**Mail from:** martin.gal@efmbank.sk

**Subject:** Implementácia modelu Value at Risk

**Date:** 30-Mar-2018

Milé kolegyne a kolegovia,

dúfam, že Vaša aklimatizácia do nového zamestnania prebieha bez problémov a postupne sa Vám darí zoznámiť sa s tým, ako funguje EFM Bank „zvnútra“.

Ako som Vám už naznačil na úvodnom pohovore, Vaša prvá veľká úloha bude využiť Vaše poznatky z matfyzu a zapojiť sa do procesu hodnotenia prínosov a negatív úprav vlastného modelu merania trhových rizík, ktorý bude koordinovať naša divízia. EFM Bank v súčasnosti využíva vlastný model v zmysle čl. 362 až čl. 369 Nariadenia EP a Rady č. 575/2013[[1]](#footnote-1) (ďalej len nariadenie), ktorý je založený na Value at Risk počítanom na základe CCC-GARCH(1,1) modelu. Vaša úloha spočíva najmä v posúdení vhodnosti využívania rôznych moderných trendov – napr. výpočet VaR pomocou iné modelu (BEKK-GARCH, ktorý bol nedávno implementovaný v R), resp. v budúcnosti úplné nahradenie VaR metódou Expected Shortfall (ES). Aktuálnou otázkou je tiež vplyv investícií do kryptomien.

V nadväznosti na tento zámer predstavenstvo banky na svojom zasadnutí dňa 26. marca 2018 rozhodlo o úlohe pripraviť podklady pre svoje rozhodnutie.

Vaša úloha pozostáva z nasledujúcich okruhov:

1. Výpočet VaR s použitím viacrozmerného modelu CCC-GARCH(1,1) (aktuálne používaný výpočet) a BEKK-GARCH(1,1) (nový spôsob výpočtu) a ich porovnanie
2. Spätné testovanie oboch modelov VaR a výber vhodnejšej alternatívy
3. Výpočet Expected Shortfall pomocou zvolenej alternatívy
4. Hodnotenie dopadu prípadných úprav vlastného modelu na požadovanú výšku vlastných zdrojov

**Všeobecné zadanie a poznámky**

Rozhodnutie predstavenstva sa týka všetkých trhových rizík, ale Vašou konkrétnou úlohou je pripraviť podklad pre konkrétne portfólio. Toto portfólio pozostáva z troch akcií (z ktorých dve sú denominované v americkom dolári a tretia v mene euro) a investície do bitcoinu.

VaR počítajte s pravdepodobnosťou 99% a časovým horizontom 1 pracovný deň. VaR vypočítajte pre každý pracovný deň dostatočne dlhého obdobia (ideálne aspoň 3-5 rokov). Výsledky spolu s dennými výnosmi portfólia vykreslite do jedného grafu interpretujte ich.

Value at Risk počítajte pre portfólio štyroch aktív, a to nasledovne:

1. 2 mil. € investovaných do Akcie A denominovanej v dolároch,
2. 2 mil. € investovaných do Akcie B denominovanej v dolároch,
3. 3 mil. € investovaných do Akcie C denominovanej v eurách,
4. 2 mil. € investovaných do bitcoinu.

Konkrétne akcie a dlhopisy nájdete [tu](http://www.iam.fmph.uniba.sk/institute/jurca/qrm/zoznam2018.xlsx).

Hodnotu portfólia ovplyvňuje 5 rizikových faktorov: Ceny akcií A, B a C, kurz USD/EUR a kurz bitcoinu k EUR. K jednotlivým rizikovým faktorom je potrebné získať dostatočné dlhé časové rady:

* ceny akcií a kurz bitcoinu môžete získať z <finance.yahoo.com>,
* výmenné kurzy stiahnite zo [stránky ECB](http://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/index.en.html).

V každej z jednotlivých úloh detailne popíšte postup výpočtu tak, aby bola z popisu jasná postupnosť jednotlivých krokov. K výsledkom priložte funkčné podkladové súbory[[2]](#footnote-2), ktoré umožnia úplnú replikáciu všetkých výpočtov. Tieto súbory okomentujte, aby sa v nich dalo lepšie orientovať.

**Úloha 1: Výpočet VaR pomocou CCC-GARCH(1,1) a BEKK-GARCH(1,1) modelov**

V tejto úlohe predpokladajte, že relatívne zmeny jednotlivých rizikových faktorov (vektor týchto zmien označme ako *rt*) možno modelovať pomocou tzv. CCC-GARCH modelu (*constant conditional correlation, generalised autoregressive heteroskedasticity*),ktorého špecifikácia je nasledovná:



Tento model predpokladá, že volatility zmien všetkých rizikových faktorov sú modelované pomocou nezávislých jednorozmerných GARCH modelov, pričom korelačná matica je vypočítaná klasickou metódou z predchádzajúcich pozorovaní pomocou štandardizovaných rezíduí.

Ďalej predpokladajte, že zmeny rizikových faktorov možno modelovať pomocou BEKK-GARCH modelu:

*rt = c + εt, εt* **~** *N*(0*,* Σ*t*)

Σ*t =C*T*C+A*T Σ*t*-1 *A+B*T *εt εt*T*B*

kde *A, B, C* sú štvorcové matice parametrov.

Tento model možno v R odhadnúť pomocou knižnice [mgarchBEKK](https://cran.r-project.org/web/packages/mgarchBEKK/).

Value at Risk vypočítajte pomocou Monte Carlo simulácií, t.j. nasimulujte dostatočný počet scenárov z uvedeného podmieneného normálneho rozdelenia a vypočítajte príslušný kvantil z rozdelenia zmien celkového portfólia v jednotlivých scenárov.

Poznámka: Na základe skúseností z mojej doterajšej praxe Vám navrhujem, aby ste CCC-GARCH model postupne rekalibrovali: Ak napr. počítate VaR k 31.12.2015, použite model s parametrami odhadnutými za obdobie od začiatku časových radov až po 31.12.2015. Pri výpočte VaR k 31.12.2016 použite parametre odhadnuté za obdobie od začiatku až po 31.12.2016. Rekalibráciu nie je potrebné vykonávať na dennej báze, ale ukazuje sa, že istá rekalibrácia s nejakou rozumnou frekvenciou môže výrazne zlepšiť kvalitu modelu.

**Úloha 2: Spätné testovanie**

V rámci tejto úlohy otestujte obe metódy výpočtu VaR, ktoré ste implementovali, pomocou Kupiecovho a Christoffersenovho testu. Rozhodnite, či tieto testy model zamietajú alebo nie a ktorá z metód sa javí ako lepšia.

**Úloha 3: Expected Shortfall**

V rámci tejto úlohy je potrebné implementovať výpočet Expected Shortfall (ES) ako alternatívnej miery rizika [odporúčanej Bazilejskou komisiou](https://www.bis.org/bcbs/publ/d352.htm). Na výpočet použite ten z modelov z úlohy 1, ktorý sa pri spätnom testovaní javil ako presnejší.

Na základe odporúčania Bazilejskej komisie sa ES počíta na úrovni pravdepodobnosti 97,5 % (na rozdiel od VaR, ktoré sa počíta na úrovni 99 %). Pre tento výpočet je potrebné dodatočne vypočítať aj VaR97,5 na úrovni pravdepodobnosti 97,5 % a ES sa následne vypočíta podľa vzťahu:

ES*t* = E[straty*t* | straty*t* ≥ VaR*t*97,5].

**Úloha 4: Výpočet požiadavky na vlastné zdroje**

V tejto úlohe vypočítajte pre implementovaný model VaR aj ES výšku požiadavky na vlastné zdroje krytia trhového rizika celého portfólia podľa čl. 364 nariadenia. Dávam do pozornosti, že je potrebné urobiť prepočet 1-dňového VaR aj ES na 10-dňové (použite multiplikačný faktor vo výške druhej odmocniny z 10). Okrem toho je k výpočtu potrebné aj tzv. stresové VaR a ES (čl. 365 (2)). Hoci uvedený text nariadenia neposkytuje jednoznačný algoritmus ako vypočítať stresové VaR v jednotlivých metódach, navrhujem pre tento výpočet využiť nejaké jednoročné obdobie, ktoré sa vyznačovalo vysokou mierou volatility príslušných výmenných kurzov. Ďalej navrhujem počítať obe hodnoty VaR (klasickú aj stresovú) pomocou rovnakej hodnoty multiplikatívneho faktora a využiť odmocninové pravidlo pre transformáciu 1-denného VaR na 10-denné. Výpočet vykonajte pre každý deň v období aspoň dvoch rokov (vždy pre to isté portfólio).

Nariadenie priamo nehovorí, ako počítať požiadavku na vlastné zdroje pomocou ES. Podľa vyššie uvedeného odporúčania Bazilejskej komisie postupujte tak, že vo výpočte podľa čl. 364 budete namiesto VaR(99%) uvažovať ES(97,5%).

Hodnoty požiadavky na vlastné zdroje pomocou VaR a ES porovnajte a navrhnite, či by banka mala prejsť na výpočet požiadavky pomocou ES (svoj návrh zdôvodnite).

**Úloha 5: Netechnické zhrnutie pre manažment**

Na základe získaných výsledkov z uvedených troch úloh napíšte samostatné krátke, výstižné a  netechnické zhrnutie (max. 1 strana), ktoré bude obsahovať najdôležitejšie informácie určené priamo pre predstavenstvo banky. Toto zhrnutie by malo obsahovať návrh, či nahradiť aktuálnu metódu výpočtu VaR (CCC-GARCH) novou metódou (BEKK-GARCH), vrátane výsledkov spätného testovania a so stručným prehľadom najvýznamnejších silných a slabých stránok vybranej metódy. Navrhnite tiež rozhodnutie, či je vhodné v budúcnosti interný model v banke založiť na meraní rizík pomocou Value at Risk alebo Expected Shortfall, vrátane dopadovej analýzy na výšku požiadavky na vlastné zdroje.

Pri vypracovaní tohto zhrnutia si dajte záležať, pretože ide o jediný výstup z vašej práce, ktorý sa dostane až vrchným manažérom banky. Malo by preto ísť o samostatne funkčný dokument s veľmi jasným popisom problému navrhovaného riešenia, s čo najlepšou formuláciou a interpretáciou dôležitých výsledkov. V žiadnom prípade by to nemalo byť jednoduché a narýchlo spísané zopakovanie výsledkov.

**Záverečné poznámky**

Výstup z Vašej práce pošlite mailom na adresu palo.jurca@gmail.com. Tento výstup by mal obsahovať:

1. Podrobný dokument popisujúci jednotlivé metódy, výpočty a výsledky
2. Funkčný okomentovaný zdrojový kód programu, umožňujúci úplnú replikáciu všetkých výpočtov
3. Netechnické zhrnutie pre manažment

Na uvedenú e-mailovú adresu môžete zasielať aj akékoľvek dodatočné otázky v súvislosti s uvedenými úlohami. Keďže manažment banky plánujte prijať rozhodnutie o procese implementácie Value at Risk modelu v EFM Bank v krátkom časovom horizonte, je potrebné, aby ste požadované výstupy odoslali najneskôr do 20. mája 2018.

Prosím pristupujte k týmto úlohám zodpovedne, keďže ich výsledky budú použité ako jeden z podkladov na kľúčové rozhodnutie predstavenstva banky o implementácii prístupu vlastného modelu, ako aj o Vašom ďalšom pôsobení v banke po uplynutí skúšobnej lehoty.

S pozdravom,

Dr. Martin Gál

Výkonný riaditeľ divízie riadenia trhového rizika

EFM Bank, a.s.

Itôová 1

811 01 Bratislava

1. Nariadenie (EU) 575/2013 Európskeho parlamentu a Rady 26. júna 2013 o prudenciálnych požiadavkách na úverové inštitúcie a investičné spoločnosti a o zmene nariadenia (EÚ) č. 648/2012. [LINK](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:176:0001:0337:SK:PDF) [↑](#footnote-ref-1)
2. Výpočty môžete implementovať v niektorom z nasledujúcich programov: R, Matlab, Mathematica, EViews (implementácia pomocou programu) alebo Octave. Výpočty (alebo ich časť) je možné implementovať aj v Exceli, ale implementácia v niektorom z vyššie uvedených softvérov je preferovaná. Ak chcete použiť iný program, prediskutujte to prosím vopred. [↑](#footnote-ref-2)