



# Predikcie finančných kríz s využitím metód finančnej ekonometrie

## (zhrnutie dizertačnej práce)

Marek Káčer<sup>1</sup>

*S finančnými krízami sú spojené vysoké spoločenské, ekonomické a v konečnom dôsledku aj politické náklady, preto zástupcovia akademickej sféry, ale aj politici a subjekty hospodárskej politiky hľadajú odpovede na otázku, ako sa takýmto krízam vyhnúť a tiež ako ich možno predvídať. Aj keď v literatúre nenájdeme jednoznačné stanovisko, pokiaľ ide o definíciu finančnej krízy či jej príčiny, mnohé finančné krízy sú spojené s prasknutím bubliny v cenách aktív. Model, ktorý má schopnosť odhadnúť pravdepodobnosť prasknutia finančnej bubliny, by preto mohol byť vhodným nástrojom na včasné varovanie pred krízou s cieľom vyhnúť sa jej prepuknutiu alebo aspoň zmierniť jej následky.*

Tento príspevok, ktorý predstavuje model vyvinutý v rámci riešenia dizertačnej práce na tému Predikcia finančných kríz pomocou metód finančnej ekonometrie, má nasledujúcu štruktúru: v prvej časti predstavíme hlavné práce, ktoré tvoria jadro teórie finančných bublín, spomenieme rôzne definície finančnej bubliny a nakoniec priblížime modelové prístupy k tomuto fenoménu. Druhá časť je venovaná cieľom a metodike práce. Sú tu podrobnejšie opísané ciele, ale aj jednotlivé kroky, ktorými sme sa prepracovali k funkčnému modelu pravdepodobnosti prasknutia finančnej bubliny. Tretia časť hovorí jednak o dosiahnutých výsledkoch modelu, ale zároveň poukazuje na možné zlepšenia a rozšírenia modelu, ako aj na vzťah k jednej z hlavných hypotéz o finančných trhoch. V závere príspevku sú zhrnuté hlavné myšlienky a výsledky.

### 1. SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Teoretické pozadie dizertačnej práce tvorí prúd literatúry, v ktorom je prepuknutie finančnej krízy spojené s prasknutím finančnej bubliny. Tento teoretický prúd nie je jednoliaty a nie je ani zatiaľ uznávaný a klasifikovaný ako taký, predsa však v dielach autorov, ako napríklad Irving Fisher<sup>2</sup>, Hyman Minsky<sup>3</sup>, Charles Kindleberger<sup>4</sup> či Frederic Mishkin<sup>5</sup>, možno vidieť spoločnú myšlienku, ktorú s ohľadom na aktuálne okolnosti svojej doby aj postupne rozvíjajú. Podľa týchto autorov skutočné príčiny finančnej krízy spočívajú v kombinácii týchto skutočností: vysoká úroveň zadlženia ekonomických subjektov, špekulatívne investovanie do rastúceho trhu aktív, architektúra súčasného finančného systému a s ňou spojená jeho krehkosť. Za takýchto okolností prudký prepád na trhu aktív bude mať neblahé následky na celý finančný systém; takýto prepád zvykneme označovať súhrnným názvom prasknutie finančnej bubliny.

Názory na priame príčiny prasknutia finančných bublín sa rôznia, tieto príčiny sa delia na exogénne, pochádzajúce zvonku systému napríklad v podobe dôležitej správy, politickej udalosti, prírodnej

katastrofy či technickej inovácie, a na endogénne, čiže pochádzajúce zo samotného ekonomického systému, keď vzájomné vzťahy v danom inštitucionálnom prostredí na základe prevládajúceho sentimentu a pohnútok väčšiny ekonomických subjektov vedú najskôr k postupnému rastu a potom k následnému prasknutiu bubliny.

Definícia finančnej bubliny nie je v ekonomickej teórii pevne ustanovená. Intuitívne prijateľná definícia ako dlhodobu neudržateľnú odchýlku od fundamentálnej ceny pri empirickom výskume stroskotáva na koncepte fundamentálnej ceny<sup>6</sup>. Okrem tejto definície potom existuje definícia bubliny z empirického pohľadu<sup>7</sup> – bublina sa tu definuje ako dlhšie obdobie rastu, po ktorom nasleduje prudký prepád. Takúto bublinu je možné definovať iba zo spätného pohľadu, dá sa však presne v súlade s ekonometrickým prístupom využiť na odhad parametrov modelu, ktorý je neskôr využiteľný aj na predikcie mimo vzorky. Ďalšou možnosťou definície bubliny je definícia na základe určitých vlastností, napríklad na základe explozívneho rastu; toto si však vyžaduje konkrétny podkladový model.

Snahy rôznych autorov modelovať finančné bubliny možno rozdeliť na tri skupiny. Jednu skupinu tvoria autori, ktorí využívajú koncept fundamentálnej ceny a väčšinou ekonometrické metódy. Medzi tieto modely patrí model racionálnej<sup>8</sup>, ale aj periodicky kolabujúcej bubliny<sup>9</sup>. Potom sú tu autori, ktorí definujú a následne modelujú bublinu na základe explozívneho rastu, tiež pomocou ekonometrických metód<sup>10</sup>. No a nakoniec sú tu úspešné snahy z komunity fyzikov opísať kritické javy na finančných trhoch nástrojmi a pojmami štatistickej fyziky v podobe logperiodického modelu<sup>11</sup>.

### 2. CIELE A METODIKA PRÁCE

Hlavným cieľom dizertačnej práce bolo vytvoriť model pravdepodobnosti prasknutia finančnej bubliny. Keďže išlo o ekonometrický model, stanovené čiastkové ciele súviseli s fázami ekono-

- 1 Článok je zhrnutím dizertačnej práce s rovnakým názvom, za ktorú získal autor prvú cenu v súťaži o cenu guvernéra NBS pre študentov vysokých škôl za najlepšiu prácu v oblasti ekonomie. Dizertačná práca bola spracovaná na Katedre financií Národohospodárskej fakulty Ekonomickej univerzity v Bratislave pod vedením prof. Ing. Pavla Ochotníckeho, CSc., v rámci projektu VEGA č. 1/0845/11 Predikčné modely finančných kríz.
- 2 Fisher: *Debt-Deflation Theory of Great Depressions*, 1933.
- 3 Minsky: *The Financial Instability Hypothesis*, 1992.
- 4 Kindleberger – Aliber: *Manias, Panics and Crashes*, 2005.
- 5 Mishkin: *Anatomy of a Financial Crisis*, 1991.
- 6 Stiglitz: *Symposium on Bubbles*, 1990, prípadne Gurkaynak: *Econometric tests of asset price bubbles: taking stock*, 2005.
- 7 Pozri napr. Kindleberger – Aliber: *Manias, Panics and Crashes*, 2005, str. 26, prípadne Brunnermeier: *Bubbles*, 2008.
- 8 Blanchard – Watson: *Bubbles, Rational Expectations...*, 1982.
- 9 van Norden – Schaller: *Speculative Behaviour...*, 1993, van Norden: *Regime Switching as a Test for Exchange Rate Bubbles*, 1996, Brooks – Katsaris: *Forecasting the Collapse...*, 2002.
- 10 Phillips et al.: *Explosive Behavior...*, 2007 a Phillips – Yu: *Dating timeline...*, 2009.
- 11 Pozri napr. výborný prehľad Geraskin – Fantazzini: *Everything You Always Wanted to Know...*, 2010.



- 12 van Norden – Schaller: *Speculative Behaviour...*, 1993.
- 13 Brooks – Katsaris: *Forecasting the Collapse...*, 2002.
- 14 Baker – Stein: *Market liquidity as a sentiment indicator, 2001* alebo Li et al.: *Market Crashes and Investor Sentiment*, 2008.
- 15 Brooks – Katsaris: *Forecasting the Collapse...*, 2002.
- 16 Li et al.: *Market Crashes and Investor Sentiment*, 2008.

metrického modelovania, t. j. s konštrukciou, kvantifikáciou, verifikáciou a aplikáciou ekonometrického modelu.

V prvom rade bolo potrebné vybrať finančné časové rady na hľadanie bublín a modelovanie pravdepodobnosti ich prasknutia. Bol vybratý akciový trh, pretože udalosti na akciovom trhu bývaajú predzvestou udalostí v reálnej ekonomike, ale tiež práve akciový trh je niekedy slabým miestom ekonomiky, kde sa vyvinie bublina, ktorej prasknutie býva spúšťačom finančnej krízy.

Spomedzi rôznych akcií a indexov sme sa rozhodli pre prácu s časovým radom hlavného akciového indexu v danej krajine. V USA to bol Dow Jones Industrial Average (DJI), pretože sú k dispozícii údaje za relatívne dlhé časové obdobie, a v Hongkongu Hang Seng Index (HSI), pretože tento index je známy svojimi relatívne častými bublinovými epizódami. Údaje sme čerpali zo stránky [finance.yahoo.com](http://finance.yahoo.com).

Vzhľadom na potrebu použitia metód finančnej ekonometrie na odhad pravdepodobnosti prasknutia finančnej bubliny sme si zvolili prácu s dennými údajmi. Pri takejto frekvencii síce nie sú dostupné fundamentálne veličiny ako vysvetľujúce premenné, no na druhej strane práve tu môžu vyniknúť metódy finančnej ekonometrie, ktorá pre nedostatok fundamentálnych vysvetľovacích premenných bola nútená vyvinúť modely a metódy, ktorých účelom nie je ani tak overovať ekonomické teórie, ale skôr objavovať vo vývoji finančných časových radov isté zákonitosti, ktoré sa potom využijú na tvorbu predpovedí.

Čo sa týka výberu vysvetľovanej premennej, spomedzi troch možných prístupov k fenoménu finančnej bubliny sme sa rozhodli pre prácu s empirickou definíciou bubliny. Takúto bublinu síce možno identifikovať až zo spätného pohľadu, netreba však použiť špecifický model fundamentálnej ceny a definícia je zároveň dostatočne všeobecná. Takisto algoritmičné použitie takto definovanej bubliny je relatívne jednoduché.

Pôvodne sme síce zamýšľali pracovať s konceptom fundamentálnej ceny, pretože takýto prístup je intuitívne veľmi príťažlivý, pri praktickom použití však naráža na to, že fundamentálna cena nie je pozorovateľná. Modely pracujúce s konceptom fundamentálnej ceny neprinášajú jednoznačné výsledky, všetko totiž závisí od zvoleného podkladového modelu. Preto sme od tejto myšlienky v priebehu spracovania práce upustili.

Vysvetľujúce premenné sme v prvom kroku vybrali z prác iných autorov. Použili sme všetky premenné, s ktorými sme sa stretli pri štúdiu literatúry a ktoré priamo vystupovali vo funkcii pravdepodobnosti prasknutia finančnej bubliny. Okrem nich sme použili aj tie, ktoré sa spájajú s predikovateľnosťou finančných časových radov. V druhom kroku sme k uvedeným premenným doplnili ďalšie na základe jednoduchých logických súvislostí. Oprávnenosť ich zaradenia do modelu sa overila pri testovaní štatistickej významnosti zodpovedajúcich parametrov, ale aj pri overovaní ich ekonomickej interpretovateľnosti. Celkovo

bolo v modeli deväť vysvetľujúcich premenných, ktoré možno zaradiť do blokov cena, sentiment, explozivita a pamäť.

Prvá skupina potenciálnych vysvetľujúcich premenných súvisí s cenou. Najprv je to, samozrejme, cena, presnejšie upravená uzatváracia cena. Vyplýva to z jednoduchej analógie, že čím väčšia bublina, tým väčšia pravdepodobnosť, že praskne. Ak totiž rozmyšľáme o bubline ako o odchýlke od fundamentálnej hodnoty aktíva, potom čím väčšia je táto odchýlka, tým neudržateľnejšia je takáto situácia. Podľa modelu racionálnej bubliny cena musí neustále rásť, a preto je len otázkou času, kedy investori narazia na svoje rozpočtové ohraničenie. Cenu ako premennú ovplyvňujúcu pravdepodobnosť prasknutia použili van Norden a Schaller<sup>12</sup> v modeli periodicky kolabujúcej bubliny a rovnako urobil aj Brooks s kolegami<sup>13</sup>, pričom v oboch prípadoch sa pozitívna závislosť ukázala ako štatisticky významná. Popri cene sme doplnili aj nadmernú cenu definovanú ako odchýlka od ročného priemeru.

Potom sme považovali za dôležité zahrnúť do modelu aj premenné, ktoré môžu slúžiť ako pomocné premenné na kvantifikovanie nálady investorov. Likvidita trhu odrážajúca sa okrem iného aj v objeme obchodovania je vnímaná ako indikátor investorského sentimentu v prácach viacerých autorov<sup>14</sup>. Brooks a Katsaris<sup>15</sup> používajú nadmerný objem ako vysvetľujúcu premennú, ktorá ovplyvňuje pravdepodobnosť prasknutia finančnej bubliny. Vysvetľujú aj pravdepodobný mechanizmus, ako nadmerný objem ovplyvňuje správanie investorov. Podľa nich totiž táto veličina poskytuje investorom informáciu o tom, čo si trh myslí o budúcnosti bubliny. Keďže všetci investori majú prístup k informáciám o objeme obchodovania v minulosti, neobvyklé zvýšenie objemu vnímajú ako snahu ostatných účastníkov trhu zbaviť sa nadhodnoteného aktíva, a preto sa ho usilujú rýchlo zbaviť aj oni. Toto v konečnom dôsledku spôsobí prasknutie bubliny. Vo vzťahu k objemu bol v modeli použitý objem obchodovania, ako aj odchýlka od ročného priemeru. Medzi premenné, v ktorých sa odráža nálada účastníkov trhu, patrí aj rozdiel medzi denným maximom a denným minimom. Túto premennú použili napríklad Li et al.<sup>16</sup>, preto bola využitá aj v tejto práci.

Ako ďalšie vysvetľujúce premenné boli do modelu zaradené indikátory explozivít. V práci je poukazané na to, ako spolu súvisia exponenciálny rast a racionálna bublina. Odhalenie prítomnosti explozívneho procesu vo vývoji aktíva preto môže byť za istých okolností dôkazom prítomnosti bubliny. Explozivitú meriame štatistikou rozšíreného Dickeyovho-Fullerovho testu vo vzorke za posledný rok. Okrem explozivity v cenách sme zaradili aj explozivitú v objemoch.

Posledná skupina potenciálnych vysvetľujúcich premenných súvisí s pamäťou časového radu. Viaceré práce zaoberajúce sa problematikou testovania dlhej pamäti časového radu argumentujú, že nájdenie znakov dlhej pamäti je synonymom pre predikovateľnosť časového radu. Preto sme do



modelu medzi vysvetľujúce premenné zaradili aj Hurstov exponent z výnosov počítaný za posledný rok ako štatistiku využívanú pri testovaní dlhkej pamäti časového radu. Poslednou premennou medzi vysvetľujúcimi premennými je krátká pamäť časového radu meraná autoregresným parametrom prvého rádu vo výnosoch.

Čo sa týka výberu typu modelu, ako alternatívu lineárneho pravdepodobnostného modelu sme použili probit a logit. Cieľom bolo potom vytvoriť taký predikčný model, v ktorom nás v prvom rade zaujímal, ako možno na základe informácií, ktoré sú dostupné dnes, modelovať pravdepodobnosť prasknutia finančnej bubliny. Inými slovami, aká je pravdepodobnosť toho, že v priebehu konkrétne určeného počtu dní bude nasledovať výrazný pokles. Miera tohto poklesu, dĺžka obdobia rastu pred dosiahnutím vrcholu a obdobie, počas ktorého musí nastať prudký pokles, boli stanovené ako základné parametre empiricky definovanej bubliny.

Presnosť modelov, ako aj kvalita predikcie boli posúdené na základe viacerých jednoduchých číselných kritérií. Popri bežne používaných kritériách typu pseudo- $R^2$  sme doplnili dve vlastné, z ktorých si osobitnú pozornosť zaslúži tzv. tradin-gové kritérium, ktoré vlastne zobrazuje výsledok jednoduchých stratégie obchodovania na základe signálov vyslaných modelom. Jednotlivé kritériá boli prepočítavané pre rôzne prahové úrovne hranice. Uvedené kritériá posudzovania presnosti modelov boli doplnené grafickým zhodnotením, ktoré považujeme za vhodný doplnok štatistických metód. Všetky výpočty sa robili v ekonometrickom softvéri EViews 7. Pre urýchlenie a automatizáciu výpočtov boli v tomto softvéri napísané vhodné programy.

### 3. VÝSLEDKY PRÁCE

Nosnou časťou aplikácie časti dizertačnej práce bolo modelovanie pravdepodobnosti prasknutia finančnej bubliny. Pre oba časové rady sme použili identický typ modelu, rozdiel bol v konštrukcii vysvetľovanej premennej, ktorý bol daný odlišným priebehom časových radov a odlišnou štruktúrou prepadu vo fáze prasknutia finančnej bubliny. Výsledky modelov boli hodnotené v troch častiach. Prvou časťou hodnotenia bolo vyhodnotenie štatistickej významnosti vysvetľujúcich premenných spolu s ich teoretickou interpretovateľnosťou. Druhou časťou hodnotenia bolo posúdenie toho, do akej miery modely vystihujú priebeh vysvetľovanej premennej vnútri odhadovanej vzorky. Tretou časťou hodnotenia bolo otestovanie predikčných schopností modelov mimo vzorky, čo považujeme za dôležitú súčasť testovania ktoréhokoľvek modelu, ktorý sa má prakticky použiť.

Model pre HSI (Hang Seng Index) obstál dobre vo všetkých troch etapách. Pre krátkosť časového radu pre objemy sa nemohli použiť vysvetľujúce premenné, ktoré na svoj výpočet potrebujú objem. Ako dôležité premenné pre modelovanie pravdepodobnosti prasknutia sa ukázali byť cena, ukazovateľ explozivity v cenách, ako aj autore-

gresný parameter výnosov. Znamená to, že vývoj indexu HSI krátko pred prasknutím bubliny vykazuje explozívny vývoj. Takýto vývoj je hlavnou časťou modelu racionálnej bubliny. To znamená, že investori sú si vedomí bublinového vývoja, ale buď očakávajú, že takýto vývoj bude pokračovať, alebo síce počítajú s tým, že bublina raz praskne, ale veria, že ešte predtým dokážu predať aktívum niekomu inému. V každom prípade za držbu rizikového aktíva očakávajú zodpovedajúcu prémii, ktorá sa odráža v exponenciálnom vzostupe ceny. Keď sa trh dostane do neudržateľného pásma, ktoré je charakteristické stále sa zvyšujúcou cenou, z ktorej vyplýva pozitívna autokorelácia medzi výnosmi, pravdepodobnosť prasknutia sa stále zväčšuje, až bublina nakoniec praskne. Pády tohto indexu sú rýchle, prudké, hlboké a nastávajú takmer okamžite po dosiahnutí vrcholu bubliny. Domnievame sa, že model je vhodný pre trh, prípadne pre aktívum s takýmito vlastnosťami. Model dáta dobre popisuje a zároveň jeho prognostické schopnosti mimo vzorky sú veľmi dobré.

Model pre DJI (Dow Jones Industrial Average) určite obstál dobre v prvej časti prvej etapy, t. j. ukázala sa štatistická významnosť niektorých dôležitých parametrov ako ceny, nadmernej ceny, objemu, nadmerného objemu, explozivity v cenách aj v objemoch a dlhkej pamäti. Druhá časť prvej etapy priniesla niektoré na prvý pohľad nečakané výsledky, ktoré však po hlbšom zhodnotení a zohľadnení ďalších súvislostí priniesli lepšie pochopenie vývoja tohto akciového indexu a z viacerých strán potvrdili v podstate to isté – z istých dôvodov, ktoré sme v tejto práci nemali ambíciu zisťovať, vývoj prasknutia bubliny na DJI podlieha iným zákonitostiam ako pri indexe HSI.

Prvým nečakaným výsledkom bola negatívna závislosť od ceny. Toto zistenie však treba vnímať v spojitosti s ďalšou zistenou závislosťou, a tou je pozitívna závislosť od nadmernej ceny. Vzhľadom na veľkosti oboch parametrov je celková závislosť pravdepodobnosti prasknutia bubliny od ceny kladná.

Ďalšou zistenou skutočnosťou, ktorá bola v rozpore s očakávaním, je negatívna závislosť od objemu, ako aj od nadmerného objemu. To by naznačovalo, že DJI prudko padá vtedy, keď veľkosť objemu, ako aj nadmerného objemu klesá. Ako s tým potom súvisí kladná závislosť od explozivity v objemoch? Samotná kladná závislosť od explozivity je v poriadku, to je presne to, čo očakávame, no ako sa to dá zmysluplne spojiť s negatívnou závislosťou od objemu a nadmerného objemu? Ukazovateľ explozivity je vlastne  $t$ -štatistika autoregresného parametra objemu prvého rádu (v rozšírenom DF teste aj s očistením od vplyvu od ďalších možných autoregresných závislostí), je to vlastne podiel hodnoty tohto parametra a jeho smerodajnej odchýlky. Pri klesajúcom objeme aj klesajúcom nadmernom objeme tento parameter zrejme bude menší než jedna, preto o explozivitě nemôže byť ani reči. Jediným spôsobom, ako sa môže táto štatistika zvýšiť, je potom znižovanie

**Použitá literatúra:**

1. BAKER, M. – STEIN, J.: Market liquidity as a sentiment indicator. 2001. In Harvard Business School Working Paper.
2. BLANCHARD, O. J. – WATSON, M. W.: Bubbles, Rational Expectations and Speculative Markets. In NBER Working Paper Series, Working Paper No. 945, 1982, pp. 1-30.
3. BROOKS, CH. – KATSARIS, A.: Forecasting the Collapse of Speculative Bubbles: An Empirical Investigation of the S&P 500 Composite Index. In ICMA Centre Discussion Papers in Finance 2002-04, s. 1-40.
4. FISHER, I.: The Debt Deflation Theory of Great Depressions. In *Econometrica* 1: 337-357, 1933.
5. GERASKIN, P. – FANTAZZINI, D.: Everything You Always Wanted to Know About Log Periodic Power Laws for Bubble Modelling But Were Afraid to Ask. In *European Journal of Finance*, Taylor and Francis Journals, vol. 19(5), p. 366-391.
6. KINDLEBERGER, CH. P. – ALIBER, R. Z.: Manias, Panics and Crashes, A History of Financial Crises. Palgrave Macmillan, New York. 2005. ISBN 978-1-4039-3651-6.
7. LI, CH. A., – HSU, A. CH. – LEY, H. J.: Market Crashes and Investor Sentiment: The Case of Taiwan. 2008. In *Journal of International Management Studies*, February 2008, p. 275-283.
8. MINSKY, H. P.: The Financial Instability Hypothesis. In *Jerome Levy Economics Institute of Bard College Working Paper No. 74*. 1992.
9. MISHKIN, F. S.: Anatomy of a Financial Crisis. In NBER Working Paper No. 3934, 1991.
10. PHILLIPS, P. C. B. – WU, Y. – YU, J.: Explosive Behavior in the 1990s NASDAQ: When did the Exuberance Escalate Asset Values? HKIMR Working Paper No.22/2007.
11. PHILLIPS, P. C. B. – YU, J.: Dating the Timeline of Financial Bubbles During the Subprime Crisis. In *Singapore Management University, School of Economics Working Papers* 18-2009.
12. SHTATLAND, E.S. – SHTATLAND, T.: Early Detection of Epidemic Outbreaks and Financial Bubbles Using Autoregressive Models With Structural Changes. 2008. In *NESUG'21 Proceedings, Paper SA19, NorthEast SAS® Users Group, Inc.*
13. SORNETTE, D. – JOHANSEN, A.: Significance of log-periodic precursors to financial crashes. In *Quantitative Finance* 1 (4), 2001. s. 452-471.
14. STIGLITZ, J. E.: Symposium on Bubbles. In *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 4, No. 2 (1990), s. 13-18.
15. VAN NORDEN, S. – SCHALLER, H.: Speculative Behaviour, Regime-Switching, and Stock Market Fundamentals. In Working Paper No. 93- 2. 1993. Bank of Canada.
16. VAN NORDEN, S.: Regime Switching as a Test for Exchange Rate Bubbles. In *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 11, No. 3 (May – June, 1996), pp. 219-251.

smerodajnej odchýlky, v tomto kontexte zrejme stabilizácia objemu obchodov. Čiže aj táto skutočnosť sa dá logicky vysvetliť špecifikami DJI.

Pokračovaním prevkarpivých skutočností je negatívna závislosť od explozivitu v cenách. V súlade s predchádzajúcim vysvetlením však aj toto vieme vysvetliť jednoducho tak, že v prípade DJI cena indexu pred pádom začína kolísať, čoho dôsledkom je aj zväčšovanie smerodajnej odchýlky autoregresného parametra. Takto potom negatívna závislosť od explozivitu v cenách pomáha vysvetliť priebeh prasknutia bubliny.

Negatívnu závislosť od Hurstovho exponentu sme očakávali a je to zároveň v súlade so zisteniami iných autorov. V skutočnosti je to tiež iba potvrdenie faktu, že DJI po období vzostupu ceny nepadá bezprostredne a prudko dole, ale pádu predchádza isté obdobie neistoty na trhu spojené s kolísaním ceny.

Druhá etapa hodnotenia modelov spočívala v posúdení toho, ako dobre modelovaná pravdepodobnosť vystihuje realitu. V tomto hodnotení model pre HSI obstál veľmi dobre. Pri vizuálnom hodnotení modelovaná pravdepodobnosť dosahuje ľahko identifikovateľné maximá v bodoch, ktoré sa zhodujú s vrcholmi bubliny. Model pre DJI toto nedokázal. Číselné kritériá modelov potom túto skutočnosť vyjadrovali numericky v podobe dobrej schopnosti modelu pre HSI identifikovať jednotky a nuly vo vysvetľovanej premennej, rovnako aj tradingové kritérium. Podobná situácia bola aj v tretej etape hodnotenia pri predikcii mimo vzorky.

Vzhľadom na vyššie uvedené skutočnosti možno konštatovať, že takto koncipovaný model je vhodný pre aktíva, ktorých prasknutie nasleduje bezprostredne po období rastu bez medziobdobia sprevádzaného kolísaním ceny. Rast ceny v období nafukovania bubliny je totiž sprevádzaný explozívnym správaním ceny a ak pád nasleduje bezprostredne po takomto raste, potom explozívne správanie v kombinácii s ďalšími ukazovateľmi, ako je cena, nadmerná cena, prípadne nejaká forma investorského sentimentu alebo pamäti dokážu relatívne spoľahlivo predikovať blížiaci sa pád.

Čo sa týka širšie postaveného modelu predikcie finančných kríz, model vyvinutý v dizertačnej práci v prípade potvrdenia jeho širšej platnosti môže slúžiť ako jeden z kvantitatívnych analytických nástrojov. Pre vyvážený predpoveď je v oblasti ekonomiky a finančných trhov vždy vhodné závery akéhokoľvek modelu doplniť aj inými me-

tódami, prípadne expertnými odhadmi. Metódy, ktoré ponúka finančná ekonometria, sú v tomto ohľade predsa len obmedzené. V zmysle ekonometrického prístupu náš model používa na kalibráciu svojich parametrov údaje z minulosti a tak vlastne stavia na implicitnom predpoklade, že podobné vzťahy budú platiť aj budúcnosti. Treba si však uvedomiť, že v tom spočíva podstata ekonometrického prístupu a ani finančná ekonometria v tomto ohľade nemôže ponúknuť viac.

Vo vzťahu k hypotéze efektívnych trhov a celkovo k predikovatelnosti finančných časových radov možno konštatovať, že sa konkrétne ukázalo, že na indexe HSI existujú obdobia pred prasknutím bubliny, ktoré model dokázal identifikovať a aj hypoteticky z nich profitovať pomocou veľmi jednoduchých obchodných stratégií. Je pravda, že pri tejto stratégii sa nebrali do úvahy záležitosti ako rozdiel medzi nákupnou a predajnou cenou, prípadné obmedzenia predajov nakrátko či skutočná likvidita a dopyt na trhu, no aj napriek tomu sa ukázalo, že v istých obdobiach pri použití informácií o vývoji cien a výnosov z minulosti je možné dosahovať zisk, čiže trh v týchto obdobiach nie je efektívny ani v slabej forme.

## ZÁVER

Hlavnou časťou dizertačnej práce bolo vytvorenie modelu pravdepodobnosti prasknutia finančnej bubliny. Tieto modely boli vytvorené pre akciové indexy HSI a DJI. Ako vysvetľujúce premenné sa použili premenné, ktoré možno zaradiť do blokov cena, sentiment, explozivita a pamäť. Výsledné modely sa posudzovali z hľadiska štatistickej významnosti aj ekonomickej interpretovateľnosti. Na základe viacerých kritérií sa takisto posudzovala schopnosť modelov vysvetliť skutočné údaje. Dôležitou časťou bolo otestovanie predikčných vlastností mimo vzorky.

Slavným modelom možno ďalej pracovať a za predpokladu širšieho overenia a doladenia môže slúžiť ako jeden z analytických nástrojov širšie koncipovaného systému na prevenciu a predikciu finančných kríz. Výsledky práce naznačili, že finančná ekonometria disponuje nástrojmi použiteľnými na predikciu rizík vzniku finančných kríz.

Za hlavné príspevky dizertačnej práce považujeme modelovanie pravdepodobnosti prasknutia finančnej bubliny pomocou modelu probit a logit bez potreby modelovania fundamentálnej ceny, ako aj použitie explozivita a indikátora dlhej pamäti časového radu ako vysvetľujúcich premených v tomto modeli.