Arbeidsnotat nr. 36/09

Insentiver til investeringer i forskning og utvikling

av

Rune Mjørlund
Frode Skjeret

SNF-prosjekt nr.: 2750 "Klimaendringer og verdiskaping på Vestlandet"

Prosjektet er finansiert av Bergen Næringsråd gjennom Bergensscenarier 2020 og Sparebanken Vests allmennyttige virksomhet med støtte fra BKK AS, Bergen kommune, Hordaland fylkeskommune og Bergens Rederiforening

SAMFUNNS- OG NÆRINGSLIVSFORSKNING AS
BERGEN, DESEMBER 2009
ISSN 1503-2140

INNHOLD

1 Introduksjon

Dette appendikset vurderer optimale insentiver for investeringer i ny teknologi når samarbeid mellom flere bedrifter kan være ønskelig. Som omtalt i hovedteksten kan global oppvarming føre til at næringer må gjennomføre store investeringer for å oppnå lønnsom drift i et nytt klimaregime. Shippingnæringen står for en stor andel av total transport i verdensøkonomien, men er samtidig den mest miljøvennlige transportformen. Skipsfarten er for eksempel svært viktig i norsk utenrikshandel, 95% av total eksport og import fraktes i med skip (for året 1995), mens biltransport utgjør om lag 4%. Dette kommer av at en får flyttet store mengder varer med svært lav ressursbruk ved bruk av sjøtransport. Ved å flytte en andel av transportbehovet fra vei til sjø, vil utslippene av klimagasser falle. Samtidig er det viktig å redusere utslippene av klimagasser i transportsektorene, også innen shipping.

Gitt at global oppvarming er menneskeskapt, medfører transport av varer med bruk av fossilt brensel, at denne sektoren påfører det øvrige samfunnet en negativ eksternalitet. Det er derfor argumenter for at myndighetene skal innføre klimapolitikk. I det forrige appendikset ”Klimapolitikk i et vannkraftbasert elektrisitetsmarked” diskuterte vi ulike politiske instrument for å redusere utslipp av klimagasser. Her fokuserer vi på mulighetene til å bruke skatter og subsidier for å gi private aktører insentiver for å legge om produksjonen, i dette kapitlet ser vi på mulighetene til å gi direkte insentiver til å skifte produksjonsteknologi. Det eksisterer omfattende litteratur som analyserer insentiver for å gjennomføre investeringer i forskning og utvikling. I mange tilfeller kreves at flere aktører må gjennomføre investeringer sammen for å sikre effektiv utvikling av ny teknologi. Litteraturen på dette området fokuserer i stor grad på insentiver til å gjennomføre investeringer internt i bedrifter, for eksempel mellom ulike divisjoner i store foretak. Vi anvender denne litteraturen for å vurdere hvordan myndigheter kan skape tilstrekkelige insentiver til å skape et miljø for samarbeid mellom bedrifter for å sikre effektiv gjennomføring av investeringer i forskning og utvikling for å utvikle nye teknologier.

Gitt at det er nødvendig med insentiver for å gjennomføre investeringer mellom ulike divisjoner i et og samme foretak, er det sannsynlig at det er nødvendig å skape insentiver for å gjennomføre investeringer også mellom ulike foretak. Shippingnæringen er et eksempel på en næring hvor dette kan være påkrevet. I noen tilfeller innebærer dette at flere aktører må gjennomføre investeringer sammen, dette er kanskje spesielt viktig i tilfeller hvor næringsstrukturen er preget av mange små spesialiserte enheter andre tilfeller er investeringene av slik dimensjon at enkeltbedrifter ikke har kapasitet til å gjennomføre investeringene som er nødvendig.

I dette appendikset ser vi på politiske instrument til å gjennomføre investeringer i ny teknologi som er mer miljøvennlig, og således reduserer utslippene fra transportsektoren. Som også diskutert i det forrige appendikset kan innføring av klimapolitiske tiltak medføre velferdstap på grunn av at produksjonskapasitet faller bort fra markedet og prisene øker. I mange tilfeller er det tilstrekkelig å skape økonomiske insentiver til å ta ny teknologi i bruk gjennom subsidiering av den nye teknologien. I andre tilfeller er det nødvendig å subsidiere forskning og utvikling av den nye teknologien. Dette kan forklares med at flere aktører må samarbeide på flere plan for å kunne gjennomføre de tilstrekkelige investeringene for at den nye miljøvennlige teknologien skal komme på plass. Innen shippingnæringen kan en tenke seg at noen aktører har spesialkompetanse på utvikling og bygging av skrog som er spesielt drivstoffeffektive. Andre aktører igjen kan ha unik kompetanse på utvikling av nye motorteknologier som enten er mer drivstoffvennlige enn eksisterende teknologier, eller utvikler helt nye teknologier som anvender nye typer drivstoff.

Vi setter opp og løser ut tre teoretiske modeller som vurderer ulike aspekter ved samarbeid mellom ulike aktører. Litteraturen tar i stor grad for seg samarbeid mellom ulike divisjoner (eller avdelinger) innen det samme foretaket, mens vi ser på behovet for samarbeid mellom ulike bedrifter. I litteraturen er således konsernledelsen den aktøren som forsøker å gi insentiver til samarbeid, mens det i vår kontekst er styresmaktene som tar på seg denne oppgaven.

Resten av kapitlet er organisert som følger. Først legger vi frem et teoretisk rammeverk for mulighetene myndighetene har til å skape miljø for samarbeid mellom forskjellige bedrifter. Dernest legges et rammeverk for introduksjon av ny teknologi frem. Det siste kapitlet diskuterer resultatene i lys av shippingnæringen på Vestlandet. I ett tillegg til appendikset ser vi på muligheten for at myndighetene kan opprette et samarbeid med utelukkende en bedrift, for deretter å la dette foretaket inngå samarbeid med andre bedrifter. Denne modellen beskriver mellom annet hvordan svenske styresmakter har valgt å gjennomføre utviklingen av jagerflyene av typen JAS Gripen.

2 Prinsipalens rolle i måloppnåelse blant agenter

Det vil her bli gjennomgått mulige fremgangsmåter for hvordan en aktør, heretter kalt prinsipal, kan sørge for at et antall bedrifter, fra nå av kalt agenter, oppnår et gitt mål på en effektiv måte. Et slikt mål kan være større samlet produksjon fra agentene, noe som kommer prinsipalen til gode. Et annet eksempel kan være å redusere negative ringvirkninger ved produksjonen ved å få agentene til å gå over til en ny teknologi. I relasjon til global oppvarming kan en godt tenke seg den nye teknologien som investeringer i en mer miljøvennlig teknologiplattform. Prinsipalen vil i vår modell være myndigheter, mens agentene representerer ulike bedrifter som må samarbeide for å få den nye teknologiske plattformen på plass. Jeg tar for meg tre forskjellige tilnærminger til hvordan en kan modellere slike overganger. Den første modellen som blir gjennomgått tar for seg et scenario hvor agentene kan hjelpe hverandre med å gjennomføre en oppgave. I det andre scenarioet har agentene mulighetene til å skrive sidekontrakter seg i mellom, slik at man ikke hjelper hverandre i produksjonen, men at man overfører en viss andel av inntekt fra egen produksjon til den andre agenten. Til slutt vil jeg gå gjennom en modell hvor prinsipalen ønsker at agentene går over til en ny teknologi. Denne nye teknologien kan tenkes å ha færre negative ringvirkninger, eventuelt flere positive ringvirkninger enn den gamle teknologien.

2.1 Insentiv til å hjelpe

Den første fremgangsmåten er gjennomgått i Itoh (1991), han ser på hvilke insentiv agenter må ha for å hjelpe hverandre. Vår fremstilling bygger på Bolton og Dewatripont (2005) Agentene velger innsats i oppgaven som han har hovedansvaret for, noe som fører til økt produksjon. Agentene kan også bestemme hvor mye av innsatsen som skal benyttes til å hjelpe andre agenter. Vi antar at prinsipalen ikke kan observere hver enkelt agents innsatsnivå, og at prinsipalens derfor er avgrenset til å utforme avlønningsplaner som avhenger av produksjonen. Prinsipalen kan således konstruere en oppgavestruktur, denne kan enten være spesialisert hvor hver agent vil bli ledet til å kun fokusere på egne oppgaver, eller det kan være en oppgavestruktur som gir insentiv til samarbeid. Den siste oppgavestrukturen vil måtte inneholde et element av belønning for de andre agentenes produksjon for at agentene skal finne det optimalt å hjelpe hverandre. I denne modellen vil samarbeid komme som følge av prinsipalens avlønningsplan. Modellen som blir gjennomgått ser på hvilke faktorer som påvirker prinsipalens valg av å komme med en lønnsplan som gir insentiv til samarbeid.

Vi antar at produksjonen kan ta to mulige verdier: $q_i \epsilon \{0,1\}$, altså har man enten ingen produksjon, $q_i = 0$, eller så har man produksjon, $q_i = 1$. Videre antar vi at prinsipalen er risikonøytral, slik at hans nyttefunksjon kan sies å være av formen *V(x)=x*. I dette oppsettet har vi kun to agenter som begge er risikoaverse. Agentene velger både hvor mye innsats som skal dedikeres til egen produksjon, a_i, og hvor mye hjelp som skal bli gitt til den andre agenten, b_i. Dette vil da tilsi at handlingsrommet til agentene er todimensjonalt. Agentenes nyttefunksjon tar formen:

$$u_i(w) - c_i(a_i, b_i)$$

Den første delen av nyttefunksjonen viser agentens nytte av inntekt fra produksjon, *w*. Siden vi antar at agentene er risikoaverse vil denne nyttefunksjonen være stigende og konkav.[1] Den andre delen av nyttefunksjonen presenterer individets "unytte" av å ha et visst innsatsnivå, dette kan tolkes som kostnader i produksjonen eller investeringsutgifter som følger av samarbeidet. Vi antar at denne kostnadsfunksjonen er økende og konveks i begge argument, a_i og b_i. Vi introduserer også her en spesifikk funksjon:

$$c_i(a_i, b_i) = a_i^2 + b_i^2 + 2ka_ib_i$$

Denne funksjonen antyder at dersom $k > 0$, oppstår en ekstra kostnad ved at agenten ikke spesialiserer seg fullt og helt i sin egen produksjon. Det antas at $k \epsilon [0,1]$. Parameteren k er derfor et mål på i hvor stor grad man får et spesialiseringstap ved å hjelpe den andre agenten i produksjon. Sannsynligheten for produksjon er gitt ved:

$$Pr(q_i = 1) = a_i(1 + b_j)$$

Vi ser av dette at sannsynligheten for at agent *i* sin produksjon øker vil være positivt påvirket av agent *j* sin innsats i agent *i*'s oppgaver. Myndighetene kan fremme samarbeid ved å gi hver enkelt agent en andel av den andre agentens produksjon. Det vil bety at prinsipalen kan gi hver enkelt agent en kontrakt tilsvarende:

$$w_i = \{w_{00}^i, w_{01}^i, w_{10}^i, w_{11}^i\}$$

Her er w_{mn}^i betalingen til agent i når $q_i = m$ og $q_j = n$. Vi antar videre at man har symmetriske kontrakter, slik at $\boldsymbol{w} = \{w_{00}, w_{01}, w_{10}, w_{11}\}$.

[1] I dette tilfellet antar vi at nyttefunksjonen tar den enkle formen, $u_i(w) = \sqrt{w}$.

Dersom styresmaktene ikke ønsker å fremme samarbeid mellom agentene, tilbyr myndighetene agentene kontrakter hvor $w_{00} = w_{01}$ og $w_{10} = w_{11}$, slik at betalingen agent *i* får for sin produksjon ikke avhenger av produksjonen til agent *j*. Under denne antagelsen vil prinsipalen sette en betaling w_1 dersom $q_i = 1$ og $w_0 = 0$ dersom $q_i = 0$. Betalingen for produksjon, w_1, må derfor settes slik at en maksimerer den forventede inntekten til prinsipalen. Sannsynligheten for produksjon når man ikke åpner for hjelp, det vil si $b_i = 0$, forenkles til $Pr(q_i = 1) = a_i$. Siden vi antar at prinsipalen er risikonøytral og dersom en videre antar at verdien av en enhet produksjon er 1, så vil den forventede inntekten som prinsipalen ønsker å maksimere uttrykkes ved $a_i(1 - w_1)$. Innsatsen, a_i, må være slik at agenten ikke kan komme bedre ut ved å velge et annet innsatsnivå. Dette må bety at innsatsen bestemmes slik at den maksimerer agentenes forventede nytte, altså slik at $a_i \in \arg\max_a E[u_i(w) - c_i(a_i)]$. I denne tilpasningen vil ikke agenten ha et insentiv til å velge et annet innsatsnivå, og en kan da si at tilpasningen er insentivkompatibel. Ved å løse dette maksimeringsproblemet finner vi at innsatsen må tilpasses slik at:

$$a_i = \frac{1}{2}\sqrt{w_1} \leftrightarrow w_1 = 4a_i^2$$

Videre må det være slik at det ikke finnes noe bedre alternativ til det å ha denne innsatsen for agenten. Dersom en antar at agenten alternativt kunne fått en sikker inntekt $\overline{w}$ ved en innsats i et annet prosjekt, så må det være slik at $E[u_i(w) - c_i(a_i)] \geq u(\overline{w})$. I dette enkle oppsettet antar vi at den sikre inntekten er null, altså antar vi at innsatsnivået må gi en positiv forventet nytte for agenten. Denne rasjonalitetsbegrensningen betyr nå at a_i må tilfredsstille:

$$a_i\sqrt{w_1} - a_i^2 \geq 0$$

Setter inn for a_i slik at vi ender opp med $w_1/4 \geq 0$. Ved å sette inn for w_1 i prinsipalens maksimeringsproblem, får vi at problemet nå forenkles til å velge agentens innsatsnivå slik at det maksimerer prinsipalens fortjeneste gitt ved, $a_i - 4a_i^3$, optimerer dette og får $a_i = \sqrt{1/12}$. Prinsipalens maksimale profitt dersom agentene ikke hjelper hverandre i produksjonen, vil ut ifra dette være $2/3\sqrt{1/12}$. Dette tallet sier i utgangspunktet ikke så mye, men kan brukes for å sammenligne med utbyttet til prinsipalen når man ønsker å fremme samarbeid mellom agentene.

Dersom prinsipalen ønsker at agentene skal samarbeide, må han tilby kontrakter som gir agent *i* belønning når agent *j* produserer. Disse kontraktene må således være slik at:

$w_{11} > w_{10}$ og $w_{01} > w_{00}$

En betaling som er dels avhengig av agent j's produksjon vil føre til at agent i opplever større risiko. Det må derfor være slik at den økte produksjonen som følger av samarbeid må gi betaling for den økte risikoen som de to agentene møter ved denne tilpasningen. For at en slik kontrakt skal være ønskelig må en finne en Nash-likevekt med handlingsvalg *(a,b)* som kommer av en kontrakt med $w_{11} > w_{10}$ og $w_{01} > w_{00} = 0$. Maksimeringsproblemet for hver enkelt agent som en slik Nash-likevekt må løse er gitt ved:

$$\max_{a,b} \; a_j(1+b)a\left(1+b_j\right)\sqrt{w_{11}} + a_j(1+b)\left[1-a\left(1+b_j\right)\right]\sqrt{w_{01}}$$
$$+ a\left(1+b_j\right)\left[1-a_j(1+b)\right]\sqrt{w_{10}} - a^2 - b^2 - 2kab$$

Dette problemet tilsvarer det vi hadde i løsningen uten hjelp, men man har nå tre forskjellige utbetalingsscenario med hver sin sannsynlighet som avhenger av innsatsnivået til de to agentene. Vi kan nå derivere dette uttrykket først på henholdsvis *b* og *a*, før vi setter $\left(a_j, b_j\right) = (a, b)$ og får følgende førsteordensbetingelser:

$$a^2(1+b)\left(\sqrt{w_{11}} - \sqrt{w_{10}}\right) + a[1-a(1+b)]\sqrt{w_{01}} = 2(b+ak) \qquad (1)$$

$$a(1+b)^2\left(\sqrt{w_{11}} - \sqrt{w_{01}}\right) + (1+b)[1-a(1+b)]\sqrt{w_{10}} = 2(a+bk) \quad (2)$$

Det kan vises at dersom en antar at k > 0, så vil det være mest lønnsomt for prinsipalen med enten mye samarbeid mellom agentene eller ikke noe samarbeid i det hele tatt. Dette argumentet kan sees direkte fra (1). I løsningen hvor det var ingen samarbeid mellom agentene, så hadde vi at $w_{00} = w_{01} = 0$ og $w_{10} = w_{11}$. Dersom *k > 0, a > 0*, så må det føre til at når *b > 0* må den nye kontrakten, **w,** avvike betraktelig fra den man hadde i situasjonen uten samarbeid. Agentene utsettes ved den nye kontrakten for økt risiko, og for at de skal kompenseres for dette må man se en stor økning i produksjon, som igjen er et resultat av en signifikant økning i *b*. Dette vil således føre til at når agentene først samarbeider, så gjør de dette i stor grad.

Dersom *k = 0*, det vil si at det ikke er noe tap for agentene med mindre spesialisering i forbindelse med det å hjelpe en annen agent, så vil enhver kontrakt som fører til samarbeid mellom agentene være optimal. Dersom en antar at det å øke *b* ikke medfører at *a* vil gå ned, så vil man ha at når *b = 0* og $k = 0$, så vil marginalkostnaden av å øke *b* være null. Dette kan man også vise gjennom førsteordensbetingelsene. Dersom en tar utgangspunkt i hjørne-løsningen hvor *b = 0,* $w_{00} = w_{01} = 0$ og $w_{10} = w_{11} = w$ og øker $\sqrt{w_{11}}$ og $\sqrt{w_{01}}$ med *du* mens en holder $\sqrt{w_{10}}$ konstant og man så benevner endringen i a og b som følge av denne endringen i kontrakten med da og db, så får en at:

$$(a + da)^2(1 + db)du + (a + da)[1 - (a + da)(1 + db)]du = 2db$$

Noe som vil bety at $(a + da)du = 2db > 0$ (3)

og

$$(a + da)(1 + db)^2\sqrt{w} + (1 + db)[1 - (a + da)(1 + db)]\sqrt{w} = 2a + da$$

Noe som gir oss $(1 + db)\sqrt{w} = 2(a + da)$ (4)

Vi ser her på små endringer, slik at *du, da* og *db* er minimale. Dette gjør at en kan sette *dadu = 0*, og (3) kan forenkles til $2db \approx adu > 0$. I eksemplet uten hjelp, *b* = 0, fant vi at $\sqrt{w}/2 = a$. Dersom en bruker dette, så kan man ut ifra (4) og (3) få at:

$$2da = db\sqrt{w} > 0$$

Dette resultatet viser at det alltid vil være optimalt med kontrakter som gir et insentiv til samarbeid dersom det ikke er gevinster ved spesialisering i produksjonen, det vil si så lenge *k* = 0.

Analysen som har blitt gjort over viser at det under visse forutsetninger kan være lønnsomt for myndighetene (prinsipalen) å oppmuntre til samarbeid mellom bedriftene (agentene). I dette eksempelet er eksternaliteter som for eksempel forurensning tatt med, det er utelukkende potensialet for mer effektiv gjennomføring av produksjonen som bidrar til samarbeid. Et samarbeid vil imidlertid medføre større risiko for hver enkelt aktør, og man kan derfor risikere å overvurdere hvor mye samarbeid man faktisk vil se. Ved å innføre parameteren *k* som forteller oss i hvor stor grad man har spesialisering i produksjonen, så kan man korrigere for dette. Graden av spesialisering i oppgavene vil naturlig nok påvirke gevinsten av spesialisering i negativ regning.

For shippingnæringen i Norge er det en rekke mindre aktører som mest sannsynlig ikke er i stand til å påta gjennomføre investeringer tilstrekkelig store til å komme opp med store teknologiske gjennombrudd på egen hånd. Men samtidig er summen av kunnskap i norsk shippingnæring sannsynligvis tilstrekkelig til å gjennomføre de ønskede teknologiske gjennombruddene. En politikk som omtalt over kan gi selskaper tilstrekkelige insentiver til å samarbeide om å få nye og mer klimavennlige teknologier på plass.

2.2 Individuell og kollektiv belønning av agenter ved overgang til ny teknologi

En annen tilnærming er basert på en modell av Krawczyk *et al* (2004). I denne modellen blir agentene belønnet for effekten av sine samlede handlinger, i stedet for at man kun belønner hver enkelt agent for deres respektive innsats. I modellen vises det hvordan en prinsipal kan gi agentene insentiv til å gå over til en ny teknologi ved å bruke en slik belønningsmetode. Det vises at dette vil være mer effektivt enn dersom prinsipalen kun dekker hver enkelt agents kostnad ved å gå over til en ny teknologi. En forutsetning her er at en slik ny teknologi fører med seg en positiv eksternalitet som prinsipalen mener er ønskelig. Dette kan for eksempel være en overgang til en mer miljøvennlig teknologi, eller en teknologi som gir positive ringvirkninger til omkringliggende næringer. Det siste eksemplet kan være at enkelte aktører i en region innfører nye attraksjoner som vil tiltrekke seg flere turister og dermed også øke kundegrunnlaget til andre aktører i denne regionen. I denne modellen vil det være et individuelt og kollektivt insentivsystem som skal kunne gi mest mulig overgang til ny teknologi for et gitt budsjett.

I modellen som nå presenteres antar vi at agentene er like med tanke på størrelse og kostnadsstruktur. Modellen kan imidlertid utvides til å inneholde agenter som ikke er identiske, uten at hovedpoenget forandres. Vi antar at vi har N agenter, $i = (1,2, \dots, N)$ og en prinsipal. Hver agent er av størrelse s_i. I denne sammenhengen kan vi anta at størrelsen her refererer til antall ansatte hos agenten. De ansatte kan være knyttet til to forskjellige teknologier, A og B. A er den gamle teknologien, og B er en ny teknologi som gir positive ringvirkninger. For prinsipalen er det derfor ønskelig at agentene går over til teknologi B. Marginalinntekten, m_i, antas å være lik for begge teknologiene. Det å gå fra teknologi A til teknologi B vil imidlertid føre til en engangskostnad for agenten. Prinsipalen har et budsjett, *M*, som kan gis til agentene som økonomisk støtte i overgangen til en ny teknologi. Kostnaden ved å gå over til en ny teknologi, C_i, kan representeres med følgende kvadratiske funksjon:

$$C_i(t_i, t_i^0, s_i) = \alpha_i \left((t_i - t_i^0) s_i \right)^2$$

t_i^0 er her andelen av ny teknologi, B, som allerede er i bruk, mens t_i angir det nye nivået av ny teknologi. Vi antar at dagens bruk av den nye teknologien er lik null, altså $t_i^0 = 0$. $\alpha_i > 0$ er en koeffisient som under antakelsen av identiske agenter vil være lik for hver agent. I denne modellen er agentene pristakere, og de har en payoff-funksjon av typen:

$$f_i(t_i, t_{-1}; \boldsymbol{u}) = (m_i(1 - t_i) + m_i t_i)s_i - C_i(t_i, 0, s_i) + \Pi_i(\boldsymbol{u}; t_i, t_{-i})$$
$$= m_i s_i - \alpha_i (t_i s_i)^2 + \Pi_i(\boldsymbol{u}, t_i, t_{-i})$$

Denne payoff-funksjonen inneholder tre ledd. Det første leddet, $m_i s_i$, viser inntekten fra driften, som er uavhengig av teknologistrukturen, det andre leddet, $\alpha_i (t_i s_i)^2$, viser kostnadene ved å gå over til ny teknologi mens det tredje leddet, $\Pi_i(\boldsymbol{u}, t_i, t_{-i})$, viser hvor stor subsidie agent *i* får dersom han går over til å bruke $t_i s_i$ av den nye teknologien. Vi ser av funksjonen at denne subsidien avhenger av både agent *i* sin overgang til den nye teknologien, samt de andre agentene, notert med *–i*, sin overgang til ny teknologi. Variabelen $\boldsymbol{u}$ er prinsipalens instrument for å gi agentene insentiv til å gå over til den nye teknologien. Det er bruken av disse instrumentene som vi nå skal vurdere nærmere. Prinsipalen kan velge $u \in [0,1]$ som beskriver i hvor stor grad prinsipalen dekker agentens kostnad ved å gå over til den nye teknologien. Siden kostnadene ved å gå over til den nye teknologien er gitt ved $\alpha_i (t_i s_i)^2$ vil agentens kostnad være gitt ved:

$$(1 - u)\alpha_i (t_i s_i)^2$$

Dersom $u < 1$, altså at prinsipalen ikke har nok midler til å dekke hele utgiften, så ser vi at agentens optimale valg vil være å ikke gå over til den nye teknologien, altså $t_i = 0$. Dette kommer som følge av at kostnadsfunksjonen er økende i t_i for $u < 1$, og siden t_i kun inngår i kostnadsfunksjonen, vil agenten ønske å velge den t_i som gir lavest kostnader, altså 0.

Dette problemet kan løses ved å introdusere et instrument som belønner den kollektive innsatsen på å gå over til ny teknologi, *w* i tillegg til den individuelle innsatsen, *u*. Anta at prinsipalen ønsker at mer enn *S* av de ansatte hos alle agentene skal være knyttet til den nye teknologien og at dette nivået er større enn det noen av agentene har knyttet til den nye teknologien. Dette vil si:

$$S > s_j \quad \text{for alle j,} \quad \text{og} \quad S \leq \sum_{i=1}^{N} s_i$$

Instrumentvariablene til prinsipalen kan nå skrives opp som $\boldsymbol{u} = [u, w, S]$. En kan nå sette opp en insentivfunksjon som er slik at:

$\frac{\partial \Pi_i}{\partial u} >$ dersom $t_i > 0$, og $\frac{\partial \Pi_i}{\partial w} > 0$ dersom det finnes en j slik at $t_j > 0$ og $\sum_{i=1}^{N} t_i s_i > S$.

Det er den andre egenskapen som er mest interessant her. Den forteller oss at dersom flere er tilknyttet den nye teknologien enn det myndighetene hadde som målsetting, så vil agent *i* nyte godt av dette i form av en kollektiv belønning *w* som vil gi en økning i agentens samlede subsidier. Dette fører til at agentene oppmuntrer hverandre til en økt satsing i den nye teknologien, og vil derfor kunne gi en bedre måloppnåelse enn dersom man kun gir kompensasjon med utgangspunkt i individuell innsats. En kan tenke seg at følgende insentivfunksjon kan benyttes:

$$\Pi_i(u, w, S; t_i t_{-i}) = u\alpha_i(t_i s_i)^2 + w \max\left(0, \sum_{j=1}^{N} t_j s_j - S\right)$$

Vi ser her at prinsipalen betaler en andel, *u*, av den enkeltes agents kostnader. Videre får agentene en kollektiv betaling, *w*, som avhenger av om man går utover det fastsatte målet, *S*. Denne insentivfunksjonen vil således tilfredsstille de to egenskapene gitt over. Insentivplanen kan nå presenteres matematisk. Vi lar $[t_1^*, \dots, t_N^*]$ være vektoren av optimalt valg av ny teknologi, gitt prinsipalens instrumentbruk. Videre kan vi definere en indeks, *J*, som presenterer total overgang til ny teknologi:

$$J(t_1^*, \dots, t_N^*; u, w, S) \equiv \sum_{i=1}^{N} t_i^* s_i$$

Vektoren $[t_1^*, \dots, t_N^*]$ bestemmes ut ifra maksimeringsproblemet:

$$t_i^* = \arg \max_{t_i \in [0,1]} f_i(t_i, t_{-i}^*; u, w, S), \quad i = 1,2, \dots, N$$

Prinsipalens problem, gitt et budsjett, M, er gitt ved:

$$(u^*, w^*, S^*) = \arg \max_{u \geq 0, w \geq 0, S \geq 0} J(t_1^*, \dots, t_N^*; u, w, S)$$

slik at: $\sum_{i=1}^{N} \Pi_i(u^*, w^*, S^*; t_i^*, t_{-i}^*) \leq M$,

Dette sørger for at man får mest mulig overgang til ny teknologi gitt at samlede subsidier ikke skal overgå budsjettet, *M*. Prinsipalens maksimeringsproblem må også tilfredsstille agentens maksimeringsproblem gitt ovenfor, samt:

$$f_i(t_i^*, t_{-i}^*; u^*, w^*, S^*) > m_i s_i$$

Den siste ulikheten sikrer at agenten kommer bedre ut ved å gå over til ny teknologi enn dersom han i stedet holder seg til den gamle teknologien med en profitt på $m_i s_i$. Vi kan nå løse problemet når vi antar at agentene er like, det vil si $\alpha_i = \alpha = 1, s_i = s,$ og $m_i = m$. I artikkelen til Krawczyk et.al (2002) utvider de også modellen til å gjelde agenter som ikke er identiske. I den løsningen får man som nevnt tidligere det samme hovedresultatet som man får ved å anta at agentene er identiske.

Vi kan først se hvor stort budsjettet, M_b, må være for at agentene går fullstendig over til den nye teknologien dersom man kun har individuelle subsidier, det vil si $w = 0$. Dette kan være nyttig, siden man da kan forkaste enhver løsning som vil kreve et større budsjett enn denne initiale løsningen. Den individuelle payout-funksjonen blir nå:

$$f_i(t_i, t_{-i}; u, 0,0) = ms + (u-1)t_i^2 s^2$$

Ut ifra den funksjonen kan man se at så lenge $u \geq 1$, så vil man få et maksimum når $t_i = 1$, siden funksjonen er stigende og konveks i $t_i \in [0,1]$. Dette vil bety at $J = Ns$, altså at alle agentene har gått helt over til den nye teknologien. Vi kan sette $u = 1 + \varepsilon$, hvor $\varepsilon > 0$, slik at vi ender opp med følgende kostnad for prinsipalen:

$$M_b = (1+\varepsilon)Ns^2$$

Dersom $M < Ns^2$, så vil man ikke få en overgang til den nye teknologien gitt at prinsipalen ikke har en kollektiv insentivplan. Dersom prinsipalen kan få til en total overgang til ny teknologi med bruk av både en individuell og en kollektiv insentivplan hvor $M < M_b = Ns^2$, så vil altså den insentivplanen være bedre enn en ren individuell insentivplan.

Vi kan nå se på hvordan insentivet til å gå over til ny produksjon og prinsipalens kostnader for å få dette gjennomført blir når man åpner opp for kollektive subsidier. La u, w og $S < \sum_{i=1}^{N} s_i = Ns$ være bestemt av prinsipalen. Agentene velger nå t_i^* slik at den maksimerer payoff-funksjonen

$$f_i(t_i, t_{-i}; u, w, S) = ms + (u-1)t_i^2 s^2 + w \max\left(0, \sum_{j=1}^{N} t_j s_j - S\right)$$

Et optimalt valg av instrumenter for prinsipalen må være slik at det både er unikt, det vil si at $M \leq Ns^2$ og at det er relevant ved at det sikrer at agentene går over til ny teknologi, det vil si $f_i > ms$. Vi skal nå se på tilfellene hvor $u > 1$, $u = 1$ og $u < 1$ for å se om vi finner en slik løsning.

1. Anta at $u > 1$. Siden funksjonen f_i er stigende og konveks i $t_i \in (0,1)$ så må vi ha at t_i^* for alle i. Videre får vi at $f_i^* = ms + (u-1)s^2 + w(Ns - S) > ms$, altså har agentene et klart insentiv til å gå over til en ny teknologi. Løsningen er imidlertid mer kostbar enn

initialløsningen, siden $M = \left(us^2 + w(Ns - S)\right)N > Ns^2$. En slik løsning er derfor ikke effektiv.

2. Anta at $u = 1$

a) Dersom $w = 0$, så vil det for alle S være slik at $f_i^* = ms$. Agentene er her indifferente mellom å gå over til ny teknologi og å beholde den gamle teknologien. Det finnes altså ingen unik løsning.

b) Dersom $w > 0$, så vil man for alle i få $t_i^* = 1$ siden payoff-verdien da blir $f_i^* = ms + w(Ns - S) > Ns^2$. Dette fører imidlertid til at $M = (s^2 + w(Ns - S)N) > Ns^2$, altså er ikke denne løsningen effektiv siden den fører til en kostnadsøkning for prinsipalen.

3. Anta at $u < 1$. Her er det ikke helt rett frem å se løsningen, siden f_i er stykkevis definert i det siste leddet, $w \max\left(0, \sum_{j=1}^{N} t_j s_j - S\right)$. En må derfor se på $t_i \in \left[0, \frac{S}{Ns}\right]$ og $t_i \in \left[\frac{S}{Ns}, 1\right]$ hver for seg, siden $Nt_i s - S > 0 \Rightarrow t_i > \frac{S}{Ns}$

a) For alle $t_i \in \left[\frac{S}{Ns}, 1\right]$ vil vi f_i være en konkav funksjon. Dette kan vises ved at:

$\frac{\partial f_i}{\partial t_i} = 2(u-1)s^2 t_i + ws$, og $\frac{\partial^2 f_i}{\partial t_i^2} = 2(u-1)s^2 < 0$

Agenten maksimerer nå sin payoff-funksjon, det vil si at han løser for $\frac{\partial f_i}{\partial t_i} = 0$, noe som gir:

$$\bar{t} = \frac{w}{2(1-u)s}$$

Denne likheten kan være større enn 1, men vi begrenser oss til å se på t_i^* i området $\left[\frac{S}{Ns}, 1\right]$

Payoff for hver enkelt finner vi ved å sette inn $\bar{t}$ i f_i:

$$f_i(\bar{t}; u, w, S) = ms + w\left(\frac{(2N-1)w}{4(1-u)} - S\right)$$

En kan nå se spesifikt på de to grensene for $\bar{t}$, $\frac{S}{Ns}$ og 1. Payoff blir da henholdsvis:

$$f_i\left(\frac{S}{Ns}; u, w, S\right) = ms - (1-u)\left(\frac{S}{N}\right)^2 < ms$$

$$f_i(1; u, w, S) = ms - (1-u)s^2 + w(Ns - S)$$

Det siste uttrykket kan være større enn null dersom $w(Ns - S) > (1-u)s^2$

b) Dersom $t_i \in \left[0, \frac{S}{Ns}\right)$ vil f_i få sitt maksimum ved $\bar{t} = 0$ for alle i, og dermed også $f_i = ms$.

Fra dette kan vi konkludere med at det finnes en likevekt og at dette kan være ved $t_i^* = \min(\bar{t}, 1)$ eller ved $t_i^* = 0$. Dersom $\frac{(2N-1)w}{4(1-u)} - S > 0$ og $-(1-u)s^2 + w(Ns - S) > 0$, så får vi at det vil være en unik likevekt ved $t^* = \min(\bar{t}, 1)$.

Vi kan ut ifra dette trekke tre slutninger:

1) Kun $0 \leq u < 1, w > 0$ er relevante intervall for instrumentbruken. $u > 1$ krever at $M \geq M_b$ og $w = 0$ kan ikke gjøre at $f_i > ms$.
2) Dersom prinsipalen har et lavt budsjett, $M \leq M_b$ og tilbyr $u < 1$, $w > 0$ og $S < \frac{(2N-1)w}{4(1-u)}$ vil man få en unik likevekt ved $t_i^* = 1$, $t_i^* = 0$, eller $t_i^* = \bar{t}$ avhengig av parametervalg.
3) Noen av de likevektene vil være relevante, det vil si at $f_i > ms$ og $M < M_b$.

En prinsipal som ønsker en endring i teknologi kan altså gjøre dette på en mer effektiv måte ved å ha en insentivplan som også belønner kollektiv innsats. Den kollektive innsatsen avhenger av de andre agentenes innsats, og det kan derfor tenkes at de agentene som er trege med å gå over til en ny teknologi blir oppmuntret til å gjøre en overgang slik agentene som allerede har implementert ny teknologi. En kan argumentere for at agentene kan være gratispassasjerer ved at de fortsatt får en kollektiv betaling selv om de ikke går over til ny teknologi. Vi har imidlertid vist at løsningen $t_i = 0$, ikke er optimal. Bedriftene (agentene) vil altså uansett ha et insentiv til å gå over til ny teknologi. Det kan også tenkes at myndighetene (prinsipalen) kan forhindre gratispassasjerer ved å betale en prosentandel av subsidiene på forskudd og resten på etterskudd etter at overgangen til ny teknologi har blitt gjennomført.

Den siste tilnærmingen har visse likhetstrekk med Itoh's tilnærming, som har blitt gjennomgått tidligere, ved at den oppmuntrer til samarbeid mellom individene. Denne formen for kontrakter anvender både "pisk" og "gulrot", og er spesielt relevant når aktørene har store overgangskostnader. Når aktørene individuelt står overfor store overgangskostnader kan det i mange tilfeller være lønnsomt å la være å gå over til en ny teknologiplattform. Aktørene kan derfor måtte subsidieres for at omleggingen skal finne sted, eller finne sted så raskt som ønskelig. En annen omtalt fordel ved denne formen for samarbeid er den sosiale interaksjonen mellom aktørene. Mer bestemt kan aktørene som ikke gjennomfører sin del av omleggingen tilstrekkelig bli utsatt for ulike sanksjoneringsmekanismer, og dette presset har ingen kostnader for myndighetene.

3 Diskusjon

Som omtalt i hovedteksten har effektiv klimapolitikk to siktemål. Den første målsetningen er å redusere utslipp som fører til global oppvarming. Den andre målsetningen har som mål å redusere det potensielle velferdstapet som følger av reduksjon i produksjonskapasitet som igjen følger av ønsket om å redusere utslipp. I appendikset om miljøpolitikk i vannkraft-baserte elektrisitetsmarkeder illustrerte vi at skattlegging av eksisterende produksjon samt, subsidiering av ny fornybar produksjon kunne motvirke velferdstapet. Dette innebærer at styresmaktene gir indirekte insentiver til å gjennomføre investeringer for utvikling av ny teknologi. I dette kapitlet ser vi på en mer direkte tilnærming, hvor myndighetene direkte gir insentiver til å investere i ny teknologi. Spesielt er fokuset på hvordan skape et miljø mellom ulike aktører for å samarbeide

Vi har indikert at det er to tilfeller hvor effektive insentiver for samarbeid er spesielt viktig. I tilfeller hvor investeringene er store eller teknologisk krevende kan en – eller et fåtall – bedrifter ikke alltid forventes å kunne gjennomføre overgangen fra eksisterende teknologi til den nye teknologiplattformen. I regioner hvor næringsstrukturen er preget av små og mellomstore bedrifter kan samarbeid mellom flere bedrifter være nødvendig for å kunne gjennomføre investeringer for å få på plass ny teknologi. Dette bygger på at små og mellom-store bedrifter ofte er spesialiserte, og ikke nødvendigvis har ressurser til å gjennomføre tilstrekkelige investeringer for å få på plass ny teknologi.

Dette kapitlet har vurdert tre typer samarbeidsformer hvor siktemålet har vært å vurdere hvordan myndigheter kan stimulere til samarbeid mellom bedrifter. Gitt at transport på sjøen medfører utslipp av klimagasser, er det argumenter for at myndigheter kan stimulere til at renere teknologier tas i bruk. Først diskuterte vi hvordan styresmakter direkte kan skape insentiver for samarbeid med finansielle stimuli. Behovet for samarbeid avhenger i dette tilfellet av hvor store gevinster det er knyttet til at foretak spesialiserer seg på en oppgave. Til sist illustrerte vi hvordan det generelle rammeverket har vært benyttet til å analysere insentiver for flere aktører til å gå over til å bruke en ny teknologi. Denne modellen ser spesifikt på mulighetene til å få flere aktører til å gå over til en ny teknologi.[2]

[2] I vedlegget under legger vi frem en teori som illustrerer hvordan myndighetene kan skrive kontrakter med en part, og at denne parten skriver kontrakter med leverandører i tilfeller hvor dette er optimalt. Dette er en ofte benyttet metode for kontraktsinngåelse mellom offentlige instanser og private bedrifter, mellom annet antyder Tirole (1994) at dette er en mye brukt kontraktsform innen kontrakter mellom forsvaret og private.

En stor andel av transport skjer med sjøtransport, men dette er samtidig en klimaeffektiv metode å transportere varer, da en får flyttet til dels store mengder med relativt lite drivstoffbruk. Gitt dagens teknologier (på sjøen og på land) vil sannsynligvis ikke en CO2-avgift ikke medføre store endringer i bruken av transport på sjø og land. Evensen (2000) ser på innføring av CO2-avgift på landtransport og transport av containere fra Oslo til Rotterdam og transport av frossen fisk fra Ålesund til Bologna. Hun finner at sjøtransport blir relativt mer konkurransedyktig i forhold til landtransport, men at effekten er liten. Dette kan indikere at prising av CO2 ikke er tilstrekkelig til å få en signifikant overgang av transport fra land til sjø. Med andre ord kan investeringer i forskning og utvikling for å fremme nye teknologier innen shipping være nødvendig for at denne næringen skal få et tilstrekkelig konkurranse-fortrinn på landtransport. Dette vil dermed gi reduserte utslipp av klimagasser som følge av internasjonal handel. Modellene som vi har diskutert over illustrerer politiske verktøy for å skape rom for samarbeid for å gjennomføre denne type forskning og utvikling. Dette kan være nødvendig i den norske shippingnæringen, hvor mange aktører er relativt små og ikke nødvendigvis har finansiell styrke til å investere tilstrekkelig i forskning og utvikling for å utvikle morgendagens (klimavennlige) teknologier til sjøs.

Vedlegg

I det forrige eksempelet lot man agentene hjelpe hverandre i produksjonen. Vi skal nå se på hva tilfellet blir dersom man i stedet lar agentene skrive kontrakter seg i mellom slik at man gjennom dette kan koordinere handlingsvalgene. Dette blir gjennomgått i Holmstrøm og Milgrom (1990). Slike kontrakter vil i praksis si at agentene selv er med og bestemmer sin betaling for produksjon, siden man overfører noe av inntektene fra produksjonen seg i mellom. Dette er også i større grad vanlig i tilfeller hvor myndigheter ønsker å gjennomføre store prosjekter. Myndighetene skriver i stor grad kontrakter med en aktør, som igjen skriver kontrakter med underleverandører. Denne type modell er for eksempel anvendt når den svenske regjering utviklet det svenske jagerflyet JAS Gripen. Dersom en antar at agentene kan observere hverandres handlingsvalg, men at disse valgene er skjult for prinsipalen, så kan det vises at en slik tilpasning vil kunne være optimal for prinsipalen. Om det er optimalt med sidekontrakter vil blant annet bestemmes ut ifra hvor korrelert produksjonen til agentene er. I denne modellen tar vi for oss to risikoaverse agenter, $i = (1,2)$, som hver har en produksjons-funksjon, q_i, gitt ved:

$q_i = a_i + \varepsilon_i$

Som tidligere benevner a_i innsatsen. I tillegg introduserer man her usikkerhetsvariabler gitt ved ε_i.[3] Dette vil bety at korrelasjonskoeffisienten mellom variablene er gitt ved $\rho = \sigma_{12}/\sigma_1\sigma_2$. Vi antar videre at agentene har konstant absolutt risikoaversjonspreferanser (CARA) med koeffisient $\eta_i = -u''/u'$, noe som vil si at $\eta_i > 0$, siden nyttefunksjonen antas å være stigende og konkav, gitt ved den negative eksponentielle nyttefunksjonen

$u_i(w_i, a_i) = -e^{\eta_i[w_i - c_i(a_i)]}$

Kostnadsfunksjonen for agenten, $c_i(a_i)$, antas som tidligere å være strengt økende og konveks. Vi antar at kontraktene mellom agentene er lineære og har følgende form:

$w_1 = z_1 + v_1q_1 + u_1q_2$

$w_2 = z_2 + v_2q_2 + u_2q_1$

Først kan vi se på tilfellet hvor man ikke har sidekontrakter mellom agentene. Maksimerings-problemet for prinsipalen er nå gitt ved:

$\max_{z_i,v_i,u_i} \sum_i E[q_i - w_i]$= $\max_{z_i,v_i,u_i}(1 - v_1 - u_2)a_1 + (1 - u_1 - v_2)a_2 - z_1 - z_2$

under sidevilkårene:

$E\left(-e^{\eta_i[w_i - c_i(a_i)]}\right) \geq u(\bar{w})$ (5)

$a_i \in \arg\max_{a_i} E\left(-e^{-\eta_i[w_i - c_i(a_i)]}\right)$ (6)

Sidevilkåret i (5) er som tidligere rasjonalitetsvilkåret for agentene. Den usikre inntekten ved produksjon må være høyere enn en sikker inntekt, $\bar{w}$. I (6) har vi kravet om at innsatsen må være insentivkompatibel, det vil si at tilpasningen må maksimere agentenes forventede nytte slik at man får en Nash-likevekt. Etter noe manipulasjon (se appediks A) kommer man frem til følgende første ordensbetingelse

$v_i = c_i'(a_i)$

Dette betyr at agentens handlingsvalg betinges fullt og helt på størrelsen av agentens andel i egen produksjon, gitt ved v_i. Agenten står da igjen med å velge en andel i den andre agentens

---

[3] Vi antar at variablene er normalfordelte med forventning null og kovariansmatrise: $\begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 \end{pmatrix}$

produksjon, u_i, som er slik at den minimerer risikoeksponeringen for hver agent. Problemet er nå altså:

$$\min_{u_i} v_i^2\sigma_i^2 + u_i^2\sigma_j^2 + 2v_iu_i\sigma_{ij}$$

Dette gir oss:

$$u_i = -v_i\frac{\sigma_i}{\sigma_j}\rho$$

Av dette ser en at når det er en positiv korrelasjon mellom produksjonen til de to agentene, så vil den optimale kontrakten straffe hver agent dersom den andre agenten har en god innsats. Vi kan nå sette inn for u_i i uttrykket for agentenes sikkerhetsekvivalens og finner at den totale risikoeksponeringen for hver agent for en gitt innsats i egen produksjon (v_1, v_2) er gitt ved

$$\sum_{i=1}^{2}\eta_i[v_i^2\sigma_i^2(1-\rho^2)] \qquad (7)$$

Dette uttrykket kan vi sammenligne med det som kommer frem når vi nå skal se på tilfellet hvor agentene kan ha sidekontrakter basert på både innsatsnivå og produksjon.

I tilfellet med sidekontrakter antar vi at agentene kan observere hverandres handlingsvalg og produksjon. Vi antar nå at agent 1 kan ha en overføring til agent 2 som er av typen $(\phi q_1 + \chi q_2)$. Prinsipalen kan nøytralisere en slik overføring ved å sette:

$v_1 \; til \; v_1 - \phi$

$u_2 \; til \; u_2 + \phi$

$u_1 \; til \; u_1 - \chi$

$v_2 \; til \; v_2 + \chi$

Agentene vil nå maksimere det samlede utbyttet når de står overfor en gitt plan som skal gi et insentiv til innsats (v_i, u_i), det vil si:

$$\max_{\phi,\chi,a_i}(v_1+u_2)a_1 + (v_2+u_1)a_2 - \psi_1(a_1) - \psi_2(a_2) - \frac{\eta_1}{2}[(v_1-\phi)^2\sigma_1^2 + (u_1-\chi)^2\sigma_2^2 + 2(v_1-\phi)(u_1-\chi)\sigma_{12}] - \frac{\eta_2}{2}[(v_2+\chi)^2\sigma_2^2 + (u_2+\phi)^2\sigma_1^2 + 2(v_2+\chi)(u_2+\phi)\sigma_{12}]$$

Vi ser ut i fra dette at en slik insentivplan vil bestemme innsatsnivå og risikodeling mellom agentene, (ϕ, χ, a_1, a_2). Vi kan nå finne agentenes optimale sidebetalinger $(\phi q_1 + \chi q_2)$ når arbeidsinnsatsen har blitt bestemt ut ifra insentivplanen. En optimal sidebetaling må være slik at den minimerer agentenes totale risikoeksponering, altså:

$\frac{\partial(CE_1+CE_2)}{\partial\phi} = 0$ og $\frac{\partial(CE_1+CE_2)}{\partial\chi} = 0$

Dette gir oss henholdsvis:

$$\eta_1[(v_1-\phi)\sigma_1^2 + (u_1-\chi)\sigma_{12}] = \eta_2[(u_2+\phi)\sigma_1^2 + (v_2+\chi)\sigma_{12}] \tag{8}$$

$$\eta_1[(u_1-\chi)\sigma_2^2 + (v_1-\phi)\sigma_{12})] = \eta_2[(v_2+\chi)\sigma_2^2 + (u_2+\phi)\sigma_{12}] \tag{9}$$

Ved å multiplisere ligning (9) med σ_{12}/σ_2^2 og trekke denne fra ligning (8) får vi:

$$\eta_1(v_1-\phi) = \eta_2(u_2+\phi)$$

Vi kan nå gjøre en lignende eksersis ved å multiplisere (9) med σ_1^2/σ_{12} og trekke denne fra (8), noe som gir:

$$\eta_1(u_1-\chi) = \eta_2(v_2+\chi)$$

De to ligningene ovenfor kan løses med hensyn på henholdsvis ϕ og χ, slik at vi ender opp med

$$\phi = \frac{\eta_1 v_1 - \eta_2 u_2}{\eta_1+\eta_2} \;\Rightarrow\; v_1-\phi = \frac{\eta_2}{\eta_1+\eta_2}(v_1+u_2) \;\; og \;\; u_2+\phi = \frac{\eta_1}{\eta_1+\eta_2}(v_1+u_2)$$

$$\chi = \frac{\eta_1 u_1 - \eta_2 v_2}{\eta_1+\eta_2} \;\Rightarrow\; u_1-\chi = \frac{\eta_2}{\eta_1+\eta_2}(u_1+v_2) \;\; og \;\; v_2+\chi = \frac{\eta_2}{\eta_1+\eta_2}(u_1+v_2)$$

Den totale optimale risikoeksponeringen for de to agentene blir nå:

$$\frac{\eta_1}{2(\eta_1+\eta_2)^2}[\eta_2^2(v_1+u_2)^2\sigma_1^2 + \eta_2^2(u_1+v_2)^2\sigma_2^2 + 2\eta_2^2(v_1+u_2)(u_1+v_2)\sigma_{12}]$$

$$+\frac{\eta_2}{2(\eta_1+\eta_2)^2}[\eta_1^2(u_1+v_2)^2\sigma_2^2 + \eta_1^2(v_1+u_2)^2\sigma_1^2 + 2\eta_1^2(u_1+v_2)(v_1+u_2)\sigma_{12}]$$

Dette uttrykket kan forenkles til:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{\eta_1\eta_2^2+\eta_2\eta_1^2}{(\eta_1+\eta_2)^2}\right)[(v_1+u_2)^2\sigma_1^2 + (u_1+v_2)^2\sigma_2^2 + 2(u_1+v_2)(v_1+u_2)\sigma_{12}] \tag{10}$$

Vi kan nå innføre en risikoaversjon som er gitt ved:

$$\frac{1}{\eta_1} + \frac{1}{\eta_2} = \frac{1}{\eta}$$

Ved å bruke dette får vi at:

$$\frac{\eta_1\eta_2^2+\eta_2\eta_1^2}{(\eta_1+\eta_2)^2} = \frac{\eta_1\eta_2}{\eta_1+\eta_2} = \eta$$

Dette resultatet forteller oss at agentene nå vil få en total risikoeksponering som tilsvarer det en enkelt agent ville fått dersom han hadde stått overfor en kontrakt av typen $(v_1 + u_2, u_1 + v_2)$.

Ved sidekontrakter har vi at $u_1 = u_2 = 0$, siden man der kun fokuserer på egen innsats og i stedet avtaler overføringer fra agent 1 til agent 2. En kan derfor skrive (10) som:

$$\frac{1}{2}\eta(v_1^2\sigma_1^2 + v_2^2\sigma_2^2 + 2v_1v_2\sigma_{12}) \tag{11}$$

Vi kan nå sammenligne dette uttrykket med (7). Siden det må være slik at for å få det samme innsatsnivået (a_1, a_2) når man har sidekontrakter og når man ikke har sidekontrakter, så må man ha den samme insentivplanen (v_1, v_2) i begge tilfellene. Vi ser derfor på tilfellet hvor vi har et likt innsatsnivå i tilfellet med og uten sidekontrakter.

Dersom det er ingen korrelasjon mellom produksjonen av produkt 1 og 2, $\rho = 0$, så vil (7) og (11) bli henholdsvis:

Ingen sidekontrakt: $\eta_1 v_1^2\sigma_1^2 + \eta_2 v_2^2\sigma_2^2$

Sidekontrakt: $\frac{1}{2}\eta(v_1^2\sigma_1^2 + v_2^2\sigma_2^2)$

Vi ser at risikoeksponeringen under sidekontrakt vil være lavere enn i tilfellet uten sidekontrakt når det ikke er korrelasjon i produksjonen. Dette resultatet vil komme av at hvert av de to firmaene nå jobber hardere ved at de overvåker hverandre gjennom sidekontraktene.

Vi ser imidlertid av (7) og (11) at risikoeksponeringen under sidekontrakter øker i takt med korrelasjonen i produksjon. Når man ikke har sidekontrakter er derimot det motsatte tilfellet. Som man ser av (7), så vil risikoeksponeringen være 0 når $\rho = 1$. Det må derfor være slik at det å ha sidekontrakter kun dominerer det å ikke ha sidekontrakter dersom korrelasjonen i produksjon er lavere enn et visst nivå, altså $\rho \leq \bar{\rho}$. Når korrelasjonen øker, så vil et samarbeid også undergrave evaluering av relativ innsats, noe som vil føre til høyere kostnader for prinsipalen desto høyere korrelasjon i produksjon. Dette er et viktig resultat fra Holmstrøm og Milgrom (1990).

Dette er ofte tilnærmingen myndigheter benytter når store investeringer i for eksempel forsvarsteknologier skal gjennomføres. Myndighetene velger ut én partner, og denne partneren inngår kontrakter med underleverandører. Dette er for eksempel modellen som svenske myndigheter benyttet for å utvikle det nye JAS-gripen flyet. Det er også utstrakt bruk av amerikanske og franske myndigheter, Tirole (1988). Det er også relevant for gjennomføring av store investeringer for å utvikle nye klimavennlige teknologier, også innen shipping-næringen.

4 Referanser

Bolton, P., og M. Dewatripont. (2005). ”Contract Theory”. The MIT Press

Homström, B., og P. Milgrom (1990). ”Regulating Trade among Agents”. Journal of Institutional and Theoretical Economics, 146, s. 85-105.

Itoh, H. (1991). “Incentives to Help in Multi-Agent Situations”. Econometrica, Vol. 59, No. 3 (Mai, 1991), s (611-636)

Krawczyk, J.B., R. Lifran, M. Tidball (2004). ”Use of coupled incentives to improve adoption of environmentally friendly technologies”. Journal of Environmental Economics and Management 49 (2005), s. 311-329.