

Utslipp av metan og kvotepriser på klimagasser

Annegrete Bruvoll og Torstein Bye

Kyotoprotokollen åpner for fem andre klimagasser i tillegg til CO₂. Kvoteprisen på klimagasser vil avhenge av kostnadene ved reduksjoner av alle disse gassene. En kostnadseffektiv reduksjon både nasjonalt og internasjonalt krever at marginalkostnaden ved ytterligere reduksjoner er den samme for alle tiltak og alle gasser. Metan fra avfallsdeponi er en de største kildene til utslipp ved siden av CO₂. For å sikre en kostnadseffektiv gjennomføring av klimapolitikken må man vurdere kostnadene ved de ulike tiltakene ovenfor deponigasser opp mot reduksjoner av andre klimagasser, og gjennomføre de billigste tiltakene først. Videre vil de totale kostnadene for Norge avhenge av hvilke deler av økonomien som eventuelt er unntatt fra kostnadseffektive avgifter.

Innledning

Studier som har forsøkt å lage anslag på kvoteprisen for klimagasser antyder at dersom flere gasser innlemmes i klimaprotokollen, vil det medføre vesentlig lavere kvotepriser. Metan er den viktigste klimagassen foruten CO₂. Det betyr at kostnaden ved reduksjon av metangass kan være viktig for kvoteprisen for klimagasser totalt sett. I denne artikkelen ser vi nærmere på de marginale kostnadene ved reduserte utslipp av metangass. Metan utgjør om lag den samme andelen av totale klimagassutslipp i Norge som i verden for øvrig, og betydningen av metangassutslipp for kvoteprisen i Norge kan dermed gi en viss pekepinn på betydningen i andre land.

Mange studier viser at det er stigende marginalkostnader forbundet med å redusere utslipp av klimagasser. Det vil si at det er dyrere per enhet å redusere utslippene desto strammere kravene er. Dette betyr igjen at den nødvendige kvoteprisen vil være avhengig av hva en tror om utslippsutviklingen uten kvotepriser. Ved sterk vekst i utslippene vil nødvendig kvotepris være relativt høyere enn ved en lavere vekst. Enkelte studier viser at analyser i forkant av Kyotoforhandlingene kan ha vært optimistiske med hensyn på hvor lave utslippene vil være uten restriksjoner.

I denne artikkelen vil vi først kommentere utslipps situasjonen i Annex-B landene og deretter gjengi noen studier av internasjonale kvotepriser ved utslippsreduksjoner. Vi presenterer fremskrivninger av metangassutslipp i Norge, og analyserer kostnader ved ulike tiltak mot metangassutslipp. Betydningen for kvoteprisene av å inkludere metan i Kyotoprotokollen vil være avhengig av endringen i de marginale kostnadene ved ulike utslippsreduksjoner av

andre gasser. Vi gjennomfører tre beregninger for Norge under ulike forutsetninger om mulighetene for å erstatte eller redusere bruk av fossile brensel både på tilgangssiden og etterspørselssiden i energimarkedet. Med utgangspunkt i disse beregningene diskuteres i hvilken grad disse kan tjene som illustrasjon på hvilken kvotepris som vil kreves internasjonalt for å oppfylle betingelsene i Kyotoprotokollen.

Utslipp av klimagasser

De totale utslippene av de seks klimagassene i Annex-B land var 16,5 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter i 1990, se tabell 1. Vi ser at CO₂ er den klart dominerende klimagassen i alle land, med en total andel i 1990 på 83 prosent, mens metan utgjør 13 prosent og lystgass 4 prosent. Dette antyder at det å inkludere de andre gassene ved fastsettelse av kvotepriser kan være av en viss betydning i en første Kyotoprotokoll. Denne betydningen kan imidlertid være mer begrenset ved eventuelle senere skjerpinger av protokollen.

De største landene med hensyn til klimagassutslipp er USA, Russland, Japan og Tyskland. Om lag 35 prosent av utslippene av klimagasser er generert i USA og i underkant av 20 prosent i Russland. Disse to landene kan dermed sammen blokkere for en avtale, som krever at de landene som har ratifisert Kyotoprotokollen må minst stå for 55 prosent av utslippene i Annex-I landene.

Fra 1990 til 1995 økte de totale utslippene i de fleste landene. Likevel gikk de totale utslippene for de 10 landene som er eksplisitt nevnt i tabell 1 ned med 2,3 prosent, hovedsakelig grunnet lavere utslipp i Russland og de andre tidligere østblokk-landene.

Av tabellen kan vi utlede at de norske utslippene av klimagasser utgjør om lag 3 promille av de totale utslipp av klimagasser blant de deltakende landene i Kyotoprotokollen slik de ble rapportert inn i forkant av forhandlingene. Den

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

Torstein Bye, forskningsjef ved Seksjon for ressurs- og miljøøkonomi. E-post: torstein.bye@ssb.no

Tabell 1. Utslipp av klimagasser i noen utvalgte land av Kyotoprotokollens deltakere og samlet for Annex-B. Millioner tonn CO₂-ekvivalenter. 1990

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	HFC/PFC/SF ₆	Total	Total 1995 ¹
USA	4 957,0	127,5	567,0	92,2	5 680,2	6 149
Russland	2 388,7	27,8	567,0	..	2 983,5	2 165
Tyskland	1 014,2	65,4	119,3	20,6	1 205,3	1 065
Japan	1 155,0	17,1	29,0	..	1 201,1	1 347
Storbritannia	577,0	33,6	95,2	2,1	706,3	654
Canada	462,6	29,6	64,8	9,1	559,9	618
Frankrike	366,5	54,8	60,8	..	482,1	498
Sverige	61,3	4,7	6,9	1,4	73,4	69
Danmark	52,0	3,2	8,5	0,2	63,9	75
Norge	35,5	4,7	6,1	4,8	47,4	55
Andre land	2 605,2	246,2	623,3	9,1	3 483,8	
Totalt	13 675,1	614,5	2 148,0	139,5	16 486,9	
Andel	0,83	0,04	0,13	0,01	1,00	

¹ 1994 for Russland, Japan og Danmark.

Kilde: Klimasekretariatet. Det er noen forskjeller i disse tallene og endelig statistikk for de enkelte land, blant annet Norge, se senere for en oversikt over de norske tallene. Dette forandrer imidlertid ikke hovedbildet slik det fremstilles her. Totaltallene gjelder samlet for de land som har rapportert tall til sekretariatet.

norske andelen av HFC/PFC/SF₆ er vel 3 prosent, mens utslippet av lystgass er om lag 0,8 prosent. Norske utslipp av metan utgjør om lag 0,3 prosent av utslippene av denne gassen i Annex-B land. Et rimelig reduksjonspotensiale for tilleggsgassene vil dermed slå noe sterkere ut for Norge enn for Annex-I land samlet. Utslipp av metan kommer i særlig grad fra husdyr og nedbryting av avfall. Utslipp av lystgass kommer i første rekke fra produksjon av gjødsel, hvor Norge er en viktig aktør på verdensmarkedet. Husdyrproduksjon er også en viktig kilde, men der er nok Norge mer på linje med andre land i verden. Selv om Norge har en relativt stor andel av utslippene av HFC/PFC/SF₆ har denne betydningen minsket kraftig i de siste årene ved at disse er redusert til det halve i Norge.

Vi ser også at USA står for nesten 70 prosent av de totale utslippene av CFC, HFC og SF₆. Hvis USA kan redusere sine utslipp av disse gassene mye til lave kostnader så kan dette påvirke kvoteprisen for de andre gassene. Disse utslippene utgjør imidlertid ikke en særlig større andel av de totale utslippene i USA enn tilsvarende for de andre landene. Årsaken er selvfølgelig at USA er dominerende i den totale utslippssammenheng blant Annex-B landene.

USA, Tyskland og Japan har en relativt sett mindre metandel enn total klimagassandel. Russland har en vesentlig høyre metandel enn klimagassandel, på grunn av store reduksjoner i utslippene av CO₂ som følge av den økonomiske nedgangen etter oppdelingen av det tidligere Sovjet-samveldet. Dette kan bety at Russland har et potensiale for å redusere sine utslipp til lave kostnader utover det at de allerede har redusert sine utslipp, gitt at det er billigere å redusere metan enn de andre gassene. Frankrike, Tyskland, Norge og Sverige har relativt sett høye lystgassutslipp.

Kvotepriiser på CO₂

Mange studier tidlig på 90-tallet, i forkant av Kyotoforhandlingene, analyserte hvor høye avgifter eller kvotepriiser på CO₂ som måtte til for å stabilisere utslippene av CO₂ på 1990 nivå i verden eller innenfor OECD-området. Anslagene i disse studiene, og de underliggende forutsetningene for vekst i totalutslipp har variert betydelig¹, se tabell 2. Det har vært to hovedtrekk i utviklingen av disse studiene. De anslår lavere og lavere nødvendige avgifter/kvotepriiser og samtidig mindre og mindre vekst i utslippene. I KLØKT-prosjektet (se Moum 1992) ble det foretatt en gjennomgang av internasjonale studier på dette området. De omtalte studiene anslo da nødvendige avgifter for å oppnå en stabilisering som lå i området 700-10 000 kroner per tonn CO₂. De tilhørende utslippsreduksjonene lå i området 20-60 prosent. KLØKT-studien antok et mest realistisk anslag på 1400 kroner per tonn CO₂ og en tilhørende utslippsreduksjon på 35 prosent.

I Grønn skattekommisjon (NOU 1996:9) benyttet en OECDs verdensmodell GREEN til å analysere konsekvensene av å innføre en avgift som på verdensbasis var tilstrekkelig til å stabilisere utslippene på 1990-nivå i 2010 og holde utslippene på dette nivået til 2030. En avgift på 360 kroner per tonn CO₂ var tilstrekkelig til å oppnå en stabilisering, eller om lag 45 prosent reduksjon i forhold til basis-scenariet i 2020, av utslippene av denne gassen. Ved linearitet i virkningen betyr dette at hver 5 prosent reduksjon i utslippene krever en avgift på om lag 40 kroner. Fem prosent reduksjon i utslippene kan på denne bakgrunn anslås å kreve en avgift på om lag 400 kroner per tonn CO₂.

Flere studier nasjonalt viser at for å oppnå en stabilisering av klimagassutslippene i Norge fra 1990 til 2010-2020 vil det måtte settes inn relativt kraftige virkemidler.

1 Se for eksempel Bye (1997) og Hourcade et al. (1996) for en gjennomgang av slike studier.

Tabell 2. Beregnet avgift for å oppnå stabilisering av utslippene på 1990-nivå i 2010, kroner per tonn CO₂, og forutsatt vekst i totale klimagassutslipp 1990-2010, prosent

	Studieår	Avgift	År	Vekst i utslipp
SIMEN ¹	1989	1 000	2000	16
Nordhaus	1990	3 325	2020	50
IEA	1990	350	2025	12
ECON	1990	1 400	2000	18
KLØKT	1992	1 400	2025	35
Jorgenson and Wilcoxon (1990)	1990	420	2020	32
Grønn skattekommissjon (NOU 1996:9)	1996	360	2020	45
Energiutvalget (NOU 1998:1)	1998	200	2020	45
St meld nr 29 (1997-98)	1998	50-200	2010	23
Alfsen, Holtsmark og Torvanger (1998)	1998	50-100	2010	6,5
Grubb and Vrolijk (1997)	1998	35-70	2010	6,5

¹ Bye, Bye og Lorentsen (1989).

I Energiutvalgets² beregninger antydes at selv en avgift på 400 kroner, hvor en tar ut store utslippsreduksjoner ved å utsette også energiintensiv industri for sterkt økende kraftpriser, ikke vil være tilstrekkelig til å oppnå Kyotokravene for Norge uten å kjøpe kvoter (se senere avsnitt om avgiftsberegninger for norsk økonomi). Selv om kostnadene ved utslippsreduksjoner i Norge kan være høye i forhold til i andre land, når en ser bort fra en dramatisk tilpasning av industristrukturen, antyder disse beregningene, hvor industrien tilpasses, at også i verden for øvrig kan skyggeprisen på klimagasser bli høy under Kyotoprotokollens krav til totale utslipp. I Energiutredningen benyttes 200 kroner som en illustrasjon på en nødvendig kvotepris internasjonalt for å oppnå Kyotokravene.

Studier referert i St meld nr 29 (1997-98) antyder en lav internasjonal kvotepris. I meldingen side 85 heter det at: *Flere institusjoner både i Norge og andre land, herunder CICERO og OECD, har vurdert mulige kvotepriser. Under ulike forutsetninger varierer prisanslagene fra 50 til drøye 200 kroner/tonn CO₂.* Henvisningene til studier i meldingen er ikke presise, men anslagene er i hovedsak basert på en studie av Grubb and Vrolijk (1997), se Alfsen, Holtsmark og Torvanger (1998). Sett i forhold til Grønn skattekommissjons analyser og nasjonale studier synes 50 kroner å være svært lavt.

De lave anslagene kan skyldes flere forhold, dels at Kyotoprotokollen inneholder flere gasser i tillegg til CO₂ som kan være billigere å redusere, dels at utslippsveksten i basisfremskrivningen synes å være meget svak. I Grubb og Vrolijk (1997) er det *antatt* at 10-15 prosent reduksjon av CO₂-utslippene og 30 prosent reduksjon av andre klimagasser kan skje kostnadsfritt. Grunnlaget for denne antakelsen er ikke dokumentert.

Basert på grunnlagstallene ved forhandlingene antyder Alfsen, Holtsmark og Torvanger (1998) at de totale utslippene av klimagasser blant Annex-B land vil øke med 6,5 prosent fra 1990-2010. I forhold til OECD-studien benyttet i Grønn skattekommissjon hvor utslippet vokste med 45 prosent frem til 2020 er dette svært lavt. Til sammenligning ble det i Norges annen kommunikasjon til klimakonvensjonen antydning en økning i norske utslipp med 19 prosent fra 1990 til 2010, se Alfsen (1998). Energiutvalget antyder en 15 prosent økning i utslippene frem til 2010 i sin referansebane, mens St meld nr 29 antyder en 23 prosent økning³. En nylig studie av Schmalense, Stoker and Judson (1998), viser at de fremskrivninger av verdens utslipp av CO₂ som lå til grunn for Kyotoforhandlingene kan være sterkt undervurdert. Utslippsfremskrivningene fra Schmalense et al. ligger nærmere 25 prosent over utslippsberegningene til IPCC for 2020, se også Hourcade et al. (1996).

Den marginale reduksjonskostnad for klimagassutslipp i området rundt stabilisering av utslippene er svært avhengig av nivået på utslippene i basisfremskrivningen, det vil si avhengig av hvor mye utslippene må reduseres, se for eksempel Johnsen, Larsen og Mysen (1997) og Dean and Holler (1992). Undervurderte utslipp i basisfremskrivningen kan dermed trekke i retning av at skyggeprisen på klimagasser, gitt Kyotoprotokollens krav, kan ligge vesentlig over de studier som til nå er nyttet.

Klimagassene utenom CO₂ utgjør 17 prosent av totale klimagasser i landene som inngår i Kyotoprotokollen. Det er derfor grunn til å anta at introduksjonen av flere gasser, samtidig som målsettingen fortsatt er stabilisering, kan ha en viss betydning for den kvoteprisen som vil bli generert i et internasjonalt kvotemarked. Spesielt gjelder dette i en første fase hvor reduksjon av disse gassene kan utgjøre en stor andel av de totale utslippsreduksjoner. Det er imidlertid ikke opplagt at betydningen er stor. Den viktigste gassen ved siden av CO₂ er metan. Både på grunn av dens størrelse, og på grunn av mindre potensiale for å redusere de andre gassene, vil vi i tillegg til CO₂ rette en spesiell fokus på metan nedenfor.

Beregninger av metangassutslipp

Metan er den største klimagassen ved siden av CO₂ også i Norge. Utslipp fra landbruk står for 22 prosent av totale metangassutslipp, og mesteparten av disse utslippene er knyttet til dyrenes fordøyelse. I følge St meld nr 29 anses tiltak for å redusere disse utslippene som lite aktuelle. De metanutslippene som er relevante i klimapolitisk sammenheng er dermed deponigass fra avfallsfyllinger, som er beregnet til 67 prosent av totale metangassutslipp og omlag 12 prosent av totale klimagassutslipp i Norge.

Det er stor usikkerhet omkring hvilke mengder metan som faktisk blir generert på avfallsdeponi, hvilke mengder som

² Se for eksempel Energiutredningen (NOU 1998:1) som et siste eksempel på dette.

³ Det er spesielt på utslipp av CO₂ at stortingsmeldingen ligger vesentlig over Energiutvalget.

slippes ut og effekten av avbrenning av metangass. For det første er det usikkerhet omkring selve nivået på utslippene. Nyere studier tyder på at nivået kan være lavere enn tidligere antatt, delvis fordi metan brytes naturlig ned til CO₂ på vandringen ut av avfallsfyllingen. Testing av metanutslipp fra fyllinger med jorddekke tyder på at metanutslippene fra norske fyllinger kan være langt lavere enn det en tidligere har basert sine beregninger på (Slyngstad 1998a). Ved optimale forhold i toppdekket på avfallsfyllinger kan fyllingen gi negative utslipp, da den i tillegg til metan fra avfallsfyllingen bryter ned annen metan fra luften omkring.

På den andre siden tyder oppdaterte anslag for den fremtidige økonomiske utviklingen på at veksten i avfallsgenereringen er undervurdert og dermed nedgangen i metangassutslippene overvurdert, se nedenfor. Et annet spørsmål er kostnaden ved reduksjoner av metangassutslipp. Ny forskning synes å konkludere med at metangassen kan reduseres med relativt enkle midler og til lave priser. I et større svensk prosjekt (Lagerkvist 1998) omkring deponiggass konkluderes det med at deponiggassproblemet er sterkt overestimert og at utslippene kan holdes lave med relativt enkle midler.

Fremskrivninger av avfall og metangassutslipp i Norge

Tidligere fremskrivninger for kommunalt avfall til 2010 bygget på avfallstatistikker fra 1992 (Bruvoll og Ibenholt 1995). Fremskrivingene bygger på en forutsetning om at avfallsmengdene øker med økende produksjon og materialbruk. Den økonomiske utviklingen i den makroøkonomiske modellen MSG, som også brukes til energi- og utslippsberegninger, danner grunnlaget for fremskrivingene også for avfall⁴. Fremskrivingene er nå oppdatert på bakgrunn av oppdaterte avfallstall fra 1995 og nye prognoser for den økonomiske utviklingen i MSG⁵, se tabell 3.

De nye fremskrivingene i tabell 3 viser en langt høyere vekst i avfallsgenereringen enn antatt tidligere. Mens tidligere fremskrivning viste en vekst på 44 prosent frem til 2010, tilsier dagens tallgrunnlag at veksten kan bli på vel 60 prosent. Dette skyldes i første rekke en høyere vekst i de registrerte mengdene husholdningsavfall de siste årene og dermed også høyere avfallsgenerering per konsument enn tidligere lagt til grunn. Hele 23 prosent av den tidligere anslåtte veksten på 44 prosent ble oppfylt i løpet av de første tre årene fra 1992. Videre bidrar nye fremskrivninger av den makroøkonomiske utviklingen til endringer i avfallsgenereringen i de ulike sektorene. Det ventes en lavere vekst i næringsavfallet fra 1995 i forhold til tidligere fremskrivninger.

Det finnes ikke fullgode statistikker for næringsavfall utenom kommunalt avfall. I Statens forurensningstilsyns prognoser antas disse mengdene å ligge på rundt 1 mill. tonn (Statens forurensningstilsyn 1988). Vi bruker dette anslaget

Tabell 3. Fremskrivninger av kommunalt avfall, 1 000 tonn (vekst fra 1992 i prosent)

	1992 ¹	1995	2010 (ny fremskrivning)	2010 (tidligere fremskrivning)
Næringsavfall	1 135,4	1 460,2	1 773,8 (56)	1 778,9 (57)
Husholdningsavfall	1 087,4	1 262,0	1 815,1 (67)	1 429,1 (31)
Totalt	2 222,8	2 722,2	3 588,8 (61)	3 208,0 (44)

¹ Tallene for 1992 inkluderer 93,6 tonn ukjent/blandet avfall, som er fordelt andelsmessig på nærings- og husholdningsavfall.

Tabell 4. Fremskrivninger av totale deponerte avfallsmengder, 1 000 tonn (vekst fra 1992 i prosent)

	1992	1995	2010
Næringsavfall, kommunalt	862,9	919,9	1 117,5 (29)
Husholdningsavfall, kommunalt	826,4	795,0	1 143,5 (38)
Annet næringsavfall	938,0	1 000,0	1 214,8 (29)
Totalt	2 627,4	2 715,0	3 475,7 (32)

for 1995, og antar at mengdene utvikler seg i takt med det kommunale næringsavfallet.

I tabell 4 gis anslag på fremtidige *deponerte mengder* som følge av fremskrevne avfallsmengder. I 1992 ble 76 prosent av det kommunale avfallet deponert, mens andelen var 63 prosent i 1995 (Statistisk sentralbyrå 1994, 1988). Vi forutsetter uendret deponeringsprosent fra 1995-2010 for både kommunalt avfall og annet næringsavfall. Det vil si at ytterligere tiltak for økt andel til material- og energigjenvinning vil gi tilsvarende reduksjoner i deponerte mengder.

Gitt disse forutsetningene får vi en økning i deponerte mengder på 32 prosent fra 1992 til 2010. Disse deponeringstallene gir grunnlag for nye fremskrivninger for metanutslipp. Metangassen avgis over mange år etter deponering, og utslippene og tidspunktet for disse vil avhenge av fuktighet, deponeringsmetode, renseteknologi etc. Metanpotensialet, den totale fremtidige potensielle mengden metan fra deponert avfall i et år, vil være forskjellig fra det faktiske årlige utslippet, som stammer fra siste og tidligere års avfallsmengder. Det er også knyttet stor usikkerhet til dette metanpotensialet. St meld nr 29 viser til at det er satt i gang ett arbeid på å vurdere nivået på metangass fra fylling i Norge, og ulike studier vil bli vurdert opp mot hverandre.

I St meld nr 29 er anslagene for metanutslipp basert på en antagelse om 130 kilo metan per tonn avfall. Stortingsmeldingen viser til beregninger fra Statens forurensningstilsyn som gir 100 kilo metan per tonn avfall. Jordforsks studier antyder enda lavere metanpotensiale. I følge Holdhus

4 For en beskrivelse av modellen se Bruvoll og Ibenholt (1995).

5 De økonomiske fremskrivingene samsvarer i store trekk med beregningene benyttet som grunnlag i Energiutvalget.

Tabell 5. Potensielle metanutslipp i millioner tonn (CO₂-ekvivalenter)

Metanpotensiale, kilo metan/tonn avfall	1992	1995	2000	2010
83 (Holdhus 1998)	0,218 (4,6)	0,205 (4,3)	0,213 (4,5)	0,218 (4,6)
130 (St meld nr 29)	0,342 (7,2)	0,321 (6,7)	0,333 (7,0)	0,341 (7,2)
<i>Memo: St meld nr 29</i>	1990 0,302 (6,3)	1996 0,327 (6,9)		2010 0,248 (5,2)

(1998) vil utslippene maksimalt kunne være 83 kilo metan per tonn avfall. For å illustrere usikkerheten i tallene, presenterer vi beregninger basert både på forutsetningene fra Stortingsmeldingen og fra Jordforsk (Holdhus).

Det er forutsatt at andelen deponerte mengder på anlegg med metanuttak øker fra 45 til 70 prosent. Videre antas at brenneeffekten ved anleggene stiger fra 20 til 35 prosent i perioden 1995 til 2010 (jamfør St meld nr 29). Det betyr at vi forutsetter at 25 prosent av metangassen fra avfall som går til deponi i 2010 vil bli avbrent. Tabell 5 viser de potensielle metanutslippene utover det som blir brent under ulike antagelser for metanpotensiale. Under Holdhus' forutsetninger for maksimale metanutslipp er utslippene langt lavere enn tidligere antatt.

De nye fremskrivingene gir høyere utslipp enn i Stortingsmeldingen ved like forutsetninger om metanpotensiale. Avviket skyldes hovedsakelig at Stortingsmeldingen forutsetter at ytterligere gjenvinningstiltak vil redusere de deponerte avfallsmengdene i 2010, noe som ikke er forutsatt i våre fremskrivninger. Vi vil nå i stedet vurdere kostnadene ved flere tiltak, inkludert gjenvinning (kompostering av våtorganisk avfall).

Kostnader ved reduksjon av metan

Reduserte mengder organisk avfall til deponering vil bidra til lavere metanutslipp. Man kan også brenne selve metangassen som oppstår, slik at gassen omgjøres til CO₂ (som har langt lavere klimaeffekt). Videre vil man under metanoksidasjon kunne oppnå at mikroorganismer omdanner metan til CO₂ når gassen på vei til fri luft passerer gjennom et lag av jord / bark med en viss organisk sammensetning.

Potensialet for reduksjon av metan utover det som allerede er forutsatt om avbrenning er 4,6-7,2 mill. tonn CO₂-ekvivalenter i 2010, avhengig av metanpotensiale (se tabell 5). Våre kostnadstall tyder på at metan kan reduseres til relativt lave kostnader på marginen (se tabell 6). Sannsynligvis stiger marginalkostnaden med andelen av metan som reduseres, og det er usikkert når marginalkostnaden overstiger marginalkostnaden på CO₂-reduksjoner. Selv om metan ser ut til å være relativt billig å redusere initialt, er det altså ikke sikkert at det lønner seg å utnytte hele potensialet.

Materialgjenvinning

En hovedstrategi fra Regjeringens side for å redusere metanutslippene er å øke graden av gjenvinning. I St meld nr 29 nevnes avtalene om gjenvinning av emballasjeavfall som er inngått med næringslivet og forbruksavfall i kommunene.

Kompostering av våtorganisk avfall er en aktuell politikk for å øke graden av gjenvinning. I flere fylker er det innført forbud mot deponering av våtorganisk avfall. En nylig studie av InterConsult Group ASA (1998) basert på kompostering av våtorganisk avfall i Sogn og Fjordane tyder på at kompostering gir liten klimagevinst i forhold til de samfunnsøkonomiske kostnadene, se tabell 6. Deres tall viser at kostnadene per tonn CO₂ vil ligge på 1150 - 1300 kroner per tonn CO₂. Som påpekt i Bruvoll (1998a) kan materialgjenvinning i mange tilfeller være et kostbart alternativ til avfallsbehandling, noe som gir grunn til å vurdere mer kostnadseffektive virkemidler for å redusere metangassutslippene.

Forbrenning av avfall

Økt grad av forbrenning av avfall vil også redusere utslippene av deponigasser. I vurderingen av forbrenning for energiformål versus deponering er kraftmarkedet avgjørende. I basisalternativet i Energiutredningen er gasskraft den marginale energikilden på lang sikt. Økt energitilbud fra forbrenning av avfall vil ikke endre de marginale kostnadene på kraft innenfor et intervall på de 25 TWh gasskraft som ligger inne i Energiutredningens referansealternativ. Dermed vil energi fra avfall erstatte gasskraft i stedet for å øke det totale kraftforbruket. For fossile avfallsmaterialer, som plast, betyr dette at klimaeffekten av CO₂ fra plastavfall blir vesentlig redusert, og at brenning av papir gjennom redusert gassforbruk bidrar til lavere klimagassutslipp.

Kostnadene ved brenning av papir- plastavfall kan illustrere kostnadene ved avfallsforbrenning som klimapolitisk virkemiddel. Fordi deler av tallgrunnet baserer seg på utenlandske data bør de kun brukes som indikasjon på norske forhold.

Kostnadene for papir og plast (inkludert miljøkostnader eksklusive klimakostnader) anslås med utgangspunkt i Bruvoll (1998a). Tar man i betraktning klimagassbesparelsen, vil forbrenning av *papir* (i stedet for deponering uten

metanavbrenning) kunne gi klimagassreduksjoner til rundt regnet 50 kroner per tonn CO₂ (rundt 60 kroner om man ikke antar at energien erstatter gasskraft).

Plast i fyllinger nedbrytes svært langsomt, mens CO₂ frigjøres umiddelbart ved forbrenning. I et marked der den marginale energikilden er basert på ikke-fossile brensel synes derfor ikke forbrenning av plast å være et aktuelt klimapolitisk virkemiddel. Men under Energiutvalgets forutsetninger om kraftmarkedet, vil kostnaden per tonn CO₂ være negativ ved forbrenning av plast jamført med deponering, da forbrenning innebærer lavere økonomiske kostnader. I tillegg får man en positiv klimaeffekt ved at det organiske materialet erstatter andre utslipp, noe som bare delvis skjer for den delen av metangassen som brennes i avfallsfyllinger. Plast utgjør imidlertid en mindre andel av de totale avfallsmengdene, og forbrenning av plast representerer derfor et begrenset potensiale for klimagassreduksjoner.

Redusert generering av avfall

En annen måte å redusere mengdene til deponering på er å hindre at avfall oppstår. Aktuelle virkemidler i denne sammenhengen er avgifter som på ulike måter gir insentiv til mindre bruk av materialer som før eller senere ender opp som avfall. For eksempel blir kommunene oppfordret til å bruke differensierte avfallsgebyrer for å stimulere til å redusere mengden avfall til sluttbehandling. Disse oppfordringene har ikke vært tilstrekkelige for å påvirke avfallsmengdene (Hass 1997) og avfallsgebyrene er generelt utformet uten at de belønner til redusert avfallsproduksjon hos husholdningene. Sluttbehandlingsavgiften på avfall kan også motivere til mindre avfallsgenerering.

Avgifter for å redusere avfallsgenereringen vil kunne gi mindre deponering, men vil også medføre kostnader for andre sektorer i økonomien. Bruvoll (1998b) viser at en generell avgift på råvarer (papir og plast) ikke bare reduserer avfallsmengdene men også andre miljøutslipp. Den totale miljøgevinsten, som først og fremst skriver seg fra andre utslipp enn utslipp fra avfallssektoren, er høyere enn kostnadene i form av redusert produksjon og konsum. Klimagasseffekten er imidlertid uklar. En avgift på

Tabell 6. Kostnader ved reduksjon av metangassutslipp i kroner per tonn og reduksjonspotensiale i millioner tonn CO₂-ekvivalenter.

Tiltak	Kostnad
Kompostering av våtorganisk avfall	1 150 - 1 300 kroner
Forbrenning av avfall	Papir: 50 kroner Plast: negativ
Avbrenning av metan	Papir: rundt 60 kroner Plast: rundt 400 kroner
Metanoksidasjon	20 - 50 kroner

materialbruk er et indirekte virkemiddel i forhold til deponigasser, og det må trolig relativt høye avgifter til for å gi en relevant effekt på klimagasser alene.

Avbrenning av metan

I dag deponeres 40-50 prosent av avfallet på fyllplasser med metanavbrenning. I St meld nr 29 forutsettes at de fleste større fyllplasser har installert gassuttak i løpet av 1999, og at om lag 70 prosent av årlig deponert mengde avfall da vil ligge på fyllplasser med gassuttak. Dagens teknologi fanger opp om lag 20 prosent av metanutslippene fra anlegg med metanavbrenning, og man regner med at effekten i 2010 kan øke til 30-40 prosent. Med utgangspunkt i Bruvoll (1998b) vil man kunne oppnå klimagassreduksjoner til rundt 60 kroner per tonn CO₂ for papiravfall, gitt at metanavbrenning erstatter fossile brensel (70 kroner per tonn om energien ikke erstatter fossile brensel). For plastavfall er metangassutslippene små grunnet lav nedbrytning, og kostnaden er dermed relativt høy; rundt 400 kroner per tonn CO₂.

Metanoksidasjon

Dekksjikt på deponi som i utgangspunktet er lagt av estetiske grunner har vist seg å fungere som et oksidasjonssjikt for en del av metanen som dannes i fyllingene. Et optimalt dekkjikt består først av et porøst materiale som fordeles metangassen jevnt før den trekker gjennom oksidasjonssjiktet. Oksidasjonssjiktet skal legge til rette for metanoksiderende mikroorganismer. Det pågår forsøk der en kompost av bark og kloakkslam ser ut til å være lovende (Slyngstad 1998b)⁶. Der det legges til rette for sikker gasshåndtering behøver ikke utslippene av metan under oppfylling av deponiet å bli særlig stort. Metoden er forholdsvis ny og under utprøving, og effekten av metoden er derfor usikker.

Metanoksidasjon kan være rimeligere enn metanavbrenning. Slyngstad (1998a) hevder at en mellomstor kommune kan spare totalt 4-7 mill. kroner (investerings- og driftsutgifter) ved metanoksidasjon fremfor avbrenning av metan. Holdhus (1998) anslår kostnaden til dekkjikt, inkludert innkjøp og utlegging av materiale tilsatt næringsstoffer, til maksimalt 1200 kroner per m³. Men for egnet avfall, som for eksempel hageavfall/rivningsavfall tilsatt næringsrikt avløpsslam, vil kostnaden i praksis bortfalle for selve materialet, og kostnaden vil være knyttet til selve blande- og utleggingskostnadene, anslått til 2-300 kroner per m³. Ved en fylling på 10 meter og med et dekkjikt på 0,5 meter til en kostnad av 1200 kroner per m³, vil kostnaden for metanreduksjon variere mellom 25 og 45 kroner, målt per tonn CO₂-ekvivalenter. Disse relativt lave kostnadstallene støttes av andre studier. I en større litteraturgjennomgang omkring deponigass konkluderer Haarstad (1998) med at metangassutslipp fra avfallsfyllinger kan reduseres eller til og med elimineres ved relativt enkle teknikker for metanoksidasjon.

6 Det er planlagt forsøk med andre masser i samarbeid mellom Institutt for Jord- og Vannfag ved NLH og Hjøllnes COWI.

Kostnadstallene (25 og 45 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter) forutsetter metanpotensiale på henholdsvis 130 og 83 kilo per tonn avfall, se tabell 5. Det vil si at desto høyere metanpotensiale, desto større del av klimareduksjonene kan man ta på avfallssiden og til desto lavere kostnader per tonn. Men dersom metanpostensialet og problemet med metan er overvurdert, som det argumenteres for fra flere hold, er det mindre klimagassreduksjoner å hente fra avfallsdeponi og til en høyere kostnad per enhet.

Avgiftsberegninger for norsk økonomi

Vi så foran at metan utgjorde en om lag like stor andel av de totale klimagassutslipp i Norge som i Annex I for øvrig. Betydningen av inkludering av metan i Kyotoprotokollen vil være avhengig av endringen i de marginale kostnadene ved utslippsreduksjoner av andre gasser. I forbindelse med Energiutvalgets utredning gjennomførte Statistisk sentralbyrå noen beregninger av konsekvensene for norsk økonomi og klimagassutslipp som følge av å innføre ulike avgiftsnivåer på CO₂ i Norge (Bye, Johnsen, Aune og Hansen 1998). Nedenfor viser vi tre virkningsberegninger fra denne studien, der vi analyserer effekten av en internasjonal kvotepris på 200 kroner under ulike forutsetninger om unntak og krav til utslippsreduksjoner, se tabell 7. Vi gjør også noen vurderinger av hvilken av disse som antakelig kan være mest sammenlignbar med andre land i gjennomsnitt.

Utslippene av klimagasser i *referansebanen* i Energiutvalget med nye fremskrivninger av metanutslipp er mindre enn hva St meld nr 29 antyder. Utslippene av klimagasser øker med vel 22 prosent fra 1990 til 2020. Spesielt øker utslippene av CO₂ mye (40 prosent). Utslippene av metan går i følge de reviderte beregningene noe ned, spesielt i forhold til dagens nivå. CO₂ får altså en stadig større andel av de totale klimagassutslipp. Hvis tilsvarende gjelder for de andre landene, kan det bety at en rimelig reduksjon av utslipp av andre gasser blir oppveid av sterk økning i CO₂-utslippene. Dette antyder også at ved senere eventuelle tilstramminger av Kyotoprotokollen vil marginalkostnaden ved CO₂-reduksjoner bli viktigere for kvoteprisen for klimagasser.

I det *kostnadseffektive* alternativet har en antatt at alle CO₂-utslipp i Norge får en avgift på 200 kroner per tonn. Det vil si at de sektorer som i dag har høyere avgift enn 200 kroner får en reduksjon i sin avgift, mens de sektorer som har lavere eller er fritatt for avgift får en økning i avgiften. De makroøkonomiske beregningene viste da en tilnærmet uendret økonomisk vekst. Utslippene av klimagasser reduseres med nesten 10 millioner tonn, eller 21 prosent, noe som gir en økning i klimagassutslipp fra 1990 på om lag 3,5 prosent. Hovedårsaken til den kraftige reduksjonen er at en i referansebanen har et relativt stort innslag av gasskraft med store CO₂-utslipp mens gasskraft ikke vil være lønnsomt i det kostnadseffektive alternativet. Energioppdekningen her vil skje med noe større vannkraftutbygging. Den største effekten kommer imidlertid gjennom reduksjon av kraftforbruket spesielt i den kraftintensive industrien, som vil bli stilt overfor høyere kraftpriser.

En reduksjon av metanutslippene med anslagsvis 50 prosent i forhold til i tabell 7 vil bety en ytterligere reduksjon på om lag 3,8 millioner tonn. Da vil totalutslippene i 2020 ligge om lag 3,5 prosent under 1990 nivå. Dette kan antyde at 200 kroner vil være en for høy kvotepris for å oppnå en internasjonal reduksjon på 5,2 prosent, da det er vanlig å anta at det er dyrere å redusere utslipp i Norge enn i gjennomsnitt internasjonalt. På den annen side gjenspeiler den kostnadseffektive beregningen en situasjon med relativt store substitusjonsmuligheter i norsk økonomi, både på tilgangssiden for kraft (vann og andre fornybare mot gass) og på etterspørselssiden for elektrisitet (kraftintensiv industri reduseres sterkt). Store substitusjonsmuligheter betyr lave marginalkostnader ved reduksjon av klimagassutslippene.

Hvis den *kraftintensive industrien unntas* for avgifter på klimagasser vil reduksjonen i utslippene bli mindre (se industri unntatt i tabell 7). Fortsatt vil imidlertid utslippene reduseres relativt mye ved at gasskraft faller ut. I stedet blir kraften importert fra andre land. Hvordan det går med utslippene i disse landene vil være avhengig av deres klimapolitikk. Her har en forutsatt at alle land innfører en avgift på 200 kroner per tonn CO₂. Ved en reduksjon av metanutslippene med 50 prosent vil de norske utslippene øke med 4 prosent fra 1990. Dette er en situasjon hvor substitu-

Tabell 7. Norske klimagassutslipp i ulike scenarier, millioner tonn CO₂-ekvivalenter

	1990	1996	2000			
			Referanse	Kost. Effektiv	Industri unntatt	Skjerpet Kyoto
CO ₂	35,5	41,1	49,8	39,5	42,1	38,4
Metan ¹	9,3	7,7	7,8	7,7	7,7	7,7
Lystgass	5,7	5,6	5,3	5,3	5,4	5,3
Andre gasser	4,7	2,1	4,5	4,5	4,5	4,5
Totalt	55,1	56,5	67,4	57,0	61,1	55,9

¹ Totale mengder metan fra avfallsdeponi og andre kilder. 1990-tall fra Statistisk sentralbyrå (1998). På bakgrunn av de nye fremskrivingene i avfallsmengder er metanprognosene endret i forhold til Energiutredningen. Det er forutsatt et metanpotensiale på 83 kilo metan / tonn avfall, se tabell 5. Metanpotensialet er meget usikkert.

sjonsmulighetene på etterspørselssiden er vesentlig mindre enn i det kostnadseffektive alternativet, men hvor det fortsatt er store substitusjonsmuligheter på tilgangssiden for kraft.

Hvis det er dyrere å redusere utslipp i Norge enn i andre land, kan en konkludere med at en internasjonal kvotepris kan ligge under 200 kroner per tonn CO₂, gitt at en skal oppfylle Kyotoprotokollen. Imidlertid er det langt fra sikkert at forutsetningen om billigere tilpasning i andre land er riktig med det høye nivået på gasskraft som ligger inne i referansebanen og med de store substitusjonsmulighetene på etterspørselssiden som er antatt i ett av alternativene. Det er derfor interessant å se hva en kan oppnå på marginen i Norge uten at gasskraft er inne. I alternativet *skjerpet Kyoto* har en innført en kostnadseffektiv avgift på 400 kroner. Dette kan illustrere en situasjon hvor gasskraft er ute – den forsvinner med en avgift på 200 kroner – men hvor det fortsatt er stor fleksibilitet på etterspørselssiden ved at store deler av den kraftintensive industrien fortsatt er inne. Vi ser at i dette tilfellet blir de samlede klimautslipp redusert med kun om lag 1 million tonn i forhold til det kostnadseffektive tilfellet med 200 kroner i avgift.

Det er ikke opplagt at det er vesentlig dyrere å redusere utslipp av klimagasser i Norge enn i andre land på lang sikt. For det første vil gasskraft relativt lett bli erstattet med alternativ teknologi under klimaavgifter. For det andre gjør vi det unødig dyrt å fjerne klimagassutslipp i Norge ved å skjerme store deler av økonomien mot kostnadene ved utslippene. Ved store substitusjonsmuligheter vil altså en kvotepris på om lag 200 kroner per tonn CO₂-ekvivalenter ligge i nærheten av den nødvendige kvoteprisen for å oppnå en stabilisering eller en 5 prosent reduksjon av utslippene av klimagass. Spesielt gjelder dette hvis metan kan reduseres i et betydelig omfang til en kostnad som er lavere enn dette. Mindre substitusjonsmuligheter gir imidlertid vesentlig større kostnader eller vesentlig mindre effekt på utslippene ved samme kvotepris.

Oppsummering

Det er betydelig usikkerhet knyttet til hva en internasjonal kvotepris for klimagasser må være for å oppfylle Kyotoprotokollens utslippskrav. Det er dermed også usikkert hvilke marginalkostnader ulike forurensere i Norge vil stå overfor i tiden fremover. Mange tidlige studier har beregnet relativt høye kostnader ved stabilisering av CO₂-utslipp internasjonalt. Kyotoprotokollen har imidlertid introdusert flere gasser, og nyere studier antyder svært lave kostnader ved stabilisering av de *samlede* klimagassene. Dette antydes også i St meld nr 29.

Det er to nye elementer i de siste studiene. For det første viser fremskrivningen i basisbanen mindre utslipp enn tidligere. Videre antas det at andre gasser enn CO₂ kan reduseres i et betydelig omfang og til lave kostnader. Dette gjelder spesielt metan, som er den største av disse.

Nyere fremskrivninger for Norge viser at avfallsmengdene øker mer enn tidligere antatt. Samtidig kan metanutslippene fra avfallsdeponi være overvurdert, og metanens betydning i klimagass-sammenheng kan være noe mindre enn tidligere anslått for Norges del.

Med utgangspunkt i norske analyser er det også grunn til å tro at metanutslippene kan reduseres betydelig til relativt lave kostnader. Dette kan medføre lave kvotepriser på kort sikt. På lenger sikt kan en tenke seg strengere utslippskrav og dermed høyere kvotepriser. Da vil CO₂ bety relativt mer for kvoteprisen i forhold til de andre gassene.

Nyere fremskrivninger av utslipp i verden viser vesentlig sterkere økning i utslippene enn lagt til grunn i forkant av Kyotoforhandlingene. Basisberegningen for utslipp fremover vil være avgjørende for hvor høye kvotepriser en kan få i kvotemarked under restriksjoner om utslipp fastsatt i Kyotoprotokollen.

Beregninger for to ”verdener” – en med store og en med små substitusjonsmuligheter – antyder svært forskjellige nødvendige kvotepriser for å oppnå en stabilisering av utslipp av klimagasser. Det er ikke opplagt at Norge i alle henseende kan sies å være et dyrt land å redusere utslipp av klimagasser. Tvert i mot er det elementer på tilbuds- og etterspørselssiden som kan antyde at det er billig å redusere utslipp i Norge. Det argumenteres for at en internasjonal kvotepris på 200 kroner som benyttet i Energiutredningen kan være en god illustrasjon på hva som vil være nødvendig for å oppfylle Kyotoprotokollens utslippsmål internasjonalt.

Referanseliste

- Alfsen, K. (1998): *Kyoto-avtalen: Hva kan Norge gjøre?* Working Paper 1998:1, Center for International Climate and Environmental Research.
- Alfsen, K., B. Holtsmark og A. Torvanger (1998): *Kjøp og salg av klimagasskvoter. Noen mulige konsekvenser av Kyotoprotokollen*, Working Paper 1998:2, Center for International Climate and Environmental Research.
- Bruvoll, A. (1998a): *Om gjenvinning som kostar meir enn det smakar*, Sosialøkonomen 1998, 3, 8-15.
- Bruvoll, A. (1998b): *Taxing virgin materials: an approach to waste problems*, *Resources, Conservation and Recycling* 22 (1-2), 15-29.
- Bruvoll, A. og K. Ibenholt (1995): *Norske avfallsmengder etter årtusenskiftet*, Rapport 95/31, Statistisk sentralbyrå.
- Bye, T., B. Bye og L. Lorensten (1989): *SIMEN, Studier av industri miljø og energi fram mot år 2000*, Fabritius Forlag.
- Bye, T. (1997): *Fleksibel gjennomføring av en klimaavtale*, Mimeo, Statistisk sentralbyrå.

- Bye, T., T. A. Johnsen, F. A. Aune, og M. I. Hansen (1998): Energiproduksjon og forbruk i Norge mot 2020, vedlegg 3 i NOU 1998:1 *Energi og Kraftbalansen mot 2020*.
- Dean, A., and P. Hoeller (1992): Costs of reducing CO₂: Evidence from six global models. Economics Department Working Papers No. 122, OECD.
- Grubb, M., and C. Vrolijk (1997): Defining and trading emission commitments in the Kyoto agreement, paper presented at RIIA workshop on "Defining and trading emission commitments in the Kyoto agreement" 2-3.9.97.
- Hass J. (1997): *Household recycling rates and solid waste collection fees*, Rapporter 97/25, Statistisk sentralbyrå.
- Holdhus, O. (1998): Personlig meddelelse, Jordforsk, Ås.
- Haarstad K. (1998): Methane in landfills, production, oxidation and emissions, Jordforsk, Ås.
- Hourcade, J.C. et al (1996): "A Review of Mitigation Cost Studies" i J.P. Bruce, H.Lee and E.F. Haites (eds.) *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, New York University, Cambridge Press, 297-306.
- InterConsult Group ASA (1998): Samfunnsøkonomi våtorganisk avfall, Notat.
- Johnsen, T. A., B. M. Larsen og H. T. Mysen (1997): *Economic impacts of a CO₂ tax*, Sosiale og økonomiske studier 96, Statistisk sentralbyrå.
- Jorgenson, D.W. og P.J. Wilcoxon (1990): Global change, energy prices and U.S. economic growth, Discussion Paper 1511, Harvard Institute of Economic Research, Harvard University, Cambridge, MA.
- Lagerkvist, A. (red.) (1998): The coordinated landfill gas project, RVF Rapport 97:7, "www.sb.luth.se/ut".
- Moum, K. (red.) (1992): *Klima, økonomi og tiltak*, Rapporter 92/3, Statistisk sentralbyrå.
- NOU (1996:9): *Grønne skatter – en politikk for bedre miljø og høy sysselsetting*, Finansdepartementet, Oslo: Akademi-ka.
- NOU (1998:1): *Energi og kraftbalansen mot 2020*, Olje- og energidepartementet, Oslo: Akademi-ka.
- Schmalensee, R., T. M. Stoker, and R. A. Judson (1998): World Carbon Dioxide Emissions 1950-2050, *The Review of Economics and Statistics*, MIT, 15-27.
- Slyngstad, B. (1998a): Hvordan kontrollere metangass fra avfallsdeponi? En alternativ metode, Notat presentert ved Avfallskonferansen i Ålesund 20.4.98.
- Slyngstad, B. (1998b): Personlig meddelelse.
- Statens forurensningstilsyn (1998): Prognoser metanutslipp fra deponi, Notat, 19.2.98.
- Statistisk sentralbyrå (1994): *Naturressurser og miljø 1993*, Statistiske analyser 3.
- Statistisk sentralbyrå (1998): *Naturressurser og miljø 1998*, Statistiske analyser 23.
- St.meld. nr. 29 (1997-1998): *Norges oppfølging av Kyoto-protokollen*, Miljøverndepartementet, 1998.