

# **TEKNIK OCH MILJÖ: FRÅN UTSLÄPPSKONTROLL TILL SYSTEMFÖRÄNDRING**

Föredrag hållet vid Finska Vetenskaps-Societetens  
sammanträde den 19 mars 2018

av

**PER MICKWITZ**

När Finland blev självständigt 1917 var spädbarnsdödligheten hög: 9 582 eller 118 per 1000 levande födda barn dog under det första året. År 2017 var den finska barndödligheten en av de lägsta i världen: bara 102 (2 per 1000) levande födda barn dog under det första året. Den förväntade livslängden har ökat från 49 år för kvinnor och 43 år för män till 84 för kvinnor och 78 år för män (Statistikcentralen 2018a). Finland toppar numera flera internationella jämförelser, till exempel när det gäller lycka, trygghet och jämställdhet (Statistikcentralen 2018b.) Men det är inte bara i Finland mycket har förbättrats. I hela världen har andelen människor som lever i extrem fattigdom gått ner från 85 % år 1800 till 9 % år 2017, medellivslängden har ökat från 31 till 72 år och andelen barn som dör innan de fyllt fem år har minskat från 44 % till 4 % (Rosling et al. 2018). De otroliga framstegen har varit möjliga tack vare ekonomisk tillväxt som långt har möjliggjorts av den tekniska utvecklingen och spridningen av den nya tekniken.

Men utvecklingen har haft ett pris. Under den senare halvan av 1900-talet var en stor del av de finska vattendragen mycket nedsmutsade och i närheten av fabriker lukade både vattnet och luften ofta illa. Algblomningarna i sjöar och Östersjön är betydligt vanligare än förr. Globalt uppskattar man att luftföroreningar leder till 9 miljoner dödsfall årligen (Landrigan et

al. 2017). Koldioxidutsläppen (CO<sub>2</sub>) har ökat och koncentrationen i atmosfären har stigit från cirka 300 ppm till 430 ppm CO<sub>2</sub>-eq och den globala medeltemperaturen har stigit med 0,8 grader mellan 1880 och 2012. Om inte nya effektiva klimatpolitiska åtgärder införs, beräknas den globala medeltemperaturen stiga med 2,5–7,8 grader till 2100 jämfört med den förindustriella nivån (IPCC 2014). Naturens mångfald har minskat, till exempel i Europa och Centralasien uppskattas 28 % av alla arter som enbart lever i området att vara hotade, främst på grund av att de naturliga livsmiljöerna har minskat (IPBES 2018). Den tekniska och ekonomiska utvecklingen tillsammans med befolkningsökningen har gjort att människan som tidigare var en art med enbart lokal miljöpåverkan, numera har en global inverkan på planeten som till och med kan hota mänsklighetens fortlevnad. I ett geologiskt perspektiv talar man om att vi gått från holocen till en ny epok – antropocen – som kännetecknas av att människan utgör en betydande faktor i förändringen av jordens geologi, klimat och ekosystem (Crutzen 2006, Steffen et al. 2015).

Allting har inte blivit sämre, i vissa fall har miljöns tillstånd också förbättrats. I Finland har industrins vatten- och luftutsläpp reducerats till en bråkdel av vad de tidigare var. Efter att det klarlagts att klorfluorkarboner (CFCn) tunnade ut ozonskiktet i stratosfären, vilket äventyrade möjligheterna till fortsatt mänskoliv på jorden, utvecklades alternativa tekniska lösningar. Dessa spreds sedan snabbt tack vare att Montrealprotokollet undertecknades 1987 och reviderades till att totalt förbjuda CFCn från och med år 2000 (Oye och Maxwell 1995). Till följd av den nya tekniken och politiken, som har säkerställt en snabb och bred spridning av alternativen, har produktionen och användningen av CFCn reducerats och ozonlagret börjat återhämta sig (Chasek et al. 2010).

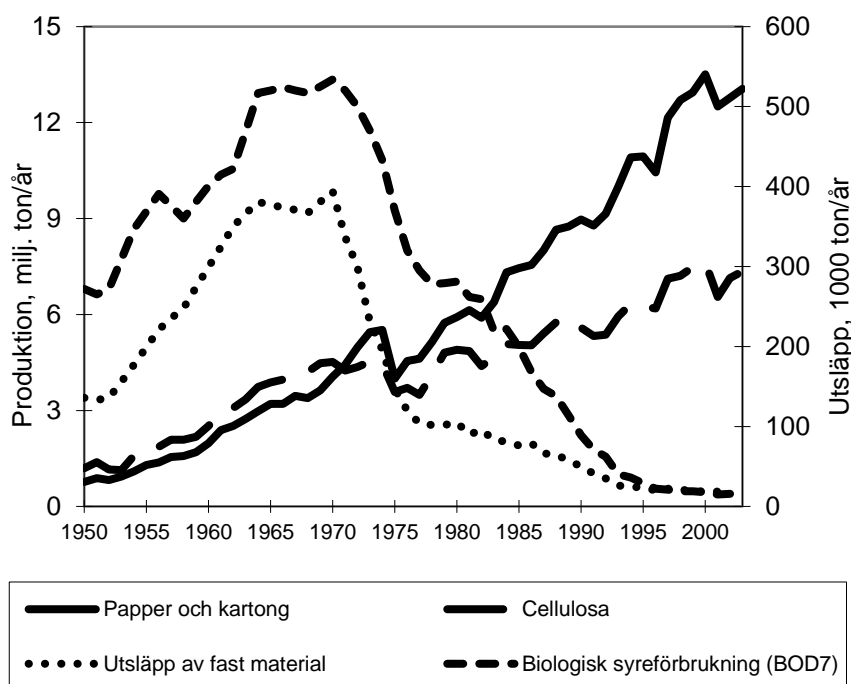
Vilket är då förhållandet mellan tekniken, den tekniska utvecklingen och miljön? Kan man med hjälp av miljöpolitik förbättra miljöns tillstånd? Och påverkar möjligen miljöpolitiken också innovationer och utvecklingen av ny teknik? Detta är frågor som kommer att diskuteras i denna text. Hur forskarsamfundet har sett och ser på dessa samband och den finska forskningsens position diskuteras också kort.

I nästa kapitel kommer jag att diskutera tekniken som orsak till utsläpp och miljöproblem. Sedan följer en kort reflektion av miljöpolitik för att minska utsläppen, med hjälp av existerande teknik. Därefter diskuteras de mera intressanta analyserna av hur miljöpolitik kan ge incitament för teknologiska innovationer. I det avslutande kapitlet diskuteras de frågor som idag står i centrum för hållbarhetsforskningen, dvs. de enorma hållbarhetsproblem vi står

inför och behovet av att förändra konsumtions- och produktions-system om vi skall kunna klara utmaningarna.

### Tekniken som orsak till utsläpp och miljöproblem

Som en följd av industrialisering och teknisk utveckling har det ekonomiska väståndet ökat enormt. Denna utveckling som först ägde rum i OECD-länderna, men senare spridits till många andra länder, har lett till betydande miljöproblem. Miljöproblemen uppstod delvis till följd av okunskap men de berodde också på rådande attityder – man ansåg att utsläppen var en oundviklig biprodukt av produktion och ekonomisk utveckling, ett pris man måste betala.



Figur 1. Pappers- och cellulosaindustrins produktion och vattenutsläpp 1950–2003 (Data: Skogsindustrin r.f. och Finlands miljöcentral).

I Finland tog den ekonomiska utvecklingen fart på allvar efter andra världskriget. Massa- och pappersindustrin var den viktigaste ekonomiska sektorn och tillväxten av produktionen samt vattenutsläppen åskådliggör tydligt utvecklingen också mera generellt (Figur 1). År 1957 gjorde Berger en uppskattning av vattenutsläppen i Finland. Enligt den stod industrin för 90 % av

utsläppen medan hushållen stod för 10 %. Enligt Berger var massa- och pappersindustrins andel 75 % av de totala utsläppen mätta som biologisk syreförbrukning (Leino-Kaukiainen 1999). När pappers- och kartongproduktionen mellan 1950 och 1970 fördubblades och vattenutsläppen fördubblades var detta centralt för vattendragens tillstånd i hela Finland. En motsvarande utveckling, där produktionstillväxten ledde till ökade utsläpp, skedde parallellt i andra europeiska länder också om de dominerande sektorerna varierade (EEA 2015).

Pappersproduktionen i Finland hade börjat redan på 1600-talet och flera nya fabriker startade under slutet av 1800-talet. Men det var först från och med 1950-talet som produktionsökningen verkligen tog fart. Massiva investeringar gjordes i nya maskiner och fabriker. Produktionsökningen resulterade i växande vatten- och luftutsläpp samt en ökad användning av kemikalier. Vatten- och luftutsläppen var man klart medveten om eftersom de både syntes och luktade. Effekterna av olika kemikalier var inte alltid lika uppenbara. Trots att man var medveten om utsläppen ansågs de oundvikliga (Hallanaro et al. 2017).

Miljöproblemens uppkomst och attityderna till dem är väl dokumenterade av miljöhistoriker (Laakkonen et al. 1999), andra samhällsvetenskapliga forskare (Hildén et al. 2002, Similä 2007) och av författare med lång erfarenhet av miljöfrågor (Hallanaro et al. 2017).

Litet förenklat kan man sammanfatta sambandet mellan teknik och miljön under denna första period så här: Teknisk utveckling ledde till ökad produktion och ekonomisk tillväxt, men också till ökade utsläpp, men detta var ett pris man fick betala.

### **Miljöpolitik för att minska utsläppen med existerande teknik**

Parallellt med att utsläppen växte ökade också medvetandet om miljöproblemen. Redan 1908 protesterade 600 personer i Lahtis mot cellulosafabrikens lukt- och vattenföroreningar (Laakkonen 1999). När flera stora städer börjat rena sina vattenutsläpp, när industrins tillgång på rent vatten försvårats och när vattenutsläppen debatterats ivrigt i offentligheten blev det omöjligt att låta industrin förorena miljön utan att något gjordes för att minska utsläppen (Laakkonen et al. 1999, Hallanaro et al. 2017). Småningom började en modern miljöpolitik ta form i Finland. Även om det redan tidigare funnits lagstiftning som berörde företagets verksamhet också i relation till miljön (t.ex. lagen om vattenrätten 31/1902 och lagen angående vissa grannelags-

förhållanden 26/1920) kan man klart konstatera att vattenlagen (264/1961) utgör starten för en modern miljöpolitik i Finland. Vattenlagen har senare följts av många andra miljölagar (t.ex. luftvårdslagen 67/1982, kemikalielagen 744/1989 och miljöskyddslagen 86/2000) och efter att Finland blev medlem i Europeiska Unionen (EU) ett stort antal miljödirektiv.

Även om det är klart att vattenlagen utgjorde starten för en modern miljöpolitik i Finland är det inte helt entydigt när detta skedde. Möjligen kunde man tänka sig att det viktiga året är 1961 då vattenlagen godkändes eller kanske 1962 då den trädde i kraft. Man kunde också tänka sig att den relevanta tidpunkten är 1951 då statsrådet tillsatte vattenlagskommittén, eller 1958 då vattenskyddskommissionen tillsattes vilka var centrala för beredningen av lagen (Leino-Kaukiainen 1999). Men om man studerar implementeringen av vattenlagen kunde man tänka sig att det viktigaste året var 1970 när Vattenstyrelsen grundades, eller möjligen 1971 när det första tillståndet med ett kvantitativt utsläppsvillkor för en pappersfabrik trädde i kraft.<sup>1</sup> Möjligen kan man se 1995 som det centrala året, eftersom det var då den sista pappersfabriken (med produktion sedan 1965) fick ett tillstånd med ett kvantitativt utsläppsvillkor för vattenutsläppen (Hildén et al. 2002).

Som man kan se i Figur 1 skedde ett betydande trendbrott 1971: pappers- och cellulosaproduktionen fortsatte öka, men vattenutsläppen började minska. Under perioden 1970–2003 ökade pappersproduktionen med över 200 % medan vattenutsläppen, mätt som biologisk syreförbrukning (BOD<sub>7</sub>), minskade med 97 %. Motsvarande resultat har uppnåtts också för många andra vatten- och luftutsläpp i Finland. Också många andra europeiska länder kan uppvisa motsvarande mycket stora minskningar av traditionella vatten- och luftutsläpp under den senare halvan av 1900-talet (EEA 2015).

Hur kommer det sig att industrin lyckades minska utsläppen så radikalt? Detta uppnåddes genom att man tog i bruk ny teknologi. Den nya teknologin var en kombination av miljö- och andra teknologier. Med miljöteknologi avses i detta fall sådan teknologi som explicit eftersträvar att minska miljöpåverkan. Den, med tanke på vattenutsläppen, viktigaste allmänna teknologiska förändringen var övergången från sulfit- till sulfatprocessen för produktionen av cellulosa. Miljöteknologin består av både reningsteknologier (*end-of-pipe*) och processteknologier. Oftast har dessa använts kombinerat. Genom att sluta systemen kunde man minska användningen av vatten, vilket möjliggjorde vattenreningsverk (först mekanisk rening och senare också biologisk och kemisk rening).

Erfarenheterna från bland annat den finska massa- och pappersindustrin, visar att tekniken kan möjliggöra att utsläppen och produktionstillväxten kopplas ifrån varandra, dvs. även om produktionen ökar minskar utsläppen. Detta skedde i Finland efter att nya lagar och förordningar hade stiftats och börjat tillämpas. Men till vilken del kan detta tidsmässiga sammanträffande också anses vara ett orsak-verkan samband?

Man kan fråga sig om miljöpolitiken leder till förbättringar i miljöns tillstånd eller om förbättringarna beror på den tekniska utvecklingen. Till exempel FN:s Europeiska ekonomiska kommissions konvention om långväga transport av luftföroreningar har bedömts som en succé (Sliggers och Kakebeeke 2004). Motiveringarna är att till exempel svaveldioxidutsläppen ( $\text{SO}_2$ ) har minskat och att utsläppsmålet på  $-30\%$ , som ingick i Helsingforsprotokollet till konventionen, uppnåddes. Scott Barrett (2003) är dock av en annan åsikt i boken *Environment and Statecraft – The Strategy of Environmental Treaty-Making*. I boken har han ett kapitel som heter "Helsingfors' misslyckande" (*Helsinki's failure*). Han kostaterar att det stämmer att många länder minskade sina  $\text{SO}_2$ -utsläpp med  $30\%$  (eller mera). Men, också länder som inte undertecknade protokollet, till exempel Polen och Storbritannien, minskade sina utsläpp av  $\text{SO}_2$  med mera än  $30\%$ . Dessutom visar det faktum att utsläppsminskningarna var större än målet ( $-30\%$ ) att utsläppsminskningarna beror på nationell politik, eller på andra faktorer, så som strukturella förändringar av energiproduktionen eller allmän teknisk utveckling.

Problemet med båda bedömningarna är att de är baserade på data som aggregerats till nationell nivå och på en modell av det enskilda landet som en enhetlig, rationell aktör (Levy 1995; Skærseth 2003). Det vill säga bedömningarna utgår från att länderna fattar beslut genom att maximera nyttan och minimera kostnaderna för landet och att länderna har full kontroll över den tillämpning av teknologi som leder till utsläppen.

Om man ser på hur luftföroreningskonventionen och Helsingforsprotokollet implementerades i Finland ser man en helt annan bild. I Finland reglerades luftutsläppen med specifika gränsvärden för olika typers anläggningar som fattades i 25 olika förordningar på basen av luftvårdslagen (67/1982). Till exempel för kraftverk och pannanläggningar som använder stenkol var gränsvärdet  $230 \text{ mg/MJ SO}_2$  för nya pannor med effekten  $100\text{--}150 \text{ MW}$  och för gamla pannor med en effekt över  $200 \text{ MW}$ , medan gränsvärdet för nya pannor med en effekt över  $150 \text{ MW}$  var  $140 \text{ mg/MJ SO}_2$  (förordning 256/1990). Det är klart att en dylik politik inte kan styra utvecklingen exakt. Förordningarna bereddes av

kommittéer med olika intressen representerade, vilket också visar det uppenbara, dvs. att staten inte fungerar som en enhetlig aktör med ett gemensamt intresse.

Resultaten av ingående studier av massa- och pappersindustrins utsläpp (Hildén et al. 2002, Mickwitz 2003, Similä 2002) kan generellt sammanfattas på följande sätt: Den nya teknik som möjliggjorde minskningen av vatten- och luftutsläppen togs delvis i bruk som en följd av de lagar och förordningar man hade stiftat. Miljöpolitiken har haft en stor betydelse för de minskade utsläppen, men alla förändringar berodde inte på miljöpolitiken. Kostnadsförändringar, kostnadsbesparingar och konsumentkrav påverkade också företagens beslut. Övergången till klorfri blekning av cellulosa är ett exempel där miljöorganisationernas protester och kundernas krav, snarare än miljöpolitiken, orsakade förändringen.

När en modern miljöpolitik introducerades togs nya tekniska lösningar i bruk vilket ledde till att vatten- och luftutsläppen radikalt minskade. Den traditionella miljöpolitiken byggde mycket långt på att man bedömde vilka tekniska möjligheter för att minska utsläppen som existerade och sedan sattes utsläppsvillkoren enligt dessa.<sup>2</sup> Detta synsätt är explicit i principen om "bästa tillgängliga teknik" (*Best Available Technology* – BAT) som finns inskriven i bland annat EU:s direktiv om samordnande åtgärder för att förebygga och begränsa föroreningar, det så kallade IPPC-direktivet och den finska miljöskyddslagen (86/2000).

### **Miljöpolitik som incitament för teknologiska innovationer**

När en modern miljöpolitik introducerades och började tillämpas i USA och i flera europeiska länder var det inte bara tillståndet i miljön som blev bättre. Ett annat ofta förekommande resultat var att förbättringarna ofta uppstod betydligt billigare än man trott innan politiken introducerats. En annan konsekvens var att det ofta efter en tid gick att uppnå utsläppsminskningar som tidigare ansetts vara omöjliga. Man insåg snabbt att detta till en stor del berodde på teknologiska innovationer.

När man började förstå hur centrala de teknologiska innovationerna var för miljöförbättringarna och för miljöpolitikens kostnadseffektivitet resulterade detta i ett betydande forskningsintresse i miljöpolitikens roll som incitament för innovationer. Forskningen gällde dels effekterna av internationell och nationell miljöpolitik generellt och dels den relativa fördelen med olika

styrmedel (regleringar, skatter och information) när det gäller att skapa incitament för teknologiska innovationer.

Den akademiska debatten i USA var speciellt aktiv i Bostonregionen (MIT, Harvard, etc.) och flera miljöekonomier var centrala forskare (Stavins, Hahn, Jaffe, Newell), men också statsvetare (Oye, Nordberg-Bohm) gjorde betydande insatser. I Europa var miljöekonomernas roll inte fullt lika dominerande. Till exempel Cris Freeman m.fl. vid University of Sussex: Science Policy Research Unit (SPRU) hade en bakgrund i innovationsforskning innan de började forska i miljöpolitik och innovationer. Också i Finland började man på 1990-talet forska i miljöpolitikens effekter på innovationer. De första som intresserade sig för frågorna var forskarna i professor Raimo Lovios grupp vid Helsingfors handelshögskola och lite senare forskarna vid Finlands miljöcentral (Hildén, Kivimaa, Mickwitz, Similä).

Det mest diskuterade enskilda forskningsbidraget var den så kallade Porter-hypotesen. Managementgurun Michael E. Porter publicerade 1995 tillsammans med Claas van der Linde två uppmärksammade artiklar i *Harvard Business Review* och *Journal of Economic Perspectives*. Det som senare kommit att kallas Porter-hypotesen kan sammanfattas som att "strikt miljöreglering kan skapa incitament för innovationer som också ökar kostnadseffektiviteten och ger konkurrensfördelar". Porter och van der Linde fick mothugg av många, speciellt miljöekonomier som menade att miljöpolitiken är viktig för att uppnå en renare miljö, men att man inte skall tro att den är gratis (Palmer et al. 1995).

En annan viktig akademisk debatt under 1990-talet var vilken typ av politik, eller specifikt vilken sort av styrmedel som bäst befrämjar teknologiska innovationer. Många teoretiska studier kom fram till att miljöskatter är att föredra fram om andra styrmedel, eftersom de ger starkare incitament för innovationer. (Milliman & Prince 1989, Jaffe & Stavins 1995). Slutsatsen låter mycket trovärdig, eftersom ett företag kan minska skatten det måste betala om företaget tar i bruk ny miljövänligare teknik. Denna möjlighet att minska skattekostnaderna är oberoende av nivån på företagets utsläpp. Om däremot utsläppsvillkor i miljö-tillstånd eller i förordningar används som miljöpolitiskt styrmedel får företaget inga fördelar av att ta i bruk ny miljövänligare teknik efter det att utsläppsgränsen har nåtts.

I empiriska studier är dock resultaten mera oklara. Finland var det första land i världen som tog i bruk en koldioxidbaserad energiskatt 1990. Men empiriskt har man inte kunnat observera någon effekt av energiskatten på innovationer



eller spridning av miljövänligare teknologi (speciellt inom massa- och pappersindustrin). Detta beror på att skatten för industrin har haft en mycket låg nivå. Incitamenten för innovationer har ytterligare förminskats av att de företag som betalar mycket energiskatt fått skatten återbetald (Mickwitz et al. 2008). Det lönar sig alltså mera för företagen att investera i lobbning än i att utveckla och ta i bruk ny teknik.

Finland har ingalunda varit ensamt om att gynna industrin när man infört miljöbeskattning. I de allra flesta länder har lägre skattesatser, rabatter och återbetalningar tillämpats (OECD 2015). Detta har resulterat i att miljöskatterna haft mindre effekter och lett till färre innovationer än vad man förväntat sig på basen av de teoretiska studierna.

I Finland har de enskilda tillstånden och förordningarna främst befrämjat spridningen av existerande teknik. Vissa vattentillstånd har förutsatt att företagen skall göra forskning och utveckling med syfte att minska framtida utsläpp. Dessa villkor har i praktiken visat sig vara ineffektiva. Detta är logiskt. Om forskningen skulle visa att det vore möjligt att ytterligare minska utsläppen skulle företaget vara tvunget att göra nya investeringar, det vill säga få ökade kostnader. Det finska tillståndssystemet har varit flexibelt och tillåtit företagen att tillfälligt överskrida existerande villkor när nya tekniska lösningar har testats. Detta har varit en viktig egenskap för att försnabba innovationer och deras spridning (Similä 2002, Mickwitz et al. 2008).

Även om de enskilda vattentillstånden snarast har påverkat spridningen av teknologi och inte innovationer har systemet som helhet haft en betydande effekt också på uppkomsten av miljövänligare teknologi. Det har berott på förväntningarna om kommande striktare utsläppsvillkor. Efter att kvantitativa utsläppsvillkor introducerades i vattentillstånden för pappersfabriker 1971 började snabbt alla tillstånd ha kvantitativa utsläppsvillkor. Tillståndsvillkoren började gälla flera parametrar och villkoren skärptes. Tack vare den finska offentliga förvaltningens transparens hade samtliga företag tillgång till alla tillstånd, också konkurrenternas. När tillståndsvillkorens utveckling var förutsägbar bidrog detta till att öka incitamenten för innovationer i miljövänligare teknologi. (Mickwitz 2003)

Ett problem med den traditionella miljöpolitiken är att också om den lett till reducerade utsläpp via spridning och utveckling av ny teknologi, har systemet ofta fungerat långsamt. För den sista pappersfabriken trädde ett tillstånd med kvantitativa villkor i kraft först 1995 även om fabriken varit i bruk sedan 1965 och vattenlagen trädde i kraft 1962. Också enskilda processer var

ofta långsamma. Ännu på 1990-talet tog det i flera fall över tio år från det att en ursprunglig ansökan hade lämnats in tills det att tillståndet trädde i kraft, och den längsta processen tog 16 år. (Hildén et al. 2002) En långsam implementering behöver ändå inte alltid enbart vara ett tecken på ineffektivitet; eftersom utvecklandet av ny teknologi tar tid kan den långsamma implementeringen vara det som möjliggör innovationer.

När Internationella sjöfartsorganisationens (IMO) regel för fartygens luftutsläpp av kväveoxider (NO<sub>x</sub>) trädde i kraft den 19 maj 2005 var samtliga motorer på marknaden klart under den nivå som krävdes. Betyder detta att regeln totalt saknade effekt och att den allmänna teknikutvecklingen som ägt rum mellan att förslaget till NO<sub>x</sub>-regeln lagts fram 1990 och att den trädde i kraft 15 år senare hade skött om problemet? Nej! Förhandlingarna inom IMO var av stor betydelse för att företagen skulle satsa på forskning och utveckling för att utveckla tekniska lösningar för att minska NO<sub>x</sub>-utsläppen. Förhandlingarna var också en viktig faktor som fick Tekes att stöda forsknings- och utvecklingsarbetet med projektstöd och teknologiprogram. Det var inte bara hotet om global reglering och de nationella teknologistöden som påverkade innovationerna. Också nedsatta hamn- och farledsavgifter för fartyg med lägre NO<sub>x</sub>-utsläpp i Sverige var viktiga för att få redare att vara villiga att testa ny teknologi (den första kommersiella tillämpningen kan ofta vara en stötesten i innovationsprocessen) (Hyvättinen och Hilden 2004, Mickwitz et al. 2008). Politiken för att minska sjöfartens luftutsläpp kan tolkas som ett lyckat exempel på en styrmedelskombination (*policy mix*) där många olika styrmedel på olika nivåer, från den globala (IMO) till den lokala (svenska städers hamnar), tillsammans ger incitament till teknologiutvecklingen. Att studera betydelsen av olika "policy mix" i stället för enskilda styrmedel har blivit ett viktigt tema inom innovationsforskningen (Kern och Howlett 2009, Rogge och Reichardt 2016).

Politiken kan i princip befrämja innovationer dels genom att stöda teknologitryck (*technology push*), dvs. förbättra förutsättningarna för forskning och utveckling samt kopplingarna mellan forskning och utveckling och användningen av ny teknologi. Men miljöpolitiken kan också befrämja innovationer genom att skapa eller förstärka marknadsdrag (*market pull*). Detta kan ske t.ex. genom offentlig upphandling eller via direkt reglering (Rennings 2000, Kivimaa 2008).

Ett exempel på hur miljöpolitiken kan skapa efterfrågan (marknadsdrag) är Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/30/EG som verkställdes genom Finlands lag 446/2007. Detta direktiv förutsätter att en viss andel av bränslet som används i

trafiken bör vara biobränsle. Även om Finland först motsatte sig regleringen har man senare nationellt krävt en högre andel än vad EU kräver. Genom denna reglering har EU skapat en marknad för biobränsle som lett till betydande investeringar i Finland (t.ex. Neste, ST1, UPM) (Temmes et al. 2014). Till exempel Neste uppvisade 2017 en vinst på över 1,1 miljarder euro av vilket 561 miljoner euro kom från tillverkningen av 3,2 miljoner ton förnybara produkter (Neste 2018). År 2017 fick finska staten 218 miljoner euro i dividendintäkter från Neste. Att finska företag kunde utnyttja den marknad för biobränslen som uppstod berodde på att de länge hade investerat i forskning och utveckling, delvis med hjälp av stöd från Tekes.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det nu är klart att miljöpolitiken kan ge incitament för teknologiska innovationer. Oftast blir incitamenten starkast om politiken både stöder teknologitryck och marknadsdrag. För att politiken skall vara effektiv förutsätts det att politiken är förutsägbar, att kraven gradvis skärps och att det finns en samstämmighet mellan olika styrmedel. Samtidigt som målen bör vara tydliga och förutsägbara är det viktigt att inte politiken föreskriver vissa enskilda tekniska lösningar och att den är tillräckligt flexibel för att göra det möjligt att testa nya lösningar (Hildén et al. 2002, Mickwitz et al. 2008, Kivimaa 2008).

### **Dagens stora hållbarhetsproblem och behovet av att förändra konsumtions- och produktionssystem**

Trots att man i Finland och i andra OECD-länder lyckats minska de traditionella vatten- och luftutsläppen är situationen allt annat än bra. Tvärtom har den fantastiska tillväxten i ekonomisk utveckling och social välfärd som uppnåtts, producerats med hjälp av en mångdubblad användning av naturresurser och energi (Krausmann et al. 2009). Detta har lett till flera globala miljöproblem som är så grava att de till och med kan undergräva förutsättningarna för mänsklighetens fortlevnad. De bäst dokumenterade globala miljöproblemen är klimatförändringen och utarmningen av den biologiska mångfalden. Också andra problem, såsom rubbade fosfor- och kvävekretslopp och kemikalisering, kan få katastrofala följder för mänskligheten. Hoten har under senaste år dokumenterats väl av både globala organisationer till exempel FN:s klimatpanel (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) och panelen för biologisk mångfald och ekosystemtjänster (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*, IPBES) samt i ett flertal vetenskapliga

publikationer i de kändaste vetenskapliga tidskrifterna *Nature* (Rockström et al. 2009) och *Science* (Steffen et al. 2015).

De globala miljöhoten är ingen nyhet och redan länge har "hållbar utveckling" varit ett globalt omfattat politiskt mål. Den så kallade Brundtlandkommissionen definierade 1987 hållbar utveckling som "*utveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov*" (WCED 1987). Vid FN:s konferens om miljö och utveckling i Rio de Janeiro 1992 antog man handlingsprogrammet Agenda 21 för att uppnå en hållbar utveckling och samtidigt undertecknade man bland annat klimat- och biodiversitetskonventionerna. Dessa har senare följts av ett stort antal deklARATIONER, mål och program antagna internationellt, regionalt, av EU, nationellt, samt lokalt. År 2015 antog FN Agenda 2030 som innehåller 17 mål, samt 169 delmål, för att till år 2030 uppnå en hållbar utveckling.

Redan i Brundtland-rapporten (WCED 1987) är förhållandet mellan utveckling, teknologi och miljö centralt. Men nyare forskning och konsekvensbedömningar har tydligare än tidigare formulerat utmaningen som ett behov av att radikalt förändra nuvarande konsumtions- och produktionssystem. I den Europeiska miljöbyråns rapport "Europas miljö: tillstånd och utblick 2015" konstaterar man: "*Sammantaget vittnar analysen om att varken miljöpolicyer i sig eller ekonomiska och teknikdrivna effektivitetsvinster troligtvis kommer att räcka till för att uppnå visionen för 2050 [EU:s vision för 2050 'Att leva gott inom planetens gränser']. För att leva gott inom de ekologiska begränsningarna kommer det istället att krävas grundläggande förändringar i produktions- och konsumtionssystemen, vilka är orsaken till vår påverkan på miljön och klimatet.*" (EEA 2015, s. 14)

Även inom innovationsforskningen har det skett en förskjutning av fokus. Numera är förändringar av hela socio-tekniska system betydligt mera centrala än tidigare och systemförändringarnas roll för en hållbar utveckling har blivit ett centralt forskningstema. Man kan tala om att ett livligt nytt forskningsområde har uppstått. Detta kännetecknas av en egen organisation "Sustainability Transitions Research Network" med över 1500 medlemmar, flera årliga internationella konferenser och en mycket livlig publikationsverksamhet.<sup>3</sup> Också många finska forskare är aktiva inom detta forskningsområde. Speciellt kan man nämna forskare från Finlands miljöcentral (Mikael Hildén, Paula Kivimaa, David Lazarevic, m.fl.), Aalto-universitetet (Raimo Lovio, Sampsa Hyysalo, Armi Temmes, m.fl.) och Helsingfors universitet (Eva Heiskanen).

Inom det här forskningsområdet ses hållbar utveckling som en förändring (*transition*) till mera hållbara sociotekniska system (Smith et al. 2010, p. 439). Med sociotekniska system menar man system där såväl elementen som kopplingarna mellan dem är både sociala och tekniska. Ett system för mobilitet baserat på personbilar, består dels av teknologier som bilen, förbränningsmotorn, asfaltsvälten, som sammanbinds av vägnät, och nätverk av bensinstationer och bilverkstäder, men dessa system består också av sociala element som var man bor i förhållandet till jobbet, körsätt och bilskatter, och olika element sammanbinds av till exempel trafikregler.

Forskningen i systemförändringar är i sig inte ny. Redan Joseph Schumpeter (1942) intresserade sig för mera än enskilda innovationer när han skapade det legendariska begreppet "Kreativ förstörelse" (*creative destruction*). Schumpeter såg teknologiska och organisatoriska förändringar som centrala och nödvändiga för kapitalismen. I hans analys uppstår förändringar genom en kamp mellan det gamla och det nya. Ibland är dessa förändringar långsamma, men ibland är de våldsamma. De våldsamma faserna startar enligt Schumpeter när utvecklingen baserad på det gamla har stagnerat.

Vi vet att systemförändringar sker. För alla som är över 50 år gamla är övergången från en analog till en mobil telefonkommunikation ett tydligt exempel på systemförändringar. Många stora systemförändringar har studerats ingående, till exempel Arranz (2017) gjorde en metastudie av 34 förändringar av energi- och transportsystem på basis av publicerade vetenskapliga artiklar. På basen av gjord forskning vet vi att stora systemförändringar ofta tagit en lång tid, oftast flera decennier. I de tidigaste skedena av en förändringsprocess har man oftast experimenterat med många tekniska och sociala lösningar parallellt. Efterhand har största delen fallit bort, men vissa kan senare komma att "återupptäckas". De nya lösningar som utvecklats vidare (efter de första "urvalen") har ofta förutsatt någon form av skyddat område (en nisch), t.ex. en skyddad hemmamarknad, eller en trygg upphandling av till exempel försvarsmakten, för att kunna bli bättre. Parallellt med utvecklingen av det nya systemets nya element har det gamla systemet försvagats, man talar om destabilisering. Den tredje viktiga faktorn är något man brukar kalla för landskapstryck, dvs. förändringar som är betydligt större än enskilda system. Landskapstryck kan vara t.ex. nya vetenskapliga upptäckter, förändrade värderingar eller stora förändringar i relativa priser som t.ex. vid oljekrisen (Geels 2002, 2011, Geels et al. 2017, Mickwitz et al. 2011).

Vi vet att stora systemförändringar äger rum. Vi vet också att de flesta stora systemförändringar som skett har resulterat i en ökad användning av naturresurser och energi och orsakat miljöproblem i stället för att befrämja en hållbar utveckling. Vi vet att de globala miljöproblemen kräver snabba lösningar, men samtidigt vet vi att de flesta systemförändringarna tagit en väldigt lång tid. Vi vet också att dessa stora systemförändringar kommer att förutsätta forskning och en stor mängd ny kunskap som faktiskt tillämpas. Frågan är om det är möjligt att styra systemförändringar så att de faktiskt bidrar till en hållbar utveckling och om det är möjligt att försnabba systemförändringarna så att temperaturökningen blir draglig och den biologiska mångfalden och ekosystemtjänsterna består så att människornas fortbestånd kan tryggas.

### **Slutsats: politiken är viktig för sambandet mellan teknik och miljö**

Det finns många sätt att se på sammanbandet mellan teknik och miljö. Här har fyra olika sätt att se på sambandet presenterats. Även om synsätten har diskuterats som tidsmässigt följande på varandra är det naturligtvis en förenkling. I verkligheten existerar alla synsätt parallellt, såväl bland forskare som i samhället generellt. Men tyngdpunkterna har ändrats.

När Finland industrialiserades var det många som såg vatten- och luftutsläppen som en ofrånkomlig sidoeffekt av den ökade produktionen, något som man bara måste godta för att få den ekonomiska utvecklingen. I vissa fall ansåg man att man senare kunde minska föroreningarna när man fått de ekonomiska resurserna för detta. Så är det dock inte mera. Traditionella vatten- och luftutsläpp accepteras inte längre. Att först starta storskalig verksamhet och sedan gradvis minska belastningen godtas helt enkelt inte. Men fortfarande finns de som ser tekniken som grundorsaken till miljöproblemen.

Med hjälp av miljöpolitik har man kunnat minska vatten- och luftutsläpp, tack vare att reningsteknologi och mera miljövänliga processer har tagits i bruk. Mycket av miljöpolitiken har byggts på att se till att den mest miljövänliga teknik som finns skall tas i bruk. BAT-principen (bästa tillgängliga teknik) är fortfarande central i t.ex. EUs direktiv om industriutsläpp (2010/75/EU) och i den finska miljöskyddslagen.

Nyare forskning har visat att teknikutvecklingen inte är oberoende av vad som händer i samhället, tvärtom talar man om endogen teknikutveckling. Miljöpolitiken har visat sig kunna fungera som incitament för teknologiska innovationer. Miljö-

vänligare teknologi har utvecklats, ofta som en följd av miljöpolitiken. Sålunda är miljöpolitikens incitament för innovationer idag en viktig faktor när ny politik diskuteras. Mer specifikt visar forskningen att styrmedlen bör vara förutsägbara, flexibla och gradvis ha striktare krav för att ge incitament för innovationer. Om politiken ger etablerade företag stora fördelar i form av undantag, lägre krav eller sänkta skatter blir däremot incitamenten för innovationer mycket mindre.

En viktig fråga för teknikutvecklingen, miljön och miljöpolitiken som inte diskuterats här, är olyckor och risker. Kärnkraftsolyckor, som de i Tjernobyl och Fukushima, eller galna ko-sjukan har haft en stor betydelse för miljön, för hur man ser på teknologi och på utformningen av miljöpolitiken. Risker och hanteringen av dem, till exempel genom försiktighetsprincipen är viktiga, men detta tema är för omfattande för att gå in på här.

Utan radikala förändringar av de centrala socio-tekniska systemen (energi, transport, mat, boende) kan de stora globala miljöproblemen inte lösas och en hållbar utveckling inte uppnås. De centrala frågorna är därför inte längre specifika miljöeffekter av enskilda teknologier, hur dessa kan minskas med enskilda styrmedel eller vilka incitament för utvecklandet av enskilda nya miljövänligare teknologier dess styrmedel ger. De viktiga frågorna är vilken kombination av styrmedel (*policy mix*) som behövs för att de nuvarande konsumtions- och produktionssystemen skall kunna bli hållbara och hur dessa förändringar skall kunna ske tillräckligt snabbt för att mänskligheten skall kunna fortleva.

## Anmärkningar

- 1 Vattenlagen förutsatte att företag hade tillstånd för sina utsläpp. Tillståndsprcessen började på basis av företagets ansökan. Speciellt för den finska processen var att varje beslut byggde på en individuell prövning och att inga nationella miljö- eller teknologiföreskrifter förekom. Däremot fanns det nationella vattenskyddsmålprogram. Då beslut om tillstånd fattades beaktades skador och nyttan av den förorenande aktiviteten, inklusive det mottagande vattendragets tillstånd och principen om "bästa tillgängliga teknik (BAT). Från 1962 till 1.3.2000 (då miljöskyddslagen trädde i kraft) beviljades vattentillstånden på basis av vattenlagen av tre regionala vattendomstolar. Besluten kunde därefter överklagas till vattenöverdomstolen och högsta förvaltningsdomstolen (Hildén et al. 2002).
- 2 I Finland krävde också industrin att utsläppsvillkoren skulle sättas enligt existerande teknologi, som redan tagits i bruk utomlands (Hallanaro et al. 2017).

- 3 Frågeställningarna diskuteras i STRN:s egna tidskrift *Journal of Environmental Innovation & Societal Transitions*, i specialnummer i många vetenskapliga tidskrifter (*Research Policy*, *Energy Policy*, *Sustainability Science*) samt i enskilda artiklar i ansedda tidskrifter, till exempel i *Science* (Geels et al. 2017).

## Litteratur

- Arranz, A. 2017. Lessons from the past for sustainability transitions? A meta-analysis of socio-technical studies. *Global Environmental Change* 44: 125–143.
- Barrett, S. 2003. *Environment and Statecraft – The Strategy of Environmental Treaty-Making*, Oxford University Press: Oxford.
- Chasek, P., Downie, D., Brown, J. 2010. *Global Environmental Politics* (Fifth Edition). Westview Press: Boulder.
- Crutzen P. 2006. The “Anthropocene”. In: Ehlers E., Krafft T. (eds.) *Earth System Science in the Anthropocene*. Springer: Berlin.
- EEA 2015. *Europas miljö: tillstånd och utblick 2015: en sammanfattning*. Europeiska Miljöbyrån: Köpenhamn.
- Geels, F. 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy* 31(8–9): 1257–1274.
- Geels, F. 2011. The multi-level perspective on sustainability transitions: responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1(1): 24–40.
- Geels, F. Sovacool, B., Schwanen, T., Sorrell, S. 2017. Sociotechnical transitions for deep decarbonization. *Science* 357(6357): 1242–1244.
- Hahn, R., Stavins, R. 1992. Economic incentives for environmental protection: integrating theory and practice. *American Economic Review* 82(2): 464–468.
- Hallanaro, E.-L, Santala, E., Vienonen, S. 2017. *Vesien vuoksi: Suomalaisen vesiensuojelun vaiheita*. Suomen vesiyhdistys ry: Helsinki.
- Hildén M., J. Lepola, P. Mickwitz, A. Mulders, M. Palosaari, J. Similä, S. Sjöblom, and E. Vedung 2002. *Evaluation of Environmental Policy Instruments – A Case Study of the Finnish Pulp and Paper and Chemical Industries*, Monographs of the Boreal Environment Research, 21, Finnish Environment Institute: Helsinki.
- Hyvättinen H, Hildén M. 2004. Environmental policies and marine engines – effects on the development and adoption of innovations. *Marine Policy* 28(6): 491–502.
- IPBES 2018. *Summary for policymakers of the regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and*



- Central Asia of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Fischer, M., Rounsewell, M., Torre-Marin Rando, A., Mader, A., Church, A., Elbakidze, M., Elias, V., Hahn, T., Harrison, P. A., Hauck, J., Martín-López, B. Ring, I., Sandström, C., Sousa Pinto, I., Visconti, P., Zimmermann, N. E., Christie, M. IPBES secretariat: Bonn.
- IPCC, 2014: *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 [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC: Geneva.
- Jaffe A, Newell R, Stavins R. 2002. Environmental policy and technological change. *Environmental and Resource Economics* 22(1-2):41–69.
- Jaffe A, Stavins R. 1995. Dynamic incentives of environmental regulations: the effects of alternative policy instruments on technology diffusion. *Journal of Environmental Economics and Management* 29(3): S43–S63.
- Kemp R. 1997. *Environmental Policy and Technical Change – A Comparison of the Technological Impact of Policy Instruments*. Edward Elgar: Cheltenham.
- Kern, F., Howlett, M., 2009. Implementing transition management as policy reforms: a case study of the Dutch energy sector. *Policy Sciences* 42(4): 391–408.
- Kivimaa, P. 2008. *The innovation effects of environmental policies. Linking policies, companies and innovations in the Nordic pulp and paper industry*. Helsinki School of Economics A: 329, Helsinki.
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K. H., Haberl, H., Fischer-Kowalski, M. 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20<sup>th</sup> century. *Ecological Economics* 68(10): 2696–2705.
- Laakkonen , S. 1999. Harmaat aallot: Ympäristösuojelun tulo Suomeen. — Laakkonen et al. 1999, ss. 209–227.
- Laakkonen, S., Laurila, S., Rahikainen, M. 1999. *Harmaat aallot: Ympäristösuojelun tulo Suomeen*. Historiallinen Arkisto 113, Suomen Historiallinen Seura: Helsinki.
- Leino-Kaukiainen P. 1999 Vesistöistä viemäriksi: Vesiensuojelu Suomessa 1945–1970. — Laakkonen et al. 1999 ss. 33–67.
- Landrigan, P., Fuller, R., Acosta, N., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., Baldé, A., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J., Breyse, P., Chiles, T., Chulabhorn, M., Coll-Seck, A., Cropper, M., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., Hanrahan, D., Hunter, D., Khare, M., Krupnick, A., Lanphear, B., Lohani, B., Martin, K., Mathiasen, K., McTeer, M., Murray, C., Ndahimananjara, J.,

- Perera, F., Potočník, J., Preker, A., Ramesh, J., Rockström, J., Salinas, C., Samson, L., Sandilya, K., Sly, P., Smith, K., Steiner, A., Stewart, R., Suk, W., van Schayck, O., Yadama, G., Yumkella, K., Zhong, M. 2017. The Lancet Commission on pollution and health, *The Lancet* 391 (10119): 462–512.
- Levy, M. 1995. International Co-operation to Combat Acid Rain, I Bergesen, H., Parmann, G., Thommessen, Ø. (eds.), *Green Globe Yearbook of International Co-operation on Environment and Development 1995*. Oxford University Press: Oxford ss. 59–68.
- Lovio, R., Mickwitz, P., Heiskanen, E., 2011. Path dependence, path creation and creative destruction in the evolution of energy systems. — Wüstenhagen, R., Wuebker, R. (eds.), *Handbook of Research on Energy Entrepreneurship*. Edward Elgar Publishing: Cheltenham, ss. 274–301.
- Mickwitz, P., 2003. Is it as bad as it sounds or as good as it looks? Experiences of Finnish water discharge limits. *Ecological Economics*, 45(2): 237–254.
- Mickwitz, P., Hildén, M., Seppälä, J., Melanen, M. 2011. Sustainability through system transformation: lessons from Finnish efforts. *Journal of Cleaner Production* 19(16): 1779–1787.
- Mickwitz P., Hyvättinen, H., Kivimaa, P. 2008. The role of policy instruments in the innovation and diffusion of environmentally friendlier technologies: popular claims versus case study experiences. *Journal of Cleaner Production*, 16(S1): S162–S170.
- Milliman S, Prince R. 1989. Firm incentive to promote technological change in pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management* 17(3): 247–265.
- Neste, 2018. *Nesteen Vuosikertomus 2017*. [https://ir-service.appspot.com/view/ahBzfmyLXNlcnZpY2UtaHJkchsLEg5GaWxlQXRoYWNObWVudBiAgNCUsu\\_TCAw?language\\_no=1](https://ir-service.appspot.com/view/ahBzfmyLXNlcnZpY2UtaHJkchsLEg5GaWxlQXRoYWNObWVudBiAgNCUsu_TCAw?language_no=1).
- Nordberg-Bohm, V., 1999. Stimulating ‘green’ technological innovation: An analysis of alternative policy mechanisms. *Policy Sciences* 32(1): 13–38.
- OECD, 2015. *Towards Green Growth?: Tracking Progress*. OECD Publishing: Paris.
- Oye, K., Maxwell, J. 1995. Self-interest and environmental management. — Keohane R, Ostrom E, (eds.). *Local Commons and Global Interdependence*. SAGE Publications: London, ss. 191–221.
- Palmer, K., Oates, W., Portney, P. 1995. Tightening Environmental Standards: The Benefit-cost or the No-Cost Paradigm? *Journal of Economic Perspectives* 9(4): 119–132.
- Porter, M., van der Linde, C. 1995. Green and competitive: ending the stalemate. *Harvard Business Review*, September–October: 120–134.

- Porter, M., van der Linde, C. 1995. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives* 9(4): 97–118.
- Rennings, K. 2000. Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics* 32: 319–332.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å, Chapin, S., Lambin, E., Lenton, T., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., de Wit, C., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R., Fabry, V., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472–475.
- Rogge, K., Reichardt, K. 2016. Policy mixes for sustainability transitions: An extended concept and framework for analysis. *Research Policy* 45(8): 1620–1635.
- Rosling, H., Rosling Rönnlund, A., Rosling O. 2018 *Factfulness: Tio knep som hjälper dig att förstå världen*. Natur & Kultur: Stockholm.
- Schumpeter, J. 1942/1954. *Capitalism, Socialism, and Democracy*. Fourth Edition with a New Chapter. George Allen & Unwin Ltd.: Boston.
- Similä, J. 2002. Pollution regulation and its effect on technological innovations, *Journal of Environmental Law* 14(2): 143–160.
- Similä, J. 2007. *Regulating Industrial Pollution: The Case of Finland*, Forum Juris, Helsingin yliopiston oikeustieteellisen tiedekunnan julkaisut. Helsinki.
- Skærseth, J. 2003. Managing North Sea Pollution Effectively: Linking International and Domestic Institutions, *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* 3(2): 167–190.
- Sliggers, J. Kakebeeke, W. 2004. *Clearing the Air: 25 years of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. United Nations Economic Commission for Europe: Geneva.
- Smith, A., Voß, J.-P., Grin, J. 2010, Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges, *Research Policy* 39(4): 435–448.
- Statistikcentralen, 2018a. *Förändringar under hundra år*. [www.stat.fi/ajk/satavuotiassuomi/suomiennenjanyt/vuosisadanvertailutsv.html](http://www.stat.fi/ajk/satavuotiassuomi/suomiennenjanyt/vuosisadanvertailutsv.html) (Besökt 21.7.2018)
- Statistikcentralen, 2018b. *Finland bland de ledande i världen*. [www.stat.fi/ajk/satavuotiassuomi/suomimaailmankarjessa\\_sv.html](http://www.stat.fi/ajk/satavuotiassuomi/suomimaailmankarjessa_sv.html) (Besökt 21.7.2018)
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Bennett, E., Biggs, R., Carpenter, S., de Vries, W., de Wit, C., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G., Persson, L., Ramanathan, V.,

- Reyers, B. and Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science*, 347(6223).
- Temmes, A., Virkamäki, V., Kivimaa, P., Upham, P., Hildén, M., Lovio, R. 2014. *Innovation policy options for sustainability transitions in Finnish transport*. Tekes Review 306/2014 Helsinki.
- WCED (World Commission on Environment and Development), 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press: Oxford.