



BJART HOLTSMARK
Forsker i Statistisk sentralbyrå

Internasjonalt klimasamarbeid: Hvorfor skjer det så lite?*

Verdenssamfunnet har foreløpig ikke klart å samle seg om store kutt i klimagassutslippene. Kyoto-avtalens bidrag vil bli helt marginalt, og forhandlingene om en oppfølgeravtale står i stampe. Denne artikkelen anvender enkel spillteori som illustrerer hvor vanskelig det er å få bred internasjonal tilslutning til en effektiv klimaavtale. Artikkelen anvender også spillteorien for å vise at unilaterale løfter om omfattende utslippskutt, slik Norge har kommet med, kan tenkes å gjøre det vanskeligere, ikke lettere, å få til omfattende utslippskutt globalt. Artikkelen forutsetter ingen forkunnskaper i spillteori.

1 INNLEDNING

Omtrent 20 år er gått siden klimaproblemet for alvor kom på den politiske dagsorden. Advarslene om at den raskt økende konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren kan få farlige irreversible konsekvenser har i alle fall ikke blitt tonet ned i løpet av disse årene.

Samtidig er det all grunn til å tro at kostnadene ved å redusere utslippene i størrelsesorden 50 – 75 prosent er overkommelige. Selv med relativt høye anslag på kostnadene ved utslippsreduksjoner, vil neppe kostnadene ved å redusere utslippene dramatisk overstige 2-3 prosent av bruttonasjonalproduktet. Ikke minst vil det i prinsippet

være forbundet med svært må kostnader å stoppe den tragiske og meningsløse ødeleggelsen av tropeskogene, som står for godt over 25 prosent av CO₂-utslippene.

Likevel skjer det lite for å begrense utslippene. Det som skjer er i stor grad av kosmetisk natur mer egnet for å gi oss et snev av god samvittighet. Kvotepreisen i EU-markedet har for eksempel falt ned mot null, og de nasjonale utslippskvotene i Kyoto-avtalen er så romslige at man trolig vil oppleve en kollaps i det markedet også, om det i det hele tatt blir noe velfungerende kvotemarkedet innenfor rammene av Kyoto-avtalen.¹ Uansett omfatter Kyoto-avtalen mindre enn 30 prosent av de globale utslippene, en andel som er

* Takk til Geir B. Asheim, Jon Hovi og en anonym referere som alle har gitt en rekke gode og viktige kommentarer til utkast.

¹ Kvotepreisen for EU-markedets andre periode, 2008-2012, er i skrivende stund rundt 200 kroner/tonn, og vil kanskje av mange betraktes som et bevis på at det skjer noe. Men for det første dekker EUs kvotemarked omtrent 10 prosent av globale utslipp. For det andre ligger trolig marginale renskekostnader i EU under kvotepreisen, da systemet med gratiskvoter tilsier at de kvotepflichtige bedriftene er forsiktige med å redusere sine utslipp for ikke å miste gratiskvoter i neste runde, se Rosendahl (2007).

raskt fallende. Og samtidig står forhandlingene om en mer effektiv oppfølgeravtale i stampe. USA vil ikke være med på en ny Kyoto-avtale før toneangivende u-land som India og Kina blir med, mens India og Kina på sin side henviser til at industrilandene har langt større utslipp per hode og dessuten har sluppet ut store mengder klimagasser lenge før utslippene fra u-landene ble av betydning.

Vi kan kort sagt konstatere at til tross for relativt bred enighet om at man står overfor et problem, har ikke det internasjonale samfunn klart å samle seg om en strategi for omfattende utslippsreduksjoner.

I denne artikkelen vil jeg anvende noen spillteoretiske modeller som illustrerer hvorfor det ikke er så enkelt å få til effektive avtaler om å redusere klimagassutslippene. Hovedproblemet er at det er svært gunstig å være gratispassasjer til andre lands utslippsreduksjoner og dermed blir det vanskelig å etablere en koalisjon av land som avtaler omfattende utslippsreduksjoner.

Et viktig formål med artikkelen er også å vise at man neppe får gjort noe vesentlig med klimaproblemet uten internasjonale avtaler. Den politiske debatten i Norge og EU preges nå av en tro på at enkeltland eller mindre grupper av land på egenhånd bør gå foran «som et godt eksempel» i en tro på at da kommer andre etter. Jeg vil argumentere for at det er godt mulig at verden er skrudd sammen på en måte som gjør at slik alenegang tvert imot kan gjøre det *vanskeligere* å få til en dyptgripende internasjonal avtale (Hoel 1990).

Internasjonale klimaavtaler er et stort forskningsfelt, og jeg har ingen ambisjoner å gi et dekkende bilde av denne forskningen i denne artikkelen. Jeg begrenser meg for eksempel til å se på avtaler som gir landene nasjonale utslippskvoter, slik man har i Kyoto-avtalen. Jeg drøfter derimot ikke avtaler som i stedet forplikter landene til å implementere visse *virkemidler*, for eksempel karbonavgifter, se for eksempel Hoel (1997). I de senere årene har også behovet for å se på sammenhengen mellom virkemidler, avtaler og teknologisk utvikling kommet mer i fokus, se for eksempel Golombek og Hoel (2005).

Artikkelen er disponert som følger: Avsnitt 2 - 4 anvender en statisk spillmodell for å illustrere betydningen av internasjonale avtaler, men viser samtidig hvor skjøre slike

avtaler er ettersom det for enkeltland er mye å vinne på å være gratispassasjer til andre lands utslippsreduksjoner. Den statiske modellen illustrerer også hvor avhengig man er av store koalisjoner for å få tilstrekkelig store utslippskutt (dybde i samarbeidet).

Modellen anvendes i tillegg for å belyse på hvilken måte internasjonalt klimasamarbeid kan tenkes å bli påvirket av at ett land signaliserer at det på ensidig basis, altså uavhengig av en eventuell internasjonal avtale, vil foreta omfattende utslippskutt på egen hånd.

I avsnitt 5 introduseres et dynamisk spill som illustrerer hvordan man kan sikre at en internasjonal avtale med bred deltakelse blir fulgt opp av partslandene. Her spiller en meget tøff straffemekanisme mot juksing en avgjørende rolle.

2 ET KLIMASPELL MED TO LAND

Anta i første omgang at verden består av to identiske land, 1 og 2. Definer r_1 og r_2 som utslippsreduksjonen i henholdsvis land 1 og 2. Den globale utslippsreduksjonen blir da $r_1 + r_2$. Utslippsreduksjoner er et kollektivt gode slik at hvert land får en gevinst av summen av utslippsreduksjonene. Vi antar at gevinsten av utslippsreduksjoner er lineært stigende som $b(r_1 + r_2)$, der b er en positiv parameter.²

Når vi her snakker om gevinst av utslippsreduksjon, tenker vi på gevinsten av at man får *mindre* ødeleggelser fra tørke/varme og *mindre* kostnader i forbindelse med at man må tilpasse seg et stigende havnivå osv, dersom man reduserer utslippene.

Når det gjelder *kostnadene* som påløper dersom et land velger å foreta utslippsreduksjoner, antar vi at disse vokser kvadratisk med rensenivået. Kostnadene dersom land i skal redusere utslippene med r_i enheter er $(c/2)(r_i)^2$, der c er en positiv parameter. Det innebærer en forutsetning om relativt raskt stigende marginale renseskostnader. Det er mulig at marginale renseskostnader i virkeligheten ikke stiger fullt så raskt. I så fall bør det være mulig å få i stand avtaler med noe større deltakelse (større stabile koalisjoner) enn jeg kommer frem til i denne artikkelen, men kvalitativt sett er resultatene i artikkelen robuste overfor valg av parameterverdier.

² Skaden av utslipp, og gevinsten av utslippsreduksjoner, er neppe lineære i forhold til utslippene. Men det er ikke opplagt at dette er en veldig dårlig tilnærming.

Matrise 1

		Land 2 - valg av rensenivå							
		0	1	2	3				
Land 1 - valg av rensenivå	0	0	0	1	0,5	2	0	3	-1,5
	1	0,5	1	1,5	1,5	2,5	1	3,5	-0,5
	2	0	2	1	2,5	2	2	3	0,5
	3	-1,5	3	-0,5	3,5	0,5	3	1,5	1,5

Hvert enkelt land får nå følgende nettogevinst, heretter kalt payoffs:

$$v_i = b(r_1 + r_2) - (c/2)(r_i)^2, \quad i = 1, 2.$$

For den analysen som følger er resultatene upåvirket av hvilke verdier vi setter på b og c . For å forenkle ytterligere, antar vi derfor at $b = c = 1$. Da blir payoffs som følger:

$$v_1 = r_1 + r_2 - 1/2 (r_1)^2, \quad (1)$$

$$v_2 = r_1 + r_2 - 1/2 (r_2)^2. \quad (2)$$

Konsekvensene av spillernes ulike valg er beskrevet i matrise 1, der det første tallet i hver celle viser payoff til land 1 og det andre tallet payoff til land 2.

Hvis begge landene velger å droppe rensing, påløper det ingen renseskostnader, men heller ikke noen gevinster.³ Følgelig får begge land en payoff på 0, se cellen øverst til venstre.

Men dette er ikke noe godt valg. Anta at land 2 ikke velger noe rensing. Hva er da beste strategi for land 1? Hvis land 1 reduserer utslippene med én enhet, ser vi fra (1) at renseskostnaden blir 0,5, mens gevinsten blir 1. Følgelig blir landets payoff 0,5. Øker land 1 utslippsreduksjonen til to, faller landets payoff tilbake til 0. Årsaken er at marginale renseskostnader nå er blitt større og overstiger marginalgevinsten av å rense. Følgelig vil land 1 være best tjent med å redusere sine utslipp med én enhet. Og ved en nærmere granskning av matrise 1, ser vi at uansett hva

land 2 gjør, vil land 1 komme best ut ved å redusere sine utslipp med én enhet. For land 1 er det altså en dominant strategi å redusere utslippene med én enhet.

I og med at land 1 og 2 er like, må dette argumentet gjelde land 2 også. Følgelig kan vi slutte oss til at uansett hva land 1 gjør, vil land 2 komme best ut ved å redusere utslippene med én enhet.

Av dette kan vi trekke den konklusjon at uten noe samarbeid vil begge landene velge å redusere utslippene med én enhet, og begge får en payoff på 1,5. Dette er en Nashlikevekt.

Men vi ser også at begge land vil komme bedre ut hvis begge land reduserer med to enheter. Anta at hvis spiller 1 får løfter fra spiller 2 om at hvis spiller 1 øker rensingen fra én til to enheter, så gjør spiller 2 det samme. Da blir land 1 sin gevinst av å øke rensingen fra én til to enheter to, og følgelig overstiges merkostnadene av mergevinsten.

At begge landene tjener på å være med på en avtale om å redusere med to enheter, legger et godt grunnlag for å få i stand en avtale. Hvis vi antar at dette er et spill som gjentas uendelig mange ganger, kan begge land fremsette troverdige trusler om å redusere rensenivået til én enhet på permanent basis dersom den andre parten ikke overholder avtalen.⁴ Følgelig vil en slik avtale kunne fungere.

Men vi ser at en avtale om ytterligere utslippsreduksjoner ikke vil være lønnsom. Dersom land 1 og 2 for eksempel velger å avtale å redusere utslippene med tre enheter, vil

³ Selv om det egentlig er misvisende, bruker jeg for enkelthets skyld uttrykket «rense». CO₂-fangst og lagring kan jo betegnes som en form for rensing. Men for øvrig er det mer aktuelt å redusere utslipp ved energisparing, overgang til andre energiformer osv. Det er egentlig slike tiltak jeg sikter til når jeg snakker om rensing.

⁴ I og med at spillerne i hver periode velger utslippsnivå simultant, vil brudd på avtalen om å rense to enheter, kunne utløse den andre spillerens straff i de påfølgende periodene. Anta for eksempel at spiller 1 bryter avtalen i periode t og at begge spillerne vender tilbake til på rense én enhet fra og med periode $t+1$. Det vil gi spiller 1 følgende payoffs: 2,5, 1,5, 1,5, Alternativet ville vært å fått payoffs på 2 i hver periode. Dersom diskonteringsfaktoren er større enn 0,5, vil partene vært tjent med å holde avtalen.

Matrise 2

		Land 3 - valg av rensenivå											
		1			2			3			4		
Land 1 og 2 - valg av rensenivå	1	2,5	2,5	7,5	3,5	2	9	4,5	0,5	9,5	5,5	-2	9
	2	3	4,5	10,5	4	4	12	5	2,5	12,5	6	0	12
	3	2,5	6,5	11,5	3,5	6	13	4,5	4,5	13,5	5,5	2	13
	4	1	8,5	10,5	2	8	12	3	6,5	12,5	4	4	12

de falle ned til et payoffnivå på 1,5 fordi de marginale renseskostnadene overstiger klimagevinsten.

3 KLIMASPILL MED TRE OG FIRE LAND

Spillet i forrige avsnitt illustrerte at dersom verden hadde bestått av to land, burde det vært gode muligheter for å få i stand en avtale om utslippsreduksjoner. I dette avsnittet skal vi se at det ikke alltid er like enkelt å få til hvis verden består av flere land.

Anta at det er n identiske land som hver har payoff:

$$v_i = b(r_1 + r_2 + \dots + r_n) - (c/2)r_i^2 \quad (3)$$

der r_i er rensing i land i . Fortsatt antar vi at $b=c=1$. Resultatene også i fortsettelsen er helt upåvirket av valg av parameterverdier. Da kan landenes payoff skrives som følger:

$$v_i = r_1 + r_2 + \dots + r_n - 1/2 r_i^2. \quad (4)$$

Det er lett å vise at hvis alle n land blir enige om å redusere utslippene med n enheter, kommer alle land så bra ut som det er mulig å komme. Det vil gi hvert enkelt land en payoff på $1/2 n^2$.⁵

For å illustrere hvor vanskelig det kan være å få i stand en avtale mellom alle land med et så ambisiøst rensenivå, ser jeg først på mulighetene til å få med tre eller fire land på en avtale om hva som blir dybden i et slikt samarbeid.⁶

Matrise 2 illustrerer situasjonen når $n=3$ samtidig som land 1 og 2 har en avtale om å holde et felles utslippsnivå. Tallene til venstre i cellene viser payoff til land 1 og 2 (hver for seg), mens tallet midt i cellene representerer payoff til

land 3. Her har jeg droppet å ta med muligheten for å velge null rensing, da det uansett er en uaktuell strategi. Tallene nederst til høyre i hvert cellehjørne er summen av de tre landenes payoff.

I første omgang tenker vi oss at land 1 og 2 avtaler en utslippsreduksjon på 2. Land 3 er i utgangspunktet gratispassasjer til denne avtalen og har en payoff på 4,5 hvis det velger en utslippsreduksjon på én enhet. Men land 1 og 2 ønsker å få land 3 med på avtalen. Hvis man opprettholder avtalens renskrav på to utslippsenheter, vil land 3 falle ned til en payoff på fire ved å slutte seg til avtalen. Skal det være aktuelt for land 3 å slutte seg til avtalen, må det derfor innebære at man justerer opp utslippsreduksjonene til tre. Da ser vi at land 3 vil komme like bra ut ved å være med på avtalen som å være gratispassasjer på den gjeldende avtalen. Hvis land 3 ikke er helt «umulig», må det følgelig, litt løst formulert, være mulig å få i stand en avtale mellom de tre landene om en utslippsreduksjon på tre enheter.

En avtale mellom disse tre landene med høyere rensenivå enn tre vil ikke være noen god løsning for partene. Vi ser for eksempel at dersom man øker rensingen til fire, vil payoff falle til fire for alle tre deltakere.

Matrise 2 kan også si noe om det er et lurt trekk av et land å annonsere store utslippskutt uavhengig av en internasjonal forpliktelse. Anta for eksempel at statsministeren i land 3 annonserer at landet vil redusere sine utslipp med tre enheter uansett hva land 1 og 2 gjør. Av matrise 2 ser vi at land 1 og 2 begge vil få en payoff på 4,5 om de følger opp og gjør som land 3. Men når de nå vet at land 3 vil redusere utslippene med tre enheter uansett, vil de komme best ut dersom de inngår en bilateral avtale seg imellom om å redusere utslippene med to enheter. Det vil gi dem en payoff på 5,0.

⁵ Settes rensenivået til $n-1$ eller $n+1$ får hvert enkelt land en payoff på $1/2 n^2 - 1/2$.

⁶ Med dybden i samarbeidet mener jeg hvor store utslippsreduksjoner man blir enige om.

Matrise 3

		Land 4 - valg av rensnivå														
		1			2			3			4			5		
Land 1, 2 og 3 - valg av rensnivå	1	3,5	3,5	14	4,5	3	16,5	5,5	1,5	18	6,5	-1	18,5	7,5	-4,5	18
	2	5	6,5	21,5	6	6	24	7	4,5	25,5	8	2	26	9	-1,5	25,5
	3	5,5	9,5	26	6,5	9	28,5	7,5	7,5	30	8,5	5	30,5	9,5	1,5	30
	4	5	12,5	27,5	6	12	30	7	10,5	31,5	8	8	32	9	4,5	31,5
	5	3,5	15,5	26	4,5	15	28,5	5,5	13,5	30	6,5	11	30,5	7,5	7,5	30

Resultatet av at statsministeren i land 3 annonserer kraftige utslippskutt i land 3 uansett hva man blir enige om internasjonalt, er at det kan bli vanskelig å få land 1 og 2 til å redusere sine utslipp med tre enheter. Den unilaterale politikken til land 3 fører altså til at den globale utslippsreduksjonen blir på syv enheter, mens det burde vært mulig å få en global utslippsreduksjon på ni enheter gjennom en internasjonal avtale.

La oss nå anta at det er fire land i verden ($n=4$) og at land 1, 2, og 3 har en avtale om å redusere deres utslipp. Den situasjonen avtalelandene og land 4 nå står overfor, er beskrevet i matrise 3.

Anta først at de tre avtalelandene har blitt enige om å rense tre enheter hver, mens land 4 velger én enhet, som er dette landets dominante strategi. Det vil gi de tre avtalelandene payoffs på 5,5, mens land 4 får en payoff på 9,5. Summen av de fire landenes payoffs blir følgelig 26. Dette er en god løsning for land 4, men for verden som helhet finnes det bedre løsninger. Dersom alle fire land velger å rense fire enheter, vil det gi en payoff på 8 til alle land, altså en summert payoff på 32. Høyere rensnivåer enn dette vil gi lavere samlet payoff og er derfor mindre aktuelt.

Problemet er at land 4 taper på å slutte seg til avtalen ved at landets payoff faller fra 9,5 til 8. Og i og med at de fire landene er like, er alle fire land i samme situasjon. For hvert enkelt av de fire landene vil det altså være en ideell løsning om de andre tre landene inngår en avtale om å redusere utslippene med tre enheter, mens man selv holder seg til én enhet. En koalisjon mellom alle fire land er altså ikke en stabil koalisjon.

Her kan man altså lett få en form for et chicken-game, der det gjelder å bli det landet som står utenfor en avtale. I en slik situasjon er det rasjonelt av myndighetene i hvert enkelt land å gi inntrykk av at de har liten interesse av eller direkte uvilje mot å bli med på en klimaavtale. Det er

umulig å si om det er noe i retning av et slikt spill vi ser i dagens virkelige verden der sentrale aktører som USA, Kina og India er lite villige til å bli forhandle om forpliktende avtaler. Denne oppførselen kan også forklares av andre strategiske avveininger.

Vi har altså fått det litt overraskende resultat at en koalisjon mellom tre land er stabil, mens en koalisjon mellom fire land er ustabil. I det følgende viser jeg at dette gjelder uavhengig av totalt antall land i verden. Det er lett å vise at resultatet også gjelder uavhengig av verdiene på parametrene på b og c , men det overlates til spesielt interesserte lesere.

Anta nå at det er n land og at k av disse har inngått en avtale om å redusere utslippene med k enheter. De øvrige $n-k$ landene reduserer utslippene med én enhet. La v_{sk} være payoff til et avtaleland hvis det er k deltakere, og la v_{nk-1} være payoff til land som ikke er med i avtalen dersom det er $k-1$ deltakere. Ved innsetting i (4) får vi da:

$$v_{sk} = k^2 + (n-k) - 1/2 k^2. \quad (5)$$

Anta nå at ett av landene trekker seg fra avtalen. De $k-1$ gjenværende avtalelandene vil da finne det regningsvarende å senke rensnivået til $k-1$, mens landet som trekker seg vil velge den dominante strategien, som er å rense én enhet. Landet som trekker seg fra avtalen vil da få følgende payoff:

$$v_{nk-1} = (k-1)^2 + (n-(k-1)) - 1/2. \quad (6)$$

Med litt omformulering får vi følgende sammenheng:

$$v_{sk} = v_{nk-1} + 1/2 (k-1)(3-k). \quad (7)$$

Hvis $v_{sk} > v_{nk-1}$ så lønner det seg å delta i avtalen, men hvis $v_{sk} < v_{nk-1}$ lønner det seg å trekke seg fra avtalen. Men da følger det fra (7) at hvis $k > 3$, så lønner det seg å trekke seg fra avtalen uansett størrelsen på n . Dette bekrefter resulta-

tet av drøftingen knyttet til matrise 3, der vi så at land 4 ville komme best ut som gratispassasjer til en avtale mellom land 1, 2 og 3.

Den kritiske leser vil nå stille spørsmål om hvor generelt dette resultatet er. Jeg har pekt på at verdien på parametrene b og c ikke spiller noen rolle.⁷ Men resultatet er følsomt for valg av kostnadsfunksjon for utslippsreduksjoner. Her har jeg valgt en kvadratisk kostnadsfunksjon, det vil si at en fordobling av rensenivå innebærer en fordobling av marginale renseskostnader. Som nevnt vil en forutsetning om at marginalkostnadene ikke vokser så raskt, innebære at man kan ha større stabile koalisjoner. Men innenfor rimelige anslag på eksponenten i kostnadsfunksjonen, som jeg har satt til 2, står man uansett over problematisk små stabile koalisjoner.

4 NUMERISK ILLUSTRASJON MED 20 LAND

Verdens 20 største land står for nær 80 prosent av de globale utslippene. Anta derfor at verden består av 20 like land som alle har payoff-funksjonen

$$v_i = r_1 + r_2 + \dots + r_{19} + r_{20} - \frac{1}{2} r_i^2, \quad i = 1, \dots, 20.$$

Et Pareto-effisient samarbeid i en verden på 20 land vil innebære at alle land reduserer utslippene med 20 enheter. Det ville gi alle land en payoff på 200 og global utslippsreduksjon ville bli på 400. Hvis det felles rensenivå settes høyere enn 20, blir payoff lavere enn 200. Settes rensenivået til 21 faller for eksempel payoff til 199,5. Og payoff blir også mindre en 200 om rensenivået settes lavere enn 20.

Uten noen form for samarbeid vil hvert enkelt land finne det regningssvarende å redusere utslippene med én enhet, noe som ville gi alle land en payoff på 19,5 og man ville få en global utslippsreduksjon på 20.

Anta at ett av landene, for eksempel land 1, annonserer at uansett hva de andre landene gjør, vil land 1 redusere utslippene med 20 enheter. De 19 øvrige landene møtes til forhandlinger om hva de skal gjøre i vissheten om at land 1 reduserer med 20 enheter uansett.

Hvis de 19 landene nå bestemmer seg for å følge opp utfordringen fra land 1 og redusere med 20, får de en payoff på 200, som vi så over. Men hvis de i stedet avtaler et

rensenivå på 19, får de 19 avtalelandene nå en payoff på 200,5, mens land 1 sitter igjen med en payoff på 181. Konsekvensen av at land 1 finner det formålstjenlig å gå foran med et godt eksempel, kan altså bli at ambisjonene i en internasjonal avtale blir mindre og den globale utslippsreduksjonen faller fra 400 til 381.

Men la oss igjen se på problemet med stabile koalisjoner. Jeg viste over at samarbeid med mer enn tre land kan være vanskelig, da det fjerde landet vil tjene på å være gratispassasjer. Og en avtale mellom tre land, som hver reduserer utslippene med tre enheter, blir puslete i denne sammenhengen. Man kan jo også tenke seg et sett med mange trelandsavtaler. Hvis $n=20$, kan man få seks trelandsavtaler og én tolandsavtale. Tilsammen involverer disse to avtalene alle landene. Det vil gi en global utslippsreduksjon på 56, noe som også er lite i forhold til det effisiente rensenivået på 400, og bare 36 enheter utover Nash-nivået på 20.

En ideell situasjon for hvert enkelt land ville være å bli gratispassasjer til en avtale mellom de andre 19 landene. De 19 deltakerlandene vil finne det lønnsomt å forplikte seg til en utslippsreduksjon på 19 hver, og få en payoff på 181,5. Gratispassasjeren renser én enhet og får en payoff på 361,5. Gratispassasjeren får altså en payoff som er omtrent dobbelt så stor som payoff til avtalelandene.

Men heller ikke 19 land er en stabil koalisjon. Hvis ett land bryter ut av koalisjonen, vil de 18 gjenværende senke ambisjonsnivået for avtalen til 18 og de vil hver få en payoff på 164. De to gratispassasjerene vil få payoffs på 325,5. Og slik kan man fortsette. Først når det er tre land igjen i avtalen, har man en stabil koalisjon.

Dette kan se ut som en håpløs situasjon. Men spørsmålet er om det likevel kan utformes avtaler med full deltakelse der det er lønnsomt å innfri sine forpliktelser. Neste avsnitt viser eksempel på en straffemekanisme som gjør det lønnsomt å innfri forpliktelsene i en Pareto-effisient global avtale.

5 EN PARETO-EFFISIENT AVTALE MED FULL DELTAKELSE

I dette avsnittet skal jeg innenfor samme modell som i foregående avsnitt vise eksempel på en avtale som

⁷ Hvis vi ikke setter verdier på b og c vil ligning (7) bli som følger: $v_{sk} = v_{nk-1} + \frac{1}{2} b^2 (k-1)(3-k)/c$, som viser at så lenge c er positiv, gjelder resultatet om at en koalisjon på mer enn tre land er ustabil.

Matrise 4 Likevektsbanen.

	Region A				Region B			
<i>Land nummer</i>	1	2	...	10	11	...	20	
<i>Rensing</i>	20	20	...	20	20	...	20	
<i>Periodiske payoffs</i>	200	200	...	200	200	...	200	
<i>Neddiskonterte gjennomsnittlige payoffs</i>	200	200	...	200	200	...	200	

gjennom en troverdig straffemekanisme sikrer dype utslippskutt. Jeg forlater diskusjonen av stabile koalisjoner. I stedet viser jeg at det finnes muligheter for å få en Pareto-effisient løsning som en delspillperfekt likevekt som også er reforhandlingsikker dersom diskonteringsraten er nær nok null. Analysen bygger på Asheim og Holtmark (2007), men et tilsvarende avtalekonsept er også analysert i Froyen og Hovi (2007).

Vi antar igjen at verden består av 20 like land. Men nå antar vi at de er fordelt med 10 land på hver av to regioner, A og B. Målet for et globalt samarbeid vil være å få alle land til å redusere utslippene med 20 enheter i hver periode. Lykkes dette, vil det gi hvert land en årlig payoff på 200 og en global payoff på 4000. Høyere global payoff er det ikke mulig å oppnå. Dette kan vi kalle for en likevektsbane, og situasjonen i hver periode i denne banen er oppsummert i matrise 4.

Her introduseres også begrepet gjennomsnittlig neddiskontert payoff. La $d=0,95$ være diskonteringsfaktoren. Landene neddiskonterer altså payoff én periode frem i tid med 5 prosent. Vi antar at spillet gjentas i uendelig mange perioder. Neddiskontert payoff i likevektsbanen blir da 4000 for hver enkelt spiller.

Multipliserer man neddiskontert payoff med $(1-d)=0,05$, får vi neddiskontert gjennomsnittlig payoff. Gjennomsnittlig neddiskontert payoff i likevektsbanen blir 200. Poenget med å bruke gjennomsnittlig neddiskontert payoff er å få et mål på den neddiskonterte payoff som er lett sammenlignbart med de periodiske payoffs. Hvis en serie med payoffs har en gjennomsnittlig neddiskontert payoff som for eksempel er høyere enn periodisk payoff i likevektsbanen, betyr det at den totale neddiskonterte payoff er høyere enn total neddiskontert payoff i likevektsbanen.

La oss anta at de 20 landene blir enige om å sette renseni-vået til 20, altså følge likevektsbanen. For det enkelte land

er det nå fristende å «jukse» ved å velge den dominante strategien i én-periodespillet, som er å rense én enhet. Hvis de andre 19 landene holder seg til avtalen og renser 20 enheter, får jukseren en payoff på 380,5, mens de andre landene får en payoff på 181,0.

Men jukset vil bli avslørt og utfordringen er å fastsette en straff som gjør at det ikke lønner seg å jukse, forutsatt at alle de andre landene følger avtalen. Avtalen må med andre ord være delspillperfekt. Men samtidig må truselen om å straffe være troverdig, det vil si reforhandlingsikker. Her legger jeg til grunn kravet om svak reforhandlingssikkerhet. Det krever at ikke *alle* land skal komme bedre ut hvis man dropper å gjennomføre straffen og heller fortsette i likevektsbanen. Poenget er at hvis ett eller flere land har fordel av at straffen gjennomføres i henhold til avtalens straffemekanisme, vil ikke de akseptere forslag om å glemme «snøen som falt i fjor» og droppe straffen.

I det følgende vil jeg beskrive en straffemekanisme som oppfyller begge disse to kriteriene, det vil si som både er delspillperfekt og svakt reforhandlingssikker. Denne mekanismen sier at hvis et land i region A jukser i periode t , så skal alle landene i region B redusere sin rensing til 1 i periode $t+1$, og omvendt hvis et land i region B jukser. Straffemekanismen forutsetter at landet som jukset i periode t , i likhet med alle de andre landene i regionen, renser 20 i periode $t+1$. Hvis så skjer, skal samtlige land i begge regioner være tilbake i likevektsbanen (rense 20 enheter) fra og med periode $t+2$.

Matrise 5 viser situasjonen dersom land 1 jukser i periode t . Når man kommer til periode $t+1$, vender land 1 tilbake i folden og renser 20 enheter, i likhet med alle de ni nabolandene i regionen. De 10 landene i region B reduserer derimot sin rensing til 1. Landene i region A får en payoff på bare 10,0 i periode $t+1$. Hvis vi forutsetter at man fra og med periode $t+2$ er tilbake i likevektsbanen, får nå land 1 i periode t en gjennomsnittlig neddiskontert payoff på

Matrise 5 Land 1 jukser i periode 1.

Land nummer	Periode t							Periode $t+1$						
	1	2	...	10	11	...	20	1	2	...	10	11	...	20
Rensing	1	20	...	20	20	...	20	20	20	...	20	1	...	1
Payoffs	380,5	181,0	...	181,0	181,0	...	181,0	10,0	10,0	...	10,0	209,5	...	209,5
Neddiskonterte gjennomsnittlige payoffs	200,0							190,5	190,5	...	190,5	200,5	...	200,5

Matrise 6 Ett land i region A har jukset i periode $t-1$. Landene i region A tar straffen.

Land nummer	Periode t							Periode $t+1$						
	1	2	...	10	11	...	20	1	2	...	10	11	...	20
Rensing	20	20	...	20	1	...	1	20	20	...	20	20	...	20
Payoffs	10	10	...	10	210	...	210	200	200	...	200	200	...	200
Neddiskonterte gjennomsnittlige payoffs	190,5	190,5	...	190,5	200,5	...	200,5							

Matrise 7 Ett land i region A har jukset i periode $t-1$. Land 1 jukser i periode t .

Land nummer	Periode t							Periode $t+1$						
	1	2	...	10	11	...	20	1	2	...	10	11	...	20
Rensing	1	20	...	20	1	...	1	20	20	...	20	1	...	1
Payoffs	190,5	-9,0	...	-9,0	190,5	...	190,5	10	10	...	10	210	...	210
Neddiskonterte gjennomsnittlige payoffs	190,5							190,5	190,5	...	200,5	200,5	...	200,5

200, akkurat som i likevektsbanen og vil følgelig ikke vinne noe på juksingen. Dermed har vi tilfredsstilt kravet om at juksing ikke skal lønne seg.

Vi har også tilfredsstilt kravet om at straffemekanismen skal være reforhandlingssikker. Ved å holde fast ved at straffen skal gjennomføres, får landene i region B i periode $t+1$ en gjennomsnittlig neddiskontert payoff på 200,5. Følgelig vil disse landene ikke være villige til å glemme jukset og vende tilbake til likevektsbanen allerede i periode $t+1$.

Spørsmålet er da om det vil være lønnsomt å jukse hvis man gjør det over flere perioder. Det er imidlertid et generelt resultat i teorien for gjentatte spill med diskontering at dersom juksing i én periode ikke lønner seg, vil det heller ikke være lønnsomt å jukse i to eller flere perioder, se Abreu (1988), side 390. Men jeg skal likevel vise det nedenfor.

Videre kan man stille spørsmål ved om de andre landene i region A vil finne seg i å rense «for fullt» i periode $t+1$, mens landene i region B får lov til å redusere sin rensing til 1.

La oss først anta at et land i region A har jukset i periode $t-1$. Matrise 6 viser situasjonen man da får i periode t og $t+1$, uansett hvilket av landene i region A som jukset i periode $t-1$. Matrise 6 forutsetter at alle landene i region A, inklusive det landet som jukset i periode $t-1$, finner seg i å rense 20 enheter i periode t .

Anta, på den annen side, at land 1 ikke finner seg i den «urettferdige» situasjonen og setter sin rensing til 1 i periode t . Det utløser ny straff fra landene i region B i periode $t+1$. Hvis landene i region A aksepterer straffen i periode $t+1$, er man tilbake i likevektsbanen fra og med periode $t+2$. Denne situasjonen er beskrevet i matrise 7.

Hvis vi sammenligner matrise 6 og 7, ser vi at land 1 ikke vinner på å sette rensingen til 1 i straffeperioden. Den gjennomsnittlige neddiskonterte payoff blir 190,5 uansett. Konklusjonen er at land i gruppe A ikke har noe å tape på å akseptere straffen for juksingen i periode $t-1$ uansett om landet selv sto for juksingen i foregående periode eller ikke.

Her kan vi legge merket til at situasjonen i periode t , slik den er beskrevet i både matrise 6 og 7, kan være et resultat av at land 1 har jukset i et antall av de foregående perioder. Men uansett om land 1 har jukset en eller flere av de foregående periodene, ser vi at det ikke er noe å vinne på å fortsette juksingen. Fra før av har vi sett at det ikke er noe å vinne på å jukse i én periode. Følgelig vet vi at juksing ikke lønner seg verken i en eller flere perioder.

Og vi ser av matrise 7 at fortsatt tilfredsstillende kravet om reforhandlingssikkerhet. I periode $t+1$ er igjen landene i region B forpliktet til å redusere sin rensing til 1, noe som gir dem en neddiskontert payoff på 200,5 i periode $t+1$. Følgelig vil landene i region B tape på å reforhandle og vende tilbake til likevektsbanen allerede i periode $t+1$.

Jeg har her presentert et eksempel med 20 land og en straffemekanisme der halvparten av landene setter sitt rensenivå fra 20 til 1 dersom ett land har jukset i foregående periode. At det er halvparten av landene som iverksetter en slik straff, er ikke tilfeldig valgt. Dersom flere land skulle iverksette straffen, ville den ikke lenger være reforhandlingssikker. Hvis, på den annen side, færre enn 10 land skulle straffe, vil ikke straffen være hard nok til at juksing vil være ulønnsomt. Avtalen vil i så fall ikke være delspillperfekt.

6 KONKLUSJON

I denne artikkelen har jeg latt noen enkle numeriske spill kaste lys over mulighetene for å få til internasjonalt samarbeid om å løse klimaproblemet. Den mest iøynefallende konklusjonen er at det er mye å vinne på å være gratispassasjer til en internasjonal avtale om å redusere utslippene. For det enkelte land er det svært gunstig hvis flest mulig andre land inngår avtaler og gjennomfører store utslippsreduksjoner uten at de selv gjør noe. Det bør derfor ikke være overraskende om statsledere kommer med kreative argumenter for at akkurat deres land ikke bør redusere utslippene. Og nettopp noe i retning av slike strategier kan vi kanskje kjenne igjen fra dagens virkelige verden.

Nettopp fordi det er så gunstig å være gratispassasjer til andres utslippsreduksjoner, er faren stor for at en ambisiøs internasjonal avtale vil oppleve at land etter land faller fra og ikke innfrir sine forpliktelser. Jo flere som er med på en avtale, jo større er gevinsten av å hoppe av og være gratispassasjer.

Men i dagens politisk virkelighet observerer vi ikke bare at stater er kreative i argumentasjonen for hvorfor akkurat de foreløpig ikke vil gjøre noe for å redusere sine utslipp. Her i Norge har statsministeren nylig varslet at Regjeringen vil gå inn for at Norge på unilateral basis forplikter seg til svært omfattende utslippskutt og at landet skal bli «karbonnøytralt» i 2050. I EU har man en tilsvarende situasjon der man varsler 20 prosent utslippskutt innen 2020. Det er et tankekors at innenfor det modellrammeverket som er brukt i denne artikkelen, fører slike velmente unilaterale løfter til at det blir *vanskeligere* å få til en dyptgripende internasjonal avtale om utslippskutt, og konsekvensen blir *økte* globale utslipp, stikk i strid med intensjonen.

En annen viktig konklusjon er at nøkkelen til å løse klimaproblemet ligger i internasjonalt samarbeid og internasjonale avtaler. Hvis landene holder på for seg selv, blir innsatsen altfor puslete til at det kan bidra til virkelig dype utslippskutt.

I forgående avsnitt ble det skissert hvordan man kan få en internasjonal avtale med bred deltakelse og omfattende utslippskutt til å fungere. Sentralt står en troverdig straffemekanisme som gjør det ulønnsomt å bryte med forpliktelsene i avtalen. Dette gir kanskje noen indikasjoner på

hvordan et avtaleregime kan bygges. Regimet kjennetegnes av at ett lands brudd på avtalen blir besvart med en massiv straff ved at halvparten av avtalelandene dropper nesten all rensing i den påfølgende perioden. Uten en så omfattende straff for brudd på avtalen, vil det lønne seg å bryte avtalen. Her er det altså ikke snakk om å «snu det andre kinnet til».

Her har jeg sett på en straffemekanisme der manglende utslippsreduksjoner i ett land blir motsvart av manglende utslippsreduksjoner i andre land. Man kan selvsagt også tenke seg andre straffemekanismer. For eksempel er det mange som har tro på trusler om straffetoll på varer fra land som ikke slutter seg til en avtale, eller ikke innfrir sine forpliktelser. Men en diskusjon av andre former for straffemekanismer faller utenfor rammene av denne artikkelen.

Helt sentralt for alle resonnementene i denne artikkelen står en forutsetning om at stater handler ut ifra egeninteresser. Denne forutsetningen betyr imidlertid slett ikke at jeg har lagt til grunn at de enkelte statsledere neglisjerer klimaproblemet. Tvert imot har jeg modellert løsning av klimaproblemet som et kollektivt gode i alle landenes payoff. Barrett (2003) har en grundig diskusjon av relevansen av forutsetningen om at land handler utifra egeninteresser og viser flere eksempler på at det i praksis er vanskelig for statsledere å gjøre noe annet enn å legge statens interesser til grunn for politikken.

REFERANSER:

- Abreu, D., (1988): «On the theory of infinitely repeated games with discounting», *Econometrica* 56, 383-396.
- Asheim, G. B., og B. Holtmark (2007): *Pareto-efficient climate agreements*. Upublisert notat (<http://folk.uio.no/gasheim/peclago1.pdf>).
- Barrett, S., (2003): *Environment & Statecraft - The Strategy of Environmental Treaty-Making*, Oxford University Press, New York.
- Froyen, C. B., og J. Hovi (2007): *A climate agreement with full participation*. Upublisert notat.
- Hoel, M. (1990): «Global Environmental Problems: The effects of unilateral actions taken by one country», *Journal of Environmental Economics and Management* 20, 55-70.
- Hoel, M. (1997): «International Coordination of Environmental Taxes», in C. Carraro (ed.): *New Directions in the Economic Theory of the Environment*, Cambridge University Press.
- Golombek og Hoel (2005): «Climate Policy under Technology Spillovers», *Environmental & Resource Economics* 31: 201-227.
- Rosendahl, K. E. (2007): *Incentives and quota prices in an emission trading scheme with updating*. Discussion paper 495, Statistisk sentralbyrå.