Björn Carlén
KI-NR 2018:9

2018-06-19

EU ETS och automatisk annullering av utsläppsrätter

EU:s utsläppshandelssystem (EU ETS) håller på att reformeras. Beslut har tagits om att snabbare trappa ned mängden utsläppsrätter som årligen tillförs systemet, att förskjuta tidpunkten för när vissa utsläppsrätter släpps ut på marknaden (så kallad backloading), att införa en så kallad marknadsstabilitetsreserv (MSR) samt att under vissa villkor automatisk annullera delar av denna reserv. Medan det finns flera analyser av nedtrappningen, backloading och MSR saknas ännu offentliga analyser av den automatiska annulleringen.[1] Detta PM analyserar konsekvenserna av automatisk annullering med hjälp av en enkel modell över geografisk och intertemporal utsläppshandel.

Vi börjar med att beskriva modellen och rekapitulera några klassiska resultat vad gäller intertemporal utsläppshandel i en värld med välinformerade, framåtblickande och pristagande företag. Därefter analyseras automatisk annullering i två olika marknadsmiljöer – en utan möjlighet att spara finansiellt i utsläppsrätter och en där sådan möjlighet finns. Sedan studeras konsekvenserna av klimatpolitiska extrasteg inom EU ETS. PM:et avslutas med några kommentarer.

EN ENKEL MODELL

Antag ett utsläppshandelssystem där den årliga tillförseln av utsläppsrätter uppgår till q_t. Företag *i* (*i = 1, 2, …, n*) måste årligen lämna in utsläppsrätter motsvarande sina årliga utsläpp (u_{it}). Företagen kan spara oanvända utsläppsrätter och låna utsläppsrätter från framtida tilldelningar.[2] Systemet kräver alltså att marknadens ackumulerade utsläpp inte överstiger den ackumulerade mängden utsläppsrätter. Låt u_{it}^0 ange företag *i*:s *business-as-usual*-utsläpp (dess utsläppsnivå år *t* när priset på utsläppsrätter är lika med noll) och antag att företaget har en kvadratisk kostnadsfunktion för utsläppsminskning. För företag *i* har vi därmed

[1] Kollenberg och Taschini (2016) studerar en form av justering av systemet ackumulerade tak. För analys av backloading och MSR, se exempelvis Perino och Willner (2016) och Salant (2016). För mer allmän analys av intertemporala aspekter på miljöpolitik, se Aronsson, Backlund och Löfgren (2018).

[2] Antagandet att företagen även kan låna utsläppsrätter skiljer sig från reglerna för EU ETS och kan påverka resultaten kvalitativt. Vi kommenterar detta nedan och anger under vilka förutsättningar så inte är fallet.

$$C_{it}(u_{it}) = \frac{\alpha}{2}\left(u_{it}^{0} - u_{it}\right)^2 \tag{1}$$

Företagen antas välja utsläppsnivåer (u_{it}) och nettoköp av utsläppsrätter (x_{it}) i syfte att minimera summan av sina nuvärdesberäknade årliga åtagandekostnader (minskningskostnad plus kostnad för nettoinköp av utsläppsrätter). Efter tidpunkten *T* antas utsläppsrätterna sakna värde, exempelvis för att tekniska framsteg har gjort utsläppsfria alternativ så pass billiga att de alltid väljs framför alternativ som genererar utsläpp eller för att systemet upphört. I frånvaro av automatisk annullering kan företag *i:s* problem formuleras som

$$\underset{\{x_{it},\, u_{it}\}_{t=1}^{T}}{\text{Min}} \sum\nolimits_{t=1}^{T} (1+r)^{1-t}\{p_t x_{it} + C_{it}(u_{it})\}$$

$$\text{givet}$$

$$B_{i1} = \overline{\mathrm{B}}_i \tag{2}$$

$$B_{it+1} = B_{it} + x_{it} - u_{it}$$

Där r anger kalkylräntan, p_t priset på utsläppsrätter och B_{it} mängden sparade utsläppsrätter vid ingången av år t. Givet att alla utsläppsrätter som auktioneras ut köps har vi $\sum_{i=1}^{n} x_{it} = q_t$. För att finna lösningen på företagets problem, använd det andra bivillkoret (bokföringsekvationen) för att ersätta u_{it} i målfunktionen och omvandla problemet till att vara att utan bivillkor välja de sekvenser av handels- och sparbeslut som minimerar målfunktionen. Det sekvenspar som minimerar summan av årliga nuvärdesberäknade åtagandekostnader $\{x_{it}^{*}, B_{it}^{*}\}$ kommer att vara sådant att summan av åtagandekostnaderna i nuvärdestermer för två intilliggande år också är minimerad. Vi kan därför leta efter de handels- och sparbeslut som minimerar.

$$(1+r)^{1-(t-1)}\{p_{t-1}x_{it-1} + C_{it-1}(B_{it-1} - B_{it} + x_{it-1})\} + (1+r)^{1-t}\{p_t x_{it} + C_{it}(B_{it} - B_{it+1} + x_{it})\} \tag{3}$$

Från första ordningens villkor fås

$$\alpha\left(u_{it}^0 - u_{it}\right) = p_t \tag{4}$$

$$\frac{u_{it}^0 - u_{it}}{u_{it-1}^0 - u_{it-1}} = 1 + r \tag{5}$$

Dessa uttryck säger att företaget minskar sina årliga utsläpp fram till dess att kostnaden för ytterligare minskning är lika med priset på utsläppsrätter och att minskningen av företagets årliga utsläpp ökar över tid i takt med kalkylräntan. Kombinerar vi (4) och (5) har vi att priset på utsläppsrätter i optimum stiger i takt med kalkylräntan, det vill säga marknaden beter sig enligt den så kallade Hotelling-regeln (Hotelling, 1931). Givet en snabbare prisbana skulle företagen tjäna på att låna pengar till räntan *r* och köpa ytterligare utsläppsrätter som en finansiell placering. Med en långsammare prisbana skulle företaget finna det lönsamt att minska sina utsläpp ytterligare och sälja de frigjorda utsläppsrätterna och placera intäkterna på kapitalmarknaden. I bägge fallen pressas prisbanan att stiga i takt med kalkylräntan.

Notera att (5) implicerar $u_{it}^0 - u_{it} = (1+r)(u_{it-1}^0 - u_{it-1}) = (1+r)^2(u_{it-2}^0 - u_{it-2}) = \cdots = (1+r)^{t-1}(u_{i1}^0 - u_{i1})$. Summerar vi detta uttryck över företagen har vi att marknadens optimala minskning av de årliga utsläppen ges av

$$u_t^0 - u_t = (1+r)^{t-1}(u_1^0 - u_1) \tag{6}$$

där $u_t^0 = \sum_1^n u_{it}^0$ och $u_t = \sum_1^n u_{it}$. Vi har därmed marknadens optimala utsläppsminskningsbana. Det återstår att beräkna den optimala utsläppsnivån för år 1. Genom att summera bokföringsekvationen över företagen har vi $B_{t+1} = B_t + q_t - u_t$, där $B_t = \sum_1^n B_{it}$. Genom att stega detta uttryck bakåt i tiden till *t = 1* och därefter ställa oss i år *T* erhålls

$$B_{T+1} = \bar{B} + \sum_1^T q_t - \sum_1^T u_t \tag{7}$$

där $\bar{B} = \sum_1^n \bar{B}_i$. Eftersom utsläppsrätterna saknar värde efter år T vill ingen hålla utsläppsrätter efter detta år. Med andra ord, i optimum måste B_{T+1} vara lika med noll. Givet detta, använd (6) för att eliminera u_t och lös för u_1 för att finna den högsta utsläppsnivån år 1 som är förenlig med den optimala utsläppsbanan och villkoret att det efter år T inte ska finnas några sparade utsläppsrätter kvar. Sätt in det erhållna uttrycket i (6) för att få

$$u_t^* = u_t^0 - \frac{(1+r)^t}{\sum_1^T (1+r)^t} [U^0 - (Q + \bar{B})] \tag{8}$$

där $U^0 = \sum_1^T \sum_1^n u_{it}^0$ och $Q = \sum_1^T q_t$. Sätt in (8) i (4) för att få

$$p_t^* = \frac{(1+r)^t}{\sum_1^T (1+r)^t} \frac{\alpha}{n} [U^0 - (Q + \bar{B})] \tag{9}$$

Från (8) och (9) ser vi att den optimala utsläppsnivån ett givet år och korresponderande prisnivå beror på (i) business-as-usual-utsläppens nivå, (ii) diskonteringsräntan, (iii) den framtida ackumulerade utsläppsminskning som systemet kräver av marknaden, $U^0 - (Q + \bar{B})$. Eftersom backloading och MSR inte förändrar den totala mängden utsläppsrätter som över tid finns tillgängliga påverkar de inte marknaden i denna modell med väl fungerande handel och fullt informerade, framåtblickande företag. Det ska dock noteras att denna slutsats i allmänhet är avhängig att företagen kan låna utsläppsrätter. Om de inte tillåts att göra det skulle vi under perioder när företagen vill släppa ut mer än den mängd utsläppsrätter som för stunden finns tillgängligt se högre priser än vad som anges av (9), se Salant (2016). Med ett stort ingående sparande av utsläppsrätter $\bar{B}$ och en låg ränta kommer dock företagen välja att inte låna utsläppsrätter och vårt antagande om att företagen får låna saknar betydelse för resultaten.

Detta var de traditionella resultaten i en modell med informerade och framåtblickande företag. Vi övergår nu till att studera effekterna av automatisk annullering av utsläppsrätter. Vi gör det i två olika situationer. I den ena situationen betraktas utsläppsrätter enbart som insatsfaktor för produktionen och marknaden antas vara fullständigt koordinerad. I den andra situationen betraktas utsläppsrätter även som ett värdepapper som man kan spara finansiellt i och marknaden karaktäriseras av decentraliserat beslutsfattande.

AUTOMATISK ANNULLERING NÄR UTSLÄPPSRÄTTER ENBART SES SOM EN INSATSVARA

Betrakta marknaden som om den bestod av ett företag som håller utsläppsrätter enbart för att täcka dagens eller framtidens utsläpp. Med andra ord, vi tillåter inte något finansiellt sparande i utsläppsrätter. För att hålla framställningen enkel antar vi här att systemet tillförs utsläppsrätter genom gratistilldelning. Detta antagande påverkar inte resultaten.

Enligt EU (2017) fylls den så kallade marknadsstabilitetsreserven (MSR) på om det privata sparandet av utsläppsrätter (utsläppsrätter i omlopp) är större än 833 miljoner. Påfyllningen sker genom att nästkommande års tillförsel av utsläppsrätter minskas med en mängd motsvarande 24 procent av det privata sparandet av utsläppsrätter.[3] Den automatiska annulleringen så som den beskrivs i EU (2017) innebär att från och med år 2023 kommer mängden utsläppsrätter i MSR att jämföras med det antal utsläppsrätter som tillfördes systemet året innan och överstigande volym kommer att annulleras. Vi har därmed en koppling mellan utsläppen åren 2018-2022 och antalet utsläppsrätter som annulleras år 2023. Större utsläpp innan dess innebär ett lägre privat sparande och därför att färre utsläppsrätter dras in i MSR:en och sedan annulleras. För enkelhets skull modellerar vi annulleringen direkt utan att gå via hur mängden utsläppsrätter i omlopp (B_t i vår modell) påverkar MSR:n. Vi tänker oss en situation där automatisk annullering startar år 2 (2019) och pågår fyra år (2019-2024). Därefter tillförs systemet utsläppsrätter enligt ursprunglig plan q_t. Vi låter därmed mängden utsläppsrätter som tillförs systemet ske enligt

$$\hat{q}_t = \begin{cases} q_t - (R_t - \gamma u_{t-1}) & \text{för } t = 2, 3, 4 \text{ och } 5 \\ q_t & \text{annars} \end{cases} \tag{10}$$

där $R_t - \gamma u_{t-1}$ anger den mängd av utsläppsrätter som annulleras år t. Termen R_t anger en tänkt fix annullering medan parametern $\gamma \in [0,1)$ fångar kopplingen mellan föregående års utsläppsnivå och nästa års tillförsel av utsläppsrätter.

Företagets problem är att välja den utsläppssekvens som minimerar summan av de nuvärdesberäknade årliga minskningskostnaderna givet (10). Problemet kan formuleras som

[3] Denna inmatningsfaktor gäller fram till och med 2023. Därefter sänks den till 12 procent.

$$\min_{\{u_t\}_{t=1}^{T}} \sum_{t=1}^{T} (1+r)^{1-t} C_t(u_t)$$

givet

$$B_1 = \overline{\mathrm{B}} \tag{11}$$

$$B_{t+1} = B_t + \hat{q}_t - u_t$$

där $C_t(u_t) = \frac{\alpha}{2n}(u_t^0 - u_t)^2$ anger det aggregerade företagets minskningskostnad år t.[4]

Använd bokföringsekvationen för att eliminera u_t i kostnadsfunktionen så att företagets problem blir att välja den sekvens av sparbeslut som minimerar summan av de nuvärdesberäknade årliga minskningskostnaderna. Den optimala sekvensen av sådana beslut kräver att besluten för två intilliggande år är optimala. Företagets problem är alltså att välja den B_t som minimerar

$$(1+r)^{1-(t-1)} C_{t-1}\left(\underbrace{B_{t-1} - B_t + \hat{q}_{t-1}}_{u_{t-1}}\right) + (1+r)^{1-t} C_t\left(\underbrace{B_t - B_{t+1} + \hat{q}_t}_{u_t}\right) \tag{12}$$

Första ordningens villkor för åren 1-5 ges av

$$-(1+r)^{1-(t-1)}\alpha(u_{t-1}^0 - u_{t-1})\frac{\partial u_{t-1}}{\partial B_t} - (1+r)^{1-t}\alpha(u_t^0 - u_t)\left(\frac{\partial u_t}{\partial B_t} + \frac{\partial \hat{q}_t}{\partial u_{t-1}}\frac{\partial u_{t-1}}{\partial B_t}\right) = 0 \tag{13}$$

Eftersom $\frac{-\partial u_{t-1}}{\partial B_t} = \frac{\partial u_t}{\partial B_t} = 1$ och $\frac{\partial \hat{q}_t}{\partial u_{t-1}} = \gamma$ har vi

$$\frac{u_t^0 - u_t}{u_{t-1}^0 - u_{t-1}} = \frac{1+r}{1-\gamma} \qquad \text{för t = 1, 2, …5} \tag{14}$$

Eftersom γ är positiv men mindre än 1 har vi att den automatiska annulleringen gör det optimalt för företaget att under åren 1-5 minska utsläppen i en snabbare takt än den som ges av kalkylräntan.

[4] Notera att (3) innebär att $u_{it} = u_{it}^0 - \frac{1}{\propto}p_t$. Summerar vi över företagen får vi $u_t = u_t^0 - \frac{n}{\propto}p_t$. Inverterar vi utrycket får vi $p_t = \frac{\propto}{n}(u_t^0 - u_t) = MAC_t = -\frac{dC_t}{du_t}$.

Första ordningens villkor för åren 6 och framåt ger

$$\frac{u_t^0 - u_t}{u_{t-1}^0 - u_{t-1}} = 1 + r \tag{15}$$

Den automatiska annulleringen, som under vissa år etablerar en koppling mellan utsläppsnivå och nästa års tillförsel av utsläppsrätter, påverkar alltså företagets optimala utsläppsminskningsbana endast under de år utsläppsrätter dras in och annulleras.

Från (14) och (15) erhåller vi

$$u_t^0 - u_t = \left(\frac{1+r}{1-\gamma}\right)^{t-1} (u_1^0 - u_1) \qquad \text{för } t = 1, 2, \ldots 5 \tag{16}$$

och

$$u_t^0 - u_t = (1+r)^{t-5} (u_5^0 - u_5) \qquad \textit{för } t = 6, 7, \ldots T \tag{17}$$

Använd (16) för att eliminera $(u_5^0 - u_5)$ i (17).

$$u_t^0 - u_t = \frac{(1+r)^{t-1}}{(1-\gamma)^4} (u_1^0 - u_1) \qquad \text{för } t = 6, 7, \ldots T \tag{18}$$

På motsvarande vis som ovan kan vi backa och splittra upp bokföringsekvationen.

$$B_{T+1} = \overline{\mathrm{B}} + \sum_1^T q_t - \sum_2^5 R_t + \gamma \sum_1^4 u_t - \sum_1^T u_t \tag{19}$$

Sätt B_{T+1} till noll, använd (16) och (18) för att eliminera u_t.[5] Lös för u_1.

$$u_1^C = u_1^0 - \frac{U^0 - \left(Q + \overline{\mathrm{B}} - (R - \gamma \sum_1^4 u_t^0)\right)}{Z} \tag{20}$$

[5] Ger $0 = \overline{\mathrm{B}} + \sum_1^T q_t - \sum_2^5 R_t + \gamma \sum_1^4 \left(u_t^0 - \left(\frac{1+r}{1-\gamma}\right)^{t-1} (u_1^0 - u_1)\right) - \sum_1^5 \left(u_t^0 - \left(\frac{1+r}{1-\gamma}\right)^{t-1} (u_1^0 - u_1)\right) - \sum_6^T \left(u_t^0 - (1+r)^{t-5} \left(\frac{1+r}{1-\gamma}\right)^{5-1} (u_1^0 - u_1)\right)$.

där $R = \sum_2^5 R_t$ och $Z = \sum_1^5 \left(\frac{1+r}{1-\gamma}\right)^{t-1} + \sum_6^T (1+r)^{t-1} \left(\frac{1}{1-\gamma}\right)^{5-1} - \gamma \sum_1^4 \left(\frac{1+r}{1-\gamma}\right)^{t-1}$. Detta är den högsta utsläppsnivån år 1 som givet den optimala utsläppsbanan – (16) och (18) – är förenlig med kravet att banken ska vara tömd till år *T+1*. Sätt in (20) i (16) och (18) för att få

$$u_t^C = \begin{cases} u_t^0 - \left(\frac{1+r}{1-\gamma}\right)^{t-1} \left(\frac{U^0 - \left(Q + \bar{\mathrm{B}} - \left(R - \gamma \sum_1^4 u_t^0\right)\right)}{Z}\right) \; för\ t\ =\ 1, 2 \ldots 5 \\ u_t^0 - \frac{(1+r)^{t-1}}{(1-\gamma)^4} \left(\frac{U^0 - \left(Q + \bar{\mathrm{B}} - \left(R - \gamma \sum_1^4 u_t^0\right)\right)}{Z}\right) \quad för\ t\ =\ 6 \ldots T \end{cases} \tag{21}$$

Priset på utsläppsrätter fås genom att sätta in (23) i (4).

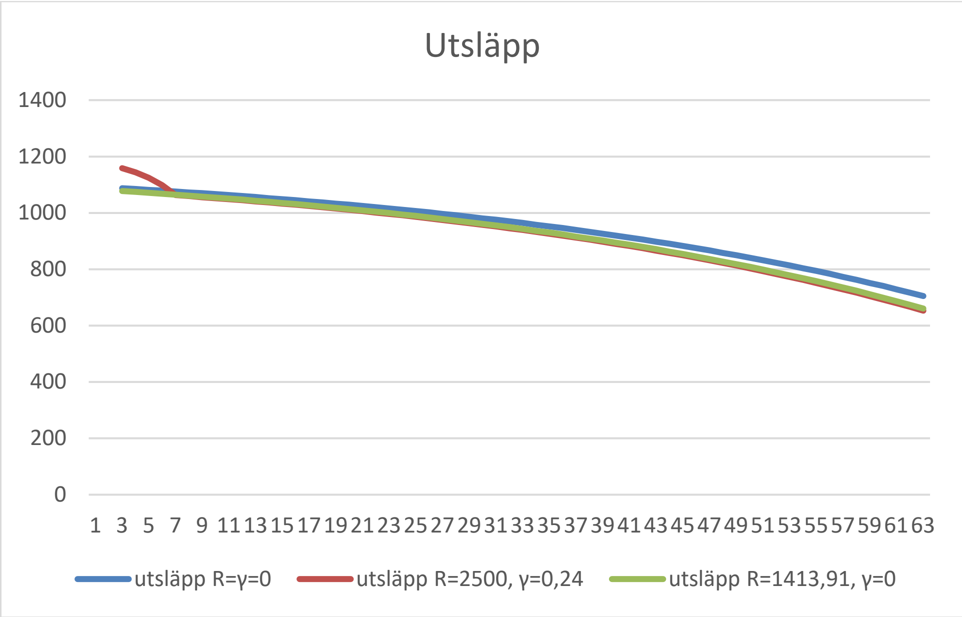
$$p_t^C = \begin{cases} \frac{\alpha}{n} \left(\frac{1+r}{1-\gamma}\right)^{t-1} \left(\frac{U^0 - \left(Q + \bar{\mathrm{B}} - \left(R - \gamma \sum_1^4 u_t^0\right)\right)}{Z}\right) \; för\ t\ =\ 1, 2 \ldots 5 \\ \frac{\alpha}{n} \frac{(1+r)^{t-1}}{(1-\gamma)^4} \left(\frac{U^0 - \left(Q + \bar{\mathrm{B}} - \left(R - \gamma \sum_1^4 u_t^0\right)\right)}{Z}\right) \quad för\ t\ =\ 6 \ldots T \end{cases} \tag{22}$$

Utan någon annullering (R = 0 och γ =0) kollapsar (21) till (8) och (23) till (9), det vill säga vi erhåller de traditionella Hotelling-resultaten.

Figur 1 nedan illustrerar utsläppsbanor under tre olika politikutformningar givet numeriska antaganden som någorlunda är i linje med situationen för EU ETS.[6] Den blå grafen illustrerar ett fall utan någon annullering. Den röda grafen anger utfallet under automatisk annullering. Den gröna grafen illustrerar ett fall med enbart en fix annullering ($R > 0$, $\gamma = 0$) där R kalibrerats så att de ackumulerade utsläppen blir lika som i fallet med automatisk annullering. Figuren visar att den automatiska annulleringen påtagligt påverkar utsläppen under annulleringsperioden. Med automatisk annullering sänks företagets kostnad för utsläpp åren 1-5; utsläpp under denna period leder till en mindre minskning av den framtida tillförseln av utsläppsrätter. Därefter finns inte denna effekt. Sammantaget får vi en utsläppsbana som liknar en upp-och-nedvänd surfbräda. Jämfört med såväl fallet utan någon annullering alls som fallet med likvärdig rak annullering leder den automatiska annulleringen i denna marknadsmiljö till högre utsläpp i närtid och lägre utsläpp längre fram i tiden.

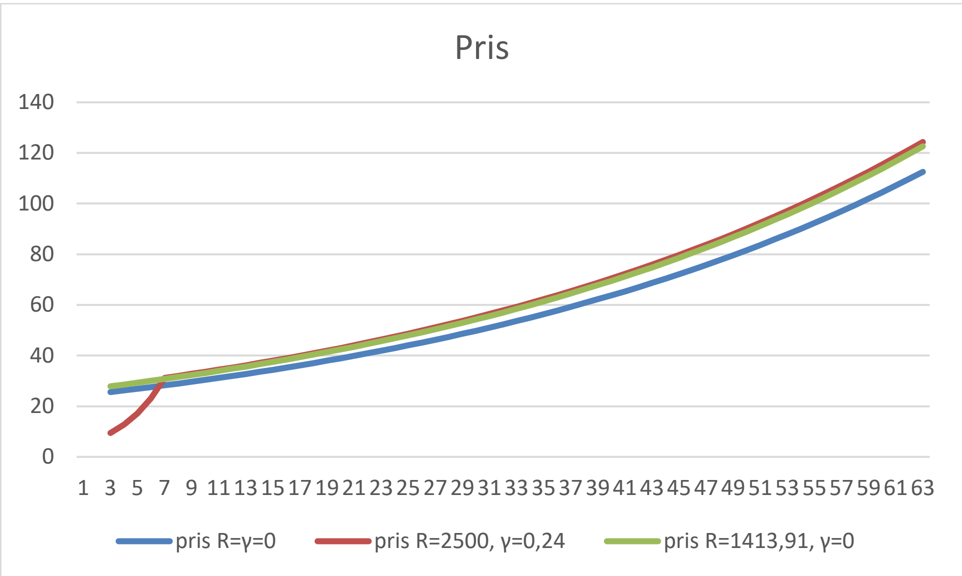
---

[6] $\bar{B} = 2\,500\,miljoner$, $u^0 = 1\,200\,miljoner$, $q_t = 900\,miljoner$ $R = 2\,500\,miljoner$, $\gamma = 0{,}24$, $T = 61$, $r = 0{,}025$, $n = 11\,000$ och $\alpha = 2\,500$. Givet de övriga värdena har α valts så att modellen ger ett pris ungefär vid nivån april 2018.



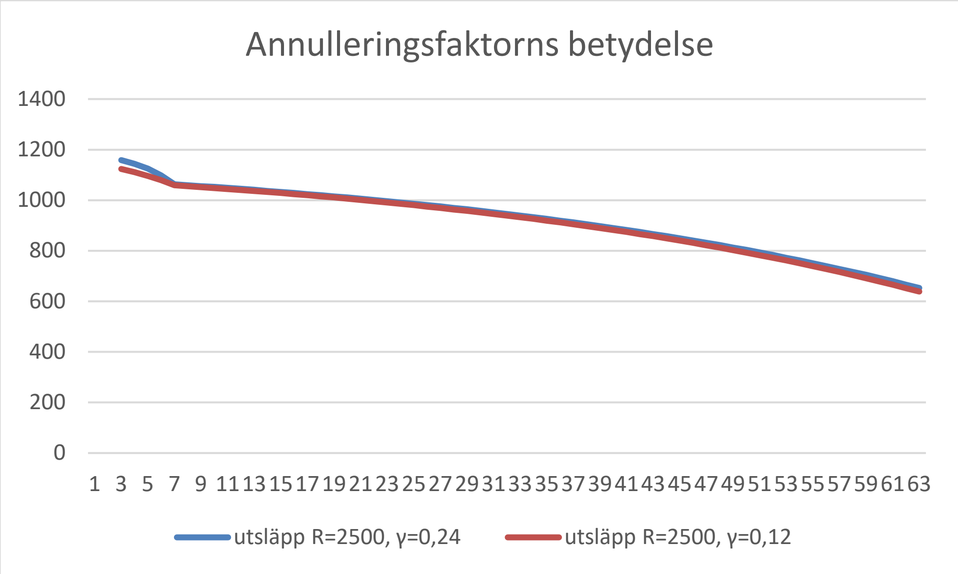
Figur 1 Utsläppsbanor på en koordinerad marknad

Figur 2 visar de korresponderande prisbanorna. Med automatisk annullering får vi en lägre prisnivå i närtid relativt de andra politikscenarierna. Modellen ger alltså prediktionen att i denna marknadsmiljö där utsläppsrätter betraktas enbart som en insatsfaktor och marknaden är koordinerad, leder automatisk annullering till en ökad skillnad mellan dagens spotpris och terminspriserna för åren efter att annulleringsmekanismen upphört.



Figur 2 Prisbanor på en koordinerad marknad

Figur 3 illustrerar att ju högre annulleringsfaktorn är desto större blir de ackumulerade utsläppen.



Figur 3 Annulleringsfaktorns betydelse

Det ska noteras att eftersom priset på utsläppsrätter här inte stiger i takt med räntan, kan ett enskilt företag tjäna på att låna på kapitalmarknaden till räntan *r* för att år 1 köpa utsläppsrätter och sälja dem efter några år. Att detta inte sker beror på att vi här inte gett något utrymme för finansiellt sparande i utsläppsrätter. Vi har ju antagit en koordinerad marknad som enbart vill minimera marknadens samlade nuvärdesberäknade minskningskostnader. Vi går nu över till att analysera automatisk annullering på en marknad som karaktäriseras av decentraliserat beslutsfattande och företag som även betraktar utsläppsrätter som en möjlig finansiell placering.

AUTOMATISK ANNULLERING MED MÖJLIGHET TILL FINANSIELLT SPARANDE I UTSLÄPPSRÄTTER

Problemet för det enskilda företaget är att välja de sekvenser av årliga nettoköp av utsläppsrätter respektive årliga utsläpp, det vill säga det par $\{x_{it}, u_{it}\}$, som minimerar dess nuvärdesberäknade åtagandekostnad. Detta är samma problem som (2). Företaget behöver här dock beakta den automatiska annulleringen. Vi förenklar här genom att låta den automatiska annulleringen enbart verka under år 3. Problemet för företag *1* kan formuleras som

$$\underset{\{x_{1t},\ u_{1t}\}_{t=1}^{T}}{\text{Min}} \sum_{t=1}^{T} (1+r)^{1-t}\{p_t x_{1t} + C_{1t}(u_{1t})\}$$

givet

$$B_{11} = \overline{\mathrm{B}}_1$$

$$B_{1t+1} = B_{1t} + x_{1t} - u_{1t} \tag{23}$$

och

$$\hat{q}_t = \begin{cases} q_t - (R - \gamma u_2) & för\ t = 3 \\ q_t & annars \end{cases} \tag{24}$$

Givet att den mängd utsläppsrätter som årligen auktioneras ut köps gäller $\sum_{i=1}^{n} x_{it} = \hat{q}_t$. Därmed har vi

$$x_{1t} = \begin{cases} q_t - (R - \gamma u_{t-1}) - \sum_2^n x_{it} & för\ t = 3 \\ \\ q_t - \sum_2^n x_{it} & annars \end{cases} \tag{25}$$

Använd andra bivillkoret för att substituera bort u_{it}. När företag 1 betraktar perioderna 2-3 är problemet är att välja x_{12} och B_{13} givet (25) som minimerar

$$(1 + r)^{-1}[p_2 x_{12} + C_{12}] + (1 + r)^{-2}[p_3 x_{13} + C_{13}] \tag{26}$$

Noterar vi att $\frac{\partial u_2}{\partial u_{12}} = \frac{\partial u_{12}}{\partial x_{12}} = \frac{\partial u_{13}}{\partial x_{13}} = -\frac{\partial u_{12}}{\partial B_{13}} = \frac{\partial u_{13}}{\partial B_{13}} = 1$ och att $\frac{\partial x_{13}}{\partial u_2} = \gamma$ har vi följande första ordningens villkor

$$\alpha(u_{12}^0 - u_{12}) = p_2 + (1 + r)^{-1}\gamma[p_3 - \alpha(u_{13}^0 - u_{13})] \tag{27}$$

$$(1 + r)\alpha(u_{12}^0 - u_{12}) = \alpha(u_{13}^0 - u_{13}) + \gamma[p_3 - \alpha(u_{13}^0 - u_{13})] \tag{28}$$

När företaget ska välja x_{12} och B_{13} behöver det alltså snegla fram på vilka val som är optimala under år 3 För $t \geq 3$ väljer företag 1 de x_{1t} och B_{1t+1} som minimerar

$$(1 + r)^{1-t}[p_t x_{1t} + C_{1t}] + (1 + r)^{1-(t+1)}[p_{t+1} x_{1t+1} + C_{1t+1}] \tag{29}$$

Från första ordningens villkor med avseende på handelsbesluten respektive sparbesluten har vi de traditionella förhållningsreglerna

$$\alpha(u_{1t}^0 - u_{1t}) = p_t \tag{30}$$

$$\frac{u_{1t}^0 - u_{1t}}{u_{1t-1}^0 - u_{1t-1}} = 1 + r \tag{31}$$

Från (30) har vi att $\alpha(u_{13}^0 - u_{13}) = p_3$. Sätt in detta förhållande i (27) och (28). Vi ser då att (30) och (31) även gäller för åren 2 och 3. Med andra ord, den automatiska annulleringen har i denna marknadsmiljö ingen effekt på företagets optimala utsläppsminskningstakt eller regeln att årligen minska utsläppen fram till prisnivån. Från (31) har vi därmed (6). Summera bokföringsekvationen över företagen och använd (7) för att ersätta $u_t^0 - u_t$ för att få

$$B_{T+1} = \bar{B} + \textstyle\sum_1^T \underbrace{(q_t - R + \gamma u_2)}_{\hat{q}_t} - \sum_1^T u_t^0 + (u_1^0 - u_1)\sum_1^T (1+r)^{t-1} \tag{32}$$

Använd (6) för att eliminera u_2

$$B_{T+1} = \bar{B} + (Q - R) + \gamma u_2^0 - U^0 - (u_1^0 - u_1)[\gamma(1+r)^{-1} - \textstyle\sum_1^T (1+r)^{t-1}] \tag{33}$$

Sätt B_{T+1} till noll och lös för u_1

$$u_1^A = u_1^0 - \frac{U^0 - \left(Q + \bar{B} - (R - \gamma u_2^0)\right)}{\sum_1^T (1+r)^{t-1} - \gamma(1+r)^{-1}} \tag{34}$$

Sätt in (34) i (6) och vi får

$$u_t^A = u_t^0 - \frac{(1+r)^t}{\sum_1^T (1+r)^t - \gamma}[U^0 - (Q + \bar{B} - (R - \gamma u_2^0))] \tag{35}$$

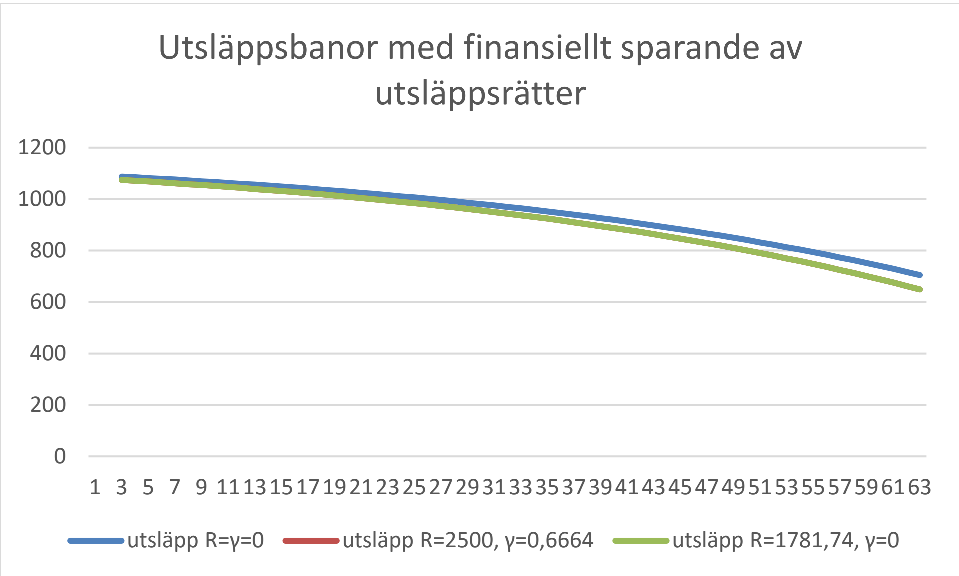
Tillhörande pris ges av

$$p_t^A = \frac{\alpha}{n}\frac{(1+r)^t}{\sum_1^T (1+r)^t - \gamma}[U^0 - (Q + \bar{B} - (R - \gamma u_2^0))] \tag{36}$$

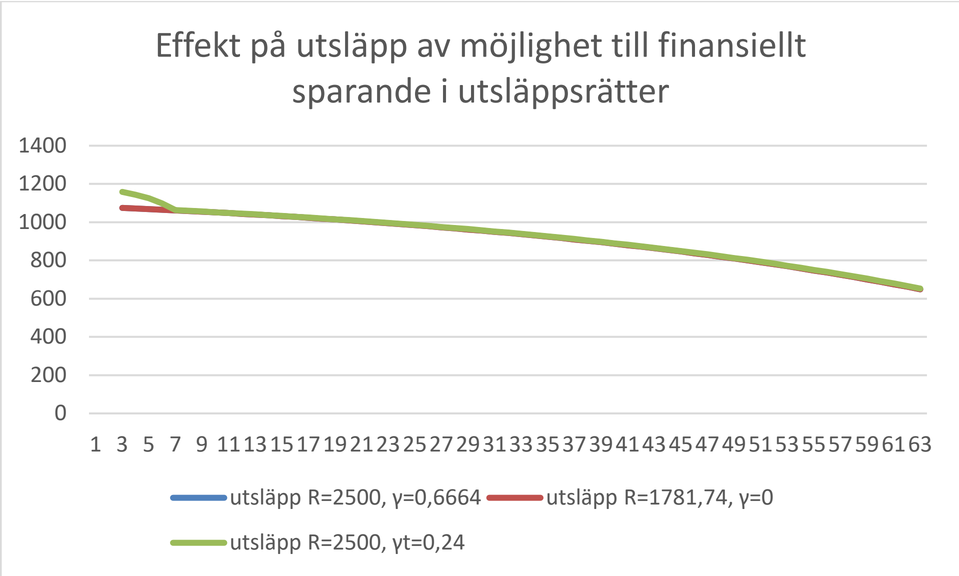
Från (35) och (36) ser vi att de optimala utsläppen ett givet år och tillhörande pris beror på det ackumulerade kravet på utsläppsminskning från marknaden. Vi ser också att den tidsmässiga viktningen är annorlunda, den innehåller här annulleringsfaktorn i nämnaren. Givet ett stort T och en tidsbegränsad annulleringsmekanism så blir dock dess inverkan marginell.

Nedan illustreras utsläppsbanor för tre olika scenarier. Värdena är de som anges i fotnot 4 med undantag för annulleringsfaktorn som justerats för att kompensera för att här är den automatiska annulleringen verksam endast ett år.

I Figur 4 finner vi ingen skillnad mellan scenarierna med automatisk annullering och likvärdig fix annullering. Den gröna grafen ligger precis på den röda. Inte heller kan vi observera någon större skillnad vad gäller utsläpp i närtid mellan ingen annullering alls (R = 0, γ = 0) och annulleringsscenarierna. Möjligheten till att placera finansiellt i utsläppsrätter innebär att företagen följer Hotellings regel i alla tre scenarierna. Realiserandet av de möjliga arbitragevinster mellan finansmarknaden och marknaden för utsläppsrätter vi identifierade ovan innebär att utsläppen under annulleringsåren pressas nedåt. Härmed blir den framtida tillförseln av utsläppsrätter lägre än i scenariot utan möjlighet till finansiellt sparande i utsläppsrätter. Detta illustreras i Figur 5 där den gröna grafen hela tiden ligger på eller ovanför den röda som ligger precis på den blå. Skillnaden i ackumulerade utsläpp uppgår i detta fall till 370 miljoner ton.

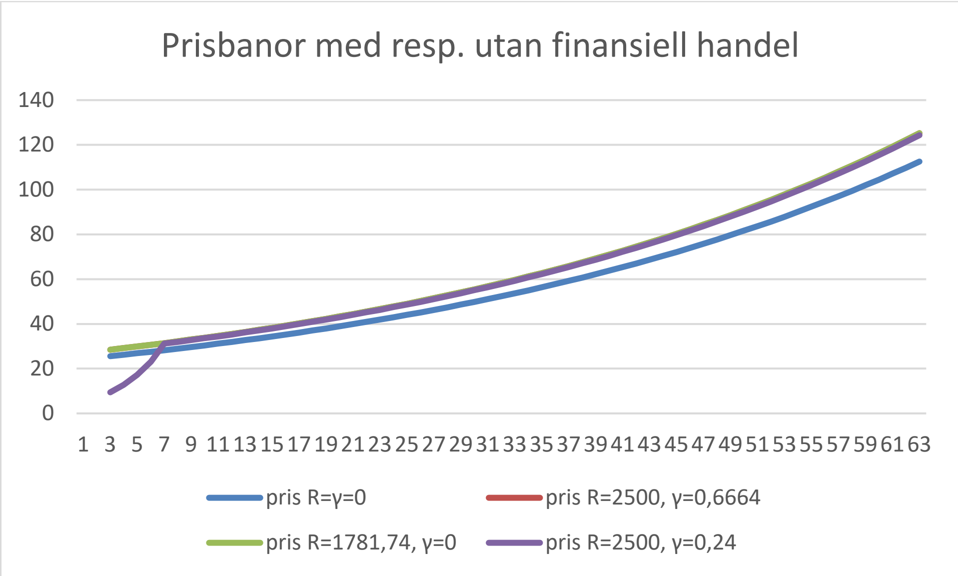


Figur 4



Figur 5 Jämförelse mellan marknadsmiljöer – med respektive utan möjlighet att spara finansiellt i utsläppsrätter

Figur 6 redovisar prisbanorna för de olika scenarierna plus ett scenario utan möjlighet att spara finansiellt i utsläppsrätter (lila graf). Vi ser där att den lila grafen följer den gröna ganska väl med undantag för annulleringsåren då den ligger betydligt lägre. Detta indikerar att den ackumulerade nuvärdesberäknade *minskningskostnaden* blir högre med möjlighet till finansiellt sparande i utsläppsrätter. Samtidigt innebär ett sådant sparande att arbitragevinster realiseras och därmed att den ackumulerade nuvärdesberäknade *åtagandekostnaden* blir lägre. Kort sagt, samhället tjänar på finansiell spekulation i utsläppsrätter medan de utsläppande företagen som kollektiv får högre minskningskostnader. Huruvida dessa företag förlorar netto beror på om de nyttjar utsläppsrätter även som en finansiell placering eller inte.



Figur 6 Jämförelse pris med respektive utan finansiellt sparande i utsläppsrätter

Spotpriset på utsläppsrätter har sedan april 2017 stigit med ca 300 procent, från drygt fyra euro per ton koldioxid till omkring 15 euro. Även terminspriserna har stigit motsvarande. För närvarande ligger dagens spotpris (maj 2018) och terminspriserna för 2019-2021 på i stort sett samma nivå. Givet dagens låga ränteläge talar detta möjligen för att de reformer EU ETS som beslutats under hösten har skiftat prisbanan uppåt men att den fortfarande följer Hotellings regel att prisbanan följer diskonteringsräntan. Med andra ord, det tycks inte som att marknadsmiljön för EU ETS kan liknas vid koordinerat beteende och inget finansiellt sparande. En sådan miljö skulle, givet den annulleringsfaktor som impliceras av insugningstakten 24 procent, uppvisa en stor skillnad mellan termins- och spotpriserna.

EFFEKTER AV KLIMATPOLTISKA EXTRASTEG

Här diskuterar vi effekterna av att länder anlägger nationell politik för att öka den mängd utsläppsrätter som annulleras och därigenom minska de samlade utsläppen från EU ETS. Vi studerar effekten av att ett eller flera länder temporärt (här endast under $t = 2$) beskattar de egna EU ETS-företagens koldioxidutsläpp, i en marknadsmiljö som karaktäriseras av decentraliserat beslutsfattande och finansiellt sparande i utsläppsrätter. Detta eftersom denna marknadsmiljö får anses vara huvudfallet.

Unilaterala extrasteg

En skatt τ_s på utsläppen från företag s skiftar företagets efterfrågefunktion för utsläpp. Företagets inverterade efterfrågan på utsläpp under period 2 ges av $MAC_{s2} = \alpha(u_{s2}^0 - u_{s2})$, där $u_{s2}^0 = x_{s2} - \frac{\tau_s}{\alpha}$. Skatten minskar alltså företagets business-as-usual utsläpp. Hur påverkar då en sådan beskattning de samlade utsläppen från EU ETS, givet automatisk annullering?

Systemets ackumulerade utsläpp fås genom att summera (35) över *t*.[7]

$$U^A = U^0 - \frac{\sum_1^T (1+r)^t}{\sum_1^T (1+r)^t - \gamma}\left[U^0 - \left(Q + \bar{B} - (R - \gamma u_2^0)\right)\right] \tag{37}$$

Beskattningen av utsläppen från företag *s* påverkar de ackumulerade utsläppen genom dels att den reducerar marknadens business-as-usual utsläpp, dels att den via den automatiska annulleringen minskar mängden utsläppsrätter som ackumulerat tillförs marknaden. Differentiera (37) med avseende på τ_s och notera att $\frac{\partial u_{s2}^0}{\partial \tau_s} = \frac{\partial u_2^0}{\partial \tau_s} = \frac{\partial U^0}{\partial \tau_s} = -\frac{1}{\alpha}$ för att få

$$\frac{dU^A}{d\tau_s} = -\frac{\gamma}{\alpha}\frac{\sum_1^T (1+r)^t - 1}{\sum_1^T (1+r)^t - \gamma} \tag{38}$$

Som väntat leder beskattningen till lägre utsläpp. Med en kort (här ettårig) annulleringsperiod och en siktlängd på 60 år är den andra termen (kvoten med summorna) nära 1 varför effekten kan approximeras med $-\frac{\gamma}{\alpha} < 0$.[8] Effekten på systemets ackumulerade utsläpp av en skatt på utsläppen år 2 från företag *s* uppgår alltså till annulleringsfaktorn *γ* multiplicerat med den direkta skatteinducerade minskningen av företagets business-as-usual utsläpp $-\frac{1}{\alpha}$. Effekten på priset av en sådan skatt ges av

$$\frac{dp_t^A}{d\tau_s} = -\frac{1-\gamma}{n}\frac{(1+r)^t}{\sum_1^T (1+r)^t - \gamma} \tag{39}$$

EU ETS omfattar ca 11 000 anläggningar, det vill säga *n* = 11 000. Av dessa ligger omkring 700 i Sverige. Givet att de svenska företagen i genomsnitt inte avviker alltför mycket från det genomsnittliga EU ETS-företaget, kan effekten av en temporär svensk unilateral beskattning av alla svenska EU ETS-företag erhållas genom att multiplicera (38) respektive (39) med 700.

---

[7] Det ska noteras att (37) implicerar att så länge $T < \infty$, är de ackumulerade utsläppen mindre än den ackumulerade tillförseln av utsläppsrätter. (Kvoten med summorna kommer då att vara större än ett.) Detta något förvånande utfall återfinns även i Kollenberg och Taschini (2016), något de tillskriver "equilibrium dynamics".

[8] Med en flerårig annulleringsperiod blir kvotens värde högre.

Det ska noteras att en unilateral svensk beskattning innebär att vissa EU ETS-företag möter en högre kostnad för att släppa ut än andra varför systemets ackumulerade utsläppstak nås till en högre kostnad än nödvändigt.

Alla länder anlägger nationell politik

I det fall samtliga länder inför en uniform skatt på EU ETS-företagens utsläpp får vi följande effekter.

$$\frac{dU^A}{d\tau} = -\gamma \frac{n}{\alpha} \frac{\sum_1^T (1+r)^t - 1}{\sum_1^T (1+r)^t - \gamma} \tag{40}$$

$$\frac{dp_t^A}{d\tau} = -(1-\gamma) \frac{(1+r)^t}{\sum_1^T (1+r)^t - \gamma} \tag{41}$$

Effekten på utsläpp respektive priset blir en faktor *n* större än i det fall där enbart utsläppen från företag *s* beskattas och 11 000/700 gånger större än när enbart svenska EU ETS-företag beskattas.

KOMMENTAR

Som en del i reformeringen av EU ETS införs det en så kallad automatisk annullering av utsläppsrätter. Den innebär att med start 2023 annulleras den del av den så kallade marknadsstabiliseringsreserven (MSR) som överstiger den mängd utsläppsrätter som auktionerades ut året innan. Storleken på MSR år 2023 påverkas av hur mycket som släpps ut under åren 2018–2022. Resterande del av MSR ska återföras till marknaden. Företagen kan därmed i någon mån själva påverka hur många utsläppsrätter som tillförs systemet framöver. Vi har här visat att en sådan koppling mellan dagens utsläppsbeslut och framtida tillförseln av utsläppsrätter ger företagen incitament att öka sina utsläpp i närtid för att därigenom begränsa minskningen av den framtida tillförseln av utsläppsrätter.

Huruvida dessa incitament verkligen får genomslag beror på om utsläppsrätter betraktas som enbart som en insatsvara eller även som en möjlig finansiell placering. I det förra ger modellen på en koordinerad marknad större utsläpp och lägre pris i närtid än utan automatisk annullering. Vi får prisbanor som skiljer sig från de som vanligen ses som optimala och som ger möjlighet till arbitragevinster mellan finansmarknaden och marknaden för utsläppsrätter. I det senare fallet så realiseras sådana arbitragevinster och vi är tillbaka i de sedvanliga pris- och utsläppsminskningsbanorna. Detta får som resultat lägre utsläpp i närtid vilket med automatisk annullering även innebär mindre framtida tillförsel av utsläppsrätter. Finansmarknaden arbetar i denna situation i grön riktning. När alla arbitragevinster realiseras får den automatiska annulleringen approximativt samma effekt som en likvärdig fast annullering.

Det ska noteras att vi i analysen ovan antagit att företagen även kan låna utsläppsrätter, ett antagande som inte är förenligt med EU ETS-reglerna. Utan möjlighet att låna utsläppsrätter kan det uppstå perioder med brist på utsläppsrätter. Under sådana perioder kan priserna och företagens kostnader stiga kraftigt. Företagens skydd mot sådana utfall är att spara utsläppsrätter, något som med den automatiska annulleringen blir mer kostsamt eftersom ju mer företagen sparar desto lägre blir den framtida tillförseln av utsläppsrätter. Även MRS:en kan skapa sådana bristsituationer då den enligt reglerna efter 2023 endast får släppa tillbaka utsläppsrätter motsvarande 100 miljoner ton. Dessa risker för kraftiga politik-inducerade prisuppgångar behöver analyseras närmare.

Vi har även tittat på vad unilaterala nationella klimatpolitiska extrasteg ger för effekter. Vi visar att ett litet lands unilaterala skatt på de egna EU ETS-företagens utsläpp inte har någon nämnvärd effekt på priset på utsläppsrätter. Detta innebär att effekten på de ackumulerade utsläppen bestäms av nivån på annulleringsfaktorn. Unilaterala extrasteg leder dock till att det nu lägre utsläppstaket för EU ETS nås till en högre kostnad relativt det fall landet hade köpt och annullerat motsvarande mängd utsläppsrätter.

REFERENSER

Aronsson, T., K. Backlund och K-G Löfgren (2018) *Environmental Policy, Sustainability and Welfare*,

Salant, S. (2016) What ails the European Union's Emissions Trading System? *Environmental Economics and Management.*

EU (2017) "Proposal for a Directive of the European parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC to enhance cost-effective emission reduction and low-carbon investments".

Hotelling, H. (1931) The Economics of Exhaustible Resources *Political Economics.*

Perino och Willner (2016) Procrastinating reform: The impact of the market stability reserve on the EU ETS, *Environmental Economics and Management*

Kollenberg och Tashcini (2016) Emissions Trading Systems with Cap Adjustments, *Environmental Economics and Management*