

ENGLE ROBERT F., GRANGER CLIVE W. J.

Abstrakt

Britský statistik a ekonometr profesor Clive W. J. Granger z University of California v San Diegu a jeho americký kolega, taktéž statistik a ekonometr profesor Robert F. Engle z New York University jsou nositeli Nobelovy ceny za ekonomii pro rok 2003. Mezinárodní renomé získali bádáním nad interpretací statistických dat. Jejich práce vedla k důležitým objevům a vývoji nástrojů, které zdokonalily ekonomické předpovědi a znamenaly významný posun ve statistickém a ekonomickém výzkumu i v ekonomické praktické a aplikační oblasti. Profesor Granger získal cenu za metody analýzy ekonomických časových řad se společnými trendy. Profesor Engle se zaměřil na studium výkyvů v časových řadách a cenu získal za metody analýzy ekonomických časových řad s časově proměnlivou volatilitou.

Klíčová slova

Časová řada, v čase proměnlivá volatilita, heteroskedasticita, kointegrace, náhodná chyba, nestacionarita, test stacionarity

Key words

Cointegration, heteroskedasticity, nonstationarity, random error, test of stationarity, time series, time-varying volatility

Names

Bollerslev T., Johanson S., Morgenstern O., Newbold P., Pitt H., Sharpe F. W.

Životopisy nositelů Nobelovy ceny pro rok 2003

Granger Clive W. J.



Sir Clive William John Granger se narodil 4. září 1934 ve Walesu, v městě Swansea. Po několika letech se s rodiči přestěhoval do britského města Lincoln a posléze, během války, do města Cambridge. V Camridgi začal navštěvovat střední školu, studium dokončil v Nottinghamu, kam se rodina přestěhovala po válce. Vynikal především v matematice, zaměřoval se zejména na aplikovanou matematiku. Následně byl přijat na University of Nottingham na studium ekonomie a matematiky, ale již ve druhém roce přešel na obor zaměřující se pouze na matematiku. V roce 1955 získal titul B. A. a zůstal na univerzitě, aby později získal titul Ph. D. za statistiku pod dozorem Harryho Pitta. V roce 1956, kdy mu bylo pouhých třiačtyřicet let, se stal lektorem statistiky na univerzitě. Jelikož se zajímal především o aplikovanou statistiku a ekonomii, vybral si jako téma své doktorské práce analýzu časových řad, což byl obor do té doby příliš mnoho neprozkoumaný. V roce 1959 obdržel titul Ph. D. se závěrečnou prací *Testování nestacionarity*. Následující akademický rok (1959 – 60) strávil Granger na Princetonské univerzitě, kam byl pozván Oskarem Morgensternem, aby se účastnil jeho projektu, týkajícího se zkoumání v oblasti ekonometrie. Výsledky výzkumu publikoval v roce 1964 se svými spolupracovníky v knize *Spektrální analýza ekonomických časových řad*. V roce 1963 napsal další článek zabývající se stejnou tematikou, který se objevil v roce 1966 v časopise *Econometrica* (časopis, který začal pravidelně vycházet po roce 1931, kdy byla založena Ekonometrická společnost). Jak kniha, tak tento článek dokazovaly extrémní vliv na přijímání nových ekonometrických metod.

Granger se též stal profesorem na University of Nottingham, kde strávil celkově celých 22 let. V roce 1974 přešel na University of California v San Diegu, kde působil až do své smrti 27. května 2009. Granger se tudíž dožil 69 let.

(převzato z: *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online].)

Engle Robert F.



Profesor ekonomie Robert F. Engle se narodil 10. listopadu 1942 ve městě Syracuse ve státě New York ve Spojených státech amerických. Původně vystudoval fyziku na Williams College (1964) a Cornell University v Ithace (1966). Doktorát na téže univerzitě (1969) má už ale z ekonomie.

V letech 1969-74 působil jako profesor na Massachusetts Institute of Technology (MIT) a v roce 1975 pak přešel na University of California, San Diego. Ta představuje důležitou etapu jeho profesního života, neboť se zde potkal s druhým současným laureátem Nobelovy ceny, Clivem Williamem

Johnem Grangerem z Velké Británie, se kterým navázal přátelství a 25 let úzce spolupracoval na řešení společných zájmových odborných témat a obýval mnoho let sousední kancelář.

Během své činnosti na prestižní britské London School of Economics v 80. letech Engle napsal zásadní práci, v níž se snažil zjistit, jak mohou být snížena rizika pro investory při nepravidelných fluktuacích na finančních trzích a použil k tomu zejména metod statistických analýz.

Od roku 1999 působí R. Engle na jedné z největších soukromých univerzit v USA, založené roku 1831, na New York University, Leonard N. Stern School of Business, Department of Finance, ležící v samém srdci velkoměsta.

Své novátorské statistické metody rozpracoval profesor Engle ve více než stovce odborných statí a ve čtyřech monotematických publikacích. Robert F. Engle je mj. členem American Academy of Arts and Sciences, Econometric Society a American Statistical Association.

(převzato z: *Vysoká škola ekonomická* [online].)

Odborné pojmy související s prací C. Grangera a R. Engleho:

časová řada

Časová řada je posloupnost pozorování kvantitativní charakteristiky uspořádaná v čase od minulosti do přítomnosti.

heteroskedasticita

Homoskedasticitu můžeme vysvětlit jako požadavek konečného a konstantního rozptylu náhodných složek modelu, v opačném případě se jedná o *heteroskedasticitu*.

kointegrace

Kointegrace časových řad znamená, že časové řady jsou v ekvilibriu (rovnováze), což lze zdůvodnit následovně: Vycházíme z hypotézy, že vývoj jednotlivých řad spjatých nějakým teoreticky zdůvodněným ekonomickým vztahem se v dlouhodobém časovém horizontu nerozchází. Pokud odklon směrů vývoje časových řad je pouze krátkodobý, časem se vytrácí a existuje mez, za kterou nemůže jít, potom říkáme, že časové řady jsou v ekvilibriu. Jestliže zde tato mez není, potom nelze říci, že jsou v ekvilibriu, ze statistického hlediska tedy takové časové řady kointegrované nejsou.

kovariance

Kovariance je charakteristika, která poskytuje informaci o intenzitě vztahu mezi dvěma veličinami.

stacionarita

Stacionarita znamená, že veličina má tendenci se vracet k určité hodnotě či opisovat trend.

(*nestacionarita* - hodnoty časové řady nemají zřetelnou tendenci vracet se k nějaké konstantě)

volatilita

Volatilita znamená míru průměrné intenzity kolísání kurzů cenných papírů a deviz i úrokových sazeb během určitého časového období.

Statistické metody pro ekonomické časové řady

Při odhadování vztahů a souvislostí, při vytváření předpovědí a testování hypotéz v oblasti makroekonomických proměnných používají vědci často data ve formě časových řad (což je chronologický sled pozorování).

Spotřeba tak v ekonomice může záviset na celkových příjmech a bohatství, reálných úrokových mírách, rozdělení obyvatelstva podle stáří a dalších faktorech. Nejjednodušší učebnicový příklad takového vztahu je statické, lineární vyjádření s pouze dvěma proměnnými:

$$\gamma_t = \alpha + \beta x_t + e_t$$

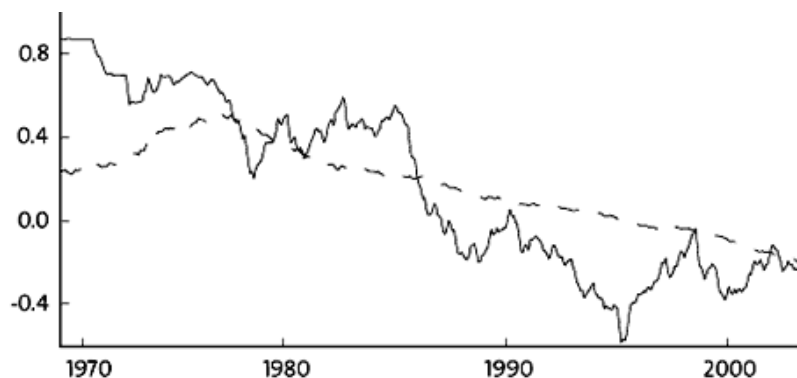
Podle této rovnosti závisí proměnná γ_t (například spotřeba ve čtvrtletí t) na proměnné x_t (například příjem během nějakého období). Náhodná chyba – výraz e_t – značí změnu v γ_t , která nemůže být modelem popsána.

Prostřednictvím časových řad proměnných γ_t a x_t mohou být parametry a a b odhadnuty pomocí statistických metod (známo jako regresní analýza). Platné závěry předpokládají, že tyto metody jsou správně přizpůsobeny specifickým vlastnostem časových řad. Laureáti Nobelovy ceny pro rok 2003 vyvinuli metody, které zachycují dvě klíčové vlastnosti ekonomických časových řad: *nestacionarita* a *v čase proměnlivá volatilita*.

Nestacionarita, společný trend a kointegrace

Mnoho makroekonomických časových řad je nestacionárních: proměnná (jako například HDP) tak následuje dlouhodobý trend, kdy dočasná odchýlení od trendu ovlivňují jeho dlouhodobou úroveň. Ve srovnání se stacionární časovou řadou nevykazuje nestacionární časová řada žádnou jednoznačnou tendenci k návratu ke konstantní hodnotě či danému trendu.

Obrázek ukazuje dva příklady takové časové řady. Křivka s četnými krátkodobými výkyvy představuje směnný kurz mezi japonským jenem a americkým dolarem v každém měsíci od roku 1970. Hladší křivka představuje hladinu spotřebitelských cen v Japonsku ve vztahu ke Spojeným státům během té samé doby.



Logaritmovaná časová řada indexu směnného kurzu japonský jen/ americký dolar a logaritmovaná časová řada podílu indexu spotřebitelských cen Japonska a indexu spotřebitelských cen Spojených států; měsíční pozorování (leden 1970 až květen 2003)

Statistické „léčky“

Po dlouhou dobu měli vědci přístup pouze ke standardním metodám, které byly vyvinuty pro stacionární data, a to i přesto, že makroekonomické časové řady jsou často nestacionární. V roce 1974 prokázal **Clive Granger** (s kolegou Paulem Newboldem), že odhady vztahů mezi nestacionárními proměnnými mohou přinést nesmyslné výsledky, a to v důsledku chybně naznačených podstatných vztahů mezi zcela nesouvisejícími proměnnými. (Ve výše uvedené rovnosti nastává problém tehdy, pokud náhodná chyba e_t je nestacionární. Standardní test pak může ukázat, že b se nerovná nule, ačkoli správná hodnota je nula).

Statistické léčky mohou též dát vznik klamavým výsledkům, a to v případě, kde vztah skutečně existuje. Především by mohlo být obtížné rozlišovat mezi dočasnými a stálými vztahy mezi nestacionárními časovými řadami. Ekonomická teorie například vyžaduje (v dlouhém období), aby silnější směnný kurz souvisel s relativně pomalejšími zvýšeními cen, protože ceny vyjádřené v běžné měně se nemohou příliš odlišovat jedna od druhé. Taková tendence je nastíněna na obrázku, kde v daném období jen oproti dolaru posílil, zatímco cenová hladina ve Spojených státech rostla s ohledem na cenovou hladinu v Japonsku. V krátkém období mají nicméně očekávání a pohyb kapitálu tak pronikavý účinek na směnný kurz, že běžné metody mohou být neadekvátní pro přesný odhad dlouhodobých vztahů.

Běžným přístupem pro vyrovnání se s tímto problémem nestacionárních dat byla specifikace statistických modelů jako vztahů mezi rozdíly, to znamená míry růstu, tempa růstu. Místo využívání směnných kurzů a relativních cenových hladin by se odhadoval vztah mezi znehodnocením měny a relativní inflací. Pokud jsou tempa růstu vskutku stacionární, tradiční metodiky pak poskytují platné výsledky. Ale i tehdy, pokud je statistický model založený výhradně na diferenčních výrazech, může zachytit dynamiku v procesu v krátkém období, ale už méně vypovídá o kovarianci proměnných v dlouhém období. Toto je nedostatkem, neboť data ekonomické teorie jsou často formulována jako „úrovně“, ne jako „rozdíly, difference“.

Vzhledem k vlastnostem nestacionárních dat se tedy stalo výzvou najít metodiky, které by mohly vykreslit potenciální dlouhodobé vztahy, skryté „šumem“ krátkodobých kolísání. **Clive Granger** ve své práci představil právě takové metodiky pro statistickou analýzu.

Grangerův přínos

Ve výzkumu publikovaném během 80.let 20. století vyvinul Granger koncepty a analytické metody, které kombinují krátkodobé a dlouhodobé perspektivy. Klíčem k těmto metodám a k získání platného statistického závěru je jeho objev, že specifická kombinace dvou (nebo více) nestacionárních řad může být stacionární. Ekonomická teorie často dělá takovéto předpovědi: pokud existuje rovnovážný vztah mezi dvěma ekonomickými proměnnými, mohou se odchýlit od rovnováhy v krátkém období, ale přizpůsobí se směrem k rovnováze v dlouhém období. Například tradiční teorie předpovídá dlouhodobou rovnováhu směnného kurzu, kde cenové hladiny vyjádřené v běžné měně jsou mezi sebou v rovnováze. Granger zavedl pojem *kointegrace* pro stacionární kombinaci nestacionárních proměnných.

Granger také prokázal, že vzájemná dynamičnost mezi kointegrovanými proměnnými může být vyjádřena v tzv. *modelu korekce chyby* (error-correction model). Takový model je nejen statisticky správný, ale může také poskytnout smysluplnou ekonomickou interpretaci. Například dynamičnost směnných kurzů a cen je poháněna dvěma simultánními silami: tendencí vyhladit odchylky od dlouhodobé rovnováhy směnného kurzu a krátkodobé kolísání kolem rovnováhy přizpůsobit směrem k této dlouhodobé rovnováze.

Koncept kointegrace by nebyl prakticky aplikovatelný bez statistických metod odhadování

a testování hypotéz. Tuto problematiku jako první zpracovali Granger a Engle a tyto metody představili ve velmi vlivném článku z roku 1987. Zde prezentují test hypotézy, že řada nestacionárních proměnných není kointegrována, a také dvoustupňovou metodu pro odhad parametrů modelu korekce chyb. Vylepšené metodiky, které se dnes staly běžnými, byly později rozvinuty Sørenem Johansonem.

V následující práci a ve spolupráci s dalšími výzkumníky rozšířil v několika ohledech Granger kointegrační analýzu, včetně způsobilosti pracovat s řadami se sezónními rozděleními (sezónní kointegrace) a řadami, kde se adaptace směrem k rovnováze neobjeví, dokud odchylka nepřekračuje kritickou hodnotu (prahová kointegrace).

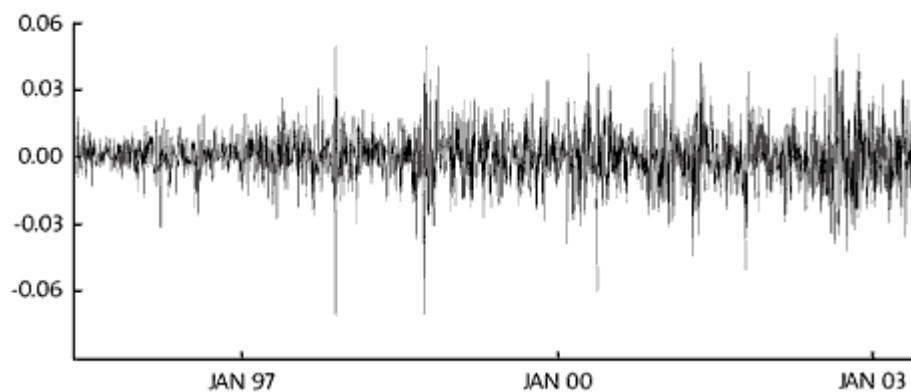
Použití

Grangerova práce změnila přístup ekonomů k práci s časovými řadami. V dnešní době je test stacionarity a kointegrace běžně prováděn jako můstek ke specifikaci dynamických ekonometrických modelů. Analýza kointegrace se ukázala být zvláště cennou v systémech, kde krátkodobé dynamičnosti jsou ovlivněny rozsáhlými náhodnými odchylkami, zatímco dlouhodobé výkyvy jsou současně omezovány rovnováhou vztahů. Příkladem může být vztah mezi směnnými kurzy a cenovými hladinami. Jiné příklady zahrnují vztah mezi spotřebou a bohatstvím (které se musejí v dlouhém období navzájem shodovat, ačkoli má spotřeba hladší průběh než bohatství v krátkém období), dividendami a cenami akcií (kde ceny akcií následují vývoj dividend v dlouhém období, ale vykazují podstatně větší kolísání v krátkém období) a úrokovými mírami a různými dobami splatnosti (kde dlouhodobé a krátkodobé sazby jsou propojeny očekáváními, týkajícími se budoucích krátkodobých sazeb, i když se v krátkém období pohybují různými směry).

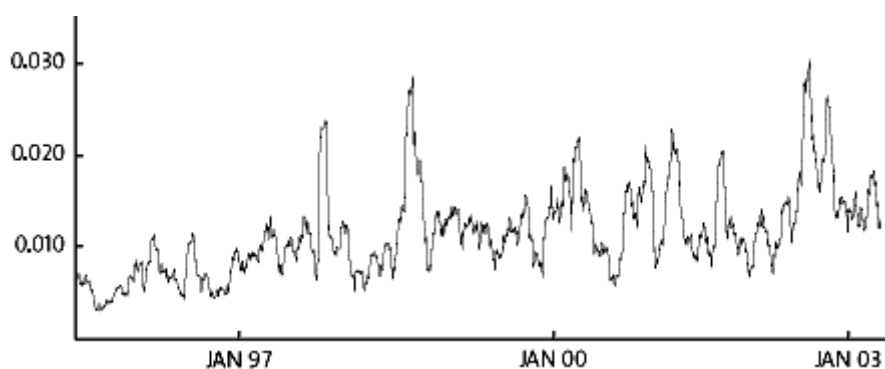
Časově podmíněná volatilita a ARCH

Hodnocení rizika je základní aktivitou finančních trhů. Investoři hodnotí očekávané výnosy z investice oproti riziku. Banky a ostatní finanční instituce by chtěly zajistit, aby hodnota jejich aktiv neklesla pod stanovenou minimální úroveň, což by mohlo banku vystavit neschopnosti placení. Taková hodnocení nemohou být prováděna bez měření volatility výnosů z investice. **Robert Engle** vyvinul zlepšené metody, podle kterých se tato hodnocení provádějí.

Obrázek ukazuje výnosy z investic s burzovním indexem Standard & Poor 500 (je jedním ze tří nejsledovanějších amerických indexů), na New York Stock Exchange mezi květnem 1995 a dubnem 2003. Výnosy se pohybovaly průměrně okolo 5,3 % ročně. Zároveň byly dny, kdy kolísání cen převyšovalo (plus nebo minus) 5 procent. Směrodatná odchylka denních výnosů, měřených během celé doby byla 1,2 procenta. Bližší zkoumání nicméně odhalí, že volatilita se během času mění: velké změny (ať směrem nahoru nebo dolů) jsou často následovány dalšími velkými kolísáními, a malé změny mají sklon být následovány malými kolísáními. Toto je zřetelně zachyceno na obrázku, který ukazuje, jak se směrodatná odchylka (měřená v posledních čtyřech týdnech) měnila během času. Evidentně se směrodatná odchylka měnila ve značné míře, od průměrných 0,5 procent během klidných období až k téměř 3 procentům během období více neklidných. Mnoho finančních časových řad se vyznačuje podobnými časovými změnami volatility.



Procentní denní výnosy z investice (pode indexu Standard & Poor 500; květen 1995 až duben 2003)



Směrodatná odchylka procentních denních výnosů z investice (květen 1995 až duben 2003), spočítaná z dat za předcházející čtyři týdny.

Engleho přínos

Obrázek ukazuje zpětné výpočty časově proměnlivé volatility. Investoři a jiné finanční instituce však potřebují odhady volatility na další den, týden či rok, tedy dopředu hledící. Ve svém mimořádném článku z roku 1982 formuloval Engle model, který taková hodnocení umožňuje.

Statistické modely výnosů z investic mohou vysvětlit pouze zlomek výkyvů a odchylek mezi prvním dnem a dnem následujícím. Většinou je volatilita začleněna do pojmu náhodné chyby (tak jako v naší rovnosti, kterou jsme uvedli na začátku) nebo, jinými slovy řečeno, do chyby prognózy. V běžných statistických modelech se hodnota variačního rozpětí očekává po celou dobu konstantní. Samozřejmě toto nezachycuje velké výkyvy a odchylky ve výnosech z investic, tak jak to ukazuje obrázek.

Engle namísto toho předpokládal, že rozpětí náhodné chyby po určitou dobu systematicky závisí na předtím zjištěných náhodných chybách tak, že velké (malé) chyby mají tendenci být následovány velkou (malou) chybou. Náhodná proměnná zobrazuje – za použití odborného výrazu – autoregresní podmíněnou heteroskedasticitu. Jeho přístup byl nazván tedy zkráceně ARCH (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity). V našem případě obsahuje model tentokrát nejen předpovídanou rovnováhu výnosů z investic, ale také několik parametrů, které ukazují, jak rozpětí náhodné chyby v této rovnováze závisí na prognózování chyb v dřívějších obdobích. Engle předvedl, jak by ARCH modely mohly být odhadovány a představil praktický test hypotézy, že podmíněné rozpětí náhodné chyby je konstantní.

V následující práci a ve spolupráci se studenty a kolegy rozvinul Engle tento koncept v několika směrech. Nejznámější a nejrozšířenější je zobecněný ARCH model (GARCH –

generalized ARCH) vyvinutý Timem Bollerslevem v roce 1986. Zde závisí rozpětí náhodných chyb po určitou dobu nejen na chybách předchozích, ale také na rozpětí sebe samého v dřívějším čase. Tento vývoj se ukázal být velmi užitečným; GARCH je modelem dnes nejčastěji aplikovaným.

Aplikace

V jeho prvním článku, zabývajícím se modelem ARCH, použil Engle svůj model volatility ke studiu inflace. Ne zdlouho se nicméně ukázalo, že nejvýznamnější aplikace modelu lze najít ve finančním sektoru, kde všechny aktivity ústí v manipulaci a ocenění různých typů rizika. Modely stanovování ceny tak představují vztah mezi cenami cenných papírů a volatilitou: očekávané výnosy specifických akcií závisí na kovarianci mezi výnosem z akcie a tržním portfoliem (podle modelu CAPM – modelu oceňování aktiv, vyvinutým Sharpem, Laureátem z roku 1990), opční ceny závisí na rozpětí výnosu ze základního aktiva (podle Black – Scholes formule, oceněné v roce 1997 Ekonomickou cenou) a tak dále.

Ve spolupráci s ostatními výzkumníky zachytil Engle tyto vztahy vyvinutím modelů (GARCH-M), kde očekávané výnosy závisí na odchylkách v čase (variancích) a kovariancích, tím se stávají samy časově proměnlivé.

A jaké jsou praktické implikace časově podmíněné volatility? Pokud je GARCH model aplikován na výnosy dle našeho obrázku, podmíněná volatilita (vyjádřená jako směrodatná odchylka) fluktuuje mezi 0,5 a 3 procent během zmíněného časového období. Pokud má investor portfolio korespondující s indexem Standard & Poor 500, nakolik by riskoval znehodnocení kapitálu v následujícím dni? Mějme danou předpovídanou směrodatnou odchylku 0,5 procent, ztráta by nepřekročila (s pravděpodobností 99 %) 1,2 % hodnoty portfolia. Pokud by předpovídaná směrodatná odchylka byla 3 %, související kapitálová ztráta by dosahovala 6,7 procenta. Podobné výpočty oceňování rizika jsou rozhodující v moderní analýze rizik, kdy banky a další instituce počítají tržní riziko svých portfolií cenných papírů. Od roku 1996 stanovuje mezinárodní dohoda (tzv. *Basilejská pravidla*) také použití oceňování rizika v řízení kapitálových požadavků bank.

Prostřednictvím jeho použití v těchto a dalších souvislostech, rámec ARCH je nezbytným nástrojem pro odhad rizika ve finančním sektoru.

(převzato z: *Česká statistická společnost* [online].)

Použité prameny

ARLT J. (1997): *Politická ekonomie* 45: (5), VŠE, Praha, 1997, s. 733-746, [online]. URL: http://nb.vse.cz/~arlt/publik/A_KJM_97.pdf

Česká statistická společnost [online]. Praha: Informační bulletin České statistické společnosti. Posl. úpravy 5. 12. 2003 [cit. 2007-21-06]. URL: <http://www.statspol.cz/bulletiny/ib-03-3.pdf>

Lidové noviny [online]. Praha: Jaroslav Plesl: Nobelova cena za ekonomii 2003 – Dokonalejší prognostické nástroje. Posl. úpravy 11. 10. 2003 [cit. 2007-21-06]. URL: http://www.darius.cz/ag_nikola/granger.html

The Royal Swedish Academy of Sciences [online]. London. Information for the Public. Posl. úpravy 10. 12. 2003 [cit. 2007-22-06]. URL: http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/2003/public.html

The Royal Swedish Academy of Sciences [online]. London. Nobel laureates. Posl. úpravy 21. 11. 2003 [cit. 2007-22-06]. URL: http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/2003/index.html

Vysoká škola ekonomická [online]. Praha: VŠE. Posl. úpravy 5. 11. 2003 [cit. 2007-20-06]. URL: http://ciks.vse.cz/Edice/nobel/Engle/engle_biogr.asp

Wikipedia, The Free Encyclopedia [online]. New York: Wikipedia, The Free Encyclopedia. Posl. úpravy 29. 5. 2007 [cit. 2007-22-06]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Engle

Wikipedia, The Free Encyclopedia [online]. New York: Wikipedia, The Free Encyclopedia. Posl. úpravy 20. 5. 2007 [cit. 2007-22-06]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Clive_W._J._Granger

22. 6. 2007

Eva Vítová

4. ročník, K03399