

Varmekraftmaskinenes endeligt

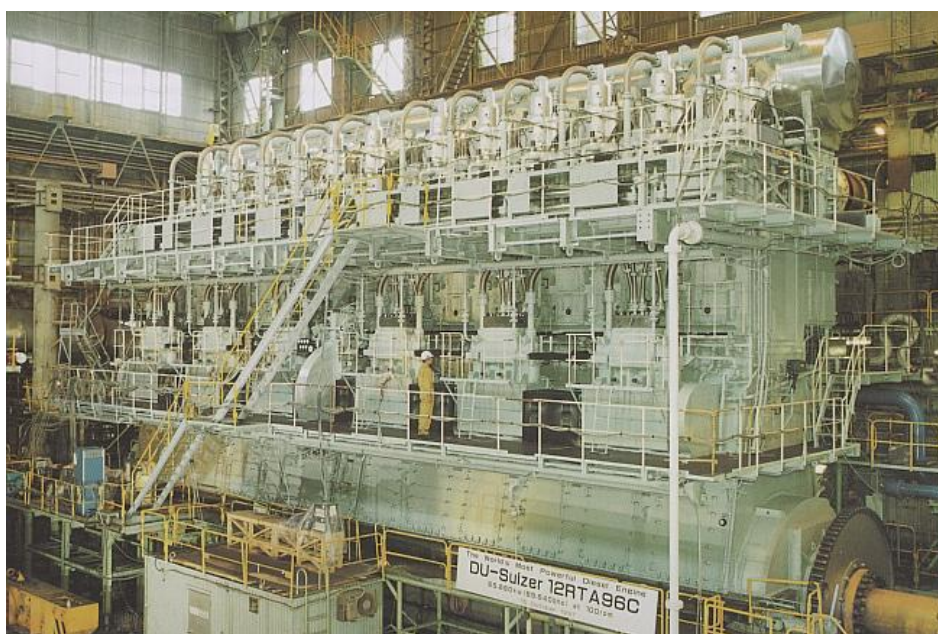
En «root-cause»-analyse av energiregnskapet

Knut Samset

En UFO beveget seg sakte over himmelen en lys sommernatt langt nord på vår planet. Den stoppet over en metallgjenstand, og senket seg ned til bakken for å inspisere. Gjenstanden stod forlatt på tundraen. To romvesener steg ut, og registrerte at dette var et kjøretøy med hjul og plass til flere. Hva er drivkraften? De åpnet panseret og kikket ned, forstod øyeblikkelig hva det var, og begynte å le. Dette var for dumt. De fortsatte å le, gikk om bord igjen, men greide ikke stoppe å le. På turen videre konkluderte de raskt at denne sivilisasjonen var for primitiv til at de ville ta kontakt. Kanskje om hundre år, mente den ene, er de kommet så langt at vi har noe å snakke om.

Det de hadde sett var noe så alminnelig som en bil, som drives av noe så gammeldags som en stempelmotor. En varmekraftmaskin. Problemet med slike er at bare litt av energien som tilføres utnyttes til fremdriften, det meste av går tapt som varme. I tillegg til støy og at de spyr ut store mengder klimagass og giftige gasser. Slike maskiner hører ikke til i et moderne samfunn, men på museum. Romvesenene visste noe som verken folk flest eller politikere har tatt inn over seg: nemlig at det aller meste av energien som et samfunn på dette utviklingsstadiet bruker, går gjennom varmekraftmaskiner før den utnyttes som elektrisk strøm eller mekanisk arbeid.

Energitapet er enormt. Det er også klimabelastningen og forurensningen. La oss se nærmere på energispørsmålet.



Figur 1. Verdens største stempelmotor: Wärtsilä-Sulzer RTA96, en 14 sylinder 2 takts turbo diesel skipsmotor som driver Wärtsiläs containerskip. Den veier 2300 tonn, er 27 meter lang og 13,4 meter høy. Når den går for fullt, yter den 108 000 hestekrefter, og forbruker 13,000 liter diesel i timen. Luftforurensningen tilsvarer utslippet fra flere millioner biler.

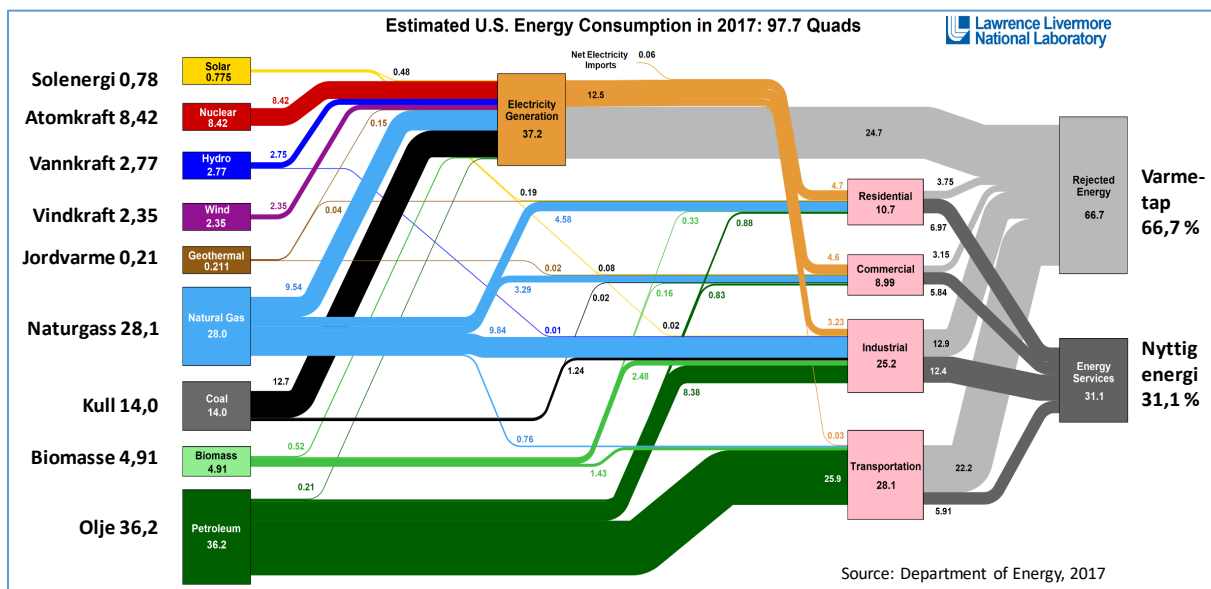
Varmekraftmaskiner

En varmekraftmaskin er en maskin som omdanner varme til arbeid. Det gjelder alle typer stempelmotorer enten de drives av olje, bensin, gass, diesel, kull, ved eller annet - og enten det dreier seg om transportsektoren (skip, tog, busser, biler og fly), bygg og anleggssektoren (gravemaskiner, bulldosere, osv.), jordbrukssektoren, etc. Men det gjelder også alle typer turbiner, som brukes i varmekraftverk til å produsere elektrisitet, uansett hva drivstoffet er. Det gjelder derfor også atomkraftverk, som i prinsippet ikke er annet enn en dampmaskin, der atomenergien brukes til å koke vann. Jetmotorer og rakettmotorer er også varmekraftmaskiner.

Den største innvendingen mot varmekraftmaskiner (i tillegg til støy og forurensning) er at de har svært lav effektivitet. Allerede i 1822 formulerte franskmannen Sadi Carnot prinsippet for varmekraftmaskiner og hvordan virkningsgraden beregnes. Konklusjonen er meget enkel: varmekraftmaskiner er et eksepsjonelt dårlig valg. Minst to tredjedeler av energien vil gå tapt som varme i de aller fleste maskiner. Det er en naturlov. Man regner at forbrenningsmotorer kan oppnå en maksimal virkningsgrad på 35 prosent. Men det er ved optimalt turtall. I praktisk anvendelse, for eksempel i en bil, faller den fort under 20 prosent.

Det aggregerte bildet

Det besnærende er at dette begredelige utbyttet reflekteres helt opp på nasjonalt nivå i landenes samlede energiregnskap. Figur 2 gjelder USA som er verdens versting i så måte. Som en ser går 66.7 prosent av energien tapt i form av varme. Bare 31.1 prosent utnyttes effektivt. Det står faktisk så dårlig til at bare 14 prosent av energien i transportsektoren utnyttes til transport, mens 86 prosent går ut av eksosrøret. Oversikten viser også at bare 12 prosent av energien som tilføres hvert år konverteres til elektrisitet. Og at nesten 90 prosent av energien som tilføres er ikke-fornybar (olje, gass, kull, atomkraft). Det brukes i det alt vesentlige til å drive varmekraftmaskiner.



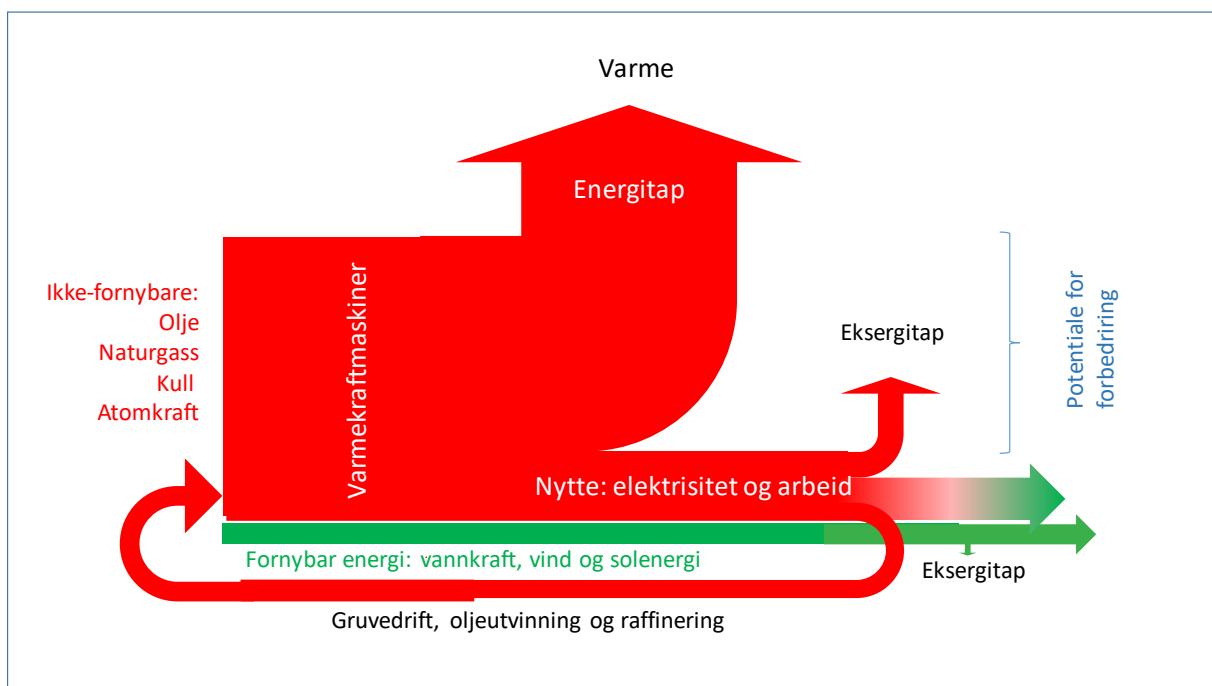
Figur 2 Det amerikanske energiregnskapet for 2017. Den utbredte bruken av varmekraftmaskiner gjør at så mye som to tredjedeler av tilført energi går tapt som varme.

Figur 3 gir en forenklet beskrivelse av situasjonen, og det er flere ting å merke seg:

1. Energitapet er enormt, og skyldes at energien kjøres gjennom varmekraftmaskiner.
2. Man har også et forholdsvis mindre tap på forbrukssiden som skyldes ineffektiv utnyttelse av energi (for eksempel boligoppvarming ved hjelp elektriske panelovner).
3. En del av energien går til å hente ut ikke-fornybare energiresurser (olje, kull, gass).

I tillegg kommer en lang liste med andre problemer, som kjemisk forurensning og helseproblemer, utslipp av klimagasser og global temperaturøkning, uttømming av knappe energiresurser, avhengighetsforhold mellom land og konflikter internasjonalt.

En systematisk «root-cause analysis», eller årsaksanalyse av dette sammensatte komplekset vil vise at varmekraftmaskinene er en meget stor del av problemene, om ikke selve roten til elendigheten. I slike analyser skiller man mellom hovedårsak og symptomer. En faktor er å regne som hovedårsak hvis problemet opphører dersom faktoren fjernes. Om man gjør noe med symptomene, derimot, kan det bedre situasjonen, men ikke hindre at problemet fortsetter. Påstanden i dette tilfellet er at dersom bruken av varmekraftmaskiner opphørte, ville energiforbruket i alle land bli kraftig redusert. Varmekraftmaskinene er derfor en hovedårsak til problemene i energisektoren. Figur 3 viser at potensialet for forbedringer i USA er enormt.



Figur 3. Potensialet for reduksjon av energibehovet i USA er enormt. Utnyttelse av fornybar energi er nøkkelen

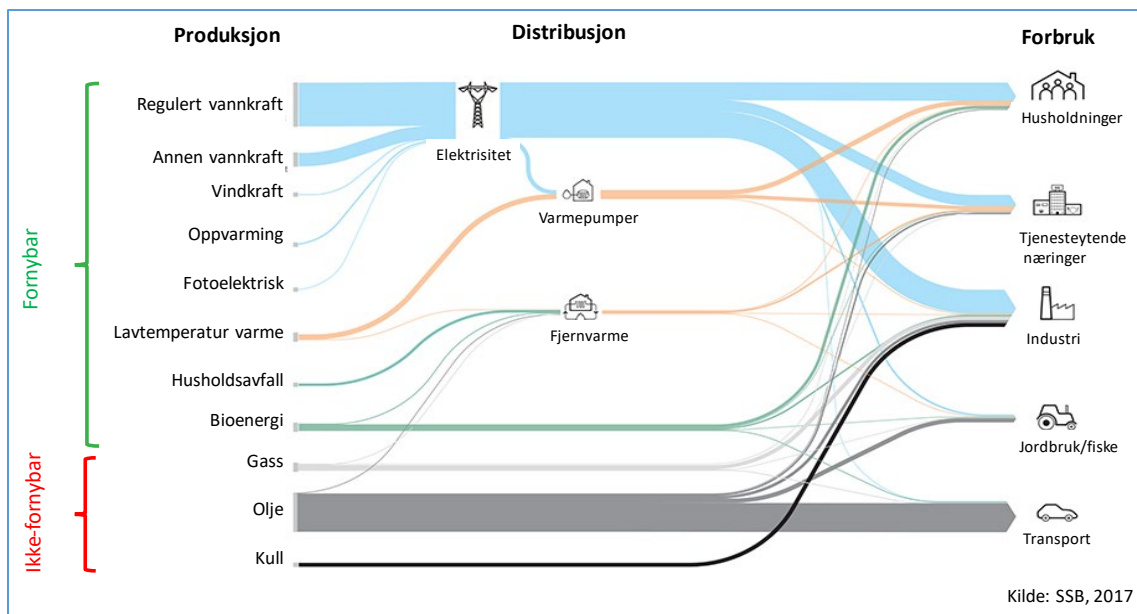
Og det gjelder ikke bare energiforbruket. Bruken av ikke-fornybar energi ville opphøre, og med det mange av de andre problemene som er nevnt ovenfor. Det lyder utopisk, men på sikt er det ikke sikkert at det er så urimelig. Det skyldes tre ting:

1. i motsetning til ikke-fornybar energi er tilgangen til fornybar energi ubegrenset
2. den teknologiske utviklingen gjør det mulig å utnytte fornybar energi i økende grad
3. fornybar energi vil utkonkurrere ikke-fornybar energi på pris, med stadig økende margin.

Resultatet av en slik utvikling vil være at samfunnet blir elektrifisert. Og utslippet av klimagasser nesten eliminert, i forhold til dagens situasjon.

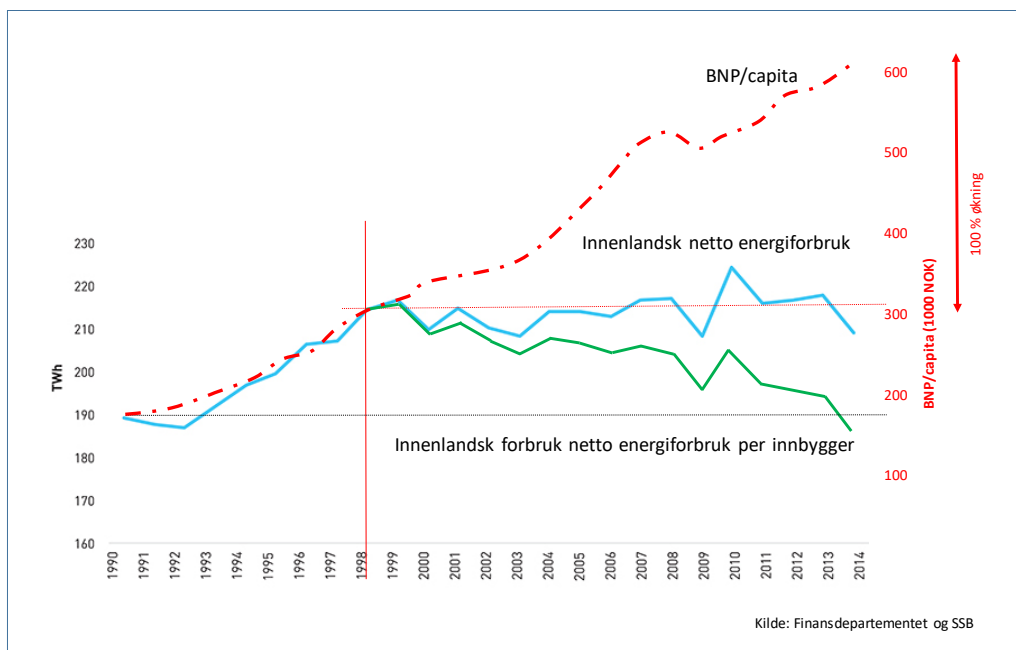
Det norske scenariet

Figur 4 viser energiregnskapet for Norge (SSB, 2017). Vi er i en særstilling internasjonalt, fordi mer enn halvparten av energibruken kommer fra fornybare ressurser. Først og fremst vannkraft. Vi ser at det aller meste av ikke-fornybar energi går til transport. Det er der det store innsparingspotensialet ligger, fordi denne energien kjøres gjennom varmekraftmaskiner. Det dreier seg stort sett om stempelmotorer på veien, i maskinparken og til havs, og i flymotorer i luften. Men på grunn av den store andelen elektrisitet er situasjonen langt bedre enn i USA, fordi energien utnyttes langt mer effektivt.



Figur 4. Norge er i en særstilling på grunn av vannkraften. Ikke-fornybar energi går hovedsakelig til transportsektoren, der en økende grad av elektrifisering er godt i gang. Det betyr redusert energibehov.

Dette gjør at utviklingen de siste 20 årene peker i en særdeles gunstig retning, som vist i figur 5. det vil overraske mange at energiforbruket i Norge har ligget på omtrent samme nivå de siste 20 årene. Og tar vi hensyn til befolkningsøkningen, har energiforbruk per innbygger faktisk gått ned. I samme periode har den økonomiske veksten (bruttonasjonalprodukt per innbygger) økt med 100 prosent. Vi er verdens mest elektrifiserte land på grunn av vannkraften, og ligger foran alle andre land i elektrifisering av bilparken. Det vil føre til at varmekraftmaskinene gradvis utfases i transportsektoren og forbruket av ikke-fornybar energi går ned. Vi har allerede verdens mest energieffektive system og er i ferd med å bli det minst forurensende i tillegg. Om vi da ser bort fra vår rolle som oljeprodusent.



Figur 5. Norge har brutt «lovmessigheten» om at økt energiforbruk er en forutsetning for økonomisk vekst. Vi har bevist at det motsatte er fullt mulig.

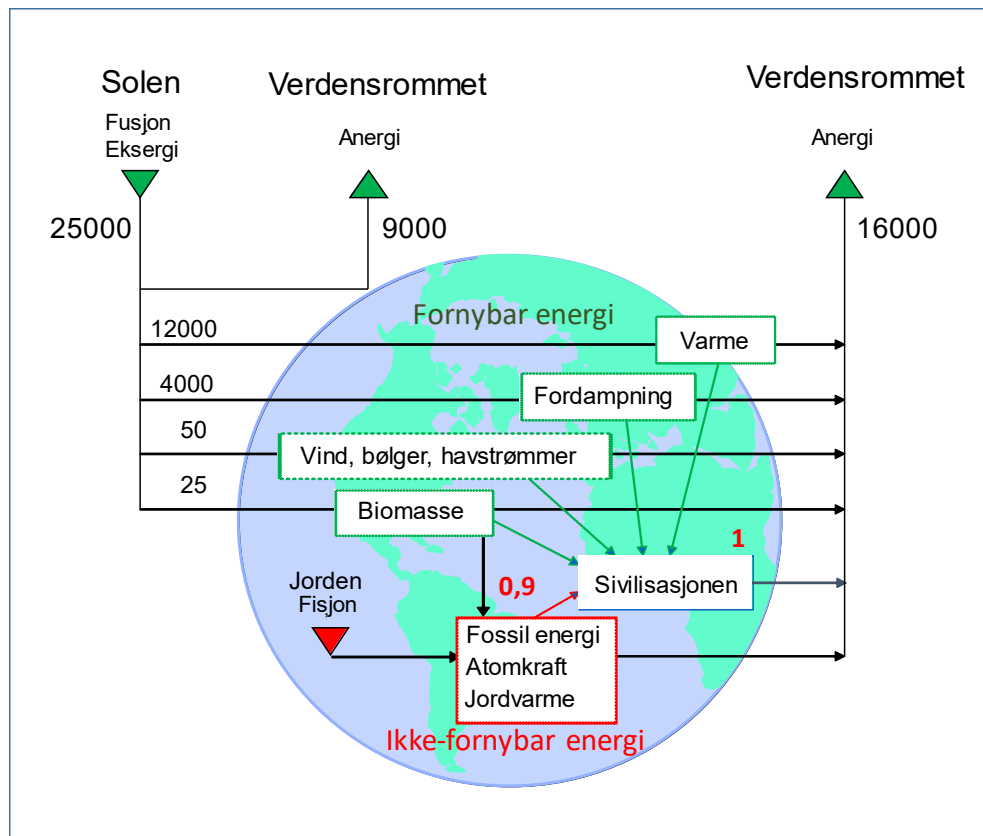
Ubegrenset energi

Jordens energibalanse er rammen for vår eksistens og gir oss det aller største bildet, se figur 6. Energimengdene er anslått i forhold til menneskehetens samlede forbruk av energi som enhet (= 1).

Det fremgår at hele 90 prosent av energien vi utnytter er ikke-fornybar, dvs. fossil og fissil (atomkraft). Begge deler er energiresurser som må hentes opp fra geologiske formasjoner på en eller annen måte.

Solens innstråling tilsvarer hele 25 000 ganger sivilisasjonens samlede forbruk. En tredjedel av energien reflekteres direkte, mens to tredjedeler reflekteres først etter å ha vært en tur innom Jorden og atmosfæren. Der går det meste til å holde temperaturen på et levelig nivå, en god del til fordampning, og en mindre del omsettes som bevegelsesenergi i luften og havet. I tillegg avsettes en liten del i biomasse ved hjelp av fotosyntesen. Det er et harmonisk bilde.

Diskusjonen vedrørende fornybar versus ikke-fornybar energi dreier seg mye om forurensning og utslipp av klimagasser. Dette er selvsagt helt sentralt, men veldig nært knyttet til spørsmålet om kostnaden for energi i tiden som kommer. For uansett standpunkt i miljødebatten må vi regne med at prisen på energi basert på ikke-fornybare ressurser vil gå opp, ganske enkelt fordi det er dyrt å utvinne den. Det store prisfallet på olje for noen år siden er ingen indikasjon på hva som kommer. Næringen har kommet seg igjennom krisen ved å redusere kostnadene, og har derfor allikevel oppnådd lønnsom drift. Men det er antakelig bare midlertidig, og trolig bare begynnelsen på slutten. For når utnyttelsen av fornybar energi øker i stor skala, vil energiprisen gå ned, og før eller senere kommer man til et punkt der utvinning og bruk av ikke-fornybare ressurser ikke er lønnsomt. Investeringene uteblir og det hele utfases. Innføringen av en karbonskatt vil påskynde dette.



Figur 6. Jordens energibalanse sett i et overordnet perspektiv. Det viser et stort paradoks: at tilgangen på fornybar energi er ubegrenset, samtidig som vi hovedsakelig baserer vår eksistens på ikke-fornybar energi.

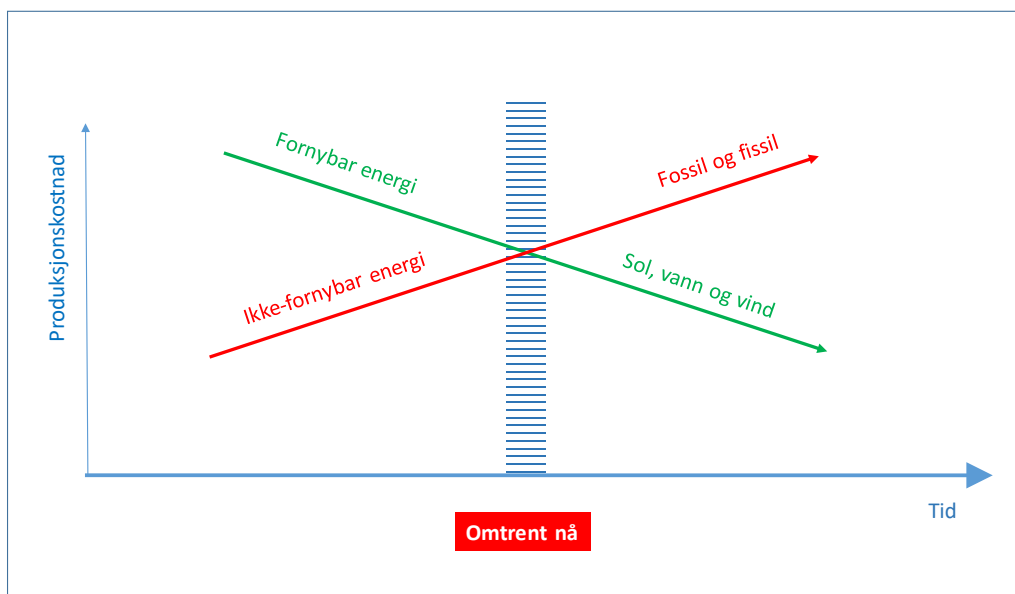
Fornybare ressurser, derimot, vil med stor sannsynlighet bli billigere med tiden. Det er to årsaker til det, for det første at energien er gratis og ubegrenset, og for det andre at investeringskostnadene er på vei nedover på grunn av den teknologiske utviklingen. Og nå skjer det raskt. Uansett hva folk måtte mene om saken, menigmann, markedsaktører, klimaskeptikere og andre, så vil dette være situasjonen i tiden som kommer. Fornybar energi blir billigere og ikke-fornybar energi blir mindre konkurransedyktig. Når etterspørselen etter olje, gass og kull minker vil prisen presses ytterligere, og ikke-fornybar energi blir enda mindre konkurransedyktig. Bloomberg New Energy Outlook antar at solenergi vil bli den billigste formen for energi i de fleste land i verden i årene mellom 2030 og 2040. Vi står foran et paradigmeskifte og befinner oss antakelig et sted i nærheten av et krysningsspunkt i svært mange land som antydnet i figur 7.

Teknologiske gjennombrudd

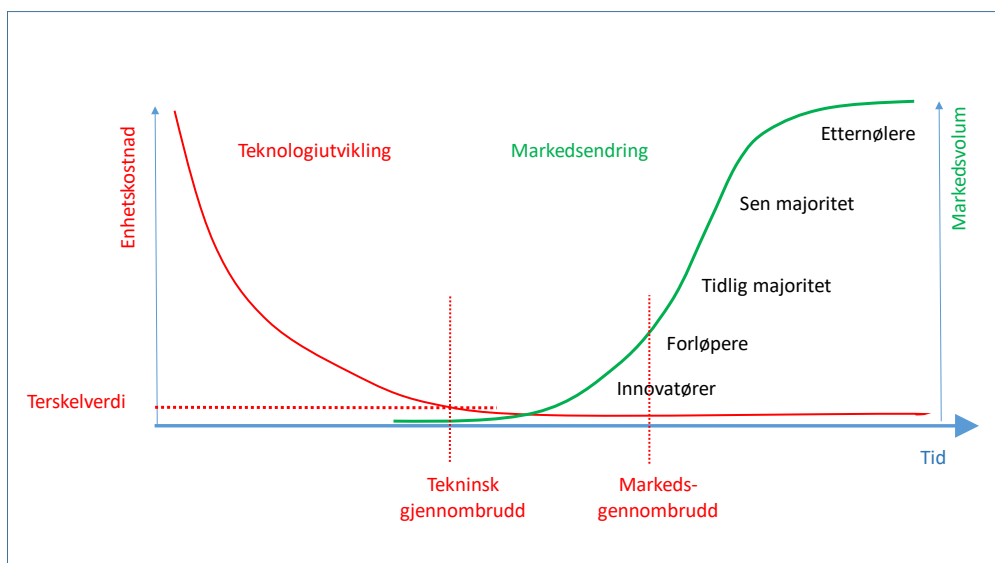
At dette vil skje skyldes et prinsipp som er illustrert i figur 8, og som nærmest er å oppfatte som en lovmessighet. Utvikling av ny teknologi viser omtrent uten unntak at prisen for å anskaffe teknologien går ned over tid, og vi får oftest noe som ligner en hyperbolsk utvikling mot et minimum. Etterspørselen lar imidlertid vente på seg, og prisen må under en terskelverdi før markedet blir interessert. Så tar det enda noe tid før man får et gjennombrudd i markedet, men deretter øker etterspørselen raskt mot et metningsnivå, og vi får noe som ligner en S-kurve.

I disse dager ser vi det ene teknologiske gjennombruddet etter det andre som gjør det mulig å utnytte fornybar energi. Det er en utvikling som antakelig vil få historiske dimensjoner. Først og

fremst gjelder det direkte utnyttelse av solenergi, som er vår viktigste energikilde, og som det altså finnes ubegrensede mengder av.



Figur 7. Billigere fornybar energi versus dyrere ikke-fornybar. Vi står foran et paradigmeskifte i energisektoren som vil bety store endringer, antakelig til det bedre. En ting er sikkert: prisutviklingen blir ikke lineær.

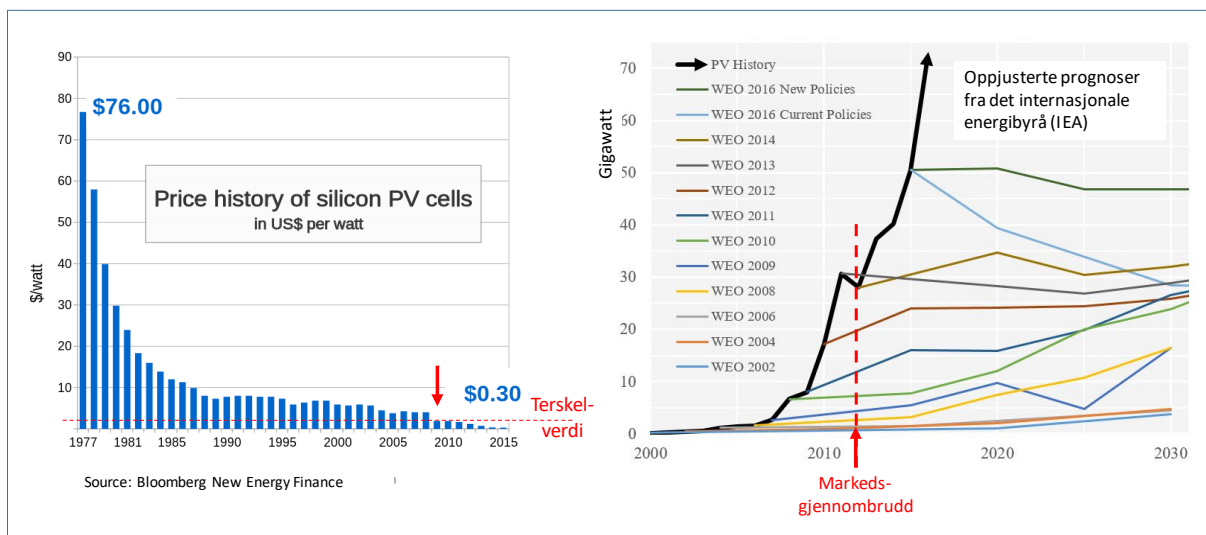


Figur 8. Lovmessigheten vedrørende teknologiske gjennombrudd. Kostnaden reduseres mot et stabilt minimum og markedet tar seg opp med et tidsetterslep.

Figur 9 viser at det tok 30 år før prisen på solceller passerte terskelverdien for om lag ti år siden. Nå er den nede i en brøkdel av denne. Resultatet er at både produksjon og omsetning av solceller øker eksponentielt. Vi har bare sett begynnelsen. Industribedrifter var de første til å innse lønnsomheten i dette og begynte å utnytte sine store takflater til solceller. Samtidig bygges det store solfarmer, og privathus og garasjetak vil etter hvert få solcellepaneler. Det interessante er den samlede effekten av disse investeringene i forhold til behovet for energi. Solcellene leverer elektrisk kraft direkte. Dette kommer som supplement til energien fra de store varmekraftverkene. Og etter hvert som omfanget

øker – til erstatning for denne energien. Samfunnets behov for kraft blir da mindre, i størrelsesorden dagens forbruk fratrukket det enorme tapet som skyldes varmekraftmaskinene.

Da lysner det, også for USA. Norge har vært stor på solcelleproduksjon og var en pioner på dette området. Nå er vi på nytt i gang med å produsere hyper-rent silisium for solcelleproduksjon og til en mye lavere pris enn tidligere. Selskapet NorSun (tidligere REC) i Årdal melder at de vil investere tre milliarder kroner i utvidelser og tidoble kapasiteten (Teknisk Ukeblad, 2018)



Figur 9. Prisen på solceller har hatt en sensasjonell utvikling de siste årene og gjennombruddet i markedet er for lengst passert. Prognosene fra det internasjonale energibyrået gir en god indikasjon på hvilken tro man har på at omfanget blir betydelig.

Teknologiutviklingen gjelder ikke bare solkraft, vi ser det samme når det gjelder vindkraft, se figur 10.



Figur 10. Den samme utviklingen ser man når det gjelder vindmøller. Men utsiktene er ikke like gode. Investeringskostnadene er høye, og drift og vedlikehold av anleggene kommer i tillegg. Og man skal huske på at luftens egenvekt bare er en tusendedel av vannets, så å konkurrere med vannkraft blir ikke lett.

Hva skal erstatte varmekraftmaskinene?

Varmekraftmaskiner, enten det er forbrenningsmotorer, turbiner eller jetmotorer har det til felles at de er kompliserte mekaniske innretninger med mange bevegelige deler. Med andre ord mye som krever vedlikehold og mye som kan gå galt. Alternativet etter hva vi kan se i dag er membranteknologi med solcellepaneler, batterier og brenselceller. Fremtiden er elektrisk. Å utnytte bevegelsesenergi i vind og vann vil fremdeles kreve mekaniske turbiner/møller. Men solenergi fanges med membraner uten bevegelige deler. Og lagres i batterier som også består av membraner.

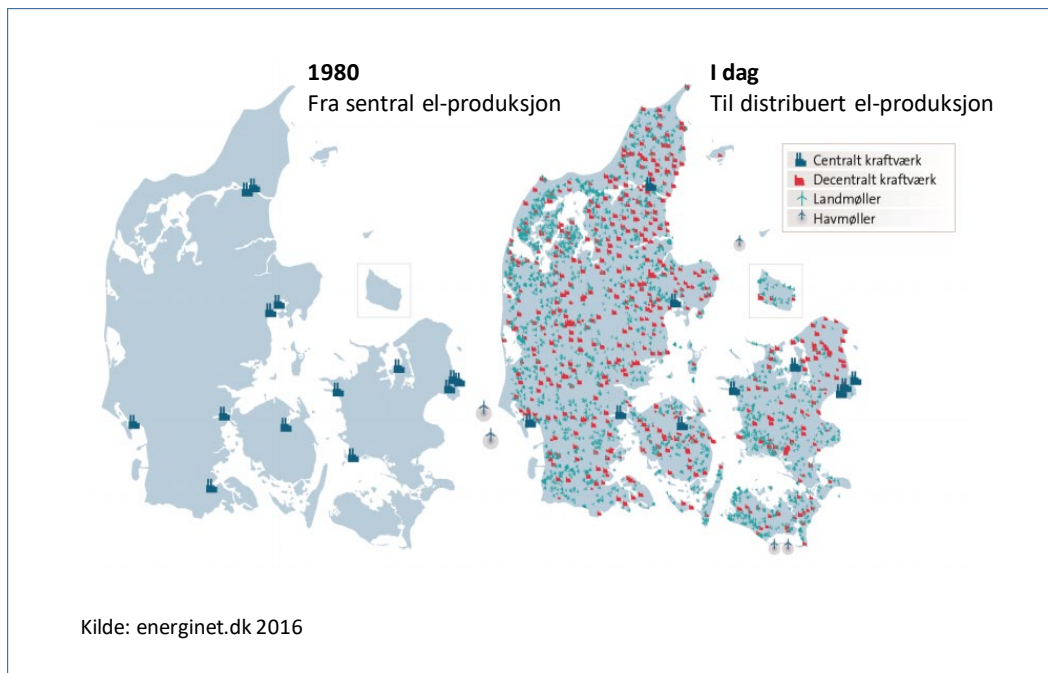
Produksjon av hydrogen fra vann ved hjelp av sollys blir interessant med et teknologisk gjennombrudd som gjør dette kommersielt realistisk. Gassen kan brukes som mellomlager eller energibærer, og behovet for batterier bortfaller. Energien kan konverteres til elektrisk strøm ved hjelp av brenselceller, som også er membranteknologi uten bevegelige deler. Varmetapet er langt lavere enn i varmekraftmaskiner og karbonavtrykket er null, fordi forbrenningsproduktet er vanndamp. Utviklingen av brenselceller er fremdeles i startgroppen, men kostnaden er allerede nede i en tiendedel av hva den var ved århundreskiftet. Norsk Hydro har vært verdensledende på hydrogen gjennom et århundre, og avleggeren Nel Hydrogen Electrolysers, har fått en svær ordre på såkalte P2G-anlegg (power to gas) til USA og Australia, der en benytter solcellepaneler og membraner til å produsere hydrogen, som skal brukes blant annet i transportsektoren. (TU, 1. oktober 2018)

Antallet patentsøknader som gjelder brenselceller er mangedoblet og har ligget på flere tusen per år ifølge United Nations World Intellectual Property Organization. Toyota har frigitt flere tusen av sine patenter for å stimulere til å utvikle markedet for hydrogendrevne biler. I Norge ser vi at fossilbiler ganske raskt blir erstattet av elbiler. Allerede i år ligger det an til at andelen elbiler av nybilsalget nærmer seg 50 prosent. Ulempen med elbiler er at de må trekke rundt på store, tunge og dyre batterier, samt problemet med å måtte lade eller stå i ladekø. Alternativet vil sannsynligvis være biler med en kombinasjon av batteri og brenselcelle, med elektriske motorer og hydrogen eller alkohol som drivstoff. De første slike er allerede på markedet. Virkningsgraden er langt høyere enn fossilbilen, energibehovet tilsvarende mindre, og det er ingen miljøforurensning eller støy.

Kraftdistribusjon

Fossil og fissil energi hentes opp fra grunnen som høykonsentrerte ressurser. Fornybar energi er lavkonsentrert og produksjonen kan bare skje desentralisert og krever store arealer. Dette innebærer en overgang fra sentral til distribuert el-produksjon og en annen type distribusjonsnett en hva vi kjenner. Dagens store kraftverk transformerer opp elektrisk kraft til 400 000 volt eller mer som leveres på høyspenningskabler over store avstander. Det er et paradoks at denne kraften må transformeres ned mange ganger før den kan brukes i våre PCer og lyspærer i hjemmet. Ikke minst innebærer det effekttap i opp- og nedtransformering av strømmen og motstandtap i kablene.

I et scenario et stykke frem i tid der de store energihubene basert på varmekraftmaskiner forsvinner, må kraftforsyningen være desentralisert. Høyspentnettene får mindre betydning til fordel for distribuerte smartnett. Mindre produsenter helt ned på husholdsnivå vil høste energi ved hjelp av solceller og selge overskuddet inn på det lokale nettet. Dette er en utvikling vi ser tydelig i Danmark.



Figur 11. Danmark tillot lokale produsenter å selge elektrisk kraft tilbake til nettet allerede på 1980-tallet. Det ga gnisten til utvikling og salg av vindmøller, og Danmark har i dag en fremskutt posisjon der. Og en helt annen grad av desentralisert produksjon av elkraft enn den gang.

For 20 år siden var landet forsynt med i hovedsak 14 store varmekraftverk. I dag er bildet et helt annet som vist i figur 11. Det reduserer sårbarheten og øker muligheten for å utnytte fornybar energi. I Tyskland ser vi samme tendens. Energianlegg for sol, vind, vann og avfall etableres over hele landet. Den samlede effekten av dette resulterte i en milepæl som fikk presseoppslag 24. april i år, fordi hele landets energiforsyning var dekket med fornybar energi mellom klokken 12 og 15 den dagen. Det var ikke mindre enn en aldri så liten sensasjon.



Figur 12. Kashiwasaki-Kariwa i Japan, verdens største atomkraftanlegg. Alle slike er i prinsippet dampmaskiner. Energien brukes til å koke vann, og dampen til å drive turbiner og generatorer som produserer strøm. Men det meste av energien går tapt som varme, derfor må kjøletårnene, som slipper ut vanndamp, være så svære at de dominerer bildet. De er et talende symbol på galskapen.

Det vi ser nå er ikke enkeltstående tilfeller, det er en trend i rask utvikling. Spredningseffekten er stor. I USA vurderer man nå et lovforslag som pålegger solpanel på taket av nye bolighus. Mange vil oppfatte dette som miljømotivert. Men da ville sjansen for å lykkes med slike reformer vært mindre. Dersom man får oppslutning om tiltaket, vil årsaken ganske enkelt være at det blir mer lønnsomt.

Samlet sett vil avviklingen av varmekraftmaskinene og nedbyggingen av de store energihubene, samt utviklingen av et energisystem basert på diversifisering og desentralisering, være uunngåelig. Fordi produksjonskostnadene for fossil og fissil energi blir for høy. Omleggingen til et helelektrisk samfunn fritt for varmekraftmaskiner vil kreve enorme ressurser og gi økonomisk vekst i årene som kommer. Utskifting av kjøretøy og maskiner i industri og jordbruk det samme.

Endringene vil bli kolossale – og til det bedre. Utslipptet av klimagasser vil fases ut.



Figur x. En web-basert tjeneste som gir boligeiere en vurdering av solinnstrålingen på de enkelte takflatene, og kontaklinformasjon til leverandører og entreprenører som kan montere anlegget. Man regner med en inntjeningstid i dag på 10 – 25 år.