*Waloddi Weibull*

# MATEMATIKEN, MASKINEN OCH MÄNNISKAN

**Professor Waloddi Weibulls här återgivna anförande vid Ingeniörsvetenskapsakademiens högtidssammankomst år 1951 behandlar en frågeställning, som i våra dagar berör alla och envar.**

Filosofen Kant påstår någonstädes att matematiken är vetenskapernas vetenskap, att värdet av en vetenskap bestämmes av det mått matematik den innehåller. Andra menar att matematiken blott är ett hjälpmedel, ett redskap som många andra för astronomen, fysikern, ingenjören. Vilken ståndpunkt man än intar, kan man dock inte förneka att det senaste decenniet medfört en radikal förändring i relationen mellan matematiken och människan. Detta har skett i huvudsak längs två helt olika utvecklingslinjer.

Den första avser en metodik, ett systematiskt försök att med tillhjälp av matematisk analys studera det mänskliga handlandet och att på basis av resultaten lämna precisa föreskrifter som lämnar optimala resultat under de givna förutsättningarna, en forskningsgren som fått benämningen *operationsanalys*. Den andra utvecklingslinjen avser uppkomsten och utvecklingen av komplicerade och oerhört effektiva räknemaskiner som öppnar vägen för något som skulle kunna kallas *experimentell matematik*.

*Operationsanalysen* kan sägas leda sitt ursprung från ett arbete av engelsmannen Lanchester, som under första världskriget tog sig före att kvantitativt analysera militära problem inom det då visserligen mycket blygsamma flygvapnet. Under trycket av de omfattande tyska rustningarna togos dessa tankar upp till förnyad behandling i sitt ursprungsland strax före krigsutbrottet 1939. Då fick nämligen prof. Blackett (f.ö. år 1948 nobelpristagare i fysik) i uppdrag att som ledare för en liten grupp forskare analysera allehanda slag av militära problem från vapen och deras betjäning till utbildning, taktik och strategi.

Den metodik som härvid utvecklades fick namnet Operational Research. Dess förnämsta hjälpmedel är matematisk statistik, variationskalkyl och spelteori. Dess arbetsgång är i huvudsak följande: Data över tidigare operationer av liknande slag insamlas. Med statistiska metoder beräknas korrelationen mellan variationer i resultat och variationer i operationsdetaljer. Olika mått på utbytesfaktorn d.v.s. förhållandet mellan uppnådda mål och använda medel t.ex. sänkt far-

Denna artikel är en av förf. gjord bearbetning av det föredrag som förf. höll vid Ingeniörsvetenskapsakademiens högtidssammankomst den 24 oktober 1951 och en utvidgning av den artikel under strecket i Svenska Dagbladet som publicerades dagen efter sammankomsten och som här återgives med tidningens medgivande.

tygstonnage per ubåt, uppställas. Dessa mått värdesättes med avseende på förmåga att framhäva de mest önskvärda resultaten av operationen i fråga. Undersökningen koncentreras därefter på de parametrar som låter utbytesfaktorn komma till synes i den mest kritiska belysningen.

I många fall kan man redan på detta stadium göra vissa förutsägelser som medför förbättringar av resultaten. Man har även möjlighet att, genom systematisk variation av olika parametrar, på experimentell väg bestämma deras inverkan och förutsäga den lämpligaste taktiken. Erfarenheten har visat att den väsentliga svårigheten ofta ligger i ställandet av problemet på rätt sätt, och att lösningen sedan ger sig av sig själv.

Ett sådant exempel: Vid statistisk analys av flygplanens insatser i kampen mot ubåtarna fann man att dubbelt så många ubåtar upptäcktes på flygplanets vänstersida som på dess högersida. Orsaken kunde lätt härledas till placering och arbetsfördelning av förste och andre piloten. Genom ändring i dispositionerna blev antalet upptäckta ubåtar per flygplan ökat med mer än 30 procent. Ett annat mera arbetskrävande exempel: Före anfallet mot det tyska slagskeppet Tirpitz gjordes en matematisk-statistisk analys, som gav till resultat att anfall med 30 flygplan på ett noga specificerat sätt skulle göra antalet bombträffar per förlorat flygplan till ett maximum. Tre träffar angavs som sannolikt resultat. Förutsägelserna slog till punkt och pricka in.

Man kan nu fråga sig: Är det verkligen möjligt att uppnå tillförlitliga resultat med hänsyn till det stora antalet, ofta illa definierade faktorer som påverkar resultatet, annat än i alldeles speciella fall? Ja, de som arbetat inom detta område är fulla av entusiasm, och att de har rätt kan kanske anses bevisat därav, att man snabbt fortsatte på den inslagna vägen och organiserade s.k. Operational Research Groups icke blott vid flertalet högre staber utan även vid ministerierna för underhåll, produktion och krigstransporter. USA följde exemplet och vid krigets slut fanns det även här sådana forskningsgrupper vid alla högre staber.

Operationsanalysen är, som vi sett från början en ren krigsprodukt men i verkligheten inte en exklusiv sådan. I Amerika har man med iver och även med framgång börjat tillämpa metodiken på varjehanda civila områden, med fördel på t.ex. transportproblem, arbetarskydd, reklam, handel m.m.

Ett rakt motsatt sätt att angripa problemet har gjorts av matematikern von Neumann och nationalekonomen Morgenstern, som genom sin *teori för strategiska spel* skapat en ny matematisk disciplin, ursprungligen avsedd att ersätta de klassiska differentialresonemangen vid nationalekonomiska beräkningar.

Det finns ju sedan gammalt en omfattande litteratur över spelteori, som dock endast behandlar de elementära spel, där resultatet uteslutande beror på spelaren själv och på slumpen. Vid ett strategiskt spel bestämmes resultatet även av motspelarens åtgärder. Om man besinnar att det ligger i varje spelares intresse att hindra övriga spelare att genomskåda hans avsikter, och att således bluff och skenbart irrationellt beteende ingår som väsentliga moment, förstår man att matematiken blir avsevärt mera komplicerad, än när problemen kan reduceras till renodlad sannolikhetskalkyl. Von Neumann och Morgenstern har inte heller lyckats ge någon uttömmande behandling av spel med fler än tre deltagare, men även denna blygsamma början har gett resultat av värde.

Även om teorien ursprungligen var tänkt för nationalekonomiska betraktelser har den vunnit sina största framgångar inom den militära taktiken. Teorien har t.ex. visat att det vid strid mellan två jaktplan är olämpligt att alltid öppna eld på samma avstånd. Detta resultat låter ju inte så märkvärdigt men man har velat dra ut konsekvenserna ända därhän att bygga in i flygplanet en statistisk apparat som automatiskt öppnar eld med optimal mängd av osäkerhet. Kriget blir sannerligen allt mer komplicerat även i detaljerna.

Om antalet deltagare i spelet blir fler än tre, kompliceras matematiken till den grad att det blir nödvändigt tillgripa maskinella hjälpmedel. Sparsamma underrättelser från USA meddelar att man där byggt en strategimaskin på basis av von Neumanns och Morgensterns teori, som kan förutsäga vem som vinner kriget med hänsyn till väsentliga faktorer såsom daglig krigsproduktion, antalet upplagrade atombomber etc.

Jag skall avrunda denna bild med att omnämna, att man i ett av de senaste numren av den ansedda engelska tidskriften Nature finner ett system simultana differentialekvationer, vars lösning ger svar på frågan om en kapprustning kommer att leda till öppet krig eller inte, förutsatt dock att man sätter in rätta numeriska värden på ingående koefficienter för aggressivitet, defaitism, sparsamhet med militäranslag etc; ett svårare problem än att lösa ekvationssystemet.

Den andra utvecklingslinjen gällde de maskinella resurser som utvecklats under senaste decenniet de s.k. *matematikmaskinerna.* Jag tänker härvid mindre på de maskiner som bygger på den redan av Maxwell demonstrerade analogien mellan vissa mekaniska och elektriska förlopp. Hur nyttiga dessa räknemaskiner än kan vara för vissa speciella problem, någon generell användbarhet har de inte. De kan inte heller ge resultaten med någon större grad av noggrannhet, därför att de baseras på en direkt uppmätning av en fysikalisk storhet, en vinkel, en elektrisk ström el. dyl.

Helt annorlunda arbetar siffermaskinerna, som opererar med talvärden. Här kan noggrannheten genom successiva operationer drivas precis hur långt som helst. Det nya hos dessa maskiner ligger principiellt inte i deras »minne». Sådana finns rudimentärt även i äldre maskiner. Det nya ligger i deras förmåga att jämföra olika resultat och att på basis av förelagda instruktioner välja ut de resultat som bäst lämpar sig för efterföljande operationer. Härtill kommer en hastighet som är tusenfalt högre än äldre maskiners samt en långt driven automatisering som bl.a. användes för självkontroll av arbetsresultatet.

Även i Sverige har vi, förutom ett flertal analogimaskiner av originella konstruktioner, en siffermaskin benämnd BARK som varit i bruk ca 1 1/2 år. Den är till stor del uppbyggd av standardelement från Telegrafverket och innehåller bl.a. 7.500 telefonrelä. Den har liksom alla relämaskiner en relativt liten hastighet med 7 à 8 additioner och 4 multiplikationer per sek., men är icke desto mindre en mycket användbar maskin som redan gjort god nytta. Det är nog ingen överdrift att säga att utländska specialister, bortskämda med vida större ekonomiska resurser än vi, anser konstruerandet och byggandet av denna maskin som en förnäm teknisk prestation. Även en snabb elektronmaskin är under byggnad. Den beräknas bli körfärdig nästa sommar. Dess prestation blir 100.000 additioner på 8 sek. och lika många multiplikationer på 48 sek., vilket är 2 1/2 ggr snabbare än den amerikanska siffermaskinen ENIAC, som påbörjades 1942 och blev färdig 1946. De båda svenska siffermaskinerna kommer att ge oss en utrustning av allra största betydelse för försvar, industri och forskning i Sverige.

Som bekant har Ingeniörsvetenskapsakademien verksamt deltagit vid tillkomsten av dessa maskiner och stött verksamheten på många sätt, bl.a. genom att organisera utsändning av ett flertal stipendiater.

Helt nyligen har Akademien tagit ett nytt initiativ av stor betydelse genom att inbjuda ett tiotal av de större svenska industriföretagen att bilda en Stiftelse, vars uppgift blir att medverka vid utrustandet och driften av det statliga Institut för Numerisk Analys, som helt nyligen föreslagits och som avses övertaga Matematikmaskinnämndens verksamhet. Det är meningen att varje svenskt industriföretag, som har behov av numerisk analys eller tillverkar hjälpmedel härför, skall erbjudas plats i denna Stiftelse.

Det råder ingen tvekan om den djupgående revolution de snabba elektronmaskinerna medfört i det matematiska tänkandet och på sättet att lägga upp problemen. Det är också säkert att användningen kommer att utsträckas till helt nya delvis oanade områden. För att belysa detta påstående skall redogöras för en undersökning av dr Shannon vid Bell Telephone Comp. i USA. Denne, genom banbrytande arbeten inom teorien för telekommunikationen, välkände forskare har förelagt sig och även löst problemet att göra upp räkneprogram för en schackspelande modern siffermaskin. Shannon börjar med att konstatera, att det i princip är möjligt att göra upp ett program för ett perfekt spel, men att detta är praktiskt ogenomförbart, ty maskinen skulle i så fall behöva analysera alla möjliga kombinationer och ett parti om 40 drag innehåller $10^{120}$ sådana. Även för den snabbaste maskin skulle detta ta $10^{30}$ år i anspråk, d.v.s. mycket längre tid än jorden existerat.

Man får därför begränsa sina pretentioner till ett skickligt spel, jämförbart med en god mänsklig spelares. För detta ändamål utgår man från ett matematiskt uttryck som ger en värdering av spelarens styrka med hänsyn till antalet behållna pjäser, varje pjäs med sin poäng, och till deras lägen på brädet. Med tillhjälp av denna värderingsfunktion kan maskinen snabbt uträkna det momentana styrkeförhållandet. Shannon har även formulerat en sådan funktion, men påpekar, att dess koefficienter endast har statistisk giltighet och att deras värden kan behöva justeras genom analys av ett stort antal spelade partier. Så vitt jag kan finna vore enklaste sättet att låta två maskiner med olika värderingsfunktioner spela mot varandra och se efter vem som vinner de flesta gångerna. Maskinen skall nu föreskriva dragen så, att det egna värdet enl. värderingsfunktion stiger relativt motståndarens. Härvid kan den använda olika strategier. Shannon har föreslagit två. Enligt den första undersöker maskinen alla möjliga kombinationer tre drag framåt. Detta ger ett långsamt spel, ty varje

drag tar ca 16 minuter. Han modifierar därför strategien och låter maskinen studera endast de drag som synas ge bästa effekt men låter för dem analysen gå mera på djupet genom att följa upp bedömningen fyra à fem drag framåt. Detta svarar mera mot ett gott amatörspel. Mer än åtta drag framåt kan inte ens en världsmästare överblicka.

Nu har inte huvudsaken med detta exempel varit att verkligen genomföra ett sådant spel. Det skulle förmodligen kosta ett par hundra kronor i timmen att ha en modern siffermaskin till motspelare, dock fick man häromdagen se i tidningarna att det är meningen att få igång ett sådant atlantiskt schackparti. En elektronmaskin i Manchester har utmanat en liknande maskin i Princeton på ett parti så snart den senare blir färdig.

Avsikten med Shannons exempel var mera att visa hur man kan gå tillväga och hur komplett problemställningen avviker från den klassiska matematikens. Shannon anger ett antal viktiga problem som kan behandlas på liknande sätt: konstruktionen av elektriska vågfilter, lösning av symboliska (icke-numeriska) ekvationer, logiska deduktioner, översättning från ett språk till ett annat, orkestrering av melodier. Jag skulle tänka mig att en elektronmaskin skulle lämpa sig särskilt väl för att bygga upp en Bach-fuga på ett förelagt tema, med sorgfälligt undvikande av förbjudna oktav- och kvintparalleller och andra förbud, måhända så perfekt, att man som ett irrationellt moment måste införa en lämplig statistisk störning för att få en mänsklig touch på produkten.

Mot bakgrunden av dessa prestationer, som gett upphov till benämningen tänkande maskiner kan det vara hälsosamt jämföra dem med den mänskliga hjärnan. Alla snabba siffermaskiner bygger på det binära systemet, där varje siffra endast kan anta två alternativa värden, 0 och 1, och inte som vid decimalsystemet tio. Det binära systemet gör kopplingselementen, vare sig de är elektromagnetiska eller elektroniska relä, mycket enklare, snabbare och driftsäkrare. Den mänskliga hjärnan är försedd med sådana binära relä de s.k. neuronerna. Dessa relä imponerar inte på oss genom sin snabbhet. För att mottaga och sända vidare en signal behöver de en kopplingstid av ca en halv millisekund. För att starta en signal måste i regel pulser från åtskilliga andra celler, ibland flera hundra, löpa in med en samtidighet som inte behöver vara större än ett par tiondels millisekunder. En signal, som blockerar nervcellen och hindrar den att reagera för inkommande pulser måste ha en halv millisekunds försprång. Neuronen

reagerar således visserligen snabbare än ett elektromagnetiskt relä och lika snabbt som ett gasfyllt rör en s.k. tyratron men endast en tusendel så snabbt som ett elektronrelä.

Men neuronerna har de för sitt ändamål allt avgörande fördelarna av mycket ringa utrymmes-, energi- och kylningsbehov och därför är det möjligt att inom den lilla volym en människohjärna erbjuder, få plats med icke mindre än 10 miljarder sådana kopplingselement. En modern elektronmaskin med sina 18.000 rör står ungefär på samma stadium som en daggmask i fråga om kombinationsförmåga, fast med sina 10.000 additioner per sekund har den ju ett avgjort försteg vad snabbheten beträffar.

Även i ett annat hänseende visar neuronen sin överlägsenhet nämligen beträffande hållbarhet och driftsäkerhet. Varje nervcell i en människas hjärna är lika gammal som människan själv, och de flesta är vid liv och i funktion. En del av dem dör visserligen under människans livstid men detta märks inte förrän man lägger dem under ett mikroskop, ty den överväldigande rikedomen på kopplingskombinationer gör det alltid möjligt att låta en, kanske definitivt förstörd nervledning ersättas av ett otal andra sidolinjer. En modern siffermaskin har visserligen även sin reserv. Man kan låta den köra på natten utan tillsyn. Om någon felräkning skulle uppstå, avbryter maskinen omedelbart detta problem och kastar sig över ett nytt problem, som ligger i reserv, och fortsätter med detta så länge det går bra. Även om detta i och för sig är en elegant prestation, hur fattiga är inte maskinens resurser i jämförelse med den mänskliga hjärnans!

Denna översikt skulle vara ofullständig utan några ord om den nya vetenskapsgren som den amerikanske matematikern Norbert Wiener lanserat och som han gett namnet Cybernetics eller läran om kontroll och kommunikation i levande varelser och maskiner. Med andra ord, en vetenskap som vill utgöra en syntes av den gren inom teletekniken, som kallas informationsteorien, och regleringstekniken med speciell tillämpning på levande varelser, och som omvänt vill av psykologiska och fysiologiska studier dra lärdomar av betydelse för tekniken.

En jämförelse mellan siffermaskinerna och den mänskliga hjärnan har, som vi sett, uppenbarat många analogier. En liknande analogi finnes även mellan reglerings- och servotekniken och de högre djurens rörelsekontroll. Denna analogi är inte upptäckt av Wiener et consortes. Redan före och i början av det senaste världskriget har bl.a. tyska forskare varit inne på samma tankebanor och även publicerat

resultat av undersökningar, där sådana processer som människans blodomlopp, innerörats balansorgan regleringstekniskt analyserats.

Analogien kan helt summariskt sägas ligga i den s.k. återföringsprincipen — på engelska feed-back — som kännetecknas därav att specifika känselorgan mäter skillnaden mellan det avsedda och det uppnådda resultatet av den inkopplade energien i syfte att kunna utföra erforderliga korrektioner, så att denna skillnad trots störande yttre omständigheter hålles så liten som möjligt. Nu är det emellertid så, att varje ändring i energiflödet behöver sin tid för att verka. Resultatet uppträder således inte momentant utan alltid med en viss eftersläpning. Ingen reglering kan därför bli fullgod, om inte korrektionen sättes in litet tidigare än den behövs, och detta kan man inte göra, om man inte kan förutsäga framtiden.

Under vissa omständigheter går detta mycket bra att göra. Det kanske mest bekanta område, där denna princip har firat triumfer — inte minst här i landet — torde väl vara artilleritekniken. Men även inom många andra områden har denna teknik fått och kommer säkerligen att få allt större betydelse. I USA har man rent av ansett sig behöva införa en speciell benämning på utövarna av denna tekniska specialitet, nämligen feed-back engineers. Vid den förnämliga tekniska högskolan M.I.T. i Boston finns en »post- graduate school in controll engineering», som årligen släpper ut ett femtiotal sådana, högt utbildade specialister, vilket av chefen för en av de ledande mätinstrumentfirmorna betecknas som en droppe i den ocean, amerikanska behovet utgör.

Om störningarna är stora och statistiskt oordnade d.v.s. i detalj oförutsebara, erbjuder regleringsproblemet mycket stora matematiska svårigheter. Detta problem uppträdde väl första gången i imperativ form, när man försökte koppla ihop den för atmosfäriska störningar mycket utsatta radarspaningen med eldledning av luftvärnspjäser till en automatiskt verkande enhet. Wiener har genom banbrytande teoretiska undersökningar visat, hur man kan behandla och eliminera sådana statistiska störningar.

Först genom denna utvidgning av regleringstekniken har en fruktbärande jordmån för cybernetiken skapats, ty den väsentliga skillnaden mellan maskinen och den levande varelsen tycks bestå däri, att den förras beteende i framtiden kan beräknas, medan den senares är i detalj oberäknelig och tillgänglig för matematisk analys endast med tillhjälp av statistiska metoder.