumet til en profil over året som summerer seg til det årlige kvantumet. Merk at det vil bli avvik mellom denne profilen og den profilen som beregnes med utgangspunkt i avlesningene som husholdningen vil bli avregnet etter.

I resonnementene over har forutsatt at alle aktører er pristagere. Fastpriskontrakter av typen over kan bli mer problematiske hvis noen av aktørene har markedsrett. Årsaken til dette ligger i at en fastpriskontrakt av typen over er identisk med en vanlig spot-kontrakt supplert med en aktuarmessig rettfærdig forsikring med hensyn til utfallet av prisene. Men en slik forsikring kan være problematisk hvis en aktør har mulighet til å påvirke prisene. Det er utenfor rammen av denne utredningen å gå nærmere inn på dette.

Vi vil avslutte med noen generelle betraktninger om usikkerheten i kraftforsyningen og hvordan den bør håndteres. Dersom det ikke er mulig for Norge å forsikre seg i utlandet, vil Norge samlet sett stå overfor usikkerhet pga. usikker nedbørmengde og usikker vintertemperatur. For Norge er de økonomisk sett dårligste utfallene knyttet til lite nedbør og lav vintertemperatur. Jo mindre nedbør, jo mindre er produksjonen av

elektrisk kraft; og jo lavere vintertemperaturen er jo mer kraft trengs for et gitt nivå av det vi verdsetter (innetemperatur). Denne usikkerheten må på en eller annen måte fordeles mellom husholdningene i Norge. Dersom noen husholdninger er risikonøytrale mens andre har risikoaversjon, er den optimale fordelingen at risikoen i sin helhet bæres av de risikonøytrale husholdningene.

Dersom alle husholdninger har risikoaversjon, bør risikoen fordeles mellom husholdningene. I så fall bør det spesielt være slik at når det er et dårlig økonomisk utfall for Norge (lite nedbør og/eller lav vintertemperatur), bør alle husholdninger få det dårligere enn i tilfellet med et godt utfall for Norge (mye nedbør og/eller høy vintertemperatur). Uten fastpriskontrakter eller lignende mekanismer vil dette ikke være tilfelle: Tvert imot vil husholdninger som er forholdsvis betydelige eiere av kraftselskaper komme *bedre* ut i de tilfellene Norge som helhet kommer dårlig ut enn i de tilfellene der Norge kommer godt ut¹⁰.

Diskusjonen ovenfor viser at uten fastpriskontrakter eller lignende forsikringsmekanismer får vi en tilleggsusikkerhet for de som ikke eier andeler i kraftselskapene: For et dårlig utfall for Norge får disse husholdningene ikke bare "sin del" av den samlede svekkede realinntekten, men de får også en svekket realinntekt som følge av at noen andre (dvs. eiere av kraftselskaper) får høyere realinntekt jo dårligere det økonomiske utfallet er for Norge.

Optimal fordeling av usikkerhet mellom husholdninger er et viktig element i en optimal ressursallokering. Et viktig (og vanskelig) spørsmål er om en kan vente at gode fordelingsmekanismer for usikkerhet vil komme i stand i et uregulert marked, eller om en mer aktiv offentlig politikk er nødvendig for å oppnå dette. Det ligger imidlertid utenfor rammen av denne utredningen å gå nærmere inn på dette spørsmålet.

¹⁰ Da priselastisiteten for elektrisk kraft er mindre enn 1 i tallverdi, vil samlet overskudd i kraftforsyningen være større jo mindre nedbør det er (og selvsagt også jo lavere vintertemperaturen er)

5 Markedsmakt

5.1 Innledning

Da Norge deregulerte det sentraliserte systemet for styring av vannkraftressursene både på kort og lang sikt i 1991, var det generell enighet om at produksjonskapasiteten både mht. effekt og energi var rikelig. Det var heller ikke noen påtakelige flaskehalser i transmisjonsnettene, med et mulig unntak nord-syd forbindelsen over Saltfjellet.

De nye former for desentraliserte markeder med ”spot”-marked for forsyning neste dag, ”forward” og ”futures”-markeder for fremtidsmarkeder og bilaterale avtaler, har virket til de flestes tilfredshet. Forbrukernes adgang til kostnadsfritt å skifte leverandør, og regulering av de lokale distribusjonsmonopoler, har ført til at forbrukerprisene har blitt ganske like over hele landet, og snittprisen har omtrent stått stille de siste 10 år før høsten/vinteren 2002/2003.

Få år etter en liknende deregulering i California i perioden 1996-1998 kom det til en alvorlig krise sommeren 2000 – våren 2001, som delvis satte reguleringsregimet ut av spill. Prisene på engrosmarkedet steg voldsomt, samtidig som prisene på detaljistsiden var låst fast og ikke knyttet til de løpende engrosprisene på spotmarkedet. Dette førte til konkurs av en av de tre store investoreide ”utilities” i California, før de andre ble reddet av en meget kostbar intervensjon i markedet av delstatsmyndighetene. Regningen for denne intervensjonen, som kommer i mange år fremover, er blant de spørsmål som har ført til beslutningen om folkeavstemning om guvernøren må gå eller ikke.

Det er interessant å observere at da California deregulerte var det en ganske liten reservekapasitet på produksjonssiden. De mange studier av krisen (se f.eks. Aune og Johnsen (2002), Borenstein et al. (2002), Joskow and Kahn (2002), Sweeney (2002)) peker på at importen i 2000 ble nesten halvert fra året før, tilsiget til vannreservoarene til vannkraftprodusentene gikk markert ned, og varmekraftkapasitet ble trukket ut av markedet (med nødvendig vedlikehold som eiernes forklaring). Prisene på energiråvarene naturgass, kull og olje steg også markert. Resultatet var over en 10-dobling av prisene i engrosmarkedet og en gigantisk

overføring fra kjøperne til selgerne av kraft. Omleggingen skjedde også på bekostning av distribusjonsselskapene med leveringsplikt, og også på bekostning av skattebetalerne (i alle fall på sikt). Erfaringene i Norge den siste vinteren har reist spørsmålet om vi risikerer californiske tilstander.

En mulig forklaring på prisøkningen i California er bruk av markedsrett (Borenstein et al., 2002). Dette kan spesielt stå bak nedgangen av import og tilbaketrekking av varmekraftkapasitet. Vannkraftprodusentenes mulige utnyttning av situasjonen er mindre kjent, eller ikke så enkel å gjennomskue (Bushnell (2003), Crampes and Moreaux (2001), Scott and Read, 1996). Det er derfor naturlig at spørsmålet om bruk av markedsrett også har kommet i fokus i den norske debatten. Formålet med dette kapitlet er å gi en innføring i hvordan markedsrett kan utnyttes i elektrisitetssystemet under forskjellige forutsetninger om sammensetningen av type produsenter mht. vann og varme, og skranker kraftprodusentene står overfor.

Det er (minst) tre områder å studere bruk av markedsrett på som kan være interessante. For det første har vi mikronivået, dvs. den enkelte aktør i kraftmarkedene. Slik som systemet er i Norge vil en produsent både delta på det bilaterale kontraktmarked og dagsmarkedet for kraft (Nord Pool). Videre vil aksjonene til de enkelte leverandører få konsekvenser for overføring av kraft til forbrukerne. Kapasiteten til transmisjonsnettene kan oppfattes som en endogen variabel, slik at en aktør som kjenner nettet godt og kjenner atferden til de andre aktørene godt nok, kan innrette sine leveranser slik at det oppstår flaskehals og dermed ta ut en høyere pris lokalt (Bushnell (1999), Hogan (1997), von der Fehr og Johnsen (2002)). For å se om det eksisterer strategiske tilpasninger på transmisjonsnettene må hver enkelt aktør følges over et tilstrekkelig antall flaskehalsepisoder.

For det andre har vi spotmarkedet. Ved deltakelse på dagsmarkedene til Nord Pool vil aktørene få rikelig anledning til å bli kjent med hverandre og å bli kjent med hvordan reaksjonene er under ulike ytre forhold. En slik situasjon sammenkoplet med en ganske uelastisk kortsiktig etterspørsel og ikke minst en felles kostnadsstruktur med null driftsavhengige kostnader, er en ønskesituasjon for stilltiende produsentsamarbeid i markedet. Om strategisk samarbeid foregår eller ikke krever

igjen observasjoner av de enkelte leverandører over tilstrekkelig lang tid. Er det en aktør som ser ut til å ha rollen som markedsleder?

For det tredje har vi markedsnivået. Man kan se på selve markedet aggregert og studere mulighetene for at markedet ikke fungerer effektivt i samfunnsøkonomisk forstand. En indikasjon på muligheten for å utøve markedsrett er å se på markedskonsentrasjonen. Konsentrasjonsindekser av typen Herfindahl's indeks har vært brukt av reguleringsmyndigheter i USA (se også Report from the Nordic competition authorities, 2003). Videre har det vært vanlig å se på forholdet mellom markedspris og marginalkostnader for produksjon av vedkommende vare. Når det gjelder markedsrett utøvet ved å spille på mulighetene for å skape lokale områdemonopoler, behøver ikke en slik produsent å være så stor. Da de variable (produksjonsavhengige) kostnader i vannkraftsektoren praktisk talt er null, vil en sammenlikning mellom markedspris og marginalkostnad ikke være relevant hvis vannkraft er dominerende. I Borenstein et al. (2002) utvikles det et mål som sammenlikner markedspris med hva prisen ville ha vært under tilnærmet frikonkurranse. Vi vil støtte utviklingen av en slikt mål. Vanskeligheten ligger i å utvikle en tilstrekkelig realistisk kontrafaktisk frikonkurransemodell som sammenlikningsgrunnlag. Hvis vi regner med usikkerhet vil det i tillegg være *forventede* priser under frikonkurranse som er det relevante sammenlikningsgrunnlaget.

Undersøkelse av eventuell bruk av markedsrett vil være spennende på de to første områdene som er skissert ovenfor. Men vi skal imidlertid i dette notatet begrense oss til et aggregert markedsnivå. Dette vil generelt innebære at samfunnsøkonomiske optimalitetsbetingelser må utarbeides som et sammenlikningsgrunnlag. Ingeniører og andre tekniske eksperter i elektrisitetsforsyningsbransjen har tradisjon for å sette opp til dels store fysiske modeller, og så simulere fram optimale løsninger (Wallace and Fleten, 2002). Her vil usikkerhet mht. tilsig og temperaturavhengig etterspørsel også være med, og simuleres ved å trekke et tilstrekkelig stort antall utfall for de stokastiske variable ut fra fordelinger etablert på historiske data. Antall mulige optimale løsninger kan være meget stort. Stokastisk dynamisk programmering er et verktøy som brukes (Fleten (2000), Fleten et al., 2002). Analytiske løsninger med realistiske forutsetninger om usikkerhet er imidlertid teknisk vanskelige og ikke

presentert i den litteraturen vi kjenner (men se Berg (1988) for en analyse av en produsents tilpasning ved bruk av stokastisk dynamisk kontrollteori og kontinuerlig tid, samt Johnsen (2001)).

Formålet med vår analyse er mer begrenset. Vi vil prøve å få fram mer prinsipielle forhold om manifesteringer av markedsrett ved bruk av ren analyse. Vi håper at den sterke forenkling vi da må gjøre mht. utforming av modellene likevel vil være av interesse. De resultater og regler vi utvikler torde ha sin mer allmenngyldige pedagogiske interesse. Selv med de kraftige forenklinger vi gjør, vil modellen kunne fortone seg som ganske kompliserte å få oversikt over. Antall mulige optimale løsninger er stort. Vi har derfor valgt å gå skrittvis fram fra det helt enkle til det mer realistiske.

Et forhold man bør være klar over i praksis ved bruk av hypotetiske samfunnsøkonomisk optimale priser som referanseramme, er at alle avvik ikke nødvendigvis skyldes utøvelse av markedsrett. Det er mulig at feiltilpasninger grunnet manglende innsikt eller oversikt kan gi seg målbare utslag. Det kan reises spørsmål om import/eksport mulighetene utnyttes effektivt nok. Produsenters bruk av egenprodusert kraft kan også være langt fra det som vil bedømmes som samfunnsøkonomisk optimal allokering av kraft, jmf. den energiintensive industriens bruk av egenprodusert kraft i forhold til hva den kunne tjene på å selge kraften i markedet.

Opplegget for kapitlet er å få fram den samfunnsøkonomisk optimale bruken av vannkraft under varierende forutsetninger. Vi formulerer regler for hvordan bruk av markedsrett kan manifestere seg, og for hvordan markedsrett kan måles. Vi vil kun se på elektrisk energi, og derfor holde oss til en partiell likevektsmodell hvor den samfunnsøkonomiske målfunksjon er summen av konsument- og produsentoverskuddene. Det forutsettes null variable produksjonskostnader i vannkraftproduksjonen. Kostnadsbegrepet er i sin helhet alternativkostnad: Vann brukt i dag kunne alternativt ha blitt brukt i morgen.

Vi vil i dette kapittelet bruke de samme forutsetninger som listet opp foran i notatet. Begrensningen til to perioder er rent pedagogisk, da utvidelse til flere perioder er rett fram (se Førstund, 1994). Vi ser både på maksimal fleksibilitet når det gjelder når vann kan brukes, og på muligheten for overflom. For enkelhets skyld forutsettes det at all nedbør til magasinene kommer ved starten av periode 1, og det sees bort fra flerårslagring. Vi opererer bare med ett vannkraftsystem, og forutsetter en entydig korrespondanse mellom lagret vann og elektrisk energi. Alle volumstørrelser vil derfor bli målt i kWh. Bruk av periodebegrepet maskerer skillet mellom effekt og energi. Men hvis et slikt skille ønskes, er dette relativt enkelt å ta hensyn til. Vi studerer bare driftsproblemet. En analyse av investeringer er en omfattende oppgave og må utstå til en annen anledning. Men vi vil likevel nedenfor peke på et fundamentalt resultat når det gjelder bruk av markedsmakt og investeringer. Generelt vil kapasiteter som representerer investeringer opptre som faste størrelser i modellene. Verdien av å øke kapasitetene vil da fremkomme som skyggepriser på disse gitte kapasiteter i driftsproblemene vi vil konsentrere oss om.

Når det gjelder markedsmakt vil vi stort sett bare se på en monopolist, men utvidelsen til andre markedsformer er forholdsvis grei, jf. avsnitt 5.5. Det avgjørende poenget er at grenseinntektsbegrepet bringes inn, dvs. produsenten tenker strategisk på hvordan markedsprisen vil bli påvirket av egne handlinger. Dette vil også være det sentrale ved analyse av oligopoler (Fleten and Lie, 2000). I avsnitt 5.2 ser vi først på monopoltilfellet med bare vannkraft, maksimal fleksibilitet mht. når vannet kan utnyttes og full sikkerhet. Reglene for optimal bruk av vann vil danne en referanseramme for mer realistiske situasjoner og for konsekvenser av bruk av markedsmakt. Muligheten for overflom trekkes også inn. Konsekvenser av usikkerhet drøftes og spørsmålet om det er større avstand mellom samfunnsløsningen og monopolløsningen med og uten usikkerhet analyseres. I avsnitt 5.4 utvides realismen ytterligere ved å åpne for eksport/ import av elektrisitet. Bruk av vannkraft og varmekraft samtidig, som i Nord Pool området, behandles i avsnitt 5.5.

5.2. Monopol

Monopolistens tilpasning

Vi vil se på en enkel toperiode - modell som beskrevet i kapittel 2 og 3, men først se bort fra usikkerhet for å få fram tydelig hvordan markedsrett kan gi seg utslag i vannkraftproduksjonen. Videre vil vi se på en partiell modell hvor elektrisitet er den eneste varen. Vi vil bruke etterspørselsfunksjoner på prisform med standard egenskaper:

$$p_t = p_t(x_t), p_t' < 0, t = 1, 2 \quad (21)$$

Monopolistens problem er:

$$\begin{aligned} & \text{Maks}_{x_t, z_t (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} p_t(x_t)x_t \right\} \\ & \text{under bibetingelsene} \\ & x_t = z_t (t = 1,2), \sum_{t=1,2} z_t \leq Z \end{aligned} \quad (22)$$

Variabelen Z er som i tidligere kapitler det totale tilsiget over de to periodene. Hvis tilsig betegnes med w_t og magasinifylling ved slutten av periode 1 for M_1 , har vi ”vannøkosirken”

$$z_1 = w_1 - M_1, z_2 = M_1 + w_2, Z = z_1 + z_2 = w_1 + w_2$$

Vi forutsetter at magasinet er tomt i starten av periode 1, at magasinet ikke flommer over i periode 1, og at alt vann brukes opp ved utgangen av periode 2.

Lagrangefunksjonen for problem (22) er:

$$L = \sum_{t=1,2} p_t(x_t)x_t - \sum_{t=1,2} v_t(x_t - z_t) - \lambda(\sum_{t=1,2} z_t - Z) \quad (23)$$

Nødvendige førsteordensbetingelser er¹¹:

$$\begin{aligned} p_t(x_t) + p_t'(x_t)x_t - v_t &\leq 0 \perp x_t \geq 0 \\ v_t - \lambda &\leq 0 \perp z_t \geq 0 \end{aligned} \quad (24)$$

¹¹ Bruken av symbolet \perp betyr at en førsteordensbetingelse $F(x) \leq 0 \perp x \geq 0$ leses som at $F(x) = 0$ for $x > 0$ og for $F(x) < 0$ så er $x = 0$.

Hvis vi først forutsetter at monopolisten vil produsere positive mengder energi i begge perioder, får vi betingelsen at *grenseinntektene* i begge perioder skal være like og lik skyggeprisen λ , på det totale vannlageret: $p_t(x_t)(1 + \tilde{e}_t) = \lambda$, (25)

hvor \tilde{e}_t er (den negative) etterspørselsfleksibiliteten (prosentvis endring i prisen når kvantum økes med 1 %). Merk at etterspørselstettheten (prosentvis endring i etterspørselen når prisen heves med 1%) er den inverse av etterspørselsfleksibiliteten. Etterspørselen kalles uelastisk når $|\tilde{e}_t| < 1$. For at monopolistens problem skal ha entydig løsning må vi forutsette at etterspørselsfleksibiliteten $|\tilde{e}_t| \leq 1$.

Hvis vi i kapittel 3 ser bort fra usikkerhet har vi at det er samfunnsøkonomisk optimalt å ha samme pris i begge perioder. Vi merker oss at for en monopolist vil det ikke lenger være optimalt med samme pris i begge perioder så sant etterspørselsfunksjonene er forskjellige.

Kravet om like grenseinntekter og lik skyggeprisen på vann betyr at prisen blir høyest i den perioden hvor etterspørselsfleksibiliteten blir minst (størst i tallverdi). Vi vil kalle perioden med mest uelastisk etterspørsel for vinter og perioden med minst uelastisk etterspørsel for sommer. Vi kan nå få *større* produksjon om sommeren og *mindre* produksjon om vinteren (sammenlignet med det samfunnsøkonomisk optimale). Dette kan kanskje virke paradoksalt ved første øyekast siden etterspørselen er størst om vinteren, men poenget er at monopolisten per forutsetning driver prisdiskriminering mellom periodene under bibetingelsen om den totale vanntilgangen. Det han taper om sommeren på å produsere mer enn i samfunnsløsningen (og frikonkurranseløsningen) og dermed få en lavere pris, tar han igjen ”med renter” i vinterperioden ved å begrense kvantum og å ta en høyere pris. Vi har grenseinntektbetingelsen

$$p_1(x_1)(1 + \tilde{e}_1) = p_2(x_2)(1 + \tilde{e}_2) \quad (26)$$

Hvis vi forsøker oss med den samfunnsøkonomiske løsningen med like marginale betalingsvilligheter eller priser, så ser vi av (26) at dette bare er mulig hvis $\bar{e}_1 = \bar{e}_2$, som spesielt er oppfylt hvis etterspørselsfunksjonene er identiske. En mindre uelastisk etterspørselskurve i periode 1 (sommer) enn i periode 2 (vinter) betyr at for de samfunnsøkonomiske riktige priser, så har vi $\bar{e}_1 > \bar{e}_2$ og dermed venstresiden større enn høyresiden i (26). For å oppnå likhet må vi bruke mer vann i periode 1. Da vil både p_1 og \bar{e}_1 avta (forutsatt at etterspørselsfunksjonen er konveks). Ved bruk av mindre vann i periode 2 vil både p_2 og \bar{e}_2 øke, slik at likheten kan opprettes med bruk av mer vann i periode 1 og mindre vann i periode 2. Vann allokeres fra perioder med mer uelastisk etterspørsel til perioder med mindre uelastisk etterspørsel.

I en monopolsituasjon er det også mulig å spille vann for å øke overskuddet. Skyggeprisen på vannlageret blir da null, slik at begge grenseinntekter skal settes til null i henhold til betingelsen om like grenseinntekter. Prisen *kan* da øke i forhold til den samfunnsøkonomiske løsningen også i perioden med mest fleksibel etterspørsel.

Monopol og begrenset magasinkapasitet

Under det nåværende reguleringsregimet varierer spotprisen i døgnet mellom timene i døgnet og over året, med lavere pris i sommerperioden enn vinterperioden. Overflom, eller trussel om overflom av magasinene, er et fenomen som kan gi forskjellige priser. Modellen utvides nå (i tråd med avsnitt 4.1, men nå uten usikkerhet) til å omfatte muligheten for at magasinene renner over. Det kan da være praktisk å innføres symboler for magasinfyllingen, tilsig og bruk av vann til kraftproduksjon. Vi regner fremdeles alle volumstørrelser i energienheter (kWh). Monopolistens optimeringsproblem blir:

$$\text{Maks}_{x_t, z_t (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} p_t(x_t) x_t \right\} \quad (27)$$

under bibetingelsene

$$x_t = z_t \quad (t=1,2), \quad M_t \leq M_{t-1} + w_t - z_t, \quad M_t \leq \bar{M}$$

Her står M_t for vannlageret i magasinene (M_0 er lageret gitt fra fortiden), \bar{M} er magasinkapasiteten og w_t tilsiget. For ikke å komplisere symbolbruken vil vi snakke

om å tømme vannlageret ved slutten av en periode selv om dette strengt tatt ikke dekkes formelt av modellformuleringen. Tilsigene og bruken av vann skjer i løpet av periodene. Lagrangefunksjonen for problem (27) er:

$$\begin{aligned}
 L = & \sum_{t=1,2} p_t(x_t)x_t \\
 & - \sum_{t=1,2} v_t(x_t - z_t) \\
 & - \sum_{t=1,2} \lambda_t(M_t - M_{t-1} - w_t + z_t) \\
 & - \sum_{t=1,2} \gamma_t(M_t - \bar{M})
 \end{aligned} \tag{28}$$

Tilpasningsbetingelsene blir:

$$\begin{aligned}
 p_t(x_t) + p_t'(x_t)x_t - v_t & \leq 0 \perp x_t \geq 0 \\
 v_t - \lambda_t & \leq 0 \perp z_t \geq 0 \\
 -\lambda_t + \lambda_{t+1} - \gamma_t & \leq 0 \perp M_t \geq 0
 \end{aligned} \tag{29}$$

Marginalinntekten settes lik skyggeprisen på forbruket. Disse skyggeprisene kan nå variere mellom periodene, men vil være like hvis magasinsranken ikke blir bindende. For monopolisten kan en begrenset magasineringsmulighet være et problem for hans generelle ønske om å gjøre marginalinntektene mellom periodene like. I en toperiodemodell vil det i den første perioden være aktuelt å få en bindende skatke for lagring av vann. I siste periode gjelder det jo å tømme alt vann så lenge marginalinntekten er positiv. Hvis monopolisten stanger mot lagringsbetingelsen betyr dette at han ikke klarer å sette marginalinntektene like. Dette kan innebære at den optimale løsningen for monopolisten blir *identisk* med samfunnsløsningen (Singh et al. (1999), p.53). Dette vil generelt være tilfelle hvis grenseinntekten for den siste enhet vann i magasinet i periode 2 er høyere enn grenseinntekten for vann i periode 1 ved maksimal lagring.

En annen mulighet er at det spilles vann i den første perioden fordi grenseinntekten blir null for en vannmengde som er mindre enn den tilgjengelige ved fullt magasin. Prisen i den første perioden blir da høyere enn marginal betalingsvillighet i samfunnsløsningen. Skyggeprisen på bruk av vann og dermed skyggeprisen på forbruket i periode 1 blir null. For at magasinsranken skal være bindende i periode 1 må marginalinntekten i periode 2 ved å bruke alt tilgjengelig vann være positiv.

Prisen i periode 2 blir da den samme som i samfunnsløsningen. Magasinkapasiteten kan ikke være begrensende hvis det spilles vann i begge perioder.

Vi kan formulere følgende indikasjoner for at markedsrett utøves i en ren vannkraftøkonomi:

Regel 1

- i) I en ren vannkraftøkonomi med gode magasineringsmuligheter for vann kan det være markedsrett som utøves hvis prisene varierer mellom perioder. Vi kan her tenke spesielt på variasjon over døgnet (lavere nattpris enn dagpris) og over året (lavere sommerpris enn vinterpris).*
- ii) Hvis det er spill av vann kan det være markedsrett som utøves.*
- iii) Et mål på bruk av markedsrett i begge situasjoner vil være relative prisforskjeller mellom periodene.*

I en situasjon med bergrensninger på lagringskapasitet kan det vises at det er samfunnsøkonomisk optimalt med forskjellige priser for periodene, se Førstund (1994). Det er ikke lett å finne allmenngyldige indikasjoner på bruk av markedsrett uten å kjenne samfunnsløsningen i detalj. Antydningvis vil vi foreslå følgende regel:

Regel 2

- i) I en situasjon med begrenset magasinkapasitet vil spill av vann ved fullt magasin i en eller flere perioder kunne skyldes at det utøves markedsrett.*
- ii) Hvis ikke magasinene fylles fullt opp i nedbørsrike perioder kan dette skyldes bruk av markedsrett.*

5.3 Usikkerhet

Et markert krav til effektiv utnytting av vann er at det i minst en periode må bli knapphet, dvs. vannet i magasinene må bli brukt opp. Dette er så å si aldri blitt observert (vi regner magasinutfyllinger netto etter at hensyn er tatt til konsesjonsvilkår om minimum vannmengde). Dette kan skyldes usikkerhet om tilsig og etterspørsel. Konsekvensene av å gå absolutt tom er så store at man holder seg med et visst minimum ved en sentral styring av systemet.

En formell modell med usikkerhet kan baseres på problem (22). I det generelle tilfellet vil etterspørselsfunksjonene utvides med stokastiske variable som argumenter som fanger opp etterspørselens temperaturavhengighet. En slik stokastisk skiftvariabel vil spille størst rolle i den kalde årstiden med mer uelastisk etterspørsel. I bibetingelsene er tilsig stokastiske variable. Vi har dermed stokastiske variable både i målfunksjonen og i skrankene. Vi vil ikke studere denne stokastiske dynamiske programmeringsmodellen nærmere rent formelt her, men se på en enklere variant med kun stokastisk tilsig.

I et samfunnsøkonomisk perspektiv kan det skilles mellom konsekvensen av usikkerhet på kort og lang sikt. Usikkerhet slår ut i en kortsiktig time for time manøvrering av produksjonskapasitet, som normalt dekkes ved avtaler om reservekapasitet hvis det trengs mer vann, og avtale om hvilke produsenter som skal redusere produksjonen ved lavere etterspørsel enn forventet. En slik daglig justering ("dispatch") fungerer innenfor den reguleringsmekanismen som er i bruk nå med et reguleringsmarked. I et mer langsiktig perspektiv betyr usikkerhet at disponering av kraft om sommeren må bygge på en forventning om hva tilsig og etterspørsel blir framover vinteren og mot "vårknipa".

Markedsaktørenes reaksjon på løpende spot-priser vil avhenge av deres forventninger om de mer langsiktige prisene. En god indikator vil være prisene på fremtidsmarkedene eller forward-prisene. En produsent med lagringskapasitet vil ikke selge på spotmarkedet i dag hvis han forventer en høyere pris senere. Ettersom begivenhetene utfolder seg fram mot den sesongmessige snøsmeltingen som representerer ca 70% av fyllingene, vil forventningene stadig justeres. Man kan da oppleve at hvis vannet blir knappere om vinteren enn forventet om sommeren, så vil

prisene stige mer om vinteren enn man forventet om sommeren. Mer vann enn ønskelig ble altså ex post brukt om sommeren. Dette er et fenomen som man ikke kan dekke seg mot i samfunnsøkonomisk forstand (uten utenrikshandel med elektrisitet). Det hjelper lite å kritisere ex post.

En monopolist står overfor samme type usikkerhet. Det generelle poenget om å reallokere bruken av vann fra perioder med uelastisk etterspørsel til perioder med elastisk etterspørsel er en strategi som også består under usikkerhet. Men usikkerhet bringer inn et nytt element i forhold til analysen i avsnitt 5.2. Selve tidsrekkefølgen av periodene kommer inn. Det er ikke bare snakk om formen på etterspørselskurven. For usikkerhetsbetraktninger vil bruk av vann mellom to naturlige sesonger i løpet av et år; (i) påfyllingsperioden vår, sommer og delvis høst, og (ii) den rene tappingsperioden resten av året, være et nytt strategisk innslag som ikke nødvendigvis faller sammen med de strategiske konsekvensene av forskjellig form på etterspørselsfunksjonen over delperioder som de to sesongperiodene består av.

Den strategiske betraktning med usikker nedbør vil gjelde hvor mye av ”sommervannet” som skal brukes om sommeren eller spares til vinteren. Skift i etterspørselen over de kortere delperioder som døgn, uke eller måned kan gi strategisk tilpasning som beskrevet i avsnitt 5.2 uavhengig av den sesongmessige usikkerheten om vanntilgang. Vi kan oppfatte analysene av usikkerhet i kapittel 2 og 3 som relevante for det store sesongbildet. Men innenfor hver sesong gjelder markedsmaktmulighetene som analysert i avsnitt 5.2.

Hvis det blir knappere vannsituasjon i vinterperioden enn forventet, kan monopolistens utnyttning av markedsmakt gi en markert prisoppgang i forhold til forventet om sommeren. Hvis det blir mer vann enn forventet, vil monopolisten finne det lønnsomt å tilpasse seg på en mer elastisk del av etterspørselskurven.

Når det gjelder usikkerhet vil det å gå tom være en spesiell begivenhet for en monopolist. Den umiddelbare konsekvensen av å gå tom vil være at inntektene bortfaller inntil nytt tilsig kommer, og dette vil neppe være optimalt hvis vi regner med sterkt stigende betalingsvillighet ved liten produksjon. Men det kan også regnes med en samfunnsmessig reaksjon på å gå i null. Dette er en situasjon et moderne

samfunn simpelthen ikke kan tillates å komme i. Monopolisten er mer sårbar enn en enkelt liten deltaker i et frikonkurransesystem. En enkelt liten deltager vil ikke se at det kan bli noe samfunnsproblem hvis han skulle gå tom.¹² Kraft kan alltid kjøpes i spotmarkedet.

Vår bruk av nullbegrepet for magasinifylling i avsnitt 5.2 i tilfellet med full sikkerhet kan derfor tolkes som at det er tatt hensyn til en tilstrekkelig reserve. Vi opererer med et nettobegrep. Den generelle langsiktige (dvs. innenfor nedbørssyklusen) samfunnsøkonomiske konsekvensen av usikkerhet er at gjennomsnittsprisen for elektrisitet blir høyere. Vi kan ikke ta i bruk alt vann. Men denne effekten dempes ved at når det er vann i magasinene når vårflommen starter, blir prisene - i de periodene hvor overflom kan inntreffe - lavere enn i tilfellet med full sikkerhet. Trekker vi inn de kortsiktige virkninger av usikkerhet, kan prisene bli lavere i perioder med mulighet for overflom, og høyere i perioder med mulighet for å gå tom (se avsnitt 4.1).

Usikkerhet og samfunnsøkonomisk tilpasning ved risikonøytralitet

Usikkerhet og samfunnsøkonomisk tilpasning i tilfellet med risikonøytralitet ble analysert i kapittel 2 i en toperiodemodell, der det ble vist at den sikre prisen i periode 1 skal settes lik forventningen av prisen i periode 2. Vi vil forenkle videre til en partiell modell som bare omfatter elektrisitet som gode, og se på alle produsenter aggregert. Vi vil ikke se på den spesielle problemstillingen med å gå tom, men vise at usikkerhet fører til at det brukes mindre vann i første periode enn uten usikker tilgang i periode 2. Problemformuleringen uten magasinrestriksjoner og usikker nedbør i periode 2 er (se Hansen (2003) for denne type usikkerhetsanalyse):

$$\text{Maks } E \{U_1(z_1) + U_2(Z - z_1)\} \quad (30)$$

Grensenyttfunksjonene er per definisjon etterspørselsfunksjonene på prisform:

$$U_t' = p_t(z_t), t = 1, 2 \quad (31)$$

¹² Vi ser her bort ifra diverse betingelser som er nedfelt i konsesjonsvilkårene for kraftprodusenter.

Førsteordensbetingelsen blir:

$$p_1(z_1) = E\{p_2(Z - z_1)\} \quad (32)$$

For å ha et sammenlikningsgrunnlag har vi som i kapittel 2 at den samfunnsøkonomiske løsningen uten usikkerhet om nedbøren er like priser; $\bar{p}_1(z_1) = \bar{p}_2(\bar{Z} - z_1)$. Her har vi satt usikker nedbør lik den sikre verdien \bar{Z} , som er forventningsverdien og markert denne løsningen med strek over prisene. Vi returnerer til problemet (30) med usikkerhet. Anta at $p_2(\cdot)$ er konveks. Fra Jensens ulikhet har vi da:

$$E\{p_2(Z - z_1)\} \geq p_2(E\{Z - z_1\}) = p_2(\bar{Z} - z_1) \quad (33)$$

Dette impliserer at i løsningen med usikkerhet har vi:

$$p_1(z_1) = E\{p_2(Z - z_1)\} \geq \bar{p}_1(z_1) = \bar{p}_2(\bar{Z} - z_1) \quad (34)$$

Vann disponeres i periode 1 slik at prisen (som er lik marginal betalingsvillighet) i periode 1 settes lik forventet pris (marginal betalingsvillighet) i periode 2. Men det brukes *mindre* vann i første periode enn i tilfellet med sikkerhet. Når periode 2 kommer og usikkerheten forsvinner, kan vi få realisert både en *lavere* og en *høyere* pris enn prisen i periode 1 (avhengig av faktisk størrelse på tilsiget i periode 2).

Usikkerhet og monopol under risikonøytralitet

Ved risikonøytralitet kan monopolistens beslutningsproblem utformes som følger:

$$\text{Maks } E\{p_1(z_1)z_1 + p_2(Z - z_1)(Z - z_1)\} \quad (35)$$

Nødvendig førsteordensbetingelse blir:

$$E\{p_1'(z_1)z_1 + p_1 - p_2'(Z - z_1)(Z - z_1) - p_2\} = 0 \quad (36)$$

Innfører vi marginalinntektsfunksjonene blir dette:

$$MR_1(z_1) = E\{MR_2(Z - z_1)\} \quad (37)$$

Hvis vi betegner det sikre tilsiget med \bar{Z} kan løsningen (26) skrives

$$\overline{MR}_1(z_1) = \overline{MR}_2(\bar{Z} - z_1) \quad (38)$$

Hvis vi forutsetter at $MR_2(\cdot)$ er konveks (vil følge hvis $p_2(\cdot)$ er konveks) og bruker Jensens ulikhet får vi:

$$MR_1(z_1) = E\{MR_2(Z - z_1)\} \geq \overline{MR}_1(z_1) = \overline{MR}_2(\bar{Z} - z_1) \quad (39)$$

I forhold til situasjonen uten usikkerhet skal det brukes vann i periode 1 slik at marginalinntekten i periode 1 blir større. Dette betyr at mindre vann skal brukes i periode 1.

Merk at analysen vår sier oss noe om hva vi skal gjøre i periode 1. Når vi kommer til periode 2 vil usikkerheten etter hvert forsvinne. Det kan da hende at realisert marginalinntekt blir både lavere (mer vann kommer) eller høyere (mindre vann kommer) enn vi forventet på tidspunkt 1.

Usikkerhet, monopol og risikoaversjon

Vi innfører en vurderingsfunksjon, $V(\cdot)$ for profitten med egenskaper som angitt i avsnitt 3.2 ($V' > 0$, $V'' < 0$). Monopolistens problem blir da:

$$\text{Maks}_{z_1} E\{V(p_1(z_1)z_1 + p_2(Z - z_1)(Z - z_1))\} \quad (40)$$

Tilpasningsbetingelsen blir:

$$E\{V'(p_1(1 + \tilde{e}_1) - p_2(1 + \tilde{e}_2))\} = E\{V'\}MR_1 - E\{V'MR_2\} = 0 \quad (41)$$

Uttrykket kan omskrives til:

$$E\{V'\}MR_1 - E\{V'\}E\{MR_2\} - \text{kovar}\{V', MR_2\} = 0 \Rightarrow$$

$$MR_1 - E\{MR_2\} = \frac{\text{kovar}\{V', MR_2\}}{E\{V'\}} \quad (42)$$

Ved evaluering av kovariansen er profittbidraget fra periode 1 fast. Det som varierer er hvor mye vann som tas i bruk i periode 2. MR_2 er en synkende funksjon i z_2 . Inntekten i periode 2 øker så lenge MR_2 er positiv. Dette betyr at det er en positiv kovarians mellom V' og MR_2 .¹³ Ved usikkerhet og risikoaversjon vil monopolisten bruke så mye vann i periode 1 at marginalinntekten i periode 1 settes høyere enn forventet marginalinntekt i periode 2. I forhold til situasjonen (26) uten usikkerhet bruker monopolisten relativt mindre vann i periode 1. Dette er samme resultat som vi fikk ovenfor med risikonøytralitet. Det er et interessant spørsmål om forskjellen mellom monopolløsningen og samfunnsløsningen er større eller mindre med usikkerhet enn uten. Vi vil undersøke dette nedenfor.

Sammenlikning samfunnsløsning og monopolløsning under usikkerhet og risikonøytralitet

Vi vil undersøke nærmere forskjellen når det gjelder allokering av vann under usikkerhet mellom samfunns- og monopolløsningen under risikonøytralitet. Betingelsen (36) kan utvikles på følgende måte:

$$E\{p_1'z_1 + p_1 - p_2'(Z - z_1) - p_2\} =$$

$$p_1'z_1 + p_1 - E\{p_2'Z\} + E\{p_2'\}z_1 - E\{p_2\} = 0 \quad (43)$$

Ordning av uttrykket gir:

¹³ Legg merke til at dette er motsatt av hva vi antok i forbindelse med drøftingen av (8), hvor tilsvarende kovarians var antatt negativ. Årsaken til forskjellen er at vi nå antar at priselastisiteten er større enn 1 (i tallverdi) mens vi i forbindelse med (8) antok at den var mindre enn 1. Samvariasjonen mellom pris og overskudd blir derfor motsatt i de to tilfellene.

$$\begin{aligned}
p_1 - E\{p_2\} &= E\{p_2'Z\} - E\{p_2'\}z_1 - p_1'z_1 = \\
E\{p_2'\}E\{Z\} + \text{kovar}\{p_2', Z\} - E\{p_2'\}z_1 - p_1'z_1 &= \\
E\{p_2'\}E\{z_2\} + \text{kovar}\{p_2', Z\} - p_1'z_1 &
\end{aligned}
\tag{44}$$

Det første uttrykket på høyre side etter siste likhetstegn er negativt, kovariansen er positiv da en økning i Z medfører at z_2 øker og dermed går p_2' opp forutsatt at $p_2(\cdot)$ er konveks, det siste uttrykket er positivt. Vi har altså at høyre side kan anta både positive og negative verdier. Hvis vi kaller periode 1 sommer og periode 2 vinter, vil vi ha $E\{z_2\} > z_1$. Det er videre rimelig å forutsette at etterspørselsfunksjonen er brattere om vinteren enn om sommeren, $E\{p_2'\} < p_1' \Rightarrow |E\{p_2'\}| > |p_1'|$. Disse forholdene drar i samme retning mht å bestemme fortegnet på høyre side. Dess mer forskjellige (nærmere) etterspørselsfunksjonene er i form, dess mer sannsynlig er det at det totale uttrykket er negativt (positivt). En negativ (positiv) verdi betyr at vannbruken i periode 1 endres slik at prisen i periode 1 blir lavere (høyere) enn forventet pris i periode 2. Dette betyr at mer (mindre) vann brukes i periode 1 enn i samfunnsløsningen med usikkerhet.

Vi kan merke oss at for grensetilfellet med konvekse etterspørselsfunksjoner, nemlig at de er lineære, så vil løsningene med og uten usikkerhet falle sammen både for samfunnsløsningene og markedsløsningene. Det er bare skyggeprisen på vann som blir forskjellig mellom samfunns- og monopolløsningen.

Når det gjelder innføring av muligheten for bindende magasinfylling vil vi ikke se på noen formell analyse. Men siden vi både i den samfunnsøkonomiske løsningen og i monopoltilfellet fikk mindre bruk av vann i periode 1, vil dette isolert sett bidra til økt press på magasinkapasiteten i første periode. Generelt vil det være slik at dess flere skranker som binder, dess mindre rom blir det for å utnytte markedsrett. Og dess nærmere kommer samfunnsløsningen og markedsrettløsningene hverandre.

Hvis vi tenker oss at første periode er sommerperioden hvor magasinene fylles opp, vil analysen ovenfor gjelde den overordnede strategiske tilpasningen mellom sommer- og vinterperioden. Den kortsiktige tilpasning mellom delperioder av "sommer" kan

tenkes å foregå som analysert i avsnitt 5.2. Dette gjelder også delperioder av ”vinter” etter hvert som usikkerheten viker for sikkerhet.

Det vil være et empirisk spørsmål om forskjellen mellom monopolløsningen og samfunnsløsningen er større eller mindre med usikkerhet enn uten. Vi har derfor ikke noe grunnlag for å modifisere regel 1.

Investeringer og markedsmakt

Selv om vi her ikke vil gå inn på investeringssiden, vil vi peke på at utøvelse av markedsmakt kan få konsekvenser for investeringsbeslutninger om produksjonskapasitet. I samfunnsproblemet vil en investeringsbeslutning være basert på skyggeprisen for vann, λ . Hvis en kapasitetsutvidelse kan gjøres til lavere kostnad enn skyggeprisen, vil investeringen være samfunnsøkonomisk lønnsom. Men i tilfellet med monopol vil skyggeprisen på vann være *lavere* enn i samfunnsløsningen. Merk at dette gjelder både med og uten usikkerhet. Ved å investere i kapasitetsutvidelse vil monopolisten fokusere på grenseinntekt, og ikke selve prisen i markedet. Vi kan derfor utforme følgende regel for utøvelse av markedsmakt:

Regel 3

- i) Hvis det utøves markedsmakt vil kravet til lønnsomhet av kapasitetsøkende prosjekter være større enn det samfunnsøkonomiske krav.*
- ii) Et mål på utøvelse av markedsmakt kan være forskjellen mellom faktisk planlagte investeringer og hva som er samfunnsøkonomisk lønnsomme investeringer.*

5.4 Mulighet for import/eksport av elektrisitet

5.4.1 Samfunnsøkonomisk tilpasning

Ingen beskrankninger

Vi skal først se på en situasjon uten restriksjoner på import og/eller eksportmuligheter. Videre forutsetter vi at prisene på import/eksport er identiske (i tråd med forutsetningen om null transmisjonskostnader) og betraktes som gitte for Norge. Vi innfører en variabel for nettoeksport av elektrisitet i de to perioder, x_t^{xi} ($t = 1, 2$) med tilhørende felles pris $p_t^{xi} > 0$ ($t = 1, 2$). Vi har eksport hvis $x_t^{xi} > 0$ og

import hvis $x_t^{xi} < 0$. For enkelhets skyld bruker vi formuleringen om maksimalt fleksibel transformering av vann over perioder (ingen skranker på magasinkapasitet). Vi vil diskutere slike skranker uten formelt å sette dem opp i modellen:

$$\begin{aligned}
 & \text{Maks}_{x_t, z_t (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} [U_t(x_t) + p_t^{xi} x_t^{xi}] \right\} \\
 & \text{under bibetingelsene} \\
 & x_t = z_t - x_t^{xi} (t=1,2), \quad \sum_{t=1,2} z_t \leq Z
 \end{aligned} \tag{45}$$

Lagrangefunksjonen er:

$$\begin{aligned}
 L = & \sum_{t=1,2} (U_t(x_t) + p_t^{xi} x_t^{xi}) \\
 & - \sum_{i=1,2} v_i (x_i - z_i + x_i^{xi}) \\
 & - \lambda (\sum_{t=1,2} z_t - Z)
 \end{aligned} \tag{46}$$

Nødvendige førsteordensbetingelser blir:

$$\begin{aligned}
 & p_t(x_t) - v_t \leq 0 \perp x_t \geq 0 \\
 & v_t - \lambda \leq 0 \perp z_t \geq 0 \\
 & p_t^{xi} - v_t = 0, \quad t = 1, 2
 \end{aligned} \tag{47}$$

Vi forutsetter at vi i en og samme periode enten har eksport eller import. (I praksis skjer begge deler, vi kan eventuelt tenke oss eksport- og importstørrelsene som *netto*-størrelser i løpet av perioden.) Vi vil som i avsnitt 1 forutsette at det forbrukes positive mengder av elektrisitet i hver periode. Den første betingelsen i (47) gjelder derfor med likhet. Men kan skyggeprisen på elektrisitet konsumert hjemme nå bli null? Nei, vi ser fra betingelsene 3 for handel at dette vil kreve import-eksportpris lik null, og dette er i strid med forutsetningene. Det er ingen grunn til å la vann gå til spille da elektrisitet kan eksporteres til positiv pris.

Vil det lønne seg å ta i bruk vannkraft i begge perioder? Den sentrale betingelsen er her den andre. Denne betingelsen sier at hvis skyggeprisen på elektrisitet brukt hjemme i en periode ikke når opp til skyggeprisen på lagret vann, så skal det ikke produseres. Men det må være minst en periode hvor disse skyggeprisene blir like. I vår forenklete modell med to perioder vil dette si at det kan hende at det er optimalt ikke å bruke noe vann i den ene perioden, men bruke alt i den andre. For at dette skal kunne bli optimalt må eksport/importprisene være forskjellige mellom periodene. Vi vil da ikke ta i bruk vann i perioden med lavest pris, men importere så mye at importprisen blir lik skyggeprisen på forbruket hjemme. I perioden med høyest eksport/importpris vil vi både eksportere og forbruke en del av vannet hjemme. Import, eksport og hjemmeforbruk bestemmes altså av betingelsene

$$\begin{aligned} \text{Import: } v_t - \lambda < 0, z_t = 0, p_t^{xi} = v_t &\Rightarrow x_t = -x_t^{xi} = p_t^{-1}(p_t^{xi}) \\ \text{Eksport: } v_t - \lambda = 0, z_t > 0, p_t^{xi} = v_t &\Rightarrow x_t = z_t - x_t^{xi} = p_t^{-1}(p_t^{xi}) \end{aligned} \quad (48)$$

Merk at betalingsvillighetene nå ikke lengre blir like mellom periodene. Det samfunnsøkonomiske målet er å tjene penger. Alternativ bruk av vann omfatter nå eksport. Hjemmeprisene på elektrisitet blir bestemt av eksport/importprisene i sin helhet. Vi lagrer vann for å tjene penger, ikke for å forsyne hjemmemarkedet med elektrisitet. Merk videre at både sommer- og vinterprisene nå kan bli høyere enn uten handel. Det forbrukerne taper på dette mer enn kompenseres ved økte eksportinntekter netto. Vi ser per forutsetning bort fra fordelingsproblemer.

Når det gjelder usikkerhet om tilsiget i periode 2 så ser vi direkte fra (48) at en slik usikkerhet ikke betyr noe for tilpasningen i periode 1, da alt vann lagres til bruk i periode 2 hvis eksport/importprisen er høyest i denne perioden. Hvis prisen skulle være lavest i periode 2 vil vi bruke opp alt vannet i periode 1 til eksport og hjemmeforbruk. Da vil alt forbruket i periode 2 dekkes med import. Merk at dette gjelder når eksport/importprisen i periode 2 kjennes med sikkerhet. Det ville kanskje være mer realistisk å betrakte (i periode 1) prisen i periode 2 som stokastisk. Vi vil ikke forfølge denne problemstillingen her, men bare nøye oss med å peke på at hvis forventet eksport/importpris i periode 2 med sannsynlighet 1 blir enten høyere eller

lavere enn prisen i periode 1, så er vi tilbake til situasjonen ovenfor. En ny situasjon oppstår kun hvis vi ikke kan gjøre denne forutsetningen.

Begrenset overføringskapasitet til utlandet

En ubegrenset eksport/importkapasitet (eller større kapasitet enn vi ville velge i en samfunnsøkonomisk løsning på problem (45)) er i praksis urealistisk. Det vil derfor være av interesse å se på hva som skjer ved innføring av skranker. Det vil være samme begrensning på eksport som på import, \bar{x}^{xi} . Samfunnsproblemet blir nå:

$$\text{Maks}_{x_t, z_t (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} [U_t(x_t) + p_t^{xi} x_t^{xi}] \right\}$$

under bibetingelsene (49)

$$x_t = z_t - x_t^{xi} \quad (t=1,2), \quad \sum_{t=1,2} z_t \leq Z, \quad -\bar{x}^{xi} \leq x_t^{xi} \leq \bar{x}^{xi}, \quad (t=1,2)$$

Lagrangefunksjonen får to nye bibetingelser:

$$\begin{aligned} L = & \sum_{t=1,2} (U_t(x_t) + p_t^{xi} x_t^{xi}) \\ & - \sum_{t=1,2} v_t (x_t - z_t + x_t^{xi}) \\ & - \lambda (\sum_{t=1,2} z_t - Z) \\ & - \sum_{t=1,2} \alpha_t (x_t^{xi} - \bar{x}^{xi}) \\ & - \sum_{t=1,2} \beta_t (-x_t^{xi} - \bar{x}^{xi}) \end{aligned} \quad (50)$$

De nødvendige førsteordensbetingelser blir:

$$\begin{aligned} p_t(x_t) - v_t & \leq 0 \perp x_t \geq 0 \\ v_t - \lambda & \leq 0 \perp z_t \geq 0 \\ p_t^{xi} - v_t - \alpha_t + \beta_t & = 0 \end{aligned} \quad (51)$$

La oss som ovenfor anta at vi alltid skal ha positive energimengder hjemme totalt. La oss videre anta at det er optimalt å importere i periode 1 og å eksportere i periode 2, og at handelsskranken er bindende i begge perioder, dvs. skyggeprisene på denne skranken er $\alpha_1 = 0, \beta_1 > 0, \alpha_2 > 0, \beta_2 = 0$. Setter vi inn betalingsvillighetene fra den

første betingelsen inn i den siste betingelsen ser vi fra den siste betingelsen i (51) at betalingsvilligheten ("markedsprisen") hjemme i periode 2 når vi eksporterer vil være *lavere* enn eksport/importprisen. I periode 1 når vi importerer ser vi at markedsprisen hjemme vil være *høyere* enn importprisen:

$$\begin{aligned} p_2(x_2) = v_2 &= p_2^{xi} - \alpha_2 \\ p_1(x_1) = v_1 &= p_1^{xi} + \beta_1 \end{aligned} \tag{52}$$

Skyggeprisene på handelsskranken "slås på" for å møte beskrankningen: vi ønsker å eksportere mer i periode 2, og må da holde en lavere pris hjemme for å få brukt mer vannkraft hjemme (siden vi stanger mot skranken for overføringskapasitet), mens vi ønsker å importere mer i periode 1, og må da holde en høyere pris hjemme for å "rasjonere" importen.

Begrenset handelsmulighet som binder resulterer i et meget interessant resultat: Vi vender nå tilbake til kravet om lik betalingsvillighet mellom de to periodene som i situasjonen uten handelsmuligheter i det hele tatt. Vi innser dette ved å ta utgangspunkt i den første og andre betingelsen i (51). Hvis det nå skulle være optimalt med null vannkraftproduksjon i periode 1 ville vi overføre alt vann til periode 2. Men i denne perioden er det begrenset hvor mye vannkraft som kan eksporterres. På marginen er alternativ bruk av vannet derfor *hjemmebruken* i periode 2. I periode 1 vil vi nå ikke nøye oss bare med å importere opp til skranken, men også bruke noe vann hjemme. Vi vil bruke akkurat så mye vann at betalingsvilligheten i periode 1 er lik betalingsvilligheten i periode 2:

$$p_1(x_1) = v_1 = p_2(x_2) = v_2 = p_1^{xi} + \beta_1 = p_2^{xi} - \alpha_2 \tag{53}$$

Innføring av usikkerhet via tilsiget i periode 2 vil gi samme endring som analysert i avsnitt 5.3. Prisen i første periode settes lik forventet pris i andre periode, og det brukes mindre vann i den første perioden.

Begrenset magasinkapasitet

La oss se på hva som kan skje ved at vi også spesifiserer begrensninger på magasinkapasiteten. De to siste bibetingelsene i (27) erstatter den andre bibetingelsen i (49). Videre vil de to tilhørende siste førsteordensbetingelser i (29) erstatte den andre nødvendige betingelsen i (51). Det blir nå en rekke kombinasjonsmuligheter mht. bindende og ikke-bindende skranker. Vi tar først for oss tilfellet hvor det ikke er noen begrensning på overføringskapasiteten til utlandet. Konklusjonen ble da at alt vann lagres i perioden med den laveste eksport/importpris. Men med begrensning på lagringsmulighetene er dette ikke lengre mulig. Vi vil lagre maksimalt, og så bruke det vannet som ellers vil gå til spille til produksjon i samme periode. Vi får import og hjemmeproduksjon samtidig. I perioden med eksport er det mindre vann tilgjengelig, slik at både eksporten og hjemmeforbruket naturlig nok blir mindre. Fremdeles gjelder betingelsen om at det er eksport/importprisene som vil gjelde hjemme.

I en situasjon med skranker både på import/eksportmulighetene og lagring av vann vil det ikke lengre bli slik at vi nødvendigvis vender tilbake til en situasjon med like priser hjemme i alle perioder. Dette avhenger av hvilke skranker som er effektive. Hvis lagringskapasiteten er den begrensende faktor, og ikke eksport/importmulighetene, så får vi samme løsning som for ubegrenset eksport/import. Hjemmeprisene følger eksport/importprisene. Hvis import/eksportskranken er effektiv, men ikke vannlagringsskranken, kommer vi til samme type løsning som i modellen uten skranker på magasin, dvs. betingelsene (51). Dette innebærer at hjemmeprisene ikke følger eksport/importprisene, men blir like for begge perioder. Hvis både handels- og vannlagringsskranken binder samtidig i importperioden, innebærer dette at eksportskranken er bindende i eksportperioden, og at betalingsvilligheten i hjemmemarkedet blir lavere enn eksportprisen, men høyere enn hjemmeprisen i importperioden. I importperioden importeres det maksimalt, men det brukes ikke noe av vannlageret fordi alternativverdien i eksportperioden er høyere. Hjemmeprisen blir derfor høyere enn importprisen i importperioden. Vi kan få en viss utjevning av hjemmeprisene i de to perioder i forhold til eksport/importprisene.

Innføring av usikkerhet via tilsiget i periode 2 vil ikke føre til noen endret tilpasning i periode 1 i de situasjoner hvor det er optimalt å overføre et maksimalt vannlager til periode 2.

5.4.2 Monopol og handel

Det vil være interessant å se på to forutsetninger:

(i) Monopolet kontrollerer handelen med elektrisitet

(ii) Monopolet kan ikke kontrollere verken importen eller eksporten.

I begge tilfeller holder vi fast på betingelsen om at eksport/importprisen tas som gitt av monopolisten. I tilfellet (i) styrer monopolisten utnyttelsen av forbindelsene med utlandet. Det er ingen åpen adgang for tredjepart til å bruke overføringsforbindelsene. Statkraft hadde denne rollen under sentraliseringsregimet. I tilfellet (ii) kan vi tenke oss at vi har en eneproducent av vannkraft hjemme, men overføringslinjene til utlandet er i prinsippet åpne for innenlandske importører eller utenlandske eksportører.

Monopolisten kontrollerer handelen

Denne situasjonen gir følgende målfunksjon for monopolisten:

$$\text{Maks}_{x_t, z_t (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} (p_t(x_t)x_t + p_t^{xi}x_t^{xi}) \right\}$$

under bibetingelsene

$$x_t = z_t - x_t^{xi} \quad (t = 1, 2), \quad \sum_{t=1,2} z_t \leq Z \quad (54)$$

Lagrangefunksjonen blir:

$$L = \sum_{t=1,2} (p_t(x_t)x_t + p_t^{xi}x_t^{xi})$$

$$- \sum_{t=1,2} v_t(x_t - z_t + x_t^{xi})$$

$$- \lambda(\sum_{t=1,2} z_t - Z) \quad (55)$$

De nødvendige førsteordensbetingelser blir:

$$p_t(x_t) + p_t'(x_t)x_t - v_t \leq 0 \quad \perp \quad x_t \geq 0$$

$$v_t - \lambda \leq 0 \quad \perp \quad z_t \geq 0 \quad (56)$$

$$p_t^{xi} - v_t = 0$$

Også i monopoltilfellet vil skyggeprisen på elektrisitet hjemme bli lik eksport/importprisen. Det vil bli samme allokering av vann på de to periodene som i den samfunnsøkonomiske løsningen; ikke noe vann brukes i importperioden og alt brukes i eksportperioden, men omfanget av import, eksport og hjemmeforbruk endres. Hvis vi fortsetter med å anta at det blir import i periode 1 og eksport i periode 2 (kravet er at eksport/importprisen er høyere i periode 2 enn i periode 1), så vil monopolistens kontroll av importen føre til at det importeres mindre i periode 1 enn i den samfunnsøkonomiske løsningen, og at prisen hjemme blir høyere enn importprisen og dermed forbruket lavere. Det brukes ingen vannkraft i periode 1. I periode 2 vil allokeringen av vann på eksport og hjemmeforbruk endres i forhold til den samfunnsøkonomiske løsningen. Monopolisten utnytter etterpørselen hjemme ved å sette en høyere pris enn eksportprisen, og dermed blir eksporten høyere og forbruket lavere hjemme.

Innføring av usikkert tilsig i periode 2 og maksimering av forventet inntekt vil som for samfunnsløsningen ikke gi noen endret tilpasning. Alt tilgjengelig vann brukes jo i periode 2 uansett tilsiget i periode 2.

Hvis vi innfører begrensede magasineringsmuligheter vil vi i importperioden fremdeles ha at marginalkostnadene for monopolisten er import/eksportprisen. Denne settes lik grenseinntekten for å bestemme hjemmeprisen. Begrenset magasinkapasitet innebærer at vann som ville gått til spille brukes i produksjonen i stedet for import. Et maksimalt vannlager overføres til vinteren, men eksportinntektene blir nå mindre (enn i tilfellet uten magasinbeskrankning) da volumet er mindre. Den samme prisen tas ut i markedet. Det blir ingen forskjell i monopolistens prisregime. Konsekvensene er rent inntektsmessige på hjemmemarkedet. Importutgifter spares, men eksportinntektene synker. Da vi har høyere import/eksportpris i eksportperioden enn i importperioden, kan en bindende skranke på magasinkapasitet kun bety redusert overskudd.

Når det gjelder usikkerhet om tilsiget i periode 2 får dette ingen konsekvenser for løsningen i periode 1 da maksimalt tilgjengelig vann uansett overføres til periode 2, forutsatt at eksport/import - prisen i periode 2 er høyere enn i periode 1.

Regel 4

- i) Utøvelse av markedsrett når det er ubegrensede import- og eksportmuligheter og disse kontrolleres av aktøren med markedsrett, vil gi en hjemmepris høyere enn importprisen i periodene med import og høyere hjemmepris enn eksportprisen i periodene med eksport.*
- ii) Bruk av vann vris fra hjemmeforbruk til eksport i perioder med eksport.*
- iii) Usikkert tilsiq i periode 2 gir den samme tilpasningen som med sikkerhet både i samfunns- og monopoløsningen.*
- iv) Bindende skranke på eksport/import i begge perioder gir samme løsning som uten eksport/import muligheter.*
- v) En bindende skranke på magasineringsmulighetene gir de samme hjemmepriser som uten magasinbegrensning, og kan gi eksport i begge perioder.*
- vi) Et mål på utøvelse av markedsrett vil være den relative forskjellen mellom hjemmepris og eksport/importprisen.*

Monopolisten har ikke kontroll over handelen

Monopolistens målfunksjon blir formelt den samme som (54), men nå gjelder det i tillegg at monopolisten ikke kan drive prisdiskriminering hjemme. Hvis vi har import kan han ikke ta høyere pris hjemme enn importprisen. Hvis han prøver, vil det straks være en annen som sørger for import til den gitte pris (f.eks. en utenlandsk eksportør). Tilsvarende vil han ikke kunne ta en høyere pris hjemme i perioder med eksport. Han vil straks trues av import til denne høyere prisen, slik at likevekten igjen blir eksportprisen. Det kan ikke utøves markedsrett under våre forutsetninger. Både en situasjon med pristakere hjemme og en monopolist vil realisere den samfunnsøkonomiske løsning. Eksport/importprisene slår igjennom 100% i hjemmemarkedet.

Regel 5

- i) Hvis eksport og import ikke kan kontrolleres av en aktør som vil utøve markedsrett, men drives av aktører som er pristakere, så kan det ikke utøves markedsrett.
- ii) Eksport/importpriser vil slå igjennom 100% i hjemmeprisene.

Monopol når det er skranker på handelen

Vi vil igjen forutsette at monopolisten har kontroll over eksport/import.

Monopolistens målfunksjon blir nå:

$$\text{Maks}_{x_t, z_t (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} p_t(x_t)x_t + p_t^{xi} x_t^{xi} \right\}$$

under bibetingelsene (57)

$$x_t = z_t - x_t^{xi} (t=1,2), \quad -\bar{x}^{xi} \leq x_t^{ex} \leq \bar{x}^{xi}, \quad \sum_{t=1,2} z_t \leq Z$$

Lagrangefunksjonen blir:

$$\begin{aligned} L = & \sum_{t=1,2} (p_t(x_t)x_t + p_t^{xi} x_t^{xi}) \\ & - \sum_{t=1,2} v_t (x_t - z_t + x_t^{xi}) \\ & - \lambda (\sum_{t=1,2} z_t - Z) \\ & - \sum_{t=1,2} \alpha_t (x_t^{xi} - \bar{x}^{xi}) \\ & - \sum_{t=1,2} \beta_t (-x_t^{xi} - \bar{x}^{xi}) \end{aligned} \quad (58)$$

De nødvendige førsteordensbetingelsene er:

$$\begin{aligned} p_t(x_t) + p_t'(x_t)x_t - v_t & \leq 0 \perp x_t \geq 0 \\ v_t - \lambda & \leq 0 \perp z_t \geq 0 \\ p_t^{xi} - v_t - \alpha_t + \beta_t & = 0 \end{aligned} \quad (59)$$

Hvis skrankene på handel ikke er bindende for monopolisten, får vi samme tilpasning som beskrevet ovenfor ved (56). Hvis minst en av skrankene er bindende får vi en ny situasjon. Vi vil konsentrere oss om situasjonen at import/ eksportskrankene blir bindende i alle perioder. Vi får da et analogt resultat med det vi fikk for den samfunnsøkonomiske løsning. Det er forbruket av energi hjemme som blir styrende for tilpasningen. Eksport- og importmulighetene blir utnyttet fullt ut, og er ikke de aktiviteter som bestemmer tilpasningen på marginen. De gir bare en ekstra inntekt. Det er ikke noe poeng nå om monopolisten har kontroll over handelen eller ikke. Begrensningen av handelsvolumet setter en stopper for konkurransen med andre importører/eksportører. Vi kommer tilbake til monopolløsningen (24) uten handel. Det er likhet mellom grenseinntektene i periodene som bestemmer allokeringen av vann. Monopolisten vil bruke mer vann i periodene med mer elastisk etterspørsel og mindre vann i periodene med mindre elastisk etterspørsel.

Hvis vi innfører begrensninger på lagringsmulighetene for vann samtidig med begrensning på eksport/import, så vil resultatene avhenge av hvilke skranker som blir effektive analogt med situasjonen for samfunnsløsningen diskutert ovenfor. Forskjellen består i at monopolisten bestreber seg på å gjøre *grenseinntektene* så like som mulig i stedet for den marginale betalingsvilligheten. En bindende magasinskranke betyr at monopolistens profitt vil bli påvirket, men ikke hans prispolitikk. Diskusjonen i avsnittet ovenfor om monopolistens tilpasning under magasinskranke gjelder.

Regel 6

- i) Hvis eksport/importskranker er bindende i alle perioder så vil utøvelse av markedsrett gi forskjellig hjemmepris mellom periodene.*
- ii) Hvis det er magasinskrankene som binder, så får vi samme indikasjon på bruk av markedsrett som under Regel 4.*
- iii) Utøvelse av markedsrett måles ved relative forskjeller mellom periodeprisene.*

5.5 Optimal bruk av vann- og varmekraft i et integrert Nord Pool - område

Et alternativ til å innføre handel mellom Norge og utlandet vil være å betrakte Nord Pool som et integrert område. Handelen vil synliggjøres ved å identifisere hvert land. Vi vil skille mellom vannkraftprodusenter og varmekraftprodusenter. Vi vil forenkle varmekraftsiden ved å sette opp en kostnadsfunksjon for alle varmekraftverk (inkludert atomkraft) etter ”merit order” prinsippet, dvs. verk vil bli tatt i bruk etter stigende marginalkostnad:

$$c_t = c(z_t^T), \quad c' > 0, c'' > 0 \quad (60)$$

Energi produsert ved varmekraftverk representeres ved z^T , og energi ved vannkraftverk vil symboliseres ved z^H . Det er en øvre grense for varmekraftkapasitet, som forutsettes å være konstant for alle perioder.

Vi forutsetter at samme aggregerte kostnadsfunksjon gjelder for alle perioder. Det er lett å gjøre denne avhengig av periodene (f.eks. fordi olje- og kullprisene stiger om vinteren) hvis dette skulle være noe poeng i vår sammenheng.

Det samfunnsøkonomiske optimeringsproblemet

Det samfunnsøkonomiske optimeringsproblemet for hele Nord Pool- området, dvs. etterspørselsfunksjonene er aggregert over alle deltakende land, er:

$$\begin{aligned} & \text{Maks}_{x_t, z_t^T (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} [(U_t(x_t) - c(z_t^T))] \right\} \\ & \text{under bibetingelsene} \quad (61) \\ & x_t = z_t^H + z_t^T \quad (t = 1, 2), \quad \sum_{t=1,2} z_t^H \leq Z, z_t^T \leq \bar{z}^T \end{aligned}$$

Lagrangefunksjonen for problemet er:

$$\begin{aligned}
 L = & \sum_{t=1,2} (U_t(x_t) - c(z_t^T)) \\
 & - \sum_{t=1,2} v_t (x_t - z_t^H - z_t^T) \\
 & - \sum_{t=1,2} \theta_t (z_t^T - \bar{z}^T) \\
 & - \lambda (\sum_{t=1,2} z_t - Z)
 \end{aligned} \tag{62}$$

De nødvendige førsteordensbetingelser blir:

$$\begin{aligned}
 p_t(x_t) - v_t & \leq 0 \perp x_t \geq 0 \\
 v_t - \lambda & \leq 0 \perp z_t^H \geq 0 \\
 -c'(z_t^T) + v_t - \theta_t & \leq 0 \perp z_t^T \geq 0
 \end{aligned} \tag{63}$$

Vi holder fast på den rimelige betingelsen at det skal forbrukes elektrisitet i begge perioder. Den første betingelsen i (63) gjelder derfor med likhet. Den andre betingelsen sier oss at vannkraft skal bare tas i bruk hvis skyggeprisen på forbruket i en periode når opp til alternativverdien av vannet. Hvis dette ikke er tilfelle, vil hele forsyningen bli produsert med varmekraft. Vannet spares til perioder hvor skyggeprisen på forbruket blir lik skyggeprisen på lagret vann. Kan det tenkes at det bare skal brukes vannkraft? Vi må da ha at $c'(0) > \lambda$, dvs. den laveste marginalkostnaden for varmekraft er høyere enn skyggeprisen på vann. Med kravet om at det skal leveres elektrisitet i alle perioder vil da varmekraft ikke bli tatt i bruk i det hele tatt. Dette er en klart urimelig løsning fra et realistisk synspunkt. I en periode hvor det brukes både vannkraft og varmekraft har vi betingelsen:

$$p_t(x_t) = v_t = \lambda = c'(z_t^T) + \theta_t \tag{64}$$

Hvis det ikke er full kapasitetsutnyttelse av varmekraften vil skyggeprisen, θ_t , på øvre kapasitetsgrense bli null. Vi får da at marginal betalingsvillighet skal settes lik alternativverdien på vann, og videre lik marginalkostnaden i varmekraftproduksjonen.

I den rene vannkraftmodellen har vi sett at det er optimalt med samme pris i alle perioder. Dette er ikke nødvendigvis lengre optimalt. Det vil ikke være noen ekstrem situasjon at bare varmekraft brukes, f.eks. i perioder med liten etterspørsel (natt-timer eller sommerperioder).

Hvis vi innfører begrensning på magasineringskapasiteten har vi som samfunnsøkonomisk løsning at optimal marginal betalingsvillighet kan variere mellom periodene. Kopler vi en slik restriksjon sammen med varmekraft vil en deling av forsyningen mellom varme og vann styrt av betingelse (64) fremdeles være mulig. Konsekvensen av en bindende magasinskranke er at fordelingen mellom vann og varme blir påvirket; det vil bli brukt mer vann i en bindende periode (og perioder som leder opp til en slik periode fra siste periode med knapphet) og mindre varmekraft.

Monopol for hele Nord Pool-området

Et ekstremt ytterpunkt vil være å anta at hele Nord Pool-området forsynes av en monopolist som både har vannkraft og varmekraft. Hans optimeringsproblem vil være:

$$\begin{aligned} & \text{Maks}_{x_t, z_t (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} (p_t(x_t)x_t - c(z_t^T)) \right\} \\ & \text{under bibetingelsene} \tag{65} \\ & x_t = z_t^H + z_t^T \quad (t = 1,2), \quad \sum_{t=1,2} z_t^H \leq Z, z_t^T \leq \bar{z}^T \end{aligned}$$

Lagrangefunksjonen for problemet er:

$$\begin{aligned} L = & \sum_{t=1,2} (p_t(x_t)x_t - c(z_t^T)) \\ & - \sum_{t=1,2} v_t (x_t - z_t^H - z_t^T) \\ & - \sum_{t=1,2} \theta_t (z_t^T - \bar{z}^T) \\ & - \lambda (\sum_{t=1,2} z_t^H - Z) \end{aligned} \tag{66}$$

De nødvendige førsteordensbetingelser blir:

$$\begin{aligned}
 p_t(x_t)(1+\tilde{e}_t) - v_t &\leq 0 \perp x_t \geq 0 \\
 v_t - \lambda &\leq 0 \perp z_t^H \geq 0 \\
 -c'(z_t^T) + v_t - \theta_t &\leq 0 \perp z_t^T \geq 0
 \end{aligned}
 \tag{67}$$

Utøvelse av markedsmakt manifesterer seg ved at det er *grenseinntekt* som settes lik skyggepris på forsyning til forbrukerne, og ikke den marginale betalingsvillighet som i det samfunnsøkonomiske problem. En konsekvens av dette er at skyggeprisen på lagret vann blir lavere enn i samfunnsløsningen. Vi kan også få spill av vann. Hvis vi ser på det mest realistiske tilfellet hvor monopolisten bruker begge teknologier i en periode, har vi:

$$p_t(x_t)(1+\tilde{e}_t) = v_t = \lambda = c'(z_t^T) + \varphi_t
 \tag{68}$$

Hvis vi tenker oss at den marginale betalingsvilligheten vi fikk som løsning på samfunnsproblemet settes inn i (68), vil venstresiden i den første likheten i (68) være mindre enn denne verdien. I et problem med "glatte" funksjoner betyr det at monopolisten vil sette både skyggeprisen på totalt forbruk og skyggeprisen på vann lavere enn i samfunnsoptimum, og han vil også generelt *redusere* varmekraftproduksjonen. Når det gjelder allokering av vann på periodene vil det brukes mer vann i perioden med mest elastisk etterspørsel og mindre i perioder med mer uelastisk etterspørsel. Da den felles skyggeprisen på vann for alle perioder blir lavere enn i samfunnsløsningen vil det totale energiforbruk gå ned i hver periode selv i perioden(e) hvor det brukes mer vann.

Trekker vi inn muligheten for begrenset magasinkapasitet vil et monopol kunne føre til det samme som diskutert i underavsnittet *Monopol og begrenset magasinkapasitet*. For lite vann blir overført mellom periodene. Dette får da som konsekvens at skyggeprisen på vann settes for lavt og varmekraftandelen blir for liten i perioder med elastisk etterspørsel.

Regel 7

Utøvelse av markedsrett i et integrert Nord Pool - område kan føre til:

- i) Redusert total elektrisitetsproduksjon og bruk av varmekraft i alle perioder.*
- ii) Reallokering av vannkraft fra perioder med mest uelastisk etterspørsel til perioder med mindre uelastisk etterspørsel.*
- iii) Økt bruk av vannkraft i perioder med mindre uelastisk etterspørsel.*
- iv) For liten relativ bruk av varmekraft i perioder hvor magasinene skulle vært helt fylt.*

Det blir i denne situasjonen ikke så enkelt å sette opp indikatorer for utøvelse av markedsrett. Poenget er at man må ha en mer komplett oppfatning av hva en optimal situasjon innebærer.

Regel 8

Presise indikatorer på utøvelse av markedsrett må ta utgangspunkt i en komplett kontrafaktisk modell for samfunnsøkonomisk optimum. Indikasjoner på utøvelse av markedsrett som bør sjekkes grundigere, kan være

- i) Varmekraftpotensialet utnyttes sjelden til fullt potensial, selv i "peak-load" perioder.*
- ii) Varmekraftkapasitet nedlegges.*
- iii) Vannkraft brukes i perioder med liten og elastisk etterspørsel.*
- iv) Investeringer i ny kapasitet både på varme- og vannsiden foretas ikke, eller i mindre omfang enn det man forventer ut fra markedsprisene.*

Monopol og frikonkurransesløp

En interessant situasjon kan være at vannkraftprodusentene prøver å utøve markedsrett, mens varmekraftverkene opptrer som pristakere. Vi kan formulere problemet slik at alle vannkraftprodusenter opptrer som en enhetlig gruppe, og at de må ta hensyn til at varmekraftprodusentene er pristakere og vil levere i henhold til den markedsprisen de ser. Vannkraftgruppa kjenner hele tilbudssiden til varmekraftprodusentene. Optimeringsproblemet til vannkraftgruppa kan formuleres som følger:

$$\begin{aligned}
& \text{Maks}_{x_t, z_t, (t=1,2)} \left\{ \sum_{t=1,2} p_t(x_t) z_t^H \right\} \\
& \text{under bibetingelsene} \\
& x_t = z_t^H + z_t^T \quad (t=1,2), \quad \sum_{t=1,2} z_t^H \leq Z, \\
& p_t = c'(z_t^T) \quad \text{for } z_t^T \in (0, \bar{z}^T), \quad p_t \geq c'(z_t^T) \quad \text{for } z_t^T = \bar{z}^T
\end{aligned} \tag{69}$$

Bibetingelsene i den siste linjen viser oppførselen til varmekraftfløyen som pristakere. Markedsprisen kan bare bli høyere enn marginalkostnaden i varmekraftproduksjonen hvis varmekraftkapasiteten er fullt utnyttet. Ved å øke (redusere) sin produksjon i en periode vil vannkraftprodusenten redusere (øke) varmekraftprodusentenes tilbud ved at markedsprisen går ned (opp). Mulighetene for vannkraftfløyen til å utøve markedsrett blir nå begrenset, og mer begrenset dess større produksjonskapasiteten er av varmekraft. Strategien med å bruke mer vann i perioder med lav og elastisk etterspørsel for så å presse prisen opp om vinteren, virker ikke så godt lengre da varmekraftprodusentene følger regelen pris lik marginalkostnad. Det må relativt sett ofres mer om sommeren og dette kan ikke så lett vinnes igjen om vinteren fordi varmekraftfløyen tar sin del av gevinsten ved høyere pris. Det er bare hvis varmekraftkapasiteten brukes fullt ut i en periode, at markedspris kan bringes opp høyere enn varmekraftprodusentenes marginalkostnader. Da vil det oppstå en mulighet til å sette markedspris høyere for vannkraftprodusentene, slik at en reallokering av vann bort fra ”vinter” til ”sommer” kan gi større profitt. Men varmekraftprodusentene vil også ha glede av denne politikken i høyprisperioden.

Lagrangefunksjonen for optimaliseringsproblemet kan skrives:

$$\begin{aligned}
L = & \sum_{t=1,2} p_t(x_t) z_t^H \\
& - \sum_{t=1,2} v_t(x_t - z_t^H - c^{-1} p_t(x_t)) \\
& - \lambda(\sum_{t=1,2} z_t^H - Z)
\end{aligned} \tag{70}$$

Vi har i den første betingelsen erstattet varmekraftkvantumet med regelen pristakerne følger for tilpasning av sin produksjon når produksjonen er under kapasitetsgrensen. Hvis kapasitetsgrensen nås, erstattes det siste leddet i betingelsen med \bar{z}^T . Nødvendige førsteordensbetingelser blir:

$$\begin{aligned}
 p_t'(x_t)z_t^H - v_t + v_t g' p_t'(x_t) &\leq 0 \quad \perp \quad x_t \geq 0 \\
 p_t(x_t) + v_t - \lambda &\leq 0 \quad \perp \quad z_t^H \geq 0 \\
 p_t(x_t) = c'(z_t^T) &\text{ for } z_t^T \in (0, \bar{z}^T) \\
 p_t(z_t^H + \bar{z}^T) &\geq c'(\bar{z}^T)
 \end{aligned} \tag{71}$$

I den første betingelsen i (71) har vi innført funksjonen:

$$g(p_t(x_t)) = c'^{-1}(p_t(x_t)), \quad g' \geq 0, g' = 0 \text{ for } x_t > \bar{z}^T \text{ og } z_t^T = \bar{z}^T.$$

Videre merker vi oss at det siste leddet på venstre side av ulikhetstegnet blir null for $x_t > \bar{z}^T$ og $z_t^T = \bar{z}^T$. Som for de andre modellene forutsetter vi at markedet vil bli forsynt med positive energimengder i begge perioder. De to første betingelsene gjelder derfor med likhet. Ved innsetting får vi:

$$\begin{aligned}
 p_t(x_t)(1 + \tilde{e}_t^H) - \lambda &= 0 \quad \text{for } x_t > \bar{z}^T \text{ og } z_t^T = \bar{z}^T, \\
 p_t(x_t)(1 + \tilde{e}_t^H) - \lambda + g' p_t'(\lambda - p_t(x_t)) &= 0 \quad \text{for } z_t^T \in (0, \bar{z}^T)
 \end{aligned} \tag{72}$$

hvor \tilde{e}_t^H er etterspørselsfleksibiliteten for vannkraftprodusenten. Ved full kapasitetsutnyttelse av varmekraftkapasiteten setter vannkraftprodusenten grenseinntekten for sin vannkraft lik skyggeprisen på vann. Varmekraftprodusentene får en pris høyere enn marginalkostnaden for det maksimale varmekraftkvantum. . Hvis varmekraften ikke blir fullt utnyttet, vil vannkraftprodusenten måtte sette sin grenseinntekt høyere enn skyggeprisen på vann. La oss anta at vannkraftprodusentens tilpasning er slik at varmekraftkapasiteten utnyttes fullt i begge perioder. La oss videre forutsette at det ikke er lønnsomt å spille vann. Allokeringen av vannkraft på de to perioder vil bli påvirket av elasticiteten av etterspørselen i de to perioder slik at bruk av vann i perioden med mest uelastisk etterspørsel (som nå retter seg kun mot

vann) vil bli redusert og bruk av vann i perioden med minst uelastisk etterspørsel vil bli økt. Men denne reallokering bremses av varmekraftkapasiteten i forhold til et rent monopol.

Hvis varmekraften ikke utnyttes til full kapasitet i noen periode, vil bruk av varmekapasitet bestemmes ved $p_t(x_t) = c'(z_t^T)$, og bruk av vann bestemmes ved simultan løsning av denne betingelsen sammen med den andre relasjonen i (71). Vann vil reallokeres fra perioder med uelastisk etterspørsel til perioder med mer elastisk, men det siste leddet i betingelse nr. 2 demper reallokeringen bort fra den samfunnsøkonomisk optimale i forhold til et rent monopol. Vi får pris lik marginale varmekraftkostnader i begge perioder, men større markedsandel for vann i perioden som er minst uelastisk, og mindre markedsandel i den mest uelastiske perioden.

Regel 9

- i) Med en gruppe av produsenter som pristakere dempes mulighetene for å utøve markedsrett mer dess større markedsandel pristakergruppen har.*
- ii) Markedsrett kan utøves ved at den dominerende produsent trekker så mye vann tilbake fra den periode med mest uelastisk etterspørsel at konkurranseflyten når sin kapasitetsgrense.*

Referanser

- Aune, F.R. og T. A. Johnsen (2002): "Kraftkrise i California: Hvordan står det til i Norge?", *Økonomisk Forum* Nr. 2 2002, 23-30.
- Berg, M. (1988): "Priser og kostnader i omsetningen av vannkraft", Rapport nr. 1'88, Senter for anvendt forskning, Norges Handelshøyskole – Sosialøkonomisk institutt, Universitetet i Oslo.
- Borenstein, S., Bushnell, J. B. and Wolak, F. A. (2002): "Measuring market inefficiencies in California's restructured wholesale electricity market," *American Economic Review* 92(5), 1376-1405.
- Borenstein, S., Bushnell, J. B. and Knittel, C. R. (1999): "Market power in electricity markets: beyond concentration measures," *Energy Journal* 20(4), 65-88.
- Borenstein, S., Bushnell, J. B., and Stoft, S. (2000): "The competitive effects of transmission capacity in a deregulated electricity market," *Rand Journal of Economics* 31(2), 294-325.
- Bushnell, J. B. (1999): "Transmission rights and market power," *Electricity Journal* 12(8), 77-85.
- Bushnell, J. (2003): A mixed complementarity model of hydrothermal electricity competition in the Western United States, *Operations Research* 2003, 51(1) January-February.
- Crampes, C. and Moreaux, M. (2001): "Water resource and power generation," *International Journal of Industrial Organization* 19, 975-997.
- Fleten, S.-E. (2000); *Portfolio management emphasizing electricity market applications. A stochastic programming approach*, Dr. ing. Thesis January 2000, NTNU Doktor Ingeniøravhandling 2000:16.
- Fleten, S.-E. and Lie, T. T. (2000): "A stochastic Cournot model of the Scandinavian electricity market," *Proceedings, Annual European Energy Conference*, Bergen.
- Fleten, S.-E., Wallace, S. W. and Ziemba, W. (2002): "Hedging electricity portfolios via stochastic programming," in: C. Greengard and A. Ruszczyński, eds., *Decision-making under uncertainty: energy and power*, Springer-Verlag, New York, 71-93.
- Førsund, F. R. (1994): "Driftoptimalisering i vannkraftsystemet", SNF - rapport 29/94, SNF - Oslo.
- Hansen, P. V. (2003): "Stochastic water inflow and water disposal over time in imperfect markets," upublisert notat 1 september 2003, SSB-Oslo.

- Hogan, W. W. (1997): "A market power model with strategic interaction in electricity networks," *Energy Journal* 18(4), 107-141.
- Johnsen, T. A. (2001): "Hydropower generation and storage, transmission constraints and market power," *Utilities Policy* 10, 63-73.
- Joskow, P. L. and Kahn, E. (2002): "A quantitative analysis of pricing behavior in California's wholesale electricity market during summer 2000," *Energy Journal* 23(4), 1-35.
- Report from the Nordic competition authorities (2003): "A powerful competition policy," Report No. 1/2003
- Scott, T. J. and Read, E. G. (1996): Modelling hydro reservoir operation in a deregulated electricity market," *International Transactions in Operational Research* 3(3/4) , 243-253.
- Singh, B., T. Eldegard og J. Skaar (1999): "Storskala kraftutveksling – hovedrapport", Rapport 66/99 SNF, Bergen.
- Sweeney, J. L. (2002): "*The California electricity crisis*," Hoover Institution Press Publication No. 513.
- von der Fehr, N.-H. M. og Johnsen, T. A. (2002): "Markedsmakt i kraftforsyningen" Økonomisk Forum 4, 20-28.
- Wallace, S. W. and Fleten, S.-E. (2002): "Stochastic programming models in energy," in: A. Ruszczyński and A. Shapiro, eds., *Handbooks in Operations Research and Management Science* 10, North-Holland.

Publikasjoner fra Frischsenteret

Alle publikasjoner er tilgjengelig i Pdf-format på : www.frisch.uio.no

Rapporter

1/1999	Arbeidsledighet, arbeidsmarkedspolitikk og jobbsøking i Norge	Knut Røed, Hege Torp, Tom Erik Aabø
2/1999	Egenskaper ved tildelingsformer for nasjonale klimagasskvoter	Rolf Golombek, Michael Hoel, Snorre Kverndokk, Ove Wolfgang
3/1999	Regionale virkninger av økte elektrisitetspriser til kraftkrevende industri	Nils-Henrik M. von der Fehr, Trond Hjørungdal
4/1999	Bedriftsnedleggelse og klimakvoter i norsk industri	Rolf Golombek, Arvid Raknerud
5/1999	Utdanning og livsinntekt i Norge	Oddbjørn Raaum, Tom Erik Aabø, Thomas Karterud
1/2000	Hvem er de ledige? En økonometrisk analyse av arbeidsledighetens sammensetning i Norge på 1990-tallet	Morten Nordberg
2/2000	Effektivitet i pleie- og omsorgssektoren	Dag F. Edvardsen, Finn R. Førsund, Eline Aas
3/2000	Norge i liberalisert europeisk energimarked	Finn Roar Aune, Rolf Golombek, Knut Einar Rosendahl, Sverre A.C. Kittelsen
4/2000	Hvem vil og hvem får delta? Analyser av rekruttering og utvelgelse av deltakere til arbeidsmarkedstiltak i Norge på 1990-tallet	Knut Røed, Hege Torp, Irene Tuveng, Tao Zhang
5/2000	Deregulering av det vest-europeiske gassmarkedet - korttidseffekter	Rolf Golombek, Sverre A.C. Kittelsen, Ove Wolfgang
6/2000	Oversikt over litteratur om svart arbeid og skatteunndragelser	Erling Eide
7/2000	Arbeidstilbud i vedvarende gode tider	Christian Brinch
8/2000	Miljøreguleringer av norsk treforedlingsindustri	Rolf Golombek, Arent Greve, Ken Harris
1/2001	Analyse av inntektsfordeling og inntektsulikhet basert på registerdata. En kartlegging av muligheter og begrensninger	Remy Åserud

2/2001	Miljøvirkninger av norsk eksport av gass og gasskraft	Finn Roar Aune, Rolf Golombek, Sverre A.C. Kittelsen, Knut Einar Rosendahl
3/2001	De statlige høyskolene som produsenter: Ressursbruk og resultater 1994-1999	Dag Fjeld Edvardsen, Finn R. Førsum
4/2001	Ragnar Frisch's bibliography	Kåre Edvardsen
5/2001	Tidlig arbeidsledighet og marginalisering	Christer Af Geijerstad
1/2002	En studie av fattigdom basert på registerdata	Taryn Ann Galloway
2/2002	Utstøting fra arbeidsmarkedet og tiltaksapparatets rolle	Morten Nordberg, Knut Røed
3/2002	Svart arbeid fra 1980 til 2001	Tone Ognedal, Harald Goldstein, Wiljar G. Hansen, Steinar Strøm
4/2002	Yrkesdeltakelse, pensjoneringsatferd og økonomiske insentiver	Erik Hernæs, Knut Røed, Steinar Strøm
5/2002	Miljø og nytte-kostnadsanalyse. Noen prinsipelle vurderinger	Karine Nyborg
6/2002	Transboundary environmental problems and endogenous technological change. A survey with particular emphasize on the climate problem	Maria Chikalova
7/2002	Langsiktige samfunnsøkonomiske konsekvenser av kapasitetsproblemer i dekingen av kraftteterspørselen	Helge Dønnum, Rolf Golombek, Pål Føyn Jespersen, Snorre Kverndokk
1/2003	En enkel dynamisk modell for skatteunndragelse med normer og rasjonell adferd	Erling Eide
2/2003	Marginalkostnader i jernbanenettet	Øystein Børnes Daljord
3/2003	Økonomiske prinsipper for fastsettelse av priser for jernbaneinfrastruktur	Dag Morten Dalen, Nils-Henrik M. von der Fehr
4/2003	Utnyttelse av vannkraftmagasiner	Finn R. Førsum, Rolf Golombek, Michael Hoel, Sverre Kittelsen

Arbeidsnotater

1/1999	Kan markedskreftene temmes i lønnsdannelsen?	Colin Forthun
--------	---	---------------

2/1999	Inntektseffekter av utdanning i Norge – en litteraturoversikt	Oddbjørn Raaum
1/2000	Empirical Specification of the Model in "Early Retirement and Economic Incentives"	Erik Hernæs, Steinar Strøm
2/2000	Forholdene på arbeidsmarkedet, økonomiske incentiver og risikoen for å bli yrkeshemmet	Christian L. Wold Eide
3/2000	Koordinering av inntektsoppgjørene i Norge og Sverige 1961-1999	Bergljot Bjørnson Barkbu
4/2000	Insentivvirkninger av skatte- og pensjonsregler	Fredrik Haugen
5/2000	Dynamisk arbeidstilbud	Merethe Nordling
1/2001	LIBEMOD – LIBeralisation MODEL for the European Energy Markets: A Technical Description	Finn Roar Aune, Rolf Golombek, Sverre A.C. Kittelsen, Ove Wolfgang
1/2002	Forklaringer på forskjeller i effektivitet	Finn R. Førsum, Dag Fjeld Edvardsen
2/2002	Implisitte skattesatser i pensjonssystemet	Guro Engstrøm Nilsen
1/2003	AFP and OP data construction techniques	Fedor Iskhakov, Maria Kalvaraskaia

Memoranda

Serien publiseres av Sosialøkonomisk institutt, Universitetet i Oslo, i samarbeid med Frischsenteret. Listen under omfatter kun memoranda tilknyttet prosjekter på Frischsenteret. En komplett oversikt over memoranda finnes på www.sv.uio.no/sosoek/memo/.

3/1999	The Economics of Screening Programs	Steinar Strøm
7/1999	What hides behind the rate of unemployment? Micro evidence from Norway	Knut Røed, Tao Zhang
9/1999	Monte Carlo Simulations of DEA Efficiency Measures and Hypothesis Tests	Sverre A.C. Kittelsen
11/1999	Efficiency and Productivity of Norwegian Colleges	Finn R. Førsum, Kjell Ove Kalhagen
13/1999	Do subsidies to commercial R&D reduce market failures? Microeconomic evaluation studies	Tor Jakob Klette, Jarle Møen, Zvi Griliches
14/1999	Unemployment Duration in a Non-Stationary Macroeconomic Environment	Knut Røed, Tao Zhang

16/1999	The effect of schooling on earnings: The role of family background studied by a large sample of Norwegian twins	Oddbjørn Raaum, Tom Erik Aabø
17/1999	Early Retirement and Economic Incentives	Erik Hernæs, Marte Sollie, Steinar Strøm
18/1999	Fewer in Number but Harder to Employ: Incidence and Duration of Unemployment in an Economic Upswing	Erik Hernæs
19/1999	Progressiv Taxes and the Labour Market	Knut Røed, Steinar Strøm
22/1999	Inequality, Social Insurance and Redistribution	Karl Ove Moene, Michael Wallerstein
24/1999	Do Voluntary Agreements Lead to Cost Efficiency	Rolf Golombek, Espen R. Moen
25/1999	Rent Grabbing and Russia's Economic Collapse	Sheetal K. Chand and Karl Ove Moene
28/1999	The role of foreign ownership in domestic environmental regulation under asymmetric information	Jon Vislie
29/1999	Labor unions versus individualized bargaining with heterogeneous labor	Jon Strand
32/1999	Efficiency in the Provision of Municipal Nursing – and Home-Care Services: The Norwegian Experience	Espen Erlandsen, Finn R. Førsund
33/1999	Effects of Progressive Taxes under Decentralized Bargaining and Heterogeneous Labor	Jon Strand
34/1999	Reflections on Abatement Modelling	Ove Wolfgang
35/1999	Crime Induced Poverty Traps	Halvor Mehlum, Karl Ove Moene, Ragnar Torvik
36/1999	Statistical Discrimination and the Returns to Human Capital and Credentials	Christian Brinch
38/1999	Relative Unemployment Rates and Skill-Biased Technological Change	Knut Røed
2/2000	Married Men and Early Retirement Under the AFP Scheme	Ole J. Røgeberg
4/2000	Family Labor Supply when the Husband is Eligible for Early Retirement: Some Empirical Evidences	Jia Zhiyang
5/2000	Earnings Assimilation of Immigrants in Norway - A Reappraisal	Pål Longva, Oddbjørn Raaum

9/2000	Influencing bureaucratic Decisions	Nils-Henrik von der Fehr, Lone Semmingsen
13/2000	Family Labour Supply when the Husband is Eligible for Early Retirement	Erik Hernæs, Steinar Strøm
15/2000	Labour Market Transitions and Economic Incentives	Knut Røed, Tao Zhang
16/2000	Transboundary environmental problems with a mobile population: is there a need for a central policy	Michael Hoel, Perry Shapiro
19/2000	Have the Relative Employment Prospects for the Low-Skilled Deteriorated After All?	Knut Røed, Morten Nordberg
23/2000	A Note on the Weibull Distribution and Time Aggregation Bias	Knut Røed, Tao Zhang
24/2000	On The Origins of Data Envelopment Analysis	Finn R. Førsund, Nikias Sarafoglou
27/2000	Predator or Prey? Parasitic enterprises in economic development	Halvor Mehlum, Karl Ove Moene, Ragnar Torvik
31/2000	Genetic testing when there is a mix of public and private health insurance	Michael Hoel, Tor Iversen
33/2000	Competitive effort and employment determination with team production	Jon Strand
34/2000	CO2 mitigation costs and ancillary benefits in the Nordic countries, the UK and Ireland: A survey	Snorre Kverndokk, Knut Einar Rosendahl
35/2000	Tax distortions, household production and black market work	Jon Strand
36/2000	A turning point in the development of Norwegian economics - the establishment of the University Institute of Economics in 1932	Olav Bjerkholt
40/2000	Health Insurance: Treatment vs. Compensation	Geir B. Asheim, Anne Wenche Emblem, Tore Nilssen
41/2000	Private health care as a supplement to a public health system with waiting time for treatment	Michael Hoel, Erik Magnus Sæther
11/2001	Wage coordination and unemployment dynamics in Norway and Sweden	Bergljot Bjørnson Barkbu, Ragnar Nymoene, Knut Røed
12/2001	Temporary Layoffs and the Duration of Unemployment	Knut Røed, Morten Nordberg
14/2001	Liberalising the Energy Markets of Western Europe - A Computable Equilibrium Model Approach	Finn Roar Aune, Rolf Golombek, Sverre A.C.

		Kittelsen, Knut Einar Rosendahl
23/2001	Eco-Correlation in Acidification Scenarios	Ove Wolfgang
24/2001	Errors in Survey Based Quality Evaluation Variables in Efficiency Models of Primary Care Physicians	Sverre A.C. Kittelsen, Guri Galtung Kjæserud, Odd Jarle Kvamme
26/2001	Climate policies and induced technological change: Which to choose the carrot or the stick?	Snorre Kverndokk, Knut Einar Rosendahl, Tom Rutherford
30/2001	Cost-effective Abatement of Ground-level Ozone in Cities and for larger Regions: Implication of Non-monotonicity	Ove Wolfgang
33/2001	Labour Supply Effects of an Early Retirement Programme	Christian Brinch, Erik Hernæs, Steinar Strøm
34/2001	The Compensation Mechanism in the RAINS Model: The Norwegian Targets for Acidification	Finn R. Førsund, Ove Wolfgang
35/2001	International Benchmarking of Electricity Distribution Utilities	Finn R. Førsund, Dag Fjeld Edvardsen
36/2001	The neighbourhood is not what it used to be: Has there been equalisation of opportunity across families and communities in Norway?	Oddbjørn Raaum, Kjell G. Salvanes, Erik O. Sørensen
3/2002	Explaining Variations in Wage Curves: Theory and Evidence	Erling Barth, Bernt Bratsberg, Robin A. Naylor, Oddbjørn Raaum
6/2002	The Duration and Outcome of Unemployment Spells- The role of Economic Incentives	Knut Røed, Tao Zhang
7/2002	Characterization and Measurement of Duration Dependence in Hazard Rates Models	Rolf Aaberge
9/2002	Unemployment Duration, Incentives and Institutions - A Micro-Econometric Analysis Based on Scandinavian Data	Knut Røed, Peter Jensen and Anna Thoursie
10/2002	Plunder & Protections Inc.	Halvor Mehlum, Kalle Moene, Ragnar Torvik
11/2002	Battlefields and Marketplaces	Halvor Mehlum, Kalle Moene
12/2002	Do Business Cycle Conditions at the Time of Labour Market Entry Affect Future Unemployment?	Oddbjørn Raaum and Knut Røed
14/2002	Business cycles and the impact of labour market programmes	Oddbjørn Raaum, Hege Torp and Tao Zhang
15/2002	Do individual programme effects exceed the costs?	Oddbjørn Raaum, Hege Torp

	Norwegian evidence on long run effects of labour market training	and Tao Zhang
19/2002	Local Unemployment and the Earnings Assimilation of Immigrants in Norway	Erling Barth, Bernt Bratsberg and Oddbjørn Raaum
20/2002	Local Unemployment and the Relative Wages of Immigrants: Evidence from the Current Population Surveys	Erling Barth, Bernt Bratsberg and Oddbjørn Raaum
26/2002	At Last! An Explicit Solution for the Ramsey Saddle Path	Halvor Mehlum
28/2002	Public-good valuation and intrafamily allocation	Jon Strand
29/2002	Institutions and the resource curse	Halvor Mehlum, Kalle Moene, Ragnar Torvik
3/2003	Optimal Provision of Public Goods with Rank Dependent Expected Utility	Erling Eide
7/2003	Assimilation Effects on Poverty Among Immigrants in Norway	Taryn Ann Galloway, Rolf Aaberg
9/2003	How Tight is the Labour Market? A Micro-Based Macro Indicator	Simen Gaure, Knut Røed
10/2003	Retirement in Italy and Norway	Ugo Colombino, Erik Hernæs, Zhiyang Jia, Steinar Strøm
13/2003	The Effect of Programme Participation on the Transition Rate from Unemployment to Employment	Knut Røed, Oddbjørn Raaum



Frischsenteret

Stiftelsen Frischsenteret for samfunnsøkonomisk forskning er en uavhengig stiftelse opprettet av Universitetet i Oslo. Frischsenteret utfører samfunnsøkonomisk forskning i samarbeid med Sosialøkonomisk institutt ved Universitetet i Oslo. Forskningsprosjektene er i hovedsak finansiert av Norges forskningsråd, departementer og internasjonale organisasjoner. De fleste prosjektene utføres i samarbeid mellom Frischsenteret og forskere ved andre norske og utenlandske forskningsinstitusjoner.

Frischsenteret
Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Tlf: 22958810
Fax: 22958825
frisch@frisch.uio.no
www.frisch.uio.no