

# Interne notater

STATISTISK SENTRALBYRÅ

87/37

17. september 1987

ØKONOMISK AKTIVITET OG UTSLIPP AV SVOVEL I EUROPA

UTSLIPPSFRAMSKRIVNINGER MED BASIS I  
LINK-PROSJEKTETS ØKONOMISKE FRAMSKRIVNINGER.

Av Karine Nyborg

## INNHold

	side
1. INNLEDNING	
1.1 Problemstilling.....	2
1.2 Sammenhengen mellom økonomi og utslipp.....	3
2. SO <sub>2</sub> -PROGNOSER BASERT PÅ LINK-PROSJEKTET	
2.1 Hovedtrekkene i framgangsmåten.....	7
2.2 Hvordan bør resultatene tolkes?.....	10
2.2.1 Utslipp og BNP.....	10
2.2.2 Forutsetninger fra LINK.....	11
2.2.3 Forutsetninger fra RAINS og transport- matrisen.....	12
2.3 Utslipp av SO <sub>2</sub> i europeiske land i 1991.....	18
2.4 Nedfall av SO <sub>2</sub> i europeiske land i 1991.....	21
2.5 Betingelser for å oppnå gitte målsettinger.....	23
2.6 Vurdering av beregningene.....	25
3. ALTERNATIVE INTERNASJONALE ØKONOMISKE MODELLER	
3.1 Krav til modellutforming.....	27
3.2 Noen alternative eksisterende økonomiske modeller.....	28
4. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER.....	31
Referanser.....	34
Vedlegg: Nærmere om LINK.....	36

## 1. INNLEDNING

### 1.1 PROBLEMSTILLING

Sur nedbør er blitt et alvorlig problem i Europa. Flere forhold bidrar til problemet, men den sure nedbøren skyldes i stor grad utslipp til luft av svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) fra bruk av fossilt brennstoff og industriprosesser.

Fordi utslippene av svoveldioksid er nært knyttet til økonomisk aktivitet, ønsker vi å finne fram til et modellapparat der økonomisk utvikling og utslipp kan analyseres i sammenheng. Det er tidligere bl.a. laget framskrivninger for utslipp av svovel til luft i Norge på grunnlag av MSG-modellen (Alfsen, 1987b). Sur nedbør er imidlertid et utpreget internasjonalt problem, fordi mye av nedfallet i hvert enkelt land transporteres med luftmasser fra andre land. Vi ønsker derfor å knytte utslippene til en internasjonal økonomisk modell. I dette notatet er det geografiske området avgrenset til Europa.

Prognoser for utslipp til luft kan også lages ut fra de enkelte lands prognoser om eget framtidig energiforbruk, økonomisk vekst m.v. Problemet med en slik framgangsmåte er for det første at en risikerer å basere seg på tall som kan bære preg av å være politisk bestemte målsettinger snarere enn realistiske prognoser. For det andre er en ikke sikret konsistens mellom den økonomiske utviklingen de ulike landene oppgir at de venter. Vi ønsker derfor å bruke en økonomisk modell der det tas eksplisitt hensyn til handelsstrømmer mellom landene og den innflytelse eksport og import har på landenes økonomi.

Spørsmålet vi ønsker svar på, er av typen: "Hva skjer med utslippene av SO<sub>2</sub>, gitt at det ikke settes i verk flere og bedre tiltak enn vi har i dag for å begrense luftforurensningen, under bestemte forutsetninger om den økonomiske utviklingen i Europa?"

For å få svar på en slik problemstilling, må en ta hensyn til vekst i landenes aktivitetsnivå, endringer i næringsstrukturen, prisvridninger og teknisk utvikling. Det vil kreve et forholdsvis avansert modellapparat. Vi har startet med et lavere ambisjonsnivå, nemlig å se på utviklingen i utslipp og nedfall av SO<sub>2</sub> dersom utslippene utvikler seg i takt med veksten i bruttonasjonalprodukt. Meningen er deretter å bruke erfaringene fra dette arbeidet til å finne bedre metoder å besvare spørsmålet

over på.

Som et slikt "første forsøk" har vi brukt vekstprognoser fra LINK-prosjektet og knyttet konstante utslipps-koeffisienter til disse. Kapittel 2 beskriver denne analysen. Kapittel 3 inneholder noen betraktninger om mulighetene for å løse problemet på en bedre måte.

De kjemiske prosessene ved utslipp og transport av svoveloksid er relativt enkle i forhold til for eksempel nitrogenoksid (NO<sub>x</sub>), som også gir sitt bidrag til den sure nedbøren. Foreløpig er det derfor dårligere tilgang både på tallmateriale og modellapparat for utslipp og transport av NO<sub>x</sub> enn for SO<sub>2</sub>. Av den grunn er det bare utslipp og nedfall av SO<sub>2</sub> som blir tatt opp her.

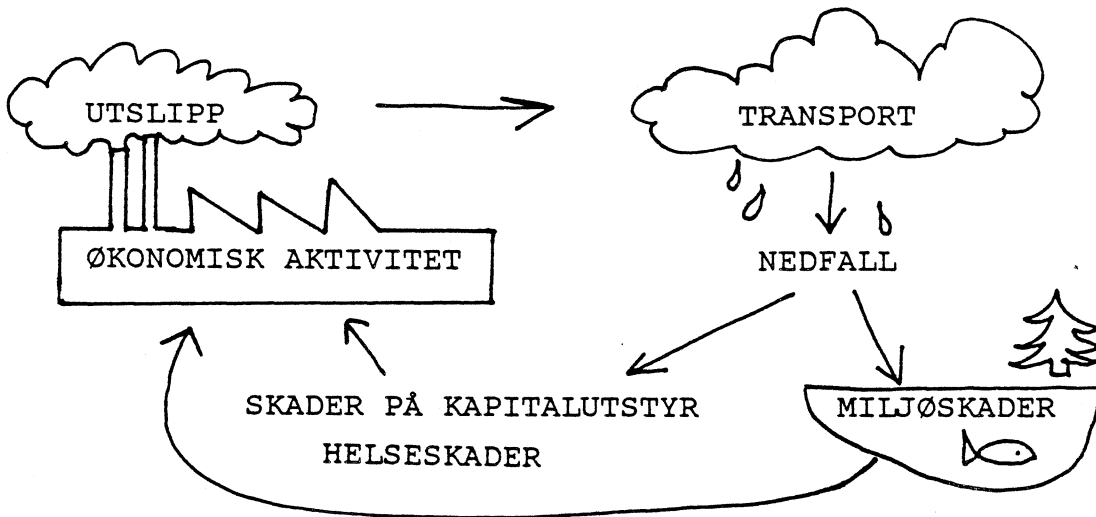
I tillegg er det av spesiell interesse å følge utslippene av svovel fordi de fleste europeiske landene har underskrevet en avtale om reduksjon i svovelutslippene (UN/ECE (1985)). Denne avtalen forplikter dem til å redusere utslippene (eller eksporten) av svovel med minst 30% fra 1980 til 1993.

## 1.2 SAMMENHENGEN MELLOM ØKONOMI OG UTSLIPP

En del svoveldioksid stammer fra naturlige prosesser, som f.eks vulkansk aktivitet og forråtnelse av organisk materiale. Vi er her interesserte i de utslippene som skyldes økonomisk aktivitet.

Disse utslippene kan deles inn i to: Brenselutslipp kommer fra forbrenning av svovelholdig brennstoff (olje, gass, kull og koks). Prosessutslipp stammer fra andre prosesser der det brukes svovelholdige innsatsfaktorer, f.eks. kokesyre i treforedlingsindustrien. Utviklingen i SO<sub>2</sub>-forurensningene vil dermed være nært knyttet til nivå og sammensetning av økonomisk vekst. Hvis utslippene skal gå ned samtidig som den økonomiske aktiviteten totalt sett øker, må det skje endringer i nærings sammensetning eller teknologi.

Figur 1.1: Økonomisk aktivitet og utslipp.



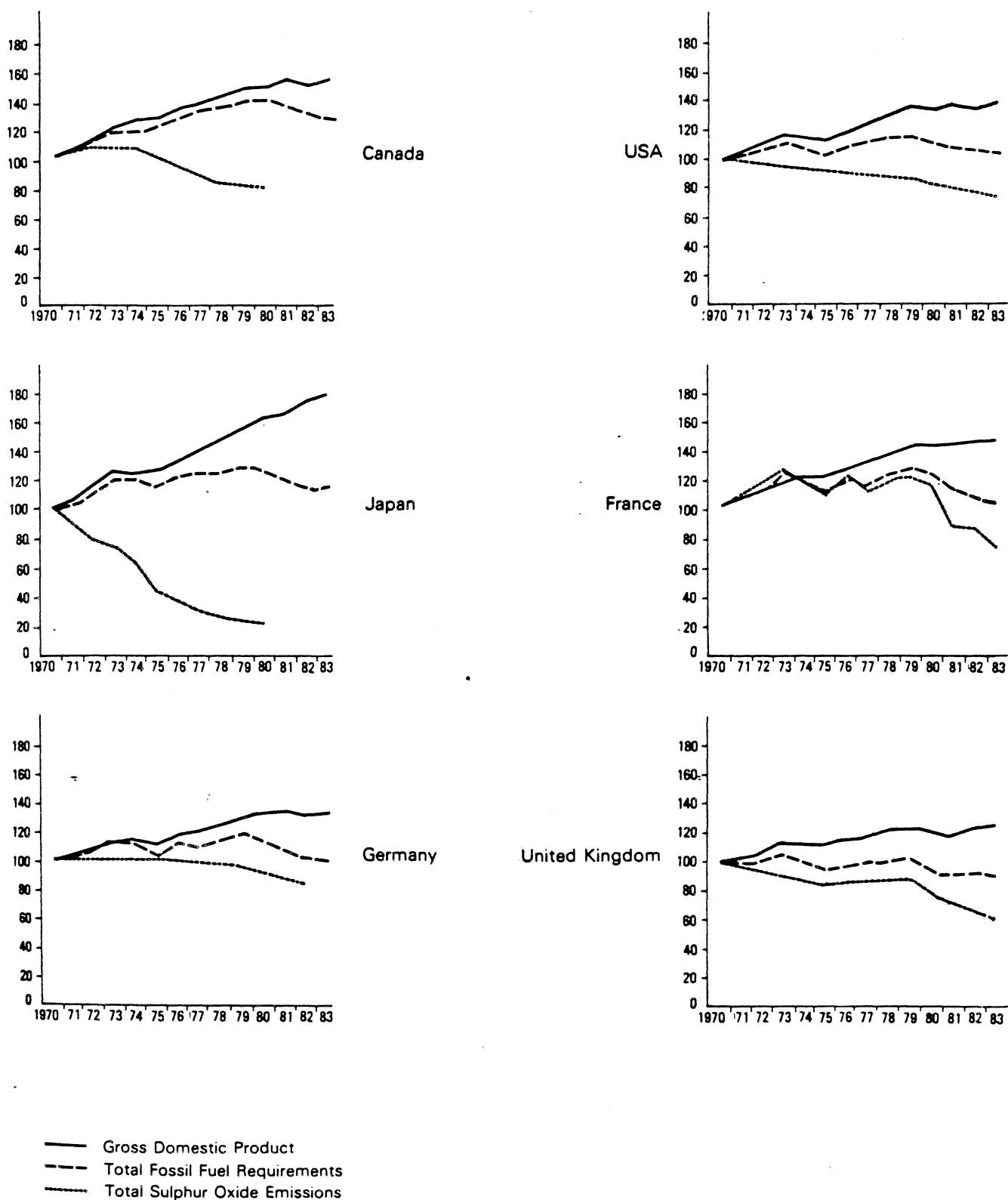
Det siste tiåret har BNP og utslipp av SO<sub>2</sub> ikke utviklet seg i takt i Europa. De fleste landene har hatt vekst i BNP, mens utslippene har gått ned. (Se fig.1.2.) Likevel er det flere grunner til at nedgangen ikke uten videre kan ventes å fortsette.

Den viktigste årsaken er kanskje oljeprisutviklingen. "Oljepris-sjokkene" i 1970-årene ga sterke insentiver til å begrense bruken av olje. Prisen på energi generelt sett ble også høyere. Siden utslipp av SO<sub>2</sub> i stor grad er knyttet til forbrenning av olje og kull, burde det ikke overraske at utslippene har blitt redusert i denne perioden. (Det vil likevel trekke i motsatt retning at høyere oljepris i forhold til kullpris kan gi overgang fra olje til kull, noe som vil gi større svovelutslipp fordi forbrenning av kull avgir mer svoveldioksid enn forbrenning av olje.)

Siden 1985 er oljeprisen blitt lavere igjen. Det er rimelig å vente at dette både fører til økt bruk av olje som energikilde, og større produksjon og forbruk av produkter der olje er en viktig innsatsfaktor. Hvis oljeprisen, og etter hvert energiprisene generelt, får en varig nedgang, vil dette oppmuntre til økt energibruk.

En del av de reduksjonene i SO<sub>2</sub>-utslipp en har sett det siste tiåret, er resultater av aktive tiltak for å begrense forurensningen. Eksempler på dette kan være forskrifter om overgang til bruk av olje med lavere svovelinnhold, pålagt rensing o.l.. Dette kan i enkelte tilfeller innebære at flere av de mest effektive rens tiltakene allerede er gjennomført, slik at ytterligere reduksjoner er mer kostnadskreven og dermed også vanskeligere å få gjennomslag for.

Figur 1.2: Utslipp av svoveloksider, brenselforbruk og BNP.  
1979=100.



Kilde: "The State of the Environment 1985". OECD, Paris.

## 2. SO2-PROGNOSER BASERT PÅ LINK-PROSJEKTET

Som et første forsøk på å lage prognoser for utslipp og nedfall av svoveldioksid på bakgrunn av anslått økonomisk vekst, har vi brukt det internasjonale modellsystemet LINK. Dessuten har vi benyttet en transportmodell som er utviklet ved Meteorologisk Institutt i Oslo.

Dette kapitlet inneholder en gjennomgang av metoden som ble brukt, presentasjon og tolkning av resultatene, og en vurdering av hvor velegnet dette modellapparatet er til slike framskrivninger.

### 2.1 HOVEDTREKKENE I FRAMGANGSMÅTEN

I korte trekk har framgangsmåten vært som følger: Utslipp av SO<sub>2</sub> ble framskrevet ved å knytte faste koeffisienter til anslag for BNP. Deretter brukte vi disse framskrivningene til å finne anslag for deposisjonen av svovel ved hjelp av en modell for transport av SO<sub>2</sub> i Europa. Modellen er utviklet ved Meteorologisk Institutt i Oslo.

Vi tenker oss at forholdet mellom BNP (for de østeuropeiske landene erstattes BNP av netto materialprodukt, NMP) og SO<sub>2</sub>-utslipp i år t kan beskrives ved en likning som (i):

$$(i) \quad SO_2(t) = a(t) * BNP(t)$$

der  $a(t)$  er en utslippskoeffisient.  $a(t)$  kan variere over tid, som følge av nye rensetiltak, strukturendring i økonomien, prisvridninger og ny teknologi.

Vi har tatt utgangspunkt i forholdstallet mellom BNP og utslipp for 1985 for hvert enkelt land og holdt disse utslippskoeffisientene konstante. Framskrivningene er dermed av typen

$$(ii) \quad SO_2(t) = a(1985) * BNP(t)$$

med en likning for hvert land, der

$$(iii) \quad a(1985) = SO_2(1985) / BNP(1985)$$

for hvert land.

Beregningene viser med andre ord hvor mye utslipp og nedfall Europa kan vente å få den nærmeste 5-års-perioden hvis  $a(t)$  er konstant lik  $a(1985)$ , og den økonomiske veksten blir som anslått i LINK-prosjektet. En interessant problemstilling blir: Hvor mye



må a(t) endre seg for at vi skal kunne oppnå gitte målsettinger i miljøpolitikken, samtidig med at den økonomiske veksten opprettholdes?

Både aktive rensetiltak, endringer i produktspekter og endringer i næringssammensetningen vil kunne endre størrelsen på koeffisienten a. Endringene kan dermed også skje uavhengig av myndighetenes miljøpolitikk. Strengt tatt får vi derfor ikke svar på problemstillingen "konsekvenser hvis ikke flere rensetiltak settes i verk". Det resultatene kan si noe om, er hvor store rensetiltak og strukturendringer som må til for å oppnå gitte mål for utslippene, f. eks. målsettingen om 30% reduksjon i SO<sub>2</sub>-utslipp fra 1980 til 1993.

Anslag for BNP 1987-91 er hentet fra det internasjonale modellprosjektet LINK, med senter ved University of Pennsylvania i USA. (Se f.eks. Klein 1977.) LINK er et system for å koble sammen og løse økonomiske modeller for land i hele verden på en innbyrdes konsistent måte. Systemet består av en modell for hvert enkelt land, og disse knyttes sammen ved hjelp av en handelsmatrise. LINK-systemet sikrer via flere beregningsrunder at eksportanslagene for et land er lik den import andre land beregnes å motta fra dette landet. (Se forøvrig avsnitt 2.2.2 og vedlegget "Nærmere om LINK").

Vi har brukt de prognosene LINK gir om økonomisk vekst i europeiske land som grunnlag for framskrivninger av SO<sub>2</sub>-utslipp. Det er (i alle fall foreløpig) ikke mulig å få sektorfordelte tall fra LINK, noe som hadde vært ønskelig bl.a. for å ta hensyn til vridninger i næringssammensetningen. Framskrivningene er derfor, som en "nest best-løsning", laget på grunnlag av prognoser for bruttonasjonalprodukt eller netto materialprodukt.

Tall for utslipp i 1985 er hentet fra RAINS, en modell som er bygd opp i IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis). (Se f.eks. Alcamo, Hordijk et al. (1986). Se også avsnitt 2.2.3.) Miljøverndepartementet har en PC-versjon av RAINS, og utslippstallene for 1985 som er brukt i denne analysen er hentet derfra.

RAINS er en modell for hele Europa. Den tar utgangspunkt i gitte energibaner og eventuelle rensestrategier for hvert enkelt land, og gir ut fra dette anslag på svovelutslipp, nedfall, og

virksomheter på enkelte resipienter. Modellen er langsiktig, og kan gi prognoser helt fram til 2040.

RAINS er delt opp i "byggeklosser" som kan brukes hver for seg. Den første delen er en modell der energibaner og eventuelle rensestrategier legges inn eksogent, og en får prognoser for utslipp av SO<sub>2</sub>. Det er denne delen som danner grunnlaget for de utslippstallene for 1985 som er brukt i dette notatet.

Det neste leddet er en transportmatrise som er utviklet ved Meteorologisk Institutt i Oslo i forbindelse med FN-programmet EMEP (The Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe), se Eliassen og Saltbones, (1983). Denne matrisen bygger på kunnskap om meteorologiske forhold og om kjemiske prosesser ved transport av SO<sub>2</sub> i atmosfæren. For gitte utslipp fra de forskjellige delene av Europa gir transportmatrisen anslag på det nedfallet ulike regioner mottar.

RAINS omfatter dessuten to blokker som modellerer virkninger på hhv. innsjøer og jordsmonn i skog i Skandinavia, og en delmodell som gir kostnadseffektive måter å få istand en gitt utslippsreduksjon på.

Opprinnelig var det meningen å benytte transportmatrisen i RAINS på våre egne utslippsframskrivninger, for å få anslag på hvor mye sur nedbør som kan ventes under våre beregningsforutsetninger. Av praktiske grunner var dette vanskelig å få til. Vi har i stedet fått transportmatriser direkte fra Meteorologisk Institutt. Disse er oppdaterte til 1984 og er dessuten forbedret en del i forhold til matrisen som ligger inne i RAINS. (Se Eliassen, Lemhaus og Saltbones (1986).) Vi har brukt disse matrisene til å finne tall for hvor store nedfall av svovel utslippsframskrivningene fra LINK kunne ventes å gi.

## 2.2 HVORDAN BØR RESULTATENE TOLKES?

Resultatene fra denne analysen bør ikke betraktes som en prognose om framtidig utslipp og nedfall av SO<sub>2</sub>. De sier kort og godt hva som skjer hvis utslippene fortsetter å være like store i forhold til bruttonasjonalprodukt som de er i dag. I tillegg er de naturligvis avhengige av de forutsetningene som ligger inne i LINK, RAINS og koeffisientmatrisen for transport.

### 2.2.1 Utslipp og BNP

Ved økonomisk vekst vil næringsstrukturen endres. Høyere inntektsnivå i samfunnet fører til at produkter etterspørres i andre forhold enn tidligere, og ny teknologi kommer til. Prisene endres, noe som gir nye tilpasninger.

Slike strukturendringer kan innebære at forholdet mellom forurensende og ikke-forurensende aktiviteter endrer seg. Fordi vi bare relaterer utslippene til BNP eller NMP, og ikke de enkelte næringene eller anvendelsene, får vi ikke tatt hensyn til denne effekten her (på annen måte enn det som ligger implisitt i LINK-beregningene). Analysen kan si noe om hvor store endringer i forholdet mellom utslipp og BNP som må gjennomføres for å oppnå gitte mål for utslipp samtidig med en gitt BNP-vekst. Men vi får ikke skilt mellom de endringene som er markedsbestemt og dermed mer eller mindre vil "komme av seg selv", og slike endringer som det må politiske vedtak til for å få gjennomført. Dette er en klar begrensning ved denne måten å angripe problemet på.

For de østeuropeiske landene er det netto materialprodukt som brukes i stedet for BNP. NMP skiller seg fra BNP først og fremst ved at det ikke inkluderer tjenesteyting. Prosessutslippene, og antakelig også brenselsutslippene av svoveloksider, vil være nærmere knyttet til utviklingen i vareproduksjon enn tjenesteproduksjon. NMP er derfor en bedre indikator for utviklingen i SO<sub>2</sub>-utslipp enn BNP.

Dessuten gir det ikke like god mening å sette opp et skille mellom "markedsbestemte" og "politikkbestemte" endringer for sentraldirigerte økonomier. Men politikk med og uten rensetiltak vil selvsagt være relevant å diskutere også her.

Det er ikke for noen land tatt hensyn til rensetiltak som er vedtatt og/eller gjennomført etter 1985. For enkelte land vil

dette være en relativt stor feilkilde.

### 2.2.2 Forutsetninger i LINK

Det er vanskelig å gi noen enkel oversikt over de forutsetningene LINK bygger på, fordi de enkelte landmodellene kan være svært forskjellige, og systemet inneholder mange tusen likninger. I tillegg korrigeres beregningene skjønnsmessig.

I den LINK-kjøringen som danner grunnlaget for analysen, er det lagt inn en oljepris på 16 dollar pr. fat i 1987. Realprisen er holdt omtrent uendret i prognoseperioden, noe som innebærer en nominell pris på 19-20 dollar fatet i 1991. (Kilde: Bowitz og Skjæveland (1987).)

Lavere oljepris kan influere på SO<sub>2</sub>-utslippene på to måter: Ved at den økonomiske aktiviteten i Europa kan bli høyere (dvs. en slags inntektseffekt), og ved at en går over til mer oljeintensiv virksomhet enn før (substitusjonseffekt). Den første effekten er innarbeidet i våre utslippsframskrivninger, via LINK. Men substitusjonseffekten blir det ikke tatt eksplisitt hensyn til, fordi LINK verken gir tall for energibruk eller sektorfordelte tall for bruttoprodukt.

Tabell 2.1 viser gjennomsnittlig årlig vekstrate i BNP (for de østeuropeiske landene: Netto materialprodukt) i årene 1986-1991 ifølge LINK-prognosene som ble offentliggjort etter prosjektets vårmøte 1987. I tillegg er gjennomsnittlig årlig vekstrate i privat konsum oppgitt. Tallene gjelder BNP og NMP i faste priser, men basisår for fastpris-beregningene er forskjellig fra land til land.

For Norges vedkommende er det BNP uten olje og sjøfart som er med. Totalt BNP ville gitt både høyere nivå- og veksttall.

Tabell 2.1 Gjennomsnittlig årlig vekst i bruttonasjonalprodukt/netto materialprodukt og privat konsum i Europa. Faste priser. Framskrivninger fra LINK. 1986-1991. Prosent.

	BNP/ NMP	privat konsum	basis- år		BNP/ NMP	privat konsum	basis- år
Austria	2.0	2.2	1976	Netherl.	2.3	2.3	1980
Belgium	2.4	0.7	1975	Norway	1.1	0.7	1984
Bulgaria(1)	3.8	3.7	1970	Poland(1)	3.5	2.7	1971
CSSR(1)	2.9	2.1	1967	Portugal	3.4	3.2	1977
Denmark	1.9	2.0	1980	Romania(1)	4.2	2.8	1970
Finland	2.4	2.8	1975	Spain	3.5	3.0	1970
France	2.5	2.4	1970	Sweden	1.4	1.7	1980
FRG	2.0	1.9	1970	Switzerl.	1.7	1.5	1970
GDR(1)	3.9	3.8	1967	Turkey	4.8	4.6	1975
Greece	1.7	1.3	1970	UK	2.4	3.6	1975
Hungary(1)	1.7	2.0	1968	USSR(1)	3.9	3.7	1970
Ireland	2.5	1.7	1975	Yugosl.	2.4	2.0	1975
Italy	2.8	3.2	1970				

(1) Netto materialprodukt

### 2.2.3 Forutsetninger fra RAINS og transportmatrisen

#### Historiske SO<sub>2</sub>-tall

Tall for SO<sub>2</sub>-utslipp i 1985 er hentet fra energi/ utslippsmodellen i RAINS. Disse tallene er resultater av en modellkjøring i RAINS, og er dermed ikke framkommet ved målinger i hvert enkelt land.

De energibanene som ligger inne i RAINS, og som danner grunnlaget for SO<sub>2</sub>-tallene i RAINS, er for årene fram til og med 1980 hentet fra FN-statistikk. For senere år er det myndighetenes offisielle planer som er brukt, slik disse er oppgitt til IEA (Vest-Europa) og ECE (Øst-Europa). Slike offisielle planer kan ha mer preg av å være målsettinger enn realistiske prognoser, og RAINS' prognoser for utslipp av SO<sub>2</sub> vil i så fall bære preg av dette. Innbyrdes konsistens mellom de ulike landenes energiplaner blir heller ikke sikret innenfor rammen av RAINS. For 1985 vil vi likevel anta at tallene er noenlunde realistiske. Problemet er sannsynligvis større for mer langsiktige prognoser.

Det gir en viss ekstra usikkerhet at vi har lagt til grunn utslippstall som i realiteten er prognoser og ikke historiske tall. Årsakene til dette valget er flere:

-RAINS gir tall for hele Europa, inkludert Øst-Europa,

beregnet etter samme metode.

-RAINS er den eneste kilden som gir anslag for alle europeiske land for år etter 1980. Siden utviklingen i SO<sub>2</sub>-utslipp ikke har beveget seg parallelt med den økonomiske veksten siden 1980, ville det være uheldig å bruke 1980-tall som basis for beregningene.

-Andre kilder enn IIASA/RAINS har den svakhet at tallmaterialet er basert på oppgaver fra landene selv, til tross for at en i enkelte tilfeller er klar over at tallene stemmer dårlig med annen tilgjengelig informasjon.

For enkelte land finnes det historiske tall fra år etter 1980 som stemmer dårlig med RAINS-tallene for 1985. For eksempel er de tallene Statistisk Sentralbyrå har kommet fram til for norske utslipp i 1985 en god del lavere enn anslaget fra RAINS. En kunne kanskje ha korrigert for dette og brukt de tallene som virket "mest rimelige" for hvert enkelt land. Problemet blir da at en vil ende opp med tall som er regnet ut på forskjellig måte, og at det blir vanskeligere å gjennomskue hvilke forutsetninger analysen egentlig bygger på.

Det finnes flere kilder til internasjonale data for utslipp til luft, bl.a. OECD, EMEP og RAINS.<sup>1</sup> OECD publiserer utslippsdata for sine medlemsland. Data for Øst-Europa finnes altså ikke her. EMEP har antakelig de best oppdaterte dataene. Data fra EMEP dekker totale nasjonale utslipp for landene som er med i ECE (Economic Commission for Europe): Hele Europa pluss USA og Canada. Det oppgis utslippstall for 1980 for alle landene unntatt Tyrkia. For en del land oppgis også nyere utslippstall og evt. planer for årene fram til 1995.

I likhet med OECD publiserer EMEP tall som myndighetene i de enkelte land selv har oppgitt, men det er usikkert hvor god kvaliteten på en del av tallene er. Politiske vurderinger kan dessuten ha influert noen av tallene.

---

<sup>1</sup>Data fra ulike kilder oppgis ofte i ulike enheter. Nedfalls- og utslippsmengder oppgis både som svoveldioksid og svovel, og for oppgaver over våtavsetning kan enheten også være sulfat (SO<sub>4</sub>). Utslipp/nedfall av svoveldioksid eller sulfat kan omregnes til tall målt i svovel på følgende måte:

1 tonn SO<sub>2</sub> tilsvarer 1/2 tonn svovel

1 tonn SO<sub>4</sub> tilsvarer 1/3 tonn svovel.

### Transportmatrisen

Fra Meteorologisk Institutt har vi mottatt fire matriser som viser hvor mye svovel som ble transportert fra ett land til et annet i Europa i årene 1979, 1980, 1983 og 1984. Fordi pålitelige data for utslippsmengder i stor grad mangler, er EMEP-utslipps-tall for 1980 lagt til grunn både for 1979- og 1980-matrisene, mens utslipp i 1983 ligger til grunn for 1983- og 1984-matrisene. For en del land har en ikke pålitelige tall for senere år enn 1980, og der er 1980-tallene brukt i alle fire matrisene. Der hvor samme utslippstall er brukt for ulike år, skiller matrisene seg fra hverandre fordi værforholdene er forskjellige hvert år.

For å kunne gi anslag for nedfall av svovel ut fra våre egne utslippsframskrivninger, laget vi en koeffisientmatrise på grunnlag av matrisene fra Meteorologisk Institutt.

Koeffisientmatrisen gir andelen av et lands totale utslipp i disse fire årene som har havnet i hvert enkelt av de andre europeiske landene. Elementene i koeffisientmatrisen som er benyttet i dette notatet, er regnet ut på følgende måte:

$$B_{ij} = \left( \sum_t SO2_{ij}(t) \right) * \left( \sum_t SO2_j(t) \right)^{-1} \quad t=1979,1980,1983,1984.$$

der  $SO2_{ij}(t)$  = utslipp fra land j som havner i land i i år t,  
og  $SO2_j(t)$  = totale utslipp fra land j i år t.

Matrisen er basert på en bestemt geografisk fordeling av utslippskilder internt i hvert enkelt land. Transportmatrisene bygger på observasjoner fra et 150\*150km rutenett. Dersom det skjer en større omfordeling av den interne geografiske fordelingen, (f.eks. nedleggelse av smeltehytta i Sulitjelma for Norges vedkommende,) vil ikke lenger matrisene fra tidligere år gi et dekkende bilde av mønsteret i transporten. Hvis en skal få tatt hensyn til slike endringer, må en bruke en geografisk mer disaggregert matrise.

For det andre er det endel av nedfallet over Europa som en ikke kjenner kilden til. Særlig for Norge er dette nedfallet av stor betydning: I 1980 var for eksempel nærmere halvparten av

svovelledfallet over Norge fra ukjent kilde. Det er rimelig å tro at dette nedfallet vil endre seg hvis utslippene i Europa endrer seg, men hvor mye vet en ikke. Hvis en skal lage prognoser for total deposisjon av svovel i et land, må en derfor gjøre en eller annen forutsetning om hvordan denne delen av nedfallet vil utvikle seg.

EMEP-programmet og transportmatrisene dekker bare et avgrenset geografisk område som vist i figur 2.1. Nedfallet vil være best bestemt for landene som ligger nær midten av området.

### Landinndeling

Island er ikke med i RAINS-modellen. Tallmateriale fra andre kilder oppgir at utslippene fra Island er svært små. Vi har derfor sett bort fra Island i denne sammenhengen.

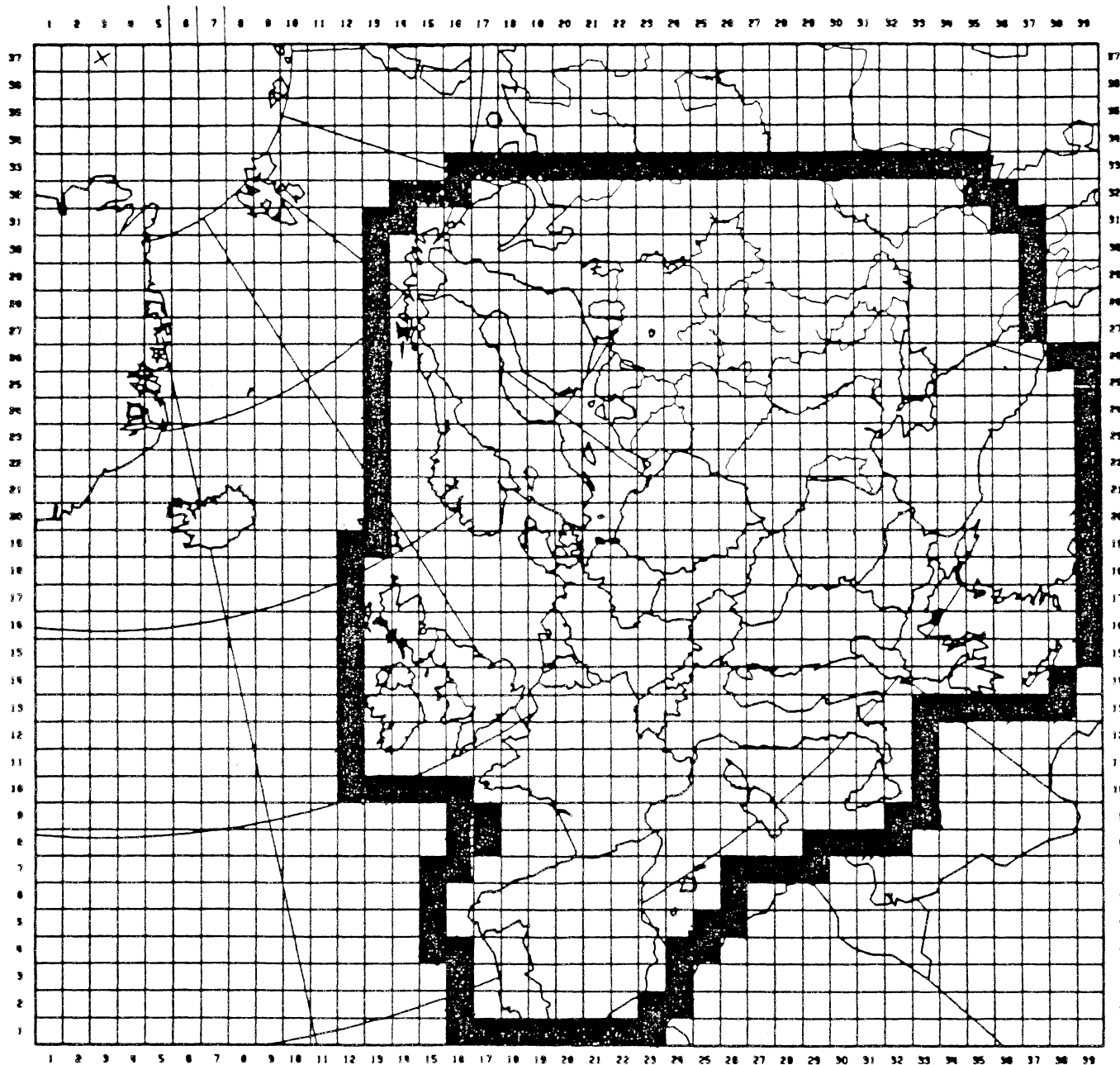
Når det gjelder Sovjetunionen, støter vi på det problemet at LINK gir økonomiske prognoser for hele Sovjetunionen, mens det bare er den europeiske delen som er med i RAINS og transportmatrisen. Som en foreløpig, men lite tilfredsstillende løsning forutsetter vi at den økonomiske veksten i Sovjetunionen totalt sett er den samme som i den europeiske delen. Også for Tyrkia og Portugal er det deler av landet som ikke omfattes av EMEP-transportmatrisene. (Se figur 2.1.)

Luxembourg og Albania er ikke med i LINK, og er derfor heller ikke med i våre beregninger.



Figur 2.1: Kart over området som er med i grunnlaget for transportmatrisene.

Transportmatrisene er basert på såkalte Lagrangske modeller. Trajektorier (luftbaner) i modellen har et ytre område, innflytelsesområdet, der de kan plukke opp svovelutslipp, og et indre område, der ankomst av svovel beregnes (deposisjonsområdet). Området innenfor det avmerkede feltet er med i deposisjonsområdet. I dette området har en regnet ut ankomst, konsentrasjoner og nedfall av svovel. Det større området (hele kartet) viser innflytelsesområdet.



Kilde: J. Saltbones, Meteorologisk Institutt.



## 2.3 UTSLIPP AV SO2 I EUROPEISKE LAND I 1991

Tabell 2.2 gir utslipp av svoveldioksid fra europeiske land (Island og Luxembourg er ikke med) i 1980, 1985, 1990 og 1991. Tall for 1980 og 1985 er fra RAINS, og dette er som nevnt modellframskrivninger. RAINS' prognoser for 1990 er også med som sammenlikningsgrunnlag. De to siste kolonnene er framskrivningene på grunnlag av LINK.

Tabell 2.2 Utslipp av SO2 fra europeiske land. Tusen tonn i løpet av året.

	RAINS 1980	RAINS 1985	RAINS 1990	EGNE 1990	EGNE 1991
Albania	112	112	168	..1)	..1)
Austria	352	295	323	325	332
Belgium	857	587	608	668	678
Bulgaria	1026	1026	1358	1246	1285
CSSR	3140	3080	2652	3565	3663
Denmark	453	394	421	426	441
Finland	584	466	418	523	536
France	3551	2301	1952	2588	2668
FRG	3202	2952	2791	3272	3318
GDR	4607	4720	4828	5736	5949
Greece	695	828	1277	895	916
Hungary	1602	1528	1280	1651	1693
Ireland	214	148	195	166	171
Italy	3609	2988	3193	3411	3517
Luxemb.	37	36	38	..	..
Netherl.	450	293	394	325	336
Norway	138	125	124	131	133
Poland	4028	4212	3760	4978	5164
Portugal	297	309	316	364	378
Romania	1482	1442	2059	1780	1844
Spain	3258	3130	3210	3693	3841
Sweden	484	434	351	458	471
Switzerl.	127	100	95	109	110
Turkey	960	1119	1835	1428	1480
UK	4679	4230	4244	4818	4886
USSR	17363	17755	17558	21456	22272
Yugosl.	1478	1478	2647	1659	1706

1) Albania er med i RAINS, men ikke i LINK, og er derfor ikke med i de to siste kolonnene.

Ifølge prognosene fra LINK ventes det positiv realvekst i BNP i alle de europeiske landene fra 1985 til 1991. Som en følge av dette viser våre egne framskrivninger at alle land får økte svovelutslipp fra 1985 til 1991. Fra 1980 til 1991 er det likevel noen land som totalt sett får en nedgang i svovelutslipp etter våre forutsetninger. Det skyldes at nedgangen mellom 1980 og 1985 har vært så stor at dette mer enn oppveier senere økninger. Likevel er det ingen land som greier å redusere utslippene av svoveldioksid med så mye som 30% fra 1980 til 1991 i våre framskrivninger. Avtalen om utslippsreduksjoner som en del land har undertegnet, sier at en reduksjon på minst 30% fra 1980-nivået skal være gjennomført senest innen 1993, altså to år etter tidshorisonten for beregningene våre. Enkelte land, deriblant Norge, har erklært at de vil gjennomføre større reduksjoner enn 30%.

En del land vil altså kunne oppleve at de greide å gjennomføre en reduksjon i utslippene på 30% eller mer mellom 1980 og 1985, men at utslippene deretter øker igjen, slik at målsettingen likevel ikke er oppfylt ved avtaleperiodens utløp.

Nedenfor følger en tabell som viser de offisielle målsettinger myndighetene i hvert enkelt land har for prosentvise reduksjoner i utslippene av svoveldioksid til luft fra 1980 til 1993. Disse tallene er hentet fra Hordijk (1987). Målsettingene sammenliknes i tabellen med den prosentvise endring i utslippene en får fra 1980 til 1991 ut fra våre framskrivninger. Dessuten er disse tallene sammenliknet med prosentvis endring i utslippene fra 1980 til 1990 ifølge RAINS-prognosene. Merk at slutt-året er forskjellig i de tre kolonnene. Det bør kanskje presiseres nok en gang at SO<sub>2</sub>-framskrivningene basert på LINK og faste utslippskoeffisienter ikke kan betraktes som realistiske prognoser.

Tabell 2.4 Prosentvise endringer i utslipp av SO<sub>2</sub> i forhold til 1980-nivået.

	MÅL 1980-93	LINK 1980-91	RAINS 1980-90
Albania	-	..	+50
Austria	-50	- 5	- 8
Belgium	-50	-21	-29
Bulgaria	-30	+25	+32
Czechoslovakia	-30	+17	-16
Denmark	-50	- 3	- 7
Finland	-50	- 8	-28
France	-50	-25	-45
Fed. Rep of Germany	-60	+ 4	-13
German Dem. Rep.	-30	+29	+ 5
Greece	-	+32	+84
Hungary	-30	+ 6	-20
Ireland	-	-20	- 9
Italy	-30	- 3	-12
Luxembourg	-30	..	+ 3
Netherlands	-60	-25	-12
Norway	-50	- 4	-10
Poland	-	+28	- 7
Portugal	-	+27	+ 6
Romania	-	+24	+39
Spain	-	+18	- 1
Sweden	-65	- 3	-27
Switzerland	-30	-13	-25
Turkey	-	+54	+91
United Kingdom	-	+ 4	- 9
USSR (European Part)	-30	+28	+ 1
Yugoslavia	-	+15	+79

MÅL: Offisielle nasjonale målsettinger.

LINK: Egne framskrivninger basert på LINK-prognoser for BNP og faste utslippskoeffisienter.

RAINS: Prognoser fra IIASAs modell RAINS.

RAINS-tall for utslipp i 1980 er basis for alle beregninger av prosentvise endringer i tabellen.

Som en kan se av tabellen, er det enkelte land som har en sterkere utslippsvekst (eller lavere utslippsreduksjon) i våre framskrivninger enn i RAINS-prognosene. Dette er kan hende noe overraskende, siden vi har brukt en metode som ikke gir rom for reduksjoner i perioden 1985-91 så lenge en har positiv økonomisk

realvekst. Årsaken kan f.eks. være at IIASA har opplysninger om at disse landene har planer om å gå over til økt bruk av energibærere med høyt svovelinnhold. Det er også mulig at LINK-prognosene er mer pessimistisk med hensyn til den økonomiske veksten i disse landene enn den utviklingen de offisielle energibanene i RAINS bygger på. Noe av årsaken til dette kan ligge i at LINK tar hensyn til at handelsstrømmene landene imellom må være konsistente.

#### 2.4 NEDFALL AV SO<sub>2</sub> I 1991

Tabell 2.5 gir en oversikt over beregnet transport av svoveldioksid i 1991 ut fra LINK-framskrivningene. Totalt nedfall i hvert enkelt land er likevel ikke summert sammen, fordi det ikke er gjort noen forutsetninger om utviklingen i nedfallet fra ubestemte kilder.

For å få et visst bilde av hva disse tallene innebærer, kan en sammenlikne tabell 2.5 med gjennomsnittlige verdier for utslipp og deponisjon av svoveldioksid i 1979, 80, 83 og 84. Tall for dette er gjengitt i tabell 2.6.

Tabell 2.5: Utslipp av SO<sub>2</sub> fra land i som deponeres i land j, 1991 iflg. LINK-framskrivninger.  
1.kolonne:Mottakerland, 1.linje: Utslippsland, 1000 tonn SO<sub>2</sub>.

	AL	AT	BE	BG	CS	DK	FI	FRA	GDR	FRG	GR	HU	IS	IE	IT	IU	NL	NO	PL	PT	RO	ES	SE	CH	TR	SU	GB	YU
AL	0	0	0	7	1	0	0	1	1	1	9	2	0	0	7	0	0	1	0	0	1	0	0	2	2	1	7	
AT	0	86	4	1	67	1	0	21	55	44	0	32	0	0	66	0	1	0	36	0	0	4	0	4	0	4	11	37
BE	0	0	137	0	4	0	0	43	9	37	0	0	0	0	2	0	7	0	3	0	0	2	0	0	0	0	30	0
BG	0	1	0	384	12	0	0	1	10	3	11	14	0	0	6	0	0	14	0	0	65	1	0	0	11	30	2	25
CS	0	20	6	3	960	2	0	21	251	72	1	102	0	0	21	0	2	0	208	0	18	3	1	1	0	43	17	29
DK	0	0	0	3	10	89	0	5	33	24	0	1	0	0	1	0	2	0	15	0	0	0	3	0	0	2	22	0
FI	0	0	1	0	11	4	176	3	27	11	0	3	0	0	0	1	3	25	0	0	0	21	0	0	0	193	10	1
FRA	0	5	55	1	39	2	0	945	75	122	0	8	0	4	91	0	12	0	25	4	0	166	1	9	0	2	143	9
GDR	0	3	14	0	186	7	0	27	1599	153	0	7	0	0	8	0	8	0	73	0	0	2	2	0	0	6	39	4
FRG	0	13	64	1	119	9	1	158	316	1026	0	14	0	2	42	0	32	0	61	0	12	3	8	0	7	119	13	
GR	0	1	0	55	5	0	0	2	4	2	243	5	0	0	11	0	0	0	4	0	14	2	0	0	16	11	1	12
HU	0	13	1	5	76	0	0	7	36	14	1	457	0	0	28	0	1	0	51	0	32	2	0	1	1	8	6	77
IS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
IE	0	0	0	0	1	0	0	2	1	2	0	0	0	41	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	24	0
IT	0	9	3	6	21	0	0	52	22	22	5	18	0	0	1218	0	1	0	16	0	5	28	0	9	2	4	11	43
IU	0	0	1	0	0	0	0	6	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
NL	0	0	31	0	7	1	0	24	17	89	0	1	0	0	1	0	75	0	4	0	0	2	0	0	0	0	51	0
NO	0	0	4	0	14	12	3	7	41	20	0	3	0	0	1	0	2	38	22	0	0	0	14	0	0	33	41	1
PL	0	11	12	4	348	14	2	27	628	118	1	69	0	1	19	0	7	1	1775	0	23	3	7	1	1	59	46	25
PT	0	0	0	0	1	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	102	0	42	0	0	0	0	0	3	0
RO	0	4	1	61	70	1	0	6	53	16	7	102	0	0	23	0	1	0	89	0	650	1	1	0	8	88	7	83
ES	0	1	4	0	7	0	0	41	13	14	0	1	0	0	11	0	1	0	5	29	0	1229	0	1	0	0	18	1
SE	0	2	6	1	33	33	19	10	91	43	0	6	0	0	4	0	4	12	62	0	0	1	149	0	0	58	41	4
CH	0	2	3	0	8	0	0	29	10	18	0	3	0	0	63	0	1	0	4	0	0	5	0	29	0	0	7	3
TR	0	0	0	45	7	0	0	1	7	2	31	7	0	0	7	0	0	0	8	0	14	2	0	0	483	49	2	9
SU	0	13	15	65	279	31	82	31	428	128	16	145	0	2	42	0	9	5	709	0	249	5	39	1	46	7430	85	66
GB	0	0	12	0	8	2	0	33	19	25	0	1	0	12	2	0	6	0	8	0	0	9	1	0	0	1	1369	0
YU	0	16	2	81	53	1	0	16	43	20	14	109	0	0	132	0	1	0	47	0	51	6	0	1	6	17	6	594
RE	0	15	91	132	208	103	58	322	497	348	140	71	0	36	496	0	64	19	327	35	101	549	80	8	193	618	1076	113
SUM	0	220	476	857	2557	314	344	1845	4297	2380	480	1180	0	105	2329	0	242	80	3597	171	1235	2082	322	76	77210217	3186	1161	

Tabell 2.6: Utslipp av SO<sub>2</sub> fra land i som deponeres i land j, Gjennomsnitt over årene 1979, 80, 83 og 84.  
1.kolonne: Mottakerland, 1.linje: Utslippsland, 1000 tonn SO<sub>2</sub>.

	AL	AT	BE	BG	CS	DK	FI	FRA	GDR	FRG	GR	HU	IS	IE	IT	IU	NL	NO	PL	PT	RO	ES	SE	CH	TR	SU	GB	YU	RE	IND	SUM	
AL	12	0	0	6	1	0	0	1	1	1	7	2	0	0	8	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	5	0	22	71	
AT	0	81	4	1	58	1	0	21	37	40	0	31	0	0	71	0	2	0	29	0	0	4	0	4	0	3	9	26	0	56	476	
BE	0	0	149	0	4	0	0	43	6	33	0	0	0	0	2	1	9	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	26	0	19	298	
BG	1	1	0	299	11	0	0	1	7	3	9	14	0	0	7	0	0	0	11	0	7	1	0	0	8	19	2	18	0	52	471	
CS	0	19	7	2	832	2	0	21	169	65	1	99	0	0	23	0	3	0	166	0	2	3	1	1	1	0	27	15	20	0	59	1514
DK	0	0	4	0	9	73	0	5	23	22	0	1	0	0	2	0	3	0	12	0	0	0	3	0	0	0	2	19	0	0	23	200
FI	0	0	2	0	10	4	155	3	18	10	0	2	0	0	1	0	2	3	20	0	0	0	18	0	0	0	122	9	1	0	159	537
FRA	0	5	60	1	34	2	0	938	51	110	0	8	0	4	98	4	15	0	20	2	0	142	1	8	0	2	122	7	2	326	1957	
GDR	0	3	15	0	162	6	0	27	1075	138	0	7	0	1	9	0	10	0	58	0	0	2	2	0	0	0	4	33	3	0	48	1603
FRG	0	12	70	1	104	7	1	157	213	920	0	14	0	3	46	4	39	0	49	0	0	11	3	8	0	5	102	9	0	148	1921	
GR	3	1	0	43	5	0	0	2	3	2	187	5	0	0	12	0	0	0	4	0	2	2	0	0	11	7	1	9	1	59	357	
HU	0	12	2	4	66	0	0	7	25	13	1	443	0	0	30	0	1	0	41	0	4	2	0	1	1	5	5	53	0	40	752	
IS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	36	40
IE	0	0	1	0	1	0	0	2	1	2	0	0	0	43	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	21	0	0	47	122
IT	1	8	4	5	19	0	0	52	15	20	4	17	0	0	1316	0	1	0	13	0	1	24	0	8	1	3	10	30	5	177	1732	
IU	0	0	1	0	0	0	0	6	1	3	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	19
NL	0	0	34	0	6	1	0	24	12	80	0	1	0	1	2	0	92	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	44	0	0	23	325
NO	0	0	5	0	12	10	3	7	28	18	0	3	0	1	2	0	3	34	18	0	0	0	13	0	0	0	21	35	1	0	214	426
PL	0	11	13	4	302	12	2	27	423	106	1	67	0	1	21	0	9	1	1409	0	3	3	6	1	1	38	39	17	0	129	2639	
PT	0	0	0	0	1	0	0	3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	43	0	36	0	0	0	0	0	3	0	0	51	138

I forhold til gjennomsnittet for 1979, 80, 83 og 84 innebærer LINK-framskrivningene en vesentlig økning i transporten av svovel til Norge fra Øst-Tyskland og Sovjetunionen, en mindre økning fra Storbritannia, Polen og i nedfallet som stammer fra Norge selv, og en viss økning i nedfallet fra Tsjekkoslovakia, Danmark, Vest-Tyskland og Sverige. Ikke for noen land viser framskrivningene nedgang i utslipp av svoveldioksid som transporteres til Norge. Materialet peker altså i retning av at en økende del av den sure nedbøren over Norge vil ha sin kilde i Øst-Europa.

### 2.3 BETINGELSER FOR Å OPPNÅ GITTE MÅLSETTINGER

Dersom utslippene utvikler seg i takt med bruttonasjonalprodukt/ netto materialprodukt i perioden 1985-1991, kan en ikke regne med at noen europeiske land vil greie å redusere svovelutslippene sine med så mye som 30% fra 1980 til 1991. Dette innebærer at dersom de målsettingene som er oppgitt i tabell 2.3 skal kunne oppfylles, må det i de fleste land skje store endringer i forholdet mellom bruttonasjonalprodukt/netto materialprodukt og utslipp av svovel i årene framover. Dette kan bare skje på følgende måter:

- (i) Iverksetting av effektive rensetiltak og innføring av mindre forurensende teknologi
- (ii) Lavere forbruk av fossilt brennstoff i forhold til BNP/NMP
- (iii) Vesentlige endringer i næringssammensetningen slik at en mindre andel av BNP/NMP utgjør forurensende virksomhet.

Vi kan tallfeste litt nærmere hvor store disse endringene må være. Som tidligere nevnt er de framskrivningene av SO<sub>2</sub>-utslipp vi har laget basert på følgende formel:

$$(ii) \quad SO_2(t) = BNP(t) * a(1985)$$

der  $a(1985) = SO_2(1985)/BNP(1985)$ .

La oss nå anta at alle europeiske land faktisk reduserer svovelutslippene med akkurat 30 prosent fra 1980 til 1991 (dvs. to år før FN-avtalens utløp), slik at vi får:



$$(iv) \quad SO_2(1991^*) = 0,7 \cdot SO_2(1980).$$

Vi må da tillate en endring i  $a(t)$  over tid. Ved å se hvor stor endring i  $a(t)$  vi må ha fra 1985 til 1991 for at (iv) skal være oppfylt, får vi et mål på hvor store endringer i forholdet mellom svovelutslipp og BNP som må til for at målet om 30% reduksjon i utslippene skal innfris.

For hvert land får vi da en likning

$$(v) \quad SO_2(1991^*) = BNP(1991) \cdot a(1985) \cdot k$$

der  $k$  er den endring i utslippskoeffisient som må til for å oppfylle (iv).

I tabell 2.7 er  $k$  regnet ut for alle landene.

Tabell 2.7: Relativ reduksjon i forholdet mellom  $SO_2$ -utslipp og BNP(NMP) fra 1985 til 1991 som må til for å oppnå 30% reduksjon i utslippsnivået fra 1980 til 1991.

Austria	0.26	Italy	0.28
Belgium	0.12	Netherl.	0.06
Bulgaria(1)	0.44	Norway	0.27
CSSR(1)	0.40	Poland(1)	0.45
Denmark	0.28	Portugal	0.45
Finland	0.24	Romania(1)	0.44
France	0.07	Spain	0.41
FRG	0.32	Sweden	0.28
GDR(1)	0.46	Switzerl.	0.19
Greece	0.47	Turkey	0.55
Hungary(1)	0.34	UK	0.33
Ireland	0.13	USSR(1)	0.45
		Yugosl.	0.39

Tall for BNP og NMP fra LINK.

(1) Netto materialprodukt.

Vi ser av tabellen at det for de fleste lands vedkommende er relativt store endringer som må til i forholdet mellom utslipp og BNP (NMP). For Norge betyr dette at fra 1985 til 1991 må utslippsmengde i forhold til bruttonasjonalprodukt reduseres med 27 prosent.

Dette illustrerer det poenget som er en sentral årsak til at vi ønsker å knytte sammen økonomiske modeller med analyse av

utviklingen i utslippene. Når en i Norge i dag snakker om at målet om 30 prosent reduksjon i SO<sub>2</sub>-utslippene allerede er så godt som gjennomført, glemmer en lett at så lenge økonomien er i vekst, må en regne med at dette i seg selv fører til økte utslipp. En utslippsreduksjon er dermed ikke noe en kan gjennomføre og være ferdig med en gang for alle. Med stadig økonomisk vekst må tvert imot utslippsmengde i forhold til nasjonalprodukt stadig reduseres for at utslippene skal holdes på et konstant nivå.

## 2.6 VURDERING AV BEREGNINGENE

Ut fra tallmaterialet foran kan en trekke følgende slutninger:

Hvis utslippene av svoveldioksid utvikler seg i takt med bruttonasjonalprodukt/ netto materialprodukt i perioden 1985-1991, kan en ikke regne med at noen europeiske land vil greie å redusere svovelutslippene sine med så mye som 30% fra 1980 til 1991.

Dette innebærer at de fleste europeiske land må få relativt store endringer i forholdet mellom SO<sub>2</sub>-utslipp og BNP (evt. NMP) for å få oppfylt en slik målsetting.

De utslippsframskrivningene vi kom fram til i avsnitt 2.3, viste seg for Norges vedkommende å gi økt nedfall fra 8-10 land og omtrent uendret nedfall fra de resterende landene, målt i forhold til gjennomsnittlig nedfall i årene 1979, 1980, 1983 og 1984.

Videre tyder beregningene på at en større del av svovelnedfallet over Norge i årene som kommer vil stamme fra Øst-Europa.

Å bruke LINK-prosjektet slik det er gjort her er likevel en framgangsmåte som har flere svakheter.

For det første er variablene det offentliggjøres anslag for i LINK for aggregerte til at de kan knyttes til utviklingen i svovelutslipp på noen enkel og samtidig realistisk måte. Resultatene over bør derfor ikke betraktes som realistiske prognoser, men som framskrivninger ut fra helt bestemte forutsetninger.

For det første er LINK-prosjektet altfor omfattende til at

vi selv kan gå inn og gjøre virkningsberegninger, f.eks. beregne virkninger av en endret oljeprisbane. Bruksmulighetene er begrenset til framskrivninger ut fra de scenariene som offentliggjøres fra vår- og høstmøtene i LINK.

Fordelen med LINK er at det er et system som dekker så og si hele verden, og inneholder modeller for hele Europa, også Øst-Europa. Dessuten sikrer systemet at de enkelte modellene er innbyrdes konsistente. Dersom en kunne få tall for energi-ettespørsel eller sektorfordelte tall fra LINK, ville en kunne få langt mer interessante konklusjoner.

Transportmatrisen fra Meteorologisk Institutt er teknisk sett relativt enkel å bruke til framskrivninger av svovel-deposisjon innen Europa. Geografisk fordeling av utslippene er imidlertid viktig. Dersom en ønsker å knytte denne matrisen til en økonomisk modell som geografisk sett er høyere aggregert enn land-nivå, er en avhengig av å gjøre antakelser om utslippenes geografiske fordeling.

Praktiske problemer gjorde at vi ikke benyttet oss av RAINS-modellen til å lage framskrivninger for deposisjonen av svovel. Dessuten er den justerte versjonen av transportmatrisen, som er den versjonen Meteorologisk Institutt anbefaler å benytte, ennå ikke innarbeidet i RAINS. Ved å bruke RAINS kunne vi dessuten ha fått anslag for en del virknninger av nedfallet, noe som ville gjort det lettere å se hva resultatene ville bety f.eks i form av ytterligere forsuring av innsjøer.

### 3. ALTERNATIVE INTERNASJONALE ØKONOMISKE MODELLER

Hittil i dette notatet har vi beskrevet et forsøk på å bruke LINK-prosjektets økonomiske prognoser til å analysere utviklingen når det gjelder utslipp og nedfall av svovel i Europa. Det er imidlertid klart at LINK-prosjektet ikke er skreddersydd til et slikt formål. Dette kapitlet vil derfor inneholde en kort drøfting av enkelte alternative modeller. Kapitlet inneholder likevel ikke noen fullstendig oversikt over allerede eksisterende internasjonale økonomiske modeller som kunne være aktuelle, og heller ikke noe endelig forslag til en bedre metode for å løse problemstillingen dette notatet har tatt opp.

#### 3.1 KRAV TIL MODELLUTFORMING

##### Målsetting

Formålet med analysen skal være å kunne studere sammenhenger mellom økonomisk utvikling og utslipp til luft og nedfall av svovel. Ideelt sett bør derfor en modell kunne brukes til virkningsberegninger (virkninger på utslipp og økonomi av tiltak eller nye økonomiske forutsetninger) såvel som til rene prognoseformål.

##### Geografisk område

En må velge et geografisk område som modellen skal omfatte. Dette området behøver ikke å være det samme for utslipp og nedfall. Dersom en f.eks. primært ønsker å si noe om nedfall i Norden, bør den delen av modellen som omhandler økonomi og utslipp omfatte de landene som Norden mottar betydelige mengder nedfall fra. Blant de viktigste landene i denne forbindelsen er - foruten de nordiske landene selv - Tsjekkoslovakia, Øst- og Vest-Tyskland, Polen, Sovjetunionen, Storbritannia og kanskje også Frankrike. Det innebærer bl.a. at en bør bruke en økonomisk modell som omfatter en del østeuropeiske land. For nærmere opplysninger om hvilke land som har størst betydning for hverandre i en slik sammenheng innen Europa, se transportmatrisene i tabell 2.4, 2.5 og 2.6. Hvis en ønsker å knytte transportmatrisene fra Meteorologisk Institutt til en økonomisk modell for

å si noe om nedfallsmengder, må modellen være relativt disaggregert på geografiske enheter.

### Tidshorisont

Fordi problemene med sur nedbør allerede er akutte i en del sammenhenger (fiskedød, skogsdød) vil det være interessant med såpass kortsiktige prognoser som 3-5 års sikt. Men mer langsiktige modeller vil også være av interesse. Koeffisientmatrisen som er brukt i dette notatet er laget med tanke på årsmodeller, siden sesongvariasjoner ikke blir tatt eksplisitt hensyn til.

### 3.2 NOEN EKSISTERENDE ALTERNATIVE ØKONOMISKE MODELLSYSTEMER

De utslippene av SO<sub>2</sub> som skyldes økonomisk aktivitet kan deles inn i brenselsutslipp og prosessutslipp. Brenselsutslippene skyldes som nevnt forbrenning av svovelholdig fossilt brensel, i første rekke kull og olje. Forbrenning av gass gir relativt små utslipp. Omfanget av prosessutslippene er knyttet til ulike produksjonsteknologier og produksjonsnivået i den delen av industrien som driver med denne typen prosesser.

Vi ønsker derfor å finne fram til en modell der denne delen av økonomien er forholdsvis detaljert behandlet, mens resten av økonomien kan være modellert på en mer summarisk måte.

For å knytte sammen økonomi og utslipp kan en definere utslipp av SO<sub>2</sub> som en funksjon av en eller flere økonomiske variable. Den enkleste angrepsmåten er å ignorere eventuelle tilbakevirkninger av utslippene på økonomien (f.eks. skader på bygninger og materiell som følge av korrosjon og redusert arbeidsproduktivitet som følge av helseskader). En kan da løse den økonomiske delen av modellen først, og deretter la utslippene bli bestemt som en funksjon av en eller flere av de økonomiske variable. Den ene muligheten blir da å bruke en allerede eksisterende økonomisk modell, den andre muligheten er å lage en helt ny modell spesielt til dette formålet.

Det finnes internasjonale økonomiske modeller som kanskje kan være bedre egnet til denne typen analyser enn LINK. Noen slike modeller er:

(i) OECD's Interlink-modell. Dette er en modell for hele verden som består av økonometrisk estimerte modeller for de sju største landene i OECD, enklere modeller for resten av OECD-landene, og 6 regioner for verden utenfor OECD. Modellen har vært brukt til å lage prognoser for 18 måneder framover, men en har nå satt igang et forsøk med tidshorisont på fem år.

Interlink-modellen har med næringslivets energi-etterspørsel som endogen variabel for de 7 største OECD-landene. Det vurderes å utvide landmodellene også for de mindre landene, og for Danmark er det laget en foreløpig modell som bl.a. inneholder energi-etterspørsel fra næringslivet.

Problemet med Interlink-modellen er at den antakelig modellerer Øst-Europa for summarisk til at det gir noe godt grunnlag for analyser av nedfall av svovel i Norge/Norden. Dessuten er en tidshorisont på 18 måneder vel i korteste laget, men som nevnt eksprimenteres det med utvidelser her.

(ii) Data Resources Inc. (DRI) offentliggjør prognoser for økonomien i Europa. For Vest-Tyskland, Frankrike, Storbritannia, Italia, Nederland og Belgia finnes prognoser for vekst i industriproduksjonen fram til år 2000. For noen mindre, vesteuropeiske land finnes prognoser for industriproduksjon fram til 1995.

(iii) Verdensmodellen som ble laget av bl.a. Wassily Leontief for FN i midten av 1970-årene er kanskje bedre egnet til å studere miljøproblemer. Den gir da også prognoser for en del forurensningskomponenter, men for luftforurensningenes del gir den bare prognoser for utslipp av partikler. Modellen omfatter hele verden og er delt inn i 15 regioner. Europa er i modellen bare delt inn i tre sektorer: Øst-Europa og hhv. høy- og middelsinntekts-Vest-Europa.

En mulighet er å utvikle en helt ny modell som er laget spesielt for å kunne analysere utslipp og transport/nedfall av svovel. En enkel variant kunne være å definere svovelutslippene som en funksjon av en eksogen oljeprisbane og en eksogen inntekts(BNP)-bane. Problemet er at det finnes såpass sparsomt med historiske utslippsdata at det ville være vanskelig å få estimert en slik funksjon. En viktig fordel med eksisterende økonomiske modeller er at det er utviklet rutiner for fram-

skrivninger, og at det eksisterer et mottakerapparat for informasjon og drøfting av resultater (OECD, FN, EF etc.).

#### 4. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

I dette notatet presenteres et forsøk på å knytte sammen modeller for den makroøkonomiske utviklingen i Europa og utslipp/nedfall av svovel. Store deler av det svovelet som slippes ut til luft i Europa transporteres over landegrensene før det deponeres, og det er derfor nødvendig å bruke internasjonale modeller når en skal analysere dette problemet.

Opplegget gikk ut på å bruke det internasjonale modellprosjektet LINK til å lage framskrivninger for utslipp og nedfall av SO<sub>2</sub>. Ved å knytte faste utslippskoeffisienter til prognosene for bruttonasjonalprodukt (eller netto materialprodukt) fra LINK, fikk vi framskrivninger som kan si noe om utviklingen i utslippene, gitt at de utvikler seg i takt med generell økonomisk vekst. Dette er ikke en helt realistisk forutsetning. Resultatene gir imidlertid anslag over hvor mye forholdet mellom SO<sub>2</sub>-utslipp og nasjonalprodukt må endres dersom målsettingen om 30 prosent reduksjon i utslippsnivået fra 1980 til 1993 skal kunne oppfylles.<sup>2</sup>

Videre har vi i notatet benyttet en matrise for transport av svovel i luft, for å kunne si noe om nedfallet av svovel i et land for gitte utslippsmengder fra de andre landene. Matrisen er utviklet ved Meteorologisk Institutt i Oslo.

Hvis forholdstallet mellom utslipp av svoveldioksid og BNP (for Øst-Europa: NMP) holdt seg konstant på 1985-nivået, og den økonomiske utviklingen i Europa ble som LINK-prosjektets prognoser fra våren 1987 tilsier, ville ingen europeiske land oppnå målet om 30% reduksjon i utslippene fra 1980 til 1991.

De fleste europeiske landene må få en vesentlig reduksjon i forholdet mellom utslipp og BNP (NMP) i årene mellom 1985 og 1991 for å nå denne målsettingen. Både Vest-Tyskland, Øst-Tyskland,

---

<sup>2</sup> FN-avtalen som en rekke europeiske land har undertegnet (UN/ECE 1985) krever 30 prosent reduksjon i utslipp eller eksport av utslipp fra 1980 til 1993. Våre beregninger strekker seg ikke lenger enn til 1991, slik at tallene som er nevnt viser nødvendig endring i utslippskoeffisientene for at målet skal være oppfylt innen 1991.



Polen, Storbritannia og Sovjetunionen må ifølge våre beregninger ha endringer i dette forholdstallet på mellom 30 og 50 prosent. For Norges vedkommende var den nødvendige endringen 27 prosent.

En slik endring kan enten skje via aktive rensetiltak, eller ved at pris-og inntektsvridninger i økonomien fører til tilpasninger med vesentlig lavere innslag av forurensende virksomhet enn tidligere. Noen av landene hadde oppnådd en reduksjon på mer enn 30% i svovelutslippene allerede i 1985. Men hvis utslippene deretter utvikler seg i takt med den økonomiske veksten, vil utslippene øke igjen. Så lenge økonomien er i realvekst, må utslipp pr. volumenhet av nasjonalproduktet stadig reduseres for at utslippene skal holdes på et konstant nivå.

Ved hjelp av transportmatrisene fra Meteorologisk Institutt fant vi videre anslag for det nedfallet utslippsframskrivningene våre kunne ventes å gi. I forhold til gjennomsnittet av årene 1979, 1980, 1983 og 1984 fant vi at Norge i 1991 kunne vente å motta en vesentlig økning i mengden av nedfall av svovel som stammer fra Øst-Tyskland og Sovjetunionen, og en mindre økning fra blant andre Storbritannia, Polen og i nedfallet som stammer fra Norge selv. Selv om utslippsframskrivningene ikke bør tolkes som realistiske prognoser, kan dette være et signal om at vi kan få en endring i sammensetningen av nedfallet over Norge i retning av at en større andel av svovelet stammer fra Øst-Europeiske land.

For å få mer realistiske prognoser for utslipp av svovel til luft, bør en bruke en økonomisk modell som inneholder variable som er mer direkte knyttet til svovelutslipp enn det BNP er. Slike variable var ikke tilgjengelig fra LINK da denne beregningen ble utført. Det er vanskelig å finne noen allerede eksisterende modell som tilfredsstillende de behovene en har når en skal foreta en slik analyse. Kravene til modellen vil avhenge av hvilke spørsmål en ønsker svar på og hvilket geografisk område en velger å konsentrere seg om. Hvis en ønsker å analysere sammenhenger mellom økonomi og nedfall av svovel over Norge eller Norden, og dessuten lage prognoser for nedfallet, bør en modell ha følgende egenskaper:

- (1) Omfatte hele Europa, også Øst-Europa.

(2) Gi anslag for variable som har forholdsvis nær sammenheng med utslippsmengde, f.eks. energiforbruk og industriproduksjon.

(3) Gi anslag for disse variablene for hvert enkelt land.

Ingen av de modellene som nevnes i dette notatet har alle disse egenskapene. Det må dessuten alltid bli en avveining om en vil ha en komplisert modell som gir en detaljert og noenlunde realistisk beskrivelse av virkeligheten, eller om en vil ha en enklere modell som lettere kan brukes til å få oversikt over sammenhengene mellom de ulike størrelsene, men som til gjengjeld må bli mindre realistisk.

Det finnes dessuten lite tallmateriale for utslipp til luft i Europa. Spesielt for en del østeuropeiske land er tallmaterialet sparsomt.

## REFERANSER

Alcamo, J., Amann, M., Hettelingh, J.-P., Holmberg, M., Hordijk, L., Kamari, J., Kauppi, L., Kauppi, P., Kornai, G., Makela, A. (1987): Acidification in Europe: A Simulation Model for Evaluating Control Strategies. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Østerrike. Ikke publisert.

Alcamo, J., Bartnicki, J. (1986): Atmospheric Computations to Assess Acidification in Europe: Work in Progress. Research Reports 5/86. IIASA, Laxenburg.

Alcamo, J., Hordijk, L., Kämäri, J., Kauppi, P., Posch, M., Runca, E. (1986): Integrated Analysis of Acidification in Europe. Research Reports 2/86. IIASA, Laxenburg.

Alfsen, Knut H. (1987a): Korttidsanalyse av utslipp til luft. Interne notater 24/87. Statistisk Sentralbyrå, Oslo.

Alfsen, Knut H. (1987b): Luftforurensninger og økonomisk vekst 1973-2000. Økonomiske analyser nr. 4/87. Statistisk Sentralbyrå, Oslo.

Ball, R. J. (ed.) (1973): The International Linkage of National Economic Models. Contributions to Economic Analysis 78, Amsterdam.

Berger, K., Cappelen, Å., Knudsen, V., Roland, K. (1986): Utsiktene for oljemarkedet og virkninger for norsk økonomi. Økonomiske analyser nr.5/86. Statistisk Sentralbyrå, Oslo.

Bowitz, E., Skjæveland, A. (1987): Nedjusterte prognoser for veksten i verdensøkonomien. Økonomiske Analyser nr.4/87. Statistisk Sentralbyrå, Oslo.

De Menil, G. og Westphal, U. (ed.) (1985): Stabilization Policy in France and the Federal Republic of Germany. Contributions to Economic Analysis 153, Amsterdam.

Eliassen, A., Lemhaus, J., Saltbones, J. (1986): A Modified Sulphur Budget for Europe for 1980. EMEP/MSC-W Report 1/86. Meteorologisk Institutt, Oslo.

Eliassen, A., Saltbones, J. (1983): Modelling of long-range transport of sulphur over Europe: a two-year model run and some model experiments. Atmospheric Environment 17.

Hordijk, L. (1987): Acid Rain Abatement in Europe: Two Progress Reports. Research Reports 4/87. IIASA, Laxenburg.

Italianer, A. (1986): Theory and Practice of International Trade Linkage Models. Advanced Studies in Theoretical and Applied Econometrics 9, Dordrecht.

Klein, L.R. (1977): Project LINK. Lecture Series 30. Center of Planning and Economic Research, Athens.

Klein, L.R. (1979): Protectionism: An analysis from project LINK. Journal of Policy Modeling 1/79, New York.

Lambelet, J-C. (1984): Should the LINK System be Used for Long-Range Forecasts? (Paper presented to the LINK meeting 12-14 march 1984, New York.)

OECD (1985): The State of the Environment. Paris.

Olje- og energidepartementet (1987): Norges framtidige energibruk og -produksjon. St. meld. nr. 38, 1986-87, Oslo.

United Nations/Economic Commission for Europe (1985): Protocol to the 1979 Convention on long-range transboundary air pollution on the reduction of sulphur emissions or their transboundary fluxes by at least 30 per cent.  
(UN, ECE/EB.AIR/12)

Verdenskommisjonen for miljø og utvikling (1987): Vår felles framtid. Oslo. (Originalens tittel: Our Common Future. Oxford 1987.)

Waelbroeck, J. L. (ed.) (1976): The Models of Project LINK. Contributions to Economic Analysis 102. Amsterdam.

Miljøstatistikk 1983. Statistiske analyser nr.50. Statistisk Sentralbyrå, Oslo.

## VEDLEGG

## NÆRMERE OM LINK

LINK er et prosjekt som går ut på å binde sammen ulike økonomiske landmodeller til en konsistent helhet. (Se Klein (1977).)

Filosofien bak LINK er at økonomien i et land modelleres best av modellbyggere i landet selv. De fleste OECD-land deltar med egenproduserte modeller, mens de fleste modellene for utviklingsland og sentraldirigerte økonomier foreløpig er laget i FN. Deltakerne i LINK-prosjektet er de institusjonene som har laget de enkelte modellene.

De enkelte landmodellene som inngår kan være svært forskjellige, både i størrelse og økonomisk innhold. Norge deltar med kvartalsmodellen KVARTS, som har flere hundre likninger, mens andre land kan være representert med modeller som bare har med noen få, meget aggregerte relasjoner. Både årsmodeller og kvartalsmodeller inngår i LINK.

Tilsammen var det pr. juni 1985 72 modeller med tilsammen 16 000 simultane likninger i LINK.

Det holdes to prosjektmøter årlig, der representanter for de institusjonene som deltar med landmodeller møtes (for Norge: SSB). Til hvert møte lages foreløpige, oppdaterte modellberegninger, som diskuteres blant deltakerne og deretter justeres for eventuelle feil etc. Etter møtet kommer de endelige beregningene.

LINK er et system beregnet på relativt kortsiktige prognoser, og tidshorisonten på beregningene som offentliggjøres er 5 år, inkludert inneværende år. Det er blitt hevdet (Lambelet, 1984) at dette strengt tatt er en lengre tidshorisont enn systemet er laget for.

Oppbygging av modellen

De enkelte landmodellene i LINK har til felles at importpriser og eksportvolum behandles som eksogene, mens eksportpriser og importvolum behandles endogent. Eksportprisene vil avhenge av kostnadsnivået i landet, mens importen f.eks. kan avhenge av privat disponibel inntekt og prisforholdet mellom innenlandske og utenlandske produkter. Modellene knyttes så sammen på en slik måte at summen av landenes eksport blir lik summen av landenes

import. Importpris og eksport for hvert enkelt land blir dermed endogenisert i LINK.

Total verdenshandel bestemmes som summen av alle landenes import. Hvert lands eksport bestemmes så ut fra en handelsmatrise, som sier hvor stor del av land "i"s import som kommer fra land "j". Handelsmatrisen har i prinsippet faste koeffisienter, fastsatt ut fra et basisår, slik at endringer i handelsmønsteret som følge av f.eks. prisendringer ikke modelleres eksplisitt. LINK-senteret bruker likevel visse metoder for å åpne for endringer over tid i matrisen, slik at også prisendringer antakelig tas hensyn til i en viss grad. Oppbyggingen av handelsmatrisen er noe problematisk, fordi en bygger på FN-statistikk der det er store avvik mellom summen av alle lands eksport og summen av alle lands import.

Importprisindeksen for land "i" bestemmes som en veid sum av eksportprisindeksene for de land som eksporterer til land "i". Vektene er elementene fra handelsmatrisen.

Først løses landmodellene en gang, med eksogene anslag for eksport fra hvert enkelt land. Dette gir tall for de enkelte landenes import-etterspørsel. Disse import-tallene innebærer nye anslag for eksport-etterspørselen rettet mot hvert land i forhold til anslagene fra den første modellkjøringen.

Økt eksport kan f.eks. gi økt aktivitetsnivå, økt privat disponibel inntekt og økt lønns- og prisnivå. Dette kan igjen påvirke landenes import-etterspørsel og eksportpris-nivå. Virkningene vil avhenge av hvordan hver enkelt modell er utformet. Landmodellene må derfor kjøres nok en gang, for å få et nytt anslag for total verdenshandel.

Modellkjøringene gjentas helt til avviket i anslagene for verdenshandelen mellom rundene er ubetydelig.

#### Tilgjengelige data fra LINK

LINK gir en løsning av landmodellene som er innbyrdes konsistent. I prinsippet får en tall for alle variable som inngår i landmodellene.

I de trykte utskriftene fra LINK-beregningene er likevel ikke alle variable med. Derfor er bare tall for svært aggregerte størrelser tilgjengelige, selv for de land som deltar med mer

disaggregerte modeller.

Det er to LINK-møter årlig, og til hvert møte lages en ny modellkjøring med prognoser for fem år framover, inkl. inneværende år. De størrelser det oppgis tall for, er stort sett

BNP (for østblokklandene: Netto materialprodukt)

Privat / Offentlig konsum

Investeringer

Eksport / Import

Disse størrelsene oppgis i faste og løpende priser. Videre oppgis i løpende amerikanske dollar

Eksport og import av hhv. mat, drikke, tobakk,

råvarer unntatt brensel,

brensel,

halv- og helfabrikata.

Handel med disse varegruppene bestemmes ved at hver varegruppe tilordnes en handelsmatrise som sikrer at total eksport er lik total import. Matrisene brukes på samme måte som handelsmatrisen for total eksport/import, og slik at eksportpriser og importpriser stemmer overens. For enkelte råvarer, bl.a. olje, er likevel prisforutsetninger lagt inn eksogent.

Også valutakursen og en eller flere prisindekser bestemmes, og for en del lands vedkommende pengemengde, renter, arbeidsløshetsrate, kapasitetsutnyttelse og i enkelte tilfeller andre variable.