

# Interne notater

STATISTISK SENTRALBYRÅ

84/7

7. mars 1984

## OPTIMAL UTVINNING AV OLJE

av

Rolf Golombek

### INNHold

	Side
1. Innledning .....	1
2. Optimal utvinning av olje: Bakgrunn og problemstillinger .....	1
3. En omtale av noen analyser i ressursøkonomi .....	2
4. Presentasjon av to modeller .....	7
4.1. Noen synspunkter på hvilke forhold som bør inngå i en analyse av optimal utvinning av olje .....	7
4.2. Modell 1 .....	11
4.3. Modell 2 .....	14
4.4. MSG-modellen .....	20
5. Presentasjon og drøfting av resultatene .....	22
5.1. Innledning .....	22
5.2. Et eksempel på bruk av optimal kontrollteori .....	22
5.3. De numeriske resultatene .....	27

Vedlegg

23 tabeller

## 1. INNLEDNING

Dette notatet er en del av dokumentasjonen av Statistisk Sentralbyrås oljeøkonomiprojekt. Formålet med oljeøkonomiprojektet er å styrke modellapparatet som brukes i økonomisk planlegging med sikte på å gi en god beskrivelse av oljesektoren og dens samspill med resten av økonomien. Oljesektoren har fått en sentral plass i norsk økonomi i løpet av det siste tiåret, og dens betydning for den økonomiske utvikling i Norge vil bli omfattende og langvarig. Kriterier for optimal utvinning av olje- og gassreservene og optimale anvendelse av petroleumsinntektene står sentralt i denne forbindelse. Formålet med dette notatet er å gi en oversikt over en enkel optimaliseringsmodell som har blitt benyttet til eksperimentelle beregninger ved hjelp av programpakken CONOPT. De beregningsmessige vanskeligheter i bruken av optimal kontrollteori medfører at modellene må være forholdsvis enkle og aggregerte. Likevel vil innsikten som en slik analyse gir være nyttig ved vurderingen av beregninger utført på de større planleggingsmodellene.

Dette arbeidet er Rolf Golombeks spesialoppgave til Sosialøkonomisk embetseksamen.

## 2. OPTIMAL UTVINNING AV OLJE: BAKGRUNN OG PROBLEMSTILLINGER

Vi skal i dette arbeidet finne en optimal utvinningsprofil av olje. Med optimal utvinningsprofil skal vi mene den av alle mulige utvinningsprofiler som maksimerer en samfunnets velferdsfunksjon for gitte beskrankninger av teknisk og institusjonell karakter. Et sentralt poeng er forståelsen av at de norske olje- og gassforekomstene representerer en formue-naturkapital. En optimal utvinningsprofil av olje må nemlig være knyttet til samfunnets plassering av ressurser mellom slike formuestyper, dvs. til marginalavkastningen på de enkelte spareformer.

Store deler av litteraturen om optimale utvinningsprofiler er konsentrert om mer tekniske utledninger. Modelldrøfting ofres liten plass, og empiriske eksempler er beskjedent representert. I dette arbeidet vil vi ha en stikk motsatt vektfordeling. Modellpresentasjonene vil være relativt grundige. Numeriske utviklingsbaner for endogene variable blir funnet og kommentert. Tekniske utledninger vil komme sterkt i bakgrunnen. Årsaken til dette ligger bl.a. i det forhold at bruk av optimal kontrollteori selv på små modeller lett vil gi svært kompliserte matematiske problemer. Rett nok er det langt fra umulig å finne enkelte kvalitative egenskaper ved optimalløsningen, men skal problemet løses i sin helhet ved at også sluttbetingelser trekkes inn, øker problemets kompleksitet drastisk.

Arbeidet som her presenteres er i sitt utgangspunkt mer orientert i teoretisk enn i "praktisk" retning. Med dette menes at vi primært søker å kartlegge dimensjoner av den potensielle velferdsgevinst som oppdagingen av en ressursbeholdning representerer. Viktige reelle institusjonelle forhold vil derfor bli sett bort fra. Imidlertid har vi analysert virkninger av det å ha full separasjon mellom konsum- og produksjonsbeslutninger. Dette betyr at vi åpner muligheten for eksistensen av store positive (eventuelt negative) nettofordringer på utlandet i begynnelsen av planleggingsperioden. I følge Tempoutvalgets innstilling (NOU 1983:27) er dette ikke politisk mulig. Med basis i noe som vel kan karakteriseres som sterk mistillit til rasjonaliteten av vårt politiske system, foreslår nemlig Tempoutvalget etablering av et fond som skal påse at oljeinntektene tilføres norsk økonomi i et jevnt tempo, samtidig som kun små avvik over tid mellom inntektene fra oljeutvinning og innenlandsk bruk av oljepenger tillates.

Tempoutvalgets innstilling inneholder ingen synspunkter på valg av utvinningsprofil. Dette fordi utvalgets mandat gikk på et helt annet område, nemlig utredning av viktige makroøkonomiske virkninger og sammenhenger i forholdet mellom oljevirkksomheten og resten av økonomien. Generelt er spørsmålet om valg av utvinningsprofil drøftet i svært beskjeden grad i offentlige utredninger og stortingsmeldinger. Den politiske diskusjonen om valg av produksjonsnivå, og de beslutninger som faktisk har blitt gjort på dette området, har til nå vært løst knyttet til makroøkonomiske betraktninger. Nedsettelsen av Tempoutvalget kan vel bl.a. betraktes ut fra denne erkjennelsen. Et positivt trekk ved vårt arbeid er nettopp behandlingen av oljetempoet i en makroøkonomisk kontekst.

Modellene som vil bli presentert er av deterministisk karakter. Alle former for usikkerhet er (formelt) neglisjert. En mulighet for på en noe ad-hoc preget måte å ta hensyn til usikkerhet, er å undersøke virkningen av flere alternativer for usikre størrelser som oljepris og oljebeholdning. På denne måten får en kartlagt dimensjonene i usikkerheten. Dette er imidlertid langt fra fullgodt, siden selve spørsmålet om tilpasning under usikkerhet er ubesvart. Vår utelatelse av en mer grundig behandling av usikkerhet skyldes bl.a. at et dataprogram for stokastisk optimeringsteori ikke var tilgjengelig.

Ved en formell analyse av optimal utvinning av olje er det helt avgjørende å konsentrere behandlingen om visse aspekter ved problemet. En analyse som søker å ta vare på alle relevante forhold vil det neppe komme noe konkret ut av. Forhold som åpenbart har betydning for valg utvinningsprofil som forurensninger, arbeidsulykker på plattformer, distriktspolitiske virkninger osv. må derfor tas hensyn til ved separate analyser.

### 3. EN OMTALE AV NOEN ANALYSER I RESSURSØKONOMI

Allerede i begynnelsen av forrige århundre ble utnyttning av naturressurser studert. Spesielt kjente bidrag ble levert av Malthus og Ricardo. Mens Malthus forutsatte at naturressursene hadde homogen kvalitet og at tilgangen var gitt, antok Ricardo ubegrenset tilgang på naturressurser og differensiert kvalitet. To andre tidligere bidrag kommer fra Gray (1914) og Hotelling (1931). Spesielt Hotellings artikkel må sies å ha blitt en klassiker innen ressursøkonomien.

Utgangspunktet hos Hotelling er å undersøke tilpasningen for produsenter som utvinner en ikke-fornybar ressurs (videre betegnet olje). Utvinningen er kjennetegnet ved konstante enhetskostnader. Produsentene maksimerer neddiskontert profitt, og er prisfaste kvantumstilpassere. Alle fremtidspriser forutsettes kjente (intertemporal likevekt), og etterspørselsfunksjonen etter olje antas å være konstant over tid. I enhver tidsperiode kan produsentene utvinne olje, og plassere inntekten i et prosjekt som gir avkastningen  $r$ . Alternativt kan oljeutvinningen utsettes. Dette vil gi en kapitalgevinst så lenge ressursprisen stiger. Det skulle derfor være klart at en nødvendig betingelse for å sikre markedslikevekt i alle perioder må være at de to sparealternativene kaster like mye av seg, dvs. nettoprisen må stige med en rate lik den eksogent gitte renten  $r$ . Da og kun da vil produsentene være indifferente med hensyn til når utvinning finner sted. Hvis ikke ressursprisen stiger med en rate lik renten, vil hele ressursmengden bli utvunnet i løpet av en periode. I en økonomi som oppfyller de ovenfor nevnte forutsetningene, og der etterspørselen er lik null for en endelig høy pris på ressursen, vil vi ha markedsklarering i alle perioder. Videre vil ressursen få en endelig levetid. Produsert kvantum vil avta over tid, og nettoprisen vil vokse eksponensielt med en rate lik realrenten. (Dette kalles ofte i litteraturen Hotelling-regelen). Endelig kan det vises at den intertemporale likevekten som vil bli generert, som er en frikonkurranseløsning, er Pareto-optimal forutsatt at ingen eksterne effekter forekommer.

Et tilsvarende analyseopplegg som det ovenfor skisserte kan benyttes til å analysere tilpasningen til en oljeproduserende monopolist. Monopolisten maksimerer neddiskontert profitt, gitt en fallende etterspørselskurve med en endelig kvelningspris. Det kan nå vises at en får en litt modifisert versjon av Hotelling-regelen i frikonkurransetilfellet. Grenseinntekten skal vokse eksponensielt med en rate lik realrenten. Denne versjonen av Hotelling-regelen gir betingelsen for markedslikevekt i enhver tidsperiode samtidig som neddiskontert profitt er maksimert. Monopolistens produserte kvantum vil bli bestemt innenfor modellen siden det jo kun er monopolisten som forsyner hele markedet. I frikonkurransøkonomien ble også totalt produsert kvantum i hver periode bestemt, men her var utvinningen fra den enkelte produsent i hver tidsperiode ubestemt.

Ved sammenlikning av produsert kvantum og markedspriser under de to alternative markedsformene frikonkurrans og monopol, ved samme initiale ressursmengde og når samme etterspørselskurve etter ressursen gjelder, vil prisleksibilitetfleksibiliteten spille en avgjørende rolle. Hvis etterspørselskurven er konkav i hele sitt forløp, kan det vises at frikonkurransprisen vil vokse raskere enn prisen under monopol. Dette må videre bety at utvinningsperioden er lengst under monopol. Forutsetningen

om konkav etterspørselsfunksjon kan f.eks. begrunnes med at oljeprodusentene må regne med stadig større etterspørselssvikt ved økende pris. Dette fordi økt pris gir et insitament til å utvikle alternative energikilder.

Vi vil i det følgende omtale flere arbeider som gir en mer utvidet analyse av ikke-fornybare naturressurser. Strøm (1974) er et eksempel på dette. Mens Hotellings artikkel ga en partiell analyse av en lukket økonomi, gir Strøm en mer makro-orientert analyse for en åpen økonomi. Totalt konsum består av summen av oljefinansiert konsum og kjernekonsum, der kjernekonsumets utvikling er eksogent gitt (vokser eksponensielt). All oljeproduksjon selges til en eksogen gitt pris som også øker eksponensielt over tid. Hele oljeinntekten brukes til kjøp av konsumvarer. Videre er oljebeholdningens størrelse gitt initialt, beholdningens størrelse reduseres med det utvunnede kvantum og utvinning er en ikke-reversibel prosess. Problemet er å velge en utvinningsprofil som gir maksimal neddiskontert nytte over den gitte planleggingsperioden  $T$ . Innenfor dette modellopplegget utledes så Hotellings regel for en frikonkurransøkonomi. Imidlertid er Strøms opplegg mer generelt enn Hotellings ved at naturressursen via utenrikshandel påvirker totalkonsumet og dermed nytten. Hos Hotelling skal den endogene prisen bestemmes slik at dens vekstrate blir lik den samfunnsøkonomiske kalkulasjonsrenten. Denne renten er eksogent gitt i Hotellings analyse fordi Hotelling foretar en partiell analyse - dvs. forhold i ressurssektoren påvirker ikke den øvrige økonomien. Hos Strøm er derimot kalkulasjonsrenten ikke gitt. Forhold i ressurssektoren vil nå generelt påvirke den øvrige økonomien, og dermed spesielt kalkulasjonsrenten. Det blir derfor kalkulasjonsrenten som skal tilpasses lik den eksogent gitte prisstigningen på olje for at økonomien skal bevege seg langs den optimale konsumbanen. Strøm viser videre at vekstraten for det totale konsum langs den optimale banen etter at oljeproduksjon er satt i gang, vil være positiv (negativ) hvis oljeprisens vekstrate er større (mindre) enn den subjektive neddiskonteringsraten. Videre vises det at konsumets vekstrate vil øke (avta) hvis oljeprisens vekstrate er større (mindre) enn kalkulasjonsrenten. Strøm mener selv at det mest realistiske (i 1974) er redusert vekstrate for konsumet. Imidlertid vil selvfølgelig konsumnivået i fremtiden bli høyere når oljeressursen utvinnes.

De to neste arbeidene vi skal omtale er hentet fra J. Aarrestads doktoravhandling. I Aarrestad (1978) blir det foretatt en viss utvidelse i forhold til Strøm (1974). Det nye her er at optimal sparing og ressursutnytting blir bestemt simultant og at kapitalakkumulasjon forekommer. Begrunnelsen for dette er at på den ene siden er det rimelig å tro at optimal sparerate avhenger av ressursbeholdningen i økonomien, mens det på den andre siden er naturlig å tenke seg en viss sammenheng mellom optimal utvinningstakt og flere makrostørrelser i den øvrige økonomien, f.eks. kapitalbeholdningen som hos Aarrestad er et potensiale for fremtidig konsum. Imidlertid opereres det her, som hos Strøm, med balanse på driftsregnskapet i hver periode. Dette er en forutsetning som nok betraktelig reduserer analysens generalitet. Videre innføres det også her en eksogen konsumkomponent. Begrunnelsen for denne komponenten drøftes ikke i noen særlig grad - det vises derimot til Vousden (1973) som ifølge Aarrestad var den første som innførte en slik komponent ved å se på den som "a convenient simplification of the relevance of the rest of the economy to the resource-use decision". La oss nå se litt nærmere på denne analysen. Nettoutbytte per capita fra oljeproduksjonen er oljeproduksjonens størrelse multiplisert med den eksogent gitte oljeprisen fratrukket utvinningskostnadene (merk at i begge Aarrestads modeller regnes det i per capita enheter). Utvinningskostnadene er en konveks funksjon av utvunnet olje. Oljeprisen er gitt i forhold til prisen på andre varer på verdensmarkedet. Den innenlandske produksjon pr. capita, som avhenger av kapitalbeholdningen pr. capita, sammen med nettoutbyttet fra oljesektoren, gir samlet innenlandsk produksjon. En andel av samlet innenlandsk produksjon går til konsum. Denne konsumkomponenten sammen med den eksogene konsumkomponenten gir samlet konsum pr. capita. Den andelen av samlet innenlandsk produksjon som ikke går til konsum (gjennomsnittlig sparerate) fratrukket reduksjonen i kapitalbeholdningen pr. capita som skyldes depresiering og befolkningsvekst, gir kapitaløkningen pr. capita. Dette betyr at ressursutvinningen gir grunnlag for kapitaløkning og konsumøkning - hos Strøm og Vousden er bare den siste muligheten til stede. Beholdningen av olje pr. capita blir redusert med utvinningen pr. capita. I tillegg reduseres ressursbeholdningen pr. capita grunnet befolkningsvekst. Videre forutsettes at oljeutvinning er en ikke-reversibel prosess, og at det fins en

øvre skranke for utvinning pr. tidsenhet. Initialbeholdningen av olje og kapital er gitt, og det kreves ikke-negativ sluttbeholdning av olje. Endelig forutsettes det at spareraten ligger i intervallet null til en - begge grensene inkludert. Vi vil nå svært kortfattet gjengi Aarrestads resultater. Følgende variable finnes i analysen:

- $\Pi$  - nettoutbytte fra oljesektoren
- $v$  - utvinning av olje
- $f(k)$  - produksjon pr. capita
- $d$  - kapitalslit
- $k^*$  - optimal steady-state kapitalintensitet

Det kan nå vises at ved konstant oljepris er

$$\dot{v} = (\Pi'/\Pi'')(f'-d). \quad \Pi' > 0, \quad \Pi'' < 0$$

Vi definerer:  $k = \hat{k}$  der  $f'(\hat{k}) = d$ ,  $\hat{k} > k^*$

På grunnlag av dette kan vi sette opp følgende tabell

$k < k^*$	Positiv kapitalakkumulasjon pr. cap.	Fall i utvinningstakten
$k = k^*$	Steady-state	"
$k^* < k < \hat{k}$	Kontraktiv økonomi	"
$k = \hat{k}$	" "	Konstant utviklingstakt
$k > \hat{k}$	" "	Økende utviklingstakt

Det mest rimelige er vel å tenke seg en økonomi under steady-state. Vi ser da at oljeutvinningen skal avta over tid. Det kan vises at for enhver initial kapitalbeholdning fins det en optimal bane frem til steady-state situasjonen. Det at utvinningstakten skal avta over tid minner sterkt om Hotellings regel. Dette blir ytterligere styrket når Aarrestad viser at ved eksponensielt økende oljepris vil i alle fall utvinningstakten falle saktere - det er faktisk mulig at det optimale for landet vil være å vente en viss tid med oljeutvinning. Imidlertid foretar ikke Aarrestad en sammenlikning mellom sine resultater og Hotellings modell, noe som vel hadde vært naturlig. I artikkelen vises det videre at optimal sparerate faller og samlet sparing øker når oljeutvinning finner sted. Konsumet vil ved oljeutvinning få et positivt skift initialt.

I Aarrestad (1979) studeres en modell som har mange likhetspunkter med Aarrestad (1978). Det prinsipielt nye her er muligheten for nettofinansinvesteringer, dvs. ubalanse på driftsregnskapet. Konsumet består igjen av en eksogen komponent og en oljefinansiert komponent (enten direkte ved salg av olje eller indirekte ved bruk av nettofinansinntekter som skriver seg fra tidligere oljesalg). Salg av olje sammen med renter på utenlandsk finanskapital (kan være negativ), korrigert for reduksjon i finanskapital pr. capita som skyldes befolkningsvekst, kan brukes til kjøp av konsumvarer og nettofinansinvesteringer. Det forutsettes at hvis nettofinansinvesteringene er negative, dvs. landet øker sin utenlandsgjeld, så fins det en øvre skranke for denne aktiviteten. Som i forrige modell er det en øvre grense for utvinningstakten pr. tidsenhet. Nettoprisen på olje og prisen på det oljefinansierte konsumet vokser eksponensielt. Det samme gjør den eksogene konsumkomponenten. Dette betyr at det regnes i nominelle kroner slik at Aarrestad har en skranke på nominell opplåning. Siden prisen på konsumvaren øker over tid, betyr dette at fremtidig realverdi av skranken reduseres (i Aarrestad (1978b) er dette endret til en grense for reell opplåning). I det hele tatt kan det reises spørsmål om hvorfor det regnes i nominelle verdier når oljeprisen, konsumvareprisen og renten på verdensmarkedet er gitt. En mer naturlig løsning ville være å velge konsumgodet som regnskapsenhet. Et annet problem ligger i hvordan en skal tolke den eksogene konsumkomponenten. Aarrestad gir selv ikke noe bidrag på dette punktet. La oss imidlertid komme med noen betraktninger om dette spørsmålet. Som det skulle fremgå av modellpresentasjonen forekommer ikke fastlands-Norge eksplisitt i analysen - f.eks. inngår det ikke eksplisitt realkapital i modellen. Det kunne derfor være naturlig nettopp å tenke seg en sammenheng mellom fastlands-Norge og den eksogene konsumkomponenten. En mulighet kunne være at produksjon minus

investeringer i fastlands-Norge utgjorde den eksogene konsumkomponenten. Et problem innenfor Aarrestads modell blir da at hans betingelse om ikke-negativt oljefinansiert konsum blir kunstig. Mer naturlig vil det være å kreve at totalkonsumet pr. capita er ikke-negativt. En annen mulighet er å tenke seg at i fastlands-Norge foregår det en voldsom investeringsaktivitet. Begrunnelsen for dette kan være at myndighetene ønsker å bygge opp en stor kapitalbeholdning som skal være potensialet for det fremtidige konsumet når oljebeholdningen er uttømt. Den eksogene konsumkomponenten i Aarrestads modell kan vel da tolkes som et sosialt bestemt subsistenskonsum.

Problemstillingen i artikkelen er å finne den utvinningsprofil og bane for nettofinansinvesteringene som over en gitt planleggingsperiode maksimerer konsum pr. capita. Ved planleggingsperiodens slutt kreves det ikke-negativ oljebeholdning og utenlandsgjeld. Vi skal i det følgende svært kortfattet gjengi Aarrestads hovedresultater. Når opplåningssskranken ikke er effektiv, og den prosentvise veksten i ressursprisen er større enn den eksogent gitte internasjonale nominelle renten, vil det frem til et bestemt tidspunkt i planleggingsperioden ikke forekomme noe utvinning. I resten av planleggingsperioden vil oljeutvinningen være maksimal. Helt motsatt tidsprofil for utvinningen fås hvis den prosentvise veksten i ressursprisen er lavere enn den nominelle renten. I begge disse tilfellene vil konsumet øke (avta) langs den optimale banen hvis realrenten, dvs. den nominelle renten minus konsumprisens prosentvise vekstrate, er større (mindre) enn den subjektive neddiskonteringsfaktoren og den prosentvise befolkningsveksten. I det første tilfellet vil landet låne "penger" i utlandet i den første delen av planleggingsperioden. Landets nettogjeld vil derfor stige i begynnelsen av planleggingsperioden. I den andre delen av planleggingsperioden, dvs. når oljeutvinning finner sted, reduseres landets nettogjeld gradvis ned mot null. I det andre tilfellet fås helt motsatt utviklingsforløp, dvs. landet får nettofordringer på utlandet i den første delen av planleggingsperioden. Denne finansformen reduseres så gradvis i den neste perioden. Hvis opplåningssskranken er bindende, blir utvinningsprofilen for olje ubestemt. Spesielt er det mulig at det kan bli generert en utvinningsprofil med stigende utvinningstakt. Konsumet langs den optimale banen vil øke (falle) hvis realpriser på olje er større (mindre) enn den subjektive neddiskonteringsfaktoren og den prosentvise befolkningsøkningen.

Konklusjonene fra Aarrestad (1979) kan kanskje virke noe dramatiske. For å undersøke nærmere om det er modellvalg, og ikke muligheten for ubalanse i driftsregnskapet, som ligger bak dette, vil vi presentere et annet arbeid som også åpner for muligheten til å separere mellom konsumutviklingen og utvinningsprofilen.

I en allerede klassisk artikkel skrevet av Dasgupta, Eastwood and Heal (DEH) (1978) analyseres en økonomi som rår over to varer, nemlig olje og en numeraire vare. Den siste varen, som kan produseres innenlands, kan anvendes til konsum, den kan brukes som realkapital og den kan plasseres i utlandet. Det antas at landet er prisfast kvantumstilpasser på oljemarkedet, og kan låne ubegrenset på verdensmarkedet til en gitt realrente. Befolkningsvekst forekommer ikke. Endringen i oljebeholdningen er lik utvunnet kvantum som kan eksporteres eller brukes innenlandsk til produksjon av makrovaren. Total innenlands ressurstilgang på et tidspunkt er lik summen av innenlandsk produksjon, nettofinansinntekten og eksportinntekten fra oljesalget. Hvis total tilgang er større enn den ressursmengden som anvendes til konsum, øker landet sin formue. Dette kan skje enten i form av økt realkapitalbeholdning eller ved at landet øker sin utenlandsformue. Det kreves en ikke-negativ sluttverdi for oljebeholdning og netto fordringer på utlandet, og utvinningskostnader i oljesektoren ses bort fra. Landet har altså tre typer formue, nemlig naturformue (ikke utvunnet olje), realkapital og utenlandsk finanskapital (fordringer på utlandet). Det kan nå vises at for at neddiskontert konsum skal bli maksimert må landet tilpasse seg slik at på marginalen for en den samme avkastning fra hver type formue. La oss se litt nærmere på dette. På marginalen skal eksport og innenlandsk bruk av olje kaste like mye av seg, dvs. landet må tilpasse seg slik at grenseproduktiviteten av innenlandsk bruk av olje er lik oljeprisen. Tilsvarende gjelder for realkapitalen. På marginalen skal avkastningen på bruk av realkapital i innenlandsk produksjon være lik avkastningen på fordringer i utlandet, dvs. grenseproduktiviteten av kapital skal være lik den eksogent gitte realrenten. Endelig skal den marginale avkastning på fordringer i utlandet være lik den marginale avkastning av realkapital som igjen skal være lik den marginale avkastning av å spare i naturformue. Spørsmålet blir så hva dette beytr for oljeutvinningen. I den

skisserte modellen er både realrenten og realprisen på olje gitt eksogent. Det er derfor helt tilfeldig hvordan forholdet mellom disse to størrelsene blir, men hvis det er slik at oljeprisen på verdensmarkedet vokser med en rate lik realrenten, så er det optimale for landet å ha positiv oljeproduksjon i alle perioder. Hvis derimot vekstraten for oljeprisen er forskjellig fra realrenten, blir et helt annet utviklingsforløp optimalt. Hvis oljeprisen vokser raskere enn realrenten, vil det optimale være å utsette oljeutvinningen og å låne i utlandet. Denne gjelden blir tilbakebetalt i siste periode. All oljeproduksjon bør nemlig foregå i denne perioden. Hvis derimot realrenten er større enn vekstraten til oljeprisen, blir optimal strategi å utvinne hele oljebeholdningen så fort som mulig.

Det er flere viktige konklusjoner som nå kan trekkes. En viktig observasjon er at hverken nyttefunksjonens form eller den subjektive neddiskonteringsraten påvirker innenlandsk produksjon. Tilsvarende gjelder for oljeutvinningen. Dette står i skarp kontrast til Strøm (1974), og skulle vise hvilken enorm betydning det har å anta at landet kan låne så mye det vil i utlandet til en gitt rente, dvs. det er mulig med en fullstendig separasjon mellom konsumbeslutningen og beslutningen om oljeproduksjon og oljeeksport. Det skulle videre være helt klart at Aarrestads (1979) konklusjoner for oljeutvinningsprofilen når låneskranken ikke er bindende, finner vi igjen hos DEH. En annen likhet mellom disse to artiklene gjelder konsumets vekstrate. Hos Aarrestad var det mulig at konsument ville avta langs den optimale banen. Tilsvarende gjelder for konsument langs den optimale banen hos DEH. I begge disse artiklene kan det vises at vekstraten til konsument blir lik realrenten minus diskonteringsfaktoren og befolkningens vekstrate delt på grensenyttefleksibiliteten regnet negativt. Dette er den samme optimale konsumbanen som den en finner i enkle modeller for optimal vekstteori uten naturressurser og uten-rikshandel.

Vi vil til slutt i dette kapitlet presentere et arbeid med en litt annen tilnærming til spørsmålet om optimal utvinning av olje enn de ovennevnte analysene. Arbeidet er utført av Motamen (Motamen (1982a), Motamen (1982b)). Tankegangen her er først å lage en makroøkonomisk modell med endogene-, eksogene- og kontrollvariable. For et gitt sett av verdier på kontrollvariablene, genereres det bestemte baner til alle de endogene variable. Ved å endre banene til kontrollvariablene, genereres det andre baner for de endogene variable. Innføring av en samfunnets velferdsfunksjon gjør det mulig å rankere mellom alternative baner til de endogene variable. Problemet består i å finne de banene til kontrollvariablene som genererer de banene til de endogene variable som maksimerer samfunnets velferdsfunksjon.

Motamens makromodell består av 16 relasjoner. Vi skal ikke her gjengi modellen i detalj (for dette se Motamens artikkel eller Golombek (1983)), men svært kortfattet beskrive hovedstrukturen, samt komme med noen merknader. Modellen inneholder en makroproduktfunksjon og en makrokonsumfunksjon. Argumenter i makrokonsumfunksjonen er verdiskapningen i den innenlandske produksjonssektoren til faktorkostnader og nettofinansinntekt. Videre fins det rene definisjonslikninger for oljebeholdning, nettofinansinvesteringer og realinvesteringer. Nettofinansinntekten avhenger av landets fordringer på utlandet. Eksport av den innenlands produserte varen er omvendt proporsjonal med valutakursen (dollar pr. pund), og valutakursen avhenger positivt av oljeproduksjonen. I tillegg til eksport av makrovaren eksporteres en andel av oljeproduksjonen. Ingen (nasjonale) ressurser anvendes i oljeutvinningen. Nasjonalinntekten er summen av nettoproduktet i de to produksjonssektorene og nettofinansinntekten. Det forutsettes videre at det alltid er en viss minimumsimport til stede ved produksjon og konsum. Hvis f.eks. konsument skal øke med én enhet, så må importen øke med minst x enheter. Eksogene variable hos Motamen er offentlig konsum, sysselsetting og oljeprisen. Kontrollvariable er oljeproduksjonen og realinvesteringene. Målfunksjonen er summen (over en endelig planleggingsperiode) av realinvesteringer og finansinvesteringer. Denne målfunksjonen kan synes noe merkelig - det gjelder altså å oppnå en så stor som mulig formue i løpet av den tiden oljeutvinning finner sted. I Motamen (1982b) finner vi nemlig utsagnet: "how can the oil revenue be recycled into a non-replenishable resource by the time the oil resource is exhausted". Enda merkeligere blir det hele når Motamen påstår at argumentene i målfunksjonen kan byttes ut med aggregert konsum eller nasjonalinntekten. Det å maksimere samlet konsum (uten noen sluttbetingelser) og det å maksimere samlet sluttformue skal altså være ekvivalent. Hvis så er tilfelle, må det være tillatt å stille et spørsmålstegn ved selve formuleringen av makromodellen. Et annet problem som vi allerede implisitt har nevnt er at i alle fall makrokonsumet består både av

olje og den innenlands produserte varen. Grunnen til dette er at det ikke spesifiseres hva den delen av oljeproduksjonen som ikke eksporteres blir anvendt til. Eksplisitte etterspørselsrelasjoner innenlands etter olje fins ihvertfall ikke. Et tredje problem gjelder importen. Selv om ideen om minimumsimport er grei nok, er selve den matematiske utformingen av dette hos Motomen ikke helt overbevisende. Forutsetningen om en minimumsimport har stor betydning for utviklingsforløpet til flere av modellens endogene variable. I Motamen (1982a) er nemlig baner for alle endogene variable og kontrollvariable funnet. Mens de fleste variable har en jevnt stigende utviklingsbane, er forholdet et annet for oljeproduksjonen. Her fås det en bane som først er bratt stigende, så tilsvarende bratt fallende, og til slutt flater ut. Spesielt skal altså landet ha en positiv oljeproduksjon i alle perioder, noe som vi har sett generelt ikke var tilfelle hos Aarrestad (1979) og DEH (1978). I Motamen (1982b) er kvalitative egenskaper til optimeringsproblemet funnet. Her vises det at når minimumsimportbetingelsen ikke er bindende, skal avkastningen på innenlandske investeringer være lavere enn vekstraten til ressursprisen. Dette gir oss en modifisert versjon av Hotellings regel - utvinningstakten skal være lavere enn det Hotellings regel for en frikonkurransøkonomi tilsier.

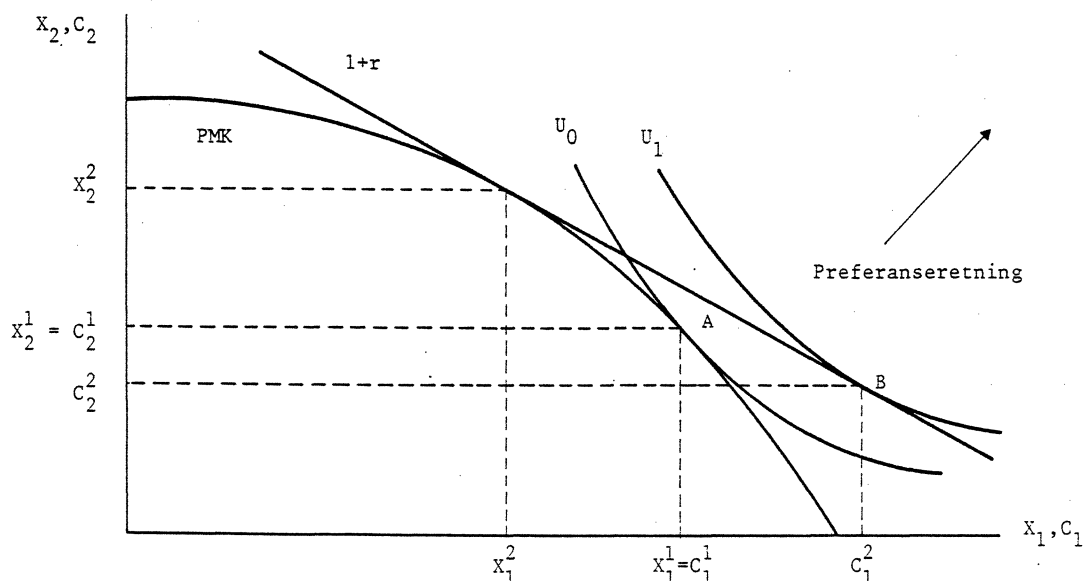
#### 4. PRESENTASJON AV TO MODELLER

##### 4.1. Noen synspunkter på hvilke forhold som bør inngå i en analyse av optimal utvinning av olje

I forrige kapittel ga vi en oversikt over flere studier om ressursutvinning, både på mikro- og makroplanet. Med utgangspunkt i denne oversikten, samt noen kritiske kommentarer som ble gitt, vil vi nå drøfte nærmere hvilke prinsipielle forhold som bør være med i en analyse av optimal utvinning av olje. I de to neste avsnittene skal vi så presentere to modeller som bygger på synspunktene fra dette avsnittet.

Det første vi vil drøfte noe nærmere er spørsmålet om hvordan utenriksøkonomien skal komme inn. Det at vi skal operere med en åpen økonomi skulle være greit nok. Spørsmålet er om en skal kreve balanse på driftsregnskapet i hver periode eller ikke. I vår litteraturoversikt ga Strøm (1974) og Aarrestad (1978) eksempler på analyser der balanse i hver periode ble krevd, mens DEH (1978), Aarrestad (1979) og Motamen (1982) var eksempler på det motsatte. Grønn (1983), som behandler virkninger av oljeinntektene innenfor en statisk likevektsmodell, er et eksempel på den første gruppen. Som vi allerede har nevnt vil det å tillate ubalanse på driftregnskapet innebære at konsum- og produksjonsbeslutningene separeres.

Figur 1.





La oss se litt nærmere på dette. Vi betrakter en økonomi i to påfølgende perioder. Økonomien har initialt en gitt mengde av en lagerressurs som skal brukes opp til produksjon i løpet av de to periodene. Produksjon og konsum i periode  $i$  betegnes hhv.  $X_i$  og  $C_i$ . For å få fram poenget på enklest mulig måte tenker vi oss at det produseres et makro gode som benyttes til konsum. Investeringer forekommer ikke. Økonomiens produksjonsmuligheter i de to periodene er begrenset av de to aksene og kurven merket PMK (produksjonsmulighetskurven) i fig. 1. Ved effisient tilpasning i produksjonssektoren realiseres et punkt på PMK. Vi innfører så en samfunnets velferdsfunksjon  $U = U(C_1, C_2)$ . Kurvene merket  $U_0$  og  $U_1$  i figur 1 er isovelferdslinjer. Hvis landet ikke kan drive handel, vil punktet A representere optimal tilpasning. Produksjon og konsum i hver periode må nå være like store. Anta nå at det åpnes for muligheten til å drive handel. Landet kan nå importere eller eksportere sin makro vare i periode 1. Hvis landet eksporterer noe av sin produksjon, vil dette gi en eksportinntekt. Denne eksportinntekten kan så plasseres i utenlandske verdipapirer til den gitte realrenten  $r$ . I neste periode har derfor landet økt sin utenlandsformue. Hvis vi nå antar at prisen på makrovaren på verdensmarkedet er den samme i de to periodene, og at landet ikke ønsker å sitte med fordringer på utlandet ved utgangen av periode 2, vil konsumet i periode 2 bestå av to komponenter. I tillegg til den innenlandske produksjonen importeres det nå en mengde av makrovaren som i verdi tilsvarer landets fordringer på utlandet. Tilsvarende resonnement gjelder selvsagt når landet i første periode importerer makrovaren. I figur 1 er det denne situasjonen som er illustrert. Optimal tilpasning for landet er punktet B. Den rette linjen med stigningstallet  $1+r$  representere byttebetingelsen overfor utlandet. I periode 1 produseres det mengden

$X_1^2$  og konsumeres mengden  $C_1^2$ . Dette må bety at landet importerer  $C_1^2 - X_1^2$ . I neste periode produseres  $X_2^2$ . Imidlertid kan ikke landet disponere hele denne ressursmengden til konsum. I periode 1 påførte landet seg en gjeld lik  $C_1^2 - X_1^2$ , som i periode 2 har vokst til  $(C_1^2 - X_1^2)(1+r)$ . Denne gjelden må nå tilbakebetales. Konsumet i periode 2 må derfor bli  $X_2^2 + (1+r)(X_1^2 - C_1^2)$ . Vi kan konkludere at når vi

åpner for muligheten til utenrikshandel, og ikke krever balanse på driftsregnskapet i hver periode, separeres konsum og produksjonsbeslutningene.

I resonnementet ovenfor antok vi at renten på verdensmarkedet var gitt, og at det ikke var skranker tilstede på utenlandsopplåningen. Aarrestad har gjennomført flere analyser der det opereres med en skranke på utenlandsopplåningen. I disse analysene er skranken konstant over tid. Minst like rimelig ville det være hvis skranken var avhengig av økonomiske forhold. Mer konkret kunne en tenke seg at landets kredittverdighet er avhengig av forventet oljeprisutvikling og oljebeholdning. En annen mulighet kunne være at faktisk utenlandsgjeld påvirker utlånsskranken, f.eks. ved at land med positive netto fordringer på utlandet (og eventuelt land med meget stor nettogjeld) står overfor mindre stramme utlånsskranker enn et land med allerede stor nettogjeld. Videre er det også mulig at lånerenten på verdensmarkedet ikke er gitt, men avhenger av interne økonomiske forhold i landet. Lånerenten kunne f.eks. være lavere jo større finansformue landet har, og jo lavere oljeutvinningstakt som blir gjennomført. En begrunnelse for sistnevnte funksjonsforhold kan være at for en stor oljeeksportør vil oljeutvinningstakten påvirke oljeprisen som igjen påvirker renten på verdensmarkedet. Hoel (1980) er et eksempel på en analyse av optimal ressursutvinning når verdensmarkedsrenten ikke er gitt (imperfekt internasjonalt kapitalmarked). For Norge er det lite rimelig å tenke seg eksistensen av et funksjonsforhold mellom renten på verdensmarkedet og den norske oljeproduksjonen - til det utgjør norsk oljeproduksjon en for liten andel av verdensproduksjonen. Selvom en allikevel godt kan tenke seg at interne økonomiske forhold er av betydning for Norges utenlandsopplåning (både størrelsen av lånene

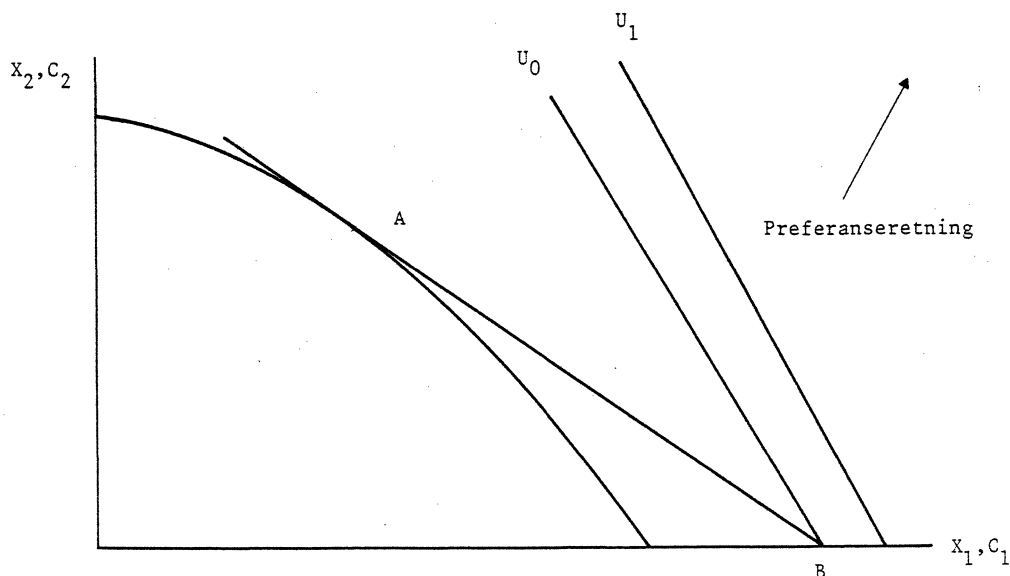
og lånebetingelsene), er det vanskelig å gi gode spesifikasjoner av dette i et empirisk arbeid. En enner lett med å ty til løsninger av aller enkleste type, f.eks. gitt og konstant realskranke på utenlandsopplåningen. Vi skal derfor i vår analyse anta at realrenten på verdensmarkedet er eksogent gitt, og at det ikke eksisterer skranke på utenlandsopplåningen. Videre vil vi undersøke hvordan eksplisitte krav til finansformuen ved planleggingsperiodens slutt påvirker analyseresultatene. Som et spesialtilfelle kan en se på tilfellet med balanse på driftsregnskapet i hver periode. En begrunnelse for at en slik økonomisk politikk faktisk kan bli ført, kan være eksistensen av politiske skranke. Med det mener vi at selv om rene økonomiske forhold tilsier plassering av kapital i utlandet over et lengre tidsrom, så er dette ikke mulig å gjennomføre politisk. En bakenforliggende årsak til dette kan være eksistensen av og tilpasning til usikkerheten. Aktørene i landet vet f.eks. ikke om oljeinntekter som plasseres i utlandet noen gang vil komme dem til gode i form av økt konsum. Tilsvarende kan det være liten vilje til å oppta lån i utlandet - svikter inntektene fra oljesektoren kan dette få store negative følger for det innenlandske konsumet. Imidlertid må det til en meget stor grad av risikoversjon for at en slik strategi skal være rimelig god. Observasjoner viser imidlertid at en slik strategi kan ligge ganske nær faktisk økonomisk politikk. Tempoutvalgets innstilling føyer seg inn i denne tradisjonen.

Det neste forholdet vi vil drøfte er behandlingen av konsumet. Hos Strøm og Aarrestad bestod konsumet bl.a. av en eksogen komponent. I hvilken grad en slik eksogen konsumkomponent kan gis en brukbar tolkning i disse arbeidene varierer, men først og fremst må innføring av en slik eksogen konsumkomponent ses på som en sterk forenkling. Vi vil i våre modeller heller følge DEH og Motamen, der konsumet utelukkende består av anvendelse av økonomiske varer. I våre modeller vil det altså foregå produksjon av makrovarer, og en del av denne ressursmengden vil bli benyttet til konsum. Offentlig konsum vil være eksogent gitt i våre modeller.

Neste poeng er spørsmålet om realkapital. Siden vi skal foreta en langsiktig analyse der det produseres varer også utenfor oljesektoren, er det naturlig å ta med realkapital. Dette gjelder både for produksjon innenlands og i oljesektoren. (Oljesektoren er en meget kapitalintensiv næring. Kapitalbeholdningen utgjorde f.eks. i 1982 ca. 6 prosent av samlet kapitalbeholdning i norske produksjonssektorer).

I en empirisk analyse er det nødvendig å spesifisere nyttefunksjonens form. Motamen benyttet en lineær nyttefunksjon i real- og nettofinansinvesteringer. Hvis en opererer med en lineær nyttefunksjon i konsumet, samtidig som ubalanse på driftsregnskapet tillates, er muligheten for hjørneløsning så avgjort til stede. I figur 2 har vi tegnet opp et bilde av økonomien med en lineær nyttefunksjon i konsumet.

Figur 2.



I et slikt tilfelle som figur 2 illustrerer er det helt tilfeldig om hjørneløsning (f.eks. B) ikke oppstår. Vi har valgt følgende funksjonsform

$$U_t = \frac{1}{1+u} C_t^{1+u}$$

Her er  $u = U''C/U'$  pengenes grensenyttefleksibilitet. Parameteren  $-u$  er et mål for funksjonsformens konkavitet, og  $-1/u$  er et mål på den intertemporale substitusjonselastisiteten. En konsekvens av dette valget er at jo større  $-u$  er, jo jevnere konsumbane blir generert. En lineær nyttefunksjon opptrer som spesialtilfellet  $u = 0$ , dvs.  $U'' = 0$ . Som vi allerede har sett av figur 2 vil dette ikke gi substitusjon i konsumet mellom periodene. På den andre siden vil vekstraten til konsumet gå mot null når  $-u$  går mot uendelig. Et annet spørsmål vedrørende nyttefunksjonen er hvilke aktører i en økonomi som har veldefinerte og konsistente preferanser over tid. Vi vil hevde at dette neppe er tilfelle for private aktører. Det er nemlig stor forskjell mellom det å velge uten varekurv på et tidspunkt med en gitt ressursbeholdning, og det å velge mellom konsum over tid men en gitt initial (forventet) ressursbeholdning. Slik som økonomien faktisk er organisert i Norge, har private aktører stor erfaring med den første valgtypen, men mindre erfaring med den andre valgtypen. Selv om private aktører åpenbart har visse preferanser for valg mellom konsum og sparing over tid, er det et langt skritt herfra til det å postulere en intertemporal preferansefunksjon. Mer naturlig er det vel å tenke seg at private aktører i hovedsak antar at det offentlige gjennom sin økonomiske politikk foretar de nødvendige intertemporale valg. Vi skal derfor la nyttefunksjonen tilhøre en planleggingsinstans. En konsekvens av dette er at vi metodemessig faller inn under det klassiske, og noe idealistiske, planleggingsskjemaet som ble formulert av Frisch og Tindbergen. Problemstillingen her er at det offentlige kjenner økonomiens virkemåte og har en egen preferansefunksjon som søkes maksimert. Dette gjøres ved å velge de verdiene på de offentlige handlingsparametrene som maksimerer preferansefunksjonen, gitt eksogene forhold og økonomiens virkemåte.

Før vi går over til selve presentasjonen av de to modellene, vil vi gi en generell karakteristikk av modellene. Vi har funnet det mest naturlig å formulere modellene under en antakelse om full ressursutnyttning. Begrunnelsen for dette er kombinasjonen av en sterk og aktiv stat og den lange tidshorisonten. Spesielt betyr dette at arbeidsløshet ikke vil forekomme. Videre er det staten som styrer oljesektoren. Utvunnet kvantum i hver periode blir bestemt sentralt i økonomien, og alle oljeinntektene fratrukket vareinnsats tilfaller det offentlige som skatteinntekter. Til tross for at oljeutvinningen vil være en offentlig handlingsparameter i våre modeller, vil vi innføre skranker på utvunnet kvantum. Som tidligere nevnt vil det være kapitalbeholdningen i oljesektoren som avgjør størrelsen på utvunnet kvantum. Siden store deler av kapitalbeholdningen i oljesektoren er fastmonterte plattformer og rørledninger, mens 2. hånds markedet for oljekapital går på flytende (lete) plattformer, vil vi anta at reduksjon av oljekapitalen kun kan skje i form av depresiering. På den annen side vil vi anta at det er grenser for hvor stor oljeutvinningen kan være i en periode. Denne skranken vil vi moderere ved å anta at kapitalbeholdningen i oljesektoren i periode  $t+1$  kan maksimalt være  $x$  prosent større enn kapitalbeholdningen i oljesektoren i periode  $t$ . Dette henger sammen med at en økning i oljeutvinningen krever en tilsvarende kapitaløkning i oljesektoren. Vi synes videre at det virker rimelig at det er sterke begrensninger på hvor effektiv oljeutvinningen kan bli - produktfunksjonen i oljesektoren, i motsetning til innenlandske produksjonssektorer, er modelert uten et eksogent teknikkledd. Derimot har vi åpnet muligheten for at oljeutvinningen skjer på stadig mindre lønnsomme felt over tid: Mer kapital må anvendes for å opprettholde samme oljeproduksjon pr. tidsperiode.

Det er her verdt å bemerke at våre forutsetninger om produksjonsstrukturen i oljesektoren kan virke noe tilfeldig og at de drar i retning av at oljeproduksjonen kan finne sted i begynnelsen av planleggingsperioden. To forhold kan endre på dette. For det første vil innføring av teknisk fremgang også i oljesektoren isolert dra i retning av utsettelse av produksjonen. Videre er det mer rimelig at

utviklingen av kapitalkoeffisienten i oljesektoren avhenger av gjenværende oljeholdning enn at kapitalkoeffisienten er gitt ved en eksogen bane. En mulighet kunne være at

$$k_p = b_0 S_t^{b_1} \quad b_0 > 0, b_1 > 0$$

der

$k_p$  - kapitalkoeffisienten i oljesektoren

$S_t$  - oljeholdningen i slutten av periode  $t$

Alt i alt er det derfor mulig at kapitalkoeffisienten vil være uendret over tid. Til tross for dette har vi lagt inn en avtagende bane for kapitalkoeffisienten (med kapitalkoeffisienten forstås her oljeproduksjon pr. enhet oljekapital). Utviklingsbanen for kapitalkoeffisienten vil generelt ha marginal virkning på de empiriske resultatene.

#### 4.2. Modell 1

I forrige avsnitt skisserte vi hovedlinjene i de to modellene som vi nå skal presentere. Problemstillingen er at myndighetene søker å maksimere en målfunksjon, gitt en rekke bibetingelser som kreves oppfylt. Disse bibetingelsene utgjør en separat makroøkonomisk modell.

Symboler

$C_t$  - konsum i periode  $t$

$E_t$  - netto beholdning av utenlandske fordringer i slutten av periode  $t$

$G_t$  - offentlig konsum i periode  $t$

$i$  - realrente gitt på verdensmarkedet

$I_t$  - bruttorealinvesteringer i periode  $t$

$II_t$  - bruttorealinvesteringer i den innenlandske produksjonssektoren i periode  $t$

$IP_t$  - bruttorealinvesteringer i oljesektoren i periode  $t$

$IU_t$  - nettofinansinvesteringer i periode  $t$

$KI_t$  - kapitalbeholdning i den innenlandske produksjonssektoren i slutten av periode  $t$

$KP_t$  - kapitalbeholdning i oljesektoren i slutten av periode  $t$

$N_t$  - sysselsetting i periode  $t$

$PP_t$  - oljeprisen i periode  $t$  (gitt i forhold til verdensmarkedsprisen på makrovaren)

$RU_t$  - nettofinansinntekt i periode  $t$

$S_t$  - oljeholdning i slutten av periode  $t$

$XI_t$  - produksjon i den innenlandske sektoren i periode  $t$

$XP_t$  - produksjon i oljesektoren i periode  $t$

$Z_t$  - eksportoverskuddet i periode  $t$

- $a_1$  - grenseelastisiteten av arbeidskraft  
 $a_2$  - grenseelastisiteten av kapital  
 $a_3$  - eksogen rate for teknisk fremgang i den innenlandske produksjonssektoren  
 $d_1$  - depresieringsrate i oljesektoren  
 $d_2$  - depresieringsrate i den innenlandske produksjonssektoren  
 $x$  - maksimal prosentvis vekst pr. periode i kapitalbeholdningen i oljesektoren  
 $k_p$  - kapitalkoeffisient i oljesektoren

## Modell 1

$$(1.1) \quad XP_t = k_p \cdot KP_t$$

$$(1.2) \quad XI_t = aN_t^{a_1} K_t^{a_2} e^{a_3 t} \quad a_1 + a_2 = 1$$

$$(1.3) \quad KP_t = (1 - d_1) KP_{t-1} + IP_t$$

$$(1.4) \quad KI_t = (1 - d_2) KI_{t-1} + II_t$$

$$(1.5) \quad I_t = II_t + IP_t$$

$$(1.6) \quad XP_t = S_{t-1} - S_t$$

$$(1.7) \quad XI_t = C_t + I_t + G_t + Z_t$$

$$(1.8) \quad IU_t = PP_t \cdot XP_t + RU_t + Z_t$$

$$(1.9) \quad IU_t = E_t - E_{t-1}$$

$$(1.10) \quad RU_t = i \cdot E_t$$

$$(1.11) \quad KP_t < (1 + x)KP_{t-1}$$

$$(1.12) \quad E_T > \bar{E}_T$$

$$(1.13) \quad KI_T > \bar{KI}_T$$

$$(1.14) \quad S_T > 0$$

Endogene variable:  $C_t, E_t, II_t, IP_t, IU_t, KI_t, KP_t, RU_t, S_t, XI_t$

Eksogene variable:  $\bar{E}_T, G_t, \bar{KI}_T, N_t, PP_t, x$

Handlingsvariable:  $I_t, XP_t, Z_t$

Modellen spesifiserer to varer, nemlig olje og en makrovarer som produseres i fastlands-Norge. Mens all olje pr. forutsetning eksporteres, har den innenlandsproduserte varen flere anvendelser. Foruten eksport kan varen importeres og brukes både til konsum og investeringer. Alle verditall er målt i 100 mrd. 1980-kroner, og alle priser er realpriser. Prisen på verdensmarkedet på makrovaren setter vi konvensjonelt lik 1 i alle perioder.

Relasjonene (1.1) og (1.2) er produktfunksjonene i hhv. oljesektoren og den innenlandske produksjonssektoren, som begge (prinsipielt) er av pari-passu karakter. Mens produktfunksjonen for oljesektoren er lineær, er det valgt Cobb-Douglas funksjonsform for den innenlandske produksjonssektoren. Selv om det fremgår av (1.2) at denne produktfunksjonen er homogen av grad 1 i arbeidskraft og kapital, er dette noe misvisende siden mengde arbeidskraft anvendt i denne sektoren pr. forutsetning er konstant over tid. Produktfunksjonen viser derfor avtagende utbytte mhp. skalaen. Vi har latt produksjonen i løpet av periode  $t$  avhenge av kapitalbeholdningen i slutten av periode  $t$ . Dette kan synes lite rimelig. Et alternativ kunne være å regne kapitalbeholdningen ved begynnelsen av perioden. Vi vil imidlertid hevde at det mest korrekte ville være å operere med et gjennomsnittsmål over perioden. En kunne f.eks. veie bruttoinvesteringene i løpet av en periode ved å tillegge investeringer foretatt i begynnelsen av perioden større vekt enn investeringer foretatt i slutten av perioden. Virkningen av å regne kapitalbeholdningen ved slutten av perioden blir at nivået på produksjonen overvurderes. Imidlertid er vel dette av mindre betydning siden vi her er primært interessert i den trendmessige utviklingen. (Hvis vi hadde valgt å la kapitalbeholdningen i begynnelsen av perioden inngå i produktfunksjonene, kan det lett oppstå problemer med bestemmelse av investeringenes størrelse i siste periode.) Relasjonene (1.3) - (1.6) er rene regnskapssammenhenger. Kapitalmengden i oljesektoren i slutten av en periode er lik kapitalmengden i slutten av forrige periode korrigert for depresieringer og bruttoinvesteringer foretatt i løpet av perioden. Tilsvarende gjelder for den innenlandske produksjonssektoren. Relasjon (1.6) uttrykker at reduksjonen i oljebeholdningen i en periode er lik utvunnet mengde olje i denne perioden. Varebalansen for makrovaren er gitt ved (1.7): Samlet tilgang av varen ( $XI_t$ ) er lik samlet anvendelse av varen ( $C_t + I_t + G_t + Z_t$ ).

Relasjon (1.8) gir nasjonalregnskapets definisjon av nettofinansinvesteringer. Denne er lik summen av verdien av oljeeksporten, nettofinansinntekten og nettoeksporten av makrovaren. En positiv (negativ) nettofinansinvestering vil i sin helhet slå ut i økt (reduert) beholdning av utenlandsk finansformue. Dette følger fra (1.9). Fra relasjon (1.10) ser vi at nettofinansinntekten er lik avkastningen på utenlandse fordringer. (1.11) uttrykker eksistensen av en øvre skranke på den periodiske veksten i oljekapitalen. (1.12) og (1.13) legger krav på sluttformuen. Endelig krever vi at oljebeholdningen i sluttperioden er ikke-negativ.

Modellen må sies å være relativ enkel. Allikevel er det vår tro at flere vesentlige forhold har kommet med. For kort å illustrere modellens struktur, skal vi se på virkninger av skift i offentlige handlingsvariable. La oss først betrakte en partiell økning i oljeproduksjonen. Fra (1.1) ser vi at kapitalbeholdningen i oljesektoren må øke, noe som må bety at bruttorealinvesteringene i denne sektoren må øke (1.3). Siden samlede realinvesteringer er gitt, følger det fra (1.2) og (1.4) at bruttoinvesteringene, kapitalbeholdningen og produksjonen i den innenlandske sektoren må avta. Konsekvensen av dette er redusert konsum (1.7). Endelig bidrar økt oljeproduksjon til større nettofinansinvesteringer (1.9), og dermed økte fordringer på utlandet. Anta i stedet for at nettoeksporten øker partielt. Dette vil gi redusert konsum (1.7) og økte fordringer på utlandet. En partiell økning av de samlede realinvesteringene vil slå fullt ut i økte bruttoinvesteringer i den innenlandske produksjonssektoren. Virkningen av dette er økt innenlandsk produksjon. Virkningen på konsumet er negativt. Dette følger direkte fra forutsetningen om produksjonsstrukturen. Vi har så langt drøftet virkninger av partielle skift. Under en optimering vil det offentlige simultant fastsette verdiene på sine handlingsparametre. Dette kan f.eks. skje ved at økt oljeproduksjon går sammen med redusert nettoeksport og/eller redusert ressursmengde til investeringer slik at konsumet øker. I denne modellen bestemmes konsumet residualt slik at full ressursutnyttelse oppnås. Konsumet fyller derfor gapet mellom innenlandsk produksjon og annen etterspørsel.

### 4.3. Modell 2

Vi vil i det følgende beskrive en modell som stort sett kan ses på som en utvidelse av modell 1. Mens vi i modell 1 hadde to sektorer som hver produserte en vare, har vi her 5 sektorer med hver sin vare. Til tross for at modell 2 er betydelig større enn modell 1, er antall handlingsvariable færre i modell 2. Hensikten med dette er å rendyrke problemstillingen om optimal utvinningstempo. Dette gjøres ved å formulere en modell som vi tror i rimelig god grad simulerer virkemåten til norsk økonomi på lang sikt, samtidig som utvinningstakten i oljesektoren er den ene av de to offentlige handlingsvariablene.

#### Symboler

J	- investeringssektoren
s	- skjermet sektor
k	- konkurranseutsatt sektor
p	- oljesektoren
o	- offentlig sektor
$C_t$	- samlet konsum i periode t
$C_{lt}$	- konsum av vare l i periode t, l=s, k
$E_t$	- beholdning av utenlandske fordringer i slutten av periode t
$G_t$	- offentlig konsum i periode t
$G_{lt}$	- leveranse av vare l til offentlig konsum i periode t, l=s, k
i	- rente gitt på verdensmarkedet
$I_{lt}$	- leveranse av vare l til investeringsvaresektoren i periode t
$IU_t$	- nettofinansinvestering i periode t
$J_t$	- samlede realinvesteringer i periode t
$J_{jt}$	- bruttorealinvestering i sektor j i periode t, j=s,k,p
$K_{jt}$	- kapitalbeholdning i slutten av periode t i sektor j, j=s,k,p
$KAP_{pt}$	- kapitalavkastning i sektor p i periode t
$N_t$	- samlet sysselsetting i privat sektor i periode t
$N_{lt}$	- sysselsetting i sektor l i periode t, l=s,k
$P_t$	- konsumprisindeksen i periode t
$P_{lt}$	- enhetspris i sektor l i periode t, l=s,k
$P_{jt}$	- enhetspris i sektor j i periode t
$P_{pt}$	- enhetspris i sektor p i periode t
$r_t$	- brukerpris på kapital i periode t
$Rd_t$	- privatdisponibel inntekt i periode t
$RU_t$	- nettofinansinntekt i periode t
$S_t$	- oljebeholdning i slutten av periode t
$T_t$	- nettoskatter betalt av private i periode t
$W_t$	- lønn i periode t
$WR_t$	- reallønn i periode t
$X_{jt}$	- produksjon i periode t i sektor j, j=s,k,p

- $X_{njt}$  - leveranse av varer fra sektor  $n$  til sektor  $j$  i periode  $t$ ,  $n, j = s, k, p$ ,  $n \neq j$ .  
 $X_{pAt}$  - eksport av olje i periode  $t$   
 $Z_t$  - nettoeksport av  $k$ -varen i periode  $t$   
 $a_{1l}$  - grenseelastisiteten av arbeidskraft i sektor  $l$ ,  $l = s, k$   
 $a_{2l}$  - grenseelastisiteten av kapital i sektor  $l$ ,  $l = s, k$   
 $a_{3t}$  - teknikkfaktor i sektor  $l$ ,  $l = s, k$   
 $d$  - depresieringsrate i  $s$ - og  $k$ -sektoren  
 $d_p$  - depresieringsrate i  $p$ -sektoren  
 $k_p$  - kapitalkoeffisient i  $p$ -sektoren  
 $x$  - maksimal prosentvis vekst i oljekapitalen pr. periode  
 $c_{nj}$  - kryssløpskoeffisienter  $n, j = s, k, p$ ,  $n \neq j$   
 $b_l$  - "  $l = s, k$   
 $f_l$  - "  
 $F_l()$  - produktfunksjonen i sektor  $l$ ,  $l = s, k$ . Bruttoprodukt i faste priser  
 $\beta$  - vekt i investeringsvareprisen

## Modell 2

$$(2.1) \quad P_{st} X_{st} - W_t N_{st} - r_t K_{st} - P_{kt} X_{kst} - P_{pt} X_{pst} = 0$$

$$(2.2) \quad P_{kt} X_{kt} - W_t N_{kt} - r_t K_{kt} - P_{st} X_{skt} - P_{pt} X_{pkt} = 0$$

$$(2.3) \quad W_t / r_t = F_{sNt} / F_{sKt}$$

$$(2.4) \quad W_t / r_t = F_{kNt} / F_{kKt}$$

$$(2.5) \quad N_{st} + N_{kt} = N_t$$

$$(2.6) \quad r_t = P_{Jt}(i+d)$$

$$(2.7) \quad P_{Jt} = \beta P_{st} + (1-\beta)P_{kt}$$

$$(2.8) \quad X_{pt} = k_p \cdot K_{pt}$$

$$(2.9) \quad X_{st} = A_s N_{st}^{a_{1s}} K_{st}^{a_{2s}} e^{a_{3s}t} \quad a_{1s} + a_{2s} = 1$$

$$(2.10) \quad X_{kt} = A_k N_{kt}^{a_{1k}} K_{kt}^{a_{2k}} e^{a_{3k}t} \quad a_{1k} + a_{2k} = 1$$

$$(2.11) \quad K_{pt} = (1 - d_p) K_{pt-1} + J_{pt}$$



$$(2.12) \quad K_{st} = (1-d)K_{st-1} + J_{st}$$

$$(2.13) \quad K_{kt} = (1-d)K_{kt-1} + J_{kt}$$

$$(2.14) \quad X_{pt} = S_{t-1} - S_t$$

$$(2.15) \quad J_t = J_{st} + J_{kt} + J_{pt}$$

$$(2.16) \quad J_t = b_s I_{st}$$

$$(2.17) \quad J_t = b_k I_{kt}$$

$$(2.18)-(2.23) \quad X_{njt} = C_{nj} X_{jt}$$

$$(2.24) \quad X_{pt} = X_{pst} + X_{pkt} + X_{pAt}$$

$$(2.25) \quad X_{st} = C_{st} + G_{st} + I_{st} + X_{skt} + X_{spt}$$

$$(2.26) \quad X_{kt} = C_{kt} + I_{kt} + G_{kt} + X_{kst} + X_{kpt} + Z_t$$

$$(2.27) \quad G_t = f_s G_{st}$$

$$(2.28) \quad G_t = f_k G_{kt}$$

$$(2.29) \quad C_t = g(P_{kt} R_{dt} / P_t)$$

$$(2.30) \quad P_{st} C_{st} + P_{kt} C_{kt} = C_t P_t$$

$$(2.31) \quad C_{st} = g_s(P_{st}, P_{kt}, P_t C_t)$$

$$(2.32) \quad R_{dt} = P_{st}/P_{kt} \cdot X_{st} + X_{kt} + RU_t - T_t$$

$$(2.33) \quad P_t = \frac{C_{st}}{C_{st} + C_{kt}} P_{st} + \frac{C_{kt}}{C_{st} + C_{kt}} P_{kt}$$

$$(2.34) \quad IU_t = P_{pt}/P_{kt} \cdot X_{pAt} + RU_t + Z_t$$

$$(2.35) \quad RU_t = i \cdot E_t$$

$$(2.36) \quad IU_t = E_t - E_{t-1}$$

$$(2.37) \quad KAP_{pt} = (P_{pt}/P_{kt} \cdot X_{pt} - P_{st}/P_{kt} \cdot X_{spt} - X_{kpt}) / K_{pt}$$

$$(2.38) \quad WR_t = W_t/P_t$$

$$(2.39) \quad K_{pt} < (1+x)k_{pt-1}$$

$$(2.40) \quad E_T > \bar{E}_T$$

$$(2.41) \quad K_{kT} > \bar{K}_{kT}$$

$$(2.42) \quad K_{sT} > \bar{K}_{sT}$$

$$(2.43) \quad S_T > 0$$

Endogene variable:  $C_t, C_{kt}, C_{st}, E_t, G_{st}, G_{kt}, I_{kt}, I_{st}, IU_t, J_t, J_{kt}, J_{pt}, J_{st}, K_{kt}, K_{st}, K_{pt}, N_{kt},$   
 $N_{st}, P_t, P_{st}, P_{jt}, r_t, Rd_t, RU_t, S_t, W_t, WR_t, X_{kt}, X_{st}, X_{kst}, X_{kpt},$   
 $X_{skt}, X_{spt}, X_{pst}, X_{pkt}, X_{pA}, Z, KAP_{pt}$

Eksogene variable:  $\bar{E}_T, G_t, i, \bar{K}_{kT}, \bar{K}_{sT}, N_t, P_{kt}, P_{pt}, x$

Handlingsvariable:  $X_{pt}, T_t$

Relasjonene (2.1) og (2.2) uttrykker at renprofitten i skjermet og konkurranseutsatt sektor er null. Dette følger fra forutsetningen om pari-passu. Vi antar at produsentene i begge disse sektorene driver kostnadsminimering: For gitt produktmengde minimeres produksjonskostnadene. (2.3) og (2.4) er de tilhørende tilpasningsbetingelsene til de to produksjonssektorene. (2.5) gir fordelingen av samlet sysselsetting i de privateide produksjonssektorene. Brukerprisen på kapital er definert i (2.6). Det korrekte uttrykket for denne størrelsen inneholder egentlig et forventningsledd

$$r_t = P_{jt} - \frac{p_{jt+1}^e (1-d)}{1+i}$$

Brukerprisen i periode t (egentlig forventet brukerpris) er verdien av en kapitalenhet i periode t minus forventet verdi av den samme kapitalenheten i periode t+1 neddiskontert til periode t når vi tar hensyn til at en andel d i mellomtiden vil være bortfalt som følge av slitasje, ødeleggelse osv. Ved å tilnærme  $(1-d)/(1-i)$  med  $(1-d-i)$ , samt å anta at produsentene forventer at priser på investeringsvaren i neste periode blir den samme som den er i denne perioden, fremkommer relasjon (2.6). En kan imidlertid kritisere dette opplegget ved å si at vi burde tatt vår intertemporale tilnærming på alvor:

Produsentene vet i initialperioden alle fremtidige priser og kan inngå bindende kontrakter om kjøp av investeringsvaren i fremtidige perioder. Grunnen til at vi ikke har valgt denne løsningen er de problemer som da lett oppstår i siste periode. (Problemet med å bestemme én pris i siste periode kan ha stor virkning på flere andre variable i de tidligere periodene.) Ellers noterer vi oss at brukerprisen på kapital faller sammen med kapitalavkastningsraten i s- og k-sektoren. Dette følger direkte fra forutsetningen om pari-passu og definisjonen av kapitalavkastningen. Prisen på investeringsvaren blir definert i (2.7). Fra (2.15) og (2.16) ser vi at investeringsvaren er et sammensatt produkt av s- og k-varen. (2.5) - (2.10) er produktfunksjonene i hhv. oljesektoren, skjermet sektor og konkurranseutsatt sektor. Alt som ble sagt om (1.1) gjelder også for (2.8). (2.12) - (2.14) er rene økosirklikninger. (2.18) - (2.23) er kryssløpssammenhenger. Vi forutsetter at alle tre produksjonssektorene leverer vareinnsats til de to andre produksjonssektorene. (2.24) - (2.26) spesifiserer anvendelsesområdene til hhv. oljeproduktet, s-varen og k-varen.

All olje som ikke brukes til vareinnsats eksporteres. Foruten vareinnsats til oljesektoren, konkurranseutsatt sektor, offentlig sektor og investeringsvaresektoren brukes den skjermede varen til privat konsum. Helt analogt gjelder for den konkurranseutsatte varen, men her kommer muligheten for eksport og import inn. (2.27) og (2.28) uttrykker at offentlig konsum er et produkt som består både av s-varen og k-varen. Relasjon (2.29) er en langtidsmakrokonsumfunksjon. Konsumet i volum er en stigende funksjon av privatdisponibel inntekt. (Vi valgte en lineær funksjonsform uten konstantledd.) (2.30) er en ren budsjettbetingelse for private husholdninger.  $P_t C_t$  er beløpet som i periode t anvendes til konsum av s-varen og k-varen. (2.31) er etterspørselsfunksjonen etter s-varen. Privatdisponibel realinntekt er definert i (2.32). Vi antar at private eier all realkapital i både den skjermede sektoren og den konkurranseutsatte sektoren. Foruten all inntekt som skapes i disse to sektorene antar vi at privat sektor mottar all finansinntekt. Mer rimelig hadde det vært å innføre en fordelingsrelasjon av finansinntekt mellom offentlig og privat sektor. En kunne f.eks. tenke seg at det offentlige tar opp lån i utlandet som sprøytes inn i oljesektoren. Det skattebeløpet som inngår i (2.32) er nettorealskatten som er en offentlig handlingsparameter. En mer tilfredsstillende løsning ville være å estimere en skattefunksjon. Offentlige handlingsparametre kunne da være skattesatsene. Vi skal her gi et eksempel på dette der det skilles mellom person- og bedriftsbeskatning.

La

$EI_l$  - eierinntekten i sektor l,  $l=s,k$

$N_0$  - sysselsetting i offentlig regi

ST - stønader til privat sektor

$\gamma_l$  - andel av eierinntekten i sektor l som går til husholdninger. Rimelige verdier er

$$\gamma_s = 2/3 \text{ og } \gamma_k = 0$$

$t_1$  - skatteparameter for personbeskatning

$t_2$  - skatteparameter for bedriftsbeskatning

Helt konkret kunne en skattefunksjon ha formen

$$T = t_0 + t_1 \log (W(N+N_0) + \gamma_s EI_s + ST + RU) \\ + t_2 \log ((1-\gamma_s)EI_s + EI_k)$$

I stedet for denne løsningen antar vi at skatteparametrene kan endres slik at ethvert ønsket skattebeløp kan fremskaffes.

Konsumprisindeksen er definert ved relasjon (2.33). Relasjonene (2.34)-(2.36) tilsvarer helt (1.8)-(1.10). Det samme gjelder (2.39)-(2.42) og (1.11)-(1.14). Relasjon (2.37) gir kapitalavkastningen i oljesektoren. Endelig gir (2.38) reallønnen.

La oss se litt nærmere på enkelte trekk ved denne modellen. Mens det i modell 1 bare var et makrogode som ble konsumert, er det i denne modellen to makrogoder som anvendes til konsumformål. Vi får derfor følgende to-trinns tilpasning hos konsumentene: Først avgjøres i hver periode fordelingen mellom konsum og sparing. Så fastlegges fordelingen mellom s-varen og k-varen for den gitte ressursmengden som skal benyttes til konsum. Fra tradisjonell konsumentteori vet vi at hvis vi i modell 2 innfører en etterspørselsfunksjon etter k-varen vil systemet bli overdeterminert - relasjon (2.30) vil gjelde som en identitet. En måte å ordne dette på er å innføre en ny variabel  $\theta$ . Med spesifiserte funksjonsformer har vi nå

$$(2.30) \quad P_{st} C_{st} + P_{kt} C_{kt} = P_t C_t$$

$$(2.31) \quad C_{st} = D_s P_{st}^{h_{ss}} P_{kt}^{h_{sk}} (\theta C_t P_t)^{E_s}$$

$$(*) \quad C_{kt} = D_k P_{st}^{h_{ks}} P_{kt}^{h_{kk}} (\theta C_t P_t)^{E_k}$$

Endogene variable:  $C_{st}, C_{kt}, \theta$

Eksogene variable:  $P_{st}, P_{kt}, C_t P_t$

Variabelen  $\theta$ , som her er endogen, sikrer at oppsummeringsbetingelsen blir oppfylt. I initialperioden, der vi kan sette  $\theta=1$ , kan vi tolke  $h_{ij}$  og  $E_i$  som hhv. Cournot- og Englelelastisitetene. Det er denne løsningen som er valgt i MSG for husholdningsetterspørselen (se f.eks. Rapport 80/1). Ved å utelate (\*) og variabelen  $\theta$  får vi et system som implisitt definerer etterspørselsfunksjonen etter den konkurranseutsatte varen. De to etterspørselsfunksjonene er homogene av grad null i prisene og konsumutgiften. Vi kan derfor helt uproblematisk sette  $P_{kt}=1$ . Gjenstående priser og rente blir dermed å tolke som realstørrelser. Videre har vi i modell 2 antatt at etterspørselsfunksjonene har uendret funksjonsform og argumenter over tid. I en formelt riktig intertemporal analyse skal imidlertid samtlige priser og samlet konsumbeløp over hele analyseperioden inngå som argumenter i etterspørselsfunksjonene (Golombek (1984)). I en slik analyse er en aktørs samlede finanssparing lik null. Eventuelt kan arv trekkes inn. En tilsvarende betingelse for offentlig sektor vil være at samlet budsjettoverskudd over analyseperioden er null. Imidlertid har det lite mening å kreve offentlig budsjettbalanse på lang sikt så lenge privat sektor sparer i hver periode og derfor ikke foretar en intertemporal optimering. For landet som helhet har vi derimot et eksplisitt krav om finanssparing. Hvordan denne fordeles på de to sektorene blir bestemt i modellen. (Landets fordringsøkning er summen av de to innenlandske sektorenes netto fordringsøkning på utlandet.) Offentlige inntekter er nettoskatter (inkludert overføringer) betalt av privat sektor og salgsinntekter av olje. Utgifter til vareinnsats og investeringsvarer til oljesektoren samt offentlige kjøp av makrovaren (offentlig konsum) utgjør de offentlige utgiftene.

Et annet punkt som også er litt problematisk gjelder vår forutsetning om den eksogene renten på verdensmarkedet. Siden denne renten inngår i uttrykket for brukerpriser på kapital har vi implisitt antatt at det innenlandske rentenivået faller sammen med rentenivået i utlandet. En begrunnelse for en

slik forutsetning kan være den lange analyseperioden. Imidlertid viser empiriske observasjoner klart at denne forutsetningen har langt fra vært oppfylt i de senere årtier. Forutsetningen må derfor primært ses på som en forenkling, men la oss allikevel gi noen kommentarer til hvilke endringer i modellen en må foreta hvis en differensierer mellom det innenlandske og det utenlandske rentenivået. Rent formelt kan vi tenke oss en variabel  $i_N$  som erstatter variabelen  $i$  i relasjon (2.6). Vi får dermed en variabel ekstra i modellen. La oss først studere hva som skjer hvis vi har et perfekt innenlands kredittmarked og ingen valutarestriksjoner. I et slikt tilfelle vil muligheten for arbitrasjevirkosomt være til stede. Finansinstitusjoner vil kjøpe en fordring eller valuta i det markedet der den er billigst og selge den der den dyrest. Over tid vil derfor markedskreftene bestemme rentesatser ute og hjemme, samt valutakurser på spot- og terminmarkedet, slik at indifferensens lov blir oppfylt. I Norge er det imidlertid store markedsimperfeksjoner på kredittmarkedet. I tillegg har vi en valutakurs som ikke tillates å flyte fritt. Anta nå at det innenlandske rentenivået er gitt, og at det er en rentedifferanse til utlandets fordel på 1 prosent. Likevektsverdien for terminkursen er da tilnærmet en underkurs på 1 prosent. Hvis den faktiske terminkursen er en lavere underkurs enn 1 prosent, eventuelt at det er overkurs på terminmarkedet, vil det være gunstig for norske aktører med ledige midler å plassere disse ute. På denne måten oppstår det en inntekt for norske aktører siden avkastningen ute er høyere enn avkastningen hjemme. En kan altså behandle tilfellet med differensiert rentenivå ute og hjemme ved å innføre et eksogent rentenivå hjemme, samt å ta hensyn til muligheten for rentearbitrasje. Imidlertid er vel denne inntektskilden av begrenset betydning, bl.a. pga. den strenge valutalogvgivningen i Norge.

Fra vår beskrivelse av modellene 1 og 2 skulle det fremgå flere forhold som er forskjellige i de to beskrevne modellene. Allikevel må en kunne si at modellene har mye til felles. En forskjell er mer eksplisitt markedsatferd i modell 2. Her finner vi fordelingsrelasjoner både for produksjonsfaktorer og konsumvarer. I modell 1 tilsvares dette av en sterk styrende stat. Eksempelvis er den offentlige handlingsvariabelen samlede realinvesteringer i modell 1 erstattet med en eksplisitt investeringsvaresektor i modell 2. En annen, men mindre prinsipiell viktig ulikhet, er at det offentlige styrer nettoeksporten direkte i modell 1, mens styringen av nettoeksporten av den konkurranseutsatte varen i modell 2 skjer indirekte gjennom skattelegging. Som et siste moment i denne sekvensen nevner vi den mer prinsipielle ulikheten mellom modellene ved eksistensen av endogene priser i modell 2.

#### 4.4. MSG-modellen

I dette avsnittet skal vi se nærmere på den norske planleggingsmodellen MSG. Først vil vi gi en kort beskrivelse av MSG-modellen. Deretter følger en punktvís karakteristikk av modellen. Hvert punkt blir avsluttet med en sammenlikning mellom våre modeller og MSG-modellen.

Det var Leif Johansen som i slutten av 1950-årene formulerte MSG-modellen som er en flersektor vekstmodell (Johansen (1960), Johansen (1974)). Hensikten var å studere empirisk forholdet mellom næringer under vekst. Opplegget, som var det første forsøk på bruk av en likevekstmodell i empirisk sammenheng, viste seg å være meget fruktbart. Modellen har blitt brukt i planleggingssammenheng fra 1965. I 1973 overtok byrået videreutviklingen av modellen, noe som resulterte i MSG-3 i 1975 og MSG-4 i 1980. Modellen er en likevekstmodell med likevektspriser og full ressursutnyttelse. En mulig tolkning av modellen er derfor at den gir en (forenklet) beskrivelse av en økonomi der ressursene utnyttes effektivt. Alternativet kan en tolke modellen som en beskrivelse av hvordan norsk økonomi fungerer på lang sikt. Mens planleggingsmodeller som MODIS og MODAG prøver å simulere hvordan markedet faktisk virker, og spesielt hvordan myndighetene med spesifiserte offentlige handlingsvariable kan påvirke markedsløsningen, er forholdet ganske annerledes for MSG-modellen. Her studeres en friksjonsløs økonomi der det ikke eksisterer skranker på (ikke spesifiserte) offentlige handlingsvariable. På denne måten for løsningen av MSG et optimalitetspreg. For gitte rammebetingelser som teknisk utvikling og ressursbeholdninger, beskrives et mulighetsområde.

Mer spesifiserte særtrekk ved modellen er:

i) I de fleste produksjonssektorer (27 for bedrifter, 5 for offentlig forvaltning i MSG-4) er det substitusjonsmuligheter mellom arbeidskraft, kapital, vareinnsats og energi. Stort sett er det forutsatt at produksjonen i hver sektor er kjennetegnet ved konstant utbytte mhp. skalaen. Produksen-

tene er prisfaste kvantumstilpassere og minimerer sine produksjonskostnader for gitt produktmengde. I de tidligere utgavene av modellen var det spesifisert en produktfunksjon for hver sektors bruttoprodukt med arbeidskraft og kapital som argumenter, og vareinnsats inkludert energi som skyggefaktor. I MSG-4 er formuleringen av produksjonsstrukturen gjort mer generell ved å arbeide med (kostnadsrelasjonene til) generaliserte Leontieff funksjoner. Mens en ved Cobb-Douglas produktfunksjoner har konstant substitusjonselastisitet lik en mellom alle produksjonsfaktorer, er det et spesialtilfelle med generaliserte Leontieff funksjoner å ha konstant substitusjonselastisitet. Teknisk fremgang er i MSG-4 representert ved en sektorspesifikk trendfaktor. Sammenlikner vi beskrivelsen av produksjonsstrukturen utenom oljesektoren i MSG med våre modeller, ser vi at det er mange likhetspunkter. Spesielt gjelder dette for den tidligere versjonen MSG-3.

ii) Privat forbruk er oppdelt i 18 konsumgrupper som hver består av en bestemt varekombinasjon. Etterspørselen etter konsumvarer er funksjoner av samlet privat konsumutgift og relative priser. Konsumet blir bestemt residualt slik at full utnytting av alle ressurser blir sikret. En eksplisitt makrokonsumfunksjon finnes ikke, men tanken er at det offentlige bryter forbindelsen mellom verdiskapningen og privatdisponibel inntekt ved å fastlegge netto direkte skatter. Ratsø (1982) gir et eksempel på dette. Sammenliknet med modell 1 finner vi igjen ideen om konsumet som en residualbestemt størrelse. I modell 1 har det ingen mening å innføre en eksplisitt konsumetterspørselsfunksjon siden det i denne modellen bare konsumeres én vare, nemlig makrovaren. Derimot har vi en etterspørselsfunksjon i modell 2. Systemet med husholdningenes etterspørselsfunksjoner i MSG-4, og dette opplegget sammenliknet med tilsvarende utforming i modell 2, har vi tidligere behandlet. En forskjell mellom MSG-modellen og modell 2 ligger i behandlingen av privat sparing. Mens MSG-modellen ikke sier noe om spareatferd, har vi i modell 2 innført en makrokonsumfunksjon. En annen forskjell gjelder private skatter. Ovenfor har vi forklart at en i MSG-modellen kan føre til en relasjon som bestemmer privatdisponibel inntekt. Dette gjøres ved å innføre variabelen netto skatter betalt av privat sektor (som vil bli endogen). I modell 2 spesifiseres en relasjon som bestemmer privatdisponibel inntekt. I denne modellen er imidlertid ikke skattene en endogen variabel.

iii) MSG-modellen foreligger i to versjoner - en todelt og en simultan. Dette henger sammen med at modellen kan splittes opp i en delmodell for priser og enhetskoeffisienter og en delmodell for kvantumsstørrelser, der raten for kapitalavkastningen i økonomien er eneste tilbakevirkende faktor fra kvantumsmodellen til prismodellen. Dette innebærer at for gitte kapitalavkastningsrater, rater for teknisk fremgang og lønnssetninger, bestemmes først alle prisene og enhetskoeffisientene. Deretter fastlegges alle kvantumsstørrelser. I den todelte versjonen av MSG-4 blir derfor kapitalbeholdningen en etterspørselsbestemt endogen variabel. Ønsker en å studere virkningen av sterk økonomisk vekst, må kapitalavkastningsratene settes lave. Lave kapitalavkastningsrater vrir ressursbruken i produksjonssektorene i favør av realkapital. I den simultane modellversjonen er kapitalbeholdningen i hver periode gitt, dvs. det hersker et fullstendig uelastisk tilbud av kapital. Kapitalavkastningsratene blir nå bestemt slik at produsentene ønsker å ta i bruk akkurat den mengde kapital som står til disposisjon. Mens kapitalavkastningsratene og samlet kapitalbeholdning var endogene variable i modell 2, er én av disse to variablene eksogen i MSG-modellen. Derimot har investeringssektoren i modell 2 den samme oppgaven som de 6 spesifiserte investeringsvaresektorene i MSG-4, nemlig å etablere forbindelser mellom sektorinvestering og leveranser av investeringsvarer.

iv) I MSG modellen er eksporten av hver vare bestemt ved eksogene volumanslag. Importen som er inndelt i konkurrerende og ikke-konkurrerende import, bestemmes via varespesifikke importandeler for hver anvendelse. I våre modeller var nettoeksporten en offentlig handlingsvariabel i modell 1, mens det offentlige kunne regulere nettoeksporten i modell 2 gjennom personbeskatning. I begge tilfeller kan derfor myndighetene selv fastlegge nivået på nettoeksporten. Dette kan vel i første omgang synes noe urimelig. Vi vil imidlertid hevde at dette ikke er så urealistisk i vår sammenheng. Nettoeksporten kan vi tenke oss består av tre elementer, nemlig en eksogen gitt eksport (som i MSG), en minimumsimport (som hos Motamen) og en ekstra importkomponent. Noe forenklet kan vi tenke oss at den mengde valuta som opptjenes ved tradisjonell eksport og oljeeksport, korrigert for fordringer på utlandet i sluttperioden, anvendes til import. Eksporten av makrovaren vil derfor bli mindre enn samlet import. Det offentlige kan derfor i hver periode bestemme nettoeksporten ved å fastlegge ønsket verdi på den ekstra importkomponenten.

v) Som tidligere nevnt er lønnen eksogen i MSG-modellen. I den todelte modellversjonen er kapitalavkastningsratene eksogene, mens kapitalavkastningsratene er endogene i den simultane modellversjonen. I det siste tilfellet står imidlertid avkastningsraten av kapital i hver sektor i et bestemt forhold til avkastningsnivået i økonomien som helhet. Tilsvarende opereres det med sektorspesifikk arbeidslønn. Dette opplegget står i sterk kontrast til modell 2, der vi i tråd med frikonkurransetningene har et ens endogent bestemt lønnsnivå i alle produksjonssektorer. Dette sikrer i vår modell full utnyttelse av den tilgjengelige arbeidskraften for produksjon i private produksjonssektorer. I denne modellen er også alle kapitalavkastningsratene endogene. Det er verdt å notere seg at vi i modell 2 antok ens brukerpris på kapital. Primært skyldes dette rentens betydning for brukerprisen.

I MSG-modellen er rentens plass i uttrykket for brukerprisen på kapital skiftet ut med en sektorspesifikk kapitalavkastningsrate. På denne måten fås sektordifferensierte brukerpriser.

vi) I MSG-modellen er prisen på ikke-konkurrerende import gitt eksogent. Derimot er det endogene priser på importkonkurrerende varer og eksportvarer. Prisene er satt likt prisene på tilsvarende varer innenlands. En analogi til våre modeller må være at prisen på den makrovaren som eksporteres er endogen. Dette er imidlertid ikke tilfelle.

vii) Både i våre modeller og MSG-modellen er total sysselsetting gitt.

viii) Produksjon, sysselsetting og investeringer i oljevirkksomheten er eksogent gitt i MSG-modellen. I våre modeller er investeringene i oljesektoren endogent bestemt, produksjonen er en offentlig handlingsvariabel og sysselsetting i oljesektoren er sett bort fra.

Som oppsummering på dette avsnittet kan vi si at både våre modeller og MSG-modellen er flersektor vekstmodeller som genererer en balansert utvikling med full ressursutnyttelse i alle perioder. De mer spesifiserte modellutformingene viser også forholdsvis stor grad av likhet.

## 5. PRESENTASJON OG DRØFTING AV RESULTATENE

### 5.1. Innledning

I dette kapitlet vil vi presentere de resultatene vi fikk ved den numeriske løsningen av modell 1.

Programpakken som ble benyttet var CONOPT, som har blitt utviklet i Verdensbanken. Alle løsningene vi vil presentere hadde statusen "optimal". Dette innebærer at programmet har funnet en løsning som passer i modellen, og at et konvergenskriterium er oppfylt for denne løsningen. Imidlertid skal man ikke uten videre ta disse løsningene for god fisk. For å teste programmets kvalitet kjørte vi noen runder med modell 1 uten kapital i oljesektoren. Hensikten var å sammenlikne de genererte numeriske banene med de banene som fulgte ved bruk av optimal kontrollteori (se neste avsnitt). Konklusjonen vi trakk av dette ble at de numeriske banene virket rimelige. Imidlertid er det viktig å notere seg at eksperimentering med programmet ga flere eksempler på at en liten endring av en parameter fra en løsning som var "optimal" førte til sammenbrudd i beregningsprosessene. I avsnitt 5.3 skal vi komme tilbake til dette.

### 5.2. Et eksempel på bruk av optimal kontrollteori

Vi vil i det følgende vise et enkelt eksempel på bruk av optimal kontrollteori. Hensikten er å finne visse kvalitative egenskaper til løsningen av modell 1 uten oljekapital. La oss først formulere den opprinnelige modellen i kontinuerlig tid, samt eksplisitt skrive opp sluttbetingelsene.

$$(*) \quad \text{Max} \int_0^T \frac{1}{1+u} c^{1+u} \lambda^{-\delta t} dt \text{ gitt}$$

$$(5.1) \quad \dot{X}P(t) = k_p \cdot KP(t)$$

$$(5.2) \quad XI(t) = A^* KI(t) e^{a_2 a_3 t}, \quad A^* = AN(t) e^{a_1 t}, \quad N(t) = \bar{N}$$

$$(5.3) \quad \dot{K}P(t) = -d_1 KP(t) + IP(t)$$

$$(5.4) \quad \dot{K}I(t) = -d_2 KI(t) + II(t)$$

$$(5.5) \quad \dot{I}(t) = II(t) + IP(t)$$

$$(5.6) \quad XI(t) = C(t) + I(t) + G(t) + Z(t)$$

$$(5.7) \quad \dot{S}(t) = -XP(t)$$

$$(5.8) \quad \dot{E}(t) = PP(t) XP(t) + Z(t) + RU(t)$$

$$(5.9) \quad RU(t) = iE(t)$$

$$(5.10) \quad \dot{K}P(t) < vKP(t)$$

$$(5.11) \quad E_T > \bar{E}_T$$

$$(5.12) \quad K_T > \bar{K}_T$$

$$(5.13) \quad S_T > 0$$

Kontrollvariable:  $I(t), Z(t), XP(t)$

Tilstandsvariable:  $E(t), KP(t), KI(t), S(t)$



La oss forenkle litt ved å se bort fra offentlig konsum, depresiering og (5.10) - (5.13).  
Problemet blir nå

$$(**) \quad \text{Max} \int_0^T U(C) e^{-\delta t} dt \quad \text{når}$$

$$(5.14) \quad \dot{K}I(t) = I I(t)$$

$$(5.15) \quad \dot{K}P(t) = I P(t)$$

$$(5.16) \quad \dot{S}(t) = -F_p(KP(t))$$

$$(5.17) \quad \dot{E}(t) = PP(t) F_p(KP(t)) + F(KI(t)) - C(t) - IP(t) - I I(t) - i E(t)$$

Kontrollvariable:  $I I(t)$ ,  $I P(t)$ ,  $C(t)$

Tilstandsvariable:  $KI(t)$ ,  $KP(t)$ ,  $E(t)$ ,  $S(t)$

Produktfunksjonene i oljesektoren og der innenlandske sektoren er hhv.  $F_p(KP(t))$  og  $F(KI(t))$ .

Med utgangspunkt i problemet (\*\*) kan en nå lett sette opp Hamiltonfunksjonen. Vi har imidlertid etter noe prøving og feiling kommet til at en noe annen problemformulering er svært hensiktsmessig. Ideen har vi fra DEH (1978)

I vår økonomi finnes det 2 goder, nemlig olje og en makrovare. Oljegodet er representert ved oljeformuen. Makrogodet som formuesobjekt finner vi i form av kapital og utenlandske fordringer. La  $WE$  betegne størrelsen på formuen bestående av makrogodet. Siden kapitalbeholdningen i oljesektoren og den innenlandske produksjonssektoren er hhv.  $KP$  og  $KI$ , er netto utenlandske fordringer lik  $WE - KI - KP$ . Det er denne formuen som har avkastning lik den eksogene renten på verdensmarkedet. Problemet er

$$(***) \quad \text{Max} \int_0^T \delta U(C) e^{-\delta t} dt \quad \text{gitt}$$

$$(4.16) \quad \dot{S} = -F_p(KP)$$

$$(4.18) \quad \dot{WE} = F(KI) + i(WE - KI - KP) + PP \cdot F_p(KP)$$

Kontrollvariable:  $KP$ ,  $KI$ ,  $C$

Tilstandsvariable:  $S$ ,  $WE$

Innføring av WE kan vi si innebærer at kapitalen direkte blir en kontrollvariabel. (5.14) og (5.15) går derfor ut. (5.18) tar vare på de samme forhold som (5.17).

Hamiltonfunksjonen til problemet (\*\*\*) er

$$H_1 = U(C)\lambda^{-\delta t} - \lambda_1 F_D(KP) + \lambda_2 (F(KI) + i(WE - KI - KP) + PP \cdot F_p(KP) - C)$$

Før vi studerer dette problemet nærmere skal vi se på spesialtilfellet med ingen oljekapital.

Når XP betegner utvunnet oljekvantum, skulle det være klart at Hamiltonfunksjonen til dette problemet er

$$H_2 = U(C)\lambda^{-\delta t} - \lambda_1 XP + \lambda_2 (F(KI) + i(WE - KI) + PP \cdot XP - C)$$

1. ordensbetingelsene når vi antar indre løsning er

$$(5.19) \quad \frac{\partial H_2}{\partial C} = U'(C)\lambda^{-\delta t} - \lambda_2 = 0$$

$$(5.20) \quad \frac{\partial H_2}{\partial KI} = \lambda_2 (F'(KI) - i) = 0$$

$$(5.21) \quad \frac{\partial H_2}{\partial XP} = -\lambda_1 + \lambda_2 PP = 0$$

$$(5.22) \quad \lambda_1 = -\frac{\partial H}{\partial S} = 0 \quad \lambda_1 = \lambda_1$$

$$(5.23) \quad \lambda_2 = \frac{\partial H}{\partial WE} = -\lambda_2 i = \lambda_2 = \lambda_2(0)\lambda^{-it}$$

(5.19) og (5.23) gir

$$(5.24) \quad C/C = \frac{i-\delta}{-u}$$

der  $u = U''(C) \cdot C/U'(C)$

(5.20) gir

$$F'(KI) = i$$

dvs. på marginalen skal avkastningen av å plassere en enhet av makrovaren i innenlandsk produksjon og i utenlandske fordringer være den samme.

(5.21) gir

$$(5.25) \ln \lambda_2 + \ln PP = \ln \lambda_1$$

Derivasjon av (5.25) gir så

$$(5.26) \frac{PP}{PP} = i$$

Dette er uttrykket for Hotellings regel. Hvis oljeprisen stiger raskere enn avkastningen på utenlandske fordringer skal all oljeutvinning finne sted i siste periode. Omvendt skal all oljeproduksjon finne sted i første periode når den eksogene renten på verdensmarkedet er større enn oljeprisens vekstrate. I tilfellet med likhet mellom renten og oljeprisens vekstrate kan vi ikke si annet enn at oljeproduksjonen totalt skal være lik oljebeholdningen initialt. Utvinningsprofilen kan ikke bestemmes uten at flere forhold trekkes inn i analysen. Et eksempel på et slikt forhold kan være innenlandsk bruk av olje i produksjonen. Da vil oljeutvinningen være positiv i alle perioder.

I våre eksempler har vi i basisalternativet satt

$$\begin{aligned} \delta &= 0,01 \\ u &= -0,5 \\ PP/PP &= 0,02 \\ i &= 0,04 \\ S &= 15,0 \end{aligned}$$

(En nærmere drøfting av disse verdiene er gitt i neste avsnitt.) Dette ga profilene i tabell 21. Vi ser at den teoretiske konklusjonen om all oljeproduksjon i første periode er oppfylt. Videre har konsumet en ganske jevn bane med vekstrate på 6 prosent som nettopp er det prosenttallet som følger fra (5.24) med våre parameterverdier.

Tabell 22 viser banene når den eksogene renten er 1,5 prosent. Vi ser at konsumets vekstrate ligger rundt det nivå som (2.24) fastslår som det optimale (1 prosent). All oljeproduksjon foretas i siste periode, som jo er det optimale.

Tilfellet når oljeprisens vekstrate er lik den eksogene renten er illustrert i tabell 23. Som tidligere forklart er det nå likegyldig hvordan oljeutvinningsprofilen ser ut. Det er derfor ikke uventet at dette "mellomalternativet" gir all oljeproduksjon i midtperioden. Konsumets vekstrate ligger på 2 prosent, som er det optimale i henhold til (2.24).

La oss nå gå tilbake til problemet med oljekapital. 1. ordensbetingelsene blir her

$$(5.19) U'(C)\lambda^{-\delta t} - \lambda_2 = 0$$

$$(5.20) \lambda_2(F'(KI) - i) = 0$$

$$(5.27) \quad -\lambda_1(F'_p(KP) - \lambda_2 i + \lambda_2^{PP} \cdot F'_p(KP)) = 0$$

$$(5.22) \quad \lambda_1 = 0$$

$$(5.23) \quad \lambda_2 = -\lambda_2 i$$

Vi kan si at (5.21) har blitt erstattet med (5.27). Litt regning gir

$$(5.28) \quad F'(KI) = PP(F'_p(KP) - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} F'_p(KP)) \\ = F'_p(KP)(P(0)e^{\gamma t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \lambda_2(0)e^{-it})$$

der  $\gamma$  er oljeprisens vekstrate.

Dette uttrykket gir en pekepinne om at det ikke uten videre er opplagt hva som skjer med oljeutvinningen i vår modell. De som skiller vår modell fra problemet som her drøftes er depresiering, ikke-negativ bruttoinvesteringer og sektorspesifikk kapitalbeholdning.

Betrakter vi (5.28) kan vi slutte følgende: Hvis renten er ulik oljeprisens vekstrate, skal all oljeproduksjon foregå enten i første ( $\gamma < i$ ) eller siste ( $\gamma > i$ ) periode. Hvis renten er lik oljeprisens vekstrate, må det produseres en konstant mengde olje pr. periode for at (5.28) skal være oppfylt.

### 5.3. De numeriske resultatene

Vi fant den numeriske løsningen bare for modell 1. Imidlertid gjorde vi i stand modell 2 til kjøring. Parametrene/eksogene variable ble satt til:

Modell 1.	Alle verditall er regnet i 100 mrd. 1980-kroner. $t = 0$ er 1981
kp	= 0,73 Halvering i løpet av 40 år, dvs. vekstrate på -1,8 prosent
A	= 31,21
a <sub>1</sub>	= 0,75
a <sub>2</sub>	= 1-a <sub>1</sub>
a <sub>3</sub>	= 0,005
d <sub>1</sub>	= 0,08
d <sub>2</sub>	= 0,025
i	= 0,04
x	= 0,5
KI <sub>t-1</sub>	= 7,04
E <sub>t-1</sub>	= -0,93
N	= 0,0134 (100 mill. årsverk)
G	= 2 prosent årlig vekst

Modell 2

Alle verditall er regnet i 100 mrd. 1980-kroner.  $t = 0$  er 1981

$k_p = 0,73$  Halvering i løpet av 40 år

$A_s = 21,51$

$a_{1s} = 0,71$

$a_{2s} = 1 - a_{1s}$

$a_{3s} = 0,004$

$A_k = 33,16$

$a_{1k} = 0,69$

$a_{2k} = 1 - a_{1k}$

$a_{3k} = 0,005$

$d = 0,025$

$d_p = 0,08$

$E_s = 0,8$

$h_{ss} = -1,26$

$h_{sk} = 0,38$

$C_{sk} = 0,08$

$C_{sp} = 0,0004$

$C_{kp} = 0,008$

$C_{ks} = 0,26$

$C_{ps} = 0,003$

$C_{pk} = 0,03$

$i = 0,04$

$f_s = 0,3$

$f_k = 0,1$

$b_s = 0,58$

$b_k = 0,23$

$\beta = 0,72$

$K_{st-1} = 5,32$

$K_{kt-1} = 1,72$

$K_{pt-1} = 0,6103$

$N = 0,0134$  (100 mill. årsverk)

$E_{t-1} = -0,93$

G: 2 prosent årlig vekst

Grenseelastisiteten av arbeidskraft ble primært beregnet v.h.a. Kleins faktorandelsmetode basert på data f.o.m. 1962 t.o.m. 1981. Grenseelastisiteten av kapital ble så residualbestemt ved at det ble forutsatt pari-passu i arbeidskraft og kapital. Verdien på det eksogene trendleddet ble satt etter skjønn basert på Perspektivgruppas anslag for vekstrater. Parametrene  $c_{ij}$  og  $b_{ij}$  ble beregnet v.h.a. en aggregert kryssløpstabell basert på MODIS. Parameteren  $\beta$  er en reskalering av  $b_s$ . Parameterverdiene for  $g_s$  og  $g_k$  ble funnet v.h.a. en virkningstabell for MSG-3. Krysspriselastisitetene ble beregnet ved bruk av Frisch's complete scheme når vi satt  $u = -0,5$  (basialternativet) og brukte MODAG verdiene

$$E_s = 0,8$$

$$E_k = 1,3$$

$$m_s = 0,7$$

$$m_k = 0,3$$

der  $m_i$  er budsjettandelen for vare  $i$ ,  $i = s, k$  og  $E_i$  er Engleelastisiteten for vare  $i$ ,  $i = s, k$ .

Den marginale konsumtilbøyeligheten ble estimert til 0,93. Endelig ble konstantleddet i etterspørselsfunksjonen satt lik 0,72. (Dette for å treffe riktig nivå.) Skjermet og konkurranseutsatt sektor følger nasjonalregnskapets inndeling (se SØS 45).

Basialternativet er kjennetegnet ved

Oljepris: 2 prosent realvekst

Oljebeholdning: 15,0. Dette tilsvarer 1,67 mill. t.o.e. (Dette får vi ved å sammenlikne fysisk olje- og gassproduksjon og bruttoproduktet i oljesektoren i 1980). Subjektiv neddiskonteringsrate: 1 prosent (som Perspektivgruppa).

$$KI_T = 10,00$$

$$E_T = 2,00$$

$$u = -0,5$$

$$i = 4\%$$

Disse verdiene gir en vekstrate for konsumet på 6 prosent (jfr. (5.24)). Dette kan synes for høyt, men følgende momenter må tas i betraktning.

- Dataprogrammet brøt sammen for  $u < -0,85$  og  $u > -0,15$
- Den norske oljebeholdningen representerer en meget stor formue som før eller senere vil (bør) gi økt innenlandsk konsum
- De genererte banene skal være eksempler på mulige utviklinger. Dette er ikke et forsøk på å finne én bane som bør følges

Når det gjelder størrelsen på oljebeholdningen, representerer denne ca. 1/3 av utvinnbare reserver sør for 62 grader N.

Planleggingsperioden ble satt til f.o.m. 1981 t.o.m. 1992, altså 12 år. Dette kan synes vel kort, men her må en ta i betraktning EDB-programmets kapasitet og kostnader ved kjøring. Litt eksperimentering med tidsperiodens lengde viste imidlertid at den karakteristiske profilen kom frem selv under en såpass kort periode som 12 år. Enkelte vil kanskje hevde at 12 år er en altfor kort periode siden det tar 5-7 år fra en feltutbygging starter til produksjon kan settes i gang. Til dette er det ikke annet å si enn at dette problemet har vi (naturligvis) sett bort fra.

La oss nå betrakte resultatene fra basisalternativet (tabell 1). Oljeproduksjonen er positiv i alle perioder. Den stiger de første årene. Toppunktet nås i 1984. Utvinningen er her ca. 215 mill. t.o.e. Etter dette avtar utvinningen jevnt i resten av planleggingsperioden. Ser vi på investeringene i oljesektoren er disse maksimale de 3 første periodene, men ikke i den fjerde. F.o.m. den 5. perioden reduseres kapitalbeholdningen i sektoren grunnet ingen investeringer og depresiering. Et annet spørsmål gjelder graden av utnytting av oljekapitalen. Dette spørsmålet kommer inn fordi vi i modellkjøringen hadde produktfunksjonen

$$XP_t \leq k_p \cdot KP_t$$

Vi åpner altså for muligheten til at kapital står ubrukt i oljesektoren. Informasjon fra datamaskinen forteller oss imidlertid at produktfunksjonen var oppfylt med likhet i alle perioder. Investeringene i den innenlandske produksjonssektoren kan synes å ha et noe merkelig forløp. Imidlertid må vi huske på kravet om marginal avkastning. En enhet av makrovaren som er plassert i utlandet har avkastning lik  $i$ . En enhet av makrovaren som investeres i innenlandsk produksjon kaster av seg  $F'(KI) - d_2$  siden vi må ta hensyn til depresiering. Lik avkastning betyr derfor at

$$F'(KI) = i + d_2 = 6,5\%$$

Avkastningen av kapitalen ligger nettopp på dette nivået. Unntaket er siste periode der avkastningen faller. Dette fordi sluttkravet  $KI_T = 10,00$  krever store investeringer i siste periode. Konsumet har en relativ pen utviklingsbane med en vekstrate på rundt 6 prosent. Konsumet hopper opp ca. 10 mrd. 1980-kroner sammenliknet med historisk verdi for 1980. I alle periodene er nettoeksporten negativ. Banen for nettoeksporten er noe broket så lenge oljeinvesteringer finner sted. F.o.m. perioden etter at oljeinvesteringene stopper, faller nettoeksporten ganske jevnt. Det store hoppet i siste periode skyldes nok sluttbetingelsen  $E_T = 2,00$ . Banene for konsumet og nettoeksporten viser naturlig nok stor grad av samvariasjon. Nettofinansinvesteringenes bane er som oljeproduksjonen en-toppet. Imidlertid er toppunktet for denne banen én periode etter toppunktet for oljeproduksjonen. Det mest intuitive er vel å tenke seg at nettofinansinvesteringene er størst i den perioden der verdien av oljeproduksjonen er størst. Dette er i 1984 - det kreves en oljeprisøkning på ca. 10,3 prosent for at 1985 skal være dette året. Det er mulig at dette forholdet skyldes regnerutinene i dataprogrammet. Spesielt er det mulig at det at programmet er formulert i diskret tid og ikke i kontinuerlig tid er av betydning. Den resulterende banen for netto utenlandsgjeld blir imidlertid svært pen - landets netto fordringer på utlandet øker jevnt. Unntakene er første og siste periode. Det er også i disse to periodene de store negative nettofinansinvesteringene finner sted.

Vi vil i det følgende studere virkninger av partielle endringer av basisalternativet. I tabellene 2, 3 og 4 er oljebeholdningen regnet i 100 mrd. 1980-kroner hhv. 10,7 og 15. For øvrig er basisalternativets parameterverdier beholdt. Vi ser at alle profilene er uendret. Videre går det klart frem at jo større oljebeholdning samfunnet rår over, jo høyere skal konsumet i første periode være. Dette er høyst rimelig siden konsumets vekstrate skal være den samme. Det er derfor også naturlig at nettoeksporten er mer negativ i hver periode jo større oljebeholdningen er. Investeringene i den innenlandske sektoren er uendret. Dette fordi hverken betingelsen om lik marginal avkastning eller sluttbetingelsen for kapitalbeholdningen er endret.

I tabellene 5 og 6 har vi endret verdien på den subjektive neddiskonteringsfaktoren. Vekstraten i konsumet skal da bli -12 prosent når  $\delta = 10\%$  og 10% når  $\delta = -1\%$  (jfr. (5.24)). Dette ser vi stemmer rimelig godt med de genererte verdiene.

En fremgangsmåte som tar hensyn til denne innvendingen vil være å reskalere modellen. Fremdeles kunne optimeringsperioden være 12 perioder, men hver periode kunne bestå av en lenger tidsperiode enn et år. Dette ville gjøre resultatene mer interessante fra et økonomisk-politisk synsvinkel. La

oss se litt nærmere på hvordan dette ville påvirke modellenes relasjoner og størrelser. La  $N$  være periodelengden målt i antall år. Produktfunksjonen i sektor  $i$  kan vi nå skrive

$$(*) X_{it} = NF_i(N_{it}, K_{it}) \quad t = 1, 2, \dots, 12$$

der  $K_{it}$  er beholdningen av kapital benyttet i periode  $t$  (målt i slutten av år  $tN$ ), og  $N$  er arbeidssektoren i periode  $t$ . Renten gitt på verdensmarkedet vil nå være

$$(1+i)^N - 1$$

der  $i$  er renten gitt på verdensmarkedet pr. år. Det skulle umiddelbart være klart at produktfunksjoner av type (\*) er mindre god jo større  $N$  er. Vi vil hevde at en slik reskalering av modellen vil kun gi marginale endringer i utviklingsprofilene. De absolutte nivåene ville neppe bli endret med annet enn det reskaleringen direkte skulle tilsi - konsum og innenlandsk produksjon ville nok f.eks. bli tilnærmet  $N$ -doblet i hver periode.

Tabellene 7 og 8 illustrerer virkningen av verdien på pengenes grensenyttefleksibilitet. For alternativene  $u = -0,2$  og  $u = -0,8$  skal vekstraten i konsumet være hhv. 15 prosent og 2,4 prosent. Dette stemmer brukbart for alternativet  $u = -0,2$ . Årsaken til at vi får for høy vekstrate for alternativet  $u = -0,8$  skyldes at vi ligger nær det punkt der programmet bryter sammen. Allikevel har vi fått frem det sentrale poenget: Siden oljebeholdningen er like stor i de to alternativene, og vekstraten for konsumet skal være størst for alternativet  $u = -0,2$ , må initialkonsumet i dette alternativet være klart lavest.

Virkningen av endrede grenseelastisiteter ble også studert. Et problem her var imidlertid at selv små endringer fra basisalternativet ga lett sammenbrudd i beregningsprosessen. Noe talleksempel vil vi ikke presentere her, men det synes klart at endringen på banen for innenlandske investeringer var som ventet signifikant.

Tabellene 9 og 10 viser virkningen av endret innenlandsk eksogen vekstrate. Når vekstraten øker (avtar) får grenseproduktiviteten et positivt (negativt) skift. Investeringene må derfor øke (avta) for at marginalbetingelsen  $F'(KI) = i + d_2$  skal fremdeles være oppfylt. Videre går det frem at konsumbanen naturlig nok ligger høyere jo høyere den eksogene vekstraten er.

Virkningen av økt sluttkrav på den innenlandske kapitalbeholdningen er illustrert i tabell 11. Siden vekstraten i konsumet skal være den samme, samtidig som mer ressurser i løpet av perioden skal allokteres til den innenlandske produksjonssektoren, må konsumet i første periode hoppe ned. Videre ser vi at betingelsen om lik marginal avkastning på kapital innenlands og i utlandet er fremdeles oppfylt i de fleste av periodene - sluttbetingelsen på kapital blir "ordnet" i siste periode. Dette er årsaken til de store akkumulerte nettofordringene på utlandet i siste del av planleggingsperioden.

I tabell 12 har vi illustrert virkningen av større nettofordringer på utlandet ved utgangen av planleggingsperioden. Igjen ser vi at konsumet i første periode hopper ned. Ytterligere kommentarer skulle være overflødig.

Vi kommer nå til spørsmålet om virkningen på utvinningsprofilen når renten er større enn, lik eller mindre enn oljeprisens vekstrate. For å studere dette måtte vi øke oljeprisens vekstrate fra 2 prosent til 5 prosent. (Regnerutinen brøt sammen for renter på under 3 prosent når vekstraten til oljeprisen var 2 prosent.) Tabellene 13-17 illustrerer de ulike alternativene. Vi ser at i alle alternativene foregår det positiv oljeproduksjon. Tidsprofilene er ubetydelig forskjellige. Årsaken til positiv oljeproduksjon i alle perioder selv når oljeprisens vekstrate er større enn den eksogene renten er følgende:



Oljeproduksjon krever kapital. Denne kapitalen kan ikke flyttes fritt omkring mellom alternative anvendelser. Hvis kapital står ledig i oljesektoren får vi for det første et direkte tap ved at kapitalen depresieres. I tillegg kommer at denne kapitalmengden kunne ha blitt anvendt i en annen sektor. Oljekapitalen har derfor en positiv skyggepris.

I tabell 18 har vi illustrert tilfellet med ubegrenset mulighet for investeringer i oljesektoren. Siden vi her ser på en situasjon der renten på verdensmarkedet er større enn oljeprisens vekstrate, skulle det være greit å forstå at det investeres i oljesektoren bare i første periode - det gjelder jo å få oljen pumpet opp så fort som mulig samtidig som all oljekapital alltid skal utnyttas fullt ut.

Tabell 19 viser profilene under forutsetning om ikke-negativ vekst i oljeproduksjonen. Relevansen av dette alternativet er knyttet til Perspektivgruppa og Tempoutvalgets innstilling som begge legger inn eksogene ikke-avtagende baner for oljeutvinningen. Vår tanke er nå at dimensjonen av nåverdiforskjellen mellom konsumbanen for dette alternativet og basisalternativet gir en indikasjon på hvor langt vi ligger fra den maksimale velferdsgevinsten som oljebeholdningen potensielt representerer. Nåverdien av konsumet i det alternativet vi nå studerer er 1860 mrd. 1980-kroner. Sammenliknet med basisalternativet, der nåverdien er 1914 mrd. 1980-kroner, representerer dette en reduksjon på 2,8 prosent. Går vi videre og trekker inn også kravet om årlig balanse på driftsregnskapet reduseres nåverdien ytterligere, men reduksjonen er forholdsvis beskjeden. En indikasjon på dette resultatet får vi ved å notere oss at det i første del av planleggingsperioden kun er negative nettofinansinvesteringer i én periode. Dette forekommer i første periode der det er nødvendig med stor import av makrovaren for å heve konsumet opp til det optimale nivået gitt de store investeringene i denne perioden. Tilfellet med årlig balanse på driftsregnskapet og ikke-negativ vekstrate i oljeproduksjonen er illustrert i tabell 20. Nåverdien av konsumet er her 1845 mrd. 1980-kroner. I dette tallet har vi tatt hensyn til kravet om netto fordringer på utlandet i sluttperioden på 200 mrd. 1980-kroner ved å senke konsumbanen slik at konsumprofilen er uendret. Sammenliknet med basisalternativet gir dette alternativet en reduksjon av nåverdien av konsumet på 3,6 prosent.

Vi kan oppsummere ved å si at

- i) Oljeutvinningsprofilen er svært stabil. Utvinningen økes maksimalt de første periodene.
- ii) Konsumprofilen er uavhengig av oljeutvinningen. Derimot vil (bl.a.) oljebeholdningen påvirke nivået på konsumbanen.
- iii) Utviklingen av innenlandsk produksjon avhenger helt av sluttkravet til kapitalbeholdningen innenlands.
- iv) Nettofinansinvesteringene er negative i begynnelsen av planleggingsperioden. De er mer negative jo større
  - oljebeholdning
  - subjektiv neddiskonteringsrate
  - vekstrate i innenlandsk produksjon
 og jo lavere sluttkrav på
  - utenlandske fordringer
  - kapitalbeholdning

I planleggingsperiodens midtdel er nettofinansinvesteringene relativt store og positive, mens nettofinansinvesteringene reduseres i siste del av planleggingsperioden. Utviklingen av landets gjeld til utlandet følger direkte fra dette.

For å få fram forskjellen mellom de ulike alternativene vil vi helt til slutt presentere noen nåverdiberegninger. I tabellen nedenfor har vi beregnet nåverdien av konsumet pr. år i prosent av privat konsum i 1980 (135 mrd. 1980-kroner).

Basis	18,1 %
Oljebeholdning 2/3 av basis	1,73 %
Subjektiv neddiskonteringsrate på 10 %	22,5 %
1 % vekstrate innenlands	26,5 %
Sluttbeholdning av kapital 50 % høyere enn basis	4,2 %
Ikke avtagende oljeproduksjon	14,8 %
Ikke avtagende oljeproduksjon og årlig balanse på driftsregnskapet	13,9 %



Tabell 3. S = 7,00

	XP	IP	C	Z	IU	E	II	KI	XI	$F_{KI} \text{ i } \%$	$C_t - C_{t-1} / C_t \text{ i } \%$
1981 .....	0,66	0,35	1,05	-1,11	-0,50	-1,43	1,24	8,10	2,07	6,4	
82 .....	0,91	0,44	1,12	-0,29	0,63	-0,80	0,26	8,15	2,09	6,4	6,3
83 .....	0,81	-	1,19	0,09	0,96	0,16	0,26	8,21	2,10	6,4	5,9
84 .....	0,74	-	1,26	0,01	0,85	1,01	0,26	8,26	2,11	6,4	5,0
85 .....	0,67	-	1,35	-0,06	0,74	1,76	0,26	8,32	2,13	6,4	6,7
86 .....	0,61	-	1,43	-0,15	0,63	2,39	0,26	8,37	2,14	6,4	5,6
87 .....	0,55	-	1,52	-0,24	0,51	2,89	0,27	8,43	2,16	6,4	5,9
88 .....	0,49	-	1,62	-0,34	0,37	3,26	0,27	8,49	2,17	6,4	6,2
89 .....	0,45	-	1,72	-0,44	0,23	3,49	0,27	8,54	2,19	6,4	5,8
90 .....	0,40	-	1,83	-0,55	0,08	3,57	0,27	8,60	2,20	6,4	6,0
91 .....	0,36	-	1,95	-0,67	-0,08	3,50	0,27	8,66	2,22	6,4	6,2
92 .....	0,33	-	2,07	-2,00	-1,50	2,00	1,56	10,00	2,32	5,8	5,8

Tabell 4. S = 20,00

	XP	IP	C	Z	IU	E	II	KI	XI	$F_{KI} \text{ i } \%$	$C_t - C_{t-1} / C_t \text{ i } \%$
1981 .....	0,66	0,35	1,71	-1,77	-1,19	-2,11	1,24	2,07	8,10	6,4	
82 .....	0,98	0,53	1,82	-1,08	-0,15	-2,70	0,26	2,09	8,15	6,4	6,0
83 .....	1,42	0,80	1,94	-1,46	-0,04	-2,31	0,26	2,10	8,21	6,4	6,2
84 .....	2,10	1,20	2,00	-1,98	0,21	-2,10	0,26	2,11	8,26	6,4	5,8
85 .....	2,58	1,00	2,19	-1,92	0,87	-1,23	0,26	2,13	8,32	6,4	5,9
86 .....	2,34	-	2,33	-1,05	1,60	0,37	0,26	2,14	8,37	6,4	6,0
87 .....	2,12	-	2,48	-1,20	1,30	1,67	0,27	2,16	8,43	6,4	6,0
88 .....	1,89	-	2,63	-1,36	0,96	2,63	0,27	2,17	8,49	6,4	5,7
89 .....	1,71	-	2,80	-1,52	0,66	3,29	0,27	2,19	8,54	6,4	6,1
90 .....	1,55	-	2,98	-1,70	0,33	3,62	0,27	2,20	8,00	6,4	6,0
91 .....	1,40	-	3,17	-1,89	-0,01	3,61	0,27	2,22	8,66	6,4	6,0
92 .....	1,26	-	3,37	-3,30	-1,61	2,00	1,56	2,32	10,00	6,4	5,9

Tabell 5.  $\delta = 0,10$ 

	C	Z	IU	E	$C_t - C_{t-1}/C_t$ %
1981 .....	3,41	-3,47	-2,96	-3,89	
82 .....	3,03	-2,29	-1,49	-5,38	-12,5
83 .....	2,69	-2,21	-0,96	-6,36	-12,6
84 .....	2,39	-2,04	-0,23	-6,57	-12,6
85 .....	2,13	-0,84	0,84	-5,72	-12,2
86 .....	1,89	-0,61	0,98	-4,75	-12,7
87 .....	1,68	-0,40	1,10	-3,65	-12,5
88 .....	1,49	-0,21	1,18	-2,47	-12,8
89 .....	1,32	-0,04	1,29	-1,17	-12,9
90 .....	1,18	0,10	1,39	0,21	-11,9
91 .....	1,04	0,23	1,47	1,69	-13,5
92 .....	0,93	-0,86	0,31	2,00	-11,8

Tabell 6.  $\delta = 0,01$ 

	C	Z	IU	E	$C_t^* - C_{t-1}/C_t$ %
1981 .....	1,15	-1,21	-0,60	-1,53	
82 .....	1,28	-0,53	0,44	-1,10	10,2
83 .....	1,41	-0,93	0,55	0,54	9,2
84 .....	1,56	-1,22	0,87	0,33	9,6
85 .....	1,73	-0,45	1,54	1,87	9,8
86 .....	1,92	-0,64	1,27	3,14	9,9
87 .....	2,12	-0,84	0,97	4,11	9,4
88 .....	2,35	-1,07	0,61	4,71	9,8
89 .....	2,60	-1,32	0,26	4,98	9,6
90 .....	2,88	-1,60	-0,13	4,85	9,7
91 .....	3,18	-1,91	-0,56	4,28	9,4
92 .....	3,53	-3,45	-2,29	2,00	9,9

Tabell 7.  $u = -0,2$ 

	C	Z	IU	E	$C_t - C_{t-1}/C_t$ i %
1981 .....	0,82	-0,88	-0,26	-1,19	
82 .....	0,96	-0,21	0,79	-0,40	14,6
83 .....	1,11	-0,63	0,89	0,49	13,5
84 .....	1,30	-0,95	1,19	1,68	14,6
85 .....	1,52	-0,24	1,82	3,50	14,5
86 .....	1,77	-0,49	1,49	4,99	14,1
87 .....	2,00	-0,79	1,10	6,09	14,1
88 .....	2,41	-1,13	0,63	6,72	14,5
89 .....	2,81	-1,53	0,13	6,85	14,2
90 .....	3,28	-2,00	-0,47	6,38	14,3
91 .....	3,82	-2,54	-1,10	5,22	14,1
92 .....	4,46	-4,39	-3,22	2,00	14,3

Tabell 8.  $u = -0,8$ 

	C	Z	IU	E	$C_t - C_{t-1}/C_t$ i %
1981 .....	1,67	-1,73	-1,14	-2,07	
82 .....	1,73	-0,99	-0,06	-2,13	3,5
83 .....	1,80	-1,32	0,10	-2,02	3,9
84 .....	1,87	-1,52	0,49	-1,53	3,7
85 .....	1,94	-0,67	1,24	-0,30	3,6
86 .....	2,02	-0,74	1,07	0,77	4,0
87 .....	2,10	-0,82	0,89	1,66	3,8
88 .....	2,18	-0,90	0,68	2,34	3,7
89 .....	2,27	-0,99	0,51	2,85	4,0
90 .....	2,36	-1,08	0,32	3,17	3,8
91 .....	2,45	-1,17	0,13	3,31	3,7
92 .....	2,57	-2,47	-1,31	2,00	4,7

Tabell 9. Eksogen vekstrate: 1 % ( $a_3$ )

	C	Z	IU	E	II	KI	XI	$F_{KI}$ i %	$C_t - C_{t-1} / C_t$ i %
1981 .....	1,51	-1,57	-0,97	-1,90	1,24	8,10	2,07	6,4	
82 .....	1,60	-0,90	0,04	-1,86	0,31	8,21	2,10	6,4	5,6
83 .....	1,70	-1,25	0,19	-1,67	0,32	8,32	2,13	6,4	5,9
84 .....	1,81	-1,48	0,55	-1,12	0,32	8,43	2,16	6,4	6,1
85 .....	1,93	-0,65	1,27	0,15	0,32	8,54	2,19	6,4	6,2
86 .....	2,05	-0,76	1,07	1,22	0,33	8,66	2,22	6,4	5,9
87 .....	2,18	-0,88	0,85	2,07	0,33	8,78	2,25	6,4	6,0
88 .....	2,32	-1,00	0,59	2,66	0,34	8,89	2,28	6,4	6,0
89 .....	2,46	-1,14	0,37	3,03	0,34	9,01	2,31	6,4	5,7
90 .....	2,62	-1,28	0,12	3,15	0,35	9,13	2,34	6,4	6,1
91 .....	2,79	-1,43	-0,14	3,01	0,35	9,26	2,37	6,4	6,1
92 .....	2,96	-2,18	-1,01	2,00	0,98	10,00	2,44	6,1	6,8

Tabell 10. Eksogen vekstrate: 0,1 % ( $a_3$ )

	C	Z	IU	E	II	KI	XI	$F_{KI}$ i %	$C_t - C_{t-1} / C_t$ i %
1981 .....	1,44	-1,50	-0,90	-1,83	1,24	8,10	2,07	6,4	
82 .....	1,53	-0,77	0,18	-1,65	0,22	8,12	2,08	6,4	5,9
83 .....	1,63	-1,13	0,32	-1,33	0,22	8,14	2,08	6,4	6,0
84 .....	1,73	-1,38	0,67	-0,66	0,23	8,17	2,09	6,4	5,8
85 .....	1,84	-0,56	1,38	0,72	0,23	8,19	2,10	6,4	6,0
86 .....	1,96	-0,69	1,17	1,89	0,23	8,21	2,10	6,4	6,1
87 .....	2,09	-0,82	0,94	2,83	0,23	8,23	2,10	6,4	6,2
88 .....	2,22	-0,96	0,67	3,50	0,23	8,25	2,11	6,4	5,9
89 .....	2,36	-1,11	0,43	3,93	0,23	8,28	2,12	6,4	5,9
90 .....	2,51	-1,27	0,17	4,11	0,23	8,30	2,12	6,4	6,0
91 .....	2,67	-1,43	-0,10	4,01	0,23	8,32	2,13	6,4	6,0
92 .....	2,84	-3,17	-2,01	2,00	1,89	10,00	2,23	5,6	6,0

Tabell 11.  $\bar{K}I_T = 15,00$ 

	C	Z	IU	E	II
1981 .....	1,24	-1,30	-0,69	-1,62	1,24
82 .....	1,32	-0,58	0,39	-1,23	0,26
83 .....	1,40	-0,92	0,56	-0,68	0,26
84 .....	1,49	-1,14	0,94	0,27	0,26
85 .....	1,59	-0,51	1,69	1,95	0,26
86 .....	1,69	-0,41	1,51	3,46	0,26
87 .....	1,79	-0,52	1,32	4,78	0,27
88 .....	1,91	-0,63	1,10	5,88	0,27
89 .....	2,03	-0,75	0,91	6,79	0,27
90 .....	2,16	-0,88	0,69	7,48	0,27
91 .....	2,30	-1,02	0,47	7,95	0,27
92 .....	2,44	-7,12	-5,96	2,00	6,56

Tabell 12.  $E_T = 4,00$ 

	C	Z	IU	E	$c_t - c_{t-1}/c_t$
1981 .....	1,37	-1,44	-0,83	-1,76	
82 .....	1,46	-0,72	0,24	-1,53	6,2
83 .....	1,55	-1,08	0,39	-1,14	5,8
84 .....	1,65	-1,3	0,75	-0,39	6,1
85 .....	1,76	-0,48	1,48	1,09	6,3
86 .....	1,87	-0,60	1,29	2,38	5,9
87 .....	1,99	-0,71	1,07	3,45	6,0
88 .....	2,11	-0,84	0,83	4,28	5,7
89 .....	2,25	-0,97	0,61	4,89	6,2
90 .....	2,39	-1,11	0,37	5,26	5,9
91 .....	2,54	-1,26	0,12	5,38	5,9
92 .....	2,71	-2,63	-1,38	4,00	6,3

Tabell 13.  $i=8\%$ ,  $\frac{\dot{PP}}{PP} = 5\%$ 

	C	Z	IU	E	II	XP
1981 .....	1,06	0,03	0,71	-0,22	-	0,66
82 .....	1,23	-0,33	0,79	0,57	-	0,98
83 .....	1,42	-0,80	0,97	1,54	-	1,42
84 .....	1,64	-1,17	1,41	2,95	-	1,92
85 .....	1,90	-0,51	2,12	5,07	-	1,74
86 .....	2,20	-0,83	1,83	6,91	-	1,58
87 .....	2,55	-1,19	1,50	8,41	-	1,43
88 .....	2,96	-1,61	1,03	9,44	-	1,27
89 .....	3,42	-2,09	0,49	9,93	-	1,15
90 .....	3,96	-2,65	-0,17	9,76	-	1,04
91 .....	4,59	-3,29	-0,97	8,79	-	0,95
92 .....	5,32	-8,49	-6,79	2,00	4,80	0,86

Tabell 14.  $i=5,5\%$ ,  $\frac{\dot{PP}}{PP} = 5\%$ 

	C	Z	IU	E	II	XP
1981 .....	1,41	-0,32	0,34	-0,59	-	0,66
82 .....	1,54	-0,64	0,42	-0,17	-	0,98
83 .....	1,69	-1,07	0,60	0,43	-	1,42
84 .....	1,86	-1,38	1,04	1,48	-	1,92
85 .....	2,04	-0,76	1,64	3,11	0,12	1,74
86 .....	2,24	-1,04	1,32	4,43	0,20	1,58
87 .....	2,46	-1,26	1,00	5,49	0,20	1,43
88 .....	2,70	-1,50	0,73	6,22	0,20	1,27
89 .....	2,96	-1,76	0,39	6,61	0,20	1,15
90 .....	3,25	-2,05	0,02	6,63	0,21	1,04
91 .....	3,57	-2,37	-0,41	6,22	0,21	0,94
92 .....	3,41	-5,87	-4,21	2,00	3,58	0,85



Tabell 15.  $i=5\%$ ,  $\frac{\dot{PP}}{PP} = 5\%$ 

	C	Z	IU	E	II	XP
1981 .....	1,49	-0,40	0,26	-0,67	-	0,66
82 .....	1,61	-0,77	0,29	-0,38	0,05	0,98
83 .....	1,75	-1,33	0,32	-0,06	0,21	1,42
84 .....	1,90	-1,61	0,77	0,71	0,21	1,92
85 .....	2,07	-0,84	1,49	2,20	0,22	1,74
86 .....	2,25	-1,02	1,27	3,47	0,22	1,58
87 .....	2,44	-1,21	1,02	4,49	0,22	1,43
88 .....	2,65	-1,43	0,72	5,21	0,22	1,27
89 .....	2,88	-1,65	0,42	5,63	0,22	1,15
90 .....	3,13	-1,90	0,09	5,71	0,22	1,04
91 .....	3,40	-2,17	-0,28	5,43	0,23	0,95
92 .....	3,69	-5,07	-3,43	2,00	3,01	0,86

Tabell 16.  $i=4,5\%$ ,  $\frac{\dot{PP}}{PP} = 5\%$ 

	C	Z	IU	E	II	XP
1981 .....	1,57	-0,93	-0,29	-1,22	0,48	0,66
82 .....	1,69	-0,98	0,04	-1,18	0,23	0,98
83 .....	1,82	-1,37	0,24	-0,94	0,23	1,42
84 .....	1,95	-1,63	0,70	-0,24	0,24	1,92
85 .....	2,10	-0,85	1,43	1,20	0,24	1,74
86 .....	2,26	-1,01	1,22	2,41	0,24	1,58
87 .....	2,43	-1,17	0,99	3,41	0,24	1,43
88 .....	2,61	-1,36	0,72	4,13	0,24	1,27
89 .....	2,80	-1,55	0,44	4,57	0,24	1,15
90 .....	3,01	-1,76	0,16	4,73	0,25	1,04
91 .....	3,24	-1,99	-0,16	4,56	0,25	0,94
92 .....	3,48	-4,19	-2,56	2,00	2,34	0,86

Tabell 17.  $i=3,5\%$ ,  $\frac{\dot{PP}}{PP} = 5\%$ 

	C	Z	IU	E	II	XP
1981 .....	1,76	-2,61	-2,07	-3,00	2,14	0,61
82 .....	1,86	-1,06	-0,17	-3,17	0,29	0,91
83 .....	1,96	-1,40	0,03	-3,15	0,29	1,32
84 .....	2,06	-1,87	0,42	-2,73	0,29	1,96
85 .....	2,17	-0,86	1,35	-1,37	0,29	1,77
86 .....	2,29	-0,98	1,17	-0,21	0,29	1,61
87 .....	2,41	-1,10	0,98	0,77	0,29	1,46
88 .....	2,53	-1,26	0,75	1,52	0,30	1,30
89 .....	2,67	-1,36	0,53	2,05	0,30	1,17
90 .....	2,81	-1,50	0,32	2,37	0,30	1,06
91 .....	2,95	-1,65	0,04	2,46	0,30	0,96
92 .....	3,11	-2,10	-0,46	2,00	0,62	0,87

 Tabell 18.  $500 KP_{t-1} \geq KP_t$ 

	XP	IP	C	IU	E	Z
1981 .....	2,05	2,30	1,49	-1,50	-2,43	-3,50
82 .....	1,87	-	1,59	1,59	-0,83	-0,32
83 .....	1,67	-	1,69	1,37	0,54	-0,42
84 .....	1,51	-	1,80	1,18	1,72	-0,52
85 .....	1,37	-	1,91	0,98	2,70	-0,63
86 .....	1,24	-	2,03	0,79	3,49	-0,76
87 .....	1,13	-	2,16	0,57	4,06	-0,89
88 .....	1,00	-	2,30	0,33	4,39	-1,02
89 .....	0,91	-	2,45	0,10	4,49	-1,17
90 .....	0,82	-	2,60	-0,15	4,35	-1,32
91 .....	0,74	-	2,77	-0,41	3,94	-1,49
92 .....	0,67	-	2,94	-1,94	2,00	-2,87

Tabell 19.  $X_t \geq XP_{t-1}$ ,  $XP_t = kp \cdot KP_t$ 

	C	Z	IU	E	II	XP	IP
1981 .....	1,42	-1,48	-0,88	-1,81	1,24	0,66	0,35
82 .....	1,51	-0,77	0,18	-1,63	0,26	0,98	0,53
83 .....	1,61	-1,00	0,36	-1,27	0,26	1,34	0,67
84 .....	1,71	-0,62	0,81	-0,46	0,26	1,34	0,18
85 .....	1,82	-0,73	0,76	0,29	0,26	1,34	0,19
86 .....	1,93	-0,84	0,71	1,00	0,26	1,34	0,19
87 .....	2,06	-0,97	0,63	1,63	0,27	1,34	0,19
88 .....	2,19	-1,14	0,51	2,14	0,27	1,34	0,23
89 .....	2,33	-1,25	0,46	2,60	0,27	1,34	0,20
90 .....	2,47	-1,40	0,34	2,94	0,27	1,34	0,21
91 .....	2,63	-1,56	0,22	3,16	0,27	1,34	0,21
92 .....	2,80	-2,94	-1,16	2,00	1,56	1,34	0,21

Tabell 20 Arlig balanse på driftsregnskapet  $XP_t \geq XP_{t-1}$ ,  $C_t \geq C_{t-1}$ 

	XP	IP	C	Z	II	KI	XI	$C_t - C_{t-1} / C_{t-1} \%$
1981 .....	0,66	0,35	1,56	-0,67	0,22	7,08	2,01	
82 .....	0,98	0,53	1,68	-1,01	0,26	7,17	2,02	7,1
83 .....	1,34	0,67	1,82	-1,42	0,41	7,40	2,05	7,7
84 .....	1,34	0,18	1,95	-1,44	0,83	8,04	2,10	6,7
85 .....	1,34	0,19	2,08	-1,47	0,76	8,60	2,15	6,3
86 .....	1,34	0,19	2,21	-1,51	0,70	9,08	2,19	5,9
87 .....	1,34	0,19	2,33	-1,54	0,62	9,48	2,22	5,2
88 .....	1,34	0,23	2,45	-1,56	0,51	9,75	2,25	4,9
89 .....	1,34	0,20	2,57	-1,60	0,46	9,97	2,27	4,7
90 .....	1,34	0,21	2,69	-1,63	0,37	10,08	2,29	4,5
91 .....	1,34	0,21	2,82	-1,66	0,26	10,10	2,30	4,6
92 .....	1,34	0,22	2,96	-1,70	0,16	10,00	2,31	5,0

Tabell 21. Ingen oljekapital  $\overline{KI}_T = 1,00$ 

	C	XP	Z	IU	E	II	$\frac{C_t - C_{t-1}}{C_t}$
1981 .....	1,95	15,00	-0,52	15,36	14,43	-	
82 .....	2,08	-	-0,65	-0,08	14,35	-	6,3
83 .....	2,22	-	-0,80	-0,23	14,12	-	6,3
84 .....	2,36	-	-0,95	-0,40	13,71	-	5,9
85 .....	2,51	-	-1,12	0,59	13,12	-	6,0
86 .....	2,67	-	-1,29	-0,80	12,31	-	6,0
87 .....	2,84	-	-1,48	-1,03	11,29	-	6,0
88 .....	3,01	-	-1,07	-1,27	10,02	-	5,6
89 .....	3,21	-	-1,88	-1,54	8,48	-	6,2
90 .....	3,41	-	-2,10	-1,83	6,64	-	5,9
91 .....	3,63	-	-2,33	-2,15	4,50	-	6,1
92 .....	3,86	-	-2,58	-2,50	2,00	-	6,0

Tabell 22. Ingen oljekapital  $i=1,5\%$ ,  $\overline{KI}_T=1,00$ 

	C	XP	Z	IU	E	$\frac{C_t - C_{t-1}}{C_t}$
1981 .....	2,45	-	-1,01	-1,04	-1,97	
82 .....	2,48	-	-1,05	-1,09	-3,06	1,2
83 .....	2,50	-	-1,09	-1,15	-4,21	0,8
84 .....	2,53	-	-1,13	-1,21	-5,42	1,2
85 .....	2,56	-	-1,17	-1,27	-6,69	1,2
86 .....	2,58	-	-1,21	-1,32	-8,01	0,8
87 .....	2,61	-	-1,25	-1,39	-9,41	1,1
88 .....	2,64	-	-1,29	-1,45	-10,86	1,1
89 .....	2,66	-	-1,33	-1,52	-12,39	0,8
90 .....	2,69	-	-1,38	-1,59	-13,96	1,1
91 .....	2,71	-	-1,42	-1,65	-15,62	0,7
92 .....	2,75	15,00	-1,46	17,62	2,00	1,5

Tabell 23. Ingen oljekapital  $i=2\%$ ,  $\overline{KI}_T=1,00$ 

	C	XP	Z	IU	E	II	$\frac{C_t - C_{t-1}}{C_t}$
1981 .....	2,29	-	-0,85	-0,89	-1,82	-	
82 .....	2,34	-	-0,91	-0,96	-2,78	-	2,1
83 .....	2,39	-	-0,97	-1,05	-3,83	-	2,1
84 .....	2,44	-	-1,04	-1,14	-4,97	-	2,0
85 .....	2,49	-	-1,10	-1,22	-6,19	-	2,0
86 .....	2,54	15,00	-1,17	15,98	9,79	-	2,4
87 .....	2,59	-	-1,23	-1,06	8,73	-	1,9
88 .....	2,65	-	-1,30	-1,15	7,58	-	2,3
89 .....	2,70	-	-1,37	-1,24	6,34	-	1,9
90 .....	2,76	-	-1,44	-1,34	4,99	-	2,2
91 .....	2,81	-	-1,51	-1,44	3,55	-	1,8
92 .....	2,87	-	-1,59	-1,55	2,00	-	2,1

## LITTERATURLISTE

- Dasgupta, P., Eastwood, R. and Heal, G. (1978): Resource management in a trading economy. *Quartly Journal of Economics*, Vol. 92, No. 2.
- Golombek, R. (1983): Optimal utvinning av olje - et forberedende arbeid. Statistisk Sentralbyrå.
- Golombek, R. (1984): Arbeidsløshet, forventningsdannelse og tidsperspektivet - En makroøkonomisk analyse. Sosialøkonomisk Institutt. Memo 17.1.84.
- Gray, L. C. (1914): Rent under the assumption of exhaustibility. *Quartly Journal of Economics*, 1914.
- Hoel, M. (1980): Optimal resource extraction with imperfect international capital markets and a limited absorptive capacity. Sosialøkonomisk Institutt. Memo 10.6.1980.
- Hotelling, H. (1931): The economics of exhaustible resources. *Journal of Political Economy*, 1931.
- Johansen, L. (1960): A Multi-Sectoral Study of Economic Growth. 2nd enlarged ed., 1974.
- Motamen, H. (1982a): Optimal policies for investment and depletion in an oil-rich industrialized economy. *Energy Economics*, January 1982.
- Motamen, H. (1982b): Policy Implications of North Sea Oil Depletion at National Level. *Omega*. Vol. 10. Nr. 5.
- NOU 1983:27 Petroleumsvirksomhetens framtid.
- NOU 1983:37 Perspektivberegninger for norsk økonomi til år 2000.
- Rapporter 80/1 Energy in a multi-sectoral growth model. Statistisk Sentralbyrå.
- Rattsø, J. (1982): Different Macroclosures of the Original Johansen Model and Their Impact on Policy Evaluation. *Journal of Policy Modelling*.
- Strøm, S. (1974): Utnytting av naturressurser. *Sosialøkonomen* 1974. Nr. 8.
- SØS 45 Nasjonalregnskapet i Norge.
- Vousden, N. (1973): Basic theoretical issues of resources depletion. *Journal of Economic Theory* 1973. No. 6.
- Aarrestad, J. (1978): Optimal Savings and Exhaustible Resource Extraction in an Open Economy. *Journal of Economic Theory*. 1978. October Vol. 19. No. 1.
- Aarrestad, J. (1978b): On the optimal development of a small, open economy with an exhaustible resource. Norwegian School of Economics and Business Administration. Discussion Papers 15/78.
- Aarrestad, J. (1979): Resource extraction, financial transactions and consumption in an open economy. *Scandinavian Journal of Economics*. Vol. 81. 1979.