

Incitamentsstrukturer för bioenergi med koldioxidavskiljning och -lagring i Sverige och Europeiska unionen

Underlagsrapport till Klimatpolitiska vägvalsutredningen (M 2018:07)

Mathias Fridahl

Mathias Fridahl, mars 2019

*Incitamentsstrukturer för bioenergi med koldioxidavskiljning och -lagring i Sverige
och Europeiska unionen*

Underlagsrapport till Klimatpolitiska vägvalsutredningen (M 2018:07)

Linköpings universitet och Stockholm Environment Institute

mathias.fridahl@liu.se

Innehållsförteckning

1	Introduktion: Bioenergi med koldioxidavskiljning och -lagring	1
1.1	<i>Globala utmaningar, nationella möjligheter</i>	2
2	Systemgränser, styrmedel och teknisk mognadsgrad	3
2.1	<i>Systemgränser</i>	3
2.2	<i>Styrmedel</i>	4
2.2.1	Regleringar, ekonomiska styrmedel och informativa instrument	5
2.2.2	Effekt på måluppfyllelse, kostnadseffektivitet och genomförbarhet	5
2.3	<i>Styrning i olika faser av teknisk mognadsgrad</i>	9
3	Bakgrund	11
3.1	<i>Bio-CCS: En utmaning för traditionell klimatpolitik</i>	11
3.2	<i>Existerande incitamentsstrukturer i Sverige och Europeiska unionen</i>	11
4	Potential för utvecklad incitamentsstrukturer: avskiljning av biogen koldioxid i Sverige och Europeiska unionen	14
4.1	<i>Nischhantering</i>	14
4.1.1	Målstyrning: Klimatpolitiska mål i Sverige och EU	14
4.1.2	Utökad subventionering av forskning och utveckling	18
4.1.3	Kunskapscentrum och dialog	19
4.1.4	Myndighetssamordning	21
4.1.5	Innovationsupphandling	21
4.1.6	Långsiktigt garantipris (inmatningstariff)	24
4.1.7	Långsiktigt garanterad efterfrågan (omvänd auktionering)	26
4.2	<i>Regimintroduktion</i>	28
4.2.1	Fortsatt behov av stöd till FoU (demonstrationsprojekt)	29
4.2.2	Räntestyrning (gröna obligationer och förmånliga krediter)	31
4.2.3	Koldioxidavgift	34
4.2.4	Kvotplikt och certifikatshandel	36
4.2.5	Avveckla stöd till fossil energi	38
4.3	<i>Kommersialisering</i>	39
4.3.1	Reformering av koldioxidavgift eller kvotplikt och certifikatshandel	39
4.3.2	Negativ koldioxidskatt (subvention)	40
4.3.3	Reformering av Europeiska unionens system för handel med utsläppsrätter	45

4.3.4	Teknikstandard och reduktionsplikt	47
4.3.5	Kredibilitet och flexibilitet.....	49
4.3.6	Acceptans	50
4.3.7	Koldioxidläckage.....	54
5	Potential för utvecklad incitamentsstrukturer: transport och lagring av biogen koldioxid i Sverige och Europeiska unionen	60
5.1	<i>Harmonisering av reglering för gränsöverskridande transport</i>	61
5.2	<i>Inhemsk lagringskapacitet</i>	61
5.2.1	Helsingforskonventionen	61
5.2.2	Förenklad tillståndsprövning	62
5.3	<i>Infrastruktur och övervakning</i>	62
5.3.1	Infrastruktur för transport och lagring och europeiska finansieringskällor.....	62
5.3.2	EU:s system för handel med utsläppsrätter och hinder för sjötransport.....	63
5.3.3	CCS-direktivet: övervakning och ansvar för negativa konsekvenser av läckage.....	64
5.3.4	CCS-direktivet och biogen koldioxid.....	66
5.4	<i>Differentierad prissättning för pionjärer och kapacitetsstyrning</i>	66
5.4.1	Kommersialisering och prissättning av kapacitet	66
6	Slutsatser	68
6.1	<i>Förslag till styrning i olika faser av teknikmognadsgrad</i>	68
6.1.1	Nischhantering	69
6.1.2	Regimintroduktion.....	72
6.1.3	Kommersialisering	72
	Referenser	74

1 Introduktion: Bioenergi med koldioxidavskiljning och -lagring

Det blir allt tydligare att negativa utsläpp har en viktig roll att spela för att nå Parisavtalets temperaturmål. Målet, att till år 2100 begränsa den globala uppvärmningen till väl under 2°C och sträva efter att inte överstiga 1,5°C, har utvärderats av FN:s klimatpanel (IPCC). Enligt IPCC uppgick de globala utsläppen av koldioxid, runt år 2017, till cirka 42 miljarder ton koldioxid. Kolbudgeten för 1,5°C uppgår, under perioden 2018–2100, till cirka 420 miljarder ton koldioxid. Med 2017 års utsläppsnivå skulle koncentrationen av atmosfärisk koldioxid alltså vara tillräckligt hög för att driva fram en uppvärmning på 1,5°C redan runt år 2028 (IPCC 2018). Därutöver krävs radikala begränsningar också av övriga utsläpp av växthusgaser.

Osäkerheterna är visserligen stora. I bästa fall är utrymmet något större, i värsta fall är kolbudgeten redan förbrukad. I samtliga fall är behovet av framtida negativa utsläpp tydligt. Kolbudgeten står i stark kontrast till de klimatplaner som länderna skickat in under Parisavtalet. Om klimatplanerna genomförs fullt ut kommer utsläppen, år 2030, att vara ungefär 40 miljarder ton koldioxid (IPCC 2018) eller cirka 49–55 miljarder ton koldioxidekvivalenter, om andra växthusgaser räknas in (Jenkins 2014, UNEP 2018).

Att med konventionella metoder nå globala nollutsläpp till 2028 är i praktiken omöjligt. Det innebär att dagens generationer behöver låna utsläppsutrymme från framtida generationer, en skuld som så småningom måste återbetalas genom negativa utsläpp. De klimatscenarier som sammanställts av IPCC tillåter en upplåningsperiod fram till cirka år 2050, det vill säga att dagens generationer lånar utsläppsutrymme från framtida generationer. Därefter sker en succesivt ökande återbetalning för att nå budgetbalans i samband med bokslutsåret 2100 (IPCC 2018).

Volymerna på upplåningen varierar beroende på hur ambitiöst klimatarbetet antas bli i närtid. De mest ambitiösa närtidsscenarierna, med massiv utsläppsbegränsning fram till 2030, dämpar behovet av upplåning till cirka 100 miljarder ton koldioxid. De minst ambitiösa närtidsscenarierna innebär en belåning på över 1000 miljarder ton. I klimatscenarierna ingår framförallt två källor till negativa utsläpp: återbeskogning och bioenergi med avskiljning och lagring av koldioxid (bio-CCS). I de mer ambitiösa närtidsscenarierna kan negativa utsläpp begränsas till återbeskogning. I de mindre ambitiösa närtidsscenarierna ökar behovet av tekniska lösningar, inklusive bio-CCS. I samtliga fall når scenarierna netto-noll ungefär år 2050.

Scenarierna drivs delvis av att modellerna implementerar ett globalt och homogent pris på koldioxid, ett antagande som är långt från dagens verklighet med fragmenterad prissättning och en uppsjö av andra klimatpolitiska verktyg (Fridahl and Lehtveer 2018). Brist i kunskapen om hur scenarierna kan omsättas i verklighet har

skapat ett stort behov av studier både av den existerande klimatpolitikens förmåga att främja negativa utsläpp och, framförallt, utformning av alternativa styrmedels-sammansättningar för att leverera den nödvändiga omställning som krävs för att uppnå de globala klimatmålen.

1.1 Globala utmaningar, nationella möjligheter

Det är i denna kontext som Sveriges klimatmål bör förstås. I stort sett hela världen skulle behöva anta lika långtgående mål som Sverige för att hålla utsläppen inom kolbudgetens ramar för 1,5°C. I försöken att lösa denna ekvation blir det också allt tydligare: politiken måste skapa förutsättningar för negativa utsläpp.

Parallellt med strävan att krympa och ställa om energisystemen och fasa ut fossil energi krävs nu stora investeringar i kapacitet för framtida återbetalningar av lånat utsläppsutrymme. På ett globalt plan är denna utmaning enorm. Risken för målkonflikter är stor, inte minst för att ökad efterfrågan på bioenergi riskerar att påverka tillgången på mat och minska den biologiska mångfalden (IPCC 2018).

Ur ett internationellt perspektiv är den svenska potentialen för bio-CCS ovanligt hög. Det pågår redan en rad aktiviteter i Sverige – exempelvis produktion av el, värme, papper, pappersmassa och biobränslen – där användandet av biomassa ger upphov till stora punktutsläpp av biogen koldioxid. I Sverige finns alltså möjlighet att fånga in och lagra biogen koldioxid utan att öka uttaget av biomassa ur biosfären. Samtidigt saknas det en marknad för negativa utsläpp både i Sverige och internationellt. I dagsläget är incitamenten för att fånga in och lagra biogen koldioxid väldigt svaga, både på svensk och europeisk nivå.

Denna rapport föreslår därför hur incitamentsstrukturer för bio-CCS skulle kunna utformas:

- a) i Sverige;
- b) inom EU, samt;
- c) i olika faser av teknisk mognadsgrad.

En svensk politik för bio-CCS innebär nya klimatpolitiska utmaningar men också möjligheter till att fortsätta agera inspiratör i framkant i den gröna omställningen. Sverige kan, tillsammans med EU, agera för att utveckla både politik och tekniskt kunnande i en för klimatomställningen helt central teknik. Även om bio-CCS troligtvis aldrig når de skalor som föreslås i mer extrema klimatscenarier kan tekniken utgöra ett betydelsefullt komplement till utsläpps begränsningar och andra tekniker som kan skapa negativa utsläpp och vara helt avgörande i vissa länders klimatpolitiska strävanden.

2 Systemgränser, styrmedel och teknisk mognadsgrad

En rad metodrelaterade beslut påverkar analysen av hur incitamentsstrukturer för bio-CCS skulle kunna utformas. Gränserna för vad som ska styras (systemgränser) liksom vad styrningen ska åstadkomma (utvärderingskriterier) är i detta avseende avgörande. Exempelvis kan incitamentsstrukturer för negativa utsläpp förstås ur ett livscykelperspektiv eller fokusera på punktutsläpp, prioritera enskilda sektorer eller vara ekonomiövergripande och vara tekniskspecifik eller mer teknikneutral. På ett liknande sätt kan fokus på styrmedel begränsas till en viss typ av styrning och utvärderas i ljuset av ett specifikt kriterium eller en mer komplex ensemble av kriterier. Nedan beskrivs de metodologiska avvägningar som gjorts i denna rapport.

2.1 Systemgränser

Bedömningen av klimatnytta är beroende av var systemgränserna för analys dras. Generösa systemgränser brukar vanligtvis öka komplexiteten men gör också att analysen ofta får större politisk och samhälllig relevans. Bio-CCS utgör ett bra exempel på detta. För att realisera den fulla tekniska potentialen för negativa utsläpp i bio-CCS-system krävs en stödjande klimatpolitik inom en rad olika sektorer. Gough et al. (2018) beskriver potentiella källor till utsläpp i olika delar av ett system av bio-CCS: produktion av realkapital (exempelvis maskiner, infrastruktur och markförberedelser), odling och skörd av biomassa, transport och bearbetning av biomassa samt transport av bearbetad biomassa, industriell process där biomassan används, avskiljning och komprimering av koldioxid, samt transport och lagring av koldioxid.

I samtliga delar av systemet används energi alternativt produkter (exempelvis gödsel) med potentiella utsläpp av växthusgaser som följd. Nivåer av kol bundet ovan och under jord kan också påverkas. Ur ett systemperspektiv undergrävs eller stärks potentialen för negativa utsläpp av ett ton avskild biogen koldioxid av utsläpp och upptag i andra delar av systemets livscykel (Harper, Powell et al. 2018). För att realisera systemets fulla potential krävs alltså åtgärder inom sektorer som skogsbruk, jordbruk, transporter och industri.

Åtgärder för att begränsa utsläpp från skog, mark, jordbruk, bearbetning och transporter styrs redan av politik inom respektive område, politik som i hög grad är under utveckling för att påskynda klimatomställningen. Exempelvis är frågor om hållbar biomassaproduktion och utfasning av fossila bränslen från transportsektorn därför redan föremål för reglering och politikutveckling. Som exempel kan nämnas Sveriges separata etappmål för transportsektorn samt EU:s förordning för utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk. I denna rapport fokuseras därför i första hand på incitamentsstrukturer för avskiljning av biogen koldioxid. Till skillnad från politik för avskiljning av fossil

koldioxid – där vissa incitamentsstrukturer redan finns på plats – är politik för att främja avskiljning av biogen koldioxid till stora delar helt utvecklad. Rapporten kommer också att beröra politik för transport och lagring av koldioxid.

Tabell 1 | Schematisk bild av hur bio-CCS kan generera negativa utsläpp ur ett systemperspektiv.

		Avskiljning av koldioxid		
		0%		100%
		Fysiskt läckage från lagring av koldioxid		
		100%	0%	
Produktion av biomassa	Klimatneutral	Nollutsläpp (±0)	Nollutsläpp (±0)	Negativa utsläpp (-)
	Koldioxidintensiv	Positiva utsläpp (+)	Positiva utsläpp (+)	Nollutsläpp (±0)

Den förenklade bilden av omständigheter under vilka bio-CCS kan generera negativa utsläpp ur ett systemperspektiv, som ges av Tabell 1, visar att bio-CCS kan generera negativa utsläpp men att tekniken inte nödvändigtvis alltid gör det. Det innebär att lagring av biogen koldioxid alltså inte alltid går att likställa med negativa utsläpp. Om produktionen av biomassa dessutom bidrar till ökade upptag av koldioxid från atmosfären kommer ett biogent punktutsläpp, som använder denna biomassa, kunna anses vara negativt även utan CCS. Eftersom utsläpp och upptag från markanvändning och skog redan regleras för ökad hållbarhet samt bokförs inom dessa sektorer är det rimligt att anta att punktutsläpp av biogen koldioxid, utanför markanvändning och skog, alltid är klimatneutrala. Om detta antagande inte görs kommer utsläpp och upptag att bokföras dubbelt, förutsatt att inga ändringar görs i hur dessa utsläpp och upptag ska bokföras inom markanvändning och skog. Ur detta perspektiv är mängden avskild och lagrad koldioxid, från biogena punktutsläpp, alltid att betrakta som negativ. I denna rapport diskuteras incitamentsstrukturer främst i relation till avskiljning och lagring av biogen koldioxid, men om antagandet ovan accepteras kan ett ton lagrad biogen koldioxid likställas med ett ton negativa utsläpp.

2.2 Styrmedel

Styrmedel kan definieras som verktyg för att uppfylla politiska mål (Howlett 2011). Antalet styrmedel som står till förfogande, och antalet aktörer som engagerar sig i styrning, gör att styrning kan studeras ur väldigt många perspektiv. I denna rapport fokuseras på offentliga styrmedel på nationell (svensk) och supranationell

(europeisk) nivå för att lagra biogen koldioxid genom att tillämpa bio-CCS. Även med denna avgränsning är antalet ingångar till studier av styrmedel många, i denna rapport fokuseras därför främst på förmågan hos olika typer av styrmedel att styra ekonomin i riktning mot uppsatta mål i olika faser av teknisk mognadsgrad.

2.2.1 Regleringar, ekonomiska styrmedel och informativa instrument

I rent analytiska syften kan styrmedel kategoriseras i tre huvudtyper: regleringar, ekonomiska styrmedel och informativa instrument (Bemelmans-Videc, Rist et al. 2010). Regulativa styrmedel fungerar ofta som piskor, exempelvis genom utsläppstak kombinerat med höga böter, minimikrav på energieffektivitet, eller förbud. De kräver dock en relativt hög grad av teknisk mognad för att vara effektiva eftersom strikt reglering, exempelvis tekniskstandard eller utsläppstak, i kombination med låg teknisk mognadsgrad riskerar att generera låg acceptans för den föreslagna politiken (Watson, Kern et al. 2014).

Ekonomiska styrmedel fungerar ofta som morötter, antingen genom att skapa tillgångar eller genom möjligheter att undvika kostnader. Exempel på ekonomiska styrmedel utgörs av beskattning, system för handel med utsläppsrätter och subventioner.

Informativa instrument är ”missionära” till sin karaktär, det vill säga de är designade för att skapa kunskap, visioner och kapacitet som styr agerande i önskvärd riktning. Ett informativt instrument ska på så vis bidra till att hantera marknadsmisslyckanden relaterade till ofullständig information. Det kan handla om alltifrån utbildning och rådgivning, via miljö- och hälsomärkning av mat och tobak, till opinionsbildning och nätverksbyggande.

I praktiken samverkar dessa över kategorigränserna, i sammansättningar av styrmedel eller som kombinationer av ett och samma instrument. Ett system för handel med utsläppsrätter kombinerar till exempel regleringar av tak för utsläpp och tilldelning av utsläppsrätter till enskilda aktörer med att skapa en marknad för handel med över- och underskott mellan enskilda aktörer. Ett annat exempel utgörs av krav på att mäta och rapportera utsläpp, styrning som ibland kategoriseras som en reglering och ibland som ett informativt instrument.

2.2.2 Effekt på måluppfyllelse, kostnadseffektivitet och genomförbarhet

Inom miljöekonomi lyfts tre övergripande kriterier för utvärdering av styrmedel fram: effekt på måluppfyllelse, effektivitet och genomförbarhet (Verhoef, Nijkamp et al. 1996). Det första begreppet, effekt (eller verkningsfullhet), kan förstås som ett styrmedels förmåga att uppfylla ett särskilt mål. I denna rapport regleras det eftersträvarvärda målet av uppdragets utformning och förstås därför främst som den

direkta effekten av ett styrmedel på den svenska förmågan att lagra biogen koldioxid med hjälp av bio-CCS. Möjligheterna till att designa mer teknikneutral styrning kommer dock att nämnas i de fall då dessa är väldigt uppenbara och kan innebära stora fördelar. Måluppfyllelse kan också påverkas av indirekta effekter, både positiva och negativa, samt variera i olika tidsperspektiv, vilket är aspekter som också kommer att beröras i denna rapport (Brännlund, Ghalwash et al. 2007, Henders and Ostwald 2012, Jordan and Huitema 2014).

Effektivitet förstås ofta som i vilken grad måluppfyllelse nås till största möjliga nytta och lägsta möjliga kostnad. Begreppet effektivitet relaterar därför väldigt tydligt till måluppfyllelse; om effektiviteten är hög ökar chanserna till måluppfyllelse. Å andra sidan kan ett styrmedel med väldigt hög grad av måluppfyllelse vara kostnadsineffektivt, exempelvis ett förbud som skapar stora merkostnader för att leverera en nytta med hjälp av alternativ teknik eller dyrare substitut. I ekonomisk teori beskrivs ekonomiska styrmedel, med förmåga att internalisera externa kostnader i priset för produktion eller konsumtion, som optimala. Under sådana omständigheter viktas utbud och efterfrågan, i teorin, till optimala avvägningar mellan nytta och kostnad. I praktiken är det näst intill omöjligt att göra korrekta uppskattningar av den externa kostnaden för koldioxid (Söderholm and Sundqvist 2003). De politiska målen är dessutom sällan satta utifrån vad som är samhällsekonomiskt optimalt. De är snarare politiska kompromisser satta efter omfattande övervägande, inklusive av olika målkonflikter och prioriteringar. Otaliga marknadsmisslyckanden gör att styrmedelssammansättningar (snarare än en försök till att uppnå en enskild optimal prismekanism) ofta är nödvändiga (Reichardt, Negro et al. 2016) och ibland till och med mer kostnadseffektiva och välfärdsmaximerande än de så kallade "first-best"-alternativen (Kautto, Arasto et al. 2012, Lehmann and Gawel 2013).

I denna rapport diskuteras kostnadseffektivitet främst i termer effekt på mängden lagrad biogen koldioxid, med hjälp av bio-CCS, till en så låg kostnad som möjligt. Det innebär å ena sidan att hänsyn tas till olika styrmedels förmåga att ge incitament till att plocka lågt hängande frukter framför mer besvärliga och ofta dyrare utmaningar. Å andra sidan betyder målet att nå netto-nollutsläpp och därefter netto-negativa utsläpp att utbudet av tekniska lösningar också är begränsat. I analyser och politikutveckling ställs politik för innovation av nya lösningar ofta mot kostnader för inkrementell utsläppsminskning med existerande tekniska lösningar. I de fall innovation kan gå relativt snabbt och substantiellt reducera kostnaden för utsläppsminskningar, samtidigt som de existerande lösningarna ger litet utrymme för utsläppsbegränsning till låg kostnad, anses politik för innovation vara mer kostnadseffektivt än politik för utsläppsbegränsning (Sternier and Turnheim 2009). Att hålla uppvärmningen väl under 2°C tillåter dock inte lika strikta kriterier för utvärdering av kostnadseffektivitet som exempelvis ett tvågradersmål medger. För 1,5°C eller väl under 2°C behövs både utsläppsbegränsningar och ökade upptag, inklusive

teknik för negativa utsläpp, i betydligt större utsträckning än för 2°C (IPCC 2014, IPCC 2018). Det påverkar bedömningen av vad som utgör kostnadseffektiv styrning. När målet dessutom är att nå bortom nollutsläpp, för att därefter nå nettonegativa utsläpp, då blir det uppenbart att även styrmedel som under andra omständigheter skulle dömas ut som icke kostnadseffektiva kan bli aktuella för prövning. Ju högre koncentrationerna av växthusgaser i atmosfären är desto mer begränsas valmöjligheterna inom klimatpolitiken, en svårare utmaning inskränker möjligheterna att välja mellan höga risker med stor potential kontra låga risker med lägre potential. För att nå de globala klimatmålen behöver politiken stödja båda vägarna framåt (Fridahl 2017). Kostnadseffektivitet måste därför förstås i flera dimensioner, både på kort och lång sikt och i termer av ett styrmedels direkta liksom indirekta påverkan på utsläpps begränsningar och upptag av växthusgaser (Jordan and Huitema 2014).

Större variation i marginalkostnader för olika aktörers åtgärder ger normalt sett större utrymme för kostnadseffektivisering genom ekonomiska styrmedel. Marginalkostnaden för bio-CCS i olika processer är dock osäker. Att kostnaden för avskiljning av koldioxid vid exempelvis produktion av bioetanol är betydligt lägre än för produktion av papper är välkänt. I samma exempel är det dock troligt att kostnaden för exempelvis avfuktning, komprimering, transport och lagring kan vara högre, i vissa fall betydligt högre, per ton avskild koldioxid från produktion av bioetanol än papper. En rad andra exempel finns i vilka överlappande styrmedel också påverkar kostnaden för ett ton lagrad koldioxid. Sammantaget kan dock sägas att det är troligt att ett snävt fokus på styrmedel som främjar bio-CCS begränsar utrymmet för kostnadseffektiv styrning jämfört med ett bredare fokus på lagring av biogen koldioxid. Det senare skulle öka utbudet av möjliga åtgärder och därmed också variationen i marginalkostnaden för att internalisera den positiva externa klimateffekt som lagring av biogen koldioxid ger upphov till. Samtidigt är det viktigt att komma ihåg att både potentialen för lagring av biogen koldioxid skiljer sig kraftigt åt mellan olika lösningar, men särskilt hög potential inom bio-CCS, och att olika lösningar lagrar kol i olika tidskalor (se också avsnitt 4.1). Om fokus läggs på permanent lagring av koldioxid som fångats in från atmosfären är det få tekniker, förutom direktinfångning och lagring (så kallad Direct Air Carbon Capture and Storage, DACCS), som är direkt jämförbara med bio-CCS. I dagsläget anses dock kostnaden för DACCS som jämförbar med eller dyrare än bio-CCS och med jämförelsevis begränsad potential för spridning (Fuss, Lamb et al. 2018). Potentialen för att uppnå ökad kostnadseffektivitet genom att låta styrning för bio-CCS också omfatta DACCS är därför troligtvis begränsad.

Utvärderingar av kostnadseffektivitet påverkas också av geografiska systemgränser. Vid produktion av relativt homogena produkter, exempelvis papper, som är utsatta för hög internationell konkurrens är risken för koldioxidläckage betydande, det vill

säga att produktionskapacitet allokeras till områden med lägre produktionskostnad till följd av mindre stringent klimatpolitik. Ett styrmedel med god effekt på måluppfyllelse inom exempelvis Sverige kan alltså samtidigt ha dålig effekt på måluppfyllelse, under vissa omständigheter rent av negativ effekt, i ett globalt perspektiv.

Det är välkänt att ju tidigare utsläpps begränsningar uppnås desto lägre kan totalkostnaden bli, på lång sikt, för att uppnå Parisavtalets temperaturmål (Rogelj, Luderer et al. 2015, IPCC 2018). Det indikerar att klimatomställningen bör gå fortare än den faktiskt gör för att uppnå maximal kostnadseffektivitet. Ett stort problem med dessa utvärderingar är dock att de inte tar hänsyn till omfattande marknadsmisslyckanden, inklusive inlåsnings effekter, och därför ofta överskattar den möjliga omställningstakten (Mercure, Pollitt et al. 2014).

Utvärderingar av kostnadseffektiviteten innebär också att hänsyn behöver tas till storleken på transaktionskostnader som följer på införandet av ett nytt styrmedel. Om det exempelvis är lätt att uppfylla samt administrera informationskrav samt hantera ekonomi kan transaktionskostnaderna hållas nere och kostnadseffektiviteten därmed öka (Coggan, Whitten et al. 2010). I denna rapport diskuteras kostnadseffektivitet med hänsyn till administrativ börda men också till de olika tidsskalor samt olika typer av inverkan (direkt och indirekt) på måluppfyllelse, som nämnts ovan.

Även om ett styrmedel har hög teoretisk potential till måluppfyllelse och bedöms som kostnadseffektivt kan det misslyckas i praktiken, det vill säga i genomförandefasen. Begreppet genomförbarhet kan förstås som sociala, politiska och kulturella möjligheter att in- och genomföra styrning (Verhoef, Nijkamp et al. 1996). Ett exempel är tidsdifferentierade, elektroniska vägtullar som ofta anses både kunna uppfylla mål och vara kostnadseffektiva för att minska köbildning, olyckor, utsläpp, slitage och buller. Diskussioner om trängselavgifter leder dock ofta till protester som inte sällan bidrar till att de inte införs alternativt upphävs.

I denna rapport kommer genomförbarhet analyseras brett med hänsyn taget till begreppets juridiska, social, politiska och tekniska dimensioner. Det innebär att hänsyn tas till samhällsacceptans för ett styrmedel, hur väl ett nytt styrmedel passar in i den redan existerande klimatpolitiska styrmedelssammansättningen, hur stort utbudet av tekniska lösningar är i relation till efterfrågan och i vilken utsträckning de kan samla bred politisk uppslutning eller ej. I denna rapport rangordnas inte de olika måttstockarna för att utvärdera ett styrmedel, däremot förs diskussioner om utrymme för positiva synergier liksom möjliga målkonflikter.

2.3 Styrning i olika faser av teknisk mognadsgrad

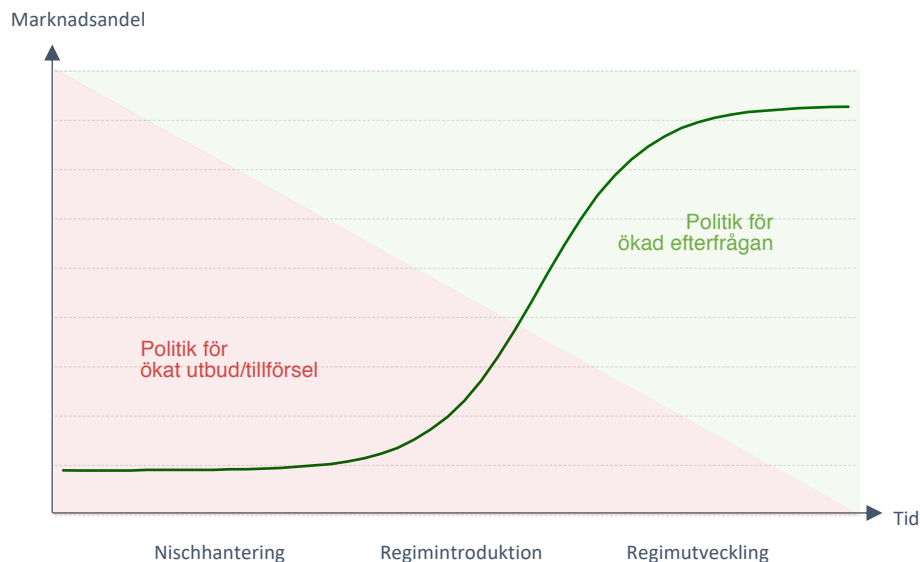
Den sista av de uppräknade dimensionerna av genomförbarhet, den tekniska dimensionen, kräver att hänsyn tas till olika behov av stöd i form av styrning i olika faser av teknisk mognadsgrad.

Kostnad för produktion blir vanligtvis billigare, per enhet, när produktionsvolymen ökar, vilket bland annat beror på positiva skalfördelar och lärande. Denna fas, med högre teknisk mognadsgrad, går ofta betydligt snabbare än under forskning och utveckling (FoU), vilket gör att kurvan för en viss tekniks marknadsandelar över tid ofta antar en s-liknande form, visualiserat i Figur 1 (Lehmann and Gawel 2013, Mercure, Pollitt et al. 2014, Hammond 2018). Ny teknik har därför svårt att konkurrera med existerande teknik (Utterback 1994). Detta – jämte en rad andra inlåsningseffekter exempelvis genom irreversibla investeringar i kapital – bidrar till att sociotekniska system präglas av stabilitet och konservatism (Geels 2002, Berkhout, Smith et al. 2004, Amars, Fridahl et al. 2017).

Innovation för klimatet, i betydelsen teknisk förändring genom vilken koldioxidintensiteten i ekonomin sjunker, är därför en utmaning. Inte sällan kräver storskalig teknisk förändring, liknande den som behövs för att nå de globala temperaturmålen, aktivt politiskt stöd för att kunna utmana etablerade sociotekniska regimer.

Innovationsprocesser delas ofta in i steg, från FoU via demonstration och regimintroduktion till storskalig spridning och kommersialisering. Att genom politik styra utveckling av en specifik teknik som bio-CCS kräver därför att hänsyn tas till olika innovationsfaser. Vid låg teknikmognadsgrad och kunnande bör styrmedel främja utbudssidan, vid högre mognadsgrad krävs ofta politik för att skapa en efterfrågan (Hammond 2018). En schematisk bild av denna logik visualiseras i Figur 1.

Fig. 1 | Schematisk S-kurva för teknikutveckling och olika styrmedel



I tidiga stadier av nischhantering är subventioner av FoU och demonstrationsanläggningar ett vanligt instrument för att främja innovation, vid regimintroduktion handlar det ofta om kombinationer av subventioner, skapande av nischmarknader i ett premiumsegment av marknaden samt noder för erfarenhetsutbyte och för att bygga ömsesidig tillit mellan politik och näringsliv, men också att introducera politik för att skapa en efterfrågan. I spridningsfasen är politik för att skapa marknader för en önskad vara eller tjänst av extra stor betydelse, särskilt för tekniker som bio-CCS vilka genererar stora kostnader för enskilda aktörer samtidigt som de till största delen levererar en kollektiv nytta (Normann 2017, Hammond 2018, Nemet, Callaghan et al. 2018).

Att ta hänsyn till hur olika styrmedel i olika faser av teknisk mognadsgrad kan stödja utvecklingen av bio-CCS kan också öppna upp för en kontinuerlig dialog med en bred uppsättning samhällsaktörer. På så vis kan succesiv infasning av styrmedel samtidigt utgöra en god förutsättning för ett konstruktivt acceptansbyggande. I kontrast till att ta hänsyn till olika faser av teknisk mognad kan abrupta kostnadsökningar eller plötsliga och höga subventioner ofta skapa motstånd bland olika aktörer. En långsam och succesiv ökning av omställningstrycket från ett styrmedel kan hjälpa till att ändra acceptansen för klimatpolitik bland exempelvis privatpersoner, industrirepresentanter och politiker (Jenkins 2014, Jordan and Matt 2014).

3 Bakgrund

3.1 Bio-CCS: En utmaning för traditionell klimatpolitik

Stora delar av klimatpolitiken har länge syftat till att begränsa utsläpp och främja förnyelsebar energi. Det har gett incitament till expansion av bioenergi liksom, till viss del, för CCS på fossila utsläppskällor. Däremot saknas i stort sett incitament för CCS på biogena utsläppskällor, bio-CCS. För klimatsystemet är all avskiljning och lagring av koldioxid positivt, det spelar ingen roll om koldioxid i atmosfären har fossilt eller biogent ursprung. Samtidigt bör politik för CCS inte motverka styrning bort från fossilenergi till förmån för bioenergi (Grönkvist, Möllersten et al. 2006).

En bärande tanke med dagens klimatpolitik har varit att reglera skadligt beteende eller internalisera kostnader för negativa externa effekter från fossil koldioxid. Negativa utsläpp utmanar denna tankefigur. Ett styrmedel designat för att minska utsläpp genom att sätta ett pris på fossil koldioxid kan inte med enkelhet utvidgas till att också omfatta biogena utsläpp. Det skulle riskera att göra bioenergi mindre konkurrenskraftigt gentemot fossil energi, något som skulle motverka inriktningen i dagens europeiska och svenska klimatpolitik; ett pris både på biogen och fossil koldioxid skulle innebära att incitament ges för att ersätta dyrare bioenergi med billigare fossil energi. Det skulle undergräva styrmedlets klimatnytta.

Hållbart producerad bioenergi har dessutom inga eller begränsade negativa externa klimateffekter. Klimatpolitiken är byggd för att ge incitament till att undvika negativa externaliteter genom att internalisera kostnader för utsläpp (exempelvis undvika skatt) alternativt att belönas för positiva externaliteter genom att exempelvis skapa säljbara tillgångar (exempelvis elcertifikat) eller erhålla en subvention (exempelvis solcellsstöd eller miljöbilspremie). I en sådan klimatpolitisk tradition skulle bio-CCS främjas genom att skapa tillgångar eller erhålla subventioner snarare än genom ett pris på biogen koldioxid.

3.2 Existerande incitamentsstrukturer i Sverige och Europeiska unionen

Medan vissa svenska och europeiska klimatpolitiska styrmedel ger stöd till FoU och demonstration av avskiljning och lagring av biogen koldioxid ges inga eller väldigt svaga incitament till att kommersialisera dessa komponenter av bio-CCS.

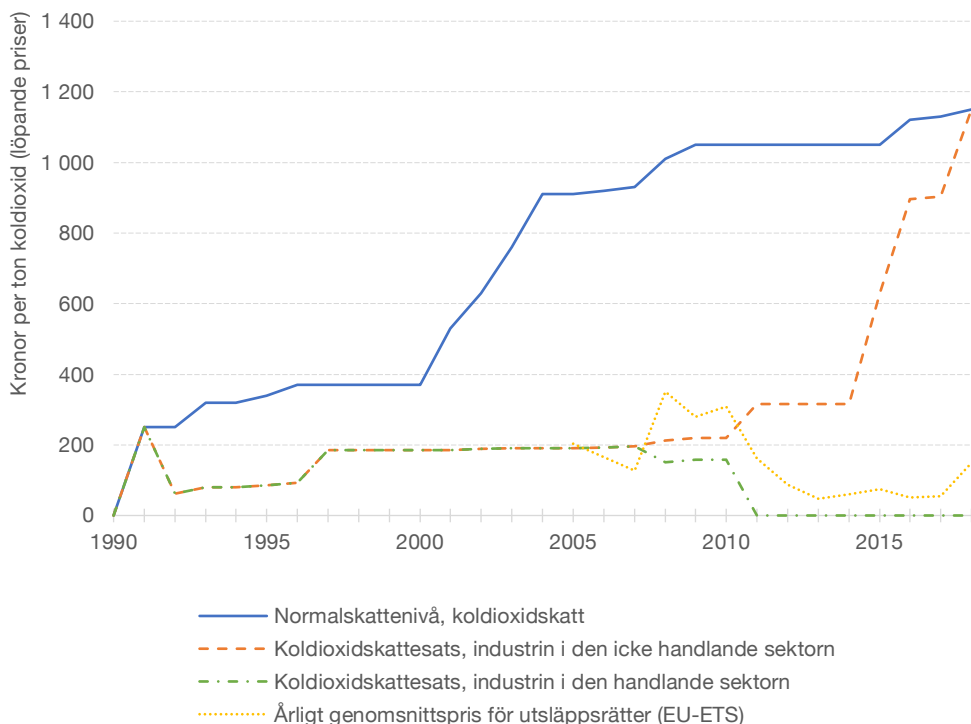
Däremot syftar en hel del styrmedel till att utveckla den svenska bioekonomin. Ett exempel utgörs av det gemensamma norska och svenska elcertifikatsystemet. Systemet innebär att elproducenter tilldelas elcertifikat vid produktion av el från vissa energislag, inklusive biobränslen. Samtidigt avkrävs framförallt elleverantörer att årligen uppvisa ett visst antal elcertifikat i förhållande till sin elförsäljning, det vill säga

leverantörerna är ålagda en årlig kvotplikt. Att biobränslen räknas som en energikälla med rätt till elcertifikat innebär att elproducenter som använder bioenergi premieras.

Ett annat exempel utgörs av att utsläpp av biogen koldioxid är undantagen svensk koldioxidskatt. Det främjar bioenergi relativt fossila bränslen, en styrning som delvis är tänkt att internalisera externa kostnader associerade till utsläpp av fossil koldioxid. Biogen koldioxid antas istället vara klimatneutral eftersom utsläpp från oxidering av biomassa balanseras av upptag av koldioxid genom fotosyntes vid tillväxt av ny biomassa. Biogen koldioxid, sett över tid, antas därför inte ge upphov till samma negativa externa effekter i form av värmedrivning. Samtidigt innebär undantaget att incitamenten för att fånga in och lagra biogen koldioxid är betydligt lägre än incitamenten för att fånga in och lagra fossil koldioxid.

Ett tredje exempel utgörs av EU:s system för handel med utsläppsrätter. Även om biogena utsläpp täcks av handelssystemet räknas de alltid som nollutsläpp och kräver därför inga utsläppsrätter. Också EU:s system för handel med utsläppsrätter bidrar på så vis till att utjämna snedvriden konkurrens mellan bioenergi och fossilenergi genom att internalisera en negativ extern kostnad i priset för produktion. På så vis ger även utsläppshandeln vissa, om än svaga, incitament till CCS på fossila energikällor men inga incitament till CCS i kombination med bioenergi.

Fig. 2 | Skatt och pris på utsläppsrätter inom EU utsläppshandelssystem, för fossil koldioxid, åren 1991–2018.



Vad gäller FoU, demonstration och kapital- och infrastrukturinvesteringar har en rad europeiska fonder historiskt stått eller står till förfogande, exempelvis:

1. Den Europeiska investeringsbankens fond *NER 300* som kapitaliserats av överskott från reserven för nya deltagare i EU:s system för handel med utsläppsrätter, fonden *InnovFin Energy Demo Projects* och *Innovationsfonden* (som från och med 2020 ersätter NER 300),¹
2. Genomförandeorganet för innovation och nätverks forskningsprogram *Horizon 2020* och *Fonden för ett sammanlänkat Europa*,² liksom
3. Europeiska kommissionens *Europeiska energiprogrammet för återhämtning*.³

Dessa källor har finansierats flera satsningar på fossilenergi med CCS men ännu inga rena bio-CCS-projekt. I vissa fall har CCS-satsningarna varit explicit begränsade till fossilenergi, i andra fall har projekten avkrävts kommersiell potential (vilket, i avsaknad av en marknad för lagrad biogen koldioxid, saknas för bio-CCS). Under 2019 utlystes dock forskningsmedel, under Horizon 2020, avsatta för att studera hur genomförbara negativa utsläppsteknologier är som klimatåtgärder. Även Innovationsfonden, som öppnar dörrarna för ansökningar under 2020, stöder satsningar på CCS med fokus på pilotanläggningar liksom demonstration i mindre och i full skala.

Även om dessa källor kan täcka vissa kostnader för FoU och kapital, och i vissa fall kostnader för drift av demonstrationsanläggningar om dessa kan uppskattas på förhand, skapar de ingen täckning för drift och underhåll av bio-CCS på stor skala.

¹ Se till exempel Kommissionens delegerade förordning (EU) av den 26.2.2019 om komplettering av Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG vad gäller driften av innovationsfonden

² Se till exempel Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 1316/2013 av den 11 december 2013 om inrättande av Fonden för ett sammanlänkat Europa, om ändring av förordning (EU) nr 913/2010 och om upphävande av förordningarna (EG) nr 680/2007 och (EG) nr 67/2010.

³ Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 663/2009 av den 13 juli 2009 om inrättande av ett program för hjälp till ekonomisk återhämtning genom finansiellt stöd från gemenskapen till projekt på energiområdet.

4 Potential för utvecklad incitamentsstrukturer: avskiljning av biogen koldioxid i Sverige och Europeiska unionen

4.1 Nischhantering

För att utveckla en skyddad nisch för bio-CCS i svensk ekonomi är tekniks specifika styrmedel förmodligen bättre lämpade än teknikneutrala (det vill säga styrmedel som fokuserar på negativa utsläpp, eller lagring av biogen koldioxid, oavsett teknik). En stor anledning till detta är att bio-CCS fortfarande bär relativt höga kostnader jämfört med alternativa sätt att fånga in och lagra koldioxid (Fuss, Lamb et al. 2018). Att det går att generera negativa utsläpp till lägre kostnader skulle mycket väl kunna vara ett argument för att snarare utforma mer teknikneutral styrning i syfte att öka kostnadseffektiviteten. Samtidigt är den teoretiska potentialen för de alternativa och billigare angreppssätten ofta begränsad, exempelvis gällande biokol. För att uppnå större skala i lagring av biogen koldioxid kan bio-CCS därför vara en stor tillgång, vilket utgör ett argument för tekniks specifik styrning. Detta eftersom bio-CCS skulle ha svårt att konkurrera om resurser med mer mogna tekniker i en teknikneutral nisch för lagring av biogen koldioxid.

Samtidigt som fokus vid nischhantering bör ligga på politik som kan bidra till att skapa ett utbud av bio-CCS-tekniker kan långsiktigt stabila styrmedel, som skapar en efterfrågan på lagrad biogen koldioxid i Sverige, också spela en viktig roll. Även i avsaknad av ett utbud kan en stabil efterfrågan bidra till att väcka intresse för investeringar i forskning och demonstrationsprojekt (Foray, Mowery et al. 2012, Reichardt, Negro et al. 2016).

Nedan följer en diskussion om reformutrymme på europeisk och svensk nivå, med exempel på styrmedel som kan påskynda utvecklingen av ett utbud av lagrad biogen koldioxid inom ramarna för en skyddad nisch för bio-CCS.

4.1.1 Målstyrning: Klimatpolitiska mål i Sverige och EU

Målstyrning är viktig. I samma stund som det svenska klimatpolitiska ramverket antogs intensifierades debatten om hur netto-negativa utsläpp ska kunna uppnås. Det är logiskt och, att döma av nuvarande globala omställningstakt och återstående utsläppsutrymme för Parisavtalets temperaturmål, helt nödvändigt. När politiken går från mål med fokus på utsläppsreducering till netto-noll och netto-negativa mål förtydligas utmaningen med Parisavtalet. Det skapar frågor, väcker intresse och initierar processer som i förlängningen kan bidra till investeringsbeslut också för bio-CCS.

En debatt liknande den vi sett i Sverige sedan 2017 väcktes i kölvattnet av Parisavtalet. Avtalets artikel 4.1, om att uppnå balans mellan källor och sänkor, väckte liv i debatten om lösningar för och problem med tekniker för negativa utsläpp. Sedan dess har debatten eskalerat. Målstyrningen har också fungerat så till vida att det initierats en rad processer i Sverige i syfte att leverera kunskap och handling för att nå målet, varav ett exempel är den Klimatpolitiska vägvalsutredningen⁴.

Målstyrning kritiserar ofta för att sätta för stor vikt vid just målet och dölja betydelsen av processer, samtidigt som alternativen till målstyrning är svåra att artikulera (Dinesh and Palmer 1998, Brunsson 2002). En kritik som lyfts mot systemet med de svenska miljökvalitetsmålen är att det saknar utvärderingar av effekter av styrmedel på måluppfyllelse. Utvärderingarna har ansetts för generella för att vara applicerbara och konstruktiva. En annan kritik som lyfts är att miljökvalitetsmålen ibland är omöjliga att uppnå inom ramarna för svensk självbestämmanderätt (Larsson and Hanberger 2016). Det svenska klimatpolitiska ramverket är konstruerat med ett brett förankrat mål satt av riksdagen. Målet täcker både utsläpp i den icke handlande sektorn och utsläpp som täcks av EU:s system för handel med utsläppsrätter men anses, trots det senare, kunna uppfyllas genom svensk styrning. Ramverket innehåller också ansvarsutkrävning, att regeringen levererar politik som bidrar till målet. Slutligen innehåller ramverket också oberoende utvärderingar av politiken (Klimatpolitiska rådet).⁵ Denna typ av målstyrning avkräver alltså även aktiva klimatpolitiska processer från varje kommande svensk regering, politik som är föremål för utvärdering. Alla dessa komponenter ökar chanserna för målstyrning att kunna bidra till måluppfyllelse. I kombination med bred förankring av processer för att leverera målet, inte minst i syfte att genom samråd bygga acceptans och sprida ansvar, kan denna typ av målstyrning vara en framgångsrik del av det klimatpolitiska pusslet.

Den svenska målstyrningen kan kompletteras med en tekniskspecifik policystrategi för bio-CCS, inklusive tydliga målsättningar. Reichardt et al. (2016) menar att tekniskspecifik målstyrning, med långsiktigt ambitiösa och stabila målsättningar, kan vara ett effektivt komplement till FoU-program eftersom långsiktiga mål ger signaler till industrin att satsningar på FoU kommer vara uthålliga och progressiva över tid.

I existerande klimatmål begränsas möjligheterna att bokföra bio-CCS bidrag till att uppfylla svenska etappmål för 2030 till åtta procentenheter av utsläppsminskningen och 2040 till två procentenheter av utsläppsminskningen. Målet för 2030 är att minska utsläppen med 63 procent och för 2040 med 75 procent. Båda målen

⁴ Kompletterande åtgärder för att nå negativa utsläpp av växthusgaser. Kommittédirektiv 2018:70.

⁵ Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige. Proposition 2016/17:146; Klimatlag (2017:720); Förordning (2017:1268) med instruktion för Klimatpolitiska rådet.

relateras till utsläppsnivåerna i den icke handlande sektorn för 1990. Eftersom EU:s handelssystem inte var etablerat år 1990 har en hypotetisk nivå på utsläppen i den icke handlande sektorn uppskattats vara cirka 47 megaton koldioxidekvivalenter. Begränsningarna av hur bio-CCS i etappmålen motsvaras därför av cirka 3,7 megaton koldioxid år 2030 samt 0,9 megaton koldioxid år 2040. Målet om netto-nollutsläpp 2045 är relaterat till hela ekonomin, både den icke handlande och den handlande sektorn, med basår 1990. Utsläppen uppgick år 1990 till cirka 72 megaton koldioxidekvivalenter och utsläppen år 2045 ska begränsas till maximalt 85 procent av 1990 års nivå. Resterande 15 procent, för att nå netto-noll, får utföras genom kompletterande åtgärder inklusive bio-CCS, motsvarande cirka 10,7 megaton koldioxid (se Tabell 2).

Tabell 2 | Reduktionsmål och bokföringstekniskt tak för kompletterande åtgärder inklusive bio-CCS.

Målår	Utsläppsreduktion	Basår (omfattning)	Bokföringsbegränsning för kompletterande åtgärder [miljoner ton koldioxid]
2020	– 40%	1990 (icke-handlande sektorn)	6,0
2030	–63%	1990 (icke-handlande sektorn)	3,7
2040	–75%	1990 (icke-handlande sektorn)	0,9
2045	–85%	1990 (hela ekonomin)	10,7

Möjligheterna att prestera över dessa begränsningar är förmodligen marginell, åtminstone i närtid, alltså till 2030. Men det finns goda möjligheter att komplettera denna målstyrning med en bio-CCS-specifik strategi som förtydligar att en bokföringsteknisk begränsning av bio-CCS för etappmålet 2040 inte behöver förstås som en önskan att minska de faktiska volymerna av bio-CCS mellan år 2030 och 2040.

Även på europeisk nivå finns ett reformutrymme, som i stort kan inspireras av det svenska klimatpolitiska ramverket. Att skärpa EU:s klimatmål för år 2050, från utsläppsminskningar på 80–95% till netto-noll, skulle troligen intensifiera debatten om negativa utsläpp också inom europeisk politik. I november 2018 lade Europeiska kommissionen ett förslag till ny långsiktig klimatstrategi som inkluderade att höja ambitionsnivån till just netto-noll år 2050⁶. Utkastet till strategi, som ska behandlas av Europaparlamentet och Europeiska unionens råd med siktet inställt på att kunna anta en ny strategi i början på år 2020, är väldigt fåordig om politik för att leverera negativa utsläpp. Däremot innehåller den en diskussion om att sådana

⁶ A Clean Planet for all: A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Brussels, 28.11.2018 COM(2018) 773 final.

behövs för att ta hand om residualen i utsläppskurvorna, det vill säga de sist återstående utsläppen innan netto-neutrala nivåer nås. Bio-CCS pekas ut som den teknologi som har störst potential att leverera negativa utsläpp inom Europa. Strategin nämner också behovet av negativa utsläpp för att öka ambitionen i klimatpolitiken efter år 2050, från netto-noll till nettonegativa utsläpp. Sverige har engagerat sig aktivt för att stödja Kommissionens förslag till ökad ambitionsnivå, ett arbete som nu kan intensifieras också i rådet och parlamentet.

Både den svenska och europeiska klimatpolitiken kräver att målen följs upp genom planer. På svensk nivå handlar det om årliga klimatredovisningar samt fyraåriga klimatpolitiska handlingsplaner.⁷ På Europeisk nivå handlar det om en energi- och klimatplan som i ett första skede ska täcka perioden 2021–2030 och relatera till målet om minskade utsläpp för 2030 men staterna uppmuntras också relatera till EU:s långsiktiga klimatmål för 2050. Planerna ska integrera rapportering om klimat och energi för att minska de administrativa överlappen och därmed öka kostnadseffektiviteten i europeisk politik. Planerna ska innehålla konkret information om nationella klimatmål och om existerande samt planerade styrmedel för måluppfyllelse.⁸

Långsiktiga mål som pekar på behovet av tekniker för att uppnå negativa utsläpp stakar ut en riktning också för investerare. Det innebär inte minst att nya utsläppskällor, inte minst de biogena, blir mer intressanta för politisk styrning och att nya aktörer engageras.

Denna typ av instrument är informativa. Omställningssignalen från målstyrningen stärks om målen backas upp av styrmedel som skapar en långsiktigt stabil planeringshorisont för investeringar. Regleringar eller prissättningar minskar osäkerheter och reducerar på så vis risker för företag och offentlig sektor (Foray, Mowery et al. 2012). Det främjar normalt sett investeringar i linje med de politiska målen och gör på så vis de senare mer verkningsfulla. Men incitamentsstrukturen introduceras förmodligen bäst med viss försiktighet för att undvika abrupt påverkan på ekonomin, politik som leder till nedlagd produktion och ökad import av motsvarande varor är knappast effektiv, eftersträvansvärd eller ens genomförbar ur acceptansperspektiv.

Bland alla de styrmedel som står till buds följer en presentation av ett antal som anses mer lämpade för att utveckla nya nischer, skapa långsiktiga planeringshorisonter och underlätta övergången till regimintroduktion.

⁷ Klimatlag (2017:720).

⁸ Förordning (EU) 2018/1999 om styrningen av energunionen och av klimatåtgärder samt om ändring av Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 663/2009 och (EG) nr 715/2009, Europaparlamentets och rådets direktiv 94/22/EG, 98/70/EG, 2009/31/EG, 2009/73/EG, 2010/31/EU, 2012/27/EU och 2013/30/EU samt rådets direktiv 2009/119/EG och (EU) 2015/652 och om upphävande av Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 525/2013.

4.1.2 Utökad subventionering av forskning och utveckling

Redan inom ramen för existerande reglering finns stora möjligheter att subventionera FoU samt erbjuda investeringsstöd. Europeiska kommissionen har identifierat ett antal miljö- och energiåtgärder där statligt stöd på vissa villkor kan anses vara förenligt med den inre marknaden⁹, inklusive statligt stöd för merkostnader av CCS i industriella processer eller kraft- och värmeproduktion som använder biomassa. Statlig medfinansiering av inkrementella kostnader relaterade till bio-CCS är alltså förenligt med EU-rätten. I EU:s klimatpolitiska mix finns redan en rad fonder från vilka det går att söka pengar för demonstrationsprojekt och kapitalinvesteringar relaterade till fossil CCS (se avsnitt 3.2). Det finns således utrymme för justeringar och förtydliganden som skulle tillåta projektansökningar för stöd till bio-CCS.

I Sverige kan, på ett liknande sätt, möjligheterna att söka stöd för bio-CCS inom ramen för Industrilivet¹⁰ både förtydligas och utvecklas. Det kan ske genom regleringsbrev till ansvarig myndighet (Energimyndigheten) eller genom ett tillägg till förordningen (2017:1319) som specificerar ramarna för Industrilivet¹¹.

Det finns också möjlighet att utveckla en nationell forskningsstrategi för bio-CCS. I tidiga stadier av nischhantering är offentligt finansierad forskning ofta av extra stor betydelse, särskilt om det saknas en tydlig efterfrågan på en produkt eller tjänst som behöver utvecklas (om nyttan är kollektiv, vilket är fallet med begränsning av utsläpp av koldioxid), eller om betalningsviljan är låg. Utan efterfrågan med tillräckligt hög betalningsvilja kan riskerna för privata aktörer att engagera sig i FoU vara för höga och incitamenten för låga.

I Sverige finns exempel på offentligt finansierad forskning både till stöd för teknisk utveckling av bio-CCS (exempelvis vid Chalmers tekniska högskola och Kungliga tekniska högskolan, KTH), kartläggning av potential (exempelvis vid KTH), attityder (exempelvis Linköpings universitet), styrning (exempelvis vid Linköpings universitet och Mälardalens högskola), historiska lärdomar (exempelvis Linköpings universitet) samt kritiska perspektiv på bio-CCS roll i det globala energisystemet (exempelvis vid Linköpings och Lunds universitet). Det är viktigt att bredden i forskningen bibehålls, det vill säga att forskning inte enbart fokuseras på teknisk utveckling av avskiljning, transport och lagring. Teknisk utveckling riskerar att vara meningslös om den inte sätts i ett system med förståelse exempelvis för ekonomi,

⁹ Meddelande från Kommissionen: Riktlinjer för statligt stöd till miljöskydd och energi för 2014–2020 (2014/C 200/01); Kommissionens förordning (EU) nr 651/2014 av den 17 juni 2014 genom vilken vissa kategorier av stöd förklaras förenliga med den inre marknaden enligt artiklarna 107 och 108 i fördraget.

¹⁰ Förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder för att minska industrins processrelaterade utsläpp av växthusgaser.

¹¹ Förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder för att minska industrins processrelaterade utsläpp av växthusgaser.

styrning och acceptans (Reichardt, Negro et al. 2016). Gränsöverskridande forskning, mellan discipliner och aktörer utanför akademien, tillsammans med nätverksbyggande och avnämningarorienterad forskning kan utgöra viktiga pusselbitar i en forskningsstrategi för bio-CCS.

4.1.3 Kunskapscentrum och dialog

Inom FoU finns stort utrymme för långsiktig och strategiskt vägledad forskningspolitik för bio-CCS, både styrning av långsiktigt stabil och uthållig forskningsfinansiering och ökad koordinering. Forskning får dock större genomslag om kunskapen också sprids. Att stödja nätverksbyggande och arenor för lärande är därför en viktig pusselbit i nischhantering, detta inte minst eftersom instabila nischer konkurrerar med etablerad kunskap och stabila nätverk i den sociotekniska regimen (Fridahl and Johansson 2017, Normann 2017).

Redan idag finns forskningsfinansiering för att etablera akademiska kompetenscentrum nära forskningsfronten inom specifika områden. Andra tidsbegränsade forskningsfinansierade nätverk har också finansierats, exempelvis NordForsks storsatsning Toppforskningsinitiativet vilket bland annat finansierade ett nordiskt kompetenscentrum för CCS, 2011–2015 under ledning av SINTEF Energy Research, och Energimyndighetens finansiering av det så kallade Kompetensnätverket kring bio-CCS i Sverige, 2019–2022 under ledning av Linköpings universitet. Kompetensnätverket kring bio-CCS i Sverige initierades vid årsskiftet 2017/18 och består av nyckelaktörer från politiken, statsförvaltningen, industrin, civilsamhället, akademien och media. Det syftar till att fungera som bollplank för ett flertal forskningsprojekt om bio-CCS i Norden, både för att inhämta kunskap och anpassa forskningsfrågor och för att sprida resultat. Dessutom syftar nätverket till att skapa kontaktytor mellan olika aktörer och bidra till kompetensutveckling, vilket anses vara viktiga aspekter av transitionstyrning och nischhantering (Fridahl and Johansson 2017). Nätverket sattes samman cirka åtta månader innan beslut om förordnande av experter till kommittén för Klimatpolitiska vägvalsutredningen men har, med undantag för politisk representation, stora överlapp listan på de personer som förordnats som experter i utredningskommittén.

Även EU har satsat på kompetensnätverk inom CCS genom att stödja en organisation för accelererad tillämpning av CCS i Europa, The European CCS Demonstration Project Network. Nätverket samlade aktörer med finansiering av forsknings- eller demonstrationsanläggningar under från demonstrationsprogrammet NER 300,¹² i praktiken innebar det ett fokus på utveckling av fossilenergi med CCS.

¹² Kommissionens beslut av den 3 november 2010 om kriterier och åtgärder för finansiering av kommersiella demonstrationsprojekt som syftar till miljösäker avskiljning och geologisk lagring av CO₂ samt demonstrationsprojekt för innovativa tekniker för förnybar energi inom ramen för det

Forskningen om denna satsning har bland annat dragit slutsatsen att avsaknaden av tillräckligt starka incitament för drift och underhåll begränsat programmets fortlevnad (Åhman, Skjærseth et al. 2018).

Det saknas däremot finansiering för ett bredare angreppssätt; för noder som kan bidra med långsiktighet och viktiga systemperspektiv (jmf. Reichardt, Negro et al. 2016). Här finns möjlighet att exempelvis utse en ansvarig myndighet med tydligt mandat och resurser att koordinera svensk forskning om bio-CCS. Det kan både handla om strategisk finansiering samt kunskapsförvaltning och -utveckling. Ett exempel på informativt styrmedel för att uppfylla denna funktion utgörs av stöd till nationella kunskapscentrum.

Det finns flera exempel på nationella kunskapscentrum som inrättats på mandat från regeringen, med statlig finansiering. När ansvariga myndigheter saknar kompetens eller resurser att strukturera eller tillgängliggöra kunskap inom specifika ämnesområden kan riktade satsningar på kunskapscentrum fylla viktiga funktioner. Ett relevant exempel är Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning som förvaltas av SMHI. Centrumet sammanställer, utvecklar och tillgängliggör kunskap inom klimatanpassning. Bland annat kan nationella kunskapscentrum ges målsättningen att bygga nätverk för ökat kunskapsutbyte och ökad samsyn. Nätverk bör involvera nyckelaktörer inom politik, förvaltning, forskning och näringsliv, vilket över tid kan öka de resurser som finns tillgängliga för innovation (Geels 2012, Normann 2017). Att involvera en bredare palett av aktörer kan också ha stor betydelse för utveckling av politik och genomförbarhet (Markard, Raven et al. 2012, Fridahl and Johansson 2017). Det är av vikt att ett kunskapscentrum är ordentligt resurssatt, dels genom personal med huvudsaklig uppgift att arbeta inom ramen för kunskapscentrumet och dels med resurser för att involvera externa aktörer och bistå för att underlätta möten och kunskapsöverföring mellan olika aktörer.

Om ett nationellt kunskapscentrum för bio-CCS skulle inrättas är det viktigt att göra genomtänkta övervägningar, bland annat att gränsdragningen till ordinarie uppgifter vid organisationens hemvist – exempelvis Energimyndigheten, Naturvårdsverket eller Statens geologiska undersökning, SGU – är tydlig och att målsättningar och funktion kompletterar de uppdrag som finns inom myndigheter som bedriver FoU.

Ett alternativ till kunskapscentrum, som inte är ömsesidigt uteslutande utan kan fungera i symbios, är inrättandet av en särskild utredare för dialog och samordning. Stor inspiration kan exempelvis hämtas från kommittédirektivet för initiativet

system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom gemenskapen som infördes genom Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG. Programmet har fått namnet NER 300 eftersom det finansierats av försäljning av 300 miljoner utsläppsrätter från den så kallade reserven för nya deltagare (New Entrants Reserve, NER).

Fossilfritt Sverige¹³. Direktivet bör dock, redan från start, ge mandat till en mer långsiktig uppbyggnad av plattformen. En brist i direktivet för Fossilfritt Sverige var just utredningens snäva tidsram (vilket senare justerats genom tilläggsdirektiv¹⁴).

Rätt utformade kan denna typ av informativa styrmedel, även om de i ett kortare perspektiv varken är kostnadseffektiva eller har särskilt stor direkt effekt, bidra till långsiktiga förutsättningar för bio-CCS exempelvis genom att bygga acceptans och fungera som katalysator för innovationstakten.

4.1.4 Myndighetssamordning

Behovet av ökad myndighetssamordning är nära kopplat till frågan om kunskapscentrum och dialog. I Sverige har ett flertal myndigheter ansvar för olika delar av CCS utan någon utpekad samordnande instans. Det finnas fördelar med samordning, delvis kopplat till att undvika dubbelarbete genom förtydligad ansvarsfördelning och koordinering, vilket öppnar för ökad specialisering och effektivisering, men också kopplat till ökad kunskapsöverföring.

Inspiration kan hämtas från Norge som 2005 inrättade en särskild myndighet för samordning och utveckling av CCS-frågor under namnet Gassnova. Några år senare, 2007, ombildades Gassnova till ett statligt och icke vinstdrivande bolag som förvaltar statens intresse i CCS, agerar rådgivare till Olje- och energidepartementet, samt bidrar till teknik- och kompetensutveckling av CCS i Norge.¹⁵ Bolaget administrerar stöd till teknikutveckling och demonstrationssatsningar inom ramen för Norges CLIMIT-program, medan FoU administreras av Norges forskningsråd.

4.1.5 Innovationsupphandling

Offentlig upphandling erbjuder ett verktyg för politiker att planera för kapacitetsutbyggnad och volym på leveranser av negativa utsläpp eller lagrad biogen koldioxid, minska riskerna för projektutvecklare och investerare samt främja positiva synergier med andra målsättningar inom och bortom klimatpolitiken.

Offentlig upphandling anses i de flesta fall vara ett verktyg för ökad efterfrågan, alltså ett styrmedel som lämpar sig bättre för regimintroduktion än nischhantering. Det finns dock upphandlingsformer som har effekt på tillförsel snarare än efterfrågan, dess benämns ofta som innovationsupphandlingar. Innovationsupphandling, en upphandling ”av i förväg okända lösningar på ett definierat problem eller behov

¹³ Initiativet Fossilfritt Sverige, dir. 2016:66.

¹⁴ Tilläggsdirektiv till initiativet Fossilfritt Sverige (M 2016:05).

¹⁵ Olje- og energidepartementet, Oppdragsbrev til Gassnova SF for 2019 (<https://www.regjeringen.no/contentassets/af742d1f8aff49a78d5b483021a7a585/oppdragsbrev-til-gassnova-sf-for-2018.pdf>).

för vilka det ibland ännu inte har etablerats någon marknad” (Jeppson 2010: s. 17), lämpar sig därför för tidiga stadier av nischhantering.

Innovationsupphandling bör ses som ett samlingsbegrepp för flera olika verktyg. Två kan vara av särskild betydelse för bio-CCS, förkommersiell upphandling samt innovationspartnerskap. Båda möjligheterna existerar redan inom ramen för existerande EU-rätt¹⁶ och svensk lagstiftning¹⁷ och skulle kunna tillämpas i syfte att främja bio-CCS.

Förkommersiell upphandling motiveras av långsiktiga strategiska behov, exempelvis att utveckla bio-CCS för att nå de svenska klimatmålen. Upphandlingsformen kännetecknas av att delas upp i faser, där upphandlande part kan avsluta utvecklingsprocessen efter varje avslutad fas. Det kan exempelvis handla om faser av konceptutveckling, framtagande av prototyper och testserier. Flera aktörer kan dessutom erhålla kontrakt och arbeta parallellt med olika lösningar och antalet aktörer kan succesivt begränsas i takt med att resultaten från de olika faserna utvärderas i relation till funktions- eller prestandaorienterade (snarare än tekniskspecifika) kriterier. På så vis är det upp till anbudsgivaren att specificera den produkt som ska kunna leverera den efterfrågade funktionen.

För att öka nyttiggörandet kan leverantörens patenträtt begränsas och kunskapen spridas. Ju närmre färdiga tekniska lösningar som utvecklingen kommer, desto svårare är det dock att engagera privata aktörer om de immateriella rättigheterna i stor utsträckning tillkommer den upphandlande parten, kunskapsspridning kan därför komma att behöva balanseras mot möjligheterna att engagera privata aktörer med relevant expertis. Eftersom förkommersiell upphandling lämpar sig bäst i gränslandet mellan grundforskning och tillämpning kommer denna typ av överväganden i normalfallet att behöva göras. Om målsättningen med upphandlingen är att utveckla lösningar som kräver betydande tid för att levereras (mer än tre till fyra år) är det ofta lämpligt att använda andra stödformer.

Rättsligt stöd för förkommersiell upphandling utvecklades inom EU runt 2006 i syfte att stärka unionens innovationskraft och öppna upp nya verktyg för att ta sig an stora utmaningar och samtidigt tillgodose en allmän eller offentlig efterfrågan på innovation. Förkommersiell upphandling är undantaget EU:s upphandlingsdirektiv och styrs därför istället av EU:s unionsprinciper (fördragsrätt) och statsstödsregler. Begreppet ”förkommersiell” för lätt tankarna till varor och tjänster nära kommersialitet och instrumentet beskrivs ibland som ett verktyg för ökad efterfrågan (OECD

¹⁶ Direktiv 2014/24/EU av den 26 februari 2014 om offentlig upphandling och Direktiv 2014/25/EU av den 26 februari 2014 om upphandling av enheter som är verksamma på områdena vatten, energi, transporter och posttjänster.

¹⁷ Lagen (2016:1145) om offentlig upphandling och Lagen (2016:1146) om upphandling inom försörjningssektorerna.

2011). Edquist och Zabala-Iturriagoitia (2015), i en utvärdering av exempel på förkommersiella upphandlingar från Australien, Storbritannien och Nederländerna, drar istället slutsatsen att det rör sig om ett verktyg för ökat utbud. De menar att det primärt rör sig om ett instrument designat för ökat utbud genom att fokusera på offentlig samfinansiering av FoU för ökad kunskap, inte på uppköp av varor och tjänster eller på finansiering för kapitalinvesteringar eller marknadsföring. Däremot finns exempel på när ett kontrakt på förkommersiell upphandling använts av privata aktörer som hävstång för att attrahera ytterligare finansiering för marknadsintroduktion.

Förkommersiell upphandling kan reducera tiden för en produkt att nå marknaden. I kombination med traditionell upphandling med kontrakt på produkter kan processen ses både som ett instrument till stöd för ökat utbud och ökad efterfrågan (Edquist and Zabala-Iturriagoitia 2015). Denna effekt kan exempelvis uppnås genom så kallade innovationspartnerskap. Innovationspartnerskap kännetecknas av att upphandlingskontraktet täcker både utveckling och köp av färdigutvecklad produkt. Det innebär att förkommersiell upphandling ingår som en del av ett innovationspartnerskap men att en ny upphandling och ett nytt kontrakt inte behöver upprättas i samband med att utvecklingsfasen avslutats. Eftersom flera möjliga tekniker för bio-CCS existerar utan att någon av dessa i dagsläget är kommersiella, och eftersom behovet främst tillgodoser en kollektiv nytta, kan innovationspartnerskap inklusive förkommersiell upphandling mycket väl utgöra en lämplig form för riktade satsningar på FoU och demonstration av bio-CCS.

Jämte förkommersiell upphandling och innovationspartnerskap har innovationstävlingar, eller stora innovationspris, på senare år skapat intresse bland både politiker och forskare. Innovationstävlingar är utformade för att ge ett stort monetärt pris till den aktör som utvecklar bäst teknik för att lösa en teknisk utmaning. Innovationstävlingar kännetecknas ofta av mindre administration och övervakning vilket gör att aktörer som normalt sett drar sig för att engagera sig i upphandlingar ändå kan engageras (Foray, Mowery et al. 2012). Innovationstävlingar har praktiserats både i Sverige och utomlands och drivits både av myndigheter och privata aktörer. Ett exempel är Automotive X Prize, som sponsrades av bilförsäkringsbolaget Progressive Corporation, en tävling som syftade till att bidra med kunskap om tekniska lösningar på att bryta den amerikanska bilindustrins oljeberoende. Med möjlighet att locka fler aktörer att engagera sig i innovationstävlingar, jämfört med traditionella upphandlingar, ökar mångfalden och därmed också möjligheten till att upptäcka teknikgenombrott. Några generella överväganden i upphandlingsförfarandet är av extra vikt för att utveckla bio-CCS i Sverige.

För det första, en avvägning bör göras för hur strikt upphandlingen ska avgränsas till specifika tekniker. Eftersom bio-CCS ännu är i ett förkommersiellt stadium, med relativt låg teknikmognadsgrad, är det förmodligen lämpligare att fokusera på

processspecifikationer och önskade resultat snarare än tekniska specifikationer, vilket också passar väl in i formatet för innovationsupphandling och innovationstävlingar (Foray, Mowery et al. 2012, Watson, Kern et al. 2014). Ju mer avgränsad upphandlingen är desto troligare är det att den kan bidra till att minska tiden från produktutveckling till kommersialisering. Å andra sidan kräver en snäv avgränsning stor teknisk kunskap hos den upphandlande parten, annars riskerar upphandlingen att satsa på fel teknik som i förlängningen kan fördyra eller försena bio-CCS i Sverige. Det omvända gäller för teknikneutral upphandlingar, inom ramen för bio-CCS; det kan ta längre tid till dess att innovation slått igenom men har också potential att leverera målet till lägre kostnad (Watson, Kern et al. 2014). I denna fråga bör alltså en avvägning göras mellan potential för snabbare måluppfyllnad och risktagande.

För det andra, en avvägning behöver göras mellan lärande och konkurrens. Det kan exempelvis handla om i vilken grad tekniska data ska offentliggöras och om upphandlingen tillåter patentering av resultat eller ej.

För det tredje bör en avvägning göras mellan kostnader för att engagera sig i upphandlingsprogram med en strategi som sträcker sig över en längre tidshorisont eller kortare engångsinsatser. Litteraturen om FoU-program rekommenderar ofta mer långsiktiga och uthålliga program, program som dessutom tillåts fortgå även efter att en teknik demonstrerats. Även vid marknadsintroduktion finns risk för stegrande kostnader på grund av oförutsedda problem, kostnader som ibland kräver statligt stöd för att kunna accepteras av företagets styrelser och investerare (Foray, Mowery et al. 2012).

En stor utmaning för innovationsupphandlingar applicerade på bio-CCS är avsaknaden av övertygande affärsmodeller för bio-CCS. Ett innovationspartnerskap kan hjälpa till att utveckla och testa en produkt, på sikt eventuellt också sänka kostnaden för leverans av lagrad biogen koldioxid, men det skapar inte en långsiktigt stabil efterfrågan på densamma. Det krävs därför kompletterande styrning för att skapa en marknad för lagrad biogen koldioxid. I diskussioner om uppbyggnaden av skyddade nischer nämns ofta antingen inmatningstariffer eller omvänd auktionering som möjliga styrmedel för att öka innovationstakten och minska tiden för en ny teknik att introduceras på marknaden.

4.1.6 Långsiktigt garantipris (inmatningstariff)

En alternativ upphandlingsform utgörs av så kallade inmatningstariffer, det vill säga att lagring av biogen koldioxid upphandlas till ett garanterat och långsiktigt pris. En inmatningstariff fixerar prisnivån och låter istället utbudet variera.

Inmatningstariffer har ofta använts för att främja förnyelsebar energi. Utvärderingarna har visat på brister i kostnadseffektivitet men förtjänster för måluppfyllelse. Länder som använt sig av inmatningstariffer, exempelvis Danmark, Tyskland och

Spanien, har expanderat andelen förnyelsebar energi snabbare än jämförbara länder som inte använt något instrument eller som använt sig av omvänd auktionering (Dobrotkova, Surana et al. 2018). Inmatningstariffer anses därför generellt som effektiva för att öka takten i en tekniks mognadsfas och leverera kvaliteten i projekten, men till ett högt pris.

En avgörande skillnad mellan en inmatningstariff för förnyelsebar energi och en inmatningstariff för avskild biogen koldioxid utgörs av själva produkten (el kontra biogen koldioxid). Medan elen kan produceras, köpas upp och levereras till kund av privata aktörer saknas det en tydlig avsättning för avskild koldioxid om syftet är permanent lagring. En reglering av traditionella inmatningstariffer innebär att nätägaren avkrävs att acceptera inmatning av förnyelsebar energi på nätet samt att köpa den levererade elen till ett fast pris (Bergek and Jacobsson 2010). Elen kan sedan säljas på marknaden, med tydliga användningsområden, och merkostnaden övervältras på konsumenten. Staten agerar övervakare men de offentliga utgifterna kan begränsas. Visserligen kan liknande krav ställas på ägare av infrastruktur för transport och lagring av koldioxid, men det är både svårt att se hur denna infrastruktur skulle kunna utvecklas utan en hög grad av statliga investeringar eller hur privata aktörer skulle kunna engageras att ta ansvar för infrastruktur och betala ut inmatningstariffer utan att erhålla tillräckligt hög ersättning för lagrad biogen koldioxid. Eftersom den lagrade biogena koldioxiden bidrar till en diffus kollektiv snarare än specifik privat nytta är det svårt att se att den privata betalningsviljan skulle vara tillräckligt hög och omfattande för att motivera större privata investeringar i transportinfrastruktur. Eventuellt finns en potentiell marknad för klimatkompensation, men det troligaste scenariot är att staten skulle behöva ta ansvar för att subventioner avskiljning och lagring genom att själv betala inmatningstariffen. Det kan göras antingen genom allmänna skattemedel eller genom att öronmärka intäkter exempelvis från koldioxidskatten. Erfarenheter från öronmärkning av intäkter från koldioxidskatter talar för att det senare skulle skapa högre social acceptans för statligt finansierade inmatningstariffer av biogen koldioxid (Carl and Fedor 2016).

En kritik som ofta lyfts är att långsiktiga garantipriser saknar förmåga att anpassa sig till oförutsebart snabbt sjunkande kostnader. Det kan leda till onödiga överpriser vilket föranlett vissa länder att införa automatiserade justeringar av gällande inmatningstariff, exempelvis i Tyskland från och med 2009. Automatiserade tariffjusteringar hjälper till att minska risken för onödigt höga subventioner och på så vis minska det offentliga kostnad för ett styrmedel av detta slag (Grau 2014).

Både det faktum att det saknas en säljbar produkt, vilket gör det svårare att övervältra kostnader för avskiljning och lagring på konsumenter samt administration därav på privata aktörer, och det faktum att inmatningstariffer anses effektiva för att öka omställningstakten men kostnadsineffektiva innebär att styrmedlet

framförallt bör övervägas i en fas av regimintroduktion. Om så sker bör regleraren överväga att införa automatiserade tariffjusteringar för att minimera kostnadsineffektiviteten.

4.1.7 Långsiktigt garanterad efterfrågan (omvänd auktionering)

Olikt inmatningstariffer, som använder ett fixerat pris men rörligt utbud, skapar omvända auktioneringar en fixerad efterfrågan till ett variabelt pris; den eller de aktörer som erbjuder att leverera en viss volym till lägst pris vinner i normalfallet upphandlingen.

Med start 1990 genomförde Brittiska staten en serie omvända auktioneringar för att öka utbudet av fossilfri elproduktion. Varje auktion var tekniskspecifik och skapade på så vis en långsiktigt stabil efterfrågan på fossilfri el, av olika slag, till de leverantörer som kunde erbjuda lägst pris. Systemet finansierades av en skatt på elektricitet och har utvärderats som relativt kostnadseffektivt jämfört med exempelvis inmatningstariffer. Systemet levererade sjunkande marginalkostnader för produktion av förnyelsebar energi i Storbritannien. Å andra sidan var systemets totalkostnad oförutsägbara, vilket ökade risken för staten och så småningom ledde till begränsningar i vilka tekniker som upphandlades.

Brasilien kan nämnas som ett annat exempel. Det är ett av de länder som tidigt bytte från att använda inmatningstariffer till omvänd auktionering för att främja expansion av förnyelsebar energi (Losekann, Marrero et al. 2013). Det har ansetts som lyckat, både för måluppfyllelse och kostnadseffektivitet, men skiftet skedde också vid en tidpunkt då teknikutveckling gick väldigt fort och kostnadskurvan för vind- och solkraft var sjönk i hög takt.

Omvänd auktionering begränsas som sagt i normalfallet av en specifik efterfrågan. Det hindrar inte att en upphandling av lagrad biogen koldioxid från bio-CCS också skulle kunna begränsas av exempelvis tillgängligt kapital snarare än önskad levererad volym. Att begränsa upphandlingen till en förutbestämd totalkostnad skapar liten risk för skenande kostnader men med fortsatt risk för att kostnaden per levererad enhet blir hög. Det omvända kan å andra sidan också gälla, att lagring av biogen koldioxid kan levereras till relativt lågt pris per enhet vilket skulle borga för höga totalvolym. Att istället begränsa upphandlingen till en förutbestämd volym riskerar skenande kostnader men större precision i måluppfyllelse.

De historiska erfarenheterna från bland annat Irland, Storbritannien, Indien, Förenade Arabemiraten, Brasilien, Chile, Mexiko, Sydafrika och Zambia visar att denna typ av styrmedel varit effektivt för att attrahera leverantörer av teknik för förnyelsebar elproduktion att anpassa sig till ett lands specifika förutsättningar samt reducera kostnader över tid (Cozzi 2012, Dobrotkova, Surana et al. 2018). Å andra sidan har en del oseriösa aktörer främjats, vilket lett till problem med nedlagda projekt

eller projekt med dålig kvalitet. Även om kostnadseffektiviteten varit hög har det därför, i vissa fall, uppstått problem med måluppfyllelse (Altenburg and Engelmeier 2013). Denna typ av problem kan delvis hanteras genom att, förutom krav på lägsta pris, också ställa krav på vissa grundläggande kvalifikationer som exempelvis soliditet och erfarenhet.

Om erfarenheterna från att använda omvänd auktionering vid upphandling av förnyelsebar elproduktion är direkt överförbar till bio-CCS i Sverige återstår att utvärdera. Några viktiga skillnader som kan påverka omständigheterna är kontextuella, exempelvis skillnader i infrastruktur för leverans och marknadsstruktur för den vara som produceras.

Infrastrukturen för att leverera förnyelsebar el är redan relativt väl utbyggd i Sverige, även om exempelvis potential för att hantera stora lastvariationer från variabel förnyelsebar kraftproduktion (sol och vind) behöver utökas. Medan förnyelsebar el kan levereras genom elnätet saknas i dagsläget en infrastruktur för att leverera avskild biogen koldioxid till lagringsdepåer. Det skapar osäkerheter för projektdesigners och investerare som behöver hanteras. Infrastrukturen för transport och lagring behöver utvecklas parallellt med uppbyggnad av kapacitet för avskiljning (se kapitel 5). Om en omvänd auktionering förutsätter att enskilda aktörer själva löser frågan om transport och lagring blir utsikterna för att få in anbud mer begränsade. Vid infrastrukturprojekt av denna storlek är det rimligt att staten bär en stor del av risken. Samtidigt kan omvänd auktionering användas för att öka avskiljningskapaciteten om kriterierna för upphandlingen skrivs så att intäkten genereras vid leverans av avskild biogen koldioxid, i direkt närhet till punktutsläppet, snarare än slutförvarad koldioxid. Det skulle antagligen öka antalet anbudsgivare men det skulle samtidigt lämna staten med frågan om hur den avskilda koldioxiden ska hanteras. För statens räkning är det förmodligen enklare, rent administrativt, att lägga över ansvaret för transport och lagring på de privata aktörerna. Det utesluter dock inte att staten kan spela en aktiv roll i att koordinera transport och exempelvis bistå med att förbereda juridiska förutsättningar för export av koldioxid (se kapitel 5).

En annan avgörande skillnad mellan omvänd auktionering för lagrad biogen koldioxid och för förnyelsebar el är att det senare genererar en produkt med ett marknadsvärde (el). Det gör att upphandlingen kan utformas för att täcka merkostnader snarare än hela kostnaden. I avsaknad av en marknad för lagrade biogena utsläpp av koldioxid behöver staten bära en större del av kostnaden. En annan viktig skillnad är att förnyelsebar el bär betydligt högre kapitalkostnader i förhållande till driftskostnader. Driftskostnaderna för sol- och vindkraft är låga. Om upphandlingen, med ett kontrakterat garantipris i exempelvis 5 till 15 år, kan täcka merparten av avskrivningen av kapitalkostnaden kan produktionen fortsätta med vinst även vid kontraktets slut. För bio-CCS är både kapital- och driftskostnaden hög. Antingen

behöver kontrakten därför löpa över längre tidsperioder alternativt kombineras med styrmedel som, åtminstone på lite sikt, skapar en marknad för bio-CCS.

Om upphandlingen kombineras med styrmedel som skapar en marknad för lagring av biogen koldioxid, exempelvis en reglerad kvotplikt kombinerad med certifikatshandel (se 4.2.4), kan ersättningen konstrueras som ett kontrakt på skillnaden mellan pris på certifikat för negativa emissioner och det upphandlade garantipriset. För att minska administrativa kostnader kan ett kontrakt på mellanskillnaden regleras så att det löper över en viss tidsperiod men med specifika avslut, exempelvis kalenderårsvis. Inför varje avslut sammanställs intäkter från marknaden (exempelvis för certifikat) för en period varefter skillnaden mellan marknadspriset och garantipriset regleras.

Om kontraktet konstrueras enbart som en skyldighet för köparen (staten) att betala mellanskillnaden, eller om det åligger både köparen och säljaren, handlar i praktiken om riskfördelning, med andra ord en avvägning mellan att ge incitament till att utveckla bio-CCS och att minska risker för den offentliga sektorn. Om det endast åligger staten att betala mellanskillnaden, det vill säga om skillnaden mellan garantipris minus marknadspris är större än noll, ökar möjligheterna för potentiella leverantörer av lagrad biogen koldioxid att engagera sig i aktionerna. Ett kontrakt på mellanskillnaden fungerar då i praktiken som ett prisgolv för en aktör att engagera sig på en marknad för lagring av biogen koldioxid, men inte som ett pristak. Det skulle alltså finnas alltså möjlighet att tjäna mer än garantipriset, vilket skulle kunna främja att säljare lägger lägre anbud än vad som annars skulle vara rationellt. I kombination med kvotplikt och certifikatshandel gäller det senare framförallt om den garanterade efterfrågan, som genereras genom upphandlingen, inte leder till en överproduktion av certifikat i relation till den förväntade efterfrågan.

Om det också åligger säljaren att betala en negativ mellanskillnad, det vill säga om skillnaden mellan garantipris i kontraktet minus marknadspris är mindre än noll, då skulle kontraktet fungera både som ett prisgolv och pristak. Med andra ord, om en säljare erhåller ett kontrakt på att leverera en viss volym till ett pris av 1000 kronor per ton lagrad biogen koldioxid och marknadspriset för lagrad biogen koldioxid uppgår till 1100 kronor per ton, då skulle säljaren vara skyldig att betala överskottet på 100 kronor till staten. Om marknadspriset istället är 900 kronor är det staten som betalar mellanskillnaden på 100 kronor till säljaren för att denna ska erhålla ersättning i nivå med det kontrakterade garantipriset.

4.2 Regimintroduktion

En rad styrmedel står till förfogande för att avveckla en skyddad nisch i syfte att introducera bio-CCS i den större sociotekniska regimen.

4.2.1 Fortsatt behov av stöd till FoU (demonstrationsprojekt)

Även om subventioner av FoU har störst betydelse i tidiga faser av innovation, då många frågeställningar fortfarande är öppna och investeringsriskerna relativt höga, tappar de inte all betydelse vid regimintroduktionen. Stöd till FoU är ofta effektivt även när tekniker närmar sig kommersialisering, inte sällan därför att ökad implementering exponerar tekniken för bredare samhällsgrupper samt att nya tillämpningsområden och den större skalan ofta innebär nya problem som behöver hanteras genom just FoU (Nemet, Callaghan et al. 2018). Det är inte ovanligt att de specifika kostnaderna per produkt (exempelvis ett ton avskild biogen koldioxid) ökar vid marknadsintroduktion till följd av oförutsedda problem och stora behov av lärande, för att sedan sjunka igen efter justeringar och vidareutveckling (Foray, Mowery et al. 2012).

Att förlita sig på att riskkapitalister engagerar sig i denna typ av investeringar är att sätta för stor tilltro till deras uthållighet (Sivaram and Norris 2016). Fortsatt utveckling för marknadsintroduktion av storskalig teknik kräver oftast längre uthållighet än vad som kan ges av riskkapital. Det gör att staten, om önskan är att introducera bio-CCS på marknaden, kan behöva spela en aktiv roll som finansiär av tillämpad forskning.

En viktig gren inom tillämpad forskning utgörs av demonstrationsprojekt. Demonstrationsprojekt bör förstås som en brygga mellan grund- och tillämpad forskning liksom mellan industriell tillämpning och kommersialisering (Hellsmark, Frishammar et al. 2016). Från statligt håll bör vikt läggas vid att i första hand förstå demonstrationsprojekt som lärprocesser, eller annorlunda uttryckt, processer för att reducera risker (Reiner 2016). En viktig komponent i statlig finansiering av demonstrationsprojekt är att maximera lärande. Offentligt stödda demonstrationsprojekt inom ett tekniskt område och en jurisdiktion är sällan begränsade till en insats. Projekten har dessutom ofta flera olika finansieringskällor och flera inblandade ansvariga myndigheter. Det gäller exempelvis finansiering från EU, nordiska samarbetsorgan, olika expertmyndigheter i Sverige, forskningsråd och regioner (Hellsmark, Frishammar et al. 2016). Dessutom sker kunskapsutveckling på detta område, inklusive demonstrationsprojekt, parallellt i flera olika länder samtidigt (Reiner 2016). Inte sällan finns stora överlappningar, möjligheter till koordinering av satsningar samt stor potential för kunskapsöverföring. Samtidigt råder det inte sällan brist på stöd till nätverksbyggande och forum för kunskapsöverföring internationellt liksom vertikalt, mellan olika nivåer av styrning (till exempel EU, Norden och Sverige), liksom horisontellt, mellan olika aktörer (till exempel myndigheter som Naturvårdsverket och Energimyndigheten, politiker och företag). Lärande av demonstrationsprojekt kan därför stärkas genom satsningar på nätverksbyggande och kunskapscentrum (se avsnitt 4.1.3).

Demonstrationsprojekt kan se väldigt olika ut. I ena änden av spektret, närmre nischering och grundforskning, finns labbskaleprojekt som primärt syftar till att öka kunskapen om tekniska risker. Denna typ av demonstration finansieras ofta genom existerande kanaler för forskningsfinansiering och behöver inte nödvändigtvis innebära behov av nya styrmedel eller institutioner. I andra ändan av spektret, närmre kommersiell produktion, finns projekt som primärt syftar till att öka kunskapen om företagsmodeller – inklusive interaktion med kringliggande infrastruktur, politik, juridik samt betalningsvilja och marknadspotential – i en produkts hela värdekedja. Däremellan finns projekt som syftar till att öka kunskapen om tekniska och ekonomiska risker vid fullskaligt genomförande. Behovet av nya stödfunktioner, som går utöver befintliga system för finansiering av grund- och tillämpad forskning, är som störst vid storskalig demonstration (Hellsmark, Frishammar et al. 2016), det vill säga i samband med regimintroduktion. Det gäller inte minst klimatomställningen; statlig samfinansiering av demonstrationsprojekt för klimatsatsningar, inte minst CCS, har historiskt sätt visat sig avgörande för deras realisering (Sivaram and Norris 2016).

Demonstrationsprojekt kan fokusera antingen på lärande genom reproduktion eller diversifiering av projekt. CCS kännetecknas av stora osäkerheter om teknisk potential och kostnader, vilket talar för att demonstration, åtminstone inlednings, bör spridas över olika tekniska lösningar. Det finns annars stor risk för tekniska inlåsningar i system som senare visar sig onödigt dyra, som ett resultat av utelåsningar av alternativ teknik. Samtidigt är behovet av kostnadsreducering stort, vilket ofta är kunskap som genereras av demonstration som fokuserar på reproduktion (Reiner 2016). Eftersom satsningar på CCS, inklusive många tillämpningar på processer som använder bioenergi, präglas av storskalighet och höga kapitalkostnader kan det vara svårt för enskilda stater att satsa på en diversifieringsstrategi i demonstrationsprogram. Inte minst denna faktor talar för behovet av internationell koordinering. Samtidigt innebär detta att frågan behöver närmas i altruistiska termer, det vill säga att samarbetsländerna enas om att lärande och kunskapsöverföring för att lösa klimatkrisen är viktigare än patentering och framtida komparativa fördelar på en eventuell teknikexportmarknad. Det är avvägningar som i praktiken inte är helt enkla att göra, särskilt inte då privata aktörer förväntas bidra med finansiering och kunnande i olika konkreta demonstrationsprojekt.

Det finns flera modeller för hur nationella satsningar på demonstrationsprogram kan administreras. En viktig gemensam nämnare är att dessa tillgodoser ett behov av långsiktighet och uthållighet (Hellsmark, Frishammar et al. 2016, Reichardt, Negro et al. 2016, Sivaram and Norris 2016). Lärdomar från USA visar att det, för att garantera uthållighet, är önskvärt att finansieringen av program för demonstrationsprojekt skyddas från politiska risker. En anledning till att politiker vill kapa stöd för demonstrationsprogram kan vara att fokus på lärprocesser, som ofta innehåller

lärande av misslyckanden, inom politiken kan associeras med att ett demonstrationsprojekt är misslyckat. Det gäller alltså att skilja mellan misslyckanden inom demonstrationsprojekt och att projektet i sig är misslyckat; lärandet av misslyckanden kan vara väldigt högt, misslyckanden kan alltså leda till väldigt lyckade demonstrationsprojekt. Svensk klimatpolitik har präglats av betydligt högre politiskt samförstånd, men även inom svensk klimatpolitik ryms risker för politisk tillbakarullning av klimatpolitiska initiativ. Som exempel kan nämnas Klimatklivet som i statsbudgeten för 2019 inte tilldelats fortsatt finansiellt stöd. Även Industriklivet, som lanserades som en långsiktigt uthållig satsning på industrin klimatställning med 300 miljoner kronor per år fram till 2040, är föremål för debatt. Exempelvis vill Moderaterna ersätta industriklivet med ett skatteavdrag på bolagsskatten vilket lett till att bemyndiganderamen för industriklivet sänkts genom statsbudgeten för 2019. I USA har förslag exempelvis lagts på att inrätta ett statligt oberoende bolag med uppgift att finansiera demonstrationsprojekt för klimatställning. Om önskan är att skydda investeringskapital för demonstrationsanläggningar från politiska svängningar skulle inspiration exempelvis kunna hämtas från de svenska forskningsstiftelser som bildades i mitten av 1990-talet med finansiering från avvecklingen av löntagarfonderna (för historik, se Amorim 2009). En stiftelse regleras genom stadgar och förvaltar ett skyddat kapital för att finansiera sin verksamhet.

4.2.2 Räntestyrning (gröna obligationer och förmånliga krediter)

Det finns möjlighet att öronmärka investeringskrediter till bio-CCS för att reducera risker för aktörer som vill bidra till att utbudet av negativa utsläpp ökar. Investerare har länge tenderat att undvika gröna investeringar exempelvis på grund av uppfattningar om att de är behäftade med höga initiala kapitalkostnader, lång tid till avkastning och utgör relativt omogen teknik. Dessutom anses miljöteknik ofta ha ett stort behov av politiskt stöd, vilket är nyckfullt och därmed introducerar ytterligare en investeringsrisk (Campiglio 2016). I litteraturen om att attrahera privat kapital till investeringar i klimatställning framhålls ett pris på koldioxid som den enskilt viktigaste framgångsfaktorn (Campiglio 2016), men även exempelvis krav på teknikstandard eller subventionering kan öka inflödet av privat kapital till gröna investeringar (Eklin, Vasse et al. 2018). Bio-CCS bör knappast utgöra ett undantag till denna regel, där en demonstrerad intäktssida stärker prospekten för att engagera investerare. Ett stabilt och succesivt ökande pris bör vara mer effektivt för att attrahera privat kapital, jämfört med exempelvis ett system för handel med utsläppsrätter där priset fluktuerar.

I denna kontext har staten också möjlighet att reducera risker för investerare genom att ge ut gröna obligationer. Statliga gröna obligationer har emitterats i stor skala bland annat i Polen och Frankrike, för att attrahera kapital till klimatställning. I dessa fall kan staten själv öronmärka investerarnas pengar för bio-CCS – exempelvis

för statliga investeringar i infrastruktur för transport och lagring – och investeraren kan känna sig relativt trygg i att staten garanterar en förutbestämd avkastning. Det finns också möjlighet att ge statliga bolag i uppgift att ge ut gröna obligationer för investeringar i bio-CCS, exempelvis genom Vattenfall i syfte att installera CCS-anläggningar på egna biopannor. Även i dessa fall är investeringen relativt trygg eftersom kreditvärdigheten hos statliga bolag är hög. Vattenfall har dessutom relativt lång erfarenhet av att emittera obligationer, en erfarenhet som eventuellt kan nyttiggöras också för bio-CCS.

Om ambitionen är att bredda utbudet av bio-CCS-obligationer bortom staten och dess bolag är utmaningen betydligt större. Att vid regimintroduktion, utan långvarig erfarenhet av en marknad för lagring av biogen koldioxid, engagera privata aktörer att ge ut gröna obligationer riktade till investeringar i bio-CCS är betydligt svårare än att staten, eller dess bolag, emitterar dessa obligationer. Intresset för att emittera gröna obligationer öronmärkta till bio-CCS, och delvis också att attrahera investerare att köpa dessa obligationer, förutsätter förmodligen strikt reglering (krav på bio-CCS) eller en stabil möjlighet till avkastning, i det senare fallet alltså någon form av beprövad marknad för lagrad biogen koldioxid. En fas av regimintroduktion kännetecknas normalt sett varken av goda möjligheter till långtgående regleringar (på grund av avsaknad av beprövad teknik) eller en mogen marknad för nya produkter (negativa utsläpp eller lagrad biogen koldioxid). Statliga obligationer, alternativt obligationer utgivna av statliga bolag, skulle kunna bidra till utveckling både av teknik och finansmarknadens intresse för bio-CCS, särskilt om de kompletteras med styrmedel som skapar en efterfrågan på lagring av biogen koldioxid.

Att engagera sig i hållbarhetsfrågor innebär nya risker men också nya möjligheter för företag och investerare, något som bör uppmärksammas i beskrivningen av investeringsrisken för en grön obligation. Det faktum att klimatriskerna blir allt mer kännbara liksom konsumentkrav på hållbarhetsredovisningar har generellt ökat intresset för att investera i gröna obligationer. Klimatförändringar kan i förlängningen få stor påverkan på finansiella flöden men påverkar också redan idag ekonomin. Ett exempel utgörs av Pacific Gas & Electric, PG&E, ägare av Kaliforniens största leverantör av el, som ansökt om konkurs till följd av de kaliforniska skogsbränderna 2018. Företagets elnät har pekats ut som orsak bakom bränderna, men många pekar också på klimatförändringar som bakomliggande orsak till att bränderna uppstod. Fallet med PG&E har öppnat ögonen för behovet av nya riskbedömningar för investerare i ljuset av effekter av ett förändrat klimat.

För att emittera en grön obligation krävs att intäkterna investeras hållbart vilket bland annat ställer högre krav på övervakning. Det ökar transaktionskostnaderna behäftade med en grön obligation, jämfört med en vanlig obligation. Än så länge är andelen gröna obligationer, som andel av hela obligationsmarknaden, dessutom försvinnande liten. Med låg likviditet ökar riskerna för innehavare av obligationen. Låg

likviditet innebär nämligen att en försäljning av ett innehav riskerar att direkt och stor påverka priset. Båda dessa faktorer kan leda till att investeraren kräver högre kompensatorisk avkastning jämfört med en traditionell obligation (Andersson 2017). Det kan eventuellt tala för att föredra traditionella obligationer för att finansiera investeringar i bio-CCS.

För att underlätta för emittenter och investerare att engagera sig i bio-CCS-obligationer samt harmonisera utbudet kan staten utfärda standard för bio-CCS-projekt, inklusive återrapporteringskrav, och utveckla generella riskprofiler. Det kan bidra till att sänka transaktionskostnaderna för aktörer som vill engagera sig i gröna obligationer i syfte att finansiera bio-CCS. Det finns också möjlighet för staten att engagera institutionella investerare i denna typ av obligationer, exempelvis de allmänna pensionsfonderna. Även om pensionsfonderna givetvis bör söka hög avkastning för att trygga framtida pensioner kan hållbarhetskriterier också motiveras utifrån det faktum att förstörd miljö innebär samhällsekonomiska förluster. Även institutionella investerare som de allmänna pensionsfonderna är naturligtvis en del av de klimatrelaterade marknadsmisslyckanden som präglar ekonomin som helhet, men en del av ekonomin där staten har stor möjlighet att påverka hur dessa misslyckanden ska hanteras och en aktörer som avkrävs hänsynstagande också av klimatrisker. Slutligen kan staten också justera regelverket kring finansmarknaden, exempelvis genom att differentiera krav på säkerhet i bio-CCS-investeringar kontra andra investeringar (Rozenberg, Hallegatte et al. 2013, Campiglio 2016). På detta område finns också möjlighet att få större genomslag genom att engagera EU i reformarbete genom tillägg i EU-gemensam reglering av finansmarknaden.

Ett intressant informativt styrmedel utgörs av möjligheter att ställa krav på miljömärkning av finansiella produkter. I dagsläget finns EU-gemensamma krav på hållbarhetsredovisning för större företag,¹⁸ vilket bland annat återspeglas i svensk lagstiftning om årsredovisningar och aktiebolag.¹⁹ Det finns också en hel del olika frivilliga överenskommelser om hållbarhetsmärkning av fonder, exempelvis Svanenmärkning av fonder liksom Fondbolagens förenings vägledning för fondbolag som vill redovisa sina fonders koldioxidavtryck. Det går att bygga vidare på dessa initiativ. Det finns också potential att tillämpa visuella och pedagogiska standarder för märkning med inspiration från exempelvis EU:s krav på energimärkning,²⁰ även om själva klimatmärkningen av finansiella produkter är betydligt mer utmanande.

¹⁸ Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/95/EU av den 22 oktober 2014 om ändring av direktiv 2013/34/EU vad gäller vissa stora företags och koncerners tillhandahållande av icke-finansiell information och upplysningar om mångfaldspolicy.

¹⁹ Årsredovisningslag (1995:1554) och Aktiebolagslag (2005:551).

²⁰ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2017/1369 av den 4 juli 2017 om fastställande av en ram för energimärkning och om upphävande av direktiv 2010/30/EU.

Det finns också utrymme för staten att erbjuda andra typer av krediter, exempelvis subventionerade lån. Om regleringar som tvingar aktörer att investera i bio-CCS införs kan totalkostnaden för investeringarna eventuellt sänkas genom att staten står som garant för förmånliga lån. Samtidigt innebär det att staten tar en potentiellt hög risk för låg avkastning, om regleringarna genomförs utan att utveckla en marknad för lagring av biogen koldioxid eller utan att industrin skyddas genom hantering av risk för koldioxidläckage. Andra system står också till förfogande. Exempelvis Rozenberg et al. (2013) föreslår att klimatprojekt kan valideras och generera en begränsad mängd certifikat som tillåter investerare att erhålla subventionerade lån från banker. Bankerna får i sin tur tillgodoräkna sig certifikaten som en rättmätig del av sin bankreserv. I praktiken skulle detta innebära att bankerna kan öka sin utlåning (och därmed sin vinstmarginal) samt att utfärdaren av certifikat skapar monetära tillgångar, båda delarna skapar ekonomiska risker som skulle behöva utredas i detalj innan systemet införs. Men exemplet visar att med lite kreativitet, i kombination med efterfrågepolitik, kan det finnas möjlighet att attrahera privat kapital till bio-CCS-projekt. Det finns också möjlighet för politisk styrning av investeringsbankernas fokus, exempelvis Nordiska investeringsbanken och Europeiska investeringsbanken, för att öka utlåningen till gröna investeringar till bra räntor.

4.2.3 Koldioxidavgift

Ett sätt att uppmuntra till att lagra biogen koldioxid i en introduktionsfas kan vara att införa ett avgiftssystem, och det kan finnas vissa lärdomar att dra från utformningen av den svenska kväveoxidavgiften. Kväveoxidavgiften ger incitament till minskad utsläppsintensitet genom att ta ut en avgift för utsläpp av kväveoxid (NO) och kvävedioxid (NO₂) från förbränningsanläggningar som producerar mer än 25 GWh användbar energi per år. Avgiften återbetalas sedan i proportion till mängden producerad energi. En förbränningsanläggning med låga utsläpp av kväveoxider (NO_x) och stor mängd producerad energi betalar en låg avgift och får tillbaka en hög andel av återbetalningen. Kväveoxidavgiften utformades specifikt för att främja innovation och öka den miljötekniska utvecklingstakten. På så vis, sett i ett lite längre tidsperspektiv, var målet att minska utsläpp genom teknikutveckling som minskar kostnaden för utsläppsreducering snarare än en kostnadsökning om, övervältrad till konsumenten, ökar kostnaden för en vara och därmed minskar efterfrågan vilket i sin tur minskar produktionsvolymen och därmed också utsläppen. Kväveoxidavgiften har utvärderats som en stor framgång för innovation inom teknik för minskade utsläpp av NO_x (Sternier and Turnheim 2009).

En koldioxidavgift skulle kunna inspireras av kväveoxidavgiften och exempelvis utformas som en avgift på utsläpp över en viss nivå. Avgiften skulle kunna baseras på utsläppsnivåer av fossil koldioxid och intäkterna fördelas till de producenter som tillhandahåller bio-CCS.

Denna typ av styrning kan utformas som ett för staten kostnadsneutralt styrmedel som är enkelt att administrera eftersom krav på utsläpprapportering redan existerar. Om en del av avgiften, i likhet med kväveoxidavgiften, finansierar offentlig administration (registerhållning, tillsyn etc.) skulle den direkta effekten, på statens inkomster, vara neutral. Däremot skulle en avgift, som helhet, öka kostnaden för produktion i Sverige. Transaktionskostnaderna skulle kunna göras relativt låga, men kapital- och driftskostnaden för att investera i bio-CCS skulle belasta industrin. Rootzén et al. (2016) har visat att merkostnaden som följer av CCS skulle vara låg för slutanvändaren. Men längre upp i värdekedjan, exempelvis i grossistledet för inköp av papper eller vid inköpsavdelningar på företag som använder stål i produktion av mer förädlade varor, är merkostnaden tydligare. Det innebär en risk för minskade produktionsvolymen i pressade branscher, exempelvis pappers- och massaindustrin, till följd av internationell konkurrens, vilket indirekt skulle innebära minskade offentliga intäkter. Styrmedlets klimatnytta skulle också riskeras om så kallat koldioxidläckage uppstår (se avsnitt 4.3.7 för en utförligare diskussion, inklusive olika möjligheter att förebygga koldioxidläckage).

Systemet kan alltså utformas för att uppmuntra föregångare, vilka skulle erhålla merparten av alla intäkter från avgiften jämfört med senare skeden när intäkterna så småningom ska fördelas över fler aktörer. Men det förutsätter att systemet initialt ger tillräckliga incitament för marknadsintroduktion av bio-CCS. Är intäkterna för låga och teknikförsprånget i den inhemska industrin för stor skapas istället risker för koldioxidläckage. Över tid, särskilt eftersom innovationer och driftserfarenhet kan leda till gradvis sjunkande marginalkostnader för bio-CCS.

För att inte generera perverterade incitament till investeringar i orimligt dyr bio-CCS-teknik skulle återbetalningen kunna regleras med ett maxbelopp per ton koldioxid. I en inledningsfas skulle avgiften kunna vara relativt låg och maxbeloppet för utbetalningar vara högt. Fördelen med en låg avgift skulle bland annat vara ökade möjligheter till acceptans från aktörer som täcks av avgiften; om tröskelvärdet på punktutsläpp för att aktivera avgiften samtidigt sätts relativt lågt garanteras kapitalisering av fonden även om avgiften inledningsvis är låg. Medan en inledningsvis låg avgift förmodligen ökar genomförbarheten vid införandet skulle ett inledningsvis högt maxbelopp på utbetalningar kompensera pionjärer för ökat risktagande och kostnader förknippade med lärande och teknikutveckling vid en marknadsintroduktion. Eventuellt årliga överskott hos staten kan fonderas för framtida utbetalningar.

En rationalitet för att sätta gränsvärden och omfattning på avgiftspliktiga aktörer är att alla sektorer (eller i stort sett alla sektorer) ska vara med och bära kostnaden för bio-CCS. De potentiellt sett stora vinnarna på ett sådant system skulle vara aktörer inom sektorer med möjlighet att implementera bio-CCS till relativt låg kostnad, medan aktörer med små möjligheter att fasa ut fossilenergi ur sin produktion skulle

vara förlorare. Det skulle ytterligare öka omställningstrycket bort från fossilenergi till förmån för förnyelsebart.

En annan rationalitet för att sätta gränsvärden för vilka aktörer som ska omfattas av avgiften kan vara att de måste ha teoretiska möjligheter att antingen implementera fossil CCS eller genomföra ett bränslebyte (för att kunna undvika eller minska avgiften) alternativt kunna införa bio-CCS (för att ta del av intäkter och eventuellt undvika kostnader). Ett ofta omnämnt gränsvärde för teoretisk potential för CCS är punktutsläpp om 0,5 miljoner ton koldioxid per år (Johansson, Rootzén et al. 2012). Men gränsdragningen för vilken skala på produktionen som förutsätts kan variera kraftigt mellan olika sektorer – kostnader för avskiljning vid etanolproduktion är exempelvis extremt låg på grund av redan existerande i princip rena processrelaterade strömmar av koldioxid – och med avstånd till lagringsplatser och möjlighet att samarbeta kring transportinfrastruktur (Jönsson 2011, Fridahl 2018). Det kan alltså behövas olika gränsvärden för olika sektorer. Infrastrukturellt transportstöd kan också komma att behövas om målet exempelvis är att undvika att konkurrensen snedvrids beroende på vart i Sverige industrin är lokaliserad (se kapitel 5).

Förutom risk för koldioxidläckage skulle en styrmedelsdesign av detta slag också lida av osäker planeringshorisont. Aktörer som designar affärsmodeller för bio-CCS baserat på intäkter från koldioxidavgiften står inför osäkerheter att inte veta hur stor intäkten kommer att bli. Osäkerheten minskar visserligen av kunskap om vad den uteblivna kostnaden (avgiften) kommer att vara, men om många aktörer samtidigt engagerar sig i bio-CCS minskar kapitaliseringen av fonden och därmed återbetalningarna per aktör. Det skulle kunna hanteras genom att införa en miniminivå på utbetalningar, men risken överförs då till staten eftersom fonden kan komma att behöva finansieras med andra offentliga medel. Ett prisgolv på utbetalningar kan alltså undergräva instrumentets kostnadsneutralitet för offentlig sektor.

4.2.4 Kvotplikt och certifikatshandel

Ett annat sätt att uppmuntra till lagring av biogen koldioxid i en introduktionsfas kan inspireras av det svenska systemet med elproducenters kvotplikt och elcertifikatshandel (se 3.2). Elcertifikatsystemet, som ska uppmuntra till utökad produktion av förnybar el i Sverige, kombinerar en reglering av miniminivåer av förnyelsebar elproduktion hos elproducenter med ett ekonomiskt styrmedel som genererar tillgångar i form av elcertifikat för de producenter som överpresterar (och efterfrågan på certifikat bland de som underpresterar).

Det finns exempelvis möjlighet att introducera en kvotplikt för en viss andel bio-CCS i produktion av exempelvis kraft- och värmeproduktion, papper och pappersmassa samt biobränslen. Om så önskas skulle kostnaden för bio-CCS kunna spridas över fler aktörer genom att utvidga kvotplikten till sektorer där direkt tillämpning

av bio-CCS har lägre potential, exempelvis stål, cement och raffinaderier. I alla dessa sektorer finns potential för bio-CCS, även om den i dagsläget är lägre än inom de tidigare uppräknade sektorerna. Kvotplikten behöver inte heller vara begränsad till aktörer med potential för bio-CCS, den kan omfatta andra sektorer som på så vis skulle vara med och finansierar utbyggnaden av bio-CCS i Sverige och bidra till att det svenska målet om netto-nollutsläpp av växthusgaser kan nås.

Likt en koldioxidavgift skulle kvotplikten inledningsvis kunna vara relativt låg för att skapa förutsättningar för acceptans och inte ställa orimliga krav på hög omställningstakt i en inledningsfas, då utbudet av teknik kan förväntas vara lågt. Möjligheterna till intäkter från försäljning av bio-CCS-certifikat skulle ge incitament till investeringar i kapital och till täckning för drift och underhåll.

En kvotpliktsavgift, det vill säga en straffavgift som avkrävs om bio-CCS-certifikat saknas vid årsbokslut, skulle kunna införas vilken i praktiken också skulle fungera som ett pristak för certifikaten. Det garanterar kunskap om maxkostnaden för olika aktörer, vilket förbättrar planeringshorisonten. Samtidigt behöver nivån på en sådan kvotpliktsavgift noggrant övervägas för att styrningen ska skapa reella incitament till innovation. En för låg avgift och en för långsam ökningstakt i kvotplikten kan bidra till att hämma pionjärer att fatta investeringsbeslut och därmed bromsa teknikutvecklingen. Det kan i sin tur leda till att fördelarna med tekniksprång inte levereras i den takt som är möjligt.

Ett eventuellt överskott av intäkter från kvotpliktsavgifter, som följd av introduktion av certifikatsystemet i avsaknad av utbud på tekniska lösningar, skulle kunna ackumuleras i en investeringsfond för FoU samt demonstrationsanläggningar. En tillförsel av kapital skulle på så vis kunna påskynda övergången från nischhantering till regimintroduktion.

I likhet med möjligheterna för införandet av en koldioxidavgift skulle risken för koldioxidläckage kunna minskas om de sektorer som beläggs med kvotplikt är relativt okänsliga för internationell konkurrens (se avsnitt 4.3.7). Eftersom det också finns möjlighet att inkludera sektorer med låg risk för koldioxidläckage, exempelvis inom infrastruktur eller transport, skulle en kvot- och certifikatsystemet kunna bidra till ökad måluppfyllelse även i ett globalt perspektiv, genom att minska risken för att generera utsläpp i andra delar av världsekonomin.

Kvotplikt och certifikatshandel har visat sig kostnadseffektivt ur ett välfärdsperspektiv. Genom succesivt höjd kvotplikt är styrningen effektiv på marginalkostnaden för omställning, det vill säga de billigare alternativen för bio-CCS (i detta fall) skulle förmodligen levereras i första hand. Å andra sidan kan systemet få stora konsekvenser för kostnaden för konsumenter. Det kan delvis regleras genom att hålla nere kostnaden på kvotpliktsavgiften för att förhindra att priset på certifikat skenar. Det kan bidra till ökad social acceptans för ett kvot och certifikatsystem (Bergek

and Jacobsson 2010). Å andra sidan måste en avvägning göras mot styrmedlets omställningstryck. Med för lågt certifikatpris kommer systemet förmodligen endast leda till en kostnadsökning för produktion utan att leverera bio-CCS.

4.2.5 Avveckla stöd till fossil energi

En överväldigande majoritet av de globala klimatscenerierna drar slutsatsen att bio-CCS har en viktig roll att spela i klimatomställningen (Fuss, Canadell et al. 2014, IPCC 2018). Det finns dock några scenarier som är kompatibla med att begränsa uppvärmningen till 1,5°C utan att förlita sig på bio-CCS. Dessa scenarier bygger på en mycket radikal utfasning av fossil energi i kombination med att avskogningen begränsas och beteendeförändringar genomförs, vilka leder till ett krympande energisystem. Även i dessa scenarier krävs en viss mängd negativa utsläpp, vilka kan levererades genom ökade upptag inom skogs- och jordbruk liksom markanvändning (Grubler, Wilson et al. 2018).

En stor utmaning för dessa scenarier är en rad barriärer för avveckling av fossil energi i det globala energisystemet (Kaya, Yamaguchi et al. 2019). Etablerade sociotekniska regimer är långsamma att förändra på grund av en rad inlåsnings effekter (och därmed också utelåsnings effekter). Det kan till exempel handla om etablerade regelverk på olika nivåer av styrning. Ett av de mest välkända exemplen utgörs av svårigheterna att införa miljöstyrande prissättning på flygbränsle, vilket till stor del beror på regler antagna av Internationella civila luftfartsorganisationen (Larsson, Elofsson et al. 2019). Ett annat relaterat exempel utgörs av nationellt eller kommunalt stöd till lokala flygplatser (Adler and Gellman 2012) liksom en obenägenhet bland politiker att främja specifik ny teknik av rädsla för att kommersialisering ska misslyckas och politiken hållas ansvarig (Geels 2014). Inlåsnings effekter kan också bero på etablerade stordriftsfördelar, bland annat till följd av att fasta kostnader sprids över fler producerade enheter samt att ackumulerad kunskap, teknikoptime ring och etablerade kundrelationer (Lehmann and Gawel 2013). Dessutom är investerat kapital ofta inlåst i långsiktiga och irreversibla investeringar vilket motiverar etablerad industri att organisera sig mot förändring (Jenkins 2014) samtidigt som deras etablerade ekonomi och industrinätverk och kontakter inom politiken ofta ger utrymme till mer effektiva påverkanskampanjer jämfört med nya aktörer (De Cian and Massimo 2012, Dunlap and McCright 2012). Som Mercure et al. (2014) uttrycker det, ”etablerade teknologier frodas just eftersom de är etablerade” (s. 697) vilket skapar onda cirklar som står i vägen för klimatomställning.

En viktig komponent för klimatomställning utgörs av politik för att undanröja snedvridande stöd till förmån för fossilindustrin. Parallellt med styrmedel i syfte att öka tillförsel av och efterfrågan på bio-CCS kan liknande styrmedel fasas ut för fossilenergi. Det kan exempelvis handla om prospekteringsförbud för utvinning av fossila

bränslen, med exempel från Frankrike²¹, eller att upphöra med olika system för subventionering av fossilenergi. Detta arbete kan inkludera en översyn av styrning för att hantera koldioxidläckage i kombination med analys av hur undantag och ned-sättningar från koldioxidskattens normalskattenivå liksom fri tilldelning inom EU:s system för handel med utsläppsrätter kan undvikas.

Det är också troligt att sådana reformer kommer att kräva kompensatoriska åtgärder (Rentschler and Bazilian 2017), exempelvis för särskilt drabbade arbetstagare eller strukturellt omställningsstöd till industrin. Omställningssubventioner till fossilintensiv produktion kan vara en viktig komponent i klimatomställning (Böhringer, Carbone et al. 2012, Paroussos, Fragkos et al. 2015). Ur klimatsynpunkt är utsläppsbegränsning ineffektivt eller rent av skadligt om det leder till geografisk omfördelning av produktion till länder med mindre stringent klimatpolitik. Rätt utformade kan subventioner bidra både till innovation, inkrementell klimatomställning och minskad risk för koldioxidläckage (se avsnitt 4.3.7).

4.3 Kommersialisering

I en fas för att skala upp användandet av bio-CCS bör utökade incitamentsstrukturer för avskiljning och lagring av biogen koldioxid ge intäkter som i grova drag matchar kostnader. Nedan diskuteras en rad styrmedel med potential att åstadkomma detta.

4.3.1 Reformering av koldioxidavgift eller kvotplikt och certifikatshandel

I takt med ökad tillämpning av bio-CCS ökar också behovet av system med låg administrativ börda. Det innebär bland annat att instrument som kan lämpa sig för att öka innovationstakten – exempelvis vissa former av upphandling (se avsnitt 4.1.5) eller omvänd auktionering (se avsnitt 4.1.7) – bör användas med viss försiktighet. Om de används i större skala riskerar administrationen att bli onödigt kostsam och svårmanövrerad. Andra styrmedel, exempelvis inmatningstariffer (se avsnitt 4.1.6) är enkla att administrera men riskerar att bli väldigt kostsamma.

Både en koldioxidavgift och en kvotplikt med certifikatshandel kan utformas med relativt låg administrativ börda. För att stärka en marknad för bio-CCS och på så vis öka dess attraktivitet som klimatåtgärd skulle en koldioxidavgift succesivt behöva höjas. Det finns också utrymme för att utvidga omfattningen på avgiftspliktiga aktiviteter. Det senare skulle kunna öka kostnadseffektiviteten i avgiftssystemet förutsatt att priset för att införa bio-CCS varierar i betydande grad mellan olika aktörer. Eftersom det finns potential för olika tekniska lösningar på olika skalor och med

²¹ LOI n° 2017-1839 du 30 décembre 2017 mettant fin à la recherche ainsi qu'à l'exploitation des hydrocarbures et portant diverses dispositions relatives à l'énergie et à l'environnement.

olika grad av komplexitet för att lösa transportbehov kan utökad avgiftsplikt bidra med kostnadseffektivitet genom att öppna för nya lågkostnadslösningar, givet att dessa inte redan omfattas av systemet.

På lite sikt, i takt med att fossila utsläppen i det närmaste fasats ut ur den svenska ekonomin, kan avgiftssystemet urholkas av minskade intäkter från aktiviteter som ger upphov till fossila utsläpp. I en sådan situation skulle minskande intäkter återbetalas till ett ökande antal bio-CCS-aktörer vilket skulle urholka prissignalen och minska moroten till fler aktörer att engagera sig i bio-CCS. Blir priset så lågt att det inte täcker kostnader för drift, underhåll, transport och lagring skulle en existerande bio-CCS-aktör förmodligen också välja att stänga av sin bio-CCS-anläggning. En sådan situation skulle ge dåliga förutsättningar för ökande eller bibehållen mängd bio-CCS i Sverige, vilket skulle kunna motivera att utvidga systemet till att omfatta en lägre avgift på biogena utsläpp. Det är värt att understryka att en sådan utvidgning av avgiften, till att också omfatta biogena utsläpp, skulle förutsätta att fossila utsläpp i princip fasats ut ur ekonomin. Dessutom behöver de ekonomiska incitamenten till bränslebyte, tillbaka till fossila bränslen, vara svaga alternativt kompletteras med regleringar som förhindrar återgång till användning av fossilenergi.

Skulle svenska reglerare istället välja att ge incitament till bio-CCS genom en kvotplikt och certifikatshandel behöver kvotplikten i detta system, i en kommersialiseringssfas, i så fall skärpas och eventuellt utökas till att omfatta fler aktörer. Det tidigare skulle öka priset på certifikat och därmed stärka incitamenten för bio-CCS, det senare skulle skapa en större certifikatsmarknad och eventuellt, i likhet med en utvidgad koldioxidavgift, ge utrymme till kostnadseffektivisering.

4.3.2 Negativ koldioxidskatt (subvention)

Ett alternativ till ett avgiftssystem eller certifikatshandel skulle kunna vara en negativa koldioxidskatt, det vill säga en subvention för avskild och lagrad biogen koldioxid. Ett enkelt sätt att kommunicera kring subventionens nivå skulle kunna vara att den sätts i paritet med koldioxidskattens normalskattenivå. Koldioxidskatten skulle då snarare fungera som ett pris på koldioxid, där det i normalfallet kostar lika mycket för en aktör att släppa ut ett ton fossil koldioxid som den får betalt för att lagra ett ton biogen koldioxid. Normalskattenivån ligger i dagsläget (år 2019) i mitten av spannet för uppskattade kostnader för bio-CCS (Fuss, Lamb et al. 2018). Naturligtvis kan andra nivåer motiveras med skäliga argument, exempelvis att högre kompensationsnivå är motiverat med hänsyn taget till en hög nivå av internalisering av en positiv externalitet eller på grund av ovanligt höga investeringsrisker.

Pris på koldioxid är enkelt att administrera och övervaka, med erfarenhet som byggts ända sedan början av 1990-talet. Systemet kan administreras genom att kvitta utsläpp mot upptag och basera in- respektive utbetalningar av koldioxidskatt på

aktörernas nettoutsläpp. Är nettoutsläppen positiva kan inbetalningarna ske genom skatt. Är nettot däremot negativt erhålls en utbetalning.

Ersättningen kan exempelvis ske genom direkta utbetalningar eller i form skatte-krediter, exempelvis som en reduktion av inkomstskatten för juridiska personer (bolagsskatten) eller resursstyrande energiskatter (exempelvis koldioxidskatten). Skapar detta problem med Sveriges system för bokföring av statens intäkter och utgifter, där ersättningar för lagrad biogen koldioxid logiskt sett bör bokföras inom utgiftsområde 20 (allmän miljö- och naturvård), behöver detta hanteras alternativt tanken på skattekrediter överges till förmån för direkta utbetalningar.

Redan i dagsläget finns, i USA, erfarenhet av ett system med skattekrediter för tillämpning av CCS.²² I dagsläget ges en skattekredit på cirka 119 kronor per ton permanent lagrad koldioxid som använts i syfte att öka uttag av fossil energi, det vill säga i praktiken främst vid oljeutvinning. Ersättningen ökar linjärt fram till 2026, då den uppgår till 326 kronor per ton. För koldioxid som lagras permanent utan att syfta till ökat uttag av fossil energi uppgår krediten till 186 kronor per ton för att öka linjärt till 466 kronor år 2026. I båda fallen kommer subventionen att inflationsjusteras. Den högre kreditnivån för lagring utan ökat uttag av fossil energi rättfärdigas genom att koldioxiden då lagras utan att i övrigt vara kommersiellt motiverat. Krediten är begränsad till pionjärer inom CCS genom att reserveras till de första 75 miljoner lagrade tonnen, vilket också ökar möjligheterna för staten att förutse kostnader. Krediterna begränsas också i tid. Från det att en teknisk utrustning för CCS installerats kan krediter erhållas 12 år framåt i tiden.

Fördelarna med en svensk version av denna reglering, där subventionen sätts i paritet med koldioxidskattens normalskattenivå och fokuserar på lagring av biogen koldioxid utan tidsbegränsning, skulle vara att det ger både tillräcklig ersättning och tillräckligt lång planeringshorisont för att motivera investeringar i bio-CCS. Effekterna av en koldioxidsubvention per ton avskild och permanent lagrad biogen koldioxid är dock oberäknliga. Samtidigt som ett pris på koldioxid anses kostnadseffektiv och skapar ett omställningstryck är det också svårt att förutspå dess resultat i termer av utsläpps begränsning eller inverkan på att lagra biogen koldioxid. Om regleraren anser att risken för skenande kostnader är för hög går subventionen att kombinera med reglering som sätter ett tak på efterfrågan. Ett alternativ kan vara att minska ersättningen i trappsteg, med olika nivåer för föregångare, efterföljare och eftersläntare. En trappstegsmodell kan exempelvis motiveras med att pionjärer bär större risk än efterföljare. Samtidigt är det troligt att aktörer med lägre marginalkostnad agerar först, vilket snarare skulle kunna motivera ett omvänt system med

²² Section 45Q, Bipartisan Budget Act of 2018 (baserad på lagförslag S. 1535, the Furthering carbon capture, Utilization, Technology, Underground storage, and Reduced Emissions Act (FUTURE Act)).

stegrande ersättningsnivåer. Det skulle, å andra sidan, skapa incitament för att avvakta tills en viss kvot uppfyllts innan det är läge att agera, vilket kan hämma innovationstakten. Enklast, för att kommunicera satsningen, skapa en tydlig planeringshorisont och för administration, vore att tillämpa ett enhetspris. Det skulle kunna kombineras med subventionering av satsningar på FoU och demonstration för att erhålla en premie för pionjärer vilket då ersätter behovet av en volymdifferentierad trappstegsmodell och inte skapar perverterande incitament att vänta på högre ersättningsnivåer.

För att beräkna hur utsläpp av fossil härkomst kan kvittas med utsläpp från biogen härkomst kan det nuvarande antagandet om biomassans koldioxidneutralitet vid punktutsläpp vidhållas. Det innebär att utsläpp och upptag från biomassa även fortsättningsvis bokförs inom sektorerna för markanvändning och skog. Ett ton avskild biogen koldioxid kan då bokföras som ett negativt utsläpp och på så vis användas för att kvitta utsläpp av ett ton fossil koldioxid eller generera nettonegativa utsläpp från en aktivitet. Denna bokföringslogik har åtminstone två fördelar. För det första är den enkel och ger starkare incitament till att avskilja och lagra biogen koldioxid genom att minska den administrativa bördan relaterat till beräkning och övervakning för aktörer som vill engagera sig i bio-CCS. För det andra är den kompatibel med Klimatpanelens existerande riktlinjer för nationella utsläppsinventarier (IPCC 2006). Det innebär att olika bokföringslogiker inte behöver hanteras vid nationella samanställningar, vilket även underlättar administration för Naturvårdsverket som är ansvarig myndighet för Sveriges utsläppsregister.

Är önskan att ytterligare minska den administrativa bördan kan en undre kvalificeringsgräns för subventionen sättas, vilket exempelvis tillämpas i USA. Det skulle begränsa antalet aktörer som engagerar sig i bio-CCS. Risken för att detta begränsar potentialen för bio-CCS liten eftersom de ofta höga kapital- och driftskostnaderna kräver relativt stora utsläppsvolymer vilket borgar för att de aktörer som eventuellt kommer att engagera sig i bio-CCS har relativt stora punktutsläpp av biogen koldioxid. Det finns dock en mindre potential för bio-CCS också inom exempelvis biobränsleproduktion där kapitalkostnaden för avskiljning av olika processrelaterade skäl kan vara låg (exempelvis vid produktion av bioetanol eller -gas). Ett exempel utgörs av Agroetanol i Norrköping som redan i dagsläget avskiljer koldioxid från sin bioetanolsanläggning med avsättning inom livsmedelsindustrin (Fridahl 2018). En avvägning behöver alltså göras mellan administrativ börda och begränsning av potentialen för att realisera bio-CCS.

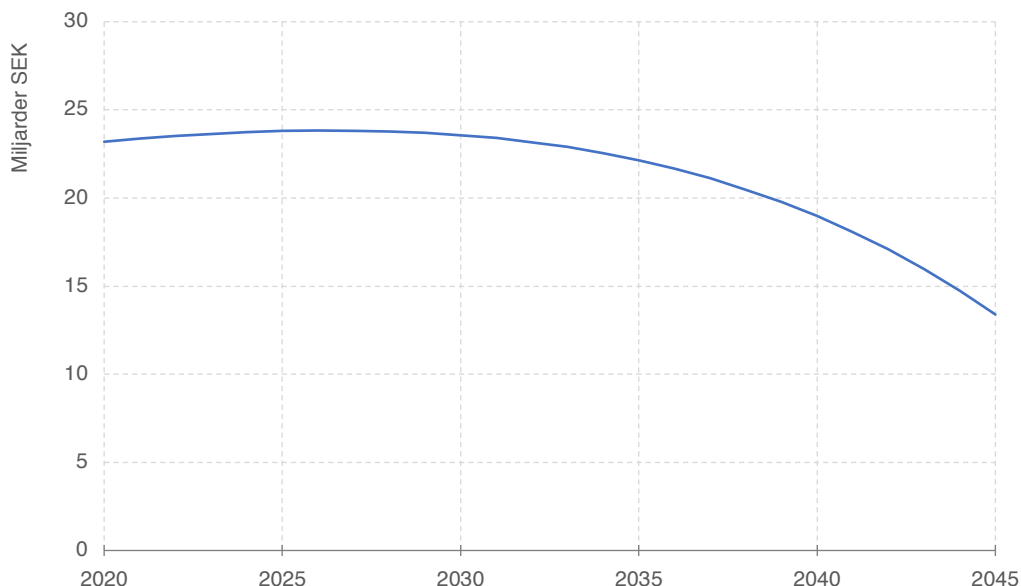
Sker ersättningen genom skattekrediter finns det också risk att små aktörer missgynnas, aktörer som betalar begränsad mängd skatt och som kan hamna i en situation där krediterna skulle kunna innebära att skattebetalningarna i teorin blir mindre än noll. Antingen behöver ersättningen begränsas till utrymmet för skattekrediter (ned till noll) eller så behöver denna situation hanteras genom någon form av direkt

utbetalning. Återigen begränsas detta problem av att kapitalkostnaden är så pass hög att små aktörer förmodligen inte kommer att engagera sig i bio-CCS.

De flesta svenska aktörer med potential för bio-CCS är dock stora, med stort utrymme för skattekrediter. En del av dessa skulle enkelt kunna kvitta fossila utsläpp mot lagrade biogena utsläpp, exempelvis inom cement- eller kraftvärmeproduktion (inklusive aktörer som använder sopor som bränsle). Andra aktörer har betydligt större total mängd biogena utsläpp än fossila utsläpp. Om krediten utbetalas i direkt paritet med normalskattenivån, som 2018 uppgick till runt 1250 kronor per ton koldioxid, kan det bli tal om ganska stora ersättningsvolymerna för ett antal enskilda aktörer, främst inom pappers- och massaindustrin. Väljer reglerarna att utforska detta alternativ för att skapa en marknad för lagring av biogena koldioxidutsläpp kommer de behöva reda ut om detta kan leda till situationer där skattebetalningarna blir nettonegativa och hur det i så fall ska hanteras. Ett sätt att hantera detta på är att, i likhet med nedsättningar från normalskattenivån, avstå från att låta skattekrediten stå i direkt proportion till normalpriset på koldioxid. Det begränsar risken för negativ taxering men det kan försvåra kommunikation kring skattekrediterna samt försvagar incitamenten.

En möjlighet att finansiera ett subventioner av lagrad biogen koldioxid utgörs av öronmärkning av intäkter från koldioxidskatten. Statens intäkter från koldioxidskatten är betydande. År 2018 uppgick intäkten till cirka 23 miljarder kronor, det vill säga cirka 2,3 procent av statens samlade skatteintäkter. Eftersom normalskattenivån höjts vid flera tillfällen, och eftersom skatten automatiskt justeras med hänsyn taget till ekonomins tillväxt och inflation, har intäkterna kunnat hållas relativt stabil. Under perioden 2008–2015 har intäkterna i snitt varit 25 miljarder kronor per år (Martinsson and Fridahl 2018). I takt med att de fossila utsläppen ska fasas ut i allt snabbare omfattning är det troligt att intäkterna från koldioxidskatten så småningom urholkas. Under förutsättning att: a) Sverige år 2045 reducerat utsläppen med 85 procent jämfört med 1990 års nivå, b) denna utsläppsminskning uppnåtts i jämn fördelning mellan den handlande och icke handlande sektorn, c) takten på utsläppsminskningarna från aktiviteter som täcks av koldioxidskatten är lika hög som takten på utsläppsminskningarna i den icke handlande sektorn som helhet (år 2019–2045), d) inflation enligt konsumentprisindex ökar med 2 procent per år, och e) de skatterabatter, undantag och uppräknings (konsumentprisindex + 2 procentenheter för att reflektera tillväxt i ekonomin) som gällde 2018 även används fram till 2045, då kommer intäkterna från koldioxidskatten att börja minska substantiellt runt år 2030 (se Fig. 3).

Fig. 3 | Approximation av intäkter från koldioxidskatt givet att utsläppen som täcks av skatten minskar med 79 procent i perioden 2019–2045, att normalskattenivån även fortsättningsvis justeras med konsumentprisindex plus två procentenheter samt att inga ytterligare justeringar görs (nuvarande undantag och skatterabatter bibehålls).



Om uppräkningsen av skatten inte är tillräckligt stor för att kompensera för intäktsbortfall som följd av utsläppsminskningar kommer statens intäkter från koldioxidskatten att minska. Samtidigt skulle kostnader för subventioner av lagrad biogen koldioxid öka givet att volymer av bio-CCS ökar över tid. År 2045 skulle intäkterna uppgå till cirka 13 miljarder kronor. Givet att ersättningen för bio-CCS uppgår till normalskattenivån för 2045 och att denna nivå beräknas utifrån de kriterier som listats ovan skulle en full kompensation av ekonomins samlade utsläpp av växthusgaser 2045²³ genom bio-CCS kosta cirka 38 miljarder kronor.

Dessa beräkningar ska givetvis förstås som rent hypotetiska men belyser en potentiell utmaning med finansiering av subventioner av bio-CCS genom skatt på fossila utsläpp: över tid riskerar intäktssidan att urholkas och utgiftssidan att växa. Olikt exempelvis en koldioxidavgift (se avsnitt 4.2.3) eller ett system med kvotplikt och certifikatshandel (se avsnitt 4.2.4) skulle ett pris på koldioxid inte vara kostnadsneutralt för staten. På sikt kan ett system med finansiering av bio-CCS genom ett pris på koldioxid kräva utökad finansiering från andra källor än intäkter från kostnad för utsläpp av fossil koldioxid (koldioxidskatten). Detsamma gäller emellertid också för ett avgiftssystem eller ett system med kvotplikt och certifikatshandel. Det faktum

²³ Om de uppgår till 85 procent av 1990 års nivå, det vill säga cirka 11 miljoner ton.

att det kan vara svårt att identifiera vilka aktörer som ska bära kostnaden för avgifter, beläggas med kvotplikt eller finansiera utbetalningar till följd av ett pris på koldioxid, särskilt på lite sikt då fossila utsläpp fasats ut, talar för ett system med bred finansieringsbas, exempelvis att utbetalningarna är skattefinansierade. Ytterligare en potentiell källa till finansiering, som skulle kunna sprida delar av kostnaden för bio-CCS inom Europeiska ekonomiska samarbetsområdet, utgörs av en reformering av EU:s system för handel med utsläppsrätter.

4.3.3 Reformering av Europeiska unionens system för handel med utsläppsrätter

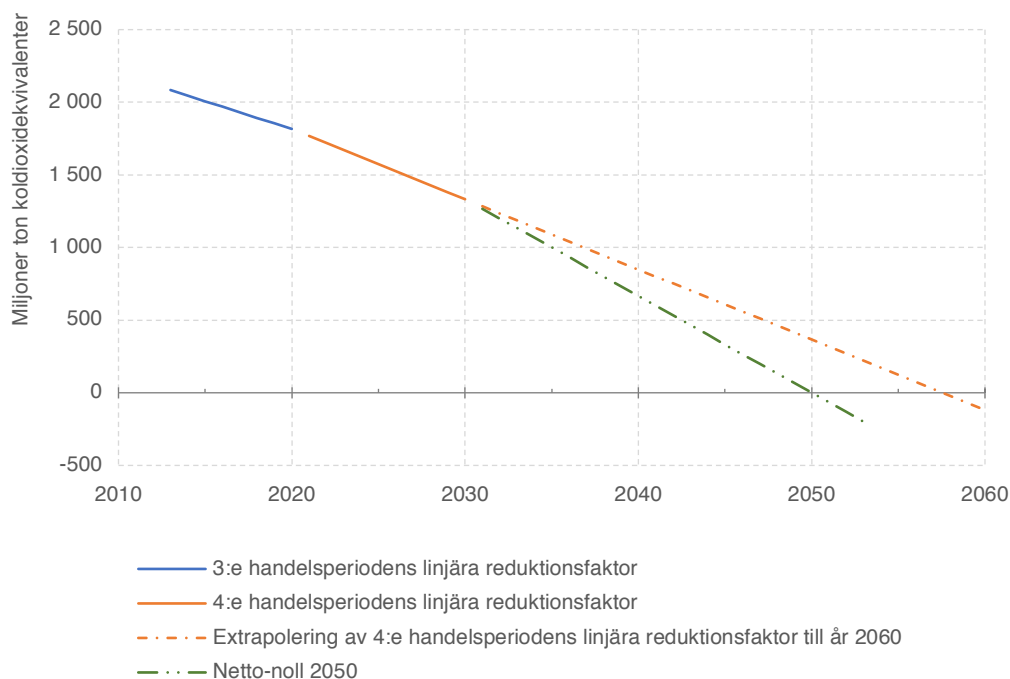
Inom Europa finns stort reformutrymme för styrning med fokus på att främja bio-CCS. En möjlighet utgörs av reformering av EU:s system för handel med utsläppsrätter för att tillåta att lagrad biogen koldioxid räknas som ett negativt, istället för klimatneutralt, utsläpp. I dagsläget täcks biogena utsläpp av handelssystemet men räknas alltid som klimatneutrala. Om avskild och lagrad biogen koldioxid tillåts generera negativa utsläpp kan de användas för att generera utsläppsrätter. Däremot bör krav på utsläppsrätter för biogena utsläpp inte introduceras utan att utsläppen av fossil koldioxid i princip helt fasats ut, detta eftersom det skulle vara kontraproduktivt inom ramen för existerande klimatpolitik som har fokus på att göra förnyelsebar energi, inklusive bioenergi, mer konkurrenskraftig relativt fossilenergi.

Om bio-CCS tillåts generera överförliga europeiska utsläppsrätter innebär det, allt annat lika, att utbudet på utsläppsrätter ökar. Just utbudsöverskott har plågat EU:s system för handel med utsläppsrätter ända sedan starten 2005. Om bio-CCS inte ska förvärra denna situation och bidra till att urholka handelssystemets prissignal behöver utsläppsrätter emitterade genom bio-CCS motsvaras av annullering av utsläppsrätter någon annan stans i systemet. Ett alternativ för annullering kan vara att justera nivån på utsläppsrätter som är tillgänglig för ländernas auktionering i kommande aktionsrundor. Eventuell kan en utsläppsrätt som genererats genom bio-CCS också överkompenseras med en högre annullering för att ta höjd för risk för fysiskt läckage under transport och lagring. Troligtvis är behovet av överkompensation emellertid begränsat, under förutsättning att CCS-direktivets reglering av krav på överlämnande av utsläppsrätter motsvarande volymen på läckage från lagring också gäller läckage av lagrad biogen koldioxid (se avsnitt 5.3.4).

Det finns också möjlighet att främja stater som tar kostnader och bygger politik för bio-CCS genom att styra vilka auktioneringsvolymerna som minskar och eventuellt ge fördelar till de länder inom vars territorium utsläppsrätter genererats genom bio-CCS. Det skulle förmodligen skapa politiska diskussioner om ojämnt fördelad potential för bio-CCS, men det kan också hjälpa till att öppna upp för ny potential genom ytterligare omställningstryck från fossil- till bioenergi.

En nackdel med styrning genom EU:s handelssystem utgörs av utsläppsrätternas prisvolatilitet. Varierande pris introducerar risker för industri och investerare att satsa på bio-CCS. I dagsläget är prissignalen från handelssystemet dessutom för låg för att kunna motivera investeringar i bio-CCS (se Fig. 2). När den linjära reduktionsfaktorn succesivt sänker taket för utsläpp i systemet (se Fig. 4), i kombination med att billigare åtgärder för utsläpps begränsningar genomförts, förväntas priset på utsläppsrätter stiga. På längre sikt kan det göra bio-CCS till en kostnadseffektiv åtgärd jämfört med de då tillgängliga alternativen för utsläpps begränsningar. I systemets fjärde handelsperiod minskar taket årligen med 48 miljoner utsläppsrätter. I denna takt kommer krav på nollutsläpp att nås inom handelssystemet i början på år 2059. I praktiken kommer krav på nollutsläpp troligen att nås tidigare eftersom reglering av marknadsstabilitetsreserven förmodligen kommer att leda till automatisk annullering av ett ackumulerat överskott på oanvända utsläppsrätter. En sådan utveckling skulle dock vägas upp av att takten den linjära reduktionsfaktorn urholkas i den femte och kommande handelsperioder. Kommissionens förslag till skärpta klimatmål för EU för år 2050, från –80 till –95 procent till netto-nollutsläpp, jämfört med 1990 års nivåer, talar dock för att även taket i handelssystemet måste skärpas.

Fig. 4 | Antalet utsläppsrätter för stationära enheter (det vill säga exklusive flyg) i EU:s handelssystem i tredje handelsperioden (2013–2020), fjärde handelsperioden (2021–2030), extrapolering av den linjära reduktionsfaktorn i fjärde handelsperioden fram till år 2060 samt utsläppstak kompatibelt med ett mål om netto-nollutsläpp i handelssystemet år 2050. Hänsyn är inte tagit till marknadsstabilitetsreservens troliga automatiska annullering av stora överskott på utsläppsrätter fram till år 2023. I takt med att utrymmet för utsläpp skärps förväntas priset på utsläppsrätter stiga.



En sänkning av utsläppstaket innebär visserligen inte att det etableras ett omställningstryck på bioenergianläggningar att införa CCS för att undvika en kostnad på biogena utsläpp. Däremot skulle det ge en morot till investeringar i bio-CCS genom att öppna en möjlig marknad för negativa utsläpp genom försäljning av utsläppsrätter till fossil industri med hög betalningsvilja (det vill säga där marginalkostnaden för utsläppsbegränsningar är hög). En sådan reform kan sprida kostnaden för bio-CCS i Sverige till andra europeiska aktörer med stort behov av utsläppsrätter. Eftersom Sveriges potential för bio-CCS är stor är sannolikheten att en betydande andel bio-CCS-anläggningar skulle kunna allokeras till just Sverige också hög. Köpare av utsläppsrätter kan utgöras av branscher som täcks av handelssystemet men som är svåra att göra fossilfria. Som helhet kan ett inkluderande av bio-CCS i handelssystemet därför också, på lång sikt, öka kostnadseffektiviteten i europeisk klimatomställning. Så länge tekniska lösningar inom branscher som i dagsläget är svåra att göra fossilfria inte kan konkurrera med priset på bio-CCS, vilket exempelvis skulle kunna vara fallet inom flygbranschen som också delvis täcks av handelssystemet, kommer bio-CCS kunna bidra med ökad kostnadseffektivitet.

Förutom potential till kostnadseffektivitet utgör en reformering på EU-nivå fördelar associerade med skalan på mängden utsläpp som regleras. Vid en högre andel av världsekonomin som omfattas av gemensam styrningen ökar möjligheterna till måluppfyllelse, bland annat genom minskad risk för koldioxidläckage (se avsnitt 4.3.7).

En situation, som måste hanteras om bio-CCS tillåts generera utsläppsrätter i handelssystemet, är brytpunkten då antalet utsläppsrätter som genereras genom bio-CCS överstiger mängden utsläppsrätter som kan annulleras i framtida aktionsrundor. Att förutspå när denna situation eventuellt uppstår är svårt, men det bör kunna bli reellt när taket är tillräckligt lågt och priset är tillräckligt högt. Taket kan då behöva vara netto-negativt för att marknaden för utsläppsrätter inte ska kollapsa. Ett nettonegativt utsläppstak i handelssystemet skulle också ligga väl i linje med Europeiska kommissionens målsättning om netto-nollutsläpp 2050 och nettonegativa utsläpp därefter.

4.3.4 Teknikstandard och reduktionsplikt

När en teknik uppnått tillräckligt hög mognadsgrad (och därmed också ofta sänkta kostnader) öppnas också ett reformutrymme för mer strikta regleringar. Regleringar kan ge incitament till eftersläntrare att också implementera tekniska lösningar för bio-CCS. Ett exempel utgörs av EU:s politik för att hantera surt regn. I slutet av

1980-talet antogs ett direktiv²⁴ för att reglera svaveldioxid och kväveoxider, vilket möttes av stora protester i Storbritannien. Samtidigt som europeisk industri i stort ställde om till mer utsläppseffektiv produktion var brittisk industri ovillig att utveckla och implementera ny teknik med argumentet att det var alldeles för dyrt. Delvis som följd av den ökade efterfrågan på tekniska lösningar, bland annat som en konsekvens av EU:s reglering, sjönk kostanden för tekniker rökgasrening. I början på 2000-talet infördes sedan EU-reglering²⁵ som krävde att vissa utsläppsstandarder följs för att stora förbränningsanläggningar skulle få vara i drift från 2015 och framåt. Detta direktiv genererade inga större protester i Storbritannien, vilket framförallt förklarats med att tekniken uppnått betydligt högre mognad i perioden 1995–2001 och att det därför inte längre var särskilt kostsamt för brittisk industri att följa direktivet (Watson, Kern et al. 2014). Storbritannien utsattes dessutom för starka påtryckningar från andra länder eftersom att de historiskt löst problemet genom att bygga högre skorstenar som spred svavlet över Europa och försurade dess skogar. Svavelreningen är tekniskt enklare än de flesta bio-CCS-tekniker och har i normalfallet mindre inverkan på kärnverksamheten (Hansson 2008). Svavel kan dessutom användas som resurs för andra industrier, exempelvis gipsproduktion, vilket gör att jämförelsen inte är perfekt, men det illustrerar hur reglering kan bidra till att sprida upptaget av mogen teknik.

Ett alternativ till teknikspecifika krav kan utgöras av prestandakrav, exempelvis krav på reducerad koldioxidintensitet i använt bränsle. Ett exempel på detta utgörs av den svenska reduktionsplikten²⁶ som kräver att leverantörer av drivmedel årligen sänker koldioxidintensiteten i sina bränslen. För att öka kostnadseffektiviteten i styrmedlet tillåts reduktionspliktiga aktörer att handla med överskott av utsläppsreduktioner. I en situation där teknik och infrastruktur för bio-CCS är tillgänglig och risken för koldioxidläckage hanterats skulle ett liknande system med reduktionsplikt också kunna införas för bio-CCS. Både fossila och biogena utsläpp skulle kunna beläggas med stegrande krav på viss mängd utsläppsminskning (eller -upptag) erhållet genom avskiljning och lagring av biogen koldioxid, med möjlighet att handla med överskott mellan reduktionspliktiga aktörer. Likt den nu existerande reduktionsplikten för bränslen skulle differentiering kunna ske på basis av olika energislag, med högre reduktionskrav på fossilenergi. Skillnaden mellan en kvotplikt och en reduktionsplikt utgörs av vilken förändring som regleraren vill uppnå. Med en kvotplikt uppmuntras en viss andel bio-CCS av total produktion medan en reduktionsplikt fokuserar på nivåer av utsläpp (se avsnitt 4.2.4). Med reduktionsplikt kan

²⁴ Rådets direktiv 88/609/EEG av den 24 november 1988 om begränsning av utsläpp till luften av vissa föroreningar från stora förbränningsanläggningar.

²⁵ Europaparlamentets och rådets direktiv 2001/80/EG av den 23 oktober 2001 om begränsning av utsläpp till luften av vissa föroreningar från stora förbränningsanläggningar.

²⁶ Lag (2017:1201) om reduktion av växthusgasutsläpp genom inblandning av biodrivmedel i bensin och dieselbränslen.

eventuellt olika differentiering ske på basis av miljö- eller klimatprestanda hos olika typer av bioenergi.

Historiska analoga fall till bio-CCS visar alltså att reglering kan vara ett effektivt sätt att styra omställning, i termer av måluppfyllnad, samt att det finns strategier för att bygga acceptans. Kostnadseffektiviteten i regleringar kan ökas om de införs vid rätt tidpunkt, det vill säga då den tekniska mognadsgraden är tillräckligt hög för omfattande implementering av bio-CCS. Införs regleringen för tidigt kan kostnaden bli hög, införs den för sent kan det innebära att underinvesteringar tillåts i relation till den klimatnytta som bio-CCS bidrar med.

4.3.5 Kredibilitet och flexibilitet

Politik är också behäftat med investeringsrisker. Politik som uppfattas som instabil skapar strategier för företag att satsa på kortsiktiga investeringar. Strategier för att skapa varaktig politik är därför viktigt (Lehmann and Gawel 2013, Teeter and Sandberg 2017). Samtidigt är behovet av anpassningsbar politik stor, särskilt på områden där osäkerheterna är höga, vilket är fallet med bio-CCS (Reichardt, Negro et al. 2016). Kredibilitet behöver därför viktas mot flexibilitet. I Sverige finns gott om exempel från projekt inom produktion av biodrivmedel som avslutats på grund av svårigheter att förutspå den politiska utvecklingen på området (Peck, Grönkvist et al. 2016). Balansen mellan kredibilitet och flexibilitet har därför visat sig viktig och hänger inte minst samman med att bygga bred politisk acceptans för viktiga styrmedel.

Utmaningarna för att skapa stabil politik är extra stora på områden som handlar om att distribuera stora kostnader till ett fåtal aktörer snarare än intäkter eller andra fördelar till många aktörer (Jordan and Matt 2014). Det förra är en situation som präglar bio-CCS, även om det går att argumentera för att bio-CCS också distribuerar kollektiva nyttor. Den senare (klimatnyttan) är dock mindre omedelbart kännbar – dels därför att den delas globalt och dels därför att klimatsystemet innehåller tidsfördröjningar från åtgärd till effekt – och är därför svåra att härleda till enskilda styrmedel. De förra (kostnaderna) är däremot enkla att koppla direkt till politiska reformer.

Jordan och Matt (2014) föreslår flera åtgärder för att skapa politik som är stabil över tid, stabil i bemärkelsen att den överlever organiserat motstånd och politiska maktskiften. Ett sätt att hantera detta är att utforma styrmedel under tydliga, långsiktigt stabila målsättningar (se avsnitt 4.1.1). Styrmedlen kan explicit nämna exempelvis utvärderingscykler triggade av tröskelvärden eller tid, alternativt enskilda tidpunkter för optimering, utan att för den skull vare sig ändra målbilden eller den grundläggande inriktningen på styrningen. Ett exempel utgörs av det svensk-norska

elcertifikatssystemet där kvotplikten kontinuerligt justeras för att undvika kollaps av marknaden för elcertifikat.

I Sverige finns gott om exempel från projekt inom produktion av biodrivmedel som avslutats på grund av svårigheter att förutspå den politiska utvecklingen på området (Peck, Grönkvist et al. 2016). Balansen mellan kredibilitet och flexibilitet har därför visat sig viktig och hänger inte minst samman med att bygga bred politisk acceptans för viktiga styrmedel.

4.3.6 Acceptans

Acceptans är en viktig komponent av genomförbarhet, exempelvis har flera demonstrationsprojekt av CCS avslutats i förtid delvis på grund av bristande acceptans (Dütschke, Wohlfarth et al. 2016, Kern, Gaede et al. 2016, Stigson, Haikola et al. 2016). Med bristande acceptans finns stora risker för att ett styrmedels måluppfyllelse begränsas eller rent av upphör, exempelvis till följd av att ett styrmedel behöver dras tillbaka. Särskilda frågor rörande acceptans har redan berörts i flertalet av diskussionerna om specifika styrmedel. Här sammanfattas några av de viktiga övergripande slutsatserna från forskningen om acceptans och klimatpolitik.

Det finns flera klimatpolitiska exempel att lära av, exempelvis den svenska flygskatten med bristande acceptans hos flera stora politiska partier och starka intresseorganisationer. Andra aktuella exempel utgörs av Australiens system för handel med utsläppsrätter samt Kanadas och Frankrikes koldioxidskatter.

År 2012 införde Australien lagstiftning som krävde att stora utsläppare årligen köpte utsläppsrätter motsvarande sina utsläpp. I en övergångsperiod på tre år skulle utsläppsrätterna säljas till ett fast pris för att därefter övergå i ett system för handel med utsläppsrätter på en fri marknad.²⁷ Systemet introducerades parallellt med kostnadsänkningar för konsumenter, liksom ökade bidrag, för att på så vis uppnå kostnadsneutralitet vid införandet. Redan 2014 upphävdes skatten på grund av bristande politiskt stöd bland de konservativa och liberala partierna (Baxter, Gilligan et al. 2018). Studier har visat att skatten visserligen åtnjöt bred social acceptans inför valet 2013 men att det inte kanaliserades i starkt explicit stöd för skatten under valrörelsen (Dreyer, Walker et al. 2015). Den australiska klimatpolitiken från 2009 och framåt är också ett bra exempel på hur svängningar mellan olika partiers klimatpolitiska inriktning försvårat för både offentliga och privata aktörer att investera i långsiktig klimatomställning (Teeter and Sandberg 2017).

Ett annat exempel utgörs av Kanada som år 2018 införde en federal koldioxidavgift som skulle gälla som miniminivå i de provinser som ännu inte själva beslutat om

²⁷ The Clean Energy Future Plan.

prissättning på koldioxid.²⁸ Kostnader för avgiften övervältras på konsumenterna där de som konsumerar stora mängder koldioxidintensiva varor betalar mer i absoluta termer. En stor del av intäkterna återförs sedan till alla konsumenter som direkta utbetalningar. Det innebär att de som lever relativt klimatvänligt, som därmed betalar mindre än genomsnittet, kan få premie för sin sundare livsstil. Människor bosatta på landsbygden kompenseras extra med hänsyn tagit till deras större beroende av fossila bränslen för transporter. I vissa delstater erhåller låginkomsttagare dessutom skattekrediter som kompensation för ökade kostnader till följd av prissättning på koldioxid.

Systemet med avgift och återbetalning, i kontrast till exempelvis en vanlig skatt, infördes delvis för att bygga social acceptans för frågan, inte minst genom att splittra motstånd och bygga koalitioner för dess införande. En avvägning behöver alltså göras mellan att bygga social acceptans (genomförbarhet) och skapa en hög effekt på målet att minska utsläpp, återbetalning av intäkterna riskerar nämligen att urholkar omställningstrycket från avgiften genom en sänkt prissignal (Carl and Fedor 2016). Vid införandet, 2019, motsvarade den kanadensiska skatten cirka 140 kronor per ton koldioxid med en planerad höjning till cirka 350 kronor år 2022. Även i Kanada är det politiska stödet inom det konservativa blocket lågt, med löften om att upphäva skatten om de ges möjlighet till detta. Carl och Fedor (2016) menar att det är betydligt svårare för en opposition att upphäva ett prissättande klimatpolitiskt styrmedel om intäkterna tillförs statsbudgeten utan att öronmärkas än om de återbetalas eller öronmärks till nischaktering. Det kan alltså finnas målkonflikter mellan att bygga social respektive politisk acceptans för ett specifikt styrmedel, av potentiell vikt för politikutveckling i syfte att främja bio-CCS i Sverige.

I Frankrike valdes en mer radikal metod, att införa en koldioxidskatt på cirka 70 kronor 2014 som i snabb takt planerades höjas till cirka 1000 kronor per ton koldioxid år 2030 (Carattini, Carvalho et al. 2018).²⁹ Det bidrog till att utlösa protester som ledde till att president Emmanuel Macron sköt upp den planerade höjningen av skatten 2019.

Att bygga politisk acceptans för klimatpolitik är delvis betingat av institutionell struktur och politiska system. Lachapelle and Paterson (2013) menar att demokratier generellt är mer benägna att anta klimatpolitiska styrmedel än diktaturer. Men i demokratier är politiker också ofta obenägna att ta risker. Att införa nya styrmedel är förknippat med politiska risker, exempelvis att beskyllas för misslyckanden. Det bidrar till att politik, åtminstone i demokratier, generellt sett följer i väl upptrampade spår och att politiker, vid reformbehov, ofta föredrar justering av existerande

²⁸ Greenhouse Gas Pollution Pricing Act (S.C. 2018, c. 12, s. 186).

²⁹ LOI n° 2013-1278 du 29 décembre 2013 de finances pour 2014, och LOI n° 2015-1786 du 29 décembre 2015 de finances rectificative pour 2015.

styrmedel framför radikal förändring (Gawel, Strunz et al. 2014, Howlett 2014). Att bygga politiskt genomförbara reformer bör därför vara enklare om de utgår från existerande styrmedel, eller om de bygger på erfarenhet av styrning inom närliggande områden. En annan anledning till att politikutveckling ofta baseras på existerande styrmedel är politiska inläsningseffekter. Liksom för företag som byggt viss teknisk kapacitet och investerat i realkapital byggs, inom politiken, administrativ kunskap inom förvaltningen. Att utveckla en ny administrativ funktion för ett nytt styrmedel är dessutom förknippat med en faktisk kostnad. Även politiska inläsningseffekter gör att det inom politiken kan vara svårt att bygga acceptans för radikala reformer (De Cian and Massimo 2012). Svårigheter med att bygga politisk acceptans talar för att använda välkända system som kvotplikt och certifikatshandel eller avgifter, eller att utöka omfattningen på exempelvis koldioxidskatten eller EU:s utsläppshandelssystem.

Politiker som vill bygga legitimitet för klimatpolitik bör också kunna använda informativa instrument som stärker förståelsen av problembilden och ökar opinionstrycket till förmån för klimatstyrning. Ett redan omnämnt exempel utgörs av formerandet av kunskapscentrum och nätverk (se avsnitt 4.1.3). En annan kan vara att jobba med utbildningspolitik både på högskolenivå och inom grundskolan, med inspiration från det relativt etablerade forskningsfältet om didaktik för hållbar utveckling (Schreiner, Henriksen et al. 2005, Vare and Scott 2007). En sådan strategi skulle vara långsiktig men viktig för möjligheterna att bygga stöd för politik med hög transformativ potential (jmf. Geels and Verhees 2011). Samtidigt kan en ökad synlighet av effekterna av klimatförändringar också påverka opinionen liksom politiken i en riktning som öppnar upp ett större reformutrymme (Howlett 2014). Att blunda för uppenbara problem kan nämligen också leda till beskyllningar om politiska misslyckanden.

Även inom demokratier finns nyanser, olika politiska system ger olika typer av reformutrymme. Om målet är att kunna införa klimatpolitiska reformer har den svenska typen av parlamentariskt system utvärderats som relativt fördelaktigt jämfört med republiker. Det har förklarats med att även presidenter är riskobenägna samtidigt som de åtnjuter fler möjligheter att utverka veton. I parlamentariska demokratier finns möjlighet att bygga koalitioner och sprida politiska risker mellan fler aktörer. En bred parlamentarisk uppslutning bakom införandet av nya styrmedel kan stå som garant för att väljare inte lämnar enskilda partier på grund av eventuellt misslyckad politik (Lachapelle and Paterson 2013). I Sverige kan användandet av parlamentariska utredningar, med politisk representation i utredningskommittéerna, fungera som ett sätt att bygga långsiktigt stabil klimatpolitik i likhet med exempelvis Miljömålsberedningens utformning.

Att bygga acceptans bland industriaktörer är också viktigt. I de fall politik för bio-CCS innebär att ökade produktionskostnader kommer att bäras av industrin är

lärdomen från litteraturen om klimatstyrning tydlig: motståndet förväntas bli högt och protesterna välorganiserade och synliga. Den etablerade industriella sektorn har ofta både redan upprättade kanaler för direktpåverkan på politiken samt hög kunskap om och samordning kring opinionsbildning. Industriell opposition mot klimatpolitik är ofta högre om nyttan är primärt kollektiv och kostnaden bärs av få privata aktörer. Motståndet ökar dessutom om det, likt för bio-CCS, är frågan om en ökad kostnad utan en tydlig intäktssida (De Cian and Massimo 2012). Motståndet kan antas bli extra stort om industrin gjort stora privata investeringar i irreversibelt kapital, alltså investeringar som är inlåsta i kapital som saknar eller har lågt andrahandsvärde. Det finns otaliga exempel på denna typ av motstånd mot ny styrning inom klimatområdet, inte bara från fossilintensiv industri utan också från exempelvis producenter av biobränsle. Strax efter införandet av EU:s direktiv för att främja förnyelsebar energi³⁰ argumenterade reformförespråkare för behovet att hantera biobränsleproduktionens indirekta klimateffekter inom markanvändning. Biobränsleproducenter, å sin sida, visade ovilja att stödja reformer med motivet att de precis storsatsat på affärsmodeller som helt baserades på direktivet (Jordan and Matt 2014).

Om ökade produktionskostnader till följd av klimatpolitik läggs eller övervältras på svenska konsumenter är lärdomen att ju mer drastiska kostnadsökningar är desto högre socialt motstånd skapar de (Jagers, Martinsson et al. 2019). Liknande slutsatser görs även i andra länder vilket talar för en succesiv infasning och uppskalning (Mercure, Pollitt et al. 2014, Carattini, Carvalho et al. 2018). Å andra sidan är socialt motstånd ofta mindre välorganiserat än industriellt motstånd. Många forskare menar därför, något syniskt, att det kan vara en fördel att övervältra ökade produktionskostnader koncentrerade till få industrier på slutkonsumenter, dels därför att kostnaden per betalande aktör då späds ut och dels därför att deras organisatoriska och finansiella kraft till påverkan är låg (Lehmann and Gawel 2013, Jenkins 2014). Det förutsätter dock, som redan nämnts, att kostnadsökningen per person inte blir dramatisk. Ett alternativ vid hög kostnadsökning är att sprida totalkostnaden över olika betalningstillfällen, vilket skulle kunna genomföras med hjälp av en sammansättning av styrmedel.

Successiv infasning och höjning av prisnivåer eller teknikkraV, kostnadsneutral skattevaxling och öronmärkning av intäkter från skatt till specifika ändamål – som FoU klimatsmarta lösningar, subventioner av förnyelsebar elproduktion, eller investeringsstöd i klimatomställning – kan också bygga acceptans för ett styrmedel (Amdur, Rabe et al. 2014, Carl and Fedor 2016, Jagers, Martinsson et al. 2019). Flera studier har dessutom visat att acceptans för specifika klimatpolitiska styrmedel

³⁰ Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/28/EG av den 23 april 2009 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor och om ändring och ett senare upphävande av direktiven 2001/77/EG och 2003/30/EG.

tenderar att öka direkt efter att de införts, vilket förklarats med en möjlighet att förstå dess konsekvenser och att de varningstecken som höjs inför antagandet av nya klimatpolitiska instrument kommer ofta komma på skam (Dreyer, Walker et al. 2015).

Alla dessa erfarenheter stärker argumentet för att reformera existerande styrmedel alternativt för en succesiv infasning av nya klimatpolitiska styrmedel. Det talar också till vikten av att vara transparent med ett styrmedels positiva effekter på måluppfyllelse och att tydligt kommunicera sidonyttor såsom minskade trafikproblem och renare luft (Carattini, Carvalho et al. 2018). Genom socialt lärande kan acceptans på så vis byggas över tid, vilket ökar möjligheten att succesivt skärpa lagstiftningen.

Ett intressant och potentiellt viktigt resultat av senare års forskning är möjligheterna att satsningar på bio-CCS kan åtnjuta större social acceptans än satsningar på fossilenergi med CCS. Både breda enkätstudier (Fridahl and Lehtveer 2018) och studier av fokusgrupper (Dütschke, Wohlfarth et al. 2016) har visat att stödet för bio-CCS generellt är större än stödet för fossilenergi med CCS. Därmed inte sagt att bio-CCS prioriteras högt för investeringar bland en bred flora av aktörer eller att bio-CCS åtnjuter hög social acceptans, de få studier som finns på detta tema visar att så inte är fallet. Bio-CCS prioriteras ofta lägre än exempelvis vindkraft eller solkraft, men relativt fossil CCS är stödet för bio-CCS högre. Det finns därför eventuellt möjligheter att bygga acceptans för en bredare tillämpning av CCS genom att inledningsvis rikta stöd till bio-CCS. Å andra sidan visar vissa studier på att skillnaderna mellan olika aktörsgrupper kan vara stora. Miljörörelsen, som under en längre tid kritiserat både investeringar i fossilenergi med CCS (bland annat för att göra "konstgjord andning" på fossilindustrin) och i biobränslen (bland annat för negativa effekter på biologisk mångfald och brister i social hänsyn) är betydligt mer skeptiska till satsningar på bio-CCS än exempelvis regeringsrepresentanter (Fridahl 2017, Fridahl and Lehtveer 2018).

4.3.7 Koldioxidläckage

Att sätta ett pris på koldioxid eller på andra sätt introducera en kostnadsökning vid produktion av varor utsatta för hög internationell konkurrens, i syfte att minska utsläpp, kan skapa komparativa fördelar för produktion i länder som saknar långtgående klimatpolitik. Det kan leda till så kallat koldioxidläckage, det vill säga att produktionen flyttas eller produktionsvolymerna minskar till följd av konkurrens. Koldioxidläckage urholkar ett styrmedels klimatnytta. Även om det i nationell bokföring av utsläpp kan se ut som om styrmedlet fått effekt på måluppfyllelse kan denna effekt, om hänsyn tas till koldioxid inkluderat i internationell handel, visa sig vara undergrävd. Om tillräckligt stor del av tidigare nationell produktion istället sker

i andra länder med högre utsläppsintensitet kan nationell klimatpolitik teoretiskt sett till och med leda till ökade globala utsläpp.

Vissa branscher är mer utsatta för risk för koldioxidläckage än andra branscher. För bio-CCS gäller det i högre grad för exempelvis produktion av papper och pappersmassa än för kraft- och värmeproduktion. Begränsad överföringskapacitet hämmar risken för direkt koldioxidläckage inom kraftproduktion. Inom vissa sektorer är dock risken reell. Å andra sidan behöver hänsyn också tas till indirekta effekter. Om exempelvis priset på el ökar till följd av klimatpolitik finns risk för koldioxidläckage i elintensiv och konkurrensutsatt industri. Det kan i sin tur leda till ökade komparativa fördelar för produktion i andra länder på grund av relativt sett lägre elkostnader i länder utan stringent klimatpolitik. Följden kan bli ökade globala utsläpp både i direkt i industrisektorn och, indirekt, vid kraftproduktion (Paroussos, Fragkos et al. 2015).

Ändringar i kontextuella faktorer, exempelvis utökad överföringskapacitet av el eller försvagad klimatpolitik i länder med konkurrerande produktion, kan dessutom ändra riskbilden. Att kontextuella faktorer är viktiga för ett reformutrymme, i termer av politisk genomförbarhet, kan exemplifieras med introduktionen av flyg i EU:s system för handel med utsläppsrätter. Denna utvidgning av handelssystemet har utvärderats som starkt beroende av att flera positiva kontextuella faktorer sammanföll i tid och samverkande till förmån för att handelssystemet också skulle omfatta flyg inom EU (Buhr 2012). Parisavtalet innebär också en ökad diversifiering av nationell klimatpolitik, vilket å ena sidan kan minska risken för koldioxidläckage (om fler länder bedriver mer stringent klimatpolitik) men å andra sidan försvårar överblicken för åtgärder riktade mot att förhindra koldioxidläckage (risken för läckage minskar ju fler länder som parallellt antar samma eller jämförbara klimatpolitiska åtgärder). Ökad protektionism och hot om utträde från Parisavtalet visar också på scenarion med förhöjd risk för koldioxidläckage.

Så länge staten inte bär stora delar eller hela merkostnaden för bio-CCS i sektorer som är utsatta för hög internationell konkurrens finns det risk för koldioxidläckage. Merkostnaden är normalt sett högre vid marknadsintroduktion än i en mer mogen fas av en tekniks utrullning, vilket kan tala för extra behov av offentligt stöd vid marknadsintroduktion.

Politik för riskhantering av koldioxidläckage som följd av klimatpolitiska styrmedel har normalt som mål att minska nationella utsläpp utan att för den skull minska de nationella produktionsvolymerna. I Sverige har vissa sektorer exempelvis undantagits från, eller fått kraftiga nedsättningar av, koldioxidskatt (Martinsson and Fridahl 2018). Inom EU:s system för handel med utsläppsrätter används fri tilldelning av utsläppsrätter till produktionsenheter som anses utsatta för risk för koldioxidläckage, en form av produktionsbaserad rabatt på kostnaden för utsläpp (Böhringer, Rosendahl et al. 2017). I båda fallen rör det sig om justeringar bakom snarare än vid

de territoriella gränserna för en ekonomi, angreppssätt som ofta kritiserats för att vara ineffektiva, skapa perverterade incitament och generera oförtjänta vinster (Mehling, Asselt et al. 2017).

Ett problem med prissättning på fossil koldioxid i kombination med produktionsbaserade rabatter, exempelvis fri tilldelning av utsläppsrätter, är att det skapar incitament till överproduktion. Det skapar i sin tur välfärdsförluster och minskar måluppfyllelsen, problem som går att hantera med en konsumtionsskatt på relevanta produkter. Konsumtionsskatten skulle kunna främja substitut och på så vis minska överproduktionen. Böhringer et al. (2017) menar att en sådan kombination av styrmedel skulle kunna vara lika eller, under vissa förutsättningar, till och med mer kostnadseffektiv än koldioxidtullar utan att begränsa förmågan till måluppfyllelse.

Existerande klimatpolitik, det vill säga på ett pris på fossil koldioxid kombinerat med en produktionsbaserad rabatt, innebär att implicit produktionssubventioner ges till industrin (Böhringer, Rosendahl et al. 2017). Konsekvensen blir som sagt främjande av fortsatt konsumtion på bekostnad av minskad offentlig intäkt. Det kan jämföras med en koldioxidtull som snarare verkar genom effekt på minskad efterfrågan på utländskt producerade varor. Om så önskas kan staten, enligt Böhringer et al. (2017), alltså kombinera den produktionsbaserade rabatten med en konsumtionsskatt, vilken i sin tur kan finansiera de implicita subventionerna. En konsumtionsskatt kan dock skapa andra problem, exempelvis bristande social acceptans, särskilt om det gäller exportorienterade branscher. Om merkostnaden för klimatvänlig produktion bärs av svenska medborgare medan varan konsumeras internationellt kan styrmedlet uppfattas som en svensk subvention av utländsk konsumtion. Liknande diskussion har först kring systemen med miljöbilspremier och bonus-malus vid bilköp, där kritikerna menar att svenska subventionerar går till miljöbilsexpansion i utlandet.

Applicerat på bio-CCS blir logiken lite annorlunda. Produktionsenheter som använder hållbart producerad bioenergi istället för fossilenergi är, ur ett klimatperspektiv, att föredra eftersom det ger ett nollutsläpp. Genom användandet av bioenergi bidrar dessa producenter till klimatomställningen. Att genom ekonomiska incitamentsstrukturer uppmuntra till bio-CCS innebär alltså inte en internalisering av en negativ extern effekt (ett utsläpp) utan snarare en uppmuntran att internalisera en positiv extern effekt (ett negativt utsläpp). Om en ökad kostnad för produktion med bioenergi, till följd av styrning för att uppmuntra CCS på dessa anläggningar, belastar producenten finns risk för koldioxidläckage av ett allvarligare slag än om inhemsk produktion med fossilenergi konkurreras ut av utländsk produktion med fossilenergi. Detta skulle möjligen kunna motivera en högre acceptans för viss överproduktion, liksom för ovanligt hög statlig subventionering av investering i och drift av bio-CCS för att undvika koldioxidläckage. På samma sätt som en negativ

externalitet kan hanteras genom exempelvis en skatt kan en positiv externalitet motivera en subvention.

I den klimatpolitiska verktygslådan ingår även andra typer av kompensatoriska subventioneringar. Bland de som utvärderats som mest effektiva för måluppfyllelse (i termer av minskade nationella och globala utsläpp) är stringent klimatpolitik i kombination med riktade subventioner till koldioxidintensiv industri (Paroussos, Fragkos et al. 2015). Exempelvis ett pris på koldioxid ger incitament för industrin att minska sina utsläpp samtidigt som subventioner ökar kapaciteten att investera i klimatomställning med marginell påverkan på produktionskostnaden (för företaget). Intäkterna från prismetoden kan öronmärkas för återbetalning i form av subventioner för klimatomställning. Ett sådant system kräver dock relativt hög administrationsnivå. Gällande bio-CCS skulle administration kunna hållas relativt överblickbar eftersom antalet punktutsläpp som kan vara aktuella för bio-CCS är relativt få (Grönkvist 2010, Fridahl 2018). Genom succesiv infasning av vilka produktionsenheter som täcks av ett ekonomiska styrmedel och som är aktuella för kompensation i form av olika subventioner för att hantera klimatomställningen utan koldioxidläckage, kan den administrativa bördan också fördelas över tid. Med rätt utformade subventioner, som fokuserar på möjligheter till lärande, skulle en succesiv utvidgning av styrningen också ge möjlighet till att dra lärdomar av ackumulerad erfarenhet och till att sprida kunskap som genereras i enskilda projekt. Det, i sin tur, innebär potential för ökad kostnadseffektivitet.

Ett annat sätt att undvika koldioxidläckage är att vidta åtgärder vid gränsen, framförallt att införa koldioxidtullar eller exportsubventioner. Jämfört med åtgärder bakom gränsen, exempelvis undantag eller skatterabatter, fri tilldelning eller kompensatoriska subventioner, har koldioxidtullar ofta utvärderats som både mer kostnadseffektiva och pricksäkra (Böhringer, Carbone et al. 2012). Applicerat på bio-CCS skulle det exempelvis kunna innebära att krav ställs på att produktion av papper måste ske med bio-CCS. Papper som importeras belastas samtidigt med en tull motsvarande merkostnaden för produktion av papper till följd av installation och drift av bio-CCS. Ett papper som exporteras från Sverige, som producerats med bio-CCS, erhåller en motsvarande subvention.

De flesta forskare menar att miljötullar är förenliga med internationell rätt förutsatt att de inte är diskriminerande, det vill säga att tullarna gäller för en kategori produkter oavsett territoriellt ursprung. Detsamma bör gälla exportsubventioner. Ur ett WTO-perspektiv skulle dessa, i juridisk mening och förutsatt att återbetalningen vid export inte överstiger merkostnaden för produktion med bio-CCS, inte förstås som en otillåten subvention (Andersen 2018). En koldioxidtull ska alltså ha fokus på de utsläpp som en produkt genererat, inte dess territoriella ursprung.

Koldioxidtullar har som sagt utvärderats som ett kostnadseffektivt alternativ till åtgärder bakom gränserna, ett alternativ som dessutom presterar bra i relation till

måluppfyllelse. Samtidigt är den praktiska erfarenheten av koldioxidtullar låg. Enligt Böhringer et al. (2017) vittnar avsaknaden av koldioxidtullar om att deras införande är politiskt komplicerade bland annat på grund av rädsla att de inte är förenliga med internationell handelsrätt. Andra faktorer som nämnts som potentiell hinder är uppfattningar om att koldioxidtullar skulle bli för komplexa att administrera (Krenek, Sommer et al. 2018). Både i Kalifornien³¹ och i EU³² har koldioxidtullar relaterade till deras utsläppshandelssystem föreslagits och röstas ned till förmån för fri allokering av utsläppsrätter.

Gränsjusteringar behöver inte genomföras genom en koldioxidtull med krav på kontant inbetalning, de kan också innebära krav på upplåtande av utsläppsrätter eller andra handelsinstrument, såsom certifikat (Andersen 2018).

Inom EU finns redan existerande möjligheter till reform för koldioxidtullar. Sedan 2009 års reformering av EU:s system för handel med utsläppsrätter är det möjligt att kräva att importörer deltar i handelssystemet. En monetär koldioxidtull skulle förmodligen vara enklare att administrera men eftersom det juridiska utrymmet för avkrävande av utsläppsrätter motsvarande utsläpp för importerade varor redan existerar kan det vara en politiskt mer framkomlig väg (Krenek, Sommer et al. 2018). Å andra sidan skvallrar motståndet mot EU:s försök att inkludera flyg till och från EU i handelssystemet om svårigheterna att skapa internationell politisk acceptans för denna typ av styrning (Fouré, Guimbard et al. 2016). Ur både administrativt och diplomatiskt hänseende skulle det förmodligen gå att förenkla kraven på att inkludera importörer i utsläppshandeln. Redan existerande riktmärken för olika industri-ers utsläpp utvecklade inom ramen för EU: system för handel med utsläppsrätter skulle kunna användas som proxy för utsläpp från produktion av importerade varor, alternativt kan fokus lägga på elintensitet i produktion kopplat till indirekta utsläpp från elproduktion i det land från vilken varan importeras (Krenek, Sommer et al. 2018). Båda alternativen har brister i målstyrning och öppnar potentiella kryphål men skulle kunna fungera som lägstanivå för att så småningom bygga ett mer heläckande och kostnadseffektivt system för att hantera koldioxidläckage inom EU.

Ett alternativ kan vara produktionsstandarder som kan exemplifieras av EU:s hållbarhetssystem för biobränslen.³³ Ett EU-land som räknar av användandet av ett

³¹ SB-775 California Global Warming Solutions Act of 2006: market-based compliance mechanisms.

³² Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC to enhance cost-effective emission reductions and low-carbon investments. COM(2015)0337 of 15 July 2015, procedure ref.: 2015/0148(COD) [föreslag från Europaparlamentets utskott för Miljö, folkhälsa och livsmedelssäkerhet (ENVI)].

³³ Meddelande från kommissionen om det praktiska genomförandet av EU:s hållbarhetssystem för biodrivmedel och flytande biobränslen och om beräkningsregler för biodrivmedel. EUT C 160, 19.6.2010.

biobränsle mot sitt åtagande under direktivet för att främja förnyelsebar energi³⁴ eller som vill subventionera förnyelsebart i enlighet med EU:s statsstödsregler³⁵ måste kunna säkerställa att hållbarhetskriterierna uppfylls, oavsett om produktionen är inhemsk eller om bränslet importerats. Kriterierna tillämpas för att minska risken för att produktion av biobränslen påverkar klimatet eller den biologiska mångfalden negativt i det land de produceras.

Oavsett typ innebär justeringarna vid gränsen utmaningar för bokföring och övervakning. Risken för omfattande administration och transaktionskostnader är hög, liksom risken för att skapa kryphål. Vid större produktionsenheter inom begränsade sektorer skulle administrationen kunna vara mer begränsad, vilket talar till fördel för gränsjusteringar i en bio-CCS-kontext eftersom denna teknik, på grund av sina höga kapitalkostnader, normalt sett inte appliceras vid små produktionsvolymmer. Det gör implementering av bio-CCS överblickbar och förenklar förmodligen analys och utformningen av nivåer på tullar. Men systemen för att beräkna hur mycket koldioxid som uppstått till följd av produktion av handelsvaror måste anpassas till nationella omständigheter i exportlandet samt ständigt uppdateras för att inte riskera att bryta mot diskrimineringslagstiftning i internationell handelsrätt. Även om enklare proxys används kommer ett sådant system att vara belastat med hög administration.

³⁴ Direktiv 2009/28/EG om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor och om ändring och ett senare upphävande av direktiven 2001/77/EG och 2003/30/EG.

³⁵ Meddelande från Kommissionen: Riktlinjer för statligt stöd till miljöskydd och energi för 2014–2020 (2014/C 200/01).

5 Potential för utvecklad incitamentsstrukturer: transport och lagring av biogen koldioxid i Sverige och Europeiska unionen

Transport och lagring av biogen koldioxid kan samordnas med infrastruktur för fossil CCS. Det skulle kunna ge stora skalfördelar (Grönkvist, Grundfelt et al. 2008, Grönkvist 2010). Fossilenergi med CCS, för vilket incitament till viss del redan existerar, kan också bidra till att kapacitet för transport och lagring utvecklas och därmed skapa grundförutsättningar för framtida transport och lagring av biogen koldioxid.

Den norska lagringen av fossil koldioxid i Utsiraformationen vid Nordsjön och Snøwhit i Norska havet är ett exempel som till stora delar är en följd av politiska incitamentsstrukturer. Förutom en lång tids norska subventioner av FoU liksom demonstrationsprojekt, som minskat investeringskostnaden för enskilda företag som engagerar sig i CCS, finns både europeisk och norsk lagstiftning som gör lagring mer konkurrenskraftigt relativt utsläpp.

Medan subventioner bidragit till att få anläggningarna på plats ger en kombination av ekonomiska styrmedel och regleringar bärkraft för drift av anläggningen. Naturgas från fälten Snøwhit, Sleipner Vest och Gudrun har uppgraderats genom avskiljning av koldioxid för att möta krav för försäljning inom EU. Den separerade koldioxiden lagras sedan i reservoarer som följd av pris på fossil koldioxid. Olje- och gasutvinning på den norska kontinentalsockeln täcks både av norsk koldioxidskatt och EU:s system för handel med utsläppsrätter. Skatten låg 2018 på cirka 475 kronor per ton koldioxid. Omställningstrycket från systemet för handel med utsläppsrätter har varit betydligt lägre. Under 2018 har det dock justerats till en något högre nivå, i genomsnitt cirka 150 kronor per ton, till följd av reformer av handelssystemet samt ökad europeisk efterfrågan på el vilket drivit upp efterfrågan på utsläppsrätter.³⁶ Sammantaget har dessa ekonomiska styrmedel, kombinerat med subventioner av FoU och demonstrationsanläggningar samt krav på låga mängder koldioxid i gas för försäljning inom transportsektorn i EU, alltså gett tillräckligt höga incitamenten för att avskilja och lagra koldioxid i formationerna Utsira och Snøwhit.

Under 2018 gav norska staten klartecken för satsningar på utvidgad infrastruktur för transport och lagring av koldioxid, både från egna källor och från övriga delar av Europa. Tanken är att utveckla en flexibel infrastruktur för transport via båt, med uppsamlingsplatser för vidare rörbunden transport till lagringsplatser. Jämfört med ett system som uteslutande består av rörledning skapar ett system med

³⁶ <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/fire-av-ti-klimavoter-gratis>
<https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/fire-av-ti-klimavoter-gratis>

kombinerade båt- och rörtransporter större flexibilitet för europeiska aktörer som vill engagera sig i CCS.

5.1 Harmonisering av reglering för gränsöverskridande transport

I dagsläget förbjuder Londonprotokollet till Londonkonventionen om att förhindra marin förorening export av koldioxid i syfte att dumpas (lagras) under havsbotten. Ett tillägg till Londonprotokollet, som om det träder i kraft skulle häva exportförbudet, är färdigförhandlat. Ratificeringsprocessen går dock långsamt. För ikraftträdande krävs att 2/3 av protokollets 51 kontraktsparter ratificerar tillägget. I augusti 2018 hade fem länder ratificerat tillägget (Iran, Finland, Norge, Storbritannien och Nederländerna). Vid denna tidpunkt saknades alltså 29 ratificeringar för ikraftträdande.

Sverige har goda möjligheter att själva skyndsamt ratificera tillägget till Londonprotokollet och dessutom trycka på för att andra EU-medlemsstater ska göra det samma. Ratificering av protokolltillägget skulle hjälpa till att harmonisera internationell rätt med EU-rätt (CCS-direktivet³⁷) samt Oslo-Pariskonventionen om skydd av den marina Nordatlantiska miljön. Det kan också finnas möjligheter till enskilda efterföljandeavtal eller interimistiska avtal mellan ratificerande parter, en svensk ratifikation av tillägget till Londonprotokollet skulle därför också kunna öppna dörrar för utvecklat samarbete med Norge.

I denna kontext bör Sverige också undersöka potentialen för att koordinera påverkan på övriga EU-medlemmar med stöd hos andra parter som ratificerat tillägget: Finland (som medlemsland i EU), Norge (som medlemsland i Europeiska ekonomiska samarbetsområdet för vilket CCS-direktivet är relevant) och eventuellt också Storbritannien, beroende på utgången av Brexit.

5.2 Inhemsk lagringskapacitet

5.2.1 Helsingforskonventionen

Jämte harmonisering av internationell rätt för att främja möjligheterna att samarbeta kring lagringskapacitet i Norge kan det också finnas potential för samarbete med Finland för ändringar i Helsingforskonventionen i syfte att tillåta lagring av koldioxid under Östersjön. Finland har ingen egen större potential för sådan lagring men samarbeten med Sverige kan bli aktuellt i framtiden, för att utveckla kapacitet för

³⁷ Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/31/EG av den 23 april 2009 om geologisk lagring av koldioxid och ändring av rådets direktiv 85/337/EEG, Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG och 2008/1/EG samt förordning (EG) nr 1013/2006.

lagring i Östersjön till vilken Finland skulle kunna exportera koldioxid. Det faktum att Finland ratificerat tillägget till Londonprotokollet kan vara en indikation på att frågan om gränsöverskridande export av koldioxid för lagring under havsbotten inte är irrelevant i finsk politik.

5.2.2 Förenklad tillståndsprövning

Ett flertal svenska lagar som möjliggör transport och lagring inom de territoriella gränserna är redan utformade. De innehåller dock reformutrymme för förenklade tillståndprocesser liksom vägledning för aktörer som vill söka tillstånd för transport respektive prospektera för lagring. Tillståndsprövning under CCS-direktivet är erkänt långsam vilket delvis tillskrivits den stora mängd av tillståndsmyndigheter som är inblandade i prövningsprocessen (Kapetaki and Scowcroft 2017). Det skapar investeringsrisker associerade med långa och osäkra processer.

Jämte vägledning är det också möjligt för staten att hantera dessa risker genom att själv ta ansvar för lagring, exempelvis genom ett existerande statligt bolag med relevant kompetens eller ett nystartat bolag med huvudsyfte att transportera och lagra koldioxid genom eller i Sverige.

5.3 Infrastruktur och övervakning

5.3.1 Infrastruktur för transport och lagring och europeiska finansieringskällor

Att satsa på infrastruktur för transport och lagring i avsaknad av stora mängder avskild koldioxid är riskfyllt. Detsamma gäller dock satsningar på avskiljning utan utbud av lösningar för transport och lagring. Det skapar behov av incitamentsstrukturer som är kapabla att bygga kapacitet för avskiljning parallellt med kapacitet för transport och lagring. Exempelvis den norska satsningen på infrastruktur för transport och lagring bygger på en riskfylld affärsmodell där aktörer utanför Norge engagerar sig för ökade stordriftsfördelar och kostnadsspridning. Fördelning av riskerna mellan fler aktörer kan vara ett sätt att bistå norska staten i denna satsning där både EU och Sverige kan spela en viktig roll. Redan idag finns exempel på ömsesidigt stöd i svensk-norska satsningar på svensk avskiljningskapacitet och norsk lagringskapacitet. I början på 2019 beviljade Energimyndigheten 7,7 miljoner kronor till att utveckla CCS vid Preems raffinaderi i Lysekil med medel från Industriklivet. Tillsammans med ett stöd på 10,2 miljoner kronor (9,5 miljoner norska kronor) från Gassnova i Norge (se avsnitt 4.1.4) är projektet tänkt att demonstrera hela CCS värdekedja, från avskiljning i Lysekil, via transport, till lagring utanför Norges kust. Projektet sätter också press på politiken att hantera frågan om juridiska hinder för gränsöverskridande transport av koldioxid (se avsnitt 5.1).

På EU-nivå finns redan idag möjlighet att söka finansiering för gränsöverskridande transportinfrastruktur. Den tydligaste europeiska finansieringskällan till infrastruktur för transport och lagring av koldioxid är Fonden för ett sammanlänkat Europa.³⁸ Om Sverige engagerar sig i att utveckla och tillhandahålla infrastruktur för transport och lagring av koldioxid bör möjligheterna att söka medel ur denna fond undersökas.

5.3.2 EU:s system för handel med utsläppsrätter och hinder för sjötransport

CCS täcks uttryckligen EU:s system för handel med utsläppsrätter.³⁹ Koldioxid som avskiljs, transporteras och lagras räknas inte som utsläpp. Direktivet täcker dock inte transport via båt, vilket är den tekniska lösning som Norges satsning på transport och lagring baseras på. Om koldioxiden överförs till en båt måste den därför bokföras som ett utsläpp. Detta innebär problem för aktörer som vill engagera sig i CCS (av fossil koldioxid) men utgör i dagsläget inget direkt hinder för bio-CCS eftersom biogena utsläpp räknas som neutrala (nollutsläpp) inom utsläppshandels-systemet. Indirekt, däremot, kan det påverka möjligheterna till samordning av transport av fossil och biogen koldioxid, exempelvis från aktiviteter som släpper ut både biogen och fossil koldioxid såsom sopförbränningsanläggningar eller av koldioxid från olika men närliggande anläggningar. Om denna brist i EU-rätt påverkar eventuella CCS-aktörer kan det alltså få en indirekt påverkan på bio-CCS.

Om bio-CCS i framtiden också tillåts genererar utsläppsrätter inom handelssystem (se avsnitt 4.3.3) kan denna lucka i regelsystemet eventuellt ha direkt påverkan på bio-CCS, beroende på hur reglerna för att generera sådana utsläppsrätter utformas.

Kujanpää och Teir (2017) menar att en revidering av EU:s förordning för övervakning och rapportering av utsläpp som täcks av EU:s system för handel med utsläppsrätter⁴⁰ inte behöver vara särskilt komplicerad för att tillåta att sjötransport av koldioxid för geologisk lagring (godkänd enligt CCS-direktivet) kan anses ingå inom ramen men för samma verksamhet där avskiljning, komprimering och mellanlagring sker. På så vis skulle utsläppsrätter inte behöva överlåtas i samband med överföring av koldioxid från mellanlager till båt. Stationära enheter för komprimering, mellanlagring och slutförvaring täcks redan av utsläppshandelsdirektivet och förordningen om övervakning och rapportering. De saknade reglerna för övervakning och

³⁸ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 1316/2013 av den 11 december 2013 om inrättande av Fonden för ett sammanlänkat Europa, om ändring av förordning (EU) nr 913/2010 och om upphävande av förordningarna (EG) nr 680/2007 och (EG) nr 67/2010.

³⁹ Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/29/EG av den 23 april 2009 om ändring av direktiv 2003/87/EG i avsikt att förbättra och utvidga gemenskapssystemet för handel med utsläppsrätter för växthusgaser.

⁴⁰ Kommissionens förordning (EU) nr 601/2012 av den 21 juni 2012 om övervakning och rapportering av växthusgasutsläpp i enlighet med Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG.

rapportering av utsläpp från lasten på båt, det vill säga koldioxiden, skulle kunna kopieras nästan ord för ord från massbalansmetoden beskriven i EU:s förordning om övervakning och rapportering av koldioxidutsläpp från sjötransporter.⁴¹

I det fall en revidering av det allmänna regelverket tar tid bör Sverige och Norge också kunna utnyttja möjligheten att unilateralt ansöka om att inkludera sjötransport av koldioxid för geologisk lagring i systemet för handel med utsläppsrätter. Det ska i så fall ske i enlighet med artikel 24 (förfaranden för unilateralt införande av ytterligare verksamheter och gaser) i utsläppshandelsdirektivet.⁴²

5.3.3 CCS-direktivet: övervakning och ansvar för negativa konsekvenser av läckage

På samma sätt som risker kan behöva spridas mellan olika stater och för att öka mängden tillgängligt kapital, exempelvis för att övertyga motståndare att intresset är internationellt, kan risker också komma att behöva delas mellan stat och privata aktörer. Vad gäller transport och lagring handlar det dels om statliga satsningar på transportinfrastruktur men också ansvar för långsiktig övervakning av koldioxidlager.

I dagsläget föreskriver CCS-direktivet att ansvar för övervakning i normalfallet kan överföras till behörig myndighet 20 år efter att en lagringsdepå stängts. Vid detta tillfälle ska verksamhetsutövaren också bidra finansiellt till behörig myndighet för att täcka kostnaden för övervakning i ytterligare minst 30 år. Om läckage uppstår måste verksamhetsutövaren försöka åtgärda detta samt överlämna utsläppsrätter motsvarande läckagets storlek. Det finns möjlighet att överföra ansvar tidigare än efter 20 år förutsatt att behörig myndighet är övertygad om att koldioxiden är ”fullständigt och varaktigt innesluten”⁴³ och att de finansiella åtagandena uppfyllts. Med överföring av övervakningsansvar följer också överföring av juridiska skyldigheter förknippade med läckage, exempelvis för klimatskador eller skador på liv och egendom.

⁴¹ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2015/757 av den 29 april 2015 om övervakning, rapportering och verifiering av koldioxidutsläpp från sjötransporter och om ändring av direktiv 2009/16/EG.

⁴² Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaserna inom gemenskapen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG.

⁴³ Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/31/EG av den 23 april 2009 om geologisk lagring av koldioxid och ändring av rådets direktiv 85/337/EEG, Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG, 2006/12/EG och 2008/1/EG samt förordning (EG) nr 1013/2006, artikel 18.1.b.

Även om det finns möjligheter att reformera CCS-direktivet för att ytterligare minska på ansvaret för privata aktörer och på så vis främja investeringar är direktivet redan idag, med kompletterande vägledning från Europeiska Kommissionen, på ett övergripande plan tillräckligt tydligt för att ge en stabil planeringshorisont och därmed reducera investeringsriskerna. Kommissionen har dessutom genomfört en granskning av CCS-direktivet som slutrapporterades 2015.⁴⁴ Rapporten fastslår att CCS-direktivet är väl lämpat för sin uppgift och inte behöver reformeras. Det kan därför vara svårt att få gehör för att reformera direktivet.

Vissa anser att 20 år utgör en lämplig avvägning mellan uppmuntran för aktörer att ta tillräckligt ansvar för att maximera klimatnyttan och samtidigt inte pådyvla aktörer ett oproportionerligt stort ansvar för övervakning och negativa effekter av långsiktigt läckage (Lako, van der Welle et al. 2011). Samtidigt har två aspekter pekats ut som problematiska, båda handlar om oprecisa formuleringar: 1) vad kravet på att kunna uppvisa att den lagrade koldioxiden kommer att förbli fullständigt och varaktigt innesluten i lagringsdepån innebär, och 2) vad kravet på verksamhetsutövarens finansiella bidrag till behörig myndighet, vid ansvarsöverföring, ska omfatta.

CCS-direktivet utgör en miniminivå för reglering av lagring som medvetet lämnar stort utrymme till medlemsstaterna att precisera hur direktivet ska genomföras och kompletteras genom nationell lagstiftning (Weber 2018). Sverige har därför goda möjligheter att precisera vad som krävs för att kunna anse att permanent lagring bevisats samt hur den finansiella mekanismen ska tolkas. Erfarenhet kan hämtas från Nederländerna som hanterat dessa frågor relativt pragmatiskt i anslutning till ROAD-projektet (Rotterdam Opslag and Afgang Demonstratieproject) som pågick mellan 2009 och 2017. Exempelvis har Nederländerna ansett att det finansiella bidraget endast behöver täcka kostnader för faktisk övervakning medan exempelvis Storbritannien också kräver finansiell säkerhet för eventuella kostnader relaterat till direktivet för miljöansvar och miljöskador.⁴⁵ Den vidare tolkningen, eller att som Frankrike avstå från att specificera vad som gäller, kan utgöra för stora risker för investerare att engagera sig i koldioxidlagring.

Slutligen menar vissa att det också kan finnas behov av att förtydliga möjligheterna för tredjepartsanslutning till existerande lagringsdepåer, det vill säga vad som ska gälla om en tredje part är intresserad av att använda en del av existerande lagringskapacitet (Lako, van der Welle et al. 2011, Weber 2018).

⁴⁴ Report on review of Directive 2009/31/EC on the geological storage of carbon dioxide. Brussels, 18.11.2015 COM(2015) 576 final.

⁴⁵ Europaparlamentets och rådets direktiv 2004/35/EG av den 21 april 2004 om miljöansvar för att förebygga och avhjälpa miljöskador.

5.3.4 CCS-direktivet och biogen koldioxid

En specifik problematik som kan uppstå för bio-CCS, relaterat till CCS-direktivet, är kravet på att överlämna utsläppsrätter vid läckage. Om utsläppshandelssystemet reformerats för att tillåta bio-CCS att genererar utsläppsrätter utgör kravet på att överlämna utsläppsrätter vid läckage inget problem. Om bio-CCS även fortsättningsvis inte kan användas för att generera utsläppsrätter är det ologiskt att sådana ska överlämnas vid läckage av biogen koldioxid från lagringsdepåer. Det hela kompliceras av att lagringsdepåerna förmodligen kommer innehålla koldioxid av både biogen och fossil härkomst. Frågan om verksamhetsutövaren ska behöva överlämna utsläppsrätter för hela läckaget, eller enbart den andel som kan anses motsvara koldioxid av fossilt ursprung, kan därför komma att aktualiseras och bidra till osäkerheter för investerare.

5.4 Differentierad prissättning för pionjärer och kapacitetsstyrning

På kort sikt är svensk lagringskapacitet knappast aktuell, inte minst därför att både tillståndsprövning och kapacitetssupplyggnad tar lång tid. Det är också svårt att tänka sig att kapacitet för lagring utvecklas i Sverige utan att först ha demonstrerat storskalig avskiljning. Om det på medellång sikt visar sig att olika ovan beskrivna faktorer samverkar så att stora volymer av avskild biogen koldioxid går på export för lagring kan det eventuellt bli aktuellt att också utveckla kapacitet för svensk lagring. Även för transport och lagring finns det i så fall möjligheter att utveckla politik för olika faser i utvecklingen av lagringskapacitet, från nischhantering till kommersialisering. Som nämnts ovan i diskussioner om pris på koldioxid och skattekrediter (se avsnitt 4.3.2) kan stödsystemen på olika sätt differentieras för att främja pionjärer som är villiga att ta högre risker och därmed bära större kostnader. Om infrastruktur för transport och lagring exempelvis utvecklas av staten och denna ska vara behäftat med avgifter, då kan pionjärer uppmuntras genom reducerade kostnader eller avgiftsundantag upp till en viss nivå av levererad koldioxid. Det finns alltså möjlighet att introducera prissättning i separata nivåer som revideras i takt med att kunnandet ökar, tekniken mognar och positiva skalfördelar får effekt med följd att kapital- och driftskostnader sjunker. Även i dessa system finns möjlighet att främja bio-CCS framför fossil CCS, om så önskas, detta genom differentiering av avgifter kopplade till koldioxidens ursprung. Sådan styrning skulle kunna få effekt på utökade incitament för omställning från fossilt till förnyelsebart.

5.4.1 Kommersialisering och prissättning av kapacitet

På sikt finns möjlighet att det uppstår kapacitetsbrist i infrastrukturen för transport. I Norge har detta delvis hanterats genom att planera för överkapacitet i rörledning, med hänvisning till att denna kapacitet kan komma att behövas för att fylla

efterfrågan på lagringsinfrastruktur från exempelvis avskild koldioxid från Preems raffinaderier i Lysekil, potentiella andra aktörer inom EU samt framtida avskiljning och lagring från Equinors, Shells och Totals anläggningar i Norge.

Vid eventuell kapacitetsbrist kan prissättningen styra kapacitetsutnyttjandet, både geografiskt och över tid, under dygnets olika timmar och på vecko- och säsongsbasis. Paralleller kan eventuellt dras till prissättning för transporter på järnväg, med differentiering beroende av efterfrågan på tillgång till transportinfrastruktur i olika sträckor (tålågesavgift) samt efterfrågan vid olika tidpunkter med olika belastning (passageavgift). Hanteras transport däremot av privata aktörer kommer prissättningen troligtvis, åtminstone till viss del, att reflektera kapacitet.

Avvägningar kan slutligen komma att behöva göras mellan satsningar på utökad infrastruktur för maximering av kollektiv nytta kontra privata aktörers temporära avstängning av avskiljningsapparaturl alternativt ventilering av avskild koldioxid (beroende på teknik för avskiljning) då kostnader för leverans överstiger intäkter. Eventuellt kan det också bli rationellt, antingen för staten eller för privata aktörer som styrs av differentierad prissättning, att bygga kapacitet för temporär mellanlagring.

6 Slutsatser

Styrning för att utveckla tekniskt komplicerade system, som storskalig implementering av bio-CCS, kräver uthållighet. FoU och nischhantering tar tid. Dessutom är riskerna höga vilket innebär att vissa satsningar vanligtvis misslyckas samtidigt som lärandet ofta är högt. Vid marknadsintroduktion sker dessutom ofta en initial kostnadsökning, i detta fall per ton avskild koldioxid, på grund av oförutsedda problem. Därefter erhålls normalt kostnadsreduceringar till följd av stordriftsfördelar och lärande. Både under nischhantering och i perioder av tillfälligt ökande kostnader krävs ett visst mått av politisk tålmodighet och bred parlamentarisk förankring. För att reducera politiska risker för privata aktörer krävs nämligen att styrningen uppfattas som långsiktigt stabil och tydlig, det vill säga att styrmedlen erhåller kredibilitet.

Acceptans är helt avgörande för att styrningen ska uppnå kredibilitet. Saknas acceptans kan styrmedlen behöva dras tillbaka, vilket undergräver tilltron på politikens långsiktighet. Det finns flera sätt att uppnå acceptans, exempelvis genom infasning av styrning med succesiv och förutsägbart omställningstryck som ökar över tid. En annan strategi är övervältring av höga kostnader för enskilda producenter, med hög grad av organisering och resurser för påverkanskampanjer, till konsumenter med lägre grad av organisering. Det kan låta syniskt men har visat sig vara en effektiv metod för acceptans vid utbyggnad av förnyelsebar energi, exempelvis genom elcertifikat som betalas av elkonsumenter. Ytterligare en viktig komponent utgörs av stöd till nätverksbyggande, för att organisera producenter som är positiva till bio-CCS i nätverk med civilsamhälle och forskning, som kan utgöra motvikt till lobbykrafter emot bio-CCS. Både politisk och social acceptans tenderar att öka vid reformering av redan existerande styrmedel snarare än införandet av helt nya styrmedel. Dessutom talar behovet av att bygga social, politisk och industriell acceptans för en succesiv infasning och utökning av ny styrning, ett angreppssätt som också hjälper företag att mildra kostnader associerade med så kallade strandade tillgångar som ofta uppstår vid radikal infasning av ny styrning.

I ekonomisk teori framställs teknikneutrala prismekanismer som optimala för att internalisera externa kostnader och skapa kostnadseffektiv omställning. I praktiken är det oftast lämpligare med en sammansättning av olika styrmedel, detta för att hantera en mängd olika marknadsmisslyckanden, politiska prioriteringar, bygga acceptans och reducera risker. Olika styrmedel i komplexa sammansättningar skulle i teorin försämra kostnadseffektivitet men kan i praktiken visa sig göra det omvända.

6.1 Förslag till styrning i olika faser av teknikmognadsgrad

Kunskapen om styrning för bio-CCS är begränsad. En hel del kan läras av erfarenheter från styrning inom andra politikområden, men om svensk politik väljer att

styra för att främja bio-CCS innebär det att Sverige kommer bryta ny mark. Det finns ett stort behov av sådant politiskt mod och Sverige har ovanligt goda förutsättningar för att vara pionjär inom detta område, men osäkerheterna och därmed riskerna är också höga.

Att främja bio-CCS i Sverige är kostsamt och kräver stor uthållighet också i tider av långsam progression och temporära misslyckanden. Det skulle också kräva stor noggrannhet i valet av politik, både för att minimera kostnader och vara genomförbar samt robust över tid. Att välja styrmedelssammansättning för bio-CCS kräver ex-ante liksom ex-post analys, exempelvis känslighetsanalyser samt succesiv utvärdering av indirekta och direkta effekter i olika tidsperspektiv. Politik för bio-CCS innebär också ett stort behov av att arbeta på olika nivåer av politisk styrning, från nationell politik till förhandlingar inom FN och EU, vilket skulle kräva att frågan prioriteras i svensk diplomati.

Med detta sagt bör följande förslag på hur en styrmedelssammansättning för bio-CCS i olika faser av teknisk mognadsgrad läsas som en första trevare. Förslaget bör förstås som en meny av mer eller mindre utforskade möjligheter, inte som ett facit. De bör också förstås i ljuset av uppdragets fokus, att undersöka alternativa incitamentsstrukturer *specifikt* för bio-CCS i Sverige. En incitamentsstruktur som även fokuserar på andra möjligheter till att lagra biogen koldioxid skulle kunna öka kostnadseffektiviteten. I Sverige finns goda förutsättningar för utökad inbindning av koldioxid genom exempelvis användning av biokol i urban planering och jordbruk liksom utökad användning av och livslängd på sågade trävaruprodukter. För permanent (att skilja från temporär) lagring av biogen koldioxid är det dock få teknologier som kan konkurrera med bio-CCS. Den svenska tekniska potentialen för bio-CCS är dessutom, i en internationell jämförelse, ovanligt hög.

6.1.1 Nischhantering

Avseende främjande av avskiljning av biogen koldioxid bör Sverige utöka stödet till forskning och utveckling av bio-CCS. Det gäller likväl grundforskning och tillämpad forskning inom teknik som forskning om sociopolitiska aspekter av bio-CCS. Forskningen bör omhändertas av ett kunskapscentrum med statligt stöd på lämplig världorganisation, exempelvis vid Energimyndigheten, och ledas av en nationell samordnare som exempelvis kan inspireras av initiativet Fossilfritt Sverige. Kunskapscentrumet och samordnaren bör ges ordentligt med resurser och mandat för syntesarbete, dialog, nätverksbyggande, och kommunikation, och eventuellt en mindre budget för tillämpbar forskning eller konsultuppdrag.

Sveriges målstyrning på klimatområdet bör kompletteras med en tekniskspecifik strategi för bio-CCS. Strategin bör förtydliga att de bokföringstekniska begränsningarna av bio-CCS i etappmålen, särskilt för 2040, inte ska uppfattas som ett tak för

bio-CCS i Sverige eller en politisk vilja att begränsa teknikens bidrag till det svenska klimatarbetet.

Sverige bör också införa volymbegränsade upphandlingar av bio-CCS. Kontrakten bör erbjudas i konkurrens, genom omvänd auktionering, i syfte att öka innovations- takten och ge pionjärer inom bio-CCS en morot för satsningar genom att skapa tillförsikt om en garanterad efterfrågan. Löptiden på kontrakten bör vara tillräckligt lång för att ge incitament för investeringar men tillräckligt kort för att relativt snabbt kunna ersättas av ett styrmedel med lägre administrativ börda och högre kostnads- effektivitet. Auktionerna bör dessutom hållas i omgångar för att på så vis kunna dra nytta av lärdomar från tidigare genomförda auktionsrundor liksom kontrakt.

Omvänd auktionering bör kompletteras med ett styrmedel som ger större långsik- tighet, högre kostnadseffektivitet och lägre administrativ börda. En bra kandidat för denna typ av styrmedel utgörs av en utvidgning av koldioxidskatten till att också omfatta subventionering av lagrad biogen koldioxid. Att reformera ett existerande styrmedel, snarare än att konstruera nya system, minskar den administrativa bördan och ökar möjligheterna till att skapa acceptans. Denna reformering bör succesivt fasas in parallellt med genomförandet av omvänd auktionering.

Aktörer som täcks av koldioxidskatten och som har både fossila och biogena kol- dioxidutsläpp bör kunna kvitta fossila utsläpp mot lagrad biogen koldioxid. Aktörer som uppnår nettonegativa utsläpp erhåller därefter en utbetalning. Finansiering kan på medellång sikt erhållas genom gradvis justering av normalskattenivån för fossila utsläpp, med öronmärkning av intäkterna. Under nischhantering kan en del av in- täkterna gå till utökad FoU. Under kommersialisering kan de utgöra kostnadstäck- ning för utbetalningar. På längre sikt, i samband med att en stor majoritet av fossila utsläpp fasats ut, kan ytterligare finansieringskällor komma att behövas.

Detta styrmedel garanterar en marknad för lagrad biogen koldioxid även efter att kontrakten erhållna genom omvänd auktionering löpt ut. De utauktionerade avtalen bör konstrueras som ett kontrakt på mellanskillnad mellan ersättningsnivån för lag- rad biogen koldioxid och det avtalade auktionspriset. Detta görs förmodligen enkl- ast genom att leverantören av lagrad biogen koldioxid frånskrivs rätten till ersätt- ning från koldioxidskatten. Mellanskillnaden på kontrakt och subvention genom reformerad skatt fungerar då som en premie för pionjärer inom bio-CCS.

Avseende transport och lagring bör Sverige verka för att undanröja juridiska hinder på internationell och supranationell nivå. Först och främst bör Sverige skyndsamt ratificera tillägget till Londonprotokollets sjätte paragraf. Det öppnar dörren för att undersöka interimistiska avtal mellan två ratificerande parter vilket ökar möjlighet- erna för Norge och Sverige att samarbeta kring koldioxidlagring. Det bör också finnas goda möjligheter att driva att övriga EU-länder gör detsamma med

argumentet att öka harmoniseringen mellan folkrätt (Londonprotokollet) och EU-rätt (CCS-direktivet).

För det andra bör Sverige verka för ändringar av Helsingforskonventionen, en position som skulle stärkas av en svensk ratificering av Londonprotokollet. Att Finland ratificerat tillägget till Londonprotokollet ger en indikation om ett finskt politiskt intresse för samarbete kring en ändring av konventionen, vilket på sikt också kan öppna dörrar för svensk-finskt samarbete kring export och lagring av koldioxid i Östersjön.

För det tredje bör Sverige söka klarhet i vilka krav som ställs på övervakning av lagrad biogen koldioxid och om läckage av lagrad biogen koldioxid kräver överlämnande av utsläppsrätter i enlighet med CCS-direktivet. Att å ena sidan förhindra intäkter (eller kostnadsreduceringar) från bio-CCS i EU:s system för handel med utsläppsrätter, genom att inte tillåta att generera utsläppsrätter med hjälp av bio-CCS, och å andra sidan avkräva utsläppsrätter i händelse av läckage från lagringsdepåer skulle vara inkonsekvent och ett hinder för att engagera sig i bio-CCS. I denna fråga behövs klarhet. Om CCS-direktivet inte kräver att utsläppsrätter överlämnas för läckage av biogen koldioxid bör Sverige ställa egna krav på återbetalning av ersättning för bio-CCS i paritet till ersättningsnivån vid tillfället för läckage. Om CCS-direktivet kräver att utsläppsrätter överlämnas också för läckage av biogen koldioxid bör Sverige ställa egna krav på kompensation motsvarande mellanskillnaden mellan kostnaden för överlåtna utsläppsrätter och aktuell ersättningsnivå vid tillfället för läckage.

För det fjärde, slutligen, bör Sverige överväga att verka för att sjötransport av koldioxid ska täcks av EU:s direktiv för handel med utsläppsrätter. I dagsläget måste aktörer inom fossilenergi med CCS rapportera koldioxid som transporteras via skepp som ett utsläpp. Eftersom transport av biogen koldioxid tjänar på samordning med transport av fossil koldioxid finns möjlighet att underlätta för bio-CCS genom att arbeta för reformering av direktivet för handel med utsläppsrätter.

Att verka för att undanröja juridiska hinder bör gå hand i hand med ett aktivt politiskt och ekonomiskt stöd till utvecklingen av norsk lagringskapacitet för europeiska ändamål. Energimyndighetens och Gassnovas samfinansiering av CCS på delar av Preems verksamhet i Lysekil, där lagring i Norge ingår i den värdekedja som ska demonstreras genom projektet, är ett exempel på hur ett sådant stöd kan ta sig uttryck i praktiken. Kan liknande initiativ stödjas också för bio-CCS, exempelvis inom pappers- och massaindustrin i södra Sverige, finns det dessutom potential för ökad acceptansen för CCS-satsningar.

6.1.2 Regimintroduktion

Om en nisch för bio-CCS växer fram i Sverige måste den, för att få stort genomslag, så småningom introduceras i den större svenska sociotekniska regimen. I denna fas bör svenska staten överväga att emittera gröna obligationer för bio-CCS i syfte att finansiera innovationspartnerskap med industrin. Sverige bör också hjälpa finansmarknaden att engagera sig i bio-CCS genom att utveckla standard för uppföljning liksom en bio-CCS-märkning, alternativt en mer omfattande och obligatorisk klimatmärkning av finansiella produkter med toppbetyg reserverat för negativa utsläpp.

I Energimyndighetens regleringsbrev bör mandat ges till speciella satsningar på bio-CCS inom ramen för Industriklivet. Eventuellt finns också behov av justeringar i tillhörande förordning. Andra stöd till demonstrationsprojekt i begränsad och full skala bör övervägas.

Ersättningsnivån för lagrad biogen koldioxid bör i detta stadiet av teknikmognadsgrad och marknadsintroduktion öka parallellt med ökad mängd kontrakt erhållna genom omvänd auktionering, för att så småningom ersätta helt omvänd auktionering. Viss höjd bör tas för en tillfällig överkompensation relativt de uppskattade kostnaderna för storskalig implementering av bio-CCS, detta för att kompensera för ökade risker och temporära kostnadsökningar vid regimintroduktion.

Avseende transport och lagring bör Sverige övervaka var initiativ för fossilenergi och bioenergi med CCS har tagits och stödja dessa genom att samordna transportlösningar. Sverige bör också utvärdera behovet av inhemsk lagring av koldioxid i ljuset av hur internationell rätt utvecklas, europeisk efterfrågan på norska lagringskapacitet samt utveckling av övrig europeisk lagringskapacitet.

6.1.3 Kommersialisering

I dagsläget är det svårt att detaljplanera hur politik för bio-CCS bör se ut på längre sikt. Samtidigt behöver industrin långsiktighet för stora investeringsbeslut. Det gör en teknikspecifik strategi för bio-CCS, framtagen i bred politiskt samförstånd, extra värdefull eftersom den kan signalera politisk långsiktighet utan att för den skull behöva specificera alla detaljer i hur strategin ska levereras. Exakt hur politiken bör utformas beror på en rad kontextuella faktorer. Exempelvis styrs behovet av att utveckla politik för att undvika koldioxidläckage av den klimatpolitiska ambitionsnivån i omvärlden, behovet av finansiering styrs exempelvis av utvecklingen av EU:s system för handel med utsläppsrätter och teknisk utveckling, behov av satsningar på inhemsk lagringskapacitet styrs av utvecklingen inom internationell rätt och andra staters satsningar på lagring, etc. Att idag sja om hur politiken för kommersialisering av bio-CCS i Sverige bör se ut är därför oerhört svårt. De förslag som

ges nedan bör kunna vara relevanta vid kommersialisering, men bör läsas med förståelse av att kontextuella faktorer kommer att påverka hur politiken bör utformas.

I avsaknad av en konsumentdriven betalningsvilja för lagrad biogen koldioxid är marknaden för densamma helt beroende av politik. Om en sådan marknad är begränsad, vilket är troligt, bör ersättning för lagrad biogen koldioxid vara tillräckligt hög för att täcka kapitalkostnader, drift och underhåll av bio-CCS samt ge en låg premie för riskhantering och för att uppmuntra till internalisering av en extern positiv effekt. Eventuellt bör regeringen ge mandat till lämplig expertmyndighet, exempelvis Naturvårdsverket eller Energimyndigheten, att övervaka kostnadskurvor för bio-CCS och i syfte att över tid justera ersättningsnivån. Vid kostnadsminskningar bör dock nivån justeras nedåt med viss försiktighet, företrädesvis genom att låta realvärdet sjunka genom att låsa ersättningsnivån och urholka värdet genom inflation och genom att undvika tillväxtjustering.

Sverige bör också arbeta för en reformering av EU: system för handel med utsläppsrätter i avseende att låta bio-CCS generera utsläppsrätter i kombination med utbudsreglering, det vill säga en mekanism för annullering av utsläppsrätter i proportion till de som genereras från bio-CCS. En sådan reform kan på sikt öka kostnadseffektiviteten i europeisk klimatomställning samt fördela kostnaden för bio-CCS i Sverige till fler europeiska länder. En mekanism som hanterar om antalet utsläppsrätter som genereras genom bio-CCS överstiger antalet utsläppsrätter som kan annulleras i andra delar av systemet bör också utvecklas, företrädesvis genom att låta utsläppstaket i systemet anta en negativt nivå (det vill säga så småningom övergå till krav på nettonegativa utsläpp genom lagrad biogen koldioxid).

Om den svenska incitamentsstrukturen uppnår hög effekt på mängden bio-CCS i Sverige, med sjunkande kostnader per enhet lagrad koldioxid, bör Sverige också överväga regleringar för att uppmuntra efterslänrare att implementera bio-CCS.

Om ersättningen till bio-CCS finansieras med skatt, avgift eller kvotplikt på aktörer med utsläpp av fossil koldioxid bör Sverige överväga att kombinera de ökande produktionskostnaderna med koldioxidtullar för särskilt konkurrensutsatta sektorer, exempelvis cement och stål. Sverige bör också överväga att driva denna fråga på europeisk nivå. I samband med revideringen av EU:s system för handel med utsläppsrätter, inför dess fjärde handelsperiod, lyftes exempelvis frågan om en EU-gemensam koldioxidtull för cement. Frågan om europeiska koldioxidtullar är alltså inte helt ny inom europeisk politik.

Slutligen, avseende transport och lagring, bör Sverige i detta stadium av teknikmognadsgrad utreda behovet av statliga infrastruktursatsningar, inklusive eventuell kapacitetsstyrning för effektivt utnyttjande.

Referenser

- Adler, N. and A. Gellman (2012). "Strategies for managing risk in a changing aviation environment." Journal of Air Transport Management **21**: 24-35.
- Altenburg, T. and T. Engelmeier (2013). "Boosting solar investment with limited subsidies: Rent management and policy learning in India." Energy Policy **59**: 866–874.
- Amars, L., M. Fridahl, M. Hagemann, F. Röser and B.-O. Linnér (2017). "The transformational potential of Nationally Appropriate Mitigation Actions in Tanzania: assessing the concept's cultural legitimacy among stakeholders in the solar energy sector." Local Environment **22**(1): 86–150.
- Amdur, D., B. G. Rabe and C. P. Borick (2014). "Public Views on a Carbon Tax Depend on the Proposed Use of Revenue." Issues in Energy and Environmental Policy(13): 1–9.
- Amorim, J. (2009). Nuvärdesanalys av tre offentliga forskningsstiftelser. Stockholm, Stiftelsen för Strategisk Forskning.
- Andersen, M. S. (2018). Border adjustment with taxes or allowances to level the price of carbon. Innovation Addressing Climate Change Challenges: Market-based Perspectives. M. Hymel, L. Kreiser, J. E. Milne and H. Ashiabor. Cheltenham, Edward Elgar Publishing.
- Andersson, M. (2017). Att främja gröna obligationer. SOU 2017:115. Stockholm, Statens offentliga utredningar.
- Baxter, T., G. Gilligan and C. H. McRae (2018). Australian Climate Change Regulation and Political Math. Melbourne, University of Melbourne Legal Studies Research Paper No. 798.
- Bemelmans-Videc, M.-L., R. C. Rist and E. O. Vedung (2010). Carrots, sticks, and sermons: Policy instruments and their evaluation. New Brunswick and London, Transaction Publishers.
- Bergek, A. and S. Jacobsson (2010). "Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine? Lessons from Sweden 2003–2008." Energy Policy **38**(3): 1255–1271.
- Berkhout, F., A. Smith and A. Stirling (2004). Socio-technological Regimes and Transition Contexts. System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory, Evidence and Policy. B. Elzen, F. W. Geels and K. Green. Cheltenham and Northampton, Edward Elgar Publishing: 48–75.
- Brunsson, K. H. (2002). "Management or Politics – or Both? How Management by Objectives May be Managed: A Swedish Example." Financial Accountability & Management **18**(2): 189–209.
- Brännlund, R., T. Ghalwash and J. Nordström (2007). "Increased energy efficiency and the rebound effect: Effects on consumption and emissions." Energy Economics **29**(1): 1-17.

- Buhr, K. (2012). "The Inclusion of Aviation in the EU Emissions Trading Scheme: Temporal Conditions for Institutional Entrepreneurship." Organization Studies **33**(11): 1565–1587.
- Böhringer, C., J. C. Carbone and T. F. Rutherford (2012). "Unilateral climate policy design: Efficiency and equity implications of alternative instruments to reduce carbon leakage." Energy Economics **34**(Supplement 2): S208-S217.
- Böhringer, C., K. E. Rosendahl and H. B. Storrøsten (2017). "Robust policies to mitigate carbon leakage." Journal of Public Economics **149**: 35–46.
- Campiglio, E. (2016). "Beyond carbon pricing: The role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy." Ecological Economics **121**: 220–230.
- Carattini, S., M. Carvalho and S. Fankhauser (2018). "Overcoming public resistance to carbon taxes." Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change **9**(5): e531.
- Carl, J. and D. Fedor (2016). "Tracking global carbon revenues: A survey of carbon taxes versus cap-and-trade in the real world." Energy Policy **96**: 50–77.
- Coggan, A., S. M. Whitten and J. Bennett (2010). "Influences of transaction costs in environmental policy." Ecological Economics **69**(9): 1777–1784.
- Cozzi, P. (2012). *Assessing Reverse Auctions as a Policy Tool for Renewable Energy Deployment*. Medford, Center for International Environment and Resource Policy, Tufts University.
- De Cian, E. and T. Massimo (2012). "Mitigation Portfolio and Policy Instruments When Hedging Against Climate Policy and Technology Uncertainty." Environmental Modeling & Assessment **17**(1): 123–136.
- Dinesh, D. and E. Palmer (1998). "Management by objectives and the Balanced Scorecard: will Rome fall again?" Management Decision **36**(6): 363–369.
- Dobrotkova, Z., K. Surana and P. Audinet (2018). "The price of solar energy: Comparing competitive auctions for utility-scale solar PV in developing countries." Energy Policy **118**: 133–148.
- Dreyer, S. J., I. Walker, S. K. McCoy and M. F. Teisl (2015). "Australians' views on carbon pricing before and after the 2013 federal election." Nature Climate Change **5**: 1064.
- Dunlap, R. E. and A. M. McCright (2012). *Organized Climate Change Denial. The Oxford Handbook of Climate Change and Society*. J. S. Dryzek, R. B. Norgaard and D. Schlosberg. Oxford, Oxford University Press: 144–160.
- Dütschke, E., K. Wohlfarth, S. Höller, P. Viebahn, D. Schumann and K. Pietzner (2016). "Differences in the public perception of CCS in Germany depending on CO₂ source, transport option and storage location." International Journal of Greenhouse Gas Control **53**: 149–159.
- Edquist, C. and J. M. Zabala-Iturriagoitia (2015). "Pre-commercial procurement: a demand or supply policy instrument in relation to innovation?" R&D Management **45**(2): 147–160.

- Eklin, K., T. Vasse, J. Ma, R. v. Eerd and M. Kavoussi (2018). *Energy Investment and Carbon Pricing in Emerging Markets*. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Foray, D., D. C. Mowery and R. R. Nelson (2012). "Public R&D and social challenges: What lessons from mission R&D programs?" *Research Policy* **41**(10): 1697–1702.
- Fouré, J., H. Guimbard and S. Monjon (2016). "Border carbon adjustment and trade retaliation: What would be the cost for the European Union?" *Energy Economics* **54**: 349–362.
- Fridahl, M. (2017). "Socio-political prioritization of bioenergy with carbon capture and storage." *Energy Policy* **104**: 89–99.
- Fridahl, M., Ed. (2018). *Bioenergy with carbon capture and storage: From global potentials to domestic realities*. Brussels, European Liberal Forum.
- Fridahl, M. and L. Johansson (2017). "An assessment of the potential for spurring transformational change through Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs)." *Environmental Innovation and Societal Transitions* **25**: 35–46.
- Fridahl, M. and M. Lehtveer (2018). "Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS): Global potential, investment preferences, and deployment barriers." *Energy Research & Social Science* **42**: 155–165.
- Fuss, S., J. G. Canadell, G. P. Peters, M. Tavoni, R. M. Andrew, P. Ciais, R. B. Jackson, C. D. Jones, F. Kraxner, N. Nakicenovic, C. L. Quéré, M. R. Raupach, A. Sharifi, P. Smith and Y. Yamagata (2014). "Betting on negative emissions." *Nature Climate Change* **4**(10): 850–853.
- Fuss, S., W. F. Lamb, M. W. Callaghan, J. Hilaire, F. Creutzig, T. Amann, T. Beringer, W. de Oliveira Garcia, J. Hartmann, T. Khanna, G. Luderer, G. F. Nemet, J. Rogelj, P. Smith, J. L. V. Vicente, J. Wilcox, M. del Mar Zamora Dominguez and J. C. Minx (2018). "Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects." *Environmental Research Letters* **13**(6): 063002.
- Gawel, E., S. Strunz and P. Lehmann (2014). "A public choice view on the climate and energy policy mix in the EU — How do the emissions trading scheme and support for renewable energies interact?" *Energy Policy* **64**: 175–182.
- Geels, F. W. (2002). "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study." *Research policy* **31**(8): 1257–1274.
- Geels, F. W. (2012). "A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies." *Journal of Transport Geography* **24**: 471–482.
- Geels, F. W. (2014). "Regime Resistance against Low-Carbon Transitions: Introducing Politics and Power into the Multi-Level Perspective." *Theory, Culture & Society* **31**(5): 21–40.
- Geels, F. W. and B. Verhees (2011). "Cultural legitimacy and framing struggles in innovation journeys: a cultural-performative perspective and a case study of Dutch

nuclear energy (1945–1986)." Technological Forecasting & Social Change **78**(6): 910–930.

Gough, C., P. Thornley, S. Mander, N. Vaughan and A. Lea-Langton (2018). Biomass Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS): Unlocking Negative Emissions. Hoboken, John Wiley & Sons.

Grau, T. (2014). "Responsive feed-in tariff adjustment to dynamic technology development." Energy Economics **44**: 36–46.

Grubler, A., C. Wilson, N. Bento, B. Boza-Kiss, V. Krey, D. L. McCollum, N. D. Rao, K. Riahi, J. Rogelj, S. De Stercke, J. Cullen, S. Frank, O. Fricko, F. Guo, M. Gidden, P. Havlík, D. Huppmann, G. Kiesewetter, P. Rafaj, W. Schoepp and H. Valin (2018). "A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies." Nature Energy **3**(6): 515–527.

Grönkvist, S. (2010). Systemstudie av möjligheter att etablera en infrastruktur för CCS i Östersjöregionen. Enköping, Statens energimyndighet.

Grönkvist, S., E. Grundfelt and H. Sjögren (2008). CO₂-avskiljning i Sverige [Carbon capture in Sweden]. Stockholm, Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse and the Swedish Environmental Protection Agency.

Grönkvist, S., K. Möllersten and K. Pingoud (2006). "Equal Opportunity for Biomass in Greenhouse Gas Accounting of CO₂ Capture and Storage: A Step Towards More Cost-Effective Climate Change Mitigation Regimes." Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change **11**(5): 1083–1096.

Hammond, G. P. (2018). System Characterisation of Carbon Capture and Storage (CCS) Systems. Biomass Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS): Unlocking Negative Emissions. C. Gough, P. Thornley, S. Mander, N. Vaughan and A. Lea-Langton. Hoboken, John Wiley & Sons.

Hansson, A. (2008). Kolets återkomst: Koldioxidavskiljning och lagring i vetenskap och politik. PhD, Linköping University.

Harper, A. B., T. Powell, P. M. Cox, J. House, C. Huntingford, T. M. Lenton, S. Sitch, E. Burke, S. E. Chadburn, W. J. Collins, E. Comyn-Platt, V. Daioglou, J. C. Doelman, G. Hayman, E. Robertson, D. van Vuuren, A. Wiltshire, C. P. Webber, A. Bastos, L. Boysen, P. Ciais, N. Devaraju, A. K. Jain, A. Krause, B. Poulter and S. Shu (2018). "Land-use emissions play a critical role in land-based mitigation for Paris climate targets." Nature Communications **9**(1): 2938.

Hellsmark, H., J. Frishammar, P. Söderholm and H. Ylinenpää (2016). "The role of pilot and demonstration plants in technology development and innovation policy." Research Policy **45**(9): 1743–1761.

Henders, S. and M. Ostwald (2012). "Forest Carbon Leakage Quantification Methods and Their Suitability for Assessing Leakage in REDD." Forests **3**(1): 33–58.

Howlett, M. (2011). Designing Public Policies: Principles and Instruments. London and New York, Routledge.

Howlett, M. (2014). "Why are policy innovations rare and so often negative? Blame avoidance and problem denial in climate change policy-making." Global Environmental Change **29**: 395–403.

IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe. Hayama, Kanagawa, The Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

IPCC (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK & New York, Cambridge University Press.

IPCC (2018). Global Warming of 1.5 °C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge, Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jagers, S. C., J. Martinsson and S. Matti (2019). "The impact of compensatory measures on public support for carbon taxation: an experimental study in Sweden." Climate Policy **19**(2): 147–160.

Jenkins, J. D. (2014). "Political economy constraints on carbon pricing policies: What are the implications for economic efficiency, environmental efficacy, and climate policy design?" Energy Policy **69**: 467–477.

Jeppson, H. (2010). Innovationsupphandling: Betänkande av Innovationsupphandlingsutredningen. Stockholm.

Johansson, D., J. Rootzén, T. Berntsson and F. Johansson (2012). "Assessment of strategies for CO₂ abatement in the European petroleum refining industry." Energy **42**(1): 375–386.

Jordan, A. and D. Huitema (2014). "Innovations in climate policy: the politics of invention, diffusion, and evaluation." Environmental Politics **23**(5): 715–734.

Jordan, A. and E. Matt (2014). "Designing policies that intentionally stick: policy feedback in a changing climate." Policy Sciences **47**(3): 227–247.

Jönsson, J. (2011). Analysing different technology pathways for the pulp and paper industry in a European energy systems perspective. Doctoral, Chalmers University of Technology.

Kapetaki, Z. and J. Scowcroft (2017). "Overview of Carbon Capture and Storage (CCS) Demonstration Project Business Models: Risks and Enablers on the Two Sides of the Atlantic." Energy Procedia **114**: 6623–6630.

Kautto, N., A. Arasto, J. Sijm and P. Peck (2012). "Interaction of the EU ETS and national climate policy instruments – Impact on biomass use." Biomass and Bioenergy **38**: 117–127.

Kaya, Y., M. Yamaguchi and O. Geden (2019). "Towards net zero CO₂ emissions without relying on massive carbon dioxide removal." Sustainability Science: 1–5.

- Kern, F., J. Gaede, J. Meadowcroft and J. Watson (2016). "The political economy of carbon capture and storage: An analysis of two demonstration projects." Technological Forecasting and Social Change **102**: 250–260.
- Krenek, A., M. Sommer and M. Schratzenstaller (2018). Sustainability-oriented Future EU Funding: A European border carbon adjustment. Vienna, Austrian Institute of Economic Research.
- Kujanpää, L. and S. Teir (2017). "Implications of the New EU Maritime Emission Monitoring Regulation on Ship Transportation of CO₂." Energy Procedia **114**: 7415–7421.
- Lachapelle, E. and M. Paterson (2013). "Drivers of national climate policy." Climate Policy **13**(5): 547–571.
- Lako, P., A. J. van der Welle, M. Harmelink, M. D. C. van der Kuip, A. Haan-Kamminga, F. Blank, J. De Wolff and M. Nepveu (2011). "Issues concerning the implementation of the CCS directive in the Netherlands." Energy Procedia **4**: 5479–5486.
- Larsson, J., A. Elofsson, T. Sterner and J. Åkerman (2019). "International and national climate policies for aviation: a review." Climate Policy: 1–13.
- Larsson, M. and A. Hanberger (2016). "Evaluation in management by objectives: A critical analysis of Sweden's national environmental quality objectives system." Evaluation **22**(2): 190–208.
- Lehmann, P. and E. Gawel (2013). "Why should support schemes for renewable electricity complement the EU emissions trading scheme?" Energy Policy **52**: 597–607.
- Losekann, L., G. A. Marrero, F. J. Ramos-Real and E. L. F. de Almeida (2013). "Efficient power generating portfolio in Brazil: Conciliating cost, emissions and risk." Energy Policy **62**: 301–314.
- Markard, J., R. Raven and B. Truffer (2012). "Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects." Research Policy **41**(6): 955–967.
- Martinsson, G. and M. Fridahl (2018). Svensk koldioxidskatt 1991–2017. Stockholm, Fores Policy Brief 2018:3.
- Mehling, M., H. v. Asselt, K. Das, S. Droege and C. Verkuil (2017). Designing Border Carbon Adjustments for Enhanced Climate Action. London, Climate Strategies.
- Mercure, J.-F., H. Pollitt, U. Chewprecha, P. Salas, A. M. Foley, P. B. Holden and N. R. Edwards (2014). "The dynamics of technology diffusion and the impacts of climate policy instruments in the decarbonisation of the global electricity sector." Energy Policy **73**: 686–700.
- Nemet, G. F., M. W. Callaghan, F. Creutzig, S. Fuss, J. Hartmann, J. Hilaire, W. F. Lamb, J. C. Minx, S. Rogers and P. Smith (2018). "Negative emissions—Part 3: Innovation and upscaling." Environmental Research Letters **13**(6): 063003.
- Normann, H. E. (2017). "Policy networks in energy transitions: The cases of carbon capture and storage and offshore wind in Norway." Technological Forecasting and Social Change **118**: 80–93.

- OECD (2011). *Demand-side Innovation Policies: Theory and practice in OECD countries*. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Paroussos, L., P. Fragkos, P. Capros and K. Fragkiadakis (2015). "Assessment of carbon leakage through the industry channel: The EU perspective." *Technological Forecasting and Social Change* **90**: 204–219.
- Peck, P., S. Grönkvist, J. Hansson, T. Lönnqvist and Y. Voytenko (2016). *Systemic constraints and drivers for production of forest-derived transport biofuels in Sweden – Part A: Report*. Göteborg, The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels.
- Reichardt, K., S. O. Negro, K. S. Rogge and M. P. Hekkert (2016). "Analyzing interdependencies between policy mixes and technological innovation systems: The case of offshore wind in Germany." *Technological Forecasting and Social Change* **106**: 11–21.
- Reiner, D. M. (2016). "Learning through a portfolio of carbon capture and storage demonstration projects." *Nature Energy* **1**: 15011.
- Rentschler, J. and M. Bazilian (2017). "Reforming fossil fuel subsidies: drivers, barriers and the state of progress." *Climate Policy* **17**(7): 891–914.
- Rogelj, J., G. Luderer, R. C. Pietzcker, E. Kriegler, M. Schaeffer, V. Krey and K. Riahi (2015). "Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5 °C." *Nature Climate Change* **5**(6): 519–527.
- Rootzén, J. and F. Johnsson (2016). "Paying the full price of steel – Perspectives on the cost of reducing carbon dioxide emissions from the steel industry." *Energy Policy* **98**: 459–469.
- Rozenberg, J., S. Hallegatte, B. Perrissin-Fabert and J.-C. Hourcade (2013). "Funding low-carbon investments in the absence of a carbon tax." *Climate Policy* **13**(1): 134–141.
- Schreiner, C., E. K. Henriksen and P. J. K. Hansen (2005). "Climate Education: Empowering Today's Youth to Meet Tomorrow's Challenges." *Studies in Science Education* **41**: 3-50.
- Sivaram, V. and T. Norris (2016). "The Clean Energy Revolution: Fighting Climate Change with Innovation." *Foreign Affairs* **147**(3): 147–156.
- Sterner, T. and B. Turnheim (2009). "Innovation and diffusion of environmental technology: Industrial NO_x abatement in Sweden under refunded emission payments." *Ecological Economics* **68**(12): 2996–3006.
- Stigson, P., S. Haikola, A. Hansson and K. Buhr (2016). "Prospects for Swedish acceptance of carbon dioxide storage in the Baltic Sea: Learning from other energy projects." *Greenhouse Gases: Science and Technology* **6**(2): 188–196.
- Söderholm, P. and T. Sundqvist (2003). "Pricing environmental externalities in the power sector: ethical limits and implications for social choice." *Ecological Economics* **46**(3): 333–350.
- Teeter, P. and J. Sandberg (2017). "Constraining or Enabling Green Capability Development? How Policy Uncertainty Affects Organizational Responses to

Flexible Environmental Regulations." British Journal of Management **28**(4): 649–665.

UNEP (2018). The Emissions Gap Report 2018. Nairobi, Kenya, United Nations Environment Programme (UNEP).

Utterback, J. M. (1994). Mastering the Dynamics of Innovation: How Companies Can Seize Opportunities in the Face of Technological Change. Boston, Mass., Harvard Business School Press.

Vare, P. and W. Scott (2007). "Learning for a Change: Exploring the Relationship Between Education and Sustainable Development." Journal of Education for Sustainable Development **1**(2): 191-198.

Verhoef, E., P. Nijkamp and P. Rietveld (1996). "The trade-off between efficiency, effectiveness, and social feasibility of regulating road transport externalities." Transportation Planning and Technology **19**(3–4): 247–263.

Watson, J., F. Kern and N. Markusson (2014). "Resolving or managing uncertainties for carbon capture and storage: Lessons from historical analogues." Technological Forecasting and Social Change **81**: 192–204.

Weber, V. (2018). "Uncertain liability and stagnating CCS deployment in the European Union: Is it the Member States' turn?" Review of European, Comparative & International Environmental Law **27**(2): 153–161.

Åhman, M., J. B. Skjærseth and P. O. Eikeland (2018). "Demonstrating climate mitigation technologies: An early assessment of the NER 300 programme." Energy Policy **117**: 100–107.