CENY BIOPALIV A SOUVISEJÍCÍCH KOMODIT: ANALÝZA S POUŽITÍM METOD MINIMÁLNÍ KOSTRY GRAFU A HIERARCHICKÝCH STROMŮ

Ondřej Filip, Karel Janda, Ladislav Krištoufek*

Abstract

Prices of Biofuels and Related Commodities: an Analysis Using Methods of Minimum Spanning Tree and Hierarchical Tree

The article investigates the connections between the prices of biofuels and many traded commodities and other relevant assets in Europe, USA and Brazil. The analysis uses a comprehensive dataset covering price data for 32 relevant traded titles over the period 2003–2015. Main contribution of this article is a combination of minimum spanning tree and hierarchical tree approaches with expert economic understanding of biofuels market leading to identification of price connections in a complex trading system. Our analysis of mutual price connections discovers the major defining features of world leading biofuels markest over the last decade. We provide characteristics of main bioethanol and biodiesel markets with respect to technical and local features of the production and consumption of particular biofuels.

Keywords: biofuels, networks, minimal spanning tree, hierarchical tree
JEL Classification: C38, Q16, Q42

Úvod

V rámci širší iniciativy Evropské unie s cílem snížit emise skleníkových plynů (Havránek *et al.* 2015) vstoupila Česká republika v roce 2008 do evropského programu redukce emisí v dopravě. Do roku 2020 se tak ČR zavázala ke snížení emisí skleníkových plynů v dopravě o 6 %. Pro tuzemské distributory pohonných hmot to znamená povinnost přimíchat 4,1 % bioetanolu do běžného benzinu (od roku 2018 až 9 %) a 6 % bionafty do motorové nafty. Kromě příměsí lze emisní cíle plnit také přímým využitím vysokoprocentních biopaliv. Česká podpora biopaliv je realizována na základě Víceletého programu podpory dalšího uplatnění udržitelných biopaliv v dopravě na období 2015–2020, který vypracovalo Ministerstvo zemědělství a který byl schválen vládou dne 6. 8. 2014

* **Ondřej Filip** (ofilip38@gmail.com), Univerzita Karlova, Fakulta sociálních věd, Institut ekonomických studií; **Karel Janda** (Karel-Janda@seznam.cz), Univerzita Karlova, Fakulta sociálních věd, Institut ekonomických studií, Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta financí a účetnictví; **Ladislav Krištoufek** (ladislav.kristoufek@fsv.cuni.cz), Univerzita Karlova, Fakulta sociálních věd, Institut ekonomických studií.
Výzkum vedoucí k těmto výsledkům byl podpořen programem European Union's Horizon 2020 RISE v rámci grantu Marie Sklodowská-Curie pod číslem 681228. Autoři dále oceňují finanční podporu od Grantové agentury České republiky (granty 16-00027S, 18-05244S a 18-26714S). Karel Janda oceňuje podporu poskytnutou v rámci jeho dlouhodobých výzkumných pobytů na McGill University a Australian National University. Názory a pohledy prezentované v tomto článku jsou názory autorů, nikoliv nutně názory institucí, na kterých působí.

usnesením vlády č. 655 a dále upravován a doplňován na základě dalšího vývoje evropské legislativy (Jurčík, 2015).

Nejen pro ČR, ale i pro množství dalších států představují biopaliva téma ekologické, ekonomické i společensko-politické. Celosvětově jsou biopaliva významnou součástí diskuze o změně klimatu a potravinové a energetické bezpečnosti. V globálním měřítku mají své místo při nastavování vládních politik a figurují v rozhodování institucí i firem. V lokálním českém kontextu zaujímají biopaliva důležité místo v české energetické a environmentální politice (Mišík, 2016; Rečka & Ščasný, 2016) spolu s dalšími obnovitelnými energetickými zdroji jako fotovoltaická energie (Prusa *et al*., 2013; Lunackova *et al.,* 2017) nebo energie získaná z biomasy (Knapek *et al.,* 2017). Úloha biopaliv v české energetice je posílena i nejistou budoucností jaderné energie (Bems *et al.,* 2015) a odklonem od spalování hnědého uhlí.

Naše výsledky jasně ukazují rozdíly mezi třemi hlavními oblastmi výroby a užití biopaliv – Evropskou unií, Brazílií a USA. V celosvětovém kontextu představuje Brazílie unikání případ. Drtivá většina tamního bioetanolu je vyráběna z cukrové třtiny. Intuitivně tedy předpokládáme jakousi závislost mezi surovinou a biopalivem. Jak dokládá naše analýza, cena brazilského bioetanolu je skutečně přímo závislá na zkoumané ceně brazilského cukru. Jejich vzájemná vazba je navíc relativně silná a stabilní, neboť figurovala v každé naší minimální kostře grafu.

V případě USA je přibližně 90 % bioetanolu vyrobeno z kukuřice. Například v roce 2014 výroba bioetanolu spotřebovala bezmála 127 megatun kukuřice, což odpovídá 40 % americké sklizně toho roku (Conca, 2014). Ve srovnání s brazilskou produkcí je americký proces výroby z kukuřice technicky náročnější. Před samotnou výrobou paliva totiž musí být kukuřičné klasy nejdříve přeměněny na cukr, což s sebou nese zvýšenou nákladovou zátěž.

Od roku 2005, kdy předstihly Brazílii coby dosavadního lídra, drží USA pozici největšího světového výrobce bioetanolu. V roce 2015 činila americká výroba bioetanolu téměř 60 miliard litrů. USA jsou však také největším spotřebitelem ropy, která ročně přesahuje 500 miliard litrů benzinu a 180 miliard litrů nafty. Kromě rušení dovozních cel a nízkých cen ropy čelí nyní americký biopalivový průmysl také opakovaným snahám snížit povinné limity na příměsi biopaliv.

V případě Evropské unie naše analýza ukazuje, že pro cenu hlavního evropského biopaliva – bionafty – je charakteristické odlišné chování, než pozorujeme u bioetanolu v USA či v Brazílii. Bionafta byla po celé zkoumané období pouze částečně včleněna mezi ostatní prvky zkoumaných struktur. Evropská výroba biopaliv je až na výjimky postavena právě na produkci bionafty. Rychlý rozvoj její výroby byl v devadesátých letech tažen nejen rostoucími cenami ropy, ale také novou regulací a společnými evropskými pravidly pro pěstování olejnatých semen v EU. Na národní úrovni byla bionafta dále podporována štědrými daňovými pobídkami, především v Německu a ve Francii. Ze strany EU byly podmínky pro výrobu a využití biopaliva systematicky utvářeny také na legislativní úrovni. Významnými impulsy pro využití bionafty byly evropské směrnice 2003/30/ES a 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a směrnice 2009/30/ES

o kvalitě paliv. V roce 2015 pak důležitá směrnice Rady EU 2015/652, která mimo jiné stanoví metody výpočtu jakosti benzinu a motorové nafty včetně výpočtu emisí ze spalování paliv. EU je dnes největším světovým výrobcem i spotřebitelem bionafty, disponuje instalovanou výrobní kapacitou na úrovni 25 miliard litrů. V roce 2015 byla spotřeba bionafty na úrovni 13,8 miliard litrů krytá bezmála výhradně vlastní produkcí EU, která činila celkem 13,5 miliard litrů – téměř polovinu celosvětové produkce. Z členských států EU se na výrobě bionafty nejvíce podílí Německo, Francie a Nizozemsko (Flach *et al.,* 2015).

V ekonomické analýze biopaliv je klíčovou otázkou cenová interakce biopaliv s ostatními komoditami (Cha & Bae, 2011; Janda *et al.,* 2012; Zilberman *et al.,* 2013; Serra & Zilberman, 2013; Krištoufek *et al.,* 2014, Drabik *et al.,* 2014, 2015, 2016). V pracích zabývajících se vazbami mezi biopalivy a příbuznými komoditami se však často setkáváme s arbitrárně zvoleným úzkým okruhem zkoumaných proměnných, což může snižovat důvěryhodnost takto získaných výsledků. Jak dále uvádí Savaşsçin (2011), Serra & Zilberman (2013) a Rezitis (2015), je možné, že důležitou úlohu hrají také komodity, které s biopalivy na první pohled nesouvisí, a to včetně finančních aktiv a dalších ekonomických proměnných. Existují sice studie, které v této souvislosti pracují i s vybranými směnnými kurzy, ale zapojení burzovních indexů a úrokových sazeb v přímé souvislosti s biopalivy je stále vzácné. Další důležitou motivací pro práci se širokou skupinou aktiv (bez ohledu na teoretickou existenci vzájemných vazeb) je empiricky zjištěná rostoucí korelace napříč všemi skupinami aktiv s odlišnými fundamenty, která nabrala na intenzitě v souvislosti s finanční krizí minulé dekády především v důsledku financializace komodit (Hošek *et al.,* 2011; Tang & Xiong, 2012; Büyükşahin & Robe, 2014; Avdulaj & Barunik, 2015). Výzkum dynamiky a vývoje vazeb mezi biopalivy a širokou skupinou dalších aktiv je tedy svým charakterem velmi inovativní.

Na základě dřívějších doporučení (Serra & Zilberman, 2013; Rezitis, 2015) naše studie poskytuje komplexní pohled na široké portfolio aktiv, která mohou být podstatná pro vývoj ceny biopaliv nejen v Evropě, ale i na dalších světových trzích – v USA a v Brazílii. Náš datový soubor obsahuje časové řady s týdenní frekvencí zachycující ceny 32 obchodovaných titulů mezi lety 2003 a 2015. Pohledem světové produkce biopaliv pokrýváme 83 % vyrobeného bioetanolu a přibližně 45 % světové bionafty. Studované období rozdělujeme do tří na sebe navazujících úseků, které odpovídají strukturálnímu vývoji odvětví biopaliv během minulé dekády. Máme tak možnost analyzovat období let 2003–2008, které vyústilo ve světovou potravinovou krizi, úsek velmi volatilních komodit mezi vrcholy cen v letech 2008 a 2011 a konečně pokrizové období let 2011–2015.

Využíváme metodu minimální kostry grafu a metodu hierarchických stromů (Matousek & Nesetril, 2012), které v kontextu biopaliv poprvé použili Krištoufek *et al.* (2012). Hlavní výhodou námi zvoleného přístupu je, že teoreticky nejsme omezeni počtem časových řad, které můžeme zapojit. Zvolená metoda navíc na chování použitých dat klade minimum omezujících požadavků. Vzniklé grafy podporují intuitivní tvrzení, že pro biopaliva je nejdůležitějším cenovým faktorem právě jejich surovina. Pokud jde o finanční faktory zmiňované v literatuře, zaměřené na společné pohyby komoditních cen

(Baruník *et al*., 2015, 2016a,b; Reboredo, 2012a,b; Reboredo & Rivera-Castro, 2013; Reboredo *et al.,* 2014), ropy a burzovních indexů (Bastianin *et al.,* 2016; Jammazi & Reboredo, 2016; Reboredo & Rivera-Castro, 2014) a ropy, zemědělských plodin a směnných kurzů (Rezitis, 2015), ukazujeme, že tyto nemají určující místo ve vývoji cen biopaliv.

Námi použité metody minimální kostry grafu a hierarchických stromů mohou být obdobně aplikovány i na další ekonomické komoditní systémy, nejen na systém biopaliv, který podrobně analyzujeme v tomto článku.

1. Metodologie

Minimální kostra grafu (MST, z anglického *Minimum Spanning Tree*) poskytuje metriku, která je vhodná pro měření vzájemných spojení v rámci skupiny komodit či jiných aktiv. Metoda minimální kostry grafů vychází z práce českého matematika Otakara Borůvky. Aplikace Borůvkova algoritmu z roku 1926 směřovala tehdy k nalezení efektivních propojení při elektrifikaci Moravy (Nesetril *et al.,* 2001). Konstrukce MST využívá Pearsonův korelační koeficient ϱ_{ij} mezi aktivy i a j . Podle techniky popsané v Mantegnovi (1999) transformujeme korelační koeficienty na vhodnou míru vzdálenosti:

$$d_{ij} = \sqrt{2(1-\varrho_{ij})}\ . \tag{1}$$

Korelační matice C je tak transformována na distanční matici D[1].

$$\mathbb{C} = \begin{pmatrix} \hat{p}_{11} & \hat{p}_{12} & \cdots & \hat{p}_{1n} \\ \hat{p}_{21} & \hat{p}_{22} & \cdots & \hat{p}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{p}_{n1} & \hat{p}_{n2} & \cdots & \hat{p}_{nn} \end{pmatrix} \Rightarrow \mathbb{D} = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{12} & 0 & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdots & 0 \end{pmatrix}\ . \tag{2}$$

Na rozdíl od ϱ_{ij} splňuje zavedená d_{ij} všechna kritéria Euklidovské vzdálenosti a její hodnoty se pohybují v rozmezí 0 až 2. Mezní hodnoty korelačního koeficientu se do míry vzdálenosti promítnou následujícím způsobem:

a) $d_{ij} = 0$ dokonalá pozitivní korelace,
b) $d_{ij} = \sqrt{2}$ žádná korelace,
c) $d_{ij} = 2$ dokonalá negativní korelace.

Při využití Kruskalova algoritmu (Kruskal, 1956) nalezneme na základě získaných hodnot matice **D** nejdůležitější propojení ve zkoumané skupině aktiv. Technické detaily konstrukce minimální kostry grafu při aplikaci na struktury s biopalivy jsou podrobně pojednány v Krištoufkovi *et al.* (2012, 2013). Kostra nejdůležitějších spojení je získávána systematickou eliminací nejslabších vazeb (nejdelších vzdáleností) mezi uzly (jednotlivými aktivy) do té doby, dokud ještě lze všechny uzly projít zbývajícími vazbami. Takto vzniklé stromové struktuře lze nejlépe porozumět v jejím grafickém vyjádření, které

1 Všimněme si, že prvky na diagonále distanční matice jsou rovny nule.

popisujeme v sekci *Výsledky*. Všimněme si, že odstraňování méně relevantních vazeb vede nutně ke snížení počtu propojení, což přispívá k větší přehlednosti výsledků. Konkrétně počet spojení klesá z původních $k(k-1)/2$ pro korelační matici na $k-1$ pro minimální kostru grafu, kde k je počet proměnných. Tato filtrace korelační matice osvědčila své využití napříč obory (Song *et al.,* 2012; Gramatica *et al.,* 2014; Musmeci *et al.,* 2015).

Potenciální problém MST analýzy spočívá v možné nestabilitě jednotlivých vazeb. Abychom ověřili stabilitu (významnost) jednotlivých vazeb, využíváme techniku bootstrapu navrženou v Tumminellovi *et al.* (2007). V rámci této procedury jsou časové řady převzorkovány (s opakováním) na základě časového indexu. Následně jsou analyzovány řady s novou časovou strukturou, aniž by došlo k narušení korelace. Popsaná procedura MST je poté aplikována na bootstrapované řady a relevantní vazby jsou zaznamenány. Tento postup je 1 000krát opakován. Výsledné hodnoty jsou vykázány pro každou vazbu jako b_{ij} – definováno jako poměr počtu výskytů k celkovému počtu realizovaných opakování, a tedy $b_{ij} \in [0;1]$. V praxi používáme hodnotu $b_{ij}^{*} = 0{,}5$ jako hranici, od které již mluvíme o stabilní vazbě[2].

Hierarchický strom (HT, z anglického *Hierarchical tree*) nám následně poskytne komplementární pohled, kterým doplníme rovinnou vizualizaci vytvořenou pomocí MST. Metodologie spojená s konstrukcí HT vychází z principů popsaných při tvorbě minimální kostry grafu a dále je rozvíjí za hranice klasické Euklidovské metriky. Detailní popis techniky vytvoření a použití HT je možné nalézt v Mantegnovi (1999) a v Mantegnovi & Stanleyovi (2000). Hierarchický strom poskytuje jiný úhel pohledu na tytéž vazby vytvořené mezi vrcholy grafu a tyto vazby škáluje dle úrovně jejich významnosti. Díky HT je tak možné vidět postupný proces propojování jednotlivých vrcholů grafu a shluků příbuzných komodit až k celkové struktuře prezentované v MST.

2. Data

Při hledání komodit a dalších aktiv, která mohou být spojena s biopalivy, se snažíme uplatňovat komplexní přístup. Náš datový soubor tak čerpá z několika zdrojů, aby obsáhl zástupce následujících skupin aktiv: biopaliva (bioetanol i bionafta), plodiny pro výrobu bioetanolu, plodiny pro výrobu bionafty, fosilní paliva včetně ropy, potraviny, burzovní indexy, směnné kurzy a úrokové míry. Celkem máme k dispozici portfolio 32 časových řad v období 11 let (24. listopad 2003 až 19. leden 2015).

V analyzovaném období prošly komoditní trhy množstvím strukturálních změn. Abychom v čase dokázali oddělit rozdílná tržní prostředí, pracujeme v MST analýze se třemi časovými úseky. Pro vytyčení těchto dílčích období používáme Food Price Index,[3] publikovaný Food and Agriculture Organization (FAO) v rámci OSN, který umožňuje

2 Stanovení hranice na úrovni $b_{ij}^{*} = 0{,}5$ je sice arbitrární, ale je v souladu s Tumminellem *et al.* (2007, 2010), kde již vazby s $b_{ij} > 0{,}4$ jsou považovány za dostatečně stabilní. V související literatuře se nevyskytuje žádná ideální hranice, u níž by panovala všeobecná shoda.

3 FAO Food Price Index (měřen v bodech) zachycuje měsíční úrovně mezinárodních cen potravin. Jde o vážený průměr cenových indexů pěti komoditních skupin. Detailní popis společně s podkladovými daty je k dispozici na www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex

porozumět vývoji cen zemědělských komodit. Na základě historických lokálních maxim FAO indexu identifikujeme následující tři období:

- Období I: 24. listopad 2003 – 30. červen 2008, tedy 241 týdenních pozorování
- Období II: 7. červenec 2008 – 28. únor 2011, tedy 139 týdenních pozorování
- Období III: 7. březen 2011 – 19. leden 2015, tedy 203 týdenních pozorování

Naše MST analýza tedy záměrně pracuje se třemi časovými úseky, aby bylo možné rozlišit různá vývojová stadia odvětví biopaliv. První období představuje periodu globální konjunktury, doprovázenou rovněž rostoucími světových cenami komodit včetně cen potravin. Je to období vzestupu produkce biopaliv v době před kulminací první světové potravinové krize. Hodnota FAO indexu dosáhla svého tehdejšího maxima 30. června 2008. Následný propad cen zemědělských komodit však neměl dlouhého trvání. Nový růstový trend zahájený počátkem roku 2009 přetrval s mírnými výkyvy až do února 2011, kdy index dosáhl svého dosavadního maxima. Od tohoto okamžiku zavládl trend mírného stabilního poklesu hodnot indexu. Námi zvolené dělicí body přesně odpovídají okamžikům, které Světová banka identifikuje jako konec první a druhé potravinové krize v letech 2008 a 2011. V naší analýze pracujeme s cenami P_t na týdenní frekvenci, které nejdříve převedeme na logaritmické výnosy r_t definované jako:

$$r_t = \log(P_t) - \log(P_{t-1}) = \log \frac{P_t}{P_{t-1}} \quad . \tag{3}$$

Užití logaritmických výnosů je výhodné kvůli jejich symetrii, jak popisuje Hudson & Gregoriou (2010). Další výhoda logaritmických výnosů oproti běžným cenám je čistě technického charakteru a hraje důležitou roli při zajištění stacionarity zkoumaných časových řad. Pokud neuvedeme jinak, je primárním zdrojem získaných historických cenových řad standardní terminál Bloomberg.

Ačkoliv náš datový soubor je rozsáhlejší než datové soubory používané v literatuře, bylo by možné identifikovat potenciálně důležité oblasti, které naše data nepokrývají. V analýze plně ignorujeme environmentální dimenzi biopaliv, kterou se zabývají například Ziolkowska & Simon (2011) nebo Piroli *et al.* (2015). Vzhledem k použité týdenní periodicitě dat neuvažujeme výslovně indikátory relevantních ekonomických politik, které v kontextu biopaliv modelují de Gorter *et al.* (2011, 2013) nebo Drabík *et al.* (2014b).

Biopaliva

Denní ceny biopaliv nejsou často dostatečně volatilní. Studované trhy biopaliv však vykazují dostatečnou likviditu pro to, abychom mohli ceny studovat na týdenní bázi. Analýza pracuje s evropskou bionaftou, severoamerickým a brazilským bioetanolem.

Většina světového bioetanolu je vyráběna v USA a v Brazílii. Pro ceny amerického bioetanolu používáme New York Harbor Price, pro brazilský etanol volíme Centro de Estudos Avancados em Economica Aplicada (CEPEA) Ethanol Index. New York Harbor Price je spotová cena (FOB), kotovaná pod označením ETHNNYPR Index v amerických

centech za galon. Jedná se o bezvodý denaturovaný bioetanol určený k míchání s benzinem, jak je blíže popsáno v Krištoufkovi *et al.* (2012). Cena brazilského bioetanolu je CEPEA[4] udávána pro bezvodý palivový bioetanol.

Na rozdíl od bioetanolu, který vévodí produkci biopaliv v severní i jižní Americe, je evropskou doménou bionafta. V EU představuje bionafta vůbec nejdůležitější biopalivo, které činí přibližně 80 % celkového objemu biopaliv použitých v evropské dopravě. Při hledání vhodných cenových řad reprezentujících cenu evropské bionafty jsme se celkově potýkali s nedostupností dat. Počet relevantních obchodovaných titulů (tickerů) je poměrně omezený a velká část navíc pokrývá příliš krátké období na to, aby mohla být daná řada smysluplně použita. Rozhodli jsme se tedy pro využití dat ze dvou různých zdrojů. Pro období I a II používáme spotovou cenu německé spotřební bionafty pod označením BIOCEUGE ATPU FOL Index. Třetí období je potom pokryto daty pro nizozemskou bionaftu získanými pro tento účel od Reuters. Konkrétně používáme cenovou řadu FAME 0 FOB ARA Spot. Označení odpovídá FOB spotové ceně metylesteru řepkového oleje (MEŘO), obchodované OTC v přístavech Amsterdam, Rotterdam a Antverpy. Cena je kotována v USD za tunu.

Plodiny pro výrobu bioetanolu

Bioetanol se vyrábí z plodin bohatých na cukry. Většina světové produkce je získávána z kukuřice (v USA) a z cukrové třtiny (v Brazílii), v menší míře pak zpracováním pšenice a cukrové řepy. V případě USA používáme americké ceny kukuřice, pšenice, cukrové třtiny a cukrové řepy, neboť reprezentují drtivou většinu plodin použitých k výrobě severoamerického bioetanolu. Data představují dolarové ceny. V případě Brazílie stejně jako Drabík *et al.* (2015) pracujeme s cenou tamního cukru jako náhradou za cenu brazilské cukrové třtiny, jejíž cena není v potřebném rozsahu k dispozici. Brazilská data byla získána z CEPEA. V naší analýze uvažujeme pouze konvenční zdroje biopaliv a necháváme stranou méně obvyklé zdroje, jako například řasy, které analyzují mj. Ziolkowska & Simon (2014), nebo geneticky modifikovanou kukuřici (Blahova *et al.,* 2014).

Plodiny pro výrobu bionafty

Jak jsme již uvedli, bionafta představuje hlavní evropské biopalivo. Lze ji technicky vyrobit z různých druhů rostlinných olejů. V praxi se však nejčastěji používá řepkový, palmový a sójový olej. Do naší analýzy chceme dále zahrnout slunečnicový olej. Kvůli nedostupnosti odpovídajících dat je namísto cen slunečnicového oleje použita cena slunečnicového semínka, Bloomberg ticker SU1.

Fosilní paliva

Jako alternativa k tradičním fosilním palivům představují biopaliva jejich nejbližší substituty. Do naší datové sady tak stejně jako Pokrivčák & Rajčaniová (2011) zahrnujeme ropu, která je nejen hlavním vstupem do výroby všech ropných derivátů, ale sama je

4 Data byla získána z webové stránky CEPEA, dostupné z http://www.cepea.esalq.usp.br/br

též velmi frekventovaně obchodovanou komoditou. Protože se soustředíme na bioetanol a bionaftu, analyzujeme především ta fosilní paliva, která s nimi na lokálních trzích přímo soupeří. Proto zahrnujeme ceny benzinu a nafty v Německu, USA a Brazílii. Cena ropy Brent je získána z terminálu Bloomberg. Maloobchodní ceny německých a amerických paliv byly získány z webové stránky US Energy Information Administration (EIA). Ceny jsou kótovány v dolarech za galon bez daně. V případě brazilských paliv jsme využili internetovou databázi Agencia Nacional do Petroleo, Gas Natural e Biocombustiveis – ANP (http://www.anp.gov.br). Pracujeme zde s dolarovým vyjádřením týdenního váženého průměru spotřebitelských cen benzinu a nafty za galon.

Potraviny

Kromě zemědělských plodin, které se používají pro výrobu biopaliv, zařazujeme do naší datové sady také ryze potravinářské komodity. Zkoumáme ceny kávy, kakaa, rýže a pomerančů. Tyto plodiny nemohou být použity pro výrobu biopaliv. Zároveň se však jedná o čile obchodované komodity, které navíc soutěží o půdu a další zdroje s plodinami, které pro výrobu biopaliv použitelné jsou. Obsáhlý přehled, jehož autorem je Savaşçin (2011), je vítanou inspirací při hledání cenových titulů, které sice neslouží pro energetické účely, ale podstatně ovlivňují dynamiku cenotvorby biopaliv. Jak navrhuje Serra & Zilberman (2013), analýza možných vazeb mezi biopalivy a ostatními komoditami by neměla opomíjet ani externí faktory, které mohou ovlivnit tvorbu cenových spojení v rámci systému potrava – palivo. Sem patří vývoj cen akcií či futures, legislativní rámec a regulace, ale i celkové makroekonomické klima, tedy např. úrokové míry (Hainz *et al.,* 2014). Podobně také Krištoufek *et al.* (2012) doporučuje MST analýzu rozšířit nejen co do počtu komodit, ale také začleněním akcií, úrokových měr či směnných kurzů. Tato doporučení nás motivovala k prohloubení komplexity cenového systému jeho rozšířením o následující tři skupiny.

Akciové indexy

Národní akciový index může posloužit jako vhodná zástupná proměnná pro HDP díky tomu, že reflektuje atmosféru na daném trhu v konkrétní časový okamžik. Volba burzovních indexů je vhodná také proto, že údaje o HDP nejsou dostupné s týdenní frekvencí. Naše analýza pracuje s hlavními indexy, které geograficky odpovídají trhům, o něž se zajímáme. Jako zástupce americké burzy zapojujeme Dow Jones Industrial Average a index S&P 500, pro Evropu používáme britský Financial Times Stock Exchange 100 Index (FTSE 100) a německý Deutscher Aktienindex (DAX). V souvislosti s brazilským trhem pracujeme také s indexem Brazilian Bolsa de Valores do Estado de Sao Paulo (Bovespa).

Úrokové míry

Kvůli technickým omezením volíme úrokové míry, které jsou vyhodnocovány s denní frekvencí. US Federal funds rate představuje základní úrokovou míru americké centrální banky. Data pochází z webu Federální rezervy (http://www.federalreserve.gov). London

Interbank Offered Rate (LIBOR) je denně kótovanou mezibankovní sazbou a slouží jako světové měřítko krátkodobých úrokových měr. Používáme tříměsíční dolarový LIBOR, který je považován za nejlikvidnější. Data pochází z webu ECONSTATS (http://www.econstats.com).

Směnné kurzy

Zaměřujeme se na tři největší světové trhy biopaliv, tedy USA, EU a Brazílii. Bereme proto v potaz související směnné kurzy USD/EUR a USD/BRL. Jak upozorňuje Algieri (2014), mezinárodní ceny potravin (jakož i ostatních komodit) jsou udávány v dolarech, avšak spotřebitelé za ně platí v lokální měně. Změny ve směnném kurzu dolaru se tak prostřednictvím nabídky a poptávky projeví změnou cen. Pozorujeme, že posilování dolaru přináší klesající ceny komodit. Historické kurzy USD/EUR byly získány z Evropské centrální banky (http://www.sdw.ecb.europa.eu), pro USD/BRL potom z Federálního rezervního systému (http://www.federalreserve.gov).

3. Výsledky

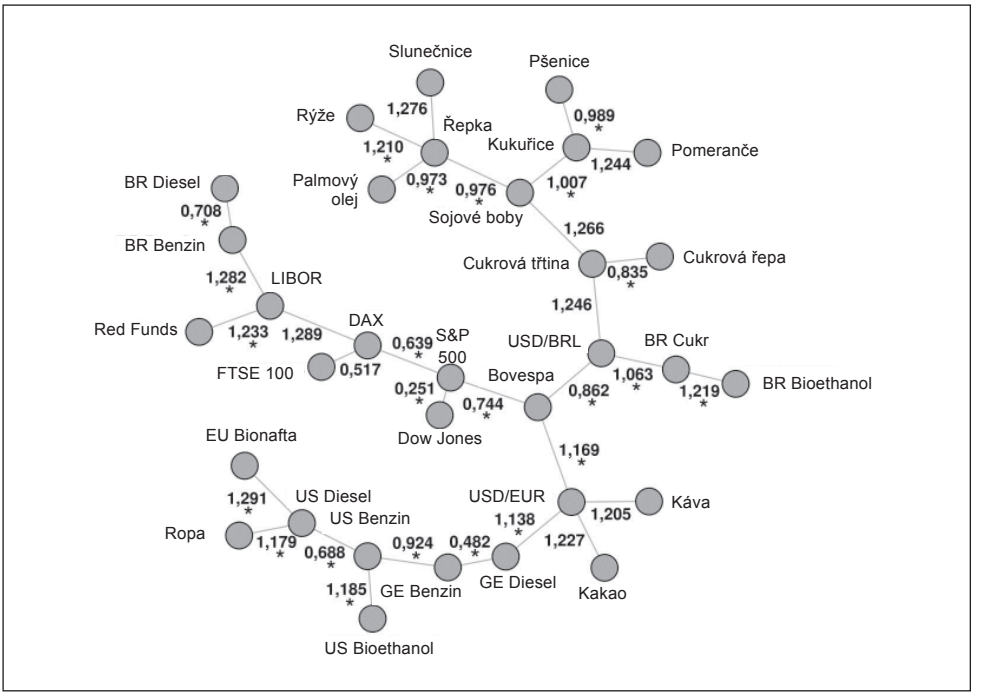
Předkrizové období I, 2003–2008

Abychom vysvětlili praktické využití metodologie MST, popišme nejdříve, jak konkrétní MST struktura vzniká. Při tvorbě minimální kostry grafu chceme zachytit ta nejvýznamnější spojení (hrany) mezi jednotlivými vrcholy. Významnost hrany je dána silou korelace mezi dvěma vrcholy grafu. Korelace je převedena na míru vzdálenosti, d_{ij} – čím silnější korelace, tím kratší hrana. Konkrétní hodnoty realizovaných vzdáleností d_{ij} jsou udávány číslem u daného spojení. Kromě vzdáleností mezi vrcholy testujeme také stabilitu vazeb za pomocí metody bootstrapu. Zkoumáme, kolikrát z celkového tisíce opakování se konkrétní vazba objevila ve struktuře MST.

Nejkratší hranu (d_{ij} = 0,251) nalézáme mezi americkými akciovými indexy. Dow Jones a S&P 500 tedy tvoří první pár právě vznikající minimální kostry grafu. Druhé nejkratší spojení (d_{ij} = 0,482) bylo identifikováno mezi německým benzinem a německým dieselem. Třetí nejsilnější korelace je mezi evropskými burzovními indexy, FTSE 100 a DAX, (d_{ij} = 0,517). V tomto okamžiku tak naše MST sestává ze tří oddělených párů: Dow Jones – S&P 500, GE benzin – GE diesel a FTSE 100 – DAX. Další nejkratší vzdálenost (d_{ij} = 0,639) je poté nalezena mezi indexy DAX a S&P 500, které jsou oba již přítomné v MST. Spojením těchto vrcholů vytvoříme čtveřici, neboť jsme propojili dva existující páry. Pátá nejsilnější korelace panuje mezi US benzinem a US dieselem (d_{ij} = 0,688). Přidáváme tak nový pár, neboť žádné z amerických paliv nebylo v MST dosud přítomno. Spojení mezi brazilským benzinem a naftou (d_{ij} = 0,708) tvoří rovněž izolovaný palivový pár. Další nejkratší hrana (d_{ij} = 0,744) napojuje index Bovespa na S&P 500 v rámci již existující čtveřice akciových indexů. Naše MST struktura je nyní tvořena pěticí akciových indexů a třemi izolovanými palivovými páry benzin-diesel. Další kroky přidávají samostatný pár cukrová třtina-cukrová řepa a napojují směnný kurz USD/BRL na index Bovespa. Pokaždé, než je do MST začleněna nová hrana, je nutné si ověřit, že jejím přidáním nevznikne

nechtěná smyčka. Další kroky vedou k formování palivové čtveřice spojením amerického a německého benzinu (d_{ij} = 0,924). Poté je vytvořen první pár rostlinných olejů: řepkový-palmový olej (d_{ij} = 0,973). Touto logikou postupně vytvoříme kompletní strukturu MST, jak je zobrazena na obrázku 1.

Obrázek 1 | Minimální kostra grafu, období I – celý systém



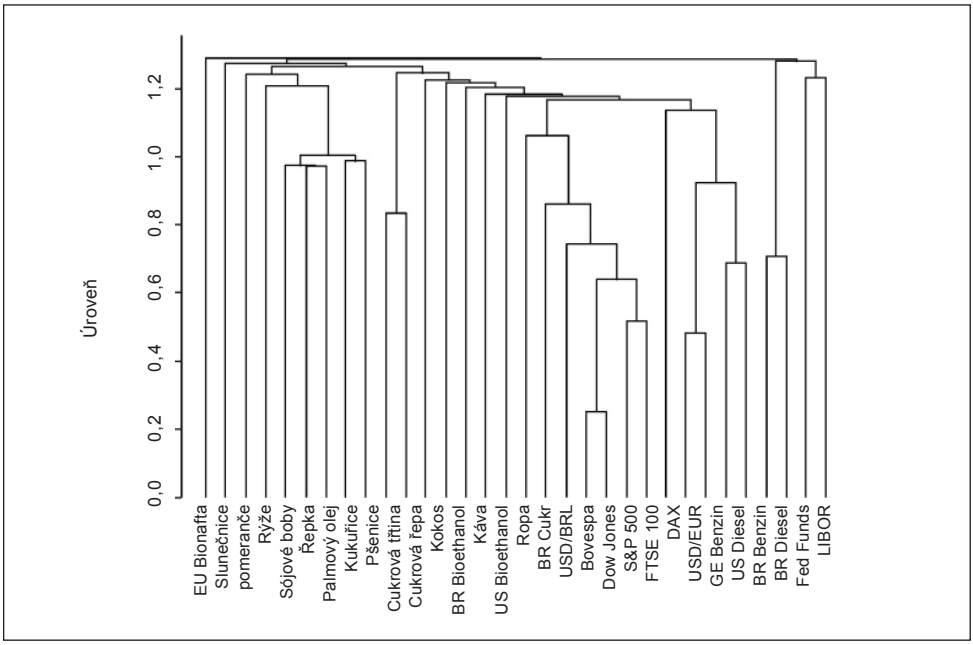
Poznámka: * značí hodnotu bootstrapu <0,5, čísla značí délky hran.

Zdroj: vlastní výpočet autorů

Hierarchický strom doplňuje konkrétní MST strukturu, aby vizualizoval její hierarchickou stavbu. V podobě obráceného stromu využívá HT podobné logiky jako konstrukce MST. Tvorba HT vyobrazeného na obrázku 2 začíná spojením indexů Dow Jonesova a S&P 500, tedy nejbližšího páru v příbuzném MST na obrázku 1. Další páry vznikají intuitivně propojením německého benzinu s dieselem a indexů DAX a FTSE 100. Následující dvojice je tvořena dvěma již přítomnými tituly DAX a S&P 500, spojíme tedy dva dotčené páry na úrovni odpovídající vzdálenosti (d_{ij} = 0,639). Takto postupně dospějeme k vytvoření kompletního HT.

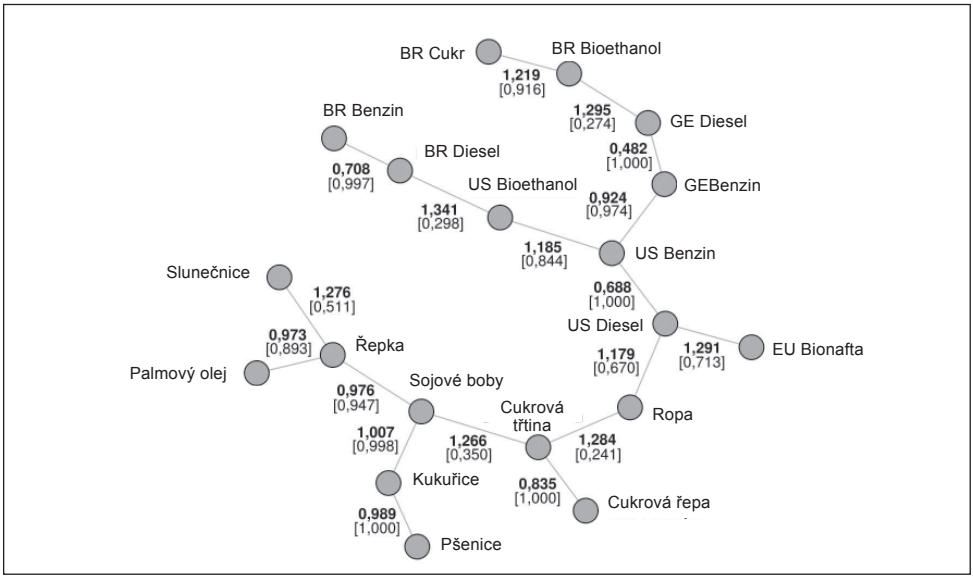
Na obrázcích 1 a 2 pozorujeme vizualizovanou podobu a vlastnosti našeho experimentálního souboru cen. Jádro MST je tvořeno kompaktní skupinou akciových indexů. Jak plyne ze samotné provázanosti akciových trhů, burzovní indexy jsou vysoce korelovány a jejich vazby jsou velmi stabilní. Je zřejmé, že nejen burzovní indexy, ale i řada dalších titulů

Obrázek 2 | Hierarchický strom, období I – celý systém



Zdroj: vlastní výpočet autorů

Obrázek 3 | Minimální kostra grafu, období I



Poznámka: Čísla tučně značí délky hran, v závorce jsou údaje o stabilitě vazeb.

Zdroj: vlastní výpočet autorů

v MST se sdružuje na základě svého typu. V širším smyslu tedy můžeme hovořit o skupině zemědělských komodit, tzv. potravinové větvi a palivové větvi, nacházejících se v opačných částech MST. Do palivové části spadají i samotná biopaliva. Zatímco žádné jiné biopalivo není zatím napojeno na svou surovinu, brazilský bioetanol tvoří v tomto smyslu důležitou výjimku. Jeho robustní vazba na brazilský cukr je evidentní již v prvním ze zkoumaných období.

Významná role ceny cukru v systému cen spojených s výrobou bioetanolu je standardním výsledkem v lieratuře. Již Zhang *et al*. (2010), vyslovují domněnku, že tato silná role cukru slouží jako zástupná vazba pro indikátory ekonomického růstu. V naší analýze výslovně zahrnujeme finanční faktory charakterizující stav ekonomiky, nicméně cena cukru stále zůstává klíčovým faktorem.

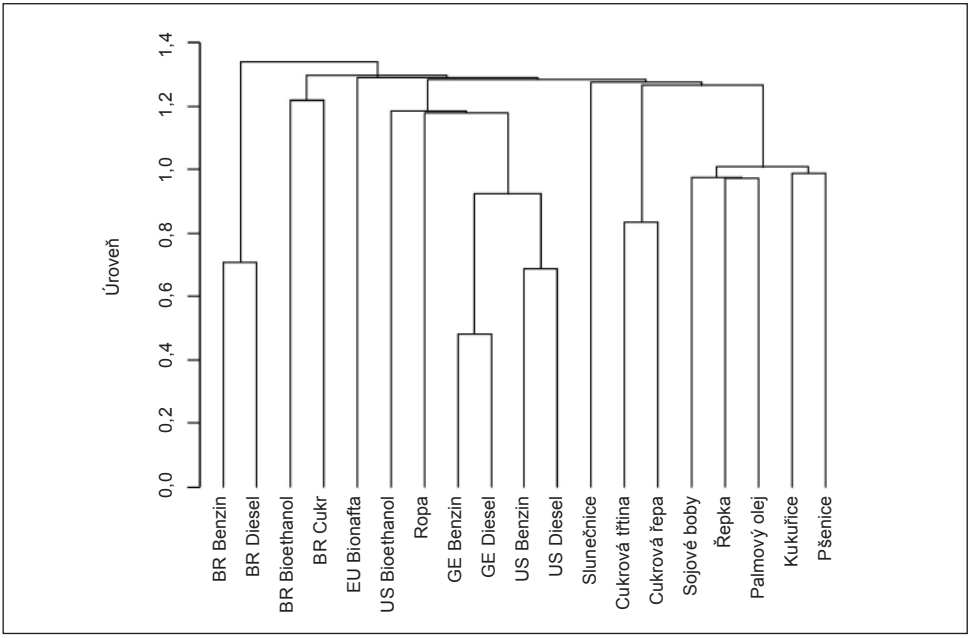
Na rozdíl od směnných kurzů, které propojují shluk akciového trhu s potravinovou a palivovou částí sítě, se u úrokových měr zdá, že je se zbytkem sítě nepojí hlubší vazby. Rovněž brazilská paliva stojí na okraji sítě a nejsou integrována do palivové větve MST. Jejich poněkud izolovaná pozice je zapříčiněna specifickým nastavením brazilského trhu s palivy (Khanna *et al*., 2016). Kvůli rozhodujícímu lokálnímu vlivu společnosti Petrobras nemusí ceny brazilských fosilních paliv nutně korespondovat s vývojem cen na světových trzích[5]. Jak uvidíme v průběhu celého sledovaného období, nejsou obyčejně začleněna v rámci palivové části MST. Nesmíme také zapomenout na čtyři ryze potravinářské komodity, které nelze využít pro výrobu biopaliv. Tyto plodiny netvoří žádnou skupinu, jsou pouze jednotlivě napojeny na různé vrcholy grafu.

Celou analýzu jsme pro všechna studovaná období nejprve provedli a posoudili na kompletním cenovém systému. Pro názornost a lepší ilustraci nejdůležitějších vazeb zde však nadále budeme prezentovat pouze výsledky získané pro zúžený systém komodit. Jedná se o komodity, které s výrobou či spotřebou zkoumaných biopaliv fakticky přímo souvisí. Soustředíme se tedy na biopaliva, jejich produkční faktory a fosilní paliva.

Vzniklé MST nadále sestává ze stabilní a dobře rozeznatelné potravinové a palivové větve, které jsou tvořeny úzce propojenými prvky. Mezi nejstabilnější vazby patří obiloviny, cukroviny a fosilní paliva. Z výsledné podoby MST je dále zřejmé, že vyloučením některých prvků nenastaly ve zbytku systému zásadní změny. Všechna biopaliva patří do palivové větve, ale pouze brazilský bioetanol je svázán se svým výrobním vstupem, jejich vazba je sice slabší, ale za to stabilní. Tento pár, který nás bude provázet po celé studované období, svědčí o rozvinutém biopalivovém odvětví v Brazílii již na počátku minulé dekády. Také v hierarchickém stromu (obrázek 4) odpovídajícímu upravenému systému rozeznáváme několik bližších skupin. Dva hlavní shluky – potraviny a paliva – odpovídají dvěma větvím MST. Brazilské komodity stojí poněkud stranou. U brazilských fosilních paliv je důvod zřejmý – silně regulovaný a řízený trh paliv.

5 Petroleo Brasileiro S.A je největší brazilskou energetickou společností, až 64% podíl je navíc přímo či nepřímo kontrolován vládou.

Obrázek 4 | Hierarchický strom, období I



Zdroj: vlastní výpočet autorů

Od začátku naší analýzy vnímáme odlišné chování brazilského trhu biopaliv. Pozorujeme zde významný fázový posun mezi vývojem na brazilském a euro-americkém trhu biopaliv. V USA a především v Evropě jsou první roky nového tisíciletí spojeny teprve se vznikem a postupným rozvojem masové výroby biopaliv. Naproti tomu v Brazílii představuje spojení bioetanol-cukr v tom čase nejen tradiční, ale stále rostoucí odvětví výroby bioetanolu. V roce 2000 činila americká produkce bioetanolu 6,1 miliardy litrů, zatímco Brazílie vyrobila 10,7 miliardy litrů. O pět let později to bylo již 14,8 miliardy litrů na straně USA a 16 miliard litrů v Brazílii. Ve světovém kontextu představuje Brazílie unikátní příběh. Výroba biopaliv tam započala již v sedmdesátých letech minulého století. V období ropných šoků kryl přibližně 80 % brazilské ropné poptávky dovoz a právě dramatický vývoj cen černého zlata odstartoval brazilskou snahu o lokální palivovou soběstačnost. Díky rozloze a příznivým klimatickým vlivům jsou v Brazílii optimální podmínky pro pěstování cukrové třtiny – primárního vstupu do výroby bioetanolu. Brazilský etanolový průmysl byl rovněž masivně subvencován. Po desetiletí byly uplatňovány různé formy podpory od povinné příměsi biopaliva po dotovaný prodej automobilů spalujících biopalivo. Ačkoli poptávka po bioetanolu dočasně poklesla v souvislosti s deregulací trhu biopaliv v devadesátých letech, jeho nový boom zažila Brazílie po roce 2000. Od roku 2003 byly na brazilský trh masivně uvedeny tzv. *flex fuel*[6] automobily. O dekádu později již tvořily téměř 90 % tamních prodejů nových vozů.

6 Technologie flex fuel umožnuje spalovat libovolný poměr bioetanolu a benzinu.

Krizové období II, 2008–2011

První období pokrývalo éru rostoucích světových cen potravin a vzestup produkce biopaliv před kulminací první světové potravinové krize. Nyní pokračujeme ve zkoumání vývoje systému potrava-palivo ve změněném tržním prostředí. Po několika letech souvislého růstu se ve druhé polovině roku 2008 ceny v zemědělství i v energetice prudce propadly v souvislosti se světovou hospodářskou krizí. Po tom, co v roce 2009 dosáhly svého dna, zahájily ceny zemědělských komodit a energií nové období růstu s maximem dosaženým v únoru roku 2011.

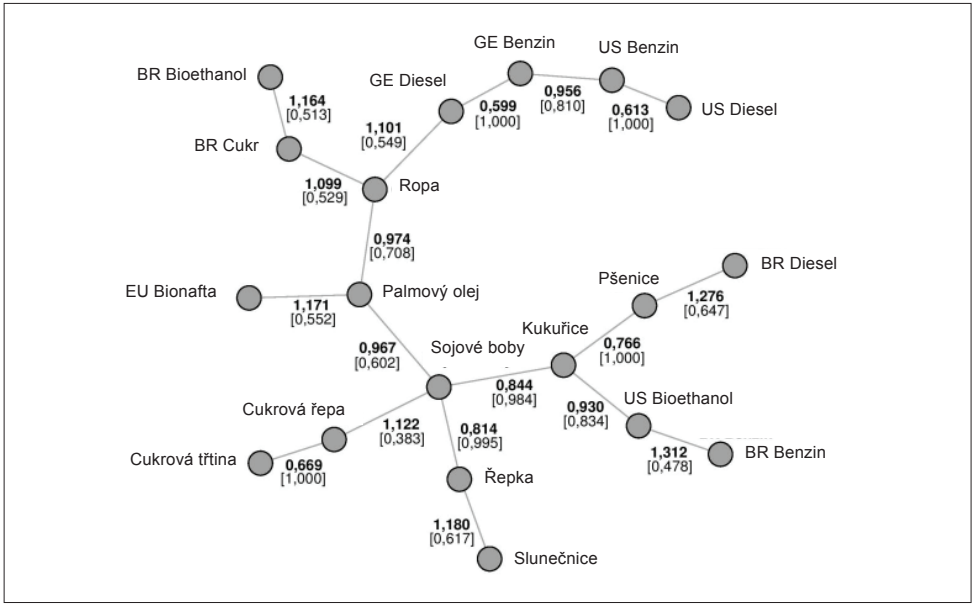
V tomto období očekáváme již znaky zavedené produkce biopaliv nejen v Brazílii, ale také v USA a v Evropě. MST strukturu tohoto časového úseku zachycuje obrázek 5. Ve srovnání s předchozím schématem se bionafta i americký bioetanol skutečně přesunuly do potravinové větve. US bioetanol získal přímé napojení na kukuřici. Americká vazba bioetanol-kukuřice je relativně silná (d_{ij} = 0,930) a stabilní. Reflektuje důležitou závislost mezi hlavním americkým biopalivem a jeho primární surovinou. V podobném duchu se také evropská bionafta přesunula do blízkosti rostlinných olejů. Brazilský bioetanol stále zůstává spojen s brazilským cukrem. Vývoj dokresluje i související hierarchický strom na obrázku 6.

Pokrizové období III, 2011–2015

V průběhu posledního časového úseku prošly hodnoty FAO Food Price Indexu obdobím postupného poklesu. Uvažované ceny plodin i energií zažily poměrně volatilní období doprovázené hlubokými propady. Na straně druhé akciové trhy dosahovaly nová historická maxima.

Minimální kostra grafu na obrázku 7 na straně 233 nám umožňuje opět jasně oddělit palivovou a potravinovou větev. Vizuální rozdíl mezi fosilními palivy a zemědělskými komoditami je zcela markantní. Dokonce brazilská nafta i benzin jsou nyní začleněny do skupiny paliv. V souvislosti s našimi předchozími výsledky jsou biopaliva navázána na skupiny svých výrobních surovin. Jejich vazby jsou ale spíše slabší. Existuje velmi stabilní vazba mezi palmovým, řepkovým a sójovým olejem, kde bionafta je spojena se slunečnicovým a palmovým olejem. Zatímco technologické spojení bionafty s olejnatými komoditami používanými pro její výrobu je všeobecně známé, technologická možnost přímého přidávání bioetanolu do motorové nafty není všeobecně známá ani komerčně rozšířená. Aktuální český technologický výzkum (Hönig & Smrčka 2016) však ukazuje, že bioetanol může být vhodnou přísadou pro palivové směsi používané ve vznětových motorech až do úrovně 25 objemových % v neupravených vznětových motorech. Případné technologické prolnutí dosud oddělených segmentů bioetanolu a bionafty by tak v budoucnu mohlo vést i k novým cenovým vazbách a společným pohybům cen.

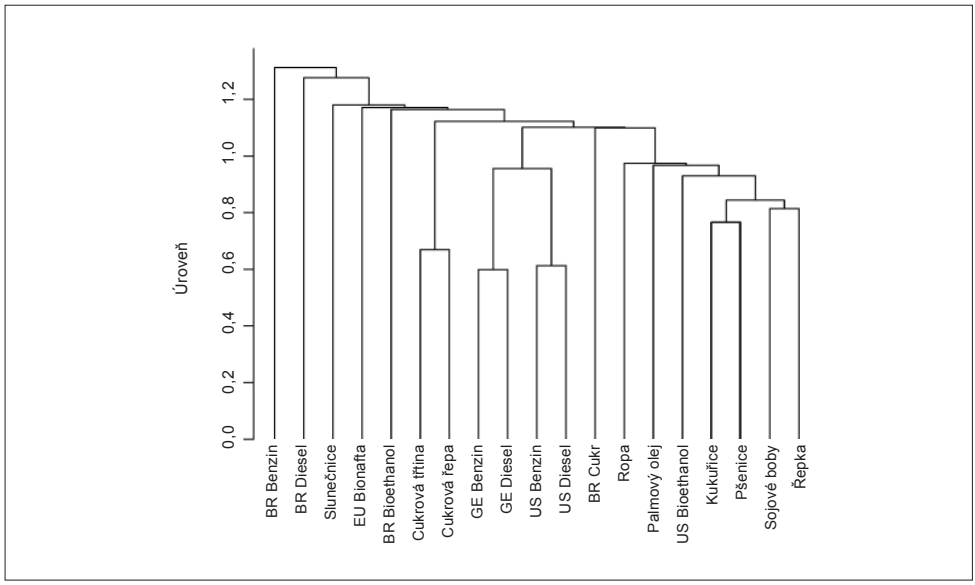
Obrázek 5 | Minimální kostra grafu, období II



Poznámka: Čísla tučně značí délky hran, v závorce jsou údaje o stabilitě vazeb.

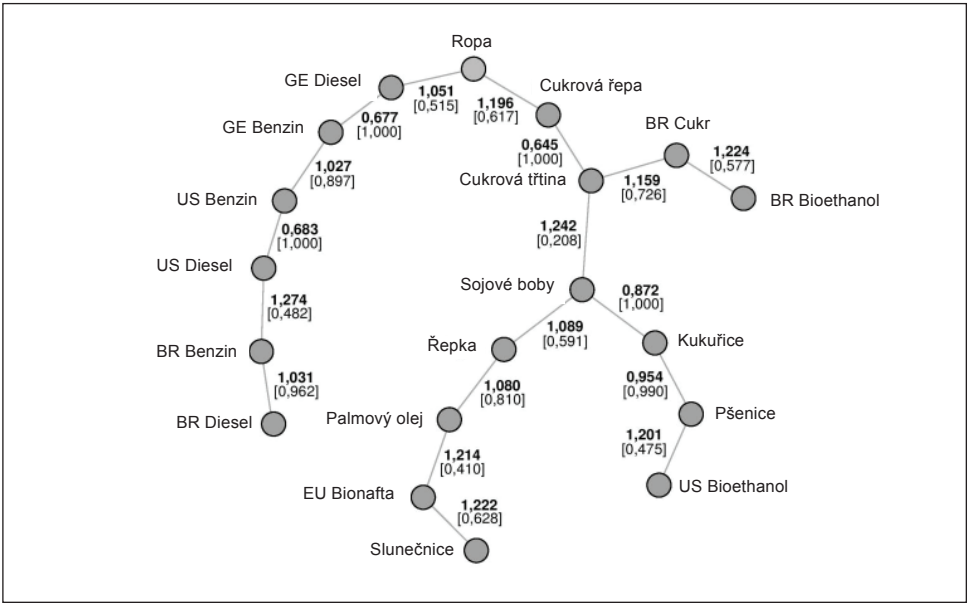
Zdroj: vlastní výpočet autorů

Obrázek 6 | Hierarchický strom, období II



Zdroj: vlastní výpočet autorů

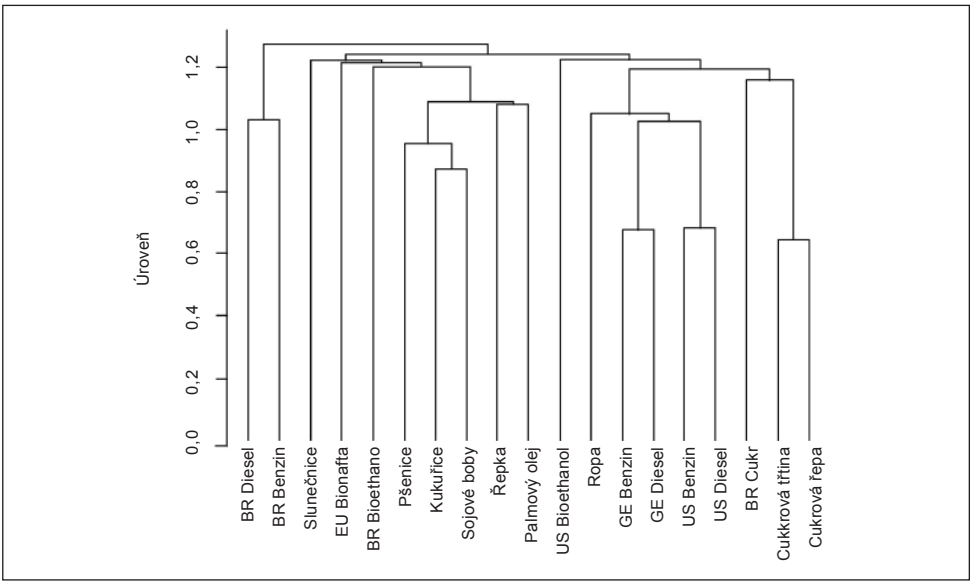
Obrázek 7 | Minimální kostra grafu, období III



Poznámka: Čísla tučně značí délky hran, v závorce jsou údaje o stabilitě vazeb.

Zdroj: vlastní výpočet autorů

Obrázek 8 | Hierarchický strom, období III



Zdroj: vlastní výpočet autorů

Závěr

Analýza provedená pomocí minimální kostry grafu, doplněná metodou hierarchického stromu, ukazuje na dynamický vývoj studovaného systému potraviny-palivo ve všech třech sledovaných rozhodujících regionech (USA, Brazílie a Evropa).

Z pohledu využité energie představuje bionafta přibližně 80 % veškerého biopaliva použitého v evropské dopravě. Skutečnost, že evropskému odvětví biopaliv dominuje právě bionafta, není náhodná, ale z velké části je výsledkem společné politiky EU. Jak poukazuje Krištoufek *et al.* (2012), evropské a americké cíle v oblasti biopaliv se liší. V USA jsou požadavky stanoveny na bázi objemu biopaliva. Litr bioetanolu je tedy vnímán stejně jako litr bionafty. Na druhé straně EU stanovuje své požadavky na obsah biosložky v energetických jednotkách. Jak uvádí Hofstrand (2008), množství energie získané z litru bionafty odpovídá 1,54 litru bioetanolu[7]. Evropské schéma využití biopaliv bylo nastaveno tak, aby dávalo přednost bionaftě kvůli její o poznání vyšší energetické hustotě.

Na základě získaných výsledků usuzujeme, že ve srovnání s brazilským či americkým bioetanolem je bionafta v Evropě jen velmi slabě svázána s cenami svých výrobních surovin. Její cena je totiž ovlivněna více faktory. Hlavní roli hrají fosilní paliva, cena bionafty ale závisí i na vývoji celé skupiny olejnin spíše než na jedné dominantní surovině. V tomto ohledu se bionafta liší od bioetanolu, který je odvislý od svého hlavního výrobního vstupu. V Evropě se bionafta vyrábí z 58 % z řepkového oleje, poté částečně z oleje palmového. V průběhu celé zkoumané dekády se však z řepky nevyrobilo více než 2/3 objemu produkce.

Vysvětlení, proč je bionafta svázána více s fosilními palivy než se surovinou, je potřeba hledat v souvisejících evropských a vládních politikách. V Brazílii a USA je tendence patřičně nastavit povinné příměsové kvóty tak, aby trh biopaliv byl oddělen od trhu konvenčních paliv. Naopak v EU hrají nejdůležitější roli daňové úlevy pro biopalivo. Také v důsledku ekonomických mechanismů popsaných v de Gorterovi *et al.* (2015) a Rajcaniové *et al.* (2013) je možné závislost bionafty na fosilních palivech připisovat i tomu, že na evropské úrovni dlouho neexistovaly společné závazné kvóty tak, jak tomu bylo v případě USA a Brazílie. Důležitý je také fakt, že v USA a zejména pak v Brazílii téměř neexistuje možnost změny používané výrobní suroviny. Naopak evropská výroba je v tomto ohledu flexibilnější a v praxi dokáže mezi vstupními surovinami i kombinovat, což umožňuje lépe reagovat v případě výkyvů cen vstupů. Používané rostlinné oleje mají totiž podobné složení, a je tak možné je mísit.

V souladu s naší původní hypotézou pozorujeme, že výsledný systém komodit má velmi dobře opodstatněnou strukturu. Získané výsledky umožňují učinit několik důležitých pozorování. Za prvé, podařilo se nám popsat navzájem provázaný systém komodit, které souvisejí s výrobou a spotřebou biopaliv. Vývoj tohoto systému sledujeme v čase a komentujeme jej v období let 2003–2015. Za druhé, zachytili jsme a popsali fázový posun, který byl pozorován mezi již vyspělým brazilským a tehdy opožděným

7 Hofstrand (2008) uvádí, že 1 litr bionafty obsahuje 32,6 MJ ve srovnání s 21,1 MJ v 1 litru bioetanolu.

euroamerickým biopalivovým průmyslem. Potvrzujeme, že národní a nadnárodní politiky hrají rozhodující roli ve formování biopalivového průmyslu. Za třetí, vysvětlujeme, že cena evropské bionafty nezávisí pouze na jediné vstupní surovině, jak je tomu v případě bioetanolu v USA či v Brazílii. Cena bionafty naopak v souladu s technikou její výroby interaguje s větším počtem plodin a s fosilními palivy. Evropské odvětví biopaliv se tedy podstatným způsobem liší od toho brazilského či amerického. Bionafta v rámci systému potrava-palivo zaujímá odlišnou pozici od bioetanolu.

Naše analýza vzájemných vztahů cen biopaliv a souvisejících komodit prokazuje vhodnost metod minimální kostry grafu a hierarchického stromu, které dosud nepatří do běžné množiny kvantitativních metod využívaných v ekonomickém výzkumu, pro analýzu rozsáhlých tržních systémů. Základním předpokladem pro úspěšné využití těchto metod je propojení techniky pocházející z matematické teorie grafů s hlubokou ekonomickou znalostí analyzovaného systému. Základním omezením metod použitých v tomto článku je nemožnost použít tento analytický rámec pro zkoumání kauzálních vztahů, jako to umožňuje vlnková koherence (Vácha *et al.,* 2013; Krištoufek *et al.,* 2016) nebo vektorová korekce chyby (VEC) (Filip *et al.,* 2018). Využití minimálních koster grafů nebo hierarchických stromů k prvotní identifikaci významných vazeb, které jsou pak následně podrobněji zkoumány dalšími metodami jako v článku Filip *et al.* (2016), je tak optimálním uplatněním těchto metod.

Literatura

Algieri, B. (2014). The Influence of Biofuels, Economic and Financial Factors on Daily Returns of Commodity Futures Prices. *Energy Policy,* 69(C), 227–247, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.020

Avdulaj, K., Barunik, J. (2015). Are Benefits from Oil-stocks Diversification Gone? New Evidence from a Dynamic Copula and High Frequency Data. *Energy Economics,* 51, 31–44, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.05.018

Baruník, J., Kocenda, E., Vacha, L. (2015). Volatility Spillovers Across Petroleum Markets. *The Energy Journal,* 36(3), 309–329, https://doi.org/10.5547/01956574.36.3.jbar

Baruník, J., Kocenda, E., Vacha, L. (2016a). Asymmetric Connectedness on the U.S. Stock Market: Bad and Good Volatility Spillovers. *Journal of Financial Markets,* 27(C), 55–78, https://doi.org/10.1016/j.finmar.2015.09.003

Baruník, J., Kocenda, E., Vacha, L. (2016b). Gold, Oil, and Stocks: Dynamic Correlations. *International Review of Economics & Finance,* 42(C), 186–201, https://doi.org/10.1016/j.iref.2015.08.006

Bastianin, A., Conti, F., Manera, M. (2016). The Impacts of Oil Price Shocks on Stock Market Volatility: Evidence from the G7 Countries. *Energy Policy,* 98(C), 160–169, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.020

Bems, J., Knapek, J., Kralik, T., Hejhal, M., Kubancak, J., Vasicek, J. (2015). Modelling of Nuclear Power Plant Decommissioning Financing. *Radiation Protection Dosimetry,* 164(4), 519–522, https://doi.org/10.1093/rpd/ncv333

Blahova, P., Janda, K., Kristoufek, L. (2014). The Perspectives for Genetically Modified Cellulosic Biofuels in the Central European Conditions. *Agricultural Economics,* 60(6), 247–259, https://doi.org/10.17221/96/2013-agricecon

Büyükşahin, B., Robe, M. (2014). Speculators, Commodities and Cross-market Linkages. *Journal of International Money and Finance,* 42, 38–70, https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2013.08.004

Conca, J. (2014). It's Final – Corn Ethanol is of no Use. *Forbes Business,* www.forbes.com/sites/jamesconca/2014/04/20/its-final-corn-ethanol-is-of-no-use/.

Drabik, D., Ciaian, P., Pokrivcak, J. (2016). The Effect of Ethanol Policies on the Vertical Price Transmission in Corn and Food Markets. *Energy Economics,* 55, 189–199, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.010

Drabik, D., De Gorter, H., Just, D. R., Timilsina, G. R. (2015). The Economics of Brazil's Ethanol-sugar Markets, Mandates, and Tax Exemptions. *American Journal of Agricultural Economics,* 97(5), 1433–1450, https://doi.org/10.1093/ajae/aau109

Drabik, D., De Gorter, H., Just, D. R., Timilsina, G. R. (2014). The Effect of Biodiesel Policies on World Biodiesel and Oilseed Prices. *Energy Economics,* 44, 80–88, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.03.024

Filip, O., Kristoufek, L., Janda, K., Zilberman, D. (2016). Dynamics and Evolution of the Role of Biofuels in Global Commodity and Financial Markets. *Nature Energy,* article number 16169, 1(12), December 2016, 9 pages, https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.169

Filip, O., Kristoufek, L., Janda, K., Zilberman, D. (2018). Food Versus Fuel: An Updated and Expanded Evidence. *Energy Economics,* v tisku, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.10.033

Flach, B., Bendz, K., Lieberz, S. (2015). EU-28 Biofuels Annual. *EU Biofuels Annual 2015* gain.fas.usda.gov/Recent

De Gorter, H., Drabik, D., Just, D. R. (2011). The Economics of a Blender's Tax Credit versus a Tax Exemption: The Case of U. S. "Splash and Dash" Biodiesel Exports to the European Union . *Applied Economic Perspectives and Policy,* 33(4), 510–527, https://doi.org/10.1093/aepp/ppr024

De Gorter, H., Drabik, D., Just, D. R. (2013). How Biofuels Policies Affect the Level of Grains and Oilseed Prices: Theory, Models, and Evidence. *Global Food Security,* 2(2), 82–88, https://doi.org/10.1016/j.gfs.2013.04.005

De Gorter, H., Drabik, D., Just, D. R. (2015). *The Economics of Biofuel Policies. Impacts on Price Volatility in Grain and Oilseed Markets.* Palgrave Studies in Agricultural Economics and Food Policy. New York: Palgrave Macmillan. ISBN 978-1-137-41485-4.

Gramatica, R., Di Matteo, T., Giorgetti, S., Barbiani, M., Bevec, D., Aste, T. (2014). Graph Theory Enables Drug Repurposing - How a Mathematical Model Can Drive the Discovery of Hidden Mechanisms of Action. *PLoS ONE,* 9(1), e84912, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084912

Hainz, CH., Horváth, R., Hlaváček, M. (2014). The Interest Rate Spreads in the Czech Republic: Different Loans, Different Determinants? *Economic Systems,* 38(1), 43–54, https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2013.10.002

Havránek, T., Iršová, Z., Janda, K., Zilberman, D. (2015). Selective Reporting and the Social Cost of Carbon. *Energy Economics,* 51, 394–406, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.08.009

Hofstrand, D. (2008). Liquid Fuel Measurements and Conversions. *Iowa State University, University Extension*, dostupné z: www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/pdf/c6-87.pdf

Hönig, V., Smrčka, L. (2016). Vliv bioetanolu na parametry motorové nafty. *Listy cukrovarnické a řepařské,* 132(1), 29–32.

Hošek, J., Komárek, L., Motl, M. (2011). Měnová politika a cena ropy. *Politická ekonomie,* 59(1), 22–46, https://doi.org/10.18267/j.polek.770

Hudson, R., Gregoriou, A. (2010). Calculating and Comparing Security Returns is Harder than you Think: A Comparison between Logarithmic and Simple Returns. *Available at SSRN,* dostupné z: http://ssrn.com/abstract=1549328 or http://doi.org/10.2139/ssrn.1549328

Cha, K., Bae, J. (2011). Dynamic Impacts of High Oil Prices on the Bioethanol and Feedstock Markets. *Energy Policy,* 39(2), 753–760, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.049

Jammazi, R., Reboredo, J. (2016). Dependence and Risk Management in Oil and Stock Markets. A Wavelet-copula Analysis. *Energy,* 107, 866–888, http://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.093

Janda, K., Kristoufek, L., Zilberman, D. (2012). Biofuels: Policies and Impacts. *Agricultural Economics,* 58(8), 372–386.

Jurčík, R. (2015). Dotace pro biopaliva a aktuální vývoj v roce 2015. *Listy cukrovarnické a řepařské,* 131(11), 355–358.

Khanna, M., Nunez, H. M., Zilberman, D. (2016). Who Pays and Who Gains from Fuel Policies in Brazil? *Energy Economics,* 54, 133–143, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.11.001

Knápek, J., Vávrová, M., Valentová, J., Vašíček, J., Králík, T. (2017). Energy Biomass Competitiveness - Three Different Views on Biomass Price. *Willey interdisciplinary reviews – energy and environment,* 6(6), Article Number: e261, https://doi.org/10.1002/wene.261

Kristoufek, L., Janda, K., Zilberman, D. (2012). Correlations between Biofuels and Related Commodities Before and During the Food Crisis: A Taxonomy Perspective. *Energy Economics,* 34(5), 1380–1391, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.06.016

Kristoufek, L., Janda, K., Zilberman, D. (2013). Regime-dependent Topological Properties of Biofuels Networks. *European Physical Journal B,* 86(2), article 40, 12 pages, https://doi.org/10.1140/epjb/e2012-30871-9

Kristoufek, L., Janda, K., Zilberman, D. (2014). Price Transmission between Biofuels, Fuels, and Food Commodities. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining,* 8(3), 362–373, https://doi.org/10.1002/bbb.1464

Kristoufek, L., Janda, K., Zilberman, D. (2016). Co-movements of Ethanol Related Prices: Evidence from Brazil and the USA. *GCB Bioenergy,* 8(2), 346–356.

Kruskal, J. B. (1956). On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem. *Proceedings of the American Mathematical Society,* 7(1), 48–50, https://doi.org/10.2307/2033241

Luňáčková, P., Průša, J., Janda, K. (2017). The Merit Order Effect of Czech Photovoltaic Plants. *Energy Policy,* 106, 138–147, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.053

Mantegna, R. (1999). Hierarchical Structure in Financial Markets. *The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems,* 11(1), 193–197, https://doi.org/10.1007/s100510050929

Mantegna, R. N., Stanley, H. E. (2000). *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance.* Cambridge: Cambridge University Press.

Matousek, J., Nesetril, J. (2012). *Kapitoly z diskretni matematiky.* Karolinum, Praha.

Mišík, M. (2016). On the Way Towards the Energy Union: Position of Austria, the Czech Republic and Slovakia Towards External Energy Security Integration. *Energy,* 111, 68–81, https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.056

Musmeci, N., Aste, T., Di Matteo, T. (2015). Risk Diversification: a Study of Persistence with a Filtered Correlation-network Approach. *Journal of Network Theory in Finance,* 1(1), 77–98, https://doi.org/10.21314/jntf.2015.005

Nešetřil, J., Milková, E., Nešetřilová, H. (2001). Otakar Borůvka on Minimum Spanning Tree Problem: Translation of Both the 1926 Papers, Comments, History. *Discrete Mathematics,* 233(1–3), 3–36, https://doi.org/10.1016/s0012-365x(00)00224-7

Piroli, G., Rajcaniova, M., Ciaian, P., Kancs, D. (2015). From a Rise in B to a Fall in C? SVAR Analysis of Environmental Impact of Biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 49, 921–930, https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.133

Pokrivčák, J., Rajčaniová, M. (2011). Crude Oil Price Variability and its Impact on Ethanol Prices. *Agricultural Economics – Czech,* 57(8), 394–403, https://doi.org/10.17221/42/2010-agricecon

Průša, J., Klimešová, A., Janda, K. (2013). Consumer Loss in Czech Photovoltaic Power Plants in 2010-2011. *Energy Policy,* 63, 747–755, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.023

Rajcaniova, M., Drabik, D., Ciaian, P. (2013). How Policies Affect International Biofuel Price Linkages. *Energy Policy,* 59(C), 857–865, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.049

Reboredo, J. C. (2012a). Do Food and Oil Prices Co-move? *Energy Policy,* 49, 456–467, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.035

Reboredo, J. C. (2012b). Modelling Oil Price and Exchange Rate Co-movements. *Journal of Policy Modeling,* 34(3), 419–440, https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2011.10.005

Reboredo, J. C., Rivera-Castro, M. A. (2013). A Wavelet Decomposition Approach to Crude Oil Price and Exchange Rate Dependence. *Economic Modelling,* 32, 42–57, https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.12.028

Reboredo, J. C., Rivera-Castro, M. A. (2014). Wavelet-based Evidence of the Impact of Oil Prices on Stock Returns. *International Journal of Economics and Finance,* 29, 145–176, https://doi.org/10.1016/j.iref.2013.05.014

Reboredo, J. C., Rivera-Castro, M. A., Zebende, G. F. (2014). Oil and US Dollar Exchange Rate Dependence: A Detrended Cross-correlation Approach. *Energy Economics,* 42, 132–139, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.12.008

Rečka, L., Ščasný, M. (2016). Impacts of Carbon Pricing, Brown Coal Availability and Gas Cost on Czech Energy System Up to 2050. *Energy,* 108, 19–33, https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.003

Rezitis, A. N. (2015). The Relationship between Agricultural Commodity Prices, Crude Oil Prices and US Dollar Exchange Rates: a Panel VAR Approach and Causality Analysis. *International Review of Applied Economics,* 29(3), 403–434, https://doi.org/10.1080/02692171.2014.1001325

Savaşçin, Ö. (2011). *The Dynamics of Commodity Prices: A Clustering Approach*. Chapel Hill: Univesity of North Carolina.

Serra, T., Zilberman, D. (2013). Biofuel-related Price Transmission Literature: A Review. *Energy Economics,* 37(C), 141–151.

Song, W. – M., Di Matteo, T., Aste, T. (2012). Hierarchical Information Clustering by Means of Topologically Embedded Graphs. *PLoS ONE,* 7(3), e31929, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031929

Tang, K., Xiong, W. (2012). Index Investment and the Financialization of Commodities. *Financial Analysts Journal,* 68(6), 54–74, https://doi.org/10.2469/faj.v68.n6.5

Tumminello, M., Coronnello, C., Lillo, F., Micchiche, S., Mantegna, R. (2007). Spanning Trees and Bootstrap Reliability Estimation in Correlation-based Networks. *International Journal of Bifurcation and Chaos,* 17(7), 2319–2329, https://doi.org/10.1142/s0218127407018415

Tumminello, M., Lillo, F., Mantegna, R. (2010). Correlation, Hierarchies, and Networks in Financial Markets. *Journal of Economic Behavior and Organization,* 75(1), 40–58, https://doi.org/10.1016/j.jebo.2010.01.004

Vacha, L., Janda, K., Kristoufek, L., Zilberman, D. (2013). Time–frequency Dynamics of Biofuel–fuel–food System. *Energy Economics,* 40(C), 233–241, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.06.015

Zhang, Z., Lohr, L., Escalante, C., Wetzstein, M. (2010). Food versus Fuel: What do Prices Tell Us? *Energy Policy,* 38(1), 445–451, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.034

Zilberman, D., Hochman, G., Rajagopal, D., Sexton, S., Timilsina, G. (2013). The Impact of Biofuels on Commodity Food Prices: Assessment of Findings. *American Journal of Agricultural Economics,* 95(2), 275–281, https://doi.org/10.1093/ajae/aas037

Ziolkowska, J., Simon, L. (2011). Environmental Implications of Biofuels – Theoretical and Empirical Analysis for the EU and US. *Journal of the Japan Institute of Energy,* 90(2), 177–181, https://doi.org/10.3775/jie.90.177

Ziolkowska, J., Simon, L. (2014). Recent Developments and Prospects for Algae-Based Fuels in the US. *Renewable & Sustainable Energy Reviews,* 29, 847–853, https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.021