

Rettevejledning til eksamensopgave i

Miljø-, ressource-og klimaøkonomi

Kandidatfag

Eksamen afholdt den 12. juni 2013

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 med en forureningseksternalitet (Indikativ vægt: 2/3)**

Betragt en ressourceøkonomisk model, der benytter følgende notation:

$U$  = livstidsnytte for den repræsentative forbruger

$K$  = beholdning af produceret realkapital

$S$  = beholdning af udtømmelig naturressource

$Y$  = løbende produktion af færdigvarer

$C$  = løbende forbrug af færdigvarer

$I$  = løbende investeringer i realkapital

$R$  = løbende udvinding af naturressource (“råstofforbrug”)

$a$  = marginal omkostning ved udvinding af naturressource (konstant)

$\rho$  = tidspreferencerate (konstant)

$t$  = tiden

I hver periode opnår den repræsentative forbruger nytten  $u(C)$  af sit materielle forbrug. Grænsenytten af forbrug er positiv, men aftagende, dvs.  $u'(C) > 0$  og  $u''(C) < 0$ . Udvindingen af naturressourcen medfører en ophobning af et forurenende stof i miljøet. Forureningsomfanget er voksende i den historisk akkumulerede ressourceudvinding  $S_0 - S$ , hvor  $S_0$  er den givne initiale ressourcebeholdning på tidspunkt 0, og  $S$  er den tilbageværende ressourcebeholdning i den aktuelle periode. Forbrugeren oplever derfor i hver periode en disnytte  $v(S_0 - S)$  som følge af forurening. Den marginale disnytte er positiv og voksende i den akkumulerede råstofudvinding, dvs.  $v'(S_0 - S) > 0$  og  $v''(S_0 - S) > 0$ .

I hver periode opnår forbrugeren altså nytten  $u(C) - v(S_0 - S)$ . På tidspunkt 0 er livstidsnyttens derfor givet ved

$$U_0 = \int_0^{\infty} [u(C) - v(S_0 - S)] e^{-\rho t} dt, \quad \rho > 0, \quad (1)$$

hvor  $e$  er eksponentialfunktionen. I hver enkelt periode er økonomien underlagt begrænsningen

$$Y = C + I + aR, \quad (2)$$

hvor  $aR$  er omkostningerne ved den løbende råstofudvinding  $R$ , opgjort i enheder af den producerede færdigvare. Færdigvarefremstillingen er givet ved produktionsfunktionen

$$Y = F(K, R), \quad (3)$$

$$F_K > 0, \quad F_{KK} < 0, \quad F_R > 0, \quad F_{RR} < 0.$$

Idet vi ser bort fra afskrivninger, er tilvæksten i kapitalapparatet givet ved

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

hvor en prik over en variabel angiver den afledede med hensyn til tiden. Ligeledes har vi, at

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

Naturressourcen  $R$  antages at være essentiel i den forstand, at  $Y = 0$  for  $R = 0$ , og at substitutionselasticiteten mellem  $K$  og  $R$  ikke overstiger 1. Endvidere er initialbeholdningerne  $K_0$  og  $S_0$  prædeterminerede på tidspunkt 0. Vi ønsker i første omgang at karakterisere den samfundsmæssigt optimale udvikling i forbrug og råstofudvinding, idet vi antager, at samfundsplanlæggeren ønsker at maksimere livstidsnyttens (1) under hensyntagen til restriktionerne i (2) til (5). Vi noterer os fra (2) og (3), at

$$\dot{K} = F(K, R) - C - aR. \quad (6)$$

Hamilton-funktionen (i løbende værdi) svarende til samfundsplanlæggerens problem kan dermed skrives som

$$H = u(C) - v(S_0 - S) + \mu[F(K, R) - C - aR] - \lambda R, \quad (7)$$

hvor  $\mu$  og  $\lambda$  er skyggepriserne på hhv.  $K$  og  $S$ .

**Spørgsmål 1.1.** Udled førsteordensbetingelserne for løsning af samfundsplanlæggerens problem (NB: Du behøver ikke at komme ind på transversalitätsbetingelsen).

*Svar på spørgsmål 1.1:* Førsteordensbetingelserne for en samfundsmæssigt optimal ressourceudvinding er

$$\frac{\partial H}{\partial C} = 0 \quad \Rightarrow \quad u'(C) = \mu \quad (\text{i})$$

$$\frac{\partial H}{\partial R} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mu(F_R - a) = \lambda \quad (\text{ii})$$

$$\dot{\mu} = \rho\mu - \partial H / \partial K \quad \Rightarrow \quad \dot{\mu} = \mu(\rho - F_K) \quad (\text{iii})$$

$$\dot{\lambda} = \rho\lambda - \partial H / \partial S \quad \Rightarrow \quad \dot{\lambda} = \rho\lambda - v'(S_0 - S) \quad (\text{iv})$$

**Spørgsmål 1.2.** Vis ud fra førsteordensbetingelserne, at en optimal udnyttelse af den udtømmelige ressource kræver opfyldelse af reglen

$$\frac{\dot{F}_R + v'/u'}{F_R - a} = F_K \quad (8)$$

Giv en økonomisk fortolkning af denne regel. Hvordan adskiller den sig fra den klassiske Hotelling-regel? (Vink til udledningen: Tag udgangspunkt i den ligning, der følger af førsteordensbetingelsen  $\partial H / \partial R = 0$ . Differentier denne ligning med hensyn til tiden og benyt samtlige førsteordensbetingelser til at eliminere  $\mu$ ,  $\dot{\mu}$  og  $\dot{\lambda}$ ).

*Svar på spørgsmål 1.2:* Af ligning (ii) ovenfor følger, at

$$\dot{\mu} \cdot (F_R - a) + \mu \cdot \dot{F}_R = \dot{\lambda} \quad (\text{v})$$

Indsæt nu (iii) og (iv) i (v) med henblik på at eliminere  $\dot{\mu}$  og  $\dot{\lambda}$ :

$$\mu(\rho - F_K)(F_R - a) + \mu\dot{F}_R = \rho\lambda - v'(S_0 - S) \quad (\text{vi})$$

Fra (i) ved vi, at  $\mu = u'$ , og ifølge (i) og (ii) har vi, at  $\lambda = u'(F_R - a)$ . Ved at indsætte disse resultater i (vi) og benytte den forkortede skrivemåde  $v' = v'(S_0 - S)$  får vi, at

$$u'(\rho - F_K)(F_R - a) + u'\dot{F}_R = \rho u'(F_R - a) - v' \Rightarrow$$

$$\begin{aligned}
-u' F_K (F_R - a) + u' \dot{F}_R &= -v' \Rightarrow \\
\frac{\dot{F}_R + v'/u'}{F_R - a} &= F_K.
\end{aligned} \tag{8}$$

Ligning (8) kan også skrives som

$$\dot{F}_R + v'/u' = F_K \cdot (F_R - a) \tag{vii}$$

*Økonomisk fortolkning af (vii):* Ved at udvinde en ekstra enhed af naturressourcen “i dag” opnår man ressourcerenten  $F_R - a$ , defineret som forskellen mellem naturressourcens grænseprodukt i færdigvareproduktionen ( $F_R$ ) og den marginale udvindingsomkostning ( $a$ ). Hvis denne ressourcerente investeres i produktion af kapitalgoder, vil man “i morgen” kunne øge forbruget af færdigvaren med  $F_K \cdot (F_R - a)$  svarende til kapitalens grænseprodukt ( $F_K$ ) ganget med stigningen i kapitalbeholdningen. Højresiden af (vii) angiver således det samfundsøkonomiske afkast, der opnås ved at udvinde en ekstra ressourceenhed i dag og investere nettoudbyttet i menneskabt kapital. Venstresiden af (vii) angiver det samfundsøkonomiske afkast af at udskyde udvindingen af en enhed af naturressourcen til “i morgen”. Dette afkast består af to komponenter. Den første er den stigning i naturressourcens grænseprodukt ( $\dot{F}_R$ ), der indtræffer fra i dag til i morgen som følge af den stigende knaphed på den udtømmelige ressource. Den anden komponent ( $v'/u'$ ) består i velfærdsgevinsten ved, at reduktionen af den akkumulerede ressourceudvinding medfører et lavere forureningsniveau “i morgen”. Denne velfærdsgevinst er opgjort i forbrugsenheder, idet gevinsten opgjort i nytteenheder ( $v'$ ) divideres med grænsenytten af færdigvareforbrug ( $u'$ ). Dermed bliver alle størrelser i (vii) sammenlignelige.

Venstresiden af ligning (vii) - og den ækvivalente ligning (8) - kan tolkes som det samfundsøkonomiske afkast af investering i “naturkapital”, da undladelse af udvinding af en ekstra ressourceenhed indebærer, at man overfører en større ressourcebeholdning til fremtidig udnyttelse. Højresiden af (vii) og (8) kan opfattes som det samfundsøkonomiske afkast af investering i “menneskabt kapital”. Ligning (8) udtrykker således, at afkastet af de to former for investering i enhver periode skal være det samme.

Reglen i (8) adskiller sig fra den klassiske Hotelling-regel ved tilstedeværelsen af leddet  $v'/u'$  i tælleren på venstresiden. Dette led afspejler en miljøeksternalitet, som ikke indgår i den klassiske ressourceøkonomiske model, der ligger til grund for udledningen af Hotelling-

reglen.

Antag nu, at reserverne af den udtømmelige ressource ejes af private mineejere, der sælger det udvundne råstof på et marked karakteriseret ved fuldkommen konkurrence. Den reale marginale udvindingsomkostning antages fortsat at være konstant og lig med  $a$ . Staten er opmærksom på forureningsproblemet og betaler derfor mineejerne et “konserveringssubsidium”  $s$  for hver enhed af råstoffet, de lader forblive i undergrunden. Idet  $P$  er ressourceprisen, og  $r$  er den konstante markedsrente, er nutidsværdien af den repræsentative mineejerens profit på tidspunkt nul derfor givet ved

$$\Pi_0 = \int_0^{\infty} [(P - a) R + sS] e^{-rt} dt, \quad (9)$$

hvor  $sS$  altså er det samlede subsidiebeløb, som en mineejer med reservebeholdningen  $S$  modtager fra staten. Mineejerens ønsker at maksimere nutidsværdien af sin profit (8) under hensyntagen til stock-flow sammenhængen (4).

**Spørgsmål 1.3.** Udled førsteordensbetingelserne for at den repræsentative virksomhed har maksimeret nutidsværdien af sin profit (NB: Du behøver ikke at komme ind på transversalitetsbetingelsen). Udled fra førsteordensbetingelserne et udtryk for ændringen i ressourceprisen over tid. Giv en økonomisk fortolkning af udtrykket og forklar den markeds mekanisme, der gennemtvinger den udledte prisstigningstakt.

*Svar på spørgsmål 1.3:* Hamilton-funktionen (i løbende værdi) svarende til mineejerens problem bliver ifølge (9) og (5) givet som

$$H = (P - a) R + sS - \lambda R,$$

og førsteordensbetingelserne for maksimering af nutidsværdien af mineejerens profit bliver

$$\frac{\partial H}{\partial R} = 0 \quad \Rightarrow \quad P - a = \lambda \quad (\text{viii})$$

$$\dot{\lambda} = r\lambda - \partial H / \partial S \quad \Rightarrow \quad \dot{\lambda} = r\lambda - s \quad (\text{iv})$$

Da  $a$  er konstant, følger det af (viii), at

$$\dot{\lambda} = \dot{P} \quad (\text{x})$$

Indsættelse af (viii) og (x) i (iv) giver

$$\dot{P} + s = r(P - a) \quad (\text{xi})$$

Højresiden af (xi) er det afkast, som mineejeren kan opnå “i morgen” ved at udvinde en ekstra ressourceenhed “i dag” og investere den resulterende ressourcerente  $P - a$  i kapitalmarkedet. Venstresiden af (xi) er det afkast, mineejeren kan opnå ved at udskyde udvindingen af den ekstra ressourceenhed til “i morgen”. Dette afkast består dels af den kapitalgevinst  $\dot{P}$ , der følger af den løbende stigning i ressourceprisen, og dels af den ekstra subsidieindtægt  $s$ , der opnås i kraft af, at udskydelse af udvindingen øger den tilbageværende ressourcebeholdning med én enhed og dermed udløser en ekstra subsidieudbetaling til mineejeren. Optimumsbetingelsen (xi) udtrykker således, at mineejeren på marginalen opnår det samme afkast ved at udvinde en ekstra enhed “i dag” og ved at udskyde udvindingen til “i morgen”.

Den markedsmekanisme, der gennemtvinger ligevægtsbetingelsen (xi), kan forklares som følger: Hvis venstresiden er større end højresiden, kan det betale sig at udskyde en del af ressourceudvindingen til “i morgen”. Dermed reduceres det aktuelle udbud af ressourcen, hvilket presser den aktuelle ressourcepris  $P$  i vejret. Samtidigt sænkes den forventede og faktiske prisstigningstakt  $\dot{P}$ , fordi der bliver mindre knaphed på ressourcen “i morgen”. Begge disse tilpasninger vil fortsætte, indtil der er etableret lighed mellem højre- og venstresiden i (xi). Hvis venstresiden i udgangspunktet er mindre end højresiden, er det omvendt fordelagtigt at øge den aktuelle udvindingstakt, hvilket presser den aktuelle ressourcepris ned og øger prisstigningstakten (som følge af større fremtidig ressourceknaphed). Efterhånden som den aktuelle udvinding øges, vil der igen blive etableret lighed mellem højre- og venstresiden i (xi).

Mineejerne sælger som sagt det udvundne råstof til færdigvareproducenterne på et marked med fuldkommen konkurrence. Færdigvareproducenterne sælger ligeledes deres output under fuldkommen konkurrence.

**Spørgsmål 1.4.** Forklar at det under de netop nævnte antagelser vil gælde, at

$$P = F_R, \quad r = F_K. \quad (10)$$

(Vink: En verbal forklaring er tilstrækkelig).

*Svar på spørgsmål 1.4:* Under fuldkommen konkurrence vil de profitmaksimerende færdigvareproducenter indkøbe råvarer, indtil værdien af råvarens grænseprodukt er lig med dens pris. Da færdigvareprisen er normeret til én, er værdien af råvarens grænseprodukt lig med selve grænseproduktet  $F_R$ . Dette forklarer den første ligning i (10). Tilsvarende vil profitmaksimerende kompetitive færdigvareproducenter investere i kapitaludstyr, indtil (værdien af) kapitalens grænseprodukt  $F_K$  svarer til kapitalomkostningen  $r$ . Dette forklarer den anden ligning i (10).

**Spørgsmål 1.5.** Udled den størrelse af subsidiesatsen  $s$ , der vil sikre en samfundsmæssigt optimal råstofudvinding (Vink: Benyt resultaterne fra spm. 1.2, 1.3 og 1.4). Vil den optimale subsidiesats være konstant over tid? Forklar.

*Svar på spørgsmål 1.5:* Af den første ligning i (10) følger, at

$$\dot{P} = \dot{F}_R \quad (\text{xii})$$

Indsættelse af (10) og (xii) i (xi) giver

$$\dot{F}_R + s = F_K (F_R - a) \quad (\text{xiii})$$

Ved sammenligning af (vii) og (xiii) ses, at den samfundsmæssigt optimale udvindingstakt kan opnås, hvis subsidiesatsen i hver periode fastsættes i overensstemmelse med reglen

$$s = v'/u' \quad (\text{xiv})$$

Subsidiesatsen skal altså svare til den marginale velfærdsgevinst ved mindsket forurening ( $v'/u'$ ). Da  $v'$  afhænger af den akkumulerede ressourceudvinding  $S_0 - S$ , og da grænsenytten  $u'$  afhænger af det aktuelle færdigvareforbrug  $C$ , er den optimale subsidiesats i (xiv) ikke konstant over tid. Tælleren i brøken på højresiden af (xiv) vil være voksende over tid som følge af en stigende akkumuleret ressourceudvinding, mens udviklingen i nævneren i brøken vil afhænge af, om færdigvareforbruget er stigende eller faldende.

**Spørgsmål 1.6.** Diskutér om det udviklingsforløb, der fremkommer ved løsning af samfundsplanlæggerens problem i spm. 1.1 og 1.2, kan siges at være bæredygtigt?

*Svar på spørgsmål 1.6:* Ifølge definitionen af svag bæredygtighed er et udviklingsforløb bæredygtigt, hvis det indebærer, at den repræsentative forbrugers løbende nytte er ikke-aftagende over tid. I denne opgave er den løbende nytte (som her betegnes  $V$ ) givet



som

$$V = u(C) - v(S_0 - S) \quad (\text{xv})$$

Ifølge (xv) og (5) er ændringen i nytten over tid derfor givet ved

$$\dot{V} = u'(C) \dot{C} - v'(S_0 - S) \left( -\dot{S} \right) = u'(C) \dot{C} - v'(S_0 - S) R \quad (\text{xvi})$$

Da den løbende ressourceudvinding  $R$  er positiv, og  $v' > 0$ , vil det sidste produkt på højresiden af (xvi) altid trække nytten ned over tid som følge af stigende forurening. En nødvendig betingelse for bæredygtighed er derfor, at den løbende ændring i færdigvareforbruget ( $\dot{C}$ ) er positiv og tilstrækkeligt stor (heraf ses, at vi opererer med begrebet svag bæredygtighed: en faldende miljøkvalitet antages at kunne blive kompenseret af et højere materielt forbrug). Imidlertid må man forvente, at færdigvareforbruget på et tidspunkt vil begynde at falde i det samfundsmæssigt optimale udviklingsforløb. For at underbygge denne påstand udleder vi nu den optimale udvikling i færdigvareforbruget. Af (i) følger, at

$$u'' \cdot \dot{C} = \dot{\mu} \quad (\text{xvii})$$

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

$$\begin{aligned} u'' \cdot \dot{C} &= u' \cdot (\rho - F_K) \quad \Rightarrow \\ \frac{\dot{C}}{C} &= -\frac{u'}{u''C} (\rho - F_K) \quad \Rightarrow \\ \frac{\dot{C}}{C} &= \frac{1}{\varepsilon} (\rho - F_K), \quad \varepsilon \equiv -\frac{u''C}{u'}, \end{aligned} \quad (\text{xviii})$$

hvor  $\varepsilon$  er grænsenyttens numeriske elasticitet mht. forbruget. Da modellen ser bort fra tekniske fremskridt, må man forvente, at kapitalens grænseprodukt  $F_K$  vil være faldende over tid, dels fordi kapitalbeholdningen vil være voksende som følge af de løbende investeringer i realkapital, og dels fordi det løbende råvareforbrug må antages at være faldende i takt med, at knapheden på den udtømmelige naturressource stiger (Hvis produktionsfunktionen (3) fx er homogen af første grad og dermed udviser konstant skalaafkast, vil kapitalens grænseprodukt variere negativt med faktorproportionen  $K/R$ , der som sagt må antages at være stigende over tid. Dermed vil  $F_K$  med sikkerhed være faldende). Det følger da af (xviii), at færdigvareforbruget før eller siden må begynde at falde (da  $\varepsilon$  er positiv, og  $\rho$  er konstant). Når  $\dot{C}$  bliver negativ, kan vi da med sikkerhed

konkludere af (xvi), at udviklingen er ikke-bæredygtig i det samfundsmæssigt optimale forløb.

Dette resultat skyldes grundlæggende, at samfundsplanlæggeren ifølge (1) neddiskonterer de fremtidige nytteniveauer (Bemærk: Indeværende spm. 1.6 må betragtes som svært, hvilket der bør tages hensyn til i bedømmelsen).

## **OPGAVE 2. Grøn skattereform (Indikativ vægt: 1/3).**

(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.** Redegør kort for hypotesen om en “dobbelt dividende” ved en grøn skattereform, hvor der foretages en provenuneutral skatteomlægning fra skat på arbejdsindkomst til miljøafgifter. Hvori består henholdsvis den første og den anden dividende, og hvad er det populære argument for, at man kan opnå begge dividender?

*Svar på spørgsmål 2.1:* Ifølge det populære argument består den første dividende ved en grøn skattereform i velfærdsgevinsten ved et renere miljø, mens den anden dividende består i en velfærdsgevinst som følge af højere beskæftigelse, da provenuet fra miljøafgifter giver mulighed for lavere skat på arbejdsindkomst, hvilket stimulerer arbejdsudbud og beskæftigelse.

**Spørgsmål 2.2.** Mange økonomer argumenterer, at man som udgangspunkt ikke kan forvente en dobbelt dividende ved en grøn skattereform. Forklar de økonomiske argumenter bag dette synspunkt.

*Svar på spørgsmål 2.2:* Det populære argument for eksistensen af den anden dividende overser, at miljøafgifter er en indirekte skat på arbejdsindkomst, da de udhuler den disponible realløn. Derfor kan man ikke være sikker på, at den grønne skattereform har en positiv nettovirkning på arbejdsudbud og beskæftigelse. I en simpel model, hvor alle forbrugere samtidigt er lønmodtagere, kan man vise, at en provenuneutral grøn skattereform ikke vil ændre den samlede beskæftigelse, idet en del af den direkte skat på arbejdsindkomst blot erstattes af en indirekte skat.

**Spørgsmål 2.3.** Diskutér under hvilke omstændigheder, man trods alt kan forvente en dobbelt dividende ved en grøn skattereform. Diskutér i den forbindelse betydningen af imperfektioner på arbejdsmarkedet.

*Svar på spørgsmål 2.3:* I praksis vil også personer udenfor arbejdsmarkedet skulle betale miljøafgifter. Hvis hele provenuet fra de grønne afgifter anvendes til at sænke arbejdsindkomstskatten, kan der således opnås en stigning i lønmodtagernes disponible realløn, hvilket kan stimulere arbejdsudbud og beskæftigelse. Denne effekt opnås dog kun ved at tillade, at fx pensionister og andre overførselsmodtagere får udhulet deres realindkomst af de højere miljøafgifter. Der sker således en omfordeling af realindkomst til fordel for de beskæftigede. En lignende effekt kunne imidlertid opnås ved fx at hæve moms eller de traditionelle punktafgifter og anvende provenuet til at sænke skatten på arbejdsindkomst. Den “anden dividende” knytter sig således ikke specielt til en grøn skattereform, men opstår ved enhver omlægning fra direkte til indirekte skatter.

I en simpel model med et imperfekt arbejdsmarked, hvor lønnen fastsættes af monopolfagforeninger på lokale delmarkeder, kan man ligeledes vise, at der med plausible parameterværdier kan fremkomme både en første dividende i form af et renere miljø og en anden dividende i form af en stigning i den ikke-miljømæssige velfærd. Den anden dividende fremkommer i en sådan model ved, at den lavere arbejdsindkomstskat udløser lavere lønkrav, idet fagforeningerne ønsker at holde et fast forhold mellem lønnen efter skat og understøttelsen efter skat. Dette forhold forrykkes ikke af miljøafgifter, fordi indirekte skatter udhuler realværdien af understøttelsen i samme grad, som de udhuler reallønnen. Den omtalte simple model kan dog kritiseres for, at den indebærer en grad af overvæltning af direkte skatter på lønnen, som er urealistisk stor i lyset af den eksisterende empiri. Endvidere gælder også i denne model, at beskæftigelsesfremgangen fremkommer ved, at man politisk accepterer en udhuling af overførselsmodtagernes (in casu dagpengemodtagernes) realindkomst.