

Agentbasert modellering –
en del av samfunnsvitenskapenes verktøykasse¹

Per Arne Tufte

Førsteamanuensis, Avdeling for samfunnsfag, Høyskolen i Oslo, Postboks 4 St. Olavs plass.

E-post: per-arne.tufte@sam.hio.no.

Torkild Hovde Lyngstad

Post. doc., Institutt for sosiologi og samfunnsgeografi, Universitetet i Oslo, Postboks 1096

Blindern, 0317 Oslo. E-post: t.h.lyngstad@sosgeo.uio.no.

Gunn Elisabeth Birkelund

Professor, Institutt for sosiologi og samfunnsgeografi, Universitetet i Oslo, Postboks 1096

Blindern, 0317 Oslo. E-post: g.e.birkelund@sosgeo.uio.no

Abstract

AGENT-BASED MODELS – AN IMPORTANT PART OF THE SOCIAL SCIENTISTS’ ANALYTICAL TOOL BOX

In this article we introduce agent-based models and give examples of how such models have been used in various analyses of social phenomena. Such computer-based models take agents and their physical and social environment as the starting point, and reveal the interaction patterns and structures that emerge when agents interact. We argue that agent-based modelling can provide a better understanding of social mechanisms and processes. Agent-based models are useful for the development of the social sciences because they to a much larger extent than analytical mathematical models permit the researcher to examine elements and mechanisms – nuts and bolts – of complex social processes.

Keywords: agent-based models, simulation, social mechanisms, agents

Sammendrag

Agentbasert modellering kan gi oss en bedre forståelse av sosiale mekanismer og prosesser.

Slike databaserte modeller tar utgangspunkt i agenter og deres omgivelser, og belyser hvilke samhandlingsmønstre som vokser fram over tid når agentene er i kontakt med hverandre.

Agentbaserte modeller er nyttige hjelpemidler for å videreutvikle samfunnsvitenskapene fordi de i større grad enn analytiske modeller gir oss muligheter til å undersøke enkeltelementer og mekanismer knyttet til komplekse sosiale prosesser. Denne artikkelen gir en enkel introduksjon til metoden med ulike eksempler på anvendelser.

Innledning

Agentbaserte modeller er en form for simuleringsmodeller som har vunnet innpass i samfunnsvitenskapene generelt og sosiologien spesielt de senere årene.² Generelt kan vi si at modeller består av forenklete representasjoner av den virkelige verden (March 1975), og agentbaserte modeller er en spesiell form for modeller, som kan gi oss en bedre forståelse av sosiale mekanismer og prosesser. Agentbaserte modeller (ABM) er databaserte modeller som tar utgangspunkt i mikronivå, hvor vi starter med å definere agenter og deres omgivelser.³ Hovedpoenget er å undersøke, gjennom eksperimentering med modellen, hvilke samhandlingsmønstre (og makrostrukturer) som vokser fram over tid når agentene er i kontakt med hverandre.

Joshua Epstein og Robert Axtell, definerer agentbaserte modeller slik: “... we attempt to “grow” certain social structures in the computer – or in silico – the aim being to discover fundamental local or micro mechanisms that are sufficient to generate the macroscopic social structures and collective behaviors of interest” (Epstein & Axtell 1996:4). Nigel Gilbert (2008:2) vektlegger at “... agentbased modelling is a *computational* method that enables a researcher to create, analyze, and *experiment* with *models* composed of *agents* that interact within an *environment*”.

Agentbaserte simuleringsmodeller er nyttige hjelpemidler for å videreutvikle samfunnsvitenskapene fordi de gir oss muligheter til å undersøke enkeltelementer og sosiale mekanismer knyttet til det vi vet er komplekse sosiale prosesser. De har blitt benyttet til å studere alt fra sosiale normer, innovasjon, partnervalg, politisk stemmegivning, spredning av rykter og holdninger, oppslutning om organisasjoner, og flyttemønstre, for å nevne noen eksempler. Vi skal i denne artikkelen gi en kort oversikt over ABM. Framstillingen

konsentrerer seg primært om bruk av ABM innenfor sosiologien, men vi vil presisere at ABM også anvendes innenfor andre samfunnsvitenskaper som økonomi, statsvitenskap og sosialpsykologi.

Artikkelen gir for det første en oversikt over de viktigste grunnelementene i ABM. For det andre presenteres litt historikk om de tidligste agentbaserte simuleringer internasjonalt og i Norge. For det tredje viser vi noen nyere eksempler på agentbaserte simuleringer innenfor sosiologisk forskning. Vi innleder imidlertid med et eksempel, slik at leseren kan få et inntrykk av hva ABM er og kan benyttes til.

Et eksempel på en agentbasert modell

Sugarscape-modellene til Epstein og Axtell (1996) er bygget for å gi innsikt i hvordan et samfunn kan utvikle seg. *Sugarscape* er et kunstig databasert univers bestående av 50 ganger 50 ruter, det vil si 2500 ruter. Dette likner rutene på et brettspill, for eksempel sjakk.⁴ Spillet dreier seg om tilgang til mat, som i dette spillet er definert som sukker. Sukkeret er en fornybar ressurs som agentene konkurrer om. På hver rute vokser det mat, les: sukker, men kapasiteten er ikke like stor i hver rute. I utgangspunktet laget Epstein og Axtell modellen slik at det finnes to sukkerberg, plassert i diagonalt motsatte hjørner av brettlandskapet. Rutene som inneholder disse sukkerbergene har den største sukkerkapasiteten. Når sukkeret er blitt høstet på en rute, vokser det tilbake til utgangspunktet (sukkerkapasiteten) med en bestemt rate. I de enkleste modellene antas sukkeret å vokse tilbake til utgangspunktet umiddelbart. Det fysiske *Sugarscape*-landskapet er vist i figur 1.

[Figur 1 omtrent her]

I dette landskapet befinner det seg 400 *agenter* som i utgangspunktet er tilfeldig plassert rundt omkring på rutene. Disse agentene spiser sukker, og er på stadig jakt etter områder (ruter) med sukker. Jakten begrenses imidlertid av hvor godt syn de har, dvs. hvor langt de klarer å se (hvor mange ruter) fra sin nåværende posisjon. Dette synet er ikke like godt hos alle agentene, noen agenter er mer nærsynte enn andre (dvs. at agentene er *heterogene*).⁵

Agentene er programmert til å følge enkle *handlingsregler*: På hvert nytt tidspunkt ser hver og en av agentene så langt av gårde som synet rekker, velger det området (ruten) som har mest sukker og høster alt sukkeret. Hvis agenten må velge mellom flere områder med like mye sukker, velges det området som er nærmest. Agentens sukkerbeholdning øker med mengden sukker hun/han høster minus det han/hun forbruker underveis (metabolisme). Agentene har ulik metabolisme (dvs. også her er agentene heterogene). Dersom en agent ikke har nok sukker til å dekke sitt sukkerbehov, dør han/hun og fjernes fra brettet. Agentene med overskuddssukker kan hamstre dette og legge seg opp en sukkerbeholdning.

Med utgangspunkt i denne enkle modellen kan man simulere hvordan agentene vil forflytte seg rundt i landskapet på jakt etter stadig mer sukker. Den modellen som er beskrevet ovenfor viser at initialt tilfeldig fordelte agenter over tid vil samle seg i to grupper, en gruppe rundt hvert sukkerberg. Gruppedannelsen er ikke en direkte konsekvens av at agentene tjener på å være lokalisert i grupper, men en indirekte konsekvens av at agentene jakter etter områder som kan lindre sukkerhungeren.

Dette er en enkel modell som er laget for å illustrere grunnprinsippene bak agentbasert modellering. Epstein og Axtell (1996) foretar flere modifikasjoner av denne modellen som produserer langt mindre trivielle resultater: I en modell med kjønnet reproduksjon, hvor

fertilitet er avhengig av sukkerbeholdning, oppstår over tid en seleksjon av agenter med lav metabolisme og godt syn. Dette fremkommer uten at det eksplisitt er formulert noen regler som skal sikre artens overlevelse (av typen ”survival of the fittest”). En annen modell viser at introduksjon av arveregler, hvor barn arver sine foreldres sukkerbeholdning, reduserer denne seleksjonseffekten. En tredje modell med initial variasjon (tilfeldig fordeling av to typer agenter med ulike kulturelle verdier) viser at et typisk mønster er gradvis polarisering og segregering ved at agenter som er kulturelt like søker til det samme sukkerberget. Over tid inntreffer imidlertid konvergens ved at alle agenter sverger til det samme kulturmønsteret uansett hvilket sukkerberg de foretrekker.

Sugarscape-modellen ble senere benyttet som utgangspunkt for simuleringer av Anazi-kulturens utvikling i perioden 800-1350 e.Kr. i den nordvestlige delen av dagens Arizona (Axtell, Epstein, Dean, Gumerman, Swedlund, Harburger, Chakravarty, Hammond, Parker & Parker 2006; Dean, Gumerman, Epstein, Axtell, Swedlund, Parker & McCarroll 2006; Gumerman, Swedlund, Dean & Epstein 2006). Anazi-folket forsvant/døde ut, og arkeologer og andre har lenge prøvd å forklare hvorfor dette skjedde. Simuleringer basert på *Sugarscape* modellen, hvor man la inn handlingsregler om ressursutnyttelse, flytteadferd, reproduksjon, etc., ga resultater som i stor grad var i overensstemmelse med arkeologiske funn fra den samme perioden. Dette viser at agentbaserte modeller kan benyttes til å utvikle og teste ut forklaringer på reelle fenomener.

Grunnleggende elementer i agentbaserte modeller

Hensikten med agentbaserte modeller er å modellere konsekvensene av teoretiske antagelser gjort på mikronivå. Agentbaserte modeller formelle eller matematiske modeller, men skiller seg fra analytiske modeller ved at de er dynamiske og komplekse og tillater heterogene

agenter. I tillegg bygger modellene på en 'bottom-up'-tilnærming hvor sosiale makrofenomener frembringes som et resultat av samhandling mellom agentene.

Samhandlingsmønstrene genereres av størrelser definert på mikronivået i modellen: agentene, egenskaper ved agentene og de handlingsregler som agentene antas å følge (Cederman 2005; Gilbert & Troitzsch 2005).

Agenter

Det at modellene er agentbaserte betyr at grunnelementene i modellene er *agenter*, det vil si modellene består av kunstige aktører. Agentene kan være individer, grupper av individer, sosiale grupper, organisasjoner, nasjoner etc. (Tesfatsion 2006). Man kan velge om man vil lage en modell hvor populasjonen av agenter er konstant over tid, eller om man ønsker at populasjonen endres over tid, ved at agenter «dør» og «fødes».

Det er to trekk ved agentene som er sentrale i agentbaserte modeller. Vi må spesifisere hvilke egenskaper de har og hvilke handlingsregler de skal følge. For det første har agentene ulike kjennetegn eller *tilstander*. Dette kan være egenskaper som kjønn, alder, gruppetilhørighet, sosial status, inntekt, preferanser. Tilstander kan være faste, eller de kan endre seg over tid, for eksempel gjennom samhandling med andre agenter, eller på grunn av omgivelsene. Hva som betraktes som faste og foranderlige kjennetegn, kan variere fra modell til modell.

Agentenes preferanser vil eksempelvis være foranderlige i modell som simulerer hvordan disse påvirkes av samhandling med andre agenter, mens de kan være faste i en modell som studerer hvordan agents preferanser påvirker segregering mellom ulike grupper.

I agentbaserte modeller kan vi inkludere en rekke egenskaper og kjennetegn knyttet til agentene (Gilbert & Troitzsch 2005). Utover de som er nevnt ovenfor, kan vi anta at agentene

er heterogene, i den forstand at de har ulike kunnskaper og oppfatninger om omgivelsene og om andre agenter, vi kan legge inn mulighet for læring gjennom samhandling med andre agenter, vi kan la agentene trekke slutninger og konklusjoner som ikke nødvendigvis er logisk gyldige eller korrekte, vi kan la dem forme sine egne modeller av omgivelsene rundt seg, og vi kan variere deres målsetninger, planlegging, språk, og følelser. Det er ikke nødvendig å anta at agentene til enhver tid opptrer rasjonelt (mer om dette under).

For det andre følger agentene bestemte *handlingsregler* som vi må spesifisere. En slik regel kan for eksempel være at hver enkelt agent skal telle opp hvor mange av hans/hennes nærmeste naboer som tilhører sin egen gruppe, og at han/hun deretter velger å flytte til et annet sted dersom dette antallet er lavere enn en minimumsverdi (jfr. Schellings eksempel, se under). Reglene lages slik at de spesifiserer en forbindelse mellom en bestemt type informasjon (om agenten selv, andre agenter og omgivelsene) og en bestemt beslutning. Reglene behøver ikke føre til «fysiske» handlinger som at agentene forflytter seg, de kan også innebære at agenter endrer tilstander (blir rik, endrer preferanser, dør, etc.), at de kommuniserer med andre agenter (utveksler informasjon), o.l. Mulighetene for å spesifisere regler er mange.

Handlingsreglene kan være faste over tid, eller de kan endre seg som resultat av imitasjon, læring eller lignende. Det er også vanlig med modeller hvor ulike typer agenter følger ulike handlingsregler, for eksempel agenter som aldri samarbeider med andre, agenter som alltid samarbeider med andre, og såkalte *Tit for Tat* agenter som i utgangspunktet er programmert til å samarbeide, men som straffer ikke-samarbeidende agenter med ikke å samarbeide med dem neste gang de møtes.

Ut fra det ovenstående ser vi at *heterogenitet* er et sentralt aspekt ved agentene i agentbaserte modeller. Agentene har ulike kjennetegn eller tilstander, og de befinner seg i ulike sosiale og fysiske omgivelser. Dette gjør at de kan fatte ulike beslutninger, også i de tilfeller hvor alle agenter følger de samme handlingsregler. Siden heterogenitet unektelig er et viktig trekk ved den sosiale virkeligheten, har agentbaserte modeller her et fortrinn fremfor andre typer modellering i samfunnsfagene når det gjelder realisme.

Et annet viktig aspekt, som også øker realismen, er at agentene som oftest utstyres med *begrenset rasjonalitet*. Dette betyr at vi antar at deres beslutninger er basert på informasjon om eller fra deres nærmeste omgivelser (mangler global informasjon om alle agentene i modellen). Det er også vanlig å anta at de bare i varierende grad baserer seg på historisk informasjon. Dessuten antas det vanligvis at agentene har begrenset kapasitet til å beregne konsekvensene av handlingsalternativer og begrenset evne til å forutsi hva som skjer i senere perioder, slik at de må ta utgangspunkt i forholdsvis *enkle tommelfingerregler* når de fatter en beslutning. Dette gir en form for realisme som ikke er vanlig i andre modeller. I tillegg til begrenset rasjonalitet kan fenomener som irrasjonalitet og kreativitet (mutasjoner) også legges inn i modellen ved å legge inn tilfeldige feil i beslutningsprosessen.

Agentene er *autonome*, det vil si at de kontrollerer sine egne handlinger (Gilbert & Terna 2000). Etter at vi har spesifisert agentenes tilstander, handlingsregler og omgivelser er ikke deres handlinger styrt av forskeren. Det betyr imidlertid ikke at agentene er intensjonale aktører.⁶ Spørsmålet er om modellene klarer å simulere autonomi, det vil si at agentene til en viss grad oppfører seg som om de var autonome. Ved å utstyre agentene med sosiale ferdigheter og evne til lære kan vi komme nærmere å modellere autonomi og realisme.

En rekke sosiale ferdigheter kan tillegges agentene i en agentbasert modell (Tesfatsion 2006): Evne til å kommunisere med andre agenter; evnen til å lære av omgivelsene, gjennom innsamlet informasjon, tidligere erfaringer, sosial etterlikning, og omhyggelig utprøving av nye ideer; evnen til å danne og vedlikeholde sosiale samhandlingsmønstre; evnen til å utvikle felles oppfatninger; evnen til å endre oppfatninger og preferanser på grunn av ny innsikt/kunnskap (gjennom læring); og evnen til å utøve i alle fall delvis lokal kontroll over tidspunkt for og type av handlinger i et forsøk på å tilfredsstille egne behov, ønsker eller mål (enten agentene er utstyrt med behov, ønsker og mål fra starten av, eller har utviklet dem gjennom samhandling med andre agenter og omgivelsene).

Omgivelser

Agentene handler i bestemte omgivelser. Omgivelsene representerer den virtuelle verdenen som agentene beveger seg i. Omgivelsene *kan* utgjøre et konkret geografisk landskap, eller – og dette er vanligst i ABM – omgivelsene består av et abstrakt landskap. Vi skal ikke gå nærmere inn på mulige utforminger av dette landskapet, men vil poengtere at utformingen kan ha stor betydning for simuleringsresultatene.

Agentene vil normalt bevege seg over dette landskapet og samhandle med andre agenter som de møter. Agentenes plassering i omgivelsene kan være angitt med koordinater, som i et landskap, eller gjennom hvilke relasjoner de har til andre agenter, som i et nettverk (Gilbert 2008). Vi kan tillegge omgivelsene ulike egenskaper, for eksempel hvor fruktbart eller attraktivt et område er. Disse egenskapene kan være faste eller endre seg over tid, for eksempel ved at et område etter hvert tømmes for ressurser slik at agentene blir mindre interessert i å bo der.

Reglene i en agentbasert modell angir ikke bare hvordan agentene handler i forhold til hverandre, men vi må også spesifisere hvordan agentene forholder seg til omgivelsene. De sosiale omgivelsene (andre agenter) kan være vel så viktige som fysiske omgivelser i en modell. Agentene fatter beslutninger ved å ta andre agenter stilling eller beslutninger i betraktning. Handlingsvalgene frambringer *aggregerte virkninger* som de må ta hensyn til i neste omgang. Hvis alle agentene er programmert til å utnytte ikke-fornybare ressurser i et område, vil det føre til at tilgjengelige ressurser synker. Agentene må dermed se seg om etter nye områder som kan utnyttes. Men vi kan også legge inn i modellen at agentene lærer av disse erfaringene og endrer selve handlingsreglene. Agentbaserte modeller gir dermed muligheter for å undersøke koplingen mellom ulike handlingsprinsipper på mikronivå og aggregerte virkninger av disse på makronivå. Vi kan også se hvordan aggregerte virkninger på makronivå virker tilbake på agentenes handlinger, eventuelt også deres handlingsregler. Dette er en form for tilbakekopplingsløkker som en kjenner igjen fra systemdynamiske modeller (Meadows 2009).

Noen ganger frambringer svært enkle handlingsregler aggregerte utfall som man vanskelig kunne ha tenkt seg på forhånd. *Sugarscape*-modellene viser at agenter kan klynge seg i grupper, utvikle felles normer i den forstand at de kan velge å samarbeide i stedet for å konkurrere, eller de kan gå til krig mot andre grupper. Slike aggregerte samhandlingsmønstre kan ha likhetstrekk ved strukturer vi kjenner igjen fra virkelige samfunn, slik som statushierarkier og klassestrukturer. Framveksten av slike uventede strukturer på aggregert nivå kalles for *emergens (emergence)* (Holland 1998) og er et kjennetegn ved komplekse systemer. Emergens innebærer at relasjoner mellom enheter på lavere nivå (subsystemer) skaper egenskaper ved enheter på høyere nivå (systemene) som er *kvalitativt forskjellig* fra egenskapene ved enhetene på lavere nivå (subsystemene). Overført til

samfunnsvitenskapelige termer innebærer dette at egenskaper som kjennetegner makronivået ikke kan reduseres til egenskaper på mikronivået. Dette viser at metodologisk individualisme, som er et utgangspunkt for agentbasert modellering (Cederman 2005), ikke er ensbetydende med at relasjonen mellom mikro og makro trivialiseres.

Kort sagt: Agentbaserte modeller kan kombinere formålsforklaringer (agentenes handlingsregler) og årsaksforklaringer (omgivelsenes påvirkning av agentene). Agentbaserte modeller kopler mikro- og makronivå ved at de studerer hvordan handlingsregler på mikronivå får konsekvenser på makronivå (Coleman 1990).

Kort historikk

Agentbasert modellering hadde sin start på 1940-tallet og bygger særlig på arbeidene til matematikerne John von Neumann og Stanislaw Marcin Ulam som. Matematikeren John Conway forenklet senere disse modellene. Hans berømte *Game of life* er konstruert som et spillebrett med agenter som følger svært enkle regler; de kan leve, dø eller formere seg.⁷ Til tross for disse enkle reglene på mikronivå viser han at dette kan føre til dannelse av komplekse mønstre på makronivå.

En av de tidligste agentbaserte modellene var Thomas Schellings (2006 [1978]) berømte segregeringsmodell. Opprinnelig konstruerte Schelling denne modellen på et vanlig spillebrett (sjakkbrett) hvor agentene (brikker) i utgangspunktet er spredt utover sjakkbrettet i et tilfeldig mønster. Agentene (brikkene) har to farger, eksempelvis sort og hvit, som representerer to grupper. Spillebrettet gir et bilde – en modell – av bosetningsmønsteret i et lite samfunn med to ulike samfunnsgrupper – de kan for eksempel ha ulik etnisk bakgrunn eller ulik sosial status. For hver spillerunde forholder agentene (brikkene) seg til en enkel handlingsregel.

Handlingsregelen er at agentene blir værende der de er dersom antallet eller andelen agenter med samme farge som dem selv blant de tilstøtende brikkene ikke er under en minstegrense. Hvis det er for mange agenter rundt dem med en annen farge, flytter agentene til mer akseptable omgivelser.⁸ Når de gjør dette, kan det igjen utløse andre forflytninger. Og slik holder spillet på til det framkommer et mønster som er stabilt, hvor alle agenter er plassert i nabolag som tilfredsstillir deres minimumskrav om sammensetning.

Schelling varierte dette minimumskravet, og fant at selv om agentene defineres til å være relativt tolerante, for eksempel at de aksepterer at det kun er 30 prosent av sin egen gruppe i nabolaget, så vil resultatet av spillet etter en del runder likevel vise et systematisk mønster hvor de svarte og hvite agentene grupperer seg i separate klynger.

Denne enkle modellen gir nyttig innsikt i prosessene bak segregering som senere er blitt allemannseie: For det første behøver det ikke ligge vond vilje eller intoleranse bak segregeringsmønstre i befolkningen. Det er tilstrekkelig at individene har en preferanse for en minimumsandel av sine egne, og denne andelen kan være relativt lav (de behøver ikke en gang å ønske at flertallet i nabolaget er sine egne). For det andre framkommer ikke segregering som resultat av sentral styring, men oppstår som et aggregert resultat av en rekke autonome beslutninger, hvor hver agent handler ut ifra egne preferanser.

Et annet tidlig eksempel på bruk av agentbasert modellering er Axelrods «turnering» mellom ulike strategier for gjentatte spill av typen *Fangenes dilemma* (Axelrod 2006 [1984]).⁹ Modellen består av mange agenter som på hvert tidspunkt spiller et Fangenes dilemma-spill mot en av de andre agentene. Agentene skiller seg fra hverandre ved at de bruker ulike strategier. Noen samarbeider alltid, andre samarbeider aldri, og atter andre bruker

sammensatte strategier. Agentene høster og taper poeng i tråd med belønningsmatrisen for dette spillet. Den strategien som hadde størst ”suksess” i disse turneringene ble kalt Tit-for-Tat. Tit-for-Tat-agentene er programmert slik at de starter med å samarbeide, men hvis de erfarer at de møter ikke-samarbeidende motspillere, vil de straffe disse ved ikke å samarbeide med dem neste gang de møtes.

Agentbasert modellering er datakrevende, og det var først med utviklingen av kraftigere datasystemer at denne metoden fikk vind i seilene. Dette skjedde i perioden 1980 til 2000. I dag finnes det flere dataprogrammer som er utviklet spesielt for agentbasert modellering, for eksempel NetLogo og Repast. En rekke vitenskapelige artikler basert på ABM publiseres i det nettbaserte tidsskriftet JASSS (Journal of Artificial Societies and Social Simulation).

Agentbasert simulering i Norge

Med et par unntak har denne type simulering vært så godt som ikke-eksisterende i norsk forskning. Likevel finnes det noen tidlige bidrag som benytter seg av simulering. Også i internasjonal sammenheng er dette svært tidlige bidrag. Begrepet agentbasert modellering ble ikke benyttet, men bidragene har likevel kjennetegn som gjør det naturlig å betrakte dette som forløpere for denne typen simuleringer.

Miljøet rundt Kristen Nygaard og Ole Johan Dahl ved Universitetet i Oslo var svært viktig. På 1960-tallet utviklet de programmeringsspråket SIMULA, og Nygård oppfordret fagmiljø til å ta i bruk de nye mulighetene som åpnet seg med bruk av datamaskiner til forskning. Dette vakte en viss interesse blant sosiologer. Allerede i 1967 utarbeidet Ørjar Øyen og Per Otnes (1967) fire simuleringsmodeller for sosial diffusjon – spredning av et budskap i en befolkning. Ved hjelp av SIMULA laget de først en enkel basismodell for ”... å simulere

diffusjonen over tid i et tenkt, strukturløst samfunn” (Øyen & Otnes 1967:25). Deretter ble modellen endret for å gjøre den mer realistisk. I første omgang inkluderte de et mål på (sosial eller geografisk) avstand mellom individene, som blir en restriktiv faktor med hensyn til spredningen av budskapet. I neste omgang laget de et mål på fortellertetthet (hvor mange som allerede kjenner budskapet kan ha betydning for fortelleriveren) som en annen restriktiv faktor. Og i siste omgang inkluderte de gruppetilhørighet, ”... som avhengig av gruppestørrelsen kan være både en bremsende og en påskyndende faktor” (Øyen & Otnes 1967:25).

På tross av enkle modeller har det likevel vært mulig å finne en høy grad av overensstemmelse mellom modell og empiri. Trolig er det slik, skriver de, at noen av de strukturelle trekk ved virkelige samfunn som modellen utelater, for eksempel normer knyttet til interaksjon mellom samfunnets medlemmer, virker som bremsere på diffusjonen, samtidig som andre forhold kan påskynde den. ”Hvordan dette samspillet mellom bremsende og påskyndende faktorer arter seg i virkeligheten, er det vanskelig å finne klarhet i ved empiriske undersøkelser” skriver Øyen og Otnes, som derfor tar til orde for økt bruk av simuleringmodeller i sosiologien: ”Ved å eksperimentere med forskjellige modeller og siden se hvilken som passer best til et empirisk gitt diffusjonsforløp, har en muligheten til å finne ut noe om hvorledes, og hvorfor, ... diffusjonsforløpet ... blir som det blir” (Øyen & Otnes 1967:26).

Stein Bråtens arbeider fra 1960- og 1970-tallet er også svært viktige. Hans modell, Simkom, er basert på teoretiske antakelser knyttet til kommunikasjonsadferd i en situasjon med krysspress (Bråten 1970). Bråten viste at under visse betingelser ville politiske mediekampanjer kunne virke mot sin hensikt. Dette ble senere testet empirisk i forhold til den

norske folkeavstemningen om EF i 1972, som resulterte i et nei-flertall, på tross av at det etablerte politiske systemet og mediene aktivt fremmet ja-støtte (Bråten 1976). Det interpersonelle elementet knyttet til kommunikasjon mellom samhandlende individer er svært sentralt i Bråtens arbeider, og han utviklet også en modell for å simulere kommunikasjon i en dyade, blant annet for å forstå håndtering av moralske dilemma og krysspress.¹⁰

I nyere tid er Ole-Jørgen Skogs arbeider viktige. Han fikk dessverre aldri fullført noen av de kanskje viktigste arbeidene sine knyttet til agentbasert simulering. Han var opptatt av betydningen av sosial tillit for integrasjon, og utvikler en modell for å teste ut ulike terskeeffekter med hensyn til nivået på tillit i et samfunn. Modellen inkluderer et mål på tillit til fremmede personer, et mål på «slitestykken» på tilliten (om tillit vedvarer over tid) og et mål på overførbarheten av tillit (folks villighet til å stole på andres tillit til tredje person). Hans simuleringer tyder på at man må over et visst nivå av sosial tillit dersom integrasjonsprosesser og sosiale institusjoner skal kunne fungere (Skog 2006).

Anvendelser

Vi viser her noen konkrete nyere sosiologiske studier som har anvendt agentbasert modellering. Hensikten er ikke å gi et representativt bilde av forskningen, men å vise at agentbasert modellering har vært benyttet til å studere et bredt spekter av substansielle områder.

Sosiale normer

Et grunnleggende tema i sosiologien er knyttet til betydningen av sosiale normer, og en rekke agentbaserte modeller har studert betingelser for framvekst og understøttelse av sosiale normer. En av de tidligste studiene er Axelrods (1986) undersøkelse av framveksten av

sosiale normer i et evolusjonært spill med agenter med begrenset rasjonalitet. Agentene defineres som heterogene, med ulik tilbøyelighet til å samarbeide og ulik tilbøyelighet til å sanksjonere dem som ikke samarbeider. Spørsmålet er om en norm om gjensidig samarbeid etableres. En normregulert situasjon forutsetter etter Axelrods definisjon at agentene ønsker å samarbeide og at de er villige til å sanksjonere dem som ikke samarbeider. Simuleringene viser at stabile normer ikke uten videre blir etablert og opprettholdt, med mindre det også etableres en meta-norm, som innebærer at agentene også sanksjonerer dem som unnlater å sanksjonere normbrytere.

Galán og Izquierdo (2005) har imidlertid stilt spørsmål ved Axelrods resultater. Deres hovedinnvending er at antall simuleringer (5) og antall perioder i simuleringene (100) er for lavt. Ved å gjenta Axelrods modell med langt flere simuleringer (1 000) og perioder (1 000 000) finner de at meta-normer ikke er en sikker mekanisme når det gjelder å opprettholde normer. De finner også at andre (mer realistiske) utfallsverdier endrer Axelrods konklusjoner dramatisk (blant annet øker sannsynligheten for at normer blir etablert når fristelsen for å bryte dem øker). Videre viser de at metoden for å modellere den evolusjonære tilnærmingen også påvirker resultatene. Dette viser hvor viktig det er å gjenta simuleringstudier – både egne og andres.

Simuleringsmiljøet rundt Joshua Epstein har gjennomført flere simuleringer hvor sosiale normer står sentralt. Med utgangspunkt i Youngs evolusjonære forhandlingsmodell (Young 1993) viser de blant annet at normer kan oppstå spontant fra desentralisert samhandling mellom agenter som kun søker å realisere sin egeninteresse (Axtell, Epstein & Young 2006). I modellen forhandler to og to tilfeldig utvalgte agenter om å tilegne seg andeler av eiendeler. Agentenes atferd og forventninger om andres atferd utvikler seg endogen i modellen ut fra

agentenes tidligere erfaringer. I modellen har agentene to egenskaper som i utgangspunktet ikke har noen sosial eller økonomisk betydning. Simuleringene viser imidlertid at det kan vokse fram diskriminerende normer som innebærer at disse merkelappene får sosiale og økonomiske konsekvenser. Det oppstår en gruppeinndeling knyttet til agentenes egenskaper, hvor den ene gruppen har mer makt og ressurser enn den andre. En slik enkel klassestruktur er med andre ord et *emergent* fenomen. Simuleringene viser imidlertid også at selv om diskriminerende normer kan vare over svært lang tid, så vil det i denne modellen til syvende og sist utvikle seg likhetsnormer som innebærer at begge grupper får like stor andel av eiendelene.

En annen agentbasert simulering viser hvordan det kan oppstå «soner» av samarbeid selv i et samfunn hvor alle deltar i spill av typen Fangenes Dilemma (Epstein 2006). Utgangspunktet er at det i dette samfunnet finnes to typer agenter: de som alltid samarbeider og de som aldri samarbeider. Epstein benytter i likhet med Axelrod en evolusjonær tilnærming. Å samarbeide med en som samarbeider, eller å ikke samarbeide med en som samarbeider, øker overlevelsessjansen (den siste situasjonen mer enn den første). De to resterende situasjonene svekker overlevelsessjansen, særlig det å samarbeide med en som ikke samarbeider. Siden agenter som ikke samarbeider alltid kommer best ut når motspilleren samarbeider, er det rimelig å forvente at de sistnevnte agenter gradvis vil dø ut. Uten å gå i detalj på de mange modellvariantene er dette imidlertid ikke alltid tilfelle. Ofte oppstår det soner i landskapet hvor samarbeidende agenter søker sammen. Disse samarbeidssonene kan bestå lenge, og i mange tilfeller også permanent, i et landskap som ellers består av ikke-samarbeidende agenter. Dette fenomenet, som også er *emergent*, har en rimelig forklaring: Samarbeidende agenter som spiller mot andre samarbeidende agenter har større sjanse for å overleve. Ikke-samarbeidende agenter overlever ved å utnytte samarbeidende agenter, men etter hvert som

det blir færre av disse må de spille mot andre ikke-samarbeidende agenter og dette tapper dem etter hvert for livskraft.

I ytterligere en simuleringsmodell studerer Epstein (2006) forholdet mellom refleksjon og det å følge sosiale normer. Hypotesen er at det er et inverst forhold mellom det å følge sosiale normer og refleksjon. Når vi følger internaliserte normer reflekterer vi med andre ord mindre over hvordan vi handler. Simuleringene viser at agentenes refleksjonsnivå synker etter hvert som sosiale normer etableres, og samtidig at refleksjonsnivået øker i perioder hvor forstyrrelser fører til drastiske endringer i etablerte normer. Dette understøtter at sosiale normer bidrar til å frigjøre mental kapasitet, slik blant annet Hernes (1985) har argumentert, men gir naturligvis ikke noe støtte for at dette er en forklaring på forekomsten av normer.

Centola, Willer og Macy (2005) står bak en interessant studie av oppslutningen om sosiale normer. De tar utgangspunkt i H.C. Andersens berømte eventyr ”Keiserens nye klær”. Det interessante i dette eventyret er hvordan folk kan slutte opp om en oppfatning (norm) som alle egentlig er uenige i. I modellen er agentene inndelt i en liten gruppe som tror sterkt på en norm. De kan utøve sterkt press på andre for å få dem til å tro på samme norm. Resten (flertallet) av agentene består av skeptikere som ikke tror på normen, men som ikke har så sterk overbevisning som de førstnevnte. Forskerne foretar en rekke eksperimenter med modellen hvor de varierer hvorvidt informasjonen er global eller lokal, andelen av agenter som oppriktig tror på normen og typen nettverk agentene befinner seg i. De finner at universell oppslutning om en upopulær norm ikke kan inntreffe i en populasjon med global samhandling, men kan oppstå i en populasjon hvor nettverk begrenser samhandlingen til små og overlappende nabolag. I tillegg kan i visse situasjoner et lite antall overbeviste fanatikere (som tror på normen med sterk overbevisning) oppnå større utbredelse av normen enn et

større antall agenter (som tror på normen men ikke sterkt). For det tredje viser simuleringene betydningen av sosiale nettverk, knyttet både til svake bånd mellom agentene (Granovetter 1973, 1983) og ”small worlds”, dvs. forbindelser mellom ellers fjerntliggende nabolag forhindrer spredning av den upopulære normen (Watts 2004).

Agentbasert modellering i familiesosiologi

Et spørsmål familieforskere har brukt mye krefter på er aldersmønsteret ved samlivsinngåelse. For et hver og en av oss kan det å inngå samliv og tidspunktet for inngåelsen synes som et personlig, ideosynkratisk valg som tas under helt unike betingelser. Det er imidlertid gode teoretiske grunner til å tro at slike valg i noen, og kanskje betydelig, grad formes av ulike sosiale strukturer, som for eksempel hvilke mulige partnere man møter, hvilke normer som råder i ens nettverk og lokalsamfunn, og hvilke ressurser man selv og mulige partnere besitter. Et klassisk arbeid innen denne forskningstradisjonen er Hernes' (1972) modell av ekteskapsinngåelse, hvor to ulike faktorer spiller inn: Kvaliteten på de fremdeles ugifte, og hvor stor andel av ens jevnaldrende som har inngått samliv.

På tross av kulturell variasjon, viser aldersmønstre for inngåelse av samliv i ulike land klare kvalitative likhetstrekk (Coale 1971). For å komme nærmere en forståelse av hvilke mekanismer som er involvert, har forskere benyttet agentbaserte modeller. I et viktig bidrag viser Todd, Billari og Simão (2005) at dette lar seg modellere ved hjelp av enkle antagelser. Den grunnleggende modellen Todd et al. bygger opp er slik: Det finnes to typer agenter, menn og kvinner, og en felles arena (omgivelser): et ekteskapsmarked. I tillegg til kjønn har hver agent to egenskaper (som varierer mellom agentene): Attraksjonsverdi og aspirasjoner. Det forfatterne tenker seg inngår i agentenes attraksjonsverdi er utseende, personlighet m.v. Altså alt som kan tenkes være relevant for andre agents vurderinger av denne agenten på

ekteskapsmarkedet. Aspirasjonsnivået bestemmer hvilken attraksjonsverdi agenten krever av sin tilkommende for at han/hun skal være villig til å etablere et samliv ved vedkommende. Dette aspirasjonsnivå kan endres underveis i modellen gjennom læring.

Handlingsreglene for agentene er sammensatt av to komponenter: en søkeprosess, hvor hver agent leter etter en optimal partner ("den rette"), og en læringsprosess, hvor hver agent over tid oppdaterer sin kunnskap om seg selv og verden rundt. Førstnevnte prosess foregår på et svært enkelt vis: kvinnelige og mannlige agenter kobles tilfeldig. Mann og kvinne i hvert par vurderer så om de ville akseptert motparten som sin utkårede. Om begge aksepterer, inngår disse agentene et samliv og forsvinner fra populasjonen av single agenter. I motsatt fall forblir agentene i populasjonen av single, venter på nye sjanser i neste "runde" når de har blitt ett år eldre, og lærer eventuelt noe av erfaringene de gjorde i den første runden. Denne læringsprosessen er i de fleste modellene knyttet til at aspirasjonsnivået til en agent justeres ned om agenten selv sier ja men får nei av motparten i forrige runde, og justeres opp i det motsatte tilfellet.¹¹ Etter hvert som tiden går i modellen vil stadig flere agenter møte en partner med en attraksjonsverdi som tilfredstiller deres (justerte) aspirasjoner, og dermed forsvinner de begge to ut av gruppen av single. Til slutt kan man lage en fordeling av agentenes alder når de inngikk sitt første samliv, og denne kan sammenlignes med tilsvarende empiriske fordelinger.

Den viktigste faktoren i modellen er agentenes aspirasjonsnivå. Det virker rimelig å tro at aspirasjonsnivået er noe korrelert med egen attraksjonsverdi – altså at agentene ønsker seg en partner som er minst like attraktiv som en selv. Om deres aspirasjoner overgår egen attraktivitet, vil de sannsynligvis møte noen skuffelser og måtte justere aspirasjonene; og omvendt, hvis agentene legger forventningene for lavt (i forhold til egen attraksjonsverdi), vil

søkeprosessen gå relativt fort. Før mennesker inngår samliv har de en omtrentlig ide om hvem som er attraktive og ikke. For å bygge dette inn i modellen, lar man agentene ”prøve seg” en viss tid før de begynner å inngå samliv. Prosessen går som skissert over, men utfallet – samlivsinngåelse – blir ikke registrert. Den observante leseren ser parallellen til ungdommers flørting og før-seksuelle kjæresteforhold.

De første eksperimentene som ble gjort med denne modellen førte ikke til særlig realistiske resultater. Lakmustesten for modellen er om den produserer kurver for alder ved samlivsinngåelse som de vi observerer i virkeligheten. For å øke realismen legger Todd et al. flere komponenter inn i modellen. Realistiske resultater fikk forskerne først ved å innføre en tredje komponent til modellen: en bindingstid på paret som, om den får løpe ut, kulminerer i samlivsinngåelse. I vår verden tilsvarer dette kjæresteforhold og forlovelser. Om et møte mellom han og hun blir en suksess (begge aksepterer hverandres tilbud) inngår de ikke samliv med en gang. Derimot lover de hverandre at de skal inngå samliv på et senere tidspunkt, etter en venteperiode. De kan i denne venteperioden fremdeles møte nye personer, og om en av de to møter en person med høyere attraktivitet enn sin ”forlovede” vil denne agenten bytte partner. Om venteperioden løper ut uten at noen av dem har møtt en mer attraktiv partner inngår de to samliv. Hvor lang venteperioden skal være bestemmes selvfølgelig av forskeren og kan tillates å variere mellom agenter. Med disse komponentene innebygd gir modellen nokså realistiske resultater for kurver av alder ved samlivsinngåelse.

Denne modellen skiller seg fra mange andre agentbaserte modeller i samfunnsvitenskap ved at den ikke inneholder noen romlig dimensjon. For enkelhets skyld har Todd et al. laget en virtuell verden hvor agentene møter potensielle partnere som om de var trukket ut i et lotteri. Vi vet imidlertid at dette er urealistisk. Det ikke er tilfeldig hvilke personer som møtes; slike

prosesser er i høy grad formet av sosiale strukturer og institusjoner, som for eksempel nettverk bestående av familie, venner og kolleger, og hvilke arenaer man befinner seg på (utdanningsinstitusjoner, arbeidsplasser, etc.). I et senere arbeid, går Billari, Diaz, Fent og Prskawetz (2007) et skritt videre. Basert på arbeidet til Todd et al. (2005) bygger de inn i modellen nettopp en slik romlig dimensjon. Ved å la alle agentene bo på en torus, som er et smultring-formet legeme, kan de koble agenter sammen i ”nabolag”.¹² Dermed kan de la agentenes møter formes av deres lokale sosiale omgivelser og ikke kun globale omgivelser. En agents samlivsinngåelse vil i dette tilfellet ikke bare være utfallet av en søkeprosess og en læringsprosess som går over tid, men også være påvirket lokalt av andre agents atferd, fordi deres ekteskapsmarked endres når andre gifter seg. Dette er en videreutvikling av Hernes’ modell, hvor andelen av en kohort som så langt har inngått samliv påvirker individens ”giftevilje”.

Diffusjon, terskler og segregering

Diffusjonsmodeller er modeller som hvor tilbakekoplingseffekter mellom mikronivå og aggregert nivå modelleres ved at agentene påvirkes av antallet (eller andelen) andre agenter som handler på en bestemt måte. Handlinger på individnivå påvirkes dermed av fordelingen på aggregert nivå, og dette bidrar i neste omgang til en ny aggregert fordeling, som deretter påvirker agentenes handlinger, osv.

Terskelmodeller (”threshold models”) er en sentral form for diffusjonsmodeller. Disse ble utviklet av Thomas Schelling (2006 [1978]) og er videreutviklet av blant annet Granovetter (Granovetter 1978; Granovetter & Soong 1986, 1988). Terskelmodeller er benyttet til å studere segregering, vold og kriminalitet, innovasjon, spredning av rykter, normer, moter, og mye annet. Terskelmodeller forutsetter at agenter handler når et bestemt antall (eller en

bestemt andel av) andre agenter har handlet på en bestemt måte. I Schellings segregeringsmodell forutsettes det at agenter flytter fra et område så lenge andelen agenter som tilhører en annen gruppe er høyere enn en gitt terskel (definert av deres toleransenivå). Bruch og Mare (2006) har videreutviklet modellen ved å lempe på betingelsene til Schelling på to måter: (1) Mens Schelling forutsatte en enkelt toleranseterskel (for eksempel ikke mer enn 70 prosent av den andre gruppen i nabolaget), introduserer Bruch og Mare kontinuerlige terskelfunksjoner, som de betrakter som mer realistiske. (2) Mens Schelling forutsatte at agenter alltid blir værende når de har funnet fram til en tilfredsstillende lokasjon, tillater Bruch og Mare at agenter av og til gjør feilvurderinger, det vil si at de forlater en tilfredsstillende lokasjon til fordel for en lokasjon som er dårligere. Ettersom det er menneskelig å feile, vil dette kunne gjøre modellen mer realistisk.

Bruch og Mare (2006) konkluderer med at de nye forutsetningene gir andre resultat: (1) Det oppstår kun en veldig sterk segregering i de rene terskelmodeller (jfr. Schellings) og ikke i modeller hvor preferansene er kontinuerlige. Såkalte "tipping points" (som avgjør om en aktør bestemmer seg for å flytte) forsvinner eller blir langt svakere når preferansene er kontinuerlige. (2) Basert på empiriske preferanser impliserer denne modellen langt mindre segregering enn Schellings modell. (3) Hvorvidt agentenes preferanser følger en terskel eller en kontinuerlig funksjon teller mer enn det gjennomsnittlige toleransenivået i befolkningen. Bruch og Mares artikkel er prisbelønnet. Imidlertid er ikke siste ord sagt, og i en senere studie har deres konklusjoner blitt trukket i tvil av andre brukere av ABM.¹³

Konklusjon: Hvorfor anvende agentbaserte modeller?

Vi har i denne artikkelen introdusert agentbaserte modeller: forenklete representasjoner av virkeligheten som kan benyttes til å simulere utviklingen av et sosialt fenomen eller en sosial

prosess. Hensikten med å bygge slike virtuelle modeller av mennesker og samfunn er at symbolske representasjoner tillater eksperimenteringer og simuleringer som en ikke kan gjøre i den virkelige verden (Bråten 1981; Gilbert 2008). De grunnleggende elementene i slike modeller er heterogene agenter som til en viss grad er autonome og som handler innenfor bestemte fysiske og sosiale omgivelser. Ved å endre agentenes forutsetninger på mikronivå kan forskeren observere endringer i makrofenomen/kollektive egenskaper.

Axelrod (1997) trekker fram flere fordeler ved bruk av simulering og agentbasert modellering innenfor samfunnsvitenskapene. For det første kan simuleringsmodeller gi bedre forståelse av og innsikt i avgrensede sosiale prosesser og mekanismer (Gilbert & Troitzsch 2005).

Schellings segregeringsmodell bidrar for eksempel til forståelse av hvordan aggregerte, autonome beslutninger av relativt tolerante individer likevel kan bidra til segregerte bosetningsmønstre.

For det andre kan simuleringsmodeller benyttes til å simulere utfallet av konkrete sosiale prosesser. Et klassisk eksempel på dette er Bråtens simuleringsmodell over utfallet av EF-striden (Bråten 1976). Bruk av *Sugarscape*-modellen for å forklare Anazi-kulturens vekst og fall er et annet eksempel. Lakmustesten for modeller av denne typen er om de produserer utfall som sammenfaller med det vi observerer i virkeligheten. Imidlertid er ikke sammenlikninger mellom modell og virkelighet enkle. Sosiale prosesser og mønstre er kompliserte, og agentbaserte modeller isolerer ofte et begrenset antall mekanismer, slik at man ikke kan regne med full overensstemmelse mellom modell og virkelighet. Dessuten kan det også forekomme at en modell som reproduserer faktiske mønstre bygger på gale forutsetninger. Derfor er overensstemmelse med virkeligheten viktig, men i tillegg bør

modellen bygge på troverdige (plausible) mikroforutsetninger og som en hovedregel være i overensstemmelse med tidligere forskning på feltet.

For det tredje kan simuleringer brukes til å teste ut logikken i teoretiske resonnementer.

Simuleringsmodeller kan vise at gitt bestemte mekanismer eller kombinasjoner av mekanismer, så vil spesifikke konsekvenser inntreffe. Dette gjelder spesielt når matematiske modeller ikke lar seg løse eksplisitt.

For det fjerde kan simuleringsmodeller danne grunnlag for nye oppdagelser, for eksempel ved at enkle modeller, som Schellings segregeringsmodell, gir uventede konsekvenser. Dette er et aspekt som ofte er gått tapt i sosiologien, fordi sosiologiske teorier ofte er bygget opp for å vise hvordan bestemte forutsetninger eller antakelser er korrekte. Det uforutsette er ofte overlatt til empiriske studier. Gjennom eksperimentering og simulering med modeller kan en imidlertid oppdage at logiske strukturer kan gi uforutsette konsekvenser på aggregert nivå (emergente egenskaper). Eksemplene på agentbaserte simuleringer i denne artikkelen har vist flere eksempler på egenskaper av denne typen.¹⁴

Samtidig er det betydelige utfordringer i tilknytning til agentbaserte simuleringer. En spesielt viktig utfordring er å veie hensynet til enkelhet opp mot realisme. Det er en god leveregel å operere med så enkle modeller som mulig. Samtidig er det da en utfordring å knytte simuleringsresultatene til reelle sosiale fenomener. Simuleringsmodeller gir forståelse gjennom et tydelig krav til presisjon av mekanismer, men vi vet at det i sosiale prosesser vanligvis er svært mange mekanismer involvert. Utfordringen blir å dissekere handling og samhandling på en slik måte at vi lykkes i å presisere de viktigste mekanismene (Hedström 2005).

I utgangspunktet har agentbasert modellering ingen tilknytning til noen spesiell sosiologisk tradisjon og modellene er fleksible med hensyn til hvilke forutsetninger om menneskelig handling som kan bygges inn. Det grunnleggende premisset i agentbasert modellering er at man lar makronivået framkomme som et resultat av hva som skjer med agentene på mikronivået (*emergente* egenskaper på makronivå). Dessuten bygges det vanligvis inn i modellen tilbakekoplinger fra makronivået til agentene.

Likevel lanseres iblant agentbasert modellering og simulering som en tredje form for metode innenfor samfunnsvitenskapene, i tillegg til deduktiv (hypoteseprøvende) forskning og induktiv (teorigenererende) forskning (Axelrod 1997). Simuleringer er imidlertid både deduktive (ved at modellene bygges opp av teori) og induktive (ved at modellenes utfall sammenlignes med observerte empiriske mønstre).

Agentbaserte modeller kan bidra til å øke vår innsikt i sosial prosesser og mekanismer. Særlig gjelder dette koplingen mellom teoretiske resonnementer og empiriske funn. Ved å la teoretiske antagelser spille seg ut i en agentbasert modell kan vi undersøke de simulerte konsekvensene, variasjonen i disse, og om de samsvarer med empiriske data. Agentbaserte modeller hører dermed klart med i samfunnsvitenskapenes verktøykasse.

Noter

¹ Vi takker Institutt for sosiologi og samfunnsgeografi for økonomisk støtte. Vi vil også rette en takk til forsker Alexander Schjøll for nyttige kommentarer til et tidligere utkast av denne artikkelen.

² For eksempel ble et helt nummer i 2005 av *American Journal of Sociology* viet agentbasert modellering, med en introduksjon av Nigel Gilbert og Andrew Abbott (2005).

³ Aktørene i ABM-tradisjonen kalles agenter, for å markere et klart skille til individorienterte aktørperspektiv (som for eksempel Rational Choice eller Rational Action teori). I ABM-tradisjonen er det samhandlingen mellom agentene det grunnleggende.

⁴ Men til forskjell fra et sjakkbrett vil brikkene/agentene som går ut av brettet dukke opp igjen på motsatt side (ettersom dette er en (utbrettet) klode, ikke et brett).

⁵ Varierende syn er tenkt som en operasjonalisering av genetisk variasjon i en befolkning.

⁶ Som i andre datasimuleringer kan ikke agentene handle utover det som dataprogrammet tillater. Selv om vi i forbindelse med agentbaserte modeller bruker begreper som oppfatninger, ønsker, motiver og følelser (Elster 2007), er dette å regne som en metaforisk språkbruk, i og med at det gir lite mening å tilskrive dataprogrammer intensjonalitet (Gilbert & Troitzsch 2005).

⁷ Se <http://www.bitstorm.org/gameoflife/>

⁸ Agentene som velger å flytte kan forflytte seg over hele brettet.

⁹ Se (Hovi 2008) for en innføring i spillteori på norsk.

¹⁰ Se Bråten (2007) for en oppsummering.

¹¹ Parallellen til spillteori er åpenbar når man ser på dette enkeltmøtet, selv om spilllets konsekvens ikke er fordeling av goder agentene imellom, men her er knyttet til endringer av deres egenskaper.

¹² Det er viktig å merke seg her at bruken av ordet nabolag kun en "syntetisk" romlig dimensjon som ikke har noen bestemt referanse i den virkelige verden. Vi kunne også kalt det noe annet, for eksempel sosialt nettverk, lokale møtesteder (utdanningsinstitusjoner, arbeidsplasser eller lignende).

¹³ van de Rijt et al. (2009) forsøkte å gjenta de samme simuleringer uten å få samme resultat. De hevder at Bruch og Mares konklusjon om at bare terskelmodeller (og ikke kontinuerlige modeller) produserer segregering var feil. Diskusjoner slik som denne er viktige for å videreutvikle vår innsikt i hvordan disse modellene kan anvendes på best mulig måte.

¹⁴ I tillegg kan simuleringsmodeller anvendes til å utføre oppgaver (for eksempel gjennom utvikling av ekspertsystemer og kunstig intelligens), opplæring (simulatorer), utdanning (gjennom å illustrere teoretisk kunnskap i omgivelser som simulerer virkeligheten) og ikke minst underholdning (Axelrod 1997).

Referanser

- Axelrod, Robert (1986), An Evolutionary Approach to Norms. *The American Political Science Review* 80 (4):1095-1111.
- (1997), Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences: Obtaining, analyzing, and sharing results of computer models. *Complexity* 3 (2):16-22.
- (2006 [1984]), *The Evolution of Cooperation. Revised edition*. New York: Basic Books.
- Axtell, Robert, Joshua M. Epstein & H. Peyton Young (2006), The Emergence of Classes in a Multi-Agent Bargaining Model. In *Generative Social Science. Studies in Agent-Based Computational Modelling*, edited by J. M. Epstein. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Axtell, Robert L, Joshua M. Epstein, Jeffrey S Dean, George J Gumerman, Alan C Swedlund, Jason Harburger, Shuba Chakravarty, Ross Hammond, Jon Parker & Miles T Parker (2006), Population Growth and Collapse in a Multiagent Model of the Kayenta Anazi in Long House Valley. In *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modelling*, edited by J. M. Epstein. Princeton: Princeton University Press.
- Billari, Francesco C, Alexia Prskawetz, Belinda Aparicio Diaz & Thomas Fent (2007), The "Wedding-Ring": An agent-based model based on social interaction. *Demographic Research* 17:59-82.
- Bruch, Elizabeth E & Robert D Mare (2006), Neighborhood Choice and Neighborhood Change. *American Journal of Sociology* 112 (3):667-709.
- Bråten, Stein (1970), A Simulation Study of Personal and Mass Communication. In *Models and Simulation*, edited by H. Stockhaus. Gøteborg: Akademiförlaget.

- (1976), En konsistens- og kommunikasjonsmodell - som tillater simulering av EF-striden. *Tidsskrift for samfunnsforskning* 17:158-197.
- (1981), *Modeller av menneske og samfunn: bro mellom teori og erfaring fra sosiologi og sosialpsykologi*. Oslo: Universitetsforlaget.
- (2007), Computer Simulations of Intersubjective Dyads and Networks in the 1960's and Early 1970s. Pertinent for Today's Challenges? Paper read at Agentbaserte simuleringers rolle i sosiologien - teoretiske og praktiske utfordringer, at Institutt for sosiologi og samfunnsgeografi, Universitetet i Oslo, 2. - 4. november 2007
- Cederman, Lars-Erik (2005), Computational Models of Social Forms: Advancing Generative Process Theory. *American Journal of Sociology* 110 (4):864-893.
- Centola, Damon, Robb Willer & Michael Macy (2005), The Emperor's Dilemma: A Computational Model of Self-Enforcing Norms. *American Journal of Sociology* 110 (4):1009-1040.
- Coale, Ansley (1971), Age Patterns of Marriage. *Population Studies* 25 (2):193-214.
- Dean, Jeffrey S, George J Gumerman, Joshua M. Epstein, Robert L Axtell, Alan C Swedlund, Miles T Parker & Stephen McCarroll (2006), Understanding Anazi Culture Change Through Agent-Based Modelling. In *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modelling*, edited by J. M. Epstein. Princeton: Princeton University Press.
- Elster, Jon (2007), *Explaining Social Behavior. More Nuts and Bolts for the Social Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Epstein, Joshua M. (2006), Learning to Be Thoughtless: Social Norms and Individual Computation. In *Generative Social Science. Studies in Agent-Based Computational Modelling*, edited by J. M. Epstein. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

- (2006), Zones of Cooperation in Demographic Prisoners Dilemma. In *Generative Social Science. Studies in Agent-Based Computational Modelling*, edited by J. M. Epstein. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Epstein, Joshua M. & Robert Axtell (1996), *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press.
- Galán, José Manuel & Luis R. Izquierdo (2005), Appearances Can Be Deceiving: Lessons Learned Re-Implementing Axelrod's 'Evolutionary Approach to Norms'. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 8 (3):2.
- Gilbert, Nigel (2008), *Agent-based models*. Los Angeles: SAGE Publications.
- Gilbert, Nigel & Andrew Abbott (2005), Introduction. *American Journal of Sociology* 110 (4):859-863.
- Gilbert, Nigel & Pietro Terna (2000), How to Build and Use Agent-Based Models in Social Science. *Mind & Society* 1 (1):55-72.
- Gilbert, Nigel & Klaus G Troitzsch (2005), *Simulation for the Social Scientist*. Maidenhead, Berkshire: Open University Press.
- Granovetter, Mark (1973), The Strength of Weak Ties. *American Journal of Sociology* 76 (6):1360-1380.
- (1978), Threshold Models of Collective Behavior. *American Journal of Sociology* 83 (6):1420-1443.
- (1983), The Strength of Weak Ties: A Network Theory Revisited. *Sociological Theory* 1:201-233.
- Granovetter, Mark & Roland Soong (1986), Threshold Models of Interpersonal Effects in Consumer Demand. *Journal of Economic Behavior and Organization* 7 (1):83-99.
- (1988), Threshold Models of Diversity: Chinese Restaurants, Residential Segregation, and the Sprial of Silence. *Sociological Methodology* 18 (1988):69-104.

- Gumerman, George J, Alan C Swedlund, Jeffrey S Dean & Joshua M. Epstein (2006), The Evolution of Social Behavior in the Prehistoric Amercian Southwest. In *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modelling*, edited by J. M. Epstein. Princeton: Princeton University Press.
- Hedström, Peter (2005), *Dissecting the social. On the principles of Analytical Sociology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hernes, Gudmund (1972), The Process of Entry into First Marriage. *American Sociological Review* 37 (2):173-182.
- (1985), *Økonomisk organisering*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Holland, John H. (1998), *Emergence from Chaos to order*. Oxford: Oxford University Press.
- Hovi, Jon (2008), *Spillteori. En innføring*. Oslo: Universitetsforlaget.
- March, James G. (1975), *Introduction to Models in the Social Sciences*. New York: HarperCollins.
- Meadows, Donella H (2009), *Thinking in Systems. A Primer*. London: Earthscan.
- Schelling, Thomas C. (2006 [1978]), *Micromotives and Macrobehavior* New York: W. W. Norton.
- Skog, Ole-Jørgen (2006), Contagious Trust - Transitivity as a Growth Mechanism in Networks of Trust. Paper, Institutt for sosiologi og samfunnsgeografi, Universitetet i Oslo.
- Tesfatsion, Leigh (2006), Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. In *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics*, edited by L. Tesfatsion and K. Judd. Amsterdam: North-Holland.
- Todd, Peter M, Francesco C Billari & Jorge Simão (2005), Aggregate Age-at-Marriage Patterns from Individual Mate-Search Heuristics. *Demography* 42 (3):559-574.

van de Rijt, Arnout, David Siegel & Michael Macy (2009), Neighborhood Chance and Neighborhood Change: A Comment on Bruch and Mare. *American Journal of Sociology* 114 (4):1166-1180.

Watts, Duncan J. (2004), The "New" Science of Networks. *Annual Review of Sociology* 30 (1):243-270.

Young, H. Peyton (1993), The Evolution of Conventions. *Econometrica* 61 (1):57-84.

Øyen, Ørjar & Per Otnes (1967), Simulasjon av en enkel diffusjonsmodell i fire versjoner. Notat, Institutt for sosiologi, Universitetet i Oslo.