

Rettevejledning til

Eksamen på Økonomistudiet sommer 2016

Miljø-, ressource- og klimaøkonomi

Den 17. august 2016

(3-timers prøve med/uden hjælpemidler)

Opgave 1. Optimal miljøpolitik og bæredygtighedspolitik

Vi betragter en miljøøkonomisk model for en økonomi, der producerer en færdigvare ved brug af naturressourcer og produceret realkapital (arbejdsstyrken antages at være konstant og indgår derfor ikke eksplicit). Modellen benytter følgende notation:

U = livstidsnytte for den repræsentative forbruger
 u = nytte i den løbende periode
 C = løbende forbrug af færdigvaren
 Y = løbende samlet produktion af færdigvaren
 K = beholdning af produceret realkapital
 R = løbende forbrug af naturressourcen
 E = løbende emission af et forurenende stof
 A = ressourcer løbende anvendt på forureningsbekæmpelse
 I = løbende investeringer i realkapital
 S = beholdning af naturressourcen
 ρ = tidspreferencerate
 t = tiden

Bortset fra den konstante parameter ρ er alle variable funktioner af tiden, hvilket dog for overskuelighedens skyld ikke angives eksplicit. En prik over en variabel angiver den afledede af den pågældende variabel med hensyn til tiden, dvs. $\dot{x} \equiv dx/dt$, og fodtegn angiver partielle afledede.

Den repræsentative forbrugers livstidsnytte er givet ved funktionen

$$U = \int_0^{\infty} u(C) e^{-\rho t} dt, \quad u' > 0, \quad u'' < 0, \quad \rho > 0, \quad (1)$$

hvor e er eksponentialfunktionen. Den samlede produktion af færdigvaren er givet ved følgende produktionsfunktion, hvor emissionen af det forurenende stof indvirker negativt på produktiviteten:

$$Y = F(K, R, E), \quad F_K > 0, \quad F_{KK} < 0, \quad F_R > 0, \quad F_{RR} < 0, \quad F_E < 0. \quad (2)$$

Udledningen af det forurenende stof varierer positivt med forbruget af naturressourcen og negativt med forureningsbekæmpelsesindsatsen:

$$E = E(R, A), \quad E_R > 0, \quad E_A < 0. \quad (3)$$

Den løbende ændring i kapitalapparatet er lig med de løbende investeringer, idet vi af forenklingshensyn ser bort fra afskrivninger:

$$\dot{K} = I. \quad (4)$$

Naturressourcen antages indtil videre at være udtømmelig, så den løbende nedgang i ressourcebeholdningen svarer til det løbende forbrug af ressourcen:

$$\dot{S} = -R. \quad (5)$$

Det antages, at der ikke er omkostninger forbundet med udvinding af naturressourcen. Økonomiens samlede ressourcebegrænsning er derfor givet ved ligningen

$$Y = C + I + A. \quad (6)$$

Ved at indsætte (3) i (2) og dernæst indsætte det resulterende udtryk sammen med (4) i (6) kan vi alternativt skrive ressourcebegrænsningen på følgende måde:

$$\dot{K} = F(K, R, E(R, A)) - C - A. \quad (7)$$

En velmenende samfundsplanlægger ønsker at maksimere forbrugerens livstidsnytte (1) under hensyntagen til (5) og (7) og de givne initiale beholdninger af K og S . Hamilton-funktionen i løbende værdi svarende til dette maksimeringsproblem er

$$H = u(C) + \lambda [F(K, R, E(R, A)) - C - A] - \mu R, \quad (8)$$

hvor λ og μ er skyggepriserne på henholdsvis realkapitalen og naturressourcebeholdningen. Strømstørrelserne C , A og R er kontrolvariable, mens beholdningsstørrelserne K og S er tilstandsvariable.

Spørgsmål 1.1: Udled førsteordensbetingelserne for løsning af samfundsplanlæggerens maksimeringsproblem.

Svar på spørgsmål 1.1: Ud fra Hamilton-funktionen (8) finder man førsteordensbetingelserne

$$\partial H / \partial C = 0 \quad \Rightarrow \quad u'(C) = \lambda, \quad (i)$$

$$\partial H / \partial R = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda (F_R + F_E E_R) = \mu, \quad (ii)$$

$$\partial H / \partial A = 0 \quad \Rightarrow \quad F_E E_A = 1, \quad (iii)$$

$$\dot{\lambda} = \rho \lambda - \partial H / \partial K \quad \Rightarrow \quad \dot{\lambda} = \lambda (\rho - F_K), \quad (iv)$$

$$\dot{\mu} = \rho \mu - \partial H / \partial S \quad \Rightarrow \quad \dot{\mu} = \rho \mu. \quad (v)$$

Derudover skal en optimal løsning opfylde transversalitetsbetingelserne

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \lambda(t) K(t) = 0 \quad \text{og} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \mu(t) S(t) = 0.$$

Det er fint, hvis disse transversalitet betingelser anføres i besvarelsen, men det trækker ikke ned, hvis de ikke er medtaget, da de ikke skal bruges i det følgende. Nedenfor angives derfor heller ikke transversalitet betingelserne i besvarelsen af de øvrige spørgsmål.

Spørgsmål 1.2: Vis at de i spørgsmål 1.1 udledte førsteordens betingelser implicerer følgende sammenhænge, hvor variabelen c angiver den marginale eksterne omkostning ved brug af naturressourcen:

$$F_E = \frac{1}{E_A}, \quad (9)$$

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\varepsilon} (F_K - \rho), \quad \varepsilon \equiv -\frac{u'' \cdot C}{u'}, \quad (10)$$

$$\frac{\dot{F}_R - \dot{c}}{F_R - c} = F_K, \quad c \equiv -F_E E_R. \quad (11)$$

Giv en økonomisk fortolkning af (forklar den økonomiske intuition bag) disse sammenhænge.

Svar på spørgsmål 1.2: Ligning (9) fås umiddelbart ved at dividere igennem med E_A på begge sider af (iii). Venstresiden af (9) er den marginale samfundsmæssige gevinst (målt i enheder af færdigvaren) ved at mindske udledningen af det forurenende stof med 1 enhed. Gevinsten tager form af den produktionsstigning F_E , der fremkommer, når emissionen sænkes med 1 enhed.

Højresiden af (9) angiver den samfundsmæssige omkostning (målt i enheder af færdigvaren) ved at reducere emissionen med 1 enhed. Ligning (9) udtrykker således, at indsatsen til forureningsbekæmpelse skal drives til det punkt, hvor den marginale gevinst ved mindsket forurening svarer til den marginale reduktionsomkostning.

Ligning (10) udledes på følgende måde: Ved at differentiere begge sider af førsteordens betingelsen (i) med hensyn til tiden, fås

$$u''(C) \dot{C} = \dot{\lambda}. \quad (\text{vi})$$

Ved at indsætte (i) i (iv) fås $\dot{\lambda} = u'(C)(\rho - F_K)$, som indsat i (vi) giver

$$u''(C) \dot{C} = u'(C)(\rho - F_K). \quad (\text{vii})$$

Ved at dividere begge sider af (vii) med $C \cdot u''(C)$ og udnytte den i (10) angivne definition af ε får man resultatet i (10), som er den fra makroteorien velkendte Keynes-Ramsey betingelse for en optimal allokering af forbruget over tid. Hvis den marginale afkast af opsparing og investering (F_K) overstiger forbrugerens tidspreferencerate ρ , er det fordelagtigt at spare op. Den deraf følgende kapitalakkumulation giver basis for en fremtidig produktionsstigning, som muliggør et stigende forbrug over tid. Parameteren ε er grænsenyttens elasticitet med hensyn til forbruget. Hvis den er stor – dvs. hvis grænsenyttens hastighed falder med stigende forbrug – vil forbrugeren have en

preference for at udjævne forbruget over tid. Dette afspejles i (10) ved, at en given forskel mellem opsparingsafkastet og tidspreferenceraten indebærer en mindre ændring i forbruget over tid, jo større værdi ε antager.

Ligning (11) udledes som følger: Ved brug af definitionen $c \equiv -F_E E_R$ kan førsteordensbetingelsen (ii) skrives som

$$\mu = \lambda(F_R - c), \quad (\text{viii})$$

hvoraf følger, at

$$\dot{\mu} = \dot{\lambda}(F_R - c) + \lambda(\dot{F}_R - \dot{c}). \quad (\text{ix})$$

Indsættelse af førsteordensbetingelserne (iv) og (v) i (ix) giver

$$\begin{aligned} \rho\mu &= \lambda(\rho - F_K)(F_R - c) + \lambda(\dot{F}_R - \dot{c}) \\ \Leftrightarrow \rho \frac{\mu}{\lambda} &= (\rho - F_K)(F_R - c) + \dot{F}_R - \dot{c}. \end{aligned} \quad (\text{x})$$

Af (8) følger, at $\mu / \lambda = F_R - c$. Ved at indsætte dette i (x) og dividere igennem med $F_R - c$ får man ved omordning ligning (11), som er en variant af Hotelling-reglen. Størrelsen $F_R - c$ er ressourcerenten, der måler den marginale nettogevinst ved at udvinde en ekstra enhed af ressourcen og anvende den i produktionen. Nettogevinsten består af forskellen mellem naturressourcens grænseprodukt F_R og det produktionstab $c \equiv -F_E E_R$, der opstår, når udvindingen af en ekstra resourceenhed medfører ekstra forurening. Venstresiden af (11) er det relative afkast af investering i naturkapital. "Investeringen" består i, at man udskyder udvinding af en enhed af naturressourcen fra "i dag" til "i morgen" og dermed giver afkald på en merproduktion og forbrugsmulighed svarende til ressourcerenten $F_R - c$, der optræder i nævneren på venstresiden af (11). Det absolutte afkast af investeringen udgøres af tælleren i (11), som angiver den stigning i ressourcerenten $(\dot{F}_R - \dot{c})$, der fremkommer fra "i dag" til "i morgen". Højresiden af (11) er det relative afkast af investering i realkapital. Hotelling-reglen (11) udtrykker således, at det marginale afkast af investering i naturkapital skal svare til det marginale afkast af investering i menneskabt kapital. Dette er et krav om optimal forvaltning af samfundets samlede formue, dvs. et krav om en optimal porteføljesammensætning af den samlede formue, der består af naturkapital S og menneskeskabt kapital K .

En alternativ og lige så korrekt tolkning af (11) er følgende: Hvis der udvindes en ekstra enhed af naturressourcen i dag, opnås en nettogevinst $F_R - c$, der kan investeres i realkapital, hvorved der "i morgen" bliver mulighed for et ekstra forbrug af størrelsen $(F_R - c)(1 + F_K)$, uden at kapitalapparatet fra i morgen og fremefter bliver mindre, end det ellers ville have været. Hvis man i stedet udskyder udvindingen af en ekstra resourceenhed fra "i dag" til "i morgen", vil man "i morgen" kunne øge forbruget med størrelsen $F_R + \dot{F}_R - (c + \dot{c})$, uden at reservebeholdningen af naturressourcen fra i morgen og fremefter bliver mindre, end den ellers ville have været. Når Hotelling-reglen (11) er overholdt, vil de to alternativer være lige fordelagtige. Dermed er allokeringen af resourceudvindingen over tid optimal, da den repræsentative forbruger vil være

indifferent over for, om der udvindes en ekstra enhed af ressourcen i dag, eller udvindingen udskydes til i morgen.

(NB: Det forventes ikke, at en besvarelse af spm. 1.2 rummer en så udførlig tolkning af Hotelling-reglen som her anført. Det er tilstrækkeligt med en forholdsvis kortfattet konstatering af, at marginalafkastet af naturkapital ifølge (11) skal svare til marginalafkastet af realkapital).

Vi antager nu, at ressourceallokeringen i den betragtede økonomi styres af markedsmekanismer, og at der er fuldkommen konkurrence på alle markeder. Staten kan dog gribe regulerende ind ved at pålægge en emissionsafgift af størrelsen τ^E for hver enhed af det forurenende stof, der udledes. Staten kan ligeledes vælge at yde et tilskud på s^A per krone anvendt til forureningsbekæmpelse. Derudover kan staten opkræve en lump-sum skat T eller yde et lump-sum tilskud $-T$ til borgerne, således at den offentlige sektors intertemporale budgetrestriktion overholdes. Virksomhederne i økonomien ejes af den repræsentative forbruger og drives med henblik på at maksimere forbrugers livstidsnytte. Udgifterne til investering svarer til det beløb, der er tilovers, når der er afholdt udgifter til forbrug, forureningsbekæmpelse og skattebetaling, dvs.

$$\dot{K} = F(K, R, \bar{E}) - C - A + s^A A - \tau^E E(R, A) - T, \quad (12)$$

hvor politikvariablene s^A , τ^E og T naturligvis tages for givne af den enkelte private virksomhedsejer. Størrelsen \bar{E} i (12) er økonomiens samlede emission af det forurenende stof, der ligeledes tages for givet af den enkelte virksomhed/forbruger. Den enkelte virksomhed tager altså ikke hensyn til den negative forureningsseksternalitet, som den påfører de øvrige virksomheder. Størrelsen $E(R, A)$ i (12) skal derimod tolkes som den enkelte virksomheds egen emission, som virksomheden selv kan styre via sit råstofforbrug R og sin forureningsbekæmpelsesindsats A . I en samlet ligevægt, efter der er optimeret, skal naturligvis gælde, at $\bar{E} = E(R, A)$.

Spørgsmål 1.3: Den repræsentative virksomhed maksimerer ejerens/forbrugers livstidsnytte (1) under bibetingelserne (5) og (12), givet de initiale beholdninger af K og S . Opstil Hamilton-funktionen i løbende værdi svarende til dette maksimeringsproblem og udled førsteordensbetingelserne for løsning af problemet. (Vink: Skyggeprisen på realkapital kan ligesom før betegnes λ , mens skyggeprisen på naturressourcen ligesom tidligere kan betegnes μ).

Svar på spørgsmål 1.3: Ud fra (1), (5) og (12) dannes Hamilton-funktionen

$$H = u(C) + \lambda \left[F(K, R, \bar{E}) - C - A + s^A A - \tau^E E(R, A) - T \right] - \mu R,$$

hvoraf man finder førsteordensbetingelserne

$$\partial H / \partial C = 0 \quad \Rightarrow \quad u'(C) = \lambda, \quad (\text{xi})$$

$$\partial H / \partial R = 0 \Rightarrow \lambda (F_R - \tau^E E_R) = \mu, \quad (\text{xii})$$

$$\partial H / \partial A = 0 \quad \Rightarrow \quad s^A - \tau^E E_A = 1, \quad (\text{xiii})$$

$$\dot{\lambda} = \rho\lambda - \partial H / \partial K \quad \Rightarrow \quad \dot{\lambda} = \lambda(\rho - F_K), \quad (\text{xiv})$$

$$\dot{\mu} = \rho\mu - \partial H / \partial S \quad \Rightarrow \quad \dot{\mu} = \rho\mu. \quad (\text{xv})$$

Spørgsmål 1.4: Uded de størrelser af miljøafgiften τ^E og miljøtilskuddet s^A , der kan sikre, at ressourceallokeringen i markedøkonomien svarer til samfundsplanlæggerens optimale ressourceallokering. Giv en økonomisk fortolkning af de udledte resultater. Er det nødvendigt at give et tilskud til forureningsbekæmpelse? Forklar. (Vink: Find de værdier af τ^E og s^A , der sikrer, at førsteordensbetingelserne i spm. 1.3 bliver identiske med førsteordensbetingelserne i spm. 1.1).

Svar på spørgsmål 1.4: Førsteordensbetingelserne (xi), (xiv) og (xv) for markedøkonomien ses at være identiske med de analoge førsteordensbetingelser (i), (iv) og (v) i den af samfundsplanlæggeren kontrollerede økonomi. Vi skal derfor blot finde de værdier af τ^E og s^A , der sikrer, at de resterende førsteordensbetingelser (xii) og (xiii) i markedøkonomien bliver identiske med samfundsplanlæggerens tilsvarende førsteordensbetingelser (ii) og (iii). Ved sammenligning af disse fire ligninger ses let, at det følgende valg af politikinstrumenter vil sikre, at ressourceallokeringen i markedøkonomien svarer til den samfundsmæssigt optimale first-best allokering:

$$\tau^E = -F_E > 0, \quad (\text{xvi})$$

$$s^A = 0. \quad (\text{xvii})$$

Ligning (xvi) siger, at den optimale emissionsafgift skal svare til den marginale eksterne skadeomkostning ved forureningen, der er givet ved det produktionstab $-F_E$, som udledning af en ekstra enhed af det forurenende stof medfører. Den optimale miljøafgift er altså en ren Pigou-skat, som ifølge (ii) og (xii) vil sikre en optimal udnyttelse af naturressourcen. Samtidigt vil Pigou-skatten ifølge (xiii) sikre, at betingelsen (9) for en optimal forureningsbekæmpelsesindsats vil være opfyldt, forudsat at $s^A = 0$. Som anført i (xvii) er der altså ikke behov for et tilskud til forureningsbekæmpelse, fordi en miljøafgift fastsat i overensstemmelse med (xvi) sikrer en fuld internalisering af den eksterne skadeomkostning ved forureningen. Hvis man alternativt alene opererer med et tilskud til forureningsbekæmpelse og sætter $\tau^E = 0$, kan man ifølge (xiii) med tilskudssatsen $s^A = F_E E_A$ opnå en optimal forureningsbekæmpelsesindsats i overensstemmelse med (9), men man kan ikke samtidigt opfylde betingelsen for en optimal udnyttelse af naturressourcen, hvilket ses ved sammenligning af (ii) og (xii). Pigou-skatten er altså et mere målrettet og effektivt middel til bekæmpelse af forurening, da den sætter ind ved selve kilden til forurening ved at gøre det dyrere at udlede det forurenende stof.

Vi antager nu, at staten ikke blot ønsker at sikre en effektiv ressourceallokering i den enkelte periode via en internalisering af forureningseksternaliteten, men at staten også ønsker at sikre en bæredygtig udvikling, der skaber lighed mellem generationer ved at udjævne forbruget over tid. Til det formål indfører staten et kapitalsubsidium af størrelsen s^K per kapitalenhed. Staten pålægger endvidere emissionsafgiften τ^E , men giver ikke tilskud til forureningsbekæmpelse. Den private sektors budgetrestriktion (12) erstattes dermed af budgetrestriktionen

$$\dot{K} = F(K, R, \bar{E}) - C - A + s^K K - \tau^E E(R, A) - T, \quad (13)$$

hvor det samlede forureningsomfang \bar{E} fortsat tages for givet af den enkelte virksomhed.

Spørgsmål 1.5: Den repræsentative virksomhed maksimerer ejernytten (1) under bibetingelserne (5) og (13). Opstil Hamilton-funktionen i løbende værdi svarende til dette maksimeringsproblem og udled førsteordensbetingelserne for dets løsning.

Svar på spørgsmål 1.5: Ud fra (1), (5) og (13) dannes Hamilton-funktionen

$$H = u(C) + \lambda [F(K, R, \bar{E}) - C - A + s^K K - \tau^E E(R, A) - T] - \mu R,$$

hvoraf man finder førsteordensbetingelserne

$$\partial H / \partial C = 0 \quad \Rightarrow \quad u'(C) = \lambda, \quad (\text{xviii})$$

$$\partial H / \partial R = 0 \Rightarrow \lambda (F_R - \tau^E E_R) = \mu, \quad (\text{xix})$$

$$\partial H / \partial A = 0 \quad \Rightarrow \quad -\tau^E E_A = 1, \quad (\text{xx})$$

$$\dot{\lambda} = \rho \lambda - \partial H / \partial K \quad \Rightarrow \quad \dot{\lambda} = \lambda (\rho - F_K - s^K), \quad (\text{xxi})$$

$$\dot{\mu} = \rho \mu - \partial H / \partial S \quad \Rightarrow \quad \dot{\mu} = \rho \mu. \quad (\text{xxii})$$

Spørgsmål 1.6: Udled ud fra de relevante førsteordensbetingelser i spm. 1.5 et udtryk for den størrelse af kapitalsubsidiet s^K , der vil sikre en bæredygtig udvikling i den forstand, at forbruget er konstant over tid ($\dot{C} = 0$). Giv en økonomisk forklaring på det fundne resultat.

Svar på spørgsmål 1.6: Ved at differentiere (xviii) med hensyn til tiden fås

$$u''(C) \dot{C} = \dot{\lambda}.$$

Ved indsættelse af (xxi) i dette udtryk samt brug af (xviii) får vi

$$u''(C)\dot{C} = u'(C)(\rho - F_K - s^K) \Leftrightarrow$$

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\varepsilon}(F_K + s^K - \rho), \quad \varepsilon \equiv -\frac{u''(C)C}{u'(C)} > 0. \quad (\text{xxiii})$$

Af (xxiii) ser vi, at forbruget vil være konstant over tid ($\dot{C} = 0$), hvis kapitalsubsidiet i hver periode har følgende størrelse:

$$s^K = \rho - F_K. \quad (\text{xxiv})$$

Resultatet i (xxiv) er intuitivt: Kapitalsubsidiet kan ses som et tilskud til opsparing og investering. Hvis forbrugeren er forholdsvis "utålmodig", således at tidpreferenceraten ρ overstiger kapitalens grænseprodukt F_K (opsparingsafkastet), vil forbrugeren i fravær af et kapitalsubsidie ønske et højt forbrug her og nu på bekostning af fremtidigt forbrug. Forbruget vil derfor være faldende over tid i takt med, at forbrugeren "spiser" af kapitalapparatet. For at modvirke dette og sikre et konstant forbrug over tid er der derfor behov for et positivt tilskud til opsparing og investering. Dermed sikres, at der investeres tilstrækkeligt meget til, at fremtidige generationer kan opretholde samme forbrug som de nutidige generationer, selvom naturressourcen gradvis udtømmes (dette forudsætter dog, at der er tilstrækkelige substitutionsmuligheder mellem den menneskeskabte kapital og naturkapitalen). Hvis den repræsentative forbruger derimod er relativt tålmodig, så $\rho < F_K$, er der derimod behov for en skat på kapitalapparatet ($s^K < 0$) for at sikre et konstant forbrug over tid. Da kapitalens grænseprodukt må antages at ændre sig over tid, vil der være behov for en løbende justering af kapitaltilskuddet/kapitalskatten for at sikre, at (xxiv) til stadighed opfyldes.

Vi har hidtil forudsat, at naturressourcen S er udtømmelig. Vi antager nu i stedet, at ressourcen er fornybar, således at ligning (5) erstattes af ligningen

$$\dot{S} = G(S) - R, \quad G' > 0, \quad (14)$$

hvor tilvækstfunktionen $G(S)$ beskriver den naturlige løbende tilvækst i den fornybare ressourcebeholdning.

Spørgsmål 1.7: Vi ser nu bort fra en eventuel bæredygtighedsmålsætning og antager, at samfundsplanlæggeren ønsker at maksimere livstidsnyttens (1) under bibetingelse af (7) og (14). Opstil Hamilton-funktionen i løbende værdi svarende til dette maksimeringsproblem og udled førsteordensbetingelserne for dets løsning. Omskriv de relevante førsteordensbetingelser, så du opnår en betingelse for optimal forvaltning af naturressourcen, der er analog til ligning (11) i spm.

1.2 (dvs. et udtryk, hvor skyggepriserne λ og μ er substitueret bort). Hvordan afviger denne nye betingelse for optimal ressourceforvaltning fra ligning (11)? Giv en økonomisk forklaring.

Svar på spørgsmål 1.7: Af (1), (7) og (14) fås følgende Hamilton-funktion i løbende værdi:

$$H = u(C) + \lambda [F(K, R, E(R, A)) - C - A] + \mu [G(S) - R].$$

Samfundsplanlæggerens førsteordensbetingelser bliver dermed

$$\partial H / \partial C = 0 \quad \Rightarrow \quad u'(C) = \lambda, \quad (\text{xxv})$$

$$\partial H / \partial R = 0 \quad \Rightarrow \quad \lambda (F_R + F_E E_R) = \mu, \quad (\text{xxvi})$$

$$\partial H / \partial A = 0 \quad \Rightarrow \quad F_E E_A = 1, \quad (\text{xxvii})$$

$$\dot{\lambda} = \rho \lambda - \partial H / \partial K \quad \Rightarrow \quad \dot{\lambda} = \lambda (\rho - F_K), \quad (\text{xxviii})$$

$$\dot{\mu} = \rho \mu - \partial H / \partial S \quad \Rightarrow \quad \dot{\mu} = \mu (\rho - G'). \quad (\text{xxix})$$

I forhold til spm. 1.2 er der kun sket en ændring i ligning (xxix) for udviklingen i skyggeprisen på naturressourcen. Ved at genbruge definitionen $c \equiv -F_E E_R$ kan (xxvi) omskrives til ligning (viii) i spm. 1.2. Ved differentiation af denne ligning med hensyn til tiden får man derfor atter ligning (ix). Når (xxviii) og (xxix) indsættes i (ix), finder man

$$\begin{aligned} \mu (\rho - G') &= \lambda (\rho - F_K) (F_R - c) + \lambda (\dot{F}_R - \dot{c}) \\ \Leftrightarrow \frac{\mu}{\lambda} (\rho - G') &= (\rho - F_K) (F_R - c) + \dot{F}_R - \dot{c}. \end{aligned} \quad (\text{xxx})$$

Af (xxvi) følger, at $\mu / \lambda = F_R - c$. Ved at indsætte dette i (xxx) og dividere igennem med $F_R - c$ får man efter omordning, at

$$\frac{\dot{F}_R - \dot{c} + G' (F_R - c)}{F_R - c} = F_K. \quad (\text{xxxix})$$

Ligning (xxxix) er en modificeret udgave af Hotelling-reglen (11). Ligning (11) forudsætter, at naturressourcen er udtømmelig. Når ressourcen derimod er fornybar, er der en ekstra gevinst ved at udskyde udvindingen af en enhed fra ”i dag” til ”i morgen”. Denne ekstra gevinst opfanges af leddet $G' (F_R - c)$ i tælleren af brøken på venstresiden af (xxxix). Dette led afspejler, at den naturlige tilvækst i ressourcen fra ”i dag” til ”i morgen” øges med mængden $G' = G'(S) > 0$, når

man ”i dag” udskyder udvindingen ressourceudvindingen med en enhed og dermed efterlader en større ressourcebeholdning til fremtidig udnyttelse. Stigningen i den naturlige tilvækst betyder, at produktionen og dermed forbrugsmuligheden ”i morgen” kan forøges med mængden $G' \cdot (F_R - c)$ svarende til stigningen i ressourcebeholdningen ganget med den marginale ressourcerente. Denne effekt øger alt andet lige det samlede afkast af investering i naturkapital, der er givet ved venstresiden af (xxxi).

(Bemærkning: Ligning (xxxi) kan også skrives som

$$\frac{\dot{F}_R - \dot{c}}{F_R - c} + G' = F_K. \quad (\text{xxxii})$$

Denne skrivemåde er naturligvis lige så korrekt som (xxxi)).

Opgave 2. Den miljømæssige Kuznets-kurve

Spørgsmål: Redegør for begrebet ”Den miljømæssige Kuznets-kurve”. Diskutér hvilke mekanismer, der kan ligge bag den sammenhæng, som kurven beskriver. (Vink: En forholdsvis kortfattet verbal diskussion er tilstrækkelig).

Svar på opgave 2: Den miljømæssige Kuznets-kurve beskriver en grafisk sammenhæng mellem indkomsten per indbygger og den samlede absolutte emission af forurenende stoffer, der tager form som et omvendt U. Der er et vist empirisk belæg for en sådan sammenhæng for en række vigtige forurenende stoffer, om end den er omdiskuteret. Den Grønne Solow model tilbyder en forklaring på de økonomiske mekanismer bag den miljømæssige Kuznets-kurve. Den Grønne Solow model kombinerer den traditionelle Solow-model med en antagelse om, at udledningen af forurenende stoffer per produceret enhed falder med en konstant (relativ) rate over tid som følge af tekniske fremskridt i teknologierne til forureningsbekæmpelse. Modellen antager således både eksogene tekniske fremskridt i færdigvareproduktionen og eksogene tekniske fremskridt i forureningsbekæmpelsen. Det antages endvidere, at opsparings- og investeringskvoten er konstant, og at de samlede ressourcer anvendt på forureningsbekæmpelse udgør en konstant andel af BNP. Under disse omstændigheder kan modellen generere en sammenhæng mellem indkomsten per indbygger og den samlede absolutte emission af forurenende stoffer, der tager form som et omvendt U. Mekanismerne bag denne sammenhæng er følgende: Hvis økonomien starter ud med en lav kapitalintensitet (et lavt kapitapparat per effektiv arbejder), vil indkomsten per indbygger være lav, og de samlede emissioner vil ligeledes være lave pga. et forholdsvis lavt økonomisk aktivitetsniveau. Den lave kapitalintensitet betyder til gengæld, at kapitalens grænseprodukt er højt. De løbende investeringer giver derfor et højt afkast og skaber derfor en forholdsvis høj økonomisk vækstrate. Den høje vækst har en positiv skalaeffekt på de samlede emissioner, og denne effekt er større end den modsatrettede effekt af de tekniske fremskridt i teknologierne til forureningsbekæmpelse. I den tidlige fase af den økonomiske udviklingsproces er nettoeffekten af fremgangen i produktion og indkomst per indbygger således, at de samlede emissioner stiger, forudsat at den initiale kapitalintensitet og dermed indkomsten per indbygger er tilstrækkeligt lav. Efterhånden som kapitalakkumulationen skrider frem, bliver marginalafkastet af yderligere investeringer imidlertid presset ned som følge af det aftagende udbyttes lov, og vækst-

tempoet er derfor gradvist aftagende, efterhånden som økonomiens kapitalintensitet og dermed indkomsten per indbygger stiger. Den positive skalaeffekt af investeringer på de samlede emissioner aftager derfor med tiden, og på et tidspunkt bliver skalaeffekten overdøvet af effekten af de fortsatte tekniske fremskridt i forureningsbekæmpelsen, således at de samlede emissioner begynder at falde. Dermed passeres toppunktet på den miljømæssige Kuznets-kurve, og efter dette punkt vil fortsatte stigninger i indkomsten per indbygger være forbundet med faldende udledning af forurenende stoffer.

I litteraturen har der været nævnt to supplerende/alternative forklaringer på den miljømæssige Kuznets-kurve: 1) I takt med den økonomiske vækstproces forskydes efterspørgslens og produktionens sammensætning gradvis væk fra forholdsvis forurenende vareproduktion over mod mindre forurenende serviceproduktion. 2) Stigende indkomst per indbygger har en positiv indkomsteffekt på efterspørgslen efter miljøkvalitet, hvilket via de politiske processer fører til en gradvis opstramning af miljøreguleringen, efterhånden som samfundet bliver rigere.

(Bemærkning: En tilfredsstillende besvarelse behøver ikke at indeholde en så detaljeret beskrivelse af den Grønne Solow-model, som den ovenfor anførte).

Opgave 3. Fælledens tragedie inden for fiskeriet

Spørgsmål: Forklar begrebet ”Fælledens tragedie”. Forklar hvordan denne tragedie kan opstå inden for fiskerierhvervet og diskutér, hvordan den evt. kan undgås ved passende offentlig intervention. (Vink: En forholdsvis kortfattet verbal diskussion er tilstrækkelig).

Svar på opgave 2: ”Fælledens tragedie” er det forhold, at en fornybar, men knap ressource vil blive overudnyttet, hvis alle har fri og gratis adgang til at udnytte den. Det klassiske eksempel er et græsningsareal (fælleden), som alle bønder i landsbyen har ret til at lade deres kvæg græsse på. Inden for fiskeriet opstår et lignende problem, når alle fiskere har fri adgang til at fiske så meget, som de finder fordelagtigt for dem selv. En profitmaksimerende fisker kan ikke forventes at tage hensyn til, at hans egen fangst bidrager til at reducere den samlede fiskebestand, hvilket mindsker den naturlige tilvækst i bestanden og derved forringer andre fiskeres fremtidige fangstmuligheder (en negativ eksternalitet).

Problemet kan i princippet løses eller mindskes ved at give nogle fiskere eksklusiv ejendomsret til fiskeressourcerne. Disse ejere vil da have en egeninteresse i at undgå overfiskning og kan fx begrænse fiskeriet ved at afkræve andre fiskere betaling for adgang til havet eller en afgift af deres fangst.

Tildeling af privat ejendomsret til havets ressourcer strider dog mod den udbredte opfattelse, at disse ressourcer bør være fælleseje. Staten kan på den baggrund håndhæve sin ejendomsret til fiskeressourcerne ved at fastlægge en samlet kvote for, hvor stor en mængde fisk der må fanges inden for en given periode. Kvoterne kan fordeles gratis blandt fiskerne efter en fastlagt fordelingsnøgle, eller de kan bortauktioneres til de højstbydende. I begge situationer vil det være efficient at tillade fiskerne at handle indbyrdes med kvoterne, da kvoterne derved koncentrerer hos de mest effektive fiskere, der har den største betalingsvillighed. Ved en passende regulering af kvoteudbuddet kan staten i princippet sikre, at kvoteprisen kommer til at svare til den samfundsmæssige skyggepris på en enhed af fiskebestanden, der afspejler den samfundsmæssige

værdi af fiskeressourcen. Dermed opnås samfundsøkonomisk efficiens i fiskeriet. Dette forudsætter dog, at staten har tilstrækkelig information til at kunne beregne den korrekte skyggepris.

Et alternativ til fiskeriregulering via kvoter kan være, at staten pålægger en afgift per ton fisk, der fanges. Hvis afgiften svarer til skyggeprisen på fiskeressourcen, opnås også i dette tilfælde efficiens.

I praksis kan der dog være vanskeligheder med at gennemføre en effektiv overvågning og kontrol af fiskefangsten, ligesom de komplekse biologiske mekanismer, der styrer den naturlige tilvækst i fiskebestandene, kan gøre det vanskeligt at bestemme den korrekte skyggepris.