

HISTORISK TIDSKRIFT
(Sweden)

126:1. 2006

Hughes teori om Stora tekniska system

Av Mats Bladh

Teknikhistoria präglades länge av en intern historieskrivning. Det var prylhistoria där varje sak studerades isolerat från den sociala miljön, som ett slags arkeologi för moderna tider. Den var starkt humanistisk i meningen att den gav uppmärksamhet åt uppfinnaren – upphovsmannen till den teknik det berättades om – men knappast åt det samhälle eller den kultur som omgärdade uppfinningen.

En sådan teknisk determinism brukar förknippas med vissa andra drag, som att teknik är tillämplad naturvetenskap och att denna i sin tur är universell och värderingsfri. Den tekniska utvecklingen är därmed i grunden frigjord från samhällelig miljö och historia, och driver i själva verket samhället framför sig. På grund av sin universella karaktär kan teknik spridas från ett samhälle till ett annat.¹

Teknikhistorikern Thomas Hughes representerar en annan uppfattning, en som han själv etablerat. Av hans verk är *Networks of Power* det mest inflytelserika där en kontextuell och vad han kallar socioteknisk syn på teknikhistoria presenteras. Det sker genom en fallstudie av elektricitetens, eller rättare sagt elsystemets, etablering i västvärlden under ett halvsekel runt förra sekelskiftet.

För modern historia är den tekniska utvecklingen central vad gäller både ekonomi och vardagsliv. I många fall kan teknik intuitivt uppfattas som system med tanke på de infrastrukturer vi förknippar med telekommunikationer, transporter, vatten och avlopp, elektricitet med mera. Hughes teori är inriktad just på de stora tekniska systemen och ger genom sin teori, eller snarare begreppsapparat, redskap åt teknikhistorikern att arbeta med. Här

1. För en introduktion till teknikhistoriska studier och till debatten om teknisk determinism, se John M Staudenmaier, *Technology's Storytellers. Reweaving the Human Fabric*, Cambridge & London 1985, s 134–148.

Docent Mats Bladh, f 1953, är verksam vid institutionen Tema teknik och social förändring, Linköpings universitet. Hans pågående forskningsprojekt handlar om hushållskunder på elmarknaden och hushållens elförbrukning. Av hans senaste publikationer kan nämnas *En elektrisk historia. Elnätets och elanvändningens utveckling i Sverige*.

Adress: Tema teknik och social förändring, Linköpings universitet, 581 83 Linköping
E-post: matbl@tema.liu.se

vill jag göra en kritisk genomgång av teorins begrepp genom en vad man kan kalla urkundsgranskning² av dess viktigaste dokument.

Mitt första syfte är att revidera den fasindelning som ofta används när teorin skall presenteras kortfattat – en revidering som jag anser Hughes nyligen bekräftat. Inom ramen för den reviderade fasindelningen diskuterar jag andra centrala begrepp som Hughes lanserat. Eftersom både historiker och sociologer har anammat Hughes teori, vill jag markera en skillnad mellan sociologisk och historisk analys. Till sist framhåller jag teorins största brist.

Problemet

Thomas Parke Hughes, född 1923, kom ut med sin skolbildande studie av uppbyggnaden av elsystem för drygt tjugo år sedan: *Networks of Power. Electrification In Western Society, 1880–1930*.³ Boken har inte bara intresserat dem som sysslat med elektriciteten i samhället, utan även dem som studerat andra typer av tekniska projekt eller tekniska system, historiskt såväl som icke-historiskt. Den har framför allt utgjort en unik och tydlig socioteknisk och systemvetenskaplig referenspunkt inom samhällsvetenskaplig och humanistisk teknikforskning med inriktning på så kallade stora tekniska system.⁴ Här vill jag först påvisa ett viktigt problem när denna bok skall sammanfattas, ett problem som skapats av Hughes själv.

Det finns nämligen två komprimeringar av denna digra bok. Det är vanligt att man refererar till första och kanske sista kapitlet och de fasindelningar som författaren där sanktionerar som överblickar över studien. Men på sidan 366 finns en annan fasindelning som verkar ha varit verksam i studiens uppläggning. Edward W Constant II har dessutom lagt ett ruttmönster ovanpå denna stadiindelning som en sammanfattning av hela boken. Denna för-enklade modell har jag modifierat i tabellen nedan. I stället för kultur har jag använt begreppet *momentum*, som är mer framträdande i Hughes framställning.

Den första fasen i Hughes periodisering inleddes 1882 då Thomas Edison introducerade ett elektriskt system baserat på likström enbart för belysning.

2. Låt mig få tacka en anonym lektör för denna term.

3. Thomas P Hughes, *Networks of Power. Electrification In Western Society, 1880–1930*, Baltimore & London 1983. För biografiska notiser, se Staudenmaier och artiklar av Staudenmaier och Hounshell nedan.

4. För att få en uppfattning om Large Technical Systems-skolans litteratur i Sverige kan man ta del av Pär Blomkvist & Arne Kaijser (red), *Den konstruerade världen. Tekniska system i historiskt perspektiv*, Eslöv 1998. Bland de svenska forskare som främst och längst utnyttjat Hughes idéer finner vi Arne Kaijser och Jane Summerton.

I den andra fasens universella system breddades utbudet till att försörja både ljus och kraft, det vill säga även elmotorer. Här introducerades växelströmmen som snart blev dominerande. I den tredje fasen präglades elsystemet av storskalighet, både vad gällde enskilda komponenter som turbiner och av kraftnätets utbredning genom sammankopplingar av äldre stadsbaserade system.

Strukturen hos Networks of Power efter Edward Constants mall

Systemfas	1880–	1893–	1920–
Problemlösare	edisonskt	universellt	regionalt
Momentum	upptrinnare	direktörer	ingenjörer
	obefintligt	reproduktivt	massivt

Källa: Edward W Constant II, "The Social Locus of Technological Practice. Community, System, or Organization?", i Wiebe Bijker, Thomas P Hughes & Trevor Pinch (eds), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge & London 1999 (1987), s 229.

"Problemlösare" markerar vilken typ av personer som blir framträdande i respektive stadium. De underliggande begreppen här är *reverse salients* och *critical problems*. Det förra hänför sig till att systemet har svaga punkter, svackor eller fördröjningar som drar uppmärksamheten till sig; det senare är sådana eftersläpningar som uppfattas som problem. Beroende på vilken typ av problem det rör sig om kommer olika typer av människor att bli problemlösare. Under den första fasen stod uppfinnar-entreprenörer i centrum, under den andra direktörs-entreprenörer, och under den tredje ingenjör-entreprenörer.

Den sista raden berör den kultur som växer fram ovanpå eller omkring systemets tekniska kärna. Här finns en växelverkan mellan den tekniska kärnan och de sociala faktorerna. Här sker en stegvis institutionalisering eller förstelning av systemet som gör att det erhåller ett slags självgående kraft med inriktning på skalekonomi och rationalisering. Under den andra fasen uppstod tröghet genom bland annat elteknisk ingenjörutbildning; under den tredje blev växelverkan mellan teknisk kärna och systemkultur så tät att systemet isolerade sig från omgivningen och rullade på i en given riktning.

Fasindelningen som Hughes beskriver i boken och som Constant bygger på, möjliggör en snabb inblick i bokens och teorins innehåll. Vad som saknas är de komparativa kapitel som upptar en stor del av framställningen. De berör

hur Edison-systemet överfördes från New York till Berlin och London, och hur det universella systemet kom att utformas i Berlin, Chicago och London, samt skillnader mellan tre regionala system. Hughes är mycket noga med att framhålla att ett tekniskt system utformas olika beroende på varierande geografiska och politiska förhållanden.

Men Hughes ger oss en annan sammanfattning inledningsvis, en "loosely structured model" (s 17)⁵ där antalet faser är fler och indelningen annorlunda. Här anges överföringen av Edison-systemet till andra städer i andra länder som en egen fas (den andra). Detta överensstämmer knappast med vår föreställning om vad en fas är, speciellt inte som Edison-systemet i London öppnade före det i New York (s 42, 55). Det han därefter anger som fas tre och fyra blir svårt att finna motsvarighet till i den övriga framställningen; de tycks snarare fylla funktionen att presentera centrala begrepp. Man får intrycket att de regionala systemen omfattar en femte fas. Dessutom finns skrivningar om bland annat första världskrigets inverkan på elsystemet. Slutsatsen måste bli att Hughes inledning inte är någon teoretisk sammanfattning utan en kort presentation av de kommande kapitlen och de viktigaste begreppen (s 14–17). Jag vill därför nedan ge en noggrannare presentation av *Networks* efter de tre stadier som presenterades i tabellen.

Efter att en första version av denna artikel skrivits har Hughes publicerat ett förord till nyttgåvan av en annan bok. Där gör han en liknelse mellan elsystemets utveckling och informationsteknologins, och använder sig av den fasindelning som presenteras i tabellen, inte av den som finns i första kapitlet av *Networks*. Hughes skriver: "The evolution of electric light and power systems [...] can be broken down into phases according to the type of entrepreneur dominating a phase and in accord with the geographical spread of the systems."⁶

Fas 1: Det edisonska systemet

I denna fas var det fråga om geografiskt begränsade system. Det typiska var en stadsdel som försörjdes av en central station där generatorer och tillhörande utrustning fanns. Där genererades likström för ett grannskap och elförbrukningen avsåg uteslutande belysning, nämligen för den typ av glödlampa med koltråd som Edison uppfunnit. Varje enskilt system var homogent

5. Siffror inom parentes anger sidhänvisningar till *Networks of Power*.

6. Thomas P Hughes, *American Genesis. A Century of Invention and Technological Enthusiasm 1870–1970*, Chicago & London 2004 (1989), "Foreword", s xix.

vad gällde spänning och andra karakteristika.

Hughes kallar Thomas Edison en uppfinnar-entreprenör därför att han uppfann inte bara en glödlampa. Joseph Swan i Storbritannien uppfann en likadan glödlampa så gott som samtidigt (s 83), men det som skiljde Edison från Swan var att Edison redan från början tänkte sig bygga ett helt system som hopkoppade alla de komponenter som skulle krävas för att få lampan att lysa. Om Edison nöjt sig med koltrådslampan hade hans uppfinning blivit beroende av andras komponenter eller uppfinningar. Då han tog tag i alla delarna kunde han framgångsrikt lansera sin egen uppfinning, något som Swan inte lyckades med. Delarna måste anpassas till varandra för att helheten skulle fungera, vilket hade effekter på själva uppfinandet. Det finns svaga punkter i ett tekniskt system som drar uppmärksamheten till sig. Lösningen kräver uppfinnarens kreativa fantasi och dess karakteristika kommer att fortplanta sig genom systemet och kräva förbättringar i andra delar, menar Hughes (s 22f).

För uppfinnande och utveckling använder Hughes ett par begrepp som är giltiga såväl för den första fasen som för de senare, nämligen de nämnda *reverse salients* och *critical problems*. Den bild som det förra begreppet frammanar är en av ojämn framryckning, vilket gör att man kan översätta det med eftersläpningar. Löser man till exempel ett problem med långväga överföring av el kommer andra delar av systemets front att hamna på efterkälken. Att de uppfattas som eftersläpningar och att uppmärksamheten riktas mot just dessa utgör kritiska problem. Det finns alltså ingen direkt automatik mellan systemexpansionens ojämheter och vilka problem som man sätter ljuset på. Men anledningen till att likadana uppfinningar kommer samtidigt beror på att det objektiva systemet lockar till uppmärksamhet på vissa saker och inte andra. En förmedlande länk mellan det objektiva problemet och det subjektiva sökandet efter lösningar är patentansökningar och tidskriftsartiklar. Vad den ene uppfinnaren eller ingenjören skriver om sprids till andra som då försöker komma förbi de gränser som den förste stoppats av. De teknikhistoriska problem som Hughes försöker komma åt med dessa begrepp är dels hur det kan komma sig att personer utan kontakt med varandra kunnat presentera identiska uppfinningar samtidigt, dels en kritik av den linjära innovationsmodellen där teknik bara är tillämpad vetenskap (s 157).

Edison upprättade ett eget laboratorium i Menlo Park år 1878 med ett antal medhjälpare. Han organiserade laboratoriet som en spegelbild av det kommande systemet, vilket var hans sätt att uppfinna genom analogier (s 461). De problem som Edison tog upp var inte bara tekniska utan även eko-

nomiska. Han och hans medhjälpare analyserade kostnader för generering och distribution av el i syfte att försäkra sig om att elsystemet var konkurrenskraftigt gentemot gassystemet. Men Edison var också tvungen att ta hänsyn till legala aspekter på det kommande systemet (s 28f).

Här får vi ta del av Hughes stora intresse för uppfinnandet. Med hjälp av anteckningar från Edison-arkivet får vi följa hur Edison kom fram till vilket material som kunde användas i glödtråden. Hughes låter oss nu, så att säga, stå och titta över axeln på Edison när denne kom fram till den kolfiber som blev den avgörande komponenten i det kommande systemet. I sammanhanget får vi också ta del av vetenskapens roll i uppfinnandet, då Ohms lag spelade en roll för i vilken riktning Edison och hans medhjälpare Upton skulle söka svaret: "It was a eureka moment." (s 36)

När den avgörande uppfinningen var gjord bildade Edison ett företag, Edison Electric Light Company, med inte mindre än tio dotterbolag, vart och ett inriktat på någon del av systemuppbyggnaden. Systemet sattes i verket 1882 då Pearl Street station startade i New York. Året därpå var närmare 9 000 lampor försörjda med likström genom stationen.

Hughes har i annat sammanhang klargjort distinktionen mellan "radical" och "conservative inventions".⁷ De radikala får inte plats inom etablerade system eftersom de hotar systemet. För att de skall kunna komma fram krävs att en oberoende uppfinnare tar hand om dem. För att göra den enskilda uppfinningen konkurrenskraftig behöver den oberoende uppfinnaren bygga hela system. I *Networks* framgår denna distinktion endast indirekt när Hughes talar om ursprunget till dagens glödlampa med metalltråd i stället för kolfiber. Under en kort period 1899–1904 presenterades ett antal konkurrerande glödlampor med olika material (metalloxid, tantal, osmium, molybden, tungsten) av företag i Tyskland och USA. Dessa uppfinningar ingick i ett försvar av redan uppnådda positioner, ett försvar av existerande system, enligt Hughes, som gör att man kan kalla dem konservativa (s 166ff).

Till yttermera visso skiljer han bland de oberoende uppfinnarna på professionella, som försörjde sig på sina uppfinningar, och övriga, som uppfann vid sidan om sin försörjning. Han påpekar också att "de oberoende" hade en speciell attityd som gjorde att de drog sig undan företagens laboratorier: "Psychologically they had an outsider's mentality." Inte nog med det, Hughes framhåller

7. Thomas P Hughes, "The Evolution of Large Technological Systems", i *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge & London 1999 (1987), s 57f.

ler dessutom något som är av direkt intresse för innovationspolitiken i dag, nämligen att uppfinnarna inte drevs av vinstintresse – det var inte pengarna utan det tekniska genombrottet som var den innersta drivkraften, ”the thrill of a major technological transformation”.⁸

En utveckling: Måste det bli centraliserade system? En viktig kritik mot Hughes, med relevans för den första fasen, har förts fram i en artikel författad av ekonomiska sociologer, bland vilka Mark Granovetter är den mest namnkunnige.⁹ De vänder sig mot Hughes så kallade system-imperativ. Artikelns obestriddliga styrka ligger i att den påvisar att en helt annan väg för elektriciteten inte bara var möjlig utan också på gång.

Vilket vägval stod man inför? Kampen stod mellan isolerade belysningsanläggningar och centraliserade system. Med isolerade anläggningar menas att fastighetsägare eller andra köper generatorer och annan utrustning för eget bruk, i stället för att genom anslutning till ett nät köpa el genererad av kraftföretag.¹⁰ En av de viktiga finansörer som stödde bildandet av Edison Electric Light Company (EELC) var J P Morgan. Han ville att EELC skulle satsa på isolerade anläggningar, det vill säga bli ett företag som sålde elteknisk utrustning. Morgan trodde att det skulle bli lönsammare än att bygga stora centrala stationer för elleveranser. Edison däremot var besatt av idén att härma gasbelysningsystemet som var byggt efter en centraliserad modell. I praktiken var skillnaderna i storlek vid denna tid inte markanta. Köpare av oberoende anläggningar var ofta stora kommersiella förbrukare, medan centralstationerna var ganska små, men skillnaden mellan Morgan och Edison vad gällde val av inriktning var skarp.

Nu var dock Edison tvungen att kompromissa, vilket ledde till att The Edison Company for Isolated Lighting bildades, och så sent som 1888 försörjde de anläggningar som byggts av företaget 344 000 lampor, medan Edisons centralstationer försörjde 386 000 – valet var ännu inte avgjort. Edison hade gassystemet som förebild men det var ingen självklar modell eftersom den

8. Thomas P Hughes, ”The Evolution of Large Technological Systems”, s 59, för bägge citaten i stycket ovan.

9. Patrick McGuire, Mark Granovetter & Michael Schwartz, ”Thomas Edison and the Social Construction of the Early Electricity Industry in America”, i Richard Swedberg (ed), *Explorations in Economic Sociology*, New York 1993, s 213–246.

10. Författarna skriver om *isolated systems* och *central station system*. Ur teknisk synvinkel är även decentraliserade elanläggningar system i det att flera lampor är anslutna via ledningar till en generator. Men om bägge kallas system suddar man bort den ekonomiska skillnaden i äganderätt mellan eget innehav kontra leveranskontrakt, och den historiska skillnaden mellan segern för ett elsystem kontra dess decentraliserade alternativ.

elektriska industrin i USA vid denna tid hade en tradition av att sälja utrustning för båggljus. Ekonomiskt såg det mörkt ut för det centraliserade alternativet eftersom Pearl Street gick med förlust under de första åren. Det decentraliserade alternativet kunde vara ekonomiskt attraktivt, i synnerhet när köparen (ofta hotell, hyreshusägare, teatrar eller dylikt) redan hade en panna i huset till vilken man kunde ansluta en generator.

Man skulle kunna förklara segern för det centraliserade systemet med hänvisning till dess stordriftsfördelar. Men sådana fördelar behöver inte vara utslagsgivande, vilket förekomsten av värmepanna i stället för fjärrvärme, privat tvättmaskin i stället för tvättstuga, privat bil i stället för kollektivtrafik är exempel på. Kanske håller decentraliserad elförsörjning på att få en renässans. Åtminstone har intresset under senare år stigit för decentraliserad energi, det vill säga småskaliga kraftvärmeaggregat avsedda för enskilda fastigheter.¹¹

Fas 2: Det universella systemet

Det universella systemet var heterogent och inbegrep introduktionen av växelström och långväga transmission av el. Flera kraftstationer med olika storlek och tekniska prestanda kopplades ihop, och förbrukningen avsåg inte bara belysning utan även transporter (spårvagnar) och elmotorer. Här användes frekvensomvandlare, omkopplare, transformatorer med mera, som förband olika utrustningar på både produktions- och konsumtionssidan. Geografiskt kunde systemen utvidgas. I detta stadium kom hanteringen av belastningen (*load factor*) i förgrunden, det vill säga ansatserna hos kraftproducenten att få en sådan blandning av förbrukningen att det genomsnittliga kapacitetsutnyttjandet blev så högt som möjligt.

Övergången från den första till den andra fasen härrörde från en eftersläpning i den första, nämligen de höga kostnaderna för överföringen. Växelströmmen blev lösningen på detta problem, vilket gav upphov till "the battle of the currents", där Edison motarbetade det nya systemet. Hughes framhåller två uppfinnare som tidigare förbisetts när växelströmmen och elmotorn introducerades: Gaulard och Gibbs (s 83–105).

I och med dessa innovationer etablerades ett nytt system, skriver Hughes (s 140), eftersom det väckte intresse hos många personer och institutioner inom ett snabbt växande fält för elektrisk ingenjörskonst, vetenskap och in-

11. Att *distributed energy* är något på gång märktes under konferensen i Delft 2001 (5th International Conference on Technology, Policy and Innovation. Critical Infrastructures) där tre föredrag ägnades direkt åt detta.

dustri. Systemet fick en stödjande omgivning och det var detta sammantaget som gav teknologiskt momentum. Interaktionen mellan tekniska och icke-tekniska komponenter ledde till uppkomsten av ett socio-tekniskt system med rörelsemängd och inriktning. Hughes menar att det universella systemet tenderade att motstå förändring; det var konservativt men expansivt. Förändring var då inte en fråga om inriktning utan om diversifiering. Det var dock inte tillräckligt konservativt för att motstå den yttre påverkan som ledde till den tredje fasen.

Vad som skapade momentum i den andra fasen var institutionaliseringen av det eltekniska kunnandet; teknologin till skillnad från tekniken. Det handlar helt och hållet om utbildning, forskning, yrkessällskap och tidskrifter. Det stödjande sammanhang som Hughes uppmärksammar är bland annat etablerandet av högre utbildning speciellt inriktad på elektrisk teknik, och den därmed följande professionaliseringen av det elektro-tekniska ingenjörsvärdet. Viktigt i sammanhanget var å ena sidan förekomsten av relativt nya men ändå etablerade elleverantörer och eltekniska företag, eftersom dessa utgjorde de kommande arbetsplatserna för de blivande ingenjörerna, å andra sidan samspillet mellan dessa industrier och de nya tekniska högskolorna vad gällde utbildningens innehåll. Här fanns alltså något ömsesidigt förstärkande (s 142), en form av dynamisk reproduktion. Under framför allt 1880-talet och genombrottet för flerfas-teknik, transmission, omvandlare och växelström i början på 1890-talet, hade en kritisk mängd av ackumulerat tekniskt kunnande skapats. Genom utbildningen kom nu detta att regelbindas och överföras till nya generationer. Elsystemets kunskaper reproducerades genom utbildningen av nya ingenjörer. Med teknologins institutionalisering frambringades teknologer som kom att bära upp ett elsystem på ett konservativt sätt – konservativt jämfört med de radikala uppfinnarnas.

Under det universella systemet blev direktörs-entreprenören den viktiga problemlösaren. Elsystemen var nu komplexa, integrerade och centraliserade urbana system för både ljus och kraft. Samuel Insull, chef för Commonwealth Edison Company i Chicago på 1890-talet, var ett typexempel. I den föregående fasen, då uppfinnande och utveckling av centrala element i ett elektriskt belysningsystem var de framträdande problemen, var uppfinnar-entreprenörer den centrala problemlösarkategorin. I nästa systemfas, präglade av sammankopplingar mellan de stora urbana systemen, sattes tekno-ekonomiska problem i centrum och därmed kom ingenjör-entreprenören i centrum (s 335).

Fas 3: Det regionala systemet

Genom högspeed transmission kunde större, regionala, system bildas. Vattenkraft utnyttjades och där var turbinerna viktiga. Men viktigare ändå var vad Hughes kallar *economic mix*, det vill säga att kraftproducenten försökte skaffa sig en så ekonomiskt gynnsam blandning på input-sidan som det gick. Det innebar att man på ett så rationellt sätt som möjligt anpassade användningen av vattenkraft och ångkraft, samt de bränslen som användes för den senare. Här utnyttjades alltså ekonomisering både på output-sidan (*load factor*) och på input-sidan (*mix*). Det var denna dubbla rationalisering som lade grunden för en *culture* hos de regionala systemen.

I "Planned Systems" (kapitel XII) beskriver Hughes hur expansionen för stadsbaserade system genom så kallade *interconnections*, sammankopplingar, ledde till geografiskt större system, omfattande regioner. Genom storkraftledningarna på 1920-talet kom mindre elsystem att förbindas till större, så att de system som tidigare utvecklats var för sig nu sammanfogades (s 324). Ett utbyte av elenergi kunde därigenom ske mellan de mindre delsystemen – Hughes talar om "sammanslagen energi". Dessa gemensamma angelägenheter kom till stånd utan att de ingående elföretagen gav upp sin självständighet. Hughes liknar dessa översystem vid en konfederation av nationalstater, ganska likt EU av i dag.

Hughes tar upp tre exempel på dessa planerade regionala system: Pennsylvania-New Jersey Interconnection (PNJ), Bayernwerk i södra Tyskland och National Grid i Storbritannien. Exemplet PNJ visar hur två bolag byggde gemensamma vattenkraftsanläggningar för att förse ett samägt kraftledningsnät med el. Dessa samfällida ansträngningar ledde till att de bägge bolagen började fungera som en enhet, eftersom ekonomiseringen på kraftsidan och hanteringen av belastningen på output-sidan förde samman de redan fysiskt hopkopplade systemen även ekonomiskt (s 324f).

Regional samverkan var resultatet av en impuls utifrån. I det föregående kapitlet redogör nämligen Hughes för de planer på storskaliga kraftanläggningar som genomfördes i USA och Tyskland under intrycket av de behov av kraft som första världskriget orsakade i dessa länder. Ett av projekten var Muscle Shoals, ett annat var ett förslag från Pennsylvanias guvernör Pinchot om "jätte-kraft". Förslaget stötte på ideologiskt motstånd eftersom storskaliga kraftverk med motsvarande kraftledningar och distributionssystem under offentlig kontroll "luktade socialism" och "konfiskation", speciellt när planerna förknippades med sociala reformer i form av landsbygdens elektri-

fiering (s 307, 312). Men Hughes framhåller att dessa ideologiska invändningar egentligen inte var de avgörande. Vad som fick förslaget att falla var att det hotade redan gjorda investeringar hos de etablerade företagen (s 312). Men det betydde inte att storskalighet och sammankopplingar försvann. I stället kom sådant att utnyttjas inom ramen för de etablerade intressena.

By the mid-1920s the superpower and Giant Power movements had lost momentum. The wartime spirit of imperative innovation had given way to a more conservative attitude. America's utilities proceeded with interconnection, but not in accordance with a master government scheme for an entire state or region. The vision of planned social revolution through technology gave way to the long-standing confidence that private enterprise and American technological genius would bring profit and progress.¹²

Governör Pinchot fick ge upp, men samtidigt byggdes storskaliga projekt av existerande elbolag. Vad Hughes vill visa måste vara att motståndet egentligen inte handlade om motvilja mot viss teknik eller vissa tekniska system, utan om försvaret av kontrollen över resurser och egendomar; inte om utveckling, utan om på vems villkor utvecklingen skulle ske.

När vi så kommer till kapitlet om de regionala systemens *culture* börjar vi känna igen dagens elföretagsjättar. Kapitlet inleds med att betona betydelsen av introduktionen av stora ångturbiner, och det verkar som Hughes vill lägga turbinerna till grund för den storskalighet och den ekonomiska "rationalisering" som nämnts tidigare. Otvetydigt var det så att jakten på skalekonomiska vinster var central för den kultur som kom att känneteckna de regionala elsystemen: "The turbines were, in effect, supply in search of demand [...] Advocates of large, regional systems argued that the unit cost of generation was an inverse function of the size of the turbines and generators." (s 364) Här låter Hughes åter begreppsparet eftersläpning och kritiskt problem förklara uppkomsten av en form av dynamisk obalans, det vill säga stor skala på en komponent kommer genom fortplantning att leda till stor skala även på andra komponenter.

Hughes har rätt i att stordriftsfördelarna var viktiga för elsystemen, men ökad skala på var och en av de tekniska komponenterna förklarar inte systemens geografiska tillväxt. Han pekar dock på viktiga saker i samband med diskussionen om tendens till stordrift, som bör rubriceras som samordnings-

12. Hughes 1983, s 313.

eller samkörningsfördelar. Det som Hughes benämner *economic mix* handlar om komplement på input-sidan. Det kan vara fråga om små och stora vattenkraftverk, värmekraftverk (s k ångkraft) som kan särskiljas både vad gäller storlek på anläggningen och typ av bränsle (svartkol, brunkol, sedermera olja) samt placeringen av dessa kraftverk i förhållande till koltillgångarna. Det komplementära kommer in i bilden just när flera typer av kraftverk förbinds genom kraftledningar. Om vi så lägger till att vi har en *load factor* på output-sidan – det vill säga variationer i elförbrukningen vars mönster skiljer sig mellan olika typer av användare – då kan vi se att de elektro-tekniska ingenjörerna hade ett intressant resursekonomiskt problem att hantera (s 367).

I den regionala systemfasen antar momentum en massiv karaktär – även om ordet "massiv" inte används av Hughes själv är det i linje med hans ståndpunkt. Avgörande är att radikala innovationer sällan får utrymme i elsystemen, eftersom dessa rullar på i en viss riktning. När systemet är ungt spelar definitioner av målen en viktig roll, men i gamla ger momentum en given riktning åt systemet, ett slags tröghet (s 465). Hughes är inte så tydlig som man kunde önska på denna punkt, men vad jag kan se betonas här elsystemens höga kapitalintensitet. Han talar till exempel om den låga andelen arbetskraftskostnader och den höga för kapitalkostnader (s 463). Den reproduktion av tekniskt kunnande som var så framträdande tidigare tar inte samma plats i den regionala fasen. Han ger oss snarast en fysikalisk liknelse om "mass, velocity and direction" (s 15). Ett exempel rörande Muscle Shoals Dam som byggdes under första världskriget kan belysa förskjutningen: Efter kriget blev dammen ett monument över en för sitt ändamål allt för stor anläggning, då fredstida elbehov var lägre än de krigstida som den var byggd för. Dammen kom dock till användning igen när president Roosevelt satte igång ett stort projekt inom ramen för New Deal, vars syfte var att lindra 1930-talskrisen. Hughes menar nu att dammens varaktiga karaktär fungerade som en magnet för nya planer och projekt. "The technological momentum of the Muscle Shoals Dam had carried over from World War I to the New Deal." Dammen var en lösning som sökte problem.¹³

Vad momentum står för hos Hughes är snarast en förlust, en förlust av de handlingskraftiga subjekten i form av system-oberoende uppfinnare. När de satt igång något kommer detta något att rulla på av bara farten i en konservativ expansion. Systemen blir allt mer själv tillräckliga och oemottagliga för

13. Thomas P Hughes, "Technological Momentum", i Merritt Roe Smith & Leo Marx (eds), *Does Technology Drive History?*, Cambridge & London 1998 (1994), s 110f.

yttre påverkan. Momentum får drag av mystik eftersom det är svårt att ge innebörd åt något som främst kännetecknas av en frånvaro. Hughes skulle ha kunnat göra definitionen tydligare genom att helt enkelt tala om reproduktionen av det eltekniska kunnandet respektive den tekno-ekonomiska rationaliseringen.

Momentum-begreppet tycks ha genomgått en förändring jämfört med Hughes första formulering av det. Redan 1969 skrev han om momentum i samband med en studie av framtagandet av ett syntetiskt bränsle baserat på väte i Tyskland under första världskriget. De experter som var sysselsatta med denna uppgift sökte efter krigets slut stöd för en fortsättning på sin forskning. Hughes menar då, för att förklara forskargruppens stöd till nazisterna, att de lagt ned så mycket stolthet, professionellt intresse och pengar i sitt projekt att det erhållit momentum.¹⁴ Här var det samma grupp av tekniker som förde projektet vidare, medan det i elsystemets andra fas var utbildningen av nya generationer ingenjörer som var förbindelselänken, och i exemplet med Muscle Shoals var det själva existensen av den färdigbyggda dammen som tog den överbyggande rollen.

Teknologisk överföring och komparationer

Teknologisk överföring är viktig för Hughes i *Networks*. De första centralstationerna som startades av Edison-bolagen var Pearl Street i New York och Holborn Viaduct i London 1882. Hughes konstaterar att den förra överlevde men inte den senare, och frågar sig varför (s 55). Här fanns två akuta orsaker och en långvarig "underliggande" faktor. En av de akuta orsakerna var de regleringar som kom vid denna tid i Storbritannien avseende lokal service (spårvägar, vattenverk, gassystemet) i en anda av "municipal socialism". När Holborn öppnades sattes förberedelserna för en ellag genast igång, och i förslaget fanns skrivningar om att ett elverk inte fick föreskriva någon viss lampsort. Sådan detaljreglering stred mot Edisons systemidéer. En annan akut orsak var det låga elpriset. Men Hughes menar att det också fanns en långsiktigt verkande faktor förknippad med intressenter för etablerade tekniska system som var nöjda med en tillvaro utan elektricitet (s 58–66).

Här kommer vi in på studier av elsystemets utformning under den andra, universella fasen i tre storstäder: Berlin, Chicago och London. Att Hughes ursprungligen lagt stor vikt dessa jämförelser märks på att de tre får stort

14. Staudenmaier 1985, s 149f.

utrymme i varsitt kapitel. Framställningen i dessa kapitel blir mycket detaljrik, eftersom Hughes intresse för personer påverkar den – berättelsen om Chicago blir i mångt och mycket en berättelse om Samuel Insull. Man kunde ha önskat sig en samlad systematisk komparation av de tre städerna i stället för utläggningar i separata kapitel. Vad Hughes ändå lyfter fram är den låga elförbrukningen i London jämfört med de andra två städerna. Studierna av de tre städerna lägger stor vikt vid politiska förhållanden och politiskt spel. Hughes kan då visa att det i Berlin fanns individer som byggde broar mellan teknikens och politikens världar. I London däremot ledde kampen mellan företrädare för lokala maktorgan, förespråkare av kommunal socialism och den privata företagsamhetens tillskyndare till att ett dödläge uppstod. En annan skillnad var att i Berlin och Chicago hade elföretagen stora industrier som kunder, medan det i London bara fanns småförbrukande kunder. I Berlin och Chicago förekom samarbete mellan elföretag och eltekniska företag (av typen ASEA), och i Berlin ägdes till och med elföretaget av ett sådant (s 259ff).

Även sammankopplingar studeras komparativt. Som anförts ovan menar Hughes att de etablerade intressena i USA motverkade förslag utifrån om systemövergripande kraftnät, men att nät byggdes ut när utbyggnaden var under kontroll av elsystemen. Exemplet från Tyskland kan sägas ge samma slutsats som det amerikanska. I Storbritannien kom dock trots allt en plan för ett nationellt kraftnät att genomföras. Hughes ger här en noggrann redogörelse för hur förändringen kunde ske, trots särintressena. I botten låg en allmän uppfattning om Storbritanniens relativt låga industriella status på 1920-talet jämfört med andra länders, och föreställningen att den förhållandevis begränsade elanvändningen och elsystemens splittrade utbredning var en viktig orsak till denna tillbakaskjutna ställning. I denna uppfattning kunde konservativa och socialdemokrater förenas. Men i spelet för att få förslaget om "the Grid" att gå igenom måste hänsyn tas till företagets självständighet, deras inflytande över den styrelse som skulle vara myndighet för kraftnätet samt vilken prissättning som skulle råda. Bidragande var också att flera elföretag vid denna tid gick samman i Storbritannien (s 350–362). Kort sagt verkar det som om Hughes vill säga att i det brittiska fallet kom staten till elbranschens undsättning, en bransch som sedan lång tid fastnat i en lokalt splittrad struktur präglad av småskalighet.

Syftet med jämförelserna av elsystem i olika städer, liksom med kapitlet om de regionala systemen, är att bevisa att det fanns "no one best way of supplying electricity" (s 17). Tekniska system kan formas olika beroende på

vilken geografisk och politisk miljö de sätts in i, och därtill kan andra "kulturella" faktorer spela in. Därför lanserar Hughes begreppet *technological style* just för att markera den historiskt och geografiskt betingade karaktären hos elsystem. Men det paradoxala med dessa delstudier i *Networks* är att de lika väl kan tolkas som bevis för motsatsen: Trots alla skillnader i systemens omgivning uppvisar de stora likheter. När man i Storbritannien införde det nationella kraftnätet 1926 så närmade man sig USA och Tyskland vad gäller systemiskhet (tät koppling mellan delarna) och elintensitet i energiförbrukningen. På så sätt framstår den brittiska eftersläpningen i elsystemets utveckling som endast tillfällig.

Personer skapar historia medan system bara rullar på

Hughes historieskrivning präglas av fascinationen över personer. För den första fasen, när de oberoende uppfinnarna dominerade, är det uppenbart att han ser dem som ursprunget till förändringar: de lever inte i historien, utan de skapar historia – system byggs. Det är inte någon tillfällighet att problemlösarna alltid får tillägget "-entreprenör". På något ställe ger dock Hughes uttryck för en annan tolkning. Han nämner att de radikala innovationer som bland andra Edison stod för kom till mot en stor fond av patent och idéer, uppfinningar som inte blivit innovationer.¹⁵ Här kan man tänka sig en helt annan inriktning på den historia som Hughes vill skriva. Om historikern inte betonar uppfinnarna lika starkt utan i stället lyfter fram fonden av misslyckade uppfinningar, då minskar det individuella subjektets roll i historien till förmån för kollektivet. I detta fall kunde det innebära att individuella insatser förvandlades till en kollektiv idébank förvarad i patentansökningar och tidskriftsartiklar.

Hughes är benägen att sätta personer i förgrunden också när han inte skildrar de oberoende uppfinnarna under sista fjärdedelen av 1800-talet. Även då han i sin historieskrivning i *Networks* hunnit fram till de stora dynamiskt-konservativa systemen på 1920-talet ges enskilda personer stort utrymme, till exempel Charles Merz, Theodore Merz och William McLellan som ägnas hela tio sidor (s 448–458). Hughes arbetar med en syn på system där vi har en teknisk kärna – *technical core* (s 363) – omkring vilken en rad icke-tekniska faktorer bildar miljön: geografiska, ekonomiska, organisatoriska, juridiska, tillfälliga faktorer samt entreprenöriella villkor. Men dessa

15. Hughes, "The Evolution of Large Technological Systems", s 58.

kulturella faktorer verkar inte "deterministiskt" på teknologin, utan alltid "through the mediating agency of individuals and groups" (s 405).

Denna syn på individer som utrustade med agentskap kan omöjliggöra förernas med reproduktion via utbildning, som är ett viktigt inslag i teknologiskt momentum. Om människor blir vad utbildningen gör dem till, måste individen reduceras till en länk i ett historiskt förlopp. Utbildningen ger oss möjligheten att förstå hur något bibehålls, men förklarar inte förändringar. Hughes lösning är att tilldela enbart ledarna för företag eller system historisk förändringsförmåga, medan underhuggarna får stå för traditionen.

Innovationernas stadier, ett annat tema

Det ingår som en viktig del i Hughes forskningsintresse att påvisa ett stadium i västerländsk tekno-ekonomisk utveckling från cirka 1870 till första världskriget, då de oberoende uppfinnarna var de främsta innovatorerna. Detta stadium och de påföljande handlar om forskning och utveckling och skall inte blandas samman med elsystemets faser. Idéer om innovationernas stadier formuleras av Hughes främst i andra böcker men har relevans för synen på de stora tekniska systemen. Kortfattat hävdar han att det funnits tre innovationsstadier: Det första är det redan nämnda där de oberoende uppfinnarentreprenörerna spelade en framträdande roll. (Hughes modifierar ibland detta med att de eltekniska företagens ingenjörssavdelningar dominerade forskning och utveckling mot slutet av detta stadium; se s 160.) Under det andra stadiet dominerade de stora industriföretagens forskningslaboratorier forskning och utveckling, och här stod "system" i centrum som en medveten strategi. Härunder inkluderas Taylors metoder för arbetsorganisering, och efter andra världskriget det militär-industriella komplexet. Därpå följde ett tredje stadium – som var en reaktion på det andra – där motståndet mot Vietnam-kriget gav upphov till en teknik- och civilisationskritisk motkultur, och där arbetet organiserades mer horisontellt och mer i projektform med större lyhörddhet för omgivningen.¹⁶

Under 1990-talet företrädde Hughes uppfattningen att de stora tekniska systemens tid var över. Olyckorna för kärnkraftverken i Three Mile Island och Tjernobyl och för rymdfärjan Challenger, tillsammans med den motkul-

16. Thomas P Hughes, *Rescuing Prometheus*, New York 2000 (1998), s 10, 301–305. Se också Agatha C Hughes & Thomas P Hughes (eds), *Systems, Experts and Computers. The Systems Approach in Management and Engineering, World War II and After*, Cambridge & London, 2000 (recenserad i *Historisk tidskrift* 2001:3, s 466ff).

tur som växte fram i protest mot Vietnam-kriget och miljöförstörelsen, såg Hughes som ett hinder för uppkomsten av nya stora system. Men den så kallade informationsrevolutionen har fått honom att tänka om. Han ser nu tydliga likheter mellan elsystemets faser och informationsteknologins, och det är nu oklart huruvida Hughes menar att det tredje stadiet är ett stadium. Han förklarar sin revidering med att han lät sig förledas av sina värderingar: "I allowed my values, attuned as they were to the counterculture, to shape my anticipations as well."¹⁷

Hughes lät sig också påverkas av SCOT-skolan (Social Construction of Technology) på 1980- och 1990-talet. Han var tidigt ute till stöd för denna strömning och hade ett utbyte med dem vilket resulterade i den bok som anförts i tabellen ovan. Mellan tekniksociologerna och teknikhistorikern Hughes fanns likheter i form av betoningen av teknikens sociala sammanhang och kritiken av teknik som tillämpad vetenskap. Men där finns också skillnader.¹⁸

Teknisk determinism?

En av SCOT-skolans ledande företrädare, Wiebe Bijker, gav vid ett seminarium 1990 en bakgrund till den socialkonstruktivistiska rörelsen. Bijker framhöll att han och många kolleger till honom oroats av den apati och hjälplöshet som många människor kände inför tekniken och dess utveckling. Det fanns en utbredd uppfattning att framstegen för kärnkraft och motorvägsutbyggnad inte gick att stoppa. Allmänheten såg teknologin som autonom och deterministisk, utanför demokratisk kontroll. För att råda bot på denna resignation angrep SCOT själva kärnan i teknologernas övertag, deras vetenskap. Med inspiration från relativismen inom vetenskapsstudierna omsatte de nu den sociala konstruktionen även på tekniken. Med cykeln som exempel visade de att dess utveckling inte var resultatet av någon intern logik, utan av ett slags förhandlingsspel mellan ett antal inblandade grupper av tillverkare och användare med flera. De ville säga att all teknik var framförhandlad och därför möjlig att påverka.¹⁹

Skillnaden mellan Bijker och Hughes kan belysas med hjälp av eftersläpningar och kritiska problem. Bijker förde fram idén om "tolkningsflexibili-

17. Hughes, "Foreword", i *American Genesis* (2004), s. x.

18. John M Staudenmaier, "Disciplined Imagination. The Life and Work of Tom and Agatha Hughes", i Michael Thad Allen & Gabrielle Hecht (eds), *Technologies of Power. Essays in Honour of Thomas Parke Hughes and Agatha Chipley Hughes*, Cambridge & London 2001, s. ix–xx.

19. David A Hounshell, "Hughesian History of Technology and Chandlerian Business History. Parallels, Departures, and Critics", *History and Technology*, 1995, s. 213.

tet”, det vill säga att samma sak kan tolkas olika, vilket följaktligen lett till att SCOT lagt stor vikt vid olikheter. Men Hughes, som också ville förklara hur identiska lösningar kunde uppstå utan att problemlösarna samarbetade, måste föra lösningen tillbaka på en gemensam nämnare utanför problemlösarna själva, vilken blev eftersläpningarna i systemet. Dessutom tenderade tolkningsflexibilitet att upplösa den tekniska kärnan och därmed reducera teknik till ett socialt spel. Då försvann det materiella ur sikte, det vill säga människors direkta och aktiva relation till teknik – det var som om vi hade kritiska problem utan eftersläpningar.

När Hughes förde fram ”momentum” så var det utmanande för dem som ville se tekniken som ett socialt resultat oberoende av någon inneboende kraft i själva tekniken. Hughes har dock hållit fast vid sin ståndpunkt och sagt att hans position kan beskrivas som mjuk determinism i och med att unga system är lättare att påverka än äldre.

Enligt min mening ligger det en fundamental skillnad mellan konstruktivistisk och historisk analys som jag tror är omöjlig att förena. I den utsträckning vi tror att människors handlingar i nuet är påverkade av vad som gjorts tidigare, måste vi lämna utrymme för en viss förutbestämmdhet i utvecklingen, om än mer eller mindre stark beroende på det konkreta fallet. Jag vill därför ge perspektiv åt denna diskussion från ståndpunkten om *path dependence*, eller spårbindenhet. En historieuppfattning som utgår från spårbindenhet kommer att framhäva kontinuiteten, att vi lever i ett historiskt arv, och att även tekniken har en historia och därför inte kan vara helt asocial. Nathan Rosenberg understryker att den tekniska utvecklingen ofta är spårbinden. En historisk händelse föreskriver inte direkt någon viss inriktning men gör det lättare för vissa riktningar att uppkomma än andra. Argumentet här är det kumulativa – det är svårt att tänka sig att elektronröret skulle ha uppkommit om inte en föregående teknik som gjorde det möjligt att generera ström existerat.²⁰

När det gäller det kontinuerliga i historien bygger argumentet på att vad vi gör i dag delvis är beroende av vad som gjordes i går. Rosenberg ger uttryck för en svag bestämning medan Hughes när han förklarar utbildningens roll för momentum i det andra stadiet ger uttryck för en stark bestämning. Men Hughes intar ju också den motsatta ståndpunkten när det kommer till de radikala uppfinnarna och systembyggarna. De är inte bestämda av något som

20. Nathan Rosenberg, ”Spårbundna aspekter hos den tekniska förändringsprocessen”, i *Den tekniska förändringens ekonomi*, Stockholm 1997 (1994), s 27.

föregår dem, tvärtom skapar de något nytt. Redan i bokens inledande stycke ger Hughes uttryck för spänningen mellan systemens ordning och en "messy vitality" (s 1).

I stället för Hughes dualism mellan å ena sidan determinismen i momentum och å andra sidan heroismen hos systembyggarna, skulle spårbarheten kunna kompletteras. Ett komplement till teorin om spårbarhet är föreställningen om vägskäl och vägval.²¹ Hughes eftersläpningar och kritiska problem är inte riktigt samma sak som vägskäl och vägval. De lösningar som uppfinnare och tekniker finner är för Hughes inte ett val mellan flera vägar. Sådana diskussioner om vägval placerar Hughes företrädesvis i den politiska offentligheten, och drar därmed en gräns mellan teknologins och politikens värld som kan ge en objektivistisk slagsida åt teknikhistorien.

Avregleringar av elsystemet och andra infrastrukturer som varit aktuella under senare tid, skulle kunna ses som vägskäl. De ställer Hughes begrepp om momentum inför en utmaning: antingen måste avregleringen bevisas vara ett led i konserverandet av en utvecklingsriktning, eller också måste man erkänna att regelreformerna utgör genuina förändringar av systemet.

Den frånvarande användningen

Den viktigaste kritiken mot Hughes teori rör den borttappade användaren. Hughes starka betoning av system och underskattning av dess omgivning riktar uppmärksamheten mot produktionsidan. Konsumtionen, däremot, kommer enbart med som lastfaktor, det vill säga hur kundernas förbrukningsmönster ser ut hos elsäljaren. Här har vi ett exempel på vad som brukar kallas produktionsdeterminism i den tekniska historieskrivningen. Produktionsorienteringen hos Hughes märks tydligt när man jämför hans arbete med Ronald Tobeyes studie. Tobey hävdar bland annat att New Deal var viktig för elektrifieringen i USA eftersom bristen på ledningar, uttag och standarder dessförinnan begränsat hushållens elkonsumtion.²² Hughes ägnar ingen uppmärksamhet alls åt elförbrukningen eller de tekniska förändringar som krävdes för att denna skulle öka. Utvecklingen från den ena systemfasen till den andra förutsatte en expansion i användningen, men Hughes skriver inte ett ord om det. Till exempel skulle en diskussion av den typ av elektrisk belys-

21. För ett exempel på tillämpning av både Hughes "momentum" och "bifurkationspunkter" (men utan hänvisning till spårberoende-teori), se Erland Mårald & Sverker Sörlin, "Om systemkultur och miljösyn i projekt Hallandsås", *Polhem* 1998:3/4, s 169, 195.

22. Ronald C Tobey, *Technology as Freedom. The New Deal and the Electrical Modernization of the American Home*, Berkeley, Los Angeles & London 1996.

ning som fanns redan innan glödlampan ha underlättat vår förståelse av varför flera uppfinnare samtidigt kom fram med en sådan. Bågljuset gav ett allt för starkt ljus för att passa inomhus, men det fortsatte att användas under ett par decennier som gatubelysning. Frånvaron av ett elljus för innebruk kan kanske betraktas som en eftersläpning som uppfattades som ett kritiskt problem. Men då krävs att vi ägnar åtminstone minimal uppmärksamhet åt användningen av el, vilket Hughes inte gör.

Frånvaron av en konsumtions- eller användningssida i analysen är synnerligen besvärande eftersom ett framträdande drag för just elektriciteten är dess balanskrav. El kan inte lagras, därför måste produktion och konsumtion vara i balans hela tiden. Balanskravet skapar en stark koppling mellan delarna i systemet, och resulterar till och med i att systemet tenderar att kontrollera omgivningen. Inom studier av industriell organisation förekommer *just-in-time*, ett begrepp som beskriver hur man eliminerar lager genom att hålla dem i rörelse mellan förädlingskedjans delar. Balanskravet uppstår där genom en organisatorisk innovation, men för el är det ett krav givet av naturen.

Produktionsinriktningen hör samman med Hughes föga distinkta gränsdragning mellan system och omgivning. I den allmänna systemteorin skiljer man på system och dess omgivning, där omgivningen påverkar systemet utan att stå under dess kontroll. Hughes använder sig av denna gränsdragning på vissa ställen, men oftast är gränsen suddig (s 5ff). Till det teknologiska systemet hör då, enligt Hughes, den tekniska kärnans komponenter av generatorer, transformatorer, kraftledningar med mera. Dit hör också organisatoriska komponenter, såsom tillverkande företag, elföretag och banker, vetenskapliga, såsom böcker, artiklar, elteknisk utbildning och forskning, samt juridiska, såsom lagar och reglerande myndigheter.²³

Hughes hade kunnat utnyttja distinktionen system/omgivning om han gett förtur åt dem som dagligen hanterar produktion och försäljning av ljus och kraft. Reglerande lagar och myndigheter lägger ramar för verksamheten, men deltar inte i själva arbetet. Det gör heller inte eltekniska företag som ASEA/ABB. De levererar generatorer, turbiner och annan utrustning till kraftföretagen, men producerar inte elektricitet. Kunderna kan räknas till omgivningen, de påverkar systemet men står inte under dess kontroll. En socioteknisk kärna som sköts och drivs av företag är en tydlig definition som gör det möjligt att se spelet mellan system och omgivning, till exempel hur systemet

23. Hughes, "The Evolution of Large Technological Systems", s 51.

genom *demand-side management* söker kontrollera förbrukningen så att det passar dem. Vi får möjlighet att studera aktiv gränsdragning från systemets sida när ny teknik eller nya elproducenter dyker upp som hotar dess ställning eller strategier.²⁴

Avslutande kommentar

Hughes använder sina begrepp på ett öppet sätt. *System* och *momentum* kan snarast betraktas som metaforer vilkas innebörder är tämligen breda och inte så lätta att fixera. Det hör samman med den metod han jobbar med, nämligen analogin, eller att "se något som något annat". Sådan abduktion utgör egentligen det kreativa momentet i forskningen, men risken är att begreppen blir oklara. Den kritik som förts fram här skall därför ses som argument för att förbättra, inte förkasta.

Enligt min mening har det "sociotekniska" inslaget i Hughes teori en potential. Den kan bilda en särskild ståndpunkt om den radikaliseras. Roten till sociotekniska system måste då vara socioteknisk, det vill säga vi måste upphöra med särhållningen av det materiella och det kulturella. Myntet har visserligen två sidor, men dessa är oskiljaktiga – att klyva ett mynt återför bara problemet på ett tunnare sådant. Problemet är att kunna studera sidorna samtidigt, vilket kräver både tekniska och sociala kunskaper. Inom akademien är kunskapen delad i discipliner och andra institutionaliserade gränsdragningar. Teknikhistoria kräver i grund och botten ett överbryggande av en av de djupaste vallgravarna inom universitetsvärlden.

24. En antydning åt det hållet finns i Hughes *Rescuing Prometheus*, s 197, i form av skillnaden mellan "öppna" och "stängda" system.

Hughes's Theory on Large Technical Systems

Networks of Power, Thomas P Hughes's classic work in the history of technology, established analysis of Large Technical Systems as a field of study. This article introduces Hughes's ideas to a wider audience of historians. It also argues that the actual structure of Hughes's book differs somewhat from the one presented by the author himself in the introduction to the book. The underlying structure of the book is a three-stage model characterized both of geographical extension and types of electricity.

Central concepts are discussed, such as "reverse salients/critical problems", "system", "technical core", "technological momentum", "technological style", "interconnections", "economic mix" and "load factor". Attention is also paid to Hughes interest in technological transfer and in the role of individual actors.

Hughes's theory is discussed in relation to Wiebe Bijker's "interpretative flexibility" and Nathan Rosenberg's "path dependence." Furthermore, Hughes is criticized for neglecting the importance of use or consumption of electricity, giving sole attention to the production of electricity. Despite such criticism, Hughes's perspective can be developed into a clear "sociotechnical" position avoiding both technical determinism and social reductionism.

Keywords: technology, history, theory, socio-technical, systems, power, momentum, determinism