



STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Posouzení dopadu finanční krize na komoditní
trh pomocí síťové analýzy

AUTOR	Radek Škaroupka
ŠKOLA	Gymnázium Dr. Karla Polesného Znojmo
KRAJ	Jihomoravský
OBOR	13. Ekonomika a řízení



STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

POSOUZENÍ DOPADU FINANČNÍ KRIZE NA
KOMODITNÍ TRH POMOCÍ SÍŤOVÉ ANALÝZY

USING NETWORK ANALYSIS TO EVALUATE THE
IMPACT OF THE FINANCIAL CRISIS ON COMMO-
DITY MARKET

AUTOR Radek Škaroupka
ŠKOLA Gymnázium Dr. Karla Polesného Znojmo
KRAJ Jihomoravský
ŠKOLITEL Oleg Deev
OBOR 13. Ekonomika a řízení

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma Posouzení dopadu finanční krize na komoditní trh pomocí síťové analýzy jsem vypracoval samostatně pod vedením pana Olega Deeva a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

Ve Znojmě dne 22. 2. 2017

Podpis:



MASARYKOVA UNIVERZITA

Ekonomicko-správní fakulta

Katedra financí



Jihomoravský kraj



Poděkování

Děkuji svému školiteli panu Olegu Deeovi za jeho drahocenný čas, cenné připomínky a informace, které mi věnoval při vytváření mé práce.

Chtěl bych také poděkovat paní učitelce RNDr. Haně Krčálové, které mě o Středoškolské odborné činnosti informovala.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.

Anotace

Cílem této práce je popsat a vysvětlit změny na komoditním trhu, které se objevily během nedávné finanční krize. K tomu bylo použito síťové analýzy, která napomáhá vysvětlit strukturu a propojenost globálního komoditního trhu v různých časových obdobích. Síťová analýza ukazuje pomocí korelační matice nejvýznamnější korelace mezi výnosy jednotlivých komodit.

Během finanční krize se trh stal více provázaným a integrovaným oproti trhu předkrizovému. Po finanční krizi se sice trh stal méně provázaným a integrovaným, ale stále se nevrací na své předkrizové hodnoty, tzn. že přetrvávají vztahy mezi jinak na sobě ekonomicky nezávislými komoditami.

Klíčová slova

komodity; komoditní trhy; finanční krize; síťová analýza; minimální kostra grafu; programovací jazyk R

Annotation

The goal of this work is to describe and explain the changes on the commodity market, which occurred during the recent global financial crisis. To do so network analysis was used, which helps to explain the structure and the connectedness of the global commodity exchange in various spans of time. Network analysis shows via correlation matrix the most important correlations between price returns of particular commodities.

During the financial crisis the exchange became more connected and integrated compared to the pre-crisis exchange. Even though the exchange became less connected and integrated after the financial crisis, it is still not returning to its pre-crisis value, i. e. that the relations between commodities, which are otherwise economically not dependent on each other, are still going on.

Keywords

commodities; commodity exchange; financial crisis; network analysis; minimum spanning tree; programing language R

Obsah

ÚVOD.....	7
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	8
1.1 TEORIE GRAFŮ.....	8
1.1.1 <i>Matematická definice grafu</i>	8
1.1.2 <i>Základní pojmy</i>	8
1.1.3 <i>Matematická reprezentace grafu</i>	11
1.1.4 <i>Stromy</i>	12
1.2 KOSTRA GRAFU.....	12
1.2.1 <i>Minimální kostra grafu</i>	12
1.2.2 <i>Jarníkův algoritmus</i>	12
1.3 KOMODITY A KOMODITNÍ TRHY.....	13
1.4 ELEKTRONIZACE DAT A FINANCIALIZACE.....	14
1.5 SVĚTOVÁ FINANČNÍ KRIZE LET 2007-2009.....	15
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	16
2.1 METODOLOGIE VÝPOČTU.....	16
2.1.1 <i>Výběr dat</i>	16
2.1.2 <i>Výpočet korelačních koeficientů a vzdáleností</i>	16
2.1.3 <i>Sestavení korelační matice, matice vzdálenosti, úplného grafu a výsledného grafu</i>	17
2.1.4 <i>Sestavení minimální kostry výsledného grafu</i>	18
2.2 EMPIRICKÉ VÝSLEDKY.....	19
2.2.1 <i>Vysvětlení změn na finančních trzích po roce 2000</i>	24
2.2.2 <i>Vysvětlení změn na finančních trzích během finanční krize let 2007-2009</i>	25
2.2.3 <i>Vysvětlení změn na finančních trzích po roce 2009</i>	25
ZÁVĚR.....	27
LITERATURA.....	28
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	30
SEZNAM VZORCŮ.....	31
SEZNAM PŘÍLOH.....	31

Úvod

V dnešních dnech se již dopady nedávné finanční krize značně utlumují. To však nemění nic na tom, že tato finanční krize byla největší krizí po druhé světové válce, svými rozsahem se dokonce dost často přirovnává k Velké hospodářské krizi [11]. Její analýzou jsme schopni získat mnoho informací, které povedou k lepšímu pochopení fungování trhu.

Tato práce se zabývá dopadem této finanční krize na komoditní trhy, kdy bylo užito dat od Měnového mezinárodního fondu (viz příloha 2.). V těchto datech jsou zaneseny ceny jednotlivých komodit v jednotlivých měsících v letech 1980-2017. Na základě těchto hodnot byly provedeny výpočty výnosů jednotlivých komodit. Porovnání souvislostí mezi změnami výnosů u různých komodit bylo docíleno za pomoci výpočtu korelačních koeficientů dvojic různých komodit, jenž ukazují míru korelace právě mezi těmito dvěma komoditami. Samozřejmě že změny výnosu se u některých komodit lišily tak moc, že velikost korelačních koeficientů byla velice malá. Tudíž byly tyto hodnoty odstraněny, neboť vzhledem k ostatním jsou zanedbatelné. Pomocí těchto korelačních koeficientů pak byly spočítány vzdálenosti mezi komoditami.

Z korelačních koeficientů byla následně sestavena korelační matice a ze vzdáleností matice sousednosti komodit. Na základě těchto dvou matic bylo možno zhotovit graf, jenž ukazuje vztahy mezi jednotlivými komoditami. Tomuto grafu byla vytvořena jeho odpovídající minimální kostra. Na základě té byly poté porovnávány jednotlivé trhy, neboť nám ukazuje nejvýznamnější vztahy na trhu.

Všechny tyto výpočty byly provedeny v programu RStudio za použití programovacího jazyka R, který se právě pro řešení takové problematiky velice hodí.

Tato SOČ tedy nabízí zajímavý pohled na vztahy mezi komoditami v rámci komoditního trhu. Také se snaží vysvětlit změny, jež na trzích probíhají nejen během finanční krize, ale také se snaží objasnit vývoj, který finanční krizi předcházel, a vývoj po finanční krizi.

1 Teoretická část

1.1 Teorie grafů

Teorie grafů je disciplína diskrétní matematiky, jež zkoumá vlastnosti struktur zvaných grafy. Teorie grafů se dá využít napříč různými odvětvími. [1] V ekonomii a finančnictví se používá k zobrazení korelací mezi aktivy na trhu.

1.1.1 Matematická definice grafu

Graf je uspořádaná dvojice množin – **množina vrcholů** a **množina hran**. [2a,3]

$$G = (V, E) \quad (1) \text{ Definice grafu}$$

Množina vrcholů je značena písmenem **V** (počáteční písmeno anglického slova **vertex**, tj. vrchol). [2]

Množina hran je značena písmenem **E** (počáteční písmeno anglického slova **edge**, tj. hrana). Množina hran je podmnožinou množiny všech možných dvojic navzájem různých vrcholů. [2a,3]

$$E \subseteq \binom{V}{2} \quad (2) \text{ Definice hran pomocí vrcholů}$$

Budeme brát v potaz, že dva vrcholy grafu jsou nanejvýš spojeny právě jednou hranou, bylo-li by tomu jinak, jednalo by se o tzv. **multigraf**. [2a]

Hrana mezi dvěma vrcholy **u** a **v** se zapisuje jako $\{u, v\}$, zkráceně **uv**. Vrcholy, které jsou spojené hranou, se nazývají **sousední**. [3]

1.1.2 Základní pojmy

Úplný graf

Úplný graf je takový graf, kde je každá dvojice různých vrcholů spojena hranou. Z toho plyne, že jakýkoliv vrchol grafu je sousedním vrcholem všech zbylých vrcholů. [2b,3]

$$|E| = \binom{|V|}{2} \quad (3) \text{ Definice hran pomocí vrcholů v úplném grafu}$$

Úplné grafy se značí K_n , kde n je počet vrcholů. [2b]

Počet hran úplného grafu je roven součinu poloviny počtu vrcholů a počtu vrcholů zmenšených o jedna.

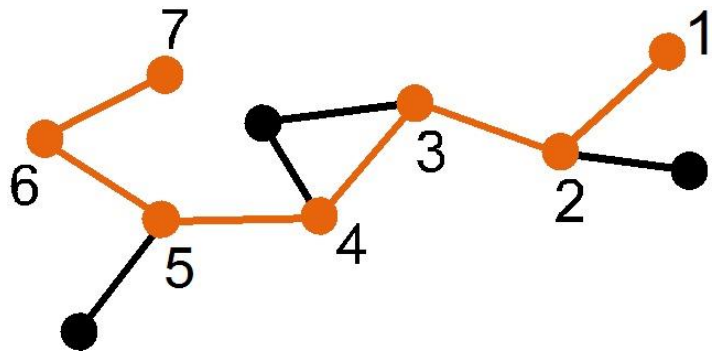
$$|E| = \frac{|V|}{2} \cdot (|V| - 1) \quad (4) \text{ Počet hran}$$

Podgraf

Podgraf grafu G je graf H , který vznikl odebráním některých vrcholů a hran z původního grafu G . Při odebrání vrcholu se musí též odebrat všechny hrany vedoucí do (z) něj, vznikne tím **podgraf indukovaný**. Pokud jsou odebrány i jiné hrany, jedná se obecně o podgraf. [2c]

Cesta v grafu

Prvně než si definujeme, co je cesta, musíme znát několik základních pojmů. Jsou jimi **sled** a **tah**. Sled je posloupnost hran, které na sebe navazují. Tah je takový sled, ve kterém se každá hrana zopakuje nejvýše jedenkrát. **Cesta** je pak tahem, ve kterém se zopakuje každý vrchol nejvýše jedenkrát. [9]

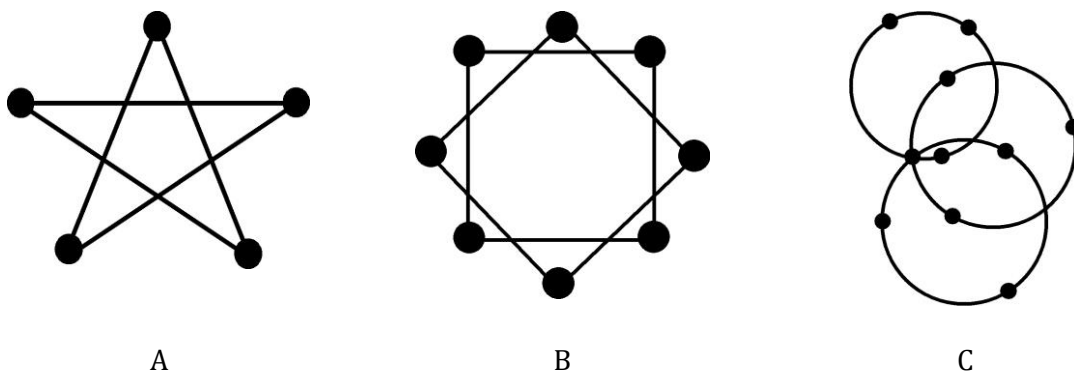


Obrázek 1 Cesta v grafu

Jinými slovy je cesta v grafu posloupnost vrcholů, kdy počáteční a koncový vrchol jsou dva různé vrcholy, přičemž vrcholy mezi nimi se neopakují. [2d,4]

Souvislost a komponenty grafu

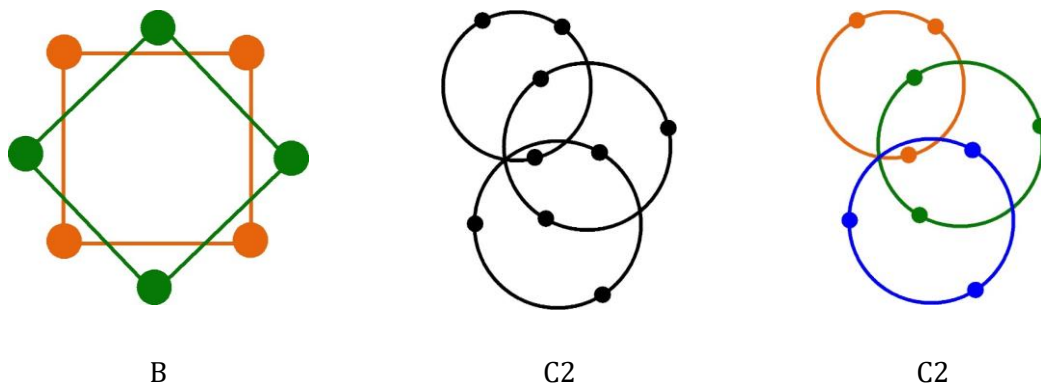
O grafu říkáme, že je souvislý pouze tehdy, když existuje cesta z libovolného vrcholu grafu do vrcholů ostatních. Souvislý graf však nemusí být nutně úplným grafem, neboť cesty z libovolného vrcholu do ostatních vrcholů mohou vést i přes jiné vrcholy. Pokud však není možnost dostat se z libovolného vrcholu do všech ostatních vrcholů, mluvíme o grafu **nesouvislém**. [3]



Obrázek 2 Souvislé grafy a nesouvislý graf

Na obrázku číslo dva jsou tři grafy(A,B,C), přičemž právě ten prostřední je nesouvislý (viz výše).

Graf je souvislý, pokud je tvořen nejvýše jednou **komponentou souvislosti**, pokud jich je více, jedná se o graf nesouvislý. Komponenta souvislosti je podgrafem původního grafu, přičemž jak vyplývá z názvu, tento podgraf je souvislý. [3]

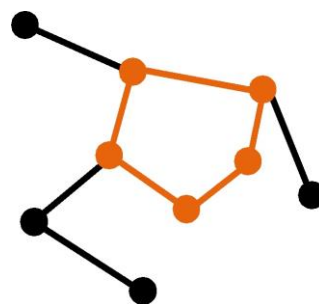


Obrázek 3 Nesouvislé grafy

Na obrázku číslo tři jsou upravené grafy z předchozího obrázku. Jednotlivé komponenty původního grafu B z předchozího obrázku jsou obarveny. Uprostřed je původní graf C2, který vznikl odstraněním vrcholu V_α z původního grafu C (viz obr. 1). Vpravo jsou pak obarveny nově vzniklé komponenty grafu C2 (vyznačeny barevně).

Kružnice v grafu

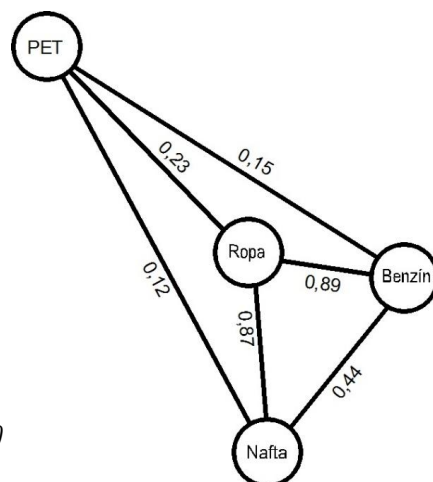
Kružnice (cyklus) je vcelku podobná cestě, jsou zde však dva významné rozdíly. Počáteční a koncový bod se na rozdíl od cesty shodují a minimální počet vrcholů je 3. [2e,3,4]



Obrázek 4 Kružnice v grafu

Vzdálenost a metrika v grafu

Každá hrana může mít k sobě přiřazené číslo, které si lze představit jako např. korelaci mezi dvěma komoditami. Říkáme, že graf má ohodnocené hrany. [2f,3]

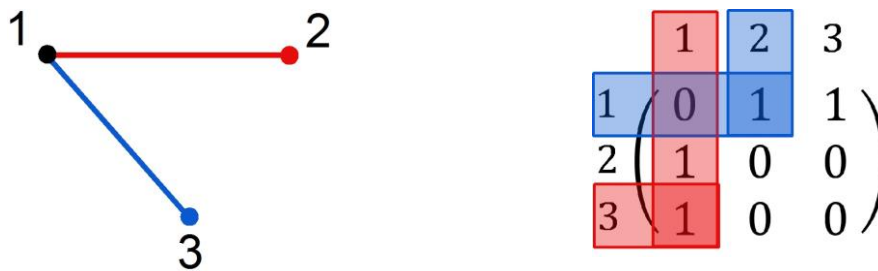


Obrázek 5 Graf s ohodnocenými hranami (pozn.: nejedná se o reálné hodnoty)

1.1.3 Matematická reprezentace grafu

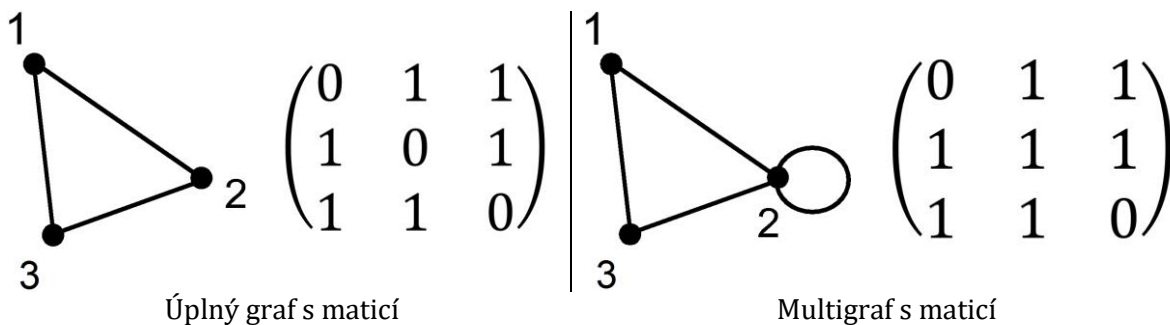
Matice susednosti

Graf se dá zapsat pomocí matice susednosti. Ta má podobu čtvercové matice, která je symetrická podle její diagonály. Počet sloupců a řádků matice je roven počtu vrcholů grafu, např. pokud má graf 3 vrcholy, může být zapsán pouze maticí o rozměrech 3x3. Matice susednosti nám ukazuje vztahy jednotlivých dvojic vrcholů grafu. Pokud se mezi vrcholy nachází hrana, pak je tento fakt zapsán v matici jedničkou, a pokud se mezi vrcholy hrana nenachází, pak je to zapsáno nulou. [2g]



Obrázek 6 Graf a jeho matice susednosti

Z toho nám vyplývají hned dva poznatky: diagonála grafu, který není multigrafem, je tvořena pouze nulami a matice susednosti úplného grafu je kromě diagonály tvořena pouze jedničkami. [2]



Obrázek 7 Úplný graf a multigraf s jejich maticemi

Pomocí matice susednosti se dají zapsat i vzdálenosti mezi maticemi, ale i korelace apod.

Výčet vrcholů a hran

Je jiným způsobem zapsání grafu. Skládá se ze dvou množin, kdy první je výčet vrcholů V a druhá je výčetem hran E . [2g,3]

$$V = \{1,2,3,4\}$$

$$E = \{\{1,2\}, \{1,3\}, \{1,4\}, \{3,4\}\}$$

(5) Množina vrcholů V a množina hran E

1.1.4 Stromy

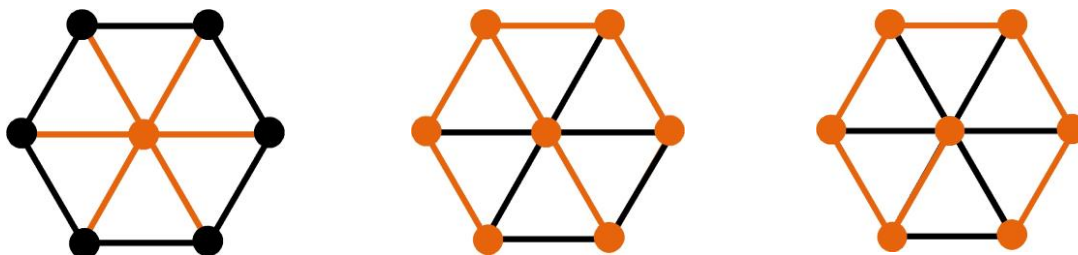
V teorii grafu je strom souvislým jednoduchým grafem bez kružnic, z čehož vyplývá mnoho jeho vlastností [3]:

Vlastnosti stromu [3]

- 1) Počet hran stromu je o jednu menší než počet jeho vrcholů; platí pro stromy s jedním nebo více vrcholy
- 2) Mezi každými dvěma vrcholy stromu vede právě jediná cesta
- 3) Přidáním jedné nové hrany do stromu vznikne právě jedna kružnice
- 4) Strom je minimální souvislý graf

1.2 Kostra grafu

Nechť je dán souvislý neorientovaný graf $G = (V, E)$, kdy množina V je množinou vrcholů a množina E je množinou hran. Jeho kostra je takový jeho podgraf $P = (V_P, E_P)$, jehož množina vrcholů podgrafu $V_P = V$ je shodná s množinou vrcholů grafu G a množina hran podgrafu P : $E_P \subset E$ je podmnožinou hran grafu G . Pro hrany kostry dále platí, že nespojují vrcholy kostry do cyklů, tzn. že mezi dvěma libovolnými vrcholy grafu existuje právě jedna a pouze jedna cesta; z toho plyne, že kostra grafu je stromem. [2h,3]



Obrázek 8 Příklady koster grafů

1.2.1 Minimální kostra grafu

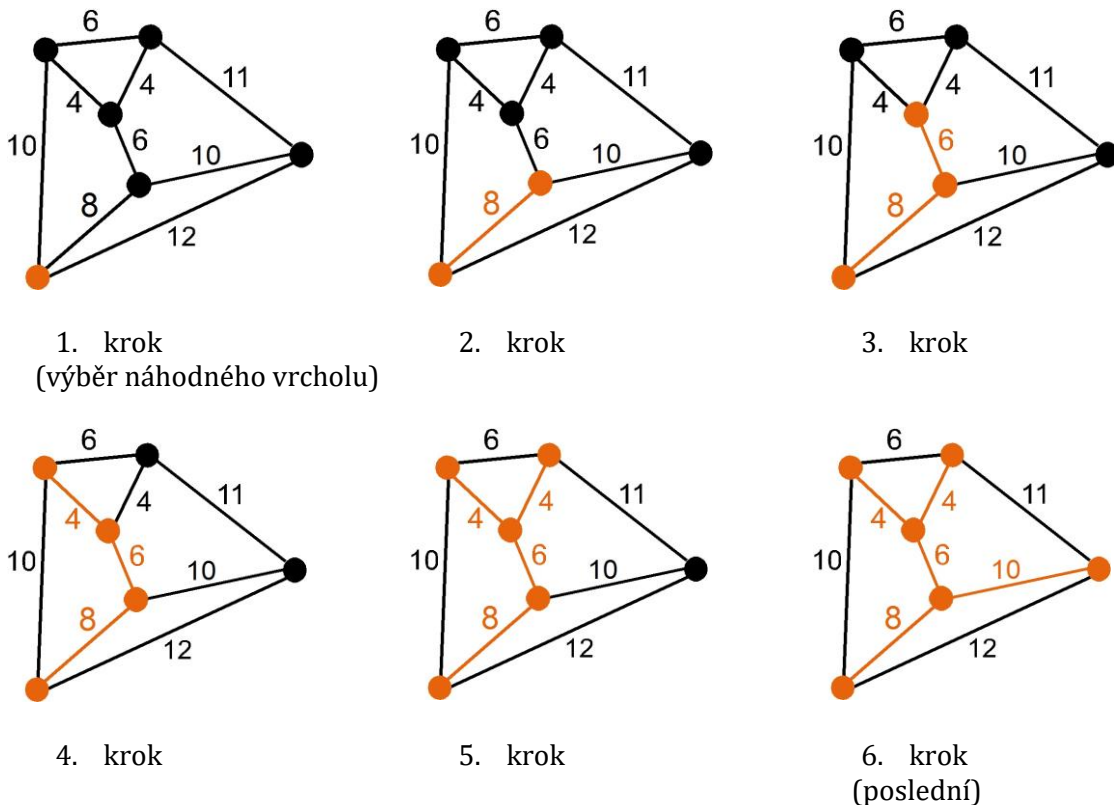
Minimální kostra grafu je taková kostra grafu, která má nejmenší celkové ohodnocení, tj. součet délek hran mezi vrcholy je co nejmenší [2i,3]. Počet hran minimální kostry je o jednu menší než počet vrcholů. K vytvoření minimální kostry grafu se dá použít několika algoritmů, níže si pak uvedeme ty nejvýznamnější z nich.

Samotná minimální kostra grafu má využití ve všech oborech, kde se snažíme snížit náklady na celkové propojení, např. elektrická nebo počítačová síť. [4]

1.2.2 Jarníkův algoritmus

V zahraničí znám jako Primův algoritmus, tento algoritmus však původně pochází od českého matematika Vojtěcha Jarníka, Američan Prim jej objevil až 30 let po Jarníkovi. [3,5]

Na rozdíl od Kruskalova algoritmu neseřazujeme hrany, ale začneme vytvářet kostru grafu z libovolného vrcholu grafu. V každém kroku přidáváme hranu s nejmenším ohodnocením. Tento postup opakujeme do té doby, dokud nemáme propojené všechny vrcholy grafu minimální kostrou grafu. [3,5]



Obrázek 9 Postup tvorby minimální kostry grafu podle Jarníkova algoritmu

Jarníkův algoritmus matematicky

Je dán souvislý neorientovaný graf $G = (V, E)$ s n vrcholy, m hranami (označené e), s ohodnocením hran w a s počátečním vrcholem r . Necht' je dána komponenta $T = (V_T, E_T)$, kdy množina vrcholů komponenty $V_T = \{r\}$ je jednoprvková a obsahuje námi zvolený vrchol $r \in V$, množina $E_T = \emptyset$ je prázdná. V každém kroku přidáváme hranu $e \in E - E_T$, jež obsahuje právě jeden vrchol z množiny V_T a jejíž ohodnocení je ze všech hran množiny $E - E_T$ nejnižší. Celkový počet těchto kroků bude $n-1$. [19,20]

1.3 Komodity a komoditní trhy

Komodita je zboží, se kterým je na **trhu** obchodováno bez rozdílů v kvalitě. Dodávky od různých dodavatelů jsou vzájemně zastupitelné. V původním a zjednodušeném smyslu jsou komodity produkty jednotné hodnoty a kvality vyráběné ve velkém množství mnoha různými výrobci. Aby bylo možné s komoditami obchodovat, jsou na každém trhu (komoditní burze) určeny vlastnosti a obchodovatelné množství komodit. [6b]

Komoditní burzy jsou důležitým prvkem tržních ekonomik, přičemž mají několik nenahraditelných funkcí. Jimi jsou: zabezpečovat trh komodit, monitorovat nabídku a poptávku, ale především podílet se na utváření reálné tržní cenové hladiny jednotlivých komodit na burze. [9]

Obecné znaky komoditní burzy jsou[9]:

- 1) obchodování se opakuje pravidelně na určitém místě

- 2) podmínky obchodování jsou standardizovány
- 3) předmět trhu je omezen na zboží o velkých objemech, zastupitelné a schválené pro konkrétní trh
- 4) obchodování se přímo účastní relativně omezený počet oprávněných osob
- 5) údaje o obchodování jsou veřejně dostupné
- 6) existují těžko předvídatelné výkyvy v nabídce a poptávce a s tím logicky souvisí i výkyvy v cenách
- 7) nízké zprostředkovatelské náklady.

Komoditní burzy se pak dále ještě dělí podle toho, jakých kontraktů se na nich užívá. Těmi kontrakty jsou: spotový, futures, forwardový a opční. Nejvýznamnější z nich jsou futures a opční. [6b,9]

Na futures burzách se obchoduje se standardizovanými pevnými termínovanými kontrakty. Burzovní pravidla stanovují předem podmínky kontraktů a smluvně jsou potvrzeny oběma stranami v okamžiku provedení obchodu. Vypořádání probíhá později. [9]

Na opčních burzách se obchoduje se standardizovanými opčními kontrakty, které patří mezi podmíněný typ termínových kontraktů. Vlastník opce má právo v předem dohodnutém termínu opci uplatnit, tedy požadovat plnění uzavřeného kontraktu, nejedná se ovšem o jeho povinnost. [9]

1.4 Elektronizace dat a financializace

Elektronizace zahrnuje přechod způsobu zapisování a přenosu dat z původní „papírové“ podoby do elektronické. Tento trend můžeme pozorovat v různých odvětvích, nicméně v ekonomice umožnil rychlejší nakládání s aktivy. Obecně se dá říct, že trh se stal více provázaným a tím však i více zranitelným (těmto změnám se dále věnuji v sekci 2.2.1).

Financializace je obdobím vývoje světové ekonomiky, jehož hlavní průběh začal začátkem devadesátých let a pokračoval až do světové finanční krize let 2007-2009. Jeho prvopočátek však můžeme najít již během ropné krize 70. let, která zapříčinila značné zpomalení ekonomiky – mzdy a výdělky firem oproti minulým obdobím přestaly růst. Výdělky firem začaly postupně opět růst, i přes snižování reálné kupní síly obyvatelstva. Tento jev byl zapříčiněn především dvěma faktory, lidé i přes nízké mzdy začali více utrácet a byli také ochotnější si více půjčovat. Tyto faktory však mají stejný původ – byla zde snaha ze strany lidu udržet si svůj sociální status, který se v západní společnosti silně váže na „schopnost utrácet“. Na základě tohoto zvýšeného zájmu o různé druhy půjček se značně rozvíjel i finanční trh, který posléze začal prosperovat, čímž ukončil krizi 2. poloviny 70. let. Financializace tedy způsobila zvýšený ekonomický růst, který však byl založen na větší míře zadlužení domácností. [21,22]

1.5 Světová finanční krize let 2007-2009

Pro období po září roku 2008 se používá termín „světová krize“, do ní je občas i zařazována americká finanční krize let 2007-2009. Avšak názvy pro světovou krizi se v literatuře různí, např.: *krize důvěry*, *Velké recese*, *světová finanční krize*, atd. Světová krize je prvním a nejhlubším propadem globální ekonomiky po druhé světové válce. Bývá proto i porovnávána s Velkou hospodářskou krizí let 1929-1933. [10]

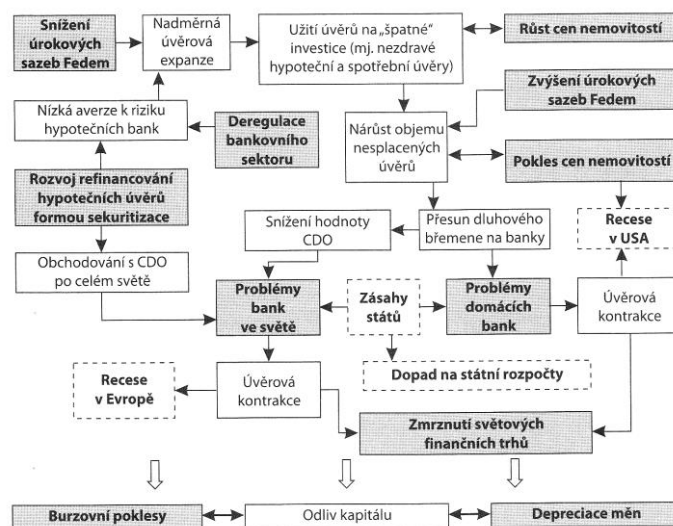
Hlavní příčinou finanční krize byla bublina na trhu s nemovitostmi, která se začala zvětšovat po roce 2001. Ta byla způsobena poskytováním hypotečních úvěrů bez patřičného zajištění domácnostem s nízkou úvěruschopností. Ty pak byly sekuritizovány, tj. spojovány do balíků, které byly dále prodávány na finančních trzích. [10]

Dalšími příčinami byly: podcenění vzniku nových finančních instrumentů, nedostatečné přizpůsobení regulačního rámce a rozvoj tzv. „stínového“ bankovníctví. Dále pak byla zanedbána i systémová rizika v bankovním sektoru. [10]

Makroekonomická nerovnováha také měla svůj podíl, přesněji se jednalo o přebytek úspor asijských zemí a zemí vyvážejících ropu, trojnásobný deficit v USA (obchodní, rozpočtový a deficit úspor) apod. [10]

Příčin samozřejmě bylo mnohem více, další významná byla například slabá koordinace ze strany Mezinárodního měnového fondu, Světové banky, G20 a Evropské unie. [10]

Průběh světové krize je znázorněn na následujícím schématu.



Obrázek 10 Vznik, průběh a šíření americké finanční krize, poté světové krize [10]

Důsledkem byl prudký vývoj cen aktiv. Finanční krize pak způsobila recesi především v zemích Evropy (kromě Polska, kde naopak došlo k ekonomickému růstu) a zemí Severní Ameriky. Ostatní země, většina z nich rozvojových, naopak zaznamenala ekonomický růst, především díky svým výrobkům, které byly zajímavé pro svoji nízkou cenu.

2 Praktická část

2.1 Metodologie výpočtu

Všechny výpočty jsem prováděl v programu RStudio za použití programovacího jazyka R. Samotný zdrojový kód se nachází v příloze. Níže vysvětluji, jaké výpočty program prováděl.

2.1.1 Výběr dat

Prvně si musíme zvolit aktivum, s kterým budeme pracovat, a časové rozhraní, z kterého budeme hodnoty brát. Já jsem si vybral komodity za časové období od roku 2000 do roku 2016, tj. před, po a v průběhu finanční krize roku 2009.

Data, která jsem používal, pocházela od Mezinárodního měnové fondu, jednalo se o jejich měsíční data, která začínají rokem 1980. Seznam jsem upravil, aby zahrnoval právě to období, s kterým budu pracovat. Dále jsem jej zúžil na komodity, o kterých se domnívám, že jsou významné. S těmito komoditami jsem poté počítal; seznam obsahoval celkem 50 komodit a je součástí přílohy.

2.1.2 Výpočet korelačních koeficientů a vzdáleností

Nejdříve je potřeba spočítat výnosy pro jednotlivé komodity. Ty se spočítají pomocí následujícího vzorce:

$$r_i(t_n) = \ln\left(\frac{P_i(t_n + 1)}{P_i(t_n)}\right) \quad (6) \text{ Výpočet výnosu}$$

Kde r_i je výnos v čase $t_n + 1$, který je roven přirozenému logaritmu z podílu ceny P_i , která byla v čase $t_n + 1$ (tj. jednu jednotku času po počátečním čase), a ceny P_i , která byla v počátečním čase t_n . [5]

Na základě výnosů pro jednotlivé komodity můžeme spočítat korelační koeficienty pro dvojice komodit. Tyto korelační koeficienty nám pak ukazují míru korelace mezi komoditami právě této dvojice. Korelace je jinými slovy propojenost; ukazuje, jestli mají dva prvky (dvě komodity) něco společného; jestli jsou propojené. Korelace také ukazuje, jak moc jsou propojené. Výpočet korelačních koeficientů nám umožní následující vzorec:

$$\rho_{ij}(t) = \frac{\langle r_i r_j \rangle - \langle r_i \rangle \langle r_j \rangle}{\sqrt{(\langle r_i^2 \rangle - \langle r_i \rangle^2) \cdot (\langle r_j^2 \rangle - \langle r_j \rangle^2)}} \quad (7) \text{ Výpočet korelačního koeficientu}$$

Zde je korelační koeficient ρ_{ij} za dobu t , která se rovná době $t_n + 1$, roven podílu, kde dělencem je rozdíl součinu výnosů komodit i a j za dobu t a součinu výnosu komodity i za dobu t a výnosu komodity j za tutéž dobu. Dělitelem je odmocnina ze součinu, kde prvním činitelem je rozdíl výnosu komodity i na druhou za dobu t a výnosu té stejné komodity za tutéž dobu na druhou. Druhý činitel je stejný jako ten první, jen místo výnosu komodity i je tam výnos komodity j . [11]

Následně musíme vyloučit ty korelace, které jsou až příliš nízké, tzn. že ceny těchto komodit se mění poměrně rozdílně oproti sobě. V mém případě to byly korelace menší než 0,3.

Poslední výpočet, který budeme potřebovat k sestavování matic, je výpočet vzdáleností mezi vrcholy grafu. To nám umožní následující vzorec:

$$d_{ij} = \sqrt{2 \cdot (1 - \rho_{ij})}$$

(8) Výpočet vzdálenosti mezi vrcholy grafu

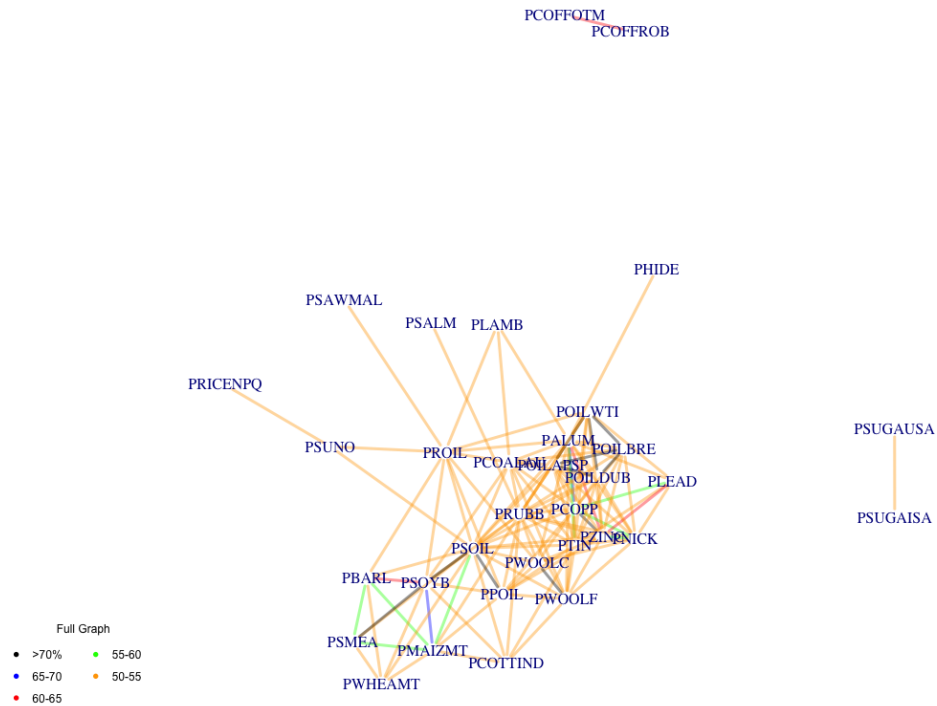
Zde je vzdálenost mezi komoditou i a mezi komoditou j rovna odmocnině z dvojnásobku rozdílu jedné a korelačního koeficientu komodit i a j . [7] Zároveň musí vzdálenost splňovat následující podmínky [12]:

- 1) pokud je vzdálenost rovna nule, pak komodity i a j jsou totožné
- 2) vzdálenost mezi komoditami i a j se musí rovnat vzdálenosti mezi komoditami j a i
- 3) v grafu, kde jsou alespoň tři komodity (i, j, k) musí být vzdálenost mezi komoditami i a j kratší než součet vzdálenosti mezi komoditami i a k a komoditami k a j .

2.1.3 Sestavení korelační matice, matice vzdálenosti, úplného grafu a výsledného grafu

Z korelací můžeme sestavit korelační matici, která nám umožní promítnout jednotlivé korelace mezi různými dvojicemi komodit. Pro správné znázornění grafu však budeme potřebovat i matici vzdálenosti, jež je maticí sousednosti všech komodit. Ta nám umožní promítnout graf takovým způsobem, kdy korelace dvou komodit bude reprezentována délkou hrany mezi nimi se nacházející. Obě matice mají stejný rozměr.

Za použití těchto dvou matic můžeme sestavit výsledný graf. Příklad výsledného grafu je na obrázku 16.

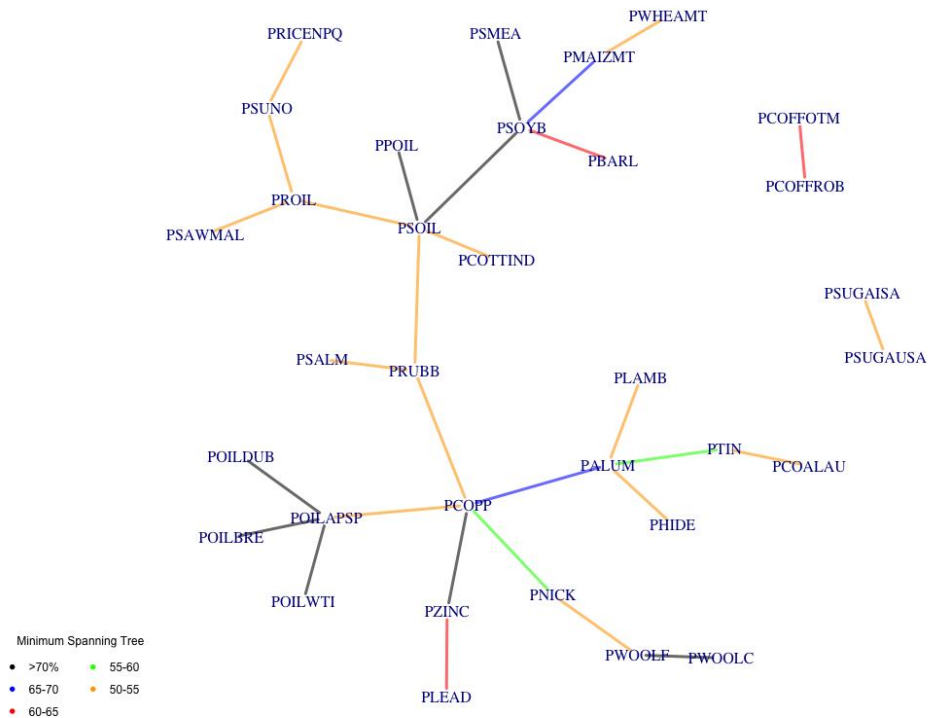


Obrázek 11 Výsledný graf

2.1.4 Sestavení minimální kostry výsledného grafu

Z nově získaného výsledného grafu můžeme sestavit minimální kostru grafu pomocí Jarníkova algoritmu. Tento algoritmus je popsán v bodě 1.2.3, proto se mu dále věnovat nebudu. Výsledkem by měla být minimální kostra grafu, která nám ukazuje nejkratší možný strom, jenž propojuje všechny vrcholy původního grafu. Zároveň tím ukazuje nejvýznamnější korelace mezi výnosy komodit grafu. To však znamená, že některé korelace, které jsou vidět na původním grafu v minimální kostře vidět nejsou. Příkladem toho může být dvojice komodit „PLEAD“ a „PNICK“, které jsou na původním grafu hranou spojeny, v minimální kostře však nikoliv. Nicméně cesta mezi nimi stále existuje.

Minimální kostru grafu si můžete prohlédnout na obrázku 17 níže.



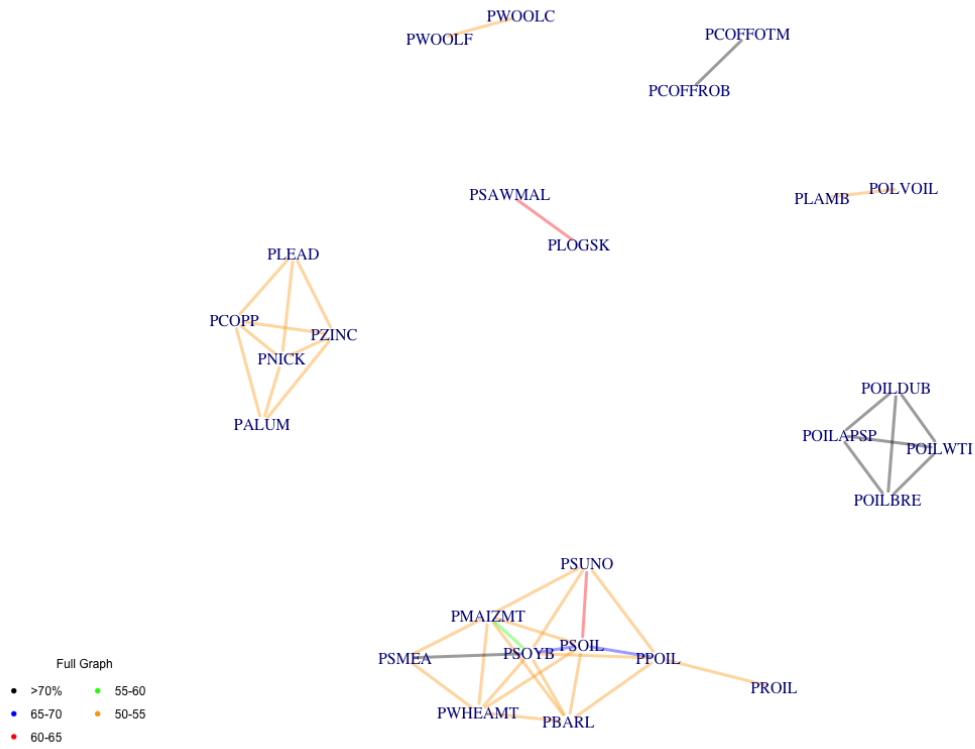
Obrázek 12 Minimální kostra výsledného grafu

2.2 Empirické výsledky

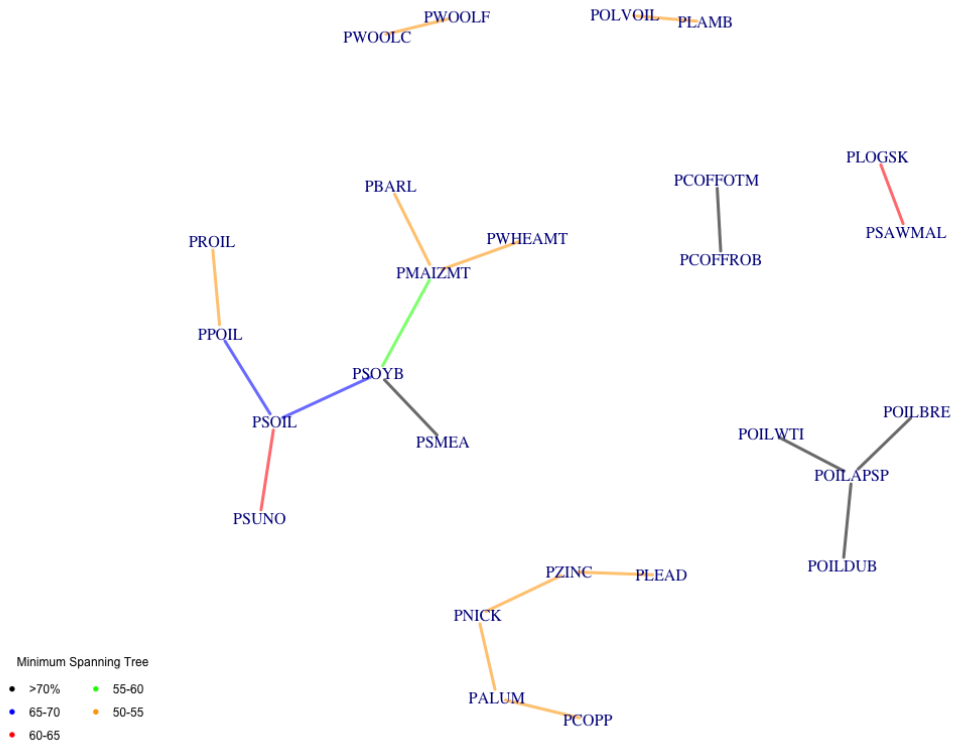
Na základě metodologického postupu jsem sestavil grafy a jejich minimální kostry pro tato čtyři období:

- 1) Období před rokem 2000, tj. před elektronizací dat
- 2) Období v letech 2000-2006, tj. před finanční krizí
- 3) Období v letech 2007-2009, tj. období hlavního průběhu finanční krize
- 4) Období v letech 2010-2016, tj. období útlumu finanční krize

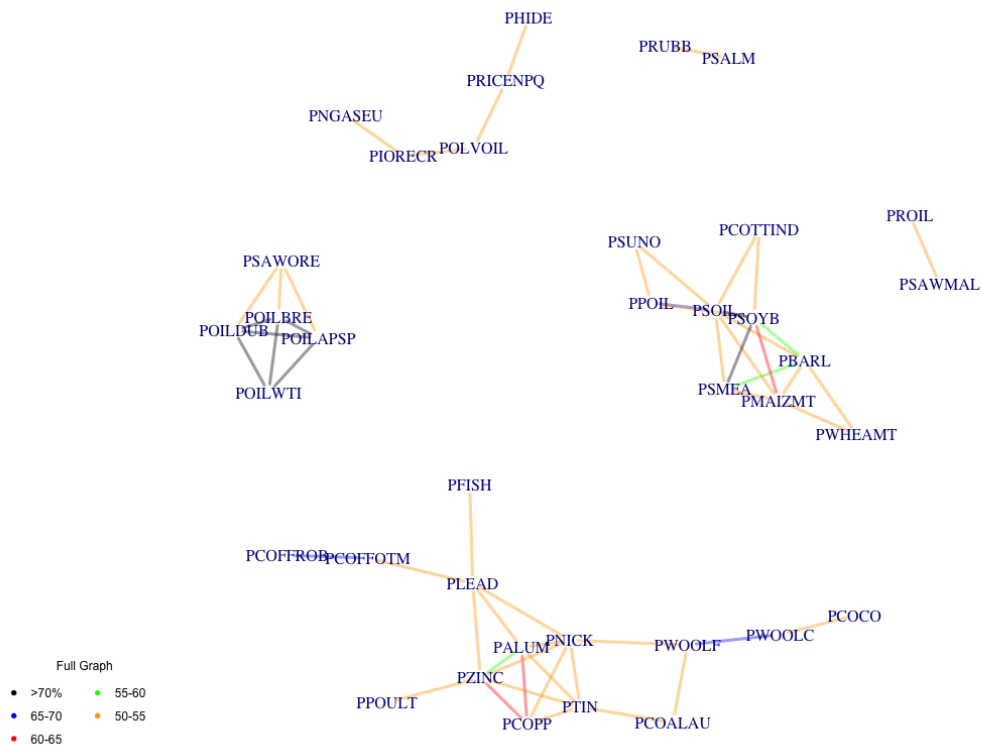
Přehled těchto grafů a jejich minimálních koster je níže na další straně. Minimální kostry pak mezi sebou porovnávám v části 2.2.1 a snažím se vysvětlit změny, které na trhu proběhly. O příčinách finanční krize a o krizi samotné si můžete přečíst v části 1.4.



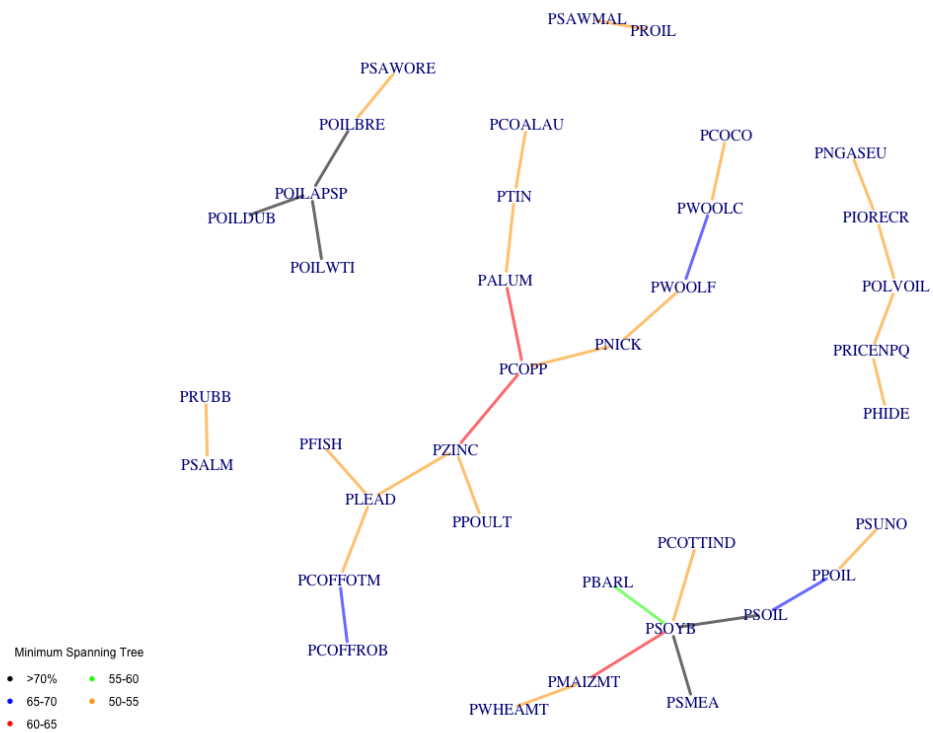
Obrázek 13 Graf pro období před elektronizací dat (1980-1999)



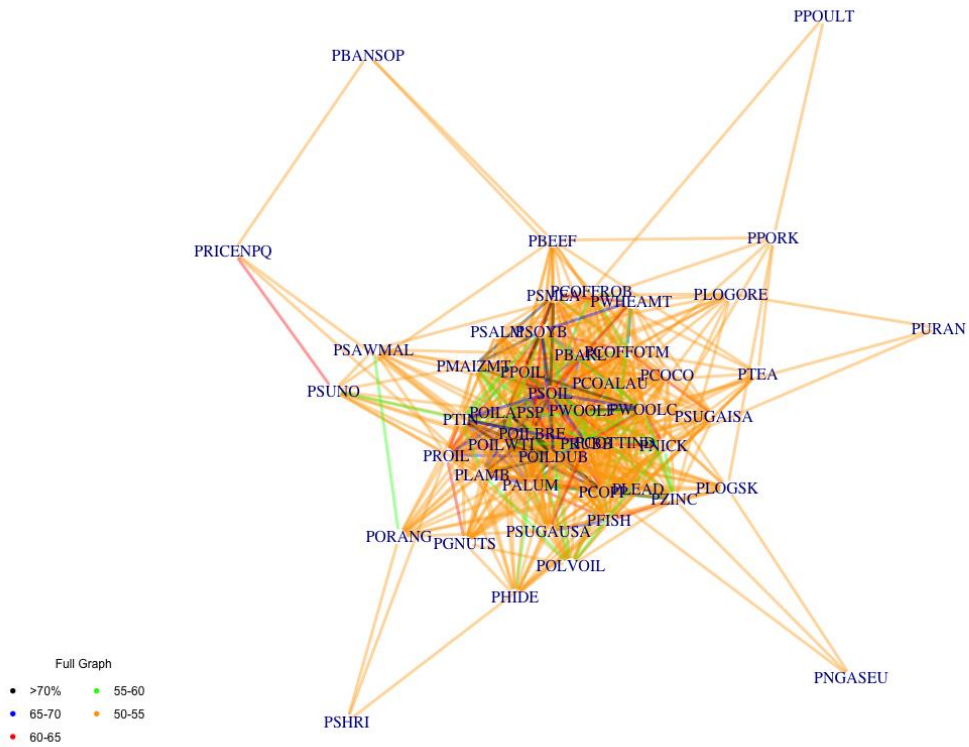
Obrázek 14 Minimální kostra grafu pro období před elektronizací dat (1980-1999)



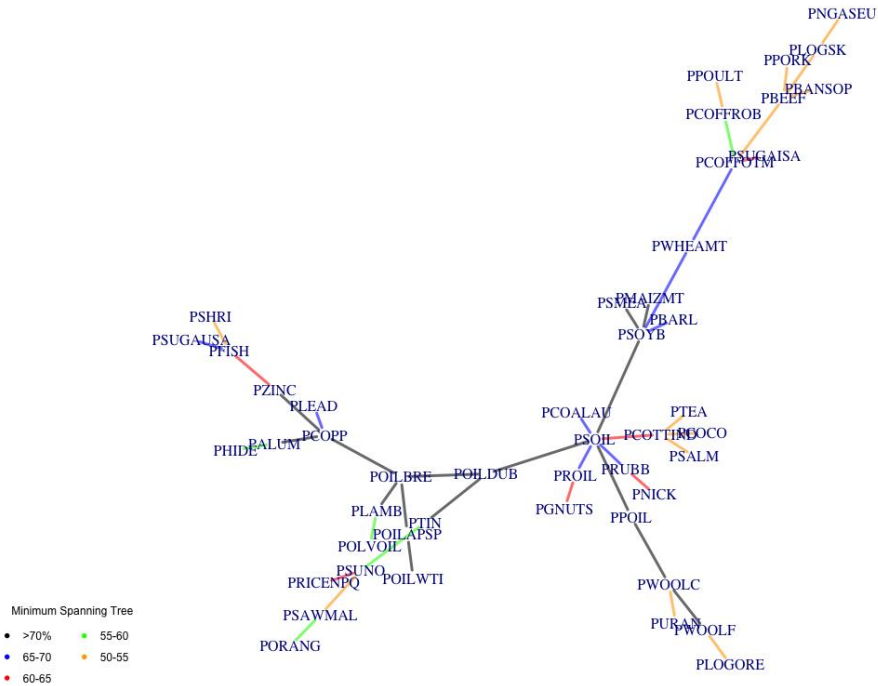
Obrázek 15 Graf pro období před finanční krizí (2000-2006)



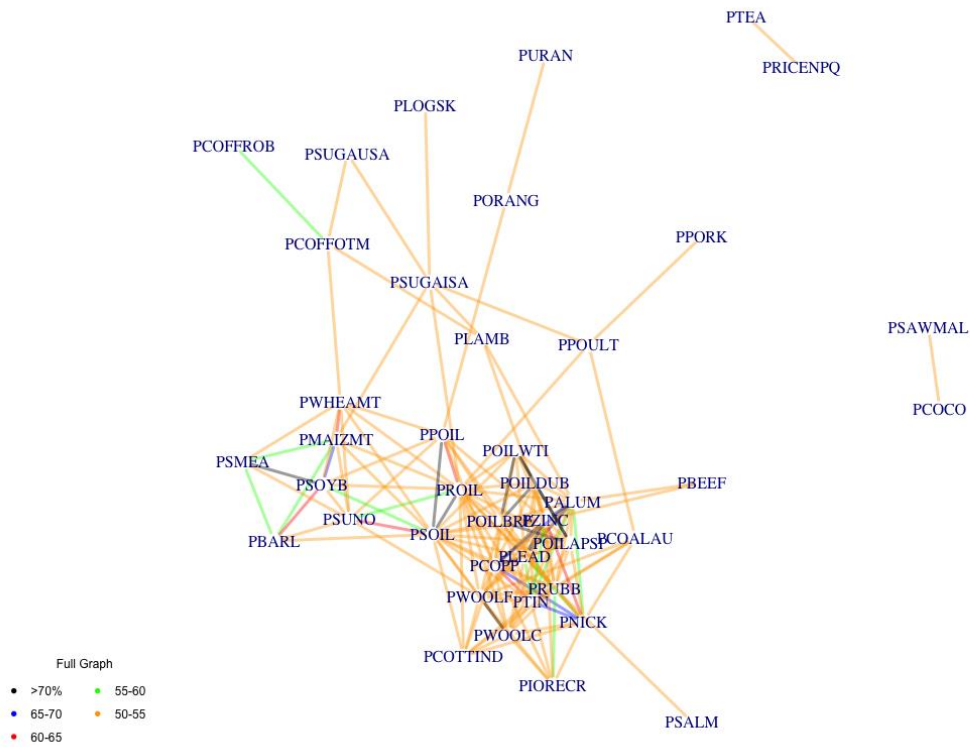
Obrázek 16 Minimální kostra grafu pro období před finanční krizí (2000-2006)



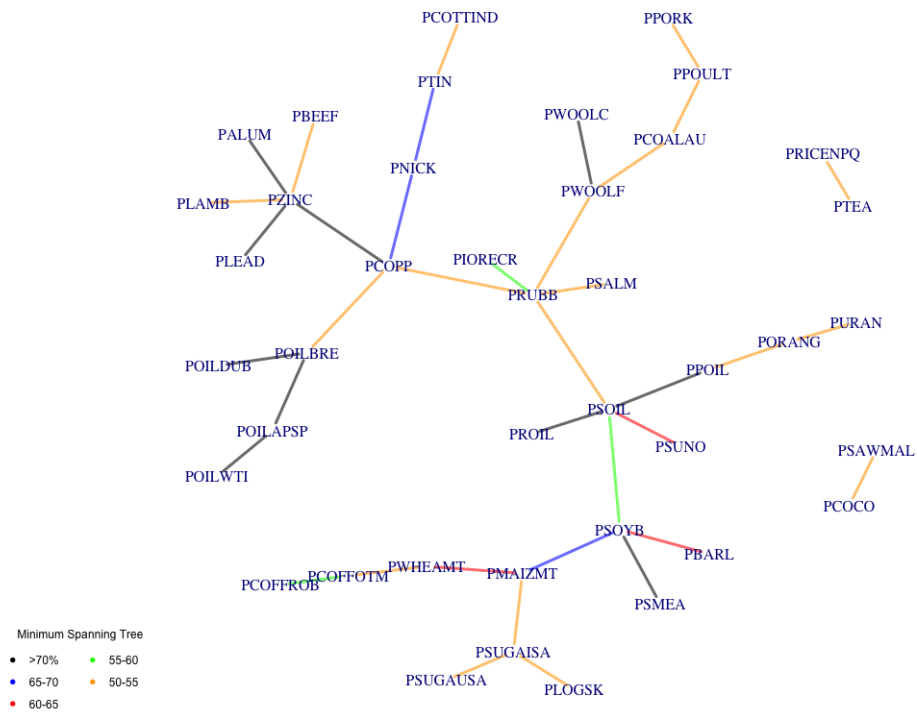
Obrázek 17 Graf pro období finanční krize (2007-2009)



Obrázek 18 Minimální kostra grafu pro období finanční krize (2007-2009)



Obrázek 19 Graf pro období útlumu finanční krize (2010-2016)



Obrázek 20 Minimální kostra grafu pro období útlumu finanční krize (2010-2016)

2.2.1 Vysvětlení změn na finančních trzích po roce 2000

Popis grafu pro období před elektronizací dat (1980-1999)

Tento první graf je velice málo propojený a je výrazně decentralizovaný – nachází se zde více větších stromů, jsou jimi:

- 1) strom zemědělských produktů – jeho jádro tvoří sója „PSOYB“ a sójový olej „PSOIL“
- 2) strom kovů
- 3) strom různých druhů ropy – jsou navázané na index, jež je průměrem jejich cen „POLAPSP“

Zbylé stromy jsou pouze dvouprvkové a korelace se vyskytují mezi komoditami, které pocházejí ze stejných dílčích trhů, jsou jimi: dvojice různých druhů vln („PWOOLC“ a „PWOOLF“), dvojice různých druhů káv („PCOFFOTM“ a „PCOFFROB“), dvojice surového dřeva a řeziva („PLOGSK“ a „PSAWMAL“). Jedinou výjimkou je dvojice olivového oleje a jehněčího („POLWOIL“ a „PLAMB“), kdy tyto dvě komodity jsou z různých dvou dílčích trhů.

Popis grafu pro období před finanční krizí (2000-2006)

Tento graf je mnohem více propojený, stále je však decentralizovaný. Na tomto grafu (oproti předchozímu) se však již začínají vyskytovat korelace mezi komoditami z různých dílčích trhů. Nachází se zde více větších stromů, jsou jimi:

- 1) strom různých druhů ropy a měkkého řeziva - na „POILBRE“ je napojena komodita „PSAWORE“, což je měkké řezivo
- 2) strom různých komodit – jeho jádrem jsou kovy, na které jsou pak dále napojené zemědělské komodity, jako druhy vlny („PWOOLC“ a „PWOOLF“), kakao („PCOCO“), ryby („PFISH“), drůbež („PPOULT“), uhlí („PCOALAU“) a druhy kávy („PCOFFOTM“ a „PCOFFROB“)
- 3) strom různých komodit – komodity různých dílčích trhů; jmenovitě: zemní plyn („PNGASEU“), železná ruda („PIORECR“), olivový olej („POLVOIL“), rýže („PRICENPQ“) a kůže („PHIDE“)
- 4) strom zemědělských produktů - sója, stejně jako v předchozím grafu, tvoří jeho jádro.

Zbylé dva stromy jsou pouze dvouprvkové, kdy v obou případech se korelace vyskytují mezi komoditami různých dílčích trhů. Těmito dvojicemi jsou: tvrdé řezivo a řepkový olej („PSAWMAL“ a „PROIL“) a prýž a losos („PRUBB“ a „PSALM“).

Popis změn mezi těmito obdobími

Při porovnání těchto dvou grafů si můžeme všimnout, že trh po roce 2000 se stává více propojeným. Tato zvýšená propojenost byla nejspíše zapříčiněna hned několika faktory: elektronizace dat, financionalizace a zvýšení míry globalizace. Tyto faktory si teď probereme postupně.

Elektronizace trhu poskytla možnost rychlejšího obchodování s komoditami. Jinými slovy se oproti předchozímu období zvýšila rychlost, kterou bylo možno reagovat na změny na trhu. Ceny jednotlivých komodit v rámci dílčích trhů se více provázaly, to vedlo k stabilnějším cenám napříč

dílčími trhy. Pokud tedy docházelo ke změnám cen, tak se tak většinou dělo v rámci agregátního trhu, kdy ceny komodit z jiných dílčích trhů klesaly a stoupaly podobným tempem.

Během období financionalizace nedocházelo k tak velkým výkyvům prodejů, neboť pokud došlo ke snížení kupní síly obyvatelstva, tak toto snížení bylo dorovnáno půjčkami, což vedlo k plynulému růstu ekonomiky. Více informací se nachází v sekci 1.4.

Globalizace světového trhu pak vedla k další stabilizaci cen, neboť cena komodit již nebyla ovlivňována pouze lokálně, ale i z vnějšku komoditami z dovozu. Například když byla nedostatečná úroda pšenice, tak ji bylo možné dovést z jiných velmi vzdálených oblastí. Cena se samozřejmě kvůli importu zvýšila, ale nezvýšila se tolik oproti tomu, kdyby k importu nedošlo.

Tyto faktory, i další jiné, vedly k trhu, který byl o poznání více propojen než dříve.

2.2.2 Vysvětlení změn na finančních trzích během finanční krize let 2007-2009

Popis grafu pro období finanční krize (2007-2009)

Tento graf je oproti předchozím tvořen pouze jedním stromem, ve kterém jsou tudíž propojené komodity různých dílčích trhů. Tento strom má dvě významná jádra: 1) různé druhy ropy (a index průměru jejich cen) a 2) sója. U tohoto grafu bych také chtěl upozornit i na barvu hran, kdy si můžeme všimnout, že většina z nich je šedá, tzn. že korelace mezi těmito komoditami je velice vysoká (pozn. dosahuje hodnot vyšších jak 0.7). Pokud se podíváte na grafy předchozích období, tak se hrany této barvy vyskytují zřídka.

Popis změn mezi těmito obdobími

Graf pro období finanční krize se výrazně liší od toho pro období předchozí, neboť je podstatně více provázaný a korelace dosahují vyšších hodnot. Tyto změny byly zapříčiněny hned několika faktory. Již dříve zmíněné faktory (elektronizace dat, financionalizace a zvýšená míra globalizace) vytvořily trh, který byl daleko více provázaný – korelace ve změnách cen se vyskytují i mezi komoditami různých dílčích trhů, tzn. že se vyvíjí podobným způsobem. Propojením dílčích trhů se pak výkyvy cen (popř. krize), které dříve ovlivnily pouze ten jeden specifický trh, začaly šířit i do trhů ostatních. Můžeme tedy konstatovat, že základem pro vznik finanční krize let 2007-2009 byly financionalizace, elektronizace dat a zvýšená míra globalizace trhu.

Finanční krizi totiž odstartovala krize na trhu nemovitostí ve Spojených státech amerických. Tato krize se pak dále šířila jak do ostatních trhů, tak i do jiných zemích. O průběhu samotné krize si pak můžete přečíst v části 1.5.

2.2.3 Vysvětlení změn na finančních trzích po roce 2009

Popis grafu pro období po finanční krizi (2009-2016)

Množství korelací mezi různými komoditami v tomto grafu je podobné množství, které bylo v grafu pro období finanční krize (stále je zde pouze jeden hlavní strom). Co se však výrazně změ-

nilo, je výskyt vysokých korelací mezi komoditami, ten se oproti grafu předchozího období výrazně snížil. Na grafu je to znázorněno nízkým výskytem šedých hran mezi komoditami. Oproti grafu minulému převažují korelace o hodnotě 0.55 a nižší (reprezentovány žlutými hranami).

Tento graf má také v porovnání s ostatními grafy daleko větší množství jader, jsou jimi komodity: 1) zinek („PZINC“), 2) měď („PCOPP“), 3) pryž („PRUBB“), 4) sójový olej („PSOIL“), 5) sójové boby („PSOYB“), 6) kukuřice („PMAIZMT“).

Krom hlavního stromu zde pak můžeme nalézt i dva vedlejší dvouprvkové stromy, které jsou tvořeny komoditami různých dílčích trhů. Těmito dvojicemi jsou: rýže a čaj („PRICENPQ“ a „PTEA“) a tvrdé řezivo kakaové boby („PSAWMAL“ a „PCOCO“).

Popis změn mezi těmito obdobími

Při porovnání grafů z období krize a po ní si můžeme všimnout, že minimální kostra grafu po roce 2009 je více rozvětvena jak před rokem 2009. Takový trh je pak méně integrovaný. Taková změna je samozřejmě zapříčiněna hned několika možnými faktory, nejvýznamnější jsou: pokles cen ropy, částečný přechod na obnovitelné zdroje a zásahy států.

Dále si pak na grafu můžeme všimnout, že klíčové role hrají kovy, guma a sója spolu se svými produkty, neboť tyto komodity se nachází v jádru grafu.

Pokles cen ropy byl převážně zapříčiněn nacházením nových ložisek, ale i snahou Saudské Arábie znevýhodnit těžbu břidlicové ropy v USA. Spojené státy americké, jako momentálně největší konzument ropy na světě, se snažily stát se soběstačnými, nezávislými na importu z Blízkého Východu. Tomu se samozřejmě snažila Saudská Arábie zabránit prostřednictvím snižování cen ropy, což by znevýhodnilo těžbu ropy břidlicové. [13,14]

Částečný přechod na obnovitelné zdroje můžeme vidět u vyspělých zemí západní Evropy, jako například u Dánska [15], Spojeného království [16], Německa [17], Nizozemska [18] atd. Jedná se především o výrobu elektřiny, kdy se například Dánsku podařilo v některých dnech pokrýt více jak 100% své spotřeby elektřiny z větrných elektráren. [14] Díky tomu se v těchto státech snižuje závislost trhu na fosilních palivech, ale pouze do určité míry, neboť v soukromém sektoru stále jejich užití převládá.

Samozřejmostí byly zásahy států, které se snažily zvýšit kupní cenu obyvatelstva prostřednictvím snižování daní, zvyšování sociálních dávek a úpravou úrokové sazby. Mimo to se také státy snažily různými způsoby diversifikovat ekonomiku. To však není předmětem této SOČ.

Závěr

Síťová analýza je velice užitečná pro hodnocení změn na trhu, neboť ukazuje změny v korelacích mezi komoditami. Také změny, které proběhly během a po finanční krizi, jsou dobře vidět právě pomocí síťové analýzy, kdy během finanční krize se trh stává více provázaným; více integrovaným oproti trhu předkrizovému. Po krizi se sice trh stává méně provázaným a integrovaným, ale nikdy se nedostane zpátky na úroveň, na které byl před krizí.

Na základě těchto znalostí bychom měli být schopni lépe pochopit, jak funguje trh. To by samozřejmě mělo pozitivní dopad na naše schopnosti vypořádávat se s finančními krizemi a dalšími ekonomickými problémy.

Literatura

[1] HORDĚJČUK, Vojtěch. Teorie grafů. *VOHO - Vojta Hordějčuk* [online]. Vojta Hordějčuk, © 2008-2017 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://voho.eu/wiki/graf/>

[2a] JIROVSKÝ, Lukáš. Matematická definice grafu. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/matematicka-definice-grafu.php>

[2b] JIROVSKÝ, Lukáš. Úplný graf. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/uplny-graf.php>

[2c] JIROVSKÝ, Lukáš. Podgraf. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/podgraf.php>

[2d] JIROVSKÝ, Lukáš. Cesta a souvislost v grafu. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/cesta-a-souvislost-grafu.php>

[2e] JIROVSKÝ, Lukáš. Kružnice (cyklus) v grafu. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/kruznice-cyklus.php>

[2f] JIROVSKÝ, Lukáš. Vzdálenost / metrika. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/vzdalenost-metrika.php>

[2g] JIROVSKÝ, Lukáš. Matematická reprezentace grafu. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/reprezentace-grafu.php>

[2h] JIROVSKÝ, Lukáš. Kostra grafu. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/zakladni-pojmy/kostra-grafu.php>

[2i] JIROVSKÝ, Lukáš. Hledání minimální kostry v grafu. *Teorie grafů* [online]. Lukáš Jirovský, © 2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://teorie-grafu.cz/vybrane-problemy/minimalni-kostra.php>

[3] HLINĚNÝ, Petr. Základy teorie grafů pro (nejen) informatiky. *Masarykova univerzita: Fakulta informatiky* [online]. Petr Hliněný, Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, © 2005-2010 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/~hlineny/Vyuka/GT/Grafy-text10.pdf>

[4] MAŘÍK, Robert. Úvod do teorie grafů. *Mendelova univerzita* [online]. Robert Mařík, Mendelova univerzita, [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/marik/wiki/in-zmat/slidy/grafy/index_h.html

[5] MCDONALD, Mark; SULEMAN, Omer; WILLIAMS, Stacy; HOWISON, Sam; JOHNSON, Neil F. Detecting a Currency's Dominance or Dependence using Foreign Exchange Trees. *Physical Review E*. 2005, vol. 72, no. 4: 046106. DOI: 10.1103/PhysRevE.72.046106.

[6a] Borůvkův algoritmus. *Wikipedie* [online]. © 2015 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bor%C5%AFvk%C5%AFv_algoritmus

- [6b] Commodity market. *Wikipedia* [online]. © 2017 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Commodity_market
- [7] VLČEK, Josef; BEDNAŘÍKOVÁ, Marie; KOŠTEKOVÁ, Věra; SMUTNÁ, Adéla; VEČEŘ, Jan. *Ekonomie a ekonomika*. 3. vyd. Praha: ASPI, a.s., 2005, 560 s. ISBN 80-7357-103-X
- [8] MÁČE, Miroslav. *Makroekonomie v kostce*. 1. vyd. Praha: GRADA Publishing, a.s., 2007, 472 s. ISBN 978-80-247-1841-5
- [9] Charakteristika komoditní burzy a burzovních obchodů. *IS Mendelovy univerzity* [online]. [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=52705
- [10] ŠTĚRBOVÁ, Ludmila; ČERNÁ, Iveta; ČAJKA, Radek; BOLOTOV, Ilya. *Mezinárodní obchod ve světové krizi 21. století*. 1. vyd. Praha: GRADA Publishing, a.s., 2013, 368 s. ISBN 978-80-247-4694-4
- [11] ABERGEL, Frédéric; CHAKRABARTI, Bikas K.; CHAKRABORTI, Anirban; GHOSH, Asim. *Econophysics of Systemic Risk and Network Dynamics*. 1. vyd. Milano: Springer-Verlag, 2013, 298 s. ISBN 978-88-470-2552-3
- [12] CUPAL, Martin; DEEV, Oleg; LINNERTOVIÁ, Dagmar. Network structures of the European stock markets. *Silesian University in Opava, School of Business Administration in Karviná: Mathematical Methods in Economics 2012* [online]. © 2012 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: http://mme2012.opf.slu.cz/proceedings/pdf/014_Cupal.pdf
- [13] EVANS-PRITCHARD, Ambrose. Texas shale oil has fought Saudi Arabia to a standstill. *The Telegraph* [online]. © 2017 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://www.telegraph.co.uk/business/2016/07/31/texas-shale-oil-has-fought-saudi-arabia-to-a-standstill/>
- [14] HULSMAN, John. Saudi Arabia Surrenders To U.S. Shale. *OilPrice.com* [online]. © 2017 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <http://oilprice.com/Energy/Crude-Oil/Saudi-Arabia-Surrenders-To-US-Shale.html>
- [15] NESLEN, Arthur. Wind power generates 140% of Denmark's electricity demand. *The Guardian* [online]. © 2017 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/environment/2015/jul/10/denmark-wind-windfarm-power-exceed-electricity-demand>
- [16] VAUGHAN, Adam. UK wind power overtakes coal for the first time. *The Guardian* [online]. © 2017 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/business/2017/jan/06/uk-wind-power-coal-green-groups-carbon-taxes>
- [17] SHANKLEMAN, Jess. Germany Just Got Almost All of Its Power From Renewable Energy. *Bloomberg* [online]. © 2017 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-05-16/germany-just-got-almost-all-of-its-power-from-renewable-energy>
- [18] Dutch electric trains become 100% powered by wind energy. *The Guardian* [online]. © 2017 [cit. 21. 2. 2017]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/world/2017/jan/10/dutch-trains-100-percent-wind-powered-ns>

[19] ČERNÝ, Jakub. Jarníkův, Primův algoritmus. *Algoritmy.eu* [online]. Jakub Černý, © 2017 [cit. 14. 4. 2017]. Dostupné z: <http://algoritmy.eu/zga/minimalni-kostra/jarnikuv-primuv-algoritmus/>

[20] Prim's algorithm. *Math Wiki* [online]. © 2017 [cit. 14. 4. 2017]. Dostupné z: http://math.wikia.com/wiki/Prim%27s_algorithm

[21] KŘÍŽ, Jakub. *Financionalizace a její vliv na hospodářskou politiku*. Brno, 2016. Diplomová práce. Ekonomicko-správní fakulta Masarykovy univerzity. Dostupné z [cit. 17. 4. 2017]: https://is.muni.cz/th/402759/esf_m/DP_Kriz_at5he.pdf

[22] NOVOTNÝ, Miroslav. *Makro a mikroekonomické dopady financionalizace světové ekonomiky*. Ústí nad Labem, 2014. Diplomová práce. Katedra financí a ekonomie Bankovního institutu vysoké školy Praha. Dostupné z [cit. 17. 4. 2017]: https://is.bivs.cz/th/15231/bivs_m/DP-Bc_pbj-fcakq.Novotny.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1 Cesta v grafu.....	9
Obrázek 2 Souvislé grafy a nesouvislý graf.....	9
Obrázek 3 Nesouvislé grafy	10
Obrázek 4 Kružnice v grafu.....	10
Obrázek 5 Graf s ohodnocenými hranami (pozn.: nejedná se o reálné hodnoty)	10
Obrázek 6 Graf a jeho matice sousednosti.....	11
Obrázek 7 Úplný graf a multigraf s jejich maticemi.....	11
Obrázek 8 Příklady koster grafů.....	12
Obrázek 9 Postup tvorby minimální kostry grafu podle Jarníkova algoritmu	13
Obrázek 10 Vznik, průběh a šíření americké finanční krize, poté světové krize[10]	15
Obrázek 11 Výsledný graf.....	18
Obrázek 12 Minimální kostra výsledného grafu	19
Obrázek 13 Graf pro období před elektronizací dat (1980-1999)	20
Obrázek 14 Minimální kostra grafu pro období před elektronizací dat (1980-1999).....	20
Obrázek 15 Graf pro období před finanční krizí (2000-2006)	21
Obrázek 16 Minimální kostra grafu pro období před finanční krizí (2000-2006)	21
Obrázek 17 Graf pro období finanční krize (2007-2009)	22
Obrázek 18 Minimální kostra grafu pro období finanční krize (2007-2009).....	22
Obrázek 19 Graf pro období útlumu finanční krize (2010-2016)	23
Obrázek 20 Minimální kostra grafu pro období útlumu finanční krize (2010-2016).....	23

Seznam vzorců

(1) Definice grafu	8
(2) Definice hran pomocí vrcholů	8
(3) Definice hran pomocí vrcholů v úplném grafu	8
(4) Počet hran.....	8
(5) Množina vrcholů V a množina hran E	11
(6) Výpočet výnosu	16
(7) Výpočet korelačního koeficientu.....	16
(8) Výpočet vzdálenosti mezi vrcholy grafu	17

Seznam příloh

Příloha 1. Zdrojový kód

Příloha 2. Seznam komodit s jejich cenami

Příloha 3. Názvy komodit