

Økonomisk vekst treng ikkje gi dårlegare miljø*

Annegrete Bruvoll, Ketil Flugsrud og Hege Medin

Dei siste tiåra har det skjedd store endringar i luftureininga i Norge. Utsleppa av svovel, bly og andre tungmetall har gått dramatisk ned, utsleppa av klimagassar og NO_x har vokse ufortrødent, medan andre utslepp har halde seg rimeleg stabile. I denne artikkelen drøfter vi kva som har vore drivkreftene bak utviklinga frå 1980 til 1996.

Analysen viser at den økonomiske veksten åleine bidreg til ein auke i alle utsleppa på nesten 60 prosent. Men auka energieffektivitet og andre teknologiske framsteg har bremsa veksten, slik at ein samla sett har enda opp med ein reduksjon i nokon utslepp og med ein vekst som har vore langt svakare enn veksten i BNP for andre.

For dei utsleppa som har gått mest ned, det vil seie bly og SO₂, har teknologisk utvikling som har gitt erstatningsstoff for bly og reinseteknologi for SO₂ dominert over dei andre komponentane. For dei utsleppa som har gått mest opp, det vil seie CO₂ og NO_x, har effekten av økonomisk vekst vore dominerande.

Vekst og miljø

Gir økonomisk vekst eit betre eller eit dårlegare miljø? Det er spørsmålet som har gitt grobotn til forskinga omkring den såkalla "environmental Kuznets" kurven. Simon Kuznets postulerte i 1955 at økonomisk vekst og økonomisk ulikskap følgde ein opp-ned U-samanheng. Med den økonomiske veksten følgjer først ein periode med auka økonomisk ulikskap før veksten gjer inntektsnivået i samfunnet meir jamt (Kuznets 1955). Altså først verre, og så betre. Det same har vore påstått å gjelde for utviklinga i miljøtilstanden, men umiddelbart stemmer ikkje dette overens med det vi vanlegvis tenkjer på som verknaden av økonomisk vekst.

Økonomisk aktivitet medfører vanlegvis meir bruk av ressursar og i neste omgang auka mengder av meir eller mindre skadelege materiale. Miljørørsla åtvarar mot at før eller seinare når naturen ei grense for kor store mengder av desse materiala naturen kan ta imot, og enkelte miljøorganisasjonar talar derfor sterkt for reduksjonar i veksten og forbruket.

På den andre sida står teknologi-optimistane, som hevdar at mennesket sine evner til å utvikle teknologiske nyvinningar så og seie er ubegrensa. På slutten av førre århundre var ein bekymra for dei store mengdene hestemøk i gatene

i London. Ein såg føre seg at byen ville gro ned ettersom trafikken auka. Men som ein har sett så ofte elles, før hestemøka tok overhand utvikla det seg bøte-middel. Med alle dei problema vi har løyst på vegen frå huleboar-tilværet til år 2000-samfunnet, meiner optimistane at det er gode grunnar til å sjå lyst på framtidig handtering av miljøgifter og andre miljøskader. I USA kallar ein denne retninga "the new economy".

På 1990-talet har det vore gjort ei lang rekkje studie som søker å vise samanhengen mellom produksjon og forureining. Grossman og Krueger (1993), Shafik og Bandyopadhyay (1992) og Selden og Song (1994) var av dei første bidraga som viste ein opp-ned U-samanheng mellom økonomisk vekst og utviklinga i enkelte miljøproblem. Andre miljøproblem viser eintydig negative samanhengar, eller eintydig positive samanhengar, eller først positiv, så negativ og deretter auka utslepp med auka vekst (N-kurve).

Først verre, så betre

Ein gjennomgang av litteraturen viser at relasjonen er avhengig av kva miljøproblem ein ser på. Generelt ser dei lokale miljøproblema, som til dømes vannkvalitet, hestemøk i gatene og sanitære forhold, ut til å vere av dei første problema ein prioriterer å løyse. Kostnadene er ofte små i forhold til vinsten. Dei mest lokale miljøproblema ber også meir preg av å vere private gode enn regionale og globale miljøproblem. Fruktene av innsatsen for å redusere problema tilfello i større grad ein sjølv eller lokalsamfunnet.

Dei lokale og regionale miljøproblema illustrerer såleis den omvendte U-kurva. For dei regionale miljøproblema finn vi her til lands ein slik samheng for til dømes bly,

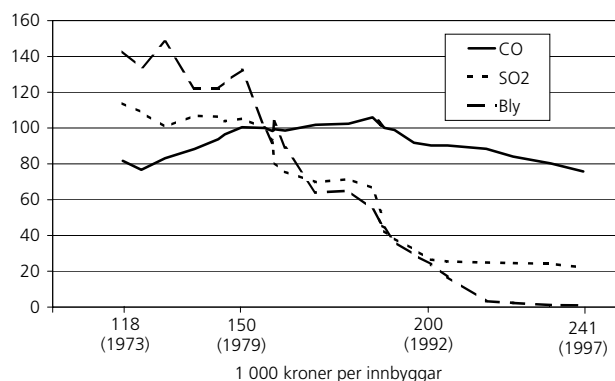
Annegrete Bruvoll, forskar ved Seksjon for ressurs- og miljøøkonomi. E-post: annegrete.bruvoll@ssb.no.

Ketil Flugsrud, førstekonsulent ved Seksjon for miljøstatistikk. E-post: ketil.flugsrud@ssb.no

Hege Medin, student ved Seksjon for ressurs- og miljøøkonomi. E-post: hege.medin@ssb.no

* Takk til Kjell Arne Brekke og Kristin Rypdal for nyttige innspel til prosjektet og konstruktive kommentarar til artikkelen

Figur 1. Utslepp til luft av bly, SO₂ og CO i Norge i perioden 1973-1997, 1980=100, i forhold til BNP per innbyggjar



SO₂ og CO, sjå figur 1. For bly og SO₂ dekkjer kurvene berre den fallande delen av (den omvendte) U-kurva, sidan vi manglar data lenger bakover. Om vi har fylgt same trenden som Europa elles, tyder samanlikningar med lenger tidsseriar for europeiske svovel-utslepp (Mylona 1996) på at våre data startar om lag på toppen av kurva. For CO ser det ut til at vi hadde ein topp ved inntekt på rundt 180 000 kroner per innbyggjar, men endringane her er mindre.

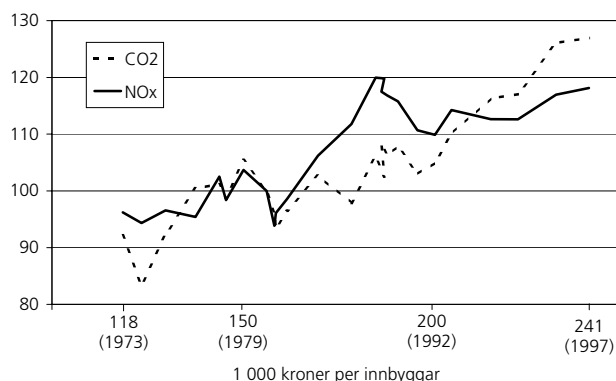
Auka inntekter – auka problem

For globale miljøproblem, som utslepp av klimagassen CO₂, har det så langt vore ein eintydig positiv samanheng mellom utslepp og økonomisk vekst i Norge. Utviklinga i norske utslepp reflekterer den globale utviklinga; utsleppa har auka over tid og med auka inntekter, sjå figur 2. For miljøproblem som vandrar over landegrensene er nytteverknaden for den enkelte liten eller neglisjerbar i forhold til kostnaden ved å redusere eigne utslepp. Derfor trengst det internasjonale forhandlingar og forpliktande avtaler mellom fleire nasjonar for å bremse utsleppa. Døme på resultat av slike forhandlingar er Kyoto-protokollen (klimagassar), Montreal-protokollen (KFK) og Oslo-protokollen (SO₂).

Både SO₂ og NO_x har lokale skadeverknader, samtidig som utsleppa får konsekvensar på naturen utanfor landegrensene i form av sur nedbør. I motsetning til SO₂ og til liks med CO₂ er NO_x dyr å redusere. Ulike marginale reinsekostnader kan vere ei viktig forklaring bak den forskjellige utviklinga i SO₂ og NO_x. Medan SO₂-utsleppa har vore fallande, ser vi av figur 2 at det stort sett har vore ein positiv samanheng mellom vekst og NO_x-utslepp. Men kurva for NO_x tyder også på at vi kan ha nådd toppen av fjellet, utsleppa var ikkje høgare i 1997 enn i 1987.

I diskusjonen rundt Kuznets-kurve teorien stiller ein spørsmålet om økonomisk vekst kan vere ein medisin mot forureining. Vil miljøtilstanden automatisk bli betra så snart

Figur 2. Utslepp av CO₂ og NO_x i Norge i perioden 1973-1997, 1980=100, i forhold til BNP per innbyggjar



inntektene kjem over eit visst nivå? Og kva er det i såfall som driv fram miljøbetringane, er det andre faktorar som samvarierer med økonomisk vekst som er dei eigentlege forklaringsfaktorane? I denne analysen skal vi ta utgangspunkt i endringane i utsleppa frå 1980 til 1996, og sjå på bidraga frå ulike drivkrefter.

Vi skal sjå kor stor drivkrafta frå økonomisk vekst er i forhold til andre for seks av dei mest alvorlege forureiningskomponentane i Norge. Under "Metode"-avsnittet vil vi forklare framgangsmåten i analysen, under "Hovudtrender" diskuterer vi hovudtrekka i dei ulike drivkreftene og kva som ligg bak desse, under "Gjennomgang av dei ulike miljøproblema" går vi meir spesifikt inn på dei enkelte utsleppa og til slutt, under "Diskusjon", drøftar vi mulege samanhengar mellom økonomisk vekst, dei andre drivkreftene og miljøtilstanden.

Metode

Den første drivkrafta vi skal sjå på er effekten av den økonomiske veksten. Dersom forureininga, U , per produsert eining, Y , er konstant, vil utsleppa auke i same takt som produksjonen, $U \equiv U/Y * Y$. Auka vekst vil utelukkande bidra til eit dårlegare miljø, gitt alt anna likt. Den økonomiske veksten kan ein dele inn i ein effekt frå veksten i folkemengda, *folketalseffekten* B , og ein effekt frå veksten i produksjon per innbyggjar, *skalaeffekten*, $Y \equiv Y/B * B^1$.

Men samtidig med den økonomiske veksten har utsleppa per produsert eining, U/Y , endra seg. Ny teknologi har både medført betre utnytting av energien, reinsing av utsleppa og endra samansetninga av energivarer. I tillegg har både endringar i næringsstrukturen og ikkje minst politiske tiltak endra forholdet U/Y .

For å få fram desse poenga, splitter vi vidare opp U/Y i ein effekt frå samansetninga av sektorar, ein frå energiintensiteten, ein frå energiblandinga, ein frå forbrenningsproses-

¹ I økologisk litteratur er dekomponeringa i folketalsvekst, økonomisk vekst per innbyggjar og teknologi kjend som

$I = PAT$; Impact \equiv Population * Affluence * Technology, $U \equiv B * Y/B * U/Y$.

sen og ein for andre teknologieffektar. Alle deleffektane framgår i likning (1)².

$$(1) \quad U \equiv \sum_w \sum_i \sum_j \frac{U_{wij} E_{wij} E_{ij} E_j Y_j Y}{E_{wij} E_{ij} E_j Y_j Y B} B$$

Symbol: U=utslepp, B=folketal, Y=produksjon, E=energibruk, j=sektor, i=energivarer og w=forbrenningsprosess.

Vi har forklart to av effektane, og skal no forklare dei andre nærare. Dei fleste industrialiserte samfunn har gått gjennom ein periode frå hovudvekt på jordbruksproduksjon, til ein periode med hovudvekt på industriproduksjon og over til større vekt på tenesteytande næringar. Dette tilsvarer ei utvikling frå lite til mykje og deretter mindre forureinande næringar. Endringar i utslepp som følgje av endra næringssamansetning er representert ved *samansetnings-effekten* (Y/Y)³.

I Langtidsprogrammet 1974-1977 finn vi prognosar for forureining fram til 1990 (sjå Førsund og Strøm i St.meld. nr. 71). I denne studien er det føreset faste utsleppskoeffisientar, det vil seie eit fast forhold mellom produksjon og utslepp i kvar enkelt sektor. Prognosane for utsleppsveksten frå 1970 til 1990 var på 80 prosent for bly, 110 prosent for SO₂ og 95 prosent for NO_x. Dette stemde rimeleg godt med den økonomiske veksten vi fekk i perioden. Men det gjekk ikkje så gale med miljøet. Blyutsleppa gjekk ned med 70 prosent, utsleppa av SO₂ gjekk ned med 65 prosent og veksten i utsleppa av NO_x vart på 20 prosent. Dette skuldast altså ikkje mangel på økonomisk vekst, men at forholdet mellom produksjon og utslepp endra seg.

Førsund og Strøm påpeika også i analysen at det ikkje var nokon grunn til å rekne med uendra utslepp per produsert eining framover. Prognosane skulle tene som informasjon for vurdering av tiltak. Og politiske tiltak, som reinsing, avgifter på bly og svovel og regulerte øvre grenser på utslepp frå forbrenning, har verka til at utsleppa per produsert eining har gått ned.

Dei fire første ledda i likning (1) representerer utslepp per produsert eining innan ein sektor. Energibruken er ein viktig komponent i denne faktoren. Energibruk er den viktigaste kjelda til forureinande luftutslepp i Norge. Utsleppa av NO_x, CO og partiklar frå forbrenning utgjør over 90 prosent av dei totale utsleppa, medan resten er prosessutslepp⁴. Redusert *energiintensitet* i kvar sektor (E_j/Y_j), bidreg isolert sett til mindre forureining. Vidare vil utvikling og bruk av nye typar energi påverke forureininga. Medan kull og olje gir opphav til mellom anna klimagassar og sur nedbør, følgjer det ikkje forureinande utslepp til luft frå bruken av vann- og vindkraft.

Også endringar i samansetninga av energivarer, *energiblandinga* (E_{ij}/E_j), kan endre forureininga⁵. Vidare har vi studert effekten av at utsleppa kan vere forskjellige avhengig av om energivaren blir brukt til stasjonær eller mobil forbrenning, *forbrenningsprosess-effekten* (E_{wij}/E_{ij}).

Tekniske endringar som påverkar den økonomiske veksten, samansetninga av produksjonen, energiintensiteten og energiblandinga inngår i dei aktuelle effektane i likning (1). Men det finst også teknologiendringar som påverkar forureiningane utover det som blir fanga opp i desse effektane. Desse *andre teknologieffektane* (U_{wij}/E_{wij}) kan vere verknader av avgifter og reguleringar, som til dømes utviklinga av og overgang til blyfri bensin etter avgifter, og politiske reguleringar med pålegg om reinsing.

Den enkelte effekt sitt bidrag til endring i utslepp, som vist i gjennomgangen av resultatata, er berekna etter formlane (3)-(9) i Vedlegg A.

Vegmodellen

Trafikkveksten i Norge etter krigen har vore formidabel, og står for ein stor del av dei forureinande utsleppa. Vegtrafikken sto for nesten 90 prosent av blyutsleppa på 1980-talet, og for rundt 70 prosent av dei totale utsleppa av CO i perioden 1980 til 1996, sjå tabell 1. For NO_x har vegtrafikken stått for rundt 30 prosent av utsleppa, medan andelen

Tabell 1. Utslepp etter kjelde, prosent av totalutslepp

	Bly		CO		NO _x		CO ₂		Partiklar	
	1980	1996	1980	1996	1980	1996	1980	1996	1980	1996
Vegtrafikk	89	38	74	64	32	30	18	22	14	17
Andre mobile kjelder	4	9	7	9	44	45	16	15	11	11
Stasjonære kjelder	0	26	14	22	18	21	47	43	66	64

2 Denne identiteten gjeld berre for utslepp knytte til energibruk. For prosessutslepp gjeld berre folketals-, skala-, samansetnings- og andre teknologieffektar, sjå Vedlegg A.

3 Grossman og Krueger (1993) dekomponerte også utsleppa i skala-, samansetnings- og ein resteffekt kalla teknikk-effektar i sin artikkel som var av dei første innan denne litteraturen.

4 Utslepp som ikkje er knytte til forbrenning; utslepp frå industriprosessar, fordamping eller biologiske prosessar etc.

5 Dekomponeringa i sektorsamansetning, energiintensitet- og energiblandingseffektar er i samsvar med tilsvarande metodar nytta i analysar av bruk og effekt av energivarer, sjå til dømes Torvanger (1991). Selden m. fl. (1999) har også nytta denne teknikken for det same føremålet vi har her.

av CO₂ og partiklar har ligge rundt 20 prosent. For disse forureiningane, der vegtrafikken står for ein stor del, vil ei dekomponering av vegtrafikken sine utslepp kunne bidra med ekstra informasjon om drivkreftene.

I vegmodellen dekomponerer vi i effektar som er spesielle for vegtrafikken, sjå likning (2):

Utsleppa frå vegtrafikken, U^V , er dekomponert som følgjer:

$$(2) \quad U^V \equiv \sum_k \sum_l \frac{U_{kl}^V E_{kl} E_l T_l}{E_{kl} E_l T_l T}$$

Symbol: U^V =utslepp frå vegtrafikken, T =trafikkvolum, E =energibruk, l =køyretøyklasse⁶, og k =energivarer.

Trafikkvolumet (T) tilsvare i denne modellen skalaeffekten gitt ved produksjonen Y i likning (1). Antal køyrde kilometer var 1,6 gongar høgare i 1996 enn i 1980. Til trass for trafikkveksten, har utslepp av bly og CO frå vegtrafikken blitt vesentleg reduserte. Utsleppa av partiklar, NO_x og CO₂ har vakse, men langt mindre enn trafikkvolumet. Det har med andre ord foregått endingar i samansetninga av bilparken, energiintensiteten, energiblandinga og andre teknologiske faktorar i transportsektoren som har vore viktige for utviklinga i ureinande utslepp. *Samansetningseffekten* (T_l/T) tilsvare endingar i bruken av ulike typar køyretøy. Energibruk per køyrde kilometer (E_l/T_l), er *energiintensitetseffekten*. Leddet E_{kl}/E_l står for *energiblandingseffekten* og U_{kl}/E_{kl} oppsummerer *andre teknologieffektar*.

Data

Analysen omfattar utslepp frå alle kjelder og sektorar i norsk økonomi bortsett frå utanriks skipsfart. Økonomien er delt inn i åtte sektorar, og 19 energivarer inngår i modellen. Data på utslepp, energibruk og produksjon er henta frå utsleppsrekneskapan og nasjonalrekneskapan i Statistisk sentralbyrå. Utsleppa frå stasjonære og mobile kjelder kjem frå energibruk, og desse utsleppa er i stor grad utrekna ved hjelp av koeffisientar knytte til energirekneskapan. Utsleppsrekneskapan er dokumentert i Rypdal (1993,

1995) og Statens forureiningstilsyn og Statistisk sentralbyrå (1999).

Vi vil her omtale resultatane for bly, SO₂, NO_x, CO, partiklar og CO₂. For dei andre utsleppa, sjå Vedlegg B. Perioden vi analyserer strekker seg frå 1980, som er det første året med detaljerte sektorfordelte utsleppstal, og fram til 1996.

Hovudtrendar

Hovudresultata er presenterte i tabell 2. Tabellen viser bidraget frå dei enkelte effektane rekna ut etter likningane (3) til (9) i Vedlegg A. Likning (1) uttrykker ein identitet, det vil seie at dekomponeringa er komplett og at dei enkelte effektane summerer seg opp til den totale endringa i utsleppa.

Folketalseffekten tilseier at alt anna likt ville veksten i folketalet gitt til ein vekst i utsleppa på 7 prosent. *Skala-effekten*, veksten i BNP per innbyggjar, er på 51 prosent. Det gir ein samla vekst i BNP på 58 prosent. Det vil seie at dersom energiintensiteten, sektorsamansetninga, forholdet mellom energivarer og andre faktorar som påverkar forholdet mellom produksjon og forureining var uendra i perioden, ville BNPveksten medført ein vekst i utsleppa på 58 prosent.

Endingar i næringsstrukturen har også påverka veksten i utsleppa. Men sjølv om det har vore til dels store negative bidrag frå nokon sektorar, har desse i stor grad blitt oppvegde av positive bidrag frå andre, slik at *samansetningseffekten* bidreg relativt lite til endringa i utsleppa.

Av figur 3 ser vi at produksjonsveksten i energisektoren og offentleg tenesteyting har vore høgare enn den gjennomsnittlege veksten. Veksten i energisektoren på 210 prosent har vore ein viktig grunn til auka utslepp av til dømes NO_x og CO₂. For andre utslepp, som bly, CO og partiklar, finn vi ein positiv miljøeffekt som følgje av ein relativt svak vekst i hushaldningane sitt konsum. Ein lågare vekst i konsumet enn den gjennomsnittlege produksjonsveksten er hovudgrunnen til at samansetningseffekten er negativ for

Tabell 2. Dekomponering av prosentvis endring i utslepp, 1980-1996

Effektar	Bly	SO ₂	NO _x	CO	Partiklar	CO ₂
Folketal	7	7	7	7	7	7
Skala (prod. per innbyggjar)	51	51	51	51	51	51
Samansetning av sektorar	-12	-8	4	-11	-12	10
Energiintensitet	-42	-22	-31	-42	-34	-33
Energiblanding	19	-21	6	20	26	-6
Forbrenningsprosess	0	0	3	0	1	0
Andre teknikk, forbrenning	-112	-31	-19	-42	-13	0
Andre teknikk, prosess	-9	-52	-4	-3	-3	-2
Total endring	-99	-76	17	-20	24	26

6 Personbilar, andre lette køyretøy, lastebilar, bussar, mopedar og motorsyklar.

bly, CO og partiklar. Dette bidreg også til å redusere effekten for NO_x .

I Fastlands-Norge har det vore ein svak overgang frå primærnæringar og industri til tenesteyting, men denne er meir enn oppvegen av auken i oljesektoren. Det var derfor ingen sterk tendens til overgang frå sekundær til tenesteytande næringar i Norge på 80- og 90-talet og vi finn heller ikkje det samla bidraget frå samansetningseffekten som vi argumenterte for at vi ville vente ved ein slik overgang.

Men den relativt svake effekten kan også kome av det høge aggregeringsnivået. Vi har berre 8 sektorar i modellen. Det kan medføre at endringar i næringsstrukturen innan ein sektor ikkje blei fanga opp i samansetningseffekten, men i andre komponentar.

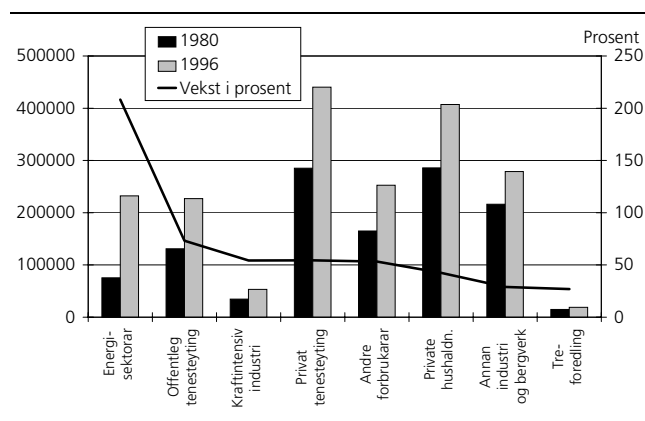
Energiintensitetseffekten bidreg utelukkande til lågare utslepp. Samla energibruk i forhold til samla produksjon har gått ned med 18 prosent i perioden. Men den reduserte energiintensiteten har jamt over hatt endå større effekt på utsleppa. Det skuldast at dei mest forureinande sektorane har hatt store reduksjonar i energiintensiteten, sjå figur 4. At denne effekten er så stor, kan også som vi nemnde skuldast den grove sektorinndelinga i modellen. For eksempel vil redusert produksjon innan energiintensive bedrifter i ein enkelt sektor framstå som redusert energiintensitet for sektoren som heile. Ved ei sektorinndeling på bedriftsnivå, eller homogene bedrifter innan kvar sektor, ville slike endringar inngå i samansetningseffekten.

Auka energiintensitet bidreg åleine til ein reduksjon i utsleppa på grovt rekna 30-40 prosent, med unntak av SO_2 på 22 prosent. Etter andre teknologieffektar er dette den effekten som i sterkast grad bidreg til å vege opp for skalæffekten.

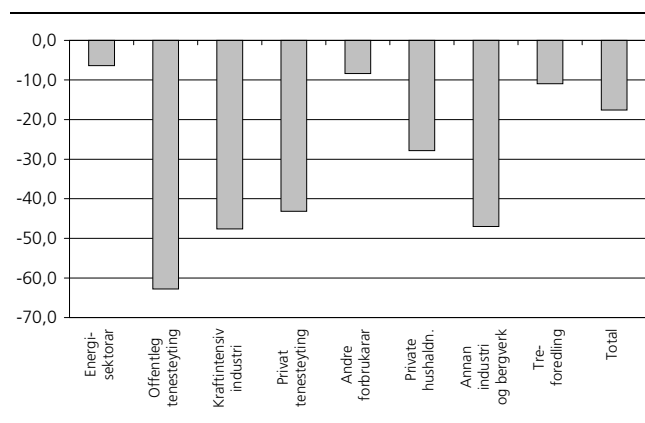
Endringar i *energiblandinga* er dominert av veksten i bruk av gass i olje- og gassutvinning, sjå figur 5. Medan gass utgjorde 18 prosent av energibruken i 1980, auka denne til 34 prosent i 1996. På same tid vart olje sin del redusert frå 74 til 56 prosent. Energivarene elektrisitet og fjernvarme er ikkje med i analysen, sidan bruken av disse energivarene ikkje medfører utslepp⁷.

Det er relativt lite utslepp knytte til denne bruken av gass. Ein skulle derfor tru at energiblandingseffekten generelt bidrog til lågare utslepp, men som vi skal sjå auka denne dei fleste utsleppa. Det skuldast at utleppa i stor grad er knytte til bensin og diesel. Sjølv om bruken av bensin og diesel aukar mindre enn forbreining av gass, er auken stor i dei sektorane der utsleppa finn stad. Veksten i bensinbruken gir til dømes stor auke i blyutsleppa, både sidan sjølve utsleppa er store i hushaldningane i utgangspunktet, og sidan hushaldningane står for mesteparten av auken i bensinbruken. Også denne effekten kan samle opp ein del av strukturerendingane i økonomien. Effekten av endra samansetning

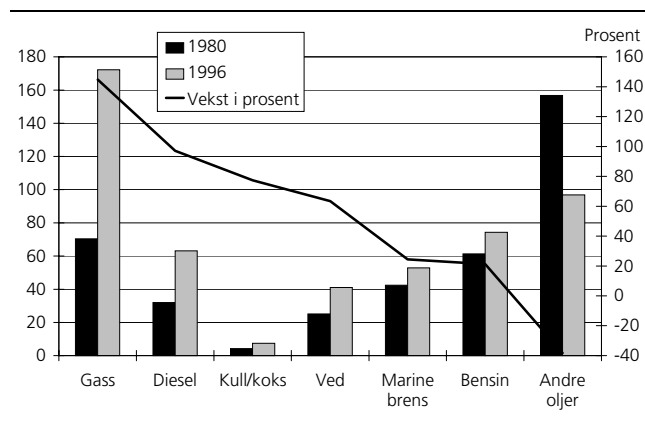
Figur 3. Produksjon og prosentvis vekst i produksjon, 1980 og 1996



Figur 4. Prosentvis endring i energiintensiteten frå 1980 til 1996



Figur 5. Energibruk og prosentvis vekst i energibruk, 1980 og 1996



av næringar med ulik bruk av energivarene innan eit sektorraggat vil bli fanga opp her, i staden for i samansetningseffekten.

Forbrenningsprosess-effekten verkar i retning av høgare utslepp av NO_x og partiklar. For dei andre gassane har denne komponenten, som viser effekten av om varen blir nytta i

7 Produksjonen medfører derimot utslepp. Utsleppa knytte til dømes til fjernvarme frå avfallsanlegg er rekna med som stasjonære utslepp i energisektorane.

stasjonær eller mobil forbrenning, hatt lite å seie. Forholdet mellom den totale energibruken i stasjonær og mobil forbrenning har endra seg lite over perioden, men det er store endringar i bruken av olje. Medan mobil forbrenning sto for 54 prosent av oljeb Bruken i 1980, var denne andelen auka til 75 prosent i 1996. Marine brennstoff, tungolje og spesialdestillat kan nyttast både til stasjonær og mobil forbrenning. Utsleppa er gjerne lågare ved stasjonær enn ved mobil forbrenning, og dette påverkar utsleppa av NO_x og partiklar.

Andre teknologieffektar omfattar som sagt teknologendringar som ikkje inngår i effektane over, og vi skal i gjennomgangen av dei enkelte utsleppa sjå at desse har vore spesielt viktige for bly og SO₂.

Bly- og svovelavgiftene er viktige for teknologieffektane. Slike avgifter vil i prinsippet også påverke dei andre effektane. Energiblandainga vil bli påverka gjennom vriding til energivarer utan avgift, energiintensiteten gjennom val av teknologi som utnyttar dei no dyrare energivarane betre. Avgiftene kan også påverke sektorsamansetninga gjennom at sektorar som særleg blir belasta får lågare inntening, og kostnadsauke kan bremse veksten i økonomien.

Det låge sektoraggregeringsnivået kan påverke også denne effekten. Strukturendringar innan sektoraggregata kan påverke utsleppa, utan at dei påverkar den gjennomsnittlege energiintensiteten eller energiblandainga i sektorane. Desse endringane vil bli fanga opp i andre teknologieffektar.

Dei generelle resultatata i modellen følgjer i stor grad resultatata i Selden m. fl. (1999). I deira amerikanske data over perioden 1970 til 1990 er skalaeffekten den sterkaste drivkrafta for dei fleste utsleppa. Energiintensiteten verkar til reduserte utslepp for alle gassane, medan energiblandaings- og samansetningseffektane har ulik verknad alt etter kva utslepp ein ser på. Vi registrerer likevel større andre teknologieffektar for enkelte utslepp, sidan ein del miljøpolitiske verkemiddel, som svovel- og blyavgiftene, krav til dieselkvalitet og reguleringar mot punktutslepp vart trappa opp på slutten av 80-talet.

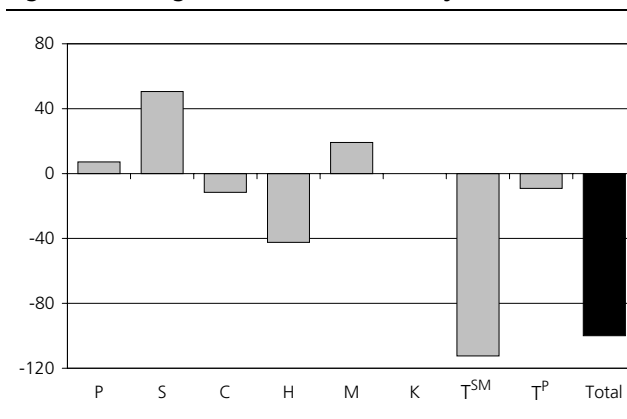
Selden m. fl. opererer med 94 sektorar mot åtte i vår modell. Likevel er samansetningseffektane på linje med våre funn. Det kan tyde på at den mulege feilføringa av strukturendringar på andre effektar er liten i vår modell.

Gjennomgang av dei enkelte miljøproblema

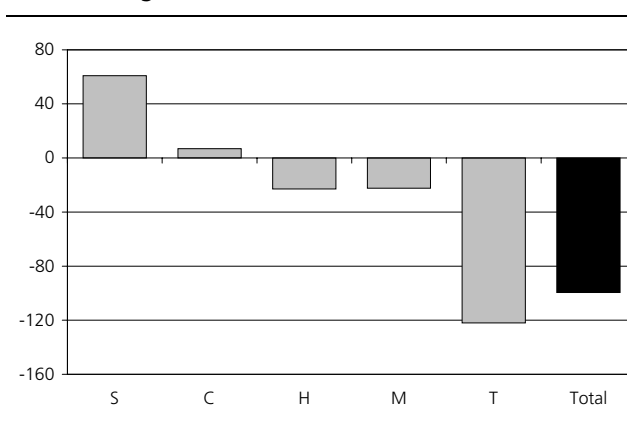
Bly

Vi startar ut med utslepp av bly, ein god representant for den omvendte U-kurva. Vi analyserer halen av kurva, som viser at utsleppa har gått ned med 99 prosent frå 1980 og fram til 1996. Då hadde utsleppa allereie gått ned med 30 prosent frå 1973 til 1980.

Figur 6. Bidrag frå deffektane for bly. Prosent



Figur 7. Bidrag frå deffektane for bly. Kun frå vegtrafikk. Prosent



Som for alle utsleppa, verkar *folketals (P)*- og *skalaeffekten (S)* til høgare utslepp av bly, sjå figur 6. *Samansetnings (C)*- og *energiintensitetseffekten (H)* fører til lågare utslepp. Hovudgrunnen til at samansetningseffekten er negativ er at veksten i privat konsum er lågare enn den gjennomsnittlege produksjonsveksten. Sidan mesteparten av blyutsleppa skriv seg frå hushaldningane, vil den relativt svake veksten i konsumet bidra sterkt til å trekke denne ned. Ein annan viktig faktor er nedlegging av forureinande bedrifter innan industri og bergverk som Sulitjelma gruver og spikerverket i Mo i Rana.

Bidraget til den negative energiintensitetseffekten stammer i første rekkje frå private hushaldningar, sidan mesteparten av utsleppa kjem frå denne sektoren. Når energibruken har vakse mindre enn konsumet, blir bidraget frå hushaldningane kraftig negativt for bly. Nær to tredjedelar av effekten skriv seg frå hushaldningane og det meste elles frå privat tenesteyting, som står for ein stor del av utsleppa i tillegg til at energiintensiteten har gått ned. *Energiblandaingsseffekten (M)* er positiv, på grunn av større vekst i bruken av bilbensin i forhold til andre energivarer i hushaldningane.

Bidraga til auka utslepp frå veksten i folketalet, den økonomiske veksten og auken i bensinbruk er sterkare enn dei negative bidraga frå lågare konsumvekst og lågare energiintensitet. Likevel er den totale reduksjonen i utsleppa på nær 100 prosent, sjå figur 6.

Reinsetiltak i prosessindustrien har bidrege til mindre ut-slepp, noko som framgår i *andre teknologieffektar* (T^P). Men dei viktigaste forklaringsfaktorane ligg i andre teknologieffektar frå forbrenning (T^{SM}). Frå å utgjere nær 90 prosent av totalutsleppa i 1980, utgjorde blyutslepp frå vegtrafikken 38 prosent i 1996. Den store reduksjonen i blyutsleppa skuldast altså først og fremst reduksjonar i trafikktutsleppa. Vi supplerer derfor med dekomponeringene av ut-sleppa frå vegtrafikken.

Vi ser i figur 7 at *andre teknologieffektar* (T) er størst også i vegmodellen. Politisk press som følgje av miljøproblema knytte til blyutslepp og utvikling av erstatningsstoff i drivstoffet har medført overgang til blyfri bensin. Denne utviklinga har vore stimulert av reguleringar og avgifter. Effekten har vore så sterk at blyutsleppa nærmast er fasa ut i forhold til 1980-nivået.

Også redusert *energiintensitet* (H) verkar til å redusere ut-sleppa⁸. Innan dei ulike køyretoyklassane har det vore ein overgang frå bruk av bensin til bruk av diesel. Bly og CO er relativt sterkare knytte til bensin enn diesel, og dermed verkar også *energiblandingseffekten* (M) til lågare utslepp.

Reduksjonen i blyutsleppa frå vegtrafikken blir likevel mindre enn desse tre effektane skulle tilseie. Det skuldast *skalaeffekten* (S). Den kraftige veksten i køyrde kilometer verkar åleine til ein vekst på 61 prosent. Også *samansetningseffekten* (C) verkar til høgare utslepp. I analyseperioden fann det stad ein overgang frå tunge varebilar og personbilar til lette varebilar. Lette varebilar har høgare bruk av bensin medan tunge varebilar har høgare forbruk av diesel. Dermed verkar denne effekten i motsett retning av *energiblandingseffekten*. Effekten blir noko dempa av nedgangen i personbilar, som bruker mest bensin.

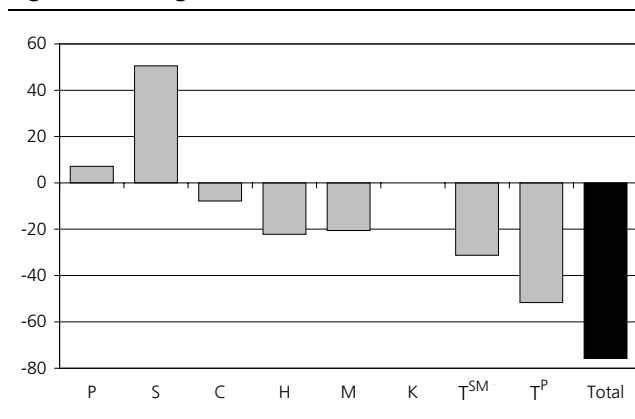
Svoveldioksid

SO₂ er eit anna miljøproblem som er typisk for den omvendte U-kurva. Utsleppa av SO₂ gjekk ned med 81 prosent i perioden 1973 - 1996, og mesteparten av denne reduksjonen fann stad i analyseperioden frå 1980.

Samansetningseffekten bidreg til reduserte utslepp, sjå figur 8. Den største bidragsytaren her er annan industri og bergverk, som har ein lågare vekst enn gjennomsnittet samtidig som utsleppa var store i denne sektoren i basisåret 1980. Den relativt låge veksten i treforedling er også ein tung negativ faktor i samansetningseffekten. Samtidig verkar energisektoren til å trekke effekten kraftig opp. Av figur 3 ser vi at produksjonsveksten i denne sektoren er på over 200 prosent, og det positive bidraget frå sektoren er om lag like stort som det negative bidraget frå annan industri og bergverk.

Energiintensitetseffekten er den som bidreg nest mest til lågare utslepp. Alle sektorane aukar energieffektiviteten og

Figur 8. Bidrag frå deleffektane for SO₂. Prosent



sektorane med størst utslepp i basisåret, det vil seie annan industri og bergverk og kraftintensiv industri, bidreg mest. Den negative *energiblandingseffekten* skuldast redusert bruk av tungolje. Denne effekten blir noko oppvegen av større bruk av ved- og kolfyring.

Igjen er det *andre teknologieffektar* som er hovudforklarin-ga til dei reduserte utsleppa. I andre teknologieffektar inn-går overgang til mindre svovelhaldig olje og reinsing av svovelutsleppa ved forbrenning. Svovelavgifta har vore eit viktig økonomisk motivasjonsfaktor til bruk av lettare oljar og til å redusere svovelinnhaldet i oljane generelt.

Nitrogendiosid

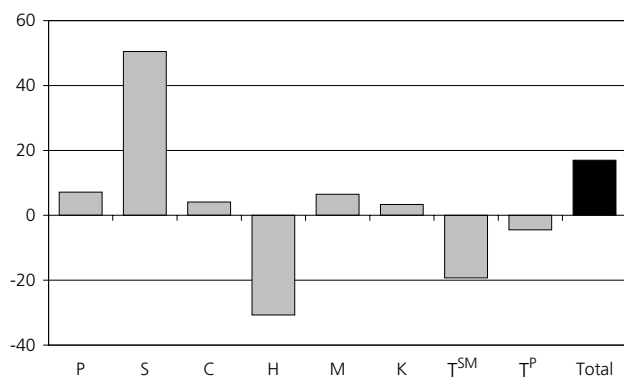
For NO_x er *samansetningseffekten* positiv, sjå figur 9. Det skuldast den store veksten i energi/oljesektoren, som dobla sin del av totale NO_x-utslepp i perioden 1980 til 1996. Gjennom sin relativt låge vekst i produksjon og konsum bi-drog sektorar med store utslepp, det vil seie hushaldningane, annan industri og bergverk og andre forbrukarar, til å dempe samansetningseffekten. Den samla effekten er derfor relativt liten.

For NO_x er det særleg annan industri og bergverk, hushaldningar og andre forbrukarar som bidreg til den negative *energiintensitetseffekten*. Utsleppa auka som følgje av end-ringar i *energiblandinga*. Dette skuldast først og fremst auka bruk av autodiesel hos andre forbrukarar og bilbensin hos hushaldningane samt marin brennstoff i energisekto-ren. Ei vridning mot relativt mindre bruk av marine brennstoff og tungolje hos andre forbrukarar verkar til å trekkje effekten ned.

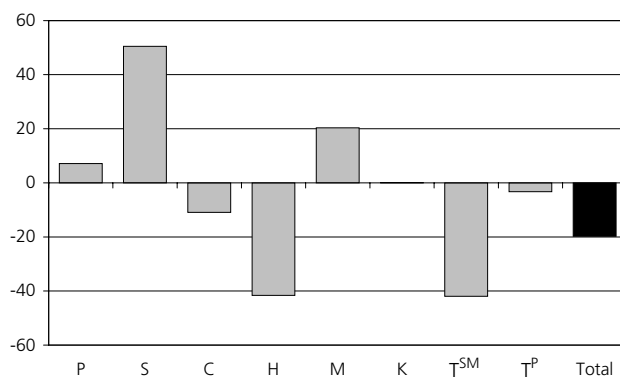
NO_x har ein positiv *forbrenningsprosess-effekt*. Dette skuldast at ein større del av fyringsoljer og spesialdestillat for andre forbrukarar og av marin diesel innan energisektoren blir brukt i mobil forbrenning i forhold til stasjonær. For disse energivarene er det knytte større utslepp til mobil enn til stasjonær forbrenning.

8 Brennstoff-forbruket per kilometer var konstant for mopedar og auka litt for motorsyklar. Disse sektorane er likevel så små i forhold til de andre, slik at dei ikkje gir nemneverdige bidrag til energiintensitets-effekten.

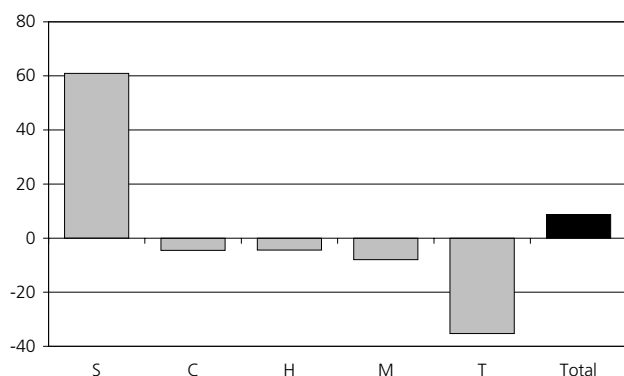
Figur 9. Bidrag frå deffektane for NO_x. Prosent



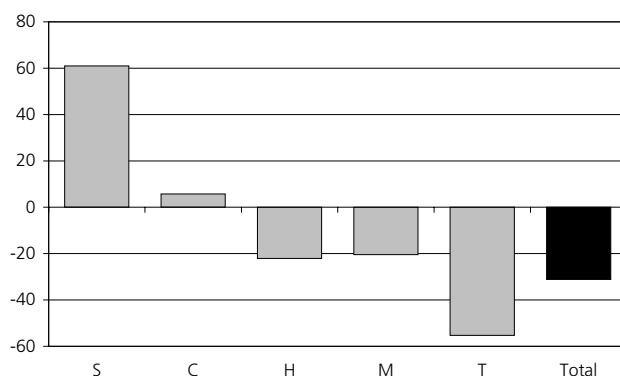
Figur 11. Bidrag frå deffektane for CO. Prosent



Figur 10. Bidrag frå deffektane for NO_x. Kun frå vegtrafikk. Prosent



Figur 12. Bidrag frå deffektane for CO. Kun frå vegtrafikk. Prosent



Andre *teknologieffektar* bidreg til lågare utslepp. For prosessutsleppa skuldast dette tekniske tiltak retta mot utslepp frå gjødselproduksjon. For forbrenning kan denne nedgangen forklarast med lågare utslepp frå lette og tunge kjøretøy over tid, og særleg kravet om katalysator i personbilar etter 1989.

Vegtrafikken har stått for omkring ein tredjepart av totalutsleppa av NO_x gjennom heile perioden. I dekomponeringa av vegtrafikken trekkjer *skalaeffekten* i positiv retning og blir dels bremsa av andre *teknologieffektar*, sjå figur 10. Disse reflekterer i hovudsak innføring av katalysator. NO_x-utsleppa er større frå bensin enn frå diesel for personbilar og lette varebilar, medan dei er større frå diesel enn frå bensin for tunge varebilar. Dermed vil både auken i lette varebilar (som bruker relativt mykje bensin) og nedgangen i tyngre varebilar (bruker relativt mykje diesel) trekke i retning av ein negativ *samansetningseffekt*. *Energiblandings-effekten* blir negativ fordi overgangen frå bensin til diesel er større for dei lette bilane enn for dei tunge.

Karbonmonoksid

Utsleppa av karbonmonoksid følgjer den omvendte U-kurva. Utsleppa auka fram til slutten av 1980-talet, for så å gå

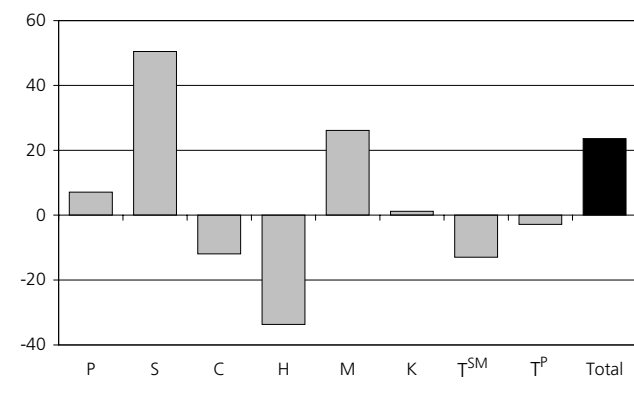
ned, og i 1996 låg dei samla utsleppa 20 prosent under toppnivået i 1987.

Mekanismane for både *samansetnings-* og *energiintensitetseffekten* samsvarer med effektane for bly, sjå figur 11. Så og seie heile samansetningseffekten skriv seg frå at konsumveksten i private hushaldningar er lågare enn den generelle produksjonsveksten, og for energiintensiteten er hushaldningane drivkrafta i tillegg til ei viss grad privat tenesteyting. Tilsvarande er *energiblandings-effekten* positiv på grunn av hushaldningane sin auke i bensinbruken. Noko skuldast også bruk av ved i hushaldningane.

Redusert energiintensitet og spesielt andre *teknologieffektar* har hatt mest å seie for reduksjonen i CO-utsleppa. I andre *teknologieffektar* inngår avgasskrav til nye bilar og dermed overgang til katalysatorbilar, som reinsar utsleppa av CO.

Sidan utsleppa frå vegtrafikken utgjer godt over halvparten av utsleppa av CO, er vegmodellen eit nyttig supplement, sjå figur 12. Bly og CO har begge høgare utsleppskoeffisientar for bensin enn for diesel. Med unntak av andre *teknologieffektar*, som for bly sin del er prega av overgangen til blyfri bensin, er bildet frå vegmodellen derfor svært likt for dei to gassane, sjå omtalen under avsnittet om bly.

Figur 13. Bidrag frå deffektane for partiklar. Prosent



Partiklar

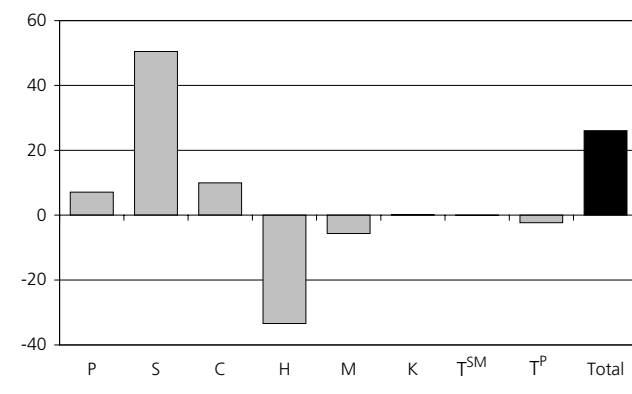
Partikkelutslepp er vanskelege å knyte til U-kurva. Utsleppa har stort sett svinga rundt same nivået dei siste 25 åra.

Samansetningseffekten er negativ, sjå figur 13. Dette skuldast at store delar av utsleppa skriv seg frå hushaldningane, og at aktiviteten her utgjer ein mindre del av totalen i 1996 i forhold til basisåret. Det er hushaldningane som også bidreg mest til den negative *energiintensitetseffekten*, sidan 70 prosent av utsleppa stammar frå hushaldningane. *Energiblandingseffekten* er positiv på grunn av auka vedfyring og auka bruk av diesel.

Forbrenningsprosess-effekten er svakt positiv for partiklar. Årsaka til dette er langt på veg tilsvarende som for NO_x: ein større del av fyringsoljer og spesialdestillat hos sektoren andre forbrukarar blir brukt i mobil i forhold til stasjonær forbrenning. Nedgangen i den stasjonære forbrenninga av marine brennstoff i energisektorane dempar bidraget til høgare utslepp. Den stasjonære bruken av marine brennstoff blir brukt i dieselaggregat, og utsleppsfaktorane er høgare for forbrenning i dieselaggregat enn i mobil forbrenning.

Andre teknologieffektar er negative både for prosess- og forbrenningsutsleppa. For prosessutsleppa skuldast det redusert bruk av piggdekk dei siste åra. Denne reduksjonen har kome som følgje av haldningskampanjar og utvikling av betre piggfrie vinterdekk. Reduksjonen i utslepp frå forbrenning kan forklarast med strengare avgasskrav til lette og tunge kjøretøy.

Utslepp frå vegtrafikken utgjorde 17 prosent av dei totale utsleppa i 1996. I *vegmodellen* får vi ein kraftig positiv *energiblandingseffekt*. Årsaka til dette er at utsleppa frå diesel er mykje større enn utsleppa frå bensin. Dei negative *andre teknologieffektane*, som kjem av betra motorteknologi for dieslbiler, og ein negativ *samansetningseffekt* som skuldast at ein sterkare vekst i lette i forhold til tunge kjøretøy, bremsar dei positive skala- og energiblandings-effektane.

Figur 14. Bidrag frå deffektane for CO₂. Prosent

Karbondioksid

CO₂ passar som vi nemnde innleiingsvis ikkje inn i mønsteret til den omvende U-kurva. I beste fall kan vi tenkje oss at tekniske nyvinningar kan snu trenden ikkje altfor langt inn i framtida. Hittil har det vore ein eintydig positiv samanheng mellom økonomisk vekst og utsleppa av CO₂. Men veksten har vore lågare enn den økonomiske veksten. Økonomisk vekst (*folketals-* og *skalaeffekten*) ville åleine bidra til ein vekst i utsleppa på 58 prosent, sjå figur 14. I tillegg medførte den store veksten i oljesektoren at *samansetningseffekten* ga ein impuls på 10 prosent høgare utslepp. Utsleppa av CO₂ derimot auka til samanlikning med berre 26 prosent i perioden 1980 til 1996.

Det skuldast ikkje reinsing, som for dei andre utsleppa. CO₂ kan ikkje reinsast, og ein auke i bruk av fossile brensel vil auke utsleppa like mykje. Men også CO₂ har teknologiframgangen på si side. Det som har bremsa veksten i utsleppa, er redusert *energiintensitet*. Dette bidrog åleine til ein reduksjon i utsleppa på 33 prosent. Det skuldast først og fremst hushaldningane, som har ein stor del av utsleppa og svak vekst i konsumet i forhold til produksjonsveksten i andre sektorar. Deretter bidreg annan industri og bergverk, med stor reduksjon i energiintensiteten. Men CO₂-utsleppa er forholdsvis jamt spreidde over sektorane, slik at også energisektorane og annan industri og bergverk bidreg sterkt. Torvanger (1991) finn også i ein paneldatastudie at hovudgrunnen til lågare CO₂-utslepp per produsert eining var redusert energiintensitet.

Også *energiblandingseffekten* verkar til lågare utslepp av CO₂. Det skuldast hovudsakleg mindre bruk av tungolje, samtidig som auka bruk av autodiesel og bilbensin trekker opp CO₂-utsleppa. I tillegg verkar auka bruk av gass på sokkelen til ein negativ energiblandingseffekt.

Forbrenningsprosess-effekten er neglisjerbar, sidan utsleppa av CO₂ er like ved stasjonær og mobil forbrenning. I motsetning til dei andre utsleppa er også *andre teknologieffektar* svært små, sidan det ikkje er utvikla teknologi som kan endre forholdet mellom bruk av fossile brensel og utsleppa av CO₂.

Diskusjon

Kva kan ein så slutte om samanhengen mellom vekst og miljø? Ein sikker konklusjon er at dei miljøproblema vi har sett på ikkje har vakse i same takt som produksjonen. Sjølv for CO₂, der ein ikkje har utvikla metodar for å reinse utsleppa, har ikkje utsleppa vakse på langt nær like sterkt som BNP.

Dette skuldast først og fremst endra teknologi. Økonomisk vekst går hand i hand med teknologisk framgang, som så langt har gjort utnyttinga av energien meir effektiv. Auka energieffektivitet er ein generell faktor som isolert sett bidreg til mindre utslepp av alle miljøskader knytte til energibruk. I tillegg har politiske tiltak kombinert med andre teknologiske endringar vore avgjerande i dei tilfella der utsleppa faktisk har gått ned. At sektorsamansetninga har hatt så lite å seie kan skuldast det høge aggregeringsnivået. Men generelt ser det utsom at denne effekten og samansetninga i bruken av ulike energitypar har hatt lite å seie i forhold til dei meir teknologidominerte effektane.

Spørsmålet både for auken i energieffektivitet og for dei andre teknologiske endringane er om økonomisk vekst har vore drivkrafta. Og, dersom det er ein positiv samheng mellom økonomisk vekst og miljøvenleg teknologi, kva implikasjonar vil det ha for miljøpolitiske val?

Det kan vere fleire grunnar til at den økonomiske veksten driv teknologiske endringar som er fordelaktige for miljøet. For det første vil samfunnets preferansar endre seg når ein blir rikare. Etter at dei mest nødvendige behova i samfunnet som mat, klede, bustad og infrastruktur er dekkja, vil ein sjå seg råd til å prioritere opp andre mindre umiddelbart livsnødvendige gode. Samtidig følgjer det eit generelt høgare kunnskapsnivå med økonomisk vekst, det inneber både meir kunnskapar om miljøskader og om korleis ein kan bøte på desse. Miljø saker blir sette på den politiske dagsorden og tiltak sette i verk. Ei nyare retning innan litteraturen fokuserer på rolla til politiske rettar og kunnskapsnivå og hevdar at maktfordelinga er viktig for å få gjennomført miljøtiltak, som til dømes tvingar forureinarane til å betale, Torras og Boyce (1998).

For det andre vil økonomisk vekst nærmast vere ei følgje av teknologisk framgang. Betre utnytting av energien til dømes, er ikkje nødvendigvis eit resultat av miljøretta tiltak, men ei følgje av reine effektivitetsomsyn. Men sjølv om den generelle teknologiske framgangen har hatt positive ringverknader for miljøet gjennom mellom anna energiintensiteten, kan den også auke miljøbelastninga gjennom skalaeffekten.

Kanskje kunne vi fått desse endringane i Norge uavhengig av vår eigen økonomiske vekst. Dei teknologiske nyvinningane er stort sett importerte. Det er ikkje norsk industri som har funne opp bilkatalysatoren og erstatningsstoff for bly i bensinen. Men trua på at vi kan vere gratispassasjerar

rimer dårleg med tverrsnittsdata. Hilton og Levinson (1998) til dømes, viser at utsleppa av bly er minst for landa med lågast og høgast inntekt, og at landa med lågast inntekt har mest bly i bensinen. Viguer (1999) viser at utslepp per innbyggjar er høgare i såkalla overgangskonomiar enn i OECD-land. Det er med andre ord ikkje slik at ny teknologi umiddelbart blir importert. Det tek tid og pengar å skifte ut bilparken og forbrenningsteknologien, og det krevst endra haldningar for å få gjennomført politiske tiltak som motiverer til bruk av miljøvenleg teknologi. Problemet er at effekten av den økonomiske veksten ofte vil auke utsleppa i ein mellomperiode og at denne effekten kanskje kan bli dominerande også på sikt.

Det kan også hende at det er heilt andre mekanismar som styrer miljøtilstanden, mekanismar som kanskje berre tilfeldigvis samvarierer med den økonomiske veksten. Nokre studiar viser resultat som tyder på at energiprisane er betre forklaringsfaktorar enn økonomisk vekst, til dømes Agram og Chapman (1999). At prismekanismane er viktige er sikkert, men det er ikkje like klart at dei er uavhengige av den økonomiske veksten. I Norge har avgiftene bly og på SO₂ vore viktige forklaringsfaktorar for utsleppsreduksjonane, og vi har allereie argumentert for at politiske prioriteringar kan vere eit resultat av økonomisk framgang.

Eit anna poeng er at høginntektsland med høge miljøavgifter kan finne det formålstenleg å eksportere forureinande industri. Det vil seie at når vi aukar svovelavgifta, kan ein del av produksjonen bli lagt ned, importen auke og utsleppa gå opp i land som prioriterer dette miljøproblemet lågare. Suri og Chapman (1998) viser at handel av energiintensive varer har medverka til reduserte SO₂-utslepp for land med dei høgaste inntektene. Dei finn at handel er ein viktigare faktor enn produksjon når ein skal forklare energibruken. Betra miljø i rike land betyr altså ikkje nødvendigvis betra miljø i verda som heile.

Sjølv om det ser ut som om veksten så langt har redusert bly- og SO₂-problema, og kan medføre reduksjonar også i andre utslepp, er det ingen grunn til å legge seg på latsida og stole på at dette utan vidare vil vere ein naturleg og kontinuerleg prosess i framtida. Forfattarane som har gått inn i problemstillinga rundt "environmental Kuznets curves" er også nøye med å presisere dette. Enkelte argumenterer til og med for at dei miljøproblema som har blitt betra kan bli forverra igjen, det vil seie at i staden for ein opp-ned U kan samanhengen mellom vekst og miljø vere ein N-funksjon. I vårt bilde vil det seie at når dei teknologiske mulegheitene er brukte opp, så vil skalaeffekten ta over. Politikken kjem ikkje rekande på ei fjøl, den positive effekten av veksten så langt har mellom anna vore gjennom endra haldningar og påverknad frå pressgrupper.

For andre utslepp, som CO₂, finn ein ingen tendens til utflating av desse utsleppa innan ein realistisk inntekt per innbyggjar i litteraturen⁹. Sjølv om ein ser at utsleppa går

9 Holz-Eakin og Selden (1995) finn ein topp på rundt 8 mill \$ per innbyggjar.

ned i enkelte land som følgje av redusert støtte til tungindustrien og dermed endra sektorsamansetning, tilseier prognosane at den underliggjande økonomiske veksten vil auke utsleppa over tid, Holtz-Eakin og Selden (1995), om ikkje ein uventa genistrek finn fram til ein rimeleg metode for å unngå utsleppa.

Korvidt ein kan oppnå endå høgare energieffektivitet og endå betre reinseprosessar er også eit spørsmål om tru og tvil, ikkje berre fakta. Vi veit med andre ord ikkje om skalaeffekten for SO₂ fortsatt vil vere svakare enn teknologieffektane i åra framover, og om kva som vil skje med den sure nedbøren.

For å kome nærare svaret, må ein avsløre i kva grad og korleis økonomisk vekst driv den teknologiske framgangen spesielt og dei andre delkomponentane i analysen generelt. Som vi har vore inne på, kan det vere gjennom ei rekkje mulege faktorar; økonomisk vekst påverkar maktfordelinga i samfunnet, kunnskapsnivået, politiske prioriteringar, graden av teknologiske framsteg, preferansane og handel med meir eller mindre forureinande varer. Etter at vi no har identifisert storleiken på dei enkelte effektane, er neste steg å studere kva som styrer dei.

Litteratur

Agras, J. M. og D. Chapman (1999): A dynamic approach to the environmental Kuznets curve hypothesis, *Ecological Economics* 28, 267-77.

St. meld. nr. 71 (1972-73): *Langtidsprogrammet 1974 - 1977*, Finansdepartementet 1973.

Grossman, G. M. og A. B. Krueger (1993): Environmental impacts of a North American free trade agreement, in *The U.S.-Mexico free trade agreement*, P. Garber, ed., Cambridge, MA: MIT Press.

Hilton, F. G. H. og A. Levinson (1998): Factoring the environmental Kuznets curve: Evidence from automotive lead emissions, *Journal of Environmental Economics and Management* 35, 126-41.

Holtz-Eakin, D. og T. M. Selden (1995): Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth, *Journal of Public Economics* 57, 85 - 101.

Kuznets, S. (1955): Economic growth and income inequality, *American Economic Review* 45(1), 1-28.

Mylona, S. (1996): *Sulphur dioxide emissions in Europe 1880 - 1991 and their effect on sulphur concentrations and depositions*, Tellus 48B, 662-89.

Rypdal, K. (1993): *Anthropogenic emissions of the greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O in Norway*, Rapport 93/24, Statistisk sentralbyrå.

Rypdal, K. (1995): *Anthropogenic emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃ in Norway*, Rapport 95/12, Statistisk sentralbyrå.

Selden, T. M., A. S. Forrest og J. E. Lockhart (1999): Analyzing the reductions in US air pollution emissions: 1970 to 1990, *Land Economics* 75 (1), 1-21.

Selden T. M. og D. Song (1994): Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution emissions?, *Journal of Environmental Economics and Management*, XXVII, 147-62.

Shafik, N. og S. Bandyopadhyay (1992): *Economic growth and environmental quality, time series and cross-country evidence*, World Bank Working Papers 904, Washington.

Statens forureiningstilsyn og Statistisk sentralbyrå (1999). *Utslipp fra veitrafikk i Norge. Dokumentasjon av beregningsmetode, data og resultater*, SFT Rapport 99:04.

Suri, V. og D. Chapman (1998): Economic growth, trade and energy: implicatins for the environmental Kuznets curve, *Ecological Economics* 25, 195-208.

Torras, M. og J. K. Boyce (1998): Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve, *Ecological Economics* 25, 147-60.

Torvanger, A. (1991): Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries, 1973-87, *Energy Economics* 13, 168-86.

Viguier, L. (1999): Emissions of SO₂, NO_x and CO₂ in transition economies: emission inventories and divisia index analysis, *The Energy Journal* 20 (2), 59-87.

Vedlegg A: Dekomponering av utslippseffektaneFolketalseffekten, P_t :

$$(3) \quad P_t = U_0 \frac{1}{B_0} [B_t - B_0] = U_0 \left[\frac{B_t}{B_0} - 1 \right]$$

Skalaeffekten, S_t :

$$(4) \quad S_t = U_0 \frac{B_t}{Y_0} \left[\frac{Y_t}{B_t} - \frac{Y_0}{B_0} \right] = U_0 \left[\frac{Y_t}{Y_0} - \frac{B_t}{B_0} \right]$$

Samansetningseffekten, C_t :

$$(5) \quad C_t = \sum_j U_{j0} \frac{Y_t}{Y_{j0}} \left[\frac{Y_{jt}}{Y_t} - \frac{Y_{j0}}{Y_0} \right] = \sum_j U_{j0} \left[\frac{Y_{jt}}{Y_{j0}} - \frac{Y_t}{Y_0} \right]$$

Energiintensitetseffekten, H_t :

$$(6) \quad H_t = \sum_j U_{j0}^{SM} \frac{Y_{jt}}{E_{j0}^{SM}} \left[\frac{E_{jt}^{SM}}{Y_{jt}} - \frac{E_{j0}^{SM}}{Y_{j0}} \right] = \sum_j U_{j0}^{SM} \left[\frac{E_{jt}^{SM}}{E_{j0}^{SM}} - \frac{Y_{jt}}{Y_{j0}} \right]$$

Energiblandingseffekten, M_t :

$$(7) \quad M_t = \sum_j \sum_i U_{ij0}^{SM} \frac{E_{ijt}^{SM}}{E_{ij0}^{SM}} \left[\frac{E_{ijt}^{SM}}{E_{jt}^{SM}} - \frac{E_{ij0}^{SM}}{E_{j0}^{SM}} \right] = \sum_j \sum_i U_{ij0}^{SM} \left[\frac{E_{ijt}^{SM}}{E_{ij0}^{SM}} - \frac{E_{jt}^{SM}}{E_{j0}^{SM}} \right]$$

Forbrenningsprosess-effekten, K_t :

$$(8) \quad K_t = \sum_j \sum_i \sum_w U_{wij0}^{SM} \frac{E_{ijwt}^{SM}}{E_{wij0}^{SM}} \left[\frac{E_{ijwt}^{SM}}{E_{ijt}^{SM}} - \frac{E_{wij0}^{SM}}{E_{ij0}^{SM}} \right] = \sum_j \sum_i \sum_w U_{wij0}^{SM} \left[\frac{E_{ijwt}^{SM}}{E_{wij0}^{SM}} - \frac{E_{ijt}^{SM}}{E_{ij0}^{SM}} \right]$$

Andre teknologieffektar, T_t :

$$(9) \quad T_t = T_t^{SM} + T_t^P = \sum_j \sum_i \sum_w \left\{ \left[U_{wijt}^{SM} - U_{wij0}^{SM} \frac{E_{wijt}^{SM}}{E_{wij0}^{SM}} \right] + \left[U_{jt}^P - U_{j0}^P \frac{Y_{jt}}{Y_{j0}} \right] \right\}$$

U : utslipp
 Y : produksjon
 E : energibruk
 B : folketal

SM: stasjonær og mobil forbrenning

P: prosess

j: sektorar

i: energivarer

w: energiformål (stasjonær og mobil)

t: tid

Prosessutslipp omfattar alle utslipp som ikkje er knytte til forbrenning. Det er derfor ikkje relevant å knyte desse utslappa opp til energibruken. Dermed omfattar utslipp og energibruk i modellen (6) til (8) berre stasjonær og mobil forbrenning (toppskrift SM). Prosessutslappa inngår dermed i skala- og samansetningseffekten og i andre teknologieffektar (toppskrift P i (9)).

Uttrykket (1) er ein identitet, det vil seie at dekomponeringa er komplett. Alle ledda i (3) til (9) summerer seg opp til dei totale utslappa U_t .

Vedlegg B: Dekomponering av prosentvis endring i utslepp, 1980-1996

Effektar	VOC	N ₂ O	CH ₄	NH ₃
Folketal	7	7	7	7
Skala	51	51	51	51
Samansetning	4	-4	10	-5
Energiintensitet	-22	-2	-2	0
Energiblanding	13	1	1	0
Forbrenningsprosess	0	0	0	0
Andre teknikk, forbrenning	-16	3	0	4
Andre teknikk, stasjonær	69	-40	-37	-40
Total endring	105	18	29	17