Konají český, polský, německý a nizozemský trh náhodnou procházku?

Jitka Veselá – Alžběta Zíková[*]

Abstrakt:

Na efektivně fungujících trzích ceny aktiv konají náhodnou procházku. Na takovýchto trzích nelze opakovaně, systematicky dosáhnout nadměrných výnosů. Pro testování slabé formy efektivnosti trhu jsou využívány statistické testy, které se pokoušejí identifikovat závislosti v pohybu cen aktiv. Tento příspěvek se zabývá testováním slabé formy efektivnosti trhu s využitím denních dat o vývoji akciových indexů na českém, polském, německém a nizozemském trhu v období 2001–2022. V příspěvku jsou využity runs test, autokorelační analýza, dvě varianty unit root testu a variance ratio test. Výsledky provedených testů jsou smíšené. Na slabě efektivní chování zkoumaných trhů poukázaly pouze runs testy a z části autokorelační analýza. Podle runs testu se ve všech sledovaných obdobích choval slabě efektivně pouze nizozemský trh, zatímco český, polský a německý trh se chovaly slabě efektivně ve čtyřech z pěti sledovaných období. Autokorelační analýza naznačila výskyt náhodné procházky v některých obdobích zejména na polském trhu, částečně pak na trhu českém a ojediněle na trhu německém.

Klíčová slova: Hypotéza efektivního trhu; Autokorelační analýza; Runs test; Unit root test; Variance ratio test.

JEL klasifikace: G14, G15.

1 Úvod: hypotéza efektivního trhu a možnosti jejího testování

Koncept efektivnosti kapitálových trhů, teoreticky podrobně definovaný Famou (1965b), prakticky však již dříve bohatě a mnohostranně podpořený značným počtem prací, např. Brown (1828), Bachelier (1900), Working (1934), Kendall (1955) či Osborne (1959), má dalekosáhlé důsledky pro pohyb nejen akciových kurzů a pro úspěšnost investičních strategií. Podle třetí a čtvrté charakteristiky efektivního trhu uváděných Haugenem (1993) na efektivním trhu není možné dosahovat opakovaně, systematicky nadměrného výnosu, než odpovídá podstupovanému riziku. Aktivní investiční strategie ve snaze nalézt a přinést investorovi opakovaně, systematicky nadměrný výnos na efektivních trzích selhávají, neboť významně nadměrné investiční příležitosti se na efektivním trhu opakovaně, systematicky nevyskytují. Informace o tom, zda se trh chová efektivně

[*] Jitka Veselá; Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta financí a účetnictví, katedra bankovnictví a pojišťovnictví, nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha 3; <veselaj@vse.cz>; ORCiD: 0000-0001-7329-2065.

Alžběta Zíková; Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta informatiky a statistiky, katedra statistiky a pravděpodobnosti, nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha 3; <alzbeta.zikova@vse.cz>; ORCiD: 0000-0002-8043-2684.

či nikoliv, je proto pro investora při volbě investičních strategií a při investičním rozhodování naprosto stěžejní. Pokud na efektivním trhu nelze nalézt vzhledem k postupovanému riziku opakovaně, systematicky významně nadměrné výnosové příležitosti, je třeba opustit aktivní řízení portfolia a soustředit se na pasivní řízení portfolia, popř. na strategii kup a drž.

Samotný termín hypotéza efektivního trhu (Efficient Market Hypothesis) byl poprvé použit již Robertsem (1967). Teprve Fama (1965a, 1965b) ve svých publikacích zaměřených na akciové trhy však precizně vymezil efektivní trh jako trh, kde kurzy akcií zcela a téměř okamžitě odrážejí soubor neočekávaných, náhodně se vyskytujících, vzájemně nezávislých, relevantních informací. Na nové, neočekávané informace je zde pohlíženo jako na náhodnou veličinu. Fama (1965a, 1965b) se přiklání k názoru, že ceny akcií na efektivním trhu konají náhodnou procházku (Random Walk Hypothesis), což znamená, že pohyby kurzů akcií jsou vzájemně nezávislé, protože reagují na neočekávané, nepředvídatelné a vzájemně nesouvisející, náhodně se vyskytující informace. Prognóza budoucího pohybu akciových kurzů je potom v podmínkách efektivního trhu nemožná, což má negativní dopad na důvěru v úspěšné praktické využití technické a fundamentální analýzy. Adekvátní a okamžitá reakce akciových kurzů na novou, neočekávanou informaci a nezávislý, náhodný pohyb akciových kurzů, kdy se předpokládá, že kurzy konají určitý typ náhodné procházky, se posléze staly náplní první a druhé charakteristiky efektivního trhu uváděných Haugenem (1993). Myšlenku náhodného pohybu akciových kurzů na efektivním trhu podpořili rovněž Cootner (1964) a Makiel (1973), ovšem objektivně je nutno uvést, že se spíše ojediněle objevují i názory, např. Lynch (1989), které myšlenku náhodného pohybu akciových kurzů na efektivním trhu nepodporují.

Při testování platnosti hypotézy efektivního trhu je pozornost velmi často zaměřena na analýzu charakteru pohybu akciových kurzů. Lze v pohybu kurzů vysledovat nějaké závislosti nebo kurzy konají určitý typ náhodné procházky? K získání odpovědi na tyto otázky lze využít různé statistické testy, které se pokoušejí prověřit platnost hypotézy náhodné procházky na zvolené historické kurzové řadě.

S ohledem na druh informací, které jsou okamžitě zohledněny akciovými kurzy, vymezil Fama (1970) tři formy, jakési stupně efektivnosti trhu. Jde o slabou formu efektivnosti, v níž jsou akciovými kurzy okamžitě absorbovány všechny historické informace, dále o středněsilnou formou efektivnosti, kdy akciové kurzy okamžitě reagují na všechny veřejně dostupné informace a konečně o silnou formu efektivnosti, kdy akciové kurzy okamžitě zohlední jak veřejné, tak i neveřejné, tedy insider informace. Rozlišení třech forem efektivnosti trhu má zásadní smysl při testování efektivnosti trhu, neboť druh použitých informací a postup testování přesně determinuje formu, které se testování týká. Je-li při testování efektivnosti trhu použita podle Famy (1965a, 1965b) pouze historická časová řada akciových kurzů, a nikoliv současné či insider informace, jde o testování nejnižšího stupně

efektivnosti trhu v podobě slabé formy efektivnosti. Testovat či prověřovat naplnění středněsilné a silné formy efektivnosti lze samozřejmě také, ale v tomto případě je nezbytné použít jiné nástroje, postupy a jiný soubor informací než výše zmíněné statistické testy aplikované na historickou kurzovou řadu. Tento článek zcela akceptuje Famovo vymezení tří forem efektivnosti v závislosti na absorbování určitého druhu informace kurzy a jím naznačené způsoby testování či prověřování jednotlivých forem efektivnosti trhu.

Cílem tohoto příspěvku je otestovat platnost hypotézy efektivního trhu na českém, polském, německém a nizozemském trhu v její slabé formě s využitím statistických testů v podobě runs testu, autokorelační analýzy, unit root testu a variance ratio testu aplikovaných na historickou kurzovou řadu akciových kurzů za souhrnnou časovou periodu 2001–2022, ale i za kratší časové úseky v rámci uvedené časové periody související s výskytem finanční krize a pandemie COVID-19. Zmíněné statistické testy se soustředí na zamítnutí či nezamítnutí hypotézy náhodné procházky ve vývoji sledovaných akciových kurzů, která představuje obsah jedné z výše zmíněných charakteristik efektivního trhu.

2 Shrnutí výsledků výzkumu dané problematiky v novém tisíciletí

Výzkum a testování platnosti hypotézy efektivního trhu trvají od okamžiku jejího vzniku ve druhé polovině 60. let až do dnešních dnů. Výsledky obrovského množství vyprodukovaných studií, které se zaměřovaly na statistické závislosti v pohybu akciových kurzů, výskyt anomálií na akciových trzích nebo úspěšnost rozličných investičních strategií, nebyly nikdy zcela jednotné. Zájem výzkumníků nevymizel ani v novém tisíciletí. Z obrovské nabídky provedených studií poukažme na ty novější, které vznikly v novém tisíciletí a které se zaměřily na testování závislostí ve vývoji akciových kurzů s využitím statistických testů.

Smith a Ryoo (2003) zkoumali efektivnost 5 vybraných evropských trhů, a to řeckého, maďarského, polského, portugalského a tureckého. K testování slabé formy efektivnosti těchto trhů využili autoři variance ratio test, který aplikovali na týdenní data o národních indexech uvedených zemí za období 1991–1998. Na základě dosažených výsledků odmítli platnost hypotézy náhodné procházky pro všechny zkoumané země s výjimkou Turecka, kde akciové kurzy podle obou autorů náhodnou procházku konaly.

Podle Malkiela (2003) se akciové trhy chovají efektivně a nejsou předvídatelné, což investorům nevytváří příležitosti k opakovanému, systematickému dosahování nadměrných výnosů. Malkiel sice poukazuje na výskyt anomálií na trhu, které mají neracionální charakter a které mohou narušovat efektivní fungování trhu, nicméně vliv těchto anomálií na dosažení akciového výnosu není natolik silný, aby pokryl související transakční náklady a umožnil investorům dosahovat opakovaně, systematicky nadměrného výnosu.

Worthington a Higgs (2004) se ve svém výzkumu platnosti slabé formy efektivnosti trhu zaměřili na akciové trhy 20 evropských zemí v období 1995–2003. Autoři ve své studii použili autokorelační test, runs test, rozšířený Dickey-Fullerův (ADF) test a variance ratio test. Pouze 5 z 20 zkoumaných zemí splnilo všechna přísná kritéria pro náhodnou procházku. Konkrétně to bylo Německo, Irsko, Portugalsko, Švédsko a Velká Británie. Dalších 5 zemí (Francie, Finsko, Nizozemí, Norsko a Španělsko) splnily pouze některé požadavky pro náhodnou procházku.

Hameed, Ashraf a Siddiqui (2006) testovali výskyt slabé formy efektivnosti s využitím modelu GARCH a denních dat za období prosinec 1998 až březen 2006. Dosažené výsledky odmítly existenci slabé formy efektivnosti na pákistánském trhu.

Na evropských trzích testoval slabou formu efektivnosti Borges (2008). Pomocí národních akciových indexů byly testovány trhy Francie, Německa, Velké Británie, Řecka, Portugalska a Španělska za období 2003–2007. Pro testování byly použity autokorelační test, runs test, Dickey-Fullerův (ADF) test a variance ratio test. Provedené testy naznačily, že při použití měsíčních dat konají akciové kurzy na všech šesti zkoumaných trzích náhodnou procházku. Při použití denních dat však podmínky pro konání náhodné procházky splnily pouze trhy Francie, Německa, Velké Británie a Španělska. Na trzích v Řecku a Portugalsku byla objevena sériová pozitivní korelace.

Patel, Patel a Ranpura (2011) soustředili svou pozornost na indické akciové trhy, a to jak na Bombay Stock Exchange, tak na National Stock Exchange. Existence slabé formy efektivnosti byla na obou indických burzách testována s využitím autokorelační analýzy a unit root testu za souhrnné období od srpna 1998 do července 2010, které však bylo rovněž rozděleno do tříletých intervalů. Provedená analýza odhalila významnou autokorelaci v období od srpna 2001 do července 2004. V tomto období se tedy indický trh nechoval v souladu se slabou formou efektivnosti. Naopak v období 2004–2010 použité testy přinesly důkazy o fungování slabé formy efektivnosti na indickém trhu.

Na britském akciovém trhu zkoumali platnost hypotézy efektivního trhu Konak a Seker (2014), kteří analyzovali vývoj indexu FTSE 100 za období 2001–2009. Uvedení autoři dospěli k závěru, že index FTSE 100 konal v uvedeném období náhodnou procházku, což podporuje platnost slabé formy efektivnosti trhu.

Bahmani-Oskooee aj. (2016) se zabývali testováním výskytu slabé formy efektivnosti trhu na týdenních datech o akciových indexech z 8 tranzitivních trhů za období 2000–2015. K testování byl použit modifikovaný unit root test, který vyvinuli Koenker a Xiao (2004). Na nemalé přednosti tohoto testu upozorňují Hosseinkouchack a Wolters (2013). Výsledky studie potvrdily fungování slabé formy efektivnosti v České republice, Chorvatsku, Maďarsku, Litvě a Polsku.

Naopak na trzích v Bulharsku, Rumunsku a Rusku slabá forma efektivnosti použitým testem identifikována nebyla.

Na efektivnost nepálského akciového trhu byla zaměřena studie Risal a Koju (2021). K testování slabé formy efektivnosti nepálského trhu byl autory využit autokorelační test, test normality, runs test a unit root test. Tyto testy byly aplikovány na denní výnosy nepálského akciového indexu NEPSE za období leden 2010 až prosinec 2019. Použité testy vyvrátily existenci slabé formy efektivnosti na nepálském trhu. Autoři akcentují fakt, že pokud je nepálský trh neefektivní, je možné prognózovat kurzové pohyby s využitím minulých kurzových pohybů, což představuje východisko technické analýzy.

Na dopad pandemie COVID-19 na efektivnost akciových trhů šesti rozvinutých zemí (USA, Španělsko, Velká Británie, Itálie, Francie a Německo) se zaměřil Ozkan (2021), který použil WBAVR test a portmanteau test aplikované na období 29. července 2019 až 25. ledna 2021. Výsledky provedených testů naznačují, že se všechny zkoumané trhy v uvedeném období chovaly neefektivně s tím, že neefektivní chování je ve větší míře typické pro trhy v USA a Velké Británii.

Na efektivnost britského, amerického, japonského a čínského trhu obrátily svou pozornost Zíková a Veselá (2022). Na vývoj akciových indexů z uvedených trhů za období 2001–2021 byly aplikovány runs test a variance ratio test. Výsledky provedeného runs testu poukazují na efektivní chování britského a čínského trhu po celé sledované období. Japonský trh se choval efektivně pouze mezi lety 2007 a 2020 a americký trh dokonce až po roce 2009. Variance ratio test neprokázal náhodnou procházku v průběhu uvažovaného období na žádném ze čtyř sledovaných trhů.

3 Použitá metodologie a data

Je-li na akciovém trhu platná hypotéza efektivního trhu, akciové kurzy na tomto trhu na určitých podmínek následují proces náhodné procházky. Tento článek si všímá těchto aspektů modelu náhodné procházky ve smyslu vymezení Famou (1965a, 1965b): nezávislost po sobě jdoucích cenových změn, sériové korelace, stacionarity a rozptylů ve vybraných obdobích. Tsay (2002) uvádí, že finanční data mají tendenci být nestacionární. Běžným typem takové nestacionarity v datech časové řady je kořenová (root) nestacionarita a jejím příkladem je model náhodné procházky.

Uvedené aspekty modelu náhodné procházky budou analyzovány s využitím runs testu, autokorelačního testu, unit root testu a variance ratio testu aplikovaných na data o vývoji těchto akciových indexů: český index PX, polský index WIG 20, německý index DAX a nizozemský index AEX za souhrnné období od 3. 1. 2001 do 31. 8. 2022. Toto souhrnné období bude dále rozděleno na kratší období zohledňující výskyt finanční krize a pandemie COVID-19 takto:

- předkrizové období 01/2001 – 12/2007,
- krizové období 01/2008 – 06/2009,
- postkrizové a předcovidové období 07/2009 – 02/2020, a
- covidové období 03/2020 – 08/2022.

Rozdělení dat je provedeno podle oznámení výboru pro datování hospodářského cyklu NBER (2010). Všechny použité testy jsou aplikovány na denní výnosy akciových indexů, jež byly vypočteny jako rozdíl dvou následujících přirozených logaritmů denních uzavíracích hodnot indexu. Pro interpretaci výsledků je použita 5% hladina významnosti. Pro kalkulaci výsledků byl využit program Eviews, s výjimkou runs testu, který by zpracován v MS Excel.

3.1 Runs test

Runs test je neparametrický, umožňující testování náhodné procházky typu 1. Test byl vytvořen Waldem a Woflowitzem (1940). V rámci runs testu jsou vymezeny skutečný a simulovaný (náhodný) soubor. Následně se sleduje počet negativních a pozitivních runs (průběhů) ve vývoji časové řady. Počty runs ve skutečném a simulovaném souboru se na závěr porovnávají.

Nulové a alternativní hypotézy lze v runs testu vymezit takto:

H_0: Hodnoty ze vzorku pocházejí z náhodné sekvence nebo je daná sekvence náhodná.

H_1: Hodnoty ze vzorku pocházejí z nenáhodné sekvence nebo je daná sekvence nenáhodná.

V případě platnosti nulové hypotézy jsou počty runs u skutečného a náhodného souboru totožné. V takovémto případě lze potvrdit existenci slabé formy efektivnosti daného trhu.

Pokud jsou však počty runs u skutečného a náhodného souboru odlišné, je potvrzena alternativní hypotéza. Runs test odhalil závislosti v pohybu akciových kurzů (z technického hlediska buď trendový vývoj nebo tendenci k reverzi). Existence slabě efektivního trhu je tímto vyvrácena.

Pokud je počet kladných a záporných runs větší než deset, pak pro střední hodnotu počtu runs je rozdělení pravděpodobnosti normální, kde

$$E(R) = \frac{2N_+N_-}{N} + 1, \tag{1}$$

$$\sigma_R^2 = \frac{2N_+N_-(2N_+N_- - N)}{N^2(N-1)} + 1, \tag{2}$$

kde

R je počet vypočítaných runs,

$E(R)$ je průměrný počet runs,

N_+ je počet pozitivních změn v časové řadě,
N_- je počet negativních změn v časové řadě,
σ_R^2 je rozptyl počtu runs, a
N je součet počtů pozitivních a negativních změn v časové řadě.

Testová statistika pak je

$$U = \frac{R - E(R)}{\sigma_R}. \tag{3}$$

3.2 Autokorelační analýza

Tsay (2002) uvádí, že výnos aktiva nesmí být v případě platnosti hypotézy efektivního trhu predikovatelný. Jedním ze způsobů, jak ověřit predikovatelnost výnosu aktiva, je testování nulových autokorelací ve vývoji výnosu tohoto aktiva. Test náhodné procházky měří korelace dvou pozorování stejné časové řady v různých časových okamžicích. Za předpokladu platnosti náhodné procházky jsou naměřené autokorelační koeficienty při různých zpožděních nulové. Test uvažuje následující hypotézy:

H_0: $\rho_1 = \cdots = \rho_m = 0$,
H_1: $\rho_i \neq 0$ alespoň pro jedno $i \in \{1, \ldots, m\}$.

Ljung-Box test používá statistiku testu Q_{LB} (Ljung-Box, 1978):

$$Q_{LB} = n(n+2)\sum_{k=1}^{m} \frac{\hat{\rho}_k^2}{n-k} \sim \chi^2(m), \tag{4}$$

kde

n je velikost vzorku,
m je maximální délka zpoždění, a
$\hat{\rho}_k^2$ je autokorelační koeficient při zpoždění k odhadnutý ze vzorku.

Testovací statistika Q_{LB} má přibližně χ-kvadrát rozdělení s m stupni volnosti.

3.3 Unit root test

Jako další test náhodné procházky je možné využít unit root test. Jak uvádí Brooks (2014), nejběžněji je v této souvislosti využíván rozšířený Dickey-Fullerův test (ADF).

Časovou řadu je možné zapsat ve formě stochastického trendového modelu:

$$y_t = \varphi y_{t-1} + u_t, \tag{5}$$

kde

y_t, y_{t-1} jsou hodnoty časové řady v čase t, resp. $t-1$ a
u_t je bílý šum.

Hypotéza rozšířeného Dickey-Fullerova testu (ADF) říká, že řada obsahuje jednotkový kořen, což je v rozporu s hypotézou, že řada je stacionární. Většina finančních časových řad buď obsahuje jednotkový kořen nebo je stacionární. Třetí možnost, $\varphi > 1$, je podle Brookse (2014) možná, ale proces by byl explosivní. ADF hypotézy tedy jsou:

H_0: $\varphi = 1$,

H_1: $\varphi < 1$.

V případě $\varphi = 0$ by časová řada představovala proces bílého šumu, pro $\varphi < 1$ mají události pouze dočasné účinky na akciový trh a pro $\varphi = 1$ se časová řada řídí procesem náhodné procházky. Pro podporu výsledku testu ADF Brooks (2014) doporučuje použít test Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS).

Test KPSS je založen na lineární regresi a rozděluje řadu na tři části: deterministický trend (ξ_t), náhodnou procházku (r_t) a stacionární chybu (ε_t) takto:

$$y_t = \xi_t + r_t + \varepsilon_t, \tag{6}$$

kde $r_t = r_{t-1} + u_t$ a u_t je bílý šum.

Nulová hypotéza KPSS testu (Kwiatkowski aj., 1992) je, že časová řada je (slabě) stacionární vůči alternativě, že není (slabě) stacionární. Nezamítnutí nulové hypotézy bude znamenat, že pro testovaná data nebude možné použít model náhodné procházky. tj. hypotéza náhodné procházky je zamítnuta.

Pro zhodnocení testované hypotézy se porovnává hodnota testované statistiky s asymptotickou kritickou hodnotou (0,463) pro zvolenou hladinu významnosti ($a = 0{,}05$). Při překročení kritické hodnoty zamítáme testovanou hypotézu.

Použití obou testů (ADF a KPSS v tomto pořadí) současně může přinést tyto čtyři výsledky:

1. Zamítnuta H_0 a nezamítnuta H_0 – hypotéza náhodné procházky je zamítnuta (je potvrzena slabá stacionarita).
2. Nezamítnuta H_0 a zamítnuta H_0 – hypotéza náhodné procházky není zamítnuta (je potvrzena slabá nestacionarita).
3. Zamítnuta H_0 a odmítnuta H_0.
4. Nezamítnuta H_0 a nezamítnuta H_0.

V případě výsledků 1 a 2 jsou závěry robustní, tj. oba testy dospěly k závěru, že je řada stacionární nebo nestacionární. Výsledky 3 nebo 4 naznačují konflikt ve výsledcích. Pro test ADF je třeba určit počet zpoždění. V tomto článku je pro délku zpoždění použito Akaikeho informační kritérium (AIC).

3.4 Variance ratio test

Variance ratio test je založen na porovnání rozptylu dat časových řad v různých intervalech. Lo a MacKinlay (1988) vyvinuli variance ratio test, kde za podmínky, že řada koná náhodnou procházku, se poměr rozptylu q-té hodnoty a rozptylu první hodnoty má tendenci rovnat jedné.

Hypotézy variance ratio testu jsou:

H_0: výnosy konají náhodnou procházku.

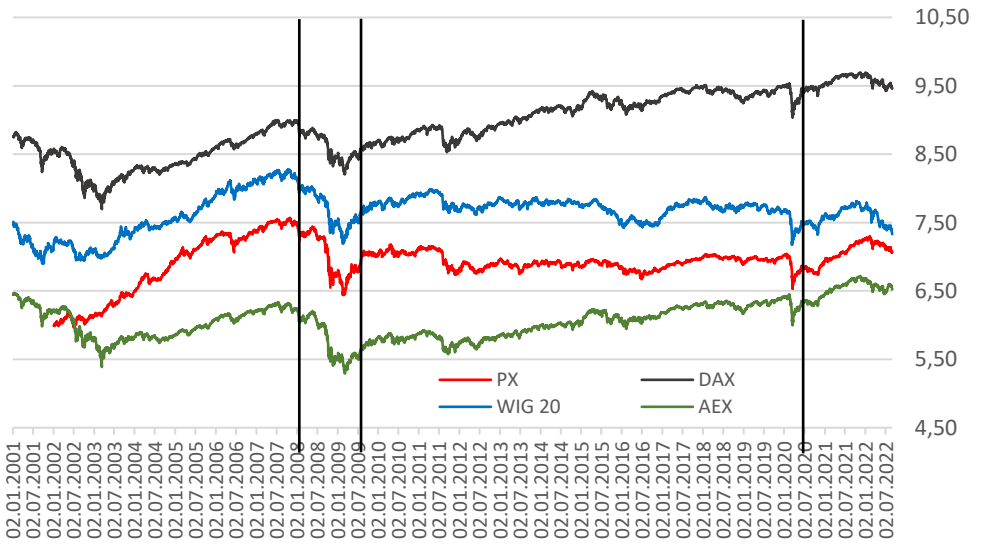
H_1: výnosy nekonají náhodnou procházku.

V článku Chowa a Denninga (1993), který navazuje na článek Lo a MacKinlaye a jejich přístup rozšiřuje, byl navržen vícenásobný variance ratio test, který poskytuje simultánní pravděpodobnost. Tento článek používá test vícenásobného variance ratio testu Chowa a Denninga s heteroskedastickým předpokladem, který je nabízen v EViews.

4 Výsledky aplikace testů na časovou řadu

Obrázek č. 1 znázorňuje vývoj uzavíracích hodnot akciových indexů na čtyřech sledovaných trzích v souhrnném období 01/2001 – 08/2022. Vyznačeno je zde i rozdělení souhrnného období na kratší výše vymezená období. Na obrázku č. 1 je zřejmý výrazný propad ve vývoji všech indexů v souvislosti s propuknutím a průběhem finanční krize v roce 2008 a poté s příchodem pandemie COVID-19 v roce 2020.

Obr. 1 Akciové indexy – přirozený logaritmus uzavíracích hodnot indexů



Zdroj: Vlastní zpracování s využitím dat z Investing.com (2022).

4.1 Výsledky runs testu

Výsledky, které přinesla aplikace runs testu na vývoj indexů ve sledovaných zemích, shrnuje tabulka č. 1. Na sledovaných trzích ve většině zkoumaných časových obdobích nebyla hypotéza náhodné procházky na 5% hladině významnosti zamítnuta. Pouze v covidovém období byla hypotéza náhodné procházky runs testem zamítnuta na českém a polském trhu, v souhrnném období pak na německém trhu.

Tab. 1 Runs test

	PX	WIG 20	DAX	AEX
		01/2001 – 08/2022		
Runs test	−1,396	1,698	2,354	−0,029
p-hodnota	0,163	0,089	0,019	0,977
n	5164	5425	5501	5545
		01/2001 – 12/2007		
Runs test	−1,140	1,021	1,296	0,160
p-hodnota	0,254	0,307	0,195	0,873
n	1486	1754	1778	1786
		01/2008 – 06/2009		
Runs test	−1,270	−0,464	0,470	0,269
p-hodnota	0,204	0,643	0,639	0,788
n	377	374	379	381
		07/2009 – 02/2020		
Runs test	−0,249	1,338	1,015	−1,069
p-hodnota	0,803	0,181	0,310	0,285
n	2673	2667	2706	2732
		03/2020 – 08/2022		
Runs test	−2,697	−2,025	−0,514	−1,303
p-hodnota	0,007	0,043	0,608	0,193
n	628	629	638	644

Zdroj: Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

4.2 Výsledky autokorelační analýzy

Tabulka č. 2 přináší výsledky autokorelační analýzy provedené metodou Ljung-Box test, který byl proveden s využitím Eviews. Hodnota zpoždění m = 10 byla použita ve shodě s předchozími výzkumy.

Tab. 2 Ljung-Box test

	PX	WIG 20	DAX	AEX
		01/2001 – 08/2022		
Ljung-Box test	44,528	16,463	22,163	53,264
p-hodnota	0,000	0,087	0,014	0,000
n	5164	5425	5501	5545
		01/2001 – 12/2007		
Ljung-Box test	8,675	11,266	30,721	43,983
p-hodnota	0,563	0,337	0,001	0,000
n	1486	1755	1778	1788
		1/2008 – 06/2009		
Ljung-Box test	16,241	8,224	16,580	20,393
p-hodnota	0,093	0,607	0,084	0,025
n	377	374	379	381
		07/2009 – 02/2020		
Ljung-Box test	15,512	28,304	18,345	19,760
p-hodnota	0,114	0,002	0,049	0,032
n	2673	2667	2706	2732
		03/2020 – 08/2022		
Ljung-Box test	27,683	7,640	36,221	28,632
p-hodnota	0,002	0,664	0,000	0,001
n	628	629	638	644

Zdroj: Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

V souhrnném období 2001–2022 nevykazuje žádnou autokorelaci v datech pouze polský trh. V období před finanční krizí se na českém a polském trhu autokorelace nevyskytovala na rozdíl od německého a nizozemského trhu. Pro nizozemský trh byla testovaná hypotéza zamítnuta ve všech sledovaných obdobích. V období finanční krize nevykazují autokorelaci český, polský a německý trh, v období po finanční krizi pak pouze český trh. V průběhu covidového období je poté polský trh jediným trhem bez statisticky významné autokorelace.

4.3 Výsledky unit root testu

K potvrzení výskytu náhodné procházky na čtyřech sledovaných trzích byly použity dvě varianty unit root testu, a to test ADF a test KPSS. Výsledky testu ADF z Eviews ukazují p-hodnotu. Statistickou hodnotu testu KPSS je však třeba porovnat s asymptotickou kritickou hodnotou. Pro 5% hladinu významnosti je třeba pro zamítnutí H_0 překročit hodnotu 0,463. Počet zpoždění byl zvolen na základě Akaikeho informačního kritéria (AIC).

Výsledky aplikace obou variant unit root testu (tj. testů ADF a KPSS) na vývoj akciových indexů na sledovaných trzích v jednotlivých uvažovaných obdobích nabízejí tabulky č. 3–7.

Tab. 3 Unit root test (01/2001 – 08/2022)

	PX	WIG 20	DAX	AEX
ADF test	−4,896	−70,899	−15,724	−11,126
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	2086	5261	4211	3984
počet posunutí	29	0	18	31
KPSS test	0,323	0,117	0,103	0,246
KPSS kritická hodnota	0,463	0,463	0,463	0,463

Zdroj. Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

Tab. 4 Unit root test (01/2001 – 12/2007)

	PX	WIG 20	DAX	AEX
ADF test	−35,931	−39,713	−9,126	−9,881
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	1429	1702	1419	1448
počet posunutí	0	0	18	18
KPSS test	0,127	0,348	0,612	0,468
KPSS kritická hodnota	0,463	0,463	0,463	0,463

Zdroj: Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

Tab. 5 Unit root test (01/2008 – 06/2009)

	PX	WIG 20	DAX	AEX
ADF test	−7,396	−14,296	−9,302	−5,817
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	327	352	353	330
počet posunutí	4	1	3	7
KPSS test	0,154	0,173	0,143	0,161
KPSS kritická hodnota	0,463	0,463	0,463	0,463

Zdroj: Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

Tab. 6 Unit root test (07/2009 – 02/2020)

	PX	WIG 20	DAX	AEX
ADF test	−10,803	−48,983	−24,411	−24,037
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	1738	2584	2492	2566
počet posunutí	14	0	4	4
KPSS test	0,069	0,187	0,114	0,063
KPSS kritická hodnota	0,463	0,463	0,463	0,463

Zdroj: Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

Tab. 7 Unit root tests (03/2020 – 08/2022)

	PX	WIG 20	DAX	AEX
ADF test	−5,300	−17,305	−10,808	−26,343
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	361	591	583	638
počet posunutí	17	1	5	0
KPSS test	0,196	0,260	0,144	0,135
KPSS kritická hodnota	0,463	0,463	0,463	0,463

Zdroj: Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

Akciové kurzy ve všech stanovených obdobích nekonají náhodnou procházku na žádném ze sledovaných trhů, jak je ostatně vidět z tabulek 3 až 7. Výsledky provedených testů potvrzují, že data jsou ve všech obdobích stacionární.

4.4 Výsledky variance ratio testu

Výsledky aplikace variance ratio testu na čtyři sledované akciové trhy lze nalézt v tabulce č. 8.

Tab. 8 Variance ratio test

	PX	WIG 20	DAX	AEX
		01/2001 – 08/2022		
max |z|	11,472	19,936	18,763	16,983
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	5002	5261	5413	5474
		01/2001 – 12/2007		
max |z|	10,162	16,565	11,909	11,260
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	1429	1702	1752	1764
		01/2008 – 06/2009		
max |z|	3,639	6,523	5,577	5,548
p-hodnota	0,001	0,000	0,000	0,000
n	366	363	372	374
		07/2009 – 02/2020		
max |z|	12,131	15,483	16,300	14,396
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	2595	2584	2659	2696
		03/2020 – 08/2022		
max |z|	6,195	6,176	6,278	7,020
p-hodnota	0,000	0,000	0,000	0,000
n	610	610	628	638

Zdroj: Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

Pro všechna stanovená období na všech sledovaných akciových trzích lze zamítnout testovanou hypotézu. Akciové kurzy na těchto trzích tedy podle variance ratio testu nekonají náhodnou procházku.

4.5 Shrnutí výsledků testů

Souhrnná tabulka č. 9 nabízí ucelený přehled veškerých výsledků vyprodukovaných čtyřmi použitými statistickými testy. Slovo „Ne“ označuje situaci, kdy na uvedeném trhu a v uvedeném období hypotéza náhodné procházky nebyla zamítnuta, zatímco slovo „Ano“ označuje situaci, kdy hypotéza náhodné procházky daným testem v daném období zamítnuta byla.

Tab. 9 Je hypotéza náhodné procházky zamítnuta?

	PX	WIG 20	DAX	AEX
		01/2001 – 08/2022		
Runs test	**NE**	**NE**	ANO	**NE**
Ljung-Box test	ANO	**NE**	ANO	ANO
ADF test	ANO	ANO	ANO	ANO
KPSS test	ANO	ANO	ANO	ANO
Variance ratio test	ANO	ANO	ANO	ANO
		01/2001 – 12/2007		
Runs test	**NE**	**NE**	**NE**	**NE**
Ljung-Box test	**NE**	**NE**	ANO	ANO
ADF test	ANO	ANO	ANO	ANO
KPSS test	ANO	ANO	ANO	ANO
Variance ratio test	ANO	ANO	ANO	ANO
		01/2008 – 06/2009		
Runs test	**NE**	**NE**	**NE**	**NE**
Ljung-Box test	**NE**	**NE**	**NE**	ANO
ADF test	ANO	ANO	ANO	ANO
KPSS test	ANO	ANO	ANO	ANO
Variance ratio test	ANO	ANO	ANO	ANO
		07/2009 – 02/2020		
Runs test	**NE**	**NE**	**NE**	**NE**
Ljung-Box test	**NE**	ANO	ANO	ANO
ADF test	ANO	ANO	ANO	ANO
KPSS test	ANO	ANO	ANO	ANO
Variance ratio test	ANO	ANO	ANO	ANO
		03/2020 – 08/2022		
Runs test	ANO	ANO	**NE**	**NE**
Ljung-Box test	ANO	**NE**	ANO	ANO
ADF test	ANO	ANO	ANO	ANO
KPSS test	ANO	ANO	ANO	ANO
Variance ratio test	ANO	ANO	ANO	ANO

Zdroj: Vlastní výpočty s využitím dat z Investing.com (2022).

5 Závěr

Za souhrnné sledované období 01/2001–08/2022 byla platnost hypotézy efektivního trhu ve své slabé formě potvrzena runs testem na českém, polském a nizozemském trhu. Autokorelační test potvrdil za souhrnné období 01/2001–08/2022 platnost hypotézy efektivního trhu ve slabé formě pouze pro polský trh. Unit root test a variance ratio test zamítly za souhrnné uvažované období existenci slabě efektivního trhu na všech sledovaných trzích. Ze všech čtyřech sledovaných trhů pouze na německém trhu byla hypotéza slabě efektivního trhu za souhrnné období 01/2001–08/2022 zamítnuta všemi čtyřmi provedenými testy.

Platnost hypotézy efektivního trhu byla čtyřmi statistickými testy prověřována i v kratších časových úsecích. Český akciový trh byl runs testem a rovněž autokorelačním testem označen jako slabě efektivní v předkrizovém období, dále v krizovém období a v postkrizovém období, nikoliv však v covidovém období. Zdá se tedy, že slabě efektivní fungování českého trhu podle runs testu a autokorelačního testu sice nedokázala narušit finanční krize, ovšem efektivnost českého trhu mizí s příchodem pandemie COVID. Unit root test a variance ratio test zamítly výskyt slabé efektivnosti na českém trhu ve všech sledovaných obdobích.

Na polském trhu na existenci slabé formy efektivnosti poukázal runs test a autokorelační test v souhrnném, v předkrizovém a v krizovém období. V postkrizovém období na vývoj kurzů formou náhodné procházky na polském trhu upozorňuje pouze runs test a v covidovém období pak na tomto trhu pouze autokorelační analýza. Tedy obdobně jako na českém trhu také na polském trhu efektivnost trhu na konci uvažovaného období slábne. Unit root test a variance ratio test existenci slabé formy efektivnosti na polském trhu zamítly ve všech sledovaných obdobích.

Je velmi zvláštní, že zatímco za souhrnnou časovou periodu nebyla na německém trhu slabá forma efektivnosti trhu potvrzena, ve všech kratších obdobích poukazuje na fungování slabé formy efektivnosti pouze runs test, ojediněle pak autokorelační analýza v krizovém období. Máme za to, že tyto zvláštní a nejednoznačné výsledky mohly být ovlivněny nedokonalostí použitých testů, neboť žádný z nich nelze považovat za ideální, popř. by v dalším zkoumání bylo možné z pohledu technické analýzy sledovat a prověřit myšlenku, zda se na německém trhu z dlouhodobého hlediska nevyskytují dlouhodobé vzory, trendy a cykly (Kirkpatrick a Dahlquist, 2007), které v krátkém období však pozorovat nelze.

Nizozemský trh vykazoval slabě efektivní chování podle runs testu ve všech sledovaných kratších periodách, ale i v periodě souhrnné. Ostatními testy nebyla náhodná procházka ve vývoji akciových kurzů na nizozemském trhu detekována v žádném z pěti sledovaných období.

Ze srovnání výskytu slabé efektivnosti na zkoumaných trzích v čase, je zřejmé, že na českém trhu vymizela podle runs testu a autokorelačního testu slabá efektivnost

s příchodem COVIDu, kdy došlo k zavádění celé řady restriktivních opatření, k utlumení ekonomiky a ke snížení likvidity trhu. Nicméně krizové a covidové období bylo nutné z objektivních příčin uvažovat jako nejkratší, což mohlo ovlivnit výsledky testů. Pohledem runs testu nebo autokorelačního testu se sledované trhy chovaly slabě efektivně zejména v předkrizovém a krizovém období. Odliv investorů z menších trhů v období finanční krize a pokles likvidity těchto trhů na slabou efektivnost těchto trhů, zdá se, neměl vliv. Na vymizení slabé efektivnosti ke konci sledovaného období však provedené testy poukazují pouze na českém a částečně polském trhu. Podle runs testu se slabě efektivně ve všech sledovaných obdobích choval nizozemský trh, ostatní trhy pak ve čtyřech z pěti sledovaných období. Porovnáme-li dosažené výsledky s výsledky nedávného výzkumu Zíkové a Veselé (2022), je zřejmé, že podle provedených runs testů evropské trhy vykazovaly v posledních 20 letech efektivnější chování než trh americký a japonský. Bez výjimky runs testy nezamítly za poslední dvě dekády výskyt slabé formy efektivnosti na nizozemském a britském trhu ve všech sledovaných obdobích. Ukazuje se, že efektivnost může z trhů na čas vymizet a po čase se opět objevit.

Literatura

BAHMANI-OSKOOEE, M., CHANG, T., TSUNG-HSIEN CHEN, T., TZENG, H., 2016. Revisiting the efficient market hypothesis in transition countries using quantile unit root test. *Economics Bulletin*. Sv. 36, č. 4, s. 2171–2182.

BACHELIER, L., 1900. Theorie de la speculation. *Annales Scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*. Sv. 3, č. 17, s. 21–86.

BORGES, M. R., 2010. Efficient market hypothessis in European stock markets. *The European Journal of Finance*. Sv. 16, č. 7, s. 711–726. doi: 10.1080/1351847X.2010.495477.

BROOKS, Ch., 2014. *Introductory econometrics for finance*. Third edition. New York: Cambridge University Press.

BROWN, R., 1828. A brief account of microscopical observations made in the months of June, July, and August, 1827, on the particles contained in the pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies. *The Philosophical Magazine*. Sv. 4, č. 21, s. 161–173. doi: 10.1080/14786442808674769.

CHOW, K. V., DENNING, K. C., 1993. A simple multiple variance ratio test. *Journal of Econometrics*. Sv. 58, č. 4, s. 385–401. doi: 10.1016/0304-4076(93)90051-6.

COOTNER, P. H., 1964. *The random character of stock market prices*. MIT Press.

FAMA, E. F., 1965a. Random walks in stock market prices. *Financial Analysts Journal*. Sv. 21, č. 5, s. 55–59. doi: 10.2469/faj.v21.n5.55.

FAMA, E. F., 1965b. The behaviour of stock-market prices. *Journal of Business.* Sv. 38, č. 1, s. 34–105.

FAMA, E. F., 1970. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance*. Sv. 25, č. 2, s. 383–417. doi: 10.2307/2325486.

HAMEED, A., ASHRAF, H., SIDDIQUI, R., 2006. Stock Market Volatility and Weak-form Efficiency: Evidence from an Emerging Market [with comments]. The *Pakistan Development Review*. Sv. 45, č. 4, s. 1029–1040. doi: 10.30541/v45i4iipp.1029-1040.

HAUGEN, R. A., 1993. *Modern Investment Theory*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

HOSSEINKOUCHACK, M., WOLTERS, M. H., 2013. Do large recessions reduce output permanently? *Economic Letters*. Sv. 121, č. 3, s. 516–519. doi: 10.1016/j.econlet.2013.10.012.

INVESTING.COM, 2022. *Indices* [online]. [vid. 2. 9. 2022]. Dostupné z: <https://www.investing.com/indices/indices>.

KENDALL, M. G., 1953. The analysis of economic time-series, Part I. Prices. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*. 1953, *96*, 11–26. ISSN: 09641998

KIRKPATRICK, C. D., DAHLQUIST, J. R., 2007. *Technical Analysis: The Complete Resource for Financial Market Technicians.* Upper Saddle River: Financial Times. doi: 10.5860/choice.48-5201.

KOENKER, R., XIAO, Z., 2004. Unit root quantile autoregression inference. *Journal of the American Statistical Association*. Sv. 99, č. 1, s. 775–787. doi: 10.1198/016214504000001114.

KONAK, F., SEKER, Y., 2014. Efficiency of developed markets: empirical evidence from FTSE 100. *Journal of Advanced Management Science*. Sv. 2, č. 1, s. 29–32. doi: 10.12720/joams.2.1.29-32.

KWIATKOWSKI, D., PHILLIPS, P. C. B., SCHMIDT, P., SHIN, Y., 1992. Testing the Null Hypothesis of Stationarity Against the Alternative of a Unit Root. *Journal of Econometrics*. Sv. 54, č. 1–3, s. 159–78. doi: 10.1016/0304-4076(92)90104-y.

LJUNG, G. M., BOX, G. E. P., 1978. On a measure of lack of fit in time series models, *Biometrika*. Sv. 65, č. 2, s. 297–303. doi: 10.1093/biomet/65.2.297.

LO, A. W., MACKINLAY, A. C., 1988. Stock market prices do not follow random walks: evidence from a simple specification test. *Review of Financial Studies*. Sv. 1, č. 1, s. 41–66. doi: 10.3386/w2168.

LYNCH, P., 1989. *Jeden nahoře na Wall Street*. New York: Simon & Schuster.

MALKIEL, B. G., 1973. *A Random Walk Down Wall Street*. 6th edition. New York: Norton.

MALKIEL, B., 2003. The efficient market hypothesis and its critics. *Journal of Economic Perspectives*. Sv. 17, č. 1, s. 59–82. doi: 10.1257/089533003321164958.

NBER, 2010. *Business Cycle Dating Committee Announcement September 20, 2010* [online]. [vid. 24. 6. 2022]. Dostupné z: <https://www.nber.org/news/business-cycle-dating-committee-announcement-september-20-2010>.

OSBORNE, M. F. M., 1959. Brownian motion in the stock market. *Operations Research.* Sv. 7, č. 2, s. 145–173. doi: 10.1287/opre.7.2.145.

OZKAN, O., 2021. Impact of COVID-19 on stock market efficiency: Evidence from developed countries. *Research in International Business and Finance*. Sv. 58, s. 101445. doi: 10.1016/j.ribaf.2021.101445.

PATEL, N. R., PATEL, B. K., RANPURA, D., 2011. Testing weak form market efficiency of Indian stock markets. *International Journal of Business and Management Research*. Sv. 1, č. 3, s. 1–28.

RISAL, H. G., KOJU, P., 2021. Testing the weak form of efficiency in Nepalese stock markets. *SEBON Journal.* Sv. VIII, č. 1, s. 20–33.

ROBERTS, H., 1967. *Statistical versus clinical prediction of the stock market CRSP*. Chicago: University of Chicago.

SMITH, G., RYOO, H., 2003. Variance Ratio Tests of the Random Walk Hypothesis for European Emerging Stock Markets. *The European Journal of Finance*. Sv. 9, č. 3, s. 290–300. doi: 10.1080/1351847021000025777.

TSAY, R. S., 2002. *Analysis of financial time series*. New York: Wiley. doi: 10.1002/0471746193.

WALD, A., WOLFOWITZ, J., 1940. On a Test Whether Two Samples are from the Same Population. *The Annals of Mathematical Statistics*. Sv. 11, č. 2, s. 147–162. doi: 10.1214/aoms/1177731909.

WORKING, H., 1934. Random difference series for use in the analysis of time series. *Journal of the American Statistical Association.* Sv. 29, č. 185, s. 11–24. doi: 10.1080/01621459.1934.10502683.

WORTHINGTON, A., HIGGS, H., 2004. Random Walks and Market Efficiency in European Equity Markets. *Global Journal of Finance and Economics*. Sv. 1, č. 1, s. 59–78.

ZÍKOVÁ, A., VESELÁ, J., 2022. Runs and Variance ratio tests to verify the stock market development. In: *Conference Proceedings 10th International Scientific Conference IFRS: Global rules & local use- beyond the numbers*. Praha: Anglo-American University Prague.

Are the Czech, Polish, German and Dutch markets taking a random walk?

Jitka Veselá – Alžběta Zíková

Abstract:

In efficient markets, asset prices perform a random walk. Excessive returns cannot be repeatedly and systematically achieved in such markets. To test the weak form of market efficiency, statistical tests are used to identify dependencies in the movements of asset prices. This paper deals with testing of the weak form of market efficiency using daily data of the development of stock indices on the Czech, Polish, German and Dutch markets in the period 2001-2022. The article uses the runs test, the autocorrelation analysis, two variants of the unit root test and the variance ratio test. The results of the tests performed are mixed. The weakly efficient behavior of the investigated markets was pointed out only by the runs tests and partly by the autocorrelation analysis. According to the runs test, only the Dutch market behaved weakly efficiently in all monitored periods, while the Czech, Polish and German markets behaved weakly efficiently in four of the five monitored periods. Autocorrelation analysis indicated the occurrence of the random walk in some periods especially on the Polish market, partly on the Czech market and rarely on the German market.

Keywords: Efficient market hypothesis; Runs test; Autocorrelation analysis; Unit root test; Variance ratio test.

JEL Classification: G14, G15.