

KARL-GÖRAN MÄLER  
TORSTEN PERSSON  
JÖRGEN W WEIBULL

## Ekonomipriset till spelteoretiker



John F Nash Jr



Reinhard Selten



John C Harsanyi

*John F Nash Jr, Reinhard Selten och John C Harsanyi har i år belönats med Sveriges riksbanks pris i ekonomisk vetenskap till Alfred Nobels minne för deras banbrytande analys av jämvikter i teorin för icke-kooperativa spel. De tre pristagarna presenteras här av Karl-Göran Mäler, Torsten Persson och Jörgen W Weibull.*

John Nash utvecklade ett grundläggande jämviktsbegrepp för den icke-kooperativa teorin som senare kommit att kallas Nashjämvikt, samt bevisade dess existens i spel med ändligt många spelare och strategier. Reinhard Selten var den förste som

förfinade Nashjämvikten, dels med avseende på dynamiska aspekter, dels med avseende på möjliga begränsningar i spelarnas rationalitet. John Harsanyi visade hur man kan analysera spel med ofullständig information – dvs spel i vilka inte alla spelare känner varandras mål – och lade därmed en metodmässig grund för det aktiva forskningsområdet informationsekonomi och dess mångsidiga tillämpning.

Idag, 50 år efter publiceringen av John von Neumanns och Oskar Morgensterns bok *Theory of Games and Economic Behavior* [1944], utgör spelteorin, särskilt den icke-kooperativa spelteorin, en metodologisk kärna för stora och väsentliga delar av modern nationalekonomi. Vetenskapliga tidskrifter och avancerade läroböcker är numera fulla med analyser som bygger på spelteorin sådan den utvecklats av årets pristagare i ekonomi. Spelteorin har även fått stor användning

**KARL-GÖRAN MÄLER** är professor i nationalekonomi vid Handelshögskolan, chef för Beijerinstitutet och ledamot av priskommittén.

**TORSTEN PERSSON** är professor i nationalekonomi vid Institutet för internationell ekonomi och sekreterare i priskommittén.

**JÖRGEN W WEIBULL** är professor i teoretisk ekonomi vid Nationalekonomiska institutionen, Stockholms universitet.

inom andra samhällvetenskaper och inom biologin.

## Strategisk interaktion

Många ekonomiska analyser förutsätter ett så stort antal små aktörer på marknaderna att varje aktör kan bortse från andras reaktioner på egna beslut. I flera fall fungerar denna bild bra som en approximation av verkligheten, men i andra fall duger den inte. När ett fåtal företag dominerar en marknad, när länder skall komma överens om handelspolitik eller miljöavtal, när arbetsmarknadens parter förhandlar om löner, när en regering avreglerar en marknad, privatiserar offentliga företag eller bedriver ekonomisk politik måste, i samtliga fall, aktörerna ta hänsyn andras reaktioner och förväntningar på de egna besluten, dvs till det ömsesidiga strategiska beroendet. Ekonomer har, åtminstone sedan Cournots analys på 1830-talet av fåtalskonkurrens, studerat strategisk interaktion på marknader. Länge saknades dock en övergripande metod. Med den icke-kooperativa spelteorin utvecklades ett allmängiltigt redskap för analys av strategisk interaktion.

Medan sannolikhetsteorin utvecklades från studier av rena hasardspel som tärning och roulette, var strategiska spel som schack och poker utgångspunkten för spelteorin. Redan i början av 1900-talet började matematiker som Zermelo, Borel och von Neumann utveckla matematiska modeller av strategiska interaktioner mellan två spelare med diametralt motsatta intressen, sk nollsummespel i vilka den ene spelarens vinst är den andres förlust. Ovetande om Borels försök i början av 1920-talet introducerade von Neumann [1928] den så kallade minimax-lösningen för tvåpersoners nollsummespel. I en sådan lösning maximerar den ene spelaren sin vinst samtidigt som den andre minimerar sin förlust. von Neumann visade att det för varje sådant spel

med ändligt många strategier existerar minst en minimaxlösning i rena eller blandade strategier. En blandad strategi är en sannolikhetsfördelning över en spelares tillgängliga strategier, dvs en spelare antas välja varje "ren" strategi med en viss sannolikhet. I von Neuman och Morgensterns bok från 1944 utvecklades detta och ett flertal beslättrade teman med syfte att göra spelteorin användbar för ekonomisk och samhällelig analys.

## Nashjämvikt

Icke-kooperativ spelteori analyserar situationer av strategisk interaktion under antagandet att det inte finns möjlighet till kommunikation eller bindande överenskomelser utanför spelet. John Nash lade grunden för denna teori och föreslog ett lösningsbegrepp för spel med ett godtyckligt antal spelare med mycket generella preferenser (mål), dvs inte enbart för tvåpersoners nollsummespel [Nash 1950 a,b,c, 1951]. Nashs lösningsbegrepp kom sedan att kallas Nashjämvikt; det är nu, bland ekonomer och samhällsforskare, den allmänt accepterade utgångspunkten för att förutsäga utfallet av icke-kooperativa spel. En uppsättning strategier (handlingsplaner), en strategi för varje spelare (beslutsfattare), utgör en sådan jämvikt om ingen enskild spelare som förväntar sig just dessa strategier kan förbättra sitt utfall genom att ändra sin egen strategi. Nash bevisade att det för varje spel med ändligt antal spelare och strategier existerar minst en jämvikt i rena eller blandade strategier.

Nash gav i sin publicerade doktorsavhandling två tolkningar av jämviktsbegreppet – en rationalistisk och en populationsstatistisk. Den rationalistiska tolkningen har hittills varit den förhärskande i ekonomisk teori. Då tänker man sig rationella aktörer med fullständig kunskap om den strategiska interaktionens (spels) struktur, inklusive samtliga aktörers preferenser över de möjliga utfallen. Eftersom alla aktörer har fullständig kun-

skap om varandras handlingsmöjligheter och mål så kan de också räkna ut varandras optimala strategier för varje uppsättning förväntningar. I denna tolkning spelas spelet endast en gång (spelet kan dock självt vara ett så kallat upprepat spel).

I den andra tolkningen – den populationsstatistiska – tänker sig Nash att spelet spelas många gånger av spelare som slumpmässigt dras ur stora populationer, en population för varje spelposition (roll). I denna tolkning behöver spelarna inte vara rationella och behöver inte ha kunskap om spelets hela struktur. Denna tolkning har senare (oberoende) återupptäckts inom den evolutionära spelteorin, dvs den gren av spelteorin som studerar hur principerna för det naturliga urvalet verkar i strategisk interaktion inom och mellan arter.

För ekonomisk analys var steget från tvåpersoners nollsummespel betydande, eftersom många ekonomiska interaktioner inbegriper fler än två aktörer och dessa inte alltid har diametralt motsatta intressen. Tvärtom har en del karaktären av koordinationsspel där spelarnas intressen delvis sammanfaller. Detta gäller tex vid val av industriell standard – när det gäller datorsystem, video- och TV-teknik, mobiltelefoni etc.

Många intressanta ekonomiska fenomen kan beskrivas som icke-kooperativa spel. Företag har i allmänhet ingen laglig möjlighet att skriva bindande kontrakt vad gäller konkurrensbegränsningar, varför interaktionen på en fåtalsmarknad kan ses som ett icke-kooperativt spel. Antag att  $n$  företag på en oligopolmarknad producerar en homogen vara, att varje företag fattar beslut om sin egen produktion utan vetskap om konkurrenternas produktion, och att priset bestäms så att efterfrågan är lika med det totala utbudet. En Nashjämvikt är då en uppsättning produktionsvolym, en för varje företag, sådan att varje företags produktion är optimal om det förväntar sig just dessa produktionsvolym från konkurrenterna.

Denna jämvikt sammanfaller med den gränspunkt som Cournot [1838] förutsade med sin iterativa modell av en fåtalsmarknad.

På motsvarande sätt kan den strategiska interaktionen mellan en regering, intresseorganisationer och landets medborgare och företag, i utformningen av skattepolitiken, betraktas som ett icke-kooperativt spel. Andra exempel är interaktionen mellan länder som försöker nå handelsavtal eller överenskommelser om begränsning av miljöfarliga verksamheter, liksom interaktionen mellan regering, riksbank samt pris- och lönesättare i den privata sektorn när det gäller utformningen av penningpolitiken. Den icke-kooperativa spelteorin har också lett till nya ekonomiska forskningsområden. Så har tex teorin för upprepade spel framgångsrikt utnyttjats för att bättre förstå framväxten av institutioner och sociala normer. Vidare har spelteorin hjälpt till att klargöra hur strategisk interaktion, trots individuell rationalitet, kan leda till utfall som är ineffektiva för deltagarna och ofta också för samhället. Exempel är underförsörjning av kollektiva varor, stora utsläpp som hotar miljön, handelskrig, upprustning. Implikationen från många ekonomiska modeller att jämvikt leder till social effektivitet gäller alltså inte i allmänhet när interaktionen är strategisk.

Trots användbarheten finns det problem knutna till Nashjämviktsbegreppet. Om ett spel har flera jämvikter kan vi inte omedelbart använda Nashjämviktskriteriet för att förutsäga utfallet. Jämviktsbegreppet förutsätter också att varje spelare har fullständig information om de övriga spelarnas mål – i många fall en orealistisk förutsättning. Försöken att tackla dessa svårigheter diskuteras i de två följande avsnitten.

## Perfektion

Problemet med en mångfald av Nashjämvikter har lett till ett forskningsprogram

med syfte att rensa ut "ointressanta" Nashjämvikter. Huvudlinjen har varit att ställa upp starkare villkor för att reducera antalet möjliga jämvikter och samtidigt undvika jämvikter som bygger på icke trovärdiga hot eller löften och som därför är ekonomiskt orimliga. Reinhard Selten lade grunden för en systematisk analys genom begreppet *subgame perfection* eller underspelsperfektion, (Selten [1965]).

Ett exempel kan illustrera begreppet. Betrakta en duopolmarknad av samma slag som marknaden i föregående avsnitt (dvs  $n=2$ ). Men antag nu att företag 1 fattar sitt produktionsbeslut före företag 2 och att företag 2 då känner till det första företagets beslut. En strategi för företag 2 är en regel, som anger en produktionsvolym för varje produktionsvolym som företag 1 valt. Det finns en Nashjämvikt i detta sekventiella spel där företag 2, följaren, producerar precis lika mycket som i Nashjämvikten i simultanmarknaden ovan, oavsett företag 1's, ledarens, beslut. Om ledarföretaget förväntar sig denna strategi så är det optimalt för detta att producera enligt simultanjämvikten, varför denna utgör en Nashjämvikt även i den sekventiella marknaden. Men följarföretagets strategi är inte nödvändigtvis trovärdig. Om ledarföretaget skulle producera mer så vore det i allmänhet optimalt för följarföretaget att dra ner sin produktion. Om ledarföretaget inser detta, och dessutom känner till följarföretagets produktionskostnader, kan det välja den produktion som maximerar vinsten, givet att följarföretaget kommer att anpassa sin produktion därefter. Även detta är en Nashjämvikt i den sekventiella marknaden (spelet har oändligt många Nashjämvikter), men denna nya jämvikt uppfyller dessutom Seltens krav på underspelsperfektion.

Kravet för att en uppsättning strategier skall vara underspelsperfekt är att den utgör en Nashjämvikt inte bara i spelet självt utan även i alla dess underspel (*subgames*), dvs delar av spelet som i sig själva

utgör spel. I exemplet ovan innebär detta att företag 2 skall agera optimalt efter varje möjligt beslut av ledarföretaget; detta blir i så fall en Nashjämvikt i vart och ett av de enpersoners underspel som företag 2 hamnar i efter 1's beslut. Det underspelsperfekta utfallet sammanfaller med den jämvikt som von Stackelberg [1934] utpekade i sin analys av marknader med ledarföretag (sk Stackelberglösning). Underspelsperfektion är dock ett mycket mer allmängiltigt och kraftfullt verktyg, som t ex kan tillämpas på (ändligt och oändligt) upprepade spel och i många olika sammanhang.

Seltens underspelsperfektion har bland annat direkt betydelse i diskussionen om trovärdighet och tidskonsistens i ekonomisk politik, i informationsekonomi, samt i analys av fåtalskonkurrens, t ex där företag försöker nå marknadsdominans via olika typer av "strategiska investeringar". Det är det mest fundamentala av perfektionsbegreppen. Det finns emellertid situationer där inte ens kravet på underspelsperfektion är tillräckligt. Detta ledde Selten till ytterligare en förfining, som ibland kallas *trembling hand perfection*, eller darrande handens perfektion (Selten, [1975]). Innebörden är att varje spelare utgår från att det finns en liten sannolikhet för ett misstag, att någon darrar på handen. En Nashjämvikt är darrande handen perfekt om den är robust för små sannolikheter att sådana misstag inträffar. Detta begrepp, och det närbesläktade begreppet sekventiell jämvikt (Kreps & Wilson, [1982]), har visat sig mycket fruktbara bl a inom teorin för industriell organisation och i makroekonomisk teori för ekonomisk politik.

## Ofullständig information

I spel med ofullständig information saknar spelarna helt eller delvis kunskap om de övriga spelarnas preferenser över utfallen. Det saknades länge en generell metod för sådana spel trots att de bäst av-

speglar många verkliga ekonomiska interaktioner. Denna situation förändrades radikalt med John Harsanyis tre artiklar från åren 1967–1968. Hans ansats för spel med ofullständig information blev en viktig metodmässig grund för praktiskt taget all ekonomisk analys av situationer i vilka beslutsfattarna har bristfällig information om varann.

Harsanyis metod att analysera spel med ofullständig information är att först postulera de möjliga preferenser som varje spelare anses kunna ha. Varje sådan möjlig preferens hos en spelare kallas en "typ" och varje spelare väljer en strategi för var och en av sina typer. Harsanyi visade väsentligen att det – under ett visst konsistenskrav – för varje spel med ofullständig information finns ett strategiskt ekvivalent spel med fullständig information

Metoden kan illustreras i det tidigare oligopol exemplet. Det spelar här mindre roll om marknaden är simultan eller sekventiell, men låt oss studera en simultan duopol marknad. Antag att varje företag känner sin egen, men inte konkurrentens, kostnadsfunktion. En strategi för ett företag är här en regel som anger en produktionsnivå för varje möjlig egen kostnadsfunktion. För att företag 1 skall kunna välja sin strategi behöver det bilda sig en förväntan om 2's produktionsnivå. Men företag 1 måste också bilda en förväntan om företag 2's typ, eftersom företag 2's produktion kommer att bero på dess kostnadsfunktion. Förväntningsbildningen blir därför mycket mer komplicerad än under fullständig information: företag 1 behöver bilda en förväntan om företag 2's förväntan om 1's beslut, osv i en oändlig hierarki av ömsesidiga förväntningar. Vidare kan de båda kostnadsfunktionerna vara mer eller mindre statistiskt beroende; de är tex positivt korrelerade om de påverkas av priser på insatsvaror som båda företagen använder. Harsanyi klöv denna Gordiska knut i ett slag: antag att det finns en bakomliggande sannolikhets-

fördelning för företagens kostnadsfunktioner, som är känd av båda företagen. I så fall kan varje företag, när det vet sin egen kostnadsfunktion (via Bayes lag) beräkna den betingade sannolikhetsfördelningen för konkurrentens kostnadsfunktion. Men därigenom vet företag 1 också den betingade sannolikhetsfördelning som var och en av företag 2's typer har för 1's kostnadsfunktion. Den oändliga hierarkin av ömsesidiga förväntningar är därmed onödig. Givet de betingade sannolikhetsfördelningarna kan spelet analyseras med samma metoder som diskuterats ovan; motsvarande Nashjämvikter kallas ofta Bayesianska på grund av den ingående sannolikhetskalkylen som bygger på Bayes' lag.

Ett annat exempel på interaktioner med ofullständig information är när företag och aktörer på finansiella marknader inte exakt känner till riksbankens preferenser vad gäller inflation kontra arbetslöshet. Den framtida räntepolitiken är därför okänd. För att analysera det ömsesidiga beroendet mellan riksbankens agerande och förväntningsbildningen kan man använda Harsanyis metod. Ett annat exempel är när en regering skall reglera ett privat monopolföretag. Vilken regleringsform eller kontraktslösning ger bästa utfall när regeringen inte har fullständig information om företagets kostnader? Liknande asymmetriska informationsförhållanden råder i miljöregleringsfrågor. Ofullständig information kännetecknar även försäkringsmarknader där försäkringsbolaget inte vet allt om försäkringstagaren eller dennes vård av försäkringsobjektet.

### Pristagarnas övriga bidrag

John Nash införde distinktionen mellan kooperativ och icke-kooperativ spelteori, där den förstnämnda utgår från mängden av alla möjliga bindande överenskommelser mellan aktörerna, och härleder lösningar med axiomatisk metodik. Här ut-

vecklade Nash ett lösningsbegrepp, senare kallat *Nashs förhandlingslösning*, som kommit till stor användning inom olika delar av nationalekonomin, inte minst inom arbetsmarknadsekonomin. Nash bor i Princeton, men har på grund sjukdom under längre tid inte kunnat forska.

Reinhard Selten har tillämpat sina perfektionskriterier på sekventiell fåtalskonkurrens. Han har också givit betydande bidrag till evolutionär spelteori – den av biologer initierade gren av spelteori inom vilken evolutionära urvalsprocesser ersätter rationalitetsantagandena i den icke-kooperativa spelteori. Selten har även gjort väsentliga insatser inom experimentell spelteori – den gren av spelteori som studerar försökspersoners beteende i laboratorieexperiment. Selten har en professur vid universitetet i Bonn.

John Harsanyi har givit väsentliga bidrag till välfärdsekonomin grunder samt inom moralfilosofiska områden som gränssar till nationalekonomin. Harsanyi och Selten har under mer än tjugo år arbetat nära varandra, ibland i direkt samarbete, varför de i många fall influerat varandra, även i de ovan beskrivna bidragen (detta framgår bl a av fotnoter i deras arbeten). Harsanyi är pensionerad från sin professur vid Berkeley-universitetet, men är fortfarande verksam som forskare.

## Lästips

Det mesta av den spelteoretiska litteraturen är tämligen teknisk. En relativt oteknisk men ändå informationsrik och väl-skriven introduktion till den icke-kooperativa spelteori finns i Kreps [1990]. En mer utförlig och teknisk framställning ges i Fudenberg & Tirole [1991]

## Referenser

- Cournot, A, [1838], *Recherches sur les Principes Mathématiques de la Théories des Richesses*. Hachette, Paris. I Lutfalla (red), [1938], översatt av N T Bacon [1927]. Macmillan, London.
- Fudenberg, D & Tirole J, [1991], *Game Theory*. MIT Press, Cambridge, USA.
- Harsanyi, J, [1967-1968], "Games with Incomplete Information Played by Bayesian Players". *Management Science*, vol 14, s 159–182, s 320–334, s 486–502.
- Kreps, D, [1990], *Game Theory and Economic Modelling*. Oxford University Press, Oxford.
- Kreps, D & Wilson J, [1982], "Sequential Equilibrium". *Econometrica*, vol 50, s 380–391.
- Nash, J F Jr, [1950a], "The bargaining problem". *Econometrica*, vol 18, s 155–162.
- Nash, J F Jr, [1950b], "Equilibrium Points in N-person Games". *Proceedings of the National Academy of Science*, vol 36, s 48–49.
- Nash, J F Jr, [1950c], *Non-cooperative Games*. Doktorsavhandling, Matematiska institutionen, Princeton.
- Nash, J F Jr, [1951], "Non-cooperative games". *Annals of Mathematics*, vol 54, s 286–295.
- Selten, R, [1965], "Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfrägetragheit". *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft* vol 12, s 301–324.
- Selten, R, [1975], "Reexamination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games". *International Journal of Game Theory*, vol 4, s 25–55.
- von Neumann, J, [1928], "Zur Theorie der Gesellschaftsspiele". *Mathematische Annalen*, vol 100, s 295–320.
- von Neumann, J & Morgenstern, O, [1944], *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, Princeton.
- von Stackelberg, H, [1934], *Marktform und Gleichgewicht*. Julius Springer, Wien.