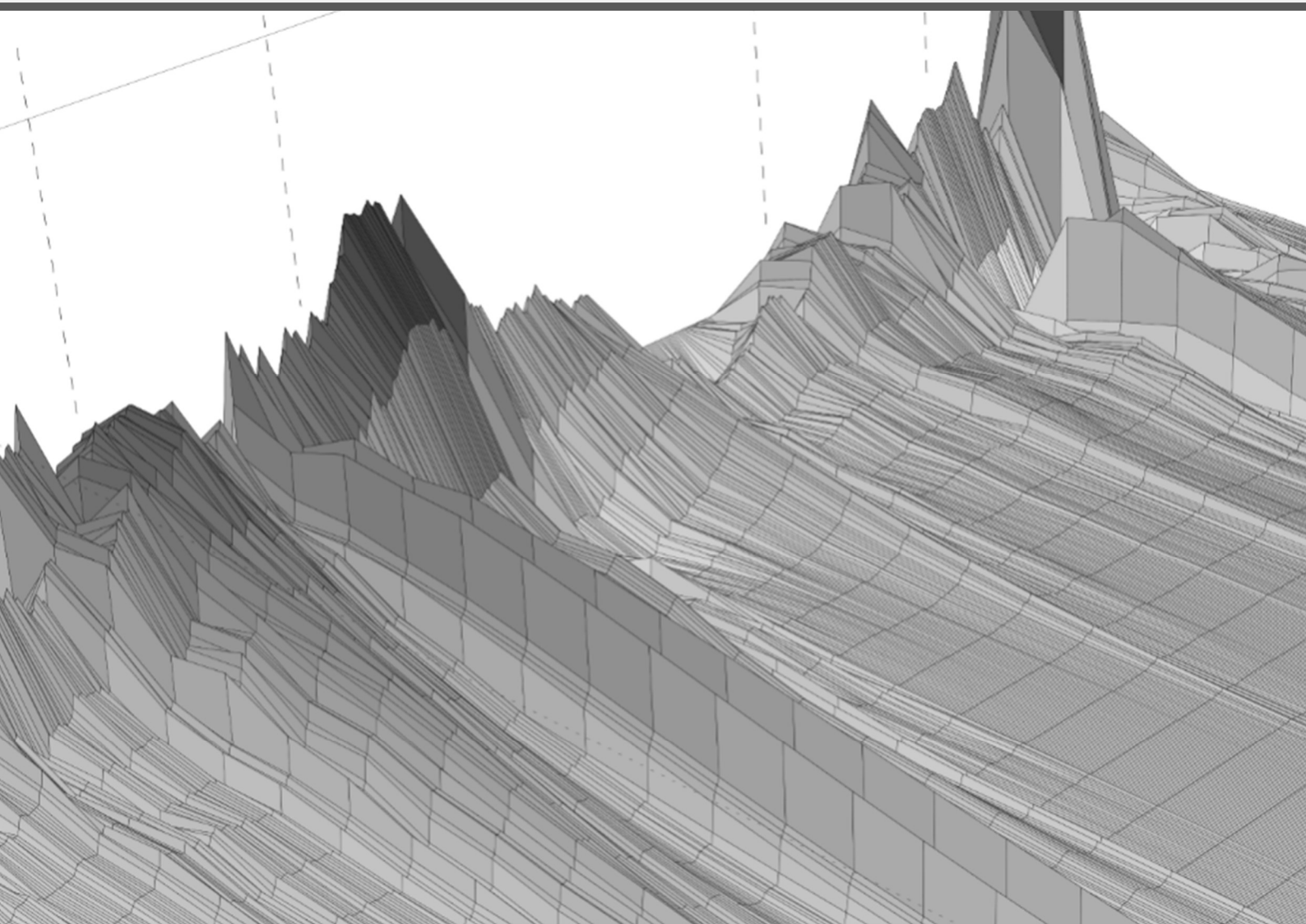


Maj 2019

Økonometrisk analyse af Price Puzzle og den pengepolitiske transmissionsmekanisme

Med SVAR (Structural Vector AutoRegression) og FAVAR (Factor Augmented Vector AutoRegression) modeller



Forfattere

Andreas Gravers Klitgaard
Jens Stoustrup Ehmsen
Lars Børty Nielsen

Vejleder

Hamid Raza

Uddannelse

Økonomi – 8. semester

Afleveringsdato

Onsdag d. 29 Maj kl. 12.00



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Titel:

Økonometrisk analyse af Price Puzzle og den
pengepolitiske transmissionsmekanisme

Tema:

Modul 6: Semesterprojekt, Kandidat

Projektperiode:

Forårssemester 2019

Projektgruppe:

Gruppe 9

Forfattere:

Andreas Gravers Klitgaard
<aklitg15@student.aau.dk>

Jens Stoustrup Ehmsen
<jehmse15@student.aau.dk>

Lars Børty Nielsen
<lbni13@student.aau.dk>

Vejleder:

Hamid Raza

Sidetæl: 43

Afleveringsdato: 29. maj 2019

Inst. for økonomi og ledelse

Aalborg University

<http://www.aau.dk>

Projektets indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse må kun ske efter aftale med forfatterne.

Indholdsfortegnelse

Figurer	iv
Tabeller	v
Kapitel 1 Introduktion	1
1.1 Problem	3
1.2 Metode	3
1.2.1 Afgrænsning	3
1.2.2 Projektstruktur	3
1.2.3 Grafer og plots	4
Kapitel 2 Teori	5
2.1 Strukturelle Vektor-Autoregressive-modeller	5
2.1.1 Choleski-dekomponering	6
2.1.2 Impuls-respons-funktioner	7
2.1.3 Stationaritet	7
2.1.4 Granger-kausaltet	9
2.2 Price Puzzle	9
2.2.1 Råvarepriser	9
2.2.2 Outputgab	10
2.2.3 Pengepolitiske regimer	10
2.3 FAVAR-modeller	10
2.3.1 PCA - Dimensionsreduktion	11
Kapitel 3 Data	13
3.1 Benchmark SVAR-model	13
3.2 Udvidede SVAR-modeller	14
3.3 FAVAR datasæt	15
Kapitel 4 Analyse	17
4.1 Benchmark SVAR-model	17
4.1.1 Stationaritet	17
4.1.2 Modelantagelser	20
4.1.3 Variansdekomponering	20
4.1.4 Granger-kausaltet	21
4.1.5 Opsamling	21
4.2 Udvidede SVAR-modeller	22

4.2.1	Råvarepriser	22
4.2.2	Aktieindeks - Dow Jones	23
4.2.3	Outputgab	23
4.2.4	Rentespænd	24
4.2.5	Opsamling	24
4.3	Shadow-rate SVAR-model	25
4.4	Pengepolitiske regimer	26
4.5	FAVAR-model	28
4.5.1	Antal af faktorer	28
4.5.2	Faktor loadings	29
4.5.3	Respons af stød til FFR	29
4.5.4	Opsamling	30
4.6	Forecast af modeller	31
4.7	De pengepolitiske transmissionsmekanismer	32
4.7.1	Opsamling	35
Kapitel 5	Diskussion	37
5.1	Er der et Price Puzzle?	37
5.2	Datagrundlag for de makroøkonomiske faktorer	37
5.3	Model validitet	39
Kapitel 6	Konklusion	41
Litteratur		43
Bilag A	Appendiks	45

Figurer

1.1	Effektiv Federal Funds Rate	1
2.1	PCA - rekonstruktion	11
4.1	Variable til simpel rekursiv VAR	18
4.2	Impuls-respons-funktioner for SVAR(13)	20
4.3	IRF for INFL fra et stød i FFR - alternative rækkefølger	20
4.4	Ekstra variable	22
4.5	Sammenligning med råvarepriser	22
4.6	Sammenligning med Dow Jones	23
4.7	Sammenligning med outputgab	24
4.8	Sammenligning med rentespænd	24
4.9	Federal Funds Rate og Shadow-rate	25
4.10	IRF af inflation fra stød i FFR og SHA - 2000:01-2015:12	26
4.11	Strukturelle skift	27
4.12	5-årig SVAR(2) løbende i perioden 1960:02-2018:12	27
4.13	Antal faktorer - Informationskriterier	28
4.14	Top loading variable	30
4.15	Ekstra faktorer i FAVAR(13)	30
4.16	Forecast af modellerne	32
4.17	IRF af FAVAR(13)	33
4.18	IRF - Rekonstruerede variable	34
5.1	Sammenligning - INFL med stød til FFR, akkumuleret	38
5.2	Resultater fra FAVAR modellering i (Bernanke et al., 2005)	39
A.1	IRF - Rentespænd SVAR	45
A.2	FAVAR - TS 1/2	46
A.3	FAVAR - TS 2/2	47
A.4	FAVAR - IRF: stød i FFR 1/2	48
A.5	FAVAR - IRF: stød i FFR 2/2	49
A.6	Plot af faktorer	50

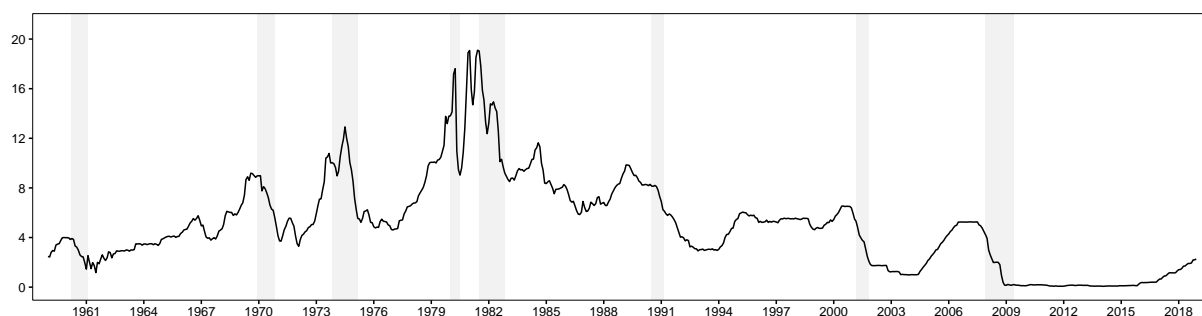
Tabeller

4.1	Augmented Dickey-Fuller Test	18
4.2	VAR(1)	19
4.3	Valg af lag længde	19
4.4	Variansdekomponering	21
4.5	Granger-kausaltet	21
4.6	PCA - Total variansforklaring	29
4.7	PCA - Top 6 factor loadings	29
4.8	Expanding window 1-periode	31
4.9	Expanding window 12-perioder	31
4.10	Korrelationsmatrice mellem faktorer og top 8	33
A.1	Variable 1/2	51
A.2	Variable 2/2	52

Introduktion

Pengepolitik er et af to centrale konjunkturstabiliserende værktøjer, som de økonomiske beslutningstagere har til rådighed, når de skal forsøge at navigere i de makroøkonomiske konjunkturer. Det er derfor afgørende at have en solid teoretisk forståelse af de pengepolitiske mekanismer, men det er muligvis endnu mere afgørende at have et empirisk kendskab til de pengepolitiske transmissionsmekanismer. Langt størstedelen af økonomer vil således kunne beskrive de teoretiske konsekvenser af hhv. at føre en ekspansiv og kontraktiv pengepolitik, men hvordan pengepolitikken reelt forplanter sig i økonomien er en anelse mere ukendt rent empirisk. Vigtigheden af pengepolitikken og forståelsen af pengepolitikkens transmissionsmekanismer er desuden ikke blevet mindre af, at finanspolitikken, grundet udbredt politisk fokus på at sikre stabile offentlige finanser, er blevet mindre fleksibel. Pengepolitikken bliver normalt ført gennem en signalrente, som for Federal Reserve (FED) er Federal Funds Rate (FFR). Denne indeholder en naturlig restriktion, og grundet de massive pengepolitiske lempelser siden Finanskrisen er langt størstedelen af de vestlige økonomier stødt ind i en nedre grænse for renten, *Zero Lower Bound*. Som det kan ses af figur 1.1 så ramte den amerikanske centralbank i slutningen af 2008 *Zero Lower Bound*.

Figur 1.1 Effektiv Federal Funds Rate



Note: Den effektive rente er baseret på interbankrenten som er styret af FOMC. De grå felter markerer officielle recessioner i USA - NBER.

Der er nogle fundamentale udfordringer ved at sænke renten under 0%, og derfor fungerer det som en nedre grænse for den traditionelle pengepolitiske stimulering. Derfor er mange centralbanker gået over til såkaldt ukonventionel pengepolitik som forsøger at stimulere økonomien ved at sænke de lange renter. Det virker konkret gennem et massivt opkøb af

obligationer i det sekundære marked, hvilket har til hensigt at øge kurserne på obligationerne og sænke renterne. Det er imidlertid interessant hvorvidt disse opkøb fungerer ligeså effektivt i at stimulere efterspørgslen som en traditionel rentesækning, samt hvorvidt denne fremgangsmåde er succesfuld ift. at hæve inflationen. Denne situation med *Zero Lower Bound* og overgangen til mere ukonventionelle pengepolitiske tiltag har bevirket, at der i højere grad end tidligere stilles spørgsmålstejn ved pengepolitikens indflydelse på den økonomiske udvikling (Roubini, 2017).

Det dominerende værktøj til empirisk analyse af pengepolitikken er i den forbindelse Vektor-Autoregressive-modeller (VAR). VAR-modeller stammer fra 1980'erne, hvor Christopher A. Sims etablerede VAR-frameworket (Sims, 1980). VAR-modellerne er økonometriske modeller, som gennem inkluderingen af udvalgte økonomiske variable er i stand til at beskrive, hvordan historiske og samtidige værdier af disse variable påvirker hinanden. Modellerne kan således bruges til at undersøge forholdet mellem disse inkluderede variable gennem såkaldte impuls-respons-funktioner eller variansdekomponeringer. I dette framework er det derfor relativt simpelt at teste økonomiske hypoteser, som eksempelvis hvordan en ændring i renten påvirker output eller inflation. Siden modellerne så dagens lys i 1980'erne har der dog specielt været et fænomen som har skabt besvær. En helt fundamental og intuitiv opfattelse indenfor økonomisk teori er, at en kontraktiv pengepolitik bevirker et faldende inflationsniveau, men dette bekræftes ikke i de simple VAR-modeller (Estralla, 2015).

Denne problemstilling kaldes for *Price Puzzle*, og der er gennem tiden blevet foreslået en lang række løsninger til denne problematik. Disse løsningsforslag har både omhandlet inkluderingen af yderligere variable i modellerne, samt alternative måder at estimere modellerne på (Havráněk et al., 2011). Spørgsmålet i denne forbindelse er imidlertid, om problematikken omkring *Price Puzzle* er udtryk for VAR-modellernes manglende evne til korrekt at identificere de pengepolitiske stød, eller om *Price Puzzle* i virkeligheden udtrykker centralbankernes manglende evne til at kontrollere den kortsigtede inflationsudvikling. Den makroøkonomiske teori er således utvetydig, når det kommer til den langsigtede inflationspåvirkning af en kontraktiv pengepolitik, men de kortsigtede effekter er derimod mere tvivlsomme grundet den relativt lange transmission fra ændringer i renten til inflationen (Estralla, 2015).

Et af løsningsforslagene til *Price Puzzle* er at inkludere langt flere makroøkonomiske variable i VAR-modellerne, da dette bedre repræsenterer de variable som centralbanken inkluderer i overvejelserne, når renteniveauet fastsættes. Dette kan gøres ved at anvende faktorer udtrukket fra data som repræsenterer underlæggende uobserverbare makrovariable. Denne type model benævnes som Factor Augmented Vektor-Autoregressiv (FAVAR), og udover at give en model der mere præcist repræsenterer virkeligheden, så giver det også muligheden for at undersøge langt flere variables respons på en ændret pengepolitik, altså transmissionen af pengepolitikken ud i økonomien.

1.1 Problem

Vi vil i det følgende projekt undersøge eksistensen af problematikken omkring *Price Puzzle* samt muligheden for at håndtere denne i udvidede SVAR-modeller samt en FAVAR-model. Helt centralt for projektet vil vi ligeledes anvende denne FAVAR-model til at opnå en bedre forståelse af de pengepolitiske transmissionsmekanismer, samt diskutere udfordringer i anvendelsen af modellerne.

Projektet udarbejdes efter følgende problemformulering:

Hvordan kan problematikken omkring Price Puzzle håndteres, og hvordan belyses de pengepolitiske transmissionsmekanismer i de økonometriske modeller?

1.2 Metode

Dette afsnit indeholder en kort beskrivelse af fremgangsmåden og strukturen i projektet. Afsnittet vil derudover indeholde overvejelser omkring de afgrænsninger, som foretages i forbindelse med udarbejdelsen af projektet.

1.2.1 Afgrænsning

I projektet er der foretaget en række afgrænsninger for at konkretisere og overskueliggøre den opstillede problemstilling. En af de centrale afgrænsninger i projektet er således, at der udelukkende tages udgangspunkt i en amerikansk kontekst. Udfordringen og håndteringen af *Price Puzzle* samt dokumenteringen af de pengepolitiske transmissionsmekanismer foretages således på baggrund af forskellige økonometriske modeller som bygger på data fra den amerikanske økonomi.

En anden afgrænsning der knytter sig til datasættet er antallet af variable, som de økonometriske modeller i projektet anvender. Projektets FAVAR-model anvender således 96 forskellige tidsserier, og disse afspejler de mest centrale økonomiske variable i den amerikanske økonomi. Yderligere overvejelser omkring datasættet og inkluderingen af udvalgte variable kan findes i kapitel 3. Ydermere tager projektet udgangspunkt i en afgrænset tidsperiode som strækker sig fra 1959 til 2019 på månedlige observationer, da de forskellige tidsserier netop er tilgængelige i denne periode. En yderligere afgrænsning omhandler, at projektet primært fokuserer på ændringer i den såkaldte Federal Funds Rate. Andre pengepolitiske værktøjer som Open Market Operations og ændrede kapitalkrav til bankerne behandles ikke i samme grad.

I arbejdet med økonometriske modeller er der desuden mange forskellige metodiske fremgangsmåder at konstruere SVAR-modeller på. I dette projekt vil der således kun fokuseres på én fremgangsmåde, som præciseres og uddybes nærmere i kapitel 2.

1.2.2 Projektstruktur

På baggrund af ovenstående problemformulering og afgrænsning vil vi i projektet tage udgangspunkt i følgende projektstruktur:

Kapitel 2 udgør den teoretiske ramme for projektet. I dette kapitel gennemgås centrale teoretiske elementer i opbygningen og estimeringen af traditionelle SVAR-modeller og den

udvidede FAVAR-model. Ydermere vil kapitlet indeholde en beskrivelse af fænomenet *Price Puzzle* samt en beskrivelse af, hvilke variable og elementer der tidligere har været i stand til at håndtere denne problematik med udgangspunkt i litteraturen på dette område.

Kapitel 3 indeholder en gennemgang af det datamateriale der anvendes til at opbygge de forskellige økonometriske modeller i projektet. Kapitlet indeholder en mere detaljeret beskrivelse af de variable der anvendes i de opstillede SVAR-modeller, hvorimod de mange variable i FAVAR-modellen behandles mere overordnet.

Kapitel 4 er omdrejningspunktet i projektet. Dette kapitel forsøger at håndtere problematikken omkring *Price Puzzle* for derefter at foretage en analyse af de pengepolitiske transmissionsmekanismer. Vi starter derfor med at opstille en simpel SVAR-model med tre grundlæggende variable i form af den amerikanske centralbanks signalrente (Federal Funds Rate), inflationsudviklingen og den industrielle produktion i USA. Denne model opstilles både for at illustrere problematikken omkring *Price Puzzle*, men samtidig anvendes denne model også til at gennemgå en lang række af de forskellige teoretiske overvejelser, transformationer og tests, som man skal igennem og vurdere, når man opstiller en VAR-model. Fremgangsmåden og de resultater af VAR-modellen der præsenteres er inspireret af (Stock, 2001). Efterfølgende introduceres der i kapitlet gradvist yderligere SVAR-modeller, hvor der inkluderes yderligere variable med henblik på at løse *Price Puzzle*. Afslutningvis opstilles en FAVAR-model, og denne anvendes efterfølgende til at belyse de pengepolitiske transmissionsmekanismer.

Kapitel 5 indeholder en diskussion af resultaterne fra kapitel 4. Her diskuteres der bl.a. om *Price Puzzle* reelt er et teorimodstridende fænomen, samt datagrundlaget for FAVAR-modellen. Diskussionen afsluttes med en række metodiske overvejelser omkring arbejdet med økonometriske modeller.

Kapitel 6 vil udgøres af en konklusion på projektet, hvor der vil blive konkluderet på de væsentligste resultater. Dermed vil den opstillet problemformulering blive besvaret i dette kapitel.

1.2.3 Grafer og plots

Alle beregninger og plots er lavet med **R 3.5.1** (R Core Team, 2019). Tabeller er dannet med **stargazer** v.5.2.2, til plots er **ggplot2** 3.0.0 anvendt, i opstilling af VAR-modeller benyttes **vars** 1.5.0 og til at tilgå FRED's API er **quandl** 2.8.0 anvendt. Derudover er Thomson Reuters Eikon anvendt til proprietære finansielle tidsserier.

Alle R-koder til reproduktion af grafer og modeller (udover finansielle tidsserier) kan findes på linket: <https://github.com/LarsHernandez/FAVAR>

Teori

Dette afsnit beskriver den teoretiske baggrund for det empiriske arbejde og de økonometriske modeller, som opstilles i projektet. Teoriafsnittet vil bl.a. beskrive teorien bag SVAR-modeller, stationaritet, Dickey-Fuller-testen, Price Puzzle og dimensionsreduktion.

2.1 Strukturelle Vektor-Autoregressive-modeller

I økonomiske problemstillinger og analyser vil man ofte benytte statistiske redskaber, specielt når der indgår dataarbejde. Hertil kommer begrebet økonometri som indeholder mange forskellige analyseværktøjer. I dette projekt er der arbejdet med flere variable over en given tidsperiode, 1959-2019, som skal anvendes til at besvare den opstillede problemformulering. Dertil vil SVAR-modeller blive inkluderet. SVAR-modeller bruges til at fortolke sammenhænge mellem økonomiske variable, da man tager højde for samtidige effekter. Derudover er det muligt at opstille impuls-respons-funktioner til denne type af modeller.

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{0,yz} \\ b_{0,zy} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{1,yy} & b_{1,yz} \\ b_{1,zy} & b_{1,zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ z_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_{y_t} \\ U_{z_t} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Ovenstående er et eksempel på en to-variabel SVAR(1)-model og her ses de samtidige effekter, da matricen som indeholder disse effekter er på venstre side sammen med de afhængige variable. Samtidig antages det at fejlleddene på de samtidige variable ikke er korreleret (white-noise), hvorfor varians-kovarians matricen for SVAR-modellerne kan opstilles på følgende måde:

$$\Sigma_U = \begin{bmatrix} \sigma_{yy}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{zz}^2 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Problemet med SVAR-modeller består i, at man ikke kan anvende almindelig OLS til at estimere SVAR-parametrene, da fejlleddene og variablene vil være korreleret i disse modeller, hvilket vil være et brud på MLR.4-antagelsen. Før man kan benytte OLS i sin estimation af modellen skal man pålægge den en række restriktioner, da SVAR-modellen vil være underidentificeret sammenlignet med den reducerede VAR-model. SVAR-modellen indeholder

således flere parametre end VAR-modellen. Antallet af restriktioner findes via nedenstående formel, hvor m er antallet af variable:

$$\text{Restriktioner} = \frac{m(m-1)}{2} \quad (2.3)$$

Med udgangspunkt i de nødvendige restriktioner for at opstille en SVAR-model er det vigtigt at være opmærksom på rækkefølgen af de inkluderede variable. Den valgte rækkefølge vil ikke være ligegyldig for konklusionerne, da variablene skal ordnes fra mest eksogen til mindst, hvilket kan være vanskeligt ved blot at kigge på data. Derfor anvendes økonomisk teori til denne proces, da tolkningen af SVAR-parametrene gerne skulle genkendes i den teoretiske, men også i den virkelige verden (Enders, 2015).

2.1.1 Choleski-dekomponering

Det første skridt i estimationen af en SVAR-model vil være at undlade de samtidige effekter, og derved have en VAR-model. Efter estimationen af VAR-modellen skal denne transformeres til en SVAR-model. Der findes flere måder at gøre dette på, men dette projekt vil benytte Choleski-dekomponering til at opstille den endelige SVAR-model.

Choleski-dekomponering tager udgangspunkt i varians-kovarians matricen fra VAR-modellen og antagelsen bag SVAR-modellens varians-kovarians matrice. Samtidig er det en metode til at frembringe en nedre triangulær B_0 -matrice, hvor de nødvendige restriktioner er pålagt jf. ligning 2.3.

$$\sum_{\epsilon} = B_0^{-1} * \sum_U * (B_0^{-1})^T = B_0^{-1} * (B_0^{-1})^T = P * P^T \quad (2.4)$$

Det specielle ved at benytte denne metode er at man ikke direkte pålægger restriktionerne i B_0 -matricen, hvilket betyder, at rækkefølgen af de estimerede variable er essentiel for resultatet. Der kan findes lige så mange Choleski-dekomponeringer, som der er mulige ordninger af SVAR-modellen, $n!$ (Enders, 2015). Med udgangspunkt i ovenstående definition af Choleski-dekomponering kan de samtidige effekter (B_0 -matricen) findes.

$$B_0 = P^{-1} \quad (2.5)$$

Herefter benyttes den fundne B_0 -matrice til at opstille den endelige SVAR-model, hvor alle komponent-matricerne skal multipliceres med B_0 -matricen.

$$B_1 = B_0 * \phi_1 \quad B_p = B_0 * \phi_p \quad \omega = B_0 * v \quad U = B_0 * \epsilon_t \quad (2.6)$$

Ved at udføre ovenstående operationer på den estimeret VAR-model kan den endelige SVAR-model opstilles på følgende måde:

$$B_0 * Y_t = \omega + B_1 * Y_{t-1} + \dots + B_p * Y_{t-p} + U \quad (2.7)$$

2.1.2 Impuls-respons-funktioner

I økonometriske VAR-analyser er man hovedsageligt interesseret i, hvordan stød til de inkluderede variable vil påvirke modellen. Dette vil give et indtryk af sammenhængen mellem variablene, hvorefter policy-ændringer kan analyseres baseret på modellen. Til dette benyttes impuls-respons-funktioner (IRF) som grundlæggende er funktioner, der viser effekten af et stød til de inkluderede variable i SVAR-modellen. Konkret vil stødet typisk ske i fejlløbet for den variabel som der stødes til og størrelsen på stødet vil hovedsageligt være på en standardafvigelse. Denne ændring vil dog kun ses i en periode, da det antages at fejlløbet igen er 0 i de efterfølgende perioder. IRF illustrerer dermed, hvordan et stød til en variabel i modellen vil påvirke de inkluderede variable over en given tidsperiode. For at benytte IRF er det særdeles vigtigt at variablene er stationære, hvilket resulterer i, at stød altid dør ud over tid (IRF-serierne vil konvergere mod 0) (Enders, 2015).

Ved anvendelse af IRF skal det påpeges at denne type af analyse vil indeholde en høj grad af kontrafaktiske informationer, selvom effekten er meget interessant for makroøkonomen. Dette skyldes at parametrene er estimeret i en periode uden det udførte stød, og resultatet derfor må være "alt andet lige".

2.1.3 Stationaritet

Et afgørende element i arbejdet med VAR-modeller er, at de tidsserier der inkluderes i modellen skal være stationære. Manglende stationaritet vil i den forbindelse typisk være forårsaget af en form for trend. I den forbindelse skelner man typisk mellem to grundlæggende typer af trends. Tidsserierne kan således indeholde en deterministisk eller stokastisk trend (Enders, 2015).

Deterministisk trend

Indeholder den pågældende tidsserie en deterministisk trend, så skal tidsserien detrendes for at blive stationær. Detrending omhandler, at man skal afgøre hvilken deterministisk trend, som den pågældende tidsserie indeholder. Der kan eksempelvis være tale om en kvadratisk eller kubisk trend. Når denne deterministiske trend er lokaliseret trækkes trenden fra tidsserien for at tidsserien bliver stationær. I praksis opstiller man typisk et ligningudtryk på følgende form for at afgøre, hvilken type deterministisk trend der er tale om:

$$y_t = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n + e_t \quad (2.8)$$

Længden på ovenstående trend-udtryk afgøres ved at anvende General-to-specific fremgangsmåden, hvor man starter med et stort antal variable og derefter tester nedad ved at eliminere de enkelte lags indtil det sidste lag i regressionen er signifikant. Alternativt kan man anvende de to informationskriterier AIC og BIC, hvor regressionen med den laveste AIC- eller BIC-værdi anvendes. Problemet med denne fremgangsmåde er imidlertid at AIC generelt er biased ift. overparametriserede modeller, hvorimod BIC-kriteriet foretrækker mere sparsomme modeller (Enders, 2015).

Stokastisk trend

Indeholder den pågældende tidsserie derimod en stokastisk trend, så skal vi tage differensen til denne tidsserie. En sådan tidsserie betegnes derfor også som differensstationær. Arbejdes

der med en tidsserie y_t , som kan gøres stationær ved at tage 1. differensen (Δy_t) er denne integreret af 1. orden, hvilket gør sig gældende for en stor del af de makroøkonomiske variable. Ligeledes siges tidsserien at indeholde en unit-root (Enders, 2015). Selve håndteringen af de respektive trends er således relativt ukompliceret, men der ligger en større udfordring i at fastlægge, hvorvidt de enkelte tidsserier indeholder en trend.

Test for stationaritet - Dickey-Fuller

En af metoderne til at teste om en tidsserie indeholder en unit-root er ved at anvende en Dickey-Fuller-test (DF). Den simple DF-test kan illustreres ved at tage udgangspunkt i en simpel AR(1)-model af formen:

$$y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.9)$$

En af stationaritetsbetingelserne for en AR(1)-model omhandler at $a_1 < 1$. Nulhypotesen i vores simple DF-test bliver derfor:

$$H_0 : |a_1| = 1 \sim I(1) \quad H_1 : |a_1| < 1 \sim I(0)$$

Ligning 2.9 kan imidlertid simplificeres ved at fratrække y_{t-1} på begge sider i AR(1)-modeller:

$$\Delta y_t = a_0 + (a_1 - 1)y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.10)$$

$$\gamma = a_1 - 1 \quad (2.11)$$

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.12)$$

Hypoteserne bliver i den forbindelse:

$$H_0 : |\gamma| = 0 \sim I(1) \quad H_1 : |\gamma| < 0 \sim I(0)$$

Når nulhypotesen skal analyseres skal man imidlertid være opmærksom på, at man ikke kan anvende en almindelig t-fordeling i analysen. I stedet skal man for det simple udtryk i ovenstående ligning 2.12 anvende en såkaldt τ -fordeling. Den relevante fordeling afhænger imidlertid af, hvor mange deterministiske komponenter der optræder i ligningsudtrykket i DF-testen (Enders, 2015).

Generelt er størstedelen af de makroøkonomiske variable man inkluderer i forskellige VAR-modeller højest integreret af 1. orden. I vores datasæt er der dog også enkelte variable, der er integreret af 2. orden.

2.1.4 Granger-kausaltet

Den grundlæggende ide omkring Granger-kausaltet omhandler, at hvis vi har to variable X og Z , der observeres over tid, så kan X betegnes som årsag til Z , hvis vi kan forklare udviklingen i Z bedre ved at inkludere tidligere værdier af X . Man vil i den forbindelse sige, at X Granger-forårsager Z .

Hvis der tages udgangspunkt i de to tidsserier X og Z , så vil der være tale om fire mulige kausalrelationer. Først og fremmest kan der være tale om en ensidet kausalrelation, hvor X Granger-forårsager Z eller Z Granger-forårsager X . Alternativt kan der være tale om en to-sidet kausalrelation mellem X og Z , hvor fortidige værdier af Z forbedrer forudsigelsen af X , og fortidige værdier af X forbedrer forudsigelsen af Z . Afslutningsvis kan der ligeledes være tale om, at de to tidsserier er ukorrelerede, eller at der er tale om samtidig kausalitet, hvor de samtidige værdier af X og Z er korrelerede. Granger-kausaltet er således et værktøj, der ofte præsenteres i en databeskrivelse, da det kan anvendes til at sige noget om sammenhængen mellem relevante variable (Mortensen, 2014). Granger-kausaltet må imidlertid ikke forveksles med den traditionelle forståelse af kausalitet.

2.2 Price Puzzle

I de empiriske analyser af pengepolitikken er man ofte interesseret i at undersøge sammenhængen mellem ændringer i renteniveauet, som er nationalbankernes primære pengepolitiske værktøj, og inflationsudviklingen. Hertil anvendes typisk forskellige typer af SVAR-modeller, men konklusionen for størstedelen af analyserne i den eksisterende litteratur på området, er, at et uventet kontraktivt stød til pengepolitikken på kort sigt resulterer i stigende priser (Havráněk et al., 2011). Konklusionerne i disse modeller er således i modstrid med den traditionelle økonomiske teori. Den generelle økonomiske teori vil således beskrive, at et kontraktivt pengepolitisk stød vil resultere i et faldende aktivitetsniveau bl.a. grundet stigende låne- og investeringsomkostninger samt højere alternativomkostninger ved forbrug. Dette faldende aktivitetsniveau vil derfor lægge en dæmper på inflationsudviklingen, hvorfor man i udgangspunktet associerer et kontraktivt pengepolitisk stød med en aftagende inflationsudvikling. Denne sammenhæng med et kontraktivt pengepolitisk stød og stigende inflation kaldes i litteraturen for *Price Puzzle*, og en lang række publikationer har igennem længere tid forsøgt at løse dette (Havráněk et al., 2011).

En af de store udfordringer ved anvendelsen af SVAR-modellerne er, at der ofte kun, af hensyn til antallet af frihedsgrader, anvendes et beskedent antal variable i modellerne. Størstedelen af SVAR-modellerne der bruges til at analysere de empiriske effekter af pengepolitiske stød vil således typisk indeholde et forbrugerprisindeks, output- samt renteniveauet. Typisk anvendes der i SVAR-modellerne mellem 3-6 variable samt 6-14 lags. I disse analyser er der således en stor risiko for, at man undlader betydningsfulde variable i modellen, og at resultaterne derfor bliver mangelfulde og biased:

2.2.1 Råvarepriser

I den forbindelse har bl.a. Sims argumenteret for, at *Price Puzzle* bl.a. opstår, fordi nationalbankerne kigger et stykke ud i fremtiden, når de fører deres pengepolitik. Har nationalbanken således en forventning om et fremtidigt stigende inflationsniveau, så kan de reagere på dette ved at hæve renten i dag. Hvis SVAR-modellerne derfor ikke indeholder

en variabel med information om det fremtidige inflationsniveau, så bliver det, der skal fremstå som et pengepolitisk stød reelt en kombination af det reelle pengepolitiske stød og endogene reaktioner på forventet inflation. Hvis nationalbanken derfor ikke er i stand til helt at neutralisere den forventede fremtidige inflationsstigning, så vil man empirisk have en situation, hvor en kontraktiv pengepolitik efterfølges af stigende inflation, hvilket kan lede til en situation med *Price Puzzle* (Sims, 1992). Sims erfarer i denne sammenhæng, at en måde at løse denne udfordring på er ved at inkludere råvarepriser som variabel i SVAR-modellen, da udviklingen i råvarepriserne muligvis kan anvendes som proxy for den fremtidige inflationsudvikling (Sims, 1992).

2.2.2 Outputgab

Giordani argumenterer for, at hvis man blot anvender en variabel for det generelle aktivitetsniveau uden at kontrollere for det potentielle output, så vil man opnå biased estimater, hvilket kan være en mulig forklaring på *Price Puzzle*. Giordani argumenterer således for, at inkluderingen af råvarepriserne ikke blot er velfungerende fordi det siger noget om det fremtidige inflationsniveau, men også fordi det indeholder information omkring outputgabet (Giordani, 2004). En inkludering af outputgabet kunne således også være en måde at håndtere problematikken omkring *Price Puzzle*.

2.2.3 Pengepolitiske regimer

I litteraturen findes der også argumenter for, at problematikken med *Price Puzzle* primært tilhører perioder med relativt begrænset pengepolitisk aktivitet eller perioder, hvor de pengepolitiske ændringer ikke er sket i overensstemmelse med principperne i Taylor-reglen. Ligeledes antages *Price Puzzle* at være et større problem i de tilfælde, hvor datamaterialet tidsmæssigt strækker sig over flere forskellige pengepolitiske regimer (Havránek et al., 2011)

Flere publikationer beskriver således, at *Price Puzzle* specielt er en udfordring i perioden 1959-1979, hvor hverken inkluderingen af råvarepriser eller outputgab har haft held til at løse dette. Udfordringen med *Price Puzzle* i denne periode kan muligvis forklares med, at man specielt i 1970'erne bl.a. grundet Oliekrisen oplevede betydelige inflationsniveauer på trods af en vedvarende kontraktiv pengepolitik. Derfor vil der i denne periode være en empirisk sammenhæng mellem kontraktiv pengepolitik og højere inflationsniveauer, hvilket vil kunne begrunde de teorimodstridende konklusioner (Havránek et al., 2011)

2.3 FAVAR-modeller

Tidligere blev det nævnt, at en af de store udfordringer ved at anvende traditionelle SVAR-modeller er, at disse kun kan indeholde en begrænset mængde variable af hensyn til antallet af frihedsgrader. Bernanke m.fl. argumenterer imidlertid for, at nationalbankerne forholder sig til hundredevis af forskellige økonomiske variable, når de skal vurdere den fremtidige udvikling af pengepolitikken. Traditionelle SVAR-modeller lider derfor af bias grundet manglende variable, men dette problem kan løses ved at anvende såkaldte FAVAR-modeller. I FAVAR-modellerne anvendes et væsentligt højere antal variable, som efterfølgende grupperes i et mindre antal faktorer ved at udtrække principal-components fra de mange tidsserier.

2.3.1 PCA - Dimensionsreduktion

Principal Component Analysis (PCA) er en måde at reducere dimensionerne i en model. Der kan fra et stort antal variable X_p udtrækkes n faktorer F_n som anvendes i modellen fremfor de enkelte variable. Dette mindsker tabet af frihedsgrader som normalvis er en udfordring i traditionelle SVAR-modeller. PCA er en lineær kombination af de medtagne variable. Et eksempel herpå kunne være følgende:

$$F_1 = \phi_{1,0} + \phi_{1,1}X_1 + \cdots + \phi_{1,p}X_p \quad (2.13)$$

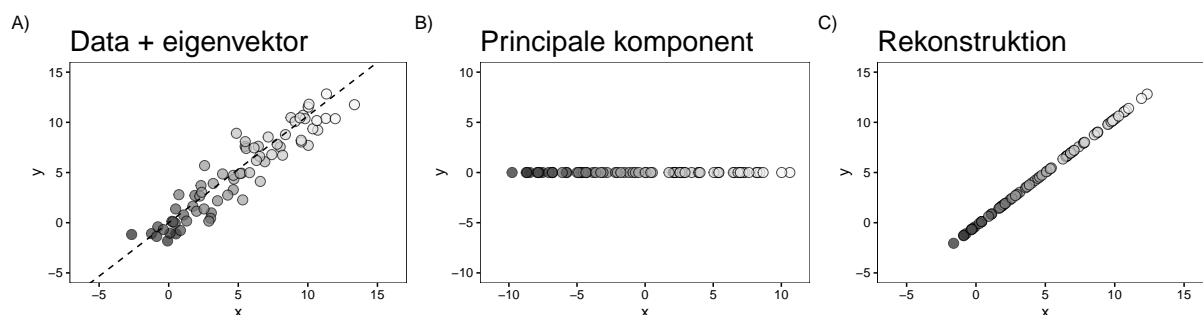
Efter estimeringen af modellens faktorer, er det muligt at udlede effekten på de originale variable gennem de parametre, som PCA udregner for hver faktor:

$$y = \theta_1 F_1 + \varepsilon \quad (2.14)$$

$$\beta_p = \theta_1 \phi_{1,p} \quad (2.15)$$

Det er klart at hvis $n = p$, så forklares hele variansen i alle variablene, men dimensionen er ikke blevet reduceret. Det er anerkendt i økonomisk teori at få faktorer driver mange forskellige makroøkonomiske variable. Man vil derfor ofte med et begrænset antal faktorer kunne forklare størstedelen af variansen. Dette kan illustreres med et screen plot, og her anvendes det kendte albue-princip til valg af antallet af faktorer.

Figur 2.1 PCA - rekonstruktion



Data

I det følgende afsnit vil det anvendte datamateriale blive præsenteret og beskrevet. Herunder præsenteres argumenter for valg og fravalg af variable. De valgte variable vil herefter danne grundlaget for de økonometriske modeller, som opstilles i det efterfølgende afsnit.

3.1 Benchmark SVAR-model

Vores modelsmæssige udgangspunkt for analysen af sammenhængen mellem rente- og inflationsudviklingen og løsningen af *Price Puzzle*, er en relativt simpel SVAR-model, som estimeres rekursivt. Denne SVAR-model indeholder følgende tre variable:

CPI - Forbrugerprisindekset for USA

Den første variabel i modellen er forbrugerprisindekset for USA (CPI). Denne variabel transformeres til inflationsudviklingen ved at tage logdifferenten. Denne variabel er inkluderet i modellen, fordi det med udgangspunkt i Taylor-reglen argumenteres, at inflationsniveauet er en af de centrale komponenter i udformningen af pengepolitikken. Ydermere omhandler problematikken omkring *Price Puzzle* sammenhængen mellem renteændringer og inflationsniveauet, hvorfor begge disse variable nødvendigvis må indgå i modellen.

Industriel produktion i USA

Den næste variabel i modellen er den industrielle produktion i USA (PROD). Denne anvendes, da den fungerer som en proxy for det generelle økonomiske produktionsniveau i den amerikanske økonomi. Normalt ville BNP være et mål for dette, men dette måles ikke på månedlig basis. Det generelle produktionsniveau indgår ligeledes i Taylor-reglen, hvorfor det antages at denne også er bestemmende for udformningen af pengepolitikken.

Federal Funds Rate

Den sidste variabel i denne simple SVAR-model er Federal Funds Rate (FFR), som grundlæggende er den amerikanske centralbanks signalrente. Det er således denne rente, som de private amerikanske banker anvender på deres interne ind- og udlån. Denne rente fastlægges af centralbanken og anvendes i modellen som en proxy for ekspansiv og kontraktiv pengepolitik.

Denne SVAR-model estimeres som sagt rekursivt, hvilket vil sige, at variablene rangordnes efter eksogonitet inden de indgår i den reducerede VAR-form. Herefter anvendes en Cholesky-dekomponering af modellens varians-kovarians-matrice til at beregne de samtidige sammenhænge mellem modellens variable. Ovenstående beskrivelse af modellens variable er i kronologisk rækkefølge. Projektet argumenterer derfor for, at inflationsniveauet er den mest eksogene af de inkluderede variable. Federal Funds Rate er derimod den mindst eksogene, da denne jf. Taylor-reglen reagerer på ændringer i de to andre variable.

3.2 Udvidede SVAR-modeller

I teoriafsnittet nævnes det at *Price Puzzle* kan løses ved at inkludere flere variable i den estimeret model, hvilket skaber grundlaget for at opstille andre SVAR-modeller med flere variable. Disse modeller vil indeholde de tre ovenstående variable, men med inkluderingen af en fjerde variable. De ekstra variable der inkluderes er:

Råvarepriser

En af de variable der inkluderes i en af de 4-dimensionelle SVAR-modeller er et prisindeks, der beskriver prisudviklingen på industrielle råvarer for producenterne i industrien. Denne variabel er, jf. ovenstående teoriafsnit, inkluderet for at sige noget om det fremtidige inflationsniveau. Det antages således at nationalbankerne tilpasser deres pengepolitik til det fremtidige inflationsniveau, hvorfor det er afgørende at inkludere en proxy for dette. Ydermere er inkluderingen af en proxy for råvarepriserne et anerkendt værktøj til at håndtere problematikken omkring *Price Puzzle*.

Outputgab

I teoriafsnittet blev det ligeledes præsenteret, at en mulig variabel der kan håndtere problematikken omkring *Price Puzzle* er outputgabet. Giordani beskrev således i sin publikation fra 2004, at det er afgørende at kontrollere for det potentielle outputniveau i den pågældende økonomi, hvis man vil undgå at opnå biased estimater. Tidsserien for outputgabet i den amerikanske økonomi konstrueres i den forbindelse ved at anvende et såkaldt Hodrick-Prescott-filter (HP), hvor der skabes en trend i den oprindelige tidsserie, som i dette tilfælde er den industrielle produktion. Outputgabet beregnes herefter som de cykliske afvigelse fra denne trend. Årsagen til at denne procedure anvendes skyldes manglende data for outputgab på månedligt basis.

Aktieindeks - Dow Jones

Dow Jones er et aktieindeks som indholder de 30 største amerikanske industrivirksomheder. Denne variabel inkluderes i modellen, da den indfanger nogle af de fundamentale forhold i økonomien. Argumentet for at benytte denne variabel som proxy for forventninger til den fremtidige økonomiske udvikling, begrundes med, at et stigende aktieprisindeks må afspejle positive tendenser i den økonomiske aktivitet. Man skal dog være opmærksom på at prisindekset naturligvis er drevet af andre forhold end rent økonomiske herunder en høj grad af spekulation.

Rentespænd

Rentesændet mellem en 2-årig og 5-årig amerikansk nulkuponobligation introduceres i SVAR-modellen, da der historisk har været en høj korrelation mellem en inverteret rentekurve, hvor de lange renter er lavere end de korte renter, og en efterfølgende periode med recession. Argumentet for inkluderingen af denne variabel er, at dette spænd er i stand til at afspejle agenternes forventninger til den fremtidige økonomiske udvikling. En inverteret rentekurve er således udtryk for, at forbrugsvæksten på kort sigt forventes at være højere end på lang sigt, hvilket udtrykker en aftagende økonomisk udvikling. Ydermere kan en inverteret rentekurve begrundes med, at investorerne investerer i lange obligationer når forventninger til den fremtidige økonomiske udvikling er pessimistiske, hvilket vil være medvirkende til at presse kurserne på de lange obligationer op, og renterne ned.

Shadow-rate

FFR ramte *Zero Lower Bound* som følge af pengepolitisk stimulering i forbindelse med finanskrisen. Det betød at økonometriske modeller, som inkluderede FFR ikke længere fungerede optimalt, hvilket kom til udtryk ved teorimodstridende konklusioner (Gill, 2017). Med dette udgangspunkt vil Shadow-rate blive inkluderet i forsøget på at løse *Price Puzzle*, da det er en teorimodstridende problematik. Shadow-rate er en variabel som inkluderes i de økonometriske modeller for at medtage effekterne af QE-programmerne. Denne variabel er ikke bundet af en nedre grænse, og er derfor en substitut til FFR.

3.3 FAVAR datasæt

De 96 variable som er benyttet i FAVAR-modellen kommer fra et datasæt (FRED-MD) udgivet af Federal Reserve Bank of St. Louis (McCracken, 2014). Sættet består af 134 variable, men grundet manglende data og nogle utilgængelige serier anvender vi kun de 96, hvilke kan ses i appendix. Projektet anvender ikke de foreslåede transformeringer fra FRED-MD, men derimod funktionen `auto.arima` i R til at afgøre om variablene indeholder en eller flere unitroots, og derfor skal differenses.

Sættets mål er ifølge beskrivelsen at efterligne de datasæt som bruges i litteraturen. Sættet er dannet på baggrund af følgende kriterier:

First, the sample should include the main monthly aggregates and coincident indicators. Second, the data should include important leading economic indicators. Third, the data should represent broad class of variables with differing time series properties. Fourth, the data should have consistent historical definitions or when the definitions are inconsistent, it should be possible to adjust the series with a simple additive or multiplicative splice (Stock, 1996, s.12).

Sættet kan opdeles i 8 kategorier som ses herunder, og i parentes ses antallet af variable indenfor hver kategori. Datasættet kan ses i tabel A.1 og A.2 i appendiks.

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Output and Income (20) | 5. Money and Credit (14) |
| 2. Labour Market (32) | 6. Interest rate and Exchange Rates (22) |
| 3. Consumption and Orders (10) | 7. Prices (21) |
| 4. Orders and Inventories (14) | 8. Stock Market (4) |

Analyse

I det følgende analyseafsnit estimeres og opstilles forskellige SVAR-modeller. Disse modeller opstilles i et forsøg på at løse udfordringen omkring Price Puzzle. Efterfølgende afdækkes den pengepolitiske transmissionsmekanisme og hertil anvendes den model, som bedst håndterer problematikken omkring Price Puzzle. Den første model der præsenteres er relativt simpel og fungerer som det modelmæssige udgangspunkt i opgaven. Denne vil derfor blive gennemgået mere detaljeret end de efterfølgende. Under opstillingen af denne første model vil der bl.a. blive behandlet emner som stationaritet, valg af laglængde samt overgangen fra reduceret form til strukturel form.

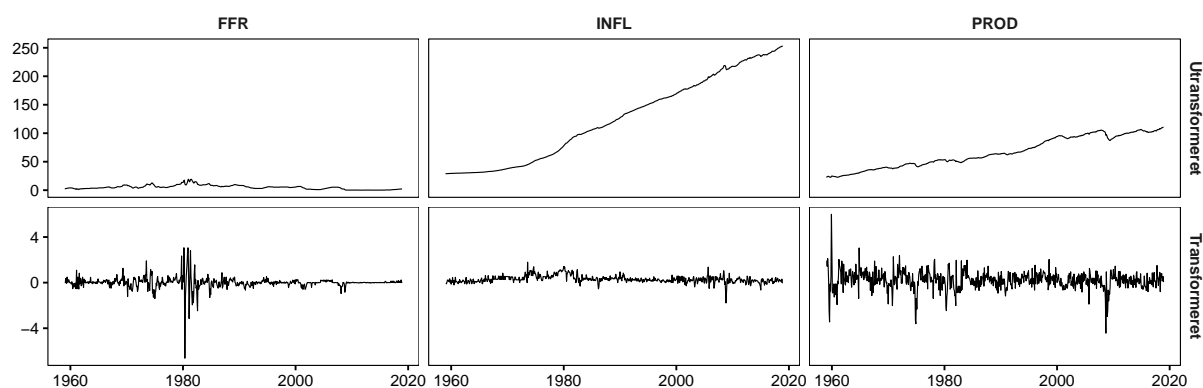
4.1 Benchmark SVAR-model

Afsnittet begynder med opstillingen af en benchmark model. Denne model er meget simpel da den indeholder inflationsudviklingen, output og centralbankrenten. Denne efterligner baseline-modellen i (Bernanke et al., 2005) samt (Stock, 2001), og er derfor en god grundmodel at tage udgangspunkt i.

4.1.1 Stationaritet

Et af de afgørende elementer i anvendelsen af en VAR-model er, at samtlige variable i modellen skal være stationære. Et naturligt første skridt er derfor at skitsere de tre tidsserier, da man ofte rent visuelt kan få en fornemmelse af, om der er tale om stationære tidsserier. På baggrund af denne visuelle inspektion, som ses i figur 4.1, kunne det tyde på, at de tre variable i modellen indeholder en unit-root. Til at teste for tilstedeværelsen af unit-roots anvendes en Augmented-Dickey-Fuller test. Konklusionerne i den forbindelse er, at tilstedeværelsen af en unit-root i tidsserien for den industrielle produktion (PROD) og Federal Funds rate (FFR) ikke kan afvises. Disse to tidsserier indeholder derfor en stokastisk trend. I tidsserien for forbrugerprisindekset (CPI) kan nulhypotesen afvises på et 2%-signifikansniveau. Resultaterne for ADF-testen er skitseret i tabel 4.1.

CPI-variablen bliver alligevel transformeret ved at tage logdifferensen, da det er inflationsudviklingen (INFL) som er af interesse. Grundet tilstedeværelsen af en stokastisk trend i PROD og FFR differenses disse to ligeledes. Logaritmen tages dog kun til PROD, da FFR allerede optræder som en rate.

Figur 4.1 Variable til simpel rekursiv VAR

Note: FFR, CPI (transformeret til INFL) og PROD er hentet fra Federal Reserve Economic Database med Quandl::Quandl.

De tre transformerede tidsserier er skitseret under de tre originale tidsserier på figur 4.1. Her kan det ligeledes ses, at de tre tidsserier efter transformationerne er stationære. Stationariteten af de transformerede tidsserier underbygges ligeledes i tabel 4.1, hvor resultaterne af en ADF-test for de transformerede tidsserier er angivet. Her kan det ses, at nulhypotesen i alle tilfælde kan forkastes, hvorfor tidsserierne må antages at være stationære.

Tabel 4.1 Augmented Dickey-Fuller Test

Utransformeret			Transformeret		
series	statistic	p.value	series	statistic	p.value
FFR_t	-2.79	0.24	ΔFFR_t	-7.57	0.01
CPI_t	-3.87	0.02	$\Delta \log(CPI_t)$	-3.84	0.02
$PROD_t$	-3.03	0.14	$\Delta \log(PROD_t)$	-6.66	0.01

Note: Teststatistikkerne er udregnet med `tseries::adf.test`.

De inkluderede variable er stationære og en VAR(1)-model i reduceret form estimeres. I ligning 4.1 ses VAR(1)-modellen opstillet på matriceform.

$$\begin{bmatrix} INFL_t \\ PROD_t \\ FFR_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} INFL_{t-1} \\ PROD_{t-1} \\ FFR_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Resultatet af denne VAR(1) model kan ses i tabel 4.2. I tabellen ses det bl.a. at den laggede værdi af PROD og FFR har en signifikant effekt på INFL, men dens egen laggede værdi har ikke nogen effekt. Man skal dog være påpasselig med at tildele konklusionerne i denne simple VAR(1)-model alt for stor betydning. Fordelen ved en traditionel VAR-model er således, at denne kan estimeres med almindelig OLS, da den ikke indeholder nogen samtidige effekter. Problemet er imidlertid at disse manglende samtidige effekter bevirker, at det er vanskeligt at drage nogen konklusioner fra modellen. Ydermere anvender ovenstående model blot en laglængde på 1, hvorfor der sandsynligvis vil være en udfordring med seriel korrelation. Eftersom tidsserierne anvender månedligt data, så er der indlysende argumenter for at udvide laglængden for at indkapsle mulige sæsonbetingede udsving. Til at afgøre laglængden kan informationskriterierne AIC og BIC anvendes. Anbefalingerne fra disse informationskriterier kan ses i tabel 4.3. Her

kan det udledes, at AIC-kriteriet anbefaler en laglængde på 13, og der anvendes derfor 13 lags i modellen. I den forbindelse skal man være opmærksom på, at AIC-kriteriet generelt er biased i retning af overparametriserede modeller, hvorimod BIC-kriteriet foretrækker mere simple modeller. Grundet anvendelsen af månedligt data virker det dog mest hensigtsmæssigt at anvende 13 lags.

Tabel 4.2 VAR(1)

	<i>Dependent variable:</i>		
	INFL	PROD	FFR
Lag INFL	0.023 (0.056)	0.619*** (0.029)	−0.045 (0.090)
Lag PROD	0.096*** (0.023)	−0.016 (0.012)	0.334*** (0.036)
Lag FFR	0.347*** (0.035)	0.072*** (0.018)	0.125** (0.056)
Konst	−0.028 (0.025)	0.119*** (0.013)	0.158*** (0.040)
Observations	718	718	718
R ²	0.169	0.409	0.132
Adjusted R ²	0.166	0.406	0.129
Residual Std. Error	0.470	0.241	0.748
F Statistic (df = 3; 714)	48.544***	164.431***	36.337***

Note:

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

Tabel 4.3 Valg af lag længde

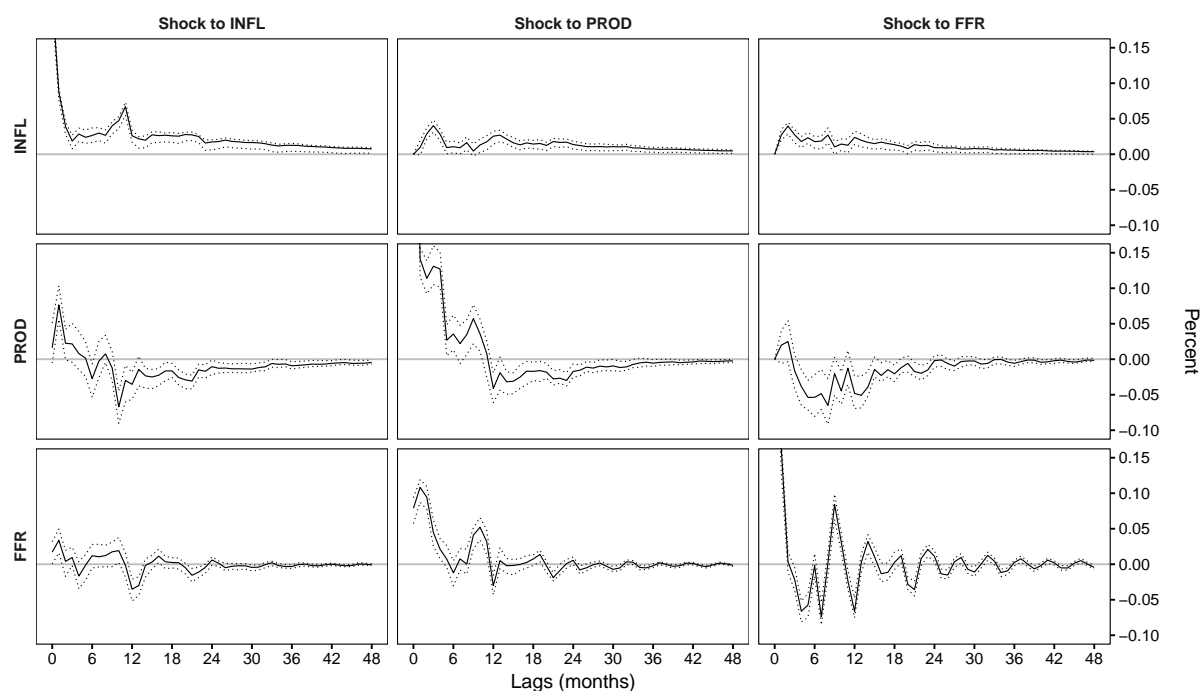
	AIC	HQ	BIC	FPE
Antal lags	13	4	2	13

Note: Udregnet med vars::VARselect.

Dette projekt estimerer derfor en SVAR(13)-model, hvor de samtidige effekter beregnes ved at foretage en Cholesky-dekomponering af den reducerede VAR-models varians-kovarians-matrice. De samtidige effekter (B_0) illustreres i ligning 4.2. I denne model oplyses koefficientmatricen ikke da antallet af koefficienter grundet antallet af lags bliver meget højt. I stedet beregnes impuls-respons-funktionerne (IRF) for variablene. Disse ses i figur 4.2

$$B_0 = \begin{bmatrix} \text{INFL} & \text{PROD} & \text{FFR} \\ b_{0,II} & 0 & 0 \\ b_{0,IP} & b_{0,PP} & 0 \\ b_{0,IF} & b_{0,PF} & b_{0,FF} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{INFL} \\ \text{PROD} \\ \text{FFR} \end{matrix} \quad (4.2)$$

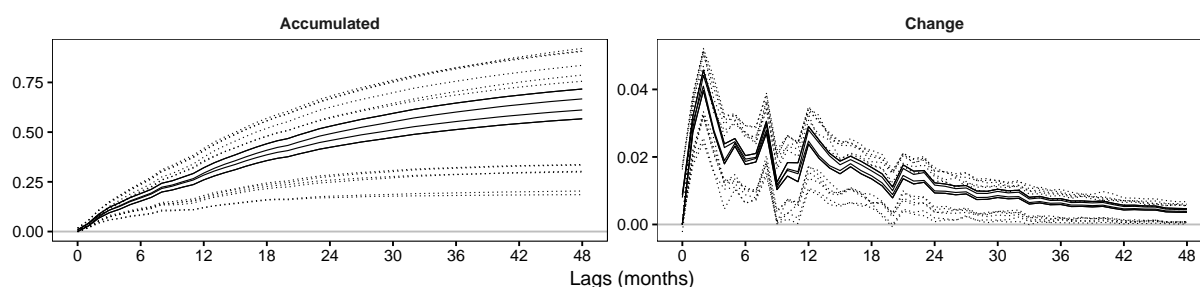
I denne figur 4.2 ses netop det såkaldte *Price Puzzle* som blev omtalt af (Sims, 1992). Et positivt stød til FFR, en kontraktiv pengepolitik, resulterer således i en stigende inflationsudvikling. I modsætning hertil illustrerer IRF også nogle mere teoretisk konsistente sammenhænge som f.eks. at inflationen og renten stiger ved et stød til den industrielle produktion, samt at en kontraktiv pengepolitik på kort sigt bevirker et fald i den økonomiske aktivitet.

Figur 4.2 Impuls-respons-funktioner for SVAR(13)

Note: Variablerne er ikke standardiseret inden de indgår i VAR-modellen og derfor ser responserne i inflation meget små ud. Den akkumulerede effekt kan dog ses på figur 4.3. Konfidensintervallerne er 68% og udregnet med bootstrap 100 simuleringer. Alle IRF er baseret på den rekursive ordning [INFL, PROD, FFR].

4.1.2 Modelantagelser

En vigtig antagelse under den rekursive estimering af SVAR er netop ordningen af variablerne, da estimererne ændrer sig, hvis rækkefølgen ændres. For at sikre at modellens konklusioner er uafhængige af rangordningen beregnes herefter IRF af et positivt rentestød på inflationsudviklingen ved alle mulige kombinationer af modellens tre variable. Disse IRF kan ses på figur 4.3, hvor den akkumulerede effekt også er skitseret. Som det fremgår af figuren så er der ikke de store ændringer i IRF's ved en ændret rækkefølge, og paradokset omkring *Price Puzzle* er stadig til stede. Derfor fastholdes rækkefølgen [INFL, PROD, FFR].

Figur 4.3 IRF for INFL fra et stød i FFR - alternative rækkefølger

Note: To par af IRF er disse identiske og derfor ses 4 linjer og ikke 6.

4.1.3 Variansdekomponering

Udover IRF er det normalt at rapportere en variansdekomponering. Variansdekomponeringen beskriver hvilke variable der bidrager til ændringerne i forecast. I tabel 4.4 ses hvordan at

forecast af inflationen et år ude i fremtiden hovedsageligt er bestemt af variation i inflationen, men også hhv. 5 og 7 procent af PROD og FFR. Det er interessant at produktionen ikke ser ud til at afhænge specielt af de andre variable, men FFR et år ude i fremtiden afhænger relativt meget af PROD, men ikke INFL, hvilket er en anelse overraskende jf. teorien omkring Taylor-reglen.

Tabel 4.4 Variansdekomponering

Forecast horizon	Inflation			Industrial Production			Federal Funds Rate		
	INFL	PROD	FFR	INFL	PROD	FFR	INFL	PROD	FFR
1	100	0	0	0	100	0	0	3	97
4	91	4	5	1	98	0	1	12	87
8	88	5	6	1	96	2	1	12	88
12	88	5	7	2	94	3	1	13	86

Note: Grundet afrunding summerer procenterne ikke altid til 100.

4.1.4 Granger-kausalitet

Til at besvare spørgsmålet omkring sammenhængen mellem ændringerne i renten og inflationsudviklingen kan en test for Granger-kausalitet ligeledes anvendes (Stock, 2001). Granger-kausaliteten må dog ikke forveksles med den almene forståelse af kausalitet¹. Det kan i den forbindelse udledes, at der er en signifikant effekt fra FFR til INFL, hvilket stemmer overens med teorien. Det ses også at PROD har indflydelse på INFL og FFR, hvilket må betegnes som en teoretisk konsistent konklusion.

Tabel 4.5 Granger-kausalitet

Dependent variable	Independent		
	INFL	PROD	FFR
INFL	...	0.039*	0.001***
PROD	0.030*	...	0.117
FFR	0.589	0.001***	...

Note: Udregnet med base::grangertest.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05.

4.1.5 Opsamling

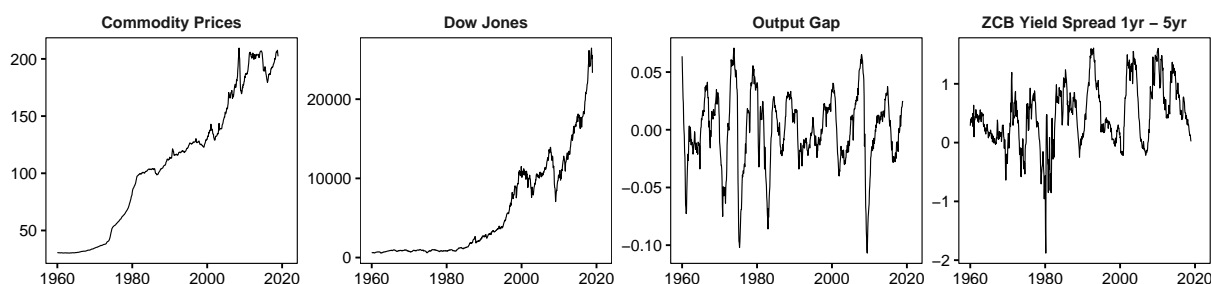
I ovenstående afsnit er der således opstillet en SVAR(13)-model, hvor problematikken omkring *Price Puzzle* er illustreret. IRF's fra SVAR-modellen skitserer således, at et kontraktivt pengepolitiske stød har en positiv effekt på det fremtidige inflationsniveau. Ydermere kan det konkluderes, at denne konklusion ikke ændres nævneværdigt ved andre ordninger af modellens variable. Ses der på de akkumulerede effekter af den kontraktive pengepolitik, så kan det her udledes, at en forhøjelse af renten på ca. 0,45%-point bevirker en stigning i inflationsniveauet på omkring 0,5-0,6%-point efter en periode på fire år.

¹Granger-kausalitet er en tidsafhængig sammenhæng. Hvis man modtager en fødselsdagskage dagen før sin fødselsdag hvert år vil en test vise at kagen granger-kauserer fødselsdagen, men det er ikke det vi normalt forstår ved kausalitet, derfor begrebet "Granger-kausalitet"

4.2 Udvidede SVAR-modeller

I det følgende afsnit vil vi med udgangspunkt i variabelbeskrivelsen fra dataafsnittet skiftevis inkludere en yderligere variabel i vores benchmark SVAR-model. Variablene inkluderes i et forsøg på at håndtere problematikken omkring *Price Puzzle*. Med udgangspunkt i de beskrevne variable vil der blive opstillet fire forskellige SVAR-modeller, og disse vil enkeltvis blive sammenlignet med benchmarkmodellen for at afgøre, om disse nye modeller er i stand til at håndtere *Price Puzzle*.

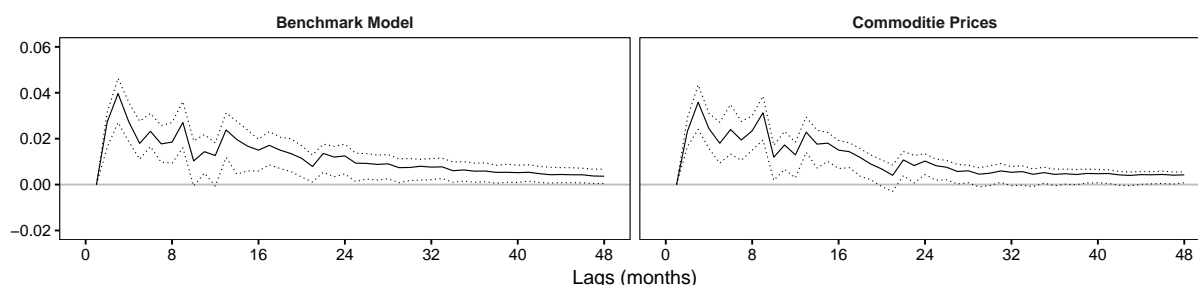
Figur 4.4 Ekstra variable



4.2.1 Råvarepriser

I den første udvidede SVAR-model inkluderes råvarepriser. SVAR-modellen får derfor følgende variabelordning [INFL, Råvarepriser, PROD, FFR]. Råvarepriserne indeholder en stokastisk trend, og derfor skal denne differenses for at blive stationær. AIC-kriteriet anbefaler fortsat at anvende 13 lags i denne SVAR-model, hvilket ligeledes forbedre sammenligningsgrundlaget ift. benchmarkmodellen. På figur 4.5 er IRF for benchmarkmodellen og denne udvidede model skitseret. Her kan det udledes, at inkluderingen af råvarepriser ikke er i stand til at håndtere *Price Puzzle*, da det kontraktive pengepolitiske stød fortsat har en positivt effekt på inflationsudviklingen. Hvis der sammenlignes med benchmarkmodellen, så er IRF næsten identiske, dog er den akkumulerede effekt en anelse højere i benchmarkmodellen, hvor inflationen over en 4-årig periode stiger med ca. 0,6%-point, hvorimod den akkumulerede effekt i denne udvidede model er 0,5%-point. Denne konklusionen er ligeledes kontrolleret for variabelordningen, og denne har ikke en signifikant betydning for forløbet.

Figur 4.5 Sammenligning med råvarepriser

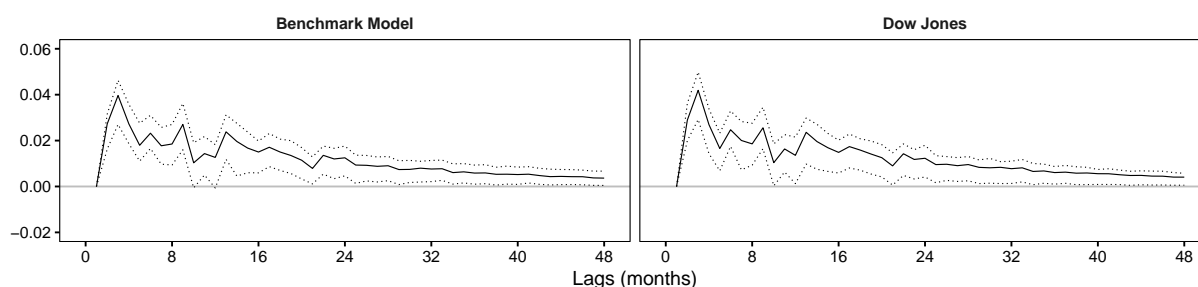


Note: IRF for benchmarkmodellen og modellen med råvarepriser. IRF er skitseret med 68%-konfidensintervaller.

4.2.2 Aktieindeks - Dow Jones

I denne model inkluderes aktieprisindekset Dow Jones, og SVAR-modellen får derfor følgende variabelordning [INFL, Dow Jones, PROD, FFR]. INFL er således den mest eksogene variabel, hvorimod FFR er den mest endogene. På baggrund af en ADF-test kan det konkluderes, at tidsserien for Dow Jones indekset også indeholder en stokastisk trend, og derfor tages differensen ligeledes til denne tidsserie for at gøre den stationær. I denne model anvendes ligeledes 13 lags for at sikre et konsistent sammenligningsgrundlag på trods af, at AIC-kriteriet i dette tilfælde blot anbefaler 10 lags. Når der arbejdes med tidsserier opgjort på månedlig basis, så er der imidlertid et stærkt argument for at benytte 13 lags for at tage højde for sæsonbetingede udsving. Sammenlignes IRF fra denne model med benchmarkmodellen, så kan det konkluderes at inkluderingen af Dow Jones indekset ikke ændrer forløbet af denne specielt, se figur 4.6. Den akkumulerede effekt af IRF ved inkluderingen af Dow Jones adskiller sig ikke fra benchmarkmodellens, hvor den akkumulerede effekt i begge modeller bliver 0,6%-point på inflationsudviklingen. Derudover er *Price Puzzle* stadig til stede i denne model, hvilket muligvis skyldes at denne variabel ikke har en dokumenteret effekt herpå. Variablen blev introduceret på baggrund af hypotesen om at aktieprisindeks indeholder nogle fundamentale forhold i økonomien, og dermed som proxy for den fremtidige forventning til den økonomiske udvikling. Den illustrerede IRF for SVAR-modellen med Dow Jones er uafhængig af variabelordningen, da resultaterne er identiske for alle mulige variabelkombinationer.

Figur 4.6 Sammenligning med Dow Jones



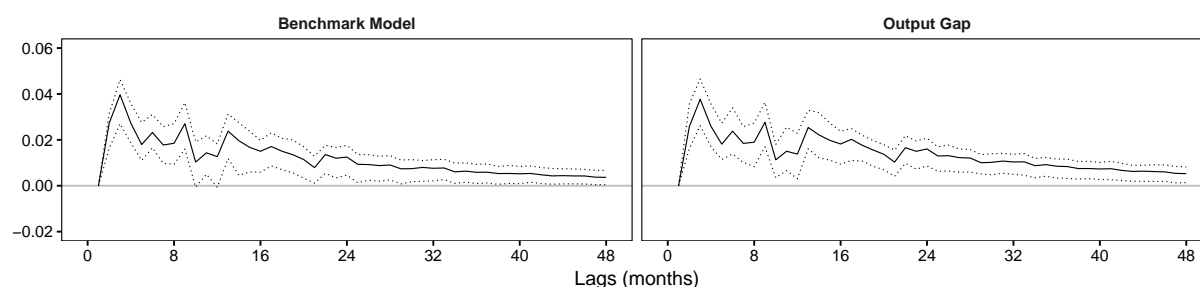
Note: IRF for benchmarkmodellen og modellen med Dow Jones. IRF er skitseret med 68%-konfidensintervaller.

4.2.3 Outputgab

Den tredje udvidede SVAR-model opstilles med inkluderingen af outputgabet, men denne indeholder kun 3 variable ligesom benchmarkmodellen. Dette skyldes konstruktionen af outputgabet, som er baseret på PROD og derfor kan begge variable ikke inkluderes i den samme SVAR-model, da disse har en stærk sammenhæng. Variabelordningen i denne model bliver således [INFL, Outputgab, FFR], hvor der stadig inkluderes 13 lags jf. månedligt data og sæsonbetingede udsving. Ved at foretage en test af lag-længden på dette datagrundlag anbefaler AIC-kriteriet 15 lags, men dette ses der bort fra, da der ønskes et stærkt samligningselementet med benchmarkmodellen. I forbindelse med konstruktionen af outputgabet er tidsserien automatisk stationær, da denne består af de cykliske afvigelser fra trenden. Ses der på IRF fra både benchmarkmodellen og denne SVAR-model, så er disse stortset identiske. Dog er SVAR-modellens IRF en anelse højere, hvilket er illustreret i figur 4.7. Denne konklusion ændres ikke ved en anden variabelordning, og *Price Puzzle* er stadig til stede i modellen. Sammenlignes de akkumulerede effekter mellem de to modeller, så løser benchmarkmodellen

Price Puzzle bedre end SVAR-modellen, da effekten er på henholdsvis 0,6%-point og 0,7%-point på inflationsudviklingen.

Figur 4.7 Sammenligning med outputgab

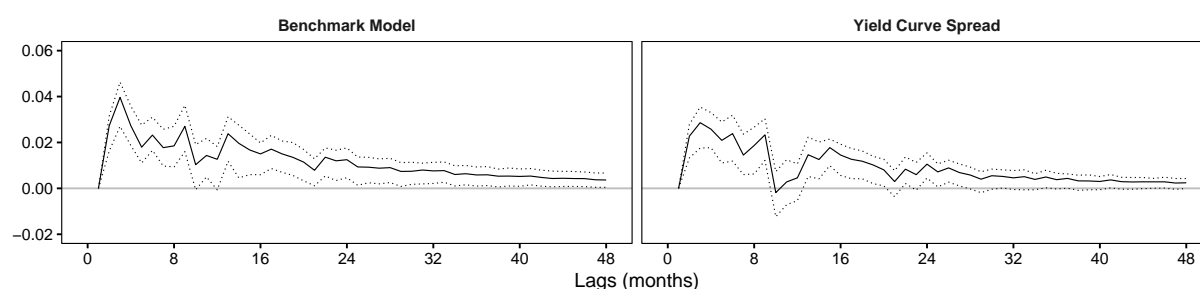


Note: IRF for benchmarkmodellen og modellen med outputgab. IRF er skitseret med 68%-konfidensintervaller.

4.2.4 Rentespænd

Denne udvidede model introducerer en tidsserie for rentespændet mellem en 5- og 2-årig amerikansk nulkupon obligation, og variabelordningen i denne model er derfor følgende [INFL, Rentespænd, PROD, FFR]. ADF-testen for denne variabel konkluderer, at denne tidsserie er stationær, hvorfor denne ikke transformeres. Modellen er desuden fortsat estimeret med 13 lags grundet anbefalinger fra AIC-kriteriet og ønsket om et konsistent sammenligningsgrundlag modellerne imellem. IRF for denne model er sammen med benchmarkmodellen illustreret på figur 4.8. På denne figur kan det ses, at *Price Puzzle* fortsat optræder, men at den positive inflationsudvikling reduceres en smule ved inkluderingen af rentespændet. Den akkumulerede effekt af den kontraktive pengepolitik på inflationsudviklingen over en 4-årig periode er således ca. 0,4%-point i denne model sammenlignet med de 0,6%-point fra benchmarkmodellen. Denne model er således i stand til at reducere problematikken omkring *Price Puzzle* uden helt at fjerne denne. Ydermere kan det konkluderes, at der er enkelte perioder, hvor IRF ikke er signifikant, når der anvendes et relativt smalt konfidensinterval på 68%. På samme måde som i ovenstående modeller ændres konklusionerne ikke nævneværdigt, når variabelordningen i modellen ændres.

Figur 4.8 Sammenligning med rentespænd



Note: IRF for benchmarkmodellen og modellen med rentespænd. IRF er skitseret med 68%-konfidensintervaller.

4.2.5 Opsamling

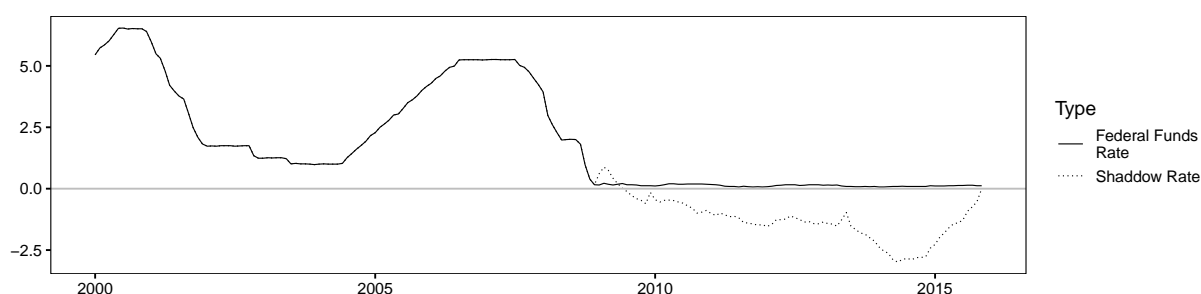
På baggrund af ovenstående gennemgang af de udvidede SVAR-modeller kan det konkluderes, at ingen af ovenstående modeller er i stand til at håndtere problematikken omkring *Price Puzzle*. På trods af at anvendelsen af rentespændet ikke er dokumenteret i litteraturen, så er

det alligevel inkluderingen af denne variabel, som viser den mindste grad af *Price Puzzle*. I modsætning hertil er det måske en anelse overraskende at inkluderingen af outputgab blot forværre problematikken omkring *Price Puzzle*, da denne flere steder i litteraturen præsenteres som et muligt løsningsforslag. I forlængelse heraf er det ligeledes overraskende at brugen af råvarepriserne ikke reducerer *Price Puzzle* nævneværdigt, da inkluderingen af råvarepriserne ellers er en ofte anvendt variabel i håndteringen af denne. Ved at inkludere aktieindekset Dow Jones, ses der ikke nogen effekt ift. benchmarkmodellen, hvilket gør denne variabel irrelevant i et *Price Puzzle* perspektiv.

4.3 Shadow-rate SVAR-model

En udfordring ved at basere en SVAR-model på centralbankrenten er *Zero Lower Bound*. Efter finanskrisen i 07-08 sænkede FED de korte renter til 0%, hvor den blev indtil omkring 2017. På trods af denne begrænsning af den konventionel pengepolitik var den stadig af ekspansiv karakter, dog skete det gennem en anden kanal. FED førte en aktiv markedsintervention, hvor de foretog store opkøb af værdipapirer, primært statsobligationer. Denne strategi er i litteraturen omtalt som ukonventionel pengepolitik, hvor formålet er at presse de lange renter ned og den vej igennem stimulere økonomien, da de korte renter ikke kan sænkes yderligere grundet *Zero Lower Bound*.

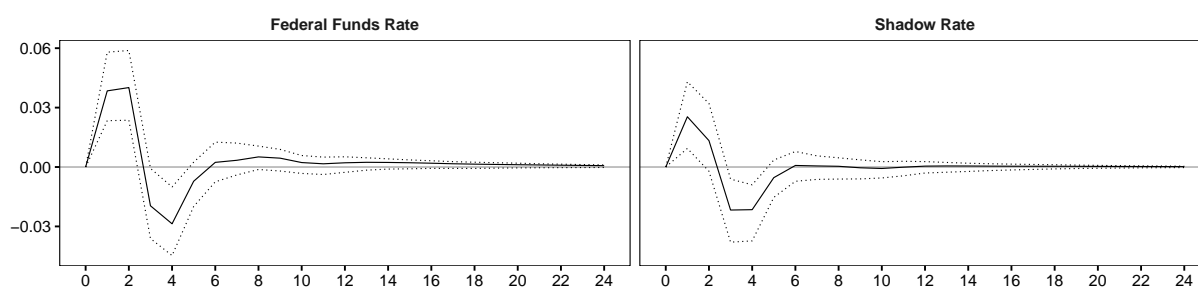
Figur 4.9 Federal Funds Rate og Shadow-rate



Note: Data for Shadow-rate går kun indtil 2015:12.

Effekten af denne ekspansive pengepolitik gennem ukonventionelle tiltag kan imidlertid ikke aflæses i FFR, men den påvirker stadig den resterende rentestruktur som ikke har ramt *Zero Lower Bound*. Derfor er FFR ikke tilstrækkelig i den praktiske modellering af denne periode, og (Gill, 2017) har derfor foreslået en såkaldt Shadow-rate (SHA) som afspejler den reelle pengepolitik der er blevet ført ved at tillade FFR at blive negativ. Dette skal dog forstås i en modelmæssig sammenhæng, da SHA ikke skal tolkes som den "virkelige" rente, men udenlukkende en variabel som bruges i økonomiske modeller. De to renter kan ses af figur 4.9. De følges ad indtil 2009, hvorefter de divergerer.

Når SHA inkluderes i SVAR-modellen begrænses perioden til 2000:01-2015:12. Denne begrænsning af perioden foretages for at undgå at effekten ved negative værdier af FFR forsvinder over den 60-årige periode, som dataserien strækker sig over. På baggrund af figur 4.10 kan det udledes at inkluderingen af SHA er i stand til at håndtere *Price Puzzle* i væsentlige bedre grad end de tidligere opstillede modeller. Den akkumulerede effekt i modellen med inkluderingen af SHA viser en svag negativ inflationsudvikling, hvilket i højere grad stemmer overens med de teoretiske argumenter, og dette adskiller sig ligeledes fra konklusionerne i

Figur 4.10 IRF af inflation fra stød i FFR og SHA - 2000:01-2015:12

Note: Sammenlignet med de andre IRF af inflation er denne noget anderledes, dette skyldes den ændrede periode.

de tidligere modeller. En stor del af denne forbedring skal dog sandsynligvis tilskrives den begrænsede periode, da SVAR-modellen med FFR ligeledes viser en mindre grad af *Price Puzzle*. På trods af at reduktionen af *Price Puzzle* overvejende er historisk betinget, så er det vigtigt at tage højde for scenariet med *Zero Lower Bound*, når effekten af pengepolitikken undersøges.

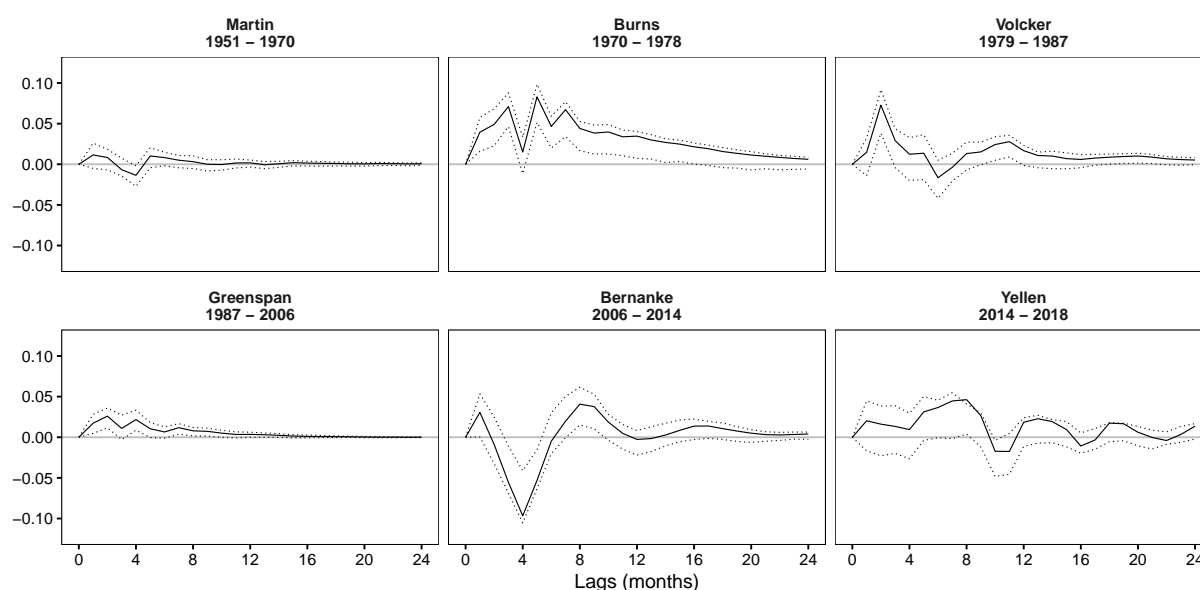
4.4 Pengepolitiske regimer

I teoriafsnittet blev det præsenteret at *Price Puzzle* muligvis er historisk betinget, hvor der specielt henvises til perioden 1959-1979. Derudover blevet det pointeret, at problemet med *Price Puzzle* kan opstå, hvis der ikke tages hensyn til strukturelle skift i den førte pengepolitik. Dette afsnit vil derfor undersøge betydningen af strukturelle skift ved at opdele tidsperioden efter de amerikanske nationalbankdirektører.

De estimerede SVAR-modeller er baseret på data, som strækker sig over en 60-årig periode. Igennem denne 60-årige periode har der været forskellige pengepolitiske regimer, og derfor kan der være en udfordring ved at estimere koefficienter baseret på hele perioden, hvor der ikke tages hensyn til strukturelle skift. For at tage hensyn til dette udregnes IRF for nogle opstillede perioder som følger nationalbankdirektøren for FED, hvor William Miller ikke er medtaget eftersom han kun sad et år fra 1978-1979. Derudover er den nuværende nationalbankdirektør, Jerome Powell, heller ikke medtaget eftersom han endnu kun har haft posten i et år. Af figur 4.11 kan det konkluderes, at der er stor forskel på IRF over perioderne. Perioden for Yellen er dog meget kort på kun 4 år, og derfor skal man være varsom med konklusionerne i denne periode. Det er dog interessant, at Bernanke som den eneste har en signifikant og stor effekt på at sænke inflationen ved en kontraktiv pengepolitik.

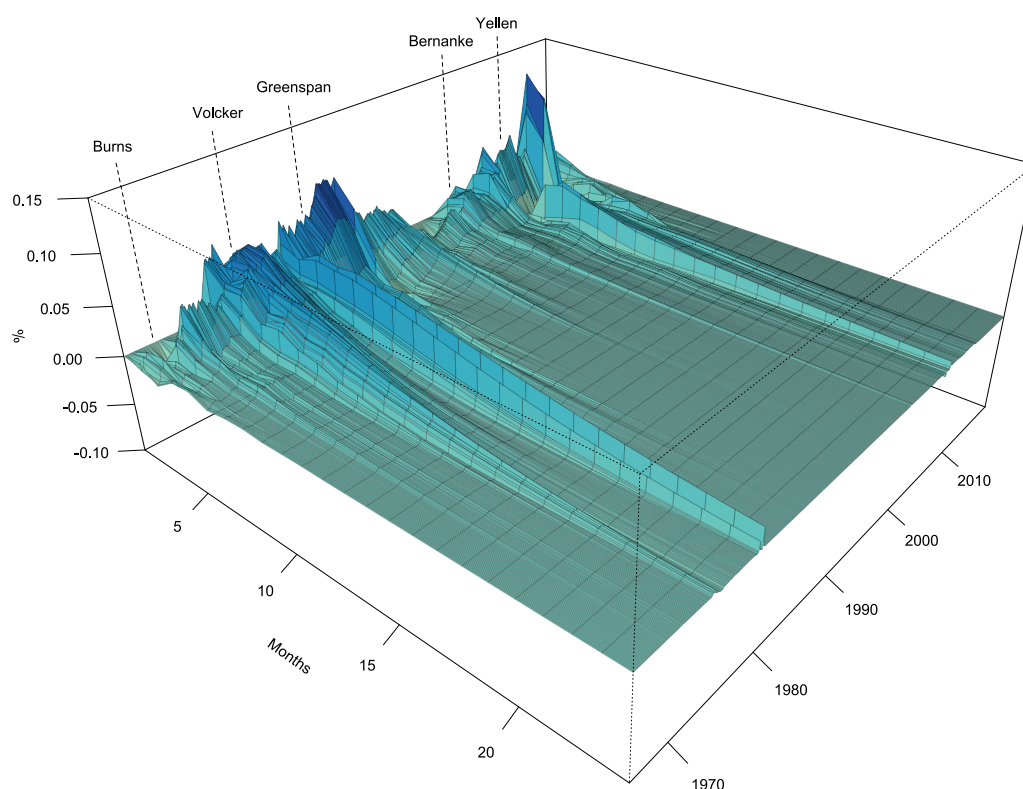
Den historiske udvikling der har været i inflationens respons på en kontraktiv pengepolitik kan også udledes af figur 4.11. Det ses at der i 70'erne og 80'erne var en meget positiv respons på kontraktiv pengepolitik. I perioden med Bernanke er den observerede respons derimod mere teoretisk konsistent, dog kan der være nogle empiriske udfordringer da denne periode bl.a. indeholder Finanskrisen samt at renten ramte *Zero Lower Bound*.

Den udvikling der har været i inflationens respons på en kontraktiv pengepolitik ses også i figur 4.12. Her er IRF udregnet for en løbende 6-årig periode. Modellerne er SVAR(2) eftersom det er hvad BIC foreslår for hele perioden. Det ses at der i 70'erne og 80'erne var en meget positiv respons af kontraktiv pengepolitik, men at der siden, og specielt under Bernanke er den forventede respons. Der ses også et spike omkring krisen i 2009. Dette skyldes til dels *Zero Lower*

Figur 4.11 Strukturelle skift

Note: Alle modeller er estimeret som SVAR(5). Dette er for nemmere sammenlignelighed samt konsistens.

Bound som vist i forrige afsnit. I forhold til centralbankformændene på plottet er det vigtigt at huske, at der hvor perioden begynder, den stiplede linje, er sidste måned i VAR modellen, og denne vil derfor været baseret på 1 måned af deres politik og 71 af forgængeren, så ændringer tager tid at slå igennem.

Figur 4.12 5-årig SVAR(2) løbende i perioden 1960:02-2018:12

Note: SVAR(2)-modellen er estimeret på de foregående 6 år, dermed vil grafen i 1966 dække over 1960-1966.

4.5 FAVAR-model

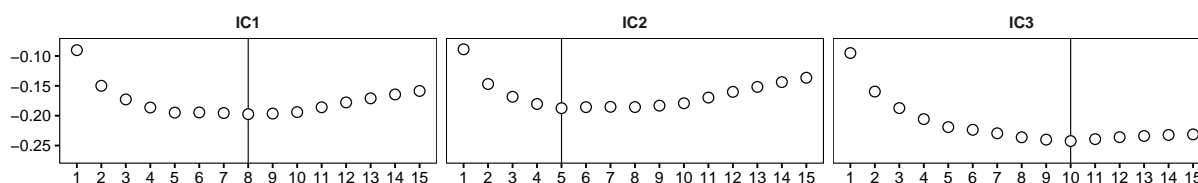
Ovenstående SVAR-modeller var ikke i stand til at håndtere *Price Puzzle*, men et alternativ til disse traditionelle SVAR-modeller er en FAVAR-model. I det følgende afsnit vil metoden bag konstruktionen af en FAVAR-model blive præsenteret samt konklusionerne fra denne model.

Den opstillede FAVAR-model tager udgangspunkt i de 96 tidsserier, som kort er beskrevet i kapitel 3, og disse tidsserier er efterfølgende standardiseret og transformeret for at kunne indgå i FAVAR-modellen. FAVAR-modellerne anvendes grundlæggende for at imødekomme problematikken omkring antallet af frihedsgrader og samtidig fastholde den information, som et datasæt med mange variable vil indeholde.

4.5.1 Antal af faktorer

I opbygningen af FAVAR-modellen udtrækkes et antal faktorer, som skal repræsentere de underliggende latente variable. Et centralt spørgsmål er i denne forbindelse, hvor mange faktorer der er tilstrækkelige til at afspejle hele datasættet. Man kan hertil anvende et sæt informationskriterier beskrevet af (Bai, 2002). På figur 4.13 illustreres det anbefalede valg af faktorer med udgangspunkt i disse tre kriterier. Disse kriterier foreslår hhv. 8, 5 og 10 faktorer. På denne baggrund vælges der at arbejde videre med 8 faktorer, da man hermed kan forklare en relativt stor del af variationen i datasættet og samtidig undgår en overparametriseret model.

Figur 4.13 Antal faktorer - Informationskriterier



Note: Informationskriterierne efter Bai, J. & Ng, S. (2002).

Anvendes en Principal Component Analysis (PCA) med 8 faktorer er FAVAR-modellen overordnet set i stand til at forklare 46.9% af variationen i de 96 variable. Dette fremgår af tabel 4.6, hvor de enkelte faktorer forklaringskraft ligeledes er illustreret. Den samlede forklaringskraft af de 8 faktorer kan umiddelbart virke lav, men dette må betegnes som et tilfredsstillende resultat, da det er tæt på resultatet i (McCracken, 2014) som finder at de første 8 faktorer kan forklare 47.7%. Der er i denne forbindelse tre grundlæggende årsager til resultaterne ikke er helt identiske. For det første er de variable der har manglende observationer i løbet af perioden blevet fjernet. Derudover anvender (McCracken, 2014) 5 finansielle tidsserier som ikke er offentligt tilgængelige. Ydermere baseres transformationer i projektets FAVAR-model på funktionen `auto.arima` i R, og disse er en anelse anderledes end de angivne transformationer i (McCracken, 2014). Derudover foreslår (McCracken, 2014) bl.a. at fjerne alle outliers som ligger 5-10 IQR fra medianen, hvor man efterfølgende kan beregne det manglende data med en EM-algoritme. På denne måde undgår man at "fejl" i data påvirker resultatet. Det er dog altid en diskussion, om det giver bias i modellen, når man fjerner outliers.

Tabel 4.6 PCA - Total variansforklaring

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
SD	3.5116	2.9446	2.5090	2.1341	1.9464	1.7622	1.7231	1.6869
Proportion	0.1297	0.0912	0.0662	0.0479	0.0398	0.0327	0.0312	0.0299
Cumulative	0.1297	0.2209	0.2872	0.3351	0.3749	0.4076	0.4388	0.4688

4.5.2 Faktor loadings

Under anvendelse af PCA og FAVAR-modeller er det almindelig praksis at rapportere såkaldte *faktor loadings*. Disse *faktor loadings* illustrerer, hvilke variable der bidrager mest til hver af de 8 faktorer i modellen, som kan ses i tabel 4.7. Man kan her se at den første faktor, som beskriver 13% af variationen i variablene omhandler produktion, og denne faktor er derfor sandsynligvis en god proxy for økonomiens output. I den anden faktor er det prisindeks der ligger i top, og denne fungerer derfor som en proxy for inflationsudviklingen. Det er afgørende at have kendskab til disse *faktor loadings* eftersom variabelordningen er afgørende i en rekursiv identifikation. I den forbindelse kan man forsøge at arrangere faktorerne efter deres eksogenitetsniveau, hvilket netop er tilfældet i (Bernanke et al., 2005), hvor variablene inddeles i langsomt- og hurtigtreagerende faktorer.

Tabel 4.7 PCA - Top 6 factor loadings

	kode	PC1	kode	PC2	kode	PC3	kode	PC4
1	IPMANS	3.30	CUSR00	4.56	T10YFF	6.00	GS5	7.05
2	INDPRO	3.16	CPIAUC	4.55	AAAFFM	5.99	GS1	6.92
3	IPFPNS	3.09	CUSR00	4.55	T5YFFM	5.88	GS10	6.81
4	CUMFNS	3.03	CUSR00	4.53	BAAFFM	5.76	TB6MS	6.48
5	IPDMAT	2.92	DNDGRG	4.52	FEDFUN	5.53	TB3MS	5.91
6	USGOOD	2.87	CPITRN	4.47	TB6SMF	5.23	TB6SMF	4.10
	kode	PC5	kode	PC6	kode	PC7	kode	PC8
1	UEMP15	4.51	HOUST	3.71	M2REAL	3.32	M2SL	6.48
2	UEMP27	4.24	IPB512	3.54	WPSID6	3.20	MZMSL	5.40
3	USTPU	3.98	HOUSTM	2.91	PCEPI	2.57	M1SL	4.60
4	PAYEMS	3.89	W875RX	2.88	M2SL	2.51	M2REAL	3.89
5	SRVPRD	3.73	RPI	2.68	CES060	2.48	INVEST	3.44
6	IPCONG	3.29	IPNCON	2.59	HOUST	2.44	BUSLOA	2.75

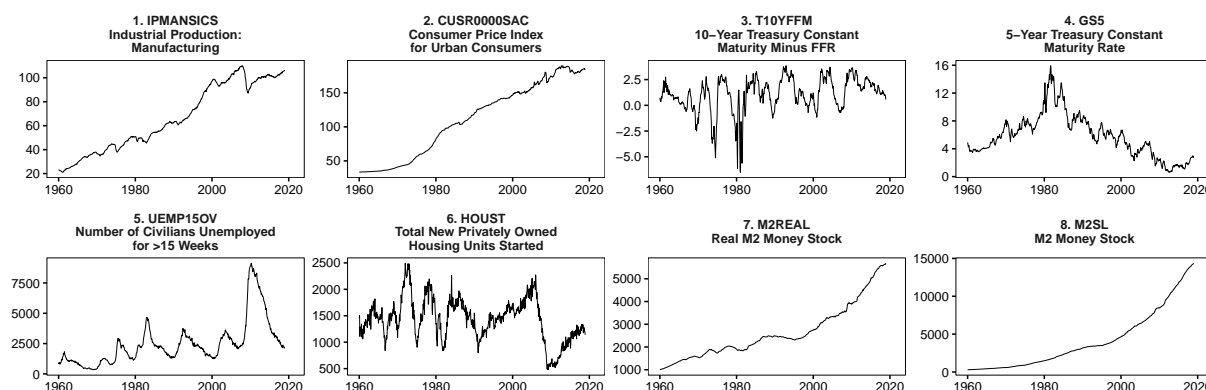
Note: Tabellen viser variabelenes bidrag i procent for hver faktor. Kun de første 6 bogstaver af koden er vist.

Hver af de 8 faktorer repræsenterer således alle tidsserier fra datasættet, men de *faktor loadings* der kan forklare den største del af den pågældende faktor giver en fornemmelse af det forløb, som den enkelte faktor repræsenterer. Den variabel der kan forklare den største andel af de enkelte faktorer er derfor skitseret herunder på figur 4.14. På baggrund af figuren kan det bl.a. ses, at faktor 5 bedst repræsenteres af tidsserier der omhandler arbejdsløshed. Ydermere kan det udledes at faktor 3 og 4 bedst forklares med tidsserier over forskellige renteutviklinger.

4.5.3 Respons af stød til FFR

FAVAR-modellen opbygges med en helt simpel ordning af variablene, hvor inflationen er den mest eksogene, hvorimod FFR påvirkes af alle andre variable. Variabelordningen bliver derfor

Figur 4.14 Top loading variable

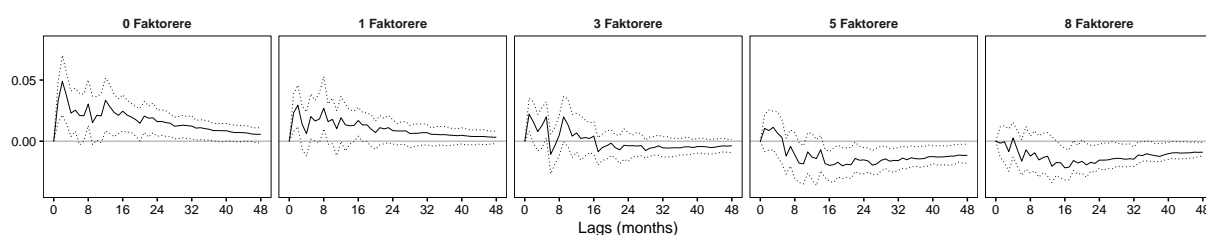


Note: De resterende variable kan ses i appendiks.

[INFL, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6, PC7, PC8, FFR]. Denne rækkefølge kan naturligvis ændres så faktorerne i stedet placeres i forhold til hvilke variable de bedst repræsenteres af jf. diskussionen omkring *faktor loadings*.

På figur 4.15 ses resultatet ved gradvist at tilføje flere faktorer til modellen. I første plot ses den IRF som kun består af [INFL, FFR], hvor problematikken med *Price Puzzle* er tydelig. Denne reduceres imidlertid betydeligt, når der tilføjes flere faktorer. Dette skyldes at der tilføjes yderligere information til modellen, hvilket hjælper med at præcisere støddet. Ved tilføjelsen af 5 faktorer bliver effekten klart negativ efter ca. 5 måneder. Ved inkluderingen af 8 faktorer er problematikken omkring *Price Puzzle* dog ikke længere tilstede, da effekten af et kontraktivt pengepolitisk stød på inflationsudviklingen allerede er negativ efter 1 måned. Det kan således udledes, at ved at tilføje af yderligere information til modellen, kan *Price Puzzle* håndteres, og der skabes dermed en konsistens mellem de empiriske resultater og den økonomiske teori.

Figur 4.15 Ekstra faktorer i FAVAR(13)



4.5.4 Opsamling

I ovenstående afsnit blev FAVAR-modellen opstillet og behandlet. FAVAR-modellen anvender 8 faktorer, og disse faktorer er i stand til at forklare 46.9% af variationen i de 96 tidsserier, som danner udgangspunkt for modellen. Ydermere blev de såkaldt *Top loading factors* skitseret, og disse anvendes i modelarbejdet til at give en fornemmelse af forløbet af de enkelte faktorer. På baggrund af denne gennemgang af FAVAR-modellen kan det udledes, at den opstillede FAVAR-model med 8 faktorer er i stand til at udkonkurrere de traditionelle SVAR-modeller, da FAVAR-modellen er i stand til at håndtere problematikken omkring *Price Puzzle*. Den akkumulerede effekt af den kontraktive pengepolitik er således i FAVAR-modellen klart negativ, hvilket stemmer overens med de traditionelle makroøkonomiske argumenter.

4.6 Forecast af modeller

Udover at håndtere problematikken omkring *Price Puzzle*, så er formålet med at opstille disse økonometriske modeller at undersøge de pengepolitiske transmissionsmekanismer. Til denne undersøgelse ønskes den bedst mulige model. Problemet i denne forbindelse er imidlertid, at modellerne ikke direkte kan sammenlignes. Et mål for modellernes performance er dog typisk deres evne til at forecaste. En standard metodologi er at forecaste et såkaldt *Expanding Window*. Dette foregår ved at modellen estimeres på baggrund af de første ca. 45 år, og derefter anvendes modellen til at forecaste n -perioder frem. Herefter udvider man modellen med de reelle værdier for disse ekstra perioder og forecaste de næste n -perioder. På baggrund af alle disse forecasts udregnes efterfølgende en Mean Squared Error (MSE) som er et mål for hvor godt forecastet er. Derudover anvendes en Diebold Mariano test (DM-test) for at sammenligne forecastet med en random walk (RW).

I denne sammenligning inkluderes 3 ekstra modeller. Først inkluderes en mean model (MM) som ofte giver gode resultater i forecasts, en autoregresiv model (AR) med et lag som ligeledes ofte giver gode resultater, samt en autoregresiv model med en moving average komponent (ARMA). ARMA-modellen estimeres af ordenen (5,1) som er forslaget fra `auto.arima`-funktionen i R.

Tabel 4.8 Expanding window 1-periode

	Std	Bias	MSE	RMSE	Sign	DM statistic	DM p-value
RW	31.832	-0.017	0.110	0.331	72.024		
MM	2.831	-15.742	0.125	0.353	78.571	-0.511	0.695
AR(1)	20.496	-5.767	0.087	0.295	79.762	3.030	0.001
ARMA(5,1)	14.312	-1.734	0.091	0.302	76.191	2.462	0.007
VAR(13)	16.291	0.285	0.098	0.314	75.595	1.335	0.092
spVAR(13)	16.922	-1.049	0.100	0.316	76.786	1.163	0.123
FAVAR(1)	19.707	1.700	0.095	0.308	76.786	2.115	0.018
FAVAR(13)	29.143	0.134	0.107	0.328	75.595	-0.022	0.509

Note: spVAR referer til SVAR modellen med [INFL, Rentespænd, PROD, FFR].

Tabel 4.9 Expanding window 12-perioder

	Std	Bias	MSE	RMSE	Sign	DM statistic	DM p-value
RW	32.816	-0.718	0.225	0.475	61.783		
MM	2.884	-16.812	0.120	0.346	78.981	3.876	0.000
AR(1)	2.883	-16.599	0.119	0.345	78.981	3.944	0.000
ARMA(5,1)	9.617	-5.153	0.106	0.326	75.796	6.341	0.000
VAR(13)	17.254	1.648	0.112	0.335	73.885	4.629	0.000
spVAR(13)	17.899	-3.090	0.114	0.338	76.433	4.481	0.000
FAVAR(1)	5.277	12.639	0.114	0.338	65.605	3.736	0.000
FAVAR(13)	17.854	-0.896	0.112	0.335	70.064	3.781	0.000

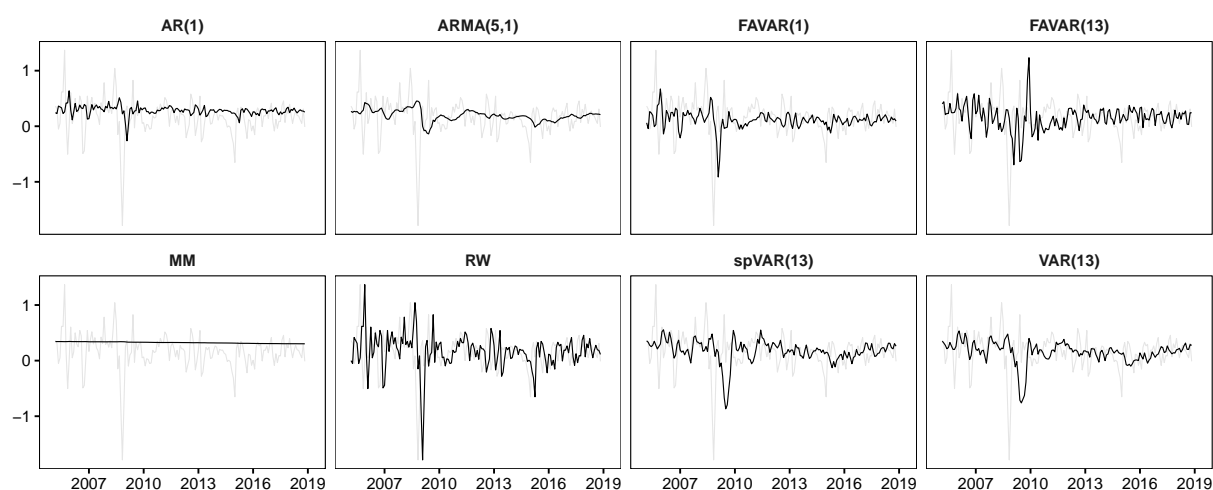
Note: spVAR referer til SVAR modellen med [INFL, Rentespænd, PROD, FFR].

På baggrund af tabel 4.8 ses det, at ved forecast af én periode giver AR(1)-modellen det mest præcise resultat. AR(1)-modellen har dog et noget større bias end de andre modeller. Umiddelbart vil man i stedet mene at FAVAR(13)-modellen præsterer bedre end AR(1)-modellen baseret på MSE og bias. Ifølge DM-testen så er FAVAR(13)-modellen dog ikke signifikant

forskellig fra en RW ².

Forecastes der i stedet 12-perioder, tabel 4.9, så giver FAVAR(13)-modellen det bedste forecast af inflationen. Derudover er alle modellerne signifikant forskellige fra RW-modellen. Denne kendsgerning illustrerer netop at de ekstra variable i FAVAR-modellen har betydning for dannelsen af den fremtidige inflationsudvikling. Forecastet kan også ses af figur 4.16 som viser de enkelte modellers forecast op mod inflationsudviklingen. Spørgsmålet er imidlertid, om modellernes evne til at forecaste nødvendigvis har noget at gøre med hvorvidt modellerne er i stand til at håndtere *Price Puzzle* samt afdække de pengepolitiske transmissionsmekanismer. Et eksempel herpå kunne være, at AR(1)-modellen foretrækkes i tabel 4.8, men denne model indeholder ikke tilstrækkelig information, hvis man netop er interesseret i at løse *Price Puzzle* og afdække de pengepolitiske transmissionsmekanismer. Denne diskussion behandles dog yderligere i kapitel 5.

Figur 4.16 Forecast af modellerne



Note: Plots af model forecast ved 12 periode frem, i grå ses inflationen.

4.7 De pengepolitiske transmissionsmekanismer

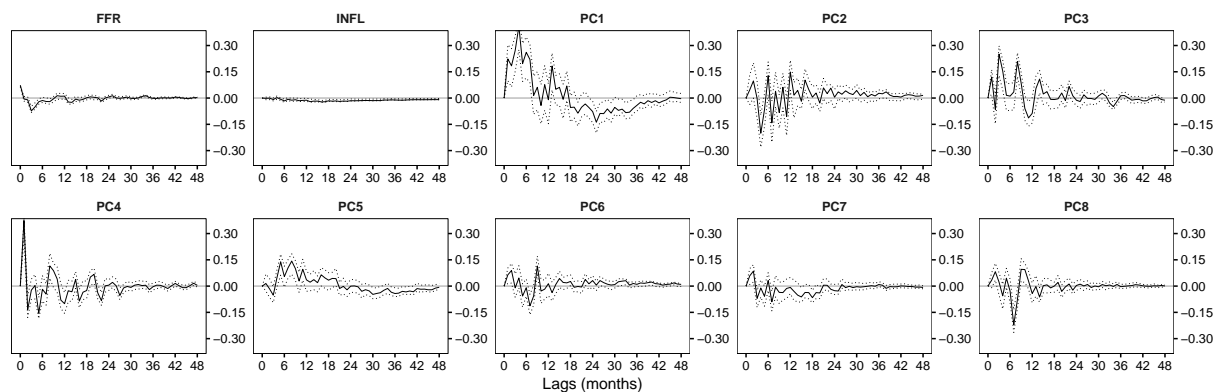
Den opstillede problemformulering inkluderer udover håndteringen af *Price Puzzle* også de pengepolitiske transmissionsmekanismer. De ovenstående afsnit har således behandlet, hvordan de opstillede økonometriske modeller har været i stand til at arbejde med *Price Puzzle* samt afslutningsvis udvalgt den model som bedst løser denne problematik. Valget faldt i den forbindelse på FAVAR(13)-modellen, og derfor bliver de pengepolitiske transmissionsmekanismer belyst i denne model.

Udfordringen ved FAVAR(13)-modellen ligger i dimensionsreduktionen af de inkluderede variable. Faktorerne skal således transformeres tilbage før det er muligt at undersøge effekten på de 96 inkluderede makroøkonomiske variable af et kontraktivt pengepolitisk stød. I arbejdet med PCA vil en del af variationen i dataet dog blive reduceret, hvorfor der mistes noget information jf. teori-afsnit 2.3.1. Når faktorerne skal transformeres tilbage vil den reducerede variation ikke blive genskabt, hvorfor man skal være opmærksom på dette i sine konklusioner.

²Om denne er signifikant vil muligvis ændre sig ved en anden simulering for RW

På figur 4.17 ses IRF af et kontraktivt stød i pengepolitikken på ca. 0,4% og her illustreres nødvendigheden af at foretage transformationen fra faktorer tilbage til de oprindelige variable, da det på denne figur kun er muligt at undersøge responsen for inflationsudviklingen.

Figur 4.17 IRF af FAVAR(13)



For at imødegå en del af problemet med mistet information, kan man se på, hvordan de inkluderede variable er korreleret med de enkelte faktorer. En høj korrelation vil således betyde at stødet i faktoren svarer til tilnærmelsesvis samme effekt i den pågældende variabel. Tidligere i projektet blev top *faktor loadings* præsenteret for hver af de 8 faktorer, se figur 4.14, hvorfor det er korrelationen mellem disse variable og faktorerne som ses i tabel 4.10. Her ses det f.eks. at den industrielle produktion (IPMANSICS) har en korrelation med PC1 på -88% og dermed vil IRF for PC1 klart afspejles i variabelen IPMANSICS, dog spejlvendt pga. fortegnet. Ligeledes har den 10-årige statsobligationsrente fratrullet FFR (T10YFFM) og den 5-årige statsobligationsrente en høj korrelation med henholdsvis PC3 og PC4 på 90% og 85%. Problemet med mistet information er størst i de lave korrelationer, hvorfor det særligt er transmissionsmekanismerne for disse variable, som man skal være opmærksom på i konklusionerne. Dette gælder for variable hvor korrelationerne på tværs af faktorerne er meget lave.

Tabel 4.10 Korrelationsmatrice mellem faktorer og top 8

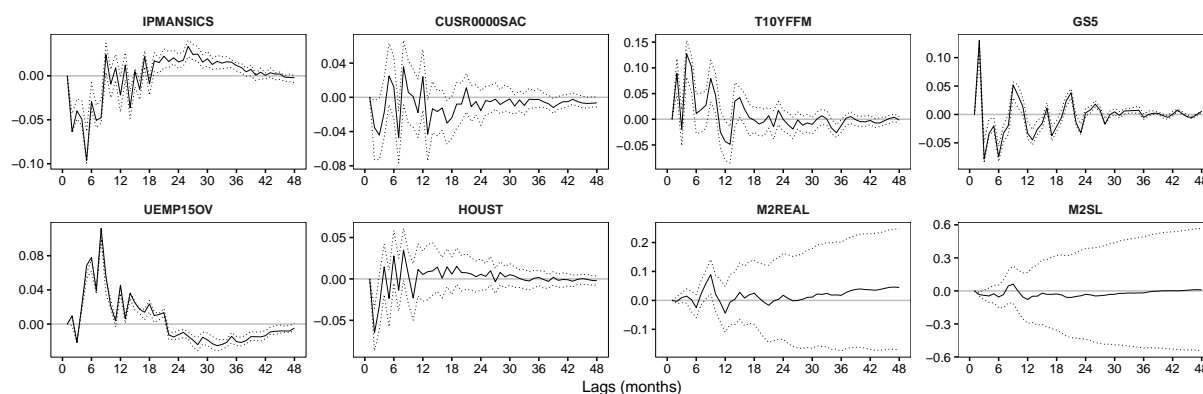
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
IPMANSICS	-0.88	0.17	0.21	-0.12	0.18	-0.01	0.01	-0.00
CUSR0000SAC	-0.26	-0.82	0.09	-0.05	0.05	-0.25	0.20	-0.00
T10YFFM	0.33	-0.09	0.90	0.14	-0.11	0.02	-0.06	0.03
GS5	-0.30	-0.14	0.01	0.85	0.05	-0.00	0.01	-0.06
UEMP15OV	0.41	-0.13	-0.05	0.03	0.58	-0.25	-0.27	-0.16
HOUST	-0.15	0.04	0.05	-0.19	-0.01	-0.30	-0.42	-0.02
M2REAL	0.11	0.59	0.11	-0.11	-0.13	-0.17	0.33	-0.51
M2SL	0.03	0.13	0.05	-0.18	-0.17	0.04	0.24	-0.78

Note: Diagonalen er markeret med fed, da det er den enkelte faktors korrelation med dens top loading variabel.

De 8 faktorer transformeres herefter tilbage til de 96 variable, som dannede grundlaget for PCA-metoden. Disse 8 faktorer forklarede 46,9% af variationen i hele datasættet, men med udgangspunkt i korrelationstabellen, 4.10, kan problemet med mistet information minimeres, og derfor er det muligt at beskrive transmissionsmekanismerne for den amerikanske pengepolitik. I figur 4.18 er IRF for top variabelen i hver faktor illustreret, mens IRF for de resterende 88

variable kan ses i appendiks, figur A.4 og A.5. IRF vil i denne sammenhæng vise effekten for hver enkelt variabel af et kontraktivt pengepolitisk stød. Modellens beskrivelse af de pengepolitiske transmissionsmekanismer vil herefter vurderes ved at sammenholde disse IRF med den grundlæggende økonomiske teori.

Figur 4.18 IRF - Rekonstruerede variable



Note: M2REAL og M2SL er $I(2)$ og tilbagetransformeret med cumsum, så resultatet tolkes som væksten i pengemængden.

Ser man i første omgang på variablen for den industrielle produktion (IPMANSICS) i figur 4.18, så kan det her udledes, at den industrielle produktion på kort sigt oplever de forventede negative effekter. Et kontraktivt pengepolitisk stød bevirker således, at finansieringsomkostningerne hos virksomhederne stiger. Dette medfører at den generelle omkostningsstruktur hos virksomhederne stiger, og en del af produktionen er således ikke længere økonomisk gunstig, hvorfor produktionen falder. Ydermere bevirker det stigende renteniveau, at alternativomkostningerne ved privatforbrug stiger, hvorfor man kunne forestille sig, at det private forbrug reduceres, hvilket ligeledes kan være medvirkende til at forklare den faldende produktionen. I forlængelse af dette fald i den industrielle produktion kan det udledes, at arbejdsløsheden stiger som konsekvens af den kontraktive pengepolitik. Den faldende produktion bevirker således, at efterspørgslen efter arbejdskraft falder, hvilket klart afspejles i arbejdsløshedsvariablen (UEMP15OV) i figur 4.18, som måler antallet af personer, der har været arbejdsløse i mere end 15 uger. Ydermere ses det at de private investeringer forventeligt svækkes. Figur 4.18 illustrerer således, at antallet af nye private boliger (HOUST) falder i de første fire måneder, hvorefter denne dog hurtigt stabiliseres. Det kan dog diskuteres hvorvidt antallet af nye private boliger er en god proxy for de private investeringer. Den teoretiske forklaring på faldet i de private investeringer vil dog være, at den kontraktive pengepolitik bevirker at investerings- og låneomkostningerne stiger grundet det højere renteniveau, og ligeledes presses den private investeringsdannelse sandsynligvis også af den stigende arbejdsløshed og faldende produktion. Denne negative indvirkning på produktionen, arbejdsløsheden og de private investeringer er medvirkende til at begrænse den overordnede økonomiske aktivitet, hvilket ultimativt kan forklare den faldende inflationsudvikling som modellen skitserer.

Den industrielle produktion begynder imidlertid at stige igen efter ca. 9 måneder, og denne udvikling kan muligvis forklares med det samtidige fald i inflationsudviklingen. Den kontraktive pengepolitik med den dertilhørende faldende inflation bevirker at konkurrenceevnen og dermed afsætningsvilkårene hos de amerikanske virksomheder forbedres overfor udlandet. Denne

sammenhæng kan være medvirkende til at den industrielle produktion efter 18 måneder har en positiv vækst i en længere periode. Denne stabilisering af produktionsniveauet afspejler sig ligeledes i arbejdsløsheden og de private investeringer, der ligeledes stabiliseres i samme periode.

Fokuseres der herefter på forbrugerprisindekset for råvarer (CUSR0000SAC) udviser denne ikke nogen entydig sammenhæng. Indledningsvis falder denne, hvilket er en naturlig konklusion eftersom inflationen ligeledes falder. Efterfølgende er det dog svært at sige noget entydigt om forløbet af IRF for denne variabel. Det samme gør sig gældende for IRF for de to rentevariable T10YFFM og GS5, som beskriver hhv. udviklingen i den 10-årige amerikanske statsobligationsrente fratrasket FFR og udviklingen i den 5-årige amerikanske statsobligationsrente. Udviklingen i disse to variable er vanskelig at forklare. Indledningsvis stiger disse grundet stigningen i den korte rente, men efterfølgende er tendensen mere uklar. Afslutningsvis skitseres udviklingen i den reale og nominelle M2-pengemængde. Faldet i den nominelle pengemængde kan sandsynligvis forklares med den lavere økonomiske aktivitet, og den mindre stigning i den reale pengemængde skyldes sandsynligvis det faldende inflationsniveau i modellen.

4.7.1 Opsamling

På baggrund af ovenstående gennemgang af de pengepolitiske transmissioner kan det konkluderes, at den kontraktive pengepolitik på kort sigt grundet de stigende låne- og investeringsomkostninger resulterer i et faldende produktions- og privat investeringsniveau samt en stigende arbejdsløshed. Denne udvikling bevirker at den samlede økonomiske aktivitet i økonomien falder, hvorfor løn- og inflationspresset falder. Alle disse empiriske konklusioner er således i overensstemmelse med traditionel makroøkonomisk teori, hvorimod effekterne af den kontraktive pengepolitik på M2-pengemængden og de lange renter er mere tvetydige.

Diskussion

I dette afsnit diskuteres problemstillingen omkring Price Puzzle. I forlængelse heraf diskuteres nogle af de centrale valg som er taget i projektet. Disse valg er afgørende for de konklusioner modellerne drager, og er derfor relevante at overveje. Derudover sammenlignes og diskuteres resultaterne med andre publikationer.

It is easy to lie with statistics; it is easier to lie without them - Frederick Mosteller

5.1 Er der et Price Puzzle?

I projektet blev det konkluderet, at det var en udfordring at justere for *Price Puzzle* ved brug af traditionelle SVAR-modeller. Et centralt spørgsmål i denne forbindelse er derfor, om *Price Puzzle* reelt er i modstrid med traditionel økonomisk teori. Et argument for at den effekt som observeres i virkeligheden ikke er så overraskende, omhandler at den kontraktive pengepolitik bevirker at virksomhedernes låneomkostninger stiger grundet de højere renter. En betydelig del af virksomhederne er således afhængige af ekstern finansiering og grundet de højere finansieringsomkostninger er virksomhederne nødsaget til at overføre en del af disse omkostninger til prisen på deres produkter, hvis de vil forsøge at opretholde den samme indkomst. Det er derfor muligt, at konklusionerne omkring *Price Puzzle* blot er udtryk for, at udbudskanalen i hvert fald på kort sigt dominerer efterspørgselskanalen. Efterspørgselskanalen indeholder i den forbindelse de velkendte argumenter om, at en kontraktiv pengepolitik bevirker stigende alternativomkostninger ved forbrug og øgede investeringsomkostninger for virksomhederne, hvilket er medvirkende til at begrænse efterspørgslen (privatforbrug og investeringer) og den generelle økonomiske aktivitet med faldende inflation til følge (Havráněk et al., 2011).

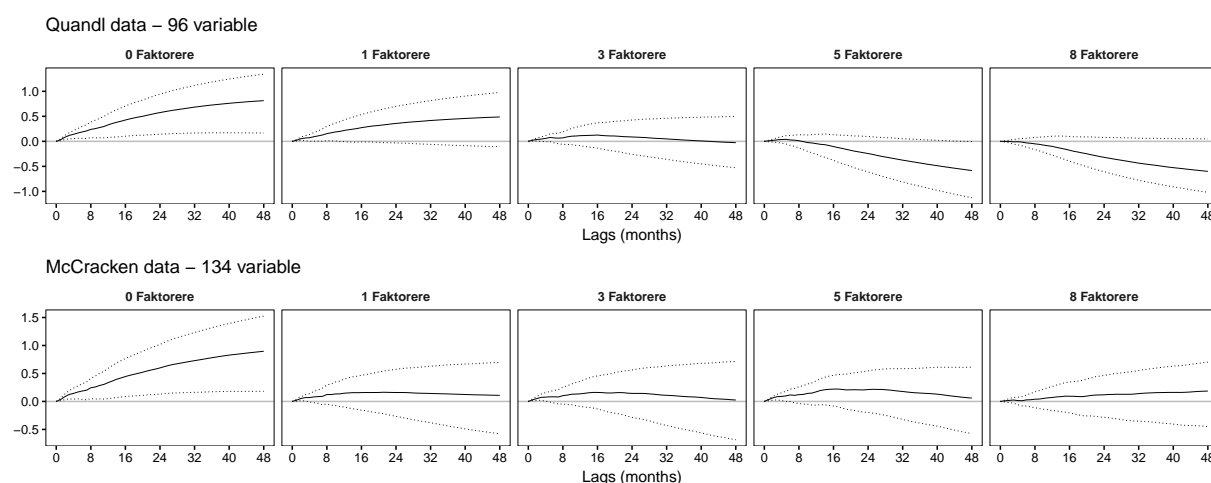
5.2 Datagrundlag for de makroøkonomiske faktorer

Et af de afgørende valg i FAVAR-modellen er valget af data. Vi anvender her en sikker fremgangsmåde ved at vælge, hvad andre forskere har inkluderet, herunder datasættet FRED-MD. Vi tager dog kun udgangspunkt i deres dataserier, og ikke deres seriejusteringer, transformationer samt håndteringen af outliers. Derudover har vi ikke API adgang til FRED-

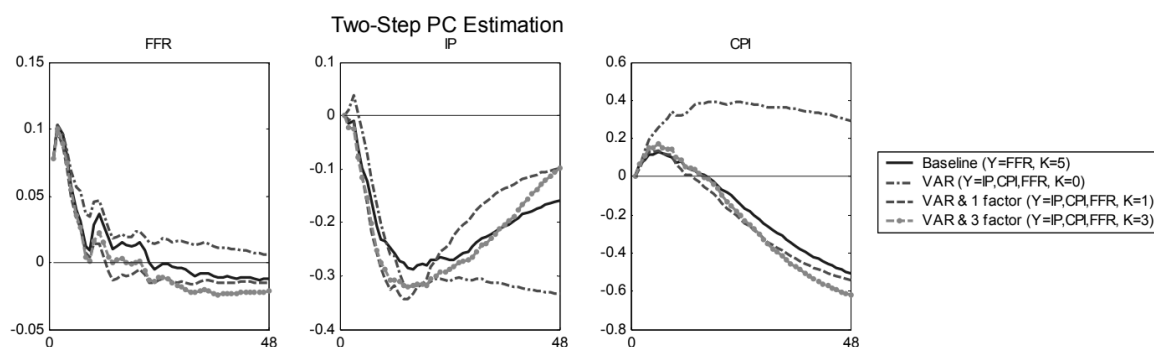
MD, men kun til de rå datatidserier. Der er ikke noget stærkt argument for, hvorfor vi har modelleret modellerne på den valgte måde udover reproducerbarhed. Fremgangsmåden har dog været inspireret af litteraturen og undervisningen i økonometri. Man kan argumentere for at anvendelsen af auto.arima er en ulempe, hvis der foretages uhensigtsmæssige eller teorimodstridende transformationer. Det kan dog også være en fordel da det giver en mere mekanisk transformation af serierne, hvilket fjerner valg for model-byggeren eftersom gode valg er baseret på informationskriterier og ikke mavefornemmelser.

Vi har lavet en hurtig sammenligning mellem projekts datasæt og datasættet brugt i (McCracken, 2014), som fremgår af figur 5.1. Her ses det, at projekts datasæt er væsentligt bedre til at håndtere *Price Puzzle*, selvom vi har fjernet en række tidsserier og beholdt outliers. Dette virker en anelse overraskende, da vores FAVAR-models resultater er meget lignende dem, som præsenteres i (Bernanke et al., 2005), se figur 5.2. Her bliver den akkumulerede effekt ligeledes klart negativ efter 48 lags, men viser en kortsigtede positiv effekt, *Price Puzzle*, som kun ses i FAVAR-modellerne med færre faktorer. Det opsigtsvækkende er at resultaterne i (McCracken, 2014) og (Bernanke et al., 2005) er meget forskellige, hvilket illustrerer betydningen af fremgangsmåde og datasæt.

Figur 5.1 Sammenligning - INFL med stød til FFR, akkumuleret



En af mulighederne til de modsatrettede resultater kan skyldes ordningen af faktorerne. Vi har i modellerne ikke ændret eller testet rækkefølgen af faktorerne. I artiklen fra (Bernanke et al., 2005) opdeles faktorerne efter hurtigt- og langsomtreagerende, hvilket er styrende for den rækkefølge, som faktorerne inkluderes i modellen. Dette giver sandsynligvis et andet resultat, men det er ikke noget, vi har forsøgt i projektet, da FAVAR(13)-modellen løser problematikken omkring *Price Puzzle*. En anden begrundelse for de forskellige IRF er perioden for estimeringen, hvor modellen i (Bernanke et al., 2005) er for 1959:01-2001:08, mens vi benytter 1959:01-2018:12 og (McCracken, 2014) en tredje periode. Det kan i den forbindelse påpeges at SVAR-modellens akkumulerede effekt i (Bernanke et al., 2005) ligeledes viser positive effekter på inflationsudviklingen, hvilket er det samme i vores benchmarkmodel. Trods forskelle i tidsperioden er resultaterne i dette projekt og (Bernanke et al., 2005) meget sammenfaldende.

Figur 5.2 Resultater fra FAVAR modellering i (Bernanke et al., 2005)

5.3 Model validitet

Hvad er en god model, og hvordan ved vi om modellen indfanger de mekanismer som vi forventer? En af udfordringerne er følgeslutninger i modellen ift. p-værdier (konfidensintervaller). Dette eftersom p-værdier tolkes som sandsynligheden for en given hypotese, men hvis man bruger p-værdierne til at lede efter hypoteser mister de deres tolkning. Et eksempel er, at hvis der ud af 100 effekter findes 5 signifikante p-værdier, samt de er signifikante på 5% signifikansniveau, kan disse resultater ikke tolkes som 5% chance for at det er tilfældigt, eftersom de er 5 ud af de 100 effekter der blev estimeret.

Det er derfor en udfordring når der træffes valg, for er disse valg truffet på baggrund af en start hypotese, eller en hypotese der udvikler sig gennem processen? I opbygningen af FAVAR-modellen træffes mange valg, og det er derfor vigtigt at disse ikke træffes på baggrund af hvad der giver de bedste resultater. Valgene skal holdes så objektive som muligt. De valg inkluderer:

- Periodevalg
- Transformationer
- Valg af variable
- Ordning af variable
- Antal af faktorer
- Størrelsen af konfidensintervallet

Valget af periode er sket ud fra tilgængeligheden af data, der er ikke god data før 1959, og der er mange tidsserier der har et lag i tilgængeligheden og derfor har vi kun medtaget indtil 2018:12. Transformationerne er valgt efter den mekaniske auto.arima. Variableerne er valgt ud fra FRED-MD og vi kender ikke til sammenlignelige datasæt. Det kan diskuteres, hvilke variable vi anvender, f.eks. kan man argumentere for at man skal anvende et inflationsmål uden energipriser. I forhold til ordningen af variable lægger vi os op af litteraturen, men i FAVAR modellen er de ordnet efter forklaringskraft, hvilket ikke giver økonomisk mening. Omkring antallet af faktorer har vi holdt os til informationskriterier, og omkring konfidensintervallet, hvor vi anvender 68%, holder vi os til standard proceduren indenfor litteraturen.

I analyseafsnittet inkluderede vi et afsnit med forecasting, et spørgsmål er her om en model der er god til at forecaste er bedre til at beskrive sammenhængen mellem variablene gennem perioden. At modellen er god til at forecaste fortæller os at den har fat i nogle af de rigtige mekanismer omkring samspillet mellem de inkluderede variable for den periode man forecaste til. Dette siger ikke nødvendigvis noget om hele perioden. Vi har i analysen argumenteret for at der er forskellige pengepolitiske regimer, og i en sådan foranderlig periode kan man stille

spørgsmålstegn ved om en dårlige forecast performance om fremtiden nødvendigvis betyder at den ikke fangede mekanismerne i fortiden.

En anden bekymring man kan have omkring VAR modeller er generelt om der er en form for bekræftelsesbias, altså hvis responsenes retning og størrelsesorden passer med teorien. Er dette tilfældet så accepteres resultaterne som korrekte, men hvis ikke så arbejder man videre med modellen indtil det løses. Man forsøger dermed at bekræfte hypotesen og ikke at falsificere den, hvilket ikke stemmer overens med den videnskabsteoretiske korrekte metode.

Konklusion

Resultaterne i analysen viser at det er muligt at omgå *Prize Puzzle*. De udvidede SVAR-modeller som indgår i analysen er ikke effektive til at håndtere problematikken, men dette kan muligvis skyldes misspecifikation af modellerne samt manglende information. Misspecifikation er ifølge litteraturen en af hovedårsagerne til et persistent *Price Puzzle*.

Inkluderingen af Shadow-rate fremfor Federal Funds Rate giver ikke en stor ændring i *Price Puzzle* problematikken, men den indeholder information omkring pengepolitikken i en situation med *Zero Lower Bound*, og vi argumenterer derfor, at den er essentiel for analyserne af effekterne ved pengepolitisk stimulans. Derfor bør Shadow-rate inkluderes i FAVAR-modellen.

I projektet fandt vi at den mest succesfulde metode til at håndtere *Price Puzzle* var en FAVAR-model med 8 faktorer, hvor det specielt er inkluderingen af yderligere information som er afgørende. FAVAR(13)-modellens forecastingevne er imidlertid ikke imponerende, men dette er ikke ensbetydende med at IRF fra modellen ikke er retvisende for de underliggende mekanismer. Der er således ikke nødvendigvis en sammenhæng mellem modellernes evne til at belyse de pengepolitiske transmissioner, og deres evne til at forecaste inflationen. FAVAR-metodologien giver os derudover mulighed for at se hvordan pengepolitikken forplantes i økonomien i mere end blot et par variable. Dimmensionsreduktionen som finder sted gennem PCA fjerner dog noget af dataet, men for mange variable er der en væsentlig korrelation med de 8 faktorer. Vi mener derfor at de enkelte IRF for de 96 variable er relativt pålidelige. FAVAR-modellen beskriver i den forbindelse, at den pengepolitiske transmissionsmekanisme sker gennem faldende industriel produktion og investeringer samt stigende arbejdsløshed. Disse udviklinger bevirker et lavere løn- og prispres, hvilket lægger en dæmper på inflationsudviklingen. Det kan derfor konkluderes, at de empiriske resultater er i overensstemmelse med den traditionelle makroøkonomiske teori.

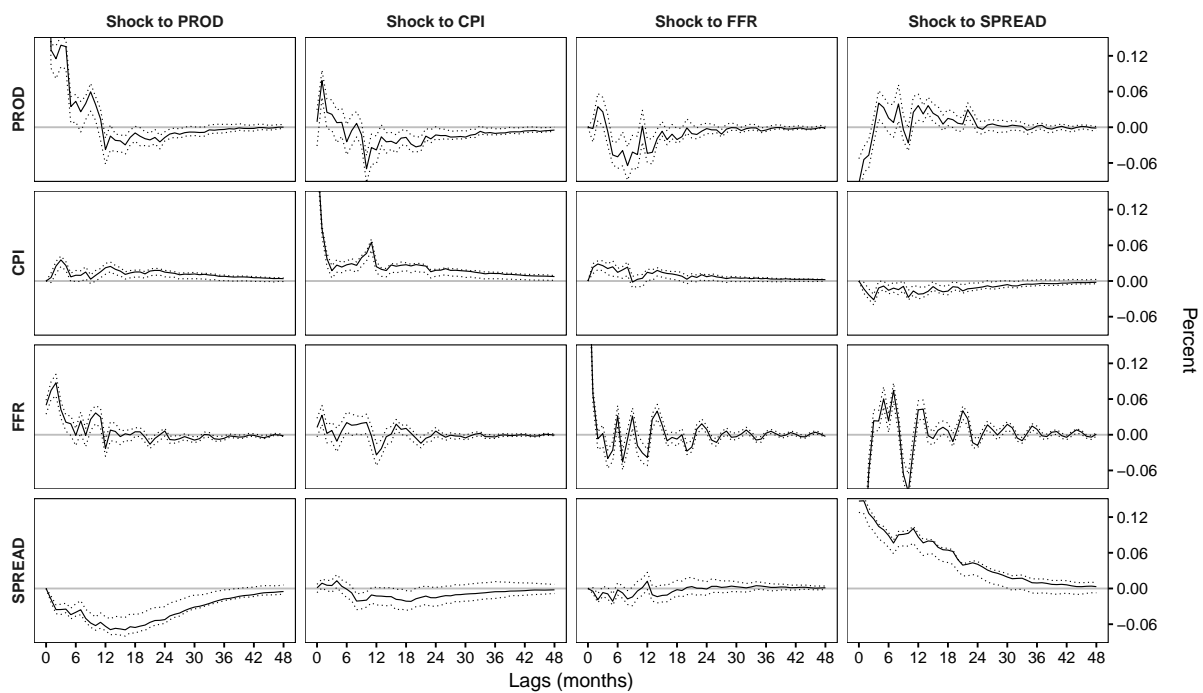
I økonometriske modeller tager modelskaberne altid valg som påvirker resultatet. Vi har i projektet forsøgt at undgå arbitrære valg, men det er klart at disse er svære at undgå. Specielt ift. laglængden, hvor man kan vælge mellem forskellige informationskriteriers anbefalinger. Vi mener dog af resultaterne er forholdsvis robuste i forhold til ændringer af laglængerne, men for udfyldende at demonstrere dette kræves et større arbejde med test af modelspecifikationer.

Litteratur

- Bai, Jushan & Ng, S. (2002), *Determining the Number of Factors in Approximate Factor Models*, Vol. 70, *Econometrica*.
- Bernanke, B., Boivin, J. and Elias, P. (2005), *Measuring the Effects of Monetary Policy: A Factor-Augmented Vector Autoregressive (FAVAR) Approach*, Vol. 120, *The Quarterly Journal of Economics*.
- Enders, W. (2015), *Applied Econometric Time Series*, John Wiley & Sons Inc.
- Estralla, A. (2015), *The Price Puzzle and VAR Identification*, *Macroeconomic Dynamics*.
- Gill, D. (2017), *The 'shadow rate' can measure the effects of QE*, *Chicago Booth Review*.
- Giordani, P. (2004), *An alternative explanation of the price puzzle*, *Journal of Monetary Economics*.
- Havráněk, T., Rusnák, M. and Horváth, R. (2011), *How to Solve the Price Puzzle? A Meta-Analysis*, Charles University Prague.
- McCracken, Michael & Ng, S. (2014), *Louis Working Paper Series FRED-MD : A Monthly Database for Macroeconomic Research*, Economic Research Federal Reserve Bank of St. Louis.
- Mortensen, P. B. (2014), *Granger kausalitet*, *Politica*.
- R Core Team (2019), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*.
- Roubini, N. (2017), *The New Abnormal in Monetary Policy*, Project Syndicate.
- Sims, C. A. (1980), *Macroeconomics and Reality*, *Econometrica*.
- Sims, C. A. (1992), *Interpreting the Macroeconomic Time Series Facts: The Effects of Monetary Policy*, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.
- Stock, James H. & Watson, M. W. (1996), *Evidence on Structural Instability in Macroeconomic Time Series Relations*, *Journal of Business and Economic Statistics*.
- Stock, James H. & Watson, M. W. (2001), *Vector Autoregressions*, *Journal of Economic Perspectives*.

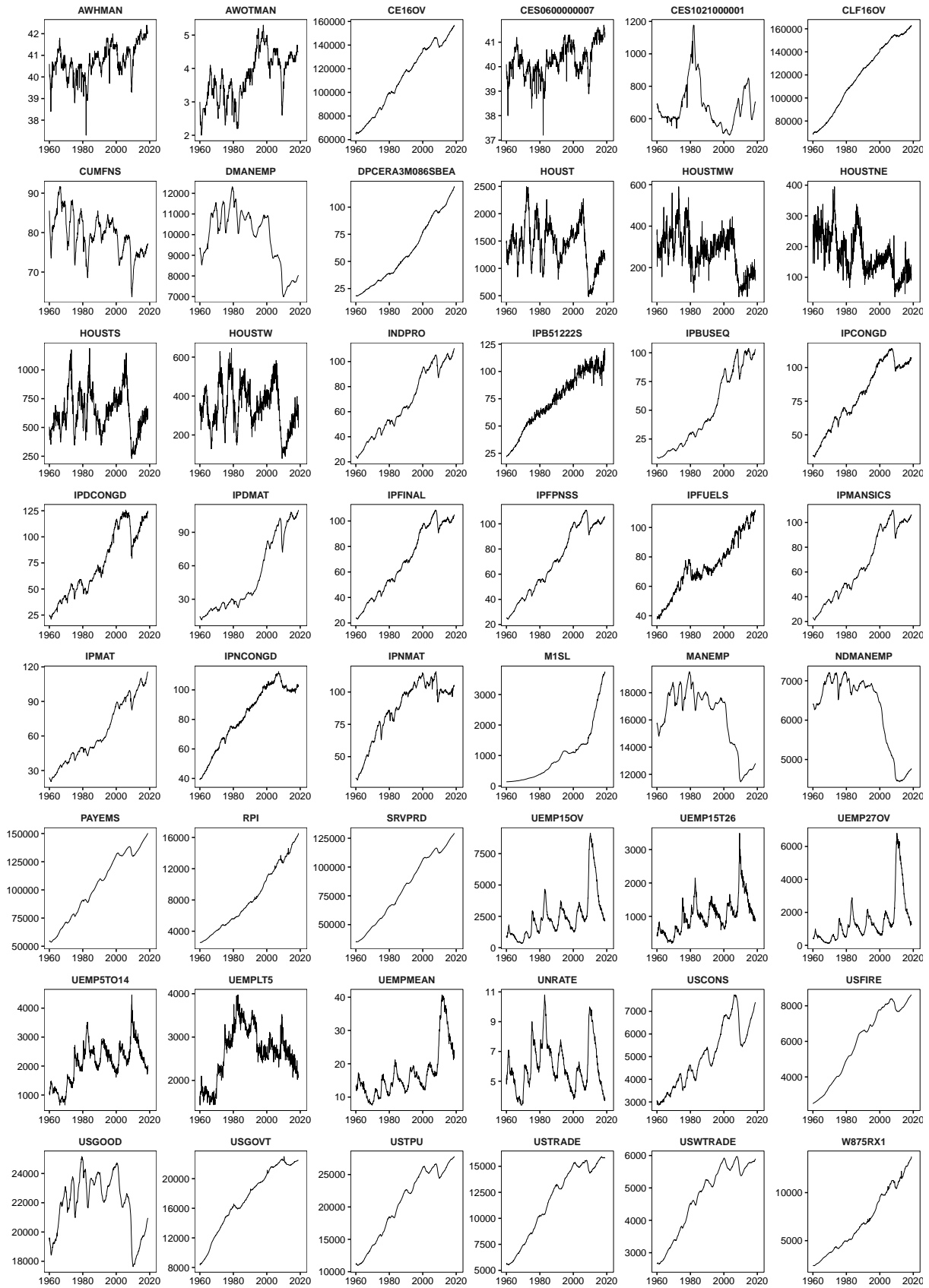
Appendiks

Figur A.1 IRF - Rentespænd SVAR

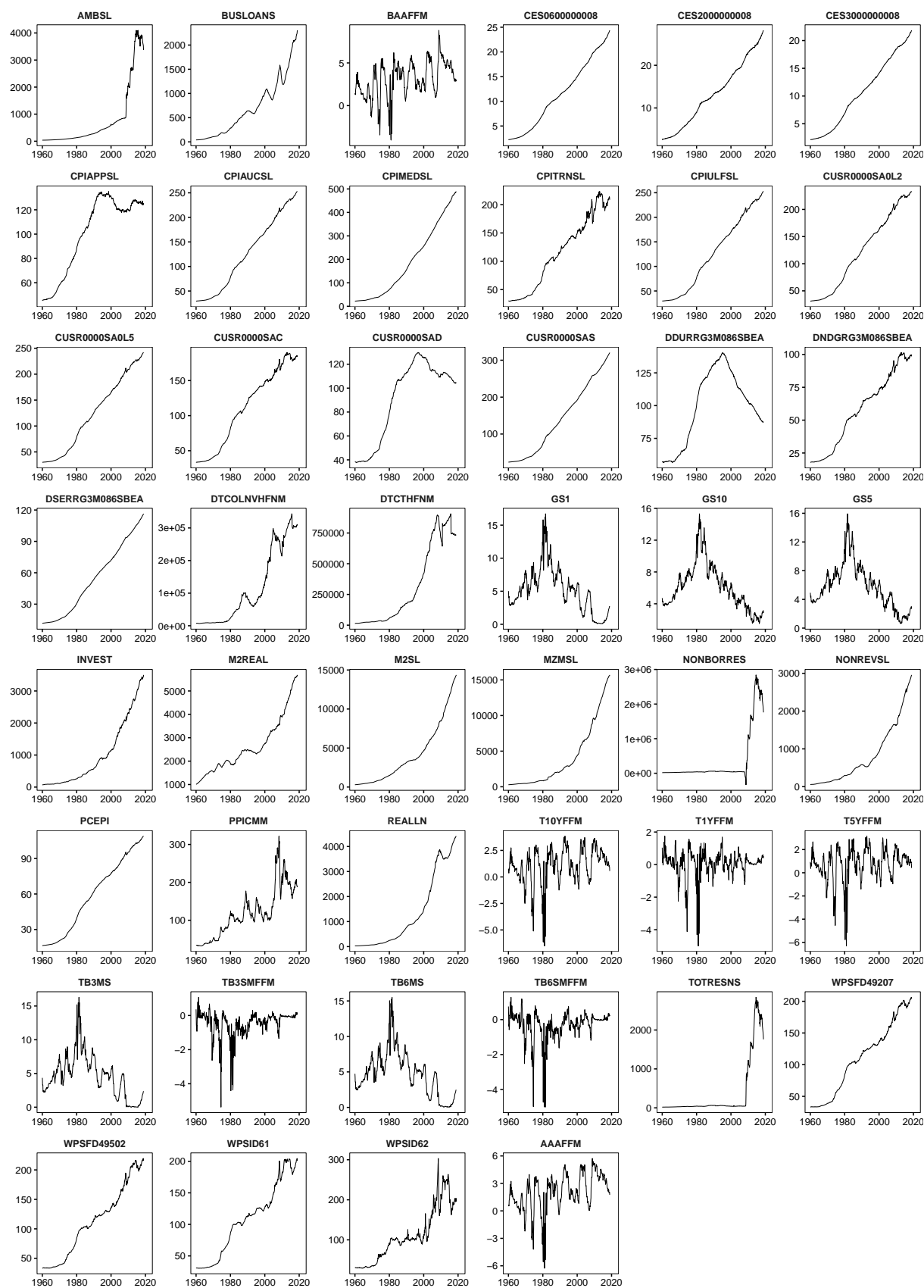


Note: Impulse-respons-funktioner for modellen med rentespænd. Impulse-respons-funktionerne er skitseret med 68%-konfidensintervaller.

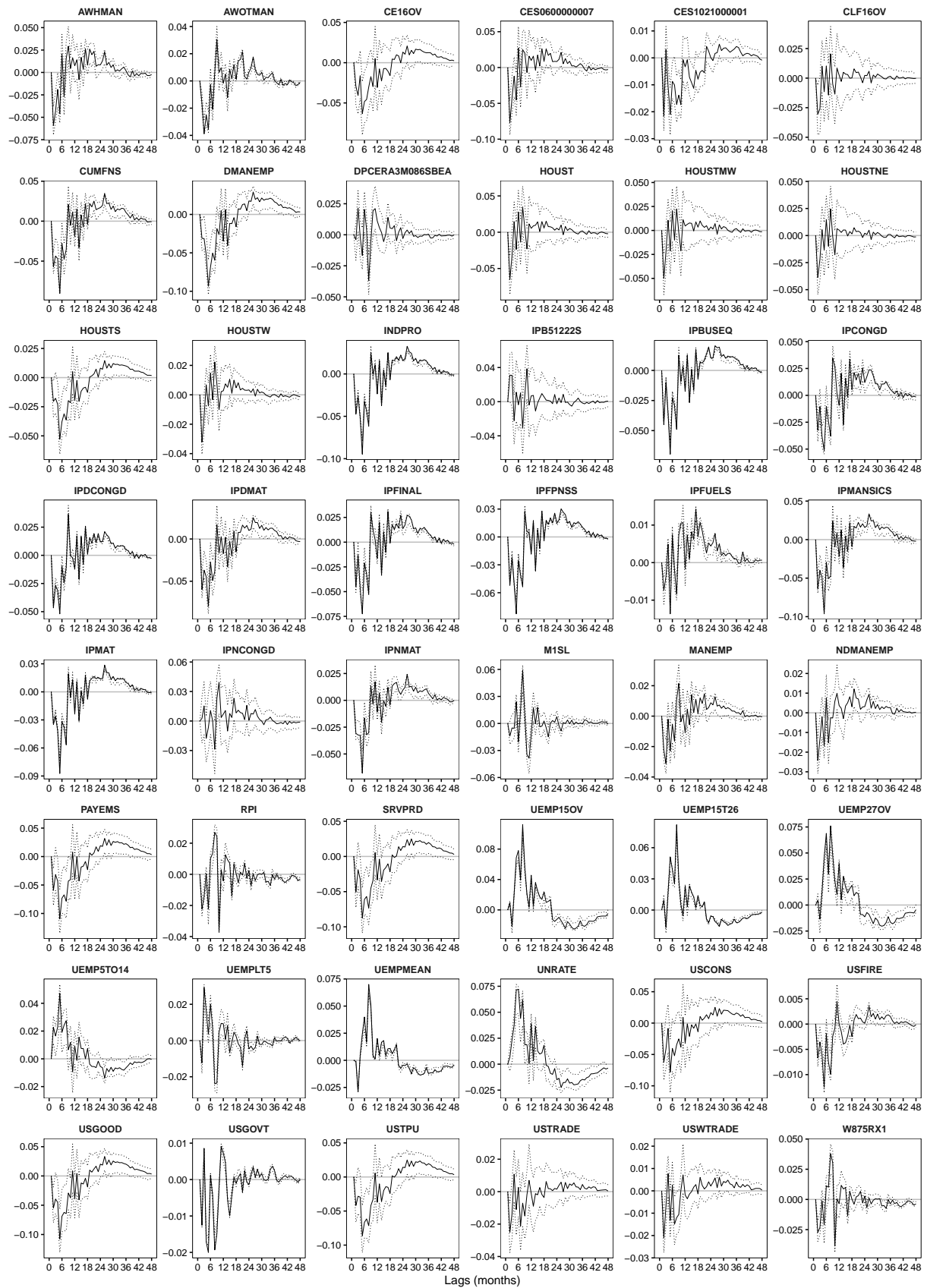
Figur A.2 FAVAR - TS 1/2



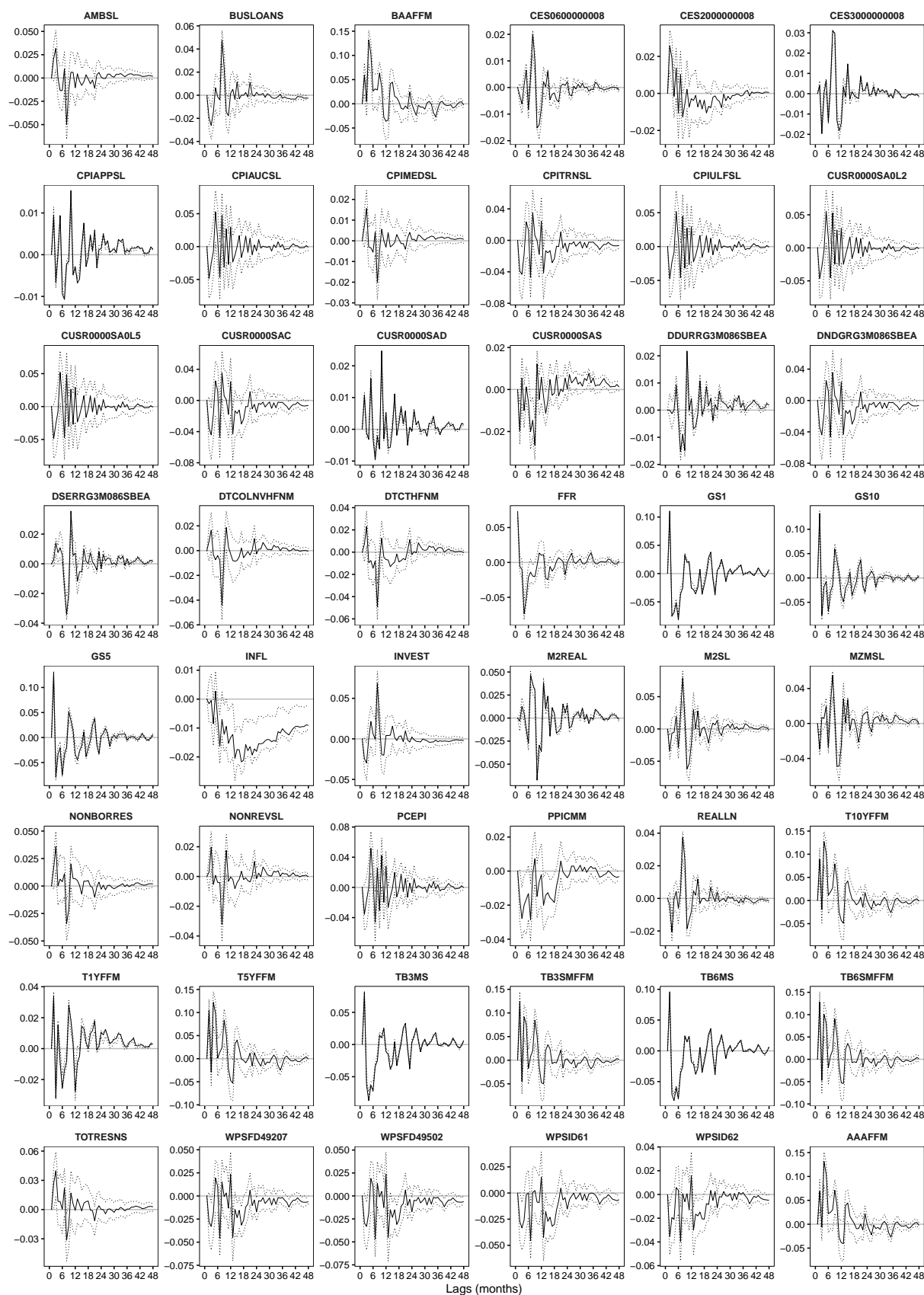
Figur A.3 FAVAR - TS 2/2



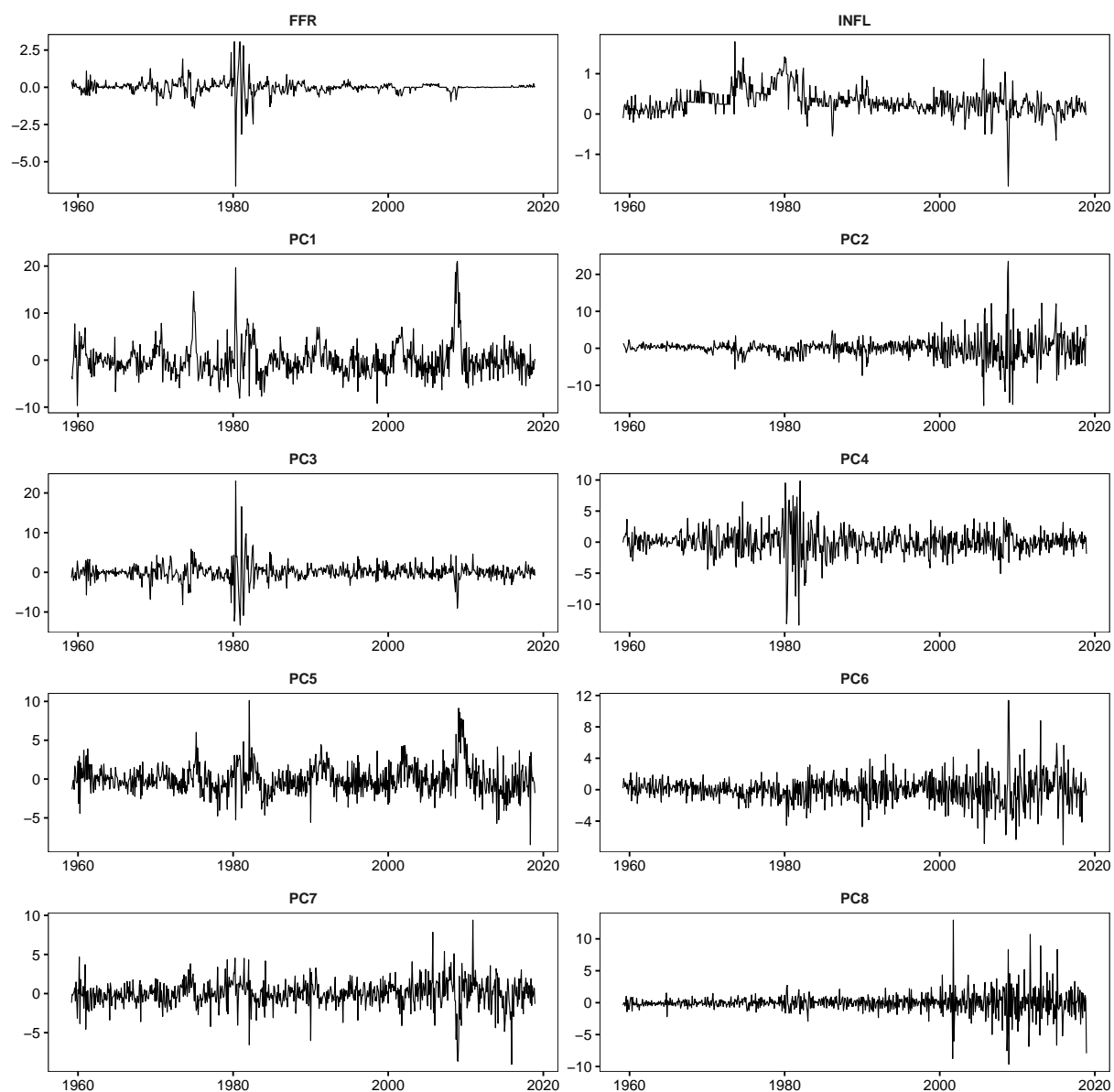
Figur A.4 FAVAR - IRF: stød i FFR 1/2



Figur A.5 FAVAR - IRF: stød i FFR 2/2



Figur A.6 Plot af faktorer



Tabel A.1 Variable 1/2

Code	N	Mean	St. Dev.	Min	Max	I()
RPI	720	8,165.538	4,064.567	2,437.296	16,539.800	2
W875RX1	720	7,037.724	3,291.881	2,288.800	13,753.900	2
DPCERA3M086SBEA	720	58.265	30.028	17.302	118.949	2
CMRMTSPL	624	878,955.600	337,421.600	383,443.000	1,504,602.000	NA
RETAIL	508	97,854.230	74,553.260	17,583.000	275,549.000	NA
INDPRO	720	66.342	26.746	22.625	110.578	1
IPFPNSS	720	69.551	27.263	23.458	111.024	1
IPFINAL	720	67.657	27.140	22.190	108.641	1
IPCONGD	720	78.900	24.086	32.408	114.249	1
IPDCONGD	720	73.452	32.079	20.113	125.767	1
IPNCONGD	720	81.990	21.212	37.728	112.385	2
IPBUSEQ	720	48.993	32.426	7.995	103.885	1
IPMAT	720	62.517	26.811	20.207	115.763	1
IPDMAT	720	50.117	32.352	11.245	110.061	1
IPNMAT	720	85.467	23.626	30.537	115.791	1
IPMANSICS	720	65.561	28.086	21.071	110.079	1
IPB51222S	720	72.244	26.529	20.204	121.274	1
IPFUELS	720	73.288	19.415	36.999	111.900	1
CUMFNS	720	79.454	5.115	63.700	91.638	1
CLF16OV	720	118,538.600	30,104.130	67,649	163,240	2
CE16OV	720	111,373.200	28,264.700	63,684	156,945	1
UNRATE	720	5.995	1.583	3	11	1
UEMPMEAN	720	16.997	7.366	7.600	40.700	1
UEMPLT5	720	2,624.299	605.069	1,431	3,974	1
UEMP5TO14	720	2,089.104	687.948	653	4,458	1
UEMP15OV	720	2,453.214	1,825.687	339	9,130	1
UEMP15T26	720	1,019.508	518.182	191	3,488	1
UEMP27OV	720	1,433.693	1,355.028	115	6,800	1
PAYEMS	720	102,890.800	29,320.900	52,478	150,275	1
USGOOD	720	21,908.280	1,940.445	17,627	25,163	1
CES1021000001	720	680.578	137.215	498	1,177	1
USCONS	720	5,023.968	1,386.982	2,862	7,726	1
MANEMP	720	16,129.120	2,240.639	11,453	19,553	2
DMANEMP	720	9,877.058	1,353.001	6,985	12,320	1
NDMANEMP	720	6,252.067	928.601	4,434	7,233	2
SRVPRD	720	80,982.510	29,381.350	33,682	129,314	1
USTPU	720	20,356.250	5,423.409	10,774	27,788	1
USWTRADE	720	4,671.853	1,086.329	2,568.700	5,969.700	2
USTRADE	720	11,607.270	3,498.608	5,350.300	15,940.700	2
USFIRE	720	5,883.171	2,020.719	2,418	8,615	2
USGOVT	720	17,186.220	4,402.530	8,105	22,996	2
CES0600000007	720	40.260	0.643	37.200	41.700	1
AWOTMAN	720	3.725	0.735	2.000	5.300	1
AWHMAN	720	40.752	0.735	37.300	42.400	1
HOUST	720	1,431.735	394.735	478	2,494	1
HOUSTNE	720	174.535	68.237	36	395	1
HOUSTMW	720	282.472	99.122	59	590	1
HOUSTS	720	629.625	181.930	230	1,187	0
HOUSTW	720	345.111	112.491	79	645	1
PERMIT	708	1,355.685	388.180	513.000	2,419.000	NA
PERMITNE	708	174.018	64.837	58.000	426.000	NA
PERMITMW	708	262.395	87.696	77.000	507.000	NA
PERMITS	708	569.483	193.044	215.000	1,104.000	NA
PERMITW	708	349.790	116.289	97.000	759.000	NA
ACOGNO	323	151,758.100	39,628.200	86,445.000	216,185.000	NA
ANDENO	323	63,559.520	13,188.950	35,981.000	131,467.000	NA
AMDMUO	324	735,887.600	270,617.700	424,271.000	1,185,282.000	NA
BUSINV	323	1,326,997.000	327,318.400	808,292.000	1,982,473.000	NA

Tabel A.2 Variable 2/2

Code	N	Mean	St. Dev.	Min	Max	I()
ISRATIO	323	1.369	0.080	1.240	1.560	NA
M1SL	720	983.071	894.708	138.900	3,744.000	2
M2SL	720	4,024.441	3,792.034	286.600	14,387.700	2
M2REAL	720	2,594.101	1,165.317	987.900	5,693.100	2
AMBSL	720	769.862	1,142.226	38.756	4,099.142	2
TOTRESNS	720	357.232	748.682	18.032	2,842.040	1
NONBORRES	720	343,647.800	745,876.500	-333,521	2,841,761	1
BUSLOANS	720	678.365	583.876	35.130	2,305.238	2
REALLN	720	1,285.102	1,425.754	24.924	4,415.239	2
NONREVSL	720	801.938	784.471	48.961	2,962.421	2
FEDFUNDS	720	5.013	3.655	0.070	19.100	1
CP3M	317	7.576	3.051	3.140	18.070	NA
TB3MS	720	4.557	3.143	0.010	16.300	1
TB6MS	720	4.701	3.128	0.040	15.520	1
GS1	720	5.077	3.337	0.100	16.720	1
GS5	720	5.763	3.050	0.620	15.930	1
GS10	720	6.086	2.839	1.500	15.320	1
TB3SMFFM	720	-0.456	0.710	-5.370	1.070	1
TB6SMFFM	720	-0.312	0.769	-5.010	1.280	1
T1YFFM	720	0.064	0.774	-5.000	1.750	0
T5YFFM	720	0.750	1.347	-6.310	3.160	1
T10YFFM	720	1.073	1.622	-6.510	3.850	1
AAAFFM	720	2.054	1.942	-6.270	5.730	1
BAAFFM	720	3.059	2.046	-4.050	8.820	1
TWEXMMTH	552	94.171	14.056	69.061	143.906	NA
EXSZUS	576	1.665	0.731	0.780	4.305	NA
EXJPUS	576	160.534	73.195	76.643	358.020	NA
EXUSUK	576	1.733	0.316	1.093	2.618	NA
EXCAUS	576	1.220	0.165	0.955	1.600	NA
WPSFD49207	720	108.599	55.475	33.000	206.400	1
WPSFD49502	720	110.639	58.921	33.100	219.500	1
WPSID61	720	105.989	56.117	30.400	204.600	1
WPSID62	720	108.925	66.184	29.000	303.400	1
OILPRICE	655	26.214	26.455	2.920	133.930	NA
PPICMM	720	116.565	64.813	32.200	322.100	1
CPIAUCSL	720	124.511	73.288	28.970	252.794	2
CPIAPPSL	720	99.067	31.562	44.700	135.100	2
CPITRNSL	720	112.814	62.700	29.300	223.274	1
CPIMEDSL	720	184.929	148.220	21.100	489.295	2
CUSR0000SAC	720	109.362	53.731	33.200	189.884	1
CUSR0000SAD	720	89.927	33.031	37.800	129.700	2
CUSR0000SAS	720	139.202	93.792	22.900	320.607	2
CPIULFSL	720	124.416	73.343	28.900	252.567	2
CUSR0000SA0L2	720	120.944	67.958	30.700	233.139	2
CUSR0000SA0L5	720	121.456	69.643	29.600	241.586	2
PCEPI	720	57.921	30.529	16.074	108.929	2
DDURRG3M086SBEA	720	99.117	27.689	56.570	140.457	2
DNDGRG3M086SBEA	720	56.884	27.726	17.777	101.390	1
DSERRG3M086SBEA	720	53.340	32.970	11.358	116.382	2
CES0600000008	720	11.265	6.740	2.130	24.380	2
CES2000000008	720	13.100	7.482	2.450	28.200	2
CES3000000008	720	10.462	6.156	2.040	21.850	2
MZMSL	720	3,960.005	4,350.781	274.900	15,699.100	2
DTCOLNVHFN	720	110,883.300	111,308.500	6,476	343,473	1
DTCTHFN	720	307,066.700	316,415.300	12,298	906,493	1
INVEST	720	983.089	997.006	71.186	3,500.256	2

"THE STUDY OF THE BUSINESS cycle, fluctuations in aggregate measures of economic activity and prices over periods from one to ten years or so, constitutes or motivates a large part of what we call macroeconomics. Most economists would agree that there are many macroeconomic variables whose cyclical fluctuations are of interest, and would agree further that fluctuations in these series are interrelated. It would seem to follow almost tautologically that statistical models involving large numbers of macroeconomic variables ought to be the arena within which macroeconomic theories confront reality and thereby each other."

Christopher A. Sims