

Rettevejledning til reeksamen på økonomistudiet sommer 2013

Miljø-, ressource-og klimaøkonomi

Kandidatfag

23. august 2013

(3 timers prøve uden hjælpemidler)

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

### OPGAVE 1. Optimal fiskefangst og fiskeriregulering (Indikativ vægt: 3/4)

Betragt en fiskeriøkonomisk model, der benytter følgende notation:

$p$  = markedspris på fisk

$q$  = fiskefangst (mængden af fangede fisk per periode)

$x$  = fiskebestand

$c$  = totalomkostninger ved fiskefangst

$\pi$  = nettoindtjening (profit) ved fiskefangst per periode

$\Pi$  = nutidsværdi af nettoindtjening ved fiskefangst over tid

$r$  = markedsrente (konstant)

$t$  = tiden

De løbende omkostninger ved fiskefangsten er givet ved

$$c = c(q, x), \quad c_q > 0, \quad c_{qq} \geq 0, \quad c_x < 0, \quad c_{qx} < 0, \quad (1)$$

hvor et fodtegn angiver den partielle afledede mht. den pågældende variabel ( $c_{qq}$  er således den anden afledede, og  $c_{qx}$  er den krydsafledede). Nettoindtjeningen ved fiskefangsten i den enkelte periode er:

$$\pi = pq - c(q, x). \quad (2)$$

Nutidsværdien af nettoindtjeningen (opgjort på tidspunkt 0) bliver således

$$\Pi = \int_0^{\infty} [pq - c(q, x)] e^{-rt} dt, \quad (3)$$

hvor  $e$  er eksponentialfunktionen.

Ændringen i fiskebestanden over tid ( $\dot{x}$ ) afhænger bl.a. af størrelsen af den eksisterende bestand. I fravær af fiskefangst er den naturlige tilvækst i bestanden således givet ved en funktion af formen  $g(x)$ . Når der foregår fiskefangst, bliver nettotilvæksten i fiskebestanden derfor lig med

$$\dot{x} = g(x) - q, \quad (4)$$

hvor den initiale fiskebestand  $x_0$  betragtes som givet.

**Spørgsmål 1.1.** Kommentér kort antagelserne i (1) om, at  $c_x < 0$  og  $c_{qx} < 0$ . Er disse antagelser rimelige?

*Svar på spørgsmål 1.1:* De anførte antagelser indebærer, at både de totale og de marginale omkostninger ved fiskefangsten er lavere, jo større fiskebestanden er. Det er rimelige antagelser, da det må formodes at være lettere og dermed mindre omkostningsfyldt at fange fisk, jo flere af dem der er i et givet havområde.

**Spørgsmål 1.2.** I ligning (4) er der ikke taget stilling til fortegnet for den afledede  $g'(x)$ . Fortegnet for  $g'(x)$  kan således variere med størrelsen af  $x$ . Overvej kort hvorfor?

*Svar på spørgsmål 1.2:* Jo større fiskebestanden er, jo flere unger må den alt andet lige formodes at avle. Det fører umiddelbart til en forventning om, at  $g'(x) > 0$ . Men når bestanden af fisk når op på et kritisk niveau, kan det tænkes, at havet bliver “overbefolket”, således at de marine økosystemer, der leverer føde til fiskene, bliver overbelastet og delvis nedbrudt med det resultat, at færre fiskeunger overlever. På et tidspunkt kan denne effekt blive så stærk, at fiskebestanden ikke kan reproducere sig selv, således at  $g'(x) < 0$ .

Den samfundsmæssigt optimale fiskefangst er det forløb af  $q$  over tid, der maksimerer nutidsværdien af nettoindtjeningen i (3) under hensyntagen til sammenhængen mellem den løbende fangst og udviklingen i fiskebestanden beskrevet i (4). Hamilton-funktionen (i løbende værdi) svarende til dette optimeringsproblem er

$$H = pq - c(q, x) + \lambda [g(x) - q],$$

hvor  $\lambda$  er den samfundsmæssige skyggepris på fiskebestanden.

**Spørgsmål 1.3.** Udled førsteordensbetingelserne for den optimale udnyttelse af fiskeressourcen.

*Svar på spørgsmål 1.3:* Førsteordensbetingelserne er

$$\partial H / \partial q = 0 \quad \Rightarrow \quad p - c_q(q, x) = \lambda, \quad (\text{i})$$

$$\dot{\lambda} = r\lambda - \partial H / \partial x \quad \Rightarrow \quad \dot{\lambda} = [r - g'(x)] \lambda + c_x. \quad (\text{ii})$$

**Spørgsmål 1.4.** Vis ud fra førsteordensbetingelserne, at en optimal udnyttelse af fiskeriressourcen kræver opfyldelse af reglen

$$\dot{p} - c_{qq}\dot{q} - c_{qx}\dot{x} + g'(x)(p - c_q) - c_x = r(p - c_q) \quad (5)$$

*Svar på spørgsmål 1.4:* Ved at differentiere begge sider af ligning (i) mht. tiden får man

$$\dot{\lambda} = \dot{p} - c_{qq}\dot{q} - c_{qx}\dot{x}. \quad (iii)$$

Ved at indsætte (i) og (iii) i (ii) og omordne, får man ligning (5).

**Spørgsmål 1.5.** Giv en økonomisk fortolkning af reglen i (5). (Vink: Start med at fortolke reglen i en langsigtligevægt, hvor  $\dot{p} = \dot{q} = \dot{x} = 0$ . Fortsæt dernæst med at fortolke reglen i dens generelle form (5)).

*Svar på spørgsmål 1.5:* I en langsigtligevægt, hvor  $\dot{p} = \dot{q} = \dot{x} = 0$ , forenkles (5) til

$$g'(x)(p - c_q) - c_x = r(p - c_q). \quad (iv)$$

Venstresiden af (iv) angiver det samfundsmæssige afkast af at udskyde fangsten af et ton fisk fra “i dag” til “i morgen”. En sådan udskydelse betyder, at man alt andet lige vil kunne øge fiskefangsten i morgen med mængden  $g'(x)$ . Den samfundsmæssige værdi af denne øgede fangst er lig med ressourcerenten per ton, der fanges - dvs.  $p - c_q$  - ganget med den øgede fangstmængde. Denne gevinst er repræsenteret ved leddet  $g'(x)(p - c_q)$  på venstresiden af (iv). En yderligere gevinst ved at udskyde fangsten er, at den deraf følgende stigning i morgendagens fiskebestand reducerer morgendagens omkostninger ved fiskefangst. Denne gevinst opfanges af leddet  $-c_x$  ( $>0$ ) på venstresiden af (iv). Højresiden af (iv) angiver den ekstra indkomst, samfundet kan opnå i morgen, hvis man øger fiskefangsten i dag med et ton og investerer nettoprovenuet i kapitalmarkedet. Denne ekstra indkomst er lig med nettoprofitten per fanget ton fisk (= ressourcerenten  $p - c_q$ ) ganget med markedsrenten. Ligning (iv) udtrykker således, at det i optimum er lige fordelagtigt for samfundet, om man fanger et ekstra ton fisk i dag, eller man udskyder fangsten til i morgen.

Ligning (iv) gælder som sagt i en langsigtligevægt, hvor  $\dot{p} = \dot{q} = \dot{x} = 0$ . Udenfor langsigtligevægt vil der generelt ske ændringer i  $p$ ,  $q$  og  $x$  over tid. Dermed vil gevinsten

ved at udskyde den marginale fiskefangst fra i dag til i morgen inkludere leddene  $\dot{p} - c_{qq}\dot{q} - c_{qx}\dot{x}$  på venstresiden af (5). Det første af disse led ( $\dot{p}$ ) afspejler gevinsten/tabet ved, at markedsprisen på fisk i morgen kan være højere/lavere end i dag. Det andet led ( $-c_{qq}\dot{q}$ ) er gevinsten/tabet ved, at marginalomkostningerne ved fiskefangst ændrer sig fra i dag til i morgen som følge af ændringen i den fangede mængde fisk. Endelig angiver det tredje led ( $-c_{qx}\dot{x}$ ) gevinsten/tabet ved, at marginalomkostningerne ved fiskefangst ændrer sig fra i dag til i morgen som følge af ændringen i fiskebestanden.

*(Bemærk: Besvarelsen af dette spørgsmål må tillægges betydelig vægt, da spørgsmålet er egnet til at afdække eksaminandens økonomiske intuition og evne til at gennemføre økonomiske ræsonnementer på en stringent måde).*

**Spørgsmål 1.6.** Antag nu, at fiskebestanden udnyttes af et stort antal fiskere, der opererer på et fiskemarked med fuldkommen konkurrence. I hver periode tager den enkelte repræsentative fisker således fiskeprisen og den samlede fiskebestand for givet og maksimerer sin løbende profit givet ved (2). Udled betingelsen for, at den enkelte fisker har maksimeret sin profit og kommentér kort herpå.

*Svar på spørgsmål 1.6:* Førsteordensbetingelsen for maksimering af den løbende profit (2) mht. til fiskefangsten er

$$d\pi/dq = 0 \quad \Rightarrow \quad c'(q, x) = p. \quad (\text{v})$$

Dette er en variant af den velkendte betingelse for profitmaksimering under fuldkommen konkurrence, ifølge hvilken marginalomkostningerne skal svare til prisen. Hvis de marginale omkostninger ved fiskefangsten overstiger markedsprisen på fisk, kan det betale sig at indskrænke fangsten, og vice versa, indtil (v) er opfyldt.

**Spørgsmål 1.7.** Antag at fiskemarkedet er i en langsigtligevægt, hvor  $\dot{p} = \dot{q} = \dot{x} = 0$ . Diskutér om udnyttelsen af fiskebestanden vil være samfundsmæssigt optimal under fuldkommen konkurrence.

*Svar på spørgsmål 1.7:* I en langsigtligevægt kræver en samfundsmæssigt optimal udnyttelse af fiskebestanden, at ligning (iv) ovenfor er opfyldt. Men det vil ikke være tilfældet under fuldkommen konkurrence, hvor (v) gælder. Når  $c_q = p$ , vil venstresiden

af (iv) være positiv (eftersom  $c_x < 0$ ), hvorimod højresiden af (iv) vil være nul. Venstresiden af (iv) angiver som nævnt den samfundsmæssige gevinst ved at udskyde den marginale fiskefangst fra i dag til i morgen, mens højresiden af (iv) angiver gevinsten ved at hente en ekstra ton fisk op af havet her og nu. En ureguleret fiskefangst under fuldkommen konkurrence indebærer altså en overfiskning, eftersom det i hver periode ville være samfundsmæssigt optimalt at udskyde en del af den aktuelle fangst til senere. Overfiskningen skyldes, at den enkelte fisker ikke tager hensyn til, at han påfører de andre fiskere en negativ eksternalitet derved, at hans fangst bidrager til at nedbringe den samlede fiskebestand, hvorved de fremtidige omkostninger for alle fiskere forøges. Denne eksterne effekt, som "samfundsplanlæggeren" tager hensyn til, opfanges af leddet  $-c_x$  på venstresiden af (iv).

Antag nu, at staten pålægger fiskerne at købe en omsættelig fiskekvote for hvert ton fisk, de har ret til at fange. Markedsprisen på en fiskekvote er  $s$ , og fiskefangsten  $q$  opgøres i tons. For den enkelte fisker  $i$  bliver den løbende profit per periode nu givet ved

$$\pi_i = pq_i - c(q_i, x) - sq_i. \quad (6)$$

Staten fastsætter det samlede udbud af kvoter og kan dermed kontrollere den samlede fiskefangst (idet vi ser bort fra kontrolproblemer). Hvis det samlede kvoteudbud betegnes  $\bar{q}$ , har vi altså

$$\sum_i q_i = \bar{q}. \quad (7)$$

Ved at variere kvoteudbuddet  $\bar{q}$  kan staten styre markedsprisen på kvoter,  $s$ .

**Spørgsmål 1.8.** Udled og forklar førsteordensbetingelsen for, at den repræsentative fisker  $i$  har maksimeret sin løbende profit under et system med omsættelige fiskekvoter. Diskutér om staten under et sådant system kan sikre den samfundsmæssigt optimale fiskefangst?

*Svar på spørgsmål 1.8:* Førsteordensbetingelsen for maksimering af den løbende profit i (6) er

$$d\pi_i/dq_i = 0 \quad \Rightarrow \quad p - c_{q_i} = s. \quad (\text{vi})$$

Betingelsen (vi) indebærer stadig, at den enkelte fiskers samlede marginalomkostning svarer til markedsprisen på fisk, men marginalomkostningen inkluderer nu udgiften  $s$  ved

køb af en ekstra fiskekvote. Ved at sammenligne (vi) med (i) ser man, at et kvotesystem kan sikre en samfundsmæssigt optimal fiskefangst, hvis myndighederne løbende tilpasser det samlede udbud af fiskekvoter ( $\bar{q}$ ) således, at markedsprisen på kvoter ( $s$ ) i hver periode svarer til den marginale samfundsmæssige skyggepris på fiskebestanden ( $\lambda$ ), der udvikler sig i overensstemmelse med (ii). Dette forudsætter naturligvis, at myndighederne har korrekt information om funktionerne  $c(q, x)$  og  $g(x)$ , så de er i stand til at beregne den korrekte skyggepris  $\lambda$ .

**Spørgsmål 1.9.** Diskutér om staten kan opnå det samme resultat under et beskatningssystem som under et system med omsættelige fiskekvoter?

*Svar på spørgsmål 1.9:* I princippet kan myndighederne også sikre et optimalt omfang af fiskefangsten via et beskatningssystem, hvor fiskerne pålægges en afgift af størrelsen  $s$  for hvert ton fisk, de lander. Førsteordensbetingelsen for maksimering af den enkelte fiskers profit bliver da identisk med (vi), og ved at tilpasse fiskeriafgiften, så den i hver periode svarer til skyggeprisen  $\lambda$ , får man da igen et samfundsmæssigt optimum.

**Spørgsmål 1.10.** Hvad er rationalet for et system med omsættelige kvoter eller et beskatningssystem frem for et system, hvor hver enkelt fisker pålægges en ikke-omsættelig fiskekvote?

*Svar på spørgsmål 1.10:* Fordelene ved et system med omsættelige kvoter eller et beskatningssystem fremkommer, når myndighederne ikke kender de enkelte fiskeres omkostningsfunktioner, og der er forskel på disse. En omkostningseffektiv udnyttelse af fiskebestanden kræver, at alle fiskere har de samme marginale fangstomkostninger, da dette er betingelsen for, at totalomkostningerne ved fiskeriet minimeres. Denne betingelse opfyldes automatisk under et beskatningssystem eller et system med omsættelige kvoter, fordi profitmaksimering da ifølge (vi) sikrer, at alle fiskeres marginalomkostninger udjævnes på det fælles niveau

$$c_{q_i} = p - s.$$

Hvis alle fiskere derimod tildeles den samme mængde ikke-omsættelige kvoter, vil deres marginalomkostninger blive forskellige, når der er forskel på deres omkostningsfunktioner. Under et system med ikke-omsættelige kvoter skal myndighederne kende hver enkelt

fiskers omkostningsfunktion for at kunne tildele ham en individuel kvote af en størrelse, der sikrer en udjævning af marginalomkostningerne på tværs af alle fiskere. I praksis er det ikke realistisk at antage, at myndighederne besidder denne information.

## **OPGAVE 2. Olieefterspørgsel og CO<sub>2</sub>-udledning (Indikativ vægt: 1/4).**

1

Ugeskriftet *The Economist* argumenterer i en lederartikel den 3. august 2013 for, at den globale efterspørgsel efter olie vil falde i de kommende år. Det begrundes bl.a. med det stigende udbud af skifergas fra USA kombineret med det forhold, at gas kan erstatte olie i mange anvendelser. Derudover henvises bl.a. til de fortsatte forbedringer af brændselsøkonomien i biler og lastbiler og den stigende udbredelse af el-biler, hybridbiler og gasdrevne motorkøretøjer mm. Derefter fortsætter lederartiklen, at selv hvis olieefterspørgslen blot stabiliseres (i stedet for fortsat at stige), så vil det gavne miljøet. Ordvalget i artiklen er: “If the demand for oil merely stabilises, it will have important consequences. The environment should fare a little better. Gas vehicles emit less carbon dioxide than equivalent petroleum-powered ones.”

**Spørgsmål 2.1.** Diskutér i lyset af klimaøkonomisk teori udsagnet om, at aftagende olieefterspørgsel vil gavne det globale miljø.

*Svar på spørgsmål 2.1:* Udsagnet i *The Economist* kan kritiseres i lyset af den klimaøkonomiske teori om det “grønne paradoks”, udviklet af den tyske økonom Hans-Werner Sinn. Sinn’s grundlæggende pointe er, at hvis efterspørgslen efter fossile brændsler er faldende over tid af eksempelvis de grunde, som *The Economist* nævner, vil det lægge en dæmper på de fremtidige brændselspriser. Dette kan tilskynde ejerne af de fossile brændselsreserver til at *fremskynde* brændselsudvindingen med henblik på at sælge brændslerne, mens priserne stadig er høje. En sådan adfærd vil imidlertid også fremskynde udledningen af drivhusgasser og dermed føre til en hurtigere global opvarmning.

(Det er tilstrækkeligt, hvis en besvarelse giver en verbal redegørelse for teorien om det grønne paradoks. En avanceret besvarelse kan eventuelt supplere med en mere formel matematisk fremstilling á la det følgende) Teorien om det grønne paradoks kan illustreres med nogle ligninger fra Sinn’s klimaøkonomiske model. Betragt 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

$$X(S, R) = g(S) R, \quad g' < 0.$$

Den marginale udvindingsomkostning  $g(S)$  er altså højere, jo mindre den tilbageværende reservebeholdning er, da ressourceejerne 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  $r$ , kan man vise, at en markedsligevægt under fuldkommen konkurrence på ressourcemarkedet kræver opfyldelse af ligningen

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

hvor  $\pi$  er en (konstant eksogen) ekspropriationsrisiko, der angiver sandsynligheden for, at de eksisterende ressourceejere i løbet af perioden vil miste deres ejendomsret til brændselsreserven som følge af politiske omvæltninger, nationaliseringer eller lignende. Resultatet i (vii) kan forklares således: Hvis ressourceejeren 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 (vii).

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 hvis f.eks. olieefterspørgslen er faldende over tid som følge af tiltag som dem, der nævnes af The Economist, så vil det dæmpe den forventede fremtidige olieprisstigning ( $\dot{P}$ ). Det giver en tilskyndelse til at øge den aktuelle olieudvinding, indtil den aktuelle oliepris  $P$  er faldet så meget, at ligevægtsbetingelsen (vii) igen er opfyldt. Denne fremrykning af brændselsudvindingen vil skærpe klimaproblemet.

Teorien om det grønne paradoks fremhæver således 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 bygger dog 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 ressourceejerne 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 fremskynde 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 CO<sub>2</sub>-udledning over tid.