

Väteillusionen – hur man trollar bort skattepengar

1 Historik

Den 4 februari 1923 föreslog en engelsk vetenskapsman, John Haldane vid University of Cambridge, att väte var lösningen på den kommande bristen på kol. Han hade redan då förslag på att, med hjälp av elektricitet genererad av vindturbiner, producera väte genom elektrolys. Haldane formulerade sitt förslag [3] ungefär så här (översatt från engelska):

Personligen anser jag att om fyrahundra år kommer energifrågan i England att ha lösts på följande sätt: Landet kommer att vara täckt med metalliska vindsnurror försedda med elektriska motorer vilka i sin tur kommer att generera ström med mycket hög spänning till stora elektriska stamledningar. På lämpliga avstånd, kommer det att finnas stora kraftstationer där man, under blåsiga förhållanden, kommer att använda överskottsenergin för att genom elektrolytisk sönderdelning av vatten framställa syre och väte. Dessa gaser kommer att transformeras till flytande form och lagras i stora reservoarer, förmodligen i underjorden. [...] Under tider av vindstilla, kommer gaserna att nyttjas till att driva explosionsmotorer uppkopplade som dynamos och åter producera elektrisk energi, eller ännu troligare via bränsleceller. [...]

Texten skulle förmodligen, idag hundra år senare, kunna passera flera kommittéer i Brüssel, utan att behöva revideras överhuvudtaget om man bara tog bort det anstötliga ordet ”England” och tidsperspektivet i den inledande meningen.

I samband med oljekrisen på 1970-talet fick världen åter anledning att fundera på hur energifrågan skulle kunna lösas utan olja. Ett stort antal forskningsprojekt bekostades av Europeiska Kommissionen. Väte skulle komma att bli så tillgängligt att allt skulle kunna drivas med denna energikälla. Till och med skulle bilarna kunna tankas hemma med väte. Den stora volymen skulle göra det praktiskt att distribuera vätet i underjordiska rörledningar i tätbebyggda områden på samma sätt som naturgas distribueras. Kort sagt, Europeiska Kommissionen sade 1983 precis som idag: Vi kommer att klara oss helt utan fossila bränslen. Vätedrömmen tynade bort på 1980-talet i och med att oljepriserna föll. Helt dog emellertid inte drömmen. Ett samarbete mellan Europa och Quebec, Kanada startade i december 1988 angående produktion av väte i Kanada och transport med fartyg över Atlanten till Europa. Transport av väte är inte okomplicerad, som vi återkommer till. I en rapport 1990 sammanfattade man: ”*assuming that hydrogen is not taxed – and there are indications that it is – its cost would be about the same as that of fossile fuels*”. Studierna har inte fortsatt bortom ”möjlighetsstudier” (feasibility studies).

General Motors byggde sin första vätedrivna bil 1966. Istället för att revolutionera bilmärknaden slutade den på ett museum. Ett halvt sekel senare, väntar vi fortfarande på att vätet ska uppfylla sina löften om ren energi. Ett skämt i industrin är att ”*vätet är framtidens bränsle – och det kommer det att förbli*”

2 Fossilfritt stål

I Sverige har det på senare tid annonserats två stora projekt för fossilfri tillverkning av stål eller järnsvamp: Hybrit, ett samarbete mellan LKAB, SSAB och Vattenfall och ett nystartat företag H2 Green Steel, H2GS, som ska bygga ett nytt stålverk i Boden med produktionsstart 2024. Båda bygger på att använda fossilfritt tillverkat väte som reduktionsmedel i stället för kol. Elektriciteten till vätetillverkningen ska i båda fallen komma från vindkraft. Dessutom har Scania annonserat att de kommer att utveckla en ny motor för vätagasdrift. Som fysiker och

ingenjör ställer man sig frågan om detta är rimligt med tanke på att vätedrömmen har existerat i



Figure 1 Tidningsklipp februari 2021

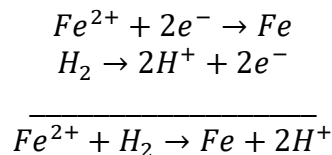
hundra år och ständigt fått överges i realiteten. Varför gör man ännu ett försök? Vad är det som har ändrats, kemin, ingenjörstekniken, ekonomin eller politiken? Vi har naturligtvis inte tillgång till aktörernas affärsplaner så att vi kan läsa in oss på dem, men vi kan sätta oss in i kemin och tekniken och kanske också försöka förstå ekonomin och politiken. Till vår hjälp och vägledning för detta har vi Samuel Furfaris bok "The hydrogen illusion" [1]. Alla fakta i denna text har vi hämtat från Furfaris bok om inget annat anges. Furfari fick sin examen som kemiingenjör 1979, då oljekrisen var högaktuell. Han disputerade på tekniker för att konvertera kol till petroleumprodukter. Han blev senare tjänsteman på Europeiska Kommissionen på direktoratet för energi med ansvar för konvertering av kol och har arbetat mycket med miljöfrågor i anslutning till kolanvändning. Furfari ansvarade därefter inom EU för införande av förnybara energikällor, energisparande, energieffektivitet, energistyrning och miljöfrågor. Furfari har också arbetat 17 år som professor inom området energi-geopolitik. Furfari har således stor erfarenhet av såväl vetenskapen som det politiska spelet inom Europa i energifrågan. Han uttrycker viss frustration därvidlag och påpekar att det inte alltid är lätt att som tjänsteman få gehör för fakta i en miljö där Rousseaus ord [2] "Let's start by dismissing all facts" genomsyrar hela det postmodernistiska samhället.

Men låt oss börja från början:

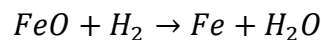
Vad är väte? Väte bildades vid universums skapelse "the Big Bang" och blev den byggsten som bildade Universum. Vätet utgör fortfarande cirka 75 % av universums totala massa. Vätet är första elementet i det periodiska systemet och består av en atomkärna (proton) och endast en elektron. Det är därmed det lättaste elementet i det periodiska systemet, 640 gånger lättare än luft. I fri form binds två väteatomer samman i kovalent bindning och det vi vanligtvis kallar väte är egentligen de två atomerna med kemisk beteckning H_2 . Eftersom vätet är så lätt, diffunderar (egentligen effusion) det lätt ut från sin behållare, och ställer därför extremt höga krav på inneslutningens täthet och kvalitet. Väte kan till och med diffundera (effundera) ut genom rör som inte har några sprickor. Detta kommer förstås att avsevärt fördyra hanteringen av väte jämfört med andra gaser. Väte har mycket hög energitäthet (1 kg väte innehåller lika mycket energi som 3,3 kg olja), men volymtätheten är mycket låg (en liter väte innehåller lika mycket energi som 0,16 liter olja). För att kunna använda vätet, transporteras och lagras det i komprimerad eller flytande form. För att lagra det i flytande form måste temperaturen sänkas till under $-252,7\text{ }^\circ\text{C}$. För att lagra det i komprimerad form måste det förvaras i tryckkärl under högt tryck (200 till 700 bar; 1 bar motsvarar ungefär lufttrycket vid havsytan). Speciella behållare måste användas. Denna hantering kräver inte bara energi till den höga kompressionsgraden, utan även tunga och dyra kärl eftersom det krävs mycket tjocka väggar. Säkerhetsproblemen i kombination med den höga reaktiviteten och dess höga energiinnehåll och dess flyktighet, kräver ständig uppmärksamhet, speciellt i bebyggda områden. Väte bör bara hanteras av utbildad personal. Som exempel på problem med vätedistribution i samhället kan nämnas att en tankstation för väte i Sandvika, Norge exploderade den 10 juni 2019 och

två personer blev skadade. Väte reagerar mycket lätt med andra ämnen. Det innebär att den, trots dess ymnighet, nästan inte alls finns i fri form på jorden. Detta innebär att man, i praktiken, inte kan räkna med att finna vätefyndigheter på samma sätt som till exempel naturgas. Om man ska använda väte som energikälla måste alltså vätet framställas på kemisk väg från annat råmaterial. Denna process måste alltså räknas in när man gör beräkningar av kostnader och verkningsgrader. Vi säger därför att vätet inte är en primär energikälla; Den måste produceras från någon annan energikälla. På engelska talar man om den som en "energy vector" eftersom den förmedlar energin från en annan källa. Vi återkommer till denna fråga, genom att med enkla beräkningar visa att processen att producera väte från någon energikälla för att i ett senare steg använda energin, sällan är rimligt varken energimässigt, (och därmed ekonomiskt) eller miljömässigt.

I stålindustrin måste man *reducera* den järnoxid som finns i järnmalmen. (Reduktion i kemisk bemärkelse innebär att det reagerande ämnet avger en elektron; Den motsatta processen är oxidation) Detta gjordes ursprungligen med kolmonoxid, CO, som reduktionsmedel. Senare har emellertid koks övertagit rollen som dominerande reduktionsmedel i stålindustrin. Eftersom vi här är intresserade av att förstå vätes roll i stålprocesser är det viktigt att förstå att väte är ett effektivt reduktionsmedel, det vill säga att vätet avger elektroner till den andra reaktanten i en kemisk process. För reduktion av järnoxid med väte kan vi skriva de kemiska (del)reaktionerna:



Eller i praktiken:



Vätets möjliga användning i stålprocesserna har studerats sedan åtminstone 1969 [4, 5].

Vi har redan nämnt att väte nästan inte finns i fri form på jorden, utan måste produceras genom kemiska processer. Därför ställer vi oss frågan:

Hur producerar man väte industriellt? Som framgår av nedanstående figur, domineras den industriella produktionen av processer som utgår från naturgas.

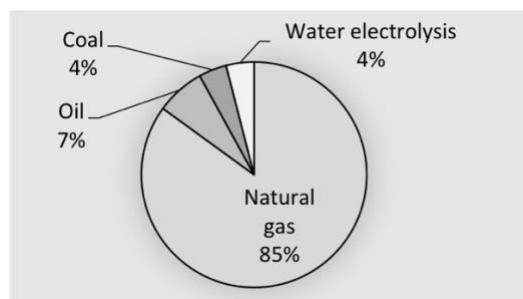
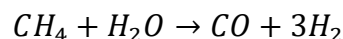
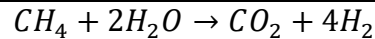
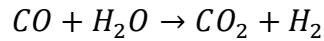


Figure 2 Industriproduktion av väte, Källa: [Ref. 1]

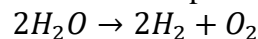
Ett av skälen till dess dominans är att naturgas (metan) innehåller den högsta atomförhållandet kol/väte av aktuella utgångsmaterial. Processen 'steam methane reforming', SMR, d.v.s. reduktion av naturgas görs vid höga temperaturer med en nickel-baserad katalysator i en process som är starkt endotermisk. En endotermisk reaktion är en kemisk reaktion vid vilken värme måste tillföras. Motsatsen är en exotermisk reaktion vilken avger värme. Processen beskrivs kemiskt i tvåstegsprocessen:





Som vanligt i kolväteprocesser får vi koldioxid, CO₂ som en (icke önskad) biprodukt.

Elektrolys av vatten är den enda industriellt använda metoden för framställning av väte utan att få koldioxid som biprodukt. Nackdelen är den höga åtgången av elektricitet och därmed den höga kostnaden. Redan i 1921 års bok för industriell kemi kunde man läsa [7]: ”*The efficiency of electrolysis apparatus reaches 90 – 95 % of the theory: hydrogen is nearly pure (1% oxygen), but the very high cost price of the installations and electricity makes that it is only remunerate for oxygen production*” ett uttalande som är lika sant idag som för hundra år sedan. Processen är så pass enkel att man ibland demonstrerar den på kemilektionerna i skolan där man får sig demonstrerat att man med en ström genom vatten kan dissociera vatten i syre och väte. Demonstrationen avslutas med en liten explosion av det väte som har producerats.



Två elektroder doppas ner i vatten och separeras med ett poröst membran. Väte produceras vid katoden och syre vid anoden. Processens verkningsgrad ligger mellan 60 och 70 %. Det är emellertid en trög process som kräver stabilitet och är därmed illa lämpad för de snabba fluktuationer som utmärker vindkraft eller solceller som kraftkälla. Detta är ändå den metod som har föreslagits för produktion av det väte som är tänkt att användas till produktion av fossilfritt stål. Vi återkommer till detta längre fram.

I marknadsföringen av (den osynliga och färglösa gasen) väte har man introducerat en färgmärkning för att särskilja de olika kvaliteterna. Nedanstående tabell [6] sammanfattar färgkodningen och uppskattad kostnad.

White Hydrogen	Grey hydrogen	Blue hydrogen	Green hydrogen
Produced from fossil fuel (mainly natural gas) by steam reforming	Produced from fossil fuel (mainly natural gas) by steam reforming, with a carbon tax	Produced from fossil fuel (mainly natural gas, but with CO ₂ capture and underground storage [CCS]).	Produced by the electrolysis of water using renewable electricity
10 t CO ₂ to produce 1 t H ₂	10 t CO ₂ to produce 1 t H ₂	10 t CO ₂ to produce 1 t H ₂	No CO ₂
Natural gas costs and steam reforming efficiency	Natural gas costs and steam reforming efficiency +€25/t CO ₂ tax	Cost of white H ₂ + CCS cost	Green electricity cost/efficiency of electrolyser
€0.85/t H ₂	€1.1/t H ₂	€1.85/t H ₂	€2.3/t H ₂

Assumptions: industrial yield of steam reforming = 72%. Wholesale market price of natural gas €20/MWb. Without considering investments, operating costs and unemployment of the installation.

Figure 3 Vätets kvalitetsmärkning och kostnader; Källa: [Ref. 1 och Ref. 20]

Innan vi lämnar diskussionen om produktionsprocesser för väte, vill vi nämna att forskning om möjligheten att använda kärnkraft för produktion av väte har pågått sedan 1970-talet, och skulle, i en framtid, kunna nå industriell mognad. Furfari [1] sammanfattar läget som följer (översatt från engelska):

Nuvarande status är på teorinivån; Ingen kommersiell metod har kommit fram. Dissociation av vatten i väte och syre kräver höga temperaturer som enbart kan nås med vissa typer av kärnreaktorer som idag inte finns tillgängliga kommersiellt. Potentiell utveckling av nya nukleära teknologier skulle kunna erbjuda intressanta lösningar, men se upp, nya har presenterats tidigare. SMR:s vid höga temperaturer skulle kunna möjliggöra hetvattenselektrolys, men detta ska inte tas till intäkt för att driva nuvarande EU-strategi

för väte. Det återstår att se, och kommer att kräva tid, och är inte kompatibelt med de löften som ges inom EU:s 'green deal'

Huvudspåret i den här berättelsen är fossilfritt järn. Så långt har vi konstaterat att vätedrömmen har pågått i åtminstone hundra år. Många projekt har inletts och tynat bort, men framställning av väte genom 'steam reforming' av naturgas förblir den helt dominerande industriprocessen. Inga grundläggande nya genombrott inom den grundläggande kemin eller ingenjörprocessen är i sikte. Det kan alltså inte vara kunskaps- eller teknikgenombrott som driver den nuvarande satsningen på väte som reduktionsmedel i järnprocessen. Beträffande applikationen 'fossilfritt järn' konstaterar Furfari [1] (översatt till svenska): *Det är förvisso möjligt, men i en öppen marknad räcker det inte med att något är möjligt (doable), det måste vara ekonomiskt också. Koks är billigare och alla projekt som EU kan finansiera kan inte ändra på det. Forskare har försökt att reducera kostnaden alltför länge för att kunna låtsas att nu, eftersom vi har en "vätestrategi" det plötsligt skulle ändras. Naturligtvis kan de beskatta koks så att väte blir konkurrenskraftigt, men det skulle stänga ner hela EU:s hela stålindustri eftersom Kina, Indien och andra ställen i världen inte skulle göra det.* Efter att ha beskrivit hur liknande projekt för fossilfritt järn har avfärdats i ArchelorMittals anläggning i Taranto, Italien (ArchelorMittal [8] producerar dock stål med grå och blå väte i Hamburg, Tyskland) konkluderar Furfari: *Återigen, vi bevitnar oansvariga löften totalt orealistiska och oekonomiska som kommer att skapa desillusionering, bitterhet och misstroende från medborgarna gentemot ekonomi och den politiska världen.*

Det torde alltså varken vara vetenskapen eller tekniken/ekonomin som är drivande för de svenska projekten för fossilfritt stål. Det är kanske en rimlig gissning att politiken har viss betydelse: EU har ju lanserat två stora projekt: "En Europeisk Grön Giv, Sträva efter att bli världens första klimatneutrala kontinent" [9] och "Återhämtningsplanen för EU" [10] (EU:s långtidsbudget och det tillfälliga återhämtningsinstrumentet NextGenerationEU är det största stimulanspaket som någonsin finansierats via EU-budgeten. EU anslår totalt 1,8 biljoner euro för att bidra till att återuppbygga ett mer miljövänligt, digitalt och resilient EU efter coronakrisen.) Dessutom, inte minst, "EU Hydrogen Strategy" [14] (Har vi hört det förut?)

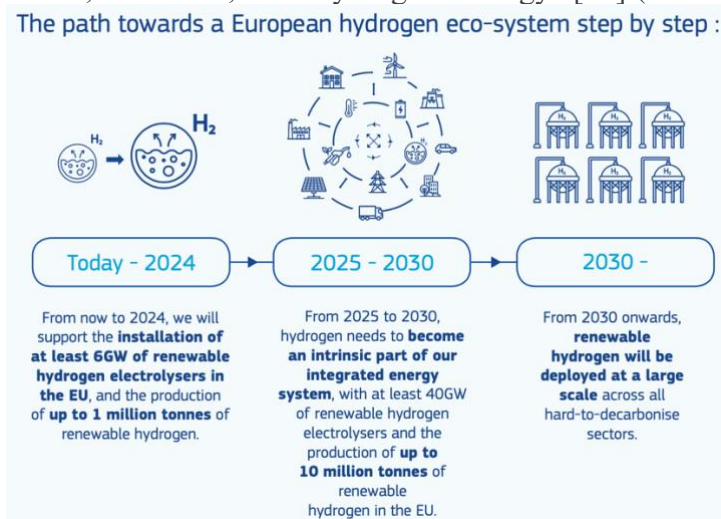


Figure 4 Europeiska Unionens vätestrategi; Källa: [Ref. 14]

Alla "satsningarna" torde erbjuda rika tillfällen till bidrag för företag av detta slag.

En kritisk parameter för genomförandet av fossilfritt stål är tillgången på fossilfri el-generering.

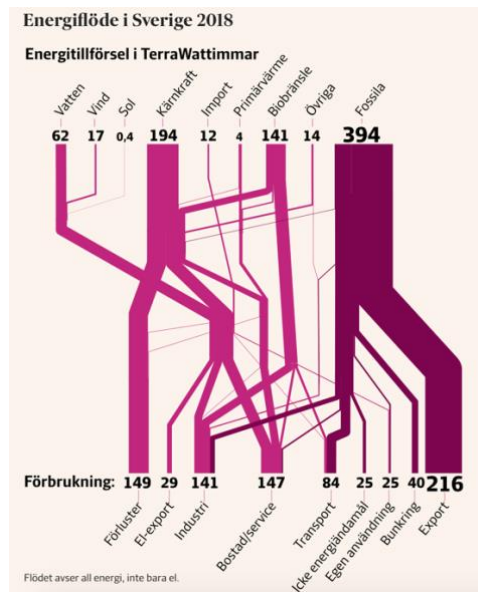


Figure 5 Sveriges energiflöde 2018 (inte bara el); Källa: [Ref. 18]

Vi talar då om vindkraft. År 2018 hade Sverige 3 569 installerade vindkraftverk med en total installerad effekt på 7 300 MW. 2018 producerades totalt

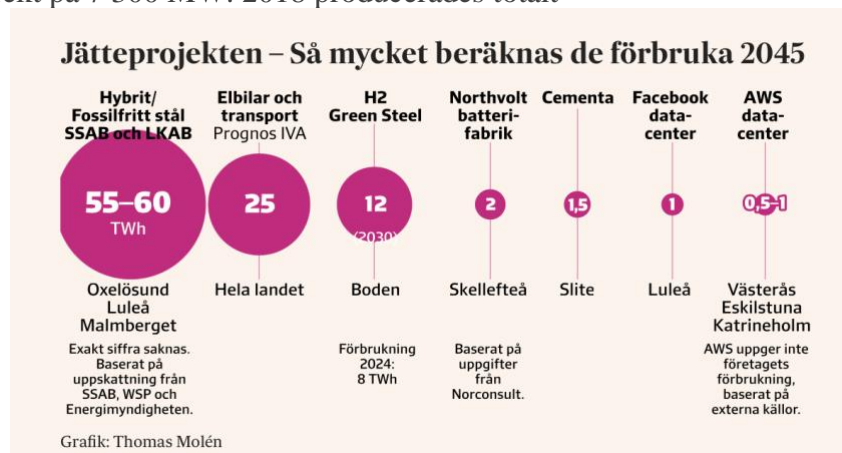


Figure 6 Beräknat el-behov 2045 för de stora nya fossilfria projekter i Sverige; Källa: [Ref. 18]

16,6 TWh [12]. Årsverkningsgraden blev därmed $(16,6 \text{ TWh} / (7300 \text{ MW} \cdot 8760 \text{ timmar}))$ 26 %.

Det annonserade Hybrid-projektet kräver 55 TWh el per år. Om vi antar att medeleffekten för nyinstallerade vindkraftverk är 3 MW får vi $3 \cdot 0,26 \cdot 8760 = 6833 \text{ MWh} = 0,006833 \text{ TWh}$ som produceras per kraftverk och år. Detta skulle kräva $55 / 0,006833 = 8049$ kraftverk. Om vi antar att kraftverken placeras med 500 meters mellanrum skulle det kräva en yta motsvarande en kvadrat bestående av sidor med 90 kraftverk med 500 meters mellanrum eller sidor på 45 km.



Figure 7 Arkivbild från Ref. 18

Om vi också tar med det andra projektet H2FS, vars omfattning beräknas bli ungefär en femtedel av Hybritprojektets, får vi ytterligare en kvadrat med cirka 1 600 kraftverk, 40 stycken per sida i en kvadrat med 20 km sida. Vi har redan tidigare nämnt problemet med att väteproduktion genom elektrolys är illa lämpad för miljöer med fluktuerande eltillförsel, men där har man förmodligen räknat med vattenkraft som reglerande kraftkälla. Innan vi fortsätter med några avslutande funderingar kring de affärsplaner för fossilfritt stål som vi inte har sett, låt oss återvända till den grundläggande fysiken:

Henrys lag säger att jämviktstrycket av en gas ovanför en vätskefas är proportionell mot gasens koncentration i vätskan [Ref. 19, p 112-113]. Applicerat på atmosfären ovanför en havsyta kan detta tolkas som att partialtrycket, p , av koldioxid *vid jämvikt* är proportionell mot havets koldioxidhalt, och därmed mot havets totala halt, y , av karbonatföreningar (koldioxid, kolsyra, bikarbonat- och karbonatjoner). Det innebär att ändringar, Δp , av koldioxidens partialtryck vid konstant pH och temperatur måste ge upphov till proportionerliga ändringar, Δy av havets jämviktshalt av karbonatföreningar enligt sambandet

$$\Delta p/p = (\Delta y/y)$$

Kolets kretslopp har tre stora koldioxidreservoarer: Atmosfären, biosfären och hydrosfären, och som illustreras i Figur 8. I de tidigaste IPCC-rapporterna angavs ett storleksförhållande på 1:4:64 för kolinnehållet i dessa. I Figuren från 2007 är förhållandet snarare ungefär 1:3:50. Om vi håller oss till det senare, innebär Henrys lag att, ett tillskott av koldioxid till systemet, till exempel genom utsläpp till atmosfären, efter det att jämvikt inställt sig, att fördelas i reservoarerna i proportionerna 1:3:50. Med andra ord kommer cirka 2 % att stadigvarande ge ett tillskott till atmosfären. Analogt kommer en artificiell minskning av koldioxiden i atmosfären, tills jämvikt inställts, att fyllas på med 98 % koldioxid huvudsakligen från den stora hydrosfäriska reservoaren (haven), eftersom minskningen, i princip minskar koldioxidens partialtryck i atmosfären och vi får ett flöde från haven till atmosfären tills jämvikt åter etablerats enligt Henrys lag. Om du vill ha en lite mer handfast demonstration av Henrys lag kan du själv testa vad som händer i en vätska när man minskar den omgivande gasens partiella gastryck genom att öppna kapsylen i en flaska kolsyrat mineralvatten ([video I](#)) (Ramlösa rekommenderas eftersom den är ganska starkt kolsyrad); Aha - det kommer ut bubblor med koldioxid. Om du vill driva experimentet vidare, värm flaskan med händerna och observera hur utgasningen av koldioxid ökar i analogi med att haven avger mer koldioxid till atmosfären när ytvattnet blir varmare ([video II](#)).

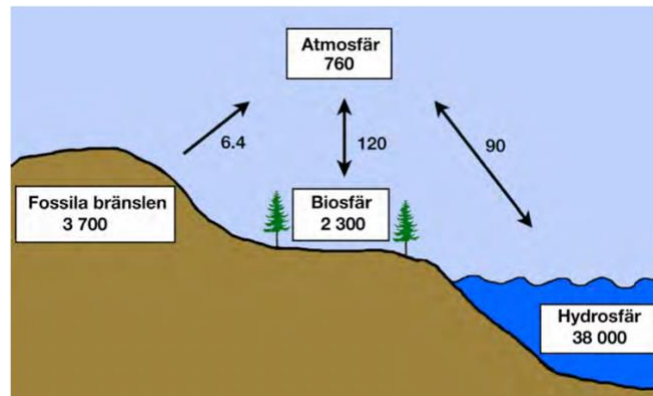


Figure 8 Kolcykelns huvuddrag. Kolreserverna anges i GtC; utbyteshastigheterna i GtC/år; Källa: IPCC 2007

Med denna bakgrund kan man verkligen ifrågasätta nyttan av förslagen om att reducera atmosfärens halt av koldioxid genom infångning och lagring under jord, den så kallade CCS-metoden eller, för den delen, fossilfritt stål, eftersom det i realiteten bara innebär en fördröjning tills naturliga jämviktsförhållanden uppnås, detta på en tidsskala av cirka 50 år. Tiden 50 år, då någon procent återstår, baseras på en relaxationstid på 14 år (10 års halveringstid). Detta baseras på observationer efter atombombsexperiment i atmosfären. IPCC anger betydligt längre relaxationstider baserat på modeller, vilket framgår av Figur 9.

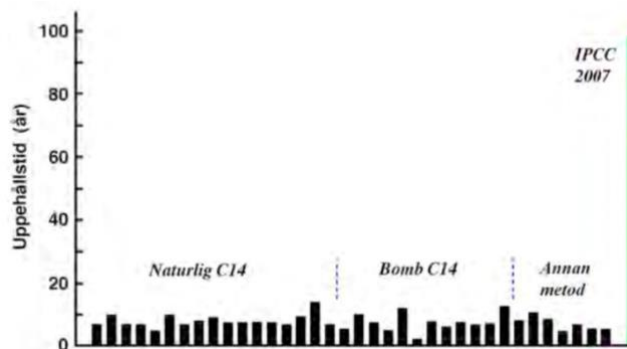


Figure 9 Experimentella skattningar av koldioxidens relaxationstid, jämförda med IPCC:s bedömning av koldioxidens effektiva uppehållstid enligt Bernmodellen (grön stapel); Källa Ref. 19; Referenser till var och en av de enskilda observationerna finns i Ref. 19

Av figur 8 med kolets kretslopp enligt IPCC kan vi också konstatera att inflödet av koldioxid från fossila källor bara utgör cirka 3 % av det totala naturliga flödet. I konsekvens med detta är det helt förklarligt att vi inte har kunnat mäta någon påverkan på ökningen av koldioxidhalten i atmosfären under nedstängningarna under Coronapandemin 2020 trots att de beräknas ha reducerat koldioxidutsläppen med 11 % globalt [15]:

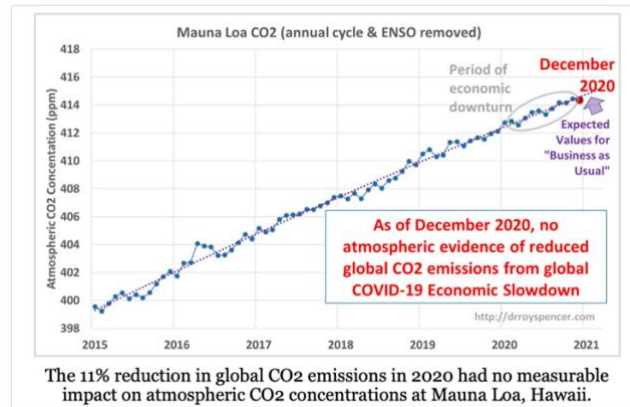


Figure 10 Luftens koldioxidinnehåll, ppm, Årsvariationer och effekter av el Nino är bortfiltrerade; Källa: [Ref. 15]

Vi avslutar avsnittet fossilfritt stål med några kommentar till de föreslagna projekten i Sverige:

1. Uppenbarligen räknar man med att det kommer att finnas en efterfrågan av fossilfritt stål trots att den blir avsevärt dyrare än den traditionellt processade och trots att världens stålverk kommer att fortsätta sälja billigare stål. Detta bygger förstås på att man räknar med att stål kommer att omfattas av EU-tull och skatt på koldioxid och att detta även kommer att inkludera stål. I bästa fall kanske man till och med kan förmå EU att tvinga bilindustrin att använda fossilfritt stål på samma sätt som man nu får betala böter om man inte säljer tillräckligt många elektriska bilar. Här finns jobb för lobbyisterna.
2. Man räknar tydligen med att Sverige kan erbjuda fossilfri el, vilket Sverige har stora förutsättningar för eftersom man redan nu har fossilfri elproduktion till skillnad från de flesta andra länder. Men om folkopinionen börjar motsätta sig massiv utbyggnad av vindkraft? Det kommunala vetot måste förstås bort, vilket redan är på gång. Som 'fall back' kan man kanske importera finländsk kärnkraft. En massiv utbyggnad av intermittent vindkraft kommer att kräva nya investeringar i bas- och reglerkraft för att kunna bibehålla stabilitet och kontinuitet i kraftnätet. På kort sikt är gasturbiner den enda möjligheten. Vi frågar oss om det är rimligt att stålproduktionen ska betecknas som fossilfri samtidigt som övriga el-konsumenter, som en direkt följd av övergången till fossilfritt stål, tvingas använda mer fossil-baserad el (gasturbiner eller importerad kolbaserad el)? På lång sikt kan gasturbinerna, om det blir politiskt möjligt, ersättas av kärnkraft.
3. H2FS ska börja producera 2024. Men miljökonsekvensbeskrivningar och tillståndsfrågorna? Man behöver verkligen knyta de bästa lobbyisterna till sig.
4. Är tekniken under kontroll? Experiment pågår både i Tyskland och Japan med flera ställen, men Sverige kommer att gå före och visa vägen. Hur var det med djärva satsningar? Det har man ju erfarenhet av inom dessa företag: Stålverk 80 på 1970-talet. Så här skriver Wikipedia [13]: ” När projekteringen kring Stålverk 80 stoppades innebar det en kraftig ekonomisk nedgång för staden där många hus och nya områden kom att stå tomma eller obebyggda. Efter att projektet skrinlades ersattes kommunen av staten dels med ett extra skatteutjämningsbidrag värderat till 115 miljoner kronor, dels ett engångsbelopp om 50 miljoner kronor, dels övertogs vissa kommunala anläggningar av Statsföretag AB till ett värde på 101 miljoner kronor.” (Tänk 1970-tal när det gäller penningssummorna). Vattenfall har mer närliggande erfarenheter av djärva satsningar i form av Nuon-affären och brunkolsaffärer i Tyskland!

5. Hur var det med rubrikens att ”trolla bort skattepengar”. Vi såg ju hur det gick för Luleå efter Stålverk 80; Kommuner och stat förutsätts ta en del av risken. Fast fick man inte ett Universitet istället? Projekten är, enligt utsago, inte beroende av statliga eller EU-stöd, men man tar förstås gärna emot stöd om det finns. Och förstås EU-regler som kan gynna sådana stora satsningar. Och infrastrukturen som behövs? På Vattenfalls hemsidor kan vi läsa [Ref. 17]: *’Europeiska investeringsbanken (EIB) strävar efter att få igenom väteprojekt som i nuläget inte är finansiellt genomförbara utan finansiering, i synnerhet projekt av den typ som vanliga banker anser är för riskfyllda att satsa på. Finansiären av vätgas i EU kallas Gemensamma företaget för bränsleceller och vätgas (Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking – FCHJU) och har en budget på flera hundra miljoner euro som ska användas för att stödja utvecklingen av vätegas och introducera den på marknaden.’*
6. Och själva grundtanken: att rädda mänskligheten genom att stoppa klimatförändringen? Beskrivningen av Henrys lag ovan visar att när kolcykeln har uppnått jämvikt kommer endast 2 % av den inbesparade koldioxidutsläppet att ge kvarvarande effekt i atmosfären, eftersom haven kommer att anpassa (öka) sina utsläpp av koldioxid för att upprätthålla kemisk jämvikt enligt Henrys lag. Den tid som det tar att uppnå jämvikt beräknas till cirka femtio år, baserat på den relaxationstid på 14 år (motsvarar 10 års halveringstid) som man uppmätt efter atombombsprov i atmosfären [19].
7. Idén till det nya stålbolaget H2FS uppges ha vuxit fram inom finansiärsgruppen för den nya batterifabriken, Northvolt, i Skellefteå. I förordet till Charles Mackay’s bok *’Extraordinary popular delusions and the madness of crowds’* skriven 1841, läser vi (översatt från engelska) [Ref. 16]: *’Investerare tvingas leva större delen av sina liv i framtiden och är därför utsatta för särskilt stora osäkerheter. Mackays studier visar att människors reaktion på osäkerheter ofta är irrationell och farlig i sökandet efter högre grad av säkerhet. Det finns inget i vår historia, åtminstone inom området investeringar, som antyder att vi skulle ha blivit mindre mottagliga för villfarelser än våra anfäder. I modern finasteori lär vi oss att individens irrationalitet ibland kompenseras av mer rationella investerare, ledande till en rationell prissättning. Mackay skulle ha betraktat en sådan utsaga som ett stort skämt. Hans arbete visar att inom många områden av mänsklig växelverkan och strävan ökar irrationaliteten när vi ansluter oss till större grupper. När vi tänker i grupp, tänker vi ibland inte alls, eller åtminstone tänker vi mycket annorlunda. Bland Mackays exempel från verkligheten finner vi: Tulpanhysterin på 1600-talet, Alkemisternas sökande efter filosofistenen, Häxmanin samt ett flertal börsmanier och masshysterier baserade på tron om mänsklighetens nära förestående undergång (sic).*
8. Enligt Lars Schön i klimatsans.com (2 april 2021): I den digitala finansstidningen Realtid skriver Per Lindvall en krönika [Ref. 22] om de gigantiska vätegasprojekt som måste till, för att driva de planerade stålverken i Norra Sverige. Han konstaterar att det kommer att kräva en mycket högre och kontinuerlig produktion av el, för att nå någon som helst lönsamhet. Det är mycket svårt att se att utbyggnaden av den intermittenta vindkraften kan få den ekvationen att gå ihop. Per Lindvall konstaterar även att vätegasproduktion är mer kapitalintensiv än elproduktion och kräver i praktiken en kontinuerlig produktion, för att nå lönsamhet. Anläggningarna som behövs är dessutom 10 gånger större än dagens ”state of the art” anläggningar. Verkligheten för tänkta investerare riskerar att bli ett ”svårnavigerat gungfly”.

I likhet med vår vägledare Samuel Furfari [1], betraktar vi vätefrågan i egenskap av ingenjörer, och vi drar slutsatsen att väte-tekniken sällan erbjuder goda lösningar i

energifrågan. Om man däremot betraktar frågan som investerare i ”ny” teknik har man andra utgångspunkter. Man kan mycket väl hamna i en rationell slutsats att det, trots dåliga tekniska lösningar, är bra investeringar utgående från rådande paradigmer i samhället på samma sätt som många blev rika (och andra blev fattiga) under tulpanhysterin eller i samband med tidigare börsmanier [16]. I kalkylen är det förstås rimligt att väga in samhällsstöd i form av ekonomiska bidrag, subventionerade lånemöjligheter, gynnsam lagstiftning, samhällets ansvar för infrastruktur med mera. Den ekonomiska kalkylen måste då naturligtvis även inkludera en bra plan för exit i lagom tid innan ”bubblan” spricker. Ibland är ”lyckligtvis” investerare starkt lierade med politisk ledning, direkt eller genom stark lobbyverksamhet. Detta gäller på många nivåer: FN, EU, länder, regioner, kommuner, städer och inte bara på rent politisk nivå utan även genom en mängd intresseorganisationer. Här finner vi drivkraften för vätesatsningarna.

3 Mobila applikationer

I diskussionen av fossilfritt stål har vi förutsatt att produktionen av väte genom elektrolys sker på plats där stålproduktionen görs. Om man, som EU förordar, även ska applicera väte som drivmedel i mobila applikationer, tillkommer flera komplikationer som fler processsteg och transport av väte genom fasta installationer eller med fordon till land, till sjöss eller i luften. Vi börjar med att diskutera processerna. John Haldanes tankar, för hundra år sedan, att fossilfritt väte framför allt skulle komma att produceras av vindkraftverk vid de tillfällen då det blåser så mycket att producerad effekt överskrider det som normalt belastar nätet, vilket i sig är en konsekvens av att man måste installera en högre märkeffekt än vad som normalt krävs. De processer som då krävs är till exempel ’från el till väte till el’ eller ’power to power’, P2P på engelska. Figuren visar detta schematiskt och indikerar att man vid varje processsteg får förluster. Vi kommer senare att kvantifiera dessa förluster.



Figure 11 El-generering utgående från el; Källa: Ref. 1

Vi anar kanske redan nu att det inte är ingenjörernas drömscenario för ett effektivt energisystem att generera el från el, även om man betraktar den ingående el:en som ’gratis’ överskottsel. Första steget, elektrolysen, har vi redan diskuterat i samband med fossilfritt stål. Det andra steget involverar oftast bränsleceller.

Hur fungerar en bränslecell? En bränslecell har en anodsida och en katodsida som separeras med ett membran. Membranet tillåter bara protoner att passera. På anodsidan delar en katalysator upp väteatomerna i protoner och elektroner. Elektronerna kan inte passera membranet utan leds till en extern krets där de genererar elektricitet. Protonerna passerar genom membranet. På katodsidan förenas elektronerna och protonerna samt ansluter till syre från luften: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ Reaktionen ger bara vatten och värme som restprodukt. En bränslecell producerar cirka 0,7 volt. För att få en högre spänning kombineras många separata bränsleceller i en stack.

I princip verkar bränslecellen att vara idealisk. Varför har den då inte vunnit genomslag sedan den uppfanns av William Grov 1839? För det första består elektroderna av ädelmetaller och är därmed dyra. För det andra är det svårt att automatisera tillverkningen vilket leder till höga kostnader. Inte ens för stora stationära anläggningar har man lyckats göra tillverkningen ekonomisk, än mindre blir den det för miniatyriserade mobila enheter som bilar. Trots stora

statliga subventioner har försök gjorts i Tyskland, vilka lades ner för tjugo år sedan, innan de nyligen har återupptagits i samband med 'Die Energiewende'. Låt oss summera:

P2P-processen kan uppdelas i fyra steg:

1. Generering av överskottsel med vind eller solceller
2. Transformerings till väte genom elektrolys av vatten
3. Komprimering eller överföring till vätskefas samt transport
4. Förbränning för produktion av elektricitet

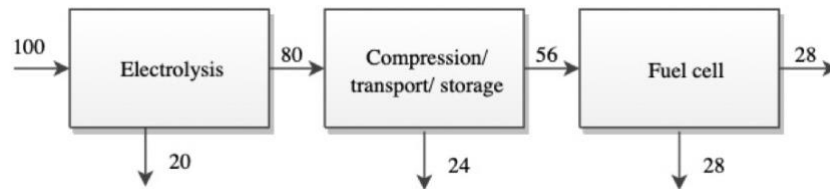


Figure 12 Effektivitet för el-generering genom väte; Källa: Ref. 1

Processens effektivitet beräknas alltså till 28%. Till detta skall subtraheras förluster i första stegets el-generering. Furfari [1] summerar ungefär: Följaktligen kan bara enorma bidrag realisera denna...gigantiska.. Antagligen kommer hundratals miljoner Euro, av det som anslås till post-Covid återställningsplan att kanaliseras till dessa investeringar, lika ineffektiva som onödiga. EU skulle i onödan slösa resurser som kommande generationer kommer att behöva återbetala. Det faktum att EU kallar detta program "Next Generation" är genant, eftersom nästa generation måste betala detta onödiga slöseri. Beträffande väteprogrammet som helhet citerar Furfari en högt uppsatt EU-direktör som sade i samband med programstarten: 'If there is nothing new compared to 50 years ago, they will be losing their time'.

Hittills har vi hållit oss till produktionen av väte. Låt oss nu gå vidare till mobiliteten och infrastrukturen. Vi begränsar oss till en kort beskrivning av tillämpningen på bilar och lämnar helt räls- och luftburen trafik därhän. Figur 13 visar ett försök att systematisera de utmaningar som vi står inför vid ett storskaligt införande av vätedrift i transportsystemet. En uppenbar första utmaning är naturligtvis att både fordon och ett tillräckligt finmaskigt distributionssystem (mackor) för väte måste finnas tillgängligt från början, det klassiska hönan-och-ägget problematiken. Det finns ett EU direktiv från 2014 som säger att 'Member states which decide to include hydrogen refuelling points accessible to the public in their national policy frameworks shall ensure that, by 31 December 2025, an appropriate number of such points are available'. Är detta EU-språk för invigda eller skall det uppfattas som både bindande (shall ensure) och frivilligt (Member states which decide)? Furfari, som är invigd, påpekar att det är så här man skriver när man inte är överens.

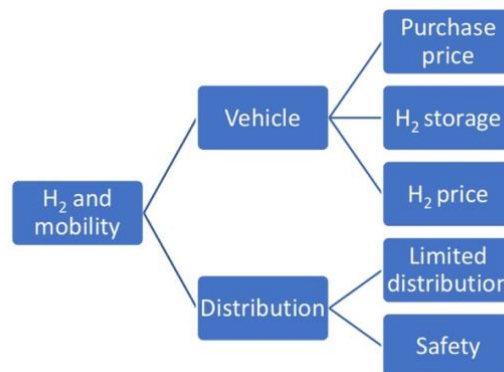


Figure 13 Utmaningar vid införande av vätedrift i transportsystemet; Källa: Ref. 1

Beträffande försäljningspriser, finns det idag i stort sett två modeller tillgängliga: Toyota Mirai och Hyundai Nexo SUV. Baspriset börjar från 81 000 Euro. Elbilar med bränsleceller marknadsförs idag framför allt med att påfyllning av bränsle går betydligt snabbare än att ladda en elbil med batteri. Vad man sällan nämner är den väsentligt lägre effektiviteten i ett bränslecellsystem än ett batteribaserat system. Detta framgår med tydlighet i Figur 14.

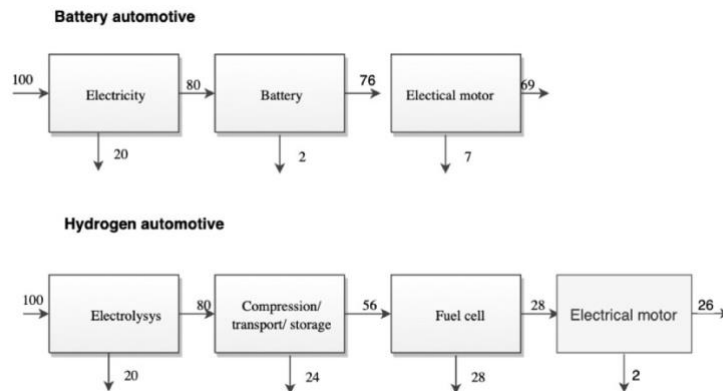


Figure 14 Jämförelse av verkningsgrad för batteri-bilar och bränslecells-bilar; Källa: Ref.1

5. Fysikens lagar är inte förhandlingsbara

Låt oss försöka sammanfatta vad vi menar med *Väteillusionen – hur man trollar bort skattepengar*: På samma sätt som alkemisterna sökte efter 'filosofistenen' [16], tror sig Europeiska Unionen ha funnit den 'filosofiska molekyl' i form av vätemolekylen som kan omvandla allt till grönt [9]. Den är magisk eftersom den är första elementet i det periodiska systemet, den utgör universums byggsten och den utgör 75 % av universum. Tyvärr är den en illusion när det kommer till energilösningar beroende på fysikaliska och kemiska lagar. (Dessutom passar vätestrategin bra in i Angela Merkels [som är fysikalisk kemist och förstår kemin] Tyskland i ett läge där man förbyggt sig på vindkraft och stängt kärnkraften och behöver 'rädda ansiktet' med något som kan lindra problemen med intermittent krafttillförsel) I ingenjörernas och naturvetarnas värld är det naturligt att vara skeptisk till att använda väte till att utvinna energi efter att ha använt nästan lika mycket energi till att frigöra vätet. I politikens värld kan emellertid allt köpas för medborgarnas pengar. Man anslår 180 – 470 miljarder Euro till grönt väte fram till 2050 [1]. Detta gör man trots att vätets nackdelar som drivmedel har studerats och dokumenterats under hundra år. Inget har förändrats under de senaste femtio åren. Det finns tillräckligt med fossil energi och kärnkraft för att möta dagens energibehov. Låt oss reservera det värdefulla vätet till kemisk industri och nyttigt råmaterial till andra nödvändiga produkter som gödsel och jordförbättring.

Väte är framtidens bränsle – och det kommer det att förbli

Referenser

- [1] Samuel Furfari: "The hydrogen illusion", Independently published 2020
- [2] Rousseau "Discours on the origin of inégalité"
- [3] <https://www.historyofinformation.com/detail.php?entryid=4107>
- [4] R Wild, Iron ore production Processes, Chemical and Process Engineering, February 1969, p. 55
- [5] A. Antonioli, La riduzione diretta e l'energia nucleare, La Metallurgia Italiana, No. 1 1971, p. 12
- [6] IEA, The future of Hydrogen, June 2019, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

- [7] Paul Baud, Chimie Industrielle, Masson, Paris 1922
- [8] <https://luxembourg.arcelormittal.com/challenges/21/463/>
- [9] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sv
- [10] https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_sv
- [11] <https://klimatupplysningen.se/tyskland-kommer-att-bli-tackt-av-vindkraft/>
- [12] Energimyndigheten : Statistik över vindkraftens utveckling i Sverige.
<http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2019/vindkraftens-utbyggnad-tar-fart-igen/>
- [13] https://sv.wikipedia.org/wiki/Stålverk_80
- [14] EU Hydrogen Strategy
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS_20_1296
- [15] Roy Spencer blog <https://www.drroyspencer.com/2021/01/biden-to-end-fossil-fuel-subsidies-like-the-paris-agreement-it-will-make-no-difference/>
- [16] Charles Mackay: Extraordinary popular delusions and the madness of crowds, Harryman House, first published 1841
- [17] <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter/2019/vatgas--ett-viktigt-steg-mot-fossilt-oberoende>
- [18] Elutmaningen – Gröna projekten slukar energi, Svenska Dagbladet 1 mars 2021,
<https://www.svd.se/om/sveriges-elforsorjning>
- [19] Pettersson Gösta (2017) Falskt Alarm, Klimatfrågan ur vetenskaplig aspekt,
- [20] Engie, Hydrogen (H2) & Carbon Capture and Use (CCU), Role within energy transition towards carbon neutral economy 2050, private communication, 2020
- [21] <https://youtu.be/CDOuMxBLo50>
- [22] <https://www.realtid.se/kronika/svart-fa-vatgasekvationen-att-ga-ihop>