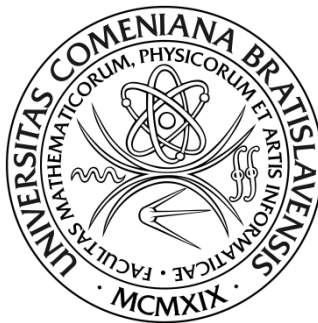


**UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE**  
**FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY**

**MANAŽMENT A EKONOMICKÉ SÚVISLOSTI**  
**VÝROBY A SPOTREBY ENERGIE**

Diplomová práca

**UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE**  
**FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY**



**MANAŽMENT A EKONOMICKÉ SÚVISLOSTI**  
**VÝROBY A SPOTREBY ENERGIE**

Diplomová práca

Študijný program: Ekonomická a finančná matematika  
Študijný odbor: 9.1.9. Aplikovaná matematika 1114  
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky  
Školiteľ: Doc. RNDr. Július Vanko, PhD.



Univerzita Komenského v Bratislave  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

---

## ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

**Meno a priezvisko študenta:** Bc. Michal Záhradník  
**Študijný program:** ekonomická a finančná matematika (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)  
**Študijný odbor:** 9.1.9. aplikovaná matematika  
**Typ záverečnej práce:** diplomová  
**Jazyk záverečnej práce:** slovenský

**Názov:** Manažment a ekonomické súvislosti výroby a spotreby energie  
**Cieľ:** Manažment a ekonomické súvislosti výroby a spotreby energie, perspektívy v pokrízovom období.

**Vedúci:** doc. RNDr. Július Vanko, PhD.  
**Katedra:** FMFI.KAMŠ - Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky  
**Dátum zadania:** 13.01.2011

**Dátum schválenia:** 14.01.2011  
prof. RNDr. Daniel Ševčovič, CSc.  
garant študijného programu

.....  
študent

.....  
vedúci práce

### ***Čestné prehlásenie***

*Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne, s pomocou literatúry uvedenej v zozname, konzultácií s vedúcim diplomovej práce a s využitím nadobudnutých teoretických vedomostí.*

V Bratislave, apríl 2012

.....

*Michal Záhradník*

### ***Pod'akovanie***

*Ďakujem môjmu vedúcemu diplomovej práce , doc. RNDr. Júliusovi Vankovi, PhD., za podnety, cenné rady, pripomienky a čas, ktoré mi venoval počas písania tejto práce.*

# Abstrakt

ZÁHRADNÍK, Michal: Manažment a ekonomické súvislosti výroby a spotreby energie [Diplomová práca] - Univerzita Komenského v Bratislave. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky; Katedra aplikovanej matematiky a štatistiky. – Vedúci diplomovej práce: doc. RNDr. Július Vanko, PhD, Bratislava, 2012. /85 s./

Táto práca skúma kauzálne vzťahy medzi spotrebou energie a hospodárskym rastom v 16 rozvinutých krajinách OECD a v 16 rozvojových krajinách mimo OECD. Použitím ekonometrických techník kointegrácie, modelu s korekčným členom a Grangerovej kauzality sme dosiahli výsledky, ktoré naznačujú, že existencia kauzálneho vzťahu medzi spotrebou energie a hospodárskym rastom je preukázateľnejšia v prípade rozvinutých krajín. Práca ďalej vyšetruje smer pôsobenia tohto vzťahu, či zvýšená spotreba podmieňuje hospodársky rast alebo naopak, a taktiež navrhuje optimálny typ politiky, ktorý zabezpečí udržateľnosť hospodárskeho rastu.

**Kľúčové slová:** spotreba energie, ekonomický rast, Grangerova kauzalita, kointegrácia, model s korekčným členom

## Abstract

ZÁHRADNÍK, Michal: Management and economic context of energy production and consumption [Master's thesis] – Comenius University in Bratislava; Faculty of Mathematics, Physics and Informatics; Department of Applied Mathematics and Statistics.  
- Supervisor: doc. RNDr. Július Vanko, PhD, Bratislava, 2012. /85 p./

This study investigates the causal relationship between energy consumption and economic growth in 16 developed OECD countries and 16 developing non-OECD countries. By applying econometric techniques of cointegration, error correction model and Granger causality, the obtained results infer, that existence of causal relationship between energy consumption and economic growth is more prevalent in developed countries. This thesis also investigates the direction of this relationship, whether energy consumption causes economic growth or vice – versa and finally suggests optimal policy for economic growth sustainability.

**Key words:** energy consumption, economic growth, Granger causality, cointegration, error correction model

# Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Teória produkcie a rastu</b> .....	<b>4</b>
1.1. Energia vo výrobe .....	4
1.1.1. Fyzikálne teórie .....	4
1.1.2. Ekonomické modely .....	7
1.2. Tradičná teória rastu .....	8
1.2.1. Základný model rastu .....	8
1.2.2. Endogénne technologické zmeny .....	10
1.2.3. Modely rastu s prírodnými zdrojmi .....	11
1.3. Kritické a alternatívne pohľady .....	16
1.3.1. Obmedzenia substitúcie .....	16
1.3.2. Obmedzenia technologických zmien .....	20
<b>2 Faktory ovplyvňujúce väzbu medzi energiou a ekonomickým rastom</b> .....	<b>22</b>
2.1. Energia a kapitál: Substitúcia a komplementarita .....	23
2.2. Inovácie a efektívne využívanie energie .....	24
2.3. Kvalita energie a posuny v štruktúre energetických vstupov .....	25
2.4. Posuny v štruktúre výstupov .....	27
<b>3 Environmentálny pohľad</b> .....	<b>29</b>
3.1. Energia, ekonomický rast a životné prostredie .....	29
3.2. Environmentálna Kuznetsova krivka .....	30
<b>4 Ekonometrický základ</b> .....	<b>35</b>
4.1. Stochastický proces .....	35
4.2. Stacionarita .....	36
4.3. Biely šum .....	37
4.4. Nestacionárne časové rady .....	37



4.5. Integrované procesy .....	38
4.6. Unit Root testy.....	40
4.6.1. Dickey-Fuller test.....	40
4.6.2. Augmented Dickey-Fuller test.....	41
4.6.3. Phillips-Perron test.....	42
4.6.4. Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test .....	43
4.7. Kointegrácia .....	44
4.7.1. Engle – Granger test.....	46
4.7.2. Johansenov test .....	47
4.8. Model s korekčným členom .....	51
<b>5 Empirická časť .....</b>	<b>53</b>
5.1. Metodológia .....	54
5.2. Dáta.....	61
5.3. Výsledky testovania a diskusia.....	61
<b>Záver .....</b>	<b>67</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>71</b>
<b>Prílohy.....</b>	<b>73</b>

# Úvod

Táto práca skúma vzťah medzi energiou a hospodárskym rastom a taktiež všeobecne zachytáva úlohu energie v procese hospodárskej produkcie. Kým obchodní a finanční ekonómovia venujú hlavnú pozornosť vplyvu cien ropy a iných druhov energií na ekonomickú aktivitu, tradičná (mainstream) teória ekonomického rastu sa zaoberá energiou ako stimulom pre hospodársku aktivitu len veľmi okrajovo, prípadne vôbec. Výnimku samozrejme tvorili rozsiahle diskusie týkajúce sa spomalenia ekonomického rastu, vyvolaného ropnou krízou v sedemdesiatych rokoch minulého storočia. Ekonómovia so zameraním sa na prírodné zdroje a životné prostredie neraz kritizovali túto teóriu na mnohých fórach, najmä dôsledky termodynamiky na hospodársku produkciu a dlhodobé vyhliadky ekonomiky.

Úlohe energie v procese hospodárskeho rastu sa však venuje množstvo rozsiahlych empirických prác. Medzi najvýznamnejšie zistenia bezpochyby patrí, že množstvo energie použitej na jednotku ekonomického výstupu sa znížilo. Toto pozorovanie je však do značnej miery ovplyvnené presunom spotreby energie z priameho využívania fosílnych palív ako je uhlie, na použitie kvalitnejších palív a najmä elektriny. Berúc do úvahy tento posun v zložení konečnej spotreby energie, zistilo sa, že využitie energie a úroveň ekonomickej aktivity sú úzko prepojené. Pri súčasnom trende spotreby energie sa nečrtá možnosť pre ďalšie veľké zníženie energetickej náročnosti hospodárskej činnosti. Tieto poznatky majú veľký význam aj pre hospodársku a environmentálnu politiku.

Táto práca je preto štruktúrovaná tak, aby systematicky pokryla a čitateľovi priblížila tieto kľúčové body:

- Teoretické pozadie úlohy energie v procese výroby a ekonomického rastu
- Faktory ovplyvňujúce väzbu medzi energiou a ekonomickým rastom
- Vplyvy tejto väzby na životné prostredie a princíp Environmentálnej Kuznetsovej krivky
- Základy ekonometrickej teórie nevyhnutné k praktickému testovaniu
- Praktická časť: Testovanie Grangerovej kauzality medzi spotrebou energie a HDP
- Výsledky testovania a vyvodenie záverov pre rozvojové a rozvinuté krajiny sveta

V prvom tematickom celku našej práce si priblížime úlohu energie vo výrobnom procese. Najskôr si predstavíme základné fyzikálne teórie. Klasifikujeme kapitál, prácu, prírodné zdroje a energiu ako reprodukovateľné a nereprodukovateľné faktory výroby, popíšeme základné termodynamické zákony, poukážeme na význam vedomostí a informácií pri získavaní výrobných faktorov a definujeme biofyzikálne obmedzenia výroby. Následne sa pozrieme aj na základné ekonomické modely. Popíšeme si Leontiefov vstupno – výstupný model a porovnáme ho s Neo-Ricardovskými modelmi. Detailne sa budeme venovať aj Solowovmu modelu rastu, vplyvu endogénnych technologických zmien na výrobný proces, vysvetlíme pojmy elasticita substitúcie a hraničný produkt a zanalyzujeme možnosti udržateľnosti rastu. V závere prvého tematického bloku prinášame alternatívne a kritické pohľady na uvedené teórie a popisujeme jednotlivé technologické obmedzenia ako aj obmedzenia substitúcie.

V nasledujúcom bloku využijeme tradičnú ekonómiu alebo aj neoklasickú ideu produkčnej funkcie k vymedzeniu základných faktorov, ktoré v čase buď oslabujú, alebo naopak posilňujú väzbu medzi energetickou spotrebou a ekonomickou aktivitou. Patria sem napríklad:

- Substitúcia medzi energiou a ďalšími vstupmi v rámci existujúcich technológií
- Technologické zmeny
- Posuny v zložení energetických vstupov
- Posuny v zložení ekonomických výstupov

Každému z týchto faktorov sa detailne venujeme a rozoberáme ho vo vlastnej sekcii.

V tretej kapitole sa pozrieme na problematiku z environmentálneho hľadiska. Vysvetlíme vplyv a dôsledky väzby medzi energiou a ekonomickým rastom na kvalitu životného prostredia a popíšeme princíp Environmentálnej Kuznetsovej krivky.

Toto všetko je však zatiaľ len teória. Potenciálnou väzbou medzi energiou a hospodárskym rastom sa už zaoberalo množstvo vedeckých prác. Preto najskôr v štvrtej kapitole vysvetlíme základnú ekonometrickú teóriu, ktorú následne využijeme v piatej kapitole - v praktickej časti testovania kointegračných a kauzálnych vzťahov medzi energiou a rastom. Hlavným cieľom a prínosom našej práce bude na základe tohto testovania potvrdiť alebo vyvrátiť existenciu tejto väzby. Empirická časť bude preto pozostávať z testov až 32 rôznych krajín sveta. Polovica z nich budú rozvinuté krajiny –

členovia OECD a druhá polovica zastupuje naopak rozvojové krajiny s nízkou hodnotou HDP na jedného obyvateľa.

V tejto časti práce prinášame aj prehľad a výsledky štúdií, ktoré sa zaoberali týmito vzťahmi už v minulosti. Prešetríme nielen existenciu týchto vzťahov, ale aj smer ich pôsobenia, a tak sa pokúsime zhodnotiť, či zvýšená spotreba energie ovplyvňuje ekonomický rast, alebo je tomu naopak, alebo sa premenné ovplyvňujú navzájom. K dosiahnutiu uvedeného cieľa využijeme Grangerovu metodológiu kauzálnych vzťahov. V závere tejto časti prediskutujeme dosiahnuté výsledky a interpretujeme možné spoločné znaky a rozdiely výsledkov pre rozvinuté alebo rozvojové krajiny.

Veríme, že naša práca poskytne čitateľovi ucelený pohľad na súvis spotreby energie a ekonomického rastu a náš praktický prínos potvrdí našu hypotézu, že medzi uvažovanými premennými existujú kauzálne vzťahy.

# 1. Teória výroby a hospodárskeho rastu

Prvý tematický celok obsahuje zhrnutie základných vedeckých poznatkov o úlohe energie vo výrobe, a teda aj vo zvýšenej produkcii, ktorá je bezprostredne spätá s ekonomickým rastom. Informácie v tejto kapitole sme čerpali zo Sternovej empirickej práce: Ekonomický rast a energia [22]. Úlohu energie v procese rastu ovplyvňujú aj mnohé inštitucionálne javy, a preto je ekonomický pohľad na rast, výrobu a potenciálnu úlohu energie značne komplexnejší, než len ten vedecký. Následne je v našej práci preskúmaná tradičná teória ekonomického rastu. Vývoj prírodných a spoločenských vied, ako je napríklad ekonómia, čiastočne zachytáva historické rozdiely medzi týmito vedami, ktoré boli považované za hodné štúdiá, ako aj rôzne spôsoby, akými boli študované. Toto isté platí aj pre úlohu energie v otázkach teórie rastu, ktorá bola predmetom veľkej kritiky biofyzikálnych teórií. V závere prvej časti práce prinášame prehľad aj týchto alternatívnych pohľadov na túto problematiku.

## 1.1. Energia vo výrobe

Je dôležité si uvedomiť, že nie je možné porozumieť, akú úlohu zohráva energia v procese ekonomického rastu bez predchádzajúceho pochopenia úlohy energie vo výrobe. Prvá časť práce preto popisuje teoretické pozadie výroby a ekonomického rastu z rôznych uhlov pohľadu – tých, ktoré sú založené na ekonomických poznatkoch, ako i tých, ktoré vychádzajú z prírodných vied.

### 1.1.1. Fyzikálne teórie

Reprodukcia je kľúčovým faktorom výroby. Niektoré vstupy do výroby sú nereprodukovateľné, zatiaľ čo iné môžu byť vyrobené za určitú cenu v rámci ekonomického výrobného systému. Primárne výrobné faktory sú vstupy, ktoré existujú na začiatku výrobného procesu a nie sú priamo spotrebované vo výrobe, zatiaľ čo pomocné vstupy sú vytvorené počas výrobného obdobia a sú úplne spotrebované vo výrobe.

Uvedieme aj konkrétne príklady. Ekonomovia zastávajúci tradičnú mainstream teóriu označujú ako primárne faktory produkcie napríklad kapitál, prácu a pôdu, zatiaľ čo tovary ako pohonné hmoty a vykurovací materiál sú pomocné vstupy. Celkové platby za všetky rôzne vstupy potom tvoria platby majiteľom primárnych vstupov za služby poskytované buď priamo, alebo za služby zahrnuté vo vyrobených pomocných vstupoch.

Tento prístup v teórii rastu viedol k zameraniu sa na primárne vstupy, a to najmä na kapitál a pôdu a nemenej aj na nepriamu úlohu energie v procese rastu. Primárne vstupy energie tvoria surovinové zdroje, ako je napríklad ropa. Ale konkrétne týmto sa neprisuduje hlavná úloha v štandardných teóriách rastu, ktoré sú zamerané na prácu a kapitál. Preto predstavy o úlohe energie v klasickej teórii rastu majú tendenciu byť pomerne popreplietané.

Avšak kapitál, práca a v dlhodobom horizonte aj prírodné zdroje, patria medzi reprodukovateľné výrobné faktory, zatiaľ čo energia je nereprodukovateľným faktorom výroby hoci vektory energie - palivá - sú reprodukovateľné faktory. Preto mnohí ekonomovia so zameraním sa na prírodné zdroje a životné prostredie sústredili najväčšiu pozornosť na úlohu energie a jej dostupnosť v oblasti hospodárskej výroby a procesu rastu.

Prvý zákon termodynamiky popisuje princíp zachovania hmoty (Ayres a Kneese, 1969). Za účelom získania daného materiálneho výstupu musia do výrobného procesu vstúpiť väčšie alebo rovnaké množstvá hmoty spolu so zvyškami ako sú znečisťujúce látky alebo odpad. Preto pre ľubovoľný výrobný proces vyrábajúci materiálne výstupy máme vždy minimálne požiadavky na vstupný materiál. Z druhého termodynamického zákona vyplýva, že je potrebné akési minimálne množstvo energie, ktoré je potrebné na vykonanie transformácie hmoty. Preto musia byť pre energiu stanovené limity na substitúciu ďalších faktorov výroby. Všetky ekonomické procesy potrebujú energiu, aj keď niektoré činnosti nevyžadujú priame spracovanie materiálu. Avšak toto platí len na mikroúrovni. Na makroúrovni vyžadujú všetky ekonomické procesy nepriamu spotrebu materiálu, buď na podporu práce alebo výroby kapitálu.

Energia je dôležitým faktorom produkcie. Každý výrobný proces zahŕňa niektorý spôsob transformácie alebo pohybu hmoty. Všetky tieto premeny vyžadujú energiu. Niektoré formy usporiadanej hmoty, ako je napríklad aj informácia, môžu byť tiež považované za nereprodukovateľné vstupy. Niektorí analytici (napr. Spreng, Chen, Stern, Ruth) tvrdia, že informácia je v podstate nereprodukovateľný faktor výroby rovnako ako

energia, a že ekologická ekonómia musí venovať rovnako veľa pozornosti informácii a jej akumulácii v znalosti a vedomosti ako venuje aj energii.

Energia je však nevyhnutná aj pre získavanie informácií z oblasti životného prostredia, zatiaľ čo energia nemôže byť aktívne využívaná bez informácie a nahromadeného poznania<sup>1</sup>. Avšak na rozdiel od energie, informácie a znalosti nemôžu byť ľahko kvantifikované. A teda, aby tieto produkčné faktory boli užitočné, musia byť začlenené do strojov, pracovníkov a materiálu. Tým je zabezpečené biofyzikálne zdôvodnenie pre spracovanie kapitálu, pracovnej sily, atď. ako aj výrobných faktorov. Hoci možno prácu a kapitál merať jednoduchšie než informácie a poznanie, ich meranie je v porovnaní s energiou stále veľmi nedokonalé.

B2V tradičnom neoklasickom ekonomickom prístupe, ktorý popíšeme nižšie, je množstvo energie, ktoré je k dispozícii pre hospodárstvo v každej časovej perióde, endogénne. Je však ovplyvnené biofyzikálnymi obmedzeniami, ako je tlak v ropných zásobníkoch ako aj ekonomickými obmedzeniami, ako je výška inštalovanej ťažby, rafinácia výrobných kapacít, a taktiež možnými urýchleniami a efektívnosťou, vďaka ktorým môžu tieto procesy napredovať. Napriek tomu vedie tento analytický prístup k bagatelizovaniu úlohy energie ako hnacej sily hospodárskeho rastu a produkcie.

Niektoré alternatívne biofyzikálne modely predpokladajú, že energia je jediným primárnym faktorom výroby. Ale to znamená, že energia, ktorá je dostupná v každom čase musí byť exogénne určená. V niektorých biofyzikálnych modeloch je výška ťažby energie ovplyvnená rôznymi geologickými obmedzeniami. Kapitál a práca sa považujú skôr za toky spotreby kapitálu a pracovných služieb, ako za zásoby. Pri výpočte týchto tokov sa berie do úvahy aj spotrebovaná energia, využitá v tomto procese. Celá hodnota pridaná<sup>2</sup> do ekonomiky sa potom považuje za akýsi poplatok za spotrebovanú energiu v ekonomike.

---

<sup>1</sup> Samozrejme, že energia môže nekontrolovane poskytnúť kúrenie, osvetlenie, atď. bez akejkoľvek aktivity ekonomických agentov. Ale aj neinteligentné organizmy potrebujú použiť informáciu pre kontrolované využitie energie. Napríklad rastliny používajú slnečné žiarenie na fotosyntézu a využívajú informáciu v ich genetickom kóde pre výrobu chlorofylu a chloroplastov.

<sup>2</sup> Costanza (1980) považuje za čistý výstup ekonomiky tvorbu hrubého fixného kapitálu, zmenu zásob, a čistý vývoz. To sa rovná čistým úsporám. Cieľ systému je rast a celková energia využitá pracovnou silou v súčasnej spotrebe musí pokryť svoju výrobnú činnosť. V ekonomickom modeli je len časť energie spotrebovanej pracovníkmi nevyhnutná na živobytie, ktoré im umožňuje vykonávať svoju ekonomickú úlohu. Zvyšok predstavuje prebytok, ktorý zvyšuje ich užitočnosť, ale nie ich produktivitu. Hodnotu čistého výstupu, ktorá je určená pre domáce sociálne triedy predstavuje teda bežné HDP po odpočítaní príjmu životného minima. To je v súlade s klasickým ekonomickým modelom.

### 1.1.2. Ekonomické modely

Alternatíva k neoklasickej teórii hraničnej produktivity je nevyhnutná. Rovnako ako v marxistickej ekonómii, aktuálne rozdelenie prebytku závisí od relatívnej vyjednávacej sily jednotlivých sociálnych tried a zahraničných dodávateľov palív<sup>3</sup>. Prebytok energie si privlastnia majitelia práce, kapitálu a pôdy.

Leontiefov vstupno - výstupný model reprezentuje ekonomiku, v ktorej je jediný primárny faktor výroby s cenami, ktoré nie sú určené hraničnou produktivitou. Hraničné produkty sú síce nulové, ale nachádza sa tam aj vektor kladných rovnovážnych cien. K dispozícii je jediná fixná proporcionálna technika výroby pre každú komoditu. Táto reprezentácia ekonomiky alebo ekosystému s energiou ako primárnym faktorom bola navrhnutá Hannonom (1973).

Títo ekologickí ekonómovia tvrdia, že podiel použitej energie na výrobu pomocných vstupov, ako sú palivá sa zvyšuje, zatiaľ čo kvalita ostatných zdrojov, ako sú ropné nádrže klesá, čo sa prejaví v raste nákladov na energiu. Mohlo by sa zdať, že je tu paradox medzi využívaním energie ako jediným primárnym faktorom a obavami o kvalitu iných zdrojov. Zmeny kvality zdrojov možno v modeli vyjadriť ako zmeny vo vstupno-výstupných koeficientoch, napr. formou technických zmien. Ak by boli zásoby zdrojov explicitne reprezentované, energia by viac nebola jediným primárnym faktorom výroby.

Neo-Ricardovské modely vyvinuté Perringsom (1987) a O'Connorom (1993), rovnako ako všetky ostatné neo-Ricardovské modely, majú v prípade kapitálových zásob namiesto tokov v Leontiefovom modeli fixnú proporcionálnu technológiu. Nerozlišujú medzi primárnymi a pomocnými výrobnými faktormi. Tento prístup môže vziať do úvahy aj rôzne biofyzikálne obmedzenia, ako je napríklad rovnováha hmoty (Perrings a O'Connor) alebo úspora energie (O'Connor).

Ak je ekonomika reprezentovaná pomocou vstupno-výstupného modelu bez substitúcie medzi výrobnými faktormi, môže byť poznanie začlenené vo výrobných faktoroch ignorované. To však neznamená, že môžeme ignorovať aj energiu potrebnú na získanie týchto poznatkov. Je dôležité, aby sa zobrali do úvahy všetky zložky energie,

---

<sup>3</sup> Ďalší argumentujú, že ceny by mali byť stanovené na základe nákladov na energiu (Hannon) - normatívna teória hodnoty energie - alebo, že ceny sú v skutočnosti korelované s energetickými nákladmi (Costanza) - pozitívna teória hodnoty energie (Common). Costanza zastáva názor, že náklady sú určené nákladmi na energiu - teória nákladov na energiu.



ktoré boli použité na podporu konečnej výroby. Avšak nemožno predpokladať, že prínos poznania do výroby je úmerný energetickým nákladom. Hoci termodynamika kladie obmedzenia substitúcie, skutočná miera substitúcie medzi kapitálom zahrňujúcim vedomosti a energiou je skôr empirickou otázkou.

## 1.2. Tradičná teória rastu

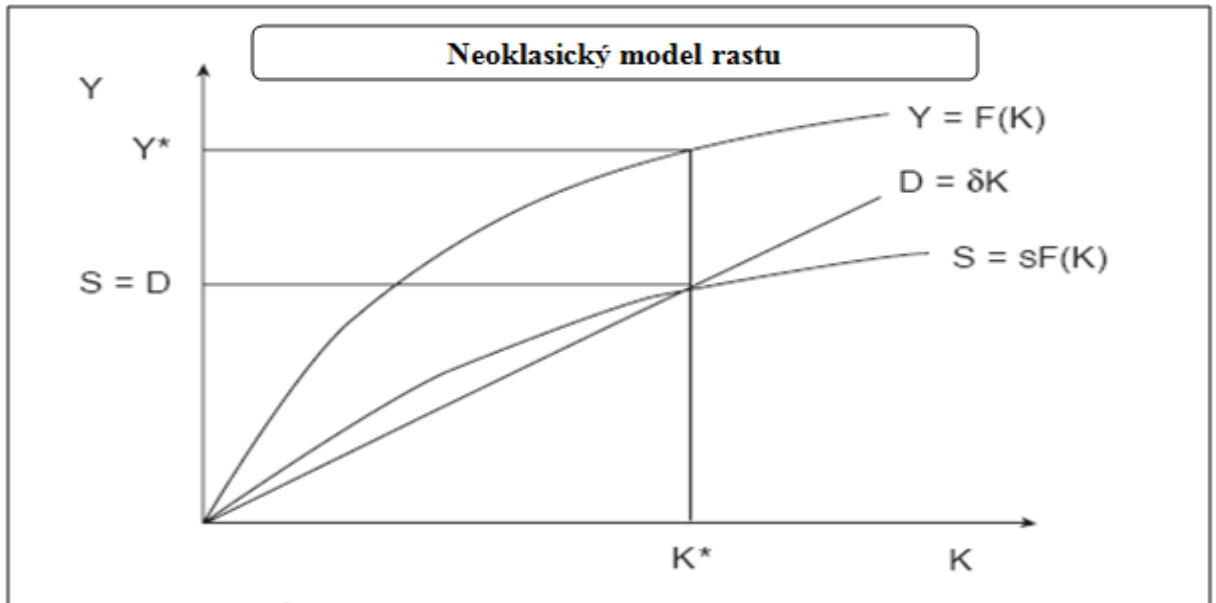
Ako bolo spomenuté vyššie, v tradičnej výrobe a teórii rastu je tendencia bagatelizovať úlohu zdrojov v hospodárstve, hoci v ekonomike nie je nič, čo by obmedzovalo potenciálnu úlohu zdrojov v ekonomike.

Základným modelom hospodárskeho rastu, ktorý bol odmenený aj Nobelovou cenou, je Solowova práca (1956), ktorá vôbec nezahŕňa zdroje. Tento model bol neskôr rozšírený o neobnoviteľné aj obnoviteľné zdroje (Kamien a Schwartz, 1982; Toman a ďalší, 1994). Tieto rozšírené modely sú však využívané len v kontexte diskusií o udržateľnosti životného prostredia a nie v štandardných makroekonomických aplikáciách.

### 1.2.1. Základný model rastu

Ako prvý popíšeme najzákladnejší a najjednoduchší model, založený na Solowovej práci (1956). V tomto modeli produkuje pracovná sila konštantnej veľkosti pomocou priemyselného kapitálu výstup, ktorý sa rovná národnému dôchodku. Neoklasický model predpokladá, že ak množstvo použitého kapitálu vzrastie, tak výstup porastie pomalším tempom. Vrchná krivka na obr. 1 nám ukazuje tento vzťah medzi výstupom ( $Y$ ) a kapitálom ( $K$ ).

Teraz predpokladajme, že populácia je konštantný násobok pracovnej sily, úspory sú konštantná časť ich príjmov. Úspory sa používajú na vytvorenie nového kapitálového tovaru. Konštantná časť z existujúceho kapitálu sa v každej časovej perióde odpisuje (a stáva sa produktívne nepoužiteľnou).



Zdroj: *Economic Growth and Energy*, DAVID I. STERN.

**Obr.1:** Neoklasický model rastu

Kapitál je v rovnováhe (a je taktiež nemenný vo veľkosti), keď sa úspory rovnajú odpisom ( $S = D$ ). Všimnime si, že krivka úspor má rovnaký tvar ako výstupná krivka, avšak je nižšia, pre každú hodnotu  $K$ . Je to spôsobené tým, že úspory sú proporcionálne príjmom. Na ľavo od  $K^*$ , kde je kapitál na jedného pracovníka obmedzený, kapitálové investície vytvárajú relatívne veľký nárast budúcich príjmov, a tak ponúkajú vysokú mieru výnosov. Navyše z možných polôh  $S$  a  $D$  kriviek na ľavo od  $K^*$  je zrejmé, že prírastok kapitálu ( $S$ ) je väčší ako odpisy ( $D$ ), a preto kapitál rastie.

Avšak klesajúce tempo rastu výstupnej krivky naznačuje, že po sebe idúce prírastky kapitálu generujú klesajúce prírastky budúcich príjmov, a teda aj klesajúcu mieru návratnosti investícií. Z tohto dôvodu slabne motivácia k akumulácii kapitálu. Ako náhle kapitál dosiahne úroveň  $K^*$ , tak sa nachádza v rovnovážnom stave. Dodatky ku kapitálu z dôvodu úspor sú presne kompenzované redukciami kapitálu z odpisov a miera návratnosti investícií klesá k bodu, v ktorom už nie je žiadna motivácia k nahromadeniu ďalšieho kapitálu.

Táto jednoduchá ekonomika musí skôr či neskôr dosiahnuť rovnovážny stav, v ktorom už nemáme žiadne čisté investície a hospodársky rast sa musí nakoniec zastaviť. V prechodnom procese, kým sa krajina uberá smerom k tomuto rovnovážnemu stavu, môže a aj bude dochádzať k rastu. Rozvojová ekonomika s malým kapitálom na pracovníka môže dosiahnuť rýchly rast a zároveň buduje svoj základný kapitál. Avšak ak miera úspor

zostane konštantná, tak všetky ekonomiky sa nakoniec ustália do ekvilibria nulového rastu. Žiadna krajina nemôže rásť večne, len hromadením kapitálu.

Ak by pracovná sila v priebehu času rástla konštantnou mierou, celkový kapitál a celkové množstvo výstupu by stúpili, ale kapitál a výstup na jedného pracovníka by zostali konštantné, kým by sa ekonomika nedostala do rovnováhy. Jediná nevyhnutná úprava v obrázku 1, je zmena vyjadrenia všetkých jednotiek na jedného obyvateľa.

Podľa neoklasickej teórie rastu, jedinou príčinou pokračujúceho hospodárskeho rastu je technologický pokrok. Ako úroveň technologického poznania rastie, tak sa funkčný vzťah medzi produktívnymi vstupmi a výstupmi stále mení. Z rovnakého množstva vstupov môže byť vyrobené väčšie množstvo výstupov alebo rovnaké množstvo vyššej kvality. V jednoduchom modeli, ktorý skúmame, technický pokrok priebežne posúva výstupnú funkciu smerom nahor, a tak zvyšuje kapitál a hodnoty výstupov na obyvateľa.

### **1.2.2. Endogénne technologické zmeny**

Jednoduchý model, ktorý sme práve popísali, nevysvetľuje ako dôjde k technologickým zlepšeniam. Predpokladá, že jednoducho exogénne nastanú. Preto sa hovorí, že tento model má exogénne technologické zmeny. Novšie modely sa pokúšajú zachytiť endogénne technologické zmeny - vysvetlením technologického pokroku v modeli rastu, ako výsledok rozhodnutia firiem a jednotlivcov.

V endogénnych modeloch rastu môžeme vyjadriť vzťah medzi kapitálom a výstupom v tvare:  $Y = AK$ . Kapitál  $K$ , je definovaný všeobecnejšie než v neoklasickom modeli. Je kombináciou výrobného kapitálu a kapitálu založeného na poznaní. Zástancom teórie endogénneho rastu sa podarilo ukázať, že za rozumných predpokladov je člen  $A$ , z výrazu uvedeného vyššie, konštantný. Z toho vyplýva, že kým sa nahromaďuje kapitál, rast môže pokračovať do nekonečna.

Kľúčovým bodom je, že technologické vedomosti môžu byť považované za istú formu kapitálu. Poznanie je získavané prostredníctvom výskumu a vývoja ( $R \& D$ ) a ďalších procesov, ktoré vytvárajú nové vedomosti. Technologické znalosti majú dve špeciálne vlastnosti. Jednak ide o spoločenské dobro: zásoby tejto formy kapitálu sa

používaním nevyčerpávajú. Toto je dôležité, pretože to znamená, že poznanie môže byť v čase uskladnené, aj keď je používané. Po druhé, poznanie vytvára vo výrobe pozitívne externality: zatiaľ čo podnik vykonávajúci výskum a vývoj získa výhody z nadobudnutých poznatkov, ostatní profitujú tiež. Z procesu výskumu a vývoja tak vznikajú akési prospešné prieniky pre ekonomiku, a tak sociálne výhody z inovácií presiahnu súkromné výhody pôvodného inovátora.

Tieto externality vytvárajú dynamiku v procese rastu. Podniky majú tendenciu spájať použitie nového kapitálu s procesom inovácií. Motivácia pre vyčlenenie zdrojov do inovácií pochádza z myšlienky dočasných monopolných ziskov pre úspešné inovácie. Nárast hodnoty  $K$  teda znamená rast kapitálu a nehmotného technologického poznania. Preto je výstup schopný rásť ako konštantná časť ( $A$ ) zloženého kapitálu, a nie je predmetom klesajúcich výnosov z obrázku 1.

Čiže v endogénnom modeli rastu, môže ekonomika udržiavať konštantné tempo rastu, v ktorom návrat do základného kapitálu je presne vyrovnávaný externými vplyvmi technologického pokroku, ktoré sme popísali vyššie. Tempo rastu je trvalo ovplyvňované mierou úspor. Vyššia miera úspor zvyšuje tempo rastu ekonomiky, a to nielen rovnovážnu úroveň príjmov.

Doposiaľ sa úlohe zdrojov v raste venuje relatívne málo pozornosti a empirických prác. Detailnejšie sa tejto tematike venoval napríklad Smulders(1999).

### **1.2.3. Modely rastu s prírodnými zdrojmi**

Modely rastu, ktoré sme skúmali, nezahŕňali žiadne prírodné zdroje, vrátane energie. Všetky prírodné zdroje existujú v konečnom množstve, aj keď niektoré, ako je napríklad slnečné žiarenie, sú k dispozícii vo veľkých množstvách (a preto ich z krátkodobého alebo strednodobého hľadiska môžeme považovať za nevyčerpateľné). Niektoré prírodné zdroje sú nereprodukovateľné a mnohé z obnoviteľných zdrojov energie sú potenciálne vyčerpateľné. Konečnosť a vyčerpateľnosť zdrojov robí teóriu neobmedzeného ekonomického rastu problematickou, a teda ani udržateľný rozvoj, čiže aspoň nulový pokles produkcie, nemusí byť realizovateľný.

Ak máme viac ako jeden vstup – napríklad kapitál a prírodné zdroje – je veľa alternatív, ktorými sa ekonomický rast môže uberať. Prijatie konkrétnej alternatívy závisí od prijatých inštitucionálnych plánov. Analytici preskúmali oba optimálne modely rastu: tie, ktoré sa buď pokúšajú maximalizovať súčet diskontovaného sociálneho bohatstva v príslušnom časovom období (často krát v nekonečnom horizonte) alebo dosiahnuť udržateľnosť (neklesajúci sociálny blahobyt), ako aj modely určené na reprezentáciu reálnej ekonomiky za predpokladu dokonale konkurenčného trhu alebo iných podmienok.

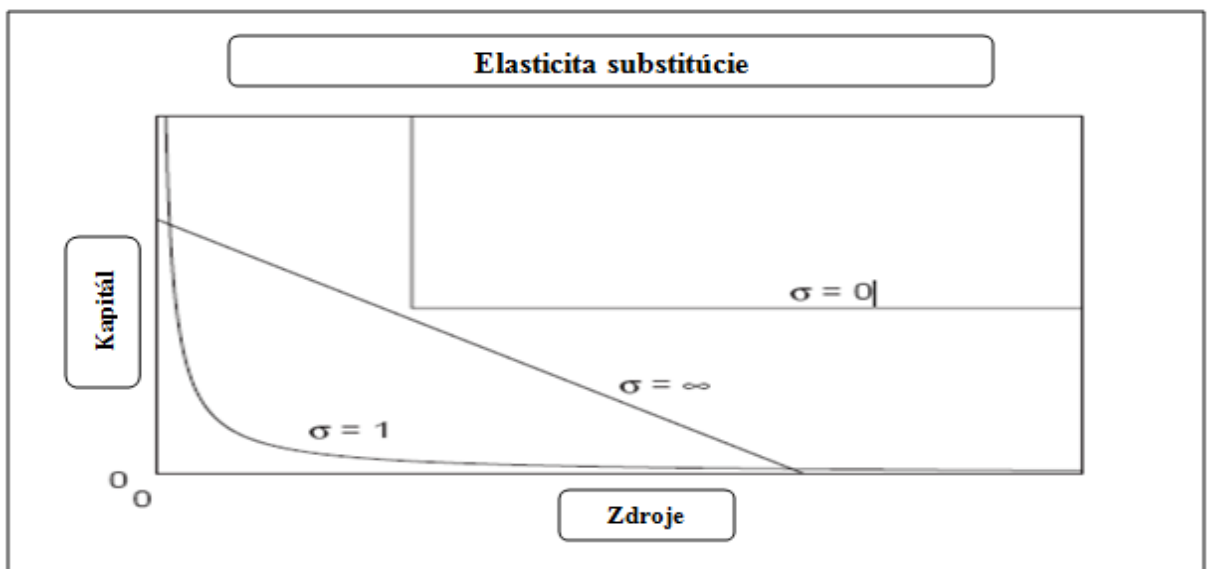
Neoklasická literatúra zameraná na rast a prírodné zdroje skúma, za akých podmienok je možný pokračujúci rast, alebo prinajmenšom neklesajúca spotreba alebo užitočnosť. Ďalej v texte budeme pri odkazovaní sa na pokračujúci rast alebo neklesajúcu spotrebu používať termín „udržateľnosť“. Či je možné dosiahnuť udržateľnosť nám určujú technické a inštitucionálne podmienky. Technické podmienky sa venujú veciam, ako sú napríklad správna kombinácia obnoviteľných a neobnoviteľných zdrojov, počiatkové dotácie kapitálu a prírodných zdrojov, jednoduchosť substitúcie jednotlivých vstupov, atď. Inštitucionálny rámec zahŕňa napríklad trhové štruktúry (konkurencia a súťaženie verzus centrálné plánovanie), systém vlastníctva (súkromné verzus verejné) a systém hodnôt voči budúcim generáciám.

Solow (1974) ukázal, že udržateľnosť je dosiahnuteľná v modeli s konečnými a neobnoviteľnými prírodnými zdrojmi, bez nákladov na ťažbu a nezhodnocujúcim sa kapitálom, ktorý bol vyrobený z kapitálu a prírodných zdrojov. Avšak, ukázalo sa, že rovnaký model vedie v konkurenčnej ekonomike k vyčerpaniu zdrojov, pričom sa spotreba aj sociálne bohatstvo nakoniec prepadnú na nulu (Stiglitz). Dasgupta a Heal ukázali, že s ľubovoľnou konštantnou diskontnou sadzbou, takzvaná optimálna alternatíva rastu vedie k prípadnému vyčerpaniu prírodných zdrojov a zrušeniu celej ekonomiky.

Bežný výklad štandardnej teórie rastu hovorí, že substitúcia a technická zmena môžu účinne odčleniť ekonomický rast od prírodných zdrojov a životného prostredia. Vyčerpané zdroje alebo poškodené životné prostredie môžu byť nahradené hojnejšími prostriedkami, alebo "ekvivalentnou" formou človekom vytvoreného kapitálu (ľudia, stroje, továrne, atď.). Avšak tento výklad je nepochybne nesprávny. Neoklasických ekonómov totiž primárne nezaujímajú technické opatrenia, ale naopak tie inštitucionálne, ktoré vedú k trvalej udržateľnosti, a tak a priori predpokladajú, že udržateľnosť je

technicky realizovateľná . Preto zisťujú, aké inštitucionálne opatrenia by mohli viesť k trvalej udržateľnosti, ak je to technicky uskutočniteľné.

Elasticita substitúcie ( $\sigma$ ) medzi tým, čo ekonómovia nazývajú kapitál (továrne, stroje, a pod.) a vstupmi zo životného prostredia (prírodné zdroje, asimilácia odpadu, služby ekosystému), je dôležitý technický termín. Udáva nám o koľko je potrebné zvýšiť použitie niektorého zo vstupov, pri poklese využitia iného vstupu tak, aby bola pri tom zachovaná rovnaká úroveň výroby. Veľká  $\sigma$  znamená, že dôsledok zvýšených nákladov vzhľadom k rastúcej cene jedného vstupu, povedzme prírodných zdrojov, môže byť ľahko vykompenzovaný prechodom na inú techniku výroby, ktorá uprednostňuje využitie iného vstupu, napríklad kapitálu. Na obrázku 2 sú znázornené rôzne kombinácie dvoch vstupov pre rôzne hodnoty  $\sigma$ , ktoré nám produkujú určitú úroveň výstupu. Pre jednotlivé hodnoty  $\sigma$  sme zvolili rôzne úrovne produkcie, aby sme sa vyhli prekrývaniu kriviek a graf tak spravili prehľadnejší.



Zdroj: *Economic Growth and Energy*, DAVID I. STERN.

**Obr. 2:** Elasticita substitúcie

Hraničný produkt je ďalšou súčasťou výrobného procesu. Je výsledkom jednej dodatočnej jednotky určitého vstupu, zatiaľ čo všetky ostatné vstupy zostávajú konštantné (t.j. ide o parciálnu deriváciu produkčnej funkcie s ohľadom na tento vstup). Jednotková elasticita substitúcie ( $\sigma = 1$ ) znamená "dokonalú nahraditeľnosť," a teda ako sa pomer týchto dvoch vstupov mení o percentuálnu mieru zachovávajúcu konštantný výstup, pomer

ich hraničných produktov sa mení o rovnaké percento (len v opačnom smere). Tento vzťah je znázornený taktiež na obrázku 2, a to krivkou označovanou ako izokvanta, ktorá je asymptotická pre obe osi. Pri poklese využívania zdrojov smerom k nule, môže byť objem výroby zachovaný zvýšeným použitím kapitálu až k nekonečnu. Dokonalá nahraditeľnosť neznamená, že zdroje a kapitál sú rovnako užitočné - v skutočnosti s klesajúcou dostupnosťou prírodných zdrojov ich hraničná produktivita rastie do nekonečna.

Obrázok 2 taktiež znázorňuje prípady, keď nie je možné nahradiť jeden vstup druhým ( $\sigma = 0$ ) ako aj keď sú dva vstupy nekonečne nahraditeľné ( $\sigma = \infty$ ). V prvom prípade musia byť oba vstupy použité v stanovenom pomere a v druhom prípade výrobcovia nevidia rozdiel medzi dvoma vstupmi, a tak budú používať ten lacnejší. Ako preberieme nižšie, dokonalá nahraditeľnosť je z biofyzikálneho hľadiska nereálny predpoklad.

Elasticita dopytu po energii, ktorá v teórii súvisí s elasticitou substitúcie, tiež naznačuje, že elasticita substitúcie medzi energiou či inými vstupmi a rôznymi palivami by mala byť medzi nulou a jednotkou. Navyše ak je elasticita substitúcie väčšia ako jedna, potom izokvanty pretnú osi a vstupy už nie sú viac dôležité pre výrobu a naopak.

Ekonómovia ako Solow (1974) pracujú výlučne s prípadmi, keď je hodnota  $\sigma$  pre neobnoviteľné zdroje a kapitál väčšia alebo menšia ako jedna. V prvom prípade sú možnosti nahraditeľnosti veľké, a preto hrozba neudržateľnosti rastu nepredstavuje problém. V druhom prípade však udržateľnosť neprichádza do úvahy, ak ekonomika používa iba neobnoviteľné zdroje. Samozrejme pri použití obnoviteľných zdrojov je udržateľnosť technicky možná, aspoň v prípade nerozrastania sa populácie.

Neoklasickí ekonómovia tvrdia, že trieda modelov rastu, ktoré zahŕňajú zdroje, vysvetľuje rovnováhu hmoty a termodynamické obmedzenia. Ak je  $\sigma > 1$ , potom sú zdroje "nepodstatné." Ak je  $\sigma \leq 1$ , tak sú zdroje "nevyhnutné". Nevyhnutnosť v tomto prípade znamená, že máme kladné ne-zdrojové vstupy, výstup je nulový, len keď je vstup zdrojov nulový a inak je ostro kladný.

Cobb-Douglasova produkčná funkcia, často používaná v modeloch rastu, má taktiež veľký význam. Ekonómovia tvrdia, že prinajmenšom vysvetľuje skutočnosť, že na výrobu tovarov a služieb je potrebné určité množstvo energie a materiálu. Ale keď je elasticita substitúcie rovná jednej a ak je použitý dostatočný priemyselný kapitál, tak toto

nevyhnutné množstvo môže byť infinitezimálne. Ekonomovia tiež tvrdia, že zdroje a kapitál sú v neoklasických modeloch vzájomne závislé, a tak je na výrobu kapitálových aktív potrebné aj kladné množstvo zdrojov. A teda zásoby kapitálu nemôžu byť navýšené bez vyčerpania zásob zdrojov. Niektorí ekonomovia pripúšťajú, že hodnota  $\sigma \geq 1$  medzi energiou a inými vstupmi porušuje zákony termodynamiky.

Substitúcia, ktorá je technicky možná nenastane, kým spoločnosť neinvestuje dostatočný kapitál, potrebný na náhradu vyčerpaných prírodných zdrojov a služieb ekosystému. Množstvo potrebných investícií závisí od inštitucionálneho nastavenia ekonomiky. Napríklad uvažujme ekonomiku, kde je udržateľnosť len technicky prípustná ( $\sigma = 1$ ) a k dispozícii máme len neobnoviteľné zdroje. Platí, že udržateľnosť nenastane ani v konkurenčnej, ani v centrálne plánovanej ekonomike, kde je rozhodovacím pravidlom maximalizácia diskontovaného úžitku budúcich generácií pomocou konštantnej a kladnej diskontnej sadzby. Po počiatočnom období ekonomického rastu poklesne spotreba na jedného obyvateľa nakoniec až na nulu, pretože zdroje a ekosystémové služby sa vyčerpajú rýchlejšie ako môže byť nahromadený kapitál potrebný na ich náhradu.

Udržateľnosť je dosiahnuteľná v rámci určitých inštitucionálnych podmienok. Ak má úžitok jednotlivcov rovnakú váhu, bez ohľadu na to, kde žijú a cieľom je maximalizovať súčet úžitkov v priebehu času, potom môže rast spotreby nastať natrvalo. Toto je ekvivalentné s maximalizovaním čistej súčasnej hodnoty nulovou diskontnou sadzbou. A preto je konštantná úroveň spotreby v čase taktiež dosiahnuteľná.

Dôležitým výsledkom je v tejto súvislosti tzv. Hartwickovo pravidlo, ktoré hovorí, že ak je udržateľnosť technicky možná, tak konštantnú úroveň spotreby možno dosiahnuť preinvestovaním prostriedkov do iných foriem kapitálu, čo nám na oplátku môže pomôcť nahradiť zdroje. Dixit a spol. rozšírili pravidlo pre viacnásobné kapitálové zásoby a Hartwick zase pre otvorené ekonomiky.

Ďalším kľúčovým faktorom rastu, ktorý umožňuje obmedziť použitie zdrojov sú technologické zmeny. Technologické pokroky sa podieľajú na zvyšovaní objemu celkového výstupu, zatiaľ čo vážený súčet vstupov vo výrobe ostáva konštantný.



### **1.3. Kritické a alternatívne pohľady**

Mnoho ekonómov so zameraním sa na životné prostredie má úplne odlišnú víziu ekonomického procesu, ako je tomu v neoklasickej ekonomii. Tradičná teória rastu sa zameriava na inštitucionálne obmedzenia rastu. Keď ekonómovia ako Solow natrafili na technické obmedzenia rastu, nezvykli ich brať príliš vážne. Ekologickí ekonómovia majú tendenciu sa namiesto toho zamerať na materiálový základ ekonomiky. Kritici teórie rastu sústredia svoju pozornosť skôr na obmedzenia substitúcie a technologického progresu, ako na spôsoby zmiernenia nedostatku zdrojov. Existujú dve hľadiská. Prvé predstavuje získanie väčšej výroby z obmedzeného vstupného zdroja a druhé je obmedzená schopnosť prírodného prostredia absorbovať dôsledky využívania energie a zdrojov. Substitúcia priemyselného kapitálu a technologické zmeny by mohli znížiť závažnosť oboch problémov.

#### **1.3.1. Obmedzenia substitúcie**

Existuje viac ako jeden typ substitúcie vstupov a tiež viac ako jeden dôvod, prečo môže byť substitúcia obmedzená.

Pri substitúcii môžeme využiť náhradu z kategórie podobných výrobných vstupov – napríklad medzi rôznymi palivami - alebo z kategórie rôznych druhov vstupov - napríklad medzi energiou a strojmi. Taktiež treba rozlišovať medzi substitúciou na mikroúrovni - napríklad v jednom výrobnom procese, alebo v jednom podniku - a na makroúrovni – teda v ekonomike ako celku. Navyše niektoré typy substitúcií je možné vykonať v určitej krajine, no nie na celom svete.

Solow tvrdí, že najdôležitejší je prvý typ substitúcie (v rámci kategórie podobných vstupov), a to najmä substitúcia obnoviteľných zdrojov za neobnoviteľné. Niet pochýb o tom, že tento typ substitúcie hral významnú úlohu pri vytváraní modelov využívania prírodných zdrojov v jednotlivých ekonomikách. Z dlhodobého hľadiska prevláda v modeli spotreby energie v priemyselných ekonomikách substitúcia z dreva na uhlie, ropu, zemný plyn a elektrinu. Elasticita substitúcie v kategórii podobných vstupov môže presahovať jednotku. To by znamenalo, že niektoré vstupy nie sú nevyhnutne dôležité.

Ekologickí ekonómovia však zdôrazňujú význam obmedzení iných druhov substitúcie, a to najmä substitúciu priemyselného kapitálu za prírodný. Prírodný kapitál je potrebný pre získanie energie, ako aj pre zmiernenie dopadu z využívania energie a zdrojov. Aj keď je pre výrobu potrebné len malé množstvo energie, každá výrobná činnosť predstavuje pracovný proces transformácie materiálov pomocou energie a narúša prírodné prostredie. Často krát, jedna z foriem narušenia životného prostredia – napríklad znečistenie – je nahradená inou formou narušenia životného prostredia – napríklad vodnými priehradami. Nasledujúca časť skúma možné príčiny obmedzení substitúcie.

#### *i. Termodynamické obmedzenia substitúcie*

Termodynamické obmedzenia substitúcie sú pre jednotlivé procesy ľahko identifikovateľné analýzami energetického materiálu. Tieto typy analýz ukázali, kde technologický pokrok vykazuje silne klesajúce výnosy kvôli termodynamickým obmedzeniam a taktiež, kde je stále priestor na zlepšenie v oblasti efektívneho využívania energie a materiálu. Napríklad tepelná efektívnosť elektrární bola po mnoho rokov relatívne konštantná, čo odráža skutočnosť, že je blízko k termodynamickému limitu.

#### *ii. Komplementárne obmedzenia substitúcie*

Ako už bolo spomenuté vyššie, výroba je pracovný postup, ktorý využíva energiu k transformácii materiálu na tovar a služby. Georgescu-Roegen model opisuje výrobu ako transformačný proces, v ktorom je tok materiálu, energie a informácií premieňaný dvoma činiteľmi transformácie, ľudskou prácou a priemyselným kapitálom. Tok energie, materiálu a služieb z prírodného kapitálu sú zložky, ktoré sa transformujú, zatiaľ čo priemyselný kapitál ovplyvňuje samotný proces premeny.

Tradiční ekonómovia uvažujú o tomto probléme rozdielne. Po prvé, tvrdia, že hoci dodatočný kapitál nemôže vytvoriť produkt z ničoho, možno ho však použiť s inými zdrojmi k výrobe dokonalejších a hodnotnejších produktov. Toto vysvetľuje opodstatnenosť substitúcie medzi kapitálom a zdrojmi. V energetickom priemysle možno pomocou väčšieho kapitálu vyťažiť viac ropy z ropných nádrží a následne s ohľadom na termodynamické obmedzenia získať užitočnejšiu prácu v čistejšej podobe. Termodynamické limity sa dokonca vzťahujú len na výrobu fyzických produktov.

Neexistujú žiadne obmedzenia na potenciálnu hodnotu produktu vytvoreného sofistikovanejšou manipuláciou s použitím väčšieho množstva kapitálu.

### *iii. Makroekonomické obmedzenia substitúcie a vzájomná fyzická závislosť*

Výstavba, prevádzka a údržba strojov, zariadení a tovární vyžaduje tok materiálu a energie z prírodného kapitálu. Podobne tak aj ľudia, ktorí ovládajú priemyselný kapitál, spotrebávajú energiu a materiál (napr. potraviny a vodu). Preto aj výroba väčšieho množstva náhrady, teda priemyselného kapitálu, vyžaduje spotrebu tých zložiek, ktoré má vyrobený kapitál v konečnom dôsledku nahradiť (teda prírodný kapitál).

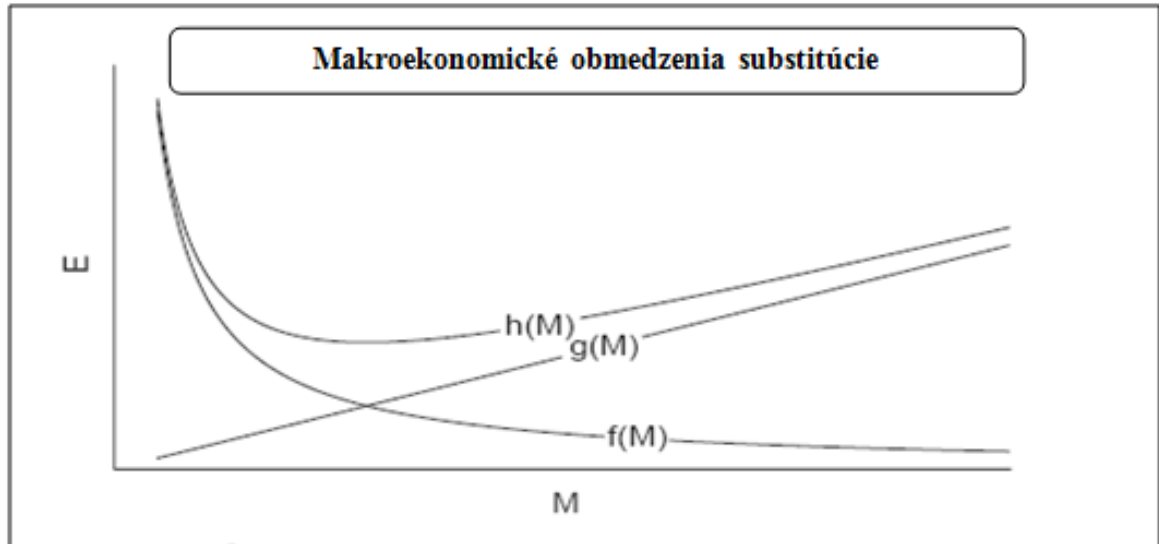
Ekologickí ekonómovia tvrdia, že produkčné funkcie použité v modeloch rastu nezohľadňujú túto vzájomnú závislosť, a tak predpokladajú určitú mieru nahraditeľnosti, ktorá v skutočnosti neexistuje. Avšak aj environmentálna, aj ekologická ekonómia sa dopúšťajú omylu, keď nerozlišujú medzi mikro a makro aplikáciami produkčných funkcií. Substitúcia je podstatne viac obmedzená na makro úrovni, než na mikro-úrovni. Napríklad zateplenie domu priamo nahrádza vykurovacie palivo, a tak predstavuje v sektore domácností jasnú náhradu prírodného kapitálu vyrobeným kapitálom. Ale vzájomná závislosť znamená, že aj zateplenie potrebuje palivo, lebo bez neho by nemohlo byť postavené a realizované.

Čiže pre ekonomiku ako celok, je čistá substitúcia zateplenia za vykurovacie palivo nižšia, ako naznačujú rôzne analýzy jednotlivých sektorov domácností. Inak povedané, súčet možných úspor na makroekonomickej úrovni je menší než je súčet úspor kalkulovaný rôznymi analýzami na úrovni menších sektorov, kde sa neberú do úvahy nepriame náklady.

Na obrázku 3, krivku  $E = f(M)$  označujeme neoklasicistická izokvanta pre konštantnú úroveň produkcie, kde  $E$  je energia, a  $M$  je materiál. Pre jednoduchosť graf nereálne predpokladá, že na ťažbu a získanie energie nie je potrebný žiadny materiál. Nepriame energetické náklady na materiál sú vyjadrené pomocou  $g(M)$ . Súčet priamych a nepriamych energetických nákladov vytvára tzv. „čistú“ izokvantu  $E = h(M)$ .

Na globálnej úrovni môžu krajiny ako Kuvajť alebo Nauru vyčerpať svoje prírodné zdroje a prostredníctvom finančných trhov investovať do priemyselného kapitálu

v zahraničí. Avšak táto cesta k nahradeniu prírodného kapitálu priemyselným nie je možná pre svet ako celok.



Zdroj: *Economic Growth and Energy*, DAVID I. STERN.

**Obr. č. 3:** Makroekonomické obmedzenia substitúcie

#### *iv. Obmedzenia substitúcie prírodným kapitálom*

Ekologickí ekonómovia tvrdia, že na makroekonomickej úrovni nie je možné nahradiť niektoré formy prírodného kapitálu vyrobeným kapitálom. Prírodný kapitál môže poskytnúť hospodárstvu oživovacie služby alebo predstavovať nádrže nenahraditeľnej genetickej informácie alebo biodiverzity. Obmedzená nahraditeľnosť bola tiež rozšírená aj o nelineárne dynamické a nezvratné zmeny. Obavy spôsobuje fakt, že nadmerné nahradenie prírodného kapitálu umelo vytvoreným kapitálom môže spôsobiť, že systém presiahne hranicu, za ktorou prírodné systémy strácajú odolnosť a utrpia katastrofálny kolaps.

Tieto problémy však nie sú tak podstatné ako tie, ktoré sú založené na princípoch termodynamiky a do značnej miery predstavujú skôr empirickú otázku. Aj keď nemožno základnými fyzikálnymi zákonmi dokázať tieto formy nenahraditeľnosti, môžu byť pri obmedzovaní skutočnej výrobnjej funkcie rovnako dôležité ako termodynamika.

Toto tvrdenie je závažné aj v súvislosti s energiou, najmä pokiaľ ide o klesajúcu funkciu životného prostredia. Stále väčšie využívanie životného prostredia ako pohlcovača znečistenia má za následok, že stále menšia časť bude k dispozícii pre ďalšie použitie na

podporu života. Alternatívne zdroje môžu k získaniu energie potrebovať ešte väčšie plochy životného prostredia než súčasné technológie fosílnych palív.

### 1.3.2. Obmedzenia technologických zmien

Dôležitý faktor zmiernujúci nedostatok zdrojov v štandardnom modeli rastu predstavujú okrem substitúcie aj technologické zmeny. Aj keď sú možnosti substitúcie obmedzené, udržateľnosť je stále možná práve pomocou technologických zmien.

Argumenty, ktoré obhajujú technologické zmeny ako riešenie, by boli presvedčivejšie, ak by bolo evidentné, že technologické zmeny sú naozaj niečo iné ako substitúcia. To však nie je pravda. Aj keď neoklasické modely považujú technologické zmeny a substitúciu za dva samostatné javy, iné prístupy už nie.

Napríklad Neo-Ricardovský prístup predpokladá, že v každom čase je k dispozícii iba jedna metóda výroby. Akákoľvek zmena v tejto metóde je zmena v technológii.

Neoklasický prístup naopak predpokladá, že v jednom časovom okamihu súčasne existuje nekonečné množstvo účinných metód. Ku zmene v technológii dochádza pri objavení nových, účinnejších metód. Avšak v istom zmysle, tieto nové metódy predstavujú nahradenie vedomostí inými faktormi výroby. Vedomosti sú začlenené v kvalitnejších výrobných statkoch a kvalifikovanejších pracovníkoch i manažéroch, ktorí všetci potrebujú energiu, materiál a služby ekosystému na výrobu a údržbu. Čiže akokoľvek sa stanú robotníci a stroje sofistikovaní, stále budú existovať termodynamické obmedzenia na rozsah zníženia energetických a materiálových tokov.

Ďalšou otázkou je, či bude technológia napredovať tým "správnym" smerom. Ak nie sú prírodné zdroje ohodnotené správne kvôli zlyhaniu trhu - bežný a všadeprítomný jav, ktorý je hlavnou témou štúdia tradičnej environmentálnej ekonómie - potom bude nedostatočná motivácia na rozvoj technológií, ktoré znižujú spotrebu zdrojov a energie. Namiesto toho, technologické zmeny povedú nie k menšiemu, ale k väčšiemu využívaniu zdrojov.

Ďalším dôvodom k zmierneniu technologického optimizmu je, že nové technológie sú často dvojsečným mečom z hľadiska ich celkového vplyvu na prírodný kapitál. Nové technológie, ktoré zmiernujú nedostatok neobnoviteľných zdrojov môžu napríklad

vyprodukovať väčšie množstvo odpadu, alebo iný škodlivejší druh odpadu, a teda majú väčší vplyv na obnoviteľný prírodný kapitál a ekosystémové služby. Charakteristickým znakom technologických zmien od čias priemyselnej revolúcie je prechod z obnoviteľných na neobnoviteľných zdroje, najmä na fosilné palivá. Využívanie technológií na báze fosílnych palív výrazne zlepšilo produktivitu obnoviteľných zdrojov, ako sú poľnohospodárstvo, lesníctvo a rybolov. Avšak tieto technológie nezlepšili a dokonca ani neudržali produkčnú schopnosť ekosystému, ktorý vytvára plodiny, drevo a ryby. Naopak, spoločnosť čelí rozsiahlemu znehodnocovaniu pôdy, odlesňovaniu i nadmernému výlovu rýb. Znečistenie z používania fosílnych palív, ťažba, výroba a spotreba ďalej zhoršujú produkčnú schopnosť ekosystému.

## 2. Faktory ovplyvňujúce väzbu medzi energiou a rastom

Od ropných šokov v sedemdesiatych rokoch 20. storočia sa vedú rozsiahle diskusie týkajúce energetickej využiteľnosti v rozvinutých ekonomikách. Ak vezmeme do úvahy napríklad americkú ekonomiku, spotreba energie sa v posledných desaťročiach takmer nezmenila. A to aj napriek významnému nárastu HDP v tomto období. Často sa vyhlasuje, že došlo k odčleneniu ekonomického výstupu od zdrojov, čo znamená, že obmedzenia rastu už nie sú také limitujúce ako v minulosti.

Táto časť práce vychádza z neoklasického pohľadu produkčnej funkcie, ktorý skúma faktory, ktoré by mohli oslabiť alebo posilniť väzbu medzi spotrebou energie a ekonomickou aktivitou v priebehu času. Všeobecné produkčná funkcia môže byť reprezentovaná ako:

$$(Q_1, \dots, Q_m)' = f(A, X_1, \dots, X_n, E_1, \dots, E_p)$$

kde  $Q_i$  sú rôzne výstupy, ako vyrobený tovar a služby,  $X_i$  sú rôzne vstupy, ako kapitál, pracovná sila atď.,  $E_i$  sú rôzne energetické vstupy: uhlie, ropa, atď. a  $A$  je stav technológie definovaný ukazovateľom produktivity výrobných faktorov. Vzťah medzi energiou a celkovou produkciou, čo nám predstavuje hrubý domáci produkt môže ovplyvniť:

- Substitúcia medzi energiou a inými vstupmi
- Technologické zmeny - zmena v  $A$
- Posuny v zložení energetických vstupov
- Posuny v zložení výstupu

Vzťah medzi energiou a výstupom môžu ovplyvniť aj posuny v zložení ostatných vstupov - napríklad z ekonomiky s vysokým podielom ľudskej práce do kapitálovo náročnej ekonomiky. Táto možnosť sa však v literatúre príliš nevyskytuje, a tak ju ani v tejto práci nebudeme ďalej rozvádzať. [22]

## 2.1. Energia a kapitál: Substitúcia a komplementarita

Existuje pomerne málo empirických analýz, ktoré sa venujú téme substitúcie a navyše dosahujú značne rôznorodé výsledky. Niektoré tvrdia, že priemyselný kapitál je dobrou náhradou za dôležité kovy (Brown a Field), ďalšie vidia široký potenciál nahraditeľnosti medzi priemyselným kapitálom a materiálovými vstupmi (Moroney a Trapani), iné zase vidia len malú alebo nulovú možnosť substitúcie medzi priemyselným kapitálom a strategickými kovmi (Deadman a Turner). Ekonometrické výskumy nedospeli k jednotnému záveru, ktorý by jednoznačne určil, či kapitál a energia sú substitúty alebo komplementy. Skôr sa zdá, že kapitál a energia pôsobia v dlhodobom horizonte skôr ako substitúty a v krátkodobom horizonte skôr ako komplementy.

Je veľmi dôležité zohľadniť vzájomnú fyzickú závislosť medzi priemyselným a prírodným kapitálom. Kaufmann a Azar-Lee zohľadňujú pomocou štandardných produkčných funkcií nepriamu spotrebu energie použitej v iných sektoroch ekonomiky k výrobe kapitálu, ktorý nahrádza palivá v USA, v sektore lesných výrobkov. Zistili, že nepriame energetické náklady na kapitál kompenzovali značnú časť priamych úspor paliva. V niektorých rokoch dokonca nepriame energetické náklady kapitálu presahovali priame palivové úspory. Výsledky Kaufmanna a Azar-Leeho sú dôležité a rozhodujúce pre posúdenie možnosti substitúcie. V tomto prípade stanovenie substitúcie na jednej úrovni (jednotlivé odvetvia) sa preceňuje na úkor úspory energie vo väčšom meradle (celá ekonomika).

Vzájomná fyzická závislosť medzi priemyselným a prírodným kapitálom môže obmedziť schopnosť ekonomiky odčleniť ekonomický blahobyť od vyčerpania a znehodnotenia zdrojov. Kaufmann upravil štandardný neoklasický model rastu, aby zahŕňal "multiplikátor oživovania životného prostredia", ktorý pre danú úroveň technológie predstavuje množstvo kapitálu a práce potrebných k výrobe jednotky ekonomického výstupu. Zníženie hodnoty koeficientu zodpovedá vyčerpaniu alebo znehodnoteniu a má za následok nárast potrebného množstva kapitálu a práce na výrobu jednotky ekonomického výstupu. Kaufmann zohľadňuje vzájomnú fyzickú závislosť priemyselného a prírodného kapitálu dvojsektorovým modelom, v ktorom ťažobný sektor využíva prácu a kapitál na výrobu materiálu, ktorý je využitý inde v ekonomike na výrobu kapitálu a pracovnej sily, ako aj ostatných spotrebných a investičných tovarov. Spomedzi mnohých prijateľných možností substitúcie, Kaufmann zistil, že akýkoľvek pokles podpory vitality životného



prostredia znižuje dlhodobú rastovú krivku ekonomiky. Znehodnotenie alebo vyčerpanie odkláňa viac kapitálu a práce do ťažobného sektoru, čím znižuje investície a spotrebu vo zvyšku ekonomiky.

## **2.2. Inovácie a efektívne využívanie energie**

Existujú rôzne spôsoby, pomocou ktorých môže spotreba energie ovplyvniť rast celkovej produktivity výrobných faktorov. Schurrov predpoklad hovorí, že inovácie, ktoré umožňujú využívanie energetických zdrojov ako je elektrina, boli začlenené do kapitálového vybavenia, čo umožňuje lepšiu organizáciu pracoviska za účelom vyššej efektívnosti a produktivity liniek. Jorgenson tvrdí, že úvaha o technickej zmene je nepresná, pretože aj tá využíva energiu, čo drží všetky ceny konštantné. Podiel nákladov na spotrebu energie má tendenciu s postupom času narastať. Potom platí, že nižšie ceny energií majú tendenciu urýchliť rast celkovej produktivity výrobných faktorov a naopak.

Judson a spol. pozorovali pomocou regresnej krivky na veľkom súbore dát vzťahy pre spotrebu energie v každom z množstva energeticky náročných odvetví, ako sú priemysel, stavebníctvo, doprava, poľnohospodárstvo, domácnosti a iné. Sledujú rôzne vplyvy inovácií a nových technológií, pomocou ktorých odhaľujú rastúcu spotrebu energie v priebehu času v sektore domácností a poľnohospodárstva a naopak klesajúcu spotrebu v priemysle a stavebníctve. Technické inovácie majú totiž tendenciu priniesť do domácností viac energeticky náročných spotrebičov a do priemyslu naopak energeticky úsporné technológie.

Khazzoom a Brookes predpokladajú, že inovácie šetriace energiu môžu v konečnom dôsledku spôsobiť ešte väčšiu spotrebu energie, ak sa ušetrené peniaze utratia za ďalší tovar a služby, ktoré sú pri ich výrobe sami o sebe závislé na spotrebe energie. Samotná výroba energetických služieb, ktoré vyžaduje výrobca alebo spotrebiteľ, potrebuje energiu. Inovácia, ktorá znižuje množstvo energie potrebnej na výrobu jednotky energetickej služby znižuje skutočnú cenu energetických služieb. To má za následok zvýšenie dopytu po energetických službách, a teda aj po samotnej energii. Nižšia cena energie ovplyvní tiež príjem, čo zvýši dopyt po všetkých tovaroch v ekonomike, a teda aj po energii potrebnej na ich výrobu. Môže dôjsť aj k úprave kapitálových zásob, čo by viedlo k ďalšiemu prehĺbeniu dopytu po energii. Táto úprava kapitálových zásob sa nazýva

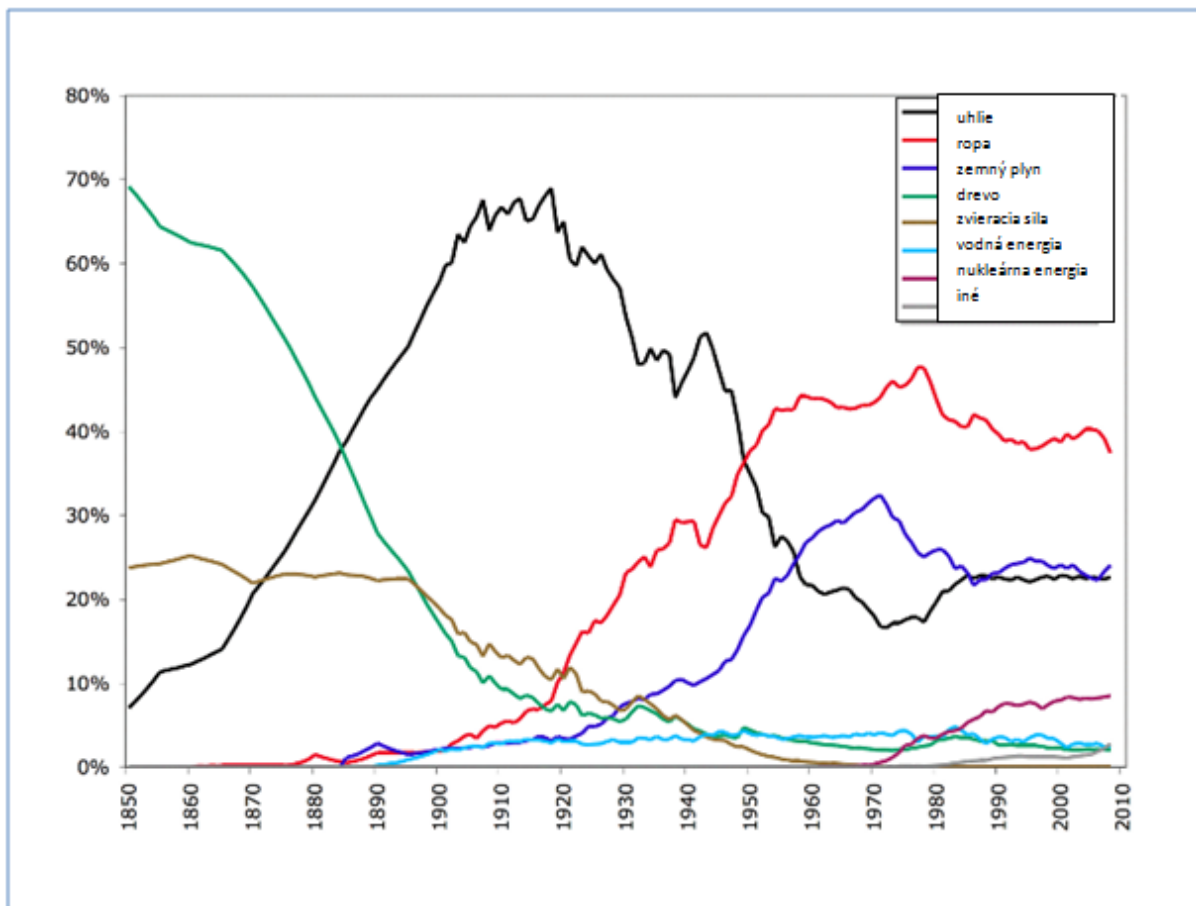
"makroekonomická spätná väzba ". Howarth tvrdí, že efekt spätnej väzby je stále nižší ako pôvodná redukcia spotreby energie vyvolaná inováciou, takže zlepšenie energetickej využiteľnosti v skutočnosti znižuje celkový odber energií.

### **2.3. Kvalita energie a posuny v štruktúre energetických vstupov**

Kvalita energie predstavuje relatívnu ekonomickú užitočnosť z tepla zodpovedajúceho rovnakému množstvu rôznych palív alebo elektriny. Jedným zo spôsobov merania kvality je hraničný produkt paliva, čo je vlastne prírastok množstva tovaru alebo služby vyrobeného s použitím jednej dodatočnej tepelnej jednotky paliva. Niektoré druhy paliva je možné použiť pre väčší počet aktivít a/alebo pre viac hodnotnejšie aktivity. Napríklad uhlie nemôžeme použiť priamo na napájanie počítača, ale elektrinu už áno.

Hraničný produkt paliva je čiastočne určený komplexným súborom špecifických znakov, ako je fyzický nedostatok pohonných hmôt, spôsobilosť robiť užitočnú prácu, hustota energie, čistota, prístupnosť na skladovanie, bezpečnosť, flexibilita použitia, náklady na konverziu, atď. Avšak hraničný produkt nie je jednoznačne určený týmito atribútmi. Môže sa líšiť v závislosti od toho na aké činnosti je používaný, koľko a akú formu kapitálu, práce a materiálu sa používa v spojení s ním a koľko energie sa spotrebuje pri každom použití. Preto energetické vlastnosti a kvalita nie sú v priebehu času fixné. Avšak za najkvalitnejší druh energie sa všeobecne považuje elektrina, následne je to zemný plyn, ropa, uhlie a drevo a biopalivá v zostupnom poradí podľa kvality. Toto poradie potvrdzujú aj ceny týchto palív na jednotku energie. Podľa ekonomickej teórie, cena zaplatená za palivo by mala byť úmerná jeho hraničnému produktu.

Schurr a Netschert (1960) boli spomedzi prvých, ktorí rozpoznali ekonomický význam kvality energie. Berúc do úvahy, že zloženie spotreby energie sa časom významne zmenilo Schurr a Netschert tvrdili, že všeobecná zmena k vyššej kvalite paliva znižuje množstvo energie potrebnej na výrobu dolárovej hodnoty HDP. Zmenu v štruktúre vstupov pre prípad USA môžeme vidieť na obrázku 4.



Zdroj: <http://stochastictrend.blogspot.com/2010/04/energy-mix-and-energy-intensity.html>

**Obr. č 4:** Zloženie energetických vstupov v USA v rokoch 1850-2010

Výskumníci ako je Cleveland, Kaufmann a OTA (americký kongres) prezentujú analýzy, ktoré vysvetľujú mnohé z príčin poklesu energetickej náročnosti USA. Opierajú sa o štrukturálne posuny v ekonomike a presuny z využívania málo kvalitných palív do využívania kvalitnejších palív. Prechod na využívanie kvalitnejších palív však môže byť obmedzený. Po vyčerpaní lacných dodávok ropy sa totiž ekonomiky budú musieť vrátiť k menej kvalitným palivám ako je napríklad uhlie.

Berndt taktiež poukazuje na kľúčovú úlohu posunov v zložení energetickej spotreby smerom ku kvalitnejším vstupom. Ak sa totiž táto skutočnosť ignoruje, tak sa rast celkovej produktivity výrobných faktorov javí vyšší než je v skutočnosti.

Kaufmann odhadol vektorový autoregresný model pre pomer energie a HDP, výdavky domácností na energiu, premenné energetického mixu a premenné cien energií v USA. Zistil, že posun od používania uhlia smerom k používaniu ropy znižuje energetickú náročnosť. Tento odklon od uhlia prispieva k poklesu energetickej náročnosti po celé obdobie rokov 20. storočia.

## 2.4. Posuny v štruktúre výstupov

V priebehu hospodárskeho rozvoja sa zloženie výstupu zmenilo. V skoršej fáze vývoja sme zaznamenali odklon od poľnohospodárstva smerom k ťažkému priemyslu, kým v neskorších fázach vývoja sledujeme posun z intenzívnej ťažby zdrojov a z ťažkého priemyslu k službám a ľahšej výrobe. Jednotlivé priemyselné odvetvia majú rozdielne energetické nároky. V skorých fázach hospodárskeho rozvoja to bude mať za následok nárast spotrebovanej energie na jednotku výstupu a v neskorších fázach ekonomického rozvoja naopak pokles energetickej spotreby na jednotku výstupu. Znečistenie a narušenie životného prostredia by sa malo uberať podobnou cestou. Toto tvrdenie by bolo možné ďalej rozviesť až k myšlienke, že posun k odvetviu služieb vedie k odčleneniu hospodárskeho rastu a energie.

Samozrejme, že odvetvia služieb potrebujú stále veľké množstvo vstupov v podobe energie a zdrojov. Predávaný výrobok síce nemusí byť hmotný, ale kancelárske veže, nákupné centrá, sklady, prenajaté bytové komplexy a pod., kde sa činnosť vykonáva, hmotné sú. Pre ich chod je energia nevyhnutná a rovnako tak aj pre ich výstavbu a údržbu. Ostatné odvetvia služieb, ako je napríklad doprava, využívajú zdroje a energiu vo veľkom. Navyše spotrebitelia využívajú veľké množstvo energie a zdrojov aj na dochádzanie do práce, obchodov a pod. Preto sa úplné odčlenenie energie a rastu v dôsledku presunu do sektoru služieb javí ako nepravdepodobné.

V celosvetovom meradle môžu existovať obmedzenia v rozsahu, v ktorom môžu rozvojové krajiny kopírovať štrukturálny posun, ktorý sa vyskytol vo vyspelých ekonomikách. Navyše nie je jasné, či rozvinutá časť sveta môže pokračovať v posunoch týmto smerom natrvalo.

Cleveland a ďalší tvrdia, že keď sa berie do úvahy aj nepriama spotreba energie začlenená do vyrobených produktov a služieb, tak sektory domácností a služieb nie sú oveľa menej energeticky náročné ako ostatné odvetvia hospodárstva, a že je len málo dôkazov, že posun vo výstupnom mixe, ktorý nastal v niekoľkých posledných desaťročiach výrazne znížil pomer energie ku HDP. Skôr za to zodpovedajú zmeny v zložení spotrebovanej energie. Na príklade Nemecka Cleveland a spol. ukazujú dokonca negatívny vplyv posunu k sektoru služieb na pomer energie ku HDP. V Spojených Štátoch zase

Kaufmann zistil, že zníženie nákupu energie sektorom domácností prispelo k zníženiu energetickej náročnosti HDP po roku 1999.

V medzinárodnom kontexte Stern zistil, že v skupine 64 krajín v rokoch 1973 až 1990, spôsobil vplyv posunutia 1% HDP do sektoru služieb, pri konštantnom zložení palív a rozsahu ekonomiky, v skutočnosti nárast emisií o 0,03%, zatiaľ čo rovnaký posun smerom k priemyselnej výrobe viedol ku zníženiu emisií o 0,01%. Ťažký priemysel mal teda pozitívnejší koeficient ako sa predpokladalo. Stern naznačuje, že tento výsledok odzrkadľuje koreláciu medzi sektorom služieb a spotrebiteľským sektorom, ktorý sa v modeli nenachádza.

Aj mnohé ďalšie štúdie odhalili negatívne koeficienty pre sektor služieb a pozitívne pre sektor výroby. Väčšina z nich však podľa odborníkov nie je úplne ekonometricky spoľahlivá a dôveryhodná.

### **3. Environmentálny pohľad**

V prvých 2 kapitolách našej práce sme sa venovali teórii, ktorá potvrdzuje, že medzi spotrebou energie a úrovňou ekonomickej aktivity alebo hospodárskym rastom existuje veľmi silná väzba. Aké sú však dôsledky tejto väzby pre kvalitu životného prostredia? Práve túto otázku sa pokúsime zodpovedať v tejto časti práce. Zameriame sa na bezprostredné dopady na životné prostredie, nakoľko problematiku udržateľnosti rastu sme už popísali vyššie.

#### **3.1. Energia, ekonomický rast a životné prostredie**

Spotreba energie má rozličné vplyvy. Ťažba a spracovanie energie vždy spôsobí nejaký zásah do životného prostredia, či už ide o samotné znečistenie, alebo rôzne iné geomorfologické a ekologické zásahy. Spotreba energie však zahŕňa okrem znečistenia aj ďalšie vplyvy, ako je hluk z prepravy, využívanie pôdy napríklad na výstavbu ciest a podobne. Keďže všetky ľudské aktivity vyžadujú spotrebu energie, v skutočnosti všetky ľudské zásahy do životného prostredia môžu byť klasifikované ako následky využívania energie. V tomto smere sa spotreba energie niekedy vníma ako zástupca vplyvov ľudskej činnosti na životné prostredie. Vytváranie "poriadku" v jednej časti systému vytvára ešte väčší zmätok inde. Napríklad vytváranie poriadku v hospodárskom systéme zákonite spôsobí zmätok v prírode. Zásahy do prírody sa teda nikdy nepodarí úplne eliminovať.

Faktory, ktoré znižujú celkové množstvo energie potrebnej na výrobu doláru HDP, ktoré sme uviedli v tretej kapitole, vplývajú na zníženie dopadu hospodárskeho rastu na životné prostredie rovnakým spôsobom, ako na zníženie spotreby energie. Avšak nie všetky vplyvy spotreby energie sú rovnako škodlivé pre životné prostredie a ľudské zdravie.

Presun od nižšej ku vyššej kvalite zdrojov energie, nielenže znižuje celkovú energiu potrebnú na výrobu jednotky HDP, ale tiež môže znížiť dopad na životné prostredie o zvyšnú nevyužitú energiu. Príkladom je prechod z využívania uhlia k zemnému plynu. Zemný plyn má čistejšie spaľovanie a produkuje menej oxidu uhličitého na jednotku

získanej energie ako uhlie. Avšak pri týchto úvahách treba byť opatrný. Jadrová elektrina je tiež kvalitnejšia než uhlie, minimálne čo sa týka ceny, ale jej dlhodobý dopad na životné prostredie nie je vždy nižší. Začlenenie ceny jednotlivých environmentálnych externalít do cien palív by však zvýšilo ich zdanlivú kvalitu.

Dopad využívania energie na životné prostredie sa môže s časom meniť v dôsledku technologických zmien a inovácií, ktoré znižujú emisie jednotlivých znečisťujúcich látok a aj energetické nároky výroby, ako už bolo popísané v kapitole 2.

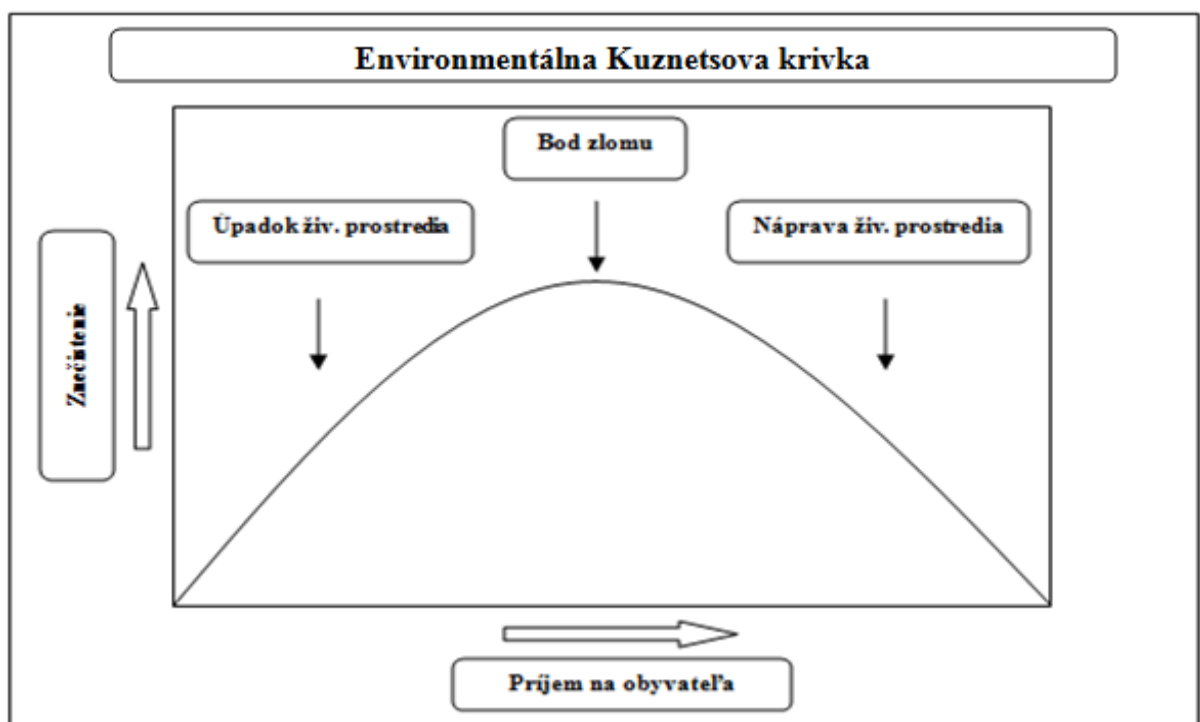
Preto aj napriek silnej väzbe medzi spotrebou energie a hospodárskym rastom existuje niekoľko možností ako znížiť dopad na životné prostredie. Samozrejme platí, že v prípade obmedzení substitúcie či technologickej zmeny je potenciálne zníženie dopadu na životné prostredie značne limitované. Inovácie, ktoré znižujú jeden druh emisií, napríklad odsírenie dymových plynov, často produkujú iný druh odpadu, ktorý musí byť zlikvidovaný - v tomto prípade možné kontaminovanie sadrovca ťažkými kovmi - rovnako ako ďalšie narušenie nevyhnutné pre vykonanie technológie - v tomto prípade ťažba vápenca.

## **3.2. Environmentálna Kuznetsova krivka**

Diskusia v sedemdesiatych rokoch 20. storočia o vzťahu medzi rastom a životným prostredím bola zameraná predovšetkým na príspevok Rímskeho klubu "Obmedzenia rastu". Všeobecnou mienkou bolo, že ekonomický rast automaticky znamená väčší dopad na životné prostredie a hlavný spôsob ako ho ochrániť, je znížiť počet obyvateľstva a spotrebu energie. Ekonómovia argumentovali, že substitúcia a inovácie by mohli znížiť dopad na životné prostredie. Avšak tieto názory boli menšinové. Všeobecný názor bol, že životné prostredie a ekonomika sú konfliktné ciele. Menej rozvinuté krajiny však nemali prostriedky na ochranu životného prostredia, nakoľko k tomu je nevyhnutný rast a rozvoj. Táto myšlienka bola obsiahnutá v empirických modeloch, ktoré vošli do povedomia ako "environmentálne Kuznetsové krivky". Podľa nich vzťah medzi jednotlivými ukazovateľmi znehodnotenia životného prostredia a príjmom na obyvateľa najlepšie vyjadruje krivka v tvare obráteného písmena U.

V počiatočnom období ekonomického rastu znehodnotenie životného prostredia rastie, po dosiahnutí určitého bodu príjmov na hlavu sa tento trend láme a ďalší rast príjmov na hlavu znamená naopak zlepšovanie kvality životného prostredia. Kuznetsové krivky sú pomenované podľa ekonóma Simona Kuznetsa, ktorý sa zaoberal predovšetkým príčinami dlhodobých zmien v rozložení príjmov jednotlivcov. Vo svojej práci upozornil tiež na existenciu inverzného vzťahu medzi ekonomickým rozvojom spoločnosti a mierou nerovnosti v rozdelení príjmov, ktorú možno charakterizovať pomocou krivky v tvare obráteného písmena U. Z jeho hypotézy vyplýva, že v počiatkoch ekonomického rastu je nerovnosť v príjmoch väčšia a potom začína klesať v pokročilých štádiách rozvoja ekonomiky. Na vytváraní environmentálneho konceptu sa však priamo nepodieľal.

V roku 1991 získala Kuznetsova krivka uplatnenie aj v oblasti environmentálnej ekonómie ako nástroj, ktorý popisuje vzťah medzi úrovňou kvality životného prostredia a výškou príjmov na hlavu.



Zdroj: [http://www.enviwiki.cz/wiki/Environmentální\\_Kuznetsova\\_křivka](http://www.enviwiki.cz/wiki/Environmentální_Kuznetsova_křivka)

**Obr. 5:** Tvar environmentálnej Kuznetsovej krivky

V počiatočnej fáze ekonomického rastu sa znečistenie životného prostredia zvyšuje. Pokiaľ je príjem na hlavu nízky, čo je väčšinou v rozvojových krajinách, možno očakávať, že environmentálne podmienky budú priaznivé. V týchto ekonomikách sa totiž vo veľkom množstve nenachádzajú znečisťujúce látky typické pre priemyselnú činnosť. S procesom



industrializácie sa zvyšuje pravdepodobnosť vzniku škôd na životnom prostredí, pretože dochádza ku zvýšeniu emisií znečisťujúcich látok a vo väčšej miere sa využívajú prírodné zdroje. Ľudia sa v tejto fáze ďaleko menej zaujímajú o čisté životné prostredie, dôraz sa kladie predovšetkým na ekonomický rozvoj, prosperitu a zamestnanosť. V tejto fáze nemá spoločnosť dostatok prostriedkov na to, aby zmiernovala negatívne dopady na životné prostredie.

Avšak potom, čo krajina dosiahne určitú úroveň príjmov na hlavu, dochádza k obratu v trende a kvalita životného prostredia sa zvyšuje so zvyšujúcou sa úrovňou príjmov a ekonomického rastu. V tejto fáze sa ľudia ďaleko viac zaujímajú o kvalitu životného prostredia, menia sa ich preferencie, viac si vážia čistú vodu a vzduch. S tým súvisí sprísnenie environmentálnych štandardov a posun k technológiám, ktoré sú šetrnejšie k životnému prostrediu. Pokiaľ vyššie uvedené skutočnosti premietneme do grafu, získame tak krivku v tvare prevráteného písmena U.

Kuznetsova krivka má veľa zástancov i odporcov. Otázkou, či tvar environmentálnej krivky zodpovedá realite, sa zaoberalo veľa vedcov a ekonómov. Vo svojich empirických analýzach sa snažili predovšetkým zodpovedať otázky:

- kedy nastáva bod zlomu (teda pri akej úrovni príjmov na hlavu sa začne kvalita životného prostredia zlepšovať)
- či skúmané ukazovatele kvality životného prostredia korešpondujú s hypotézou Environmentálnej Kuznetsovej krivky

Výsledkom týchto štúdií bolo niekoľko tvarov Environmentálnej Kuznetsovej krivky, ktoré môžeme vidieť na obrázku 2.

### **Tradičná Environmentálna Kuznetsova krivka - Conventional EKC**

- znečistenie sa začne znižovať, ako náhle príjem na hlavu dosiahne určitú úroveň
- kritici tejto krivky uvádzajú, že pokiaľ tento vzťah existoval v minulosti, ešte to neznamena, že bude platný aj v budúcnosti

### **Cesta ku dnu - Race to the Bottom**

- táto krivka popisuje situáciu, keď nebude existovať žiadny bod zlomu, znečistenie sa bude zvyšovať, až dosiahne svoju najvyššiu úroveň (v tejto fáze má krivka horizontálny tvar)

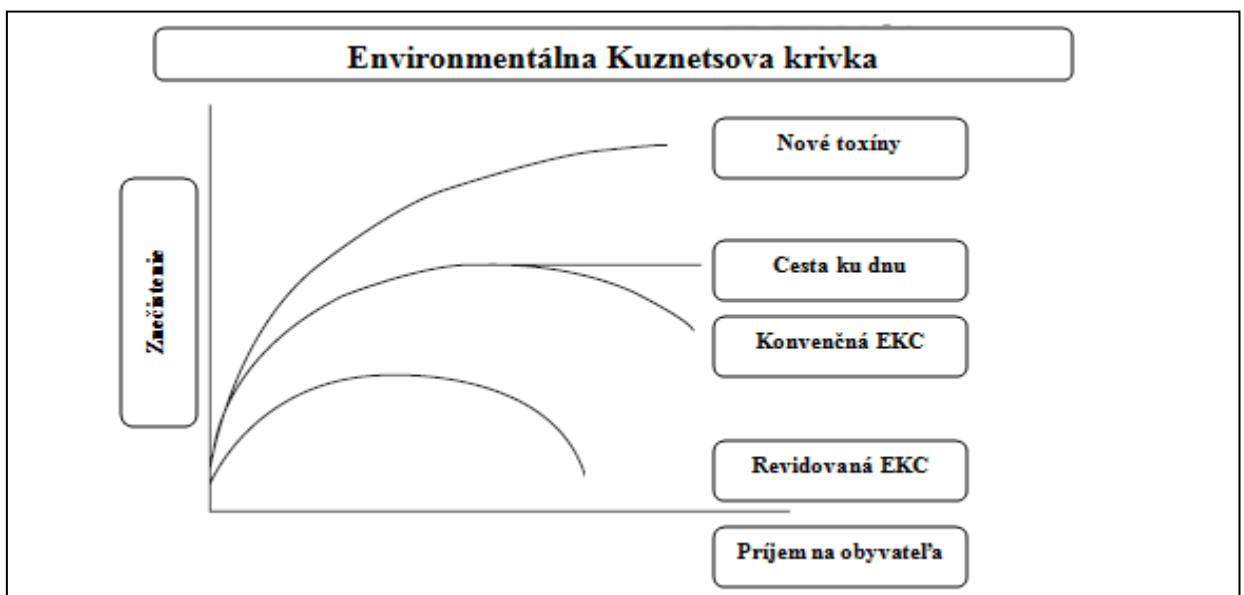
- v rozvinutých ekonomikách existujú prísne environmentálne zákony, ktoré znečisťovateľom zvyšujú náklady. To má za následok odliv kapitálu do rozvojových zemí, kde je regulácia miernejšia alebo dokonca žiadna. Táto situácia núti vlády rozvinutých ekonomík uvoľniť prísnu reguláciu, aby tak zabránili odlivu investorov, a potom úroveň znečistenia životného prostredia vzrastie.

### Nové znečisťujúce látky - New Toxics

- tento prístup hovorí, že s rastom príjmov na hlavu sa množstvo látok spôsobujúcich znečistenie síce znižuje, ale súčasne vznikajú nové látky, ktoré znečisťujú životné prostredie a doposiaľ nepodliehajú regulácii. To má za následok, že celková úroveň znečistenia rastie, aj keď sú niektoré zo zdrojov redukované.

### Revidovaná environmentálna Kuznetsova krivka - Revised EKC

- posledné empirické štúdie sa najviac prikláňajú k tejto verzii krivky, kde sa celkové znečistenie znižuje a posúva doľava.
- táto krivka naznačuje, že nižšie znečistenie sa prejavuje už v skorých fázach ekonomického rastu (ekonomický rozvoj generuje nižšie znečistenie ako pri nižšej úrovni príjmov na hlavu).



Zdroj: [http://www.enviwiki.cz/wiki/Environmentální\\_Kuznetsova\\_křivka](http://www.enviwiki.cz/wiki/Environmentální_Kuznetsova_křivka)

**Obr. 6:** Scenáre možného vývoja Environmentálnej Kuznetsovej krivky

Obrázok úzko súvisí s teoretickým pozadím popísaným v predchádzajúcej časti (3.1.).

Existuje silná väzba medzi stúpajúcou spotrebu energie, hospodárskym rast a znečistením. Avšak možné väzby medzi týmito tromi faktormi môžu byť zmiernené množstvom faktorov, ako je napríklad prechod na kvalitnejšie palivá či technologické zmeny, ktorých cieľom je zvýšenie ekonomickej výkonnosti ako aj zníženie znečistenia. Avšak vzhľadom k skepticizmu, pokiaľ ide o potenciál pre neobmedzenú substitúciu alebo technologický pokrok, môžu existovať obmedzenia, ktoré budú v budúcnosti negatívne ovplyvňovať tieto väzby. [23]

## 4. Ekonometrický základ

V tejto kapitole si rozoberieme základnú ekonometrickú teóriu, ktorú budeme potrebovať neskôr, pri empirickom testovaní pôsobenia medzi energiou a rastom. Od najjednoduchších pojmov ako sú stochastický proces, časový rad či stacionarita časového radu sa dostaneme až k základným princípom kointegrácie a konštrukcii modelu s korekčným členom. Na základe týchto poznatkov sformulujeme neskôr základnú Grangerovu metodológiu, ktorá je ťažiskom empirickej časti našej práce.

### 4.1. Stochastický proces

Nech  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  je ľubovoľný pravdepodobnostný priestor a  $T \subset \mathbb{R}$  je indexová množina. Nech  $X(t)$  je pre každé  $t \in T$  náhodná veličina definovaná na pravdepodobnostnom priestore  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ . Potom množinu  $X = \{X(t); t \in T\}$  náhodných premenných  $X(t)$  nazývame stochastický (náhodný) proces.

Náhodný proces  $X = \{X(t); t \in T\}$  možno prepísať do tvaru funkcie dvoch premenných: a teda:  $X = \{X(t, \omega); t \in T, \omega \in \Omega\}$ , pričom pre každé fixné  $t \in T$  je funkcia  $X(t, \omega)$  náhodná premenná na  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ .

Ak  $T$  obsahuje len konečne alebo spočítateľne veľa hodnôt, tak hovoríme o stochastickom procese s diskretným časom (teda  $T \subset \mathbb{Z}$ , alebo  $T = \mathbb{Z}$ ), ktorý zvykne byť nazývaný aj ako časový rad a označujeme ho  $\{x_t\}_{t \in T}$ . Pre každé fixné  $\omega \in \Omega$  sa funkcia  $X(t, \omega)$  parametra  $t$  nazýva trajektória alebo realizácia náhodného procesu.

Keďže stochastický proces je funkcia, ktorá priradzuje času náhodnú premennú, tak potom aj jej základné štatistické charakteristiky sú funkciou času a platí:

- Stredná hodnota:  $E(x_t) = \mu_t; t \in T$  (4.1)

- Disperzia:  $D(x_t) = E[x_t - E(x_t)]^2 = \sigma_t^2; t \in T$  (4.2)

- Kovariancia:  $Cov(x_t, x_s) = E[(x_t - E(x_t))(x_s - E(x_s))]; t \in T$  (4.3)

- Korelácia:  $Corr(x_t, x_s) = \frac{cov(x_t, x_s)}{\sqrt{D(x_t)}\sqrt{D(x_s)}}$  (4.4)

## 4.2. Stacionarita

Hovoríme, že stochastický proces je stacionárny, ak jeho rozdelenie pravdepodobností je v čase nemenné. Navyše rozlišujeme medzi slabou a silnou(striktnou) stacionaritou. Platí, že stochastický proces  $X(t)$  nazývame:

- Silne stacionárny, ak pre všetky  $k, x_1, x_2, \dots, x_k, t_1, t_2, \dots, t_k \in T$ , a všetky časové posuny  $h \in Z$  platí:

$$\begin{aligned} P(X_{t_1} \leq x_1, X_{t_2} \leq x_2, \dots, X_{t_k} \leq x_k) = \\ P(X_{t_1+h} \leq x_1, X_{t_2+h} \leq x_2, \dots, X_{t_k+h} \leq x_k) \end{aligned} \quad (4.5)$$

t.j. posun na časovej osi nemení rozdelenie pravdepodobnosti, teda hovoríme aj, že pravdepodobnostné správanie príslušného stochastického procesu je invariantné voči posunom v čase.

- Slabo stacionárny, ak pre všetky  $s, t \in T, t \neq s$  a všetky časové posuny  $h \in Z$  platí:

$$E(x_t) = E(x_{t+h}) = \mu < \infty \quad (4.6)$$

$$D(x_t) = D(x_{t+h}) = \sigma^2 < \infty \quad (4.7)$$

$$Cov(x_t, x_s) = Cov(x_{t+h}, x_{s+h}) = \gamma_h < \infty \quad (4.8)$$

→ čiže stredná hodnota a disperzia sú v čase konštantné a kovariance ľubovoľných dvoch pozorovaní časového radu závisia len na dĺžke časového posunu.

V praxi sa častejšie vyžaduje splnenie práve slabšej definície, a to konštantnosti prvých dvoch momentov. Táto podmienka je totiž menej obmedzujúca než je tomu v prípade silnej stacionarity, ktorá vyžaduje konštantnosť v čase pre všetky existujúce momenty náhodného procesu. Podobne aj my budeme v našej práci pod pojmom stacionárny proces uvažovať slabo stacionárny proces.

### 4.3. Biely šum

Jedným z najznámejších príkladov stacionárneho procesu je biely šum (white noise). Označujeme ho  $\varepsilon_t \sim WN(0, \sigma_\varepsilon^2)$  a jedná sa o stochastický proces s nasledovnými vlastnosťami:

$$E(\varepsilon_t) = 0 \quad (4.9)$$

$$E(\varepsilon_t, \varepsilon_{t+h}) = \begin{cases} \sigma_\varepsilon^2 & h = 0 \\ 0 & h \neq 0 \end{cases} \quad (4.10)$$

Pre stacionárny časový rad  $\{x_t\}_{t \in T}$  s konštantnou strednou hodnotou  $E(x_t) = \mu$  a disperziou  $D(x_t) = \sigma^2$  definujeme autokovariančnú funkciu nasledovne:

$$\gamma_h = Cov(x_t, x_{t+h}) = E[(x_t - \mu)(x_{t+h} - \mu)] \quad (4.11)$$

Taktiež zadefinujeme autokorelačnú funkciu (ACF), ktorá býva zvyčajne využitá ako nástroj pre identifikáciu vhodného modelu:

$$\rho_h = \frac{\gamma_h}{\gamma_0} \quad (4.12)$$

Zo stacionarity nám vyplýva, že  $\gamma_h = \gamma_{-h}$  ako aj  $\rho_h = \rho_{-h}$ , a teda autokovariančná aj autokorelačná funkcia sú párne. Z tohto dôvodu nám na poznanie korelačnej štruktúry stacionárneho časového radu stačí poznať hodnoty autokorelačnej funkcie len pre kladné  $h$ .

### 4.4. Nestacionárne časové rady

Časový rad označujeme ako nestacionárny, ak nespĺňa podmienky ani slabej stacionarity. Nestacionarita môže viesť k skresleným a zavádzajúcim výsledkom. Spôsobuje problém falošnej regresie, čo znamená, že štandardné testy indikujú významné vzťahy medzi jednotlivými časovými radmi, avšak tie môžu byť iba zdanlivé. [11] Predstavme si, že máme 2 nestacionárne rastúce časové rady. Môže sa nám stať, že sa budú javiť ako korelované, aj napriek tomu, že rastú z rozdielnych príčin.

Príkladom jednoduchého nestacionárneho procesu je proces v tvare:  $X_t = \mu_t + \varepsilon_t$ , kde stredná hodnota  $\mu_t$  je funkcia závislá od času  $t$  a  $\varepsilon_t$  je biely šum. V prípade, že  $\mu_t$  je lineárna funkcia  $t$ , tak hovoríme, že proces  $X_t$  má lineárny trend a prvým diferencovaním ho možno stacionarizovať. Podobne, ak je  $\mu_t$  kvadratická funkcia, tak proces  $X_t$  bude mať kvadratický trend. [16]

V praxi sme však väčšinou nútení pracovať najmä s nestacionárnymi časovými radmi. Preto je potrebné previesť nestacionárny časový rad na stacionárny. V nasledujúcej časti sa preto budeme zaoberať typom nestacionárnych procesov, ktoré možno diferencovaním upraviť na stacionárne procesy a to tzv. integrovanými procesmi.

## 4.5. Integrované procesy

Nestacionárne rady rozlišujeme podľa počtu diferencií potrebných pre získanie stacionarity. Časový rad je teda integrovaný rádu  $d$  v tom prípade, ak síce pôvodne nespĺňa podmienky stacionarity, ale pomocou  $d$ -násobného diferencovania ho môžeme previesť na stacionárny rad. Integrovaný rad stupňa  $d$  označujeme  $x_t \sim I(d)$ . Stacionárny stochastický proces bude teda  $I(0)$ . Je ním napríklad biely šum:  $\varepsilon_t \sim I(0)$

Jednoduchým príkladom integrovaného procesu rádu 1 je náhodná prechádzka (random walk). Ide o proces v tvare:

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.13)$$

kde  $\varepsilon_t$  predstavuje biely šum. Teda hodnota  $x_t$  závisí od predchádzajúcej hodnoty  $x_{t-1}$  a zmeny  $\varepsilon_t$ , ktorá je náhodná a závislá od času, no s pribúdajúcim časom sa nevytráca. Teda diferencovanie integrovaného procesu  $x_t$  rádu 1, ktorý obsahuje práve 1 jednotkový koreň, nám zaistí jeho stacionaritu:

$$\begin{aligned} \Delta x_t &= x_t - x_{t-1} = (1 - L)x_t = \varepsilon_t \\ &\Rightarrow \Delta x_t \sim I(0) \end{aligned} \quad (4.14)$$

kde  $L$  nazývame operátor posunu alebo aj operátor oneskorenia a používa sa pre zjednodušenie zápisov.

Pre operátor posunu  $L$  platia nasledovné vzťahy:

$$\begin{aligned}x_{t-1} &= Lx_t \\x_{t-2} &= Lx_{t-1} = L^2x_t \\&\vdots \\x_{t-s} &= L^s x_t\end{aligned}$$

Ak máme integrovaný proces rádu 2, musíme pre získanie stacionarity diferencovať rad až dvakrát:

$$\begin{aligned}(1 - L)^2 x_t &= (1 - 2L + L^2)x_t = x_t - 2Lx_t + L^2x_t = x_t - 2x_{t-1} + x_{t-2} \\&= (x_t - x_{t-1}) - (x_{t-1} - x_{t-2}) = \Delta x_t - \Delta x_{t-1} = \Delta^2 x_t = \varepsilon_t\end{aligned}$$

$$\Rightarrow x_t \sim I(2), \Delta^2 x_t \sim I(0)$$

Proces náhodnej prechádzky sa často uvažuje aj s konštantou, a potom má nasledovný tvar:

$$x_t = \beta_0 + x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4.15)$$

Tento tvar nazývame aj proces náhodnej prechádzky s driftom – ide o tzv. stochastický trend. Proces vieme jednoduchou diferenciou pretransformovať na stacionárny:

$$\Delta x_t = x_t - x_{t-1} = (1 - L)x_t = \beta_0 + \varepsilon_t \quad (4.16)$$

V praxi sa najčastejšie stretávame s integrovanými procesmi rádu 1. Procesy rádu 2 sa vyskytujú vzácnejšie (napríklad v niektorých výrazných inflačných obdobiach) a s integráciou vyššieho rádu ako 2 sa takmer vôbec nestretávame.



## 4.6. Unit Root Testy – Testy jednotkového koreňa

Testy jednotkového koreňa nám slúžia na otestovanie stacionarity časového radu. V tejto časti popíšeme najpoužívanejšie typy týchto testov. Podrobnosti môže čitateľ nájsť v literatúre [25].

Patria sem:

- Dickey-Fuller test (DF)
- Rozšírený (Augmented) Dickey-Fuller test (ADF)
- Phillips-Perron test (PP)
- Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test (KPSS)

### 4.6.1. Dickey-Fuller test (DF)

Uvažujme jednoduchý AR(1) model:

$$y_t = \phi y_{t-1} + \varepsilon_t, \text{ kde } \varepsilon_t \sim WN(0, \sigma^2) \quad (4.17)$$

Testovacie hypotézy majú tvar:

$$\mathbf{H}_0: \phi = 1 \text{ (jednotkový koreň v } \phi(z) = 0) \Rightarrow y_t \sim I(1) \quad \text{vs.} \quad \mathbf{H}_1: |\phi| < 1 \Rightarrow y_t \sim I(0)$$

A testovacia štatistika je:

$$t_{\phi=1} = \frac{\hat{\phi}-1}{SE(\hat{\phi})} \quad (4.18)$$

kde  $\hat{\phi}$  je odhad parametra metódou najmenších štvorcov a  $SE(\hat{\phi})$  je štandardná odchýlka odhadovaného parametra.

Po odhade parametra  $\phi$  a výpočte Studentovej štatistiky  $t_{\phi}$  porovnávame túto hodnotu s tabelovanou hodnotou  $\tau$ . Pri nezamietnutí nulovej hypotézy o nestacionarite opakujeme proces testovania s modelmi vyšších diferencií, až kým nezamietneme nulovú hypotézu. Podľa stupňa diferenciácie premennej pri zamietnutí nulovej hypotézy potom určíme stupeň integrácie časového radu.

#### 4.6.2. Augmented Dickey-Fuller test (ADF)

Test jednotkového koreňa, ktorý sme popísali vyššie sa využíva pre časové rady  $y_t$ , ktoré možno charakterizovať jednoduchým  $AR(1)$  modelom s bielym šumom. Avšak veľa finančných časových radov má komplikovanejšiu dynamickú štruktúru, ako je obsiahnutá v modeli  $AR(1)$ . Said a Dickey (1984) rozšírili základný autoregresný test pre použitie aj na všeobecnejšie  $ARMA(p, q)$  modely. Tento rozšírený test je označovaný ako ADF test a je založený na odhade nasledovnej testovacej regresie:

$$y_t = \beta' D_t + \phi y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \psi_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4.22)$$

kde  $D_t$  je vektor deterministických členov (konštanta, trend, atď.),  $\Delta y_{t-j}$  slúži na odhad  $ARMA$  štruktúry chýb a počet lagov  $p$  zabezpečuje, aby chyby neboli sériovo korelované. Nulová hypotéza predpokladá, že  $\phi = 1$ , čo znamená, že časový rad  $y_t \sim I(1)$ . ADF štatistiky sú založené na odhade najmenších štvorcov rovnice (4.19) a sú dané ako:

$$ADF_t = t_{\phi=1} = \frac{\hat{\phi}-1}{SE(\hat{\phi})} \quad (4.20)$$

$$ADF_n = \frac{T(\hat{\phi}-1)}{1-\hat{\psi}_1-\dots-\hat{\psi}_p} \quad (4.21)$$

Alternatívna formulácia testovacej regresie ADF je:

$$\Delta y_t = \beta' D_t + \pi y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \psi_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4.22)$$

kde  $\pi = \phi - 1$ . Nulová hypotéza potom predpokladá, že  $\Delta y_t$  je  $I(0)$ , čiže  $\pi = 0$ . ADF t-štatistiky majú potom tvar:

$$ADF_t = t_{\pi=0} = \frac{\hat{\pi}}{SE(\hat{\pi})} \quad (4.23)$$

$$ADF_n = \frac{T\hat{\pi}}{1-\hat{\psi}_1-\dots-\hat{\psi}_p} \quad (4.24)$$

## Výber optimálneho počtu lagov

Dôležitou časťou pri praktickej implementácii ADF testu je správny výber počtu lagov  $p$ . Ak je totiž  $p$  príliš malé, neodstránená sériová korelácia v chybách spôsobí skreslenie výsledkov testu. Naopak príliš veľká hodnota  $p$  znižuje silu testu. Ng a Perron (1995) navrhli procedúru optimálneho výberu počtu lagov, ktorá zachováva stabilný rozmer testu a vedie k minimálnej strate na sile. Prvý krok spočíva v stanovení hornej hranice pre  $p$ , ozn.  $p_{max}$ . Následne odhadneme testovaciu ADF regresiu pre  $p = p_{max}$ . Ak je absolútna hodnota t-štatistiky testu signifikancie poslednej lagovanej diferencie väčšia ako 1,6, potom zvolíme  $p = p_{max}$  a vykonáme test jednotkového koreňa. V opačnom prípade znížime počet lagov o 1 a proces opakujeme. Užitočné pravidlo pre voľbu  $p_{max}$  a s počtom pozorovaní  $T$ , navrhol Schwert (1989):

$$p_{max} = \left\lceil 12 * \left(\frac{T}{100}\right)^{\frac{1}{4}} \right\rceil \quad (4.25)$$

Pri výbere optimálneho počtu lagov  $p$  do rovníc (1) alebo (2) sa pri práci v softwari Eviews najviac používajú Akaike, Schwarz, či Hannan-Quinn informačné kritériá.

### 4.6.3. Phillips-Perron test (PP)

Phillips a Perron (1988) vyvinuli niekoľko testov jednotkových koreňov, ktoré sa v praxi stali obľúbené pri analýze finančných časových radov. PP test sa líši od ADF testu najmä v rozdielnom prístupe k odstráneniu sériovej korelácie a heteroskedasticity v šokoch. Kým ADF testy používajú k odhadu ARMA štruktúry parametrickú autoregresiu, PP testy ignorujú akúkoľvek sériovú koreláciu v testovanej regresii. Tá ma pre PP test nasledovný tvar:

$$\Delta y_t = \beta' D_t + \pi y_{t-1} + u_t \quad (4.26)$$

kde  $u_t \sim I(0)$  a môže obsahovať heteroskedasticitu. PP testy korigujú akúkoľvek sériovú koreláciu a heteroskedasticitu v chybách  $u_t$  v testovanej regresii priamo zmenou testovacích štatistík  $t_{\pi=0}$  a  $T\hat{\pi}$ . Tieto upravené štatistiky označujeme  $Z_t$  a  $Z_{\pi}$  a sú dané vzťahmi (4.27) a (4.28).

$$Z_t = \left(\frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\lambda}^2}\right)^{1/2} \cdot t_{\pi=0} - \frac{1}{2} \left(\frac{\hat{\lambda}^2 - \hat{\sigma}^2}{\hat{\lambda}^2}\right) \left(\frac{T \cdot SE(\hat{\pi})}{\hat{\sigma}^2}\right) \quad (4.27)$$

$$Z_\pi = T\hat{\pi} - \frac{1}{2} \left(\frac{T^2 \cdot SE(\hat{\pi})}{\hat{\sigma}^2}\right) (\hat{\lambda}^2 - \hat{\sigma}^2) \quad (4.28)$$

Výrazy  $\sigma^2$  a  $\lambda^2$  sú konzistentné odhady parametrov variancie:

$$\sigma^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T E[u_t^2] \quad (4.29)$$

$$\lambda^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{t=1}^T E \left[ \frac{1}{T} S_T^2 \right] \quad (4.30)$$

kde  $S_T = \sum_{t=1}^T u_t$ . Nulová hypotéza má tvar:  $\mathbf{H}_0: \pi = 0$ . Štatistiky  $Z_t$  a  $Z_\pi$  majú rovnaké asymptotické rozdelenia ako t-štatistika pri ADF teste. PP je oproti ADF testu robustnejší pre heteroskedasticitu v chybovom člene  $u_t$ . Ďalšou výhodou PP testu je, že používateľ nemusí v testovanej regresii špecifikovať optimálnu dĺžku lagov.

#### 4.6.4. Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test (KPSS)

Ďalším používaným testom na prítomnosť jednotkového koreňa je KPSS test, ktorého autormi sú páni Kwiatkowski, Phillips, Schmidt a Shin (1992). Na rozdiel od ADF a PP testov nulová hypotéza predpokladá stacionaritu časového radu, a teda  $y_t \sim I(0)$ .

$\mathbf{H}_0$ : Časový rad je stacionárny vs.  $\mathbf{H}_1$ : Časový rad nie je stacionárny

Regresia tohto testu má tvar:

$$\begin{aligned} y_t &= \beta' D_t + \mu_t + u_t \\ \mu_t &= \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim WN(0, \sigma_\varepsilon^2) \end{aligned} \quad (4.31)$$

kde  $D_t$  obsahuje deterministické členy (buď konštantu alebo konštantu aj s časovým trendom),  $u_t \sim I(0)$  a môže obsahovať heteroskedasticitu a  $\mu_t$  je proces náhodnej

prechádzky s varianciou  $\sigma_\varepsilon^2$ . Nulová hypotéza stacionarity a alternatívna hypotéza nestacionarity časového radu je reprezentovaná ako:

$$H_0: \sigma_\varepsilon^2 = 0 \quad \text{vs.} \quad H_1: \sigma_\varepsilon^2 > 0$$

Testovacia LM (Lagrange multiplier) štatistika má tvar:

$$LM = \frac{1}{T^2} \frac{\sum_{t=1}^T \hat{S}_t^2}{\hat{\lambda}^2} \quad (4.32)$$

kde  $\hat{S}_t = \sum_{j=1}^t \hat{u}_j$  je kumulatívna reziduálna funkcia,  $T$  je počet pozorovaní a  $\hat{\lambda}^2$  je konzistentný odhad dlhodobej variancie chýb.

## 4.7. Kointegrácia

Pri tvorbe regresných modelov je potrebné pracovať so stacionárnymi časovými radmi. V opačnom prípade môžeme ľahko naraziť na problém falošnej regresie (spurious regression problem), kedy dostaneme zdanlivo dobré výsledky:

- relatívne vysoké  $R^2$
- vysoké  $t$  – štatistiky

Avšak na druhej strane sú reziduá takejto rovnice silne autokorelované. Často sú nestacionárne, pričom kontrola stacionarity je komplikovanejšia ako pri časových radoch. Preto pred regresiou časových radov musí byť prehodnotená ich stacionarita.

Pri viacnásobnom diferencovaní dosiahneme síce stacionaritu, avšak strácame informáciu o dlhodobých vzťahoch medzi časovými radmi. Existencia kointegrácie znamená, že medzi premennými existujú stabilné dlhodobé vzťahy. Tieto môžu byť väčšinou odvodené z ekonomickej teórie ako rovnovážny stav. Inými slovami, premenné  $x_t$  a  $y_t$  majú spoločný stochastický trend.[10,21]

Ak sú 2 alebo viac časových radov jednotlivo integrované, ale ich lineárnou kombináciou je možné získať nižší stupeň integrácie, tak tieto časové rady nazývame kointegrované. Pre lineárne kombinácie časových radov platia nasledovné pravidlá (4.33), (4.34) a (4.35).

$$\text{Ak } x_t \sim I(d), \text{ potom } \{a + bx_t\} \sim I(d), \text{ kde } a, b \text{ sú konštanty, } b \neq 0 \quad (4.33)$$

$$\text{Ak } x_t \sim I(d_1), y_t \sim I(d_2), \text{ pričom } d_1 < d_2, \text{ potom } \{ax_t + by_t\} \sim I(d_2), a, b \neq 0 \quad (4.34)$$

$$\text{Ak } x_t \sim I(d) \text{ a } y_t \sim I(d), \text{ potom } \{ax_t + by_t\} \sim I(d^*), \text{ kde } d^* \leq d, a, b \neq 0 \quad (4.35)$$

Všeobecnú definíciu kointegračného procesu sformulovali Engle a Granger (1987):

Nech  $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})^T$  je  $n$ -rozmerný vektor integrovaných procesov  $I(d)$ . Ak existuje taký vektor  $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ , že lineárna kombinácia  $\beta x_t = \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_n x_{nt}$  je integrovaná rádu  $d - b$ , pričom  $b > 0$ . Potom tieto procesy nazývame kointegrované a označujeme ich  $CI(d, b)$ .

My sa v našej práci budeme zaoberať najmä prípadom  $d = b$ , kedy je lineárna kombinácia stacionárna a môžeme ju chápať ako dlhodobý rovnovážny stav. Vektor  $\beta$  sa zvykne označovať aj ako kointegračný vektor a nie je jednoznačne určený. Pre  $\forall \lambda \neq 0$  je totiž  $\lambda\beta = (\lambda\beta_1, \lambda\beta_2, \dots, \lambda\beta_n)$  tiež kointegračný vektor. Táto vlastnosť sa zvykne využívať pri normalizovaní kointegračného vektora vzhľadom na niektorú premennú vektora  $x_t$ . Teda pri normalizácii vzhľadom na  $i$ -tu zložku vektora  $x_t$ , zvolíme  $\lambda = 1/\beta_i$ .

Pre  $n$ -rozmerný vektor  $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})^T$  môže existovať až  $n - 1$  lineárne nezávislých kointegračných vektorov. Ich počet nám určuje kointegračnú hodnotu vektora  $x_t$ . Kointegráciu využívame len v prípade, že všetky premenné sú rovnakého stupňa integrácie. Neznamená to však, že všetky premenné rovnakého stupňa integrácie sú automaticky aj kointegrované. [19]

V praxi sa možno najčastejšie stretnúť s prípadom  $CI(1,1)$ , keďže väčšina časových radov je  $I(1)$ . My sa v našej empirickej časti budeme taktiež zaoberať práve týmto prípadom.

### 4.7.1. Engle - Granger test

Najznámejším a najjednoduchším testom prítomnosti kointegrácie medzi dvomi premennými je Engleova-Grangerova testovacia procedúra. Test prebieha nasledovne:

- V prvom kroku sa pomocou metodológie testovania jednotkových koreňov zistí rád integrácie obidvoch premenných. Môžu nastať tri rozličné prípady:
  1. Obe premenné sú stacionárne, a teda testovacia procedúra končí.
  2. Stupeň integrácie dvoch premenných je rozdielny, a teda premenné nie sú kointegrované.
  3. Stupeň integrácie oboch premenných je rovnaký (mimo stacionarity), a teda kointegračný test pokračuje druhým krokom.
- V druhom kroku pomocou bežnej metódy najmenších štvorcov (OLS metódy), odhadneme rovnicu dlhodobej rovnováhy, ktorá sa označuje aj rovnica kointegrácie:

$$y_t = \beta_0 + \gamma_0 x_t + \varepsilon_t \quad (4.36)$$

- V treťom kroku overujeme stacionaritu reziduí z kointegračnej rovnice. Tá je totiž dôležitou podmienkou pre kointegráciu radov  $y_t$  a  $x_t$ . Preto použijeme testovanie jednotkových koreňov, napríklad prostredníctvom rozšíreného Dickeyovho-Fullerovho testu, pre časový rad reziduí  $e_t$  získaných z odhadu kointegračnej rovnice. Testovaný model má tvar:

$$\Delta e_t = \delta e_{t-1} + \sum_{j=2}^p \delta_j \Delta e_{t-j+1} + v_t \quad (4.37)$$

Ak je testovacia štatistika  $t_\delta$  väčšia ako tabelovaná hodnota, tak prijímame nulovú hypotézu o nestacionarite radu reziduí, čo zodpovedá akceptácii  $\delta = 0$ . Znamená to, že premenné  $y_t$  a  $x_t$  nie sú kointegrované. Zamietnutie  $H_0$  naopak značí kointegráciu skúmaných premenných.

Kointegrácia medzi premennými nám indikuje existenciu dlhodobého vzťahu. Z krátkodobého hľadiska však môžu byť aj v nerovnováhe. Dynamika krátkodobých nerovnovážnych vzťahov medzi premennými sa dá vyjadriť pomocou modelu s korekčným členom. Takýto model spája krátkodobé a dlhodobé správanie premenných a jeho špecifikáciu prinesieme v ďalšej časti.

Hlavným nedostatkom Engleovej a Grangerovej testovacej procedúry je, že ju nie je možné aplikovať v prípade použitia viacerých premenných a predpokladu viacerých kointegračných vzťahov. Tieto problémy rieši Johansenova testovacia procedúra, ktorá pracuje s viacerými radmi súčasne.

#### 4.7.2. Johansenov test

Uvažujme nasledovný vektorovo autoregresný (VAR):

$$\begin{aligned} y_t &= \sum_{j=1}^p A_j y_{t-j} + \varepsilon_t = \\ &= A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (4.38)$$

kde  $y_t$  predstavuje  $k$ -rozmerný vektor  $I(1)$  premenných a  $\varepsilon_t$  je chybový člen. VAR model možno potom prepísať nasledovne:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \Gamma_j y_{t-j+1} + \varepsilon_t \quad (4.39)$$

kde:

$$\begin{aligned} \Pi &= -(I - A_1 - A_2 - \dots - A_p) = -\left(I - \sum_{i=1}^p A_i\right) = \sum_{i=1}^p A_i - I \\ \Gamma_j &= -\sum_{i=j+1}^p A_i \end{aligned}$$

pre  $j = 1, 2, \dots, p - 1$ . Pretože  $y_{t-j}$  sú všetko rady rovnako integrované rádu jedna, potom musia byť premenné  $\Delta y_{t-j}$  stacionárne. Ak existujú medzi nimi kointegračné vzťahy usporiadané v matici  $\Pi$ , tak aj  $\Pi y_{t-1}$  je stacionárne a model môže byť konzistentne odhadnutý.



Matica  $\Pi$  sa nazýva matica dlhodobých vplyvov a matica  $\Gamma_j$  matica krátkodobých vplyvov. Johansen zhrnul nasledovné závery:

- Ak je hodnosť matice  $\Pi$  rovná nule, potom všetky prvky matice sú nulové. Mechanizmus s korekčným členom  $\Pi y_{t-1}$  neexistuje a rovnako tak ani dlhodobý vzťah. Premenné nie sú kointegrované a VAR model by mal byť formulovaný pomocou diferencií.
- Ak je hodnosť matice  $\Pi$  rovná  $m$ , všetky jej riadky sú lineárne nezávislé a vektorový proces  $y_t$  je stacionárny, lebo všetky premenné sú integrované rádu 0. VAR model by mal byť formulovaný v pôvodných úrovniach premenných.
- Ak je hodnosť matice  $\Pi$  rovná  $r < m$ , potom jej riadky nie sú lineárne nezávislé a maticu  $\Pi$  môžeme zapísať ako  $\Pi = DC^T$ , teda ako súčin kointegrujúcej matice  $C$ , ktorej stĺpce zodpovedajú vektorom kointegrácie a matice prispôsobenia  $D$ . V prípade, keď  $y_t \sim I(1)$ , tak  $C^T y_t \sim I(0)$  a hodnosť matice  $\Pi$  je určená počtom kointegrujúcich vektorov. VAR model by mal byť formulovaný ako vektorový model s korekčným členom.

### **Postup Johansenovej procedúry určenia počtu kointegrujúcich vektorov:**

- Pomocou testov jednotkového koreňa určíme stupeň integrácie všetkých premenných.
- Pomocou informačných kritérií určíme rád  $p$  vektorovo - autoregresného modelu formulovaného v pôvodných úrovniach.
- Odhadneme model, kde  $\Delta y_t$  je vysvetlené pomocou  $\Delta y_{t-1}, \Delta y_{t-2}, \dots, \Delta y_{t-p+1}$ . Na základe Johansenových záverov o hodnosti matice  $\Pi$  vieme, že hodnosť kointegrujúcej matice je rovná počtu kointegrujúcich vektorov. Úloha zistenia hodnosti kointegrujúcej matice  $r$  sa podľa algebraickej teórie zredukuje na test významnosti charakteristických koreňov. Johansenova procedúra využíva dve základné testovacie štatistiky:

- **Johansenova stopovacia (Trace) štatistika**

$$H_0: r = r_0 \quad \text{vs.} \quad H_1: r > r_0$$

kde hodnota  $r$  z nulovej hypotézy je hodnosťou kointegrujúcej matice. LR (Likelihood Ratio) štatistika, ktorá sa pre tento test označuje aj stopovacia štatistika a má nasledovný tvar:

$$LR_{trace}(r_0) = -T \sum_{i=r_0+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (4.40)$$

Ak hodnosť matice  $\Pi$  je  $r_0$ , potom sa vlastné hodnoty  $\hat{\lambda}_{r_0+1}, \dots, \hat{\lambda}_n$  nachádzajú blízko 0 a v tom prípade bude hodnota testovacej štatistiky  $LR_{trace}(r_0)$  nízka. Ak je naopak hodnosť matice  $\Pi > r_0$ , potom sa vlastné hodnoty  $\hat{\lambda}_{r_0+1}, \dots, \hat{\lambda}_n$  nenachádzajú blízko 0, i keď sú  $< 1$  a v tom prípade bude hodnota  $LR_{trace}(r_0)$  vysoká. Prvotné testovanie má tvar:

$$H_0: r = 0 \quad \text{vs.} \quad H_1: r > 0$$

Ak nezamietame  $H_0$ , tak neexistuje žiaden kointegračný vektor medzi  $n$  premennými v  $y_t$ . Naopak, ak  $H_0$  zamietame, potom existuje aspoň jeden kointegračný vektor medzi  $n$  premennými v  $y_t$  a pokračujeme v testovacom procese ďalším krokom:

$$H_0: r = 1 \quad \text{vs.} \quad H_1: r > 1$$

Ak nezamietame  $H_0$ , tak existuje jeden kointegračný vektor medzi  $n$  premennými v  $y_t$ . Avšak, ak  $H_0$  zamietneme, potom existujú aspoň dva kointegračné vektory. Stopovacia procedúra takto pokračuje, až kým nezamietneme nulovú hypotézu.

- **Johansenova štatistika maximálnej vlastnej hodnoty**

$$H_0: r = r_0 \quad \text{vs.} \quad H_1: r = r_0 + 1$$

LR štatistika maximálnej vlastnej hodnoty má tvar:

$$LR_{max}(r_0) = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r_0} + 1) \quad (4.41)$$

Narozdiel od stopovacej procedúry sa pri štatistike maximálnej vlastnej hodnoty zohľadňuje aj výška vlastných hodnôt, pričom sa do  $H_0$  vyberá tá najvyššia. Ak zamietame  $H_0: r = 0$ , tak potom v nasledujúcom kroku už testujeme hypotézu  $H_0: r = 1$  oproti  $H_1: r = 2$ , kde už použijeme druhú najvyššiu vlastnú hodnotu. Týmto spôsobom pokračujeme, až kým nezamietame  $H_0$ .

S tretím krokom Johansenovej procedúry je spojená ešte jedna komplikácia. Tvar odhadovaného modelu nám ovplyvňuje aj rozhodnutie o prítomnosti konkrétnych deterministických zložiek v modeli. Ich výber je dôležitý preto, lebo ovplyvňuje rozdelenie relevantných štatistík používaných pri kointegračnej analýze. Ak uvažujeme všeobecný vektorový model s korekčným členom (VECM), kde  $\Pi = DC^T$  v tvare:

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \Pi y_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \Gamma_j y_{t-j} + Q x_t + \varepsilon_t \quad (4.42)$$

tak existuje päť rôznych možných špecifikácií deterministických zložiek:

1.  $\alpha_0 = 0, \alpha_1 = 0$  - čo znamená nulový priemer pre stacionárnu časť VECM a nenulový priemer pre zložky, ktoré sú integrované.
2.  $\alpha_0$  je ohraničené,  $\alpha_1 = 0$  - z čoho vyplýva, že konštanty patria do kointegrujúceho priestoru a teda nenulový priemer má stacionárnu časť aj integrované komponenty.
3.  $\alpha_0$  je neohraničené,  $\alpha_1 = 0$  - čo generuje nulový priemer pre stacionárnu časť VECM a lineárny trend pre zložky, ktoré sú integrované.
4.  $\alpha_0$  je neohraničené,  $\alpha_1$  je ohraničené - čo znamená, že obe zložky uvažovaného modelu obsahujú lineárny trend.
5.  $\alpha_0$  je neohraničené,  $\alpha_1$  je neohraničené - čo predstavuje lineárny trend stacionárnej časti modelu a kvadratický trend integrovanej časti. [18]

## 4.8. Model s korekčným členom

Nech model má nasledovný tvar:

$$y_t = \beta_0 + \gamma_0 x_t + \gamma_1 x_{t-1} + \beta_1 y_{t-1} + u_t \quad (4.43)$$

kde náhodná zložka  $u$  má normálne rozdelenie  $u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$  a platí pre ňu, že  $|\beta_1| < 1$ . Sériou nasledovných matematických operácií získavame:

$$\begin{aligned} y_t &= \beta_0 + \gamma_0 x_t + \gamma_1 x_{t-1} + \beta_1 y_{t-1} + u_t \\ y_t - y_{t-1} + y_{t-1} &= \beta_0 + \gamma_0 x_t - \gamma_0 x_{t-1} + \gamma_0 x_{t-1} + \gamma_1 x_{t-1} + \beta_1 y_{t-1} + u_t \\ \Delta y_t + y_{t-1} &= \beta_0 + \gamma_0 \Delta x_t + \gamma_0 x_{t-1} + \gamma_1 x_{t-1} + \beta_1 y_{t-1} + u_t \\ \Delta y_t &= \beta_0 + \gamma_0 \Delta x_t + (\gamma_0 + \gamma_1) x_{t-1} + (\beta_1 - 1) y_{t-1} + u_t \\ \Delta y_t &= \beta_0 + \gamma_0 \Delta x_t + (\beta_1 - 1) \left[ y_{t-1} - \frac{(\gamma_0 + \gamma_1)}{1 - \beta_1} x_{t-1} \right] + u_t \end{aligned} \quad (4.44)$$

Parameter pri  $x_{t-1}$  označujeme dlhodobý parameter a vieme ho ľahko ohraničiť. Ak uvažujeme predpoklad, že z dlhodobého hľadiska sa  $y_t = x_t$ , tak z toho vyplýva nasledovná ohraničujúca podmienka pre dlhodobý parameter:

$$\frac{(\gamma_0 + \gamma_1)}{1 - \beta_1} = 1$$

Po jej zavedení dostávame:

$$\Delta y_t = \beta_0 + \gamma_0 \Delta x_t + (\beta_1 - 1) [y_{t-1} - x_{t-1}] + u_t \quad (4.45)$$

Takýto model nazývame model s korekčným členom a člen  $[y_{t-1} - x_{t-1}]$  je korekčný člen, ktorý nie je ničím iným ako dlhodobým vzťahom zapísaným pomocou indexov  $t - 1$ . Model naznačuje, že zmena premennej  $y_t$  z predchádzajúceho obdobia závisí na zmene asociovanej s pohybom vysvetľujúcej premennej  $x_t$  okolo rovnováhy a korekcie odchýlky od tejto dlhodobej rovnováhy. Parameter pri korekčnom člene je záporný, lebo  $|\beta_1| < 1$  a nazýva sa koeficientom krátkodobého prispôsobovania. Hodnota

blízka 1 znamená rýchlu konvergenciu k ekvilibriu a hodnoty blízke 0 naopak pomalú konvergenciu. Model s korekčným členom obsahuje vo svojej špecifikácii pôvodné premenné aj ich diferencie. Preto je v prípade správnej špecifikácie považovaný za model prinášajúci presnejšie prognózy ako bežné ekonometrické modely. [18]

## 5. Empirická časť

Energia zohráva kľúčovú úlohu v ekonómii, ako na strane ponuky, tak i na strane dopytu. Čo sa týka dopytu, energia predstavuje produkt, ktorý sa zákazník rozhodne kúpiť s cieľom maximalizovať svoj úžitok. Na strane ponuky je zase energia popri kapitále, pracovnej sile a materiáli, kľúčovým prvkom produkcie a je zrejmé, že hrá dôležitú úlohu v ekonomickom a sociálnom rozvoji krajín, a teda v zvyšovaní ekonomického rastu a životnej úrovne. Z uvedeného vyplýva, že by mal existovať kauzálny vzťah, smerujúci od spotreby energie k HDP a/alebo naopak.

To však prináša množstvo zaujímavých otázok: Je spotreba energie skutočne impulzom pre ekonomický rast? Teda inak: Vplýva energetická spotreba na HDP? Alebo naopak. Dá sa ekonomický rast interpretovať ako efekt energetickej spotreby? Teda vplýva HDP na spotrebu energie?

Odpovede na tieto otázky nám so sebou prinášajú aj zaujímavú ekonomickú interpretáciu. Ako totiž poznamenal Jumbe, ak je smer kauzálneho pôsobenia od energetickej spotreby k HDP, potom to znamená, že daná ekonomika je energeticky závislá a preto energia podnecuje rast. Nedostatok energie naopak negatívne ovplyvňuje ekonomický rast, tým pádom spôsobuje zlú ekonomickú výkonnosť, čo vedie k poklesu príjmov i negatívne ovplyvneniu zamestnanosti. Inými slovami, energia je vtedy limitujúcim faktorom ekonomického rastu. Ak naopak kauzalita smeruje od HDP ku spotrebe energie, znamená to, že môže byť preferovaná šetriaca politika (politika zachovania zdrojov) bez výraznejšieho negatívneho vplyvu na rast či zamestnanosť. V prípade, že nie je prítomná kauzalita ani v jednom smere, znamená to, že energetická spotreba a HDP nie sú vo vzájomnom vzťahu, a teda ani prísna šetriaca energetická politika nebude mať negatívny vplyv na ekonomiku.

Stanoviť kauzálny vzťah medzi spotrebou energie a ekonomickým rastom je preto veľmi dôležité. O to viac, že v dnešnej dobe môžeme byť svedkami neutíchajúcej diskusie o globálnom otepľovaní i potrebe redukovania množstva nebezpečných emisií v ovzduší, najmä práve znížením energetickej spotreby. Ak totiž existuje kauzálny vzťah smerujúci od spotreby energie k HDP, akékoľvek obmedzenia kladené na spotrebu energie s cieľom redukovať emisie, budú mať vplyv na ekonomický rast a rozvoj krajiny. Navyše v prípade,

že kauzálne pôsobenie v tomto smere je silnejšie u rozvojových krajín, akýkoľvek nátlak na reguláciu energetickej spotreby bude mať ešte výraznejší dopad na ich ekonomiku, v porovnaní s prosperujúcimi, rozvinutými krajinami. V tomto prípade by bolo možné argumentovať, že akékoľvek zníženie spotreby energie by malo byť prevažne vykonávané v rozvinutom svete, aby nedošlo k potlačeniu rastu menej rozvinutých krajín a ešte väčšej diferenciácii sveta. Alebo inak, v prípadoch, kedy je energia stimulom ekonomického rastu, by rozvojové krajiny mohli beztréstne produkovať viac znečisťujúcich látok ako tie rozvinuté.

Na základe veľkého významu kauzálneho pôsobenia medzi energiou a ekonomickým rastom, ktorý som popísal vyššie, nie je žiadne prekvapenie, že bolo vykonaných už množstvo štúdií s cieľom určiť smer kauzálneho vzťahu v jednotlivých krajinách. Prehľad tých najvýznamnejších prinášam v tabuľke 1. Z výsledkov jednotlivých štúdií jasne vyplýva, že výsledky sú veľmi rozdielne, bez výraznejšej všeobecnej zhody. Táto rôznorodosť výsledkov nie je prekvapujúca, vzhľadom na mnohé inštitucionálne, štrukturálne a politické rozdiely jednotlivých krajín, ako aj odlišné metodologické prístupy, špecifikácie premenných a ekonometrické metódy, ktoré boli použité pri testovaniach. [7]

Ja sa vo svojej práci pokúsim otestovať kauzálne pôsobenie medzi spotrebou energie a ekonomickým rastom pre súbor 32 vybraných krajín. Zahrnieme ako rozvinuté krajiny OECD, tak aj rozvojové krajiny mimo OECD a pri interpretácii jednotlivých výsledkov sa pokúsime nájsť spoločné vzťahy i rozdiely pre tieto krajiny.

## 5.1. Metodológia

Všetky štúdiá z tabuľky 1 vyšetrujúce kauzalitu medzi energiou a HDP sa opierajú o princíp Grangerovej kauzality (Granger, 1969). Grangerova metóda síce tvorí kľúčovú definíciu o ktorú sa testovanie opiera, no je tu využité aj množstvo rôznych metodologických prístupov, čo je spôsobené najmä rozvojom nových ekonometrických techník.

Grangerova kauzalita sa opiera o predpoklad, že "budúcnosť nemôže spôsobiť minulosť". Znamená to, že ak máme udalosti A a B, pričom udalosť A nastane pred udalosťou B, tak je možné, že A zapríčiňuje výskyt B. V žiadnom prípade to však neplatí

naopak. Čiže udalosti v minulosti síce môžu zapríčiniť udalosti v súčasnosti, ale budúce udalosti nemôžu zapríčiňovať súčasné. Táto príčinnosť teda znamená, že historické hodnoty jednej premennej nám poskytujú informácie pre vysvetlenie a predikciu druhej premennej (Granger 1969). Táto idea môže byť vyjadrená pomocou bivariantného modelu, ktorý sa skladá z nasledujúcich dvoch rovníc:

$$y_t = \alpha_1 + \sum_{i=1}^m \beta_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \lambda_j e_{t-j} + v_t \quad (5.1)$$

$$e_t = \alpha_2 + \sum_{i=1}^m \gamma_i e_{t-i} + \sum_{j=1}^n \delta_j y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (5.2)$$

kde:

$$e_t = \ln(E_t);$$

$$y_t = \ln(Y_t);$$

$E_t$  = spotreba energie na obyvateľa;

$Y_t$  = reálne HDP na obyvateľa;

$v_t, \varepsilon_t$  = vzájomne nekorelované biele šumy;

$i, j$  = počet lagov;

$t$  = časový interval.

Nulová a alternatívna hypotéza majú nasledovný tvar:

$$\mathbf{H}_0: \lambda_j = \delta_j = 0, \text{ pre všetky } j \quad \text{vs.} \quad \mathbf{H}_1: \lambda_j \neq 0; \delta_j \neq 0, \text{ pre aspoň jedno } j$$

Ak sú koeficienty  $\lambda_j$  štatisticky významné = signifikantné, kým naopak  $\delta_j$  nie sú, potom  $e$  zapríčiňuje  $y$  (skrátene:  $e \rightarrow y$ ). Ak naopak sú signifikantné koeficienty  $\delta_j$ , no koeficienty  $\lambda_j$  nie sú, potom  $y$  zapríčiňuje  $e$  ( $y \rightarrow e$ ). Ak potvrdíme signifikantnosť aj pre  $\lambda_j$ , aj pre  $\delta_j$ , potom je kauzalita vzájomná a prebieha v oboch smeroch ( $e \rightarrow y, y \rightarrow e$ ).



V rovnici (5.1),  $e$  ovplyvňuje  $y$ , ak súčasné hodnoty  $y$  sú lepšie predpovedané zahrnutím minulých hodnôt  $e$ , akoby tomu bolo v prípade, keby sme ich neuvažovali. Inak povedané, ak  $e$  zapríčiňuje  $y$ , tak potom  $e$  pomáha predpovedať  $y$ . A naopak z rovnice (5.2) nám vyplýva, že  $y$  ovplyvňuje  $e$ , ak sú súčasné hodnoty  $e$  lepšie predpovedané zahrnutím minulých hodnôt  $y$ . Teda inak, ak  $y$  zapríčiňuje  $e$ , potom  $y$  pomáha predpovedať  $e$ .

Táto klasická Grangerova formulácia vyjadrená pomocou rovníc (5.1) a (5.2) pracuje s časovými radmi (v našom prípade  $e_t$  a  $y_t$ ), v pôvodných úrovniach premenných (levels). Pri overovaní stacionarity časového radu, testovaní jednotkového koreňa a kointegrácie budeme však často nútení pracovať aj s diferencovanými časovými radmi, ktoré sú integrované rádu jedna (alebo inak  $I(1)$ ). V tomto prípade, rovnice (1) a (2) nadobudnú tvar:

$$\Delta y_t = \alpha_1 + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \Delta e_{t-j} + v_t \quad (5.3)$$

$$\Delta e_t = \alpha_2 + \sum_{i=1}^m \gamma_i \Delta e_{t-i} + \sum_{j=1}^n \delta_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (5.4)$$

kde  $\Delta$  predstavuje operátor prvých diferencií, čiže dané výrazy sú vyjadrené pomocou diferencií, aby bola zaručená ich stacionarita. Koncept stacionarity je v tomto prípade vyjadrený cez zmeny premenných a prítomnosť Grangerovej kauzality závisí na signifikancii lagovaných premenných  $\Delta e_{t-j}$  a  $\Delta y_{t-j}$  z rovníc (5.3) a (5.4).

### *Kointegrácia*

Vyšetreniu Grangerovej kauzality integrovaných radov rovnakého stupňa (s výnimkou stacionárnych  $I(0)$ ) musí nevyhnutne predchádzať kointegračná analýza. Ako už bolo spomenuté vyššie, Engle a Granger (1987) ukázali, že lineárna kombinácia dvoch alebo viacerých nestacionárnych časových radov môže byť stacionárna. Táto stacionárna lineárna kombinácia je reprezentovaná kointegračnou rovnicou a vyjadruje nám dlhodobé vzťahy medzi premennými. Kointegráciu otestujeme Johansenovým testom. V prípade, že

sa nám kointegrácia potvrdí, určíme počet kointegračných rovníc a zostrojíme model s korekčným členom – VEC.

Ak sa nám teda Johansenovým testom potvrdí kointegrácia medzi HDP a spotrebou energie, znamená to, že naše premenné majú spoločný stochastický trend a je medzi nimi dlhodobý vzťah.

### *Grangerova kauzalita*

Po tom, ako sme potvrdili kointegráciu medzi našimi premennými, skonštruujeme model s korekčným členom. Prítomnosť kointegrácie nám síce zaručuje, že medzi našimi premennými existuje kauzalita, avšak nedokáže nám určiť jej smer.

Engle a Granger potvrdili, že ak existuje kointegrácia v dlhodobom smere, potom musí existovať aj Grangerova jednosmerná alebo obojsmerná kauzalita medzi týmito premennými a kointegračné premenné by mali byť vyjadrené pomocou modelu s korekčným členom. Inak povedané, Granger tvrdí, že v prípade kointegrácie medzi dvoma alebo viacerými premennými by mal existovať aj platný model s korekčným členom pre tieto premenné.

Ak teda sú HDP a spotreba energie kointegrované potom možno rovnice (5.3) a (5.4) rozšíriť na VEC model nasledovne:

$$\Delta y_t = \alpha_1 + \sigma_1 EC_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \lambda_j \Delta e_{t-j} + v_t \quad (5.5)$$

$$\Delta e_t = \alpha_2 + \sigma_2 EC_{t-1} + \sum_{i=1}^m \gamma_i \Delta e_{t-i} + \sum_{j=1}^n \delta_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (5.6)$$

kde:

$\beta_i, \lambda_j, \gamma_i, \delta_j$  = koeficienty krátkodobého pôsobenia,

$v_t, \varepsilon_t$  = reziduá,

$EC$  = člen korigujúci chybu z kointegračnej rovnice.

V tejto formulácii je teda možné nájsť 2 zdroje Grangerovej kauzality. Pre  $\Delta y_t$  vzniká jednosmerný kauzálny vzťah od spotreby energie k HDP ( $e \rightarrow y$ ), cez hodnoty  $\Delta e$ , ak platí  $\lambda_j \neq 0$  - v tomto prípade hovoríme o krátkodobej kauzalite - alebo cez výraz  $EC_{t-1}$ , ak platí  $\sigma_1 \neq 0$  - vtedy hovoríme o dlhodobej kauzalite. Pre  $\Delta e_t$  vzniká jednosmerná kauzalita od HDP k spotrebe energie ( $y \rightarrow e$ ) buď cez hodnoty  $\Delta y$ , ak platí  $\delta_j \neq 0$  - krátkodobá kauzalita - alebo cez výraz  $EC_{t-1}$ , ak platí, že  $\sigma_2 \neq 0$  - dlhodobá kauzalita. Pre potvrdenie kauzality očakávame v oboch rovniciach zápornú hodnotu člena  $EC$  a súčasne jeho signifikantnosť (štatistickú významnosť) v modeli.

Ak sa obe premenné navzájom (Grangerovo) ovplyvňujú, hovoríme o obojsmernom kauzálnom vzťahu medzi HDP a spotrebou energie alebo aj o kauzálnom vzťahu so spätnou väzbou. Čiže ukázali sme, že ak 2 časové rady integrované rádu  $I(1)$  kointegrujú, potom existuje Grangerova kauzalia aspoň v jednom smere (buď od  $e$  ku  $y$  a/alebo od  $y$  ku  $e$ ), a preto je nevyhnutné do rovníc (3) a (4) zahrnúť aj člen  $EC$ , čím predídeme nesprávnej špecifikácii modelu a prípadnému vynechaniu niektorého zo zdrojov spôsobujúceho kauzalitu.

Bez ohľadu na to, ktorú formuláciu použijeme, pozorovania v minulosti jasne preukázali, že výsledok Johansenovho kointegračného testu, VEC modelu a testu kauzality je veľmi citlivý od použitého počtu lagov v modeli. Príliš veľký alebo príliš malý počet lagov môže totiž viesť ku skresleniu odhadov, a tak aj ku zavádzajúcim výsledkom. Pre výber optimálneho počtu lagov použijeme nástroj softwaru *evIEWS*, ktorý vyhodnocuje optimálnu lagovú štruktúru na základe najnižšej hodnoty nasledovných uvažovaných kritérií:

- LR - testovacia štatistika
- FPE – konečná chyba predikcie
- AIC – Akaikeho informačné kritérium
- SC – Schwarzovo informačné kritérium
- HQ – Hannan-Quinn informačné kritérium

My sa budeme v našej práci rozhodovať na základe AIC kritéria.

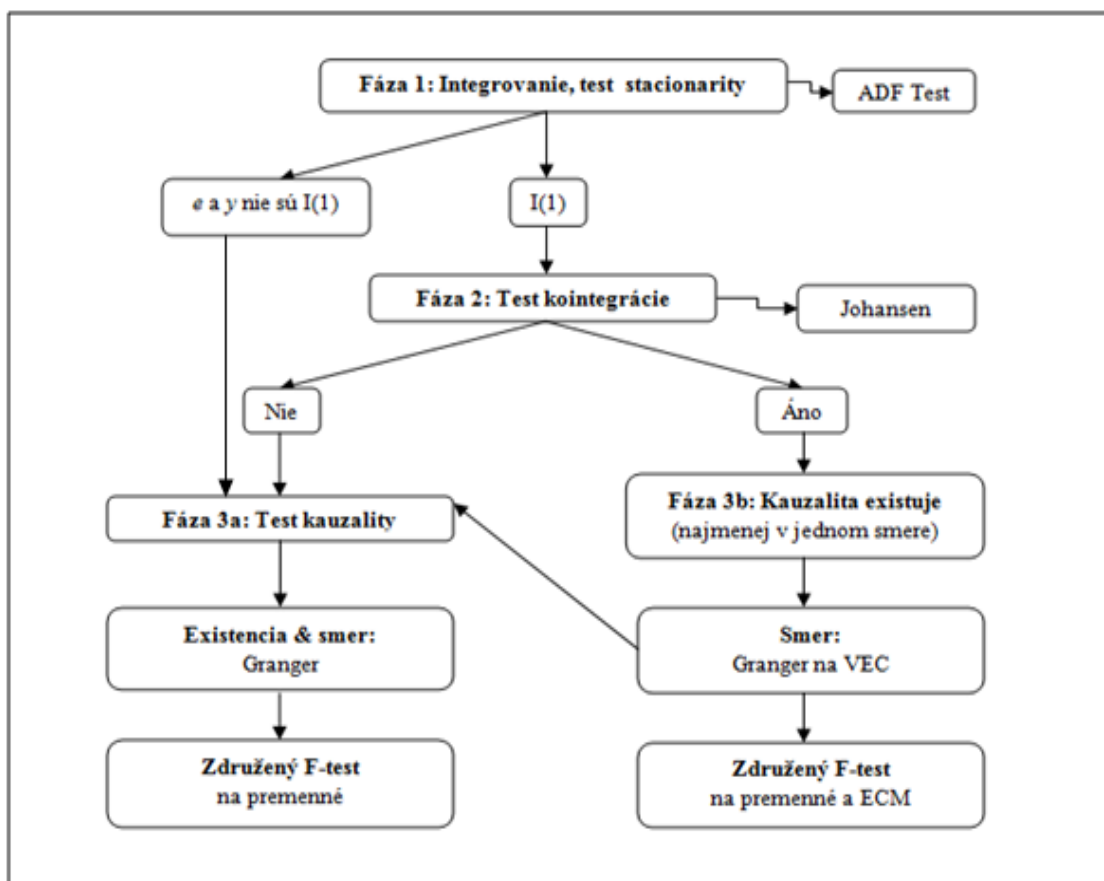
Skúmanie kauzality medzi spotrebou energie a ekonomickým rastom možno potvrdiť mnohými štatistickými testami. Pre klasický Grangerov model (rovnice (5.3),(5.4)), môže byť kauzalita od  $e$  ku  $y$  ( $y$  ku  $e$ ) potvrdená vykonaním združeného F-testu pre koeficienty lagovaných premenných  $\Delta e$  ( $\Delta y$ ). Pre model obsahujúci aj  $EC$  člen (rovnice(5.5),(5.6)), kde kauzalita pochádza z dvoch možných zdrojov, členu  $EC$  a lagovaných premenných  $\Delta e$  ( $\Delta y$ ), môže byť kauzalita potvrdená vykonaním združeného F-testu pre koeficienty  $EC$  ako aj lagovaných  $\Delta e$  ( $\Delta y$ ) premenných.

Metodológiu, ktorú použijeme v našej práci teda môžeme zosumarizovať do niekoľkých fáz (viď obrázok 7):

- **Fáza 1:** Testovanie stacionarity časových radov pre každú sledovanú krajinu použitím rozšíreného Dickey-Fuller-ovho (ADF) testu. Spočiatku testujeme premenné v pôvodných úrovniach, pričom ak nezamietneme nulovú hypotézu existencie jednotkového koreňa, tak pokračujeme prvými diferenciami. Pri oboch postupoch určíme počet lagov použitím Schwarzovho informačného kritéria. Pri rozhodovaní o zamietnutí nulovej hypotézy, použijeme hladinu významnosti na úrovni 5%. Ak zistíme, že jeden z dvojice  $e$  alebo  $y$  je integrovaný rádu  $I(0)$  a ten druhý je  $I(1)$  alebo  $I(2)$ , potom použijeme Grangerovú metódu, a v postupe teda pokračujeme až fázou 3a. Ak naopak zistíme, že musíme pracovať s diferencovanými časovými radmi  $I(1)$ , potom ďalej testujeme kointegráciu, a teda pokračujeme fázou 2. Ak náhodou jeden z dvojice  $e$  alebo  $y$  je integrovaný rádu  $I(2)$ , kým ten druhý je  $I(1)$  alebo  $I(2)$ , potom rovnako pokračujeme kointegráciu, pracujúc s predpokladom, že obe premenné sú  $I(1)$ , nakoľko výsledky obsahujúce  $I(2)$  budeme považovať za štatistickú anomáliu.
- **Fáza 2:** Test kointegrácie medzi  $e$  a  $y$  využitím Johansenovej metódy. Pre úplnosť, pri výpočte použijeme špecifikáciu, ktorá povoľuje v dátach lineárny trend s interceptom, ale neuvažujeme žiadny trend v kointegračnom vektore s optimálnou lagovou štruktúrou pre vybraný VAR model, určenou najväčším počtom rozhodovacích kritérií. Kointegrácia je prijatá, ak obe testovacie štatistiky, stopovacia aj štatistika maximálnych vlastných hodnôt, indikujú jeden kointegračný

vektor na 5% hladine významosti.<sup>4</sup> Z tohto bodu pokračujeme v prípade, že sa nám kointegrácia nepotvrdila do fázy 3a, a naopak v prípade, že kointegrácia bola objavená postupujeme priamo do fázy 3b.

- **Fáza 3a:** Test kauzality od  $e$  ku  $y$  (a od  $y$  ku  $e$ ) použitím Grangerovej metódy s optimálnym počtom lagov.
- **Fáza 3b:** Kointegráciou sme potvrdili dlhodobý vzťah medzi premennými, čiže musí existovať kauzalita aspoň v jednom smere. Z toho dôvodu testujeme, či kauzalita pôsobí od  $e$  ku  $y$  (a/alebo od  $y$  ku  $e$ ). Skonstruujeme VEC model s optimálnou lagovou štruktúrou a ten testujeme na Grangerovu kauzalitu. Avšak ak je odhadovaný koeficient  $EC$  kladný, potom je kauzalita nanovo odhadovaná s výrazmi diferencie, ako bolo ukázane vyššie vo fáze 3a.



**Obr. č. 7:** Postup testovania Grangerovej kauzality medzi spotrebou energie a ekonomickým rastom.

<sup>4</sup> Keďže počet skúmaných premenných je  $k=2$ , jediný možný výsledok Johansenovho testu, pri ktorom akceptujeme kointegráciu, je pre obe testovacie štatistiky potvrdenie práve jednej  $(k-1)$  kointegračnej rovnice.

## 5.2. Dáta

Pri testovaní použijeme ročné dáta z internetového zdroja: [www.worldbank.com](http://www.worldbank.com). Dáta sú voľne prístupné, na vyžiadanie ich však môžeme poskytnúť. Ide o časové rady celkovej spotreby energie na jedného obyvateľa a hrubého domáceho produktu na jedného obyvateľa. Energia je udávaná v kg ropného ekvivalentu a HDP v konštantných cenách prepočítaných na rok 2000, vyjadrený v amerických dolároch.

Testovanie Grangerovej kauzality vykonáme na:

- 16 členským štátom OECD:  
Austrália, Dánsko, Fínsko, Francúzsko, Grécko, Holandsko, Írsko, Island, Japonsko, Kanada, Kórea, Nemecko, Portugalsko, Rakúsko, USA, Veľká Británia.
- 16 štátov mimo OECD:  
Brazília, Egypt, Ekvádor, Ghana, Honduras, India, Indonézia, Irán, Izrael, Jamajka, Kolumbia, Kostarika, Omán, Paraguaj, Peru, Tunisko

Väčšina dát z krajín OECD pokrýva obdobie rokov 1960-2010. Pre krajiny mimo OECD sa nám nepodarilo nájsť dáta až pre také dlhé obdobie, a preto väčšina z nich pokrýva obdobie rokov 1971-2009. Vždy špecifikujeme, o ktoré časové obdobie sa konkrétne jedná tak, že príslušné roky uvedieme v tabuľkách s výstupmi testovania.

## 5.3. Výsledky testovania a diskusia

V tejto časti odprezentujeme naše výsledky testov Grangerovej kauzality pre sledované krajiny. Z našich testov štatisticky vyhodnotíme početnosť výskytu kauzality, či má tendenciu vyskytovať sa skôr v štátoch OECD alebo mimo OECD, teda vo vysoko rozvinutých, alebo naopak v stredne rozvinutých a rozvojových krajinách, alebo či je smer pôsobenia od spotreby energie k ekonomickému rastu bežnejší ako od HDP k energii.

Výsledky jednotlivých modelov a testovacích štatistík pre štáty OECD možno nájsť v tabuľkách 2, 3, 4. Prehľadný súhrn výsledkov prinášam v tabuľke 8. Výsledky krajín mimo OECD pokrývajú tabuľky 5, 6, 7 a sumár možno vidieť v tabuľke 9.<sup>5</sup>

### Fáza 1

Tabuľky 2 a 5 nám zobrazujú výsledky testov jednotkového koreňa pomocou ADF testu. V krajinách OECD boli oba časové rady  $e$  aj  $y$  stacionárne v prvých diferenciách, a teda  $I(1)$  v 15 zo 16 testovaných prípadov (93,75%). Naopak čo sa týka krajín mimo OECD, obe premenné boli  $I(1)$  v 12 zo 16 prípadov (75%).

### Fáza 2

Tabuľka 3 zobrazuje výsledky Johansenovho kointegračného testu, na základe ktorých môžeme skonštatovať, že kointegrácia bola prijatá pre 5 zo 16 členských štátov OECD (31,25%). Tabuľka 6 zobrazuje výsledky testov pre nečlenské krajiny OECD. Kointegrácia bola zistená len v 1 prípade zo 16 (6,25%).

### Fáza 3

V tejto časti popíšeme dosiahnuté výsledky Grangerovej kauzality. Existujú 4 rôzne možnosti kauzálneho pôsobenia medzi premennými:

- i.  $E$  (Grangerovo) ovplyvňuje  $Y$ , teda  $(E \rightarrow Y)$ ;
- ii.  $Y$  (Grangerovo) ovplyvňuje  $E$ , teda  $(Y \rightarrow E)$ ;
- iii.  $E$  (Grangerovo) ovplyvňuje  $Y$  a  $Y$  (Grangerovo) ovplyvňuje  $E$ , a teda  $(E \leftrightarrow Y)$ ;
- iv. medzi  $E$  a  $Y$  neexistuje žiadny kauzálny vzťah, čiže  $(E-Y)$ .

Prípady i.) a ii.) vyjadrujú jednosmerný kauzálny vzťah medzi energiou a ekonomickým rastom bez spätnej väzby. Prvý prípad nazývame aj hypotéza rastu a znamená, že spotreba energie zohráva dôležitú úlohu v procese hospodárskeho rastu. Druhý prípad, hypotéza šetrenia, naopak hovorí, že rast a rozvoj krajiny nie je závislý od

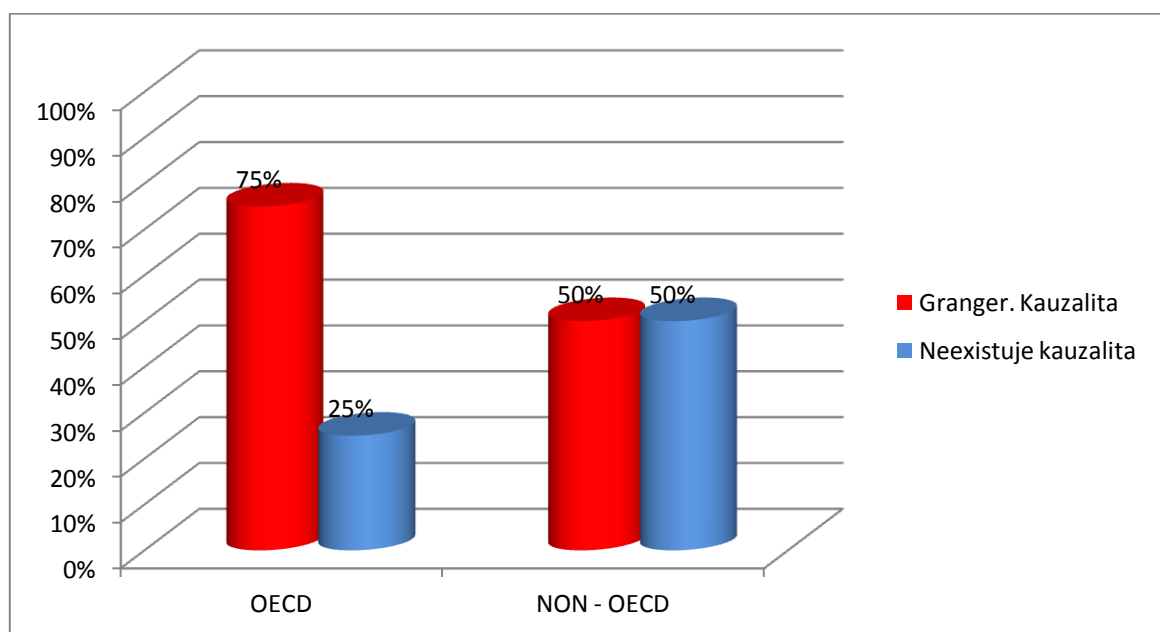
---

<sup>5</sup> Všetky kalkulácie a odhady boli vykonané pomocou softwaru E-Views 5.

spotreby energie a šetriace energetické politiky majú len malý, prípadne žiadny dopad na ekonomický rast. Avšak dodatočný nárast HDP vyvoláva nárast v spotrebe energie. Prípady iii.) reprezentuje obojsmerný kauzálny vzťah. Nazývame ho aj hypotéza spätnej väzby. Hovorí nám o tom, že energia aj rast sa navzájom ovplyvňujú. Prípady iv.), alebo aj hypotéza neutrality, vyjadruje neprítomnosť Grangerovej kauzality medzi sledovanými premennými. Znamená to, že ani výdavková a ani šetriaca politika nebude mať efekt na hospodársky rast.

Výsledky Grangerovej kauzality pre štáty OECD prinášame v tabuľkách 4, 8 a pre štáty mimo OECD v tabuľkách 7, 9. Dosaiahnuté výsledky navyše interpretujeme aj pomocou grafov. Graf č. 1 zobrazuje celkovú početnosť výskytov niektorého z druhov Grangerovej kauzality, či už jednosmernej alebo obojsmernej (prípady i., ii., iii.).

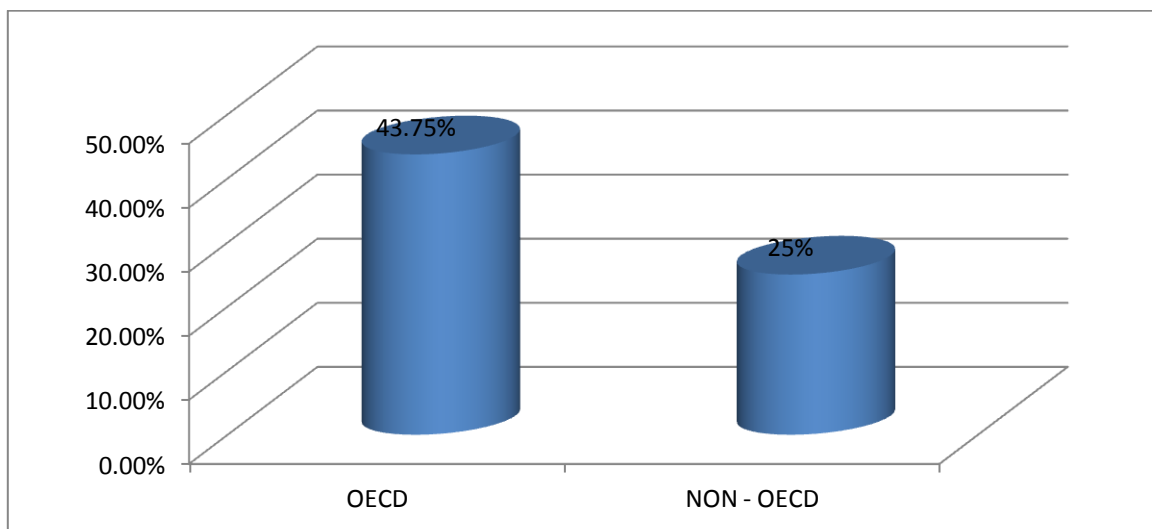
Ako môžeme vidieť, z celkového počtu 32 pozorovaní sme potvrdili existenciu niektorého druhu kauzálneho pôsobenia v 20 prípadoch (62,5%). Zo 16 pozorovaných OECD štátov sme výskyt kauzality potvrdili až v 12 prípadoch (75%). Čo sa týka nečlenov OECD, kauzalita bola potvrdená celkovo v 8 zo 16 prípadov (50%). Z uvedeného vyplýva, že kauzálny vzťah medzi energiou a rastom sa javí preukázateľnejší v prípade rozvinutých, vyspelých ekonomík.



**Graf č. 1:** Výskyt pozorovania Grangerovej kauzality

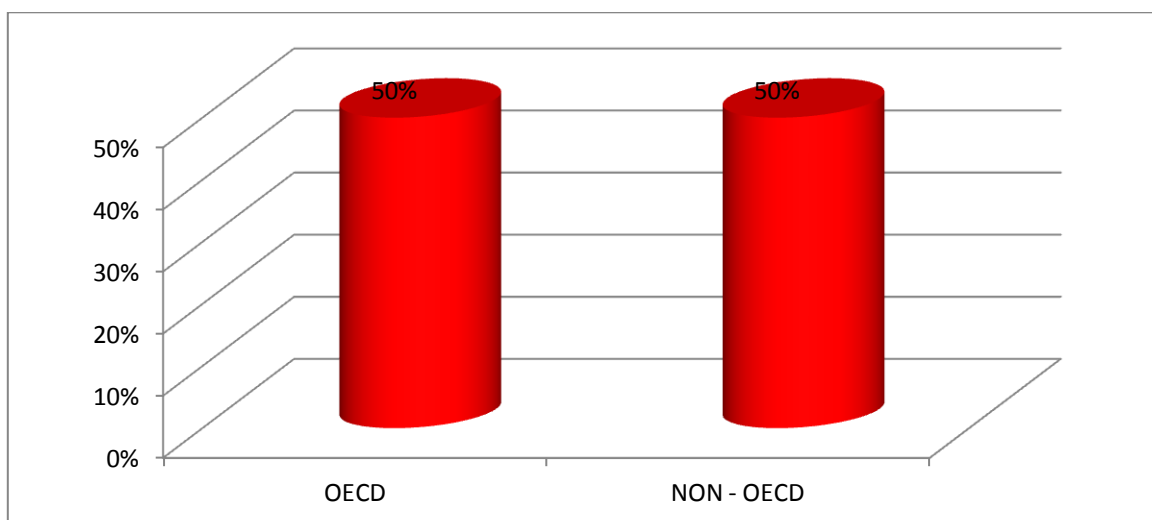


Ďalší graf (č. 2) znázorňuje pomer krajín z a mimo OECD, v ktorých možno pozorovať Grangerovo pôsobenie od spotreby energie k ekonomickému rastu (so alebo bez spätnej väzby – i. + iii. prípad). Túto väzbu sme potvrdili u 7 pozorovaných OECD štátov (43,75%) a u 4 štátov mimo OECD (25%).



**Graf. č. 2:** Grangerova kauzalita od E ku Y.

Opačný typ pôsobenia, teda od HDP k spotrebe energie s alebo bez spätnej väzby (ii. + iii. prípad) ilustruje graf. č. 3. Ako môžeme vidieť väzbu od y ku e možno pozorovať u 8 OECD štátov (50%) a rovnako tak aj u 8 štátov mimo OECD (50%).



**Graf. č. 3:** Grangerova kauzalita od Y ku E.

Z grafov 2 a 3 nám vyplýva, že jednosmerný kauzálny vzťah medzi energiou a rastom nemá v prípade OECD krajín tendenciu kopírovať len jeden konkrétny smer. Pôsobenie od energie k rastu dosiahlo totiž porovnateľnú úroveň ako opačné pôsobenie od rastu k energii (44% a 50%).

V prípade štátov mimo OECD sa javí ako bežnejší vzťah smerujúci od HDP k energii, nakoľko sa vyskytol až v polovici testovaných prípadov, kým naopak tomu bolo len v štvrtine prípadov. Znamená to, že v prípade rozvojových krajín sa javí ako najpravdepodobnejšia práve šetriaca hypotéza, a teda politika šetrenia energetických zdrojov by nemala mať výraznejší vplyv na hospodársky rast krajiny. Naopak však nárast HDP takejto krajiny môže ovplyvniť nárast jej energetickej spotreby.

Podme však ešte rozobrať rozdielnosť výsledkov existencie kauzálneho vzťahu medzi rozvinutými a rozvojovými krajinami. Väzba medzi energiou a rastom sa javí preukázateľnejšia v rozvinutejšom svete (až 75%). Medzi možné príčiny, prečo je tomu tak, určite možno zaradiť veľkú energetickú náročnosť a závislosť rozvinutej časti sveta. Kým na tvorbu vysokého HDP sa v rozvinutom svete spotrebuje aj obrovské množstvo energie, malé rozvojové ekonomiky s nízkym HDP na obyvateľa dokážu uspokojiť svoje potreby energeticky menej náročnou, poľnohospodárskou výrobou.

V niektorých konkrétnych prípadoch môže tento jav zobrazovať aj skutočnosť, že spotrebitelia energie v chudobnejších krajinách sa stále spoliehajú na využívanie primitívnejších zdrojov energie ako je napríklad biomasa a drevo, ktoré stačia pokrývať relatívne nízku energetickú náročnosť týchto krajín. Využívanie pokročilejších zdrojov energie, ako je napríklad elektrina, je potom značne limitované a hodnota HDP na jedného obyvateľa je veľmi nízka.

Je dôležité všimnúť si, že rozdielnosť výsledkov testovania rozvinutých a rozvojových krajín, spočíva najmä v kauzálnom pôsobení smerujúcom od energie k HDP (graf č. 2). Kým pri väzbe od HDP k energii dosiahli obe skupiny krajín rovnaký štatistický výsledok (graf č.3), v opačnom smere možno badať vyššiu tendenciu výskytu u krajín OECD. Tento jav môže byť spôsobený faktom, že málo rozvinuté krajiny nemajú prístup k pokročilejším a modernejším technológiám.

Energia má teda vo všeobecnosti neutrálnejší vplyv na hospodársky rast v rozvojovom svete, čo znamená, že vplyv energeticky úsporných politík by mohol mať negatívnejší dopad na celkový rast v rozvinutom svete.

V závere našej diskusie sa ešte pozrime na niektoré konkrétne zaujímavé výsledky. Najčastejším typom výskytu kauzality bolo jednosmerné pôsobenie od HDP k spotrebe energie. Čo znamená, že nárast HDP vyvoláva nárast v spotrebe energie bez efektu spätnej väzby. Tento typ vzťahu sme objavili pre krajiny Fínsko, Francúzsko, Japonsko, Nemecko, Portugalsko, Ekvádor, Izrael, Kolumbia a Peru. Pri tomto type pôsobenia je za účelom voľby optimálnej politiky dôležité kvantifikovať, aký veľký je nárast v spotrebe energie vyvolaný dodatočným percentuálnym nárastom HDP.

Ďalším zaujímavým výsledkom je existencia opačného jednosmerného pôsobenia – teda od energie k HDP. Tento typ väzby sa potvrdil len pre členské krajiny OECD: Dánsko, Island, Kanada, Rakúsko a žiadnu rozvojovú krajinu. Optimálnu politiku za účelom udržania hospodárskeho rastu v tomto prípade predstavuje vhodná podpora a investície do energetického sektoru, ktoré tak môžu nepriamo stimulovať hospodársky rast. Obojsmerný vzťah medzi energiou a rastom sme identifikovali pre tieto krajiny: Grécko, Holandsko, Írsko, Brazília Egypt, India a Omán.

Tým najprekvapivejším výsledkom ja bezpochyby absencia existencie kauzálneho pôsobenia medzi energiou a rastom v prípade krajín USA a Veľkej Británie, nakoľko ide o najvyspelejšie ekonomiky sveta s tými najvyššími hodnotami HDP na obyvateľa. Prijali sme pre ne však hypotézu neutrality, podľa ktorej spotreba energie neovplyvňuje hospodársky rast ani naopak. Tieto výsledky sú nepochybne v kontraste s našimi pôvodnými očakávaniami. Z externých zdrojov však vieme, že v prípade mnohých vyspelých ekonomík, kauzálne vzťahy medzi energiou a rastom niektoré minulé štúdiá potvrdili a iné zasa nie. Konkrétne v prípade USA väčšina historických štúdií neobjavila preukázateľný súvis celkovej spotreby energie a hospodárskeho rastu. Až Zachariadis (2007) skúsil otestovať kauzalitu v USA pre jednotlivé sektory a nie ekonomiku ako celok a potvrdil väzbu medzi energiou a rastom.

Z uvedeného vyplýva že pozorovania existencie kauzálnych vzťahov sú citlivé nielen od výberu dát a použitých ekonometrických metód, ale aj od chápania ekonomiky ako celku alebo sektorovej ekonomiky, či modelovania celkovej energetickej spotreby oproti spotrebe jednotlivých energetických zdrojov.

## Záver

V našej práci sme sa venovali ekonomickým súvislostiam výroby a spotreby energie a najmä vzťahu energie a hospodárskeho rastu. V prvej kapitole sme popísali teoretické prepojenie energie a rastu, priblížili sme základné fyzikálne a ekonomické teórie a naznačili ich nedostatky a obmedzenia.

V druhej kapitole sme detailne zanalyzovali faktory vplývajúce na väzbu medzi energiou a ekonomickým rastom.

Tretia časť tejto práce priniesla environmentálny pohľad na našu tematiku, preskúmala dopad výroby a spotreby energie podnecujúcej ekonomický rast na životné prostredie a popísala základný teoretický nástroj zachytávajúci toto pôsobenie – Environmentálnu Kuznetsovú krivku.

V poradí štvrtá kapitola priniesla základnú ekonometrickú terminológiu, ktorú sme následne využili pri testovaní v kapitole päť. Tá tvorí hlavný prínos našej práce čitateľovi, ktorý si môže pozrieť praktické výsledky nášho testovania kauzálnych vzťahov medzi spotrebou energie a ekonomickým rastom u 32 krajín sveta.

Prvú polovicu sledovaných krajín tvorili rozvinuté členské štáty OECD a druhú naopak rozvojové štáty mimo OECD. Testovacia procedúra spočívala celkovo z 3 hlavných fáz: testovania stacionarity časových radov, testov kointegrácie a Grangerovho testu kauzality. Ak sme na základe výsledkov z prvej fázy zistili, že oba časové rady s ktorými pracujeme sú integrované rádu jedna, pokračovali sme testovaním dlhodobých kointegračných vzťahov, v opačnom prípade sme pokračovali testom Grangerovej kauzality. V prípadoch, keď sa nám v druhej fáze potvrdila existencia kointegrácie medzi premennými, skonštruovali sme aj model s korekčným členom, aby sme nevynechali niektorý z možných zdrojov kauzality. Na základe koeficientov VEC modelu sme potom mohli identifikovať Grangerovu kauzalitu medzi premennými aj v krátkodobom, dynamickom kontexte, bez straty informácie o dlhodobom vzťahu. Nakoľko Grangerova procedúra je veľmi citlivá na počet zahrnutých lagov, pre každý model sme určili ich optimálny počet na základe Akaikeho informačného kritéria.

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme skonštatovať, že sa nám podarilo preukázať vzťah medzi spotrebou energie a ekonomickým rastom. Ten sme identifikovali celkom v 20 prípadoch z celkového počtu 32 pozorovaní. Výskyt Grangerovej kauzality je častejší v prípade rozvinutých štátov OECD (až 75%), ako v prípade krajín mimo OECD (50%). Znamená to, že súvis medzi spotrebou energie a ekonomickým rastom sa javí preukázateľnejší v rozvinutých krajinách. Kauzálny vzťah v rozvojových krajinách sa javí slabší, čo môže odzrkadľovať skutočnosť, že väčšina ekonomík týchto krajín je závislá predovšetkým na poľnohospodárstve a využívaní primitívnych zdrojov energie. Ich nižšia úroveň rozvoja má za následok nižšiu energetickú náročnosť, a preto spotreba energie v týchto chudobných krajinách nie je v takej vysokej miere ovplyvňovaná príjmami a naopak.

Dôraz sme kládli najmä na smer kauzálneho pôsobenia medzi energiou a rastom. V prípade kauzality v smere od ekonomického rastu k energii sme nezaznamenali rozdiel medzi pozorovaniami členských a nečlenských štátov OECD. V oboch prípadoch sme tento typ Grangerovej kauzality zaznamenali presne v polovici pozorovaní.

Inak tomu už bolo v prípade pôsobenia od energie smerom k rastu, kde pozorovania preukázali výraznejší výskyt kauzálneho pôsobenia u členských krajín OECD v porovnaní s tými nečlenskými. Sila prepojenia od energie ku HDP je vo všeobecnosti slabšia v rozvojovom svete (alebo naopak, kauzalita od energie ku HDP rastie s vyšším stupňom rozvoja krajín). Tento jav môže odzrkadľovať skutočnosť, že rozvojové krajiny nemajú taký prístup k pokročilejším a modernejším technológiám ako tie rozvinuté.

Výsledky testovania teda podporujú názor, že energia má vo všeobecnosti neutrálnejší vplyv na hospodársky rast v rozvojovom svete, čo znamená, že efekt energeticky úsporných politík, ktoré pomáhajú bojovať proti globálnemu otepľovaniu by mal mať negatívnejší dopad na celkový rast v OECD / rozvinutých krajinách než mimo OECD / v rozvojových krajinách.

Najbežnejším pozorovaním bol jednosmerný vzťah smerujúci od HDP k energii, ktorý sme identifikovali až v 9 prípadoch. Najprekvapivejším pozorovaním bola absencia vzťahu medzi energiou a rastom v prípade najvyspelejších ekonomík sveta: USA a Veľkej Británie. Očakávaná závislosť od energetických zdrojov, ako sú napríklad elektrina a plyn sa však v týchto prípadoch nepotvrdila. Z iných štúdií však vieme, že testovanie

jednotlivých ekonomických sektorov namiesto ekonomiky ako celku, potvrdzuje väzbu medzi energiou a rastom aj v prípade USA či iných vyspelých krajín.

Celková spotreba energie je nepochybne úzko spätá s energetickými službami, ktoré sú tou skutočnou hnacou silou rastu a vývoja, a preto ďalší výskum vplyvu väčšej spotreby palív a elektriny by pomohol podporiť alebo vyvrátiť naše výsledky a prijaté úvahy.

Ako sme totiž už načrtli vyššie, výsledky môžu dosahovať zaujímavé odlišnosti, v závislosti od použitých techník a ekonometrických prístupov, použitých dát v zmysle, či sa jedná o celkovú spotrebu energie alebo spotrebu jednotlivých energetických zdrojov, či uvažujeme celkové HDP alebo iné ekonomické výstupné faktory, ako aj či uvažujeme danú ekonomiku ako celok, alebo robíme analýzu na úrovni jednotlivých sektorov.

### **Všeobecné zhrnutie záverov a odporúčaní tejto práce**

- Kauzálne pôsobenie medzi energiou a rastom rastie s vyšším stupňom rozvoja krajín.
- Efekt energeticky úsporných politík indikuje negatívnejší dopad na ekonomiky rozvinutejších krajín.
- Dominantné poľnohospodárske zameranie rozvojových krajín môže mať za následok odlúčenie energie vo vzťahu k hospodárskemu rastu u týchto krajín.
- Horšie výsledky pôsobenia medzi energiou a rastom u rozvojových krajín môže ovplyvňovať aj slabý prístup k moderným a pokročilým technológiám.
- V prípade jednosmerného pôsobenia od HDP k spotrebe energie je kľúčové kvantifikovať, aký veľký je nárast v spotrebe energie vyvolaný dodatočným percentuálnym nárastom HDP.
- V prípade jednosmerného pôsobenia od spotreby energie k hospodárskemu rastu možno vhodnou podporou a investíciami energetického sektoru stimulovať hospodársky rast.
- Výsledky testovania naznačujú, že energia má vo všeobecnosti neutrálnejší vplyv na hospodársky rast v rozvojovom svete.
- Výsledky testov naznačujú, že vzťah medzi energiou a rastom nemusí byť samozrejmosťou ani u najrozvinutejších krajín sveta – USA, Veľká Británia,...

- Výsledky testov môžu vykazovať odlišnosti v závislosti od použitých metód a sledovaného časového obdobia.
- Výsledky testov sú citlivé na výber jednotlivých ekonomických sektorov alebo ekonomiky ako celku.
- Testy môžu vykazovať rozdielne výsledky aj v prípade uvažovania jednotlivých energetických zdrojov namiesto celkovej energetickej spotreby.
- Dôveryhodnosť výsledkov nášho testovania je spochybniteľná, nakoľko použité ekonometrické metódy fungujú spoľahlivejšie pri väčšom množstve použitých dát.
- Potvrdenie existencie vzťahu medzi energiou a hospodárskym rastom môže byť aj v globálnom kontexte ľahko spochybniteľné, nakoľko testovanie 32 rôznych krajín nemusí byť považované za dostatočne komplexné pre potvrdenie všeobecnej hypotézy. To isté platí aj pre vyvodené závery z výsledkov tohto testovania.

Napriek uvedeným obmedzeniam môžeme skonštatovať, že sa nám podarilo splniť náš pôvodný cieľ a vďaka nášmu vlastnému prínosu – praktickému testovaniu Grangerovej kauzality sme potvrdili hypotézu z úvodu tejto práce a preukázali sme súvis medzi spotrebou energie a ekonomickým rastom. Táto väzba sa javí pevnejšia v rozvinutých OECD krajinách než v tých rozvojových, čo má za následok významné dôsledky v globálnom svete. Zníženie energetickej spotreby za účelom redukcie škodlivých emisií by mohlo mať väčší dopad na ekonomický výstup v rozvinutých krajinách než v rozvojovej časti sveta.

## Bibliografia

- [1] AMIRAT A., BOURI A. 2010. Energy and Economic Growth: The Algerian Case. University of Economics and Management of Sfax, Tunisia.
- [2] AQEEL A., SABIHUDDIN M. BUTT. 2001. The Relationship between Energy Consumption and Economic Growth in Pakistan. In: *Asia-Pacific Development Journal*. 2001, vol. 8, no. 2.
- [3] ACARAVCI A. 2010. Structural Breaks, Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from Turkey. In: *Romanian Journal of Economic Forecasting*. 2/2010.
- [4] BHATTACHARYYA C. SUBHES. 2011. Energy Economics. Centre for Energy, Petroleum and Mineral Law and Policy. University of Dundee, UK.
- [5] BAUMOHL E. 2008. Skúmanie jednosmerných závislostí medzi svetovými akciovými indexmi. Bratislava. Ekonomická univerzita.
- [6] BUJŇÁKOVÁ T. 2008. Vývoj ekonomického rastu s dôrazom na technický pokrok ako zdroj rastu. Bratislava. Ekonomický ústav SAV.
- [7] CHONTANAWAT J., HUNT C. LESTER, PIERSE R. 2006. Causality between Energy Consumption and GDP: Evidence from 30 OECD and 78 Non-OECD Countries. Surrey Energy Economics Centre. Department of Economics University of Surrey.
- [8] CICEA C., PIRLOGEA C. 2011. Obtaining Economic Growth from Energy Consumption in Urban Areas. In: *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, vol. 6, issue 3.
- [9] EViews. 2004. Eviews 5.0. User Guide.
- [10] FIDRMUC J. 2011. Seminar z ekonómie III a IV: Empirická ekonómia. Bratislava. Univerzita Komenského, FMFI.
- [11] FITALA I. 2007. *Ekonometrické modelovanie investícií*: diplomová práca. Bratislava. Univerzita Komenského, FMFI.
- [12] GOODSTEIN, EBAN S. 2011. Energy and Environment. Bard College, USA.



- [13] HOU Q. 2009. The relationship between Energy Consumption Growths and Economic Growth in China. In: *International Journal of Economics and Finance*, vol. 1, no. 2.
- [14] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2011. Energy Blances of Non-OECD Countries.
- [15] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2011. Energy Blances of OECD Countries.
- [16] KOTOVOVÁ K. 2005. *Modelovanie rovnovážneho výmenného kurzu pomocou panelových modelov*: diplomová práca. Bratislava. Univerzita Komenského, FMFI.
- [17] LUCIUK, DEAN R. 1999. The Price-Independent Trend in Energy Efficiency in Canada and the Potential Influence of Non-Price Policies. Canada. Simon Fraser University.
- [18] LUKÁČIK M., PEKÁR J. 2009. Kointegračná Analýza v ekonometrii.
- [19] MALESICH A. 2004. *Modelovanie reálneho efektívneho výmenného kurzu*: diplomová práca. Bratislava. Univerzita Komenského, FMFI.
- [20] OMOTOR G. DOUGLASON. 2008. Causality Between Energy Cosumption and Economic Growth in Nigeria. In: *Pakistan Journal of Social Science*, vol. 5, no. 8.
- [21] SMOLKO P. 2011. *Ekonometrické modelovanie spotreby energie z fosílií*: diplomová práca. Bratislava. Univerzita Komenského, FMFI.
- [22] STERN, DAVID I. 2004. Economic Growth and Energy. In: *Encyklopedia of Energy*, vol. 2.
- [23] WIKIPEDIA. 2012. Hospodársky rúst. Dostupné na internete:  
<[http://www.enviwiki.cz/wiki/Hospodárský\\_rúst](http://www.enviwiki.cz/wiki/Hospodárský_rúst)>
- [24] WIKIPEDIA. 2012. Environmentální Kuznetsova křivka. Dostupné na internete:  
<[http://www.enviwiki.cz/wiki/Environmentální\\_Kuznetsova\\_křivka](http://www.enviwiki.cz/wiki/Environmentální_Kuznetsova_křivka)>
- [25] ZIVOT E. Unit Root Tests. Dostupné na internete:  
<<http://faculty.washington.edu/ezivot/econ584/notes/unitroot.pdf>>

## **PRÍLOHY**

<b>Tab. 1/a: ZHRNUTIE MINULÝCH TESTOVANÍ KAUZALITY</b>					
Výskum	Krajiny	Metodológia	Časové obdobie	Výsledky	
				energia → výstup	výstup → energia
Kraft & Kraft (1978)	USA	Sims	1947-1974	-	HNP→E
Akarca & Long (1979)	USA	Granger	1/1973-3/1978 mesačné dáta	E→ZAM	-
Yu & Hwang (1984)	USA	Sims, Granger:			
		E, HNP	1947-1979	-	-
		E, ZAM	1948-1979	-	ZAM→E
Erol & Yu (1987)	USA	Sims	1/1973-6/1984 mesačné dáta	E→ZAM	-
Erol & Yu (1988)	Japonsko	Granger, Sims	1950-1982	E→HNP	HNP→E
			1952-1982	-	HNP→E
	1950-1973		-	HNP→E	
	Západné Nemecko		1950-1982	-	HNP→E
			1950-1973	-	-
	Taliansko		1950-1982	-	HNP→E
			1952-1982	-	-
	Kanada		1950-1973	-	-
			1950-1982	E→HNP	-
	Francúzsko		1950-1973	-	-
			1950-1982	-	-
	Veľká Británia		1950-1973	-	-
1950-1982		E→HNP	-		
Yu a ďalší (1988)	USA	Granger	1/1973-6/1984	-	-
		Sims	mesačné dáta	E→ZAM	-
Abosedra & Baghestani (1991)	USA	Granger	1947-1974	-	HNP→E
			1947-1972, 1947-1979, 1947-1987	-	-
Hwang a Gum (1992)	Taiwan	Hsiao - Granger	-	E→HNP	HNP→E
Murry & Nan (1992)	USA	Granger, Sims	1/1974-12/1988 mesačné dáta	-	ZAM→E
Yu & Jin (1992)	USA	Kointegrácia: (E, IP, ZAM)	1/1971-4/1990 mesačné dáta	-	-
Hoa (1993)	Thajsko	Kointegrácia: (ROPA, HDP, C)	1/1966-1/1991 štvrtročné dáta	ROPA→HDP	HDP→ROPA
Stern (1993)	USA	Granger - Viacrozmerný model: E, HDP, K, P	1947-1990	E→HDP	-
Cheng (1996)	USA	Hsiao - Granger: Viacrozmerný model: E, HNP, K	1947-1990	-	-

<b>Tab. 1/b: ZHRNUTIE MINULÝCH TESTOVANÍ KAUZALITY</b>					
Výskum	Krajiny	Metodológia	Časové obdobie	Výsledky	
				energia → výstup	výstup → energia
Ebohon(1996)	Tanzánia	Granger	1960-1984	E→HNP, HDP	HNP, HDP→E
	Nigéria		1960-1981	E→HNP, HDP	HNP, HDP→E
Masih & Masih (1996)	Malajzia	Kointegrácia a EC model	1955-1990	-	-
	Singapur		1960-1990	-	-
	Filipíny		1955-1991	-	-
	India		1955-1990	E→HNP	-
	Indonézia		1960-1990	-	HNP→E
	Pakistan		1955-1990	E→HNP	HNP→E
Cheng (1997)	3 latinskoamerické krajiny:	Hsiao-Granger:			
	Mexiko	Viacrozmerný model: E, HDP, K	1949-1993	K→HDP	-
	Venezuela	Viacrozmerný model: E, HDP, K	1952-1993	K→HDP	-
	Brazília	2-rozmerný model: E, HDP	1963-1993	E→HDP	-
Cheng & Lai (1997)	Taiwan	Hsiao-Granger: 2-rozmerný model: E - HDP, ZAM	1955-1993	E→ZAM	HDP→E
Glasure & Lee (1997)	Južná Kórea	Kointegrácia a EC model	1961-1990	E→HDP	HDP→E
	Singapur				
Masih & Masih (1997)	Južná Kórea	Kointegrácia a EC model:	1955-1991	C→E→HNP	HNP→E
	Taiwan	Viacrozmerný model: E, HNP, C	1952-1992	C→E→HNP	HNP→E
Cheng (1998)	Japonsko	Hsiao-Granger: Viacrozmerný model: E, ZAM, HNP, K	1952-1995	E→ZAM	HNP→E
Cheng (1999)	India	Kointegrácia a EC model, Hsiao-Granger: Viacrozmerný model: E, HNP, K, P	1952-1995	K→HNP	HNP, K, L → E
Asafu - Adjaye (2000)	India	Kointegrácia a EC model: Viacrozmerný model: E, HDP, C	1973-1995	E→HDP	
	Indonézia		1973-1995	E→HDP	
	Thajsko		1971-1995	E→HDP	HDP→E
	Filipíny		1971-1995	E→HDP	HDP→E
Stern (2000)	USA	Kointegrácia: Viacrozmerný model: E, HDP, K, P, T	1948-1994	E→HDP	-
Yang (2000)	Taiwan	Hsiao-Granger: E, UHLIE, ROPA, PLYN, ELEK - HDP	1954-1997	E→HDP	HDP→E
				UHLIE→HDP	HDP→UHLIE
				-	HDP→ROPA
				PLYN→HDP	-
Aqeel & Butt(2001)	Pakistan	Hsiao-Granger	1955-1996	E→ZAM	HDP→E
				ELEK→HDP	HDP→ROPA

<b>Tab. 1/c: ZHRNUTIE MINULÝCH TESTOVANÍ KAUZALITY</b>					
Výskum	Krajiny	Metodológia	Časové obdobie	Výsledky	
				energia → výstup	výstup → energia
Fatai a ďalší (2001)	Nový Zéland	Granger & Toda a Yamamoto: 2 - rozmerný model	1960-1999	-	HDP→E
	Austrália			-	HDP→E
	India, Indonézia			E→HDP	-
	Thajsko, Filipíny			E→HDP	HDP→E
Ghosh (2002)	India	Kointegrácia	1950-1997	-	HDP→ELEK
Hondroyiannis a ďalší (2002)	Grécko	Kointegrácia a EC model: Viacrozmerný model: E, HDP, C	1960-1996	E→HDP	HDP→E
				C→HDP	HDP→C
Soytas & Sari (2003)	Argentína	Kointegrácia a EC model	1950-1990	E→HDP	HDP→E
	Taliansko		1950-1992		HDP→E
	Kórea		1953-1991		HDP→E
	Turecko		1950-1992	E→HDP	-
	Francúzsko		1950-1992	E→HDP	-
	Nemecko		1950-1992	E→HDP	-
	Japonsko		1950-1992	E→HDP	-
	Poľsko		1965-1994	-	-
Indonézia	1950-1992	-	-		
Altınay & Karagol (2004)	Turecko	Hsiao-Granger: 2-rozmerný model: E, HDP	1950-2000	-	-
Ghali & El-Sakka (2004)	Kanada	Kointegrácia a EC model: Viacrozmerný model: E, HDP, K, P	1961-1997	E→HDP	HDP→E
Jumbe (2004)	Malawi	Granger	1970-1999	ELEK→HDP	HDP→ELEK ČDP→ELEK
		Kointegrácia a EC model	1970-1999	-	HDP→ELEK
		ELEK, HDP, ČHDP			ČDP→ELEK
Morimoto & Hope (2004)	Sri Lanka	Granger	1960-1998	ELEK→HDP	-
Oh & Lee(2004)	Kórea	Kointegrácia a EC model: Viacrozmerný model: E, HDP, K, P	1970-1999	E→HDP	HDP→E
			1/1981-4/2000 - štvrtročné dáta	-	HDP→E
Paul & Bhattachyra (2004)	India	Granger	1950-1996	E→HDP	
		Engle-Granger			HDP→E
		Johansenova kointegrácia			HDP→E
Wolde-Rufael (2004)	Šanghaj	Toda a Yamamoto Granger:	1952-1999	UHLIE→HDP	-
				ELEK→HDP	-
				E→HDP	-
Shiu & Lam (2004)	China	Kointegrácia a EC model	1971-2000	ELEK→HDP	-
Altınay & Karagol (2005)	Turecko	Dolado-Lutkepohl/Granger	1950-2000	ELEK→HDP	-
Lee (2005)	18 rozvojových krajín	Panelová kointegrácia a EC model	1975-2001	E→HDP	-

<b>Tab. 1/d: ZHRNUTIE MINULÝCH TESTOVANÍ KAUZALITY</b>					
Výskum	Krajiny	Metodológia	Časové obdobie	Výsledky	
				energia → výstup	výstup → energia
Wolde-Rufael (2005)	19 afrických krajín:	Toda a Yamamoto Granger	1971-2001	-	HDP→E
	Alžírsko, Kongo DR, Egypt, Ghana, Pobrežie Slonoviny			E→HDP	-
	Kamerun, Maroko, Nigéria			E→HDP	HDP→E
	Gabon, Zambia,			-	-
	Benin, Kongo DR, Keňa, Senegal, JAR, Sudán, Togo, Tunisko, Zimbabwe				
Yoo (2005)	Kórea	Kointegrácia a EC model	1970-2002	ELEK→HDP	HDP→ELEK

**Poznámky:**  
E = Energia, HDP = Hrubý domáci produkt, HNP = Hrubý národný produkt, ČDP - čistý domáci produkt, ELEK = elektrická energia, ZAM = miera zamestnanosti, K = kapitál, P = práca, C = cenový index, IP = index priemyselnej výroby

<b>Tab. 2:</b>		<b>UNIT ROOT TEST</b>									
<b>Krajina</b>	<b>Roky</b>	<b>Premenné</b>	<b>ADF Test</b>								<b>Výsledok</b>
			<b>Level</b>				<b>1. diferencie</b>				
			<b>t-štatistika</b>	<b>5% krit. hodnota</b>	<b>P-hodnota*</b>	<b>Lagy**</b>	<b>t-štatistika</b>	<b>5% krit. hodnota</b>	<b>P-hodnota*</b>	<b>Lagy**</b>	
Austrália	1960-2010	e	-1.715289	-3.502373	0.7297	0	-7.52444	-2.922449	0.0000	0	I(1)
		y	-1.91534	-3.502373	0.6317	0	-5.889989	-2.922449	0.0000	0	I(1)
Dánsko	1960-2010	e	-3.538462	-3.502373	0.046	0	-	-	-	-	I(0)
		y	-1.370316	-3.50433	0.8574	1	-5.768737	-2.922449	0.0000	0	I(1)
Fínsko	1960-2010	e	-1.983833	-3.502373	0.5957	0	-6.455086	-2.922449	0.0000	0	I(1)
		y	-2.277945	-3.50433	0.4375	1	-4.974258	-2.92378	0.0002	1	I(1)
Francúzsko	1960-2010	e	-1.779712	-3.502373	0.6997	0	-5.666776	-2.922449	0.0000	0	I(1)
		y	-1.528275	-3.502373	0.8064	0	-3.694259	-2.922449	0.0072	0	I(1)
Grécko	1960-2010	e	-1.61762	-3.502373	0.7718	0	-3.44342	-2.922449	0.0140	0	I(1)
		y	-2.163037	-3.50433	0.4988	1	-4.328361	-2.922449	0.0011	0	I(1)
Holandsko	1960-2010	e	-2.791252	-3.502373	0.2072	0	-4.8197	-2.922449	0.0002	0	I(1)
		y	-2.983476	-3.50433	0.1472	1	-5.139042	-2.922449	0.0001	0	I(1)
Írsko	1970-2010	e	-1.654035	-3.526609	0.7529	0	-7.20822	-2.938987	0.0000	0	I(1)
		y	-1.714744	-3.529758	0.7256	1	-2.989418	-2.938987	0.0447	0	I(1)
Island	1960-2010	e	-2.304833	-3.502373	0.4236	0	-8.753422	-2.922449	0.0000	0	I(1)
		y	-2.612682	-3.50433	0.2767	1	-3.994479	-2.922449	0.0031	0	I(1)
Japonsko	1960-2010	e	-2.931607	-3.502373	0.1618	0	-3.856865	-2.922449	0.0046	0	I(1)
		y	-2.665361	-3.502373	0.2549	0	-3.624464	-2.922449	0.0087	0	I(1)
Kanada	1960-2010	e	-2.293276	-3.50433	0.4295	1	-3.984885	-2.922449	0.0032	0	I(1)
		y	-2.777518	-3.50433	0.2122	1	-4.806212	-2.922449	0.0003	0	I(1)
Kórea	1971-2010	e	-0.438477	-3.529758	0.9824	0	-5.389385	-2.941145	0.0001	0	I(1)
		y	-0.581812	-3.529758	0.9746	0	-5.317895	-2.941145	0.0001	0	I(1)
Nemecko	1970-2010	e	-2.707448	-3.526609	0.2392	0	-5.777544	-2.938987	0.0000	0	I(1)
		y	-1.677764	-3.526609	0.7426	0	-5.209129	-2.938987	0.0001	0	I(1)
Portugalsko	1960-2010	e	0.184315	-3.502373	0.9973	0	-6.026682	-2.922449	0.0000	0	I(1)
		y	-1.8878	-3.50433	0.6457	1	-4.009616	-2.922449	0.0029	0	I(1)
Rakúsko	1960-2010	e	-2.122872	-3.502373	0.5207	0	-6.033514	-2.922449	0.0000	0	I(1)
		y	-1.144303	-3.502373	0.9108	0	-5.33492	-2.922449	0.0000	0	I(1)
USA	1960-2010	e	-2.8232	-3.50433	0.1963	1	-4.431233	-2.922449	0.0008	0	I(1)
		y	-3.156482	-3.50433	0.1052	1	-5.259575	-2.922449	0.0001	0	I(1)
Veľká Británia	1960-2010	e	-1.551714	-3.502373	0.7977	0	-6.560088	-2.922449	0.0000	0	I(1)
		y	-3.038342	-3.50433	0.1327	1	-5.144456	-2.92378	0.0001	1	I(1)

**Poznámky:**

\* MacKinnonove (1996) jednostranné p - hodnoty

\*\* Určené na základe Bayesovho informačného kritéria - BIC

<b>Tab. 3:</b>		<b>TEST KOINTEGRÁCIE</b>										
Krajina	Rok	Optim. počet lagov	Hypotézy		Johansenov Test						Akcept. kointegr.	Poznámka
			H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	Stopov. štatistika	5% krit. hodnota	p - hodnota*	Štat. max. vl. hodnôt	5% krit. hodnota	p - hodnota*		
Austrália	1960 - 2010	1	r = 0	r > 0	11.31815	15.4947	0.1927	11.3078	14.26460	0.1395	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.01035	3.84147	0.9187	0.01035	3.84147	0.9187		
Dánsko	1960 - 2010	1	r = 0	r > 0	-	-	-	-	-	-	-	Časové rady nie sú integrované rovnakého rádu (I(0), I(1)), a preto nemožno vykonať test kointegrácie. Pokračujeme Granger. kauzalitou.
			r <= 1	r > 1	-	-	-	-	-	-		
Fínsko	1960 - 2010	2	r = 0	r > 0	19.93463	15.4947	0.0100	17.97067	14.26460	0.0124	ÁNO	Oba testy indikujú 1 kointegračnú rovnicu na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	1.963964	3.84147	0.1611	1.963964	3.84147	0.1611		
Francúzsko	1960 - 2010	1	r = 0	r > 0	20.45528	15.4947	0.0082	14.61486	14.26460	0.0440	NIE	Oba testy indikujú 2 kointegračné rovnice na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	5.840417	3.84147	0.0157	5.840417	3.84147	0.0157		
Grécko	1960 - 2010	2	r = 0	r > 0	17.49213	15.4947	0.0247	16.52574	14.26460	0.0216	ÁNO	Oba testy indikujú 1 kointegračnú rovnicu na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.966393	3.84147	0.3256	0.966393	3.84147	0.3256		
Holandsko	1960 - 2010	1	r = 0	r > 0	18.17815	15.4947	0.0192	17.69825	14.26460	0.0138	ÁNO	Oba testy indikujú 1 kointegračnú rovnicu na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.4799	3.84147	0.4885	0.4799	3.84147	0.4885		
Írsko	1970-2010	3	r = 0	r > 0	19.57453	15.4947	0.0115	19.05942	14.26460	0.0081	ÁNO	Oba testy indikujú 1 kointegračnú rovnicu na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.515104	3.84147	0.4729	0.515104	3.84147	0.4729		
Island	1960 - 2010	3	r = 0	r > 0	9.292837	15.4947	0.3390	9.163374	14.26460	0.2728	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.129464	3.84147	0.7190	0.129464	3.84147	0.7190		
Japonsko	1960 - 2010	1	r = 0	r > 0	17.65095	15.4947	0.0233	15.50089	14.26460	0.0317	ÁNO	Oba testy indikujú 1 kointegračnú rovnicu na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	2.15006	3.84147	0.1426	2.15006	3.84147	0.1426		
Kanada	1960 - 2010	3	r = 0	r > 0	13.61709	15.4947	0.0941	13.45021	14.26460	0.0669	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.166882	3.84147	0.6829	0.166882	3.84147	0.6829		
Kórea	1971-2010	1	r = 0	r > 0	9.372624	15.4947	0.3320	8.383964	14.26460	0.341	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.98866	3.84147	0.3201	0.98866	3.84147	0.3201		
Nemecko	1970 - 2010	1	r = 0	r > 0	15.05629	15.4947	0.0581	12.21121	14.26460	0.1029	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	2.845081	3.84147	0.0917	2.845081	3.84147	0.0917		
Portugalsko	1960 - 2010	2	r = 0	r > 0	14.60498	15.4947	0.0678	11.26653	14.26460	0.1414	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	3.338447	3.84147	0.0677	3.338447	3.84147	0.0677		
Rakúsko	1960 - 2010	1	r = 0	r > 0	23.93600	15.4947	0.0021	13.95010	14.26460	0.0560	NIE	Stopovacia štatistika indikuje 2 kointegračné rovnice a štat. max. vl. hodnôt indikuje 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	9.985901	3.84147	0.0016	9.985901	3.84147	0.0016		
USA	1960 - 2010	2	r = 0	r > 0	13.81872	15.4947	0.0880	13.31477	14.26460	0.0702	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.503957	3.84147	0.4778	0.503957	3.84147	0.4778		
Veľká Británia	1960 - 2010	1	r = 0	r > 0	13.17442	15.4947	0.1086	12.84041	14.26460	0.0829	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovnic na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.334013	3.84147	0.5633	0.334013	3.84147	0.5633		

**Poznámky:**

\*MacKinnon-Haug-Michelisove (1999) p - hodnoty



<b>Tab. 4:</b>		<b>GRANGEROVA KAUZALITA</b>															
Krajina	Akcept. kointegr.	Optim. počet lagov	Klasický Grangerov test kauzality				VEC model							Akceptácia kauzality			
			H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	F-štat.	p - hodn.	t-test (dlhodobý vzťah)				Združ. F-test (krátkodobý vzťah)			e → y	y → e	e ↔ y	e - y
							coef.	šstand. odch.	t-štat.	p - hodn.	F-štat.	df.	p-hodn.				
Austrália	NIE	1	e ne → y	e → y	0.85529	0.35989	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	1.43794	0.23661	-	-	-	-	-	-	-	-			
Dánsko	-	1	e ne → y	e → y	3.22476	0.0791	-	-	-	-	-	-	-	√ <sup>a</sup>	x	x	x
			y ne → e	y → e	0.82318	0.36898	-	-	-	-	-	-	-	-			
Fínsko	ÁNO	2	e ne → y	e → y	1.00078	0.37599	> 0*	-	-	-	0.679669	(2, 42)	0.5123	x	√	x	x
			y ne → e	y → e	-	-	-0.191193	0.046029	-4.153715	0.0002	2.553239	(2, 42)	0.0899				
Francúzsko	NIE	1	e ne → y	e → y	1.71831	0.19642	-	-	-	-	-	-	-	x	√	x	x
			y ne → e	y → e	4.4845	0.03964	-	-	-	-	-	-	-	-			
Grécko	ÁNO	2	e ne → y	e → y	-	-	-0.063216	0.021621	-2.923845	0.0056	0.160069	(2, 42)	0.8526	x	x	√	x
			y ne → e	y → e	-	-	> 0	-	-	-	7.363239	(2, 42)	0.0018				
Holandsko	ÁNO	1	e ne → y	e → y	4.89654	0.03191	> 0*	-	-	-	2.052689	(1, 45)	0.1588	x	x	√	x
			y ne → e	y → e	-	-	-0.119002	0.029364	-4.052673	0.0002	0.348583	(1, 45)	0.5579				
Írsko	ÁNO	3	e ne → y	e → y	-	-	-0.168482	0.079702	-2.113896	0.0432	0.556971	(3, 29)	0.6477	x	x	√	x
			y ne → e	y → e	-	-	-0.525221	0.247831	-2.119273	0.0428	3.164331	(3, 29)	0.0393				
Island	NIE	3	e ne → y	e → y	5.29481	0.00361	-	-	-	-	-	-	-	√	x	x	x
			y ne → e	y → e	1.75644	0.17102	-	-	-	-	-	-	-	-			
Japonsko	ÁNO	1	e ne → y	e → y	1.41809	0.23983	> 0*	-	-	-	0.666866	(1, 45)	0.4184	x	√	x	x
			y ne → e	y → e	-	-	-0.060972	0.020558	-2.965886	0.0048	2.224278	(1, 45)	0.1428				
Kanada	NIE	3	e ne → y	e → y	3.77409	0.01781	-	-	-	-	-	-	-	√	x	x	x
			y ne → e	y → e	1.40248	0.25616	-	-	-	-	-	-	-	-			
Kórea	NIE	1	e ne → y	e → y	1.21781	0.27732	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	2.42647	0.1283	-	-	-	-	-	-	-	-			
Nemecko	NIE	1	e ne → y	e → y	0.04172	0.83927	-	-	-	-	-	-	-	x	√	x	x
			y ne → e	y → e	4.67392	0.03716	-	-	-	-	-	-	-	-			
Portugalsko	NIE	2	e ne → y	e → y	1.49224	0.23628	-	-	-	-	-	-	-	x	√	x	x
			y ne → e	y → e	5.17534	0.00968	-	-	-	-	-	-	-	-			
Rakúsko	NIE	1	e ne → y	e → y	7.02381	0.01099	-	-	-	-	-	-	-	√	x	x	x
			y ne → e	y → e	0.01351	0.90796	-	-	-	-	-	-	-	-			
USA	NIE	2	e ne → y	e → y	1.33053	0.27500	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	1.68231	0.19795	-	-	-	-	-	-	-	-			
Veľká Británia	NIE	1	e ne → y	e → y	0.30583	0.58293	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	0.27256	0.60413	-	-	-	-	-	-	-	-			

**Poznámky:**

\* EC koeficient mal nevyhovujúce (kladné) znamienko, krátkodobé členy boli tiež nesignifikantné, a tak sme použili klasický Grangerov test kauzality pre štandardný model.

<sup>a</sup> na hladine významnosti až 8%

<b>Tab. 5:</b>		<b>UNIT ROOT TEST</b>									
<b>Krajina</b>	<b>Roky</b>	<b>Premenné</b>	<b>ADF Test</b>								<b>Výsledok</b>
			<b>Level</b>				<b>1. diferencie</b>				
			<b>t-štatistika</b>	<b>5% krit. hodnota</b>	<b>P-hodnota*</b>	<b>Lagy**</b>	<b>t-štatistika</b>	<b>5% krit. hodnota</b>	<b>P-hodnota*</b>	<b>Lagy**</b>	
Brazília	1971-2009	e	-3.916926	-3.536601	0.0212	1	-	-	-	-	I(0)
		y	-3.1732	-3.540328	0.1058	2	-3.831692	-2.948404	0.0060	2	I(1)
Egypt	1971-2009	e	-1.473654	-3.533083	0.8212	0	-6.177929	-2.943427	0	0	I(1)
		y	-3.042275	-3.540328	0.1354	2	-3.693751	-2.943427	0.0083	0	I(1)
Ekvádor	1971-2009	e	-2.219375	-3.533083	0.4658	0	-5.204789	-2.943427	0.0001	0	I(1)
		y	-2.397752	-3.533083	0.3748	0	-5.012136	-2.943427	0.0002	0	I(1)
Ghana	1971-2009	e	-2.48948	-3.533083	0.3312	0	-6.395348	-2.943427	0.0000	0	I(1)
		y	-1.299496	-3.536601	0.8725	1	-4.213477	-2.943427	0.0021	0	I(1)
Honduras	1971-2009	e	-2.244691	-3.533083	0.4525	0	-6.848332	-2.943427	0.0000	0	I(1)
		y	-1.60683	-3.533083	0.7715	0	-4.304928	-2.943427	0.0016	0	I(1)
India	1971-2009	e	-0.59005	-3.533083	0.9739	0	-4.28032	-2.943427	0.0017	0	I(1)
		y	-0.893256	-3.533083	0.9464	0	-5.5439	-2.943427	0	0	I(1)
Indonézia	1971-2009	e	-1.648643	-3.533083	0.7541	0	-6.455436	-2.943427	0.0000	0	I(1)
		y	-2.044196	-3.536601	0.5587	1	-4.467172	-2.943427	0.001	0	I(1)
Irán	1971-2009	e	-2.83226	-3.533083	0.1952	0	-7.276827	-2.943427	0.0000	0	I(1)
		y	-0.871655	-3.544284	0.9482	3	-3.683559	-2.943427	0.0085	0	I(1)
Izrael	1971-2010	e	-3.591684	-3.529758	0.0436	0	-	-	-	-	I(0)
		y	-3.373569	-3.529758	0.0698	0	-7.05092	-2.941145	0	0	I(1)
Jamajka	1971-2009	e	-2.402925	-3.536601	0.3721	1	-3.803078	-2.943427	0.0063	0	I(1)
		y	-3.818957	-3.536601	0.0266	1	-	-	-	-	I(0)
Kolumbia	1971-2009	e	-2.724843	-3.544284	0.2334	3	-3.208521	-2.945842	0.0276	1	I(1)
		y	-3.09421	-3.540328	0.1229	2	-4.453262	-2.943427	0.0011	0	I(1)
Kostarika	1971-2009	e	-1.375507	-3.533083	0.8522	0	-6.065691	-2.943427	0.0000	0	I(1)
		y	-2.36304	-3.536601	0.3917	1	-3.530339	-2.943427	0.0126	0	I(1)
Omán	1971-2009	e	-2.16293	-3.533083	0.4957	0	-8.097894	-2.943427	0.0000	0	I(1)
		y	-4.515711	-3.536601	0.0048	1	-	-	-	-	I(0)
Paraguaj	1971-2009	e	-2.149259	-3.536601	0.5026	1	-4.526502	-2.943427	0.0009	0	I(1)
		y	-2.650614	-3.536601	0.2618	1	-3.075188	-2.945842	0.0375	1	I(1)
Peru	1971-2009	e	0.054784	-3.533083	0.9956	0	-4.912198	-2.943427	0.0003	0	I(1)
		y	-1.476986	-3.536601	0.8196	1	-3.799583	-2.943427	0.0063	0	I(1)
Tunisko	1971-2009	e	-3.024897	-3.533083	0.139	0	-8.286377	-2.943427	0.0000	0	I(1)
		y	-2.00548	-3.533083	0.5797	0	-9.162026	-2.943427	0	0	I(1)

**Poznámky:**

\* MacKinnonove (1996) jednostranné p - hodnoty

\*\* Určené na základe Bayesovho informačného kritéria - BIC

<b>Tab. 6:</b>		<b>TEST KOINTEGRÁCIE</b>										
Krajina	Rok	Optim. počet lagov	Hypotézy		Johansenov Test						Akcept. kointegr.	Poznámka
			H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	Stopov. štatisitka	5% krit. hodnota	p - hodnota*	Štat. max. vl. hodnôt	5% krit. hodnota	p - hodnota*		
Brazília	1971-2009	2	r = 0	r > 0	-	-	-	-	-	-	-	Časové rady nie sú integrované rovnakého rádu (I(0), I(1)), a preto nemožno vykonať test kointegrácie. Pokračujeme Granger. kauzalitou.
			r <= 1	r > 1	-	-	-	-	-	-		
Egypt	1971-2009	2	r = 0	r > 0	20.45762	15.4947	0.0082	19.24672	14.26460	0.0075	ÁNO	Oba testy indikujú 1 kointegračnú rovnicu na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	1.210904	3.84147	0.2712	1.210904	3.84147	0.2712		
Ekvádor	1971-2009	1	r = 0	r > 0	11.16149	15.4947	0.2018	6.89837	14.26460	0.5012	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	4.263119	3.84147	0.0389	4.263119	3.84147	0.0389		
Ghana	1971-2009	2	r = 0	r > 0	9.645344	15.4947	0.309	8.909386	14.26460	0.2938	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.735958	3.84147	0.391	0.735958	3.84147	0.391		
Honduras	1971-2009	1	r = 0	r > 0	10.94407	15.4947	0.2149	10.08643	14.26460	0.2063	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.857645	3.84147	0.3544	0.857645	3.84147	0.3544		
India	1971-2009	1	r = 0	r > 0	14.41397	15.4947	0.0723	11.69925	14.26460	0.1225	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	2.714722	3.84147	0.0994	2.714722	3.84147	0.0994		
Indonézia	1971-2009	1	r = 0	r > 0	9.459203	15.4947	0.3246	7.921006	14.26460	0.3868	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	1.538197	3.84147	0.2149	1.538197	3.84147	0.2149		
Irán	1971-2009	2	r = 0	r > 0	9.687223	15.4947	0.3056	9.480517	14.26460	0.2483	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.206706	3.84147	0.6494	0.206706	3.84147	0.6494		
Izrael	1971-2010	2	r = 0	r > 0	-	-	-	-	-	-	-	Časové rady nie sú integrované rovnakého rádu (I(0), I(1)), a preto nemožno vykonať test kointegrácie. Pokračujeme Granger. kauzalitou.
			r <= 1	r > 1	-	-	-	-	-	-		
Jamajka	1971-2009	2	r = 0	r > 0	-	-	-	-	-	-	-	Časové rady nie sú integrované rovnakého rádu (I(0), I(1)), a preto nemožno vykonať test kointegrácie. Pokračujeme Granger. kauzalitou.
			r <= 1	r > 1	-	-	-	-	-	-		
Kolumbia	1971-2009	1	r = 0	r > 0	3.345373	15.4947	0.9490	3.247873	14.26460	0.9289	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.0975	3.84147	0.7548	0.0975	3.84147	0.7548		
Kostarika	1971-2009	1	r = 0	r > 0	5.332917	15.4947	0.7725	5.081263	14.26460	0.7315	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	0.251654	3.84147	0.6159	0.251654	3.84147	0.6159		
Omán	1971-2009	3	r = 0	r > 0	-	-	-	-	-	-	-	Časové rady nie sú integrované rovnakého rádu (I(0), I(1)), a preto nemožno vykonať test kointegrácie. Pokračujeme Granger. kauzalitou.
			r <= 1	r > 1	-	-	-	-	-	-		
Paraguaj	1971-2009	2	r = 0	r > 0	20.32181	15.4947	0.0086	13.54773	14.26460	0.0647	NIE	Stopovacia štatistika indikuje 2 kointegračné rovnice a štat. max. vl. hodnôt indikuje 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	6.774078	3.84147	0.0092	6.774078	3.84147	0.0092		
Peru	1971-2009	2	r = 0	r > 0	4.160272	15.4947	0.8902	2.717216	14.26460	0.9638	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	1.443056	3.84147	0.2296	1.443056	3.84147	0.2296		
Tunisko	1971-2009	2	r = 0	r > 0	15.07567	15.4947	0.0577	9.681251	14.26460	0.2337	NIE	Oba testy indikujú 0 kointegračných rovníc na hladine významnosti 5%
			r <= 1	r > 1	5.394415	3.84147	0.0202	5.394415	3.84147	0.0202		

**Poznámky:**

\*MacKinnon-Haug-Michelisove (1999) p - hodnoty

<b>Tab. 7:</b>		<b>GRANGEROVA KAUZALITA</b>															
Krajina	Akceptácia kointegrácie	Optim. počet lagov	Grangerov test kauzality				VEC model						Akceptácia kauzality				
			H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	F-štat.	p - hodn.	t-test (dlhodobý vzťah)				Združ. F-test (krátkodobý vzťah)		e → y	y → e	e ↔ y	e - y	
							coef.	štand. odch.	t-štat.	p - hodnota	F-štat.	df.					p-hodn.
Brazília	-	2	e ne → y	e → y	5.19009	0.01137	-	-	-	-	-	-	-	x	x	√ <sup>a</sup>	x
			y ne → e	y → e	3.044	0.06209	-	-	-	-	-	-	-	-			
Egypt	ÁNO	2	e ne → y	e → y	-	-	>0	-	-	-	7.235857	(2, 30)	0.0027	x	x	√	x
			y ne → e	y → e	-	-	-0.396265	0.089587	-4.423251	0.0001	1.392989	(2, 30)	0.2639				
Ekvádor	NIE	1	e ne → y	e → y	0.97516	0.33037	-	-	-	-	-	-	-	x	√	x	x
			y ne → e	y → e	4.22122	0.04767	-	-	-	-	-	-	-	-			
Ghana	NIE	2	e ne → y	e → y	0.74734	0.48197	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	2.11569	0.13763	-	-	-	-	-	-	-	-			
Honduras	NIE	1	e ne → y	e → y	0.17571	0.67772	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	2.17562	0.14941	-	-	-	-	-	-	-	-			
India	NIE	1	e ne → y	e → y	9.02477	0.00497	-	-	-	-	-	-	-	x	x	√	x
			y ne → e	y → e	4.28372	0.04615	-	-	-	-	-	-	-	-			
Indonézia	NIE	1	e ne → y	e → y	0.42417	0.51924	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	0.01033	0.91962	-	-	-	-	-	-	-	-			
Irán	NIE	2	e ne → y	e → y	0.97106	0.3899	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	1.00284	0.37843	-	-	-	-	-	-	-	-			
Izrael	-	2	e ne → y	e → y	0.99506	0.38085	-	-	-	-	-	-	-	x	√	x	x
			y ne → e	y → e	3.99701	0.02822	-	-	-	-	-	-	-	-			
Jamajka	-	2	e ne → y	e → y	0.03425	0.96637	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	1.15682	0.32769	-	-	-	-	-	-	-	-			
Kolumbia	NIE	1	e ne → y	e → y	1.58936	0.216	-	-	-	-	-	-	-	x	√ <sup>a</sup>	x	x
			y ne → e	y → e	3.50826	0.06968	-	-	-	-	-	-	-	-			
Kostarika	NIE	1	e ne → y	e → y	0.56802	0.45623	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	1.69213	0.20207	-	-	-	-	-	-	-	-			
Omán	-	3	e ne → y	e → y	2.49877	0.08007	-	-	-	-	-	-	-	x	x	√ <sup>o</sup>	x
			y ne → e	y → e	3.34834	0.03309	-	-	-	-	-	-	-	-			
Paraguaj	NIE	2	e ne → y	e → y	0.14654	0.86428	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	0.32632	0.72402	-	-	-	-	-	-	-	-			
Peru	NIE	2	e ne → y	e → y	0.10106	0.90417	-	-	-	-	-	-	-	x	√	x	x
			y ne → e	y → e	5.33415	0.01021	-	-	-	-	-	-	-	-			
Tunisko	NIE	2	e ne → y	e → y	0.85508	0.43504	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	√
			y ne → e	y → e	0.39105	0.67963	-	-	-	-	-	-	-	-			

**Poznámky:**

<sup>a</sup> na hladine významnosti až 7%

<sup>o</sup> na hladine významnosti až 9%

<b>Tab. 8:</b>		<b>VÝSLEDKY - KRAJINY OECD</b>							
Krajina	Fáza 1: I(1)	Fáza 2: Kointegrácia	Fáza 3: Kauzalita $\Leftrightarrow \Rightarrow \Rightarrow$						
	Obe: Energia & HDP	Energia & HDP	$e \rightarrow y$	$y \rightarrow e$	$e \leftrightarrow y$	$e - y$	$e - y$	$e - y$	$y - e$
			(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(i + ii + iii)	(i + iii)	(ii + iii)
Austrália	√	-	x	x	x	√	-	-	-
Dánsko	-		√	x	x	x	√	√	-
Fínsko	√	√	x	√	x	x	√	-	√
Francúzsko	√	-	x	√	x	x	√	-	√
Grécko	√	√	x	x	√	x	√	√	√
Holandsko	√	√	x	x	√	x	√	√	√
Írsko	√	√	x	x	√	x	√	√	√
Island	√	-	√	x	x	x	√	√	-
Japonsko	√	√	x	√	x	x	√	-	√
Kanada	√	-	√	x	x	x	√	√	-
Kórea	√	-	x	x	x	√	-	-	-
Nemecko	√	-	x	√	x	x	√	-	√
Portugalsko	√	-	x	√	x	x	√	-	√
Rakúsko	√	-	√	x	x	x	√	√	-
USA	√	-	x	x	x	√	-	-	-
Veľká Británia	√	-	x	x	x	√	-	-	-

<b>Tab. 9:</b>		<b>VÝSLEDKY - KRAJINY MIMO OECD</b>							
Krajina	Fáza 1: I(1)	Fáza 2: Kointegrácia	Fáza 3: Kausalita $\Leftrightarrow \Rightarrow \Rightarrow$						
	Obe: Energia & HDP	Energia & HDP	$e \rightarrow y$	$y \rightarrow e$	$e \leftrightarrow y$	$e - y$	$e - y$	$e - y$	$y - e$
			(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(i + ii + iii)	(i + iii)	(ii + iii)
Brazília	-		x	x	√	x	√	√	√
Egypt	√	√	x	x	√	x	√	√	√
Ekvádor	√	-	x	√	x	x	√	-	√
Ghana	√	-	x	x	x	√	-	-	-
Honduras	√	-	x	x	x	√	-	-	-
India	√	-	x	x	√	x	√	√	√
Indonézia	√	-	x	x	x	√	-	-	-
Irán	√	-	x	x	x	√	-	-	-
Izrael	-		x	√	x	x	√	-	√
Jamajka	-		x	x	x	√	-	-	-
Kolumbia	√	-	x	√	x	x	√	-	√
Kostarika	√	-	x	x	x	√	-	-	-
Omán	-		x	x	√	x	√	√	√
Paraguaj	√	-	x	x	x	√	-	-	-
Peru	√	-	x	√	x	x	√	-	√
Tunisko	√	-	x	x	x	√	-	-	-