

Rettevejledning til eksamensopgaven i kandidatfaget

Miljø-, ressource-og klimaøkonomi

Eksamen afholdt den 13. juni 2012

(3 timers prøve uden hjælpemidler)

(Bemærk: Det nedenstående er et eksempel på en “ideel” besvarelse. En besvarelse kan ikke forventes at omfatte alle de nævnte elementer inden for den udstukne tidsramme på 3 timer).

OPGAVE 1. Ressourceudvinding under alternative markedsformer (Indikativ vægt: 50%)

Betragt en repræsentativ virksomhed, der ejer og udvinder en udtømmelig naturressource. Idet P er ressourceprisen, c er den konstante gennemsnitlige og marginale udvindingsomkostning, q er den udvundne og solgte ressourcemængde per periode, og r er den konstante markedsrente, er nutidsværdien af virksomhedens profit på tidspunkt nul givet ved

$$\Pi(0) = \int_0^{\infty} [P(t) - c] q(t) e^{-rt} dt, \quad (1)$$

hvor t angiver tiden, og e er eksponentialfunktionen. Vi antager indtil videre, at ressourcen har mange alternative anvendelser. Der findes derfor ikke en enkelt backstop-teknologi og en dertil hørende backstop-pris, hvor al efterspørgsel efter ressourcen falder bort. Det er baggrunden for, at virksomheden indtil videre har en uendeligt lang planlægningshorisont.

Virksomheden vælger den løbende udvinding $q(t)$ med henblik på at maksimere (1) under bibetingelserne

$$\dot{x}(t) = -q(t), \quad x(0) = x_0, \quad (2)$$

hvor x_0 og $x(t)$ er henholdsvis den initiale og den aktuelle ressourcebeholdning, og $\dot{x}(t) \equiv dx(t)/dt$. I din besvarelse af spørgsmålene nedenfor må du gerne forenkle notationen ved at undlade explicit angivelse af tidsvariablen t , når det ikke giver anledning til misforståelser.

Spørgsmål 1.1. Antag at ressourcemarkedet er karakteriseret ved fuldkommen konkurrence. Udled førsteordensbetingelserne for at den repræsentative virksomhed har maksimeret nutidsværdien af sin profit (NB: Du behøver ikke at komme ind på transversalitetens betingelse). Udled fra førsteordensbetingelserne et udtryk for ændringen i ressource-

ceprisen over tid. Giv en økonomisk fortolkning af udtrykket og forklar den markedsmekanisme, der gennemtvinger den udledte prisstigningstakt.

Svar på spørgsmål 1.1: Hamilton-funktionen (opgjort i løbende værdi) svarende til det anførte maksimeringsproblem er

$$H = (P - c)q - \mu q,$$

hvor μ er skyggeprisen på ressourcen. Vi bemærker, at Hamilton-funktionen ikke afhænger af ressourcebeholdningen x , dvs. $\partial H / \partial x = 0$. Førsteordensbetingelserne for en optimal ressourceudvinding bliver dermed

$$\frac{\partial H}{\partial q} = 0 \quad \Rightarrow \quad P - c = \mu \quad (\text{i})$$

$$\dot{\mu} = r\mu - \partial H / \partial x = r\mu \quad (\text{ii})$$

Af (i) fås

$$\dot{P} = \dot{\mu} \quad (\text{iii})$$

Indsættelse af (i) og (iii) i (ii) giver

$$\dot{P} = r(P - c), \quad (\text{iv})$$

som er en variant af den berømte Hotelling regel. Venstresiden af (iv) angiver den kapitalgevinst, virksomheden opnår ved at lade en ekstra enhed af ressourcen blive i undergrunden i den aktuelle periode. Højresiden af (iv) er den gevinst, der kan opnås ved at udvinde og sælge en ekstra enhed i dag og investere den resulterende marginale ressourcerente $P - c$ i kapitalmarkedet. I et optimum skal de to alternativer være lige fordelagtige, hvilket netop er, hvad ligning (iv) kræver.

Den markedsmekanisme, der sikrer opfyldelsen af (iv), kan kort forklares således: Hvis $\dot{P} < r(P - c)$, kan det bedst betale sig at udvinde og sælge en ekstra enhed af ressourcen i dag frem for at lade den blive i jorden. Derved øges det aktuelle udbud i markedet, og den aktuelle ressourcepris vil derfor blive presset ned, indtil $\dot{P} = r(P - c)$. Hvis vi derimod har $\dot{P} > r(P - c)$, kan det bedst betale sig at udskyde ressourceudvindingen. Derfor vil

virksomhederne indskrænke den aktuelle udvinding, hvorved den aktuelle markedspris presses op, indtil $\dot{P} = r(P - c)$.

Spørgsmål 1.2. Antag nu i stedet, at ejerskabet til ressourcen er monopoliseret af en enkelt virksomhed eller evt. af et kartel af virksomheder, der samlet optræder som et monopol. Antag endvidere at ressourceefterspørgslen er givet ved den inverse efterspørgselskurve

$$P(t) = f(q(t)), \quad f'(q(t)) \equiv f_q < 0. \quad (3)$$

Virksomheden ønsker at maksimere (1) under hensyntagen til (2) og (3). Udled førsteordensbetingelserne for løsning af dette problem (du behøver ikke at komme ind på transversalitätsbetingelsen). Udled og forklar på den baggrund betingelsen for, at virksomheden har foretaget en optimal allokering af ressourceudvindingen over tid (Vink: Du kan i den forbindelse bruge notationen $R_q \equiv f(q) + f_q q$ til at angive virksomhedens grænseomsætning).

Svar på spørgsmål 1.2: Ved indsættelse af (3) i (1) kan nutidsværdien af virksomhedens profit nu skrives som

$$\Pi(0) = \int_0^{\infty} [f(q(t)) - c] q(t) e^{-rt} dt,$$

og Hamilton-funktionen (opgjort i løbende værdi) svarende til monopolistens maksimeringsproblem bliver derfor

$$H = [f(q) - c] q - \mu q,$$

hvor μ igen er skyggeprisen på ressourcen. Førsteordensbetingelserne er

$$\frac{\partial H}{\partial q} = 0 \quad \Rightarrow \quad R_q - c = \mu, \quad R_q \equiv f(q) + f_q q \quad (a)$$

$$\dot{\mu} = r\mu - \partial H / \partial x = r\mu \quad (b)$$

Da c som nævnt er konstant, følger det af (a), at

$$\dot{\mu} = \dot{R}_q \quad (c)$$

Ved at indsætte (a) og (c) i (b) får vi

$$\dot{R}_q = r(R_q - c) \quad (\text{d})$$

Venstresiden af (d) er stigningen i grænseomsætningen over tid, som angiver monopolistens gevinst ved at udskyde udvinding af en ressourceenhed fra i dag til i morgen. Højresiden af (d) er monopolistens gevinst ved at udvinde en ekstra enhed i dag og investere den resulterende marginale ressourcerente $R_q - c$ i kapitalmarkedet. Den marginale ressourcerente er nu ikke længere forskellen mellem prisen og den marginale udvindingsomkostning, men derimod forskellen mellem grænseomsætningen (R_q) og den marginale udvindingsomkostning, idet monopolisten må tage hensyn til, at et øget udbud på markedet presser prisen ned og dermed reducerer indtjeningen fra salget af de intramarginale enheder.

Spørgsmål 1.3. Betragt situationen, hvor efterspørgselsfunktionen (3) tager formen

$$P = Aq^{-1/\varepsilon}, \quad \varepsilon > 1, \quad (4)$$

hvor A og ε er positive konstanter, og ε er den numeriske priselasticitet i ressourceefterspørgslen. Antag endvidere at den marginale udvindingsomkostning c er lig med nul. Undersøg om prisstigningstakten og udvindingstakten da vil være anderledes under monopol end under fuldkommen konkurrence. Giv en forklaring på dit resultat.

Svar på spørgsmål 1.3: Vi udleder først prisstigningstakten under fuldkommen konkurrence i den situation, hvor den marginale udvindingsomkostning er nul. For $c = 0$ får vi af (iv) at

$$\frac{\dot{P}}{P} = r \quad (\text{v})$$

Under monopol får vi ved at sætte $c = 0$ i (d), at

$$\frac{\dot{R}_q}{R_q} = r \quad (\text{vi})$$

For at kunne sammenligne prisudviklingen under de to markedsformer skal vi finde sammenhængen mellem prisen og grænseomsætningen. Af (4) følger, at totalomsætningen TR er givet ved

$$TR \equiv Pq = Aq^{(\varepsilon-1)/\varepsilon} \quad (\text{vii})$$

Af (4) og (vii) ser vi, at grænseomsætningen er

$$R_q \equiv \frac{\partial TR}{\partial q} = \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \right) Aq^{-1/\varepsilon} = \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \right) P \quad (\text{viii})$$

Da priselasticiteten ε er konstant, følger det af (viii) at

$$\dot{R}_q = \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \right) \dot{P} \quad (\text{ix})$$

Under monopol gælder derfor ifølge (viii) og (ix), at

$$\frac{\dot{R}_q}{R_q} = \frac{\dot{P}}{P} \quad (\text{x})$$

Af (v), (vi) og (x) ses, at den procentvise stigning i ressourceprisen under de to markedsformer vil være den samme og lig markedsrenten. Heraf følger, at også den udvundne mængde af ressourcen vil være den samme i hver periode under de to markedsformer. Resultatet skyldes antagelsen om en konstant priselasticitet, der medfører, at forholdet mellem pris og grænseomsætning til stadighed er konstant, jf. (viii). Når prisen stiger procentvis svarende til markedsrenten, hvilket er betingelsen for en markedsligevægt under fuldkommen konkurrence, vil grænseomsætningen derfor også stige procentvis svarende til renten, hvilket sikrer markedsligevægt under monopol.

I specialtilfældet med konstant priselasticitet i ressourceefterspørgslen vil monopolistisk markedsadfærd altså ikke medføre, at ressourceudvindingen sker “for langsomt”. Hvis efterspørgselskurven derimod var *linear*, ville ressourceudtømmningen derimod foregå langsommere under monopol end under fuldkommen konkurrence.

(Bemærk: Ovenstående spørgsmål må betragtes som svært. Ved bedømmelsen bør der tages hensyn hertil).

Spørgsmål 1.4. Vi fokuserer nu på situationen med fuldkommen konkurrence. I modsætning til før antager vi, at der findes en backstop-teknologi, der gør det muligt at producere et perfekt substitut til den betragtede ressource. Dette substitut kan produceres til den konstante (eksogene) backstop-pris p^b . Endvidere antager vi, at ressourceefterspørgslen ikke længere er givet ved (4), men derimod ved funktionen

$$P = Be^{-aq}, \quad (5)$$

hvor B og a er positive konstanter, og e er eksponentialfunktionen. Vi ser af (5), at $P = B$ for $q = 0$. Backstop-prisen, hvor ressourceefterspørgslen bliver nul, er altså givet ved

$$p^b = B. \quad (6)$$

Lad T betegne det tidspunkt, hvor ressourceprisen når op på backstop-prisen, dvs. $P(T) = p^b$. Vis nu, at den løbende ressourceudvinding under fuldkommen konkurrence er givet ved

$$q(t) = \frac{r}{a}(T - t), \quad 0 \leq t \leq T. \quad (7)$$

(Vink: Brug din analyse i spørgsmål 1.1 til at udlede sammenhængen mellem $P(0)$ og $P(t)$ for $0 \leq t \leq T$. Brug dernæst (5), (6) og sammenhængen $P(T) = p^b$).

Udled endvidere et udtryk for det tidspunkt T , hvor q når ned på nul, og ressourcen er helt udtømt, idet du udnytter restriktionen

$$\int_0^T q(t) dt = x_0. \quad (8)$$

Giv en økonomisk forklaring på, hvordan rentens størrelse påvirker udtømmingstidspunktet.

Svar på spørgsmål 1.4: Vi skal først udlede ligning (7). Af (ii) følger, at

$$\mu(t) = \mu(0)e^{rt} \quad (e)$$

Vi antager ligesom i spm. 1.3, at $c = 0$. Da får vi af (i) og (e), at

$$P(t) = P(0)e^{rt} \quad \text{for } 0 \leq t \leq T. \quad (f)$$

Indsættelse af (5) og (6) i (f) giver

$$p^b e^{-aq(t)} = P(0)e^{rt} \quad (g)$$

Da $P(T) = p^b$, følger det også af (f), at

$$p^b = P(0) e^{rT} \Leftrightarrow P(0) = p^b e^{-rT} \quad (\text{h})$$

Ved at indsætte (h) i (g) og tage den naturlige logaritme på begge sider af lighedstegnet får vi nu

$$p^b e^{-aq(t)} = p^b e^{r(t-T)} \Leftrightarrow e^{-aq(t)} = e^{r(t-T)} \Leftrightarrow$$

$$-aq(t) = r(t-T) \Leftrightarrow q(t) = \frac{r}{a}(T-t) \quad (\text{i})$$

Resultatet i (i) svarer netop til det resultat (7), som vi skulle vise.

Vi kan nu finde T ved at indsætte (7) i (8). Dermed får vi

$$\begin{aligned} \int_0^T q(t) dt &= x_0 \Rightarrow \\ \frac{r}{a} \int_0^T (T-t) dt &= x_0 \end{aligned} \quad (\text{j})$$

Stamfunktionen til udtrykket $T-t$ under integraltegnet i (j) er $Tt - \frac{t^2}{2}$. Vi får derfor af (j), at

$$\begin{aligned} \frac{r}{a} \left[Tt - \frac{t^2}{2} \right]_0^T &= x_0 \Rightarrow \frac{r}{2a} T^2 = x_0 \Leftrightarrow \\ T &= \sqrt{\frac{2ax_0}{r}} \end{aligned} \quad (\text{k})$$

Det følger af (k), at en højere markedsrente vil reducere T og dermed fremskynde det tidspunkt, hvor ressourcen udtømmes. Det skyldes, at en højere rente gør det mere fordelagtigt at hente ressourcen op af undergrunden og investere salgsindtægten i kapitalmarkedet.

I overensstemmelse med resultatet i (k) kan vi se af (f), at en højere rente øger prisstigningstakten på ressourcen. Dette kræver, at knapheden på ressourcen vokser hurtigere over tid, hvilket kun kan ske, hvis ressourceudvindingstakten øges.

(Bemærk: Ovenstående spørgsmål må betragtes som svært. Ved bedømmelsen bør der tages hensyn hertil).

OPGAVE 2. Den optimale miljøafgift (Indikativ vægt: 25%).

(Vink: Det er acceptabelt, hvis du giver en rent verbal besvarelse af hele opgave 2, men du må også gerne inddrage ligninger til at understøtte forklaringerne).

Spørgsmål 2.1. Forklar begrebet “den optimale Pigou-skat” på en forurenende vare. Hvad bestemmer størrelsen af den optimale Pigou-skat?

Svar på spørgsmål 2.1: Den optimale Pigou-skat er en miljøafgift, der fuldt ud internaliserer den negative eksterne effekt af forurening. Den optimale Pigou-skat svarer til den marginale eksterne skadesomkostning ved forureningen. Når forureningsseksternaliteten består af en direkte negativ effekt på forbrugernes velfærd, og Pigou-skatten pålægges produktionen eller forbruget af en forurenende vare, er den optimale Pigou-skat lig med *summen* af alle forbrugeres villighed til at betale for en marginal reduktion af forureningen via en reduktion af forbruget eller produktionen af varen med én enhed. I kraft af Pigou-skatten kommer producenterne eller forbrugerne af varen til fuldt ud at bære den marginale miljøomkostning ved produktionen eller forbruget.

Den gode besvarelse nævner, at man ved beregning af den optimale Pigou-skat skal opgøre forbrugernes marginale betalingsvillighed ved det samfundsmæssigt optimale forbrugs- og forureningsniveau, dvs. i det punkt, hvor den marginale eksterne skadesomkostning ved forureningen svarer til den marginale omkostning ved at nedbringe forureningen.

Spørgsmål 2.2. Hvordan bør en miljøafgift fastsættes ud fra en ren effektivitetsbetragtning, når staten også er nødt til at pålægge andre (forvridende) afgifter for at dække sit indtægtsbehov?

Svar på spørgsmål 2.2: Hvis man forenkende antager, at krydspriselasticiteterne i efterspørgslen efter de forskellige varer er nul, kan man vise, at den optimale afgift på en forurenende vare er givet ved ligningen

$$\frac{t}{P} = \alpha \cdot \overbrace{\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)}^{\text{Ramsey-led}} + (1 - \alpha) \cdot \overbrace{\left(\frac{MEC}{P}\right)}^{\text{Pigou-led}}, \quad \alpha \equiv \frac{\mu - \lambda}{\mu} \quad (\text{xi})$$

hvor t er den absolutte afgift pr. enhed, P er varens forbrugerpris (inclusiv afgiften), ε er den numeriske egenpriselasticitet i efterspørgslen efter varen, og MEC er den marginale eksterne omkostning ved forbruget af varen, dvs. summen af forbrugernes marginale vilighed til at betale for en reduktion af forbruget af varen med én enhed. Skyggeprisen μ angiver forbrugernes velfærdstab, når der opkræves 1 krones ekstra provenu via forvridende afgifter, og λ er den private grænsenyttelighed af lump-sum indkomst, der svarer til forbrugernes velfærdstab, hvis de hypotetisk pålægges en lump-sum skat på 1 krone. Eftersom $\mu > \lambda$, gælder at $0 < \alpha < 1$. Ligning (xi) siger således, at den optimale ad-valorem afgift på en forurenende vare er et vejet gennemsnit af et “Ramsey-led”, der er omvendt proportionalt med varens priselasticitet, og et “Pigou-led”, der svarer til den marginale eksterne omkostnings andel af forbrugerprisen. Ramsey-leddet afspejler det ikke-miljømæssige effektivitetshensyn i beskatningen, der tilsiger en relativt høj afgiftsbelastning af varer med lav priselasticitet. Pigou-leddet afspejler det miljømæssige effektivitetshensyn, der tilsiger en afgift svarende til den marginale eksterne skade-somkostning. Hvis priselasticiteten i efterspørgslen er meget lav, kan den optimale ad valorem afgiftssats ifølge (xi) overstige den rene Pigou-skattesats MEC/P , og vice versa hvis priselasticiteten er relativt høj.

Hvis det offentlige indtægtsbehov er stort, og afgiftstrykket dermed er højt, vil μ være meget stor i forhold til λ , eftersom det marginale forvridningstab ved beskatningen er stort ved et højt skattetryk. Vægten α vil da være tæt på 1, dvs. at den optimale beskatning vil være domineret af det ikke-miljømæssige effektivitetshensyn, når skattetrykket er højt.

Spørgsmål 2.3. Hvordan bør en miljøafgift fastsættes, når staten ønsker at tilgodese både effektivitets- og fordelingshensyn, og når den også er nødt til at opkræve andre afgifter?

Svar på spørgsmål 2.3: Når varebeskatningen også skal tilgodese fordelingshensyn, kan man vise, at den optimale ad-valorem afgiftssats vil bestå af et fordelingsvægtet Ramsey-led og et fordelingsvægtet Pigou-led. Det fordelingsvægtede Ramsey-led vil fortsat variere omvendt proportionalt med varens egenpriselasticitet, men det vil være større (mindre)

for varer, der vejer relativt meget (lidt) i de højestlønnede forbrugeres budget. Pigou-leddet vil fortsat variere positivt med forbrugernes marginale villighed til at betale for en reduktion af forureningen, men de lavtlønnedes betalingsvillighed vil veje tungere end de højt-lønnedes betalingsvillighed ved opgørelsen af den fordelingsvægtede marginale eksterne skadesomkostning. Ved fastlæggelsen af afgiftssatsen vil miljøhensynet således slå mindre igennem, hvis den forurenende vare i særlig grad forbruges af de lavtlønnede, og vice versa.

OPGAVE 3. Det grønne paradoks i klimapolitikken (Indikativ vægt: 25%)

(Vink: Det er acceptabelt, hvis du giver en rent verbal besvarelse af hele opgave 3, men du må også gerne inddrage figurer og/eller ligninger til at understøtte forklaringerne).

Spørgsmål 3.1. Forklar teorien og mekanismerne bag det såkaldte “grønne paradoks” i klimapolitikken.

Svar på spørgsmål 3.1: Teorien om det grønne paradoks er udviklet af den tyske økonom Hans-Werner Sinn. Det kan være nyttigt at opsummere nogle centrale ligninger fra hans modelanalyse. Sinn betragter en økonomi, hvor reservebeholdningen af fossile brændsler i undergrunden betegnes S , og hvor den løbende udvinding af brændslerne betegnes R . De samlede udvindingsomkostninger per periode (X) antages at være givet ved

$$X(S, R) = g(S) R, \quad g' < 0. \quad (\text{xii})$$

Den marginale udvindingsomkostning $g(S)$ er altså højere, jo mindre den tilbageværende reservebeholdning er, da ressourcejerne antages at udnytte de lettest og billigst tilgængelige ressourceforekomster, før de går videre til at udvinde de mere vanskeligt tilgængelige forekomster. Idet ressourceprisen er P , og markedsrenten er r , viser Sinn, at en markedsligevægt under fuldkommen konkurrence på ressourcemarkedet kræver opfyldelse af ligningen

$$r[P - g(S)] = \dot{P} - \pi[P - g(S)] \iff$$

$$r + \pi = \frac{\dot{P}}{P - g(S)}, \quad (\text{xiii})$$

hvor π er en (konstant eksogen) ekspropriationsrisiko, der angiver sandsynligheden for, at de eksisterende ressourcejere i løbet af perioden vil miste deres ejendomsret til brændselsreserven som følge af politiske omvæltninger, nationaliseringer eller lignende. Resultatet i (xiii) kan forklares således: Hvis ressourcejeren straks udvinder og sælger en ekstra tønde olie og investerer nettoprovenuet heraf på kapitalmarkedet, opnår han afkastet $r[P - g(S)]$. Hvis han i stedet lader olien blive i jorden, opnår han et forventet afkast på $\dot{P} - \pi[P - g(S)]$, dvs. kapitalgevinsten som følge af den forventede stigning i olieprisen (\dot{P}) fratrukket det forventede tab af ressourcerente som følge af risikoen for ekspropriation, $\pi[P - g(S)]$. I ligevægt må afkastet i de to situationer være det samme, hvorved man får ligning (xiii).

Udvindingen af det fossile brændsel antages at medføre global opvarmning og deraf følgende negative miljøeksternaliteter. Opvarmningen og de resulterende klimaeksternaliteter kan dæmpes ved at udskyde udvindingen af fossile brændsler. Men ifølge ræsonnementet bag (xiii) vil mange foreslåede former for klimapolitik tværtimod fremskynde brændselsudvindingen og dermed skærpe klimaproblemet. Antag fx, at der indføres en CO₂-afgift på τ^s per udvundet eller solgt brændselsenhed, og at afgiften stiger over tid med beløbet $\dot{\tau}^s$. Den aktuelle ressourcerente per udvundet enhed vil da være $P - \tau^s - g(S)$, og gevinsten ved at lade en ekstra tønde olie blive i jorden vil alt andet lige blive beskåret svarende til den løbende afgiftsstigning $\dot{\tau}^s$. Ud fra samme ræsonnement som ovenfor vil en markedsligevægt da kræve, at

$$r[P - \tau^s - g(S)] = \dot{P} - \dot{\tau}^s - \pi[P - \tau^s - g(S)] \iff$$

$$r + \pi = \frac{\dot{P} - \dot{\tau}^s}{P - \tau^s - g(S)} \quad (\text{xiv})$$

Ud fra (xiv) kan man let vise, at hvis afgiften udvikler sig over tid svarende til ligningen

$$\frac{\dot{\tau}^s}{\tau^s} = r + \pi, \quad (\text{xv})$$

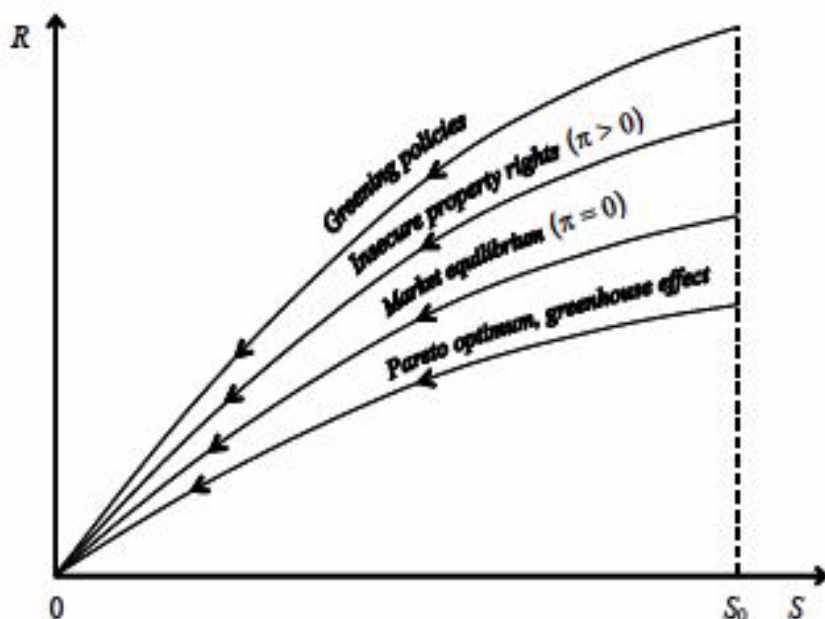
så vil afgiften være *neutral*, dvs. uden indflydelse på prisudviklingen og dermed uden

virkning på ressourceudvindingen, idet (xv) indsat i (xiv) netop giver (xiii). Men hvis afgiften stiger over tid med en rate, der overstiger $r + \pi$, følger det af (xiv), at ressourceprisen skal stige *hurtigere* over tid for at sikre markedsligevægt. Dette kræver en hurtigere udtømning af brændselsreserven, hvorved den globale opvarmning *accelleres*. Det er et eksempel på Sinn's grønne paradoks: En klimapolitik, der bliver stadigt mere ambitiøs over tid - in casu via en stadigt stigende CO2-afgift - risikerer at øge den globale opvarmning snarere end at mindske den. Årsagen er, at den stigende afgift reducerer den fremtidige ressourcerente i forhold til den aktuelle ressourcerente, hvilket giver ressourcerne et incitament til at fremskynde ressourceudvindingen.

Mange andre former for klimapolitik kan tænkes at have en lignende virkning. Fx kan tilskud til udvikling af nye alternative grønne energikilder give forventninger om en dæmpning af den fremtidige efterspørgsel efter fossile brændsler og dermed en dæmpning af de fremtidige brændselspriser. Dette påvirker incitamentet til fremskyndelse af ressourceudvindingen på samme måde som en gradvis afgiftsstigning.

Mere generelt fremhæver teorien om det grønne paradoks nødvendigheden af at analysere, hvordan forskellige former for klimapolitik påvirker incitamenterne på *udbudssiden* af markedet for fossile brændsler. Politiktiltag, der medfører en gradvis dæmpning af *efterspørgslen* efter fossile brændsler, kan meget vel give udbyderne et incitament til at fremskynde udvindingen.

Teorien om det Grønne Paradoks kan evt. illustreres ved brug af nedenstående diagram fra Sinn (2008), hvor den tilbageværende reserve af fossile brændsler (S) er afsat langs førsteaksen, mens den løbende ressourceudvinding (R) er afsat op ad andenaksen. Den nederste kurve i diagrammet illustrerer et samfundsmæssigt optimalt udvindingsforløb, hvor drivhuseffekten er internaliseret. Den næstlaveste kurve illustrerer et markedsforløb under fuldkommen konkurrence og sikre ejendomsrettigheder for de eksisterende ressourcejere, mens den næstøverste kurve illustrerer et markedsforløb under usikre ejendomsrettigheder, hvor ekspropriationsrisikoen giver incitament til en hurtigere udvinding af brændselsreserven. Endelig angiver den øverste kurve en situation med det Grønne Paradoks, hvor en gradvist skærpet klimapolitik yderligere fremskynder brændselsudvindingen.



Spørgsmål 3.2. Diskutér hvilke former for klimapolitik, der vil være henholdsvis ineffektive og effektive i lyset af teorien om det grønne paradoks.

Svar på spørgsmål 3.2: En række former for klimapolitik, der tilstræber en *gradvis* reduktion af *efterspørgslen* efter fossile brændsler, risikerer at støde ind i det Grønne Paradoks. Eksempler på sådanne ineffektive former for klimapolitik kunne være følgende: Udvikling af alternative ikke-fossile energikilder; øget anvendelse af atomenergi; gradvist forbedret bygningsisolering; opvarmning med brændeovne og varmepumper; udvikling af mere benzinøkonomiske biler og hybridbiler; trafikpolitik der gradvis reducerer trafikomfanget, osv.

Eksempler på effektive former for klimapolitik: En CO₂-afgift, der initialt sættes højt, men derefter er *faldende over tid*, vil give incitament til at udskyde udvindingen af fossile brændsler og dermed dæmpe drivhuseffekten. Problemet er, at det kan være svært at sikre troværdighed omkring en sådan politik, da det politiske pres for en skærpet klimapolitik formentlig vil vokse i takt med den globale opvarmning. En CO₂-afgift, der holdes *konstant* over tid, vil også (omend i mindre grad) bremse udvindingen af fossile brændsler. Dette indses ved at sætte $\dot{\tau}^s = 0$ i (xiv), hvorved man får

$$r + \pi = \frac{\dot{P}}{P - \tau^s - g(S)} \quad (\text{xvi})$$

Da venstresiden af (xvi) er konstant, ser vi, at tilstedeværelsen af afgiften τ^s i nævneren alt andet lige medfører, at prisstigningstakten for det fossile brændsel (\dot{P}) skal være lavere for at sikre markedsligevægt. Dette kræver en langsommere udvindingstakt og dermed en dæmpning af drivhuseffekten. På samme måde kan man vise, at også en *konstant ad-valorem afgift* på produktion eller forbrug af fossile brændsler vil bremse udvindingstakten. For at gøre en væsentlig forskel, skal afgifterne dog være relativt høje.

Sinn's teori peger også på, at en koordineret indsats mod international skatteunddragelse kan øge ressourcejernes incitament til at udskyde ressourceudvindingen. En internationalt koordineret kildelandsbaseret kuponskat på afkastet af porteføljeinvesteringer vil mindske den kalkulationsrente r , der optræder i ligevægtsbetingelsen (xiii), da det er renten *efter* skat, der er relevant for ressourcejernes incitament til at hive olien op af jorden og investere provenuet på det internationale kapitalmarked.

Sikrere ejendomsrettigheder, der mindsker ekspropriationsrisikoen π , vil ligeledes give incitament til en langsommere udvindingstakt. Disse resultater følger af, at en lavere værdi af $r + \pi$ indebærer en lavere ligevægtsværdi for ressourceprisstigningstakten \dot{P} og dermed en lavere udtømningshastighed for brændselsreserven.

En bindende *kvantitativ begrænsning på efterspørgselssiden* af brændselsmarkedet ville også være en effektiv klimapolitik, da dette ville gøre de omtalte mekanismer på markedets udbudsside irrelevante. En sådan kvantitativ begrænsning af efterspørgslen efter fossile brændsler kunne bestå af et internationalt marked for CO₂-kvoter omfattende alle (betydende) lande i verden.

Endelig vil tiltag, der afkobler akkumulationen af CO₂ i atmosfæren fra forbruget af fossile brændsler, kunne overvinde det grønne paradoks. Eksempler herpå er opsamling og lagring af CO₂ (Carbon Capture and Storage), samt bremsning/standsning af skovfældning, idet større skovarealer via fotosyntesen vil medføre en større absorption af CO₂ fra atmosfæren.

Sinn's analyse af det Grønne Paradoks bygger på den antagelse, at markedsprisen på fossile brændsler altid vil overstige de marginale udvindingsomkostninger, så det altid vil kunne betale sig at udvinde alle eksisterende brændselsreserver. Spørgsmålet for ressourcejerne bliver da alene, hvor hurtigt de skal udtømme reserverne. Man kan imidlertid forestille sig, at der kan udvikles effektive alternative backstop-teknologier, der

tvinger markedsprisen på fossile brændsler (fx kul) så langt ned, at det bliver uprofitabelt at udvinde de mere vanskeligt tilgængelige forekomster af fossile brændsler. Dermed bliver det Grønne Paradoks modificeret: På den ene side kan forventningen om fremkomsten af nye backstop-teknologier fremkynde udvindingen af de billigere brændselsreserver, hvilket forstærker drivhuseffekten, men på den anden side kan effektive backstop-teknologier betyde, at den samlede beholdning af økonomisk tilgængelige reserver mindskes, hvilket vil reducere den samlede CO₂-udledning over tid.