

Porovnání stres test modelů pro regulační účely institucí využívajících IRBA metodu

*Michal Kováč**

Abstrakt:

Příspěvek se zabývá porovnáním stres test modelů institucí využívající pro stanovení kapitálového požadavku metodu IRBA. Pro konstrukci stres testů bylo využito různých přístupů k determinaci hodnot rizikových parametrů PD, EAD a LGD. Kromě modelu VEC, který provazuje rizikové parametry a vybrané makroekonomické veličiny, byly konstruovány stres testy pomocí modelu absolutních hodnot, modelu relativních změn a modelu VaR, resp. CVaR. Jednotlivé přístupy byly testovány a vzájemně porovnány ve dvou úrovních. V první úrovni docházelo pouze k stresování rizikového parametru PD a následně ve druhé úrovni všech rizikových parametrů. Empirickou analýzou na reálném portfoliu retail klientely působící na území České republiky v období 2005 – 2017 byly mezi některými přístupy prokázány výrazné rozdíly v hodnotě kapitálu. Rovněž bylo prokázáno, že užitím vhodné metody při stresování pouze parametru PD, lze dosáhnout totožné hodnoty kapitálu jako v případě stresování všech rizikových parametrů simulující podmínky požadované Basilejským výborem.

Klíčová slova: Stres test; Retail klientela; VECM; VaR; Historické simulace.

JEL klasifikace: C53, G28, G32.

1 Úvod

Využívání stresových scénářů pro účely stanovení přiměřené hodnoty kapitálu se stalo v posledních desetiletích běžnou praxí u finančních institucí. Jejich význam se zvyšoval nejen z důvodů probíhajících finančních krizí, které prokázaly nedostatečnou kapitálovou výbavu, ale i z důvodů inovací pro výpočet minimálního kapitálového požadavku v rámci kapitálových požadavků Basel II. Dopad inovací spočíval v povinném provádění stres testů pro všechny instituce, které pro výpočet minimálního kapitálového požadavku využívají metodu interního ratingu (IRB) (BIS, 2006).

Metoda interního ratingu, která byla prezentována ve dvou přístupech, spočívá ve vlastních odhadech rizikových parametrů. V prvním přístupu, IRBF (Foundation Internal Ratings-Based Approach), mohou finanční instituce odhadovat pouze *PD* (Probability of Default – Pravděpodobnost selhání), parametry *EAD* (Exposure at Default – Expozice v době selhání) a *LGD* (Loss Given Default – Ztráta v případě

* Michal Kováč, Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta financí a účetnictví, katedra měnové teorie a politiky, nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha 3; <kovac.michal@email.cz>.

Článek je zpracován jako součást výstupů projektu IGA VŠE F1/18/2017 *Makrofinanční stabilita a finanční cyklus v zemích s negativní čistou investiční pozicí*.

selhání) jsou stanoveny regulátorem. V pokročilém přístupu, IRBA (Advanced Internal Ratings-Based Approach), finanční instituce provádějí vlastní odhady všech rizikových parametrů. Zatímco odhady daných parametrů slouží pro kvantifikaci minimálního kapitálového požadavku, cílem stres testů je stanovení hodnoty kapitálu (ICAAP – Internal Capital Adequacy Assessment Process) nad úroveň minimálního kapitálového požadavku. Stres testy lze charakterizovat jako kvantitativní hodnocení kritických, avšak věrohodných scénářů (BIS, 2009), které by mohly mít vliv na finanční situaci a kapitálovou přiměřenost finanční instituce. Jako věrohodný scénář je Basilejským výborem považováno simulování mírné recese¹ na všech rizikových parametrech (*PD*, *EAD*, *LGD*). Kromě řady doporučení, která jsou publikována Basilejským výborem (BIS, 2006; BIS, 2017), je proces interního hodnocení kapitálové přiměřenosti plně ponechán na finančních institucích. Značná volnost při provádění procesu ICAAP, pro který většina finančních institucí využívá právě stresové scénáře, vedla k rozmachu přístupů a metod pro provádění stres testů.

Prvním z přístupů, který je rovněž i doporučován Basilejským výborem, je přístup založen na propojení rizikových parametrů a makroekonomických veličin, které vychází z prokazatelné procykličnosti rizikových parametrů (BIS, 2009). Pro kvantifikaci vazeb mezi výše zmíněnými proměnnými se využívá především modelu VEC (Vector Error Correction), resp. VAR (Vector Autoregression) v případě stacionárních časových řad.

Z důvodu nestacionarity ekonomických časových řad má zejména model VEC široké uplatnění. Ovšem problém při tvorbě stresových scénářů prostřednictvím modelu VEC představoval zejména rizikový parametr *LGD*. Z důvodu delšího pozorovacího okna než v případě *PD* a *EAD* se řada studií potýkala s problémem jeho provázanosti na makroekonomické veličiny prostřednictvím modelu VEC. I proto Assuan (2012) nebo Guerrouaz (2016) při provádění stres testů stresovali pouze rizikový parametr *PD*. Následně řada studií (Hoggarth, Logan a Zicchino, 2005; Wong, Choi a Fong, 2006; Asberg a Shahnazarian, 2008; End, Hoeberichts a Tabbae, 2006; Ardian, Guerrouz a Rey, 2016) penalizovala nestresování rizikových parametrů *EAD* a *LGD* simulací více paralelních šoků a jejich dopad na rizikový parametr *PD*, nebo prostřednictvím modelování hodnoty *PD* během nejkritičtějšího období finanční² (resp. dluhové³) krize. Právě využití simulací v období krize, která významně přesahuje požadavky věrohodného scénáře,

¹ Dvě po sobě jdoucí období nulového růstu (BIS, 2017).

² Za finanční krizi považujeme pro účely příspěvku Globální finanční krizi 2008 (Verick a Islam, 2010), projevující se v České republice významným poklesem HDP a růstem nezaměstnanosti v období 2008Q4 – 2009Q3 (ČSÚ, 2018a; ČSÚ, 2018b)..

³ Za dluhovou krizi považujeme pro účely příspěvku Evropskou dluhovou krizi (Kraussl, Lehnert a Stefanova, 2017), projevující se v České republice mírným poklesem HDP a značným růstem nezaměstnanosti v období 2012Q1 – 2012Q4 (ČSÚ, 2018a; ČSÚ, 2018b).

kompenzuje nestresování rizikových parametrů *EAD* a *LGD*. Daný přístup ovšem kritizoval ve své práci Foglia (2009), který tvrdí, že nestresování rizikových parametrů *EAD* a zejména *LGD* může výrazně podhodnocovat výsledky stres testů.

Vhodnost penalizačního rizikového parametru *PD*, jako přístupu kompenzujícího nestresování parametrů *EAD* a *LGD* by bylo vhodné porovnat pomocí alternativních způsobů tvorby stresových scénářů, které umožňují stresovat i výše zmíněné rizikové parametry. Za alternativní způsoby, které jsou rovněž v současné době využívané finančními institucemi působícími v segmentu retail klientely (BIS, 2012), se řadí především přístupy založené na různých tradičních a historických simulacích nebo model *VaR* (Value at Risk). K aplikaci modelu *VaR* pro účely tvorby stres testů existuje velké množství publikací, mezi které lze zařadit například Naimy (2012), Dominguez a Alfonso (2004), Alexander a Ledermann (2012) nebo i publikaci samotné BIS (2005).

Rozdíly mezi doporučeným modelem a zvolenými alternativními metodami jsou značné. Jednotlivé přístupy pracují s jinými předpoklady, způsoby interpretace a rovněž se významně liší i v konstrukční náročnosti. Zatímco u modelu *VEC* je nezbytné provést před samotnou konstrukcí, z důvodu vysokého počtu homogenních skupin⁴, agregaci rizikových parametrů, alternativní přístupy pracují na úrovni homogenních skupin. Na druhou stranu, pro finanční instituce využívající alternativní metody je nutné, aby časová řada pro účely stres testů obsahovala alespoň jeden strukturální zlom, zatímco u modelu *VEC* to nezbytné není.

Cílem příspěvku bude charakteristika a konstrukce alternativních přístupů pro kvantifikace kapitálu a jejich následné porovnání s modelem *VEC*, jehož výsledky budou přebrány ze studie Kováč (2018), kde byl model *VEC* konstruován na totožném portfoliu retail klientely během identického časového období. Za alternativní přístupy budeme považovat model absolutních hodnot, model relativních změn a modely *VaR* a *CVaR* (Conditional *VaR*). Alternativní přístupy budou sestrojeny ve dvou úrovních. První z nich bude stresovat všechny rizikové parametry za podmínek mírné recese (BIS, 2017), zatímco druhá úroveň bude stresovat pouze rizikový parametr *PD* simulující nejkritičtější období finanční krize. Konstrukce na úrovni parametru *PD* je nezbytná hlavně z důvodu vhodného porovnání s modelem *VEC*, který se povedl zkonstruovat pouze na úrovni rizikového parametru *PD*. Konstrukce alternativních přístupů ve dvou úrovních nám rovněž poskytne odpověď, jak významných rozdílů v hodnotě kapitálu lze dosáhnout při provádění stres testů na úrovni všech rizikových parametrů za podmínek mírné recese v porovnání se stresováním pouze rizikového parametru *PD* během krizového období.

⁴ Homogenní skupiny představují výsledek procesu segmentace, která je prováděna za účelem seskupení úvěrů se stejnými nebo podobnými charakteristikami. Cílem segmentace je minimalizace volatility při odhadech rizikových parametrů pro jednotlivé homogenní skupiny.

Stres testy budou prováděny na portfoliu retail klientely působící na území České republiky, tj. rezidentů i nerezidentů s trvalým anebo přechodným pobytem v České republice. Dané portfolio zahrnuje téměř 600 tisíc výkonných a nevýkonných pohledávek. Nevýkonné pohledávky představují všechny úvěry, které jsou minimálně 90 dní po splatnosti, v odkladu nebo ve vymáhání. Mezi produkty poskytované dané klientele patří osobní úvěry, spotřebitelské úvěry ve znění ČNB (2017) a revolvingové úvěry. Skupina revolvingových úvěrů představuje poskytnuté kreditní karty s předepsaným úvěrovým rámcem. Historická časová řada pro účely tvorby stres test modelů obsahuje data za období 2005Q1 – 2017Q3.

Príspevek je usporádaný následovne: druhá časť sa venuje prvným z alternatívnych prístupů, modelu absolútných hodnôt a modelu relatívnych zmien rizikových parametrov. Tretia časť sa zaoberá konštrukciou modelů VaR a CVaR. Čtvrtá časť prezentuje vzájemné porovnání modelů pro jednotlivé úrovně. V poslední části budou formulovány závěry vyplývající z výsledků provedených analýz.

2 Modely absolútných hodnôt a relatívnych zmien rizikových parametrov

Modely absolútných hodnôt a relatívnych zmien predstavujú dva prístupy kvantifikácie kapitálu pro účely stres testů, které se vzájemně doplňují. Model absolútných hodnôt a model relatívnych zmien můžeme zaradiť do historických simulací. Velkou výhodou daných modelů je rychlá proveditelnost a jednoduchá interpretace modelu. Další přednost modelu v porovnání s modelem VEC je fakt, že není nutná úprava parametrov, protože pracuje na úrovni homogenních segmentů u všech rizikových parametrov.

Výsledné hodnoty kapitálu modelem absolútných hodnôt bude dosaženo tak, že na současné portfolio, které stresujeme, aplikujeme postupně reálné hodnoty PD , EAD , LGD v průběhu celé historie. Hodnoty rizikových parametrov pro výpočet kapitálu v jednotlivých obdobích (2004Q4 – 2014Q3) budou dosazovány do regulační rovnice následujícím způsobem:

$$K_t = LGD_{t \rightarrow t+36} \times \left[(1-R)^{-\frac{1}{2}} \times G(PD_{t \rightarrow t+12}) + \left(\frac{R}{(1-R)} \right)^{\frac{1}{2}} \times G(0,999) \right] - PD_{t \rightarrow t+12} \times LGD_{t \rightarrow t+3} \quad (1)$$

$$RWA_t = K_t \times 12,5 \times EAD_{t \rightarrow t+12}, \quad (2)$$

$$EL_t = PD_{t \rightarrow t+12} \times EAD_{t \rightarrow t+12} \times LGD_{t \rightarrow t+36}, \quad (3)$$

$$\text{Kapitál}_t^{ST} = EL_t + RWA_t \times 0,08, \quad (4)$$

kde PD je pravděpodobnost selhání,
 EAD je výše expozice v selhání,
 LGD je ztráta v selhání,
 K je kapitálový požadavek,
 RWA jsou rizikově vážená aktiva,
 EL je očekávaná ztráta,
 N je kumulativní distribuční funkce a
 G je inverzní kumulativní distribuční funkce.

Pro účely stres testů na úrovni rizikového parametru PD budou parametry EAD a LGD substituovány stejným způsobem jako u modelu VEC. Parametry EAD a LGD budou nahrazeny jejich současnými odhady pro odpovídající časové období, tj. $EAD_{2017Q3 \rightarrow 2018Q3}^e$ a $LGD_{2017Q3 \rightarrow 2020Q3}^e$.

Model relativních změn rizikových parametrů lze charakterizovat jako přístup podpůrný k modelu absolutních hodnot. Model relativních změn totiž může vést za určitých okolností k vyšším hodnotám kapitálu pro účely stres testů oproti modelu absolutních hodnot. Daná situace může nastat, pokud jsou hodnoty rizikových parametrů již v nekrizovém období nadprůměrné v porovnání s obdobími před finanční anebo dluhovou krizí. Důvod způsobující nadprůměrnost rizikových parametrů může být zapříčiněn změnou strategie finanční instituce, v podobě poskytování nových⁵ produktů nebo akviziční činností, kterou finanční instituce podstupuje s cílem zvýšit podíl na trhu. Následné simulování finančních krizí na dané portfolio by vedlo u modelu absolutních hodnot pouze k mírnému nebo dokonce k nulovému růstu rizikových parametrů, a tudíž by model absolutních hodnot podhodnocoval kapitál pro účely stres testů. Postup a způsob výpočtu kapitálu pro účely stres testů na úrovni všech rizikových parametrů bude totožný jako v případě modelu absolutních hodnot s tím rozdílem, že hodnoty rizikových parametrů budou nahrazeny následujícím způsobem:

$$LGD_t = \frac{LGD_{t \rightarrow t+36}}{LGD_{t-12 \rightarrow t+24}} \times LGD_p, \quad (5)$$

$$PD_t = \frac{PD_{t \rightarrow t+12}}{PD_{t-12 \rightarrow t}} \times PD_p, \quad (6)$$

$$EAD_t = \frac{EAD_{t \rightarrow t+12}}{EAD_{t-12 \rightarrow t}} \times EAD_p, \quad (7)$$

kde PD_p, EAD_p, LGD_p jsou poslední pozorování pro dané parametry⁶.

⁵ O kterých nemáme data během krize, a mohou být ještě rizikovější.

⁶ Konec období pro všechny parametry je 2017Q3 (počátek období závisí na délce pozorovacího okna).

U výpočtu kapitálu, pro účely stres testů na úrovni rizikového parametru PD v jednotlivých obdobích (2004Q4 – 2017Q3), budou parametry EAD a LGD substituovány stejným způsobem jako u modelu absolutních hodnot.

$$\frac{EAD_{t \rightarrow t+12}}{EAD_{t-12 \rightarrow t}} \times EAD_p = EAD_{2017Q3 \rightarrow 2018Q3}^e \quad (8)$$

$$\frac{LGD_{t \rightarrow t+36}}{LGD_{t-12 \rightarrow t+24}} \times LGD_p = LGD_{2017Q3 \rightarrow 2020Q3}^e \quad (9)$$

3 Model VaR a CVaR

Model VaR (Value at Risk) představuje metodu publikovanou již v říjnu 1987, která se brzy stala nejpoužívanějším nástrojem pro měření ztrát z konkrétního portfolia. Model VaR můžeme pro konkrétní portfolio, určitou míru pravděpodobnosti α a předem stanovený časový horizont, charakterizovat jako prahovou hodnotu, kde pravděpodobnost přesažení prahové hodnoty je dána pravděpodobností α . I když byl model VaR primárně sestaven pro řízení tržních rizik, své uplatnění našel i v oblasti likvidních a kreditních rizik. Jeho široké využití demonstruje i fakt, že regulačně stanovený výpočet rizikově vážených aktiv (RWA) pro účely kapitálové přiměřenosti využívá právě model VaR. Značná obliba modelu VaR u finančních institucí pramení z rychlého výpočtu a snadné interpretace vedla rovněž k různým modifikacím modelu VaR. Mezi nejvyužívanější metody výpočtu VaR patří historická simulace, metoda simulací Monte Carlo nebo filtrované historické simulace kombinující historické simulace s modely podmíněné volatility (GARCH nebo EGARCH). Detailním porovnáním jednotlivých metod se ve svých pracích zabývali Li a kol. (2012) nebo Lindgren (2014).

Model VaR byl rovněž podroben značné kritice. Kritika byla směřována zejména k dvěma nedostatkům, které omezovaly vypovídající schopnost modelu VaR. První nedostatek spočíval ve významně nižších hodnotách VaR v předkrizovém období (Stein, 2012), které bude možné pozorovat u testovaného portfolia. Druhý nedostatek představuje neschopnost modelu kvantifikovat hodnotu ztrát v případě, že přesáhnou předem stanovenou míru pravděpodobnosti alfa. Zatímco podhodnocení rizik modelem VaR v předkrizovém období lze do jisté míry korigovat úpravou intervalu, ze kterého je VaR počítán⁷, odstranění druhého nedostatku bylo provedeno modifikací modelu VaR, který pracuje právě s intervalem přesahujícím prahovou hodnotu charakterizovanou parametrem α . Model CVaR (Conditional VaR) kvantifikuje ztrátu jako střední hodnotu všech ztrát přesahujících stanovenou prahovou hodnotu. Výsledná hodnota CVaR je tudíž podmíněna zvolené míře pravděpodobnosti alfa klasického modelu VaR. Detailní

⁷ Za předpokladu dostatečně dlouhé časové řady.

charakteristikou modelu CVaR a její vazbě na model VaR se ve svých publikacích zabývali Lindgren (2014), Brunel (nedatováno), Lutkebohmert (2009) nebo Hibbeln (2010).

Velkou výhodou modelů VaR a CVaR a hlavní důvod, proč budeme dané modely aplikovat na testované portfolio, je jejich odlišnost od předešlých modelů ve způsobu stanovení stresové hodnoty jednotlivých rizikových parametrů. Modely VaR a CVaR stanovují hodnoty rizikových parametrů pomocí kvantilové funkce, ve které jsou hodnoty parametrů seřazeny dle jejich výše a ne dle časového období. Tím pádem dochází k výběrům maximálních hodnot rizikových parametrů PD , EAD a LGD při stanovení úrovní spolehlivosti α . Jinými slovy, dochází k výběru maximálních hodnot daných parametrů nezávisle na tom, během které krize byly dosaženy. I proto můžeme u modelů VaR a CVaR očekávat v současném pokrizovém období, že na úrovni všech rizikových parametrů (PD , EAD , LGD) budou dosaženy extrémní hodnoty kapitálu pro účely stres testů.

Pro výpočet hodnot jednotlivých rizikových parametrů využijeme metodu historické simulace VaR. Volba modelu vychází z nerovnoměrných rozdělení rizikových parametrů, a tudíž lze neparametrickou metodu historických simulací považovat za nejvhodnější. Způsob kalkulace jednotlivých rizikových parametrů lze zapsat dle Li a kol. (2012) následujícím způsobem:

$$VaR_{\alpha}^{t+1} = \text{percentile}[(rp_{t+1-\tau})_{\tau=1}^m, (100 \times \alpha)\%], \quad (10)$$

kde VaR_{α}^{t+1} je hodnota VaR na zvolené hodnotě pravděpodobnosti α a $(rp_{t+1-\tau})_{\tau=1}^m$ je časová řada rizikových parametrů (PD , EAD , LGD),

$$CVaR^{t+1} = E[rp | rp > VaR_{\alpha}^{t+1}], \quad (11)$$

kde $CVaR^{t+1}$ je hodnota CVaR na zvolené hodnotě pravděpodobnosti α a rp je hodnota rizikového parametru.

Výsledné hodnoty rizikových parametrů již nebudou vstupovat do regulační rovnice (1), která pracuje rovněž na principu VaR, čímž by byl proveden dvojitý VaR model vedoucí k dosažení ještě extrémnějších hodnot. Výpočet kapitálu pro účely stres testů na úrovni všech rizikových parametrů bude počítán následovně:

$$\text{Kapitál}_t^{ST} = PD_{t \rightarrow t+12}^{VaR(\alpha)} \times EAD_{t \rightarrow t+12}^{VaR(\alpha)} \times LGD_{t \rightarrow t+36}^{VaR(\alpha)}, \quad (12)$$

kde $RWA_t^{VaR(\alpha)}$ jsou rizikově vážená aktiva vypočítaná modelem VaR,
 $PD_{t \rightarrow t+12}^{VaR(\alpha)}$ je parametr PD vypočítaný modelem VaR,
 $EAD_{t \rightarrow t+12}^{VaR(\alpha)}$ je parametr EAD vypočítaný modelem VaR a
 $LGD_{t \rightarrow t+36}^{VaR(\alpha)}$ je parametr LGD vypočítaný modelem VaR.

V případě výpočtu kapitálu na úrovni rizikového parametru PD , budou parametry EAD a LGD substituovány stejným způsobem jako u předešlých modelů.

$$EAD_{t \rightarrow t+12}^{VaR(\alpha)} = EAD_{2017Q3 \rightarrow 2018Q3}^e \quad (13)$$

$$LGD_{t \rightarrow t+36}^{VaR(\alpha)} = LGD_{2017Q3 \rightarrow 2020Q3}^e \quad (14)$$

U modelu CVaR bude na obou úrovních využit stejný způsob výpočtu kapitálu pro účely stres testů jako v případě VaR. Výpočet celkové hodnoty kapitálu bude ve všech výše popsanych variantách proveden na úrovních pravděpodobnosti 90 %, 95 % a 99 %.

4 Vzájemné porovnání výsledných hodnot kapitálu

Výsledné porovnání jednotlivých přístupů bylo provedeno ve dvou úrovních. První úroveň představuje stresové simulace vystresováním pouze rizikového parametru PD , ve druhé úrovni byla provedena stresová simulace u všech rizikových parametrů (PD , EAD , LGD). Pro konstrukce stres testů bylo na úrovni rizikového parametru PD využito modelu absolutních hodnot, modelu relativních změn, VaR, CVaR (90 %, 95 % a 99 % pro oba modely) a modelu VEC. Na úrovni všech rizikových parametrů jsme provedli srovnání mezi výše zmíněnými modely, kromě modelu VEC, který se povedlo zkonstruovat pouze na úrovni PD . Pro srovnání jednotlivých přístupů bude pro obě úrovně platit, že v případě modelu VaR (resp. CVaR) bude brána poslední hodnota kapitálu. U ostatních modelů bude v případě stresování na úrovni PD brána maximální hodnota kapitálu⁸. Při stresování všech rizikových parametrů v souladu s Basilejským doporučením (BIS, 2017) bude brána hodnota v období nulového růstu HDP, kterému se nejvíc blíží období 2011Q1 – 2011Q3 (ČSÚ, 2018b). Pro lepší přehlednost jsou porovnávány hodnoty pro jednotlivé přístupy zvýrazněny na Grafu 1 a 2 tečkou.

Pro účely porovnání bude bazickou hodnotu pro všechny modely na obou úrovních představovat hodnota kapitálu k období 201709⁹, tj. k období pro které stres testy konstruujeme. Hodnota kapitálu ($Kapitál_t^{ST}$) je kalkulována dle rovnic prezentovaných u charakteristiky jednotlivých modelů. V průběhu pozorovacího období (2005Q1 – 2017Q3) došlo pouze k jedné metodologické změně. Mírné zpřísnění výpočtu parametru PD , které bylo nasazeno v 2009Q2 ovšem nevedlo k výraznému nárůstu daného parametru.

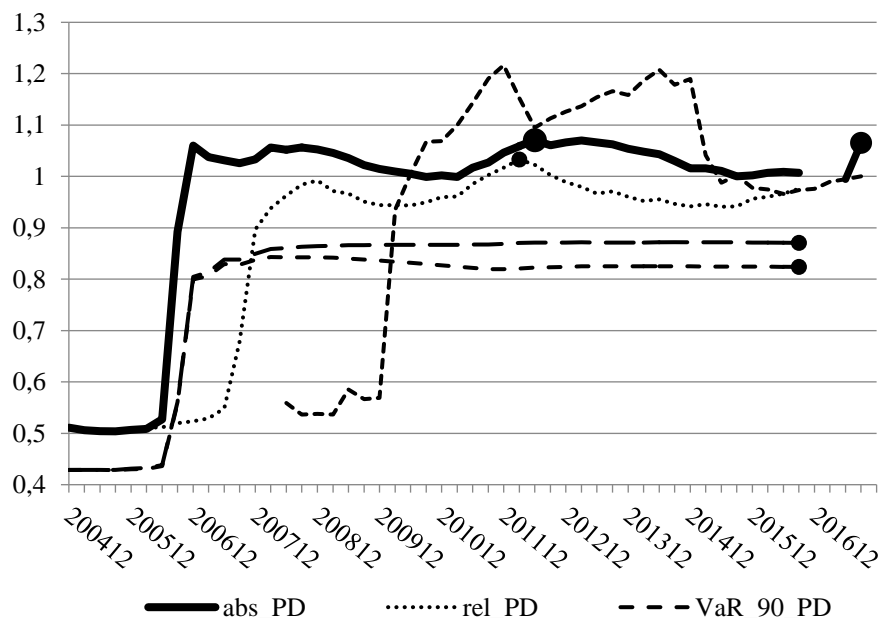
Na úrovni rizikového parametru PD byla do grafu (Obr. 1) zanesena i osa zobrazující hodnotu kapitálu vypočítanou pro současné portfolio pomocí historických odhadů rizikových parametrů. Hodnota kapitálu na základě odhadu představuje v bodě 201709 současnou hodnotu kapitálu a rovněž i bazickou hodnotu

⁸ Dosažena během nejkritičtějšího období finanční (nebo dluhové) krize.

⁹ $K_{201709} = 1$

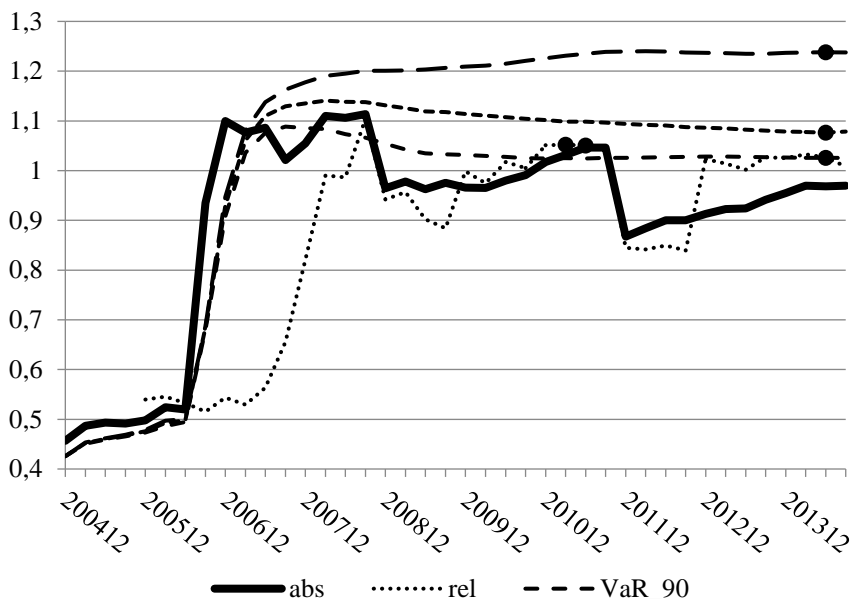
pro vzájemné porovnání jednotlivých přístupů. Odhady parametrů *EAD* a *LGD* v bodě 201709 rovněž nahrazují dané parametry při výpočtu kapitálu na úrovni rizikového parametru *PD*. Z daného důvodu je model VEC přímo napojen na osu odhadů, kde rozdíl hodnoty kapitálu v bodě 201709 je pouze výsledkem stresové simulace parametru *PD*. Pro simulaci hodnoty *PD* u modelu VEC byly využity hodnoty HDP v nejkritičtějších fázích během finanční krize. Modelem VEC bylo dosaženo spolu s modelem absolutních hodnot nejvyšší hodnoty kapitálu na úrovni rizikového parametru *PD*, přičemž v obou případech došlo k navýšení kapitálu o 7 %. Modelem relativních změn bylo nejvyšší hodnoty kapitálu naměřeno v průběhu dluhové krize, z čehož vyplývá, že během dluhové krize došlo k relativně vyššímu růstu *PD*, než během krize finanční. Hodnotu kapitálu modelem relativních změn můžeme považovat v porovnání s modelem VEC a modelem absolutních hodnot za nízkou, neboť překračovala bazickou hodnotu pouze o 3,3 %. Výrazně nedostatečných výsledků bylo dosaženo modely VaR a CVaR na všech úrovních spolehlivosti. Úroveň kapitálu pod úrovní současné hodnoty kapitálu u modelů VaR a CVaR byla zapříčiněna především nevyužitím regulační rovnice, která se vyznačuje vysokou citlivostí na parametr *PD*, nýbrž prostého součinu jednotlivých rizikových parametrů (12). Hodnoty kapitálu modelem CVaR byly oproti klasickému VaR modelu vyšší v průměru pouze o 1 % a z důvodu lepší přehlednosti, stejně jako model VaR 95 %, byly z Grafu 1 vypuštěny.

Graf 1 Vzájemné porovnání přístupů na úrovni rizikového parametru *PD*



Zdroj: interní data, vlastní zpracování.

Graf 2 Vzájemné porovnání přístupů na úrovni všech rizikových parametrů



Zdroj: interní data, vlastní zpracování.

V případě stresování všech rizikových parametrů je výsledná hodnota kapitálu dána hodnotou kapitálu za podmínek mírné recese. Mírnou recesi lze dle Basilejského doporučení aproximovat dvěma po sobě jdoucími obdobími nulového růstu, čemuž se nejvíc blíží období 2011Q1 – 2011Q3. V daném období bylo modely absolutních hodnot a relativních změn dosaženo pouze mírně vyšších hodnot kapitálu než současné hodnoty kapitálu. Hodnota kapitálu u modelu absolutních hodnot dosahovala 1,04 násobku současné hodnoty kapitálu, u modelu relativních změn hodnoty 1,05. Modely VaR a CVaR bylo na úrovni všech rizikových parametrů dosaženo, v závislosti na úrovni spolehlivosti, výrazného rozpětí v hodnotě kapitálu. Zatímco VaR (90 %) dosahoval pouze úrovně 1,025 násobku současné hodnoty kapitálu, v případě VaR (95 %) byla hodnota kapitálu 1,07. Tato hodnota je totožná s hodnotou dosaženou modelem VEC a modelem absolutních hodnot na úrovni PD. Model VaR na nejvyšší testované úrovni (99 %) již vedl k enormnímu nárůstu kapitálu. Na základě významného rozdílu s hodnotou kapitálu vytvořenou ostatními modely, na úrovni všech rizikových parametrů, můžeme model VaR (99 %) považovat za model katastrofický. Výrazně vysokou hodnotu kapitálu vytvořenou modelem VaR na úrovni 99 % potvrzuje i fakt, že daná hodnota je prakticky stejná jako hodnota kapitálu vypočítaná standardním přístupem (konkrétně o 23,8 % vyšší než je současný kapitálový požadavek, u standardního přístupu je to o 26,3 %). Nasazením modelu VaR (99 %) finanční institucí pro účely

stres testů by vedlo ke ztrátě motivace setrvat u metody interního ratingu (IRB), která je oproti standardní metodě výrazně nákladnější a mnohem náročnější.

Pro úplnost je nezbytné dodat, že v případě stresování všech rizikových parametrů modelem CVaR došlo k nárůstu kapitálu oproti modelu VaR v průměru pouze o 2 % a proto jejich výsledky, z důvodu vyšší přehlednosti, byly z Grafu 2 opět vypuštěny.

5 Závěr

Cílem příspěvku bylo porovnání alternativních přístupů k tvorbě stres testů s modelem VEC. Výsledky stres testů modelem VEC byly převzaty ze studie Kováč (2018), kde byl daný model konstruován pro totožné portfolio během stejného období.

Kromě porovnání zmiňovaných modelů se příspěvek snaží poskytnout odpověď, k jak významným rozdílům lze dospět v případě stresování všech rizikových parametrů a stresováním pouze parametru *PD*. V případě stresování pouze parametru *PD* byla provedena simulace *PD* během nejkritičtějšího období finanční krize. Při stresování všech rizikových parametrů byla volba simulace v souladu s Basilejským doporučením, které považuje simulaci nulového růstu za dostatečnou. Protože se model VEC podařilo zkonstruovat pouze na úrovni parametru *PD*, je daný model součástí pouze vzájemného porovnání modelů konstruovaných na úrovni rizikového parametru *PD*.

Na základě provedených testů a dosažených výsledků můžeme formulovat následující závěry:

Nejvyšší hodnota kapitálu pro účely stres testů na úrovni rizikového parametru *PD* byla dosažena modelem VEC a modelem absolutních hodnot (+ 7 % v porovnání se současnou hodnotou kapitálu) a tudíž oba přístupy lze považovat za vhodné při provádění stres testů na úrovni parametru *PD*. Výhodou modelu VEC je možnost různých simulací vývoje makroekonomických veličin a jeho dopadu na hodnotu kapitálu, což u modelu absolutních změn nelze. Významně nižších hodnot bylo dosaženo modelem relativních změn (+3,3 %).

Model VaR na úrovni rizikového parametru *PD* dosahoval nižší hodnoty kapitálu než je současná nestresovaná hodnota kapitálu. Hlavní příčinou bylo nevyužití regulatorní rovnice vyznačující se vysokou citlivostí na změnu parametru *PD*.

Na úrovni všech rizikových parametrů bylo dosaženo modelem absolutních hodnot a modelem relativních změn pouze mírně vyššího kapitálu (+4 %) než je jeho současná úroveň. Nízká úroveň hodnoty kapitálu u modelu relativním změn i v porovnání se stejným modelem na úrovni parametru *PD* byla zapříčiněna pravidelně opakujícími se odpisy a jejich dopady na hodnotu *LGD*, která byla u totožného modelu na úrovni *PD* považována za konstantu ($LGD_{2017Q3 \rightarrow 2020Q3}^e$).

Obdobně nízké hodnoty kapitálu bylo dosaženo i modelem VaR na úrovni spolehlivosti 90 %.

Model VaR (95 %) na úrovni všech rizikových parametrů dosahoval stejné hodnoty kapitálu jako model VEC a model absolutních hodnot na úrovni parametru *PD*.

Model VaR (99 %) na úrovni všech rizikových parametrů lze považovat za model blízký se katastrofickému scénáři. Daný přístup vedl k enormnímu nárůstu kapitálu (+23 %), přičemž daná hodnota byla téměř identická s kapitálem vypočítaným standardním přístupem pro totožné portfolio (+ 26 %).

Model CVaR na obou úrovních nevedl k výrazně vyšším hodnotám kapitálu v porovnání s modelem VaR. To bylo způsobeno tím, že buď homogenní skupiny vzdálené hodnoty (tzv. outliers) neobsahovaly, nebo jich bylo v průběhu pozorovacího období víc a zároveň byly nerozptýlené.

Z hlediska meziúrovňového porovnání, můžeme na základě výše provedených testů konstatovat, že modelem VEC a modelem absolutních hodnot na úrovni parametru *PD* s využitím simulace během nejkritičtějšího období finanční (resp. dluhové) krize lze plně aproximovat stres testy na úrovni všech rizikových parametrů za podmínek mírné recese, která je Basilejským výborem pro danou úroveň považována za postačující.

Literatura

ALEXANDER, C., LEDERMANN, D., 2012. *ROM Simulation: Applications to Stress Testing and VaR* [online]. [cit. 16. 8. 2018]. Dostupné z: <https://www.icmacentre.ac.uk/files/discussion-papers/DP_2012_09.pdf>.

ARDIA, D., GUERROUAZ, A., REY, J., 2016. Macroeconomic stress-testing of mortgage default rate using a vector error correction model and entropy pooling. *Insurance and Risk Management* [online]. Roč. 83, č. 3–4, s. 115–133. [cit. 16. 8. 2018]. Dostupné z: <<http://www.revueassurances.ca/en/>>. doi: 10.2139/ssrn.2806403.

ASBERG, P., SHAHNAZARIAN, H., 2008. Macroeconomic impact on expected default frequency. *Sveriges Riksbank Working Paper Series* [online]. Č. 219. [cit. 19. 6. 2018]. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.1088626>.

ASSOUAN, S., 2012. Stress Testing a Retail Loan Portfolio: An Error Correction Model Approach. *The Journal of Risk Model Validation* [online]. Roč. 6, č. 1, s. 3–25. [cit. 19. 6. 2018]. Dostupné z: <http://cmup.fc.up.pt/cmup/engmat/2012/seminario/artigos2012/alvaro/jrmv_assouan_web.pdf>. doi: <https://doi.org/10.21314/jrmv.2012.082>.

- BIS [Bank for International Settlements], 2005. *Stress testing at major financial institutions: survey results and practice* [online]. [cit. 16. 8. 2018] Dostupné z: <<https://www.bis.org/publ/cgfs24.pdf>>.
- BIS [Bank for International Settlements], 2006. *An International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards* [online]. [cit. 31. 3. 2017]. Dostupné z: <<https://www.bis.org/publ/bcbs128.pdf>>.
- BIS [Bank for International Settlements], 2009. *Principles for sound stress testing practickes and supervision* [online]. [cit. 31. 3. 2017]. Dostupné z: <<https://www.bis.org/publ/bcbs155.pdf>>.
- BIS [Bank for International Settlements], 2012. *Stress-testing macro stress testing: does it live up to expectations?* [online]. [cit. 17. 7. 2018]. Dostupné z: <<https://www.bis.org/publ/work369.pdf>>.
- BIS [Bank for International Settlements], 2017. *Basel III: Finalising post-crisis reforms* [online]. [cit. 31. 3. 2017]. Dostupné z: <<https://www.bis.org/bcbs/publ/d424.pdf>>.
- BRUNEL, V., [b. r.]. *Credit Value at Risk (CVaR)* [online]. [cit. 28. 10. 2017]. Dostupné z: <<http://vivienbrunel.free.fr/Other/CreditVaR.pdf>>.
- ČNB, 2017. *Spotřebitelský úvěr* [online]. [cit. 17. 6. 2018]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/spotrebitel/ochrana_spotrebitel/spotrebitelsky_uver.html>.
- ČSÚ, 2018a. *Nezaměstnanost* [online]. [cit. 2. 7. 2018]. Dostupné z: <<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZAM01C&f=TABULKA&z=T>>.
- ČSÚ, 2018b. *Výdaje na HDP* [online]. [cit. 2. 7. 2018]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61833261/hdpcr062918_vs.xlsx/a3bc3580be50-4960-9202-5c2604696be8?version=1.1>.
- DOMINGUEZ, J., ALFONSO, M., 2004. Applying Stress-Testing On Value at Risk (VaR) Methodologies. *Investment Management and Financial Innovations* [online]. Roč. 1, č. 4, s. 62–73. [cit. 16. 8. 2018]. Dostupné z: <https://businessperspectives.org/images/pdf/applications/publishing/templates/article/assets/1156/imfi_en_2004_04_Dominguez.pdf>.
- END, J., HOEBERICHTS, M., TABBAE, M., 2006. *Modelling scenario analysis and macro stress-testing* [online]. DNB Working Paper No. 119. [cit. 31. 3. 2017]. Dostupné z: <https://www.dnb.nl/binaries/Working%20Paper%20119_tcm46-146776.pdf>.

Kováč, M.: *Porovnání stres test modelů pro regulační účely institucí využívající IRBA metodu*.

FOGLIA, A., 2009. Stress Testing Credit Risk: A Survey of Authorities' Approach. *International Journal of Central Banking* [online]. Roč. 5, č. 3, s. 9–45. [cit. 18. 6. 2018]. Dostupné z: <<http://www.ijcb.org/journal/ijcb09q3a1.pdf>>. doi: 10.2139/ssrn.1396243.

GUERROUAZ, A., 2016. *Macroeconomic stress-testing of mortgage default rate using a vector error correction model and entropy pooling* [online]. Technical note No. 16-02. Montreal Institute of Structured Finance and Derivatives. [cit. 19. 6. 2018]. Dostupné z: <http://ifsid.ca/wp-content/uploads/2016/04/NT-16-02_Guerrouaz.pdf>.

HIBBELN, M., 2010. *Risk Management in Credit Portfolios* [online]. S. 8–16. [cit. 1. 9. 2018]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=f73jwdRa3t4C&oi=fnd&pg=PR3&dq=HIBBELN,+M.,+2010.+Risk+Management+in+Credit+Portfolios&ots=tE1FD5W6qx&sig=BNLleMpi02jaV7zpVDU7rC8zgcM&redir_esc=y#v=onepage&q=HIBBELN%2C%20M.%2C%202010.%20Risk%20Management%20in%20Credit%20Portfolios&f=false>.

HOGGARTH G., LOGAN A., ZICCHINO L., 2005. *Macro Stress Tests of UK banks* [online]. Bank for International Settlement. [cit. 9. 4. 2018]. Dostupné z: <<https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap22t.pdf>>.

KOVÁČ, M., 2018. Konstrukce stres testu pro regulační účely modelem VEC. *Český finanční a účetní časopis*. Roč. 12, č. 2, s. 43–59. [cit. 1. 9. 2018]. doi: 10.18267/j.cfuc.512.

KRAUSSL, R., LEHNERT, T., STEFANOVA, D., 2007. *The European sovereign debt crisis: What have we learned?* [online]. CFS Working Paper Series, no. 567, Center for Financial Studies, Goethe University. [cit. 1. 9. 2018]. Dostupné z: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/149623/1/87785405X.pdf>>.

LI, H., FAN, X., LI, Y., ZHOU, Y., JIN, Z., LIU, Z., 2012. *Approaches to VaR* [online]. Stanford University. [cit. 28. 10. 2017]. Dostupné z: <https://web.stanford.edu/class/msande444/2012/MS&E444_2012_Group2a.pdf>.

LINDGREN, J., 2014. *The Credit Risk in a Stock Portfolio, A Method to Evaluate the Credit Risk from the Perspective of an Investor* [online]. Umea University. [cit. 28. 10. 2017]. Dostupné z: <<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A738023&dswid=6339>>.

LUTKEBOHMERT, E., 2009. *Concentration Risk in Credit Portfolio*. New York: Springer.

NAIMY, J., 2012. Stress Test and VaR Analysis in the Process of Risk Management. *Journal of Business & Financial Affairs* [online]. [cit. 16. 8. 2018]. Dostupné z: <<https://www.omicsonline.org/open-access/stress-tests-and-var-analysis-in-the-process-of-risk-management-2167-0234.1000e114.pdf>>. doi: 10.4172/2167-0234.1000e114.

STEIN, R., 2012. The role of stress testing in credit risk management, *Journal of Investment Management* [online]. Roč. 10, č. 4. [cit. 9. 4. 2018]. Dostupné z: <http://www.rogermstein.com/wp-content/uploads/the_role_of_stress_testing_in_risk_management.pdf>

VERICK, S., ISLAM, I., 2010. *The Great Recession of 2008 – 2009: Causes, Consequences and Policy Responses* [online]. IZA Discussion Paper No. 4936 [cit. 31. 3. 2017]. Dostupné z: <<http://ftp.iza.org/dp4934.pdf>>.

WONG, J., CHOI, K., FONG, T., 2006. SupervisoryA Framework for macro stress testing the credit risk of banks in Hong Kong, *Hong Kong Monetary Authority Quarterly Bulletin* [online]. [cit. 31. 3. 2017] Dostupné z: <http://www.hkma.gov.hk/media/eng/publication-and-research/quarterly-bulletin/qb200612/E_25_38.pdf>.

Comparison of stress testing models for regulatory purposes by institutions using the IRBA method

Michal Kováč

Abstract:

This paper deals with the comparison of stress tests of institutions using the IRBA method for determining the capital requirement. Different approaches have been used to determine the values of risk parameters PD, EAD and LGD for stress test purpose. Besides the VEC model, which link risk parameters to selected macroeconomic variables, stress tests were constructed using the absolute values model, the relative change model and the VaR model, CVaR respectively. Individual approaches have been tested and compared in two levels. In the first level was stressed only the risk parameter PD, in the second level, all risk parameters were stressed. Empirical analysis on the retail portfolio of retail clients in the Czech Republic during 2005 – 2017 showed some significant differences in the value of capital among some approaches. It has also been demonstrated that by using the appropriate method for stressing only the PD parameter, the same value of capital can be achieved as in the case of stressing all risk parameters simulating the conditions required by the Basel Committee.

Keywords: Stress test; Retail clients; VECM; VaR; Historical simulation.

JEL Classification: C53, G28, G32.