

**RAPPORTER**

**92/20**

**RESSURSBRUK OG PRODUKSJON I  
KRAFTSEKTOREN**

AV  
TOR ARNT JOHNSEN

**STATISTISK SENTRALBYRÅ  
CENTRAL BUREAU OF STATISTICS OF NORWAY**

Akademika  
- avdeling for offentlige publikasjoner  
Møllergt. 17  
Postboks 8134 Dep  
0033 Oslo

Tlf.: (02) 11 67 70  
Telefax: (02) 42 05 51

RAPPORTER FRA STATISTISK SENTRALBYRÅ 92/20

**RESSURSBRUK OG PRODUKSJON I  
KRAFTSEKTOREN**

AV

TOR ARNT JOHNSEN

STATISTISK SENTRALBYRÅ  
OSLO - KONGSVINGER 1992

ISBN 82-537-3696-7  
ISSN 0332-8422

**EMNEGRUPPE**  
12 Energi

**EMNEORD**  
Elektrisitetsproduksjon  
Kostnadsfunksjoner  
Produksjonskostnader

Omslaget er trykt ved Aasens Trykkerier A.S

Publikasjonen er trykt i Statistisk sentralbyrå

## FORORD

I forbindelse med NORAS-prosjektet "Energi og samfunn" har det i SSB vært arbeidet med å etablere en empirisk modell for kraftsektoren. I denne modellen inngår relasjoner for produksjonsstrukturen i de tre delene av kraftsektoren; produksjon, overføring og fordeling av kraft. For overførings- og fordelingssektorens del har en ønsket å studere den historiske utviklingen med henblikk på å utnytte noe av den informasjon historien kan gi om produksjonsstrukturen. Alternativet til å benytte relasjoner estimert på historiske data er å benytte faste basisårskoeffisienter ved beskrivelsen av produksjonsstrukturen i disse to sektorene. Det er mindre påkrevet med estimering av kostnadsfunksjoner basert på historiske data for produksjonssektoren. For produksjonssektoren har en tilgang til kostnadsdata for planlagte utbyggingsprosjekter fra NVE.

I den første delen av rapporten (kapittel 2 og 3) studeres tidsutviklingen i produksjon og bruken av innsatsfaktorene realkapital, arbeidskraft, vareinnsats og krafttap pr. produsert enhet. En har undersøkt om det eksisterer forskjeller i utviklingen av ressursbruken over tid i de tre delene av kraftsektoren. Deretter etableres en økonometrisk modell for faktorbruken i overførings- og fordelingssektoren der skalaegenskaper, pris- og substitusjonselastisiteter estimeres. Estimeringsresultatene tyder på at det over estimeringsperioden 1973–1987 har vært tiltagende utbytte med hensyn på skalaen i disse to delsektorene. Data er hentet fra Johnsen (1990) som dokumenterer en oppdeling av nasjonalregnskapets data for kraftsektoren på de tre ovenfor nevnte delsektorene.

Statistisk sentralbyrå, Oslo, 9. juni 1992

Svein Longva



# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Produksjonsutviklingen i kraftsektoren</b>	<b>2</b>
2.1	Produksjon av vannkraft . . . . .	2
2.2	Overføringssektoren . . . . .	3
2.3	Fordelingssektoren . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Ressursbruken i kraftsektoren</b>	<b>7</b>
3.1	Realkapital . . . . .	7
3.1.1	Investeringer . . . . .	7
3.1.2	Beholdning av realkapital . . . . .	8
3.1.3	Realkapital pr. produsert enhet . . . . .	9
3.2	Arbeidskraft . . . . .	11
3.3	Vareinnsats . . . . .	11
3.3.1	Tradisjonell vareinnsats . . . . .	12
3.3.2	Vareinnsats i form av krafttap i linjenettet . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Utbyggingsrekkefølgen for vannkraftprosjekter</b>	<b>19</b>
4.1	Statkrafts investeringer 1967-87 . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Estimerte kostnadsfunksjoner i delsektorene</b>	<b>21</b>
5.1	Teoretisk modell . . . . .	21
5.2	Stokastisk spesifisering . . . . .	21
5.3	Data . . . . .	22
5.4	Estimering . . . . .	23
5.5	Økonomiske egenskaper ved de estimerte modellene . . . . .	26
<b>6</b>	<b>Oppsummering</b>	<b>30</b>
	<b>Referanser</b>	<b>32</b>
	<b>Utkommet i serien Rapporter fra Statistisk sentralbyrå etter 1. juli 1991 (RAPP)</b>	<b>34</b>





# 1 Innledning

Realkapitalbeholdningen i kraftsektoren utgjorde i følge nasjonalregnskapet i 1988 snaue 10 prosent av fastlands-Norges samlede realkapitalbeholdning og er på høyde med realkapitalbeholdningen i industrien. Bruttoproduktet i kraftsektoren var i 1988 om lag 4 prosent av bruttonasjonalproduktet i fastlands-Norge. Økt oppmerksomhet omkring forurensningsproblemene knyttet til bruk av fossile brensler vil trolig vri energibruken i retning av "rene" energibærere som vannkraft. Fremvekst av et nordisk og/eller nord-europeisk energimarked vil kunne gi bedre betingelser for norsk eksport av kraft.

Produksjonen i kraftsektoren kan grovt deles i tre deler:

- produksjon av elektrisk kraft,
- overføring av kraft fra kraftverk til fordelingsnett og
- fordeling av kraft til forbrukerne.

Ressursbruk og skalaegenskaper i de tre delsektorene kan være forskjellig. Dersom vannkraftprosjektene bygges ut i en optimal rekkefølge vil de enkleste og billigste prosjektene bli realisert først. I produksjonen av vannkraft vil en derfor vente å observere avtagende skalautbytte. I hovedsak skjer økningen i sluttleveringer av kraft til allerede tilknyttede abonnenter eller til abonnenter i sentrale strøk der store deler av infrastrukturen allerede er etablert. I overførings- og fordelingssektorene kan derfor ikke tiltagende skalautbytte utelukkes.

Innføring av gasskraft er en aktuell problemstilling i den norske kraftdebatten. Gasskraftproduksjon vil kunne erstatte ny vannkraftutbygging. Valget mellom vann- og gasskraft vil avhenge av kostnadsforholdene i de to produksjonsteknikkene. Plasseringen av et eventuelt gasskraftverk vil påvirke behovet for overføringskapasitet i elektrisitetsnettet. Plasseringen av gasskraftverk bør bestemmes utfra en avveining av kostnadene ved rørtransport av innsatsfaktoren gass mot kostnadene ved overføring av kraft over samme distanse. Alle de ovenfor nevnte momenter gjør det påkrevet å kjenne kostnadsforholdene i de enkelte delene av kraftsektoren.

Denne rapporten er organisert på følgende måte: I kapittel 2 drøftes måling av produksjonen i hver av kraftsektorens tre deler. I tillegg til elektrisitet, overføringstjenester, og fordelingstjenester omfatter produksjonen i delsektorene flere andre varer. Produksjonen av disse andre varene er, på grunn av manglende primærdata, forutsatt å stå i et fast forhold til produksjonen av hovedvaren i hver av de tre delsektorene. Kapittel 3 omfatter en drøfting av ressursbruken i delsektorene. Utviklingen i bruken av realkapital, arbeidskraft, vareinnsats og krafttap analyseres. I kapittel 4 sees det nærmere på utbyggingsrekkefølgen for enkelte store vannkraftutbygginger som er foretatt i perioden 1973-1988. I kapittel 5 spesifiseres det en økonometrisk modell for faktorbruken i delsektorene overføring og fordeling av kraft. Skalaegenskaper, pris- og substitusjonselastisiteter estimeres for disse delsektorene. De viktigste trekkene ved den historiske utviklingen i kraftsektoren siden 1973 oppsummeres i kapittel 6.

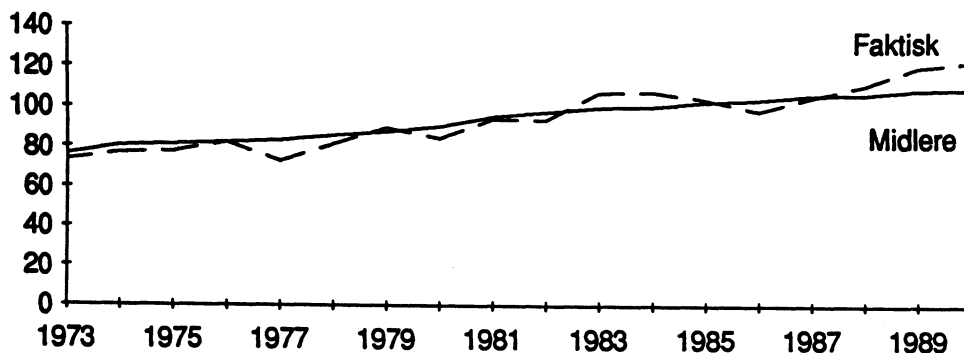
## 2 Produksjonsutviklingen i kraftsektoren

I dette kapitlet drøftes valg av produksjonsmål i hver av de tre sektorene produksjon, overføring og fordeling av kraft. Hovedvarene er elektrisitet i produksjonssektoren, overføringstjenester i overføringssektoren og fordelingstjenester i fordelingssektoren. I tillegg produseres det andre varer i hver av delsektorene. Egne reparasjons- og investeringsarbeider, monteringsarbeider og utleie av maskiner og bygg er eksempler på andre varer som produseres i kraftsektoren. Det er forutsatt at produksjonen av andre varer står i et fast forhold til produksjonen av hovedvaren.

### 2.1 Produksjon av vannkraft

Produksjonskapasiteten for vannkraft, målt ved midlere års produksjonsevne, har i perioden 1973–1990 økt med 41,7 prosent fra 76,3 TWh i 1973 til 108,1 TWh i 1990. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig årlig vekst på 2,2 prosent. Midlere års produksjonsevne er definert som den produksjon kraftsystemet kan gi i et år med midlere tilsig og samme magasinbeholdning ved starten og slutten av året. Den faktiske produksjonen svinger fra år til år på grunn av variasjoner i nedbør og tilsig til kraftverkernes anlegg og magasiner. Figur 1 viser produksjon og utbygd midlere års produksjonsevne ved utgangen av året i perioden 1973 – 1990.

Figur 1: Midlere års produksjonsevne og faktisk produksjon av kraft, 1973-1990. TWh

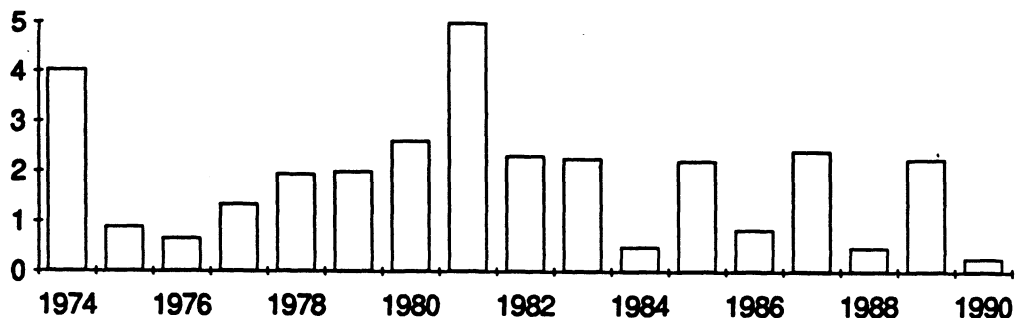


Figuren viser at avviket mellom faktisk produksjon og midlere års produksjonsevne i enkelte år har vært betydelig. I 1977 utgjorde produksjonen bare 87 prosent av midlere års produksjonskapasitet. Tilsvarende tall var 94 prosent for 1980 og 95 prosent i 1986. I 1983 og 1984 var produksjonen 7 prosent høyere enn midlere års produksjon. I 1988, 1989 og 1990 var tilsvarende tall henholdsvis 4, 11 og 10 prosent.

I dette notatet vil midlere års produksjonskapasitet bli benyttet som produksjonsmål for sektoren produksjon av vannkraft. Det antas at ressursbruken dimensjoneres med utgangspunkt i produksjonskapasiteten. Ressursinnsatsen forutsettes dermed å være upåvirket av kortsiktige variasjoner i tilsig og endringer i magasinutfylling. Det antas likevel at en ved dimensjoneringen av kraftproduksjonssystemet har tatt hensyn til at kortsiktige

fluktuasjoner kan forekomme. Figur 2 viser tilveksten i midlere års produksjonskapasitet i perioden 1973 – 1990. Den kraftigste veksten kom i 1974 og på begynnelsen av 1980-

Figur 2: Tilvekst i midlere produksjonsevne, 1974-1990. TWh



tallet, hvor ferdigstillelsen av ny kapasitet var om lag 4 TWh. I 1973 var det verkene Mauranger i Hordaland (1 TWh), Solhom i Vest-Agder, Skjomen i Troms og Borgund i Sogn og Fjordane (hver 0,6 TWh) som ga de største bidragene til kapasitetsøkningen. I perioden 1978 til 1982 var det verkene Leirdøla i Sogn og Fjordane (0,4 TWh), Lang-Sima og Sima (Eidfjord) i Hordaland (2,4 TWh) og første del av Ulla-Førre i Rogaland (1,2 TWh) som i første rekke sto for kapasitetsveksten. Veksten i produksjonskapasiteten målt ved midlere års produksjonsevne har vært om lag 2 TWh i 1983, 1985, 1987 og 1989. I de mellomliggende årene har veksten vært lav, rundt 0,5 TWh pr. år. I 1983 bidro Aurlandsutbyggingen i Sogn og Fjordane sterkest til veksten (0,4 TWh), mens det i 1985 var Ulla-Førre i Rogaland som bidro sterkest (1,8 TWh). I 1987 ble Kobbelv i Nordland (0,9 TWh) og Alta i Finnmark (0,4 TWh) satt i drift. I 1989 var det Jostedalsutbyggingen i Sogn og Fjordane (1,1 TWh) som ga det største tilskuddet til produksjonskapasiteten.

## 2.2 Overføringssektoren

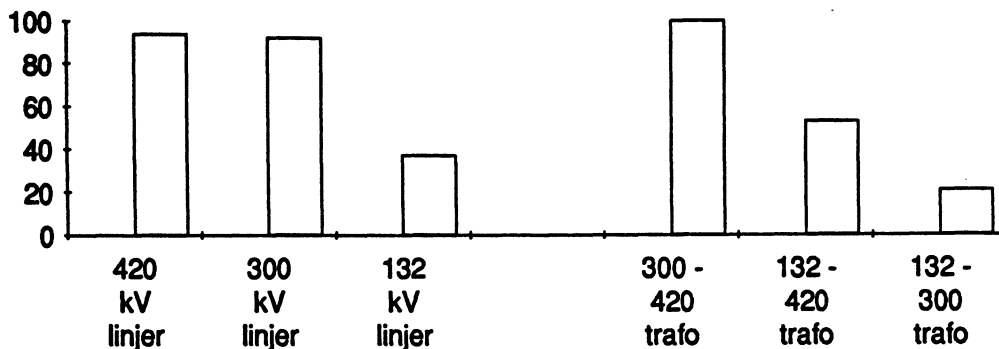
Dimensjoneringen av overføringssektoren er nært knyttet til produksjonskapasiteten for vannkraft. Parallelt med at nye vannkraftutbygginger realiseres foretas det utvidelser og forsterkninger i overføringssektoren, slik at den produserte vannkraft kan overføres fra produksjonsverk til fordelingsverk. Belastningen i overføringsnettets vil avhenge av forbruket i de geografiske regioner som til enhver tid får netto overføring av kraft. En har i dette notatet valgt å se på overført energi som produksjonsenhet. Eventuelle endringer i overføringsnettets effektkapasitet blir dermed ikke tatt hensyn til på annen måte enn via den overførte mengde energi.

Overført kraftmengde gitt at produksjonen er lik midlere års produksjon er valgt som mål for normalproduksjonen eller produksjonskapasiteten i overføringssektoren. Den faktiske overførte kraftmengde måler den løpende produksjonen i overføringssektoren. Disse produksjonsmålene tar ikke hensyn til at endringer i det geografiske forbruksmønsteret for elektrisitet påvirker den gjennomsnittlige overføringslengde. Det finnes ikke data for

overføringslengden i overføringsektoren. En indikasjon på utviklingen i overføringslengdene kan en imidlertid få fra Samkjøringens registreringer av overføringskvanta i Sentralnettets.

I Samkjøringens årsberetning for årene 1973 til 1988 oppgis antall overførte TWh\*100 km i sentralnettets. Sentralnettets omfatter nett eid av medlemmer i Samkjøringen ned til 132 kV spenning, men omfatter ikke hele linjenettet på de ulike spenningsnivåene. Figur 3 viser sentralnettets andel av linjer og transformatorer på de ulike spenningsnivåer.

Figur 3: Sentralnettets andel av linjer og transformatorer i overføringssektoren. Prosent

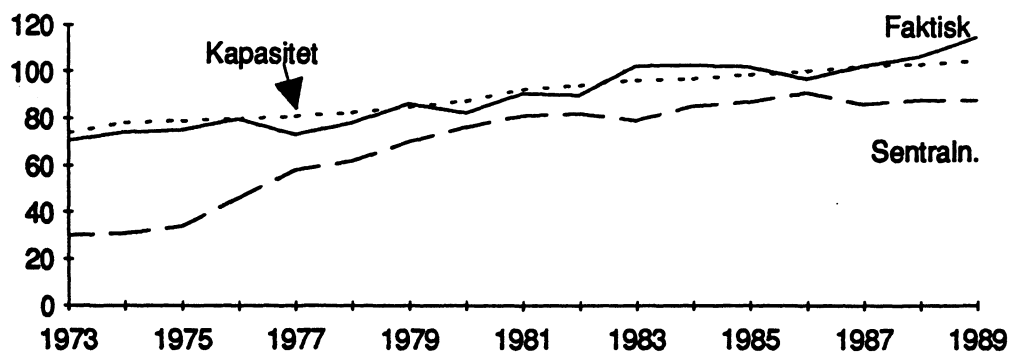


I 1988 omfattet sentralnettets 94 prosent av 420 kV linjene, 92 prosent av 300 kV linjene og 36 prosent av 132 kV linjene i hovednettets. Alle transformatoropplinger mellom 420 kV og 300 kV spenning inngår i sentralnettets. 52 prosent av transformatoropplinger mellom 420 kV og 132 kV spenning og 22 prosent av transformatoropplinger mellom 300 kV og 132 kV tilhører sentralnettets. Av 132 kV linjene ligger drøye 90 prosent under hovedfordelingsnettets, dvs. at de i elektrisitetsstatistikken regnes inn under fordelingssektoren. Det medfører at sentralnettets også omfatter en liten del av fordelingssektoren.

Figur 4 viser utviklingen i normalproduksjonen i overføringssektoren målt ved levert kraftmengde fra overføringsnettets gitt midlere års kraftproduksjon, faktisk produksjon gitt ved overført kraftmengde samt utviklingen i antall overførte TWh\*100 km i sentralnettets.

Ikke uventet svinger den faktiske produksjonen i overføringssektoren rundt normalproduksjonen. Både faktisk produksjon og normalproduksjonen har økt jevnt gjennom hele perioden. Overføringskvantumet i sentralnettets viser en raskere vekst enn de to andre produksjonsmålene i perioden 1975-1978. I resten av perioden er utviklingen tilnærmet parallell. Om en ser nærmere på variasjonene fra år til år vil en se at produksjonen i sentralnettets (målt ved TWh\*100 km) og produksjonen i overføringssektoren (målt ved antall leverte TWh fra overføringsnettets) ofte går i ulik retning. Dette kan ha flere forklaringer. Regionale forskjeller i kraftforbruket fra år til år og endringer i forholdet mellom leveranser til kraftkrevende industri og alminnelig forsyning kan gi ulik utvikling i levert kraftmengde fra overføringsnettets og antall overførte TWh\*100 km. Avvikene kan også skyldes at sentralnettets bare omfatter en del av overføringsnettets. Det sistnevnte forhold skaper usikkerhet med hensyn til om en kan sette likhetstegn mellom overførte TWh\*100

Figur 4: Normalproduksjon, dvs. levert kraftmengde ut fra overføringsnett gitt midlere kraftproduksjon. Faktisk levert kraftmengde ut fra overføringsnett. Antall overførte TWh\*100 km i sentralnettet, 1973-1989. TWh og TWh\*100 km



km i sentralnettet og produksjon i overføringssektoren. I resten av dette notatet har en derfor sett bort i fra eventuelle endringer i overføringslengdene i overføringsnett.

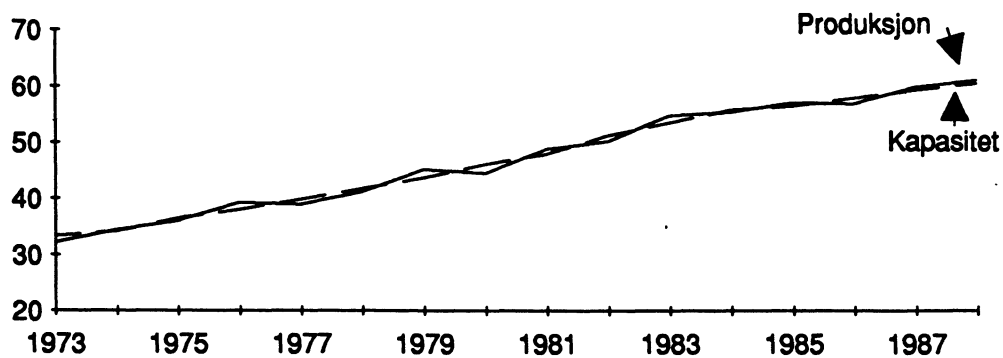
### 2.3 Fordelingssektoren

Fordelingssektoren produserer fordelingstjenester ved å transportere kraft fra overføringsnett og ut til de enkelte kraftforbrukerne. Fordelingsnett består av hoved- og detaljfordelingsnett. Det er forbrukergruppene innen alminnelig forsyning som legger beslag på hoveddelen av produksjonen av fordelingstjenester. Det antas at produksjonen i fordelingssektoren kan måles ved antall kWh levert ut fra fordelingsnett. Implisitt forutsettes det dermed at den gjennomsnittlige fordelingslengden er konstant over tid. Det finnes ikke tilgjengelige data for transportlengder i fordelingsnett.

Ikke alle leveranser av kraft ut fra fordelingsnett legger beslag på like mye fordelingstjenester. Leveranser til en rekke brukere skjer direkte fra hovedfordelingsnett. Leveranser til treforedling og eksport belaster bare i liten grad detaljfordelingsnett. Antall leverte kWh til treforedling og eksport er skalert ned ved beregning av produksjonsmålet i fordelingssektoren. Tapsprosentene i fordelingsnett for leveranser til disse anvendelsene er lavere enn tapsprosenten for leveranser til brukere innen alminnelig forsyning. Ved skaleringen er forholdet mellom tapsprosentene benyttet. Anta for eksempel at tapsprosenten i fordelingsnett for leveranser til eksport og treforedling er 4 prosent, mens den er 8 prosent for alminnelig forsyning. Ved beregning av produksjonsmålet i fordelingssektoren teller en kWh levert til alminnelig forsyning som 1 produktenhet, mens leveranse av en kWh til eksport eller treforedling bare er beregnet som en halv kWh i produktmålet (skaleringfaktoren bestemmes av forholdet mellom tapsprosentene, dvs. en halv). Dersom forholdet mellom tapsprosentene endres over tid vil også skaleringfaktoren bli endret.

Et mål for normalproduksjonen i fordelingssektoren er konstruert som et tre års glidende gjennomsnitt av beregnet produksjon av fordelingstjenester.

Figur 5: Faktisk produksjon og normalproduksjon i fordelingssektoren, 1973-1989. TWh



Produksjonen i fordelingssektoren viser jevn vekst med 4,3 prosent pr. år i årene 1973 – 1988. Sammenliknet med produksjons- og overføringssektoren har dermed produksjonen i fordelingssektoren vist den raskeste veksten. Dette skyldes at forbruket av kraft har vokst raskest i de sektorer som etterspør mye fordelingstjenester.

### 3 Ressursbruken i kraftsektoren

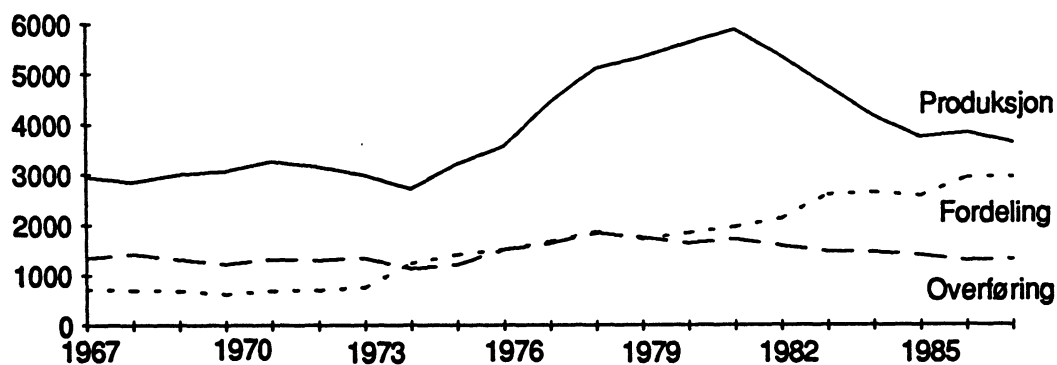
I dette kapitlet studeres bruken av innsatsfaktorene realkapital, arbeidskraft, vareinnsats og elektrisitet (i form av krafttap) i kraftsektoren. Først analyseres bruken av hver innsatsfaktor for seg. Deretter sees bruken av alle innsatsfaktorene i sammenheng for den enkelte delsektor. Både absolutt forbruk av faktorene og faktorbruk pr. produsert enhet vil bli behandlet i dette kapitlet.

#### 3.1 Realkapital

##### 3.1.1 Investeringer

Figur 6 viser anskaffelser av realkapital i perioden 1973 – 1987 i delsektorene produksjon, overføring og fordeling av kraft, jfr. Johnsen (1990). Produksjonssektoren hadde en peri-

Figur 6: Anskaffelser av realkapital i kraftsektoren, fordelt etter delsektor, 1967-87. Millioner kroner, faste 1986-priser



ode med spesielt høye investeringer i årene fra 1977 til 1984. Dette henger sammen med store utbygginger i disse årene. De høye investeringene i årene 1977 – 1984 faller sammen med en periode med sterk tilvekst i midlere års produksjonsevne, jfr. figur 1 i forrige kapittel.

Bortsett fra en topp rundt 1978 har investeringene i overføringssektoren holdt seg stabile på rundt 1,5 milliard kroner pr. år. De største utbyggingene i overføringsnettet i perioden 1977 – 1980 var blant annet ny 275 kV linje langs Sørlandskysten og kabel nr. 2 over Skagerak til Danmark i 1977. I 1978 ble det utført forsterkning fra 300 kV til 420 kV på flere overføringslinjer i Østlandsregionen med tanke på mottak av kraft fra de nye verkene i Eidfjord og Aurland. I 1979 ble det bygget to nye 420 kV linjer til Sverige, mens det i 1980 ble bygget en 420 kV linje mellom Sima (Eidfjord) og Dagali. Dessuten ble bygging av en 420 kV linje fra Ulla-Førre til Oslo satt i gang i 1980.

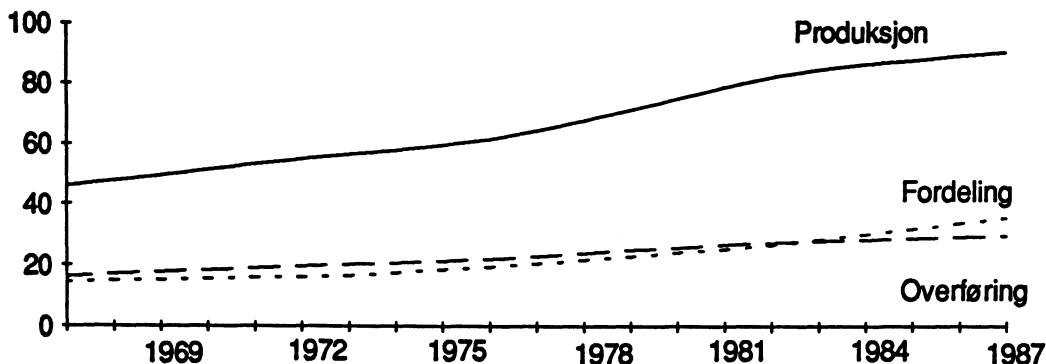
Investeringene i fordelingssektoren har vist en jevnt stigende tendens i hele perioden fra

1967 til 1988 og nærmer seg nivået for investeringene i produksjonssektoren. Veksten i investeringene i fordelingssektoren skyldes vekst i investeringene både i detalj- og hovedfordelingsnett. I 1967 var investeringene i fordelingssektoren 24 prosent av hva de var i produksjonssektoren. I 1987 var investeringene i fordelingssektoren 81 prosent av hva de var i produksjonssektoren.

### 3.1.2 Beholdning av realkapital

Figur 7 viser realkapitalbeholdningen i de tre delsektorene produksjon, overføring og fordeling i perioden 1967 – 1987. I nivå er det produksjonssektoren som har den største

Figur 7: Beholdning av realkapital i kraftsektoren, fordelt etter delsektor, 1967-87. Milliarder kroner, faste 1986-priser



realkapitalbeholdningen. Beholdningen av realkapital i overførings- og fordelingssektoren er jevnstor. Fra og med 1983 er beholdningen av realkapital i fordelingssektoren større enn i overføringssektoren.

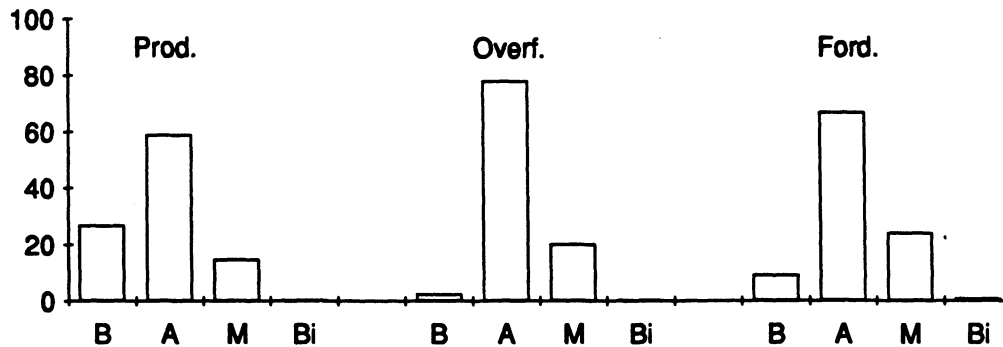
Figur 8 viser kapitalstrukturen, det vil si andelen av de ulike kapitalartene, i delsektorene i 1987. Anleggskapital (A) er den dominerende kapitalarten i alle de tre delsektorene. For produksjonssektoren utgjør anleggskapital 58 prosent av den samlede kapitalbeholdning, mens beholdningen av anleggskapital utgjør henholdsvis 79 og 66 prosent av kapitalbeholdningen i overførings- og fordelingssektorene.

Bygningskapital (B) utgjør 27 prosent av kapitalbeholdningen i produksjonssektoren, 2 prosent i overføringssektoren og 9 prosent i fordelingssektoren. Det er kraftstasjonene og bygg i tilknytning til disse som fører til den høye andelen bygningskapital i produksjonssektoren.

Andelen maskinkapital (M) er 14 prosent i produksjonssektoren, 19 prosent i overføringssektoren og 25 prosent i fordelingssektoren. Det er beholdningen av transformatorer, apparatanlegg o.l. som fører til at andelen maskinkapital er høyere i overførings- og fordelingssektoren enn i produksjonssektoren.



Figur 8: Kapitalstrukturen i delsektorene, andeler av total realkapitalbeholdning 1987. Prosent. B=bygg, A=anlegg, M=maskiner og Bi=biler



Den siste kapitalarten er biler (Bi) som utgjør en svært liten andel av realkapitalbeholdningen.

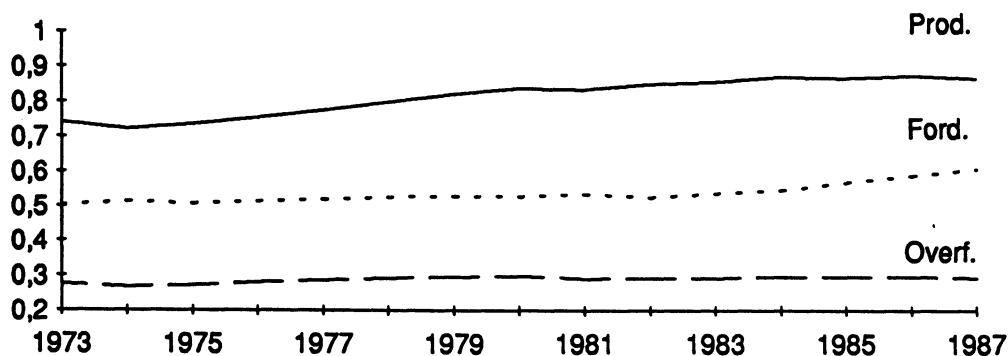
### 3.1.3 Realkapital pr. produsert enhet

Utviklingen i ressursbruk pr. produsert enhet kan gi informasjon om skalaforholdene i en sektor. To forhold er spesielt viktige når kapitalbruk pr. produsert enhet i de tre delsektorene vurderes. For det første er resultatene avhengig av det mål en benytter for produksjonen. I produksjonssektoren er midlere års produksjonsevne benyttet. Det er dermed ikke tatt hensyn til at en reduksjon i den gjennomsnittlige brukstiden i kraftsystemet kan kreve økte effektinstallasjoner. I et vannkraftbasert system med store magasiner antas energikapasiteten (midlere års produksjonsevne) over året å være det viktigste uttrykket for systemets produksjonskapasitet.

Det andre momentet som er viktig ved studier av ressursbruk pr. produsert enhet er utbyggingsrekkefølgen for nye prosjekter i kraftsystemet. En optimal utbyggingsrekkefølge er kjennetegnet ved at prosjektene rangeres etter stigende kostnad. Inputkoeffisientene vil i dette tilfellet kunne benyttes til å studere skalaegenskapene uten mer inngående kjennskap til kostnadsforholdene i hvert enkelt utbygd prosjekt. Dette studeres nærmere i kapittel 4 der en ser på kostnadsforholdene i Statkrafts utbygginger over en 20-års periode.

Figur 9 viser realkapitalbeholdning pr. produsert enhet for de tre delsektorene. I produksjonssektoren har kapitalmengden pr. produsert enhet økt med nær 12 øre pr. kWh over perioden 1973 – 1987. Denne økningen svarer til en årlig vekst på om lag 1,1 prosent. De underliggende tallene for kapitalinnsatsen i produksjonssektoren viser at økningen i kapitalbruken pr. produsert enhet i hovedsak skyldes økning i bygnings- og maskinkapital, om lag 5 øre pr. kWh på hver art. Anleggskapital pr. produsert enhet i produksjonssektoren har holdt seg relativt stabil over perioden. Dette er overraskende. Argumentet for avtagende utbytte med hensyn på skalaen i produksjonssektoren er i første rekke at behovet for anleggskapital pr. produsert enhet øker etterhvert som vanskeligere prosjekter realiseres.

Figur 9: Realkapital pr. produsert enhet i kraftsektoren, etter delsektor, 1973 – 87. Kroner pr. kWh, faste 1986-priser



Årsaken til at en slik utvikling er vanskelig å spore i data kan være at utvelgelsen av nye vannkraftprosjekter ikke nødvendigvis foretas på en slik måte at de billigste prosjektene bygges ut først.

Samlet sett har kapitalkoeffisienten i overføringssektoren holdt seg konstant i perioden 1973 – 1987. Bygnings- og anleggskapital pr. produsert enhet har økt med henholdsvis 1,8 og 0,7 prosent pr. år. Derimot har bruken av maskinkapital pr. produsert enhet gått ned med over 2 prosent pr. år. Dette antyder at utgiftene til utbygging av linjer ekspanderer raskere enn produksjonen, mens utgiftene til transformator og driftsutstyr vokser langsommere enn produksjonen.

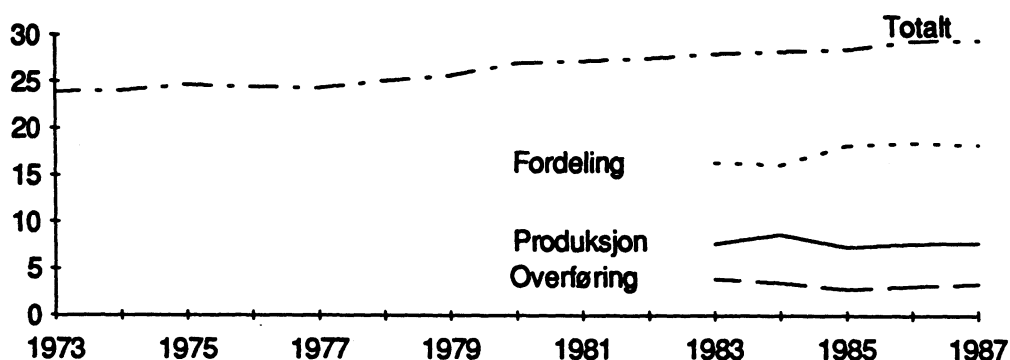
Kapitalbruk pr. produsert enhet i fordelingssektoren har vokst med om lag 1,1 prosent pr. år. De underliggende tallene viser at det i fordelingssektoren er maskinkapital pr. produsert enhet som har hatt den raskeste veksten (om lag 4,9 prosent), mens bygnings- og anleggskapitalbruken pr. produsert enhet har økt med henholdsvis 0,4 og 0,2 prosent pr. år i perioden 1973 – 1987. På bakgrunn av denne enkle figuren ser det ikke ut til å være tiltagende utbytte med hensyn på skalaen i fordelingssektoren. A priori virker en slik konklusjon urimelig. Gitt det eksisterende fordelingsnett burde produksjonen (antall fordelte kWh) kunne økes uten særlige investeringer. Årsaken til at en observerer økning i realkapital pr. produsert enhet i fordelingssektoren i perioden 1973 – 1987 kan være at det i perioden har skjedd betydelige fornyelser og en heving av standarden i fordelingsnettet. Store investeringer i form av utskifting av foreldede transformatorer og fordelingslinjer kan ha gitt en kraftig vekst i kapitalbeholdningen uten at produksjonen er økt tilsvarende. En vanlig begrunnelse for investeringer i lokale fordelingsverk er at en ønsker å bedre spenningsforholdene i deler av fordelingsverkets forsyningsområde. Slike investeringer gir kvalitetsheving av produktet, men slår ikke nødvendigvis ut i en økt produksjonsmengde i sektoren. En kan imidlertid ikke trekke konklusjoner med hensyn til skalaegenskapene i sektoren før en har sett utviklingen i annen faktorbruk og prisendringer på faktorene i

sammenheng. Dette vil bli gjort i kapittel 5 der det spesifiseres en økonometrisk modell for kostnadsutviklingen i overførings- og fordelingssektoren.

### 3.2 Arbeidskraft

Figur 10 viser utviklingen i timeverksforbruket i kraftsektoren i årene 1973 – 1987.

Figur 10: Utførte timeverk i kraftsektoren 1973 – 1988, fordelt på delsektor 1983-1987. Millioner timeverk

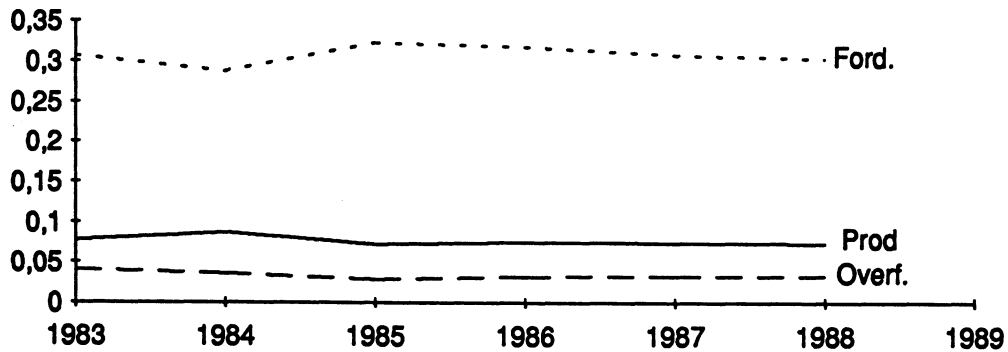


Tall for utførte timeverk fordelt på delsektorene produksjon, overføring og fordeling av kraft er i elektrisitetsstatistikken bare tilgjengelig for perioden 1983 – 1987. For disse årene benyttes opplysninger fra elektrisitetsstatistikken der hvert enkelt elektrisitetsverk har fordelt sitt arbeidskraftforbruk på produksjon, overføring og fordeling. I prinsippet skal administrasjonsarbeider føres under den delsektor de naturlig tilhører. I perioden 1973 – 1987 har timeverksforbruket i kraftsektoren sett under ett økt med om lag 20 prosent. Arbeidskraftforbruket er høyest i fordelingssektoren. I 1987 brukte denne sektoren drøye 60 prosent av timeverkene. Overføringssektoren sto for bare 10 prosent av timeverkene, mens de resterende 25-30 prosent av timeverkene ble utført i produksjonssektoren. Timeverksforbruk pr. produsert enhet fordelt på delsektor er tilgjengelig bare for en kort del av perioden. Det er ikke mulig å trekke noen sikre konklusjoner med hensyn til timeverksforbruket i delsektorene utfra en slik kort observasjonsperiode. Utviklingen i arbeidskraftforbruk pr. produsert enhet ser i gjennomsnitt ut til å være fallende i gjennomsnitt til tross for en oppgang i 1986 og 1987. Den fallende tendensen kan skyldes økt innslag av automatisering og mekanisering i kraftsektoren.

### 3.3 Vareinnsats

Vareinnsats i kraftsektorene består av tradisjonell vareinnsats og krafttap som oppstår ved overføring og fordeling av kraft. Den tradisjonelle vareinnsatsen omfatter kjøp av ulike innsatsvarer til den løpende drift, samt reparasjonsarbeider utført av bedriftens egne ansatte.

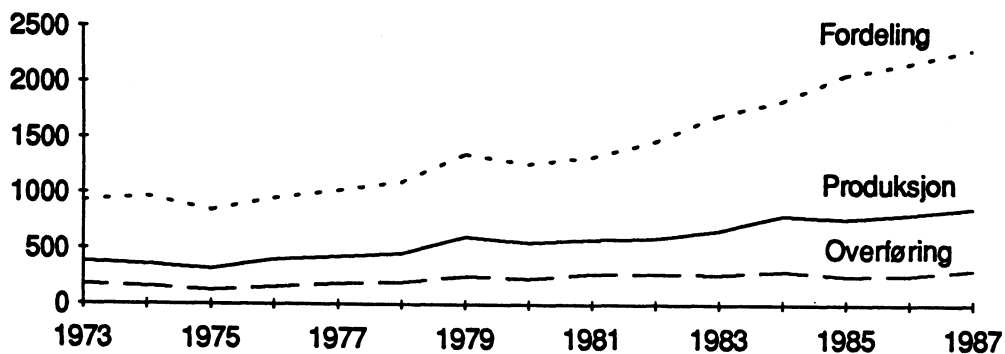
Figur 11: Utførte timeverk pr. produsert enhet i kraftsektoren 1983 – 1987, fordelt på delsektor. Timeverk pr. 1000 kWh



### 3.3.1 Tradisjonell vareinnsats

Figur 12 viser bruken av vareinnsats i kraftsektoren i perioden 1973 – 1987. Vareinnsatsforbruket er høyest i fordelingssektoren med 2,3 milliarder kroner i 1987 (faste 1986-priser). Produksjonssektoren brukte 0,9 milliarder kroner på vareinnsats i 1987, mens overføringssektorens vareinnsatsbruk var 0,3 milliarder kroner i 1987.

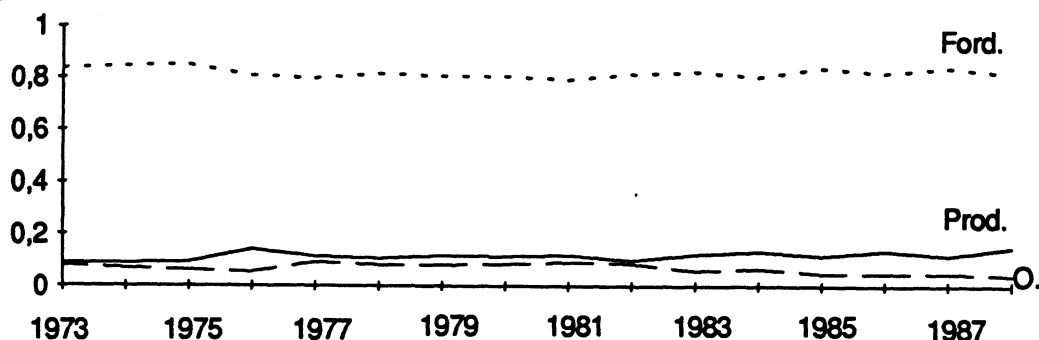
Figur 12: Vareinnsats i kraftsektoren etter delsektor, 1973 – 1987. Millioner kroner, faste 1986-priser



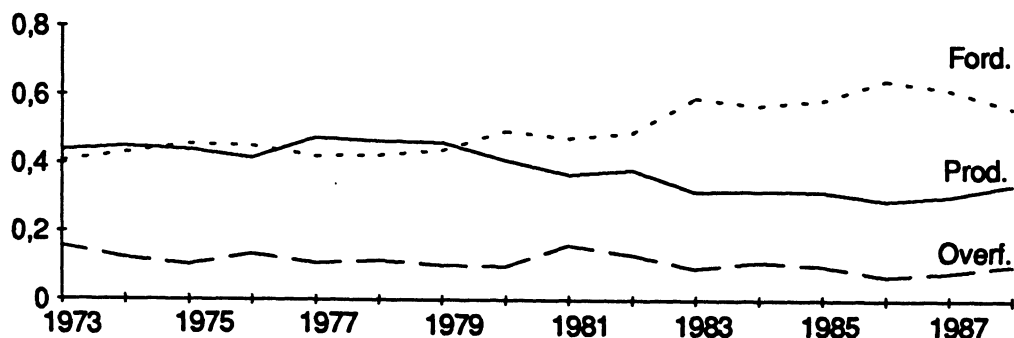
Figur 12 viser at veksten i bruken av tradisjonell vareinnsats har vært sterkest i fordelingssektoren med nær 7 prosent årlig vekst fra 1973 til 1987. Veksten har vært noe lavere i overførings- og produksjonssektorene (henholdsvis 4 og 6 prosent årlig vekst fra 1973 til 1987). De underliggende tallene viser at reparasjonsarbeider utgjør om lag halvparten av den tradisjonelle vareinnsatsen i hver av de tre delsektorene. Reparasjonsarbeider føres vanligvis som vareinnsats i nasjonalregnskapet, men spesielt store utbedringsarbeider føres som investeringer. Utgifter ført opp som reparasjoner i elektrisitetsstatistikken føres som vareinnsats. Utgifter til reparasjoner av anlegg og maskiner utgjør over 90 prosent av de totale reparasjonsarbeidene. Figur 13 viser fordelingen av utgiftene til reparasjons-

Figur 13: Reparasjonsarbeider på anlegg og maskiner, fordelt på delsektorer, 1973 – 1987. Andeler av totale reparasjonsarbeider

Anlegg:



Maskiner:



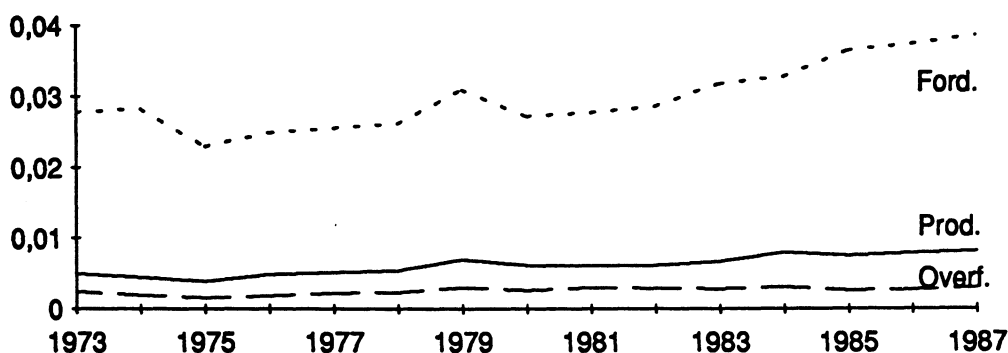
arbeider på de tre delsektorene for de to kapitalartene anlegg og maskiner. Det er anleggsreparasjonene som er størst, og de har økt fra 0,5 milliarder i 1973 til 0,9 milliarder i 1987 (faste 1986-priser). Andelen av disse reparasjonene som utføres i fordelingssektoren har holdt seg stabil på over 80 prosent gjennom hele perioden. Av de resterende anleggsreparasjonene skjer en økende andel i produksjonssektoren (fra 9 prosent i 1973 til 12 prosent i 1987). Overføringssektorens andel av reparasjonsarbeidene har sunket fra 8 prosent i 1973 til vel 5 prosent i 1987. Reparasjoner av maskiner har økt sterkt fra 0,3 milliarder i 1973 til 0,7 milliarder i 1987. En økende andel av disse reparasjonene foregår i fordelingssektoren (61 prosent i 1987 mot 41 prosent i 1973). Produksjonssektorens andel av maskinreparasjonene har sunket fra 44 prosent i 1973 til 34 prosent i 1987, mens overføringssektorens andel av maskinreparasjonene har sunket fra 16 prosent i 1973 til 8 prosent i 1987.

Utgifter til reparasjoner pr. krone realkapital varierer mellom delsektorer og kapitalarter. Realkapitalbeholdningen av anlegg i 1987 var 53 milliarder i produksjonssektoren og 24 milliarder i fordelingssektoren (faste 1986-priser). For anleggskapital utgjorde dermed reparasjonsarbeidene 0,2 prosent av realkapitalbeholdningen (0,1 prosent i 1973),

mens reparasjonsarbeidene i fordelingssektoren utgjorde 3,0 prosent av beholdningen av anleggskapital i 1987 (3,4 prosent i 1973). De tilsvarende tall for maskiner viser at reparasjonsarbeidene på maskiner svarte til 1,7 prosent av beholdningen av maskinkapital i produksjonssektoren (1,9 prosent i 1973). I fordelingssektoren utgjorde maskinreparasjonene 5,3 prosent av maskinkapitalen i 1987 (4,7 prosent i 1973). Bakgrunnsdataene viser at det kreves langt større reparasjonsinnsats for å vedlikeholde kapitalen i fordelingssektoren enn i produksjonssektoren. Levetidene for anleggskapital i kraftsektoren er i nasjonalregnskapet satt til 75 år, mens den for maskinkapital er satt til 25 år. Data indikerer imidlertid at levetidene kan være ulike i delsektorene.

Figur 14 viser bruken av tradisjonell vareinnsats pr. produsert enhet. Det har funnet sted

Figur 14: Tradisjonell vareinnsats pr. produsert enhet etter delsektor, 1973 – 1987. Kr/kWh



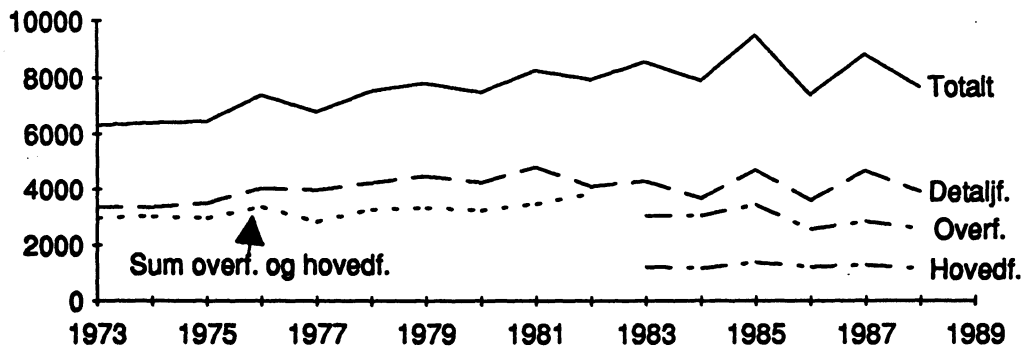
en økning av vareinnsatsbruk pr. produsert enhet i produksjonssektoren med 65,7 prosent fra 1973 til 1987, dvs. 3,7 prosent vekst pr. år. I overføringssektoren har vareinnsats pr. produsert enhet økt med i overkant av 20 prosent i perioden 1973 – 1987, dvs. 1,4 prosent vekst pr. år. I fordelingssektoren har vareinnsatsbruken pr. produsert enhet vokst med i overkant av 34 prosent, dvs. 2,1 prosent årlig vekst.

### 3.3.2 Vareinnsats i form av krafttap i linjenettet

Ved overføring, transformasjon og fordeling av elektrisk kraft går en del kraft tapt. Dette krafttaptet kommer i tillegg til den tradisjonelle vareinnsatsen i overførings- og fordelingssektorene.

I elektrisitetsstatistikken er tapstall for detaljfordelings-, hovedfordelings- og overføringsnett registrert siden 1983. Før 1983 er bare summen av tapene i overførings- og hovedfordelingsnett registrert. I Johnsen (1990) er tapstallene fra før 1983 fordelt ved å benytte fordelingen i 1983 som nøkkel. Figur 15 viser utviklingen i nettapene i overførings- og hovedfordelingsnett samlet i perioden 1972-1982 og fordelt for perioden 1983-1988. Tapene i detaljfordelingsnett er vist for hele perioden 1973-1988.

Figur 15: Tap i overførings- og fordelingsnett, 1973-1988. GWh

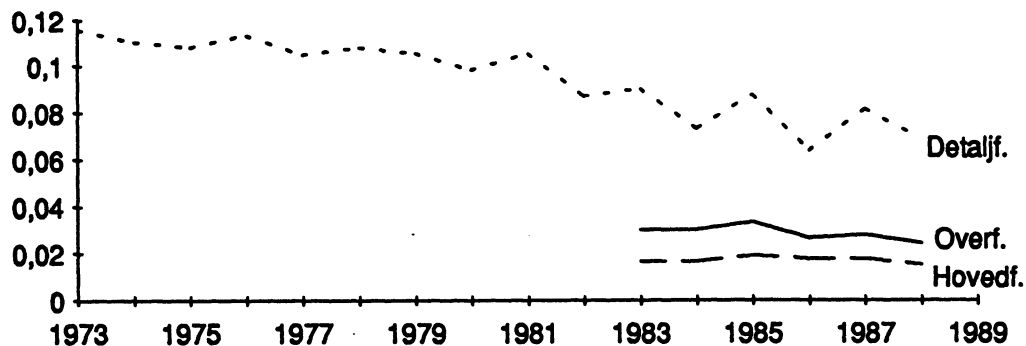


Figur 15 viser flere interessante trekk. I hovedsak vokser de totale krafttapene frem til og med 1983. Etter 1981 viser krafttapene i detaljfordelingsnettet en fallende tendens med unntak av i 1985 og 1987 hvor tapet er på høyde med tapet i 1981. Krafttapene i hovedfordelings- og overføringsnett fortsetter veksten frem til og med 1985. Etter 1985 faller imidlertid tapet i både overførings- og hovedfordelingsnettet. Utviklingen i de absolutte krafttapene bestemmes av utviklingen i tapsprosentene og av utviklingen i det overførte og fordelte kraftkvantum. Økende absolutte krafttap over tid viser at veksten i overført/fordelt kraftkvantum mer enn oppveier effekten av fall i krafttapsprosentene.

### Krafttapsprosent

Figur 16 viser utviklingen i krafttapsprosentene i detaljfordelingsnettet i perioden 1973-1988. Figuren viser også krafttapsprosentene i overførings- og hovedfordelingsnett for perioden 1983-1988.

Figur 16: Tapsprosent i hoved- og detaljfordelingsnettet og i overføringsnettet. Prosent



Krafttapsprosentene i overføringsnettet er beregnet ved å dividere krafttapet på det overførte kraftkvantum. Krafttapsprosenten i hovedfordelingsnettet er beregnet ved å dividere krafttapet på den kraftmengde som er beregnet å ha blitt transportert gjennom hovedfordelingsnettet. Dette er forutsatt å være alle leveranser eksklusive leveranser til kraft-

intensiv industri. Tapsprosenten i detaljfordelingsnettet er beregnet ved å dividere krafttapet på samlede leveranser av fastkraft til alminnelig forsyning. Krafttapsprosenten i detaljfordelingsnettet varierer sterkt og svinger fra under 7 prosent i 1986 til over 11 prosent i årene 1973-1975. Fordelingen av det fordelte kraftkvantum på ulike kjøpergrupper kan påvirke denne krafttapsprosenten. Fordelingen av forbruket over året kan også påvirke tapsprosenten. Videre kan den samlede kapasitetsutnyttningen i fordelingsnettet påvirke tapsprosenten, dersom marginal tapsprosent er en stigende funksjon av kapasitetsutnyttningen (fordelt kraftkvantum). Til sist kan variasjonene skyldes statistiske feil ved registreringer av tapene i elektrisitetsstatistikken.

Krafttapsprosenten er lav i hovedfordelingsnettet, men den viser det samme variasjonsmønster som krafttapsprosenten i detaljfordelingsnettet. Tapsprosenten i overføringsnettet viser et markert fall etter 1985. Årsaken til dette fallet i tapsprosenten kan være at det ble satt i drift flere store overføringslinjer i disse årene.

I 1986 kom en ny 300 kV ledning på Vestlandet i drift. Denne ledningen knyttet Sogn og Fjordane fylke direkte til resten av Vestlandet. I 1987 ble 420 kV ringen rundt Oslo fullført ved en ledning mellom Frogner og Follo. Dessuten ble det satt i drift en ny 300 kV ledning mellom Namsskogan og Nedre Røssåga. Denne ledningen førte til at det finnes to parallelle 300 kV ledninger på strekningen Rana-Trondheim. I 1988 ble en ny 420 kV ledning mellom Sylling og Kvilldal satt i drift. Den 1. januar 1989 ble 420 kV linjen Kobbelv-Salten satt i drift. Denne linjen var den siste i et system av linjer som knytter hele Norge sammen i et nett. Fallet i krafttapsprosenten i overføringsnettet stemmer forøvrig godt overens med et observert fall i tapsprosentene som nyttes i sentralnettet.

### Krafttap og kapasitetsutnyttning

Sammenhengen mellom kapasitetsutnyttning og krafttapsprosent kan studeres nærmere ved å se på samvariasjonen mellom tapsprosent og en indikator for kapasitetsutnyttning. En enkel indikator for kapasitetsutnyttning ( $Z_t^*$ ) i detalj- og hovedfordelingsnett kan være

$$Z_t^* = \frac{Y_t}{Y_t^*} = \frac{Y_t}{\frac{1}{3}(Y_{t-1} + Y_t + Y_{t+1})},$$

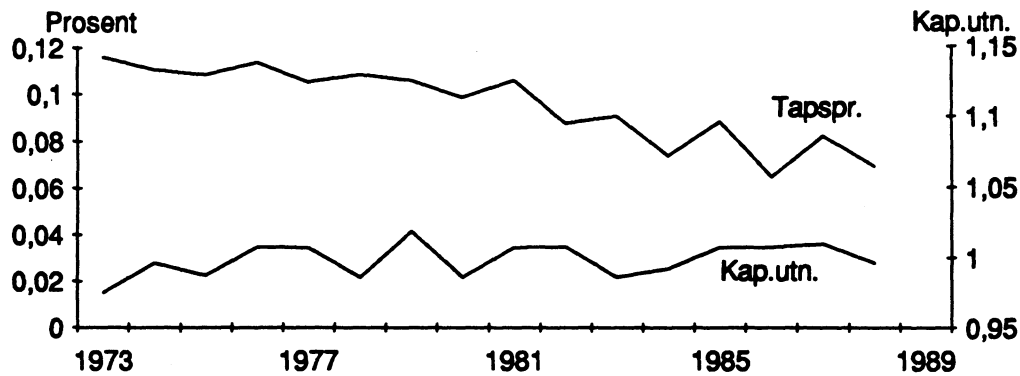
hvor  $Y_t$  er fordelt kraftkvantum i periode  $t$ . Indikatoren for kapasitetsutnyttning er forholdet mellom faktisk produksjon ( $Y_t$ ) og en beregnet normalproduksjon ( $Y_t^*$ ). Normalproduksjonen er beregnet som et uveid 3-års glidende gjennomsnitt av den faktiske produksjonen i sektoren.

Figur 17 viser krafttapsprosent og kapasitetsutnyttning i detaljfordelingsnettet over perioden 1973-1988.

Korrelasjonen mellom kapasitetsutnyttning og krafttapsprosent ser ut til å være høy i detaljfordelingsnettet. Den marginale krafttapsprosenten i detaljfordelingsnettet øker med økende kapasitetsutnyttning.

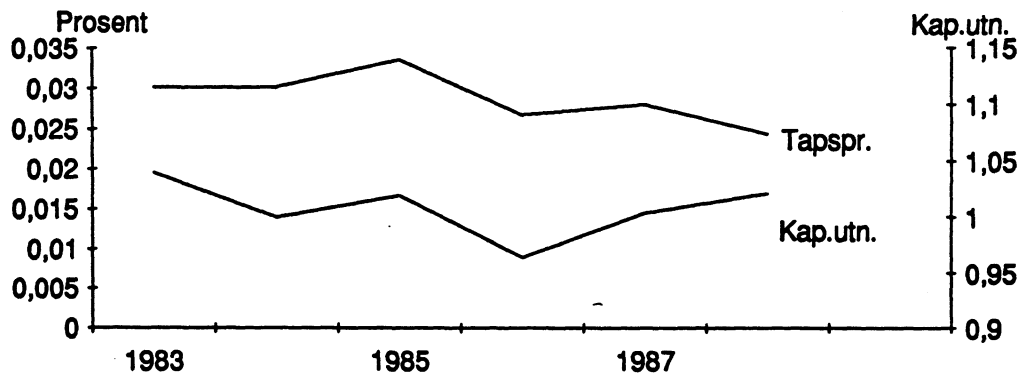


Figur 17: Tapsprosent og kapasitetsutnytting i detaljfordelingsnett



For hovedfordelings- og overføringsnettene finnes ikke separate tapstall for perioden 1973-1982.

Figur 18: Tapsprosent og kapasitetsutnytting i overføringsnett

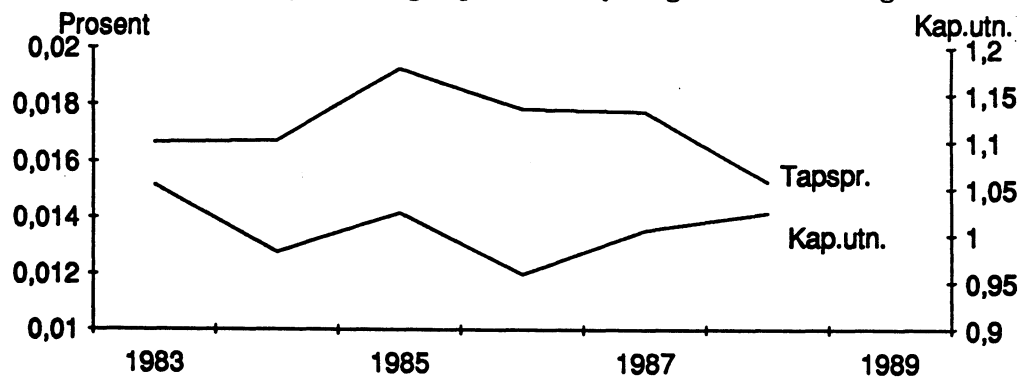


Figur 18 viser krafttapsprosent og indikator for kapasitetsutnytting i overføringsnett i perioden 1983-1988.

For overføringssektoren er indikatoren for kapasitetsutnytting konstruert som forholdet mellom faktisk overført kraftmengde og antall leverte kWh fra overføringssektoren gitt at kraftproduksjonen var lik midlere års produksjon. I perioden 1983-87 er det slik at en økning i kapasitetsutnyttingen går sammen med en økning i tapsprosenten. Fra 1987 til 1988 øker kapasitetsutnyttingen, mens tapsprosenten faller. Denne siste observasjonen stemmer ikke med en hypotese om at tapsprosenten øker med økende kapasitetsutnytting.

Figur 19 viser krafttapsprosent og indikator for kapasitetsutnytting i hovedfordelingsnett i perioden 1983-1988. Korrelasjonen mellom tapsprosent og kapasitetsutnytting ser ut til å være lav i hovedfordelingsnett.

Figur 19: Tapsprosent og kapasitetsutnyttning i hovedfordelingsnettet



For hovedfordelings- og overføringsnettet er observasjonsperioden for kort til at det er mulig å trekke noen sikre konklusjoner med hensyn til korrelasjon mellom tapsprosent og kapasitetsutnyttning. I tillegg er variasjonen i krafttapsprosentene så sterk at det er tvil-  
somt om varierende kapasitetsutnyttning alene kan forklare variasjonen.

## 4 Utbyggingsrekkefølgen for vannkraftprosjekter

I forrige kapittel ble utviklingen av faktorbruken i delsektorene studert. For produksjonssektorens vedkommende kan det være interessant å undersøke hvorvidt de nye prosjektene som er utbygd i perioden 1973-1988, er utbygd i en optimal rekkefølge. Figurene for faktorbruk pr. produsert enhet i produksjonssektoren viste vekst i inputkoeffisientene i denne sektoren. Dette kan skyldes at stadig mer kostnadskrevenne prosjekter har blitt bygget ut. Veksten en observerer i figurene kan også være mindre enn den veksten som svarer til en optimal utbyggingsrekkefølge dersom prosjektene er realisert i en mer tilfeldig rekkefølge. Vekst i inputkoeffisientene vil opptre så lenge en i gjennomsnitt foretar en utbygging etter stigende kostnad.

### 4.1 Statkrafts investeringer 1967-87

Det er ikke tilgjengelig kostnadstall for alle nye kraftprosjekter, men i Statsregnskapet (Stortingsmelding nr. 3, Statsregnskapet (1967 - 1988)) kan en finne regnskapsførte utgifter for de fleste av Statkrafts prosjekter i perioden 1967-1988. De største av Statkrafts prosjekter som er startet og slutført i løpet av perioden 1967 - 1988 er vist i tabell 1. Enkelte av prosjektene omfatter flere kraftverk, men på grunn av posteringen i Statsregnskapet er disse verkene behandlet som ett verk. Dette kan være en feilkilde. For eksempel kan det være slik at enkelte prosjekter kunne vært splittet opp i flere mindre prosjekter med ulik kostnad. Utgiftsbeløpene er regnet om til 1986-priser ved å benytte nasjonalregn-

Tabell 1: Statkrafts største prosjekter i perioden 1967 - 1988.

Verkets navn	Driftsstart år	Statkrafts eierandel prosent	Statkrafts midl. prod. GWh	Totale invest. mill.	Invest. pr. kWh	Årlig kostnad øre/kWh
Skjomen	1973	100	1154	1952	1.69	12.69
Mauranger, Jukla	1974	100	1240	1334	1.08	8.07
Grytten	1975	88	524	616	1.18	8.82
Leirdøla	1978	65	302	461	1.53	11.45
Kjela (Tokke 4)	1979	100	220	555	2.52	18.90
Ulla-Førre	1980	72	3545	9255	2.61	19.58
Eidfjord, Sima	1980	65	1771	3841	2.17	16.27
Alta	1987	60	375	956	2.55	19.12
Kobbelv	1987	65	463	1742	3.77	28.24

Alle beløp regnet i 1986-priser.

Kilde: Statsregnskapet (1967-1988).

skapets prisindeks for anleggsinvesteringer i elektrisitetsforsyning. Utgiftene til de enkelte verk kan være noe større enn det som går frem av tabellen, siden det i Statsregnskapet eksisterer en del poster for utgifter til prosjektering og planlegging som ikke er spesifisert på de enkelte prosjektene. Tabell 1 viser at det er utbyggingene av Ulla-Førre, Eidfjord og Skjomen som absolutt sett har vært de dyreste prosjektene. Samlet er det lagt ned

9,3 milliarder kroner i Ulla-Førre utbyggingen, mens utbyggingene i Eidfjord og Skjomen kostet henholdsvis 3,8 og 2,0 milliarder kroner.

Ved beregning av årlig kostnad pr. kWh antas 7 prosents alternativkostnad på nedlagt kapital i kraftsektoren. Det antas videre at driftsutgiftene pr. år ligger på om lag 1 prosent av samlet nedlagt kapital. Årskostnaden i prosjekt  $j$  ( $CY_j$ ) kan skrives

$$CY_j = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-T}} K_j + 0.01K_j,$$

hvor  $r$  er alternativkostnaden for kapital,  $T$  er prosjektets levetid (satt til 40 år) og  $K_j$  er nedlagt kapital i prosjektet. Kraftkostnaden pr. kWh finnes ved å dividere årskostnaden med årlig produsert kraftmengde. Midlere års produksjonsevne i det enkelte verk er benyttet ved beregning av kostnad pr. kWh. Prosjektene i tabell 1 er ordnet i den rekkefølge de er satt i drift. Kolonnene for investering pr. kWh og årlig kostnad pr. kWh skulle dermed inneholde voksende tallserier dersom utbyggingsrekkefølgen har vært optimal. For eksempel ser det ut til at utbyggingen av Skjomen-anlegget burde vært utsatt til etter at de samtidige utbyggingene av Eidfjord- og Leirdøla var unnagjort. To forhold er ikke tatt fullt ut hensyn til ved denne vurderingen av rekkefølgen på prosjektene.

For det første er det ikke sett nærmere på eventuelle ikke-verdsatte miljøkostnader ved enkelte prosjekter. Dette kan for eksempel gjelde Alta-utbyggingen. For det andre kan det være forskjeller med hensyn til verkenes beliggenhet i forhold til de vesentligste forbrukssteder. Verk langt unna forbrukssted kan kreve store tilleggsinvesteringer i overføringsnett. Det ser likevel ut til at utbyggingsrekkefølgen ikke har vært optimal. Det kan forklare at en ikke fant en sterkere tendens til avtakende skalautbytte i produksjonssektoren ved analysen av utviklingen i inputkoeffisientene.

## 5 Estimerte kostnadsfunksjoner i delsektorene

I dette kapitlet skisseres en modell for produksjonsadferden i sektorene overføring og fordeling av kraft. Innenfor dette opplegget spesifiseres skalaegenskaper, effekter av varierende kapasitetsutnyttning og teknisk endring. Modellen spesifiseres økonometrisk og estimeres ved bruk av estimeringsprogrammet FIML (full informasjons sannsynlighetsmaksimering) i det interaktive programsystemet TROLL.

### 5.1 Teoretisk modell

Produksjonen av overførings- og fordelingstjenester skjer ved bruk av innsatsfaktorene kapital ( $K$ ), arbeidskraft ( $L$ ), vareinnsats ( $M$ ) og energi ( $T$ ). Energiforbruk er i denne forbindelse hovedsakelig krafttap knyttet til hver av sektorene overføring ( $O$ ) og fordeling ( $F$ ). Kostnadsfunksjonen spesifiseres som en Generalisert Leontief kostnadsfunksjon med spesifiserte skalaegenskaper og teknisk endring. De totale kostnadene i sektor  $k$  ( $C_k^*$ ) knyttet normalproduksjon ( $Y_k^*$ ) i sektoren skrives

$$C_k^* = (Y_k^*)^{\mu_k} e^{\gamma_k TR} \sum_i \sum_j b_{ijk} (p_{ik} p_{jk})^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

hvor  $p_i$  er prisen på innsatsfaktor  $i$  og  $TR$  er en trendvariabel. Parametrene i kostnadsfunksjonen er  $\mu$ ,  $\gamma$  og  $b_{ij}$ . Parametrene  $b_{ij}$  forutsettes å være symmetriske slik at  $b_{ijk} = b_{jik}$ . Ved å anvende Shephards lemma, Shephard (1953), finnes etterspørselsfunksjoner for hver av innsatsfaktorene ( $i = K, L, M, T$ ) i sektor  $k$  gitt normalproduksjon

$$x_{ik}^* = (Y_k^*)^{\mu_k} e^{\gamma_k TR} \sum_j b_{ijk} \left( \frac{p_{jk}}{p_{ik}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

hvor  $x_{ik}^*$  er etterspørselen etter faktor  $i$  i sektor  $k$ .

Produksjon og forbruk av vannkraft svinger fra år til år ettersom tilsigsforhold, temperaturer og konjunkturer varierer. Dette påvirker kapasitetsutnyttningen i overførings- og fordelingssektorene. Graden av kapasitetsutnyttning kan påvirke faktoretterspørselen i disse sektorene. For å kunne ta hensyn til effekter av varierende kapasitetsutnyttning er det innført multiplikative kapasitetsutnyttingsvariable i de estimerte etterspørselsfunksjonene. Indikatoren for kapasitetsutnyttning er de samme som i avsnitt 3.3.2. Det vil si at  $Y_k$  er faktisk produksjon, og  $Y_k^*$  er normalproduksjon. Den enkle formen

$$x_{ik} = \left( \frac{Y_k}{Y_k^*} \right)^{\alpha_{ik}} x_{ik}^* \quad (3)$$

gir sammenhengen mellom faktoretterspørsel ved normalproduksjon ( $x_{ik}^*$ ) og faktoretterspørsel gitt den faktiske kapasitetsutnyttning ( $x_{ik}$ ).

### 5.2 Stokastisk spesifisering

Etterspørselsfunksjonene som er utledet ovenfor spesifiseres økonometrisk ved å innføre et additivt restledd ( $e_{ikt}$ ), hvor  $t$  er indeks for år. Modellen skal estimeres ved bruk av

årsdata. Etterspørselsfunksjonene som er benyttet ved estimeringen kan dermed skrives

$$x_{ikt} = \left( \frac{Y_{kt}}{Y_{kt}^*} \right)^{\alpha_{ik}} (Y_{kt}^*)^{\mu_k} e^{\gamma_k TR_t} \sum_i b_{ijk} \left( \frac{p_{jkt}}{p_{ikt}} \right)^{\frac{1}{2}} + e_{ikt}. \quad (4)$$

Restleddet antas å ha forventning null, dvs.:

$$E(e_{ikt}) = 0$$

og konstant varians

$$\text{var}(e_{ikt}) = \sigma_{ik}^2.$$

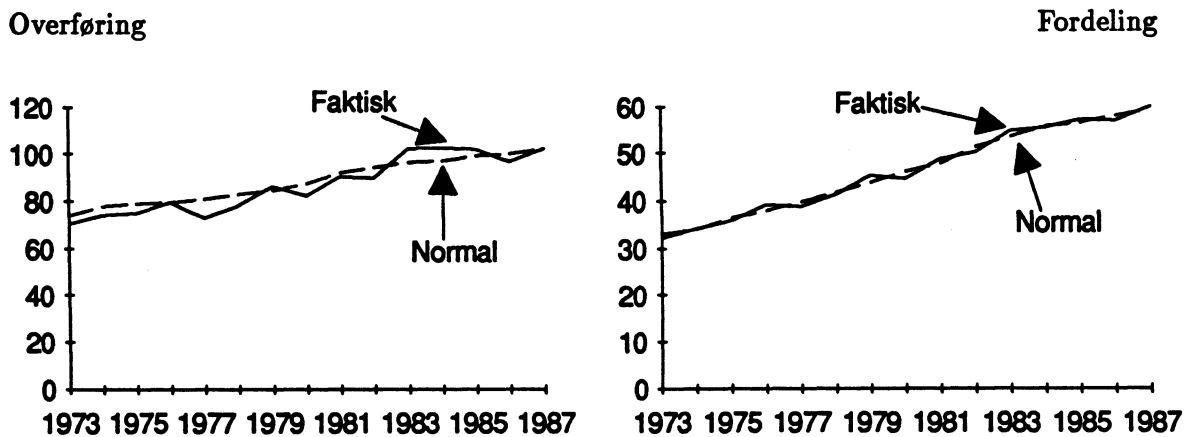
Dessuten forutsettes covariansen mellom restleddene i de ulike etterspørselsfunksjonene innen hver sektor å være konstant, dvs.:

$$\text{cov}(e_{ikt}, e_{jkt}) = w_{jkt}.$$

### 5.3 Data

Data for innsats av de enkelte innsatsfaktorene i delsektorene er hentet fra Johnsen (1990). Målet for normalproduksjon i overføringssektoren er levert kraftmengde fra overføringssektoren gitt at produksjonen er lik midlere års produksjonsevne. Faktisk produksjon i overføringssektoren er gitt ved levert mengde ut fra overføringsnettet. Produksjonsmålet i fordelingssektoren er benyttet som det er beskrevet tidligere i notatet. Normalproduksjon i fordelingssektoren er beregnet som et tre års glidende gjennomsnitt av den faktiske produksjonen. Utviklingen i normal- og faktisk produksjon i overførings- og fordelingssektoren er vist i figur 20.

Figur 20: Faktisk produksjon ( $Y_k$ ) og normalproduksjon ( $Y_k^*$ ) i overførings- og fordelingssektoren, 1973–1987. TWh



Ved estimeringen er det også nødvendig med prisindekser for de ulike innsatsfaktorene. Prisen på vareinnsats ( $p_{Mkt}$ ) i de to delsektorene er beregnet ved å dividere vareinnsats

målt i løpende priser på vareinnsats målt i faste priser. Prisen på arbeidskraft ( $p_{Lkt}$ ) er beregnet som lønnskostnader pr. utførte timeverk. Kapitalprisen i sektor  $k$  ( $p_{Kkt}$ ) er beregnet ved

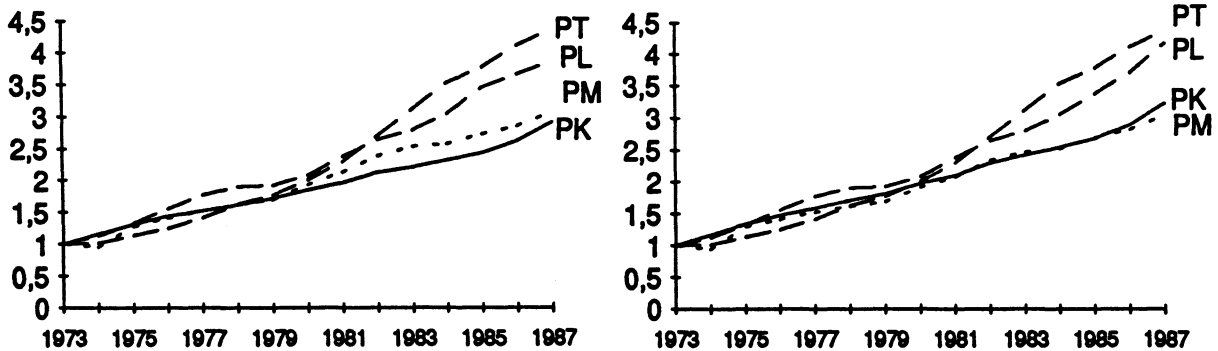
$$p_{Kkt} = \sum_h \frac{X_{Kht}}{X_{Kkt}} (\delta_{hkt} + \rho) p_{Jht}, \quad (5)$$

hvor  $x_{Kht}$  er beholdningen av kapitalart  $h$  i sektor  $k$  i år  $t$ ,  $x_{Kkt}$  er total kapitalbeholdning i sektor  $k$  i år  $t$ ,  $\delta_{hkt}$  er depresieringsraten for kapitalart  $h$  i sektor  $k$  i år  $t$ ,  $\rho$  er en kalkulasjonsrente satt til 7 prosent og  $p_{Jht}$  er prisen på bruttoinvestering i kapitalart  $h$  i år  $t$ . Prisindeksen for energi/krafttap ( $p_{TKt}$ ) er for begge de to sektorenes vedkommende gitt samme utvikling som prisindeksen for elektrisitet til husholdninger og jordbruk, dvs. alternativverdien av krafttapet. Figur 21 viser utviklingen i prisene på de ulike innsatsfaktorene i perioden 1973–1987.

Figur 21: Faktorpriser 1973-1987. Overførings- og fordelingssektoren. Kapital ( $p_{Kk}$ ), arbeidskraft ( $p_{Lk}$ ), vareinnsats ( $p_{Mk}$ ) og krafttap ( $p_{Tk}$ )

Overføring

Fordeling



Det er prisen på krafttap som har økt mest i perioden, deretter kommer prisen på arbeidskraft, mens kapitalprisen og prisen på vareinnsats har vokst minst av faktorprisene.

#### 5.4 Estimering

På grunn av multikollinearitet var det ved estimeringen vanskelig å skille effekten av teknisk endring fra skalaeffekten. En valgte derfor å utelate leddet for teknisk endring  $e^{\gamma_k TR_t}$  fra alle etterspørselsrelasjonene. De estimerte skalaparametrene  $\mu_k$  bør derfor tolkes som bruttokoeffisienter der virkningen av teknisk endring inngår i tillegg til skalaeffekten. En startet med å estimere den komplette modellen, dvs. likning 4, eksklusive trendleddet. Deretter ble modellen gradvis forenklet ved å pålegge nullrestriksjoner for ikke-signifikante parametre. På denne måten vil en etterhvert kunne redusere antall parametre i modellen.

Færre parametre gir en enklere modell hvilket er en fordel ved bruk og tolkning av modellen. Tabell 2 viser resultatene fra estimering av den komplette modellen samt resultatene fra estimeringen av modellen etter at det endelige settet av nullrestriksjoner er pålagt.

Tabell 2: Estimeringsresultater for kostnadsfunksjonene i overførings- og fordelingssektorene. Estimerte standardavvik i parantes

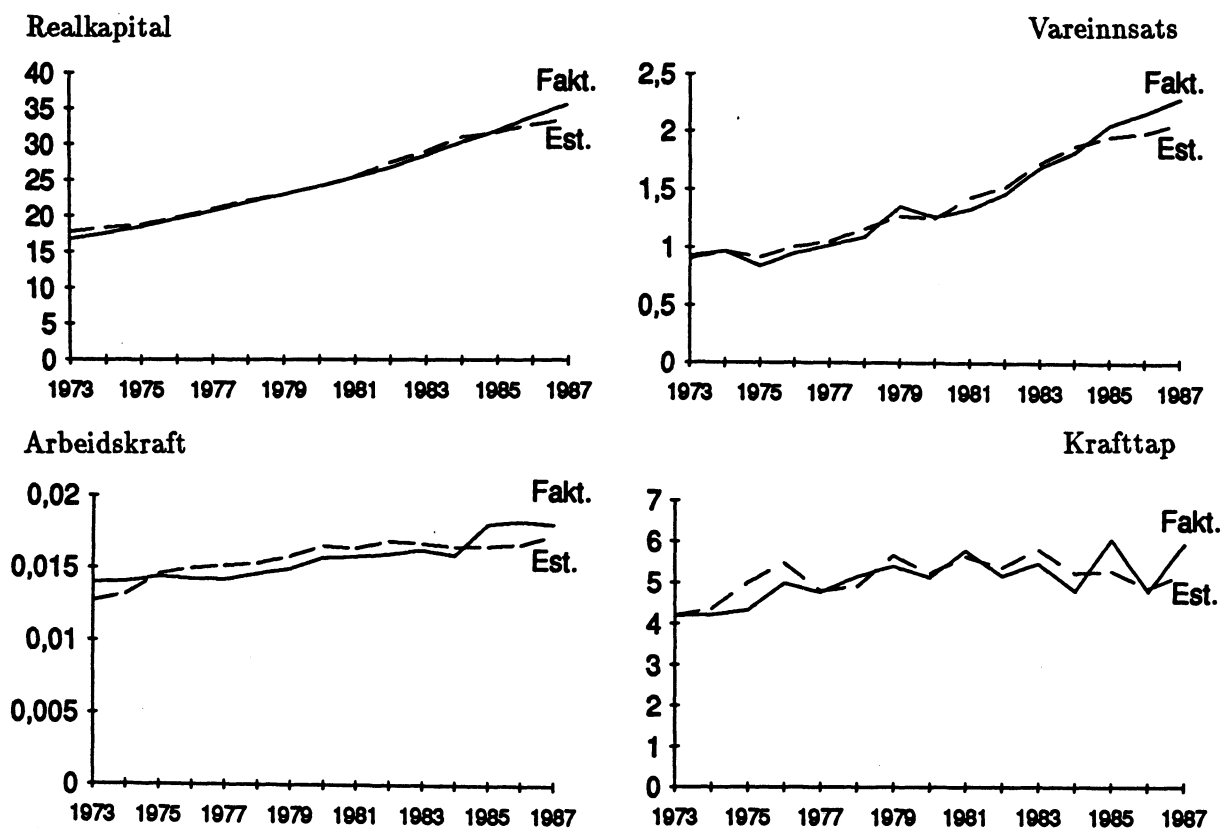
Parameter	Overføring		Fordeling	
$\mu$	0,711 (0,023)	0,700 (0,016)	0,873 (0,053)	0,878 (0,055)
$\alpha_K$	0,372 (0,191)	0,417 (0,208)	0,126 (0,420)	
$\alpha_L$	0,780 (0,487)	0,841 (0,510)	-0,314 (0,632)	
$\alpha_M$	1,962 (0,982)	1,857 (0,856)	0,839 (0,836)	0,843 (0,364)
$\alpha_T$	1,600 (0,428)	0,472 (0,367)	2,005 (0,892)	2,003 (0,366)
$b_{KK}$	0,788 (0,074)	0,823 (0,016)	0,517 (0,126)	0,524 (0,121)
$b_{KL}$	0,007 (0,003)	0,009 (0,003)	0,012 (0,008)	0,012 (0,008)
$b_{KM}$	-0,0005 (0,031)		-0,119 (0,050)	-0,120 (0,040)
$b_{KT}$	0,030 (0,035)		0,228 (0,040)	0,229 (0,038)
$b_{LL}$	-0,0001 (0,0001)	-0,0001 (0,0001)	0,0004 (0,0003)	0,0004 (0,0003)
$b_{LM}$	0,001 (0,0006)	0,001 (0,0001)	0,003 (0,002)	0,003 (0,002)
$b_{LT}$	-0,002 (0,001)	-0,002 (0,0008)	-0,011 (0,002)	-0,011 (0,002)
$b_{MM}$	-0,001 (0,009)		0,0007 (0,015)	
$b_{MT}$	-0,004 (0,011)		0,126 (0,031)	0,123 (0,032)
$b_{TT}$	0,150 (0,171)	0,161 (0,018)	0,006 (0,268)	
FCN:	-29,60	-29,56	-23,32	-23,29
$R^2$	$z_K$	0,92	0,91	0,98
	$z_L$	0,19	0,06	0,61
	$z_M$	0,60	0,61	0,96
	$z_T$	0,85	0,85	0,50



## Fordelingssektoren

Målt ved  $R^2$  for hver enkelt likning er føyningen best i fordelingssektoren. Figur 22 viser faktisk og estimert etterspørsel etter de fire innsatsfaktorene i fordelingssektoren.

Figur 22: Faktisk og estimert faktorbruk 1973-1987. Fordelingssektoren



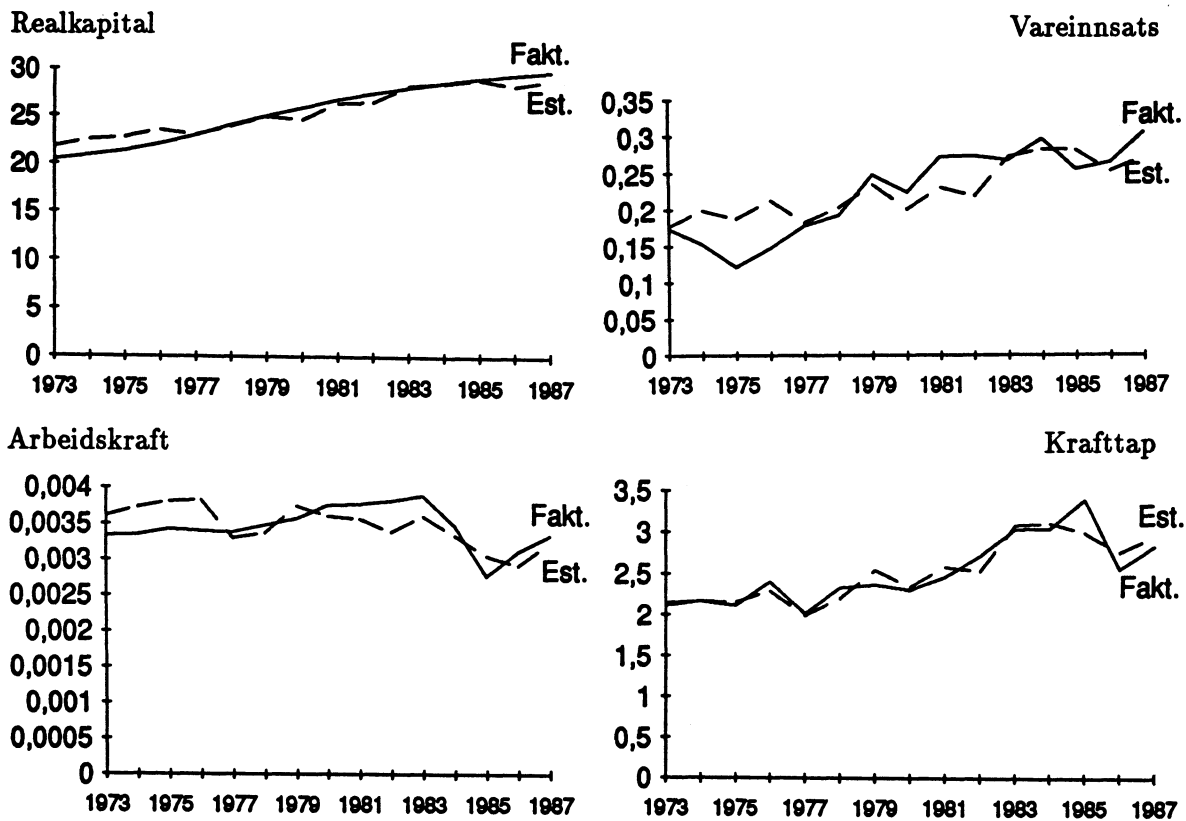
Målestokken er milliarder kroner (1986-priser) for kapital (K) og vareinnsats (M), TWh for energi (T) og 10 millioner timeverk for arbeidskraft (L). Modellen forklarer i rimelig grad utviklingen i kapital-, vareinnsats- og energibruk. Arbeidskraftforbruket blir derimot dårligere forklart. Problemene med å forklare utviklingen i arbeidskraftforbruket kan ha sin årsak i at data for timeverksforbruket fordelt på produksjon, overføring og fordeling av kraft ikke er registrert i elektrisitetsstatistikken før 1983. Tallene for perioden 1973-1982 er konstruert ved å benytte fordelingen fra 1983 som nøkkel. En kan ha truffet dårlig med fordelingen på delsektorer.

Modellen underestimerer forbruket av alle faktorer i 1987. Det er vanskelig å si om dette er et forbigående problem eller om det er slik at modellen vil feilpredikere faktorbruken i 1987 og de kommende år.

## Overføringssektoren

Figur 23 viser faktisk og estimert etterspørsel etter de fire innsatsfaktorene i overføringssektoren.

Figur 23: Faktisk og estimert faktorbruk 1973-1987. Overføringssektoren



Føyningsmålet  $R^2$  antyder at avvikene mellom faktisk og estimert faktorbruk er større for overføringssektoren enn for fordelingssektoren. Føyningen er best for realkapitalbruken og bruken av energi (krafttap). Også i denne sektoren er problemene størst for arbeidskraftbruken. Modellen har videre problemer med å forklare bruken av andre faktorer enn krafttap i perioden 1973-1976.

### 5.5 Økonomiske egenskaper ved de estimerte modellene

Kapasitetsutnyttningen ser ut til å være av betydning for bruken av vareinnsats og energi (krafttap) i fordelingssektoren. Økningen i reparasjons- og vedlikeholdsarbeider (som utgjør det meste av vareinnsatsen) øker i perioder med høy kapasitetsutnyttning i fordelingsnett. Dette er rimelig da sannsynligheten for feil og overbelastning på nettet øker med økende leveranser av kraft gjennom fordelingsnett. At kapasitetsutnyttningen påvirker krafttapene i linjenettet er også rimelig, jfr. diskusjonen i kapittel 3 der det argumenteres for at den marginale tapsprosenten øker med økende kapasitetsutnyttning.

I overføringssektoren er kapasitetsutnyttingsvariabelen signifikant for alle innsatsfaktorene. Det tyder på at også kapital- og arbeidskraftforbruk påvirkes av kapasitetsutnyttningen i denne sektoren. Dette kan ha sammenheng med at indikatoren for kapasitetsutnyttning i overføringssektoren viser en stigende tendens gjennom estimeringsperioden. Denne utviklingen faller sammen med en periode med økende bruk av alle innsatsfaktorene.

Skalaelastisiteten er definert som den prosentvise økningen i produsert mengde dersom innsatsen av alle faktorer økes med 1 prosent. Med gitte faktorpriser vil en økning av bruken av alle faktorer med 1 prosent øke kostnadene med 1 prosent hvis skalaelastisiteten er lik 1. Skalaelastisiteten i sektor  $k$  ( $\varepsilon_k$ ) er dermed gitt ved

$$\varepsilon_k = \frac{dY_k^* C_k^*}{dC_k^* Y_k^*} = \frac{1}{\mu_k}. \quad (6)$$

Den estimerte skalaelastisiteten er 1,43 i overføringssektoren. I fordelingssektoren er den estimerte skalaelastisiteten 1,13. De estimerte skalaelastisitetene for disse sektorene stemmer overens med de a priori oppfatninger en har om kostnadsforholdene i disse sektorene. I overføringssektoren tyder den estimerte skalaelastisiteten (1,43) på tiltagende utbytte med hensyn på skalaen. Det kan være slik at en del av de investeringer som er utført i denne sektoren i estimeringsperioden har bestått i å knytte eksisterende regionale overføringsnett (bedre) sammen. Disse investeringene kan en vente har tilført overføringsnettets betydelig kapasitet og kvalitet (driftssikkerhet). Fordelingssektorens produksjon består i å sørge for transport av kraft mellom overføringsnett og kraftkjøperne. Det er rimelig at en får estimert tiltagende skalautbytte i denne sektoren. En stor del av produksjonsøkningen i denne sektoren har i estimeringsperioden skjedd ved økte leveranser av kraft til allerede tilknyttede abonnenter. Den estimerte skalaelastisiteten tyder på at marginalkostnaden knyttet til disse økte leveransene har vært lavere enn gjennomsnittskostnaden i sektoren. Fra de estimerte etterspørselsfunksjonene kan en beregne estimerte pris- og substitusjonselastisiteter. Priselastisitetene beregnes ved

$$\varepsilon_{ijkt} = \frac{\partial x_{ikt} p_{jkt}}{\partial p_{jkt} x_{ikt}} = \frac{\frac{1}{2} b_{ijkt} p_{jkt}^{\frac{1}{2}}}{\sum_{j=K,L,M,T} b_{ijkt} p_{jkt}^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

og

$$\varepsilon_{iikt} = \frac{\partial x_{ikt} p_{ikt}}{\partial p_{ikt} x_{ikt}} = \frac{-\sum_{j \neq i} \frac{1}{2} b_{ijkt} p_{jkt}^{\frac{1}{2}}}{\sum_{j=K,L,M,T} b_{ijkt} p_{jkt}^{\frac{1}{2}}}. \quad (8)$$

De tilhørende Allen-Uzawa substitusjonselastisiteter er definert ved

$$\sigma_{ijkt} = \frac{\varepsilon_{ijkt}}{S_{jkt}}, \quad (9)$$

hvor  $S_{jkt}$  er den estimerte kostnadsandelen til faktor  $j$  i sektor  $k$  i år  $t$ . Tabell 3 viser de estimerte pris- og substitusjonselastisitetene i 1987.

Tabell 3: Estimerte pris- ( $\epsilon_{ij}$ ) og substitusjonselastisiteter ( $\sigma_{ij}$ ), 1987

Sektor:	$\epsilon_{KK}$	$\epsilon_{LL}$	$\epsilon_{MM}$	$\epsilon_{TT}$			
Overføring	-0,13	-1,00	-0,50	0,20			
Fordeling	-0,22	-0,08	-0,50	-0,48			
	$\sigma_{KL}$	$\sigma_{KM}$	$\sigma_{KT}$	$\sigma_{LM}$	$\sigma_{LT}$	$\sigma_{MT}$	
Overføring	1,55	0	0	5,80	-2,29	0	
Fordeling	0,91	-0,88	1,30	1,17	-3,50	3,62	

Siden kapasitetsutnyttning er eksplisitt spesifisert i etterspørselsfunksjonene har de beregnede elastisiteter tolkning som elastisiteter gitt normal produksjon. A priori vil en vente at de direkte priselastisitetene skal være negative. Dette oppfylles for syv av de åtte direkte priselastisitetene. Det er bare den direkte priselastisiteten for krafttap i overføringssektoren som er positiv, den er estimert til 0,2. Det vil si at om prisen på energi (krafttap) vokser med en prosent så øker energibruken (krafttapt) med 0,2 prosent. Dette virker ikke rimelig og må tas som en alvorlig innvending mot den estimerte modellen for overføringssektoren. De direkte priselastisitetene som er estimert for fordelingssektoren ligger i intervallet -0,08 til -0,50. Ved en proSENTS vekst i prisen på vareinnsats eller energi vil bruken av disse faktorene gå ned med om lag 0,5 prosent. Dersom kapitalprisen økes med en prosent er kapitaletterspørselen estimert til å falle med 0,22 prosent, mens den tilsvarende elastisiteten for arbeidskraft er -0,08.

A priori kan en ikke si noe sikkert om fortegnet på substitusjonselastisitetene som uttrykker den prosentvise endringen i forholdet mellom to faktorer når prisforholdet mellom de to faktorene endres med en prosent. Dersom to innsatsfaktorer er alternative vil substitusjonselastisiteten være positiv. De estimerte substitusjonselastisitetene for fordelingssektoren tyder på at kapital og arbeidskraft, kapital og energi (krafttap), arbeidskraft og vareinnsats og vareinnsats og energi er alternative innsatsfaktorer.

I observasjonsperioden har lønnskostnader pr. timeverk vokst raskere enn brukerprisen på kapital samtidig med relativt kraftigere vekst i kapitalmengden enn i arbeidskraftforbruket. Det har dermed skjedd en substitusjon av faktorbruken fra arbeidskraft mot kapital.

Siden kapital stadig har blitt billigere i forhold til krafttap har en investert i linjer og annet utstyr for å redusere krafttapene. Ved vurdering av alternativiteten mellom vareinnsats og krafttap er det viktig å være klar over at en vesentlig del av vareinnsatsen består av reparasjonsarbeider. Raskere vekst i prisen på krafttap enn i prisen på vareinnsats i estimeringsperioden har ført til økte reparasjonsarbeider med tanke på reduksjon i krafttapene. Alternativitet mellom arbeidskraft og vareinnsats vil si at en når arbeidskraft blir relativt dyrere i forhold til vareinnsats vil benytte mer vareinnsats og mindre arbeidskraft

enn ellers. Mellom kapital/vareinnsats og arbeidskraft/energi (krafttap) er det estimert komplementaritet. Økt bruk av kapital vil dermed trekke med seg økt vareinnsatsbruk selv om prisforholdet går i favør av vareinnsats. Dette kan tolkes dithen at økt kapitalmengde trekker med seg økte reparasjoner selv om prisendringene isolert sett trekker i retning av lavere vareinnsats. Det er estimert komplementaritet mellom arbeidskraft og krafttap i begge sektorene. Dette kan forsvare en respesifisering av modellen der en gir arbeidskraftforbruket en spesialbehandling. I Schreiner og Strøm (1983) forutsettes både arbeidskraft og vareinnsats å utvikle seg proporsjonalt (eksogen basisårskoeffisient) med produksjonskapasiteten i distribusjonssektoren (overføring og fordeling aggregert til en sektor), mens en tillater substitusjon mellom energi og kapital. På bakgrunn av den kunnskap en har om sammensetningen av vareinnsatsen (i stor grad reparasjonsarbeider) bør det i modellen tillates substitusjon mellom vareinnsats og henholdsvis kapital og energi (krafttap). En har forsøkt å estimere en modell der arbeidskraft er tatt ut av modellen og behandlet for seg. Modellen ble spesifisert som ovenfor med den forskjell at det bare var de tre faktorene kapital, vareinnsats og krafttap som inngikk. Estimering av denne modellen ga dårligere føyning for de estimerte etterspørselsfunksjonene enn i modellen ovenfor der alle de fire innsatsfaktorene inngår.

## 6 Oppsummering

I denne rapporten studeres utviklingen i produksjon og ressursbruk i den norske kraftsektoren siden 1973. I nasjonalregnskapet er kraftsektoren behandlet som en sektor. Analysen i denne rapporten bygger på beregnede tall for ressursbruk og produksjon i delsektorene produksjon, overføring og fordeling av kraft. Fordelingen av nasjonalregnskapstallene er basert på opplysninger i den årlige elektrisitetsstatistikken og er dokumentert i Johnsen (1990). Produksjonskapasiteten målt ved midlere års produksjonsevne, har siden 1973 økt med 41,7 prosent til 108,1 TWh i 1990. De fysiske tap av elektrisitet i overførings- og fordelingsnett som andel av innenlandsk krafttilgang har blitt redusert i løpet av perioden 1973 til 1988. Forholdet mellom tap i overførings- og fordelingsnettet har vært stabilt.

Målt i faste priser var bruttoinvesteringene i kraftsektoren høyest i perioden 1978 – 1983. Denne perioden faller sammen med en periode hvor investeringene i nye anlegg i Eidfjord og Ulla – Førre var på et toppnivå. Realkapitalbeholdningen har økt raskest i fordelingssektoren, men realkapitalbeholdningen er fortsatt størst i produksjonssektoren. Arbeidskraftforbruket i kraftsektoren målt ved utførte timeverk har økt i perioden 1973 til 1987. Veksten i timeverksforbruket har imidlertid vært svakere enn veksten i midlere års produksjonsevne. Bruken av vareinnsats har absolutt sett økt sterkest i fordelingssektoren og svakest i overføringssektoren. Om lag halvparten av vareinnsatsen er reparasjonsarbeider. Over perioden 1973 – 1987 har fordelingssektorens andel av de totale reparasjonsarbeidene økt fra 65,9 prosent i 1973 til 70,8 prosent i 1987. Produksjonssektorens andel av reparasjonsarbeidene har økt marginalt i perioden, mens overføringssektorens andel er redusert fra 10,4 prosent i 1973 til 6,4 prosent i 1987.

### Utvikling i ressursbruk pr. produsert enhet

I produksjonssektoren viser realkapitalbruk pr. produsert enhet en vekst på i gjennomsnitt 1,1 prosent pr. år i hele perioden 1973 – 1987. Dersom utvidelsene av kraftproduksjonssystemet ikke har skjedd ved at de billigste prosjektene realiseres først vil inputkoeffisienten for realkapital i produksjonssektoren kunne være misvisende. Statsregnskapet gir oversikt over de prosjekter der Statkraft har vært delaktige i utbygging i perioden 1967 – 1988. Med utgangspunkt i disse tallene kan årskostnaden for de enkelte prosjektene beregnes ut fra samlet nedlagt kapital i prosjektet. Kraftkostnaden fremkommer ved å dividere årskostnad med produksjonen i det enkelte verk. De prosjektene Statkraft har vært delaktige har ikke blitt bygd ut etter stigende kostnad.

I overføringssektoren er utviklingen i kapitalbruk pr. produsert enhet tilnærmet konstant. Det vil si at en ikke kan spore stigende utbytte med hensyn på skalaen ved å se på ressursbruk pr. produsert enhet. I denne sektoren er antall overførte TWh gjennom overføringsnettet gitt midlere års kraftproduksjon benyttet som produksjonsmål. Dette produksjonsmålet tar ikke hensyn til at gjennomsnittlig overføringslengde kan ha endret seg i den perioden som betraktes. Antall overførte TWh\*100 km har økt raskere enn antall overførte TWh. Det vil si at en har svakt stigende utbytte med hensyn på skalaen dersom en velger dette produksjonsmålet.

I fordelingssektoren vokser kapitalbruk pr. produsert enhet med 1,1 prosent pr. år i perioden 1973 til 1987. I denne sektoren er produksjonsmålet antall TWh transportert gjennom fordelingsnettene korrigert for at leveranser til enkelte brukere krever mindre fordelings-tjenester enn leveranser til hoveddelen av alminnelig forsyning.

Timeverktall fordelt på de tre delsektorene produksjon, overføring og fordeling er bare tilgjengelige fra 1983 og senere. Denne perioden er for kort til at en kan trekke sikre konklusjoner med hensyn til arbeidskraftforbruk pr. produsert enhet i de tre delsektorene.

Målt pr. produsert enhet er veksten i vareinnsatsbruken sterkest i produksjonssektoren (3,7 prosent pr. år i gjennomsnitt). I fordelingssektoren har vareinnsats pr. produsert enhet øket med 2,1 prosent pr. år. Den tilsvarende årlige veksten i overføringssektoren var 1,4 prosent.

### Estimerte kostnadsfunksjoner

Spesifisering og estimering av en økonometrisk modell for faktorbruken er utført for overførings- og fordelingssektorene. Det er som tidligere nevnt, ikke behov for å estimere en kostnadsfunksjon for produksjonssektoren siden en for denne delen av kraftsektoren har detaljkunnskap om kostnadsforholdene i de enkelte fremtidige utbyggingsprosjekter. I modellen som er spesifisert for overførings- og fordelingssektoren er input-koeffisientene modellert som funksjoner av kapasitetsutnyttning, produksjonskapasitet og relative priser på innsatsfaktorene. Estimeringsresultatene viser tiltagende skalautbytte i både overførings- og fordelingssektoren. Dette resultatet er mer i overenstemmelse med det en a priori ville vente å finne. Ved å studere ressursbruken simultant får en en annen konklusjon med hensyn til skalaegenskaper enn ved å studere de partielle målene ressursbruk pr. produsert enhet. Estimeringsresultatene viser forøvrig at spesielt vareinnsats og energiforbruk varierer med kapasitetsutnyttningen. Høy kapasitetsutnyttning ser ut til å gi økte krafttap og økt omfang av reparasjonsarbeider. Estimeringsresultatene viser også at kapitaletterspørselen i delsektorene er relativt lite følsom overfor prisendringer. Egenpriselasitetene blir estimert til -0,13 i overføringssektoren og -0,22 i fordelingssektoren. Derimot er etterspørselen etter vareinnsats og energi (krafttap) noe mer følsom overfor faktorprisendringer. Estimaten tyder på alternativitet mellom kapital/arbeidskraft, kapital/krafttap, arbeidskraft/vareinnsats og vareinnsats/krafttap. Mellom arbeidskraft/krafttap og mellom kapital/vareinnsats predikerer modellen komplementaritet. Det er grunn til å påpeke de begrensninger som ligger i at datamaterialet er lite. Ved senere analyser bør mulighetene for å utnytte mikroobservasjonene i elektrisitetsstatistikken undersøkes nærmere. Det ville gi muligheter for nøye studier av utviklingen i hvert enkelt elektrisitetsverk.

## **Referanser**

**Johnsen, Tor Arnt (1990): Datagrunnlag for kraftsektoren. Interne notater 90/26. Statistisk sentralbyrå.**

**Norges offisielle statistikk (NOS): Elektrisitetsstatistikk (Årlig 1967 – 1988). Statistisk sentralbyrå.**

**Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen (NVE): Vår virksomhet (Årlig 1973 – 1989).**

**Samkjøringen av kraftverkene i Norge: Årsberetning (Årlig 1973 – 1989).**

**Schreiner, A. og S. Strøm (1983): Overføring og fordeling av elektrisitet. Kapittel VII i Samfunnsøkonomiske studier nr. 53, (SØS 53). Statistisk sentralbyrå.**

**Shephard, R.W. (1953): Cost and production functions. Princeton University Press, Princeton, N.J.**

**Statkraft: Årsberetning (Årlig 1987 – 1989).**



## Datagrunnlag

Nedenfor gis dataseriene som er benyttet ved estimeringen i kapittel 5.

### FORDELINGSSEKTOREN:

	$x_{KF}$	$x_{LF}$	$x_{MF}$	$x_{TF}$	$p_{KF}$	$p_{LF}$	$p_{MF}$	$p_{TF}$	$Y_F$	$Y_F^*$
	Mrd. 86-kr.	Mrd. timev.	Mrd. 86-kr.	TWh		Kr.pr. timev.		Kr.pr. kWh	TWh	TWh
1973	16,7	0,014	0,92	4,19	0,03	32,9	0,36	0,07	32,2	33,3
1974	17,5	0,014	0,97	4,22	0,04	37,1	0,33	0,07	34,3	34,2
1975	18,5	0,014	0,84	4,33	0,05	43,8	0,46	0,08	35,9	36,5
1976	19,5	0,014	0,95	4,97	0,05	51,0	0,50	0,08	39,2	38,0
1977	20,6	0,014	1,02	4,75	0,05	58,0	0,54	0,09	38,8	39,8
1978	21,9	0,015	1,09	5,14	0,06	62,5	0,57	0,11	41,2	41,7
1979	23,0	0,015	1,35	5,39	0,06	63,3	0,60	0,12	45,1	43,6
1980	24,1	0,016	1,26	5,12	0,07	68,1	0,68	0,13	44,4	46,1
1981	25,4	0,016	1,33	5,75	0,07	78,1	0,74	0,15	48,7	47,8
1982	26,7	0,016	1,47	5,15	0,08	86,9	0,83	0,18	50,1	51,2
1983	28,5	0,016	1,69	5,46	0,08	91,8	0,88	0,21	54,6	53,4
1984	30,2	0,016	1,83	4,79	0,09	100,2	0,89	0,23	55,3	55,7
1985	31,9	0,018	2,06	6,04	0,09	110,5	0,95	0,25	57,0	56,3
1986	33,8	0,018	2,16	4,77	0,10	121,7	1,00	0,27	56,7	57,8
1987	35,6	0,018	2,29	5,92	0,11	137,0	1,07	0,29	59,8	59,2

### OVERFØRINGSSEKTOREN:

	$x_{KO}$	$x_{LO}$	$x_{MO}$	$x_{TO}$	$p_{KO}$	$p_{LO}$	$p_{MO}$	$p_{TO}$	$y_O$	$y_O^*$
	Mrd. 86-kr.	Mrd. timev.	Mrd. 86-kr.	TWh		Kr.pr. timev.		Kr.pr. kWh	TWh	TWh
1973	20,4	0,003	0,18	2,12	0,04	33,4	0,35	0,07	70,6	74,0
1974	20,8	0,003	0,15	2,17	0,04	37,7	0,33	0,07	74,3	77,9
1975	21,4	0,003	0,12	2,12	0,05	44,5	0,45	0,08	75,0	78,8
1976	22,1	0,003	0,15	2,40	0,06	51,8	0,49	0,08	79,5	79,5
1977	23,0	0,003	0,18	2,02	0,06	58,9	0,53	0,09	73,0	80,8
1978	24,1	0,003	0,19	2,33	0,06	63,5	0,57	0,11	78,2	82,7
1979	25,0	0,004	0,25	2,37	0,07	64,3	0,59	0,12	86,3	84,7
1980	25,8	0,004	0,22	2,31	0,07	69,1	0,68	0,13	82,2	87,2
1981	26,7	0,004	0,27	2,47	0,08	79,2	0,74	0,15	90,5	92,1
1982	27,4	0,004	0,27	2,72	0,08	88,1	0,84	0,18	89,7	94,4
1983	28,0	0,004	0,27	3,04	0,09	93,2	0,89	0,21	102,4	96,6
1984	28,6	0,003	0,30	3,04	0,09	101,8	0,90	0,23	102,7	97,1
1985	29,0	0,003	0,26	3,40	0,09	115,2	0,95	0,25	102,2	99,3
1986	29,4	0,003	0,26	2,56	0,10	122,0	1,00	0,27	96,6	100,1
1987	29,7	0,003	0,31	2,83	0,11	128,9	1,07	0,29	102,2	102,5

**Utkommet i serien Rapporter fra Statistisk sentralbyrå  
etter 1. juli 1991 (RAPP)**

*Issued in the series Reports from the Central Bureau of Statistics  
since 1 July 1991 (REP)*

**ISSN 0332-8422**

- |           |  |          |  |
|-----------|--|----------|--|
| Nr. 91/1A | Natural Resources and the Environment 1990. 1991-150s. 100 kr ISBN 82-537-3558-8   | Nr. 92/1 | Naturressurser og miljø 1991 Energi, luft, fisk, skog, jordbruk, kommunale avløp, avfall, miljøindikatorer Ressursregnskap og analyser. 1992-154s. 100 kr ISBN 82-537-3651-7 |
| - 91/4    | Pasientstatistikk 1989. 1991-72s. 80 kr ISBN 82-537-3047-0   | - 92/1A  | Natural Resources and the Environment 1991. 1992-159s. 100 kr ISBN 82-537-3668-1   |
| - 91/8    | Konsumprisindeksen. 1991-82s. 80 kr ISBN 82-537-3072-1   | - 92/2   | Arne Ljones, Runa Nesbakken, Svein Sandbakken og Asbjørn Aaheim: Energibruk i husholdningene Energiundersøkelsen 1990. 1992-106s. 90 kr ISBN 82-537-3629-0                   |
| - 91/10   | Per Sevaldson: Tallet på innvandrere og deres etterkommere fram mot år 2050. 1991-74s. 60 kr ISBN 82-537-3567-7                            | - 92/3   | Knut Moum (red.): Klima, økonomi og tiltak (KLØKT). 1992-97s. 90 kr ISBN 82-537-3647-9   |
| - 91/11   | Knut A. Magnussen og Jens Stoltenberg: En disaggregert ettermodell for offentlig transport i MODAG/MSG. 1991-42s. 70 kr ISBN 82-537-3568-5 | - 92/4   | Totalregnskap for fiske- og fangstnæringen 1986-1989. 1992-34s. 75 kr ISBN 82-537-3633-9   |
| - 91/12   | Tor Arnt Johnsen: Modell for kraftsektoren. 1991-42s. 70 kr ISBN 82-537-3573-1   | - 92/5   | Tom Granseth: Hotelløkonomi og overnattinger En analyse av sammenhengen mellom hotellenes lønnsomhet og kapasitetsutnyttning mv. 1992-53s. 90 kr ISBN 82-537-3635-5          |
| - 91/13   | Torstein Bye og Tor Arnt Johnsen: Effektivisering av kraftmarkedet. 1991-39s. 70 kr ISBN 82-537-3575-8                                     | - 92/6   | Liv Argel: Informasjonen om Folke- og bolig telling 1990 i massemediene. 1992-68s. 90 kr ISBN 82-537-3645-2  |
| - 91/14   | Skatter og overføringer til private Historisk oversikt over satser mv. Årene 1975-1991. 1991-69s. 80 kr ISBN 82-537-3576-6                 | - 92/7   | Ådne Cappelen, Tor Skoglund og Erik Storm: Samfunnsøkonomiske virkninger av et EF-tilpasset jordbruk. 1992-51s. 75 kr ISBN 82-537-3650-9                                     |
| - 91/15   | Prisnivå på Svalbard 1990. 1991-75s. 60 kr ISBN 82-537-3556-1  | - 92/8   | Finn Gjertsen: Dødelighet ved ulykker 1956-1988 (RAPP) Under utgivelse   |
| - 91/16   | Knut Moum (red.): Husholdningenes sparing Begrepsavklaring, dataproblemer og analyse. 1991-92s. 80 kr ISBN 82-537-3585-5                   | - 92/9   | Kommunehelsetjenesten Årsstatistikk for 1990. 1992-56s. 90 kr ISBN 82-537-3653-3   |
| - 91/18   | Børge Strand: Personlig inntekt, formue og skatt 1980-1989 Rapport fra registerbasert skattestatistikk. 1992-50s. 60 kr ISBN 82-537-3618-5 | - 92/10  | Pasientstatistikk 1990. 1992-73s. 90 kr ISBN 82-537-3654-1   |
| - 91/19   | Arne S. Andersen: Familiesituasjon og økonomi En sammenlikning av husholdningers levestandard. 1992-70s. 80 kr ISBN 82-537-3627-4          | - 92/12  | Odd Frank Vaage: Kultur- og mediebruk 1991. 1992-64s. 95 kr ISBN 82-537-3673-8   |
|           |  | - 92/13  | Offentlig forvaltning i Norge. 1992-72s. 90 kr ISBN 82-537-3674-6  |

Nr. 92/15 Lasse Sigbjørn Stambøl: Flytting og utdanning 1986-1989 Noen resultater fra en undersøkelse av innenlandske flyttinger på landsdelsnivå og utdanning. 1992-73s. 90 kr  
ISBN 82-537-3682-7

- 92/17 Anne Brendemoen, Solveig Glomsrød og Morten Aaserud: Miljøkostnader i makroperspektiv Under utgivelse

Nr. 92/18 Ida Skogvoll: Folke- og bolig telling 1990 i massemediene Dokumentasjon av kontroll- og opprettingsregler for skjemakjennemerker Under utgivelse

- 92/20 Tor Arnt Johnsen: Ressursbruk og produksjon i kraftsektoren Under utgivelse

Pris kr 75,00

Publikasjonen utgis i kommisjon hos Akademika - avdeling for offentlige publikasjoner, Oslo, og er til salgs hos alle bokhandlere.



9 788253 736969

ISBN 82-537-3696-7  
ISSN 0332-8422