

Rettevejledning til  
Eksamen på økonomistudiet sommer 2015

Miljø-, ressource-og klimaøkonomi

Kandidatfag

4. august 2015

3 timers prøve uden hjælpemidler

(Bemærk: De anførte vægte til de enkelte opgaver er kun indikative. Ved bedømmelsen vil der blive anlagt en helhedsvurdering af besvarelsene)

**OPGAVE 1. Den optimale miljøafgift (indikativ vægt 65%)**

Betragt en økonomi med et stort antal ( $n$ ) forbrugere, der kan have forskellige præferencer og indtjeningssevner. Forbruger  $i$  forbruger mængden  $x_1^i$  af en ikke-forurenende vare og mængden  $x_2^i$  af en forurenende vare. Endvidere udsættes han/hun for forureningsomfanget  $e$ , der medfører tab af velfærd. Forbruger  $i$ 's nytte  $u^i$  er derfor givet ved nyttefunktionen

$$u^i = u^i(x_1^i, x_2^i, e), \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

$$u_1^i \equiv \frac{\partial u^i}{\partial x_1^i} > 0, \quad u_2^i \equiv \frac{\partial u^i}{\partial x_2^i} > 0, \quad u_e^i \equiv \frac{\partial u^i}{\partial e} < 0.$$

Nyttefunktionen har de sædvanlige neoklassiske egenskaber, dvs. grænsenyttene  $u_1^i$  og  $u_2^i$  er aftagende i forbruget af de pågældende varer, og den marginale disnytte ved forurening ( $-u_e^i$ ) er stigende i forureningsomfanget.

Det samlede forureningsomfang er en voksende funktion af det samlede forbrug af vare 2, dvs.

$$e = e\left(\sum_{i=1}^n x_2^i\right), \quad e' > 0. \quad (2)$$

Den samlede produktion af vare 1 er givet ved produktionsfunktionen  $f(L_1)$ , hvor  $L_1$  er det samlede input af arbejdskraft i produktionen af vare 1. Tilsvarende er den samlede produktion af vare 2 givet ved produktionsfunktionen  $F(L_2)$ , hvor  $L_2$  er indsatsen af arbejdskraft i produktionen af vare 2. Arbejdskraftens grænseprodukt er positivt og ikke-voksende i begge produktionssektorer. Den samlede produktion af hver vare skal svare til det samlede forbrug, dvs.

$$\sum_{i=1}^n x_1^i = f(L_1), \quad f' > 0, \quad f'' \leq 0, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_2^i = F(L_2), \quad F' > 0, \quad F'' \leq 0. \quad (4)$$

Hver enkelt forbruger har et konstant eksogent arbejdsudbud, der derfor ikke optræder eksplicit i nyttefunktionen (1). Det samlede arbejdsudbud  $\bar{L}$  er dermed også en eksogen konstant. Vi antager, at hele arbejdsstyrken udnyttes, dvs.

$$L_1 + L_2 = \bar{L}. \quad (5)$$

Samfundets samlede velfærd ( $W$ ) er lig med summen af velfærden for de enkelte borgere, dvs.

$$W = \sum_{i=1}^n u^i. \quad (6)$$

Vi skal i første omgang karakterisere den optimale ressourceallokering, som en velmenende samfundsplanlægger ville vælge. Samfundsplanlæggeren skal altså maksimere samfundsvelværdsfunktionen (6) under hensyntagen til sammenhængene (1) til (5). Ved at indsætte (2) i (1) og benytte (5) til at eliminere den variable  $L_2$  kan vi skrive Lagrange-funktionen svarende til samfundsplanlæggerens maksimeringsproblem som

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \sum_{i=1}^n u^i \left( x_1^i, x_2^i, e \left( \sum_{i=1}^n x_2^i \right) \right) \\ & + \lambda_1 \left[ f(L_1) - \sum_{i=1}^n x_1^i \right] + \lambda_2 \left[ F(\bar{L} - L_1) - \sum_{i=1}^n x_2^i \right], \end{aligned} \quad (7)$$

hvor  $\lambda_1$  og  $\lambda_2$  er Lagrange-multiplikatorer. Som det fremgår af (7), skal samfundsplanlæggeren optimere de variable  $x_1^i$  ( $i = 1, \dots, n$ ),  $x_2^i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) samt  $L_1$ . Førsteordensbetingelserne for et samfundsmæssigt optimum er derfor

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_1^i} = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_2^i} = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad (9)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L_1} = 0. \quad (10)$$

**Spørgsmål 1.1.** Udled ved brug af (7) udtrykkene for førsteordensbetingelserne i (8), (9) og (10).

*Svar på spørgsmål 1.1:* Af (7) følger, at

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_1^i} = 0 \implies$$

$$u_1^i = \lambda_1, \quad i = 1, \dots, n, \quad (i)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_2^i} = 0 \implies$$

$$u_2^i + \sum_{i=1}^n u_e^i e' = \lambda_2, \quad i = 1, \dots, n, \quad (ii)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial L_1} = 0 \implies$$

$$\lambda_1 f' = \lambda_2 F'. \quad (\text{iii})$$

**Spørgsmål 1.2.** Vis ved brug af dine resultater i spørgsmål 1.1, at førsteordensbetingelserne for løsning af samfundsplanlæggerens problem implicerer, at

$$\frac{u_2^i}{u_1^i} + \sum_{e=1}^n \frac{u_e^i}{u_1^i} e' = \frac{f'}{F'}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (11)$$

$$u_1^i = u_1^j, \quad u_2^i = u_2^j, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (12)$$

Giv en økonomisk fortolkning af betingelserne (11) og (12). Afspejler betingelserne effektivitetshensyn eller fordelingshensyn?

*Svar på spørgsmål 1.2:* Ved at dividere (ii) med (i) fås

$$\frac{u_2^i}{u_1^i} + \sum_{e=1}^n \frac{u_e^i}{u_1^i} e' = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (\text{iv})$$

Af (iii) følger endvidere, at

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{f'}{F'}. \quad (\text{v})$$

Ved at indsætte (v) i (iv) fremkommer resultatet i (11).

Første del af resultatet i (12) ( $u_1^i = u_1^j$ ) følger af, at størrelsen på højresiden af (i) ( $\lambda_1$ ) er den samme for alle  $i, j = 1, \dots, n$ . Anden del af resultatet i (12) ( $u_2^i = u_2^j$ ) følger af (ii), idet størrelserne  $\lambda_2$  og  $\sum_{e=1}^n u_e^i e'$  ligeledes er de samme for alle  $i, j = 1, \dots, n$ .

Økonomisk tolkning af (11): Hvis 1 times arbejdskraft omallokeres fra produktion af vare 1 til produktion af vare 2, vil produktionen af vare 1 falde med  $f'$  enheder, mens produktionen af vare 2 vil stige med  $F'$  enheder. Brøken  $f'/F'$  på højresiden af (11) angiver derfor den samfundsøkonomiske omkostning ved at producere en enhed mere af den forurenende vare, målt ved den tabte produktion af numerairegodet, dvs.  $f'/F'$  er det marginale transformationsforhold mellem vare 1 og vare 2. Venstresiden af (11) angiver den samfundsøkonomiske gevinst ved at øge forbruger  $i$ 's forbrug af den forurenende vare med 1 enhed. Det første led på venstresiden ( $u_2^i/u_1^i$ ) er forbruger  $i$ 's marginale substitutionsforhold mellem de to varer. Dette led måler, hvor meget forbrugeren er villig til at betale for at få en ekstra enhed af den forurenende vare, opgjort i enheder af numerairegodet. Det andet led  $\sum_{e=1}^n \frac{u_e^i}{u_1^i} e'$  på venstresiden af (11) er negativt, da  $u_e^i < 0$ . Brøken  $u_e^i/u_1^i$  angiver, hvor meget den pågældende forbruger er villig til at betale (opgjort i enheder af numerairegodet) for at få mindsket forureningen med 1 enhed, og  $e'$  angiver,

hvor meget forureningen øges, når en forbruger øger sit forbrug af vare 2 med 1 enhed. Størrelsen  $\frac{u_2^j}{u_1^j}e'$  angiver således det velfærdstab ved ekstra forurening, som forbruger  $j$  påføres, når en anden forbruger  $i$  øger sit forbrug af vare 2 med 1 enhed. Ergo er  $\sum_{i=1}^n \frac{u_2^i}{u_1^i}e'$  det samlede velfærdstab for alle forbrugere, hvis en enkelt person forbruger 1 enhed mere af vare 2. Den samfundsøkonomiske gevinst ved at øge forbruger  $i$ 's forbrug af vare 2 med 1 enhed består altså af forbrugerens egen marginale betalingsvillighed for vare 2 fratrukket samtlige forbrugeres marginale velfærdstab som følge af den resulterende ekstra forurening. I et samfundsmæssigt optimum skal denne marginale nettogevinst svare til den samfundsøkonomiske marginalomkostning ved at producere en enhed mere af vare 2. Dette er en betingelse for efficiens i ressourceallokeringen.

Økonomisk tolkning af (12): Denne betingelse, som siger, at grænsenytten af forbrug skal udlignes på tværs af alle forbrugere, er derimod et kriterium for en *retfærdig indkomstfordeling* i den betragtede økonomi, hvor den utilitaristiske samfundsplanlægger tilstræber at maksimere summen af borgernes velfærd. Dette kræver, at et ekstra forbrug giver samme velfærdsgevinst, uanset hvilken forbruger der tildeles en større forbrugsmulighed.

Det skal nu vises, at det under visse forudsætninger er muligt at implementere samfundsplanlæggerens optimale ressourceallokering og indkomstfordeling i en markedsøkonomi. Betragt derfor en markedsøkonomi med forbrugerpreferencer og produktionsvilkår svarende til dem, der er beskrevet i ligningerne (1) til (5). Lad vare 1 være et ubeskattet numerairegode, der har en forbruger- og producentpris lig med 1. Antag endvidere, at den forurenende vare 2 har producentprisen  $p_2$  og pålægges en stykafgift med satsen  $t_2$ , således at forbrugerprisen på vare 2 ( $P_2$ ) er givet ved

$$P_2 = p_2 + t_2. \quad (13)$$

**Spørgsmål 1.3.** Forklar at forbrugernes nyttemaksimering vil medføre, at

$$\frac{u_2^i}{u_1^i} = p_2 + t_2, \quad i = 1, \dots, n. \quad (14)$$

(Vink: Det er tilstrækkeligt, hvis du giver en verbal forklaring/fortolkning af ligning (14)).

*Svar på spørgsmål 1.3:* Venstresiden af (14) angiver som tidligere nævnt forbrugerens marginale substitutionsforhold mellem de to varer og er dermed lig med hældningen på forbrugerens indifferenskurve. I nyttemaksimum ved vi, at hældningen på indifferenskurven skal svare til hældningen på forbrugerens budgetlinje, der er givet ved den relative forbrugerpris på de to varer, som i dette tilfælde er  $p_2 + t_2$ , givet at vare 1 er numerairegodet, der har en pris på 1.

**Spørgsmål 1.4.** De to varer 1 og 2 produceres i to produktionssektorer, der begge er karakteriseret ved fuldkommen konkurrence. Arbejdskraften er perfekt mobil mellem de to sektorer og opnår derfor den samme løn  $w$  (målt i enheder af numerairegodet) i begge sektorer. Forklar (verbalt), at profitmaksimering under disse forudsætninger må medføre, at

$$f' = w, \quad p_2 F' = w. \quad (15)$$

*Svar på spørgsmål 1.4:* Ligning (15) angiver den velkendte betingelse for profitmaksimering under fuldkommen konkurrence, at værdien af arbejdskraftens grænseprodukt (opgjort i producentpriser) skal svare til arbejdslønnen. Da prisen på numerairegodet 1 er lig med 1, indebærer denne betingelse, at arbejdskraftens fysiske grænseprodukt i sektor 1 ( $f'$ ) skal svare til lønnen.

**Spørgsmål 1.5.** Udled ved brug af (11), (13), (14) og (15) et udtryk for den miljøafgift  $t_2$ , der vil sikre opfyldelse af den samfundsøkonomiske optimumsbetingelse (11). Giv en økonomisk fortolkning af dette udtryk.

*Svar på spørgsmål 1.5:* Af (15) følger, at

$$p_2 = \frac{f'}{F'}. \quad (vi)$$

Indsættelse af (vi) i (14) giver

$$\frac{u_2^i}{u_1^i} - t_2 = \frac{f'}{F'}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (vii)$$

Ved at sammenligne (11) og (vii) ser man, at den samfundsøkonomiske optimumsbetingelse (11) vil være opfyldt, hvis miljøafgiftssatsen fastsættes på følgende måde:

$$t_2 = - \sum_{i=1}^n \frac{u_e^i}{u_1^i} e'. \quad (viii)$$

Ligning (viii) specificerer den optimale Pigou-skat, der er positiv, eftersom  $u_e^i < 0$ , og  $u_1^i$  og  $e'$  begge er positive. Pigou-skatten ses at svare til den marginale skadeomkostning ved forbruget af den forurenende vare, idet  $-\sum_{i=1}^n \frac{u_e^i}{u_1^i} e'$  er det samlede velfærdstab for alle forbrugere, hvis en enkelt person forbruger 1 enhed mere af vare 2, jf. svaret på spørgsmål 1.2.

**Spørgsmål 1.6.** Antag at de politiske beslutningstagere har mulighed for at pålægge hver enkelt borger en individuel lump-sum skat, der kan gøres betinget af vedkommendes præferencer og indtjeningsmuligheder. Forklar, at det i så fald vil være muligt at opfylde betingelsen (12). Diskutér kort realismen i dette scenario.

*Svar på spørgsmål 1.6:* Den enkelte forbrugers mængdeforbrug af de to varer vil afhænge af den relative pris  $p_2 + t_2$  og af forbrugers indkomst, der afhænger af størrelsen af den individuelle lump-sum skat, forbrugeren pålægges. Ved passende justering af de individuelle lump-sum skatter kan staten sikre opfyldelse af den første betingelse i (12) ( $u_1^i = u_1^j$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ ). Når denne betingelse er opfyldt, følger det af (14), at også den anden betingelse i (12) ( $u_2^i = u_2^j$ ) vil være opfyldt, eftersom de variable  $t_2$  og  $p_2$  er de samme for alle forbrugere. Forudsætningen for, at staten på denne måde kan udjævne de individuelle grænsenyttigheder, er dog, at det offentlige har information om hver enkelt forbrugers præferencer og indtjeningssevne, hvilket selvsagt er urealistisk. Det kan dog bemærkes, at der findes en række metoder til at estimere forbrugernes betalingsvillighed og dermed deres præferencer for miljøgoder, jf. opgave 2.

## **OPGAVE 2. Betalingsvillighed for miljøgoder (Indikativ vægt: 20%).**

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

**Spørgsmål 2.1.** For at kunne fastsætte miljøafgifter på et optimalt niveau skal de politiske beslutningstagere kende forbrugernes marginale villighed til at betale for at opnå en miljøforbedring/undgå en miljøforringelse. Forklar kort hvilke metoder, der kan anvendes for at få information om forbrugernes betalingsvillighed for miljøgoder.

*Svar på spørgsmål 2.1:* (Indledende bemærkning: Da der findes mange forskellige metoder til værdisætning af miljøgoder, må omtalen af hver enkelt metode nødvendigvis blive kort og summarisk. Ved bedømmelsen lægges vægt på, om grundprincippet i de enkelte metoder er klart fremstillet).

Metoder til estimation af forbrugernes betalingsvillighed for miljøgoder kaldes også værdisætningsmetoder. Der sondres i litteraturen mellem værdisætning gennem *afslørede* præferencer og værdisætning baseret på *tilkendegivne* præferencer.

Blandt metoderne til værdisætning gennem afslørede præferencer kan nævnes afværgeomkostningsmetoden, rejseomkostningsmetoden og husprismetoden.

*Afværgeomkostningsmetoden* til værdisætning af miljøgoder bygger på, at husholdningerne i en række sammenhænge producerer nytteskabende goder til eget forbrug ved at afholde omkostninger til imødegåelse af negative miljøvirkninger. Boligejere, der udsættes for trafikstøj, kan fx vælge at afholde omkostninger til lydisolering for at frembringe godet “stillehed”, og personer, der frygter at være udsat for skadelig luftforurening, kan vælge at købe sig en sundhedsforsikring, der sikrer relevant lægebehandling med henblik på at producere godet “sundhed”. Ved at observere, hvor store “afværgeomkostninger” af denne type, forbrugerne vælger at afholde, kan man få et skøn over, hvor meget de er villige til at betale for et bedre miljø.

*Rejseomkostningsmetoden* er en anden metode baseret på afslørede præferencer. Indenfor miljøøkonomien er rejseomkostningsmetoden hovedsageligt blevet brugt til at værdisætte rekreative herlighedsværdier. Ideen er, at husholdningerne producerer rekreative oplevelser til sig selv ved at afholde rejseomkostninger for at besøge naturparker og andre rekreative områder. Størrelsen af de afholdte rejseomkostninger og valget mellem forskellige rekreative områder med forskellig miljøkvalitet afslører således, hvor meget forbrugerne er villige til at betale for naturens herlighedsværdier, herunder eventuelle jagtrettigheder og (lyst)fiskerettigheder.

*Husprismetoden* bygger på den ide, at forskelle i kvaliteten af det ydre miljø afspejles i forskelle i priser på i øvrigt sammenlignelige ejerboliger. Alt andet lige vil ejerboliger i områder med mere trafikstøj, mere trængsel, dårligere luftkvalitet, flere visuelle gener osv. have lavere markedspriser. Disse miljøbestemte forskelle i boligpriser afslører, hvor meget forbrugerne er villige til at betale for miljøforbedringer. Husprismetoden omfatter



normalt to trin. I første trin estimeres en eller flere økonometriske relationer til bestemmelse af ejerboligpriserne i et område eller en region med henblik på at identificere, hvor meget variationer i relevante miljøindikatorer påvirker markedspriserne. I andet trin bruges resultaterne fra første trin til at estimere forbrugernes efterspørgselsfunktioner for miljøkvalitet.

Værdisætningsmetoder baseret på tilkendegivne præferencer omfatter den betingede værdisætningsmetode, valghandlingseksperimenter, Contingent Ranking, Contingent Rating og parvise sammenligninger.

Den hidtil mest anvendte af disse metoder er *betinget værdisætning* (Contingent Valuation, CV). Metoden søger via en spørgeskemateknik at skabe et hypotetisk marked for et miljøgode for at tilskynde en repræsentativ stikprøve af forbrugere til at tilkendegive, hvor meget de er villige til at betale for en konkret miljøforbedring (Willingness To Pay, WTP), eller hvor meget de kræver i kompensation for at acceptere en konkret miljøforringelse (Willingness To Accept, WTA). CV-metoden involverer typisk seks trin: 1) Etablering af det hypotetiske marked (udformning af spørgeskema). 2) Udvælgelse af de personer, der skal indgå i undersøgelsen. 3) Valg af metode til indsamling af svar. 4) Analyse af svarene: Estimation af betalingsvillighed. 5) Aggregering af WTP eller WTA. 6) Ex post evaluering af undersøgelsens pålidelighed.

*Valghandlingseksperimenter* er en anden interview-baseret metode til at værdisætte miljøgoder ud fra svarpersonernes tilkendegivne præferencer. I et valghandlingseksperiment vælger svarpersonerne et foretrukket alternativ blandt et begrænset antal alternativer. Den eksisterende (miljø)tilstand indgår altid blandt valgmulighederne. De forskellige alternativer karakteriseres ved et begrænset antal “attributter”, herunder en eller flere indikatorer for miljøtilstanden samt den omkostning (positiv eller negativ), som svarpersonen forudsættes at blive påført ved valg af de forskellige alternativer.

I et valgekspertiment skal svarpersonen alene angive sit mest foretrukne alternativ. Dermed mistes potentielt værdifuld information om hans/hendes rangordning af de øvrige alternativer. I *Contingent Ranking* metoden stilles respondenterne ligeledes over for et antal alternativer med forskellige attributter, men bliver nu bedt om at rangordne *alle* alternativer fra det mest til det mindst foretrukne.

*Contingent Rating* metoden går et skridt videre og beder respondenterne om at tildele

hvert alternativ et antal points på en angiven skala fra fx 1 til 10. Dermed opnås ikke blot information om rangordningen, men i princippet også om styrken af preferencen for de forskellige alternativer.

*Parvise sammenligninger* kan opfattes som en kombination af et valghandlingseksperiment og Contingent Rating: Først angiver respondenten, hvilket af to alternativer, hun foretrækker. Dernæst angiver hun på en pointskala, hvor meget det valgte alternativ er bedre end det andet.

### OPGAVE 3. Optimal udvinding af fossile brændsler (Indikativ vægt: 15%).

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

**Spørgsmål 3.1.** Forklar betingelsen for en samfundsmæssigt optimal udvinding af fossile brændsler i en økonomi, hvor brugen af fossile brændsler medfører global opvarmning. Forklar endvidere, hvordan betingelsen for en privatøkonomisk optimal udvindingstakt vil afvige fra betingelsen for den samfundsøkonomisk optimale udvindingstakt (Vink: Du kan basere besvarelsen på de fra pensum kendte bidrag af Hans-Werner Sinn).

*Svar på spørgsmål 3.1:* Sinn opstiller en dynamisk klimaøkonomisk model, hvor betingelsen for et samfundsøkonomisk optimalt forløb for udvindingen af det fossile brændsel kan skrives som

$$F_K = \frac{\dot{F}_R + F_S}{F_R - g(S)}. \quad (\text{ix})$$

Størrelsen  $F_K$  er kapitalens grænseprodukt,  $F_R$  er grænseproduktet for det fossile brændsel,  $S$  er den reservebeholdning af det fossile brændsel, der er tilbage i undergrunden, og  $F_S > 0$  angiver den stigning i produktionen, der fremkommer, hvis en ekstra enhed af det fossile brændsel bliver efterladt i undergrunden frem for at blive udvundet og anvendt som input i produktionen, hvorved den globale opvarmning mindskes med deraf følgende positiv virkning på produktiviteten ( $F_S$  måler dermed også den marginale negative klimaeffekt på produktionen som følge af, at der udvindes og forbruges en ekstra enhed af det fossile brændsel). Funktionen  $g(S)$  angiver omkostningen ved at udvinde en ekstra enhed af det fossile brændsel; denne omkostning antages at afhænge af mængden af

tilbageværende reserver i undergrunden.  $F_R - g(S)$  er således den marginale ressourcerente, dvs. den ekstra forbrugsmulighed, der kan opnås her og nu ved at udvinde en ekstra brændselsenhed og anvende den i produktionen. Størrelsen  $\dot{F}_R$  angiver ændringen i brændselets grænseprodukt over tid (ændringen fra “i dag” til “i morgen”).

Vi kan hermed give en økonomisk tolkning af (ix). Størrelsen på venstresiden angiver det samfundsøkonomiske afkast af en ekstra investering i menneskeskabt kapital. Brøken på højresiden angiver det samfundsøkonomiske afkast af at investere i naturkapital, dvs. afkastet af at lade en ekstra enhed af det fossile brændsel forblive i undergrunden i dag. Omkostningen ved denne investering består af den ressourcerente  $F_R - g(S)$ , som man går glip af ved ikke at udnytte brændselet allerede i dag. Denne omkostning optræder i nævneren på højresiden af (ix). Udbyttet af investeringen i naturkapital, som optræder i tælleren på højresiden, består dels i, at brændselet forventes at have et højere grænseprodukt i morgen end i dag (denne “kapitalgevinst” opfanges af leddet  $\dot{F}_R$ ) og dels i den produktivitetsstigning  $F_S$ , der fremkommer, når den globale opvarmning bremses som følge af, at der bruges mindre af det fossile brændsel i dag. Ligning (ix) udtrykker således, at det relative afkast af investering i menneskeskabt kapital skal svare til det relative afkast af at investere i naturkapital.

I en kompetitiv markedsøkonomi med usikre ejendomsrettigheder til de fossile brændselsreserver viser Hans-Werner Sinn, at den privatøkonomisk optimale udvindingstakt for det fossile brændsel vil være givet ved arbitragebetingelsen

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

hvor  $r$  er den internationale markedsrente,  $P$  er den internationale markedspris på det fossile brændsel,  $\dot{P}$  er den forventede stigning i denne pris fra “i dag” til “i morgen”, og  $\pi$  er en risikopræmie, der afspejler sandsynligheden for, at ejerne af de fossile brændselsreserver mister deres ejendomsret til ressourcerne “i morgen” som følge af ekspropriation og politiske omvæltninger o.l. Ligning (x) kan omordnes til

$$r[P - g(S)] = \dot{P} - \pi[P - g(S)]. \quad (\text{xi})$$

Venstresiden af (xi) angiver det renteafkast, som ressourceejeren vil stå med i morgen, hvis han i dag udvinder en ekstra ressourceenhed og investerer den resulterende ressourcerente  $P - g(S)$  i kapitalmarkedet. Højresiden af (xi) angiver den forventede gevinst ved at

vente med at udvinde den ekstra ressourceenhed til i morgen. Denne gevinst består af den forventede prisstigning på ressourcen ( $\dot{P}$ ) fratrukket det forventede tab  $\pi [P - g(S)]$  som følge af, at ressourceejeren går glip af den aktuelle indtjeningsmulighed  $P - g(S)$ , hvis han udskyder udvindingen og i mellemtiden eksproprieres.

Under fuldkommen konkurrence vil markedsprisen på brændslet svare til dets grænseprodukt, dvs.  $F_R = P$ , og markedsrenten vil svare til kapitalens grænseprodukt, dvs.  $F_K = r$ . Ved at indsætte disse sammenhænge i (ix), kan betingelsen for en samfundsmæssigt optimal udnyttelse af brændselsreserven skrives som

$$r = \frac{\dot{P} + F_S}{P - g(S)}. \quad (\text{xii})$$

Da  $F_S > 0$  og  $\pi > 0$ , følger det af (x) og (xii), at ressourceprisstigningen  $\dot{P}$  for ethvert givet  $P$  vil være større i markedsøkonomien end under den samfundsmæssigt optimale udvindingstakt. Det indikerer, at udtømmningen af de fossile brændselsreserver vil foregå inoptimalt hurtigt, når den overlades til markeds kræfterne. Årsagen er, at de private ressourceejere ikke indkalkulerer klimaeffekten af brugen af det udvundne brændsel (dvs. de ignorerer klimaeksternaliteten  $F_S$ ), og at risikoen for fremtidig ekspropriation får ressourceejerne til at fremskynde ressourceudvindingen. Risikopræmien  $\pi$  i det krævede forventede afkast af reservebeholdningen er overflødig fra samfundets synspunkt, da en eventuel ekspropriation ikke destruerer brændselsreserver, men blot omfordeler ejendomsretten til dem.

(Bemærkning: Det er som nævnt ikke et krav, at en besvarelse af dette spørgsmål inddrager ligninger, og en tilfredsstillende besvarelse er ikke nødvendigvis så udførlig som her angivet. Det væsentlige er, at en rent verbal forklaring er rimeligt præcis i formuleringerne).