



EN AGENTBASERET MODEL FOR DEN DANSKE ØKONOMI

EPRN-ansøgning oktober 2021

Peter Stephensen, Jonas Zangenberg Hansen, Anders Kronborg, DREAM

Baggrund og motivation

Finanskrisen medførte en betydelig kritik af det eksisterende makroøkonomiske modelberedskab. Især områdets flagskib DSGE-modellen, er blevet debatteret en del (Buitter, 2009; Romer, 2016; Solow, 2008, 2010; Stiglitz, 2011; Trichet, 2010). Blanchard gav i 2016-2017 en grundig og konstruktiv kritik af DSGE-modellen i en række blog-indlæg (Blanchard, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b) der gik viralt. I Blanchard (2018) opsummerede han sin kritik. De centrale kritikpunkter findes i relation til rationelle forventninger, repræsentative agenter (herunder kritiseres manglende inddragelse af ulighed og heterogenitet i virksomhedernes produktivitet), pseudo-mikrofundering (f.eks. Calvo-pricing) og valg af priors ved Bayesiansk estimation.

En agentbaseret makroøkonomisk (ABM) model vil i princippet kunne imødegå disse kritikpunkter (se f.eks. Turrel (2017) for en introduktion og Dawid & Delli Gatti (2018) for oversigt). Den grundlæggende ide i disse modeller er, at modellere interaktion mellem heterogene, autonome agenter. Der er derfor per definition ingen repræsentative agenter. Heterogene agenter er så at sige med fra fødslen, og det er derfor relativt oplagt at modellere forskelle i husholdningers indkomst (dvs. ulighed) og forskelle i virksomheders produktivitet. Forventninger skal i ABM-modeller basere sig på den til rådighed værende information. Rationelle forventninger er derfor ikke en mulighed (ligesom i virkeligheden) og man er tvunget til at modellere agenternes adfærd under fundamental, Knightiansk (Knight, 1921) usikkerhed. ABM-modeller er ikke-walrasianske (De Vroey, 2015) i den forstand, at der ikke findes ligevægtsbetingelser i modellen. Alle priser og lønninger skal sættes af en agent (lige som i virkeligheden). I den udstrækning ABM-modeller estimeres, sker det typisk via moment-matching (Grazzini and Richiardi, 2015), selv om det også er søgt foretaget ved bayesiansk estimation (Grazzini, Richiardi and Tsionas, 2017). Mere om dette nedenfor.

ABM-modellering åbner op for mange nye muligheder. Dette gælder både i forhold til DSGE-modeller, nyere policy-modeller som den danske model MAKRO og klassiske makroøkonomiske modeller som ADAM, MONA og SMEC. Her skal nævnes nogle få. For det første, vil ABM-modeller typisk kunne forklare konjunkturudsving endogent. I DSGE-modeller er afvigelser fra steady-state typisk forklaret af eksogen støj i produktivitet, præferencer osv. Det betyder, at de i nogen grad regelmæssige konjunkturudsving, som man finder i data, skal forklares af tilsvarende regelmæssige stød til en eksogen proces (DSGE-modeller) eller såkaldte J-led (klassiske makroøkonomiske modeller), og altså ikke kan genereres endogent i modellen. I ABM-modeller er udsvingene typisk forklaret af samspillet mellem det finansielle system og realøkonomien. Stort set alle de nedenfor nævnte ABM-modeller er i stand til at generere endogene konjunkturcykler. For det andet kan såkaldte *ekstrapolative forventninger* med fordel analyseres i en ABM-model. Ekstrapolative forventninger er forventninger baseret på analyse af historisk data. Det kan være simple statistiske forventninger, men det kan også være resultatet af kompleks tidsrækkeanalyse (Evans and Honkapohja, 2001). I modeller med fremadskuende agenter (f.eks. DSGE-modeller og MAKRO) er det meget vanskeligt at indføre denne type forventninger, fordi modellen skal genberegnes hele tiden (med fuld planlægningshorisont) når agenterne

indser de har regnet galt. Ekstrapolative forventninger er potentielt vigtige, fordi de giver en simpel og intuitiv forklaring på eksistensen af multiple ligevægte. Dette kan f.eks. være optimistiske eller pessimistiske ligevægte. For det tredje, er det muligt at modellere søgeadfærd eksplicit. I nyere makromodeller beskrives søge-adfærd typisk med en matching-funktion (Pissarides, 2000). Dette skyldes at det ikke er muligt eksplicit at beskrive en søge-proces. I en ABM-model kan man beskrive en søge-proces ved at lade den enkelte agent søge tilfældigt rundt i de andre agenter. Det er desuden relativt let at forbinde agenterne i netværk, således at søgning i netværk ligeledes er en mulighed. Søgning kan modelleres på et hvilken som helst marked: varemarked, arbejdsmarked, boligmarked osv. Endelig for det fjerde, skal det (selv om det er indlysende) nævnes at aggregeringsproblemer ikke findes i en ABM-model. I modeller med heterogene virksomheder antages det som regel af virksomhedens produktivitet er pareto-fordelt (Melitz, 2003; Hopenhayn, 1995). Denne fordeling antages for at kunne aggregeres. I en ABM-model kan en hvilken som helst fordeling antages. På samme måde kan man udsætte husholdningerne for et korrekt specificeret skattesystem med progressions-knæk. Dette ville ikke være muligt i nogen af de ovenfor nævnte mainstream-modeller.

Der findes efterhånden en del ABM-modeller (Ashraf et al. 2016,2017; Delli Gatti et al., 2011; Dawid et. al., 2018; Cincotti et al., 2010; Seppecher, 2012; Dosi et al., 2010; Wolf et al., 2013; Lengnick, 2013; Dawid & Delli Gatti, 2018 for oversigt). Modellerne er ret forskellige og der er ikke opnået konsensus om en bestemt modeltype der kan tage kampen op med DSGE-modellen (Richiardi, 2017). Denne manglede konsensus skyldes sandsynligvis at modellerne afviger fra mainstream dels ved at være ABM-modeller men også på mange andre områder. Dette gør en sammenligning vanskelig. Nogle modeller har endogen vækst (Dosi et al., 2010), nogle har meget simpel adfærd (Lengnick, 2013), nogle anvender 'evolutionær rationalitet' som gennemgående adfærdsteori (Dosi et al., 2010) og nogle er skrevet op som såkaldte Stock-Flow-Konsistente (SFC) modeller, dvs. på en grundlæggende anden måde end andre modeller.

Formål og afgrænsning

Det er dette projekts grundide at opstille en ABM-model der lægger sig så tæt op ad mainstream som muligt, men som demonstrerer fordelene ved at have heterogene virksomheder og husholdninger, og som lader agenterne have ekstrapolative forventninger. Det er målsætningen at modellen har tilfredsstillende kortsigtsegenskaber (defineres nedenfor), endogene konjunkturcykler og mulighed for at modellere stød til agenternes forventninger (optimisme/pessimisme). Det er desuden målsætningen, at modellen kan anvendes som policy-model, - dvs. at man med modellen kan analysere midlertidige og permanente stød til offentligt forbrug, diverse skatter og afgifter, udenlandsk efterspørgsel, arbejdsudbud osv.

Modellen vil i høj grad basere sig på viden opbygget i DREAM over de seneste 10 år. For det første er DREAM ved at færdiggøre den nye makroøkonomiske model MAKRO (Stephensen et al., 2021b, 2021c). Der findes derfor i DREAM en betydelig viden om makroøkonomisk modellering af den danske økonomi. ABM-modellen vil datamæssigt trække på MAKRO's datagrundlag, den vil kunne trække på MAKRO-folkens erfaringer fra de seneste års udviklingsarbejde og den vil lade sig inspirere af modelleringen af agenterne i MAKRO – om end i en simplificeret udgave. I MAKRO er husholdningerne beskrevet som overlappende generationer og virksomhederne er værdimaksimerede aktieselskaber med kvadratiske installationsomkostninger. For det andet, - og på et mere teknisk niveau - vil programmeringen af modellen forgå i C# og nyde godt af den betydelige erfaring der er i agentbaseret modellering i DREAM's mikrosimuleringsmodel SMILE (Hansen og Markeprand, 2015, Stephensen et al., 2013). Modellen SMILE¹ er bygget ved hjælp af en såkaldt Event-Pump-

¹ Hvorfor er SMILE ikke en ABM-model? Fordi den - som det typisk gælder for mikrosimuleringsmodeller - kun beskriver en del af økonomien (her husholdningerne), adfærden er beskrevet med mekaniske overgangssandsynligheder og der er meget begrænset interaktion mellem agenterne.

metode beskrevet i Stephensen (2015). Denne teknik er senere blevet anvendt til at bygge agentbaserede modeller for boligmarkedet (Langholz Carstensen, 2016, 2020). Endelig, for det tredje, skal det nævnes, at der i DREAM en betydelig erfaring med automatiseret tidsrækkeanalyse (se f.eks. Stephensen et al., 2016). Metoden der typisk anvendes er beskrevet i Hyndman og Khandakar (2008). Agenternes ekstrapolative fremskrivninger kan basere sig på denne metode. Det vil derfor være muligt at antage at agenterne anvender relativt avancerede tidsrækkeværktøjer, så som ARIMA og Exponential-Smoothing. Dette står i modsætning til de ovenfor nævnte ABM-modeller, der alle antager relativ simpel forventningsdannelse.

Modellen konfronteres med data på to måder. For det første, vurderes modellens kortsigtsegenskaber ved at sammenligne med SVAR-analyser af den danske økonomi. Dette er den samme metode som er anvendt i MAKRO (Stephensen et al., 2021c), og SVAR-analyserne herfra kan genanvendes i dette projekt. For det andet, vil det være et succeskriterie at modellen kan generere konjunkturudsving med en varighed svarende til den danske økonomi. Det vil blive undersøgt hvorledes timingen af de centrale makroøkonomiske variable er i forhold til rigtig data.

Husholdninger, virksomheder og udland beskrives som heterogene agenter. Beskrivelsen af virksomhederne tager udgangspunkt i Melitz (2003) og Hopenhayn (1995) hvor det antages at virksomhedernes produktivitet er pareto-fordelt. En modelleringsstrategi som umiddelbart kan indføres i en agentbaseret model er beskrevet i Stephensen (2021a). I den enkelte periode skal investor-agenter (i realiteten venture-kapitalister) beslutte hvor stor en portefølje af nye virksomheder de vil investere i. Som i Melitz (2003) og Hopenhayn (1995) kan de ikke på forhånd vide hvilke virksomheder der har høj produktivitet (dvs. vil være specielt profitable i fremtiden).

Den enkelte husholdning vil i den første model-version bestå af enkeltindivider der dør med aldersafhængig dødssandsynlighed. Indkomsten er stokastisk over livet, dels på grund af indkomststokastik a la Carroll (1997), dels på grund af potentielle endogene arbejdsløshedsperioder. Individet vil indbetale til en akutarmæssigt korrekt specificeret arbejdsmarkedspension. Individet vil med en given sandsynlighed i hver periode (måned) reoptimere sin forbrugsplan. Husholdningen vil maksimere sin tilbagediskonterede CRRA-nyttfunktion under ekstrapolative forventninger. På denne måde vil modellen udgøre en ABM-version af en klassisk overlappende generationsmodel som det kendes fra DREAM og MAKRO.

Modellen vil indeholde en banksektor der giver kredit til husholdninger og virksomheder. Modelleringen af bankerne vil være inspireret af Ashraf et al. (2017) eller Delli Gatti et al. (2011). Det er projektets hypotese, at konjunkturcykler kan forklares af finansielle agents langsigtede beslutninger under fundamental usikkerhed. Bankerne er sammen med investorerne eksempler på sådanne agenter. Eksempelvis vil de heterogene virksomheder gennemleve lange livsforløb, hvor de giver underskud tidligt og sent i livet, og (i bedste fald) overskud midt i livet. Dette gør det vanskeligt for banker og investorer at agere i en verden med fundamental usikkerhed. De må nødvendigvis søge at trække information ud af den øjeblikkelige udvikling i økonomien. Det er hypotesen at denne adfærd hos de finansielle agenter kan give anledning til "termostatagtige" effekter i modellen. I modellens første version vil der kun være to agent-typer som må forventes at generer cykler, men i en fremtidig version kunne tilføjes bolig-entreprenører, købere af ejerboliger og kreditforeninger (Langholz Carstensen, 2016, 2020). Det vil også være muligt at modellere en såkaldt leverage-cycle som defineret af Geanakoplos (2010).

Dette projekt skal ses som et indledende forskningspræget pilotprojekt. At konstruere en fuldt færdigudviklet model kræver erfaringsmæssigt flere fuldtidsansatte i 2-3 år. Dette er ikke hensigten med dette projekt. Hensigten er at demonstrere at det er muligt at bygge en ABM-model der er brugbar som policy-model – både hvad angår anvendelsesmuligheder og empirisk fundament. Som beskrevet ovenfor har DREAM i de seneste 10 år opbygget en unik kombination af kompetencer inden for makroøkonomisk modellering,

mikrosimulering og forecasting. Vi vil derfor have et godt udgangspunkt for at definere og bygge en sådan model. Projektets resultater vil blive dokumenteret i artikler der vil blive søgt offentliggjort i passende videnskabelige tidsskrifter (som minimum The Journal of Artificial Societies and Social Simulation).

Referencer

- Ashraf, Q., Gershman, B. & Howitt, P. (2016), How inflation affects macroeconomic performance: An agent-based computational investigation, *Macroeconomic Dynamics* 20, 558–581.
- Ashraf, Q., Gershman, B. & Howitt, P. (2017), Banks, market organization, and macroeconomic performance: An agent-based computational analysis, *Journal of Economic Behavior and Organization* 135, 143–180.
- Blanchard, O. (2016a), Do DSGE Models Have a Future?, available at <https://piie.com/publications/policy-briefs/do-dsge-models-have-future>
- (2016b), Further Thoughts on DSGE Models: What We Agree On and What We Do Not, available at <https://piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/further-thoughts-dsge-models>
- (2017a), The Need for Different Classes of Macroeconomic Models', available at <https://piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/need-different-classes-macroeconomic-models>
- (2017b), On the Need for (At Least) Five Classes of Macro Models, available at <https://piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/need-least-five-classes-macro-models>
- (2018), 'On the Future of Macroeconomic Models', *Oxford Review of Economic Policy*, 34(1–2), 43–54.
- Buiter, W. (2009). The unfortunate uselessness of most 'state of the art' academic monetary economics. VoxEU, Research-based policy analysis and commentary from leading economists, March 6, 2009
- Carroll, Christopher D. (1997), Buffer-Stock Saving and the Life Cycle/Permanent Income Hypothesis, *Quarterly Journal of Economics* 112, 1-56.
- Cincotti, S., Raberto, M. & Teglio, A. (2010), Credit money and macroeconomic instability in the agent-based model and simulator eurace, *Economics: The Open-Access, OpenAssessment E-Journal* 4, 1–32.
- Dawid, H., Gemkow, S., Harting, P., van der Hoog, S. & Neugart, M. (2018), Agent-based macroeconomic modeling and policy analysis: The eurace@unibi model, in S.-H. Chen & M. Kaboudan, eds, 'Handbook on Computational Economics and Finance', Oxford University Press.
- Dawid, H. and Delli Gatti, D. (2018), Agent-Based Macroeconomics. *Handbook of Computational Economics, Volume IV*, edited by Cars Hommes and Blake LeBaron.
- Delli Gatti, D., Gallegati, M., Cirillo, P., Desiderio, S. & Gaffeo, E. (2011), *Macroeconomics from the Bottom-up*, Springer-Verlag, Berlin.
- Dosi, G., Fagiolo, G. & Roventini, A. (2010), 'Schumpeter meeting Keynes: a policy-friendly model of endogenous growth and business cycles', *Journal of Economic Dynamics and Control* 34, 1748–1767.
- De Vroey, M. (2015), *A History of Macroeconomics from Keynes to Lucas and Beyond*, Cambridge: Cambridge University Press, 2015
- Evans, G.W. and S. Honkapohja (2001) *Learning and expectations in economics*. Princeton: Princeton University Press.
- Grazzini J, Richiardi M, Tsionas M (2017). Bayesian Estimation of Agent-Based Models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 77:26-47. 3.
- Grazzini J, Richiardi M (2015). Consistent Estimation of Agent-Based Models by Simulated Minimum Distance. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 51: 148-165.
- Hansen, M. F. og T. Markeprand (2015), *Fremskrivning af familiekarakteristika og boligefterspørgslen i danske kommuner*. DREAM-rapport.
- Hyndman, Rob J. and Yeasmin Khandakar (2008). Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 27(3).

- Knight, F. (1921), *Risk, Uncertainty, and Profit*, New York, Hart, Schaffner & Marx
- Langholz Carstensen, C. (2016) An agent based model of the housing market. Speciale. Økonomisk institut, Københavns universitet
- Langholz Carstensen, C. (2020) Three Essays on Housing Markets: Price Dispersion, Dynamic Location Choices and Family Investments. Phd-afhandling. Økonomisk institut, Københavns universitet
- Lengnick, M. (2013), 'Agent-based macroeconomics: A baseline model', *Journal of Economic Behavior and Organization* 86, 102–120.
- Pissarides, C. (2000). *Equilibrium Unemployment Theory* (2nd ed.). MIT Press.
- Richiardi, M. (2017), The Future of Agent-Based Modelling. *Eastern Economic Journal*, 2017, vol. 43, issue 2, No 6, 287 pages
- Romer, P. (2016). The Trouble With Macroeconomics. *The American Economist*
- Seppecher, P. (2012), 'Flexibility of wages and macroeconomic instability in an agent-based computational model with endogenous money', *Macroeconomic Dynamics* 16, 284–297.
- Solow, R. (2008). The state of macroeconomics. In *Journal of Economic Perspectives*. 22(1), 243– 250.
- Stephensen, P. (2021a), Armington with Heterogeneous Firms. GrønREFORM-notat. DREAM.
- (2021b), MAKRO Modeling Choices. Med Martin Bonde, João Ejarque, Grane Høegh, Anders Kronborg. MAKRO-notat. DREAM. Offentliggøres til december. Kan fås ved henvendelse.
- (2021c), The Empirical Foundation of MAKRO. Med Anders Kronborg og Grane Høegh. MAKRO-notat. DREAM. Offentliggøres til december. Kan fås ved henvendelse.
- (2016), Mismatch på det danske arbejdsmarked. Med Andreas Østergaard Iversen. DREAM-rapport 2016.
- (2015), The Event Pump: An Agent Based approach to Microsimulation. 5th World Congress of the International Microsimulation Association (IMA) Luxembourg, 2-4 September 2015.
- (2013), Modeling Household Formation and Housing Demand in Denmark - The Dynamic Microsimulation Model SMILE. Med Jonas Zangenberg Hansen og Joachim Borg Kristensen. DREAM-rapport.
- Stiglitz, J. E. (2011). Rethinking macroeconomics: What failed, and to how repair it. *Journal of the European Economic Association*, 9(4), 591– 645.
- Trichet, J.-C. (2010). Reflections on the nature of monetary policy non-standard measures and finance theory. Opening address at the ECB Central Banking Conference, Frankfurt, November 18. In *The Clare Distinguished Lecture in Economics and Public Policy*.
- Turrell, A. (2017), Agent-based models: understanding the economy from the bottom up. Topical article. Advanced Analytics Division. Bank of England.
- Wolf, S., Furst, S., Mandel, A., Lass, W., Lincke, D., Pablo-Martí, F. & Jaeger, C. (2013), A multi-agent model of several economic regions', *Environmental Modelling & Software* 44, 25–43.