

Latente overraskelser og forutsigbare fremskritt.

Om teknologisk utvikling - det som var og det som kommer

[Knut Samset](#)

I 2017 var det hundre år siden den russiske oktober-revolusjonen. Den fikk en særdeles lavmælt markering i Russland den 4. november, og ble forbigått i stillhet i de fleste andre land. Åpenbart fordi revolusjonen var starten på mange tunge og mørke tiår med kommunisme. Det som huskes best er kanskje Stalins regime som myrdet et titalls millioner av samveldets egne innbyggere. Det skjedde i en helt annen virkelighet enn dagens, både politisk, økonomisk og teknologisk.

Latente overraskelser

Det er nesten ufattelig hva som har skjedd i løpet av hundre år. Og det har gått fort. Spesielt teknologisk. I revolusjonsåret var Ford modell T verdens mest solgte bil, og flyvning var i sin aller tidligste barndom. De fleste fly var dobbeltdekkere laget av pinner og lerret. Men bare 50 år senere, i 1969, satte mennesker foten på månen. Ingen kunne forutsett noe slikt i 1917. Og ingen i 1969 kunne forutse dagens teknologi og hvordan verden fortøner seg i 2017.



Ford modell T, år 1915

Den fremsynte multi-entreprenøren Elon Musk kom nylig med en klar uttalelse. Mannen bak PayPal, Tesla, Space X, HyperLoop og andre nyvinnende tiltak sa at i løpet av de neste 20 årene vil de teknologiske endringene bli større enn hva vi har sett de siste hundre år.

Det ville være overveldende. Og han får antakelig rett, men kan han vite det? Svaret er at ingen kan vite det. Spørsmålet er om vi i det hele tatt er i stand til å forutsi fremtidige oppfinnelser og hendelser.

NTNU-professor Tore Sager kom i år ut med en forskningsrapport om fremsynsmetoder, produsert på oppdrag fra Concept-programmet (rapport nr. 53). Der skriver han blant annet om:

- *Prediksjon*, eller fremskrivning av historiske trender, som grunnlag for å si noe om fremtiden

- *Trendbrudd*, som gjør prognosene uforutsigbare, og
- *Preskripsjon*, det vil si et bevisst ønske om å endre en eksisterende trend, for å oppnå en fremtidig ønsket tilstand – eller unngå en uønsket fremtidig tilstand.

Trendbrudd er som oftest forårsaket av teknologisk, politisk og økonomisk endring i en eller annen kombinasjon. Dette er komplekse prosesser som til sammen gjør det vanskelig å forutsi.

Spørsmålet er om vi er blitt flinkere til å forutsi fremtidige hendelser nå enn tidligere. Svaret er antakelig ja, fordi endringene skjer raskere. Og fordi vi politisk og økonomisk er blitt mer opptatt av å styre utviklingen i bestemte retninger. Istedenfor å la utviklingen gå sin gang og planlegge i forlengelsen av eksisterende trender, ser vi i større grad at politikere tenker mer langsiktig på enkelte områder. De ønsker å endre bestemte trender ved å definere mål som ikke ligger i forlengelsen av det eksisterende. Klimamålene er det beste eksemplet på dette. De har ført til en debatt som engasjerer på alle samfunnsnivåer, fra menigmann til sentrale beslutningstakere, og fører til internasjonale avtaler, forskning, ny teknologi, og etter hvert handling.

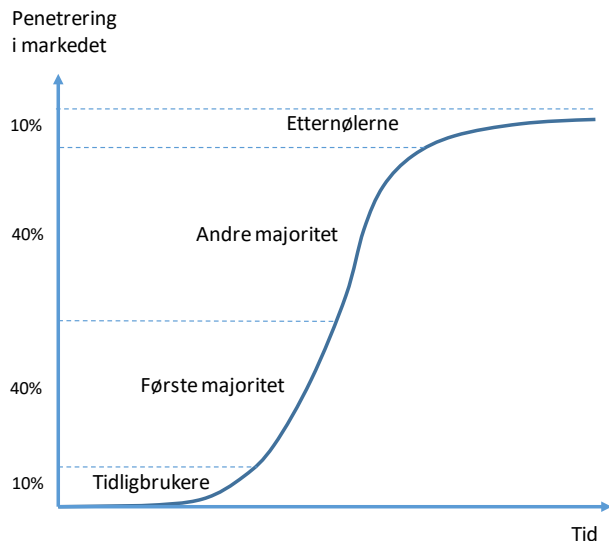
Men samtidig er tendensen at majoriteten foretrekker å fortsette i forlengelsen av det eksisterende, for det er det enkleste, og i svært mange tilfeller det mest lønnsomme på kort sikt. Dessuten, jo lenger inn i fremtiden man forsøker å planlegge, desto mer usikker blir prediksjonen.

Ekspontiell vekst

Trender som har med teknologi å gjøre er ofte eksponentielle. Som kjent fremsatte Gordon Moore i Intel i 1965 det som er kjent som Moores lov. Han hevdet at antall transistorer i dataprosessorer ville dobles hvert annet år. Det har vist seg å stemme svært godt. Samtidig vet vi at ingen trender vokser inn i himmelen. Det ville vært umulige – eller katastrofalt. På 1970-tallet var befolkningsveksten et hett tema. Den veien kurven pekte viste at Jorden vil bli overbefolket i løpet av inneværende århundre, og få konsekvenser som kanskje vil bety slutten på menneskeheten. Slik går det ikke, mener vi i dag, fordi reproduksjonsraten avtar dramatisk med økende inntekt og levestandard. Barnefamilieene blir mye mindre. Man antar derfor at befolkningstallet stabiliseres på 8-9 milliarder ved midten av århundret, og deretter kanskje går nedover. En utflatning vil også skje med Moores vekstkurve, ganske enkelt fordi vi nærmer oss den fysiske grensen for hvor små transistorer man kan lage – det atomære. Det som var eksponentiell vekst blir da til en S-kurve.

.. politisk og økonomisk er vi blitt mer opptatt av å styre utviklingen i bestemte retninger. Istedenfor å la utviklingen gå sin gang og planlegge i forlengelsen av eksisterende trender, ser vi i større grad at politikere tenker mer langsiktig på enkelte områder

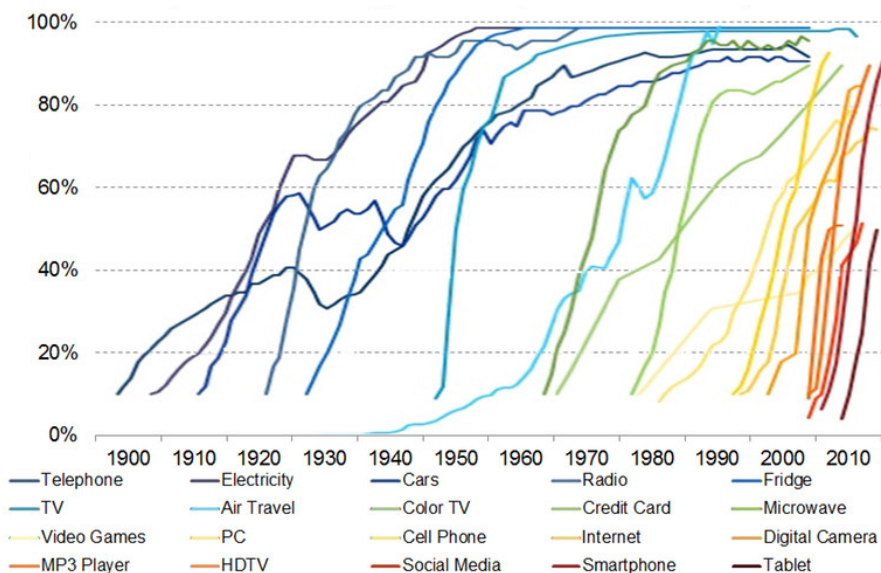
Slike kurver er kanskje noe av det nyttigste vi har for å forutsi utviklingen fremover. Fordi utvikling handler mye om teknologi og innovasjon: En idé oppstår hos et forskningsmiljø eller en oppfinner. Den utvikles til noe som har et markedspotensial. Etter hvert kommer de første produktene på markedet, og noen tidlige interessenter tar dem i bruk. Deretter tar det av og man får raskt økende etterspørsel og omsetning hos majoriteten. Deretter følger en lang periode hvor etternølerne også anskaffer produktet. Dette er vist i figuren nedenfor.



Dersom man ser dette i større sammenheng, kan man betrakte teknologisk og økonomisk utvikling som en serie s-kurver som hver enkelt representerer nye trender eller ny teknologi. De bryter frem, eksploderer i vekst, før de modnes og suppleres eller erstattes av nye trender og ny teknologi.

Figuren nedenfor viser hvordan ny teknologi ble tatt opp i det amerikanske markedet fra nittenhundretallet til i dag. Noen nyvinninger tok veldig kort tid, for eksempel kjøleskapet på slutten av andre verdenskrig. Det var utvilsomt noe som var særdeles nyttig for folk flest. Andre nyvinninger tok lengre tid, for eksempel fjernsyn og passasjertrafikk med fly. Diagrammet bekrefter også noe vi opplever i dag, nemlig at de teknologiske gjennombruddene nå kommer raskere og tas forttere opp i markedet. Det gjelder PCer, Internett, sosiale medier, smarttelefoner, osv. Vi lever nå i det som betegnes som «the age of disruption», eller gjennombruddenes tidsalder på norsk.

Markedsdekning av ny teknologi i USA fra 1900 til i dag



Hvordan kan man i en slik kaotisk situasjon forutsi nye gjennombrudd? Det handler selvfølgelig til dels om at forutsigelsene i stor grad blir selvoppfyllende. Men også at utdanning, forskning og informasjonsutveksling gjør at samfunnets kollektive kreativitet øker kolossalt. Og digitaliseringen. Fagmiljøene er på ballen omgående for å finne løsninger som kan kommersialiseres. At det må komme nye gjennombrudd på bestemte områder kan derfor svært mange mene noe om. Men når det eventuelt vil skje er vanskeligere å forutsi.

Prisen på menneskeskapt lys

Det beste hjelpemiddelet man har er å se på kostnaden og nytten av ny teknologi. Dette kan illustreres med utviklingen av lys-teknologi, og hva det har betydd for prisen vi betaler for menneskeskapt lys, beskrevet i boken «*Fifty Inventions that Shaped the Modern Economy*» (Harford, 2017).

En professor ved Yale University ville finne et tallmessig uttrykk for dette, sett i historisk perspektiv. Han valgte lysmengde som indikator for nytte, og arbeidstid som innsatsfaktor, og skaffet seg en lysmåler. Eksperimentet var følgende:

Først lagde han et bål med 10 kilo vedkubber og registrerte det flakkende lyset fra bålet til dette var brent ned - og fikk dermed et tall i Lumen-timer. Så kjøpte han en gammel oljelampe lik den de brukte i Romertiden, helte på en bestemt mengde vegetabilsk olje, tente, og målte lyset til oljen var brukt opp. Den lyste mye klarere og lengre enn bålet, og med ganske lavt forbruk av olje.

Han anslo deretter hvor mange arbeidstimer som medgikk til å hugge kubbene, og til å tjene nok i romertiden til å betale for den lille mengden olje det var snakk om. Så målte han styrken fra en gammeldags lyspære og anslo hvor mange arbeidstimer man måtte jobbe på den tiden for å betale for pæren og strømmen gjennom dens levetid. På Edisons tid rundt århundreskiftet fikk man kanskje ti dager med lys for en ukes arbeidslønn, men prisen gikk raskt nedover med årene, fordi lyspæren og strømmen ble billigere, og lyset fra pæren ble sterkere. Han regnet videre på halogenlamper, lysstoffrør og dagens LED-lamper, som kan lyse i tre år kontinuerlig og med høy intensitet, og som koster svært lite både i innkjøp og energi. Mengden lys i forhold til arbeidsinnsats ble dermed en tilnærmet eksponentiell kurve som gikk flatt gjennom århundrene og deretter nesten rett opp. Konklusjonen på eksperimentet var at kostnaden på menneskeskapt lys fra steinalderen til i dag har falt enormt - med en samlet faktor på 500.000! I gamle dager var lys noe som var for kostbart å bruke, i dag er det for billig til at man i det hele tatt reflekterer over det.

.. kostnaden på menneskeskapt lys fra steinalderen til i dag har falt enormt - med en samlet faktor på 500.000! I gamle dager var lys noe som var for kostbart å bruke, i dag er det for billig til at man i det hele tatt reflekterer over det

Hyperbolsk reduksjon

Og det er kostnaden per enhet vi er interessert i, så vi snur brøken. I stedet for lysmengde i forhold til innsats regner vi derfor kostnad i forhold til lysmengde. Slike kostnadskurver kan gi gode indikasjoner på et mulig gjennombrudd i markedet.

Det gir liten mening å sammenlikne dagens teknologi med det en brukte for tusenvis av år siden, så la oss begrense oss til tidsrommet fra Edisons første kommersielle glødelampe ved begynnelsen av forrige

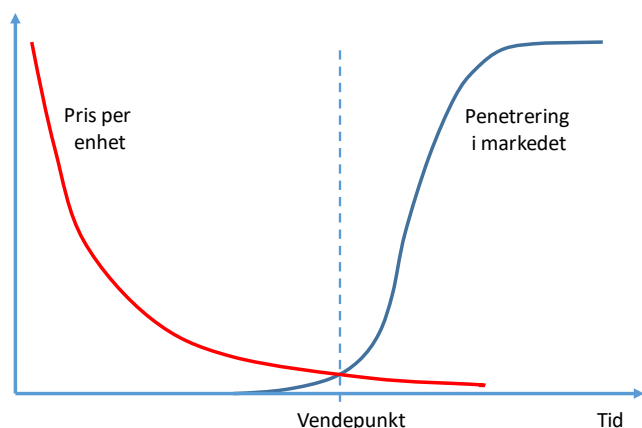
århundre, og til i dag. Kostnadskurven for menneskeskapt lys vil da i prinsippet være som i figuren nedenfor, tilnærmet hyperbolsk. Den starter høyt og går raskt nedover, før den flater ut mot et bunnivå.

For menneskeskapt lys er prisen for lengst så nær null som man kan tenke seg mulig, og det kommersielle potensialet for nyvinninger har vært utløst mange ganger allerede, hvorav det største gjennombruddet kom med LED-lampene. Men det tok tid. Prinsippet ble oppdaget på 1960-tallet. Den første lampen ble vist i Japan i 1994, solgt i Kina i 1998, og det store gjennombruddet i markedet kom omtrent 10 år senere.

Kostnaden for prosessorer til datamaskiner fulgte et liknende forløp, og hver av dagens mobiltelefoner har like mye datakraft som de gigantiske supercomputerne for noen få tiår siden. Moores lov slo ut på prisen og utløste på et tidspunkt en digitaliseringsbølge som har kastet om på det aller meste vi kjenner til innenfor kommunikasjon, produksjon, administrasjon, etc.

Teknologiske gjennombrudd

Det er her s-kurven kommer inn som hjelpemiddel til å forutsi når ting kommer til å skje. Prisen på ny teknologi sett i sammenheng med etterspørselen kan gi meget god indikasjon på når ting vil ta av, med en presisjon på pluss/minus noen få år (Seba, 2014).

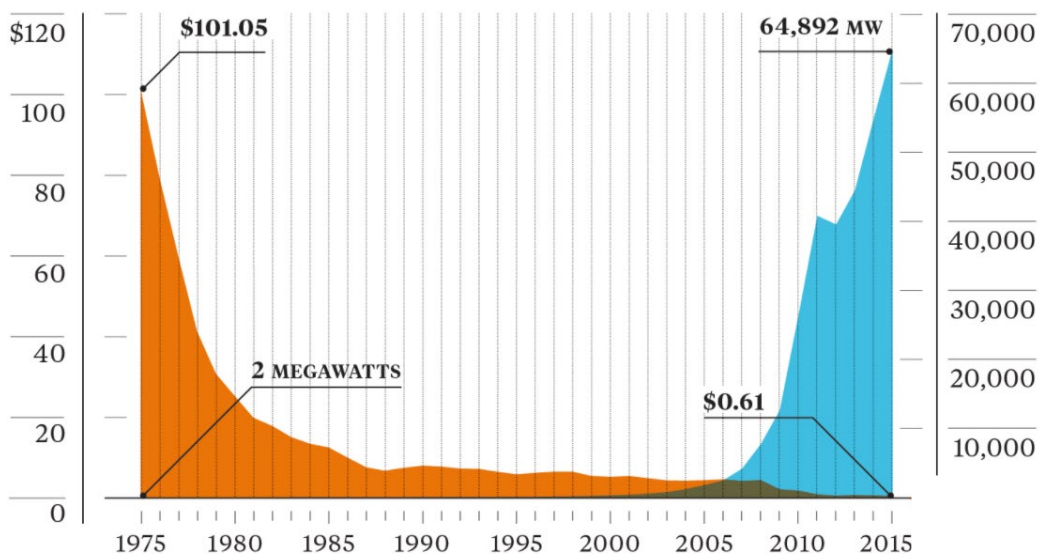


Når teknologien er tilstrekkelig moden til at prisen flater ut og nærmer seg en terskelverdi, er sannsynligheten for gjennombrudd i markedet stor. Terskelverdien avhenger av alternativkostnaden gitt eksisterende teknologi og sammenliknbar nytte. Erfaringsmessig er markedsresponsen treg og kostnaden må ofte komme ganske langt ned før markedet tar av. Utviklingen av solceller er et godt eksempel.

Kurven nedenfor viser prisen på silikonbaserte solceller de siste 40 år. Den starter på 101 dollar/watt i 1975. I dag er den nede i 0,3 dollar/watt, eller omtrent tre promille. Det er en enorm forbedring, som har å gjøre med teknisk utvikling, produksjonsteknikk og masseproduksjon. Den interessante delen av kurven er den siste, og spørsmålet: Når er prisen kommet så lagt at det kommersielle potensialet vil bli utløst? Svaret er at det skjedde omtrent da prisen passerte 1 dollar/watt. Ettersom prisen er på vei videre nedover har vi antakelig bare så vidt sett starten. Tidligere var solpaneler noe for

Når teknologien er tilstrekkelig moden til at prisen flater ut og nærmer seg en terskelverdi, er sannsynligheten for gjennombrudd i markedet stor. Terskelverdien avhenger av alternativkostnaden gitt eksisterende teknologi og sammenliknbar nytte.

de spesielt interesserte. Det var små solceller i gadgets og leketøy, og større paneler for de som ville ha litt strøm til lamper på hytta og var villige til å betale for det. Men nå er markedet for lengst i ferd med å ta av. Både Tesla konsernet og IKEA tilbyr i dag pakkeløsninger for å installere solkraftanlegg med langt større kapasitet på taket av privatboliger.



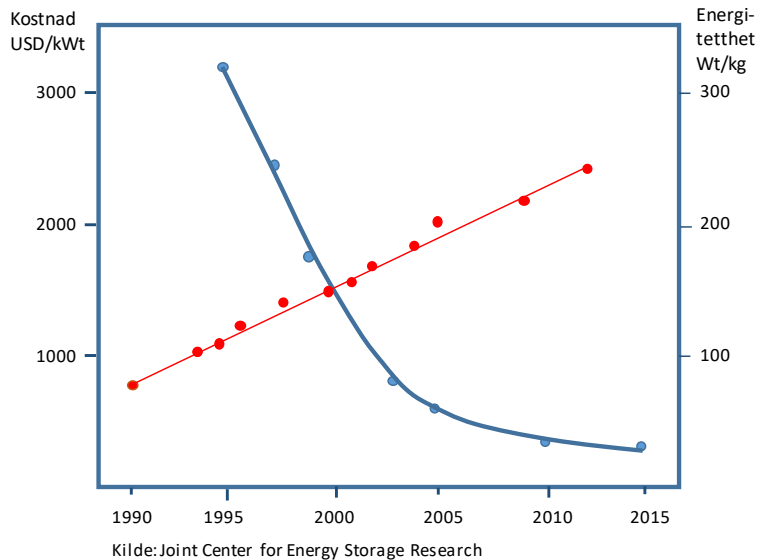
Kilde: Bloomberg, Earth Policy Institute. www.earth-policy.org

Forutsigelser

Batteriteknologi er det neste som banker på døren. Dersom samfunnet og vi som forbrukere skal satse på fornybar energi som ikke er døgkontinuerlig, trengs batterier. Også om man vil ha el-biler på veiene. Figuren nedenfor viser prisutviklingen på litiumbatterier de siste 20 år. Den har falt med en faktor på 100. Men har vi sett en markedsrespons? Bare så vidt, og vi er antakelig bare i starten. Hva når prisen blir halvert og kapasiteten i form av energitetthet øker ytterligere? Eller når man erstatter dyrt litium med billig natrium, som er en ubegrenset ressurs på Jorden? Da kan det hende at det skjer noe. Men når? Etterspørselskurven for elektriske biler er til hjelp. Den viser at vi er helt i starten, og det er bare de tidlige brukerne som har nappet på foreløpig. Men det kommer etter hvert, og kanskje før vi tror.

Alle eksemplene ovenfor handler om energi. De er enkeltstående gjennombrudd som vil bidra til forandringer i det store bildet. Når det gjelder energi, er Norge et eventyrland. Det som karakteriserer vår situasjon er at vi (1) er så godt som helelektrifisert, (2) at nesten all strøm er basert på fornybar energi (vannkraft), som (3) er døgkontinuerlig, og (4) i prinsippet er gratis. Derfor er strømprisen så lav at vi som forbrukere sløser uhemmet med den.

Det interessante sett i det store bildet er at forbruket allikevel går svakt nedover. Det skyldes mer energieffektiv teknologi på forbrukersiden som for eksempel privat oppvarming ved hjelp av varmepumper, omfattende overgang til LED-lamper, og etter hvert utnyttelse av fornybar energi fra sol og vind. Forbruket avtar selv om el-bil parken øker. Våre naturgitte forutsetninger er slik at vi knapt har noen problemer på energiområdet sammenliknet med andre land, som fremdeles er avhengig av olje, gass og kull for å produsere strøm og varme.



Det store bildet

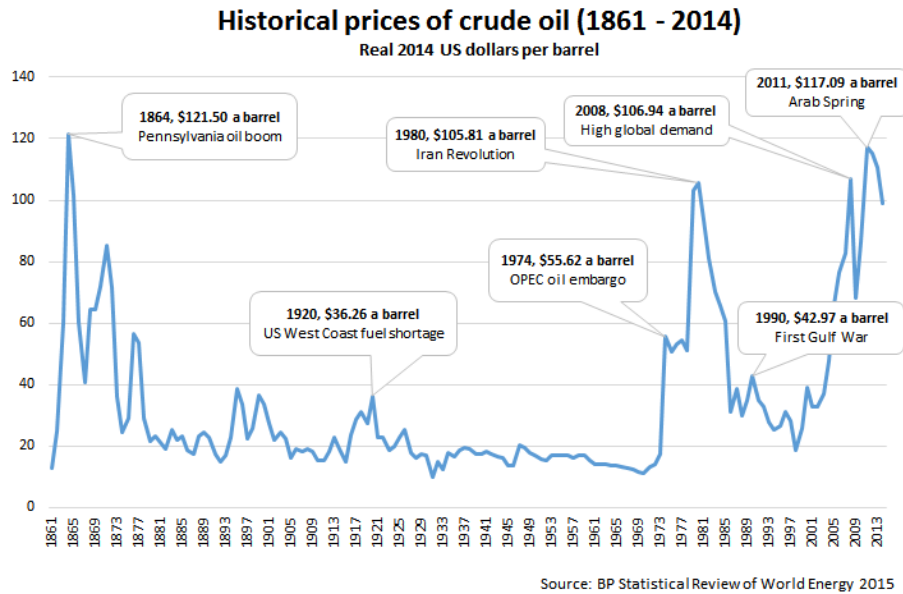
Figuren nedenfor viser kostnaden for råolje i relative priser gjennom historien. Ser man bort fra de tidligste årene da prisen var uforholdsmessig høy, har man hatt veldig mange gode år frem til oljekrisen i 1980 i forbindelse med den iranske revolusjonen. I forbindelse med den arabiske våren gikk prisen på nytt mot nye høyder. Grafen viser at Vesten har vært i en dvaletilstand gjennom flere tiår, fordi oljemarkedet har virket til vår fordel. Spørsmålet er hva som skjer videre. Her kommer selvsagt prisen på alternative energikilder inn.

Det store bildet er at atomenergi, olje og gass er dyrt. Kullenergi er rimeligere, men har høye miljøkostnader. Men fornybar energi er i prinsippet gratis. Ulempen er at den er intermitterent, og derfor må lagres i perioder av døgnet. Og at både produksjon og lagring krever ny og kostbar infrastruktur.

At infrastrukturen vil bli bygget i årene som kommer er rimeligvis opplagt, ganske enkelt fordi energien er gratis. Derfor vil den i økende grad slå ut alle andre alternativer. Det vil skje uavhengig av opinionsdannere, politiske beslutningstakere, konserverende næringsinteresser, og så videre. Markedet vil avgjøre fordi ingen ikke-fornybare energibærere kan konkurrere med en som er gratis. Så enkelt er det.

Det sies at teknologi er å oppfatte som sivilisasjonens DNA som definerer hvem vi er, og at energien er å oppfatte som sivilisasjonens blod. Det er ingen dårlig metafor. Og at økonomien er det som skal til for å få sivilisasjonen til å fungere. Dette er mer grunnleggende enn politikken – på lengre sikt. Men allikevel gjelder det å forsøke å forutse hvor trendene kan ta oss, og sette mål for å styre i en fornuftig retning. Hundre år etter den russiske revolusjonen er vi midt inne i en ny revolusjon, denne gangen teknologisk, som antakelig vil forandre verden til det bedre.

At infrastrukturen vil bli bygget i årene som kommer er rimeligvis opplagt, ganske enkelt fordi energien er gratis. Derfor vil den i økende grad slå ut alle andre alternativer. Det vil skje uavhengig av opinionsdannere, politiske beslutningstakere, konserverende næringsinteresser, og så videre.



Kilder.

Harford T, 2017, Fifty Inventions That Shaped the Modern Economy, Riverhead Books, New York

Sager T, 2017, Fremsynsmetoder, Concept rapport nr. 53, Ex Ante akademisk forlag

Seba T, 2014, Clean Disruption of Energy and Transportation: How Silicon Valley Will Make Oil, Nuclear, Natural Gas, Coal, Electric Utilities and Conventional Cars Obsolete by 2030