

Koldioxidinfångning direkt ur luften, dyrt idag – billigt i framtiden?

Jonas Grafström, Marcus Lindeberg Goñi och Martin Korpi *

Ratio

Sammanfattning i punktform:

- Om DAC med dagens kostnad skulle användas för uppfångning av koldioxid motsvarande världens årliga utsläpp, skulle det årligen kosta en summa motsvarande *en fjärdedel av världsekonomin*.
- Av de fåtal företag som bedriver direktuppfångning av atmosfärisk koldioxid (DAC) har bara ett av dessa offentliggjort sina kostnader. Företaget redovisar idag en kostnad som uppgår till 5600 SEK per insamlat ton.
- Det finns dock stor potential för minskade kostnader över tid.
- Osäkerheten i denna potential är mycket stor eftersom innovation, lärlkurvor och energipriser generellt är svåra att uppskatta på längre sikt.
- Efter en bästa gissning baserat på liknande kostnadsminskningar som för ex. solceller och vindkraft uppskattar vi kostnaderna för DAC att sjunka till ca. 750 SEK/tCO₂ år 2050, eller någonstans mellan 168–2092 SEK.
- Med utvecklingstakten ovan blir DAC samhällsekonomiskt lönsamt omkring år 2045.
- För att nå denna potential krävs kraftiga investeringar i stöttande infrastruktur för snabb uppskalning och ekonomiska incitament för infångande (och senare lagring) av koldioxid.
- Koldioxidskatter och andra typer av policyåtgärder påverkar när DAC:s blir lönsam.

* Jonas Grafström är forskare på Ratio – Näringslivets forskningsinstitut. Han är även gästlektor vid Luleå tekniska universitet samt visiting fellow på Oxford Institute for Energy Studies. Kontakt Jonas Grafström: +46703475854. Jonas.grafstrom@ratio.se. Martin Korpi är forskare vid Ratio och Södertörns högskola, martin.korpi@ratio.se Marcus Lindeberg Goñi är sommarassistent på Ratio och studerar miljöekonomi vid University College London.

Inledning

Det finns en ökande medvetenhet om att olika former av koldioxidinfångning kommer krävas för att ha en rimlig chans att uppnå det tvågradersmål som sattes upp i Parisavtalet 2015.¹ FN:s klimatpanel IPCC har modellerat olika scenarion över hur utsläppsminskningarna som ska till kan ske. I 107 av dessa 113 scenarion² står så kallad koldioxidinfångning³ och lagring, carbon capture and storage (CCS), för en stor del av utsläppsminskningarna.⁴ Även om målet – att stora mängder koldioxid måste fångas upp och lagras - är klart så är kostnadsbilden i nuläget till stor del okänd.

Syftet med denna bilaga till vår tidigare genomgång av CCS (se Grafström, Hvalgren, & Korpi, 2018)⁵ är att ge en bild av hur kostnadsläget är idag samt att försöka, med ett stort mått ödmjukhet inför alla problem som finns med ett sådant försök, beräkna framtida kostnader under olika utvecklingsscenarier. Av teknologierna fokuserar vi främst på Direct-air-capture (DAC), inte för denna specifika teknik nödvändigtvis kommer att vara mest aktuell för svenskt vidkommande, utan eftersom vi idag vet att dess storskaliga implementering på global nivå kommer att bli helt nödvändig för att bromsa och på sikt klara av att stabilisera den nu pågående utvecklingen (IPCC, 2014).⁶

Eftersom DAC fångar upp koldioxid som redan finns i atmosfären är tekniken i regel dyrare än CCS som sker vid en fast utsläppskälla där koncentrationen av koldioxid är betydligt högre. CCS sker för närvarande i stor skala endast vid 18 anläggningar i världen, och vad gäller DAC finns det ännu så länge bara några få kommersiella och storskaliga enheter.⁷ Det enda företag som har redovisat kostnader för DAC i bruk i större skala uppskattar dessa kostnader till omkring 5600 kronor /tCO₂.⁸ Kostnadsbilden överensstämmer också med beräkningar från American Physical Society som 2011 uppskattade att DAC skulle kunna konstrueras för just 5600⁹ kronor.¹⁰

Världens totala utsläpp av koldioxid var 2017 cirka 36,15 gigaton, dvs. ca. 3.6 tusen miljarder ton.¹¹ Om all världens CO₂ utsläpp skulle fångas upp med DAC idag skulle själva insamlandet alltså kosta omkring 200 tusen miljarder kronor per år. Det motsvarar nästan 43 gånger storleken av Sveriges ekonomi eller 27 % av världsekonomin.¹² Detta är alltså bara för ett enskilt års totala utsläpp. Därtill tillkommer också ytterligare kostnader för transport och lagring av den insamlade koldioxiden.

Trots de idag betydande kostnaderna finns det hopp om att tekniken ska bli billigare och kunna användas storskaligt vid senast 2050. Eftersom utsläppsminskningar också sker på andra håll bedömer IPCC att CCS/DAC kommer behöva implementeras gradvis och öka till mellan 4–15 gigaton koldioxid per år senast 2050 för att vara kompatibelt med 1,5-gradersmålet.¹³

¹ <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>

² IPCC AR5 Scenarios Database.

http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/IPCC_AR5_Database.html

³ Tekniken går ut på att samla in koldioxid som sedan komprimeras till flytande form och transporteras för långtidslagring i underjorden. Koldioxiden samlas ofta in direkt vid förbränning för att förhindra nya utsläpp. Ett alternativ till CCS är så kallad Direct Air Capture (DAC) där koldioxiden fångas direkt från luften och på så vis skapar ett flöde från atmosfären till underjorden, det vill säga minusutsläpp.

⁴ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf

⁵ Grafström, J., Hvalgren, N., & Korpi, M. (2018). No 309: Förutsättningar för storskaligt infångande av koldioxid (No. 309). The Ratio Institute.

⁶ IPCC. (2014a). Summary for Policymakers. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>.

⁷ <https://co2re.co/FacilityData>

⁸ <https://www.carbonbrief.org/swiss-company-hoping-capture-1-global-co2-emissions-2025> 1 USD = 9,4 SEK i skrivande stund

⁹ <https://www.aps.org/policy/reports/assessments/upload/dac2011.pdf>

¹⁰ Ett antal andra teoretiska uppskattningar finns i intervallet 1300-9300 SEK, dessa har dock inte omsatts i praktiken. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabf9f/meta>

¹¹ <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

¹² <http://statisticstimes.com/economy/gross-world-product.php>

¹³ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf p.129

Dessutom finns en stor potential för kostnadsreduktion. För att ta ett närliggande exempel; kostnaden under en knapp tioårsperiod för litium-jon-batterier, fotovoltaiska solceller och vindkraft har minskat med respektive 21%, 21 % och 12% per år. En motsvarande takt för kostnadsminskning av DAC skulle snabbt skapa möjligheter för koldioxiduppfångning till överkomligt pris och tekniken skulle därmed kostnadseffektivt kunna bidra till att begränsa klimatförändringar.

Kostnadsreduktion – företagen på marknaden

Liksom inom andra teknikområden finns det olika källor till potentiell framtida kostnadsminskning vad gäller DAC. Teknikutveckling öppnar för nya processer, lärlkurvor optimerar existerande processer, learning-by-doing, skalfördelar sprider fasta kostnader och råvarupriser för nödvändiga insatser påverkar alla den slutliga kostnaden för en viss teknik/process. Vilken faktor av dessa som är viktigast varierar mellan olika tekniker. Den snabba kostnadsreduktionen på vindkraft har t.ex framförallt skett genom optimering av existerande processer, medan kostnadsminskning för solceller snarare skett genom forskningsdriven teknikutveckling (Grafström, 2017)¹⁴.

DAC baseras dels på absorption av koldioxid till en flytande vätska som sedan upphettas till omkring 800 grader för att frigöra högkoncentrerad koldioxid, dels på en annan konkurrerande teknik som innebär att låta koldioxiden adsorberas, dvs. reagera med ett fast material, innan koldioxiden efter upphettning till strax under 100 grader frigörs i högkoncentrerad form.¹⁵ I högkoncentrerad form kan gasen därefter tas om hand och antingen lagras under jord eller användas i olika slags produktionsprocesser.

De ledande företagen inom DAC har alla olika uppskattningar av sina framtida kostnader. Kostnadsreduktionen på sikt för högttemperaturprocesser anses av många bedömare som begränsad eftersom processen är så pass starkt beroende av priset på ren energi¹⁶, men ett av företagen – Carbon Engineering – visar på att man med denna teknik idag, baserat på beräkningar på komponenterna som behövs till processen, skulle kunna pressa kostnader till mellan 880–2180 SEK/tCO₂ med redan existerande teknik.¹⁷

Ett annat av de ledande företagen för lågtemperaturprocesser, Climeworks, menar att de i sin tur kommer kunna pressa priset från dagens 5600 SEK/tCO₂ till ca 940 SEK/tCO₂ redan till 2025.¹⁸ Eftersom lågtemperaturprocesser är mindre begränsade av energipriser och dessutom kan använda restvärme exempelvis från återvinningsstationer är potentialen för denna teknik sannolikt större.¹⁹

En tredje uppskattning av framtida kostnader kommer från företaget Global Thermostat, också de ett företag som utvecklar lågtemperaturprocesser, som menar sig kunna fånga in koldioxid för så lite som 100–360 SEK/tCO₂.²⁰ Fyra av de ledande företagens processer och faktiska eller uppskattade kostnader följer i tabell 1 nedan.

Tabell 1 – kostnad och prognos för infångning av ett ton CO₂ genom DAC för olika företag

¹⁴ Grafström, J. (2017). Technological Change in the Renewable Energy Sector: Essays on Knowledge Spillovers and Convergence (Doctoral dissertation, Luleå University of Technology).

¹⁵ Fasihi, M., Efimova, O., & Breyer, C. (2019). Techno-economic assessment of CO₂ direct air capture plants. Journal of Cleaner Production, 224, 957-980. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619307772> p.961-962

¹⁶ Fasihi, M., Efimova, O., & Breyer, C. (2019). Techno-economic assessment of CO₂ direct air capture plants. Journal of Cleaner Production, 224, 957-980. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619307772> p.961-962

¹⁷ <https://www.nature.com/articles/d41586-018-05357-w>

¹⁸ <https://www.carbonbrief.org/swiss-company-hoping-capture-1-global-co2-emissions-2025>

¹⁹ <https://www.nature.com/articles/d41586-018-05357-w>

²⁰ <https://www.fastcompany.com/90356326/we-have-the-tech-to-suck-co2-from-the-air-but-can-it-suck-enough-to-make-a-difference>

Företag ²¹	Hög- eller låg-tempererad process	Kostnad idag i SEK/tCO ₂	Uppskattad framtida kostnad i SEK/tCO ₂
Carbon Engineering	Hög	Okänt	880-2180
Climeworks	Låg	5600	940
Antecy	Låg	Okänt	4200-6000 ²²
Global Thermostat	Låg	Okänt	115-400

Scenarier för framtida kostandsreduktion inom DAC

I vilken utsträckning är dessa företags uppskattningar tillförlitliga, och vad kan vi säga om sannolik kostnadsutveckling inom hela teknikområdet DAC? Ett sätt att angripa denna fråga är att se till utvecklingen inom närliggande teknikområden och utifrån denna skaffa oss ett slags bild av vad som är möjligt. I tabell 2 nedan redovisas lång- och kortsiktig kostnadsreduktion inom liknande processer och teknikområden och varifrån den kostnadsreducering som vi sett inom dessa områden främst härrör.

Tabell 2 – kostnadsreduktion och drivare för liknande gröna teknologier på kort och lång sikt

Teknik	Kostnadsreduktion per år	Skalfördelar	Lärkurvor	Teknikutveckling	Annan insats
Fotovoltaiska solceller	9,4% (1980-2012) ²³ 21% (2009-2018) ²⁴	X		X	
Vindkraft	4,8% (1984-2012) ²⁵ 12% (2009-2018) ²⁶	X	X		
Litium-jon-batterier	16% (1991-2015) ²⁷ 21% (2010-2018) ²⁸	X		X	
Svavelseparering ²⁹	10% (1983-1995) ³⁰	X		X	
DAC	?	X	X	X	X

Baserat på detta har vi i det följande konstruerat tre scenarier, ett konservativt, en bästa-gissning, och ett optimistiskt, som alla illustrerar olika takt i kostnadsreduktion inom teknikområdet före och efter år 2025. Att särskilja potentialen för kostnadsminskning mellan kort och lång sikt har gjorts för att spegla teknikutvecklingen för liknande tekniker, och år 2025 har valts för att flera företag redovisat stor

²¹ Andra identifierade aktörer utan kostnadsuppskattningar är *Centre for Negative Emissions*: <https://cnce.engineering.asu.edu> och Coaway LLC <https://www.virginearth.com/finalists/coaway/>

²² <https://www.antecy.com/Images/Design%20study%20report%20FINAL.pdf>

²³ Kavlak, G., McNerney, J., & Trancik, J. E. (2018). Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. *Energy policy*, 123, 700-710. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518305196?via%3Dihub>

²⁴ <https://www.pv-tech.org/news/balance-of-system-costs-key-to-further-solar-system-cost-reductions-says-ir>

²⁵ <http://rameznaam.com/2015/08/30/how-steady-can-the-wind-blow/>

²⁶ <https://www.pv-tech.org/news/balance-of-system-costs-key-to-further-solar-system-cost-reductions-says-ir>

²⁷ <https://www-nature-com.libproxy.ucl.ac.uk/articles/nenergy2017125>

²⁸ <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>

²⁹ Svavel separeras bland annat från utsläpp vid kolkraftverk

³⁰ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619307772> p.968

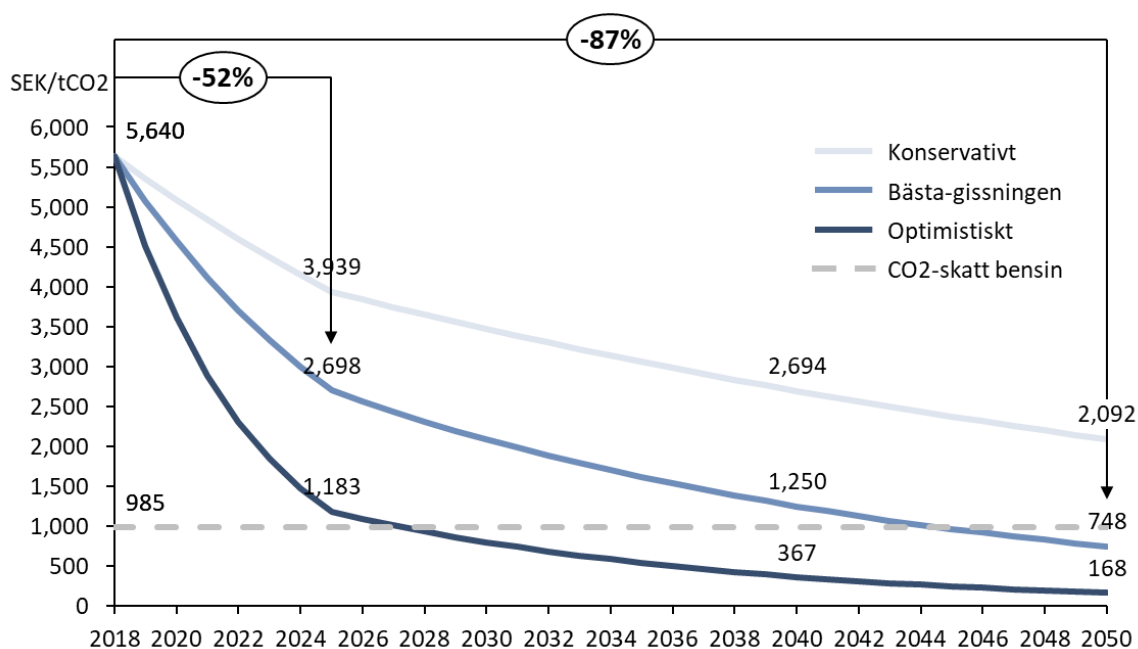
potential att minska sina kostnader till just det året. De antagna reduktionstakterna presenteras i tabell 3 nedan:

Tabell 3 – Antagna kostnadsreduktioner på kort och lång sikt för tre olika scenarion

Scenario/period	Reduktionstakt 2018-2025	Reduktionstakt 2025-2050
Konservativt	5%	2,5%
Bästa-gissning	10%	5%
Optimistiskt	20%	7,5%

Utgående ifrån dagens pris på 5600 SEK/tCO₂ (från Climeworks) och reduktionstakterna ovan har framtidens kostnader utifrån dessa tre olika scenarier uppskattats i Graf 1 nedan.

Graf 1 – Uppskattad kostnadsutveckling (SEK/tCO₂) för DAC utifrån tre scenarion 2018-2050



Climeworks egen prognos för att nå ned till en kostnad på under 940 SEK/tCO₂ redan 2025 är lägre än vårt mest optimistiska scenario. Detsamma gäller för Global Thermostats förhoppningar om att få ner kostnaden till 115 SEK/tCO₂. Däremot uppskattar vi potentialen för kostnadsminskning som relativt stor; en sänkning till och med år 2050 med totalt 87% - till ca. 750 SEK/tCO₂ – från dagens nivå i det mest troliga scenariot.

Detta motsvarar en kostnad som t.ex. är lägre än dagens koldioxidskatt (på omkring 1000 SEK/tCO₂). Om just den nuvarande skattenivån kan antas fånga den samhällsekonomiska kostnaden av koldioxidutsläpp (vilket i och för sig kan debatteras) uppskattas därmed DAC i vårt bästa-gissningsscenario bli lönsamt omkring år 2045.³¹ Då trenden för punktskatter på koldioxid snarare ökar än minskar, är det möjligt att tekniken i denna bemärkelse blir lönsam ännu tidigare, givet att kostnaderna för transport och lagring även kan hållas nere.³²

³¹ <https://www.ekonomifakta.se/fakta/energi/styrmedel/konsumtionsskatter-pa-bensin/>

³² En jämförelse med bensinskatten är mer lämplig än med utsläppshandel eftersom koncentrerade utsläpp i stora mängder är billigare att motverka är små spridda utsläpp, därför är priset på utsläppsrätter klart lägre (ca 170 SEK/tCO₂) och kan motverkas med CCS snarare än DAC.

Det är viktigt att komma ihåg att dessa uppskattningar i dagsläget är osäkra då tekniken ännu så länge bara finns implementerad storskaligt i några fåtal projekt. Resultaten av vår skattning är dock i linje med en liknande uppskattning i en nyligen publicerad forskningsartikel i Clean Energy Journal.³³ Deras beräkningar är också baserade på inlärningskurvor för liknande teknologier såsom svavel-borttagning och vattenelektrolyter. I sitt mest troliga scenario prognostiserar de kostnaden för DAC till omkring 880 SEK/tCO₂ år 2050, och i sitt mer konservativa scenario till 2300 SEK/tCO₂.

Deras kostnadsuppskattningar gäller för dock totala kapitalutgifter och inkluderar därmed viss omgivande infrastruktur för transport av den infångade koldioxiden. Denna typ av kostnader är helt borträknade i vårt scenario som specifikt fokuserar på infångning. Räknas de emellertid bort även i deras analys överensstämmer deras beräkningar relativt väl med våra.

Vad innebär då detta för möjligheten att nå Parismålet?

I IPCC:s olika scenarion för att begränsa uppvärmningen till 1,5 grader behövs det alltså att mellan 4–15 GtCO₂ samlas in per år senast till 2050. Det innebär en total kostnad för insamling år 2050 som ligger mellan 3 000 till 11 200 miljarder SEK (motsvarande 64%-234% av Sveriges BNP) för världsekonomin.³⁴ Därtill tillkommer också transport och lagring. Eftersom CCS också kan kombineras med bioenergi för att på så vis uppnå minusutsläpp kan den totala kostnaden i detta scenario bli ännu lägre, eftersom andra former av CCS generellt är billigare än DAC.

Tabell 4 – behov av DAC i IPCC:s scenario för att uppnå max 1,5 graders global uppvärmning

	Lågt behov av DAC	Stort behov av DAC
Total insamling GtCO₂ 2050	4	15
Total kostnad 2050 (realt)	3,0	11,2
Andel av svenskt BNP 2017	64%	234%

Centralt för klimatnyttan är också vad den insamlade koldioxiden används till. Klimateffekten är mer tveksam om den insamlade koldioxiden används till ökat oljeutvinnande. Om insamlingen istället, såsom i Climeworks fall, genererar koldioxid till växthus, kolsyrade drycker och direktlagring genom en stark bindning av koldioxiden till en mineral som placeras under jord blir effekten större. Avgörande är också var energin kommer ifrån, Climeworks anläggning på Island drivs av ren geotermisk energi och anläggningen i Zürich använder restvärme från en återvinningsstation.

Hur mycket behöver vi satsa på forskning och teknikutveckling? En jämförelse med statliga R&D investeringar i sol och vindkraft

Forskning och utveckling, både privat och offentlig, har historiskt sett varit avgörande för att minska kostnaden för energi från sol och vind. Därmed kan det vara meningsfullt att göra en jämförelse med dessa satsningar för att på så vis få oss en grov uppskattning av vad som måste till för att den betydande kostnadsreducering som vi skissat på ovan verkligen ska kunna komma till stånd. Här är vi emellertid hänvisade till offentliga utgifter och satsningar, eftersom bra datakällor för privata investeringar oss veterligen inte finns tillgängliga. Sedan 1990 har Sverige satsat totalt 1,16 miljarder kronor på vindkraft och 1,44 miljarder på solenergi (offentliga forskningsmedel, ej olika produktionsstöd inräknade). Bland 30 av de länder vars investeringar i förnybar energi är störst har omkring 80 miljarder SEK satsats på vindenergi och 166 miljarder på solenergi. Här är inte Kina medräknat eftersom landets offentliga data

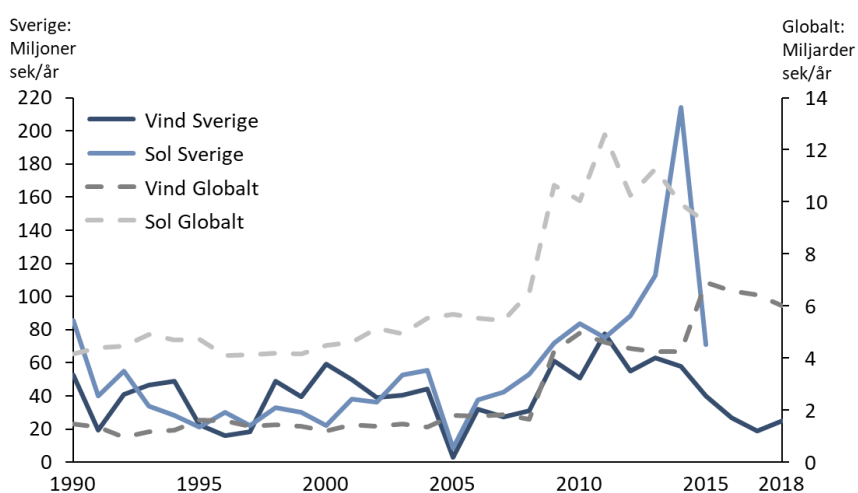
³³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619307772>

³⁴ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf p.129

lider av brister samt att de inte är medlem i IEA (dock finns det anledning att tro att de kinesiska forskningssatsningarnas betydelse inte är så stor, se Grafström, 2019³⁵).

Investeringarna har sammantaget resulterat i en utveckling som tagit dessa tekniker från att ha betraktats som helt orealistiska att implementera i större skala, till att bli kommersiellt lönsamma produkter. Även om vi saknar tillförlitliga uppgifter om internationella utvecklingssatsningar kan vi utifrån denna enkla jämförelse peka på att de 100 miljoner över en femårsperiod som regeringen planerar satsa på forskning och utveckling av DAC och andra former av CCS, är ganska blygsamma. Samtidigt ger jämförelsen även vid handen att det inte rör sig om astronomiska summor för att utveckling inom ett teknikområde ska ta fart.

Graf 1 – Historiska satsningar på forskning och utveckling av sol- och vindenergi, i Sverige och världen (1990–2018)



Med världen avses IEA:s 30 medlemsländer, motsvarande OECD (International Energy Agency)³⁶

Slutsatser

För att tekniken på sikt ska bli kostnadseffektiv är tidig uppskalning centralt för att därigenom kunna få till stånd ett påbörjande av de lärprocesser som är nödvändiga för att på sikt få ner kostnader inom DAC. Bestämda ersättningar för insamlad och lagrad koldioxid kan därför komma att krävas, liksom betydligt större offentliga investeringar både i R&D och i infrastruktur för transport och lagring av uppfångad koldioxid. Dessutom krävs naturligtvis fortsatt teknikutveckling för förnybar energiproduktion och fortsatt forskning på teknikutveckling för olika typer av koldioxidinfångning.

³⁵ Grafström, Jonas, 2019. "Ratio Working Paper No. 317: China's Wind Power Development – An Anatomy of Mishaps," Ratio Working Papers 317, The Ratio Institute.

³⁶ <https://www.iea.org/statistics/rdd/>