

Utbildningen i ämnet teknik utvecklar en
förtrogenhet med teknikens väsen.
Läroplan för den obligatoriska skolan, Lpo 94.

På spaning efter teknikens natur

Varför studier av teknik ska inte underordnas ekonomi eller naturvetenskap¹

Lars Ingelstam²

Inledning och bakgrund	1
En framåtblickande och problemlösande kultur	4
Ekonomisk vetenskap och den oförklarade restfaktorn	5
Teknik är inte tillämpad naturvetenskap	7
På spaning efter teknikens väsen	8
Att öppna den svarta lådan	8
Teknik som gränssnitt mellan en inre och en yttre omgivning	9
Hur tekniken utvecklas	10
Stora tekniska system (LTS)	11
Varför en djupare uppmärksamhet på tekniken och dess natur skulle vara bra	11
Stärka ingenjörprofessionens ställning och självförståelse	12
Rätta till skevheter inom offentlig forsknings- och utvecklingspolitik	12
Stärka det akademiska studiet av teknik	12
Teknik i skolan och teknisk allmänbildning	13
Referenser	13

Inledning och bakgrund

Avsikten med den här uppsatsen är att fästa ökad uppmärksamhet på de karaktäristiska och unika egenskaperna hos *teknik*: det som kanske kan kallas *teknikens natur*. Att jag kommit att intressera mig för den frågeställningen kan ledas tillbaka till ett bestämt yrkesval i mitt liv, men är givetvis också relaterat till tidigare och senare intryck och arbetsuppgifter. Det val

¹ En engelskspråkig version av denna uppsats presenterades vid National STS Conference in Uppsala, August 30-31, 2018

² Tekn dr och professor emeritus inom tema Teknik och social förändring. Mejl: lars@ingelstam.se.

jag syftar på var inrättandet av en forskningsenhet, som kom att benämnas tema³ Teknik och social förändring vid Linköpings universitet (tema T). Inom detta blev jag 1980 en av de första två professorerna, och tjänstgjorde där i stort sett utan avbrott fram till min pensionering 2002.

Detta var en unik möjlighet och utmaning, givet min tidigare bakgrund⁴ och syn på världen. Jag hade då spenderat 15 år av mitt liv på en teknisk högskola (KTH). Den interna kulturen på KTH innehöll väldigt tydliga spänningar mellan tre krafter, var och en med sina interna företrädare och deras allierade i omvärlden: naturvetenskap, ekonomi/näringsliv och teknik/ingenjörskunnande. Anmärkningsvärt var att det sistnämnda var det svagast artikulerade och minst självsäkra av de tre. För att hävda teknikens intressen och den tekniska utbildningens betydelse valde KTH:s företrädare ofta att åberopa argument från ekonomi ("främja tillväxten", höja konkurrensförmågan...) eller naturvetenskap (excellens, "vi är minst lika bra som universiteten" ...). KTH kan beskrivas som ett tekniskt universitet – en term som allt oftare används som benämning på bl a Chalmers och LTU – men detta löser ingenting utan frågan kvarstår: vad betyder *tekniskt* i sådana sammanhang?

I egenskap av matematiker och teknisk fysiker inom KTH jag hade en viss distans till den tekniska kärnan i KTH:s verksamhet. Men jag frågade mig själv (och andra) med början redan under åren som student: detta som kallas *teknik*, vad är det egentligen för något? Jag blev mycket uppiggad av att långt senare upptäcka att en välkänd forskare och författare, W Brian Arthur (1946-) – vilkens akademiska färdväg i långa stycken är densamma som min – hade ställt den typen av fråga redan under sin studenttid, men inte fått några tillfredsställande svar (Arthur 2009, sid 1-2). Hans egna svar har imponerat på mig och de redovisas i den bok som jag återkommer till.

Det nya temat Teknik och social förändring som innefattade forskning och forskarutbildning, startade alltså 1980 och hade då förberetts genom en ambitiös tvär-facklig akademisk process (Linköpings universitet 1976). De centrala och pådrivande aktörerna var professorerna Torsten Hägerstrand (kulturgeografi, Lunds universitet) och Nils-Erik Svensson (pedagogik, VD för Riksbankens Jubileumsfond) tillsammans med historikerna Sven Tägil och Göran Graninger. En enhällig planeringsgrupp med både interna och externa ledamöter betonade att temat "kan ges en mycket hög samhällsrelevans i den meningen att människan både som individ och samhällsmedlem på ett djupgående sätt är berörd..." av

³ Ungefär samtidigt inrättades ytterligare tre teman, efter samma modell, med tyngdpunkt på det som senare kom att benämnas forskarskola. Tema-organisationer finns kvar, med vissa modifikationer, som en central del av forskning och forskarutbildning vid den filosofiska fakulteten.

⁴ Jag fick tidigt i livet en intressant närkontakt med frågan om teknikens roll och särskildhet. Under mina år som gymnasist och ung student var min pappa, Erik Ingelstam, drivande i ett projekt som avsåg att stärka humanistiska och andra allmänbildande inslag i dåtidens ingenjörsutbildningar, framför allt vid de tekniska läroverken. Erik var docent i fysik, hade varit till professor på Chalmers, lektor vid Tekniska läroverket (nuvarande Thorildsplans gymnasium) och blev 1956 professor i fysik vid KTH. Programmet som löpte över åren 1943-1964 drevs av Kommittén för humanistisk orientering vid teknisk utbildning med visst stöd från staten, men huvudsakligen på ideell basis. Man kan se det som en spegelbild av senare tiders krav på ett brett teknikämne som ger "teknisk orientering" som en del av bildningsmålet i såväl grundskola som gymnasium. Kommitténs verksamhet har dokumenterats av politikern och utbildningshistorikern Gunnar Richardson, under hans tid som professor vid tema T (Richardson 1987).

tekniken, uppfattad i bred mening. Enighet rådde om att detta var ett underbeforskat fält. Dessa "fäder" till temat var dock noga med att inte föreskriva *en* särskild teoretisk bas för temat. De fäste stor vikt vid tvärvetenskaplighet och förväntade sig att de forskare som fick ansvar för temat skulle säkra verksamhetens vetenskapliga kvalitet och samhällsrelevans.⁵

Under mer än två årtionden utgjorde detta min nästan dagliga utmaning. De synpunkter som redovisas i fortsättningen ska inte enbart ses som råd och rekommendationer till yngre kolleger. De utgör också i hög grad en form av självkritik som går ut på att jag hade bort driva de fundamentala frågorna med större grundlighet och konsekvens under mina aktiva år.

Här avser jag att göra tre saker:

1 Reflektera över det sätt som teknik behandlas inom ekonomiskt vetenskapligt tänkande, särskilt neo-klassiska teorier om tillväxt och det för närvarande aktuella angreppssättet innovationssystem.

2 Problematisera att teknik och naturvetenskap (*science*) ofta behandlas som en och samma sak, eller åtminstone så starkt sammankopplade att studier och forskning om dem kan ses som *en* i stort sett sammanhängande disciplin (STS, Science and Technology Studies).

Dessa båda ståndpunkter är i viss mån polemiska. Den första länkar till starka krafter i samhället, där det ekonomiska (eller ekonomistiska) tänkandets primat sammankopplas med ekonomiska intressen. Detta är utan tvekan en elefant i rummet, och måste av en fri och oberoende forskning igenkännas som sådan. Den andra är något mer akademisk till sin natur. Passar verkligen naturvetenskap och teknik så väl ihop att det kan beskrivas som ett lyckligt äktenskap? Kan det i stället vara så att skillnaderna är så signifikanta att vi bör erkänna att de kan vara ganska obekväma som sängkamrater. För båda dessa polemiska ståndpunkter kommer jag att redovisa väl argumenterade bundsförvanter i det följande. Men framställningen om teknikens särskildhet kan inte stanna vid polemik och negationer. Därför ägnar jag en del av uppsatsen åt alternativen.

3 Vilka svar finns på frågan om teknikens egentliga natur? En ung W Brian Arthur ställde frågan vad "technology-ness" är, och återkommer i mogen ålder med viktiga

⁵ Inom Linköpings universitet infogades tema T (tillsammans med tre andra teman) i en redan existerande organisation, som "överbyggnad" av forskning och forskarutbildning på en sammanhållen filosofisk fakultet som hittills i stort sett saknat sådan. De spänningar som antytts ovan och som den här uppsatsen handlar om kom ganska snabbt upp till ytan även här. De vid universitetet verksamma ekonomerna hävdade med viss emfas att de redan var väl inne i problematiken och gärna skulle ta hand om vad som behövde läggas till. Naturvetarna välkomnade i allmänhet tema T, under det antagandet att det inte förelåg någon konkurrens, men att deras område skulle få en förstärkning. Från den stora tekniska fakulteten hälsades tema T med misstro, i stort sett baserat på det (helt korrekta) antagandet att temats verksamhet skulle kunna skapa tvivel på att teknik erbjuder samhället enbart välsignelser och positiva kvaliteter. Fakulteten välkomnade dock vissa aspekter, bland dem teknikhistoria (se diskussion i avsnittet *En framåtblickande kultur*). Jag vill påminna om ett detta beskriver initiala reaktioner: mönstren av samarbete och konkurrens inom LiU har senare förändrats, i stort sett i positiv riktning.

delsvar på den (Arthur 2009). Om teknik inte är ”tillämpad naturvetenskap” (Simon 1996) vad är den då? Herbert Simon betonar att teknik, liksom organisationer, är mänskliga konstruktioner (artefakter), vilket ger ledtrådar till ett studium av teknik – annorlunda än att iakttä naturen – med tonvikt på *design*.

Litteraturen inom detta område är inte överväldigande, och jag ska dessutom begränsa mig till ett fåtal författare som har lagt fram de enligt min bedömning mest övertygande argumenten. Självklart kan kolleger inom detta fält ha andra favoriter; några kan nog helt vilja avvisa en eller flera av mina tre teser ovan.

I en avslutning kommer jag att söka sammanfatta de viktigaste intellektuella och politiska argumenten för att – tydligare än som sker i dag – betona teknikens specifika och särpräglade egenskaper.

En framåtblickande och problemlösande kultur

”Det saknas en uppsättning övergripande principer som skulle kunna ge ämnet [teknik] en logisk struktur.”⁶

Det är redan i inledningen till sin bok som W. Brian Arthur gör denna raka och oreserverade kommentar (Arthur 2009, p 14). Han fortsätter med att kontrastera teknik mot såväl (natur)vetenskap som ekonomi och pekar på grundläggande skillnader i struktur och ändamål med respektive vetenskaper. Men framför allt tvingas han tillbaka till den grundläggande och besvärande frågan att teknik – till skillnad från dessa andra fält – saknar en tydlig självförståelse, och dess utövare tydligen inte heller har känt något starkt behov av en sådan. Hur kan det komma sig?

En möjlig förklaring är att både naturvetenskap och ekonomi (av någon anledning) har högre *prestige* än teknik inom den akademiska världen. Enligt dennas värdesystem kan de presentera eleganta och sofistikerade svar på frågorna ”vad är ekonomi” och ”vad är naturvetenskap”. Motsvarande försök för teknik ter sig trevande och en smula grunda. Naturvetenskap och (national)ekonomi (*economics*) har dessutom under en mycket längre period haft hemortsrätt inom universitet och forskning. Ett prestigegap har utan tvekan funnits historisk. Bosse Sundin har utförligt beskrivit hur tekniska högskolor och ingenjörsvetenskap gradvis och under motstånd kunde erövra sin akademiska status (Sundin 1981). I dag finns knappast något prestige-underläge varken inom eller utom akademien. Tvärtom, skulle många hävda. Nu länkas teknik till tillväxt och framsteg och får del av den dyrkan som dessa begrepp ägnas i politik och samhällsdebatt.

En tyngre förklaring finner man i det faktum att de breda frågorna *om* teknik har ställts och bearbetats huvudsakligen av historiker, och på senare tid även av samhällsvetare och humanister. För dem har tekniken med nödvändighet framstått som en ”svart låda”⁷:

⁶ “Missing is a set of overall principles that would give the subject [technology] a logical structure.”

⁷ Tankefiguren ”black box” har inte något med fusk eller lättja att göra, utan har haft stor betydelse även inom ingenjörsvetenskapen och dess olika släktingar. Bland annat får det en huvudroll inom cybernetiken, den ”styrmansvetenskap” som grundlades av Norbert Wiener (Wiener 1950).

intressanta och ofta sofistikerade anordningar, men vilkas detaljerade egenskaper oftast inte är tillgängliga eller begripliga för forskaren. I många fall (inte alla, naturligtvis) är detta ett hinder om man vill förstå hur teknik fungerar och utvecklas. Hur annorlunda skulle det varit, frågar sig Arthur, om ingenjörerna själva hade varit drivande och ledande inom tänkande över teknik? Vad kan det komma sig att ingenjörer har varit motvilliga eller ointresserade av att gräva efter de teoretiska grunderna för det som de håller på med? På den punkten citerar Arthur Walter Vincenti, ledande teknikforskare vid Stanford University: "Ingenjörer gillar problem som de kan lösa". Orienteringen mot *problem* och på att komma vidare – *framåtriktningen* – som präglar den tekniska kulturen ger svagt stöd för att se tillbaka och stanna upp inför frågor som "varför", "hur" och "vad" inom den egna verksamheten.

Jag har själv haft många tillfällen att observera denna inställning hos ingenjörer och tekniker (från förstaårsstudenter till världsberömda forskare) ibland med ett visst inslag av arrogans. Men jag tycker mig se ett undantag. Nästan alla ingenjörer är intresserade av teknikhistoria. Utöver en och annan aha-upplevelse av rent teknisk natur tror jag att detta har två nära sammanhängande förklaringar, men båda med ganska diffusa kopplingar till samtida ingenjörsarbete:

- Det är trevligt att se hur smarta som gånga tiders ingenjörer var – och detta har vi förstås gemensamt med dem...!
- Dagens teknik är mycket bättre gårdagens. Detta bekräftar på ett angenämt sätt att teknik är förbundet med framsteg: vi står i förbund med framtiden!

Ekonomisk vetenskap och den oförklarade restfaktorn

W Brian Arthur är matematiskt inriktad ingenjör "i botten" som under sitt verksamma liv mer och mer definierat sig som ekonom. I sin bok gör han redan i inledningen ett beundransvärt klart påpekande om relationen mellan ekonomi och teknik (Arthur 2009, p 1).

Ekonomi genereras till inte obetydlig del av sina teknologier.⁸ I en viss mening är en ekonomi ingenting annat än en smart organisering av teknologier. Därför skulle den förväntas utvecklas så som dess teknologier utvecklas.⁹

I den etablerade nationalekonomiska litteraturen finns dock endast svaga spår av denna sunda och riktiga observation. Snarare är det en omvänd – "svansen viftar på hunden" – tankegång som dominerar. Teorier om förändring och tillväxt inom det neo-klassiska paradigmet (vilket enligt Paul Samuelson accepteras av 95 % av alla professionella ekonomer) startar i den motsatta änden, med pengar. Antagandet (eller trossatsen) är att "ekonomin" skapar förändring. I den mån sådana ekonomer över huvud taget vidkänns teknikens roll så sker det på ett abstrakt, svepande och något tankspritt sätt.

Makroekonomiska teorier om tillväxt har formulerats, på en rimlig nivå av sofistikerad matematik, sedan tidigt 1950-tal. Störst inflytande då och under många tiotal år framåt var

⁸ Som läsaren redan upptäckt gör jag ingen skarp skillnad mellan *teknik* och *teknologi*, och inte heller på engelska mellan *technology* och dess nästan-synonymer (som *technics*). Språkbruket i litteraturen är vacklande, och detta är inte platsen att (likt Hamlet) "ställa allt till rätta".

⁹ the economy was in no small part generated from its technologies. In a sense, an economy was nothing more than the clever organization of technologies. Therefore, it would evolve as its technologies evolve.

Solow-Swans modell (som i sin tur byggde vidare på produktionsfunktioner som efter sina upphovsmän benämns Cobb-Douglas och Harrod-Domar). När forskare undersökte hur empiriska data kunde anpassas till modellerna fann de att – i tillägg till den tillväxt som kunde hänföras till produktionsfaktorerna kapital och arbete – man måste införa en ytterligare faktor för att få ekvationen att gå ihop. Denna kallades under en tid den "oförklarade restfaktorn" (*unexplained residual*). Men det var inte alltför långsökt att tro att denna faktor till stor del (direkt och indirekt) kunde hänföras till teknisk utveckling. Men Solow-Swans modell förklarar inte varför tekniken förbättras över tid: denna förblir en exogen faktor (innefattad i den så kallade Solow residualen). Senare har man sökt infoga teknisk förändring som en endogen faktor (något som både påverkar och påverkas) i modellerna. Men faktum kvarstår att inom detta (huvud-)spår inom det ekonomiska tänkandet teknik framstår som en dåligt förstådd restfaktor. Å andra sidan ser den ut att ha en helt avgörande roll för tillväxttakten i ekonomin.

Detta bristande intresse, från en stor majoritet av professionella ekonomer, har två bevärande konsekvenser. Den första är att denna mäktiga akademiska profession i praktiken har trängt ut och marginaliserat försök att fixera teknikens konkreta och specifika egenskaper. (Jag erinrar mig ett uttalande, måhända något förhastat, av en mycket känd svensk nationalekonom: "ju mer man söker anpassa ekonomisk teori till specifika branscher, som skog, jordbruk eller bostäder, desto sämre forskning blir det".) Den andra konsekvensen är att eftersom få strukturerade idéer om teknisk utveckling erkänns inom ekonomiskt tänkande, tenderar "ekonomisk politik" att baseras på svepande och dåligt grundade föreställningar om vad teknisk utveckling kan åstadkomma, med hänvisning till en (okänd men imponerande) restfaktor. Detta har trivialiserat tänkandet och vilselett politiker och allmänhet på många viktiga punkter. Ytliga och "teknikpositiva" berättelser om framtiden har inneburit både att viktiga framtidsmöjligheter gått oss förbi, och att skadliga och negativa konsekvenser av teknisk utveckling försumrats (tills de, till ofta stora kostnader, *måste* åtgärdas). Exempelen på det senare är många: resursuttömning, miljöpåverkan, ovärdiga arbetsförhållanden, problematiska energilösningar...

Den neoklassiska hegemonin i ekonomisk tänkande är dock inte total. *Institutionell ekonomi* i några olika varianter har funnits parallellt med den neo-klassiska huvudfåran, ofta som avvikelser från eller i opposition till den. På senare tid har institutionella aspekter av ekonomin fått ökad uppmärksamhet. Av särskilt intresse här är de angreppssätt som benämns *innovation* och *innovationssystem*. Om just innovationer betonas, snarare än tillväxt i allmänhet, kommer specifik teknik och tekniska egenskaper att få större uppmärksamhet. Å andra sidan tycks den delvis panegyriska pläderingen kring dessa begrepp inte heller gå särskilt väl ihop med ambitionen att klargöra vad teknik och teknisk förändring egentligen går ut på. I innovationspräglade studier ligger tonvikten på "det nya" snarare än på en grundligare uppmärksamhet på tekniken. Det är betecknande att varken Arthur (2009) eller Simon (1996) hänvisar till innovation eller innovationsteorier i sina genomgångar av forskningsläget.

Det ligger nära till hands att knyta det bristande intresset för ingenjörskunnande och teknisk förändring till den dominerande roll som ekonomiskt tänkande har fått i samhälle. Om ekonomisk tillväxt är ett överordnat värde och nationalekonomi levererr det vetenskapliga stödet för detta är det inte så konstigt om mer konkreta aspekter av mänskligt liv skjuts i

bakgrunden. Om sådant som lycka, vardagslivets organisation, fysisk livsmiljö och arbetsplatsernas organisation bedrivs visserligen forskning, men de facto kommer sådana aspekter att underordnas tillväxtmålet. Att teknik generellt behandlas ganska förstrött kan därför ses som ännu ett utslag av *ekonomism*: en överideologi som tenderar att reducera alla sociala fenomen och processer till ekonomiska begrepp och teorier.¹⁰ Det finns starka skäl att problematisera förhållandet mellan teknik och ekonomi. Om detta lyckas kan det också bidra till att mota tillbaka ekonomismen i allmänhet.

Teknik är inte tillämpad naturvetenskap

Naturvetenskap och teknik är ingalunda några mer eller mindre synonyma begrepp. De är tvärtom två helt skilda strömningar i västerländsk civilisation: fundamentalt olika, i många avseenden diametralt motsatta, för att inte säga antagonistiskt inställda till varandra. ... Dessa omaka kulturtraditioner har, av genom utvecklingens obönhörliga logik tvingats in i ett symbiotiskt förhållande som hotar att förkväva dem bägge. (Gerholm, 1978).

Professor Tor Ragnar Gerholm (1925-2007) var kärnfysiker och dessutom rådgivare till svensk industri, samhällsdebattör och framstående populärvetenskaplig författare. Han bidrog också till att teknik blev ett eget ämne i grundskolan (Lpo 94). Naturvetenskap drivs av nyfikenhet om världen och universum. Teknik är däremot oupplösligt förbunden med våra liv och strävanden, liksom till den mänskliga naturen. I motsats till "naturen" existerar den inte "av egen kraft, utanför oss och oberoende av oss människor".

Herbert Simon (1916-2001) argumenterar på likartat sätt:

Genom historia och tradition har de naturvetenskapliga ämnenas uppgift blivit att undervisa om *naturliga ting*: hur dessa är och hur de fungerar. Det har varit ingenjörsskolornas uppgift att undervisa om *konstgjorda (artificial) ting*: hur man ska tillverka föremål som har önskade egenskaper och hur man ska utforma – *designa* – dem. Design, uppfattad på detta sätt, är kärnan i all professionsutbildning; det är den som skiljer professionerna (yrkena) från vetenskaperna. Utbildningar för ingenjörer, liksom för arkitekter, affärsmän, utbildare, jurister och läkare har alla sin centrala uppmärksamhet fästad just på design-processen (Simon 1996, sid 11, min översättning och kursivering).

Simon grundar inte sin argumentering primärt i teknik och ingenjörsvetenskap. Hans forskningsinriktning (för vilken han fick Sveriges Riksbanks pris i ekonomisk vetenskap till Alfred Nobels minne år 1978) är administrativa organisationer och begränsningarna i rationellt handlande. Ingenjörer är yrkesmässigt designers: personer som har till uppgift att skapa handlingsvägar som kan förändra den existerande situationen till en annan som är att föredra (*preferred ones*). Simon konstaterar att den intellektuella verksamhet som syftar till att skapa materiella föremål (artefakter) inte i grunden skiljer sig från sådana som föreslår åtgärder för att bota en sjuk patient, skapar en försäljningsplan för ett företag eller utformar

¹⁰ *Ekonomism* (eng. *economism*) är ett samtida, polemiskt uttryck, som i första hand ska tillskrivas den nordamerikanska framtidsforskaren och miljöekonomen Hazel Henderson. I svenskt sammanhang har jag bidragit till att begreppet slagit rot (Ingelstam 1991).

en välfärdspolitik för ett helt land. Men sedan fortsätter han med att notera att de som har fått ansvar för att främja ingenjörskunnande (och andra former av design-kompetens) i stor utsträckning har övergivit denna uppgift:

Med tanke på vilken nyckelroll som design har i professionernas yrkesutövning, är det ironiskt att i vårt århundrade naturvetenskapen nästan helt har drivit ut vetenskapen om det konstgjorda – *the sciences of the artificial* – från yrkeshögskolornas läroplaner, en utveckling som kulminerade ett par årtionden efter andra världskriget. Tekniska högskolor blev gradvis helt präglade av fysik och matematik, samtidigt som medicinska utbildningar togs över av livsvetenskaperna, handelshögskolor blev skolor för finit matematik, och så vidare.

Att man ofta använde adjektiv som "tillämpad" döljer – men ändrar inte på – att det handlar om en utträngning av *design*, menar Simon. Man väljer visserligen ut de element från fysik, matematik osv som förmodas vara mest relevanta för professionellt ingenjörarbete. Men det ändrar inte på det faktum att design fått stryka på foten, till förmån för (naturvetenskapligt baserad) analys. Denna Simons polemiska position ska jag granska och utveckla i positiv riktning i nästa avsnitt, och vägleds då av hans grundbegrepp *design* och *artificiell*.

På spaning efter teknikens väsen

Att öppna den svarta lådan

Det som sagts ovan skulle kunna uppfattas så att det inte finns mycket skrivet om teknik. Så är det naturligtvis inte. Det finns en växande populär litteratur liksom många vetenskapliga skrifter. Däremot är den vetenskapliga litteratur som söker belysa teknik som generellt fenomen tämligen begränsad. Den som finns är alltför lite känd och underutnyttjas i undervisning och forskning, även inom institutioner som hävdar att teknik är en av deras prioriteter. Jag återkommer till några av de arbeten som jag ser som mest beaktansvärda.

Liksom Brian Arthur noterade jag ovan att ingenjörer i allmänhet inte har några starka motiv för att reflektera över sin egen professionella aktivitet. De vill lösa problem, komma vidare... Men det ska noteras att det finns välskrivna texter inifrån professionen, som diskuterar ingenjörens yrkesroll, teknikens plats i samhället och hur berättigat det är med "teknikkritik". I en mycket spridd bok söker Samuel C. Florman bemöta föreställningen att teknik och dess utövare är kalla och okänsliga. Han pekar på vitalitet, sensualism och kreativitet och söker förmedla en annan grundinställning, väl sammanfattad i bokens titel *The Existential Pleasures of Engineering* (Florman 1976, 1994). Han ägnar också en del av boken åt att bemöta dem han kallar "teknikpessimister".

Det sistnämnda är också huvudtanken i en uppsats av professor Gunnar Hambraeus (1919-), under många år chef för Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA): "En ingenjörsvetenskap" (Hambraeus 1978). Han talar där som ingenjör och företrädare för professionen, men gör ändå ingen större skillnad mellan teknik och naturvetenskap. Detta är ganska betecknande för synsätten inom det tekniska etablissemanget, och högst begripligt utifrån IVA:s strävan att stärka banden mellan högteknisk industri och den vetenskapliga världen.

Teknik som gränssnitt mellan en inre och en yttre omgivning

Konstgjorda ting (artefakter) skiljer sig från naturliga ting i första hand genom att de är formade (designade, syntetiserade, konstruerade) av människor, med avsikten att de ska fylla någon specifik funktion eller mål. Att "göra vetenskap" kring artefakter kan inte begränsas till att beskriva deras egenskaper, utan måste också täcka de normer, avsikter och krav som påverkat deras tillblivelse och användning.

Herbert Simon föreslår att vi ska betrakta teknik som gränssnitt (*interface*) mellan:

- En "inre" omgivning: den materia och organisation som utgör själva artefakten
- En "yttre" omgivning: den miljö i vilken den finns och verkar.

Naturvetenskapens lagar påverkar artefakten genom dessa två relationer. Nya vetenskapliga rön kan möjliggöra annorlunda "inre" strukturer, medan "naturen" normalt (men inte alltid!) fastlägger icke förhandlingsbara villkor för vad som kan åstadkommas i den "yttre" omgivningen. Det tredje elementet är just gränssnittet där anpassningen, i form av ändamålsstyrd design, äger rum.¹¹ Om den inre omgivningen är väl anpassad till den yttre, och omvänt, kommer artefakten att tjäna det avsedda syftet.¹²

I linje med sin huvudinriktning inom forskningen, som gäller begränsningarna i rationellt handlande, ägnar Simon en lång diskussion åt frågan om och när en design är "bra nog". Olika, delvis mycket sofistikerade, metoder kan användas för att analysera den grad av anpassning mellan inre och yttre omgivning som är "bra nog", i linje med tanken att i nästan alla mänskliga sammanhang är det bara en "*bounded rationality*" som man kan åstadkomma.

Simon ger dock ganska få konkreta exempel på teknik (och de som han tar med är i några fall en smula besynnerliga). Till skillnad från min absoluta favorit bland författarna, W Brian Arthur, har inte Simon grundat sina teser om design i ett något material av tekniska exempel. Styrkan i hans framställning är de skarpa och belysande parallellerna med andra former av design, i administrativa, ekonomiska och legala system. Hans tes är att adapteringen mellan inre och yttre omgivning måste lösas genom ändamålsstyrd design. Det är inte alltid möjligt att åstadkomma optimala lösningar, utan dessa måste ses i ljuset av att det ofta gäller att hantera just "begränsad rationalitet".¹³

¹¹ Läsaren kan här känna igen den nära släktskapen med systemtänkande, som detta utvecklats av Norbert Wiener och i hans efterföljd (Wiener 1950). I detta är nyckelbegreppen *system*, *systemgräns* och *omgivning*. Detta är ingen tillfällighet. Vid den tidpunkt då Simon först publicerade sin bok om det konstgjorda hade systemtänkande absorberats i många vetenskapliga områden som ett "naturligt" sätt att formulera problem som rörde komplexa fenomen (Ingelstam 2012). Det finns i Simons bok talrika referenser till litteraturen om System, inklusive Norbert Wieners egna skrifter.

¹² Simon tar klockan som exempel. En klocka ska "visa tiden". I ett soligt klimat (om måttliga krav på noggrannhet) kan ett solur duga. I de flesta "normala" fall kan en mekanisk, elektrisk eller elektronisk klocka fylla behovet. Under extrema förhållanden (hög eller låg temperatur, mekanisk chock osv) kan en annorlunda design behövas.

¹³ För en basal överblick av Simons tänkande om teknik rekommenderar jag Chapters 1 och 5. Denna briljanta bok borde läsas i sin helhet, men det blir inte alltid så...

Hur tekniken utvecklas

Hörnstenen I W Brian Arthurs teori om teknikens natur är begreppet utveckla (*evolve*). Teorin är dynamisk. Den grundläggande idén är att en teknik "utvecklas" ur andra tekniker, plus vad han kallar fenomen. Det handlar om en *kombinatorisk* utveckling. I stor utsträckning bygger han under sin framställning med exempel. Några av dem är enkla och ger illustration, men i andra väjer han inte för storskalighet och hög komplexitet (som moderna jetflygplan).

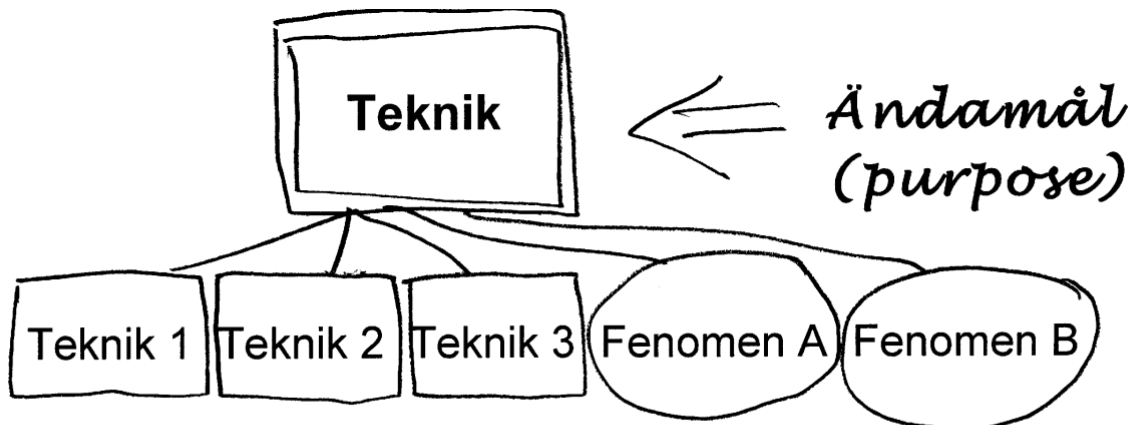
Arthur har samma startpunkt som Simon: "Den första och mest grundläggande definitionen av teknik är *ett medel för att uppfylla ett mänskligt ändamål (purpose)* (sid 28)".¹⁴ Den mest krävande intellektuella uppgifter är dock att klargöra hur teknik utvecklas som en kombination av element som redan existerar (tekniker och fenomen). Han hävdar att det är omöjligt att ens diskutera teknik på ett meningsfullt sätt utan att ta fasta på hur den uppkommit. Detta gäller enkel teknik, som hävstången, lika väl som de mest komplexa, som jetplan eller kärnreaktorer.

Självklart kan man urskilja många utvecklingssteg på vägen till en i dag existerande teknik. Men Arthur föreslår att se utvecklingens enskilda steg, för att därigenom få en teoretiskt hanterlig kombination av element. Det elementära utvecklingssteget skulle då innehålla kombinationen av två slag av element:

- **Teknik och föremål som redan finns.** Ett eller flera av dessa kan vara dagens front-tekniker, men den här kategorin täcker också in mycket basala ting (skruvar och muttrar, sensorer, kretskort, återkopplingar...) vilka givetvis är oundgängliga även i de mest avancerade moderna tekniker.
- **Fenomen.** Central för varje teknik är alltid något fenomen som är helt avgörande för dess funktion. Som exempel kan nämnas hävstångseffekten, förbränning, halvledare, gravitation, kärnklyvning... Om man kan identifiera ett nytt *fenomen*, eller ett förbättrat gammalt, så kan detta kombineras med andra element och leda till en ny teknik. I vår tid är det vanligt att dessa nya fenomen uppstår genom naturvetenskapliga framsteg. Men vi ska inte glömma bort att teknikdrivande fenomen kan vara av helt annat slag. "Gammaldags" uppfinningar är en fortfarande viktig kategori, ändrade sociala värderingar som öppnar för återbruk och återvinning är andra viktiga exempel. Dessa fenomen har lite, eller ingenting, att göra med tillämpad vetenskap, men är helt fundamentala om vi ska förstå teknisk förändring.

Enligt det här sättet att tänka är kärnan i ingenjörarbete att kombinera redan existerande teknik med "fenomen" (nya eller gamla) för att de bättre ska bidra till den *mänskliga avsikt* som de förmodas tjäna. Så ser det allmänna ramverket för analysen ut, och det finns inget krav på att alla element ska finnas till hands hela tiden. Ibland är det ett enda vetenskapligt framsteg som behövs för utvecklingssteget, i andra fall kan det vara en ny kombination av kända tekniker som skapar utveckling. Men Arthurs schema klargör att kända tekniker, vetenskapliga fynd och nya observationer (uppfinningar, idéer...) alla måste tas i beaktande när vi söker förstå hur teknik utvecklas.

¹⁴ Av praktiska och pedagogiska skäl kan, enligt Arthurs framställning, teknik (*technology*) avse dels "en viss samling av praktiska metoder och komponenter" (som byggt teknik eller informationsteknik), dels "hela massan av föremål och ingenjörsvksamhet i en kultur" (som i "teknik borde vara del av allmänbildningen" eller "söka teknikens natur").



Elementarsteget i teknikskapande, enligt Brian Arthur (Arthur 2009)

Trots detta måste man erkänna att en viktig fråga lämnas obesvarad: varför utvecklas tekniken just i en viss riktning – och inte i någon av de andra, möjliga? Som fritänkande ekonom avvisar Arthur den enkla *mainstream*-föreställningen att det är marknadens efterfrågan som avgör. Hans analys är mycket mer nyanserad, och bygger på ett stort antal exempel. Den kan inte refereras här, men han ger själv en bred kommentar: ”i varje steg av en förändring har människor ett avgörande inflytande”. Han avvisar därmed enkla föreställningar om teknisk determinism. Å andra sidan tenderar han själv att föredra systemiska och strukturella förklaringar, snarare än sådana som fokuserar särskilda aktörer.

Stora tekniska system (LTS)

Ett ytterligare viktigt inspel i studiet av teknikens ”essens” kommer från teknikhistoria och alldeles särskilt från Thomas P Hughes (1923-2014). Han var en av de ledande när det gällde att placera in teknik i en samhälllig kontext, utan att dölja eller trivialisera dess konkreta tekniska egenskaper. Hans monumentala verk *Networks of Power: Electrification in Western Society 1880–1930* (Hughes 1983) lade grunden till studiet av *Large Technical Systems (LTS)* som numera kan beskrivas som en särskild och viktig gren av ”*social studies of technology*”. Även hans angreppssätt var delvis polemiskt: inte mot ekonomi eller naturvetenskap utan mot traditioner inom hans eget ämne. Mycken historia har skrivits om teknik utifrån särskilda maskiner, uppfinningar eller företag men utan någon djupare analys av teknikens sociala sammanhang (som artefakt, designad av människor för människor). Detta behöver en säkrare teoretisk grund. Ssamtidigt bör teknik rent generellt ges större uppmärksamhet av historiker. Hughes och hans efterföljare (av vilka det finns ganska många i Sverige) formulerar sig gärna inom ramen för att brett system-tänkande, med full uppmärksamhet på teknikens kulturella och social kontext (Ingelstam 2012, Bijker, Hughes, Pinch 1987).

Varför en djupare uppmärksamhet på tekniken och dess natur skulle vara bra

Av resonemanget ovan och de källor som åberopats bör framgå att en djupare förståelse för tekniken, dess natur och dess roll i samhället skulle vara möjlig. Den förutsätter att dessa aspekter inte döljs eller marginaliseras genom att bäddas in i ekonomi, tillämpad

naturvetenskap eller (konventionell) historia. Men vilka andra fördelar kan vi urskilja med en sådan förändring, utöver de intellektuella och analytiska? Jag vill avslutningsvis peka på fyra sådana fördelar.

Stärka ingenjörprofessionens ställning och självförståelse

I dagens samhälle och inte minst inom företagen är det ekonomin som råder. En mängd tekniker inom industrin vittnar om att "bra" eller t o m "geniala" tekniska lösningar avvisas, med hänvisning till – vanligtvis kortsiktiga – ekonomiska överväganden. Självklart kan inte det omvända förhållandet heller accepteras: att varje god teknisk lösning finansieras. Däremot: om det blev klarare för alla att ingenjörarbete och teknisk utveckling grundas på starka och sofistikerade överväganden skulle dess företrädare ha en starkare position och få bättre gehör inom företag liksom på nationell nivå (se även nästa punkt).

Rätta till skevheter inom offentlig forsknings- och utvecklingspolitik

Herbert Simon argumentera starkt för design och för att *sciences of the artificial* har ett egenvärde som inte får trängas ut av *science*. Utvecklingen inom svensk (och även EU) FoU-politik har tydligt gått i den riktning som Simon kritiserar. Furstarna och de tunga intressenterna inom *big science* har allt mer kommit att dominera såväl debatt som ekonomisk anslagsgivning. De har lyckats övertyga politiker och ledande tjänstemän om att "fri" naturvetenskaplig forskning, i förening med kollegial finansiering (forskarna själva bestämmer vem som ska ha anslag), inte bara är nödvändig för tekniska framsteg utan också överlägsen och mer kostnadseffektiv än stöd till forskning som syftar till ändamålsstyrd teknisk utveckling. Jag menar att de har fel. Bristen på genomtänkta och grundliga argument för teknikens villkor och egenart innebär att det blir fritt fram för en "scientism" av den typ som Simon varnar för. Den ansedde forskningspolitiska forskaren Erik Arnold kritiserar några av förslagen i den stora utredningen Forskning 2000 med orden: "ett blatant försök av ett gäng fysiker att lägga beslag på en massa pengar som de inte rimligen har rätt till".

Stärka det akademiska studiet av teknik

Nästan oberoende av vilka intentioner som ursprungligen har gällt, har en rad institutioner som forskare om teknik identifierat sig med STS: Science and Technology Studies. Är detta ett problem? Ja kanske: åtminstone behöver man skärpa uppmärksamheten. Om den fundamentala skillnaden mellan teknik och naturvetenskap görs oskarp och man i stället lägger stor vikt vid att dessa är starkt sammanvävda i dag (vilket en stor litteratur bekräftar), kommer nästan säkert teknik-studiet att bli förlorare. I brist på teoretisk fasthet kring teknikens natur kan det bli så att naturvetarna tar över, alternativt svepande samhällsvetenskapliga eller historiska teorier; i båda fallen utan specifik uppmärksamhet på teknikens natur och specifika intellektuella innehåll. En annan urartning är tillbaka till "nuts and bolts", en mer anekdotisk och tekniksektoriell inriktning, visserligen med modernt innehåll men utan teoretisk höjd.¹⁵ Jag tycker att det vore rimligt att etablera någon form av kunskapsbas (*core curriculum*) för forskare och avancerade studenter som avser att forska

¹⁵ För ett antal år sedan anlätades jag av ett högt respekterat svenskt universitet som sakkunnig för en tänkt befordran till en ledande akademisk befattning inom området Teknik och samhälle. Bland den sökandes cirka 50 publikationer fanns en (1) som i någon rimlig mening visade intresse och kunnande om tekniken i generell, teoretisk mening. Jag föreslog dem att rekrytera en person med bredare bakgrund, men så blev det inte.

kring teknik och samhälle. Användbara texter finns; de böcker som jag nämnt här är några av mina egna favoriter.

Teknik i skolan och teknisk allmänbildning

Genom läroplansbeslut år 1994 etablerades teknik som ett allmänt kunskapsämne i den svenska grundskolan. Numera gäller detsamma i hela ungdomsskolan, och det har eftertryckligt slagits fast att kunskaper om teknik är en del av bildning och allmänbildning. Mycket är att säga om ämnets plats, timtilldelning, lärarutbildning osv, och det ska jag inte göra här. Men det bör än en gång betonas att grunden är att vi, som medlemmar av en fungerande demokrati, bör vara tillräckligt kunniga och kritiska för att kunna ta ställning i sådana samhällsfrågor som är sammankopplade med teknik och teknisk utveckling. För att fullfölja detta uppdrag är lärare och lärarutbildare beroende av en vederhäftig, vetenskapsbaserad och pedagogiskt genomtänkt syn på teknik. Jag menar att detta förutsätter en aktiv och fokuserad forskning inom området teknik och samhälle, och inte minst en grundläggande uppmärksamhet på teknikens natur eller väsen. Jag inledde denna uppsats med ett citat ur den läroplan som 1994 bröt mark för teknikämnet, och slutar på samma sätt: "Utbildningen i ämnet teknik utvecklar en förtrogenhet med teknikens väsen."

Referenser

- Arthur, W Brian (2009): *The Nature of Technology* What it is and how it evolves. Allen Lane/Penguin Books, London
- Bijker, Wiebe E., Thomas P. Hughes, and Trevor J. Pinch (1987): *The Social Construction of Technological Systems*. New Directions in the Sociology and History of Technology. The MIT Press, Cambridge, England
- Florman, Samuel C. (1995): *The Existential Pleasures of Engineering*. London: Souvenir Press (first edition 1976)
- Gerholm, Tor Ragnar (1978): "Teknikens reifikation", i *Attityder till tekniken*, red Per Sörbom, Riksbankens Jubileumsfond (RJ 1978:6) och Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm
- Hambraeus, Gunnar (1978): "En ingenjörns försvarstal", i *Attityder till tekniken*, red Per Sörbom, Riksbankens Jubileumsfond (RJ 1978:6) och Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm
- Hughes, Thomas P (1983): *Networks of Power. Electrification of Western Society 1880-1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press
- Ingelstam, Lars (1991): *Farväl till ekonomismen*. Stockholm, Carlssons Bokförlag
- Ingelstam, Lars (2012): *System – att tänka över samhälle och teknik*. Energimyndigheten, Eskilstuna
- Linköpings universitet (1976): *TEMA. Ny väg för forskning*. Betänkande av forskningsorganisatoriska gruppen (FOG)
- Richardson, Gunnar (1987): *Tekniken, människan och samhället. Humanistiska inslag i 1940- och 1950-talens tekniska utbildning*. Föreningen för svensk undervisningshistoria, Uppsala 1987 (i samarbete med Tema T, Linköpings universitet)
- Simon, H. (1969): *The Sciences of the Artificial*. MIT Press London (Third edition 1996)
- Solow, Robert M (1970): *Growth theory : an exposition: the Radcliffe lectures delivered in the University of Warwick 1969*. Oxford: Clarendon

Sundin, Bosse (1981): *Ingenjörsvetenskapens tidevarv*: [The organization of technological research in Sweden at the beginning of the 20th century] : Ingenjörsvetenskapsakademin, Pappersmassекontoret, Metallografiska institutet och den teknologiska forskningen i början av 1900-talet. Umeå universitet 1981

Wiener, Norbert (1950): *The Human Use of Human Beings – Cybernetics and Society*. Boston: Houghton Mifflin