

KARLOVA UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA SOCIÁLNÍCH VĚD

Institut Ekonomických Studií



Štěpán Chrz

Provázanost trhů potravin, biopaliv a  
fosilních paliv: Kointegrační analýza

*Bakalářská práce*

Praha 2012

Autor práce: Štěpán Chrz  
Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Hrubý CSc.

Akademický rok: 2011/2012

Bibliografický záznam:

Chrz, Štěpán. *Provázanost trhu potravin, biopaliv a fosilních paliv: Kointegrační analýza*, Praha, 2012. Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Fakulta sociálních věd, Institut ekonomických studií. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Hrubý CSc.

Název práce: Provázanost trhu potravin, biopaliv a fosilních paliv: Kointegrační analýza

Autor: Štěpán Chrz

Institut: Institut ekonomických studií

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Hrubý CSc.

Abstrakt: Tato práce zkoumá provázanost trhů potravin, biopaliv a fosilních paliv. První část pojednává o biopalivech obecně. Popisuje specifika jednotlivých paliv, typy vládní podpory a vývoj legislativy upravující produkci a spotřebu biopaliv ve vybraných regionech. Druhá část je věnována analýze dlouhodobých a krátkodobých kauzálních vztahů mezi cenami komodit. Dále je zkoumán dopad zavedení amerického regulačního opatření Energy Policy Act z roku 2005. K analýze je použita Johansenova kointegrace, error correction model, vektorová autoregrese a Grangerova kauzalita. Je nalezena řada dlouhodobých rovnovážných vztahů napříč uvažovanými trhy svědčících o jejich propojenosti. Závěry ohledně vlivu EPA nejsou kvůli omezením modelů jednoznačné.

Klíčová slova: biopaliva, fosilní paliva, potraviny, Energy Policy Act, Johansenova kointegrace, ECM, VAR, Grangerova kauzalita.

Délka práce: 71 338 znaků včetně mezer

Bibliographic entry:

Chrz, Štěpán. *Interconnections within Food, Biofuel and Fossil Fuel Markets: Cointegration analysis*, Prague, 2012. Bachelor's thesis, Charles University, Faculty of Social Sciences, Institute of Economic Studies. Supervisor: Ing. Zdeněk Hrubý CSc.

Title: Interconnections within Food, Biofuel and Fossil Fuel Markets: Cointegration analysis.

Author: Štěpán Chrz

Department: Institute of Economic Studies

Supervisor: Ing. Zdeněk Hrubý CSc.

Abstract: This work examines a topic of interconnections within food, biofuel and fossil fuel markets. The first part provides a general description of biofuel types, related policy measures and a development of relevant legal framework in selected regions. Second part describes an analysis of long- and short-term causal relationships between commodities. Furthermore, an impact of Energy Policy Act of 2005 on these relationships is examined. The analysis incorporates Johansen cointegration, error correction model, vector autoregression and Granger causality. A number of equilibrium relationships are found across the examined markets suggesting an interconnection of the studied markets. The results of the impact of EPA are inconclusive due to a limitations of employed models.

Keywords: biofuels, fossil fuels, food, Energy Policy Act, Johansen cointegration, ECM, VAR, Granger causality.

Length of the thesis: 71,338 characters including spaces

Prohlášení: Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracoval samostatně a použil jen uvedené prameny a literaturu. Dále prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného titulu. Souhlasím s tím, aby práce byla zpřístupněna pro studijní a výzkumné účely.

V Praze, 18. května, 2012

Štěpán Chrz

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Zdeňkovi Hrubému CSc. za pomoc s výběrem tématu, vedení práce a především za jeho nekonečnou trpělivost. Dále bych rád poděkoval PhDr. Ladislavu Křišťoufkovi za pomoc s ekonometrickými modely a za poskytnutí dat, bez nichž by práce v této podobě nemohla vzniknout. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu a cenné připomínky.

UNIVERSITAS CAROLINA PRAGENSIS  
založena 1348

Univerzita Karlova v Praze  
Fakulta sociálních věd  
Institut ekonomických studií



Opletalova 26  
110 00 Praha 1  
TEL: 222 112 330,305  
TEL/FAX: 222 112 304  
E-mail: [ies@mbox.fsv.cuni.cz](mailto:ies@mbox.fsv.cuni.cz)  
<http://ies.fsv.cuni.cz>

Akademický rok 2009/2010

## TEZE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student:	Štěpán Chrz
Obor:	Ekonomické teorie
Konzultant:	Zdeněk Hrubý

Garant studijního programu Vám dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a Studijního a zkušebního řádu UK v Praze určuje následující bakalářskou práci

Předpokládaný název BP:

**Rovnovážné vztahy na trzích potravin, biopaliv a fosilních paliv: analýza kointegrace**

Charakteristika tématu, současný stav poznání, případné zvláštní metody zpracování tématu:

V současné době pokrývají zhruba 7% spotřeby energie v EU tzv. obnovitelné zdroje, z čehož až tři čtvrtiny pocházejí z biomasy. Podle návrhu Evropské komise by se měl do roku 2020 zvýšit podíl energie vyráběné z obnovitelných zdrojů na 20% a podíl tekutých biopaliv na 10% celkové spotřeby paliv pro silniční dopravu.

Nejen v EU je institucemi nařízené zvyšování podílu energie produkované z biomasy výrazným trendem. Nárůst výrobní kapacity v této oblasti ve výše uvedeném rozsahu zásadním způsobem ovlivňuje trhy potravin a energií a nepřímo také trh petrochemických produktů, který se přizpůsobuje změněné poptávce.

Cílem této práce je zkoumání změn a možných deformací trhu způsobených regulací na národní a evropské úrovni.

Předmětem první části bude analýza dopadů zvyšování produkce biomasy na zemědělství. V úvodu bude zkoumat míru s jakou se využívá půda dosud užívaná k výrobě potravin, případně vznik nových zemědělských ploch. V návaznosti na tento rozbor bude hodnotit souvislost mezi produkcí biomasy a růstem cen potravin a skutečný rozsah proklamovaného přínosu životnímu prostředí.

Druhá část se bude zabývat potenciálem a reálnými náklady využití biomasy v energetickém průmyslu. Bude se snažit odpovědět na otázku, zda je její využití pro výrobu elektřiny ekonomicky smysluplné nebo jde-li jen o plnění (případně využívání) daných nařízení. Velký důraz bude kladen také na analýzu cen pro konečného spotřebitele.

Třetí část bude zkoumat využití biopaliv v dopravě, především technická omezení, reálné náklady na biopaliva a možné změny v petrochemickém průmyslu.

## Struktura BP:

### Osnova

1. Úvod
2. Vymezení pojmů, klasifikace jednotlivých druhů biomasy
3. Systém regulace relevantních trhů a průmyslových odvětví Evropskou unií
4. Produkce biomasy
  - 4.1. Náročnost produkce na zdroje
  - 4.2. Globální změny v zemědělství
  - 4.3. Růst cen potravin
  - 4.4. Zátěž životního prostředí a uhlíkový cyklus
5. Biomasa v energetickém průmyslu
  - 5.1. Technická omezení
  - 5.2. Změny cen energií
6. Biopaliva v dopravě
  - 6.1. Technická specifika biopaliv
  - 6.2. Srovnání reálných cen biopaliv a ropných produktů
  - 6.2. Změny cen ropy a ostatních petrochemických produktů
  - 6.3. Změna struktury investic v petrochemickém průmyslu
7. Možný střednědobý vývoj na relevantních trzích
8. Závěr

## Seznam základních pramenů a odborné literatury:

Kolektiv autorů: The Biomass Energy Data Book; Oak Ridge; Oak Ridge National Laboratory, 2009

Kolektiv autorů: Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels; University of Minnesota, 2006;  
<http://www.pnas.org/content/103/30/11206.full>

Kirton, John, Koch, Madeline: G20 : Sao Paulo summit : growth, innovation, inclusion; London; Newsdesk Communication, 2008

Tomovčik, Ján: Technológia recyklizácie sekundárnej produkcie poľnohospodárstva; Bratislava; Slovenská akadémia vied. Prognostický ústav, 2001

Kolektiv autorů: Biopaliva : pomoc přírodě, nebo zločin proti lidskosti?; Praha; Centrum pro ekonomiku a politiku, 2009

Musil, Petr: Globální energetický problém a hospodářská politika se zaměřením na obnovitelné zdroje; Praha; C.H. Beck, 2009

Rosegrant, Mark W.: Biofuels and Grain Prices: Impacts and Policy Responses; International Food Policy Research Institute, 2008  
<http://econ.tu.ac.th/class/archan/RANGSUN/EC%20460/EC%20460%20Readings/Global%20Issues/Food%20Crisis/Biofuels%20and%20Food%20Price/Biofuels%20and%20Grain%20rices.pdf>

Datum zadání:	
Termín odevzdání:	



# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>3</b>
<b>I Přehled</b>	<b>4</b>
<b>2 Druhy biopaliv</b>	<b>4</b>
2.1 Etanol . . . . .	5
2.2 Bionafta . . . . .	7
<b>3 Politické pozadí produkce biopaliv</b>	<b>8</b>
3.1 Politické cíle . . . . .	9
3.1.1 Důvody pro podporu biopaliv . . . . .	9
3.1.2 Priority politických cílů . . . . .	10
3.2 Druhy podpory biopaliv . . . . .	11
<b>4 Vývoj legislativy a formy podpory v jednotlivých státech a     regionech</b>	<b>14</b>
4.1 Evropská unie . . . . .	15
4.2 Spojené státy . . . . .	17
4.3 Brazílie . . . . .	18
<b>II Analytická část</b>	<b>19</b>
<b>5 Záměr</b>	<b>19</b>
<b>6 Přehled literatury</b>	<b>20</b>
6.1 Strukturální modely . . . . .	21
6.2 Redukované modely . . . . .	22
<b>7 Data</b>	<b>27</b>

<b>8 Metodologie</b>	<b>29</b>
8.1 Stacionarita . . . . .	29
8.2 Johansenova kointegrace . . . . .	31
8.3 Error correction model . . . . .	32
8.4 Vektorová autoregrese . . . . .	34
<b>9 Výsledky</b>	<b>35</b>
9.1 Vztahy v celém zkoumaném období . . . . .	36
9.2 Vztahy v období před zavedením Energy Policy Act 2005 . .	37
9.3 Vztahy v období po zavedení Energy Policy Act 2005 . . . .	38
9.4 Změna mezi sledovanými obdobími . . . . .	39
<b>10 Diskuse nalezených vztahů</b>	<b>40</b>
10.1 Nalezené vztahy oproti předpokládaným . . . . .	40
10.2 Změna po zavedení Energy Policy Act . . . . .	42
<b>11 Závěr</b>	<b>43</b>
<b>12 Přílohy</b>	<b>45</b>
<b>Reference</b>	<b>51</b>

# 1 Úvod

Tekutá biopaliva jako potenciální náhrada fosilních paliv se začala objevovat v 70. letech v reakci na ropnou krizi. Některé státy, především USA a Brazílie, zavedly systém podpory produkce biopaliv, který stál za nepříliš rychlým avšak stálým růstem vyrobených objemů v dalších dvaceti letech. Značný zájem o témata energetické bezpečnosti a klimatické změny vedl na přelomu století k výraznému rozšíření státní podpory, která společně se zvyšujícími se cenami ropy stojí za dramatickým nárůstem vyprodukovaných objemů biopaliv v posledních deseti letech. Existuje ovšem řada studií, které upozorňují na možnou souvislost mezi zaváděním zmíněných regulací a nárůstem cen zemědělských komodit, který vyvrcholil potravinovou krizí v roce 2008. Protože vysoké ceny potravin dopadají na významnou část populace, je při zavádění regulací nutné tento aspekt brát v potaz. K tomu je zapotřebí hlubší porozumění vztahům mezi komoditami energetických a potravinových trhů.

Tato práce zkoumá vazby mezi dvanácti produkty - fosilními palivy, biopalivy a potravinami. Kromě provázanosti v celém sledovaném období si klade za cíl zhodnotit vliv zavedení amerického regulačního opatření Energy Policy Act z roku 2005. K posouzení přítomnosti dlouhodobých rovnovážných vztahů mezi komoditami je využit model Johansenovy kointegrace. Krátkodobá provázanost je vyšetřována za pomoci Grangerovy kauzality aplikované v error correction modelu a vektorové autoregresi. Na rozdíl od většiny ostatních prací je použito poměrně široké portfolio komodit, s nímž je v jeho plném rozsahu zacházeno striktně symetricky. Výsledky tak nejsou ovlivněny množstvím apriorních předpokladů, a měly by proto poskytovat nezkreslený obraz o povaze vztahů na zkoumaných trzích.

Část 1, která o biopalivech pojednává obecně, je řazena následovně: Sekce 2 pojednává o specifikách etanolu a bionafty, sekce 3 o politickém pozadí

produkce biopaliv a sekce 4, která část uzavírá, sleduje vývoj biopalivové legislativy v různých regionech.

Následuje část 2, která se zabývá provedenou analýzou dat. Sekce 5 vysvětluje, čím a proč se tato práce liší od ostatních a na jaké otázky by měla nalézt odpovědi. Sekce 7 a 8 popisují použitá data, respektive metodologii. V posledních dvou sekcích jsou shrnuty a následně diskutovány výsledky.

## Část I

# Přehled

## 2 Druhy biopaliv

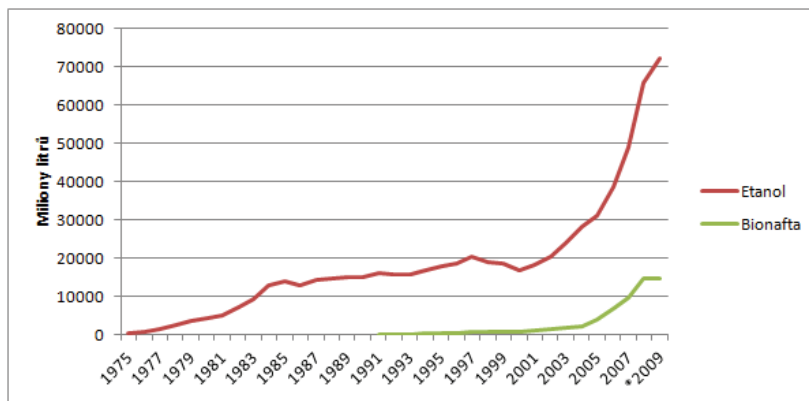
Biopalivo je v širším slova smyslu téměř jakýkoli typ paliva, jehož energie pochází z biologicky zachyceného uhlíku<sup>1</sup>. Mezi biopaliva se tak řadí různé druhy tuhé biomasy, tekutých paliv a bioplynů. Tato práce se však věnuje pouze tekutým biopalivům, konkrétně etanolu a esterům (tzv. bionaftě), které slouží jako substituty fosilních paliv v přepravě. Zatímco etanol se zpravidla vyrábí z cukru nebo rostlin obsahujících větší množství škrobů a jiných sacharidů, jako jsou například obiloviny, bionafta se vyrábí převážně z olejnin, jakými jsou například řepka olejná a sója, částečně pak i z organického odpadu (použitý potravinářský olej, odpadní živočišné tuky).

Jak ukazuje graf (1), objem výroby etanolu vzrostl mezi lety 2000 a 2009 z necelých 17 na 72 miliard litrů, objem vyprodukované bionafty pak z 0,8 na 14,7 miliard litrů.

Tato sekce je kromě dále zmíněných zdrojů zpracována podle Cheng and Timilsina [2011], OECD [2008] a Kristoufek et al. [2011].

---

<sup>1</sup>Do této definice přirozeně nespádají fosilní paliva, neboť uhlík v nich obsažený se uhlíkového cyklu neúčastnil skutečně dlouho.



Graf 1: Světová produkce palivového etanolu a bionafty (údaje pro rok 2009 jsou odhad)

Zdroj: Sorda et al. [2010]

## 2.1 Etanol

Jak napovídá tabulka (1a), největším světovým producentem etanolu jsou Spojené státy následované Brazílií a se značným odstupem také Evropskou unií. V USA byl v roce 2010 podíl etanolu na spotřebě měřený v galonech ekvivalentu benzínu 6,5%. V Brazílii je tento podíl nepoměrně vyšší - v roce 2009 dosahoval až 50%.

V současnosti se bioetanol jako palivo pro automobily používá nejčastěji v nízkopodílových směsích. V EU jde zpravidla o 10% etanolu a 90% benzínu, v některých zemích je tento podíl jen pětiprocentní. Tyto směsi lze spalovat ve standardních zážehových motorech, zatímco směsi s podílem etanolu vyšším než 30% vyžadují jisté úpravy. Již několik let fungují v Brazílii – v jiných zemích se začínají teprve objevovat – flex-fuel automobily, které mohou spalovat libovolný poměr benzínu a etanolu. To samozřejmě představuje výhodu pro spotřebitele, který je tak chráněn proti relativnímu zvýšení ceny jednoho paliva, zároveň však hlouběji provazuje trh benzínu a etanolu.

Naprostá většina etanolu se dnes vyrábí z kukuřice a cukrové třtiny. Kukuřice se užívá v regionech s mírným klimatem, jako jsou například Spojené státy. Zde bylo v roce 2006 zhruba 20% její produkce určeno k výrobě paliv. V Brazílii, kde je dominantním zdrojem cukrová třtina, se k výrobě etanolu spotřebuje dokonce více než 55% z jejího celkového objemu. Dalšími užívanými plodinami jsou obilí, cukrová řepa a maniok (cassava).

Výroba etanolu spočívá v kvašení cukru získaného buď přímo z cukrové třtiny (případně řepy), nebo nepřímo přeměnou ze škrobů obsažených v obilninách. Škroby je však navíc nutné rozštěpit na jednoduché cukry při vysokoteplotním enzymatickém procesu, což je energeticky náročné. Cukr je posléze kvašen za pomoci kvasinek a jiných mikroorganismů. V celém procesu vzniká řada vedlejších produktů, jejichž využitím lze výrobu značně zlevnit. Jedná se především o na proteiny bohaté krmivo nebo stonky použitelné jako topivo ve výrobním procesu.

Etanol má antidetonační vlastnosti, a je tedy vhodný jako příměs pro zvýšení oktanového čísla. V některých zemích, především pak ve Spojených státech, poptávka po etanolu jako antidetonačním činidlu roste. To je způsobeno odklonem od doposud užívaného MTBE (Methyl tert-butyl ether), který i při nízkých koncentracích v pitné vodě ohrožuje lidské zdraví. Přestože energetická hustota etanolu dosahuje ve srovnání s benzínem jen asi dvou třetin, může automobil s patřičně upraveným motorem ujet stejnou vzdálenost na litr paliva jako benzínová verze téhož automobilu. To je způsobeno vysokým oktanovým číslem etanolu a jeho vysokým měrným skupenským teplem vypařování, které dohromady umožňují relativně velký kompresní poměr v upravených motorech. Etanol je těkavější než benzín a zvláště pak při teplejším počasí může vyžadovat speciálně upravené směsi. Nevýhodou je také jeho schopnost vázat vodu, která může bez přidání anti-korozních aditiv způsobovat korozi motoru.

Oblast	2007	2008	Oblast	2007	2008
USA	24360	33737	EU 27	7377	9164
Brazílie	18815	24261	USA	2733	3078
EU 27	2138	2748	Argentina	522	1550
Čína	1822	1882	Brazílie	457	1238
Kanada	830	892	Austrálie	524	1051
Thajsko	297	337	Malajsie	240	609
Kolumbie	281	296	Indonésie	327	405
Indie	198	247	Indie	114	227
Austrálie	99	97	Kanada	99	114
Ostatní	311	480	Ostatní	895	1036
<b>Svět</b>	<b>49112</b>	<b>64981</b>	<b>Svět</b>	<b>13060</b>	<b>18472</b>

(a) Etanol

(b) Bionafta

Tabulka 1: Produkce biopaliv v milionech litrů podle zemí/regionů  
Zdroj: Renewable Fuel Asociation, 2010.

## 2.2 Bionafta

Jak bylo zmíněno výše (viz např. tabulka (1)), výroba bionafty v současnosti zdaleka nedosahuje takových objemů jako výroba etanolu. Tabulka (1b) ukazuje, že čelním producentem je Evropská unie (7,3 miliard litrů) následovaná se značným odstupem Spojenými státy (2,7 miliard litrů).

Bionaftu je možné vyrábět z řady rostlinných a dokonce i živočišných olejů. Nejužívanějšími plodinami jsou v současnosti řepka olejná, která je zdrojem pro většinu produkce v EU, a olej ze sojových bobů, ze kterého se vyrábí až 90% amerického objemu.

Bionafta je stejně jako etanol míchána s konvenčním palivem, zpravidla jako pětiprocentní příměs. V některých zemích, například v Německu, je prodávána i v třicetiprocentní směsi nebo ve své čisté podobě, kterou je možné spalovat v motorech upravených pro tento účel (OECD [2008]).

Standardním postupem pro výrobu bionafty je transesterifikace přírodních olejů či živočišných tuků. Za pomoci filtrace jsou odstraněny nečistoty

a voda a takto přečištěný tuk se smísí s alkoholem (nejčastěji metanol) za přítomnosti katalyzátoru (zpravidla hydroxidu sodného či draselného). Molekuly oleje (triglyceridy) se rozštěpí na estery (bionafta) a glycerol, které se následně oddělí a pročistí. Kromě glycerolu vzniká jako vedlejší efekt i glycerin, který se využívá v potravinářství, zdravotnictví a kosmetickém průmyslu.

Na rozdíl od klasické nafty neobsahuje bionafta síru, má velmi dobré mazací účinky a vyšší cetanové číslo (udává kvalitu nafty z hlediska vznětové charakteristiky – jde o obdobu oktanového čísla u benzínu). Relativně dobré rozpouštěcí vlastnosti mají svá pozitiva i negativa – u nových motorů zabráňuje vzniku organických usazenin v palivovém systému, avšak u motorů, kde bylo dříve používáno palivo bez přídavku bionafty, může docházet k nežádoucímu rozpouštění již vzniklých usazenin a následnému zanášení palivových filtrů. Bionafta má ve srovnání s klasickou naftou jen 90% energetickou hustotu, avšak díky lepším mazacím vlastnostem a vyššímu cetanovému číslu je vzdálenost ujetá na litr paliva srovnatelná.

### 3 Politické pozadí produkce biopaliv

Jednou z hlavních příčin vysokého zájmu o biopaliva v posledním desetiletí je z velké části jistě politická podpora jak biopaliv, tak jiných obnovitelných zdrojů energie ve vyspělých zemích. Vzhledem k vysokým produkčním nákladům ve srovnání s fosilními palivy a nutnosti úpravy stávajících logistických sítí je nepravděpodobné, že by v současnosti biopaliva v dopravě mohla přinášet zisky bez veřejné podpory (neplatí pro Brazílii). Tato sekce je kromě dále zmíněných zdrojů zpracována podle OECD [2008], Kristoufek et al. [2011], Pons [2008], Rajagopal and Zilberman [2007] a Sorda et al. [2010].



## 3.1 Politické cíle

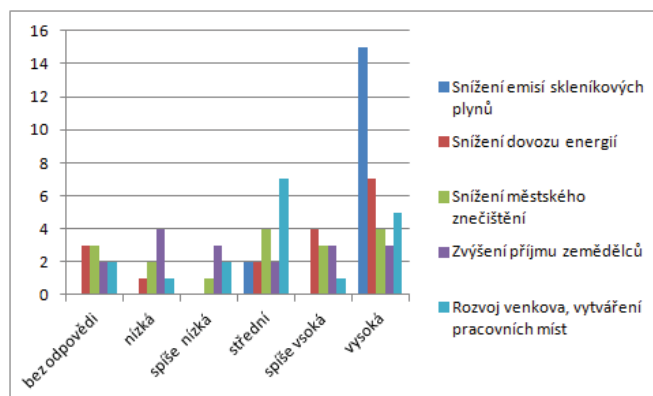
### 3.1.1 Důvody pro podporu biopaliv

Důvodů pro podporu užívání biopaliv je mnoho a liší se jak napříč zeměmi, tak politickým spektrem. Lze však identifikovat několik takových, které jsou proklamovány většinou států:

**Zabezpečení dodávek energií** Průmyslové země jsou vysoce závislé na fosilních palivech, zvláště pak na ropných produktech. Právě závislost na ropných produktech se zdá být problematická a to hned z několika důvodů. Značná část ropy pochází z politicky nestabilních regionů. Existuje tedy nemalé riziko přerušení jejích dodávek a následného zvýšení cen. Panuje také obava, že vytěžitelné zásoby ropy se budou v nadcházejícím století výrazně ztenčovat a cena ropy poroste nad únosnou mez.

**Zlepšení životního prostředí** Stejně jako u jiných obnovitelných zdrojů energie, i používání biopaliv by mělo zmenšit dopad lidské činnosti na přírodu. Rozvoj biopaliv je pro mnohé země cestou, jak snížit emise oxidu uhličitého a jiných skleníkových plynů a dostát tak svým závazkům vyplývajícím z Kjótského protokolu a Rámcové úmluvy OSN o klimatických změnách. Ač některé nedávné práce naznačují opak, většina studií dochází k závěru, že užití biopaliv v dopravě snižuje emise skleníkových plynů. Jako důvod pro podporu biopaliv je zmiňováno i zlepšení místního životního prostředí, především pak zvýšení kvality vody a ovzduší v městských oblastech.

**Podpora zemědělství** Vytváření nových odbytišť zemědělských produktů a zvýšení poptávky po nich je přinejmenším politicky žádoucí zvláště s přihlédnutím k omezování programu Společné zemědělské politiky a jiných podobných programů mimo EU.



Graf 2: Důvody pro podporu biopaliv.  
Zdroj: OECD [2008]

**Rozvoj venkova** V některých zemích je jako cíl spíše než podpora zemědělství deklarován celkový rozvoj venkovských oblastí, které zpravidla zaostávají za městskými oblastmi, co se ekonomického růstu týče. Předpokládá se rychlý růst nových odvětví spojených s produkcí biopaliv a s tím související zvýšení zaměstnanosti.

Výše zmíněné cíle by samozřejmě v delším období měly přispět k celkovému rozvoji hospodářství a životní úrovně.

### 3.1.2 Priority politických cílů

Pro podporu biopaliv mají vlády řadu důvodů a, jak bylo zmíněno výše, lze nalézt několik takových, že je za své považuje řada států. Přiřadit těmto cílům prioritu je obtížné, neboť jejich „žebříčky“ se liší nejen napříč zeměmi, ale i napříč politickými uskupeními – navíc se jistě budou vyvíjet v čase. Přesto OECD mezi lety 2007 a 2008 zkoumalo žebříčky priorit 17 dotazovaných - svých členských zemí a Evropské unie (zastupované Evropskou komisí).

Jak je zřejmé z grafu (2), z průzkumu vyplynulo, že snížení emisí skleníkových plynů patří mezi hlavní priority téměř všech dotazovaných (15 z cel-

kových 17). Ačkoli boj proti klimatickým změnám je zdaleka nejvýraznější, je třeba podotknout, že „*velké množství zemí považuje několik z daných cílů za velmi důležité, což ukazuje, že motivace většiny vlád [...] je skupina cílů se stejnou prioritou, spíše než jeden specifický cíl.*“ (OECD [2008], str. 25)

Je zřejmé, že cíle nejsou univerzální a priority se tak budou lišit v různých regionech. Zatímco například na importu ropy závislá Evropa přiřazuje značný význam snížení dovozu energií, jiné státy mu přiřádají minimální váhu. Příkladem může být Brazílie, která nejenže disponuje zásobami fosilních paliv a velkou část své domácí spotřeby energie pokryje výrobou ve vodních elektrárnách, ale zároveň je i největším exportérem etanolu.

Je třeba poznamenat, že cíl „Rozvoj venkova, vytváření pracovních míst“, kterému řada států přiřazuje vysokou prioritu, se zdaleka netýká jen podpory zemědělců. Jeho důležitou součástí je vznik a rozvoj stanic pro zpracování biomasy a jejich podpůrné infrastruktury.

Jak již bylo řečeno, důvodů pro podporu biopaliv je řada a neomezují se tedy na těchto pět vybraných. Mezi další časté odpovědi v průzkumu OECD patřily například snížení energetické náročnosti a diverzifikace nabídky energií v dopravě, podpora při zakládání malých podniků čelících vysokým zřizovacím nákladům, zlepšení udržitelnosti ekonomiky, rozvoj recyklující společnosti (recycling-based society) a posílení technologického rozvoje.

### **3.2 Druhy podpory biopaliv**

Podpora biopaliv se v jednotlivých zemích liší a to i v zemích Evropské unie. Ta ve svých směrniciích stanovuje podíl biopaliv v dopravě, je však zcela na členských zemích, jak této hodnoty dosáhnou. Vlády pak mohou ovlivnit produkční a užitný řetězec v různých stádiích a různými způsoby. Dále jsou uvedeny v současnosti užívaná opatření aplikovaná ve výrobě, distribuci a spotřebě biopaliv.

**Opatření ovlivňující produkci biomasy** Jednou cestou ke snížení ceny vstupní suroviny, ať již ve formě plodin či biomasy, je poskytnutí přímých dotací na vyprodukovaný objem vstupu. Příkladem může být program podpory energetických plodin (Energy Crop Aid) zavedený při reformě Společné zemědělské politiky v roce 2003. Zatímco reforma odpoutala platby zemědělcům od vyprodukovaného množství či oseté plochy a zavedla systém paušálních plateb (Single Farm Payment), program Energy Crop Aid podporoval produkci energetických plodin pro průmyslové využití platbami na hektar oseté půdy. Takové plodiny mohly být zároveň pěstovány na neobdělávaných plochách, aniž by tím zemědělec přišel o platby za jejich nevyužívání.

**Snížení nákladů na infrastrukturu** Ve srovnání s fosilními palivy jsou počáteční náklady na zřízení výrobních jednotek vyšší a podpora má tak často formu snižování nákladů na infrastrukturu. Vlády zhusta poskytují kapitálové dotace na některá zařízení ve výrobě (například bioreaktory nebo kogenerační jednotky) nebo v distribuci (například palivové zásobníky a pumpy). Je užíván také systém státem garantovaných půjček, jaký funguje například v USA, kde jej mohou využívat producenti etanolu.

**Dotace na vyprodukované množství a garance ceny** Podobná opatření jako například Evropská unie užívá či užívala v rámci Společné zemědělské politiky pro podporu zemědělské produkce, lze použít i pro podporu biopaliv. Vláda může poskytnout objem financí úměrný množství biopaliva nebo vyrobené energie. Poskytnout jej může buď producentům biopaliv formou přímé podpory na jednotku výstupu, nebo distributorům a prodejčům formou daňových úlev. Druhá varianta byla zavedena kupříkladu programem Energy Policy Act v roce 2005 v USA.

Jiným způsobem podpory je garance výkupní ceny biopaliv, která může nabýt buď formu nařízení distributorům o minimální výkupní ceně, nebo garantovaný odkup komodit státem. Tato minimální cena je buď fixována na

několik let, aby poskytla producentům rozumnou míru jistoty o budoucím vývoji podmínek na trhu, nebo je periodicky upravována. Druhá varianta předchází situacím, kdy se profitabilita kvůli poklesu cen výrobních technologií stane neúměrně vysokou, jako tomu bylo v případě provozu solárních elektráren v EU.

Cena může být dále zvýšena o příplatek za přínos životnímu prostředí, který se uděluje buď plošně na obnovitelné zdroje, nebo nabývá různých výší podle preferencí vlád. Podobně funguje takzvaný zelený bonus, kde producent prodává za standardní velkoobchodní cenu a kupující (tedy distributor) mu poté zelený bonus vyplatí.

**Opatření ovlivňující distribuci biopaliv** Standardním opatřením pro snížení distribučních nákladů je vracení spotřební daně zaplacené z paliv s bio-příměsí. V takovém případě zpravidla velkoobchodní dodavatel zaplatí spotřební daň ve chvíli, kdy dodává palivo na trh, a posléze může nárokovat vrácení daně zaplacené z bio-příměsí. Pokud distributor nemá dostatečnou daňovou povinnost, proti které by svůj nárok uplatnil, může vratnou částku uplatnit na dani z příjmu.

Na rozdíl od produkční fáze je možné v distribuci užít množstevní požadavky. Ty se mohou týkat jak prodaných objemů (v takovém případě je nařízeno povinné přimíchávání biopaliv do paliv konvenčních), tak prodejní infrastruktury (zde lze například stanovit minimální prodaný objem na každé čerpací stanici). Například ve Švédsku mají od roku 2006 čerpací stanice s ročním prodaným objemem paliv vyšším než 3000 kubických metrů povinnost nabízet i obnovitelná paliva jako bioetanol, bionaftu nebo bioplyn. Od roku 2009 zde byl limit prodaných biopaliv snížen z 3000 na 1000 metrů kubických.

**Opatření ovlivňující spotřebu biopaliv** Chce-li vláda zvýšit spotřebu biopaliv, může využít opatření ke snížení koncové ceny na nebo pod úroveň

ceny fosilních paliv. Naprostá většina zemí OECD nyní poskytuje na biopaliva výjimku ze spotřební daně a to buď neomezeně, nebo na určité množství. Dánsko, Norsko a Švédsko, které užívají daň z oxidu uhličitého, ji na biopaliva neuplatňují. Některé země dále zavádějí vrácení daně z příjmu při koupi technologií podporujících širší využití biopaliv, jakou jsou například flex-fuel automobily umožňující spalování paliv s libovolně velkým podílem biopaliv.

**Jiné formy podpory** Většina zemí OECD zavedla programy podpory výzkumu a vývoje obnovitelných paliv. V současnosti je velký důraz kladen na biopaliva druhé generace, především pak jejich komerční produkci.

V zájmu rozvoje domácích produkčních struktur některé země nebo jejich uskupení (například Evropská unie) zavádí cla na dovážená biopaliva a komodity určené k jejich výrobě. Takové opatření však podporuje skutečně jen domácí producenty a nikoli užívání biopaliv. Svým účinkem jde spíše proti opatřením zmiňovaným výše, neboť zdražuje vstupy, podobně jako by je zdražilo například uvalení daně. Podobný efekt mají i jiné obchodní bariéry jako například normy jakosti paliv.

## 4 Vývoj legislativy a formy podpory v jednotlivých státech a regionech

Tato část přináší přehled politik týkajících se biopaliv v EU, USA a Brazílii, jakožto největších producentů i konzumentů biopaliv. Část o EU je zpracována podle Spencer et al. [2011], ENERS Energy Concept [2011] a Evropská Komise [2005], část o USA podle Ziolkowska et al. [2010], Serra et al. [2008] a Al-Riffai et al. [2010] a konečně část o Brazílii podle Kristoufek et al. [2011] a Al-Riffai et al. [2010].

## 4.1 Evropská unie

Počátkem plánů Evropské unie na podporu biopaliv se stala rezoluce Evropské komise z Cardifu ze dne 8. června 1998. Ta deklarovala plán komise podporovat biopaliva a obnovitelné zdroje obecně. V roce 2000 se v Zelené knize o energetické účinnosti poprvé objevil cíl nahradit do roku 2020 20% konvenčních fosilních paliv v silniční dopravě palivy alternativními (nikoli obnovitelnými). Za substituty schopné dosáhnout alespoň pětiprocentního podílu v následujících letech označila komise biopaliva, zemní plyn a vodík. Generální direktorát pro energii a dopravu odhadoval (sám tento odhad označoval za optimistický), že za předpokladu aktivní politické podpory lze uvedený cíl překonat o tři procentní body.

Pevný rámec a závazné cíle dala biopalivové politice až směrnice 2003/30/EC o podpoře užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných hmot v dopravě (lidově nazývaná biopalivová směrnice) z 8. května 2003. Ta především určuje, že členské státy musejí zajistit minimální podíl biopaliv nebo jiných obnovitelných paliv na trhu a k tomu účelu mají zavést národní orientační cíle. *„Referenční hodnota pro tyto cíle činí 2 % a je vypočítána na základě energetického obsahu celkového množství benzínu a nafty pro dopravní účely prodávaného na jejich trzích do 31. prosince 2005.”* Evropská Rada [2003] Pro rok 2010 je obdobně stanovena referenční hodnota 5,75%. Ve své Zprávě o pokroku ve využití biopaliv v členských zemích (Progress report on the use of biofuels in EU Member States) uvedla Evropská komise, že podíl biopaliv v roce 2005 byl 1% a nepodařilo se tak dosáhnout stanoveného dvouprocentního cíle. Zároveň došla k závěru, že v roce 2010 se nejspíše podíl bude pohybovat okolo 4% oproti plánovaným 5,75%. Ačkoli pro rok 2010 nejsou zatím k dispozici potřebná data, odhady pro tento rok uvedené v národních akčních plánech pro energii z obnovitelných zdrojů jednotlivých zemí Evropské unie naznačují, že se cíle skutečně nenaplní.

V lednu 2007 předložila Evropská komise rozsáhlý návrh týkající se dodávek energií a klimatických změn, který později schválili čelní představitelé členských zemí. Tento plán požadoval

- 20% zvýšení energetické efektivity
- 20% snížení emisí skleníkových plynů
- 20% podíl obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě EU v roce 2020
- 10% podíl biopaliv na celkovém objemu paliv pro přepravu v roce 2020

Tento takzvaný plán 20/20/20 byl vskutku ambiciózní, vezmeme-li v potaz, že v roce 2007 byl podíl výroby z obnovitelných zdrojů jen 8,5%. Po téměř roce byl přijat takzvaný Klimaticko-energetický balíček (Energy-Climate Package) a na něj navazující směrnice 2009/28/EC o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. Ta stanovuje jako závazný cíl dosáhnoutí 3. a 4. bodu plánu 20/20/20 (4. bod s drobnou změnou – viz dále), tedy do roku 2020 dosáhnout 20% podílu obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě EU a 10% podílu energie z obnovitelných zdrojů na celkové energii v dopravě každého členského státu.

**20% podíl obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě EU v roce 2020** Podíl obnovitelných zdrojů v celkové spotřebě EU je cíl globální (v rámci EU) a každý z členských států se na něm podílí různou měrou. Ta je určena Evropskou komisí podle současného stavu v jednotlivých zemích. Této míry navíc státy nemusejí nutně dosáhnout vlastními silami – mohou využít takzvaných kooperačních mechanismů. Ty „zahrnují „statistické transfery“, kde se mohou vlády členských států dohodnout na statistické výměně daného množství vyprodukované obnovitelné energie. Dalším mechanismem je „společný projekt“, kde je identifikována určitá nová výrobní jednotka a její výstup je sdílen členskými státy. Společné projekty týkající se



*elektrické energie mohou být uzavřeny se třetími zeměmi, je-li splněna řada podmínek, především je-li elektřina fyzicky spotřebována v Evropské unii.“*  
Evropská Komise [2009]

**10% podíl obnovitelných zdrojů v přepravě** Naproti tomu podíl obnovitelných zdrojů v dopravě je závazný ve stejné míře pro každý stát. Důvodem je podle komise obava, že doprava je sektor s nejrychleji se zvyšující spotřebou energie. Podle jejího modelu poroste spotřeba paliva pro přepravu do roku 2020 tempem 1% za rok. Poslední oficiální hodnota podílu biosložky v palivech je pro rok 2008, kdy dosahoval 3,5%, tedy asi o 0,75% méně, než stanovoval cíl. Pro roky 2009 a 2010 neexistují oficiální hodnoty, avšak podle odhadu Spencer et al. [2011] se podíl pro rok 2010 pohybuje okolo 4,75%, tedy asi procento pod cílovou hodnotou.

## 4.2 Spojené státy

Podpora biopaliv se v USA byla zavedena především v reakci na ropnou krizi v sedmdesátých letech, dále pak jako prostředek ke snížení emisí skleníkových plynů a ke zvýšení poptávky po domácích zemědělských produktech. Existují různé druhy podpory na úrovni jednotlivých států, které jsou doplněny subvencemi na federální úrovni.

V roce 1978 byl přijat The Energy Tax Act, který zaváděl podporu a daňové úlevy pro příměsi etanolu do benzínu. Podpora bionafty byla zavedena až v roce 1998 v usnesení Conservation Reauthorisation Act. Povinné příměsi byly nařízeny usnesením Energy Policy Act z roku 2005. To stanovilo cíle spotřebovaného objemu bioetanolu ve výši 15,14 bilionu litrů pro rok 2006 a 28,39 bilionů litrů pro rok 2012. Energy Independence and Security Act z roku 2007 rozšířil povinné příměsi i na naftu a stanovil celkové cíle podílu biopaliv na 34,07 bilionu litrů pro rok 2008 a 136,27 bilionu litrů pro rok 2022. Z těchto 136 bilionů litrů konvenční obilný etanol nesmí tvořit

více než 56,78 bilionů litrů. Zbytek (tedy 79,49 bilionu litrů) musí být tvořen biopalivy druhé nebo vyšší generace<sup>2</sup>.

V současnosti jsou v USA k podpoře biopaliv užívány tři hlavní nástroje: opatření zvyšující výrobu, podpora vstupních faktorů a spotřební dotace. Cla a povinné příměsi prospívají producentům biopaliv skrze zvyšování ceny. Cla na etanol (24% v ekvivalentu ad-valorem) jsou výrazně vyšší než na bionaftu (1% in AVE), což omezuje dovoz, zvláště pak ten brazilský. Další podporou výrobců jsou daňové úlevy na paliva obsahující biosložku. Právě úlevy ze spotřební daně na základě objemu etanolu a bionafty (Volumetric Ethanol/Biodiesel Excise Tax Credit) jsou nejvýraznější složkou podpory biopaliv.

Zajímavé je, že až donedávna hrál etanol na americkém trhu s palivovými aditivami jen malou roli a trhu s okysličovacími aditivami dominoval MTBE (metyl-tercio-butyl ether). Ten byl však pro svou toxicitu i při velmi nízkých koncentracích v mnoha státech zakázán a poptávka po etanolu, jeho hlavním substitutu, prudce stoupla.

### 4.3 Brazílie

Stejně jako ve Spojených státech i v Brazílii byla podpora biopaliv zavedena především v reakci na ropnou krizi v roce 1973. Program Proalcool z roku 1975 zaváděl výraznou podporu pro nabídku i poptávku po bioetanolu. Kladl také velký důraz na zvyšování podílu domácí produkce na celkové spotřebě. Na počátku devadesátých let byl tento program postupně ukončen, avšak byly zachovány mnohé daňové pobídky a regulace trhu. Do roku 2000 pak byla zrušena veškerá podpora orientovaná na produkci a zůstala jen opatření pro zvýšení poptávky.

---

<sup>2</sup>Biopaliva druhé generace jsou paliva vyrobená z udržitelných vstupů. Udržitelnost vstupu je definována mimo jiné na základě dostupnosti, úspory uhlíkových emisí a nízkého dopadu na biodiverzitu. Příkladem může být etanol vyráběný z celulózy nebo mořských řas.

## Část II

# Analytická část

## 5 Záměr

Analytická část této práce by měla zodpovědět dvě otázky:

- Projevuje se zvyšující se produkce biopaliv na provázanosti trhů potravin, biopaliv a fosilních paliv?
- Jakým způsobem se tyto vztahy mění se zavedením regulačního opatření Energy Policy Act?

Existuje velké množství literatury zabývající se vztahy mezi cenami fosilních paliv, biopaliv a potravin. Časté jsou výzkumy dlouhodobých rovnovážných vztahů (kointegrace), krátkodobé kauzality (zpravidla Grangerova kauzalita) a přelévání volatility (různé formy vícerozměrných GARCH modelů). Někteří autoři pak studují vývoj těchto vztahů v čase, hledají strukturální zlomy a snaží se určit vliv určitých světových událostí na tento vývoj.

Společným prvkem velké části literatury zabývající se zmíněnou problematikou je práce s poměrně omezeným množstvím komodit, jejichž vzájemné závislosti jsou posuzovány. Už to by mohl být důvod pro použití širšího portfolia, které by umožnilo vytvořit úplnější obraz struktury vztahů mezi potravinami a palivy. Druhým a snad pádnějším důvodem je možnost, že autoři mají tendenci zabývat se kombinacemi komodit, které jsou potenciálně zajímavé - třeba tím, že u nich jakýsi vztah (či jeho absenci) lze předpokládat. Ani agregát takových výsledků pak nemusí být reprezentativní a nemusí přesně vypovídat o obecnějších vztazích na trhu energií a potravin.

Aby se předešlo ovlivnění výsledků výběrem komodit, je zkoumané portfolio poměrně široké (obsahuje ceny fosilních paliv ze dvou různých regionů a zemědělské produkty, které nejsou běžnými vstupy při výrobě biopaliv).

O vztazích je navíc záměrně činěno co nejméně apriorních předpokladů (neberou se tak v potaz například výrobní a spotřební vztahy - vstup/výstup, substitut/komplement). Z tohoto důvodu je s jednotlivými řadami zacházeno striktně symetricky. Vztahy mezi komoditami jsou určovány po dvojicích „každá s každou“ a tyto do jednotlivých systémů vstupují vždy na stejné úrovni (jako endogenní proměnné).

Co se týče otázky provázanosti komodit v celém období, skutečně není nutné do modelu zavádět jakákoli vnější omezení. V případě zkoumání vlivu regulace je ovšem potřeba rozdělit zkoumané období na dvě části: před a po jejím zavedení. Vzhledem k tomu, že vztahy jsou zkoumány po dvojicích, bylo by nepraktické užití různých prahových (threshold) modelů, které určí zlom „objektivně“ na základě dat, neboť každá zkoumaná dvojice by měla zlom vlastní. Proto je zlomový bod určen na 25. srpen 2005, kdy ve Spojených státech vstoupil v platnost Energy Policy Act (EPA). Je samozřejmě pravda, že arbitrárně zvolený dělicí bod zavádí do systému velmi silné omezení. I tak lze snad doufat, že výsledky poskytnou vypovídající obraz o celkové situaci na trhu uvažovaných komodit před a po zavedení regulace. Při výběru dělicího bodu postupovali stejně například Wu et al. [2011]. Rajčániová and Pokrivčák [2011] našli strukturální zlom v srpnu 2008 a svá data dělili podle něj. Je však nutno podotknout, že pracovali s daty s počátkem v roce 2005 a zlom v tomto bodě tedy ani nalézt nemohli. Naopak Natanelov et al. [2011] našli zlom odpovídající době oznámení přípravy EPA, které o více než rok předcházelo jeho schválení.

## 6 Přehled literatury

Empirické práce zabývající se vztahem mezi cenami potravin, biopaliv a fosilních paliv se dají rozdělit do dvou hlavních kategorií podle typu použitého ekonomického, respektive ekonometrického modelu. Strukturální modely budou v tomto textu zmíněny jen okrajově, větší pozornost bude věnována

redukovaným modelům, které jsou pro metodu užitou v této práci relevantnější.

## 6.1 Strukturální modely

Jednoduché strukturální modely pracují s ekonomickými a technickými předpoklady a zpravidla se využívají pro nákladovou analýzu a posouzení výnosnosti v případě jednotlivých aktérů. Na jejich základě lze posoudit například proveditelnost zemědělských projektů v závislosti na technických parametrech jako jsou ceny vstupů a výrobních procesů, výkupní ceny, ale také úrodnost půdy nebo kvalita místní infrastruktury. Teoretičtější studie zkoumající širší dopady biopalivových mandátů pak využívají modely částečné či všeobecné rovnováhy. Následují dvě práce, které jsou na pomezí strukturálních a redukovaných modelů. Jsou sice založeny na zkoumání časových řad ekonometrickými metodami, zároveň ale obsahují explicitní omezení daná předpoklady ekonomické teorie.

Ciaian and Kancs [2011] ke studiu kointegrace mezi ropou a zemědělskými komoditami využívají vlastního vertikálně integrovaného multi-input, multi-output modelu, u kterého uvažují dva kanály pro přenos ceny: přímý skrze biopaliva a nepřímý skrze vstupní faktory. Aby odhalili případné strukturální zlomy, dělí zkoumané období na 3 části: 1994 až 1998, 1999 až 2003 a 2004 až 2008. Zatímco v prvním období nenacházejí žádné rovnovážné vztahy, ve druhém je objevují u dvou komodit z devíti. Protože vztah je ale slabší, než u svého modelu předpokládali, usuzují na statistickou nesignifikanci nepřímého kanálu. V posledním období pak nacházejí u všech devíti zkoumaných komodit kointegraci, kterou přisuzují přímému kanálu skrze biopaliva. Na základě reakce na impulzy dále shledávají obecně přijímaný fakt, že krátkodobě ceny potravin reagují na šoky v cenách ropy silněji, než je tomu v opačném směru.

Právě tímto opačným směrem se hlouběji zabývá McPhail [2011]. Skrze strukturální VAR model zkoumá dopady cen amerického etanolu na globální trhy s ropnými produkty. Tento model rozkládá působení etanolu na jeho poptávkovou a nabídkovou složku. Důvodem pro takový postup jsou rozdílné příčiny poptávkových a nabídkových šoků etanolu. Zatímco poptávkové vznikají především v reakci na změnu vládní politiky týkající se biopaliv, nabídkové šoky odrážejí zpravidla spíše změny v cenách vstupních komodit jako jsou kukuřice nebo obilí. Autor uvádí, že nárůst poptávky po etanolu vede ke statisticky signifikantnímu poklesu cen ropy a benzínu, zatímco efekt změny nabídky signifikantní není. Jak bylo řečeno výše, poptávka je ovlivňována zejména změnou biopalivové politiky. Proto autoři docházejí k závěru, že i přesto, že americký trh s etanolem je relativně malý, má tamní biopalivová politika vliv na globální trhy s fosilními palivy.

Hlubší rozbor tohoto druhu modelů a výsledky mnoha prací, které jich využívají, lze nalézt v Rajagopal and Zilberman [2007].

## 6.2 Redukované modely

Druhým typem jsou modely v redukované formě. Ty se od modelů strukturálních odlišují především mnohem nižší závislostí na ekonomických a technologických předpokladech. Zpravidla analyzují časové řady a hledají závislosti mezi cenami potravin, biopaliv a fosilních paliv. Podrobný přehled prací využívajících redukované modely, jejich metod a výsledků lze nalézt v Janda et al. [2011].

Pro analýzu, která bude následovat, jsou relevantní především práce zkoumající přelévání cen mezi biopalivy, potravinami a fosilními palivy. Nejprve jsou uvedeny tři články, které nacházejí jen velmi omezenou provázanost potravin a energetických komodit, dále jsou pak zmíněny práce docházející k opačnému závěru.

Kaltalioglu and Soytaş [2011] studují za pomoci ARIMA a GARCH modelů přelévání volatility mezi výnosy ropy a primárních zemědělských produktů. Docházejí k závěru, že volatilita výnosů ropy se nepřelévá do výnosů potravin. Nedoporučují proto, aby političtí činitelé využívali předpovědi vývoje trhu potravin založených na cenách ropy pro změny potravinové a energetické politiky. Ačkoli autoři nacházejí krátkodobé závislosti mezi studovanými komoditami, nepodporují tvrzení, že zvýšení cen ropy vede k nárůstu cen potravin.

K podobným závěrům docházejí Gilbert and Morgan [2010]. Na časových řadách, jenž jsou výrazně delší než u většiny souvisejících prací<sup>3</sup>, ukazují, že současná zvýšená volatilita není z delšího historického hlediska nijak výjimečná. Jediný nárůst, který vzhledem k dosavadnímu vývoji považují za stěží očekávatelný, nacházejí u cen rýže. Argumentují však, že tento fakt neodporuje jejich obecnému závěru vzhledem k tomu, že rýže je z hlediska produkce a mezinárodního obchodu velmi atypickou komoditou, která je navíc silně ovlivněna vládními nařízeními čelních producentů (například omezením indického vývozu v roce 2007). Zhang et al. [2010] využívá ke studiu dlouhodobých vztahů kointegraci a krátkodobou kauzalitu mezi cenami etanolu, benzínu a ropy a zemědělských komodit (rýže, kukuřice, cukru, obilí a sojových bobů). Ve sledovaném období (1989 až 2008) nenachází žádné dlouhodobé rovnovážné vztahy mezi komoditami a jen omezenou krátkodobou kauzalitu.

Mnoho autorů však dochází k opačnému závěru, tedy že ceny paliv a ceny potravin jsou více či méně propojené a že především volatilitu na trzích potravin lze přisoudit jejich zvyšující se závislosti na cenách paliv.

Serra and Zilberman [2009] studují dlouhodobé rovnováhy a přelévání volatility na brazilském trhu etanolu metodou, která skrze metodu maximální věrohodnosti zároveň odhaduje error correction model a MGARCH proces.

---

<sup>3</sup>Zatímco Gilbert and Morgan [2010] studují data od roku 1970, ostatní autoři zmínění dále v tomto přehledu pracují zpravidla s řadami sahajícími nejdále do devadesátých let.

Autoři docházejí k závěru, že zde existuje dlouhodobý kauzální řetězec od ropy přes etanol k cukru. Zvýšení ceny ropy tak vyvolává její zvýšení u etanolu, které dále zvýší cenu cukru. Pokud jde o volatilitu, výsledky ukazují na přímé přelévání směrem od ropy k etanolu a nepřímé od etanolu k cukru.

Ve své pozdější práci pak Serra [2011] dochází k mírně odlišným výsledkům. Zkoumá přelévání volatility na brazilském trhu etanolu na týdenních cenách z let 2000 až 2009 za užití semiparametrického odhadu podmíněné kovarianční matice. Ukazuje, že cena etanolu je v dlouhém období po dvojicích rovnovážně provázána s cenami ropy a cukru. Zatímco ceny etanolu reagují na odchylky v obou rovnovážných paritách a po změně se vracejí do ekvilibria, ceny ropy a cukru se zdají být v dlouhém období slabě exogenními a vedou tedy cenu etanolu. Výsledky dále naznačují, že šoky na trzích ropy a cukru vedou ke zvýšení volatility ceny etanolu. Změny na trzích etanolu mají naopak omezený vliv na volatilitu cen ropy a cukru, což je výsledek konsistentní s nalezenými rovnovážnými stavy. Autorka dále uvádí, že na rozdíl od semiparametrických modelů může zkoumání volatility skrze parametrické MGARCH modely, které jsou k tomu převážně užívány, vést k zavádějícím výsledkům, zvláště pak v turbulentních obdobích.

Serra et al. [2008] popisuje dlouhodobé rovnovážné vztahy mezi cenami ropy, etanolu a kukuřice na americkém trhu. Na denních datech z let 2005 až 2007 ukazují za použití VECM, že ani u jedné komodity z dvojice ropa a kukuřice nedochází při vychýlení z ekvilibria ke korekci, což je ve shodě s výše uvedenými výsledky. Oproti tomu etanol má tendenci se do rovnovážného stavu vracet, i když tento proces je poměrně pomalý. Reakce na impulzy ukazuje, že odezva ceny etanolu na šok v cenách kukuřice a ropy dosáhne svého vrcholu zhruba po 10 dnech a odezní po 30 až 35 dnech.

Studie Wu et al. [2011] se zabývá změnou velikosti a povahy přelévání volatility z ropy na kukuřici v čase. Ukazuje, že přelévání je signifikantní a má podobné vlastnosti jak u současných cen, tak futures. Uvádí také, že relativní důležitost přelévání se jednorázově zvýšila se zavedením Energy



Policy Act v roce 2005 a obecně narůstá v obdobích se zvyšujícím se podílem etanolu na spotřebě pohonných hmot.

Natanelov et al. [2011] se zabývá vztahem mezi trhem ropy a trhy zemědělských komodit a zlata z hlediska kointegrace (tedy dlouhodobé rovnováhy) a krátkodobé kauzality. Zvláštním prvkem této práce je užití futures namísto reálných cen. Autoři argumentují, že ceny futures v sobě lépe zahrnují všechny současné informace a jsou tak lepším indikátorem provázanosti mezi komoditami. Zároveň studují vliv jistých světových událostí (například uvolnění trhu kávy nebo zavedení amerického Energy Policy Act) na výše zmíněné vztahy. Ukazují, že kointegrace je spíše než neměnnou vnitřní vlastností skupin komodit jen dočasnou záležitostí a jako k takové je potřeba k ní při výzkumu přistupovat. Výsledky naznačují silné propojení ropného trhu s trhy kakaa, obilí a zlata - tyto páry vykazují kointegraci v celém studovaném období, tedy v posledních 20 letech. Naproti tomu futures kávy se zdají být kointegrované s futures ropy až po uvolnění trhu kávy, ke kterému postupně docházelo v devadesátých letech. Podobně i u sojových bobů, sojového oleje a kukuřice se rovnovážné vztahy postupně objevují až s příchodem biopalivové politiky ve Spojených státech a Evropské unii. Zajímavý výsledek získaný z Threshold VECM modelu naznačuje, že ceny kukuřice reagovaly nikoli jen na zavedení Energy Policy Act v roce 2005, ale už na jeho oznámení v polovině roku 2004. Dále se zdá, že vztah mezi kukuřicí a ropou přestává platit ve chvíli, kdy cena ropy poklesne pod hranici zhruba \$75 za barel. U cukru a rýže není nalezen žádný rovnovážný vztah, což je, alespoň v případě rýže, v souladu s mnoha dalšími výzkumy, kupříkladu s výše zmíněným Gilbert and Morgan [2010]. Konečně pak autoři docházejí k závěru, že rovnovážný vztah s ropou se obecně vyskytuje u komodit s rozvinutými vlastními trhy a že rostoucí volatilita je z velké části zapříčiněna geopolitickými aspekty, ekonomickými krizemi a rostoucí světovou populací.

Výzkum krátkodobé kauzality mezi ropou a zemědělskými komoditami rozšiřuje Nazlioglu [2011], který využívá konceptu nelineární Grangerovy

kauzality. Po dvojicích zkoumá přenos cen od ropy na kukuřici, sojové boby a obilí na týdenních datech z let 1994 až 2010. Lineární kauzalita podporuje hypotézu neutrality, která říká, že neexistuje kauzální vztah mezi cenami ropy a zemědělských komodit. Naproti tomu při aplikaci nelineární kauzality se provázanost ropou se studovanými komoditami objevuje. U kukuřice a sojových bobů se autoři dokonce domnívají, že se jedná o striktní nelineární kauzalitu<sup>4</sup>. To by znamenalo, že nedávný nárůst cen potravin může být přisouzen změnám v ceně ropy.

Pokrivčák and Rajčaniová [2011] zkoumají na datech z let 2000 až 2009 vztah mezi cenami etanolu, benzínu a ropy. Nacházejí kointegraci cen ropy a benzínu, nikoli však u dvojic benzín - etanol a ropa - etanol. Následný VAR model odhaluje krátkodobou kauzalitu u všech tří dvojic. Jako množství jiných autorů nalézají silnější reakci na impulzy směrem od etanolu ke zbylým komoditám než naopak.

Ve své další práci Rajčaniová and Pokrivčák [2011] studují, jak se v čase mění závislost ceny zemědělských komodit (kukuřice, obilí a cukr) a ceny paliv (ropa, benzín, etanol). V celém období (2005 až 2010) nalézají u celé skupiny 1 kointegrační vektor, dále krátkodobý vliv cen ropy a benzínu na ceny kukuřice stejně jako ceny bioetanolu na cenu cukru. Rozklad rozptylu ukázal, že rozptyl ropy vysvětloval po dvanácti týdnech 16%, respektive 15% rozptylu u cen benzínu a kukuřice. V opačném směru se hodnota pohybovala jen okolo 1%. Aby autoři mohli posoudit vývoj těchto vztahů v čase, identifikovali v datech strukturální zlom v srpnu 2008 a testovali po dvojicích vztahy komodit ve dvou obdobích. Zatímco v dřívějším nenalezli žádné rovnovážné vztahy, v pozdějším našli kointegraci téměř u všech testovaných dvojic, což přisuzují vzrůstající produkci biopaliv.

---

<sup>4</sup>Zatímco Grangerova kauzalita znamená pouze lepší předpověditelnost jedné veličiny na základě druhé, striktní kauzalita znamená přítomnost skutečné kauzální souvislosti mezi veličinami.

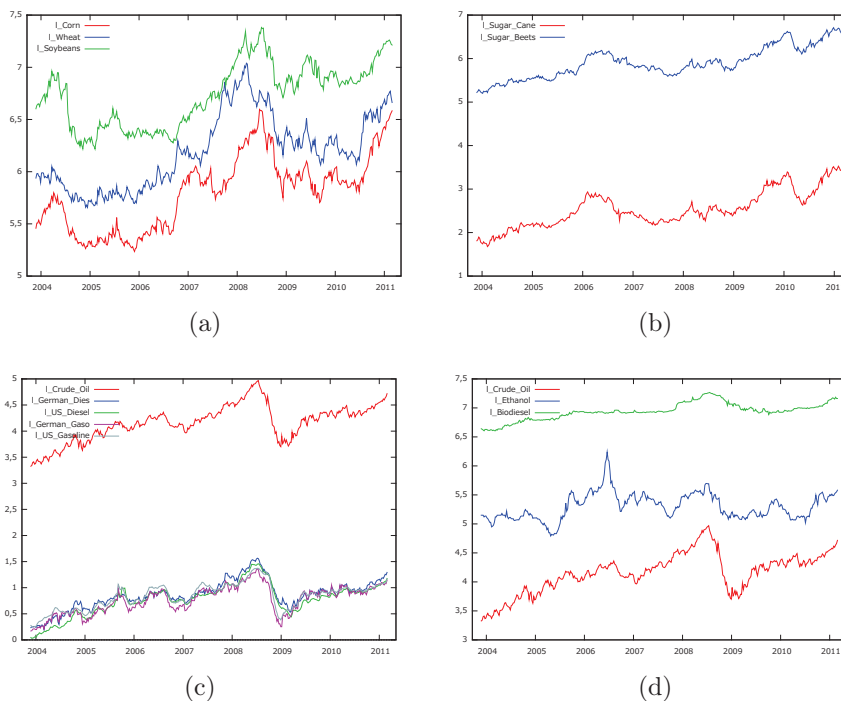
Komodita	Označení	Typ kontraktu
Ropa	CO 1 Comdty	Měsíční futures, ICE
Bioetanol	ETHNNYPR Index	Spot, FOB
Kukuřice	C 1 Comdty	Měsíční futures, CBOT
Obilí	W 1 Comdty	Měsíční futures, CBOT
Cukrová třtina	SB 1 Comdty	Měsíční futures, ICE
Bionafta	KIBFARA2 Index	Spot, FOB
Sojové boby	S 1 Comdty	Měsíční futures, CBOT
Cukrová řepa	QW 1 Comdty	Měsíční futures, LIFFE

Tabulka 2: Typy kontraktů a označení agentury Bloomberg

Tento přehled je zakončen netradiční prací Kristoufek et al. [2012]. Autoři použili metodu založenou na postupech běžně uplatňovaných v ekonofyzice, s jejíž pomocí zkoumali strukturu provázanosti systému komodit na datech z let 2003 až 2011. V krátkém období nacházejí pouze slabé propojení biopaliv s ostatními komoditami, avšak ve středně dlouhém období odhalují strukturu vztahů, která se rozděluje do dvou větví - palivové a potravinové. Zatímco bionafta tíhne k palivové větvi, etanol spadá spíše do potravinové. Výsledky dále ukazují, že po zvýšení cen potravin v průběhu potravinové krize se provázanost mezi komoditami zvyšuje jak v krátkém tak středně dlouhém období.

## 7 Data

V této práci jsou analyzována týdenní data ropy Brent, etanolu, kukuřice, obilí, cukrové třtiny, cukrové řepy, sojových bobů, bionafty, německé a americké nafty a německého a amerického benzínu v rozmezí 24.11.2003 až 28.2.2011. Údaje o cenách ropy, biopaliv a zemědělských komodit pocházejí z databáze Bloomberg. Označení a typy kontraktů pro jednotlivé komodity jsou uvedeny v tabulce (2). Údaje o cenách amerických a německých paliv pocházejí z US Energy Information Administration a jedná se o průměrné



Graf 3: Vývoj logaritmů týdenních cen zkoumaných komodit

hodnoty pro dané země. Rozdělení paliv podle regionů je v kontextu zkoumání vlivu regulace velmi užitečné, neboť je možné, že se podaří odlišit, zda má nalezený jev původ spíše v amerických nebo v evropských opatřeních.

Průběhy logaritmů týdenních (pondělních) cen, které jsou uvedeny v grafech (3 a-d), jsou rozděleny do skupin, které již od pohledu vykazují určitou provázanost. Závislost cen cukrové řepy a třtiny je evidentní, zajímavá je u této dvojice i velmi omezená reakce na potravinovou krizi v roce 2008. Ceny kukuřice, obilí a sojových bobů vykazují závislost slabší, avšak stále patrnou. Výrazný je zde nárůst v průběhu potravinové krize mezi lety 2008 a 2009, ze kterého se ceny, i přes následný pokles, na svou původní předkrizovou úroveň již nevrátily.

Americké a německé pohonné hmoty se po celou dobu prakticky překrývají a je zřejmá i jejich provázanost s ropou. V průběhu potravinové krize jejich průběh velmi přesně odpovídá průběhu zmíněnému u trojice kukuřice, obilí, sojové boby. Naproti tomu biopaliva se pohybují značně nezávisle jak jedno na druhém, tak i na ropě a jejich reakce na krizi jen velmi omezená.

Všechny časové řady jsou nadále používány ve své logaritmické transformaci. Koeficienty tak mohou být interpretovány ve smyslu elasticit, tedy jako na  $x$ -procentní přírůstky v reakci na jednoprocentní změnu.

## 8 Metodologie

Tato část popisuje ekonometrické metody, které byly využity pro analýzu dat v této práci. Nejprve je nastíněn problém stacionarity, který je důležitý pro další výpočty. Dále je rozebrán Johansenův model kointegrace a na něj navazující error correction model (ECM). Sekci uzavírá popis vektorové autoregrese (VAR), která je užitá u dvojic, kde předchozí modely nelze kvůli přítomnosti stacionarity uplatnit. Tato část je kromě dále citovaných autorů založena na pracích Maddala [2001], Brooks [2008], Enders [2010], Natanelov et al. [2011] a Kočenda and Černý [2007].

### 8.1 Stacionarita

Řekneme, že časová řada je slabě stacionární, je-li její průměr konstantní a její autokorelační funkce je závislá pouze na zpoždění, tedy

$$E[y_t] = \mu \text{ a } cov[y_t, y_{t+k}] = \gamma(k)$$

Zatímco MA (moving average) proces časové řady je stacionární z definice, její AR(k) (autoregressive) proces

$$y_t = \sum_{i=1}^k \alpha_i y_{t-i} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim IID(0, \sigma^2) \quad (1)$$

je stacionární, pouze platí-li  $|\alpha_i| < 1$  pro  $i = 1, \dots, k$ . Je-li  $|\alpha_i| \geq 1$ , jedná se o takzvaný jednotkový kořen, jehož přítomnost znamená nestacionaritu řady.

K testování počtu jednotkových kořenů je použit Augmented Dickey Fuller test (ADF). Ten pracuje s rovnicí

$$\Delta y_t = a_0 + a_1 t + \gamma_{t-1} + \sum_{i=1}^k \beta \Delta y_{t-i} + \varepsilon_i, \quad (2)$$

kde  $\alpha_0$  umožňuje přítomnost konstanty s driftem,  $\alpha_1 t$  přítomnost deterministického trendu<sup>5</sup> a zpoždění  $\Delta y_{t-i}$  obsáhnout jakoukoli dynamickou strukturu (například AR proces), aby se tato neprojevila v reziduích  $\varepsilon_i$ . ADF test testuje nulovou hypotézu  $\gamma = 0$ , tedy přítomnosti jednotkového kořenu, která odpovídá situaci, kdy  $|\alpha_i| = 1$  v rovnici (1). Hodnota zpoždění  $k$  pro ADF test je zvolena na základě minimalizovaného Akaikeho kritéria. Jsou-li veličiny ve svých prvních diferencích stacionární ( $\Delta y_t \sim I(0)$ ) a zároveň nestacionární ve svých hladinách, pak obsahují 1 jednotkový kořen ( $y_t \sim I(1)$ ) a mohou být použity pro testování kointegrace<sup>6</sup>.

<sup>5</sup>To, zda jsou použity členy  $a_0$  a  $a_1 t$ , je třeba rozhodnout na základě (ne)přítomnosti driftu, respektive deterministického trendu v řadě.

<sup>6</sup>Je samozřejmě možné, že veličiny budou vykazovat integraci vyššího řádu. Takový případ se však u ekonomických časových řad vyskytuje jen zřídka a ani u zde užitých dat se neobjevil.

## 8.2 Johansenova kointegrace

V případě nestacionárních časových řad je kointegrace statistický postup vhodný k zodpovězení otázky, zda jednotlivé řady váže signifikantní statistický vztah.<sup>7</sup> Zde použita Johansenova kointegrace (Johansen [1988]) je ve své podstatě zobecněním ADF testu pro více proměnných. Je založena na neomezeném vektorovém autoregresním modelu, který je specifikován v error-correction podobě:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k-1} \Gamma_i \Delta y_{t-i} + \Phi D_t + v_t \quad (3)$$

kde  $y_t$  je vektor zahrnující všech  $N$  proměnných modelu, které jsou  $\sim I(1)$ , dále  $\Pi$ ,  $\Gamma_i$  a  $\Phi$  jsou odhadované matice parametrů,  $D_t$  je vektor deterministických elementů (konstanta, trend, případně dummy proměnná),  $v_t$  je vektor náhodných normálně rozdělených chyb a konečně  $k$  je zpoždění zvolené na základě minimalizovaného Akaikeho kritéria pro více proměnných.

Johansenův test kointegrace stanovuje hodnotu ( $r$ ) matice  $\Pi$ . Tuto matici lze interpretovat jako matici dlouhodobých parametrů. To plyne z faktu, že v ekvilibriu budou všechny  $\Delta y_{t-i} = 0$  a položíme-li hodnotu rezidua  $v_t$  rovnou jeho očekávané hodnotě 0, dostaneme  $\Pi y_{t-1} = 0$ . Je-li hodnota  $r = 0$ , pak testované proměnné nejsou kointegrovány. Měla-li by matice naopak plnou hodnotu  $r = N$ , znamenalo by to, že všechny testované řady byly  $I(0)$  a tedy stacionární. A konečně v případě, že  $0 < r < N$ , existuje mezi řadami  $r$  kointegračních vektorů. Johansenova kointegrační metoda odhaduje  $\Pi$  matici skrze neomezenou vektorovou autoregresi (VAR) a testuje, zda lze zamítnout omezení dané její nižší hodnotou ( $r$ ). K tomu využívá dvě metody - test stopy (trace test, rovnice (4)) a test maximálního vlastního čísla (maximum

---

<sup>7</sup>Například metoda nejmenších čtverců by u dvou naprosto neprovázaných veličin mohla jen kvůli podobnému trendu nalézt signifikantní závislost. Jednalo by se pak o falešný vztah (spurious regression).

eigenvalue test, rovnice (5))

$$\lambda_{trace} = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i^2) \quad (4)$$

$$\lambda_{max}(r, r + 1) = -T \ln(1 - \lambda_{r+1}) \quad (5)$$

kde  $\lambda_i$  jsou odhadnuté hodnoty vlastních čísel<sup>8</sup> matice  $\Pi$  a  $T$  je počet pozorování po jeho úpravě pro zvolené zpoždění. Trace test testuje nulovou hypotézu, jenž říká, že počet jedinečných kointegračních vektorů ( $r$ ) je méně nebo roven  $r$  oproti obecné alternativě. Maximum eigenvalue test pak testuje nulovou hypotézu, že počet kointegračních vektorů je  $r$  oproti alternativě  $r + 1$  kointegračních vektorů.

Ahking [2002] uvádí, že ačkoli tomuto tématu není věnována velká pozornost, může nezahrnutí trendu (je-li v datech přítomen) do Johansenova modelu vést k jeho špatné specifikaci a následně zavádějícím výsledkům. Protože u všech testovaných proměnných je trend signifikantní, je v modelu povolena neomezená konstanta (takzvaný Johansenův případ 3), která kromě konstanty samotné obsáhne i drift.

Hjalmarsson and Österholm [2009] ukázali na základě Monte-Carlo simulací, že jsou-li časové řady téměř integrovány řádu 1 (near-integrated variables), výrazně se zvyšuje pravděpodobnost, že Johansenův model odhalí kointegraci u zcela nezávislých veličin. Proto jsou v této práci z testování kointegrace vyřazeny řady, u kterých je jednotkový kořen zamítnut i jen na 10% hladině významnosti.

### 8.3 Error correction model

Přítomnost kointegrace v případě dvou proměnných naznačuje Grangerovu kauzalitu alespoň v jednu směru. Tu lze za jistých podmínek v rámci Jo-

---

<sup>8</sup>Počet vlastních čísel matice odpovídá její hodnosti.



hansenovy kointegrace, respektive error correction modelu (ECM) testovat za pomoci Waldova testu. Následující vztah reprezentuje párový kauzální vztah dvou veličin:

$$\begin{bmatrix} \Delta y_{1,t} \\ \Delta y_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} (\Delta y_{1,t-1} - \beta \Delta y_{2,t-1}) + A_1 \begin{bmatrix} \Delta y_{1,t-1} \\ \Delta y_{2,t-1} \end{bmatrix} + \dots + A_k \begin{bmatrix} \Delta y_{1,t-k} \\ \Delta y_{2,t-k} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Parametry matic  $A_1 \dots A_k$  jsou měřítkem krátkodobé kauzální závislosti, zatímco kointegrační parametr  $\beta$  charakterizuje dlouhodobý rovnovážný vztah mezi veličinami. Parametry  $\alpha$  naznačují směr dlouhodobé kauzality. Ten může být obousměrný ( $\alpha_1 \neq 0$ ,  $\alpha_2 \neq 0$ ) nebo se projevovat jen v jednom směru ( $\alpha_1 \neq 0$ ,  $\alpha_2 = 0$  nebo  $\alpha_1 = 0$ ,  $\alpha_2 \neq 0$ ).

Krátkodobá kauzalita je zkoumána za pomoci Waldova testu, jehož nulová hypotéza říká, že sdružený přínos zpoždění endogenních proměnných je nulový. Není-li nulová hypotéza zamítnuta, lze příslušné proměnné chápat z hlediska uvažovaného systému za exogenní. V případě systému dvou proměnných lze rovnici (3) Johansenovy kointegrace přepsat jako

$$\Delta y_{1,t} = \mu_1 + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta y_{1,t-i} + \sum_{j=1}^k \beta_j \Delta y_{1,t-j} + \alpha_1 ECT_{t-1} + \varepsilon_{1,t} \quad (7)$$

$$\Delta y_{2,t} = \mu_2 + \sum_{i=1}^k \beta_i \Delta y_{2,t-i} + \sum_{j=1}^k \beta_j \Delta y_{2,t-j} + \alpha_2 ECT_{t-1} + \varepsilon_{2,t} \quad (8)$$

kde  $y_{1,t}$  a  $y_{2,t}$  jsou časové řady a  $ECT$  je error correction term. Krátkodobou kauzalitu lze nyní testovat zkoumáním signifikance všech dynamických zpožděných proměnných v rovnicích (7) a (8).

## 8.4 Vektorová autoregrese

Zatímco rámeček Error correction modelu umožňuje testovat kauzální vztahy proměnných, které jsou provázány dlouhodobě, u proměnných, kde tomu tak není, lze pro zjištění krátkodobé kauzality použít vektorovou autoregresi (VAR). Její výhodou, stejně jako u předchozích postupů, je fakt, že všechny proměnné vystupují v systému symetricky jako endogenní<sup>9</sup>. Vektorová regrese je vícerozměrným zobecněním jednorozměrného autoregresního procesu. Dvourozměrný VAR model, který je použit v této práci, je vyjádřen následovně:

$$y_{1,t} = \beta_{10} + \beta_{11}y_{1,t-1} + \dots + \beta_{1k}y_{1,t-k} + \alpha_{11}y_{2,t-1} + \dots + \alpha_{1k}y_{2,t-k} + \varepsilon_{1,t} \quad (9)$$

$$y_{2,t} = \beta_{20} + \beta_{21}y_{2,t-1} + \dots + \beta_{2k}y_{2,t-k} + \alpha_{21}y_{1,t-1} + \dots + \alpha_{2k}y_{1,t-k} + \varepsilon_{2,t} \quad (10)$$

kde  $k$  je řád zpoždění<sup>10</sup> a předpokládá se, že (i) řady  $y_{1,t}$  a  $y_{2,t}$  jsou stacionární, (ii) rezidua  $\varepsilon_{1,t}$  a  $\varepsilon_{2,t}$  jsou obě bílý šum se standardními odchylkami  $\sigma_{y_1}$ , respektive  $\sigma_{y_2}$  a (iii) rezidua  $\varepsilon_{1,t}$  a  $\varepsilon_{2,t}$  nejsou korelovaná. Vzhledem k tomu, že pravá strana rovnic (9) a (10) neobsahuje žádný současný člen (například  $y_{2,t}$  na pravé straně rovnice pro  $y_{1,t}$ ), lze tyto rovnice odhadnout za pomoci metody nejmenších čtverců (OLS). To je dáno tím, že v čase  $t$  jsou hodnoty všech proměnných na pravé straně známy. Je tedy teoreticky možné interpretovat koeficienty  $\alpha$  a  $\beta$  stejně jako u běžného OLS, avšak zvláště v případě vyššího zpoždění  $k$  se může stát, že například  $\beta$  pro jednotlivá zpoždění mají odlišná znaménka a interpretace je tak přinejmenším problematická.

---

<sup>9</sup>Toto platí pro samotné odhadnutí modelu a pro testování Grangerovy kauzality. U některých dalších následných analýz (například reakce na impulzy) je třeba určit pořadí proměnných podle míry jejich exogenosti.

<sup>10</sup>Stejně jako v předchozích případech, i zde je pro stanovení řádu zpoždění použito minimalizované Akaikeho kritérium.

Pro posouzení vlivu jedné veličiny na druhou je proto použita Grangerova kauzalita. Ta netestuje kauzalitu v pravém slova smyslu. Řekneme, že časová řada  $y$  Granger-způsobuje (Granger-causes) časovou řadu  $z$ , pokud lze ukázat (zpravidla s užitím t-testu nebo F-testu na zpožděních  $y$ , se zpožděními  $z$  taktéž zahrnutými), že hodnoty  $y$  poskytují statisticky signifikantní informaci o budoucích hodnotách  $z$ . Chceme-li tedy testovat, zda  $y_2$  Granger-způsobuje  $y_1$ , skrze F-test testujeme sdruženou signifikanci  $\alpha_1 \dots \alpha_k$  v rovnici (9). Analogicky pak hledáme Grangerovu kauzalitu v opačném směru.

Závěrem je třeba zdůraznit, že kauzalita testovaná a případně nalezená pomocí uvedených metod není nutně kauzalitou striktní. Mějme řady cen komodit  $X$ ,  $Y$  a  $Z$ . Dojdeme-li k závěru, že  $X$  způsobuje  $Y$  (ať v krátkém nebo dlouhém období), znamená to, že  $X$  předchází  $Y$ , které se tedy na základě vývoje  $X$  dá lépe předpovědět. To však nevypovídá o skutečné kauzalitě, neboť je možné, že  $X$  jen rychleji reaguje na  $Z$ , které je skutečným hybatelem jak  $X$ , tak  $Y$ .

## 9 Výsledky

Před provedením samotných výpočtů byly ověřeny předpoklady modelů, zejména (ne)stacionarita řad v jednotlivých obdobích. Vzhledem k tomu, že trend se ve všech případech ukázal jako signifikantní, byl při testování stacionarity zahrnut do ADF testu. Jeho výsledky jsou uvedeny v tabulce (3) přílohy.

Tam, kde to nestacionarita dat umožňovala, byla následně s užitím Johansenovy kointegrace zkoumána přítomnost dlouhodobých vztahů mezi dvojicemi veličin. Dvojice, u kterých byla kointegrace prokázána, byly následně testovány na krátkodobou kauzalitu pomocí error correction modelu (ECM). Zbylé dvojice byly ve svých prvních diferencích testovány na krátkodobou kauzalitu vektorovou autoregresí (VAR). Výsledky těchto testů jsou dále popisovány ve dvou částech. První komentuje vztahy nalezené v celém období

2003 až 2011, druhá pak komentuje změnu těchto vztahů mezi obdobími před a po zavedení EPA v roce 2005.

## 9.1 Vztahy v celém zkoumaném období

V celém období 2003 až 2011 se časové řady pro ropu, německý benzín a americký benzín ukázaly jako stacionární alespoň na 10% hladině významnosti. Proto nebyly zahrnuty do testování kointegrace a byla u nich zkoumána jen krátkodobá kauzalita s ostatními komoditami.

Jak ukazují příložené tabulky (4a - hodnoty error correction term) a (5a - normalizované hodnoty koeficientu  $\beta$ ), byla odhalena řada dlouhodobých párových vztahů. Z důvodu výše zmíněné stacionarity dat dávají výsledky jen omezené množství informací o dlouhodobých vztazích na trzích paliv. Normalizovaný koeficient  $\beta$  naznačuje, že *cena bioetanolu je silně závislá na ceně americké nafty*, na jejíž 1% nárůst reaguje zvýšením o 2%. Nízká hodnota koeficientu ECM pak ukazuje, že v případě vychýlení z rovnováhy je návrat poměrně pomalý a v krátkém období dokonce cena americké nafty Granger-způsobuje cenu bioetanolu.

*Z dvojice americká-německá nafta se v dlouhém období zdá být vedoucí ta německá* - na změnu její ceny reaguje americká nafta korekcí zhruba shodné velikosti.

Výsledky dále naznačují, že *bionafta je jak v dlouhém tak v krátkém období ovlivňována americkou a německou naftou a pouze v dlouhém období také obilím*. Při vychýlení z rovnováhy její cena reaguje na 1% nárůst ceny každého ze zmíněných paliv shodně zhruba o 1,8% a případný návrat je podobně pomalý jako u dvojice bioetanol-americký benzín. Na ceny obilí pak bionafta reaguje ještě pomaleji, avšak silněji - po jednoprocenním nárůstu cen obilí se její cena zvedne o více než dvě procenta.

Kromě bionafty *ovlivňuje cena obilí i cenu sojových bobů*, které na změnu jeho ceny reagují korekcí jen o málo vyšší. Podobný, jen s rychlejší reakcí, je i vztah mezi cukrovou třtinou a cukrovou řepou.

U krátkodobých kauzálních závislostí<sup>11</sup> uvedených v tabulce (6a) přílohy stojí za povšimnutí několik obecnějších vztahů. Ceny ropy a paliv (biopaliva nevyjímaje) lze zhusta lépe předpovědět na základě cen zemědělských komodit - kukuřice (kromě bionafty), obilí (kromě německé nafty a bionafty) a sojových bobů (kromě ropy). Působení na ceny ostatních paliv bylo nalezeno i u bioetanolu, ropy a amerického benzínu. Zajímavé také je, že ceny německých paliv Granger-způsobují ceny zemědělských komodit výrazně častěji, než je tomu u paliv amerických a u ropy.

*Nejmenší vliv na ostatní komodity mají v krátkém období cukrová třtina a cukrová řepa*, u nichž nebyl nalezen žádný signifikantní vztah<sup>12</sup>.

## 9.2 Vztahy v období před zavedením Energy Policy Act 2005

V období 2003 až 2005 byla ADF testem zamítnuta přítomnost jednotkového kořenu v řadách cen ropy a americké nafty, a proto nebyly zahrnuty do testování kointegrace. Dlouhodobé rovnovážné vztahy jsou uvedeny v tabulkách (4b) a (5b) přílohy, krátkodobá Grangerova kauzalita potom v tabulce (6b) přílohy.

V tomto období je zdaleka nejvýraznější *provázanost tří komodit - bio-nafty, německé nafty a cukrové třtiny*. Dlouhodobá kauzální závislost je ve všech případech obousměrně signifikantní. Při vychýlení z rovnováhy zdaleka nejrychleji reaguje německá nafta na bionaftu, poměrně rychle také tatáž paliva v opačném směru a dále cukrová třtina na bionaftu. Co do velikosti korekcí, bionafta reaguje zhruba 2% zvýšením ceny na 1% nárůst v ceně

<sup>11</sup>Opět je třeba zdůraznit, že jde nikoli o striktní, ale pouze Grangerovu kauzalitu.

<sup>12</sup>Lze předpokládat, že tyto komodity by na sebe v krátkém období působily vzájemně. Tento konkrétní vztah však kvůli omezení modelu nebylo možné testovat.

cukrové třtiny nebo německé nafty. U dvojice německá nafta-cukrová třtina pak odpovídá velikost korekce zhruba velikosti vychýlení. Totéž platí pro *závislost bionafty na dalších dvou palivech - benzínu německém (jednosměrná závislost) a americkém (obousměrná)*.

Provázanost potravin je nejvýraznější v případě *obilí, které je kointegrováno s kukuřicí, sojovými boby a cukrovou třtinou, u které je závislost obousměrná*. Na 1% nárůst ceny kterékoli z těchto komodit reaguje cena obilí zhruba 2% zvýšením.

Krátkodobá Grangerova kauzalita v tomto období není příliš výrazná. Je však třeba podotknout, že u většiny kointegrovaných komodit ji kvůli omezením modelu nebylo možné testovat. Za zmínku stojí jednosměrné reakce obilí, bionafty a německé nafty a benzínu. Dále americká nafta pomáhá předpovědět cenu ropy, obilí, bionafty a německé nafty. Vcelku očekávatelná je potom reakce všech zkoumaných fosilních paliv na ceny ropy.

### **9.3 Vztahy v období po zavedení Energy Policy Act 2005**

V období 2005 až 2011 byla ADF testem zamítnuta přítomnost jednotkového kořenu v řadách cen etanolu a amerického a německého benzínu a nebyly tedy zahrnuty do testování kointegrace. Dlouhodobé rovnovážné vztahy jsou uvedeny v tabulkách (4c) a (5c), krátkodobá Grangerova kauzalita potom v tabulce (6c).

V tomto období stojí jistě za povšimnutí jednostranná *dlouhodobá závislost bionafty na ropě, obilí, a německé a americké naftě*. Na změnu v cenách každé z těchto komodit reaguje cena bionafty více než jednotkově, v případě ceny obilí vyvolá 1% zvýšení téměř tříprocentní nárůst ceny bionafty. *Na obilí reaguje také cena sojových bobů* a to jednotkově. Posledním signifikantním vztahem u potravin je *závislost cukrové řepy na třtině*.

Ve srovnání s předchozím obdobím je výrazná také *závislost tří paliv na ropě - bionafty (jednosměrná) a německé a americké nafty (obousměrná)*. Reakce německé nafty je nepatrně nižší než jednotková, zatímco u bionafty a americké nafty je naopak o něco vyšší. Je však třeba podotknout, že tyto vztahy nemohly být nalezeny ani v předchozím ani v celém sledovaném období, neboť řada cen ropy vykazovala stacionaritu.

Na rozdíl od doby před zavedením EPA je v druhém období mnohem výraznější krátkodobá kauzalita mezi veličinami. Zejména o budoucích cenách paliv dává informaci celá řada komodit - ropa (kromě etanolu), etanol (kromě bionafty a německé nafty), kukuřice a obilí (kromě bionafty), sojové boby (kromě etanolu a německé nafty), německý benzín (kromě německé nafty a amerického benzínu) a obě americká paliva (kromě etanolu). Za pomoci německých paliv lze pak lépe předpovědět pohyb cukrové třtiny, cukrové řepy, sojových bobů a bionafty. Zajímavé také je, že *ceny ropy jsou Granger-způsobovány cenami kukuřice, obilí a bionafty spíše než fosilních paliv*.

## 9.4 Změna mezi sledovanými obdobími

Aby bylo srovnání situace před a po zavedení EPA co nejobektivnější, mohou být pro porovnání dlouhodobých vztahů využity jen komodity, které nevykazovaly stacionaritu ani v jednom z období<sup>13</sup>. Jde o kukuřici, obilí, sojové boby, cukrovou řepu a třtinu, bionaftu a německou naftu. Stacionarita byla alespoň v jednom ze dvou období přítomna u ropy, etanolu, německého benzínu a obou amerických paliv. Vzhledem k tomu, že dělicím bodem je zavedení amerického opatření, je poněkud nešťastné, že jsou vyřazena právě americká paliva a ropa, u kterých by výsledky mohly mnohé napovědět.

Vezmeme-li v úvahu skutečně jen porovnatelné komodity, je až zarážející úbytek rovnovážných vztahů v druhém období (4 oproti 7). Bionafta si zach-

---

<sup>13</sup>Kombinace těchto komodit jsou v tabulkách ohraničeny žlutým rámečkem.

vala svou závislost na německé naftě, vztah ovšem už není reciproční. Nadále také není signifikantní oboustranná provázanost těchto komodit s cukrovou třtinou, která zároveň ztrácí svou závislost na obilí. Na něj naopak, kromě již zmiňované bionafty, začíná reagovat i cena sojových bobů. Obilí pak ztrácí svou závislost na kukuřici, cukrové třtině a sojových bobech.

V případě krátkodobých kauzálních vztahů nedovolují omezení daná ECM modelem zkoumat jen několik konkrétních dvojic komodit (z celkových 122 jde o 6 v prvním a 3 v druhém období) a výpovědní hodnota by tak neměla být výrazně snížena. Zatímco v prvním období nepůsobila žádná komodita na větší množství potravin a jedině ropa ovlivňovala alespoň 4 ceny paliv, v období druhém bylo kauzálních vztahů nalezeno výrazně více. Cenové řady ropy, kukuřice, obilí, sojových bobů a obou amerických paliv se ukázaly signifikantní při předpovídání cen alespoň 4 ostatních pohonných hmot. Německá paliva navíc působila na ceny sojových bobů, cukrové třtiny a řepy.

## 10 Diskuse nalezených vztahů

### 10.1 Nalezené vztahy oproti předpokládaným

Do jaké míry lze nalezené vztahy přisuzovat výrobě biopaliv? Podíváme-li se na dvojice komodit z hlediska jejich vztahů jako substitutů nebo výrobních faktorů v kontextu biopaliv (tabulka (7)), zjistíme, že vysvětlují výsledky analýzy jen v omezené míře.

V celé studované periodě 2003 až 2011 odpovídá nalezená kointegrace i Grangerova kauzalita u trojice bionafta - americká nafta - německá nafta substitučnímu vztahu těchto paliv. Dlouhodobá rovnováha odpovídá i u dvojice cukrová řepa - cukrová třtina. Provázanost etanolu s americkou naftou je v souladu s očekáváním jen částečně. Protože ve Spojených státech je produkce etanolu výraznější než v Evropě, dá se u něj předpokládat kointegrace



s americkým benzínem<sup>14</sup>, jehož je etanol substitutem. Kointegrace s americkou naftou však také není překvapivá, jelikož její cena bude s cenou benzínu silně korelována. Dlouhodobá závislost bionafty na obilí, které ovšem není její vstupní surovinou, může naznačovat obecnější reakci bionafty na pohyby v cenách zemědělských komodit.

Krátkodobá Grangerova kauzalita odpovídá výrobním a spotřebním vztahům v řadě případů, to je však zřejmě dáno tím, že ze 122 dvojic jich v každé kategorii zhruba 50 vykazuje pozitivní vztah a jistá shoda by tak nastala, i kdyby byly rozděleny zcela náhodně. Obecně lze snad říci jen to, že paliva reagují na ropu jako na svůj hlavní výrobní faktor, což však není příliš překvapivý výsledek.

V období do roku 2005 odpovídají spotřební a výrobní vztahy nalezeným provázanostem v případě třech dvojic: obilí - kukuřice, obilí - cukrová třtina a německá nafta - bionafta. Poslední dvě komodity jsou také obousměrně provázány s cukrovou třtinou, což sice nemůžeme přisoudit přímému výrobnímu vztahu, lze však opět usuzovat na obecnější provázanost energetického a potravinového trhu. Krátkodobá kauzalita odpovídá teoretickým vztahům i zde jen u ropy a jejích derivátů.

Podobně jako v celé studované periodě<sup>15</sup> i v druhém období odpovídají nalezené vztahy v případě trojice bionafta - americká nafta - německá nafta a dvojice cukrová řepa - cukrová třtina. I zde byla přítomna závislost bionafty na obilí, ke kterému přibyla navíc ropa. Oproti celému období pak odpovídá navíc provázanost americké a německé nafty s ropou<sup>16</sup> jakožto svým výrobním faktorem.

---

<sup>14</sup>Tento vztah nelze z důvodu stacionarity ověřit. V krátkém období se však neprojevuje.

<sup>15</sup>Protože druhé období je podstatně delší než první, do výsledků za celou periodu se přirozeně bude promítat silněji.

<sup>16</sup>Provázanosti s ropou mohou být přítomny i ve zbylých dvou periodách. Kvůli stacionaritě však nemohly být testovány.

## 10.2 Změna po zavedení Energy Policy Act

Jedním z účelů této práce je objasnit, jak se změnil vztahy na trhu zemědělských a energetických komodit po zavedení amerického regulačního opatření Energy Policy Act v roce 2005. Jak ukázala sekce 9.4, z prvního na druhé období výrazně přibýlo krátkodobých kauzálních vztahů napříč oběma skupinami komodit, což bylo v souladu s očekáváním. Počet dlouhodobých rovnovážných vztahů, které o povaze provázanosti komodit vypovídají silněji, se ovšem po roce 2005 výrazně snížil, alespoň soudíme-li podle komodit porovnatelných mezi obdobími. O příčinách tohoto jevu nelze než spekulovat.

Například Natanelov et al. [2011] uvádí, že subvence poskytované napříč produkčním řetězcem ovlivňují nabídku a tím i cenu produktů. Ukazují, že speciálně americká vládní podpora funguje jako tlumič přenosu cen od ropy k zemědělským komoditám, což má za následek faktické snížení provázanosti energetického a zemědělského trhu.

Pravděpodobnější či významnější příčinou může být portfolio komodit, které byly k porovnání použity. Do toho nebyly kvůli přítomnosti stacionarity v datech zahrnuty mimo jiné ceny ropy, amerického benzínu a nafty. Je třeba si uvědomit, že opatření pro podporu biopaliv byla ve světě (například v Brazílii, ale i ve Spojených státech) zaváděna už od 70. let, v Evropě pak ve větší míře zhruba od roku 2003. Energy Policy Act, jehož vliv byl zkoumán, „pouze“ zavedl povinné příměsi etanolu do amerických pohonných hmot. Existuje-li vliv produkce biopaliv na trh s potravinami, pravděpodobně by byl patrný již před zavedením EPA a konkrétní vliv tohoto opatření se tak mohl projevit především provázaností s americkými palivy, slaběji také s ropou. Použitý model však právě tyto komodity nebyl s to v obou obdobích postihnout. Lze si například představit, že rovnovážné vztahy „se přesunuly“ od evropských k americkým palivům. Taková hypotéza není v rozporu s výsledky, zároveň však jimi není v žádném smyslu podpořena.

## 11 Závěr

Tato práce si kladla dva cíle. Prvním bylo poskytnout co nejširší a apriorními předpoklady pokud možno nezkreslený obraz provázanosti trhů potravin, biopaliv a fosilních paliv mezi lety 2003 a 2011. Druhým cílem bylo zhodnotit vliv amerického regulačního opatření Energy Policy Act z roku 2005. Podle doby jeho zavedení byla data rozdělena na dvě období. Identická analýza tak byla provedena pro každé ze tří období: Celé (2003 - 2011), první (2003 - 2005) a druhé (2005-2011). Časové řady cen dvanácti komodit byly po párech vyšetřovány následujícím postupem: Kde to nestacionarita dat dovovala, byly za pomoci Johansenovy kointegrace hledány dlouhodobé rovnovážné vztahy. Ty byly dále zkoumány v rámci error correction modelu, který zároveň dovoval zjistit krátkodobou Grangerovu kauzalitu. U dvojic, které dlouhodobý vztah nevykazovaly, byla Grangerova kauzalita testována v rámci vektorové autoregrese.

Většina rovnovážných vztahů byla nalezena „uvnitř“ jednotlivých trhů, objevilo se však i několik dlouhodobých propojení mezi produkty ze dvou různých skupin. Výrazná je závislost cen biopaliv na cenách fosilních paliv, které jsou vedoucí komoditou ve většině případů, ne však vždy. Trh potravin vykazuje provázanost s ostatními trhy ve třech případech. Je nalezena závislost bionafty na obilí a v prvním období také oboustranný vztah cukrové třtiny s bionaftou a německou naftou. V žádném z těchto případů však nejde o očekávatelnou dvojici typu „vstupní surovina - biopalivo“ nebo alespoň „vstupní surovina - fosilní ekvivalent biopaliva“. Výsledky tak naznačují jen obecné dlouhodobé propojení některých komodit trhů potravin a paliv.

Krátkodobá Grangerova kauzalita není příliš výrazná ve druhém období, v celém a prvním dává ovšem zajímavé výsledky. Ukazuje se, že ceny celé řady zemědělských produktů Granger-způsobují ceny paliv, tedy jsou signifikantní při jejich předpovědích. V případě německých paliv pak tento vztah platí i obráceně.

Posouzení vlivu zavedení Energy Policy Act je poměrně problematické. Striktně vzato výsledky kointegrace naznačují, že se provázanost trhů po roce 2005 snížila. Důvodem však může být vyřazení několika relevantních proměnných kvůli omezením modelu. Krátkodobá kauzalita, které se tato omezení nedotýkají, naopak vykazuje dramatický nárůst signifikantních vztahů, což je v souladu s očekáváním.

Další výzkum by se mohl zaměřit na zkoumání vlivu EPA z hlediska přelévání volatility, u které stacionarita dat nepředstavuje problém. Tímto směrem se již částečně vydal Wu et al. [2011], který však zkoumal jen změnu vztahu cen ropy a kukuřice, což o celkovém dopadu regulace vypovídá jen v omezené míře.

## 12 Přílohy

V této části jsou uvedeny výsledkové tabulky, které jsou sdruženy na základě typu vždy v pořadí podle období: celé (2003 - 2011), první (2003 - 2005) a druhé (2005-2011). Ve sloupci jsou uvedeny způsobované proměnné, v řádku pak způsobující. Kde je taková informace relevantní, jsou názvy komodit zbarveny zeleně v případě nestacionarity a červeně v případě stacionarity. U červeně označených položek nemohla být testována kointegrace a v příslušných sloupcích a řádcích se tedy neobjeví žádný rovnovážný vztah. Ten je značen černým rámečkem. Rámečky jsou ponechány i v tabulce krátkodobých kauzalit, kde značí, že kauzalita byla testována v rámci error correction modelu a nikoli vektorové autoregrese. Žlutý rámeček značí množinu dvojic, které jsou porovnatelné mezi obdobími 1 a 2. V tabulkách nejsou kvůli přehlednosti uváděny testové statistiky, ale pouze hodnoty koeficientů s hvězdičkami značícími jejich signifikanci na jednoprocenní (\*\*\*) , pětiprocentní (\*\*) a desetiprocentní (\*) hladině významnosti. V tabulkách stacionarity, trendové signifikance a krátkodobé kauzality jsou pak uváděny p-hodnoty. O barvách jednotlivých dvojic obecně platí, že zelená značí přítomnost signifikantního vlivu způsobující proměnné (řádek) na způsobovanou (sloupec).

Tabulka (5) udává hodnoty normalizovaného koeficientu  $\beta$  z error correction modelu. V rovnici (6), kde  $\beta$  vystupuje, je tento koeficient jen u jedné proměnné z dvojice.  $\beta_2$ , která by příslušela druhé proměnné, je totiž normalizovaná na 1. V tabulce by tedy správně v jednom „trojúhelníku“ měly být samé jedničky. Pro přehlednost jsou uvedeny přepočítané hodnoty  $\beta$  pro obě proměnné, je však třeba mít na paměti, že nikdy neplatí zároveň. Uvažujeme-li jakoukoli  $\beta$  v tabulce, musíme si představit, že v poli symetrickém podle diagonály je jednička.

Celé	Nestac.	Trend sig.	Před	Nestac.	Trend sig.	Po	Nestac.	Trend sig.
Ropa	0,08	0,00	Ropa	0,01	0,00	Ropa	0,10	0,00
Bioetanol	0,11	0,00	Bioetanol	0,60	0,00	Bioetanol	0,04	0,00
Kukuřice	0,37	0,00	Kukuřice	0,37	0,00	Kukuřice	0,61	0,00
Obilí	0,69	0,00	Obilí	0,70	0,00	Obilí	0,70	0,00
Cukr. třtin	0,43	0,00	Cukr. třtin	0,52	0,00	Cukr. třtin	0,65	0,00
Sojové b.	0,17	0,00	Sojové b.	0,71	0,00	Sojové b.	0,50	0,00
Cukr. řepa	0,41	0,00	Cukr. řepa	0,25	0,00	Cukr. řepa	0,55	0,00
Bionafta	0,64	0,00	Bionafta	0,46	0,00	Bionafta	0,80	0,00
Něm. naft	0,19	0,00	Něm. naft	0,24	0,00	Něm. naft	0,22	0,00
US nafta	0,26	0,00	US nafta	0,01	0,00	US nafta	0,28	0,00
Něm. ben	0,02	0,00	Něm. ben	0,25	0,00	Něm. ben	0,03	0,00
US benzín	0,06	0,00	US benzín	0,15	0,00	US benzín	0,06	0,00

(a) Celé období

(b) Období 1

(c) Období 2

Tabulka 3: Stacionarita a trendová signifikance v jednotlivých obdobích. Červeně je vyznačena zamítnutá nestacionarita, respektive nesignifikance trendu.

Celé	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtina	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa												
Bioetanol												-0,05 ***
Kukuřice												
Obilí												
Cukr. třtina												
Sojové b.												
Cukr. řepa												
Bionafta												
Něm. nafta												
US nafta												
Něm. benzín												
US benzín												

(a) Celé období

Před	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtina	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa												
Bioetanol												
Kukuřice												
Obilí												
Cukr. třtina												
Sojové b.												
Cukr. řepa												
Bionafta												
Něm. nafta												
US nafta												
Něm. benzín												
US benzín												

(b) Období 1

Po	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtina	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa												
Bioetanol												
Kukuřice												
Obilí												
Cukr. třtina												
Sojové b.												
Cukr. řepa												
Bionafta												
Něm. nafta												
US nafta												
Něm. benzín												
US benzín												

(c) Období 2

Tabulka 4: ECM ECT - Hodnoty error correction term se signifikancí

Celé	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtina	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa												
Bioetanol											-2,02 ***	
Kukuřice												
Obilí												
Cukr. třtina						-0,9 ***		-0,41 ***				
Sojové b.				-1,12 ***								
Cukr. řepa					-1,18 ***							
Bionafta				-2,42 ***							-1,78 ***	-1,84 ***
Něm. nafta									-0,56 ***		-1,05 ***	
US nafta		-0,5 ***							-0,54 ***	-0,95 ***		
Něm. benzín												
US benzín												

(a) Celé období

Před	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtina	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa												
Bioetanol												
Kukuřice				-0,57 ***		-1,4 ***						
Obilí			-1,76 ***		1,73 ***	-2,34 ***						
Cukr. třtina				0,58 ***				-0,51 ***	-1,07 ***			
Sojové b.			-0,72 ***	-0,43 ***								
Cukr. řepa												
Bionafta					-1,97 ***				-2,13 ***		-1 ***	-1 ***
Něm. nafta					-0,93 ***			-0,47 ***				
US nafta												
Něm. benzín									-1 ***			
US benzín									-1 ***			

(b) Období 1

Po	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtina	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa												
Bioetanol								-0,79 ***	-1,12 ***	-0,82 ***		
Kukuřice												
Obilí												
Cukr. třtina						-1,03 ***		-0,36 ***				
Sojové b.												
Cukr. řepa						-0,97 ***		-0,82 ***				
Bionafta	-1,26 ***										-1,67 ***	-1,31 ***
Něm. nafta	-0,89 ***										-0,6 ***	-0,94 ***
US nafta	-1,22 ***										-0,76 ***	-1,06 ***
Něm. benzín												
US benzín												

(c) Období 2

Tabulka 5: ECM normalizovaná  $\beta$  se signifikancí.



Celé	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtin	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa		0,66	0,01	0,04	0,47	0,24	0,45	0,04	0,15	0,27	0,04	0,04
Bioetanol	0,13		0,00	0,00	0,30	0,08	0,27	0,17	0,53	0,19	0,08	0,48
Kukuřice	0,30	0,74		0,44	0,37	0,40	0,89	0,34	0,81	0,14	0,98	0,81
Obilí	0,06	0,36	0,48		0,61	LAG1	0,99	0,53	0,39	0,21	0,77	0,40
Cukr. třtin	0,56	0,08	0,82	0,87		0,27	LAG1	0,01	0,00	0,47	0,00	0,46
Sojové b.	0,41	0,39	0,04	LAG1	0,74		0,77	0,23	0,00	0,28	0,00	0,66
Cukr. řepa	0,18	0,45	0,30	0,56	LAG1	0,50		0,51	0,00	0,17	0,00	0,33
Bionafta	0,00	0,02	0,20	0,16	0,21	0,01	0,51		0,00	0,00	0,00	0,00
Něm. naft	0,00	0,06	0,02	0,13	0,28	0,02	0,29	0,25		0,00	0,53	0,00
US nafta	0,58	0,02	0,00	0,00	0,55	0,01	0,65	0,38	0,06		0,02	0,04
Něm. ben	0,00	0,01	0,02	0,03	0,27	0,01	0,18	0,06	0,99	0,00		0,00
US benzín	0,00	0,00	0,01	0,03	0,53	0,00	0,23	0,44	0,09	0,19	0,59	

(a) Celé období

Před	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtin	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa		0,77	0,89	0,90	0,91	0,33	0,32	0,04	0,48	0,00	0,47	0,62
Bioetanol	0,19		0,36	0,28	0,29	0,04	0,23	0,38	0,42	0,28	1,00	0,83
Kukuřice	0,32	0,98		0,06	0,33	LAG1	0,33	0,19	0,73	0,30	0,48	0,38
Obilí	0,74	0,09	0,35		LAG1	LAG1	0,42	0,29	0,55	0,09	0,43	0,30
Cukr. třtin	0,96	0,42	0,96	LAG1		0,87	0,60	LAG1	LAG1	0,90	0,66	0,94
Sojové b.	0,15	0,25	LAG1	LAG1	0,86		0,37	0,14	0,01	0,16	0,18	0,10
Cukr. řepa	0,76	0,86	0,02	0,35	0,06	0,76		0,27	0,92	0,41	0,69	0,34
Bionafta	0,16	0,00	0,30	0,51	LAG1	0,20	0,66		LAG1	0,03	0,13	0,01
Něm. naft	0,00	0,08	0,12	0,45	LAG1	0,94	0,64	LAG1		0,00	0,24	0,50
US nafta	0,01	0,71	0,87	0,51	0,71	0,62	0,34	0,35	0,21		0,49	0,65
Něm. ben	0,00	0,02	0,26	0,30	0,64	0,81	0,84	0,29	0,66	0,11		0,11
US benzín	0,00	0,83	0,74	0,40	0,97	0,06	0,76	0,01	0,57	0,22	0,58	

(b) Období 1

Po	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtin	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa		0,64	0,00	0,02	0,53	0,40	0,13	0,00	0,12	0,34	0,22	0,17
Bioetanol	0,20		0,00	0,00	0,50	0,36	0,41	0,06	0,48	0,22	0,07	0,57
Kukuřice	0,48	0,69		0,83	0,56	0,69	0,84	0,83	0,90	0,32	0,91	0,75
Obilí	0,05	0,11	0,89		0,73	LAG1	0,70	0,76	0,65	0,18	0,78	0,27
Cukr. třtin	0,67	0,13	0,73	0,44		0,01	LAG1	0,05	0,01	0,45	0,02	0,60
Sojové b.	0,85	0,60	0,02	LAG1	0,71		0,04	0,73	0,00	0,71	0,00	0,28
Cukr. řepa	0,35	0,53	0,33	0,35	LAG1	0,11		0,25	0,00	0,24	0,01	0,40
Bionafta	0,00	0,17	0,86	0,15	0,94	0,02	0,76		0,00	0,00	0,00	0,00
Něm. naft	0,00	0,22	0,00	0,04	0,24	0,14	0,12	0,26		0,00	0,83	0,00
US nafta	0,00	0,01	0,00	0,00	0,45	0,00	0,39	0,40	0,19		0,04	0,00
Něm. ben	0,00	0,04	0,00	0,05	0,18	0,01	0,12	0,09	1,00	0,00		0,00
US benzín	0,00	0,00	0,01	0,06	0,58	0,01	0,22	0,29	0,09	0,05	0,68	

(c) Období 2

Tabulka 6: Grangerova (krátkodobá) kauzalita.  
Černé rámečky značí, že Grangerova kauzalita byla testována v rámci error correction modelu a nikoli vektorové autoregrese

	Ropa	Bioetanol	Kukuřice	Obilí	Cukr. třtina	Sojové b.	Cukr. řepa	Bionafta	Něm. naft	US nafta	Něm. ben	US benzín
Ropa		S	S	S	S	S	S		V	V	V	V
Bioetanol			V	V	V		V				S	S
Kukuřice	S	V		S	S		S					
Obilí	S	V	S		S		S					
Cukr. třtina	S	V	S	S			S					
Sojové b.	S							V				
Cukr. řepa	S	V	S	S	S							
Bionafta						V			S	S		
Něm. nafta	V							S		S		
US nafta	V							S	S			
Něm. benzín	V	S										S
US benzín	V	S									S	

Tabulka 7: Substituty a vstupy

## Reference

- Francis W Ahking. Model mis-specification and Johansen's co-integration analysis: an application to the US money demand. *Journal of Macroeconomics*, 24:51–66, 2002. URL <http://web2.uconn.edu/ahking/Ahking02.pdf>.
- Perrihan Al-Riffai, Betina Dimaranan, and David Laborde. European Union and United States Biofuel Mandates: Impacts on World Markets. Technical Report December, 2010. URL <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35529623>.
- Chris Brooks. *Introductory Econometrics for Finance*. Cambridge University Press, 2008. ISBN 978-0-521-87306-2.
- Jay J. Cheng and Govinda R. Timilsina. Status and barriers of advanced biofuel technologies: A review. *Renewable Energy*, 36(12):3541–3549, December 2011. ISSN 09601481. doi: 10.1016/j.renene.2011.04.031. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148111002035>.
- Pavel Ciaian and Artis Kancs. Interdependencies in the energy-bioenergy-food price systems: A cointegration analysis. *Resource and Energy Economics*, 33(1):326–348, January 2011. ISSN 09287655. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092876551000059X>.
- Walter Enders. *Applied Econometric Time Series*. John Wiley & Sons Ltd, 2010. ISBN 978-0470-50539-7.
- ENERS Energy Concept. Biofuels Platform, 2011. URL <http://www.plateforme-biocarburants.ch/en/home/>.

Evropská Komise. Biomass action plan. Technical report, 2005. URL [http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/renewable\\_energy/127014\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/127014_en.htm).

Evropská Komise. Summary of Member State Forecast Documents. Technical Report 3, 2009. URL [http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency\\_platform/doc/dir\\_2009\\_0028\\_article\\_4\\_3\\_forecast\\_20by\\_ms\\_symmary.pdf](http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/doc/dir_2009_0028_article_4_3_forecast_20by_ms_symmary.pdf).

Evropská Rada. Směrnice Rady 2003/30/ES, 2003.

C. L. Gilbert and C. W. Morgan. Food price volatility. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554): 3023–3034, August 2010. ISSN 0962-8436. doi: 10.1098/rstb.2010.0139. URL <http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2010.0139>.

Erik Hjalmarrsson and Pär Österholm. Testing for cointegration using the Johansen methodology when variables are near-integrated: size distortions and partial remedies. *Empirical Economics*, 39(1):51–76, May 2009. ISSN 0377-7332. doi: 10.1007/s00181-009-0294-6. URL <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00181-009-0294-6>.

Karel Janda, Ladislav Krystoufek, and David Zilberman. Modeling the Environmental and Socio- Economic Impacts of Biofuels. 2011. URL <http://ies.fsv.cuni.cz/default/file/download/id/18199>.

Soren Johansen. Statistical Analysis of Cointegration Vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12:231–254, 1988. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165188988900413>.

- Muge Kaltalioglu and Ugur Soytas. Volatility Spillover from Oil to Food and Agricultural Raw Material Markets. *Modern Economy*, 2011(May):71–76, 2011. URL <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?paperID=4892&returnUrl=http%25253a%25252f%25252fwww.scirp.org%25252fjournal%25252fPaperInformation.aspx%25253fpaperID%25253d4892>.
- Evžen Kočenda and Alexander Černý. *Elements of Time Series Econometrics: An Applied Approach*. Karolinum Press, Charles University, 2007. ISBN 978-8024613703.
- Ladislav Kristoufek, Karel Janda, and David Zilberman. Biofuels: Review of Policies and Impacts. 2011. URL <http://escholarship.org/uc/item/5v1112qr>.
- Ladislav Kristoufek, Karel Janda, and David Zilberman. Correlations Between Biofuels and Related Commodities Before and During the Food Crisis : A Taxonomy Perspective. 2012. URL [http://www.uce3.ucsb.edu/WP\\_030.pdf](http://www.uce3.ucsb.edu/WP_030.pdf).
- Gangadharrao Soundalayarao Maddala. *Introduction to Econometrics*. John Wiley & Sons Ltd, 2001. ISBN 0-471-49728-2.
- Lihong Lu McPhail. Assessing the impact of US ethanol on fossil fuel markets: A structural VAR approach. *Energy Economics*, 33(6):1177–1185, November 2011. ISSN 01409883. doi: 10.1016/j.eneco.2011.04.012. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140988311001034>.
- Valeri Natanelov, Mohammad J. Alam, Andrew M. McKenzie, and Guido Van Huylenbroeck. Is there co-movement of agricultural commodities futures prices and crude oil? *Energy Policy*, 39(9):4971–4984, September 2011. ISSN 03014215. doi: 10.1016/j.enpol.2011.06.016. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421511004721>.

- Saban Nazlioglu. World oil and agricultural commodity prices: Evidence from nonlinear causality. *Energy Policy*, 39(5):2935–2943, May 2011. ISSN 03014215. doi: 10.1016/j.enpol.2011.03.001. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421511001819>.
- OECD. *Biofuel Support Policies: An Economic Assessment*. OECD, 2008. ISBN 978-92-64-04922-2.
- Jan Pokrivčák and Miroslava Rajčániová. Crude oil price variability and its impact on ethanol prices. 2011. URL <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/45695.pdf>.
- Emilie Pons. A Review of Policy Measures Supporting Production and Use of Bioenergy. Technical Report March, OECD, 2008. URL <http://www.oecd.org/dataoecd/37/43/41037609.pdf>.
- Deepak Rajagopal and David Zilberman. Review of Environmental , Economic and Policy Aspects of Biofuels. *World bank: Policy Research Working Paper*, (September), 2007. URL [http://www.ncsu.edu/project/amazonia/for414/Readings/biofuels\\_wb.pdf](http://www.ncsu.edu/project/amazonia/for414/Readings/biofuels_wb.pdf).
- Miroslava Rajčániová and Ján Pokrivčák. The Impact of Biofuel Policies on Food Prices in the European Union. *Journal of Economics*, 59(5), 2011.
- Teresa Serra. Volatility spillovers between food and energy markets: A semiparametric approach. *Energy Economics*, 33(6):1155–1164, November 2011. ISSN 01409883. doi: 10.1016/j.eneco.2011.04.003. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140988311000867>.
- Teresa Serra and David Zilberman. PRICE VOLATILITY IN ETHANOL MARKETS. 2009. URL [http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/49188/2/Paper\\_598916.pdf](http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/49188/2/Paper_598916.pdf).

- Teresa Serra, David Zilberman, José M Gil, and Barry K Goodwin. Nonlinearities in the US corn-ethanol-oil price system. 2008. URL <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/6512/2/464896.pdf>.
- Giovanni Sorda, Martin Banse, and Claudia Kemfert. An overview of biofuel policies across the world. *Energy Policy*, 38(11):6977–6988, November 2010. ISSN 03014215. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421510005434>.
- Paul Spencer, Bob Flach, Sabine Lieberz, Karin Bendz, and Bettina Dahlbacka. EU-27 Annual Biofuels Report. Technical report, 2011. URL [http://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/Biofuels Annual\\_The Hague\\_EU-27\\_6-22-2011.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-27_6-22-2011.pdf).
- Feng Wu, Zhengfei Guan, and Robert J. Myers. Volatility Spillover Effects and Cross Hedging in Corn and Crude Oil Futures. *The Journal of Futures Markets*, 31(11):1052–1075, 2011. URL <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.is.cuni.cz/doi/10.1002/fut.20499/pdf>.
- Zibin Zhang, Luanne Lohr, Cesar Escalante, and Michael Wetzstein. Food versus fuel: What do prices tell us? *Energy Policy*, 38(1):445–451, January 2010. ISSN 03014215. doi:10.1016/j.enpol.2009.09.034. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421509007174>.
- Jadwiga Ziolkowska, William H Meyers, Seth Meyer, and Julian Binfield. Targets and Mandates : Lessons Learned from EU and US Biofuels Policy Mechanisms. 2010. URL <http://www.agbioforum.org/v13n4/v13n4a13-ziolkowska.pdf>.