

Alternatívne prístupy k hypotéze efektívnych trhov, pozitívna spätná väzba a reflexivita

Michal VYLETELKA¹

Abstrakt

Článok sa zameriava na problém pozitívnej spätnej väzby a tzv. reflexivity (endogenity) pri skúmaní efektivity finančných trhov. Predstavené sú výskumy, ktoré na základe teórie komplexnosti vysvetľujú vznik cenových bublín a vytváranie viacerých tržných rovnováh pomocou heteroagentných modelov. Vlastnou kritikou v článku je poznamenané, že (i.) tieto heteroagentné modely sú v súčasnej dobe príliš jednoduché (ii.) modely nie sú zatiaľ dostatočne validované, napríklad systematickou krížovou validáciou a (iii.) modely dostatočne nezachycujú dynamiku sociálnych systémov v čase. Aj keď súčasný prístup sa zdá byť vzhľadom k prvotným úspechom pri interpretácii vývoja cien aktív vhodný, v súčasnej dobe tieto modely nepostačujú k podaniu dostatočného vysvetlenia cenotvorby na finančných trhoch.

Kľúčové slová

hypotéza efektívnych trhov, pozitívna spätná väzba, reflexivita, heteroagentné modely

Abstract

The article focuses on the problem of positive feedback and the so-called reflexivity (endogeneity) in studying the efficiency of financial markets. It presents interdisciplinary research based on the theory of complexity, attempting to explain the emergence of price bubbles and the creation of multiple market equilibria by using agent-based models. The article's own critique notes that (i.) these agent-based models are currently too simple to adequately capture the reality (ii) models are not yet sufficiently validated, e.g. using systematic cross-validation and (iii) models do not sufficiently capture the dynamics of social systems over time. Although the current approach seems appropriate given the initial success in interpreting asset price developments, these models and their fundamentals are insufficient to provide a definitive explanation for pricing in the financial markets.

Key words

Efficient markets hypothesis, positive feedback, reflexivity, agent-based models

JEL Classification

G12, G17, D84, C92

¹ Tento príspevok bol spracovaný ako jeden z výstupů výzkumného projektu Fakulty financí a účetnictví na VŠE v Praze „Vývojové trendy na finančních trzích“, který je registrován u Interní grantové agentury VŠE v Praze pod číslem F1/46/2019.

Úvod

Z klasickej literatúry možno vyčítať, že dôraz na analýzu finančného trhu a burzové špekulácie nie sú iba obrazom súčasnosti. V súčasnej dobe, v ktorej prevzali rolu fyzických lúpežníkov kráľovských poslov s cennými informáciami optimalizované algoritmy a vysokorýchlostné internetové pripojenia však podstata cenovej arbitráže zostáva rovnaká. S ňou naďalej otázka, či je možné na týchto informáciách dlhodobo prosperovať a nenasledovať tak nešťastné osudy Merdla z Malej Dorritky či Danglarsa z Grófa Monte Christo.

Po nejasných odpovediach na túto otázku sa v podhubí neistoty ostatných ekonomických predpovedí v 30. rokoch 20. storočia (pre uvedenie do kontextu možno uviesť neslávne tvrdenie populárneho ekonóma Irvinga Fishera, ktorý sa tesne pred vypuknutím Veľkej hospodárskej krízy nechal počuť, že *„ceny akcií dosiahli trvalo vysokej hodnoty“*) začala tvoriť špecializovaná veda na prinášanie poznatkov o oceňovaní aktív na finančnom trhu a makroekonomických vlastnostiach trhu. Dôležitá otázka, na ktorú bolo nutné v rámci tejto vedy zodpovedať sa potom týkala miery efektívnosti finančných trhov. Ako bude neskôr v tomto článku preukázané, ani po deväťdesiatich rokoch nepoznáme na túto otázku odpoveď. To však neimplikuje, že finančná veda počas svojho vývoja nedosiahla významných poznatkov v oblasti empirických výsledkov a vo vývoji metód skúmania.

V priebehu 20. storočia veda o finančných trhoch vytvorila vlastnú sieť kontinuálne prehlbujúcich sa poznatkov. V kontraste so všeobecne známou a vcelku kontroverznou hypotézou efektívnych trhov vznikali v priebehu času alternatívne teórie vysvetľujúce pohyby cien na reálnych aj finančných trhoch, častokrát s využitím interdisciplinárnych metód. Ironickou skutočnosťou teda zostáva, že rovnako ako fyzikálne poznatky z termodynamiky umožnili vzostup teórii náhodnej prechádzky a formálnemu definovaniu teórie efektívnych trhov, v dnešnej dobe umožňujú poznatky z informatiky, fyziky, psychológie a biológie rozvoj alternatívnych teórií, kladúcich si za cieľ vysvetliť vznik finančných bublín a iných cenových formácií. Tento článok pojednáva o podkategórii alternatívnych teórií, založených predovšetkým na podstate spätnej väzby v evolučnej dynamike. Prvá časť sa zameria na historický vývoj teórie efektívnych trhov, metódy skúmania z nej odvodených hypotéz, argumenty inklinujúce k tej či onej verzii efektívnych trhov a konfrontáciu tejto teórie s vybranými článkami kritizujúcimi hypotézu efektívnych trhov. Druhá časť sa venuje bližšie vybranej kritike hypotézy efektívnych trhov a osvetľuje určité prvky tejto kritiky. Tretia sekcia sa zameriava na súčasné experimenty, predovšetkým na súčasný výskum z oblasti heteroagentných modelov, využívajúcich teóriu o spätnej väzbe sociálnych systémov.

Testovanie efektívnosti finančných trhov: História a súčasnosť

Prvé pokusy o skúmanie pohybov cien na finančných trhoch sa dajú pripísať burziánom od 16. storočia, menovite napríklad Josephovi de la Vegovi a Georgeovi Gibsonovi, sú však vzhľadom k ich špekulatívnym a neoveriteľným záverom považované za nevedecké. Za prvú skutočne vedeckú, aj keď v tom čase nevelmi vplyvnú prácu sa v tejto oblasti dá označiť dizertačná práca Louisa Bacheliera z roku 1900. Bachelier [1] v práci skúmal ceny warrantov na francúzskej burze, ktoré sa mu zdali byť výsledkom náhodných fluktuácií od ich minulej

hodnoty. V práci mimo iného navrhol síce jednoduchý, no dodnes často využívaný model tzv. náhodnej prechádzky:

$$p(t + 1) = p(t) + \varepsilon(t)$$

kde p je cena v čase a ε je náhodná zložka. Smutným osudom Bachelierovej práce bola jej dlhá ignorácia akademického prostredia, trvajúca vyše 60 rokov². Až v roku 1965 bola práca objavená Paulom Samuelsonom, ktorý sa po teoretickom výskume v mikroekonómii rozhodol zaoberať efektivitou finančného trhu. Ako empirický podklad si vybral americký trh so pšenitou, na ktorom preukázal, že jej cena sa hýbe náhodne a preto nie je možné na tomto trhu dosahovať systematicky pozitívne výsledky [3]. Samuelson prispel do teórie skúmania efektívnych trhov predovšetkým zavedením teórie martingalov do ohodnocovania finančného aktíva. Samuelson chápe martingale ako stochastický proces stanovenia správnej ceny za daného pravdepodobnostného rozdelenia. Lepšie povedané, Samuelson ohodnocuje aktívum ako očakávanú hodnotu všetkých, medzi sebou nezávislých, analytických odhadov pri súčasnej informačnej základni. Z modelu je teda zrejma podmienka nezávislosti jednotlivých analytických odhadov, nezávislosti na minulej hodnote a plnej racionality, ktorú je možné badať aj na Samuelsonových ekonomických modeloch. Samotný Samuelsonov model má podobu:

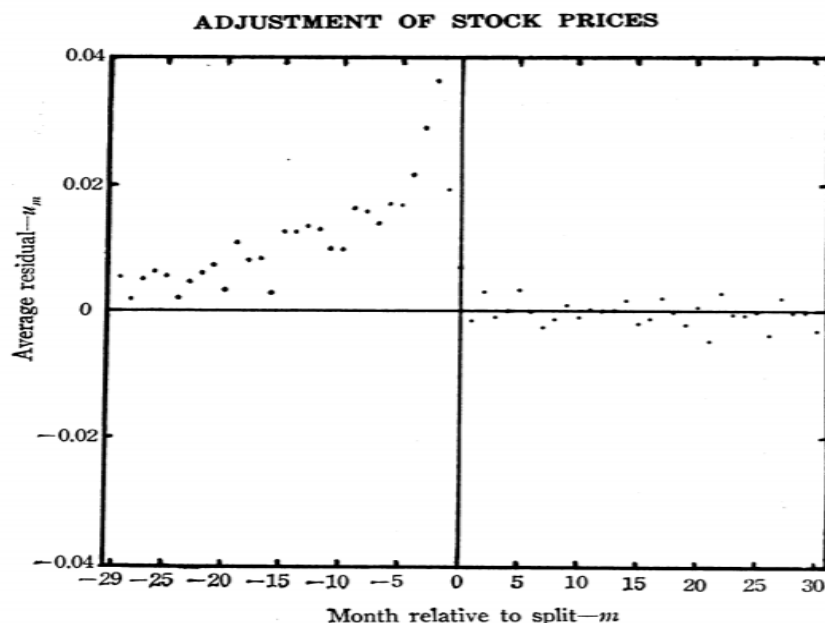
$$E_t(p_{t+1}|\Phi_t) = p_t$$

Kde Φ_t je vedomostná základňa investorov a p je cena. Na Samuelsonovu prácu nadviazal okrem iných Eugene Fama, ktorý v roku 1965 systematicky definoval teóriu efektívnych trhov [4] a systematizoval danú teóriu do troch verzií (i.) slabú – tj. stav, v ktorom sú do ceny zahrnuté všetky minulé udalosti (ii.) stredne silnú – stav, v ktorom cena obsahuje všetky verejne dostupné informácie (iii) silnú – stav, v ktorom sú do ceny aktíva zabudované verejne aj súkromné (tzv. insider) informácie. Na základe vlastného výskumu, predovšetkým jeho časti publikovanej v článku [5] dnes známom ako „FFJR“ v roku 1969, sa sám Fama prikláňal k silnej verzii efektívnych trhov.

Článok popisuje skúmanie ceny akcií v období 36 mesiacov pred a po uskutočnení štiepenia akcií. Samotný akt štiepenia bol v tých dobách považovaný za indikátor nárastu dividend v ďalších obdobiach a tým aj rast ceny akcie. Pokiaľ by dochádzalo k oneskoreným reakciám na akt štiepenia resp. na jeho oznámenie, dalo by sa usudzovať, že trhy sú neefektívne. Fama aj s ďalšími výskumníkmi však zistili, že nárast ceny neprebehol tesne po oznámení, avšak ešte niekoľko mesiacov pred oznámením štiepenia akcií. Usúdili tak, že informácie o štiepení sa zabudovali do ceny pravdepodobne vďaka úniku neverejných informácií, čo súhlasí so silnou verzii efektívnych trhov.

² Pravdaže, nemožno sa domnievať, že za celých 60 rokov sa problematika v oblasti oceňovania finančných aktív neuberala žiadnym smerom. Väčšina výskumov sa uberala empirickým testovaním pri zanedbávaní teórie, napr. Maccaulay, Cowles, Mills, Kendall a iní [2]. Tento článok ďalej zamerne opomína známe teoretické objavy napr. Markowitza, zakladateľa teórie portfólia alebo Williama Sharpeho s Johnom Lintnerom, tvorcov CAPM. Pre hlbší prieskum do skúmania efektivity finančných trhov je možné odkázať napr. na [23]

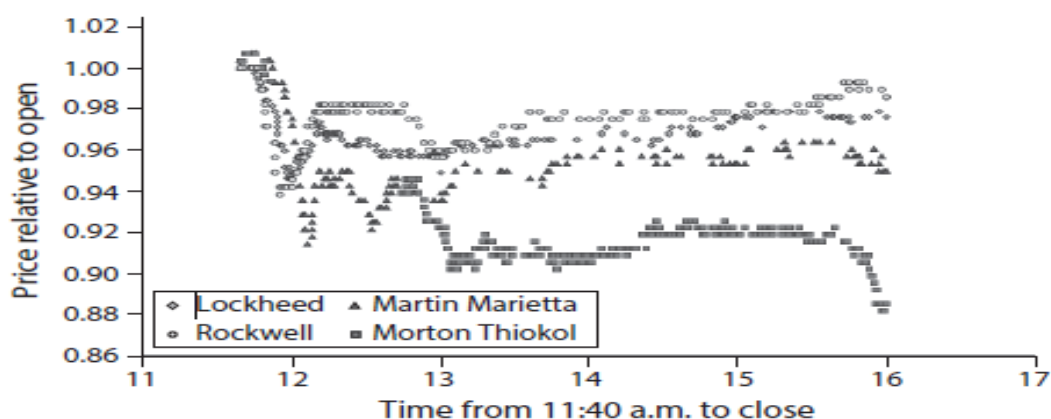
Obrázok 1: Vplyv štiepenia akcií na ich cenu



Zdroj: [5]

Ďalší príklad efektivity finančných trhov bolo možné pozorovať pri výbuchu raketoplánu Challenger. Ako je známe, uvedený raketoplán pri pokuse o vypustenie komunikačnej družice TDRS-2 v roku 1986 explodoval. Po niekoľko mesačnom vyšetrovaní sa preukázalo, že výbuch bol spôsobený nekvalitne spracovaným tesniacim krúžkom (O-ring) vyrobeným spoločnosťou Morton Thiokol. Okrem iného je na incidente pozoruhodná reakcia trhu. Ako vidno z Obrázku 2, trh na výbuch reagoval okamžitým predajom akcií firiem podieľajúcich sa na konštrukcii raketoplánu, pričom najviac penalizoval práve Morton Thiokol.

Obrázok 2: Reakcia trhu na výbuch raketoplánu Challenger 12. januára 1986



Zdroj: [13]

V tomto prípade ide pravdaže viac o kazuistiku než skutočný dôkaz, resp. verifikáciu efektivity trhov, kvalitnejšie dôkazy o platnosti EMH poskytujú rigorózne analýzy napr. dlhodobé výskumy Malkiela, Famu, Jensena alebo už spomínaný, aj keď po metodologickej stránke vcelku prostý výskum Kendalla z roku 1952.

Teória efektívnych trhov je teda od 60. rokov silne ukotvená nielen teoreticky, ale je systematicky podporovaná aj empirickým výskumom. V priebehu ďalších rokov však boli voči EMH uvedené viaceré teoretické námietky a empirické dôkazy vedúce k jej zamietnutiu. Argumentom proti tejto teórii sa bude venovať nasledujúca podkapitola.

Všeobecné argumenty proti teórii efektívnych trhov

Na úvod tejto časti je zrejme vhodné uviesť, že množstvo argumentov proti EMH je príliš obsiahle na to, aby bolo pre potreby tohto článku vymedzené v plnej miere. Podané preto budú v tejto časti iba vybrané argumenty nazbierané v priebehu procesu skúmania efektivity finančných trhov bez uceleného usporiadania.

Odhliadnuc od menej sofistikovaných, prípadne pseudovedeckých argumentov, akcentujúce neefektivitu trhov, ktoré možno badať už na prácach Gustava Le Bona a Charlesa Dowa (pre rigorózne spracovanú problematiku je opäť vhodné odkázať na Sewella [19]) je nutné spomenúť teoretickú kritiku Stiglitz a Grossmana z roku 1981 [6]. Autori inšpirovaní Akerlofovým výskumom v oblasti asymetrie informácií uvádzajú, že vzhľadom k informačným nedokonalostiam medzi jednotlivými aktérmi na finančnom trhu má určitá skupina ľudí informačnú výhodu. Táto výhoda sa však získava dodatočným výskumom, ktorý je nákladný. Racionálny tržný účastník je preto ochotný podieľať sa na výskume iba v prípade, že je na ňom možné získať tzv. informačnú prémii. Pokým bude získavanie informácií o budúcich výnosoch akcií nákladné, do tej doby bude podľa Stiglitz existovať aj tržná neefektivita.

Ďalšou známou kritikou je výskum Shillera [7], ktorý skúmal volatilitu akciového trhu v závislosti od volatility dividendových výnosov. Vo výskume zistil, že vplyv zmeny v očakávaní budúcich dividend spôsobí niekoľkonásobne väčší efekt na zmenu ceny akcie než akú by predpovedal racionálny model ohodnocovania aktív. Dôvodom tejto nadmernej reakcie trhu bolo podľa Shillera precenenie aktuálnych udalostí na trhu a stádovitosť aktérov finančného trhu.

Okrem Stiglitz a Shillera sa o vplyvný argument postarali Kahneman a Tversky v roku 1979 publikovaním tzv. prospektovej teórie a niekoľkých predpojatostí v priebehu ich ďalšieho výskumu. Počas dlhotrvajúceho výskumu identifikovali viacero heuristik, ktorými sa investori pri svojom rozhodovaní riadia a nevedome tak ovplyvňujú trh. Okrem nadmernej reakcie identifikovanej Shillerom ide napr. o heuristiku ukotvenia, reprezentatívnosti, zanedbávanie regresie k priemeru, preceňovanie záverov na malom vzorku, ai. Azda najmarkantnejší vplyv má však na investičné rozhodovanie podľa Kahnemana a Tverskyho práve prospektová teória, ktorá sa na maximalizáciu úžitku investora pozerá odlišne ako klasická teória racionálnych očakávaní. Podľa psychológov totiž investorovi nejde o *maximalizáciu bohatstva*, ale o *minimalizáciu straty*, ktorá pri investovaní môže nastať [8]. Následne uvádzajú príklad:

Existuje hra s nasledovnými výplatami:

- 1.) 50% pravdepodobnosť získania 100 jednotiek a 50% pravdepodobnosť získania 0 jednotiek
- 2.) 100% pravdepodobnosť výhry 35 jednotiek

Kahneman s Tverskym tvrdia, že väčšina ľudí si vyberie druhú možnosť kvôli minimalizácii škody (v prípade, že sa hrá iba niekoľko hier by bolo nepríjemné odísť s nulou). Analógia s investovaním je zrejmá. Mnoho investorov „pobudne“ na finančnom trhu krátku chvíľu, pričom je pravdepodobné, že aj u nich sa prejavuje averzia k riziku. Nesúladi v investičnom rozhodovaní môže u vybranej triedy aktív preferovanej určitými triedami investorov ovplyvniť cenu akcií a tým ich výnosnosť. Určité akcie teda môžu byť neprávom, resp. iba vplyvom tržného sentimentu, nesprávne ohodnotené, čo vyvracia teóriu efektívnych trhov.

V priebehu 80. a 90. rokov sa na teoretickom podklade behaviorálnych heuristik podložilo viacero odchýlok od EMH, dnes známych ako anomálie. Medzi najznámejšie anomálie patrí napríklad prémia za veľkosť spoločnosti identifikovaná Banzom [9]; prémia za „hodnotu“ firmy na ktorú poukázali Lakonishok, Vishny a Shleifer [10]; momentum, prvýkrát zdokumentované Jegadeeshom a Titmanom [11]; regresia k priemeru identifikovaná DeBondtom a Thalerom [12] a januárový efekt. Zástancovia EMH pri zdôvodnení týchto anomálií argumentujú tézou, že behaviorálne heuristiky a z nich korešpondujúce neefektívnosti sa z času na čas síce vyskytnú, ale v dlhom období ich efektívny trh dokáže kompenzovať vplyvom opačných síl napríklad pomocou arbitrážrov. Avšak aj reakcia samotného Fama na tieto anomálie je dvojznačná. Na jednu stranu vo svojich výskumoch z 90. rokov stále preferoval hypotézu efektívnych trhov, no v roku 1993 sformoval spolu s Frenchom tzv. Fama-Frenchov 3-faktorový model s implicitne zabudovanou premiou za veľkosť a hodnotu spoločnosti, čím v skutočnosti integroval tieto dve anomálie do teórie efektívnych trhov. Od tohto výskumu sa veľkosť tzv. alfy väčšinou porovnáva práve s týmto modelom. Fama s Frenchom v priebehu svojho výskumu pokračovali pri výbere správneho faktorového modelu, čoho výsledkom bola konštrukcia 5-faktorového modelu, do ktorého je započítaná aj prémia za nedávne investície a ziskovosť firiem.

Odhliadnuc od anomálií, sám Fama v súčasnosti priznáva, že trhy nie sú plne efektívne, avšak tvrdí, že k efektívnosti majú veľmi blízko, a je preto náročné dosahovať stabilne dlhodobé zisky [13]. To nakoniec tvrdí aj výskum Frencha, ktorý preukazuje, že investičné spoločnosti dosahujú v priemere čistej ziskovosti -0.67% ročne [14]. Ďalším pozoruhodným tvrdením podporujúcim Famovu tézu o nemožnosti dosahovania sú kolísavé výsledky podielových fondov, ktoré preukazuje Malkiel [15]. Ten v priebehu svojej výskumnej práce zatiaľ nenašiel dlhodobé obdobie, v ktorom by bolo možné identifikovať dlhodobu prosperujúcu podielové fondy. Téza neúplnej (ale skoro plnej) racionality s iba veľmi malou pravdepodobnosťou dosahovania dlhodobého zisku by sa dala označiť za súčasne prijímaný všeobecný konsenzus v oblasti ohodnocovania aktív.

Argumenty proti hypotéze efektívnych trhov založené na dynamike sociálnych systémov

Argumenty uvedené vyššie by sa dali označiť za vyčerpávajúco prebádané a zabudované do súčasnej teórie ohodnocovania aktív. Okrem týchto teórií sa však vyvinulo niekoľko ďalších argumentov na báze interdisciplinarity, ktoré usilujú o zmenu paradigmy pri oceňovaní aktív. Neopomenuteľný vplyv na vytvorenie týchto alternatívnych teórií má pohľad J.M. Keynesa na proces stanovenia ceny na finančných trhoch.

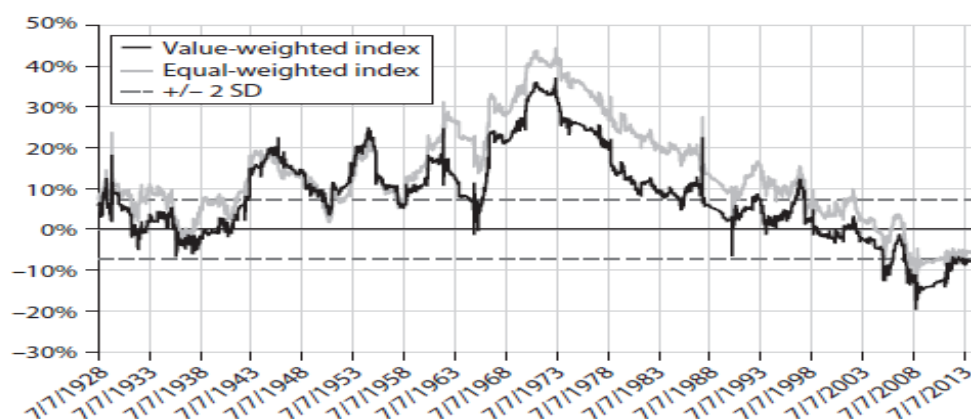
Aj napriek tomu že v úplnej podstate sa nejedná o priamy argument vznesený Keynesom voči teórii efektivity, jedná sa o dôležitý komponent alternatívnych teórií vysvetľujúce pohyby cien na podstate dynamiky systémov. V roku 1936 vo svojej knihe *Všeobecná teória zamestnanosti, úroku a peňazí* prirovnal dianie na finančnom trhu k súťaži krásy [16]. Podľa neho existuje na trhu mnoho aktérov, ktorí ohodnocujú jednotlivé tituly rôznymi metódami, pričom niektorí aktéri uvažujú aj o dopadoch verejných hodnotení titulov na ceny akcií, na základe ktorých tieto akcie ohodnocujú. Keynes verí v *endogenitu* vzťahu medzi modelovaním cien akcií a ich budúcimi cenami. Keynes však neuvažuje iba o endogenite prvého radu, tj. jednostupňový proces ohodnocovania ceny akcií v závislosti od pomeru jednotlivých modelov ale o proces v nekonečnej pozitívnej slučke čoraz pokročilejších modelov. Jeho slovami:

"Nie je to tak, že sa vyberá tá najkrajšia akcia, ani to čo si priemerný názor myslí, že je najkrajšia akcia. Dosiahli sme tretí stupeň, v ktorom našu inteligenciu venujeme predpovedaniu, ako priemerný názor predpovedá priemerný názor o vývoji cien akcií. A taktiež sú tu, verím, tí, ktorí uvažujú v štvrtom, piatom alebo šiestom rade.

Keynes v roku 1936 sám predpovedal, že ľudia v jeho dobách za predpokladu vtedajších technológií dokážu uvažovať v priemere v treťom ráde a na jeho základe tak ohodnocujú svoje modely. Podporujúcim argumentom Keynesovej teórie je preukázaná *autokorelácia* finančných trhov. Lo [17] na základe dát z rokov 1928-2003 zistil, že v danom období prevládala silná pozitívna (1943-1983) a silná negatívna autokorelácia (2003-2013) prvého rádu výnosov amerického akciového indexu. Ako je na Obrázku 3 vidno, iba v ojedinelých prípadoch boli časové rady nekorelované, čo značí neefektivitu trhu a náznak signálu pozitívnej spätnej väzby (minulé vysoké výnosy ovplyvňovali výnosnosť v budúcnosti).

Z grafu ďalej vidno, že výnosnosti nie sú korelované pozitívne po celú sledovanú periódu. V posledných rokoch sa naopak zdá, že výnosy akciového indexu sú korelované negatívne, čo znamená, že po realizovanom výnose v dni n prišiel s vyššou pravdepodobnosťou deň $n+1$ s negatívnou výnosnosťou. Tento jav implikuje *negatívnu* spätnú väzbu. Zdá sa teda, že pohľad na finančný trh Keynesovými očami je nekompletný a trh nie je zosilovaný investorskými preferenciami jednostranne. Je naopak omnoho chaotickejší s občasnými chvíľkami *momenta výnosov*, kdežto niektoré obdobia sa naopak môžu prejavovať *návratom k priemeru*. Takýto jav sa síce zdá byť stochastický, niektorí akademici aj praktici však argumentujú, že stochastickosť výnosov je iba zdanlivá a v skutočnosti sa riadi určitými, na prvý pohľad ťažko identifikovateľnými, vzorcami správania.

Obrázok 3: autokorelácia prvého radu CRSP indexov



Zdroj: [17]

Významným zástancom teórie finančných trhov ako dynamického systému je J. Doynne Farmer. Vyštudovaný fyzik sa niekoľko rokov pred prechodom do finančníctva zaoberal fyzikálnou dynamikou. Pri aplikácii modelov na finančný trh dokázal identifikovať nedokonalosti na finančnom trhu, ktoré dokázal využívať vo svojej investičnej spoločnosti Prediction Company. Svoju teóriu, popísanú v roku 1998 oprel o evolučný boj stratégií tzv. fundamentalistov a chartistov [18]. Tí reprezentujú dva odlišné módy správania sa na trhu, ktorých zastúpenie sa proporčne mení v závislosti od tržného sentimentu. Interakcie medzi skupinami na trhu v čase potom podľa Farmera nápadne pripomína populačnú dynamiku predátorov a koristi v evolučnej dynamike. Tá má v matematicko-biologickom modelovaní podobou Lotka-Volterra rovníc:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy; \frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma xy,$$

kde x je podiel koristi, resp. chartistov, y je podiel predátorov, resp. fundamentalistov a grécke písmená značia koeficienty parametrov x, y . Podľa Farmera obidva tieto typy aktérov alokujú svoje aktíva do rizikových a bezpečných inštrumentov podľa vlastných heuristik, ktoré sú ovplyvnené mimo iného minulým vývojom ceny, čím bezprostredne menia súčasné ceny aktív, a tým aj hodnoty premenných vstupujúcich do ohodnocovania budúcich cien aktív. Pozoruhodnou známkou validity Farmerovho argumentu je nadpriemerný výnos Farmerovej investičnej spoločnosti Prediction Company, ktorá dokázala v dlhom období prekonávať stanovený investičný benchmark a rovnako aj nadväzujúci výskum ďalších teoretikov z oblasti fyziky, kybernetiky a informatiky, ktorí dali možnosti za vznik novému interdisciplinárnemu odboru *ekonofyzika*.

Okrem Farmera a jeho teórie sa v akademickom poli začali množiť poznatky z iných odborov, ktorých výsledkom bola formácia viacerých alternatívnych hypotéz finančných trhov, napr. adaptívna (Lo), fraktálna (Lux, Marchesi) a heteroagentná (Brock, Hommes) [19]. Aj napriek intuitívnej heterogenite modelov majú uvedené hypotézy spoločné prvky. Predovšetkým predpokladajú viacero oceňovacích modelov. Druhým významným znakom je, že tieto modely očakávajú dlhodobé odchýlenie sa od fundamentálnej hodnoty (v prípade, že vôbec nejakú uvažujú) a jej následné využívanie k realizácii zisku. Avšak napriek tomu, že sa jedná

o pomerne sofistikované konštrukcie, tieto modely nedokážu plne zachytiť endogenitu heuristik aktérov finančných trhov v spojení s vývinom ceny a pokroku v učení sa jednotlivých subjektov.

Na tento problém poukázal už v roku 1988 vo svojej knihe *Alchemy of Finance* žiak Karla Poppera a známy finančník George Soros [20]. Podľa Sorosa trhy nemôžu byť efektívne, pretože subjekty nakupujúce aktíva na finančných trhoch podliehajú tzv. *fallibilite* a *reflexivite*. Fallibilitou Soros rozumie schopnosť aktéra finančného trhu podľaohnúť chybnému signálu pre určenie správnej hodnoty. Soros v zhode s Popperom totiž usudzuje, že kritérium pravdy, tzv. demarkačné kritérium pravdu nedokazuje, naopak iba vyvracia lož. K pravdivej teórii sa teda dá dopracovať iba postupnou falzifikáciou alternatívnych teórií, rovnako ako sa dá iba postupným ukraľovaním limitného ohraničenia získavať stále presnejšia hodnota čísla *π*. Aktéri finančného trhu jednajú podľa ich overených postupov, ktoré sa však pravdepodobne nezhodujú so *skutočne* správnym modelom, nemajú totiž všetky dostupné relevantné informácie, či už sa jedná o začlenenie relevantného výskumu, správnu metodiku, dostatočné dáta, atď. Podľa Sorosa tak jednajú v obmedzenej racionalite pod tzv. Knightovou neistotou, v ktorej takmer isto chybujú. Fallibilita potom pri rekurzívnom procese učenia dáva možnosť vzniku novým, sofistikovanejším modelom, ktoré dokážu lepšie začleniť jednotlivé faktory ovplyvňujúce ceny aktív. Sorosova teória o reflexivite však naznačuje, že daný proces učenia mení formu reality, v ktorej sa subjekt nachádza, čím dochádza k opätovnému vychýleniu sa z úrovne poznania sveta a dôležitých faktorov. Inými slovami, samo učenie subjektov pretvára finančný trh, ktorý opätovne pretvára vedomosti aktérov o finančnom trhu a tieto dva prepojené uzly tak vytvárajú nekonečnú slučku reality a výskumu o poznaní reality. Soros tento vcelku mätúci vzťah znázorňuje jednoduchým diagramom:

svet -> poznanie
poznanie -> svet

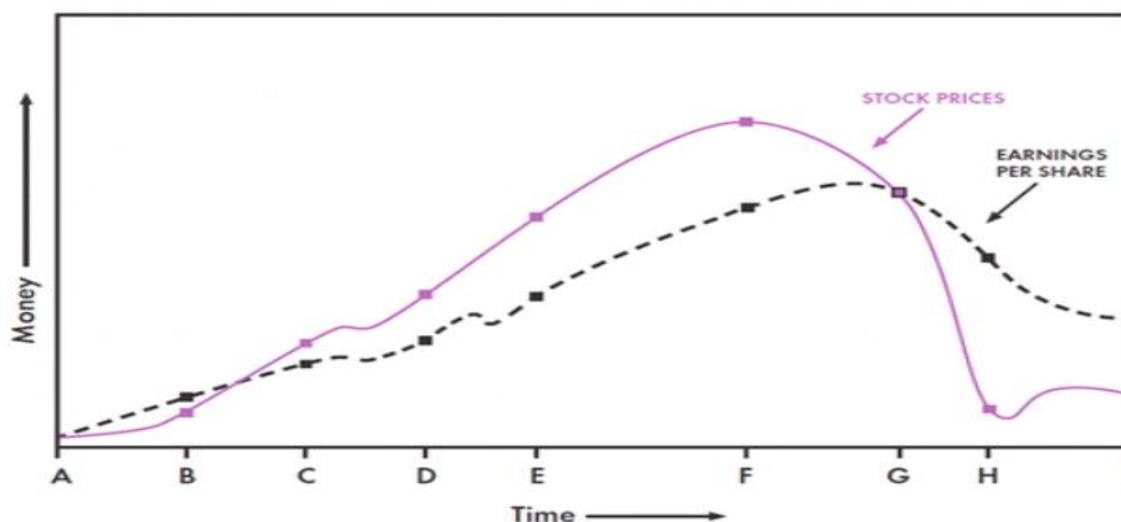
Vzájomný reflexívny vzťah medzi realitou a poznávaním je podľa Sorosa schopný vyvolať pozitívnu spätnú väzbu a následne tak samovoľne zostrojiť cenovú bublinu. Rozdiel oproti Keynesovým vzdušným zámkom je síce na prvý pohľad nepatrný, no rozhodne nie je zanedbateľný.

Keynes totiž tvrdí, že investori pri dlhodobom „mispricingu“ iba jednajú iracionálne, neovplyvňujú však svojim jednaním fundamenty akcie. Jedná sa teda iba o chvíľkovú neefektivitu, ktorá by sa skôr či neskôr mala vrátiť nazad do normálneho stavu, hneď ako aktéri na finančnom trhu „zmúdrejú“ a zistia, podľa akého kritéria by mali hodnotiť tzv. krásu akcií, resp. krásu názorov ohľadne cien akcií. Sorosov pohľad je komplikovanejší.

Podľa jeho teórie, vedomý či nevedomý mispricing mení okrem zastúpenia investorov na finančnom trhu aj fundamenty obchodovaného aktíva, čím sa z takéhoto konania stáva akási samo-naplnujúca sa predpoveď. Ako príklad Soros uvádza trh s nehnuteľnosťami, na ktorom pri pozitívnom tržnom sentimente rastú ceny, čím rastie zároveň hodnota kolaterálu bánk pri úveroch zaistených hypotékami. Rastúca hodnota kolaterálu uvoľňuje bankám nadbytočný kapitál, ktorý môžu poskytnúť formou úveru pre nákup ďalšej nehnuteľnosti. Tento cyklus

multiplikatívne zvyšuje cenu nehnuteľností. Okrem ceny nehnuteľností sa však zároveň zlepšujú aj jednotlivé fundamenty úveru, napr. rezervy banky, bonita klienta, apod. Cenová bublina v tom prípade môže byť dočasná, avšak akonáhle sa zlepšia fundamenty, vnútorná hodnota nehnuteľnosti sa môže vyrovnať tržnej cene bez potreby poklesu tržnej ceny. Grafické

Obrázok 4: Endogénny vzťah ceny finančného a podkladového aktíva



znázornenie interakcie fundamentu a ceny je zachytené na obrázku č.4.

Zdroj: [20]

Testovanie spätnej väzby na finančnom trhu – Experiment

Nezávisle od iných pokusov o simuláciu vývoja cien na finančnom trhu sa o predikciu cien s využitím poznatkov Keynesa, Farmera a Sorosa v súčasnosti usiluje kolektív Carsa Hommesa. Ten na základe svojich laboratórnych experimentov na akademickej úrovni simuluje pohyb cien podľa *heteroagentného modelu* [21]. V ňom využíva niekoľko jednoduchých heuristik potenciálnych aktérov finančného trhu a simuluje ich učiaci proces v závislosti od vývoja tržných cien. V modeli si investori vyberajú medzi bezrizikovým aktívom, ktoré vypláca fixný výnos r a rizikovým aktívom, ktoré vypláca dividendy nejistej veľkosti. Model predpokladá plnú vedomosť a exogenitu peňažných tokov, investori sa však líšia v hodnotení budúcej ceny. Pri označení dividendovej výplaty v čase t znakom Y_t a ceny aktíva v čase t znakom P_t , vyzerá rovnica tržného clearingu nasledovne:

$$P_t = \frac{1}{1+r} * E_t[P_{t+1} + Y_{t+1}]$$

kde $E_t[.]$ je hodnota ceny akcie očakávaná populáciou investorov. Pri dodržaní podmienok, že dividendy nasledujú geometrickú náhodnú prechádzku a aktéri na finančnom trhu majú dokonalé predstavy ohľadom rastu dividend konštruuje Hommes model s pozitívnou spätnou väzbou, v ktorom sa tržná odchýlka od fundamentálnej ceny zvýši v prípade, že sa v modeli zvyšuje očakávaná odchýlka. Model je skonštruovaný v tvare:

$$x_t = \frac{1}{R^*} * (n_{1,t}E_{1,t}[x_{t+1}] + n_{2,t}E_{2,t}[x_{t+1}]), \quad R^* = \frac{1+r}{1+g}$$

kde x_t je odchýlka od skutočnej ceny a $n_{i,t}$ je počet, resp. tržná sila i -tej skupiny investorov v čase t . Keďže podľa teórie dynamickej spätnej väzby je vysvetľovaná premenná závislá na proporcii aktérov v čase, premenná n musí byť v časovej rade modelovaná. Hommes využíva multnómiálny logit model, ktorý začleňuje preferenciu vlastnej stratégie vyjadrenú strnulosťou využívania vlastného modelu a tzv. intenzitu výberu, ktorá prejavuje preferenciu investora meniť svoju stratégiu v závislosti od zmenenej tržnej ceny aktíva. Logit s modelovanými preferenciami investorov má podobu:

$$n_{h,t+1} = \frac{e^{\beta U_{h,t}}}{\sum_{j=1}^h e^{\beta U_{j,t}}}; \text{ kde } U_{h,t} = (1 - \omega)\pi + \omega U_{h,t-1}$$

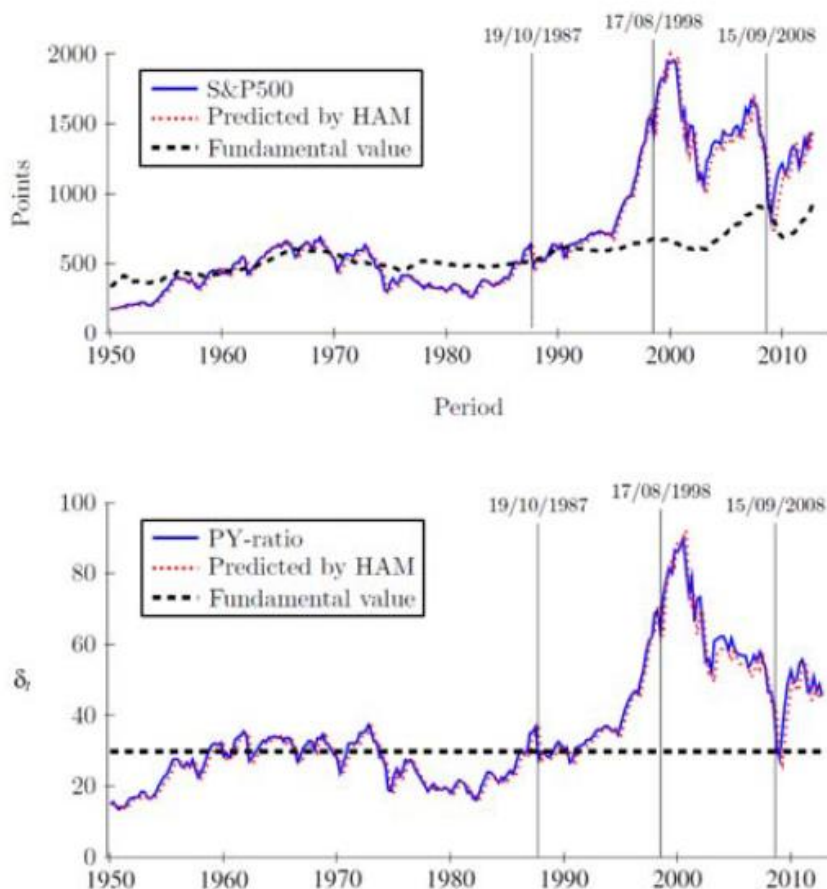
kde π je zisk v čase n a ω je parameter zotrvačnosti modelu. Výsledná forma ekonometrického modelu s autokoreláciou prvého radu za podmienok dokonalkej vedomosti o exogenite budúcich dividendových výnosov tak vyzerá nasledovne:

$$R^* x_t = n_{1,t} \varphi_1 x_{t-1} + (1 - n_{1,t}) \varphi_2 x_{t-1} + \varepsilon$$

kde parametre φ_1 a φ_2 sú autormi arbitrážne nastavené na hodnoty 0.953 a 1.035. Parameter φ_1 je v tomto prípade premenná sentimentu fundamentalistov očakávajúcich pomalý návrat k priemeru očakávanej hodnoty. Parameter φ_2 zodpovedá tržnému sentimentu chartistov, ktorí očakávajú ďalšie nasledovanie trendu, bez ohľadu na vývoj fundamentálnej ceny aktíva. Obrázok 5 zobrazuje výsledok simulácie hodnoty indexu S&P 500 (horná časť) a pomeru “price-to-dividend” (spodná časť) pri zadaných parametroch modelu.

Z obrázku je možno vidieť, že simulácia verne kopíruje index amerických akcií. Zdá sa teda, že model dokáže *ex post* verne zachytiť, čo sa na trhu v skutočnosti deje. Graf ďalej zobrazuje pomer fundamentalistov na trhu (horná časť) a tržný sentiment, definovaný ako skalárny súčin počtu tržných účastníkov a ich tržného sentimentu (parametru φ_i).

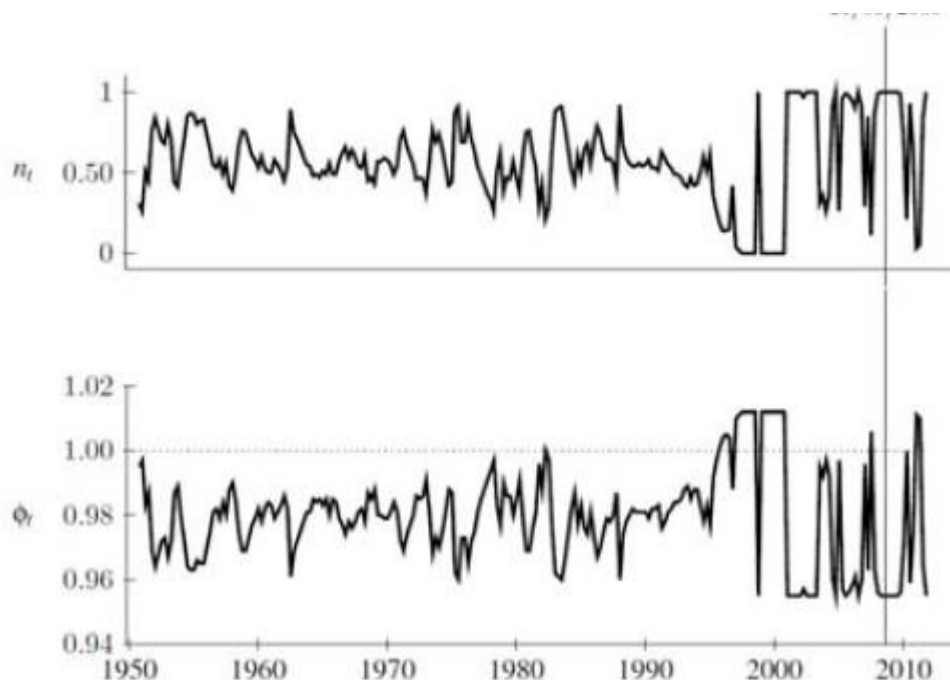
Obrázok 5: Predikcia vývoja akciového indexu S&P 500 heteroagentným modelom



Zdroj: [21]

Model predpokladá v priemere zhruba rovnaký počet fundamentalistov a chartistov (Obrázok 6) počas celého obdobia s výnimkou obdobia 2000-10 kedy sa pomery tržných účastníkov menili skokovo. Na modeli je pozoruhodná zachytenie finančnej bubliny v roku 2008, ktorú autori predpokladajú s takmer stopercentnou proporciou fundamentalistov na trhu. Tento priebeh je možné interpretovať tak, že chartisti buď odišli z trhu, alebo vo veľkej miere nastúpili tzv. smart investori, ktorí spôsobili kolaps trhu, teda tzv. Minskyho moment. Modelu pridáva na dôveryhodnosti aj kolísavosť tržného sentimentu v okolo finančných kríz z rokov 2001 a 2008, čo je v zhode s klasickou teóriou finančných bublín, ktorá je podľa nej vyvolaná špekulatívnymi obchodmi na rast ceny aktíva.

Obrázok 6: Podiely fundamentalistov a chartistov v období (1950-2013) simulované heteroagentným modelom.



Zdroj: [21]

Kritika modelu

Bez ohľadu na sľubné výsledky, ktoré skonštruovaný model prináša, je však v modeli možné nájsť niekoľko nedostatkov rozdielnej závažnosti, spočívajúce predovšetkým v elementárnosti výsledného modelu. Vzhľadom k nízkej úrovni rozpracovanosti vedeckého skúmania v oblasti heteroagentných modelov na problematiku finančných trhov je však vhodné brať túto kritiku ako podnet do ďalšieho výskumu.

Výsledná simulácia je tvorená pomocou arbitrážne zadaných hodnôt parametrov, ktoré neposkytujú vhodnú ekonomickú interpretáciu. Zvolené hodnoty sa preto nejavia ako plne teoreticky odôvodnené a ich použitie vyplýva čisto iba z poznatkov o matematicko-štatistických metódach. Je preto otázne, nakoľko sú parametre tržného sentimentu statické v čase, prípadne aká ekonomická či sociálna premenná ich ovplyvňuje. Rovnako arbitrážne sa zdá byť zvolenie in-sample metódy pri tvorbe simulácie cien. Vďaka tomu je nemožné overiť vhodnosť zvolených parametrov, skôr by sa dalo povedať, že parametre boli zvolené k presnému vyhladeniu ceny. Na základe toho existuje možnosť, že výsledný model je preoptimalizovaný a pri aplikácii modelu na iný index by nedokázal verne kopírovať vývoj ceny. Pre budúci výskum by preto bolo prínosné rozdeliť dátový súbor na tréningovú vzorku, pomocou ktorého by sa vhodne nakalibrovali parametre sentimentu a následne by tieto parametre boli použité k vyhodnoteniu metódy na testovacích dátach. Až na takto skonštruovanom modeli by sa dali tvoriť ucelenejšie závery o vhodnosti modelu.

V neposlednom rade sa zdá byť model príliš naivný, kvôli nezačleneniu ďalších aktérov na trhu, ako sú napríklad verejné inštitúcie alebo centrálna banka sledujúce odlišné ciele než klasickí

tržní účastníci. Taktiež je možné uvažovať rôzne „stupne“ fundamentalistov a chartistov, respektíve ich odlišné typy v závislosti od stratégií, ktoré sledujú. Je samozrejmé, že pri vysokom počte heuristik, ktorými sa investori na dnešných finančných trhoch riadia, je vytvorenie vyčerpávajúceho modelu, zahrňujúceho dostupné modely nemožný. Rovnako je však do ďalšieho výskumu naivné predpokladať iba s dvoma typmi investorov riadiacimi sa svojimi unikátnymi investičnými heuristikami.

Napriek uvedeným nedostatkom však nemožno povedať, že by model neprinášal pridanú hodnotu a predovšetkým kvôli priekopníckemu prístupu, ktorý využíva interdisciplinárne metódy, špeciálne poznatky o nelineárnych procesoch je cenným príspevkom do literatúry o simuláciách cien na finančnom trhu a zdôvodnení ich pohybu.

Záver

Na základe vedeckého poznania sa zdá, že teória efektívnych trhov neprináša dokonalé vysvetlenie pohybu cien na finančných trhoch. Poznatky z interdisciplinárnych teórií, predovšetkým z teórie informácií a populačnej dynamiky naznačujú, že výkyvy cien aktív od ich fundamentálnej hodnoty nemusia a pravdepodobne ani nie sú spôsobené iba náhodným šumom. Naopak sa zdá, že dôvody sa dajú nájsť vo využívaní neúplnej racionality, obmedzenej dátovej základni, predpojatosti a heuristik rôznych účastníkov trhu a všeobecnej komplexnosti finančných trhov. Rovnako je významná endogenita cenových pohybov na hodnotu a vlastnosti podkladového aktíva, z čoho vyplýva, že aj na prvý pohľad iracionálne správanie na trhu môže zohrať úlohu v pretvorení budúcej reality a tým aj budúcej tržnej hodnoty aktíva. V prípade vzniku pozitívnej spätnej väzby je odhad „spravodlivej“ ceny omnoho komplexnejší než poskytuje súčasná finančná teória a inšpiráciu je preto nutné hľadať v príbuzných vedách. Zároveň však treba dodať, že výskumy v tejto oblasti sú stále pomerne nové a závery neposkytujú dodatočnú podporu k úplnému vyvráteniu teórie efektívnych trhov. To zároveň naznačuje aj skutočnosť, že dané teórie sa stále označujú iba ako alternatívne oproti hlavnému ekonomickému prúdu, ktorý sa prikláňa k verzii čiastočne efektívnych finančných trhov.

Pokiaľ je intuícia ekonofyzikov správna a dianie na finančných trhoch je možné vysvetliť zabudovaním evolučných a fyzikálnych modelov je pravdepodobné, že tieto poznatky výrazne ovplyvnia finančný sektor vrátane *oceňovania aktív*, rizikového managementu či dokonca makroekonomickej politiky. Značný potenciál evolučnej dynamiky vidí napr. Hirschleifer [22], ktorý vo svojom príspevku tvrdí, že súčasné heteroagentné modely nedostatočne reflektujú všeobecné poznatky evolučnej biológie. Až ďalšie roky však ukážu, či sú tieto hypotézy správne alebo je ohodnocovanie aktív pomocou evolučnej dynamiky iba slepá ulička.

Literatúra

- [1] Bachelier, L. (1900) Théorie de la spéculation. Annales scientifiques de l'École Normale Supérieure, Serie 3, Volume 17, pp. 21-86.
- [2] Kendall, M. G., & Hill, A. B. (1953). The analysis of economic time-series-part i: Prices. Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), 116(1), 11-34.

- [3] Samuelson, P. (1965) Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly. *Industrial Management Review* Spring, 6, 41-49.
- [4] Fama, E. F. (1965a), Random walks in stock market prices, *Financial Analysts Journal* 21(5), 55–59
- [5] Fama, E. F., Fisher, L., Jensen, M. C. and Roll, R. (1969), The adjustment of stock prices to new information, *International Economic Review* 10(1), 1–21
- [6] Stiglitz, J. E. (1981), The allocation role of the stock market: Pareto optimality and competition, *The Journal of Finance* 36(2), 235–251.
- [7] Shiller, R. J. (1980). Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends? (No. w0456). National Bureau of Economic Research.
- [8] Tversky, A., & Kahneman, D. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-291.
- [9] Banz, R. W. (1981). The relationship between return and market value of common stocks. *Journal of financial economics*, 9(1), 3-18.
- [10] Lakonishok, J., Shleifer, A., & Vishny, R. W. (1994). Contrarian investment, extrapolation, and risk. *The journal of finance*, 49(5), 1541-1578.
- [11] Jegadeesh, N., & Titman, S. (1993). Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency. *The Journal of finance*, 48(1), 65-91.
- [12] De Bondt, W. F., & Thaler, R. (1985). Does the stock market overreact?. *The Journal of finance*, 40(3), 793-805.
- [13] Cassidy, J. (2010). Interview with Eugene Fama. *The New Yorker*, 13(01), 2010.
- [14] French, K. R. (2008). Presidential address: The cost of active investing. *The Journal of Finance*, 63(4), 1537-1573.
- [15] Malkiel, B. G. (2003). The efficient market hypothesis and its critics. *Journal of economic perspectives*, 17(1), 59-82. Cootner, P. H. (1962), Stock prices: Random vs. systematic changes, *Industrial Management Review* 3(2), 24–45
- [16] Keynes, John Maynard, 1883-1946. (1936). *The general theory of employment, interest and money*. London :Macmillan.
- [17] Lo, A. W. (2019). *Adaptive markets: Financial evolution at the speed of thought*. Princeton University Press
- [18] Doyné Farmer, J. (1998). Market force, ecology and evolution. *Advances in Astrophysics*.
- [19] Ehrentreich, N. (2007). *Agent-based modeling: The Santa Fe Institute artificial stock market model revisited (Vol. 602)*. Springer Science & Business Media.

- [20] Soros, G. (1988). The alchemy of finance: Reading the mind of the market. London: Weidenfeld and Nicolson.
- [21] Hommes, C. (2013). Reflexivity, expectations feedback and almost self-fulfilling equilibria: economic theory, empirical evidence and laboratory experiments. *Journal of Economic Methodology*, 20(4), 406-419.
- [22] Hirshleifer, D. A. (2020). Bringing Evolutionary Thinking into Economics and Finance: Advice for an Aspiring Economist. Available at SSRN 3692892.
- [23] Sewell, M. (2011). History of the Efficient Market Hypothesis (Research Note No. RN/11/ 04). London: UCL Department of Computer Science.

Ing. Michal Vyletelka,

Fakulta financí a účetnictví, Vysoká škola ekonomická v Praze, nám. W. Churchilla 1938/4 130 67
Praha 3; vylm00@vse.cz