

□ **Analýza transmisního mechanismu měnové politiky v ČR pomocí VAR modelů** **The analysis of transmission mechanism of monetary policy in CR using VAR models**

Sára Bisová

Abstrakt: Práce pojednává o transmisním mechanismu měnové politiky. Popsány jsou základní formy procesů, kterými centrální banky ovlivňují reálnou ekonomiku – zejména inflaci a ekonomický růst. Stručně zmíníme historický vývoj formování strategií měnových politik ve světě (zejména ČNB). Aplikační část je zaměřena na dynamickou makroekonomickou analýzu transmisního mechanismu české ekonomiky za použití ekonometrické koncepce modelů vektorové autoregrese (VAR) – konkrétně je specifikován třírovnicový systém zahrnující základní proměnné vystupující v transmisním mechanismu založeném na cílování inflace v malé otevřené ekonomice. V souvislosti s modely VAR je zkoumána také kauzalita v Grangerově pojetí a především pak analýza funkcí odezvy, která hraje podstatnou roli při analýze a anticipaci dopadů hospodářských politik. Na základě použitého VAR modelu jsou na závěr provedeny predikce – predikce ex post a srovnání se skutečně naměřenými hodnotami k posouzení kvality modelu v oblasti prognózování a posléze predikce ex ante. Je diskutována aplikovatelnost zvolené koncepce ekonometrického modelování v oblasti monetární politiky České republiky.

Klíčová slova: analýza funkcí odezvy, Grangerova kauzalita, inflace, měnová politika, transmisní mechanismus, VAR model

Abstract: This paper focuses on transmission mechanism of monetary policy as a process through which central banks decisions affect the economy in general – especially the inflation and economic growth. Attention is also paid to historical evolution in application of different monetary policy rules by central banks all over the world (especially the Czech central bank). The econometric part of this study deals with dynamic macroeconomic analysis of transmission mechanism in the Czech economy as a small open economy using VAR models (vector autoregression models) – concretely a three-variable dynamic model estimated on real Czech data (the key macroeconomic indicators of inflation targeting). In connection with VAR models, Granger causality and impulse response functions are introduced as they are crucial for analysing and anticipating effects of macroeconomic stabilisation policy. In the final part there is a forecast based on the chosen VAR model - the ex post forecast to compare with the real data and the ex ante forecast. The applicability of chosen econometric concept for modelling in the field of the Czech monetary policy is discussed.

Keywords: Granger causality, inflation, impulse response functions, monetary policy, transmission mechanism, VAR model

JEL Classification: C53, E47, E52, E58

1 Úvod

Předkládaná studie pojednává o transmisním mechanismu monetární politiky. V teoretické části jsou popsány základní formy transmisních mechanismů a obecné trendy v jejich aplikaci centrálními bankami ve světě. Dále je stručně popsána ekonometrická koncepce modelů vektorové autoregrese (VAR). V souvislosti s VAR modely je zmíněna podstata testování kauzality v Grangerově pojetí (GK) a analýzy funkcí odezvy.

V aplikační části se pokusíme vyjádřit o použitelnosti zmíněné ekonometrické koncepce k modelování transmisního mechanismu v české ekonomice. Česká národní banka realizuje od roku 1998 transmisní mechanismus založený na cílování inflace. Z tohoto důvodu volíme třírovnicový VAR model, do kterého na základě předpokládaných korelací zahrnujeme proměnné – cenová hladina, krátkodobá úroková míra a peněžní zásoba. Peněžní zásoba hrála zásadní roli v transmisních mechanismech aplikovaných centrálními bankami v dřívějších dobách, v moderních koncepcích je chápána spíše jako indikátor měnové politiky. Výstupy testů GK nám umožní učinit závěry o exogenitě peněz a síle vazeb této veličiny se základními proměnnými cílování inflace – krátkodobou úrokovou mírou a cenovou hladinou. Dále provedeme analýzu funkcí odezvy, která je zásadní v oblasti analýzy a anticipace dopadů hospodářských politik. Na závěr konstruuje prognózy ex post a ex ante.

2 Transmisní mechanismus

Transmisní mechanismus měnové politiky lze obecně definovat jako proces sestávající z posloupnosti kauzálních vazeb, kdy na počátku stojí stimul centrální banky. Ta se v první fázi snaží svými měnově-politickými nástroji ovlivnit v požadovaném směru tzv. operativní kritérium. O druhé fázi transmisního mechanismu se již v literatuře nedá vysledovat obecná shoda - v této fázi působí různé tzv. **transmisní kanály**. Mezi nejvýznamnější transmisní kanály patří úrokový kanál, kanál inflačních očekávání, kursový, měnový a úvěrový kanál, kanál finančních aktiv a řada dalších (různí autoři někdy užívají odlišné názvosloví pro stejné či z části se překrývající kanály)¹. Ve druhé fázi tedy obecně působí operativní kritérium na tzv. zprostředkující kritérium. Ve třetí fázi pak dochází ke změnám na agregátní úrovni². Efekt se tak postupně přelévá směrem k vytyčeným cílům, které se původně centrální banka rozhodla ovlivnit – mezi základní konečné cíle měnové politiky patří cenová stabilita, ekonomický růst, nízká nezaměstnanost a vyrovnaná obchodní bilance. Mezi implementací měnově politických nástrojů a jejich dopadem na makroekonomické ukazatele jako je inflace však existuje **zpoždění** - přibližně 12 až 18 měsíců, jak uvádí Revenda (2011). Výsledné úrovně sledovaných konečných cílů jsou konfrontovány s původními požadavky centrální banky. Podstatně záleží na vazbách mezi jednotlivými mezičlánky daného transmisního

1) Dříve centrální banky braly ve svých modelech ohled pouze na úzký okruh transmisních kanálů či dokonce na jeden jediný. S postupem času se však začalo čím dál více potvrdovat, že je třeba brát v úvahu fungování více kanálů souběžně.

2) Jako třífázový proces popisuje obecně transmisní mechanismus například Šmídková (2002).

mechanismu, které lze zpravidla jen odhadovat. Skutečný výsledek je tak značně nejistý - zejména v dobách rozkolísanosti ekonomik, kdy se dají jen stěží předvídat reakce ekonomických subjektů a tvorba jejich očekávání.

2.1 Základní typy transmisních mechanismů

Poměrně přehledný souhrn a vývoj koncepcí transmisních mechanismů nabízí např. Revenda (2011). Jedním ze základních pojetí je tzv. **monetaristický resp. měnový transmisní mechanismus**³. Za převládající transmisní kanál je zde považován kanál měnový. Principy monetaristického pojetí transmisního mechanismu vychází z tzv. důchodové verze rovnice směny zkoumající vztah mezi peněžním růstem a inflací, která je dlouhodobým cílem této koncepce. V roli operativního kritéria stojí měnová báze resp. rezervy bank. Ty ovlivňují přes tzv. peněžní multiplikátor úroveň peněžní zásoby, kterou představuje vhodně zvolený měnový agregát (zpravidla M2). Zastánci monetaristického transmisního mechanismu jsou toho názoru, že změny v peněžní zásobě mají za následek proporcionální změny v cenové hladině a ovlivňují tak pouze nominální produkt - inflace je způsobena nadměrnou emisí peněz a má tedy pouze monetární příčiny. Friedman doporučoval v USA každoroční růst peněžní zásoby v intervalu 3 % - 5 %. Revenda a kol. (2005) však uvádí, že v tranzitivních ekonomikách musí být přírůstky peněžní zásoby vyšší, takové ekonomiky totiž vykazují rychlejší vývoj v růstu kvality výrobků směrem k vyspělým ekonomikám.

Monetaristický transmisní mechanismus s jeho původními předpoklady by zřejmě poměrně dobře fungoval v 3 % - 5 %⁴ dobách zlatých peněz, kdy množství disponibilního zlata určovalo cenovou hladinu. Většina citovaných autorů uvádí, že peněžní multiplikátor není v čase stabilní veličinou a navíc, centrální banka jej ovlivňuje jen z části a nemá jeho úroveň zcela pod kontrolou - peníze tudíž nelze považovat za plně exogenní veličinu. Revenda a kol. (2005) poznamenávají, že stabilitu důchodové rychlosti peněz v čase také nelze předpokládat, neboť je ovlivněna mnoha faktory, jako jsou výše bohatství společnosti, technická úroveň platebního styku, objem sekundárně obchodovatelných aktiv atd. Exogenitě peněz se věnuje Sims (1972), který provádí analýzu na čtvrtletních datech USA za období 1947 - 1969. Do modelu zahrnuje HDP v běžných cenách a měnovou bázi (příp. měnový agregát M1). V empirické analýze potvrzuje jednosměrnou GK ve směru od peněžní zásoby k produktu, GK v opačném směru zamítá. V pozdější publikaci Sims (1980) však zjišťuje, že výsledek GK je silně závislý na dalších proměnných, které v původním modelu nebyly zahrnuty (při zahrnutí cen a úrokové míry test GK peněžní zásoby vzhledem k HDP značně zeslábl).

Monetaristický transmisní mechanismus byl aplikován centrálními bankami v 70. a 80. letech minulého století. Vzhledem ke zmíněným nedostatkům a slábnoucím vazbám

3) Zakladatelem byl americký ekonom Milton Friedman (1912-2006), nositel Nobelovy ceny za ekonomii z roku 1976, představitel monetarismu a Chicagské školy. Název měnový transmisní mechanismus používá např. Revenda (2011).

4) Revenda a kol. (2005).

měnových agregátů s konečnými cíli byl dále modifikován do podoby, kdy do role operativního kritéria stavíme namísto měnové báze krátkodobou úrokovou míru (příklon k úrokovému kanálu) – např. repo sazbu - hovoříme o tzv. **řízení peněžní zásoby pomocí úrokové míry**.

Vedle měnového transmisního mechanismu je pro tržní ekonomiky typický také **úvěrový transmisní mechanismus**. Tento přístup byl hojněji užíván ve 20. století, v některých zemích až do přelomu 80. a 90. let (např. Dánsko, Kanada, Švédsko ad.). V rámci tohoto transmisního mechanismu sehrává roli operativního kritéria krátkodobá úroková sazba, pomocí které se centrální banka snaží ovlivnit zvolený úvěrový agregát, ten zastává roli zprostředkujícího kritéria. Zprostředkující kritérium může být zastoupeno také dlouhodobou úrokovou mírou, hovoříme o tzv. **úrokovém transmisním mechanismu** nebo, v pojetí tradiční keynesiánské ekonomické teorie vzhledem k měnové politice, o tzv. **keynesiánském transmisním mechanismu**.⁵ Jedná se v podstatě o cílování reálného ekonomického růstu a nezaměstnanosti na základě ovlivňování úrokových sazeb, jak uvádí Mandel (keynesiánském transmisním mechanismu 1998). Tento princip předpokládá vliv dlouhodobé úrokové míry na investiční aktivitu ekonomických subjektů (investice) a výdaje domácností na zboží a služby dlouhodobé spotřeby (spotřebu) jako složky agregátní poptávky, např. Revenda (2011).

Centrální banky jimi uplatňovanou formu měnového transmisního mechanismu někdy spojují s některým z režimů měnového kursu. Měnový kurz může hrát roli indikátoru měnové politiky, kritériální roli či dokonce roli konečného cíle měnové politiky, pokud je jím pro centrální banku stabilita měnového kursu domácí měny. V případě, že měnový kurz zastává funkci operativního či zprostředkujícího kritéria, hovoříme o tzv. **kursovém transmisním mechanismu**. Je zřejmé, že takovou formu měnové politiky má smysl uvažovat spíše v případě fixního měnového kursu (taková forma měnové politiky byla aplikována některými centrálními bankami v 90. letech) či v situaci kursu s oscilačním pásmem, kdy musí centrální banky intervenovat, aby splnili cíle, ke kterým se zavázaly.

Výraznou kritikou měnové politiky v době, kdy většina centrálních bank aplikovala systém cílování peněžní zásoby, se zabýval Lucas, stoupenec racionálních očekávání. Lucas (1972) tvrdil, že systematická politika, měnová i fiskální, nemůže dlouhodobě zvyšovat výkon ekonomiky, tj. reálný produkt, protože lidé utvářejí tzv. racionální očekávání, čímž tyto zásahy v podstatě neutralizují. Efekt na reálnou ekonomiku tak mohou mít pouze nesystematické a neočekávané vlivy resp. šoky, které vyvolají u ekonomických subjektů nesprávná očekávání (tzv. exogenní šoky spojené s ortogonalizovanými náhodnými složkami v analýze funkcí odezvy) – ta však mohou mít destabili-

5) Mandel (1998) uvádí, že keynesiánský transmisní mechanismus byl první formulovanou koncepcí po druhé světové válce a byl monetaristy často kritizován pro dlouhodobé udržování nízkých krátkodobých úrokových sazeb s cílem reálného ekonomického růstu a nízké nezaměstnanosti. V důsledku toho docházelo k nadměrné emisi peněz a k inflačním a depreciačním tlakům. V souvislosti s ropnými šoky a problémy s inflací v 70. letech se centrální banky začaly přiklánět k monetaristickému pojetí.

zující charakter. Lucas je názoru, že hospodářská politika by měla mít transparentní a stabilní pravidla, která utvářejí stabilní očekávání. Tyto dále rozvíjené názory vedly právě ke strategiím jako je **cílování inflace**, které umožňují centrálním bankám soustředit se na cenovou stabilitu a představují také příznivější prostor pro stabilní hospodářský růst.

Tak se dostáváme k transmisnímu mechanismu založenému na tzv. cílování inflace, tj. řízení krátkodobé úrokové míry s cílem co nejmenší odchylky skutečné inflace od vyhlášeného cíle. Zprostředkující kritérium v tomto transmisním mechanismu nefiguje, centrální banka však při svém počínání sleduje vývoj mnoha indikátorů měnové politiky, mezi které patří mimo jiné i měnové a úvěrové agregáty, měnový kurs, produkční mezera, míra nezaměstnanosti atd. Cílování inflace vyžaduje nezávislost, transparentnost a důvěryhodnost měnové politiky centrální banky, zejména v souvislosti s utvářením a ukotvováním očekávání ekonomických subjektů, která, jak je v analýzách posledních desítek let potvrzováno, hrají v rámci měnových politik významnou roli a mohou v určitých případech dokonce zcela přepsat působení všech ostatních transmisních kanálů. Šmídková (2002) uvádí, že fungování cílování inflace⁶ je značně závislé také na faktorech jako jsou: politická stabilita v dané zemi, národní či mezinárodní finanční krize, různé šoky v ekonomice atd., které mohou měnovou politiku inflačního cílování destabilizovat a zapříčinit tak působení kanálu inflačních očekávání proti potřebám centrální banky. Kvantitativně vyjádřený inflační cíl může posilovat a urychlovat účinnost měnové politiky centrální banky a dal by se tedy v podstatě považovat za jeden z měnově-politických nástrojů. K cílování inflace začala v 90. letech přecházet řada centrálních bank (ČNB v roce 1998), zejména od systémů pevného měnového kursu a cílování peněžní zásoby. Cílování inflace umožňuje snižovat variabilitu inflace a produktu, jak uvádějí Mandel, Tomšík (2008). Mandel (1998) uvádí, že mezi nejčastější kritiky cílování inflace patří koncentrace na pouze jediný cíl, což přináší riziko vyšších výkyvů ostatních makroekonomických ukazatelů, a dále značná vzdálenost cíle (inflace) od operativního kritéria v důsledku absence zprostředkujícího kritéria (tj. zpoždění).

Zásadní přelom ve volbě měnových strategií centrálních bank převážné většiny rozvinutých i rozvojových ekonomik koncem 2. a začátkem 3. tisíciletí ovlivnila řada faktorů (např. Revenda a kol. (2005) a Šmídková (2002)) – problémy týkající se předpokladů monetaristického transmisního mechanismu, slábnoucí význam poptávky po penězích v rámci transmisního mechanismu, problém aplikace kursového transmisního mechanismu v souvislosti s přechodem většiny zemí na floating atd. Nutné změny v měnových politikách byly a jsou determinovány také faktory jako - existence bezhotovostních peněz, dynamická evoluce v oblasti finančních instrumentů⁷ a dalších finančních inovací, inovace v oblasti počítačových a komunikačních technologií, spolu s vývojem výpočetních technologií dochází k pokrokům v oblasti získávání dat,

6) Cílování inflace bylo poprvé aplikováno Rezervní bankou Nového Zélandu v roce 1989.

7) Šmídková (2002) uvádí, že rostoucí spektrum finančních instrumentů má za následek oslabení vazeb mezi peněžní zásobou a reálnou ekonomikou.

otevřenost ekonomiky, míra a síla provázanosti se zahraničními ekonomikami, očekávání ekonomických subjektů o ekonomickém vývoji dané ekonomiky, ale i ekonomiky světové, rozvinutost finančních trhů, bankovního systému a kapitálového trhu, které ovlivňují váhu úrokového kanálu, kanálu cen aktiv a do značné míry také kanálu očekávání, atd. Provázanost mezi transmisními kanály a síla a stabilita vztahů mezi makroekonomickými ukazateli se dynamicky mění. Neustálým vývojem a propojováním ekonomik dochází k rozšiřování množiny transmisních kanálů, které musí centrální banky při realizaci domácích měnových politik sledovat a zakomponovat do svých modelů. Šmídková (2002) v této souvislosti dále uvádí, že výrazně vzrostly sympatie k strategiím založeným na cenových nástrojích (přesun od objemových) a k transmisním mechanismům s kvantitativně vyjádřeným konečným cílem.

3 Modely vektorové autoregrese

V této studii se omezíme pouze na redukovanou formu VAR modelů, která je konstruována zejména pro účely odhadů parametrů a dále k prognózování. Maticovou formu standardního tvaru neomezeného m -rozměrného VAR(p) modelu lze obecně vyjádřit ve tvaru (Hušek (2009), str. 257)

$$\mathbf{z}_t = \boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\Pi}_1 \mathbf{z}_{t-1} + \boldsymbol{\Pi}_2 \mathbf{z}_{t-2} + \dots + \boldsymbol{\Pi}_p \mathbf{z}_{t-p} + \mathbf{v}_t, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (1)$$

kde

- \mathbf{z}_t je $m \times 1$ rozměrný vektor endogenních proměnných;
- $\boldsymbol{\omega}$... $m \times 1$ rozměrný vektor obsahující úrovnové konstanty;
- $\boldsymbol{\Pi}_i$, kde $i = 1, 2, \dots, p$... $m \times m$ matice parametrů endogenních proměnných, zpožděných o i období;
- m ... počet endogenních proměnných VAR modelu (tj. počet rovnic modelu);
- p ... maximální délka zpoždění;
- \mathbf{v}_t ... rozměrný vektor náhodných složek.

Pro náhodné složky obsažené ve vektoru \mathbf{v}_t se předpokládá, že jsou normálně rozdělené s nulovou střední hodnotou $E(\mathbf{v}_t) = 0$ a kovarianční matice, pro kterou platí $E(\mathbf{v}_t \mathbf{v}_s') = \boldsymbol{\Sigma}$ pro $t = s$ a $E(\mathbf{v}_t \mathbf{v}_s') = 0$ pro $t \neq s$, je pozitivně definitní (Hušek (2007), (2009), Arlt, Arltová (2009)).

Modely VAR⁸ nevyžadují při specifikaci rozlišovat na endogenní a exogenní resp. predeterminedované proměnné, všechny proměnné jsou považovány za endogenní (exogenní proměnné se vyskytují zpravidla pouze ve formě trendových, sezonních či jiných nula-jednotkových proměnných apod.). Jedná se o dynamické modely založené na předpokládaných korelacích mezi zahrnutými proměnnými. Vzhledem k tomu, že rovnice redukováného tvaru VAR modelu neobsahují zpětné vazby mezi nezpožděnými endogenními proměnnými, odhady lze získat přímou aplikací metody nejmenších čtverců (MNC) na jednotlivé rovnice VAR modelu. Získané odhady jsou konzistentní a asymptoticky vydatné (Hušek (2007)). Podstatným předpokladem při práci s VAR modely je stacionarita vstupujících časových řad.

V makroekonomické analýze se často zajímáme o kauzální vztahy mezi proměnnými. VAR modely lze využít k testování GK. Základní myšlenka testování GK spočívá v předpokladu, že působí-li určitá časová řada na jinou časovou řadu, pak by také měla zlepšit její předpověď – kauzalitou je zde tedy myšlena schopnost určité proměnné, resp. skupiny proměnných, predikovat jinou proměnnou (např. Hušek (2009)). V souvislosti s VAR modely jsou dále zpravidla konstruovány tzv. funkce odezvy, které měří efekt jednotkového exogenního šoku v libovolné proměnné VAR modelu na běžnou i budoucí hodnoty všech endogenních proměnných systému. Odvození a interpretaci funkcí odezvy je možné nalézt např. v Arlt, Arltová (2009). Analýza funkcí odezvy poskytuje oproti testování GK informaci o znaménku vztahu mezi proměnnými a dále o tom, jak dlouho přetrvává efekt vyvolaný určitými jednorázovými exogenními změnami v systému, zastává tak klíčovou roli v analýze a anticipaci dopadů hospodářských politik (Hušek (2007), (2009)).

4 Ekonometrická analýza

Byl konstruován VAR model o třech endogenních proměnných. K výpočtům byl použit software EViews 6. Analýza byla prováděna na měsíčních pozorováních za období 1/1999 – 11/2011. Data klíčových veličin byla získána z internetových stránek Českého statistického úřadu⁹ a České národní banky¹⁰, konkrétně - krátkodobá úroková míra 14D PRIBOR v procentech (úrokový kanál), cenová hladina vyjádřená indexem spotřebitelských cen (ISC) ve formě měsíčních bazických indexů (rok 2005=100) a peněžní agregát M2 v mil. Kč v roli peněžní zásoby (měnový kanál). Arnoštová, Hurník (2005) uvádějí, že je možné místo dvoutýdenní úrokové sazby užít tříměsíční úrokovou sazbu, protože se obě časové řady vyvíjí obdobně a jsou silně korelovány. Autoři dále do modelu zahrnují další proměnné jako HDP a měnový kurz české koruny k euro. Analýza čtyřrovnice modelu, kdy do role endogenní proměnné vstupuje také HDP, je obsažena např. v Arlt, Arltová (2009) a Bisová (2011).

8) K nárůstu zájmu o aplikaci VAR modelů v oblasti makroekonomické analýzy významně přispěl Sims publikací *Macroeconomics and Reality* v roce 1980.

9) www.czso.cz

10) www.cnb.cz

Proměnné ISC a M2 byly očištěny od sezónnosti metodou X12 ARIMA. K testování stacionarity byl použit ADF test existence jednotkových kořenů. Všechny proměnné byly zlogaritmovány¹¹. Na základě ADF-testů však byly logaritmované časové řady vyhodnoceny jako nestacionární (tabulka č. 1). Data proto byla dále převedena na první diference, které již vykazují stacionaritu (tabulka č. 2) a lze tak konstatovat, že všechny proměnné jsou ve svých původních úrovnových hodnotách integrované řádu 1, tj. I(1).

Tabulka 1 - Výsledky ADF testů logaritmovaných proměnných

Proměnná	t -statistika	p -value
L_ISC_SA	0,851	0,801
L_M2_SA	1,261	0,647
L_14DPRIBOR	-0,929	0,777

Zdroj: Vlastní výpočet v EViews

Tabulka 2 - Výsledky ADF testů prvních diferencí logaritmů

Proměnná	t -statistika	p -value
DL_ISC_SA	-9,893	0,000
DL_M2_SA	-12,688	0,000
DL_PRIBOR1R	-4,215	0,001

Zdroj: Vlastní výpočet v EViews

4.1 Volba vhodného modelu VAR a jeho odhad

K eliminaci vlivu odlehlých pozorování v časových řadách a k dosažení normality reziduí byly do modelu zahrnuty umělé nula-jednotkové proměnné D1, D2 a D3.

Byl odhadnut třírovnicový VAR model. Optimální délka zpoždění byla zvolena dle hodnot informačních kritérií zobecněných pro vícerozměrné systémy a dalších ukazatelů (tabulka č. 3). Zahrnutí dynamiky je pro modelování transmisního mechanismu zásadní, uvažujeme proto model o třech zpožděních (ačkoliv některá kritéria – konkrétně Schwartzovo (SC) a Hannan-Quinnovo (HQ) informační kritérium - naznačují zahrnout méně než tři zpoždění z důvodu řady statisticky nevýznamných parametrů v odhadech modelů vyšších řádů maximální délky zpoždění – HQ informační kritérium naznačuje zahrnout pouze dvě zpoždění a SC informační kritérium dokonce pouze jedno zpoždění¹²).

11) Logaritmická transformace umožňuje linearizovat exponenciální vývoj časových řad, který je v případě makroekonomických ukazatelů poměrně častý, a dále stabilizovat rozptyl.

12) Statistická významnost parametrů je podstatná zejména pro analýzu funkcí odezvy, v oblasti predikcí již méně.

Tabulka 3 – Informační kritéria pro modely VAR(1) – VAR(8) a data 1/1999 – 11/2011

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	1358.394	NA	1.88e-12	-18.48485	-18.30093	-18.41012
1	1433.831	144.6739	7.58e-13	-19.39494	-19.02710*	-19.24548
2	1448.305	27.16410	7.03e-13	-19.46994	-18.91817	-19.24574*
3	1461.210	23.68728*	6.67e-13*	-19.52342*	-18.78773	-19.22449
4	1468.883	13.77011	6.80e-13	-19.50525	-18.58564	-19.13159
5	1472.315	6.018638	7.35e-13	-19.42898	-18.32545	-18.98059
6	1477.805	9.399581	7.73e-13	-19.38089	-18.09344	-18.85777
7	1487.521	16.23809	7.68e-13	-19.39070	-17.91933	-18.79285
8	1490.328	4.576212	8.39e-13	-19.30587	-17.65058	-18.63329

Zdroj: Vlastní výpočet v EViews

Odhad zvoleného VAR modelu je uveden v tabulce č. 4. Zahrnutí třech zpoždění je v souladu s předpoklady - v rámci obdobné analýzy kvartálních dat se jeví jako nejvhodnější pouze jedno až dvě zpoždění (např. Bisová (2011), Arlt, Arltová (2009)). Sdružené i jednorozměrné diagnostické testy a blokové F-testy indikují, že zvolený model VAR(3) je jako celek vhodný. Test autokorelace (Breusch-Godfreyův test) ukazuje, že rezidua nevykazují autokorelaci a test normality (Jarque-Bera test) neprokázal reziduální nenormalitu. Podmíněná heteroskedasticita reziduí (ARCH test) ani reziduální heteroskedasticita (Whiteův test) také nebyly prokázány. F-testy na 5% hladině významnosti poukazují na vhodnost zařazení všech zvažovaných proměnných, kromě cenové hladiny ve druhém a třetím zpoždění, ty však vzhledem k závaznosti tvaru modelu nemohou být ze systému vyloučeny.

Tabulka 4 - Odhad VAR(3) modelu pro měsíční data 1/1999 – 11/2011

Vector Autoregression Estimates
Sample (adjusted): 1999M05 2011M11
Included observations: 151 after adjustments
Standard errors in () & t-statistics in []

	DL_M2_SA	DL_ISC_SA	DL_14DPRI..
DL_M2_SA(-1)	0.151892 (0.08203) [1.85159]	0.134653 (0.03225) [4.17511]	-1.583714 (0.47391) [-3.34183]
DL_M2_SA(-2)	0.204265 (0.08939) [2.28501]	0.081393 (0.03514) [2.31592]	0.578079 (0.51643) [1.11939]
DL_M2_SA(-3)	0.220222 (0.09097) [2.42070]	0.003748 (0.03577) [0.10479]	-0.794873 (0.52556) [-1.51242]
DL_ISC_SA(-1)	0.337831 (0.20456) [1.65150]	0.162832 (0.08042) [2.02470]	4.746155 (1.18175) [4.01622]
DL_ISC_SA(-2)	-0.068499 (0.20752) [-0.33008]	0.133034 (0.08159) [1.63056]	0.725783 (1.19887) [0.60539]
DL_ISC_SA(-3)	0.278174 (0.19952) [1.39418]	0.064208 (0.07844) [0.81852]	0.712817 (1.15266) [0.61841]
DL_14DPRIBOR(-1)	-0.015654 (0.01311) [-1.19375]	-0.000966 (0.00516) [-0.18733]	0.328494 (0.07576) [4.33612]
DL_14DPRIBOR(-2)	-0.005579 (0.01410) [-0.39582]	0.004494 (0.00554) [0.81099]	0.012130 (0.08143) [0.14895]
DL_14DPRIBOR(-3)	0.005979 (0.01224) [0.48866]	-0.001754 (0.00481) [-0.36469]	0.264150 (0.07068) [3.73711]
D1	-0.005801 (0.00515) [-1.12702]	0.008411 (0.00202) [4.15641]	-0.072764 (0.02973) [-2.44711]
D2	-0.017202 (0.00493) [-3.49215]	-0.003059 (0.00194) [-1.57964]	-0.015281 (0.02846) [-0.53699]
D3	-0.000327 (0.00317) [-0.10312]	-0.002526 (0.00125) [-2.02781]	-0.078963 (0.01830) [-4.31425]

Zdroj: Vlastní výpočet v EViews

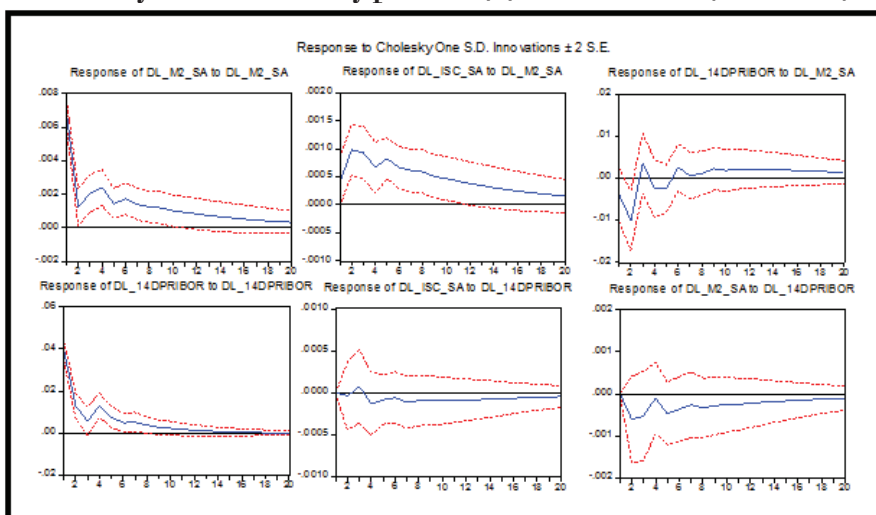
4.2 Testování Grangerovy kauzality

Pro odhadnutý VAR(3) model byla dále testována GK. Byla prokázána oboustranná GK proměnných M2 a ISC – vliv proměnné M2 na ISC na 5 % hladině významnosti a GK v opačném směru na 10 % hladině významnosti. Na 5% hladině významnosti byla prokázána GK proměnné M2 na proměnnou 14DPRIBOR, GK v opačném směru však potvrzena nebyla. V neposlední řadě byl zjištěn vliv proměnné ISC na proměnnou 14DPRIBOR ve smyslu GK a to opět na 5% hladině významnosti.

4.3 Analýza funkcí odezvy

Na obrázku č. 1 jsou zachyceny vybrané grafy reakcí jednotlivých časových řad na jednotkové exogenní impulsy. Šok rozkmitává endogenní proměnné modelu, ty se ovšem po určité době navrací do původní rovnováhy nebo se ustálí na rovnováze nové. V rámci našeho modelu dochází k ustálení mezi 13. až 25. obdobím, tj. 1 až 2 roky. Na základě intervalů spolehlivosti lze konstatovat, že systém je poměrně stabilní.

Obrázek 1 – Analýza funkcí odezvy pro VAR(3) model a data 1/1999 – 11/2011



Zdroj: Vlastní výpočet v EViews

V souvislosti s analýzou transmisního mechanismu nás zajímá především efekt vyvolaný exogenním šokem v úrokové míře. Lze očekávat, že efekt vyvolaný takovým šokem v běžném období bude mít vliv na měnový agregát v kratším horizontu než na ceny. Z výstupů můžeme vysledovat, že pozitivní exogenní jednotkový šok v úrokové míře v běžném období (restriktivní šok) vyvolává kontinuální pokles měnového agregátu. Ceny se v prvních 3 obdobích příliš nemění (kolem 3. měsíce od impulsu nepatrně rostou) – reagují na změnu v úrokové míře s určitým zpožděním – od 4. období však

klesají a tempo poklesu se postupně zpomaluje, až kolem 25. období efekt exogenního jednotkového šoku odeznívá (obdobně, jako je tomu v případě měnového agregátu), reakce je ovšem velmi slabá.

Pozitivní exogenní jednotkový šok v měnovém agregátu vyvolává dle předpokladů nárůst cenové hladiny, tempo růstu se nejdříve zrychluje, posléze klesá, jak expanzivní šok měnové politiky postupně odeznívá. Nejednoznačná je měnící se reakce úrokové míry na jednotkový exogenní šok v měnovém agregátu, která v průběhu reakce v čase mění znaménka.

4.4 Predikce

Na závěr provedeme na základě odhadnutého VAR(3) modelu z dat 1/1999 – 9/2010 predikce ex post na období 10/2011 a 11/2011 a srovnáme výstupy s hodnotami skutečně naměřenými za tato období. Na predikce ex post dále navážeme predikcemi ex ante, opět na dvě období, kdy již vycházíme z odhadu VAR(3) modelu za období 1/1999 – 11/2011. Všechny hodnoty bodových předpovědí byly transformovány na úroňové hodnoty proměnných a jsou obsaženy v tabulkách 5 - 7.

Tabulka 5 - Predikce ex post pro M2 a ISC na období 10-11/2011

	M2	M2 PREDIKCE	Odchylka v %	ISC	ISC PREDIKCE	Odchylka v %
10/2011	2 886 190	2 925 615	1,37%	117,3	117,87	0,48%
11/2011	2 916 589	2 942 043	0,87%	117,8	118,22	0,35%

Zdroj: Vlastní výpočet v PcGive

Tabulka 6 - Predikce ex post pro 14D PRIBOR na období 10-11/2011

	14D PRIBOR	14D PRIBOR PREDIKCE	Odchylka v %
10/2011	0,810	0,818	0,99%
11/2011	0,810	0,829	2,34%

Zdroj: Vlastní výpočet v PcGive

Tabulka 7 - Predikce ex ante pro M2, ISC a 14D PRIBOR na období 12/2011 a 1/2012

	M2 PREDIKCE	ISC PREDIKCE	14D PRIBOR PREDIKCE
12/2011	2 950 670	118,92	0,814
1/2012	2 963 078	119,25	0,818

Zdroj: Vlastní výpočet v PcGive

Odchytky bodových předpovědí ex post od skutečnosti nejsou příliš velké. Nejméně přesná vyšla předpověď pro úrokovou míru 14D PRIBOR. Je nutné podotknout, že hodnoty směrodatných chyb odhadů vyšly poměrně vysoké, což je příčinou širokých intervalových předpovědí.

5 Závěr

Na základě zvoleného VAR(3) modelu odhadnutého z měsíčních dat za období 1/1999 – 11/2011 jsme testovali GK, konstruovali funkce odezvy a predikce. Dle výsledků testů GK jsme zjistili, že cenovou hladinu kauzálně ovlivňuje v Grangerově pojetí pouze měnový agregát, kauzalita je ovšem simultánní. Oproti očekáváním nebyla potvrzena GK úrokové míry na žádnou z ostatních proměnných modelu. Testování GK je obecně nutno interpretovat s určitou rezervou – výsledky značně ovlivňuje, zda pracujeme s původními či sezónně očištěnými daty, dále frekvence dat, ale také zahrnutí či naopak nezahrnutí dalších proměnných do modelu, jak uvádí Arlt, Arltová (2009). Ze statistické významnosti parametrů ve výstupech odhadu modelu a výsledků testů GK nelze potvrdit hypotézu, že měnový agregát M2 je v rámci našeho modelu exogenní veličinou.

Predikce ex ante poukazuje na kontinuální růst úrovně všech ukazatelů. Úrokovou míru jsme očekávali konstantní, případně o něco málo nižší oproti předchozím obdobím, predikce však poukazuje na nepatrný růst. Tento rozpor je zřejmě důsledkem nepříliš velké proměnlivosti dat, zejména v druhé části sledovaného časového intervalu (inflace se v rámci režimu cílování inflace příliš nevychyluje od inflačního cíle a úroková míra PRIBOR se již delší dobu také příliš nemění¹³), a krátkou délkou maximálního zpoždění, kterou jsme do modelu na základě zvolených ukazatelů zahrnuli. Nízká proměnlivost dat může být také důvodem poměrně slabých reakcí některých proměnných na exogenní impulsy v rámci analýzy funkcí odezvy a dále přesných bodových předpovědí, ačkoliv směrodatné chyby odhadů vyšly poměrně vysoké.

V rámci analýzy funkcí odezvy jsme si mohli všimnout měnících se a někdy těžko interpretovatelných reakcí (např. reakce úrokové míry na jednotkový exogenní šok v měnovém agregátu). To může být způsobeno poměrně krátkými časovými řadami, jejich nesourodostí, která je způsobena především různými transformacemi české ekonomiky, kterými v minulosti prošla a stále jakožto tranzitivní ekonomika prochází, a dále různými administrativními změnami, ale také již zmíněným faktem, že se ve sledovaném období proměnné příliš nemění. Pokud bychom tuto studii porovnali s analýzami sahajícími hlouběji do minulosti, mohli bychom vysledovat postupnou stabilizaci systému odsekáváním historických dat z destabilizovaných období plných transformací (k podobným závěrům dochází také Arnoštová, Hurník (2005)). Z tohoto hlediska je tedy systém poměrně nestabilní - i nepatrné rozdíly v rozsahu vzorku vedou až k diametrálně odlišným závěrům. Tato nestabilita však může být způsobena také nezahrnutím dalších podstatných proměnných – zejména HDP a měnového kursu, kursový ka-

13) To zřejmě ovlivňuje také závěry o GK, viz předchozí odstavec.

nál totiž hraje v transmisním mechanismu malé otevřené ekonomiky podstatnou roli, a řady dalších. K dosažení reálnějších a přesnějších analýz by bylo dále možné uvažovat v modelu očekávání ekonomických subjektů, případně také makroekonomické ukazatele jiných ekonomik, se kterými je Česká republika svázána (např. Německo).

Zásadní nevýhodou VAR modelů v makroekonomické analýze je nutnost stacionarity¹⁴ použitých časových řad a dále rapidní nárůst odhadovaných parametrů při zahrnutí většího počtu proměnných a při rostoucí délce maximálního zpoždění – množství odhadovaných parametrů tak snadno přesáhne počet stupňů volnosti.¹⁵ Toto omezení je zásadní především u makroekonomických modelů velkých rozsahů, jak uvádí Sims (1980).

Článek vznikl s podporou projektu IGA F4/1/2012, „Modelování a anticipace vlivů alternativní monetární politiky na ekonomiku ČR“, Fakulta informatiky a statistiky, VŠE v Praze.

References

- [1] ARLT, J. – ARLTOVÁ, M.: Ekonomické časové řady. Praha: Professional Publishing, 2009. ISBN 978-80-86946-85-6.
- [2] ARNOŠTOVÁ, K. - HURNÍK, J.: The Monetary Transmission Mechanism in the Czech Republic (Evidence from VAR Analysis); Prague: CNB Working Paper, 2005, Vol. 4.
- [3] BISOVÁ, S.: Diplomová práce: Modely vývoje inflace a její volatility v ČR. Vysoká škola ekonomická v Praze, 2011; dostupné online: [<https://www.vse.cz/vskp/eid/25126>].
- [4] BISOVÁ, S.: Dynamická analýza české ekonomiky pomocí VAR modelů. Sborník z mezinárodní konference v Praze: Nové trendy v ekonometrii a operačním výzkumu. Bratislava: EKONÓM, 2011, pp. 6-15. ISBN 978-80-225-3317-1.
- [5] HUŠEK, R.: Ekonometrická analýza. Praha: Oeconomica, 2007. ISBN 978-80-245-1300-3.
- [6] HUŠEK, R.: Aplikovaná ekonometrie: teorie a praxe. Praha: Oeconomica, 2009.

14) Stacionarizací přechodem na diference prvních či vyšších řádů ztrácíme dlouhodobou informaci o vztazích mezi proměnnými, která je pro kvalitní předpověď jejich vývoje podstatná. To je také důvod, proč zpravidla získáme na základě VAR modelů kvalitní predikci pouze pro krátký horizont předpovědi.

15) Užití metody nejmenších čtverců a diagnostická kontrola modelu vyžadují kladný počet stupňů volnosti.

ISBN 978-80-245-1623-3.

- [7] LUCAS, R.: Expectations and the Neutrality of Money. *Journal of Economic Theory*, 1972, Vol. 4, pp. 103-124.
- [8] MANDEL, M.: Cílování inflace a peněžní zásoby při exogenních šocích. *Finance a Úvěr*, 1998, Vol. 48, No. 4, pp. 237-351.
- [9] MANDEL, M. – TOMŠÍK, V.: Monetární ekonomie v malé otevřené ekonomice, 2. rozšířené vydání. Praha: Management Press, 2008. ISBN 978-80-7261-185-0.
- [10] REVENDA, Z. – MANDEL, M. – KODERA, J. – MUSÍLEK, P. – DVOŘÁK, P. – BRADA, J.: Peněžní ekonomie a bankovníctví – 4. vydání. Praha: Management Press, 2005. ISBN 80-7261-132-1.
- [11] REVENDA, Z.: Centrální bankovníctví, 3. aktualizované vydání. Praha: Management Press, 2011. ISBN 978-80-7261-230-7.
- [12] SIMS, Ch.: Money, Income and Causality. *American Economic Review*, 1972, Vol. 62, No. 4, pp. 540-552.
- [13] SIMS, Ch.: Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 1980, Vol. 48, No. 1, pp. 1-48.
- [14] ŠMÍDKOVÁ, K.: Transmisní mechanismus měnové politiky na počátku 3. tisíciletí. *Czech Journal of Economics and Finance - Finance a Úvěr*, 2002, Vol. 52, No. 5, pp. 287-306.

Bisová Sára, Ing., Department of Econometrics, Faculty of Informatics and Statistics, Uni-versity of Economics in Prague, W. Churchill 's Square 4, Prague 3, tel: +420 224 09 5445, e-mail: sara.bisova@gmail.com, xbiss00@vse.cz.