

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra ekonomických teorií



Diplomová práce

**Gravitační model mezinárodního obchodu – případ
České republiky**

Kateřina Přikrylová

© 2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekonomických teorií

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kateřina Příkladová

Provoz a ekonomika

Název práce

Gravitační model mezinárodního obchodu – případ České republiky

Název anglicky

Gravity Model of International Trade – Case of the Czech Republic

Cíle práce

Cílem diplomové práce je určit významnost v teorii vymezených determinant zahraničního obchodu České republiky na základě teoretických východisek gravitačního modelu zahraničního obchodu. Sekundárními cíli práce jsou vytvoření teoretického zázemí dané problematiky, určení ekonomického modelu, odhad jeho parametrů a vyvození relevantních závěrů.

Metodika

Teoretická část práce vymezuje teorii mezinárodního obchodu formou literární rešerše. V empirické části práce je z teoretických metod poznání využita komparace, analogie, analýza a syntéza. V empirické části je formulován, odhadnut a interpretován gravitační model mezinárodní směny.

Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

Klíčová slova

Česká republika, export, gravitační model, HDP, import, mezinárodní směna, měnový kurz, platební bilance, zahraniční obchod

Doporučené zdroje informací

CIHELKOVÁ, Eva a kol. Mezinárodní ekonomie II. Praha: Nakladatelství C H Beck, 2008. ISBN 978-80-740-0054-6.

CIHELKOVÁ, Eva. Mezinárodní ekonomie. Praha: Oeconomica, 2004. ISBN 978-80-245-0815-3.

KRUGMAN, Paul R., OBSTFELD a MELITZ. International Economics. New Jersey: Prentice Hall, 2011. ISBN 978-01-329-2588-4.

NEUMANN, Pavel, Pavel ŽAMBERSKÝ a Martina JIRÁNKOVÁ. Mezinárodní ekonomie. Praha: Grada Publishing a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3276-3.

SAWYER, W. Charles a Richard L. SPRINKLE. International Economics. New Jersey: Prentice Hall, 2008. ISBN 978-01-360-5469-6.

SOUKUP, Alexandr. Mezinárodní ekonomie. Plzeň: Aleš Čeněk, 2009. ISBN 978-80-7380-197-7.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Stanislav Burian, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 18. 9. 2013

doc. Ing. Josef Brčák, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 11. 2014

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 17. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Gravitační model mezinárodního obchodu – případ České republiky" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 29. března 2015

Kateřina Přikrylová

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce Ing. Stanislavu Burianovi, Ph.D. a také Ing. Petře Bubákové, Ph.D. z katedry ekonomiky, za odborné vedení a pomoc při vypracování diplomové práce.

Gravitační model mezinárodního obchodu – případ České republiky

Gravity Model of International Trade – Case of the Czech Republic

Souhrn

Diplomová práce je zaměřena na sestavení gravitačního modelu mezinárodního obchodu České republiky a na determinanty, které na mezinárodní obchod působí. Panelová data gravitačního modelu jsou tvořena napojenými průřezovými daty za devět největších zahraničněobchodních partnerů České republiky. V roce 2004 se ČR stala členem Evropské Unie, proto je gravitační model analyzován v období 2004 - 2013.

První část diplomové práce je zaměřena na teoretické vymezení gravitačních modelů, sestavení základního a rozšířeného tvaru gravitační rovnice. Dále také na popis jednotlivých determinantů ovlivňující zahraniční obchod České republiky, na problémy, se kterými se gravitační modely potýkají a v neposlední řadě na metody odhadu jejich parametrů.

V empirické části práce je formulován, odhadnut a interpretován gravitační model mezinárodní směny České republiky. Z teoretických metod poznání je využita komparace, analogie, analýza a syntéza. Jsou zpracovány analýzy základních deskriptivních statistik, které jsou použity k analyzování panelových dat. Jde především o regresní analýzu, ze které jsou zjištěny hlavní determinanty exportu a importu České republiky.

Klíčová slova: Česká republika, export, gravitační model, HDP, import, mezinárodní směna, měnový kurz, platební bilance, zahraniční obchod.

Summary

The master thesis is focused on the construct of gravity model of foreign trade of the Czech Republic and also on the determinants acting on the foreign trade. The panel data of gravity model are formed by cross-cutting data for the nine biggest foreign trade partners of the Czech Republic. In 2004, the Czech Republic became member of the European Union therefore the gravity model is analyzed in period 2004 – 2013.

The first part of the master thesis is focused on the theoretical definition of gravity models, compilation of basic and extended form of gravity equation. It also focused on the description of particular determinants influencing the foreign trade of the Czech Republic, on the problems, with which the gravity models face and finally on the methods of estimation their parameters.

In the practical part of the thesis, the gravity model of foreign trade of the Czech Republic is formulated, estimated and interpreted. From the theoretical knowledge, there is used the comparison, analogy, analysis and synthesis. There are processed the analysis of basic descriptive statistics, which are used to analyse of panel data. This is mainly about the regression analysis, from which the main determinants of export and import of the Czech Republic are detected.

Keywords: Czech Republic, export, gravity model, GDP, import, international exchange, exchange rate, balance of payments, foreign trade.

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. CÍL A METODIKA	11
3. TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	13
3.1. GRAVITAČNÍ MODEL.....	13
3.2. PŮVOD GRAVITAČNÍHO MODELU	14
3.3. ZÁKLADNÍ TVAR GRAVITAČNÍ ROVNICE.....	15
3.3.1. STATICKÝ MODEL	15
3.3.2. DYNAMICKÝ MODEL.....	16
3.4. ROZŠÍŘENÝ TVAR GRAVITAČNÍ ROVNICE.....	18
3.5. PROMĚNNÉ A JEJICH PŘEDPOKLADY	19
3.6. PROBLÉMY GRAVITAČNÍCH MODELŮ	22
3.7. ANALÝZA GRAVITAČNÍCH MODELŮ	24
3.7.1. STACIONARITA ČASOVÝCH ŘAD	24
3.7.2. METODY ODHADU PARAMETRŮ GRAVITAČNÍCH MODELŮ	26
3.7.3. TESTY PRO VÝBĚR VHODNÉHO MODELU	31
4. EMPIRICKÁ ČÁST	34
4.1. GRAVITAČNÍ MODEL – případ České republiky	34
4.2. GRAVITAČNÍ MODEL EXPORTU	35
4.2.1. ZÁKLADNÍ GRAVITAČNÍ MODEL EXPORTU	35
4.2.2. ROZŠÍŘENÝ GRAVITAČNÍ MODEL EXPORTU	42
4.3. GRAVITAČNÍ MODEL IMPORTU.....	54
4.3.1. ZÁKLADNÍ GRAVITAČNÍ MODEL IMPORTU.....	54
4.3.2. ROZŠÍŘENÝ GRAVITAČNÍ MODEL IMPORTU.....	61
5. ZÁVĚR.....	72
6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	76
7. PŘÍLOHY	80

1. ÚVOD

Zahraniční obchod je historicky nejstarší a nejvíce zastoupenou formou vnějších ekonomických vztahů. V nynější době je jedním z rozhodujících faktorů ovlivňující ekonomický růst každého státu. Zjednodušeně zahraniční obchod představuje výměnu zboží na mezinárodním trhu. To zahrnuje veškeré přesuny zboží mimo hranice každého státu. Na základě teorií mezinárodní směny, působení zahraničního obchodu je vždy kladné a zvyšuje životní úroveň všech zúčastněných států. Ekonomiky daných států totiž mohou spotřebovávat více, než jsou schopny si sami vyrobit. Zároveň se mohou více zaměřit na výrobu produktů, u kterých mají komparativní výhodu a mohou se tak lépe na mezinárodním trhu uplatnit. Konkrétně Česká republika je malou zemí, proto musí být zaměřená, jak na export, tak i na import, jinak nebude uspokojena poptávka na českém trhu a zároveň čeští obchodníci nebudou mít dostatek možností k uplatnění se na trhu mezinárodním.

Ke statistickému analyzování těchto přesunů zboží z jedné země do druhé, lze kromě jiného využít i znalosti gravitačního modelu mezinárodního obchodu. Lze tak učinit na základě velikosti hrubého domácího produktu a vzdálenosti mezi danými geografickými entitami. Výhoda těchto gravitačních modelů je, že se soustředí přímo na chování samotných obchodních toků a nikoli na dopady na ekonomický blahobyt, které jsou často předmětem analýzy empirických studií z oblasti zahraničního obchodu.

Gravitační modely jsou také vhodné pro určení hlavních determinant působící na mezinárodní obchod, v tomto případě na mezinárodní obchod České republiky. Lze jimi totiž posoudit senzitivitu obchodních toků na konkrétní faktory, jakými jsou např. ekonomické, politické, geografické aj. Tyto faktory působí v procesu mezinárodní směny současně a přispívají k rozdílným strategiím v oblasti mezinárodního obchodu jednotlivých zemí.

Zlomovým rokem pro Českou republiku a její ekonomiku byl rok 2004, kdy 1. 5. 2004 se Česká republika stala členem Evropské Unie. Tím se situace na českém trhu výrazně zlepšila a pro českou ekonomiku to znamenalo mnoho změn. Jednou ze změn po vstupu do Evropské Unie bylo jednodušší obchodování s ostatními státy Evropské unie. Obchod s těmito státy od této doby není mezinárodním obchodem, ale obchodem vnitřním. Tzn., že mezi členskými státy Evropské unie se zboží pohybuje volně (bez cel, bez limitu dodávaného množství zboží apod.). Avšak i při obchodování v rámci unie musejí fungovat

určitá jednotná pravidla pro všechny členské státy. Díky členství v Evropské unii se v České republice více uspokojila poptávka spotřebitelů, ale bohužel se zároveň i snížila možnost uplatnění českých výrobců na trhu. Jen opravdu silní, flexibilní a kvalitní obchodníci mají možnost uplatnit se na trhu, pokud naváží obchodní vztahy s obchodními partnery z Evropské Unie. Ostatní obchodníky či výrobce mohou zničit konkurenceschopnější zahraniční firmy.

Cílem diplomové práce není podat určité návrhy, jak obchodovat se zahraničím, či jak by se měl zahraniční obchod v České republice vyvíjet. Ale cílem je jen popsat a kvantifikovat determinanty zahraničního obchodu v období 2004 – 2013, tj. období po vstupu České republiky do Evropské unie.

2. CÍL A METODIKA

Primárním cílem diplomové práce je určit vliv významných determinant na výsledky zahraničního obchodu České republiky se zaměřením na období začínající vstupem České republiky do Evropské unie. Dílčími cíli práce jsou vytvoření teoretického zázemí pro tvorbu a aplikaci gravitačního modelu, určení ekonomického modelu, odhad jeho parametrů a s ním související problémy, definování jednotlivých proměnných, celkové teoretické vymezení analýzy gravitačních modelů a vyvození relevantních závěrů.

Diplomová práce se skládá ze dvou částí, z teoretických východisek a z empirické části. V teoretické části práce je vymezen gravitační model a s ním související – od historie gravitačního modelu až po sestavení základní a rozšířené rovnice. Velká pozornost je věnována definování jednotlivých proměnných působící na zahraniční obchod a problémům spojených s odhadem gravitační rovnice. V neposlední řadě jsou v této části blíže charakterizovány metody a modely, které se využívají k analýze gravitačních modelů. Konkrétně se jedná o testování stacionarity časových řad, o metody odhadu jednotlivých parametrů gravitačního modelu a také o modely pro výběr vhodného modelu fixních či náhodných efektů. K vypracování teoretické části je čerpáno z odborné literatury, vědeckých publikací a článků. Využito je analyticko-syntetického přístupu a komparace jednotlivých autorů.

Ve druhé části práce je formulován, odhadnut a interpretován gravitační model mezinárodní směny České republiky pro období 2004 - 2013. Ten je analyzován na základě panelových dat, která jsou tvořena napojenými průřezovými daty za devět největších zahraničněobchodních partnerů České republiky (Německo, Slovensko, Polsko, Francie, Rakousko, Itálie, Nizozemsko, Rusko, Čína / Velká Británie). Přestože je možné určit hlavní determinanty českého zahraničního obchodu pomocí pouze jednoho souhrnného modelu, tak v této diplomové práci jsou sestaveny gravitační modely zvlášť pro export a zvlášť pro import s cílem zvýšit kvalitu výsledných odhadů. Jak pro export, tak i pro import České republiky jsou sestaveny modely ve statické formě, avšak v základním i v rozšířeném tvaru. Pro kvantifikaci vlivů jednotlivých exogenních proměnných je ve statické formě základního i rozšířeného tvaru modelů využito více metod odhadu parametrů. Konkrétně se jedná o metodu sdružených nejmenších čtverců, o model fixních efektů a o model náhodných efektů.

V této empirické části práce je v různé míře použita komparace, analogie, analýza a syntéza. Při analýze statistických dat jsou využity základní deskriptivní statistiky, především regresní analýza, ze které jsou zjištěny hlavní determinanty působící na export a import České republiky. Analyzována jsou roční data od roku 2004 – 2013 a k veškerým výpočtům je využit statistický program Gretl. Data použitá v ekonomicko-statistické analýze jsou z oficiálních internetových stránek Českého statistického úřadu a Světové banky.

V závěru jsou shrnuty základní poznatky o gravitačních modelech. A zároveň jsou zhodnoceny a uvedeny jednotlivé determinanty působící na export a import České republiky v letech 2004 – 2013. Využito je především poznatků a analýz uvedených v empirické části této diplomové práce.

3. TEORETICKÁ VÝCHODISKA

3.1. GRAVITAČNÍ MODEL

Gravitační model (GM) mezinárodního obchodu se používá ke statistickému analyzování obchodních toků mezi různými geografickými entitami. Na základě ekonomických znalostí je známo, že export je závislý na velikosti hrubého domácího produktu (HDP) a dotýká se tak negativně ceny, v tomto případě vzdálenosti mezi danými dvěma zeměmi. V aplikaci na gravitační model lze říct, že se jedná o pozitivní závislost objemu obchodu na důchodu obou zemí a o negativní závislost na vzdálenosti mezi nimi (Cihelková a kol., 2008, s. 38).

Původ gravitačního modelu sahá až do roku 1687, kdy Isaac Newton zformuloval tzv. Newtonův gravitační zákon, z něhož GM vychází. Obecná formulace gravitačního modelu je Newtonovu gravitačnímu zákonu velmi podobná.

Základy gravitačního modelu pro odhad toku zahraničního obchodu však položili ekonomové Tinbergen (1962) a Pöyhönen (1963). Bohužel pro tento model neměli teoretické podklady, a za to byl model v minulosti kritizován. Gravitačním modelem se zabývali později, koncem 70. let i jiní ekonomové (např. Anderson, Helpman a Krugman, Bergstrand, van Wincoop...), kteří dokázali, že daný model může být vyvinut na základě ekonomických teorií. Můžeme jmenovat ricardiánský model, Heckscher-Ohlinův model či rostoucí výnosy z rozsahu, z nichž byla odvozena gravitační rovnice.

Konkrétněji, první teoretický základ pro gravitační modely položil Anderson v roce 1979. Tato teorie je založena na konstantní elasticitě substituce výdajových systémů. To, že je gravitační rovnice konzistentní s Heckscher-Ohlinovým modelem pro homogenní zboží s dokonalou konkurencí prokázal Deardorff v roce 1998 (Bubáková, 2013, s. 3).

Gravitační modely se nyní, na základě těchto teorií často využívají v praxi kvůli vysoké statistické vypovídací schopnosti (koeficient determinace (R^2) se pohybuje od 60 do 80 %) a také kvůli dobré shodě s daty (Bubáková, 2013, s. 3).

Pro přesný výpočet a odhad gravitačního modelu se používají statistické a ekonometrické metody. Pro odhad modelu se využívala průřezová data, a to v 90. letech. (Bubáková, 2013, s. 4). Výsledky z průřezových dat však byly často kritizovány, a proto se od 21. století i díky rozvoji softwarového zpracování dat více využívají panelová data.

Gravitační teorie byla později aplikována i na jiné oblasti (např. migrační toky, dojíždění do zaměstnání, cestování, finanční toky, přímé zahraniční investice atd.),

především však k modelování toku mezinárodního obchodu a předpovědi tzv. potenciálního toku obchodu v protikladu k současnému stavu (Cihelková a kol., 2008, s. 38).

Kvůli tomuto narůstajícímu množství oblastí, ve kterých lze gravitační modely aplikovat, dochází k nárůstu potenciálních exogenních proměnných. A tyto exogenní proměnné je možné vybrat z celkem velkého množství charakteristik.

Pomocí gravitačního modelu lze posoudit vliv přímých zahraničních investic na platební bilanci daných států. Dále je také možné GM použít v mezinárodních vztazích k vyhodnocení dopadu smluv a aliancí na obchod, nebo také pro testování efektivity obchodních dohod a organizací, jakými jsou např. Severoamerická dohoda o volném obchodu (NAFTA) či Světová obchodní organizace (WTO).

Díky flexibilitě, obohacování a rozšiřování teoretického základu se gravitační modely staly v posledních letech významným a dosti využívaným nástrojem kvantitativních studií mezinárodního obchodu a také investiční politiky (Eichengreen a Irwin, 1998).

3.2. PŮVOD GRAVITAČNÍHO MODELU

Gravitační rovnice vychází z nejstarší vědecké teorie, která popisuje gravitační působení mezi dvěma tělesy, z Newtonova gravitačního zákona.

V roce 1684 Isaac Newton formuloval univerzální gravitační zákon:

Libovolná dvě tělesa se přitahují silou, která je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná čtverci jejich vzdálenosti.

Tento Newtonův gravitační zákon říká, že přitažlivá síla mezi dvěma tělesy (i, j) je dána:

$$F_{ij} = G \frac{M_i M_j}{D_{ij}^2}, \quad (1)$$

kde značí

F_{ij} = přitažlivá síla (síla působící mezi tělesy i a j)

M_i = hmotnost tělesa i

M_j = hmotnost tělesa j

D_{ij}^2 = vzdálenost mezi dvěma tělesy

G = gravitační konstanta, která má hodnotu přibližně: $G = 6,6732 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

3.3. ZÁKLADNÍ TVAR GRAVITAČNÍ ROVNICE

3.3.1. STATICKÝ MODEL

Gravitační model byl původně zformulován ekonomem Jan Tinbergenem v roce 1962 v knize „*Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*“. Gravitační model udává, že exporty jedné země do druhé závisí na třech vysvětlujících proměnných, kterými jsou: hrubý domácí produkt (příp. hrubý národní produkt) země exportu, HDP (příp. HNP) země importu a zeměpisná vzdálenost mezi oběma zeměmi (vyjadřující dopravní náklady). Existuje předpoklad, že obchodní tok mezi zeměmi je v souladu s Newtonovým gravitačním zákonem pozitivně či negativně ovlivňován. Vztah pozitivně korelovaný se tedy nachází mezi výšemi HDP (příp. HNP) obou zemí a vzájemným obchodem, negativní korelace však existuje v případě vzdálenosti obou zemí (Štěrbová a kol., 2013, s. 61).

Základní gravitační rovnice je formulována J. Tinbergenem takto:

$$F_{ij} = \beta_0 M_i^{\beta_1} M_j^{\beta_2} D_{ij}^{\beta_3} e^{\varepsilon_{ij}}, \quad (2)$$

kde značí

F_{ij} = exporty země i do země j

β_0 = regresní konstanta

M_i = HDP (příp. HNP) země i

M_j = HDP (příp. HNP) země j

D_{ij} = vzdálenost mezi zeměmi i a j

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = exponenty, které značí, že nemusí vždy existovat přímá úměrnost mezi závisle proměnnou a nezávisle proměnnými

ε_{ij} = reziduální složka ($\varepsilon_{ij} \sim n. i. d. (0, \sigma^2)$)

Elasticita exportů je konstantní, takže např. 1% zvýšení M_i vede ke zvýšení F_{ij} o β_1 procent (Štěrbová a kol., 2013, s. 61).

Zlogaritmovat analytický tvar modelu je možné pouze v případě, že je ekonometrický model lineární v parametrech. Výhodou těchto modelů je jejich názorná ekonomická interpretace a také možnost odhadovat i testovat je např. využitím metody nejmenších čtverců. Zlogaritmovaný tvar základní gravitační rovnice je poté následující:

$$\log F_{ij} = \log \beta_0 + \beta_1 \log M_i + \beta_2 \log M_j + \beta_3 \log D_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

Velikost ekonomiky je vyjádřena proměnnými (M_i, M_j), tedy hrubým domácím produktem. Vysoké hodnoty HDP jsou odrazem vysoké úrovně produkce exportní země, to zvyšuje množství produkce určené k exportu. Naopak vysoké HDP u importní země značí vysokou úroveň příjmů, a tím tedy vyšší hodnoty importního zboží. Tím pádem u parametrů (β_1, β_2) lze očekávat pozitivní působení na export / import.

3.3.2. DYNAMICKÝ MODEL

Lze předpokládat, že export není statický a vyvíjí se v čase. Může být tedy ovlivněn hodnotami exportu z minulých období, proto je dobré do gravitačního modelu zahrnout faktor času v podobě zpožděné endogenní proměnné ($F_{ij,t-1}$). Tento efekt zpětné vazby by měl působit pozitivně. Mezi argumenty lze uvést dlouhodobé vztahy mezi obchodními partnery či vynaložené náklady na vybudování distribučních cest (Janda a kol., 2010, s. 310). „*Současné hodnoty exportu jsou tedy funkcí jeho minulých hodnot.*“ (Janda a kol., 2010, s. 310). Zanesení zpožděných endogenních proměnných do regresního modelu má své opodstatnění i z ekonometrického hlediska. Nezahrnutím totiž může dojít k nekonzistenci výsledných odhadů. Z tohoto důvodu je lepší aplikovat na data dynamický model, jelikož lépe odráží dlouhodobý dopad a vliv minulých hodnot (Janda a kol., 2010, s. 311).

Tvar gravitační rovnice poté bude následující:

$$\log F_{ijt} = \log \beta_0 + \beta_1 \log F_{ij,t-1} + \beta_2 \log M_{it} + \beta_3 \log M_{jt} + \beta_4 \log D_{ij} + \varepsilon_{ijt}, \quad (4)$$

kde

F_{ijt} = exporty země i do země j

β_0 = regresní konstanta

$F_{ij,t-1}$ = exporty země i do země j v minulém období

M_{it} = HDP (příp. HNP) země i

M_{jt} = HDP (příp. HNP) země j

D_{ij} = vzdálenost mezi zeměmi i a j

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = exponenty, které značí, že nemusí vždy existovat přímá úměrnost mezi závisle proměnnou a nezávisle proměnnými

ε_{ijt} = reziduální složka ($\varepsilon_{ijt} \sim n. i. d. (0, \sigma^2)$)

Existuje však předpoklad že na export i import nemá vliv pouze předešlé období ($t - 1$), ale do rovnice by se tak měly přidat i zpožděné endogenní proměnné z předminulého období ($t - 2$).

Gravitační rovnici se zpožděnými endogenními proměnnými lze formulovat takto:

$$\log F_{ijt} = \log \beta_0 + \beta_1 \log F_{ij,t-1} + \beta_2 \log F_{ij,t-2} + \beta_3 \log M_{it} + \beta_4 \log M_{jt} + \beta_5 \log D_{ij} + \varepsilon_{ijt}, \quad (5)$$

kde nově přidaná zpožděná proměnná značí:

$F_{ij,t-2}$ = exporty země i do země j v předminulém období

3.4. ROZŠÍŘENÝ TVAR GRAVITAČNÍ ROVNICE

Základní tvar gravitační rovnice lze rozšířit o nové proměnné, které mohou významně ovlivňovat endogenní proměnnou, a determinovat tak vzájemné obchodní toky mezi dvěma zeměmi. Lze ho tedy rozšířit i o zástupné vysvětlující proměnné, tzv. dummy proměnné.

Mezi nejčastěji používané exogenní proměnné můžeme jmenovat např. členství ve stejné asociaci, společná hranice, HDP, počet obyvatel, zeměpisná rozloha, obrat obchodu (součet hodnoty exportů a importů), stejný oficiální jazyk či měna, historické vazby mezi zeměmi ve formě vztahu kolonie-kolonizátor, zeměpisná pozice států, výše vázaných či aplikovaných dovozních celních sazeb a rozličné proměnné vypovídající o kvalitě institucí (např. míra korupce) atd. (Štěrbová a kol., 2013, s. 62).

V průběhu let a zároveň i díky doplnění této koncepce se gravitační model stal nástrojem pro analýzu determinant např. mezinárodních obchodních a investičních toků. Složitější modely pracují s panelovými daty, v případě analyzování dat za více časových úseků (Štěrbová a kol., 2013, s. 62).

Příkladem rozšířeného gravitačního modelu může být rovnice od Tinbergena, který do modelu přidal tři dummy proměnné:

N = existence společné hranice (zda jsou země sousedící či nikoli a zda hranice je pozemní nebo jsou dané země ostrovní)

P_C = obchodní preference (členství obou zemí ve Velké Británii)

P_B = obchodní preference (členství obou zemí v Beneluxu)

Výsledný tvar rozšířené rovnice gravitačního modelu je pak následující:

$$\log F_{ij} = \log \beta_0 + \beta_1 \log M_i + \beta_2 \log M_j + \beta_3 \log D_{ij} + \beta_4 \log N + \beta_5 \log P_C + \beta_6 \log P_B + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

3.5. PROMĚNNÉ A JEJICH PŘEDPOKLADY

Základním teoretickým východiskem pro vymezení jednotlivých proměnných a jejich předpokladů je článek „*Gravitační model mezinárodní směny, jeho proměnné, předpoklady, problémy a aplikace*“ od P. Bubákové (2013).

Jako základní proměnné lze uvést endogenní (vysvětlované) proměnné a exogenní (vysvětlující) proměnné. Každý model musí obsahovat i stochastickou náhodnou složku. Pro odhad gravitačního modelu se nejčastěji využívá jako endogenní proměnná: objem exportu ze země i do země j , objem importu ze země i do země j či celkový obchodní tok (bilaterální obchod), který je dán součtem exportu a importu. Kromě těchto proměnných existují i jejich transformace, např. hodnota obchodního toku dělená součtem HDP obou zemí, nebo také průměr exportu a importu mezi zeměmi i a j (Bubáková, 2013, s. 4).

Podle Nilssona (2000) lze exogenní proměnné rozdělit do tří kategorií:

1. kategorie: proměnné zastupující celkovou potenciální nabídku exportující země
2. kategorie: proměnné zastupující celkovou potenciální poptávku importující země
3. kategorie: proměnné napomáhající nebo omezující obchod mezi importující a exportující zemí (Bubáková, 2013, s. 4)

Podle ekonomů Eggera a Pfaffermayra (2003) lze vysvětlující proměnné také rozdělit do tří kategorií, avšak jsou jinak specifikovány:

1. kategorie: proměnné, jako je HDP a populace exportující země
2. kategorie: proměnné, jako je HDP a populace importující země
3. kategorie: proměnné reprezentující geografickou či kulturní blízkost zemí, směnný kurz a jeho volatilita, obchodní preference, uzavřené smlouvy, dohody, celní sazby apod. (Bubáková, 2013, s. 5)

Jiní autoři do prvních dvou kategorií zařazují proměnné reprezentující velikost dané ekonomiky a třetí kategorie je představována tzv. blízkostí zemí.

Tyto jednotlivé proměnné, jejich předpoklady a k čemu slouží lze popsat takto:

Hrubý domácí produkt (HDP) podle Sohna (2005) slouží k určení ekonomické velikosti země, to je myšleno jako velikost trhu a výrobní kapacity. Velké země, které mají velkou výrobní kapacitu, lépe dosahují úspor z rozsahu a zvyšují tak export kvůli vyšší komparativní výhodě. U importní země jsou větší domácí trhy schopny pohltnout vyšší dovozy. Velké trhy mají větší schopnost uspokojit domácí poptávku, proto nemají takovou potřebu obchodovat. Z toho plyne, že jsou více uzavřené než malé trhy, které nejsou

soběstačné. Přesto, jak u exportní, tak i importní země je u *HDP* očekáváno kladné působení na export i na celkový obchodní tok.

Jako další proměnnou lze uvést *populaci*, na kterou se názory ekonomů různí. *Populace* představuje fyzickou velikost ekonomiky. Někteří ekonomové předpokládají, jak u exportní i importní země záporné znaménko, někdo kladné a někdo připouští obě možnosti. Proto je lepší využít proměnnou *HDP na obyvatele*. Ta představuje úroveň příjmů či kupní sílu obyvatel exportních i importních zemí.

Místo těchto výše uvedených dvou proměnných (*HDP*, *HDP na obyvatele*) lze použít *hrubý národní důchod (HND)* nebo *HND na obyvatele*. Předpoklady působení těchto proměnných jsou shodné. Takže není rozdíl v tom, zda je v modelu použit hrubý domácí produkt či hrubý národní důchod.

Velmi důležitou proměnnou v gravitačním modelu je *geografická vzdálenost*. Tato proměnná byla již specifikována samotným zakladatelem gravitačního modelu Tinbergenem, v roce 1962. Nejčastěji je měřena jako vzdušná vzdálenost hlavních měst exportní i importní země. Má to však svá úskalí, kterým může být např. to, že hlavní město je jediným hospodářským centrem země – to je více pravděpodobné u malých států. K charakteristikám této proměnné lze zařadit, že čím je *geografická vzdálenost* větší, tím větší jsou transakční náklady, a tím roste i cena obchodních aktivit. Mezi proměnnými *geografická vzdálenost* a *objem obchodu* existuje negativní vztah. V potaz je také velmi důležité brát umístění obchodních partnerů vůči jiným zemím. Ekonomové Harrigan (2003), Anderson a Wincoop (2003) dokázali, že je větší objem *obchodu* mezi obchodními partnery, kteří jsou odříznuti od zbytku světa. Kdežto u zemí, které jsou blíže ostatním zemím, je *objem obchodu* menší.

Dále lze uvést tzv. *vnitrozemskou proměnnou*, jež je proměnnou kontrolující, zda je země obklopena pevninou či mořem. Podle toho se liší obchodní tok dané země.

Jako proměnné představující blízkost zemí, lze jmenovat *společný jazyk* či *společné hranice*. K vyjádření těchto proměnných se využívají tzv. dummy proměnné. Pokud dané země (obchodní partneri) mají *společný jazyk* či *společné hranice*, dummy proměnná nabývá hodnoty jedna, v opačném případě je tato proměnná rovna nule.

K dalším dummy proměnným lze uvést *uzavřené smlouvy*, *preferenční dohody* a *obchodní preference*. Předpoklad působení těchto dummy proměnných by měl být

kladný, protože tyto proměnné snižují překážky obchodu, jakými jsou např. *cla* či *rozdílné ceny*.

Proměnné, *cla* a *rozdílné ceny* negativně ovlivňují obchod. Naopak mezi proměnné, které pozitivně působí na obchod, lze zařadit kromě smluv, dohod a preferencí také členství v obchodních blocích, doplňování se v komparativních výhodách nebo rozsah zahraničních investic.

Jako další příklad lze uvést proměnnou představující situaci a změny v měnovém kurzu (např. *nominální směnný kurz*, *reálný měnový kurz* nebo *index směnného kurzu*). Ekonomové Egger a Pfaffermayr uvádějí, že vysoký index směnného kurzu má za následek, že zboží od exportéra je pro spotřebitele nebo firmu v importní zemi levnější. Předpoklad působení lze tedy očekávat kladný.

Pokud *měna* jako dummy proměnná v gravitačním modelu nabývá hodnoty jedna, tzn., obě země mají shodnou měnu. Dle Frankela a Rose (2002) lze tedy předpokládat pozitivní efekt na obchod.

Pomocí proměnné *čistý dovozce do EU ze země mimo EU*, podle ekonomů Sarkera a Jayasinghe (2007), lze zachytit míru otevřenosti členů EU vůči dovozům z nečlenských zemí.

Proměnných, které lze zahrnout do gravitačního modelu jsou desítky. Konkrétněji zde nejsou popsány, avšak lze uvést ještě pár nejdůležitějších: *inflace*, *privatizace*, *politické riziko*, *infrastruktura obou daných zemí* apod.

„Kromě zmíněných proměnných by mohly být vytvořeny proměnné reprezentující typ produktů exportovaných (resp. importovaných) jednotlivými zeměmi, tj. vyjádření, zda země mají shodnou či přibližnou strukturu či nikoli. Lze očekávat rozdíl ve výši exportu či importu u zemí vyvážející výrobky s vysokou přidanou hodnotou či obchodující s nerostnými surovinami. Parametr dummy proměnné, která je rovna jedné v případě, kdy zkoumané země vyvážejí podobné produkty, by reprezentoval změnu objemu v bilaterálním obchodu v případě obdobné struktury produktů mezinárodního obchodu mezi zkoumanými zeměmi.“ (Bubáková, 2013, s. 8).

Dále je uvedena tabulka s jednoduchým přehledem proměnných a s jejich předpoklady, dle P. Bubákové.

Tabulka č. 1: Proměnné v gravitačním modelu a jejich předpoklady

Proměnná	Druh proměnné	Předpoklad působení	Proměnná	Druh proměnné	Předpoklad působení
Nabídka exportní země			Poptávka dovozní země		
HDP/HND vývozní země	kvantitativní	+	HDP/HND dovozní země	kvantitativní	+
HDP/HND na obyvatele vývozní země	kvantitativní	- či +	HDP/HND na obyvatele dovozní země	kvantitativní	- či +
Populace vývozní země	kvantitativní	- či +	Populace dovozní země	kvantitativní	- či +
Faktory napomáhající či omezující obchod					
a) Geografické faktory ovlivňující náklady			d) Zahraniční obchodní politika		
			Cl	kvantitativní	-
Vzdálenost	kvantitativní	-	Celní preference	dumy	+
Sousedství, společná hranice	dumy	+			
Vnitrozemská země	dumy/kvant.	-	e) Kurzové riziko		
			Směnný kurz (nominální, reálný)	kvantitativní	+
b) Historické vazby			Index směnného kurzu	kvantitativní	+
Společný jazyk	dumy	+	Společná měna	dumy	+
Společné náboženství	dumy	+	Rezervy cizí měny dovozní země	kvantitativní	+
Společná kolonie	dumy	+			
			f) Ostatní		
c) Dohody			Rozsah zahraničních investic	kvantitativní	+
Uzavřené smlouvy, preferenční dohody	dumy	+	Inflace	kvantitativní	-
Obchodní preference	dumy	+	Politické riziko	dumy	-
Členství v obchodních blocích	dumy	+	Kvalita infrastruktury	kvantitativní	+

Zdroj: Bubáková, P. (2013)

3.6. PROBLÉMY GRAVITAČNÍCH MODELŮ

Při odhadu gravitačních modelů mohou nastat problémy, jakými jsou např. problém endogenity, heterogenity či problém identifikace modelu. Ignorací těchto problémů vzniká riziko zkreslených, nepřesných či dokonce zavádějících výsledků.

Endogenita

Problém endogenity se nejčastěji vyskytuje u průřezových dat. Odhady modelu pomocí metody nejmenších čtverců nesplňují požadavek nestrannosti a nejsou konzistentní. Zdroje endogenity lze zařadit do tří skupin: opomenutá proměnná, simultánnost vztahů a chyby měření (Bubáková, 2013, s. 9).

Problém endogenity tedy vzniká neúmyslným opomenutím, nebo vynecháním relevantní proměnné kvůli potížím či nemožnosti ji kvantifikovat. Pokud bude tato proměnná do modelu zahrnuta, problém endogenity bude odstraněn. Pro vyřešení problému endogenity při využití panelových dat se do modelu přidávají fixní efekty, které odchyťávají nepozorovatelné faktory skrz jednotlivé země. Gravitační model se odhaduje buď pomocí metody nejmenších čtverců, příp. pomocí dynamické metody nejmenších čtverců dummy proměnné nebo metodou instrumentální proměnné apod. Doporučenou metodou jsou však fixní efekty (Bubáková, 2013, s. 9).

Dalším zdrojem vzniku endogenity je simultánnost vztahů. Jako příklad lze uvést HDP, jakožto funkci čistého exportu. HDP je potenciálně endogenní v modelu celkových obchodních toků. Podle ekonomů Baiera a Bergstranda (2005) je možné endogenitu HDP ignorovat. „*Za prvé je HDP funkcí čistého mnohostranného exportu. Podíl exportu na HDP je pak velmi nízký (do 5 %). Navíc vztah k hrubému exportu je mnohem méně přímý.*“ (Bubáková, 2013, s. 9 a s. 10).

Frankel (1997) zjistil, že endogenita národních příjmů počítaná pomocí instrumentálních proměnných způsobuje jen malou změnu ve výsledcích. Řešením endogenity způsobené simultánností vztahů je odhad simultánních rovnic pomocí dvojstupňové metody nejmenších čtverců (Bubáková, 2013, s. 10).

Heterogenita

Dalším problémem je heterogenita jednotek, tzn. rozdílnost zemí v případě gravitačního modelu mezinárodního obchodu. Heterogenita může vzniknout pozorovatelnými i nepozorovatelnými faktory. Opomenutí těchto faktorů vede k zavádějícím výsledkům odhadu gravitační rovnice. Mezi pozorovatelné faktory lze uvést společný jazyk, společná hranice, náboženství atd. K odchyčení vlivu se používají dummy proměnné. U nepozorovatelných faktorů se však používají k odchyčení jejich vlivu fixní efekty. Fixní efekty, příp. náhodné efekty se nejčastěji používají k řešení heterogenity v gravitačních modelech (Bubáková, 2013, s. 10).

Identifikace modelu

Posledním problémem je identifikace modelu a přiřazení ho ke konkrétnímu teoretickému modelu mezinárodní směny. „*Ekonomové Evenett a Keller (2002) zmiňují, že nízká produkce je úplně specializovaná z důvodu specifických podmínek oblastí a do té doby, než bude v mezinárodním obchodě produkce úplně specializovaná napříč zeměmi, Heckscher-Ohlinův model a model diferencovaných produktů budou stejně pravděpodobné při odhadu gravitačního modelu. Po těchto zjištěních se zájem zaměřil na identifikaci základních obchodních modelů gravitačního odhadu.*“ (Bubáková, 2013, s. 10). Podle Sohna (2005) lze identifikovat model pomocí parametru vytvořené vysvětlující proměnné TCI. Odhad parametru β_{TCI} rozlišuje tři struktury: Heckscher-Ohlinův obchodní model s dominantním meziodvětvovou směnou, rostoucí výnosy z rozsahu s dominantní vnitro-odvětvovou směnou a v neposlední řadě nejednoznačný model. Pokud je gravitační model aplikován pouze na jednu zemi, je jeho identifikace důležitější, než v případě dvojice zemí, protože identifikace modelu poslouží k odhalení obchodních vzorů celkových obchodních toků (Bubáková, 2013, s. 10).

3.7. ANALÝZA GRAVITAČNÍCH MODELŮ

3.7.1. STACIONARITA ČASOVÝCH ŘAD

Nejprve, před samotným odhadem parametrů gravitačního modelu, je třeba posoudit stacionaritu časových řad, tzn. testování přítomnosti jednotkového kořene. „*Stacionarita časových řad při statistické analýze časových řad je vyžadována z toho důvodu, že jakákoli proměnná, která se permanentně stochasticky odchyluje od své střední hodnoty, nemůže být v dlouhém období ovlivňována proměnnou, která se ke své střední hodnotě vrací (efekt může být pouze krátkodobý).*“ (Tomšík, 2000, s. 91). Testy jednotkových kořenů panelových dat mají větší vypovídací schopnost než testy jednotkových kořenů používané pro ověřování stacionarity jednorozměrných časových řad (Verbeek, 2004).

„*Bohužel testování hypotéz o existenci jednotkových kořenů a kointegrace za použití panelových dat oproti testům v rámci jednorozměrných časových řad přináší dodatečné komplikace. Za prvé, panelová data obecně vnášejí do modelů podstatné množství nepozorované heterogenity, která je spodobněná ve specifických parametrech jednotlivých objektů. Za druhé, v mnoha empirických aplikacích, zejména v aplikacích typu*

reálných měnových kurzů, se neadekvátně předpokládá nezávislost průřezových dat. K překonání těchto problémů byly vyvinuty a doposud jsou vyvíjeny variantní techniky testování panelových jednotkových kořenů uplatnitelných v rozličných formách meziobjektových závislostí. Za třetí, je často velmi obtížné interpretovat výsledky určitého panelového modelu v případě zamítnutí hypotézy neexistence jednotkových kořenů nebo neexistence kointegračních vztahů mezi proměnnými v modelu.“ (Novák, 2007, s. 75).

Jako příklady testů jednotkových kořenů panelových dat je možné jmenovat: test LLC (Levin, Lin a Chu, 2002), Breitung (2000), test IPS (Im, Pesaran a Shin, 2003), Fisher-ADF test a Fisher-PP test (Maddala a Wu, 1999, Choi, 2001), Hadri (2000).

Přestože se tyto testy nazývají jako testy jednotkových kořenů, tak se jedná o testy paralelního zapojení „jednoduchých“ testů jednotkových kořenů jednotlivých časových řad, které jsou použity na panelovou strukturu dat (Novák, 2006, s. 32).

Při testování jednotkových kořenů panelových dat je třeba přijmout určité předpoklady týkající se parametrů (γ_i). Pokud platí předpoklad, že jsou veškeré autoregresní parametry (γ_i) rovny všem objektům (γ), tedy $\gamma_i = \gamma$, pro všechna $i = 1, 2, \dots, N$, pak lze použít testy LLC, Breitung a Hadri. Parametry (γ_i) je možné také označit jako individuálně specifické autoregresní koeficienty. V tomto případě lze použít testy IPS, Fisher-ADF a Fisher-PP (Novák, 2007, s. 75).

Celkový přehled panelových testů jednotkových kořenů je uveden v následující tabulce.

Tabulka č. 2: Panelové testy jednotkových kořenů

Test	Nulová hypotéza	Alternativní hypotéza	Deterministické komponenty v modelu	Autokorelační korekční metoda
Levin, Lin a Chu	Jednotkové kořeny jsou	Nejsou jednotkové kořeny	N, F, T	Zpoždění
Breitung	Jednotkové kořeny jsou	Nejsou jednotkové kořeny	N, F, T	Zpoždění
IPS	Jednotkové kořeny jsou	Některé objekty mají jednotkové kořeny	F, T	Zpoždění
Fisher-ADF	Jednotkové kořeny jsou	Některé objekty mají jednotkové kořeny	N, F, T	Zpoždění
Fisher-PP	Jednotkové kořeny jsou	Některé objekty mají jednotkové kořeny	N, F, T	Kernel
Hadri	Nejsou jednotkové kořeny	Jednotkové kořeny jsou	F, T	Kernel

Pozn.: N – bez exogenních proměnných, F – fixní efekty, T – individuální efekty a individuální trendy, Kernel – jádrová metoda odhadu parametrů

Zdroj: Novák, P. (2007)

3.7.2. METODY ODHADU PARAMETRŮ GRAVITAČNÍCH MODELŮ

STATICKE MODELY PANELOVÝCH DAT

Existuje mnoho metod k odhadu parametrů gravitačních modelů. Použití daných metod závisí na vlastnostech použité datové základny.

Nejčastěji používané statické modely panelových dat jsou:

- a) POLS – metoda sdružených nejmenších čtverců
- b) SUR – model zdánlivě nesouvisejících regresí
- c) FE – model fixních efektů
- d) RE – model náhodných efektů

Některé metody odhadu parametrů GM používané v případě panelových dat jsou blíže charakterizovány zde:

Metoda sdružených nejmenších čtverců

(POLS – Pooled Ordinary Least Squares)

Metoda sdružených nejmenších čtverců je nejjednodušší metodou odhadu parametrů GM. Greene (2012) formuloval standardní lineární regresní model i s jeho předpoklady. Tvar modelu je následující:

$$\begin{aligned}y_{it} &= \alpha + x'_{it}\beta + \varepsilon_{it}, i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T_i, \\E [\varepsilon_{it}|x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iT_i}] &= 0, \\Var [\varepsilon_{it}|x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iT_i}] &= \sigma_\varepsilon^2, \\Cov [\varepsilon_{it}, \varepsilon_{is}|x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iT_i}] &= 0 \text{ pro } i \neq j \text{ nebo } t \neq s.\end{aligned}\quad (7)$$

Tento model dle Gujaratiho a Portera (2004) předpokládá nevýznamný vliv nezahrnutých individuálních efektů a efektů času u jednotlivých pozorování. Z celkového hlediska ho však lze považovat za významný. Při použití této metody dochází ke zkreslení výsledných odhadů kvůli nezachycené heterogenitě panelových dat.

Model fixních efektů

(FE – Fixed Effects Model)

Model fixních efektů řeší problém heterogenity v panelových modelech. Je často nazýván jako model kovarianční analýzy, příp. jako základní model reprezentující strukturu panelových dat (Novák, 2007, s. 73).

Tento model předpokládá přítomnost korelace mezi individuálními efekty a exogenními proměnnými. Lze ho v obecném tvaru vyjádřit takto:

$$y_{it} = x'_{it}\beta + \alpha_i + \varepsilon_{it}, i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T, \quad (8)$$

kde značí

β = vektor konstant rozměru $1 \times K$

α_i = konstanta reprezentující efekty proměnných, které jsou charakteristické i -tému pozorování

ε_{it} = reziduální složka ($\varepsilon_{ij} \sim n.i.d.(0, \sigma^2)$) reprezentující efekty nevýznamných proměnných charakteristických i -tým pozorováním a danému časovému intervalu

Předpokládá se, že reziduální složka pochází z nezávisle identického rozdělení s nulovou střední hodnotou a konstantním rozptylem, a že je nekorelovaná s vektorem x'_{it} pro všechna i a t (Novák, 2007, s. 73).

Regresní model je třeba převést do tvaru, kdy jsou pro každou sledovanou jednotku i vypočítány průměry endogenní proměnné y_i a exogenních proměnných x_{ik} ve všech sledovaných obdobích. Tento tvar vypadá dle Greeneho (2012) následovně:

$$\bar{y}_i = \bar{x}_i\beta + \alpha_i + \bar{\varepsilon}_i \quad (9)$$

Odečtením od původní rovnice vznikne tento tvar:

$$y_{it} - \bar{y}_i = (x'_{it} - \bar{x}_i)\beta + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i) \quad (10)$$

Tato úprava rovnice se nazývá „*within*“ transformace. Touto úpravou model již neobsahuje individuální efekt α_i a může tak být odstraněna i jakákoliv exogenní proměnná v konstantním čase (Golová, 2013, s. 70).

Model náhodných efektů

(RE – Random Effects Model)

Model náhodných efektů, stejně jako model fixních efektů řeší problém heterogenity v panelových modelech (Novák, 2007, s. 72).

Individuální efekty tohoto modelu lze považovat za náhodnou veličinu, bude mít stejné vlastnosti jako veličina náhodných chyb u_i . Tyto efekty jsou ale zároveň odhadovány konstantami. Samotná náhodná složka gravitačního modelu má dvě části: náhodnou chybu a náhodný efekt.

Tvar modelu náhodných efektů lze uvést takto:

$$y_{it} = x'_{it}\beta + (\alpha + u_i) + \varepsilon_{it}, i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T, \quad (11)$$

kde značí

β = vektor konstant rozměru $1 \times K$

α = konstanta reprezentující efekty proměnných

u_i = veličina náhodných chyb

ε_{it} = reziduální složka ($\varepsilon_{ij} \sim n. i. d. (0, \sigma^2)$).

T pozorování je možné vyjádřit pomocí dvou modelů: variančně-komponentním modelem či modelem komponentních chyb.

Odhad parametrů proměnných konstantních v čase je výhodou modelu náhodných efektů oproti modelu fixních efektů.

Při testování splnění předpokladů statických gravitačních modelů se zjišťuje také výskyt multikolinearity (např. pomocí korelační matice), autokorelace reziduí (Durbin-Watsonův test) a heteroskedasticity (Whiteův test) apod.

DYNAMICKÉ MODELY PANELOVÝCH DAT

Co se týče dynamických modelů, jsou navíc do modelu zahrnuty zpožděné endogenní proměnné.

Jako nejčastěji používané dynamické modely panelových dat lze jmenovat:

- a) MLE – odhad metodou maximální věrohodnosti
- b) GLS – metoda zobecněných nejmenších čtverců
- c) IV – odhad instrumentální proměnné
- d) GMM – zobecněná momentová metoda

Blíže je v této práci charakterizována zobecněná momentová metoda, jako příklad modelu panelových dat používaného pro účely analyzování dynamických gravitačních modelů.

Zobecněná momentová metoda

(*GMM – Generalized Method of Moments*)

Zobecněná momentová metoda slouží k odhadu parametrů u dynamických modelů. Je to ve své podstatě zobecněný princip, kdy jsou odhady odvozovány z tzv. momentových podmínek ve tvaru:

$$g(\theta_0) = E [f(X_t, Z_t, \theta_0)] = 0, \quad (12)$$

kde značí

θ_0 = vektor parametrů o rozměru $1 \times k$

f = určitá funkce

X_t = exogenní proměnné v modelu

Z_t = instrumentální proměnné

„Jestliže existuje jednoznačné řešení momentové podmínky takové, že $E [f(X_t, Z_t, \theta_0)] = 0$ právě pro $\theta_0 = \theta$, potom označujeme systém jako identifikovaný. V opačném případě se jedná o systém přeidentifikovaný.“ (Janda a kol., 2010, s. 311). V případě přeidentifikovaného systému je odhad odvozen pomocí zobecněné momentové metody.

Arellano a Bond odvodili dvě metody konstrukce odhadu dynamických gravitačních modelů – tzv. *Difference GMM* a *System GMM*.

První metoda: *Difference GMM* vychází z prvních diferencí exogenních proměnných, tím je eliminován efekt země z modelu. Zpožděné hodnoty exogenních proměnných slouží jako instrumenty. Bohužel tento postup zkresluje výsledky, a to především v případě malého datového souboru či nevybalancovaných dat (Janda a kol., 2010, s. 312).

Druhá metoda: *System GMM* kombinuje standardní sadu rovnic v prvních diferencích se sadou rovnic s původními hodnotami. Jako instrumenty v sadě rovnic v prvních diferencích jsou použity zpožděné původní hodnoty. A v sadě rovnic s původními hodnotami jsou instrumenty v podobě zpožděné první difference (Janda a kol., 2010, s. 312).

Jako názorný příklad lze uvést dynamický tvar rovnice:

$$y_{it} = x'_{it}\beta + \delta y_{i,t-1} + u_i + \varepsilon_{it}, i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots T \quad (13)$$

Poté je možné dynamický tvar rovnice vyjádřit ve formě diferencí takto:

$$\begin{aligned} y_{it} - y_{it-1} &= (x_{it} - x_{i,t-1})'\beta + \delta(y_{i,t-1} - y_{i,t-2}) + (\varepsilon_{it} - \varepsilon_{i,t-1}) \\ \Delta y_{it} &= \Delta x_{it}\beta + \delta\Delta y_{i,t-1} + \Delta\varepsilon_{it} = \gamma'W_{it} + \Delta\varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (14)$$

V případě dynamických modelů je mimo jiné třeba otestovat – výskyt autokorelace reziduí (pomocí Arellano-Bond testů), správnou specifikaci modelu (Sarganův test pro nadbytečnou identifikaci), významnost použitých regresorů (Waldův sdružený test) apod.

3.7.3. TESTY PRO VÝBĚR VHODNÉHO MODELU

Níže uvedené testy slouží k ověření, zda datový soubor vyhovuje spíše modelu fixních efektů či modelu náhodných efektů.

Breusch-Paganův test

Test je založen na reziduích získaných prostřednictvím metody nejmenších čtverců (e_{it}) (Fígllová, 2007, s. 14). Breusch-Paganův test se někdy také nazývá jako test Langrangeovými multiplikátory.

Testovací statistika založená na Lagrangeově multiplikátoru (LM) vypadá následovně (Greene, 2012):

$$LM = \frac{nT}{2(T-1)} \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{t=1}^T e_{it})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T e_{it}^2} - 1 \right)^2 \quad (15)$$

Testovací statistika LM má χ^2 rozdělení s jedním stupněm volnosti.

Testovaná hypotéza je ve tvaru:

$$H_0: \sigma_e^2 = 0$$

$$H_1: \sigma_e^2 \neq 0$$

Pokud je *p-hodnota* nižší než daná hladina významnosti ($\alpha = 0,05$), pak se nulová hypotéza (H_0) zamítá. V případě zamítnutí nulové hypotézy je vhodnější použít model s náhodnými efekty. V opačném případě, pokud je potvrzena nulová hypotéza (meziskupinový rozptyl komponent je roven nule) je vhodné použít model s fixními efekty.

Hausmanův test

Test slouží k testování spojitosti odhadů získaných metodou GLS (metoda zobecněných nejmenších čtverců).

Hausmanův test potvrzuje nulovou hypotézu (H_0) tak, že odhady metody zobecněných nejmenších čtverců jsou konzistentní. Tzn. individuální efekt je nekorelovaný s exogenními proměnnými pro veškeré jednotky po celou sledovanou periodu.

Testovaná hypotéza je pak ve tvaru:

$$H_0: E [c_i | X_i] = E (c_i) = 0$$

$$H_1: E [c_i | X_i] \neq E (c_i) = 0$$

Testovací statistika je založena na Waldovu kritériu a má rozdělení s ($K-1$) stupni volnosti:

$$W = [b - \hat{\beta}]' \hat{\psi}^{-1} [b - \hat{\beta}]$$
$$W \sim \chi^2 (K - 1) \tag{16}$$

Testovací statistiku Hausmanova testu lze uvést i v tomto tvaru (Hill, Griffiths, Lim, 2008):

$$t = \frac{b_{FE,k} - b_{RE,k}}{[\sigma(b_{FE,k})^2 - \sigma(b_{RE,k})^2]}, \quad (17)$$

kde

$b_{FE,k}$ = odhadnuté parametry modelu fixních efektů

$b_{RE,k}$ = odhadnuté parametry modelu náhodných efektů

$\sigma(b_{FE,k})^2$ = odhadnutý rozptyl modelu fixních efektů

$\sigma(b_{RE,k})^2$ = odhadnutý rozptyl modelu náhodných efektů

Pokud dojde k potvrzení nulové hypotézy (H_0) je vhodné použít model náhodných efektů, jedině tak bude model efektivní a konzistentní. V takovémto případě bude model náhodných efektů dosahovat menšího rozptylu než model fixních efektů. Avšak v případě zamítnutí nulové hypotézy nelze model náhodných efektů použít a je tedy třeba použít model fixních efektů. Odhadnutý rozptyl modelu náhodných efektů v tomto případě bude větší než rozptyl modelu fixních efektů.

4. EMPIRICKÁ ČÁST

4.1. GRAVITAČNÍ MODEL – případ České republiky

K analyzování hlavních determinant exportu a importu pomocí gravitačního modelu jsou vytvořeny panely vstupních dat. Panelová data jsou tvořena napojenými průřezovými daty, která se skládají z devíti průřezových jednotek a deseti časových období, tzn. z celkem 90 pozorování. Konkrétně se jedná o data devíti největších obchodních partnerů České republiky za období 2004 – 2013 (viz tabulka č. 3). Analyzován je zvláště export z České republiky do uvedených zemí a zvláště import z daných zemí do České republiky.

Tabulka č. 3: Seznam největších obchodních partnerů ČR za období 2004 – 2013

Export	Import
Německo	Německo
Slovensko	Čína
Polsko	Polsko
Francie	Slovensko
Rakousko	Rusko
Velká Británie	Itálie
Itálie	Francie
Nizozemsko	Rakousko
Rusko	Nizozemsko

Zdroj: vlastní zpracování

Pro gravitační model je sestaven jak základní tvar rovnice, tak i rozšířený tvar, tj. do modelu jsou přidány další proměnné. Parametry gravitačního modelu jsou odhadnuty pouze pro statický model.

Veškeré analýzy jsou provedeny pomocí statistického programu Gretl.

4.2. GRAVITAČNÍ MODEL EXPORTU

4.2.1. ZÁKLADNÍ GRAVITAČNÍ MODEL EXPORTU

Jak již bylo uvedeno v teoretické části této práce, v roce 1962 byl sestaven J. Tinbergenem základní tvar gravitační rovnice. Tento stejný základní tvar je použit k otestování gravitačního modelu exportu České republiky s jejími devíti největšími zahraničněobchodními partnery: Německem (*DE*), Slovenskem (*SK*), Polskem (*PL*), Francií (*FR*), Rakouskem (*AT*), Velkou Británií (*GB*), Itálií (*IT*), Nizozemskem (*NL*) a Ruskem (*RU*).

Do základního tvaru gravitačního modelu exportu jsou zahrnuty, jako dle J. Tinbergena, tyto exogenní proměnné: *hrubý domácí produkt země i* (HDP_{it}), *hrubý domácí produkt země j* (HDP_{jt}) a *geografická vzdálenost ze země i do země j* ($DIST_{ij}$). Proměnná *geografická vzdálenost* je měřena na základě vzdušné vzdálenosti hlavních měst daného páru zemí.

STATICKÝ ZÁKLADNÍ GRAVITAČNÍ MODEL

Analyzovaný základní tvar statického gravitačního modelu exportu je následující:

$$EXP_{ijt} = \beta_0 HDP_{it}^{\beta_1} HDP_{jt}^{\beta_2} DIST_{ij}^{\beta_3} e^{\varepsilon_{ijt}}, \quad (18)$$

kde značí

EXP_{ijt} = exporty země *i* do země *j* (*pozn. exporty z CZ do DE, SK, PL, FR, AT, GB, IT, NL, RU*)

β_0 = regresní konstanta

HDP_{it} = HDP České republiky

HDP_{jt} = HDP devíti obchodních partnerů České republiky (*tj. DE, SK, PL, FR, AT, GB, IT, NL, RU*)

$DIST_{ij}$ = vzdálenost mezi zeměmi *i* a *j* (*tzn. CZ – DE, CZ – SK, CZ – PL atd.*)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = regresní koeficienty

ε_{ijt} = reziduální složka ($\varepsilon_{ijt} \sim n. i. d. (0, \sigma^2)$)

Pokud je model lineární v parametrech, tak pro účely regresní analýzy je třeba tuto základní gravitační rovnici zlogaritmovat. Formulace této zlogaritmované rovnice vypadá následovně:

$$\ln EXP_{ijt} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln HDP_{it} + \beta_2 \ln HDP_{jt} + \beta_3 \ln DIST_{ij} + \varepsilon_{ijt} \quad (19)$$

Před odhadem samotných parametrů, je třeba nejdříve otestovat stacionaritu časových řad neboli přítomnost jednotkového kořene panelových dat.

K otestování stacionarity časových řad je využit Levin, Lin a Chu test (LLC test). Nulová hypotéza (H_0) LLC testu se zamítá na 1% hladině významnosti ($\alpha = 0,01$), tj. v případě p -hodnoty menší než 0,01. Zamítnutím nulové hypotézy není prokázána přítomnost jednotkových kořenů na 1% hladině významnosti.

P -hodnota u všech proměnných, v případě základního gravitačního modelu exportu, se limitně blíží nule, což je nižší než zvolená hladina významnosti 0,01. To umožňuje nulovou hypotézu (H_0) zamítnout, a tím jsou všechny proměnné shledány jako statisticky významné na 1% hladině významnosti. Zamítnutí H_0 tedy značí nepřítomnost jednotkových kořenů a v takovémto případě lze přejít k odhadu jednotlivých parametrů.

Nejprve je otestována přítomnost multikolinearity v modelu, a to pomocí korelační matice. Pokud je korelační koeficient libovolné dvojice exogenních proměnných větší než 0,8, je v modelu identifikována multikolinearita. Znamená to tedy, že jedna z dvojice exogenních proměnných, které jsou vzájemně silně závislé, je v modelu navíc a měla by být vyřazena z modelu. V případě korelační matice pro exogenní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} a $DIST_{ij}$) gravitačního modelu exportu ČR není multikolinearita identifikována, tedy všechny exogenní proměnné nejsou vzájemně korelované a lineárně závislé.

K odhadu parametrů základního tvaru statického gravitačního modelu exportu jsou využity tři metody: metoda sdružených nejmenších čtverců, model fixních efektů a model náhodných efektů.

Metoda sdružených nejmenších čtverců:

Základní statistiky odhadu parametrů statického základního gravitačního modelu exportu zjištěné pomocí metody sdružených nejmenších čtverců jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4: Základní statistiky odhadu statického základního gravitačního modelu exportu metodou sdružených nejmenších čtverců

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	4881,82	1,318	0,1912	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0351594	1,809	0,0740	*
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00649233	15,63	7,37 ⁻²⁷	***
<i>ln DIST_{ij}</i>	-15,7653	-18,72	4,36 ⁻³²	***
<i>R²</i>	0,639613			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,627041 = 62,7041 %			
<i>F-statistika</i>	50,87735 (<i>p-hodnota</i> < 5,25 ⁻¹⁹)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	0,883243			

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Hodnoty regresních koeficientů jsou tedy následující: $\beta_0 = 4881,82$, $\beta_1 = 0,0351594$, $\beta_2 = 0,00649233$ a $\beta_3 = -15,7653$.

Regresní odhad funkce metodou sdružených nejmenších čtverců je v tvaru:

$$\ln EXP_{ijt} = \ln 4881,82 + 0,0351594 * \ln HDP_{it} + 0,00649233 * \ln HDP_{jt} - 15,7653 * \ln DIST_{ij}$$

Samotný tvar základního gravitačního modelu exportu je poté následující:

$$EXP_{ijt} = 4881,82 * HDP_{it}^{0,0351594} * HDP_{jt}^{0,00649233} * DIST_{ij}^{-15,7653}$$

P-hodnota u dvou proměnných je menší než 0,05, což znamená, že je statisticky významný vztah mezi proměnnými, a to s 95% spolehlivostí. Tyto dvě proměnné (HDP_{jt} , $DIST_{ij}$) jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti. Zbylá proměnná HDP_{it} nabývá největší *p-hodnoty*, která je větší než zvolená hladina významnosti 0,05. Tuto proměnnou HDP_{it} je možné interpretovat jako statisticky významnou na 10% hladině významnosti.

Regresní koeficienty lze interpretovat jako pružnosti, tj. v jednocentních změnách. Podrobněji, parciální regresní koeficienty (β_1 , β_2 , β_3) udávají, o kolik procent se změní endogenní proměnná, jestliže se exogenní proměnná změní o jedno procento za podmínky *ceteris paribus*. Jestliže se *HDP České republiky* zvýší o 1 % a ostatní proměnné (*HDP obchodních partnerů ČR*, *geografická vzdálenost*) zůstanou konstantní, tak se *export České republiky* zvýší o 0,0351594 %. Pokud se *HDP obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 %, *HDP ČR* a *geografická vzdálenost* budou stále konstantní, tak se hodnota *exportu České republiky* navýší o 0,00649233 %. A pokud se poslední proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a zbylé dvě exogenní proměnné (*HDP ČR*, *HDP obchodních partnerů ČR*) zůstanou neměnné, tak se *export České republiky* sníží o 15,7653 %.

Závislost *exportu* na exogenních proměnných (HDP_{it} , HDP_{jt} , $DIST_{ij}$) je poměrně silná, jelikož koeficient determinace (R^2) činí 0,639613.

Adjustovaný koeficient determinace (R^2) vyjadřuje, že z 62,7041 % jsou změny *exportu* způsobeny změnami HDP_{it} , HDP_{jt} a změnami v $DIST_{ij}$. Ostatní faktory působí na *export* z 37,2959 %.

Durbin-Watsonova statistika se používá ke zjištění, zda existuje významná autokorelace reziduí. Pokud je Durbin-Watsonova statistika rovna 2, rezidua nevykazují žádnou autokorelaci. Pozitivní autokorelace je v případě, že hodnota této statistiky je menší než 2. A pokud je hodnota větší než 2, tak je v modelu detekována negativní autokorelace reziduí. V tomto případě Durbin-Watsonova statistika potvrzuje pozitivní autokorelaci reziduí, jelikož její hodnota je 0,883243, což je menší než 2.

Pomocí Whiteova testu se testuje přítomnost heteroskedasticity v modelu. Homoskedasticita znamená, že hodnoty endogenní proměnné mají pro všechny hodnoty exogenní proměnné konstantní rozptyl. Heteroskedasticita je opakem homoskedasticity. V případě gravitačního modelu exportu, nízká *p-hodnota* ukazuje na heteroskedasticitu

v modelu. *P-hodnota* je rovna 0,000, což je menší než hladina významnosti 0,05. To znamená, že nulovou hypotézu je tedy možné zamítnout na 5% hladině spolehlivosti, a to potvrzuje heteroskedasticitu v modelu.

Tato autokorelace reziduí, i heteroskedasticita, jsou ovšem typické pro gravitační modely, při použití panelových dat. Z tohoto důvodu jsou při odhadu využity robustní (*HAC*) směrodatné odchylky. Tato *HAC* (*Heteroscedasticity and Autocorrelation Consistent*) metoda nezmění odhadované hodnoty parametrů, ale umožní odstranit zkreslení testových statistik, pokud je přítomna v modelu heteroskedasticita či autokorelace reziduí.

Model fixních efektů:

K odhadu parametrů pomocí modelu fixních efektů jsou opět využity robustní (*HAC*) směrodatné odchylky. Základní statistiky odhadu jednotlivých parametrů statického základního gravitačního modelu exportu zjištěné pomocí modelu fixních efektů jsou shrnuty v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5: Základní statistiky odhadu statického základního gravitačního modelu exportu modelem fixních efektů

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	4929,92	1,362	0,1772	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0352126	1,818	0,0728	*
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00648062	15,50	1,56 ⁻²⁵	***
<i>ln DIST_{ij}</i>	-15,8206	-20,05	1,64 ⁻³²	***
<i>R²</i>	0,647901			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,643504 = 64,3504 %			
<i>F-statistika</i>	13,04808 (<i>p-hodnota</i> < 1,18 ⁻¹³)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	0,904126			

Pozn.: */**/** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Modelem pevných efektů jsou tedy zjištěny hodnoty regresních koeficientů $\beta_0 = 4929,92$, $\beta_1 = 0,0352126$, $\beta_2 = 0,00648062$ a $\beta_3 = -15,8206$.

Regresní odhad funkce modelem fixních efektů je následující:

$$\ln EXP_{ijt} = \ln 4929,92 + 0,0352126 * \ln HDP_{it} + 0,00648062 * \ln HDP_{jt} - 15,8206 * \ln DIST_{ij}$$

Tvar základního gravitačního modelu exportu vypadá následovně:

$$EXP_{ijt} = 4929,92 * HDP_{it}^{0,0352126} * HDP_{jt}^{0,00648062} * DIST_{ij}^{-15,8206}$$

Pokud je *p-hodnota* menší než 0,05, tak s 95% spolehlivostí je statisticky významný vztah mezi proměnnými. V tomto případě jsou jen dvě exogenní proměnné menší než zvolená hladina významnosti ($\alpha = 0,05$). Proto lze říci, že tyto dvě proměnné (HDP_{jt} , $DIST_{ij}$) jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti. *P-hodnoty* vyšší než je zvolená hladina významnosti 0,05 nabývá proměnná HDP_{it} , která je statisticky významná na 10% hladině významnosti.

Export České republiky se zvýší o 0,0352126 %, pokud se *hrubý domácí produkt ČR* zvýší o 1 % a zbylé proměnné (HDP_{jt} , $DIST_{ij}$) zůstanou neměnné, tzv. za podmínky *ceteris paribus*. Když se *hrubý domácí produkt obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 % a HDP_{it} i $DIST_{ij}$ zůstanou neměnné, tak se hodnota *exportu České republiky* zvýší o 0,00648062 %. A jestliže se poslední proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a ostatní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt}) zůstanou konstantní, *export České republiky* se pak sníží o 15,8206 %.

Závislost *exportu* na HDP_{it} , HDP_{jt} a $DIST_{ij}$ je o trochu silnější než v případě metody sdružených nejmenších čtverců. Koefficient determinace (R^2) dosahuje hodnoty 0,647901.

Dle adjustovaného koeficientu determinace (R^2) jsou změny *exportu* způsobeny změnami všech tří exogenních proměnných (HDP_{it} , HDP_{jt} , $DIST_{ij}$) z 64,3504 %. Zbylé faktory působí na *export* z 35,6496 %.

Hodnota Durbin-Watsonovy statistiky v případě modelu fixních efektů nabývá hodnoty 0,904126. Tato hodnota je sice vyšší než v případě metody sdružených nejmenších čtverců, přesto znovu potvrzuje pozitivní autokorelaci reziduí, je menší než 2.

Model náhodných efektů:

Modelem náhodných efektů jsou odhadnuty základní statistiky jednotlivých parametrů statického základního gravitačního modelu exportu, které jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6: Základní statistiky odhadu statického základního gravitačního modelu exportu modelem náhodných efektů

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	4881,82	1,224	0,2241	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0351594	1,764	0,0812	*
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00649233	9,664	2,20 ⁻¹⁵	***
<i>ln DIST_{ij}</i>	-15,7653	-9,127	2,71 ⁻¹⁴	***

Pozn.: */**/** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Modelem náhodných efektů jsou zjištěny následující hodnoty regresních koeficientů: $\beta_0 = 4881,82$, $\beta_1 = 0,0351594$, $\beta_2 = 0,00649233$ a $\beta_3 = -15,7653$.

Regresní odhad funkce modelem náhodných efektů je ve tvaru:

$$\ln EXP_{ijt} = \ln 4881,82 + 0,0351594 * \ln HDP_{it} + 0,00649233 * \ln HDP_{jt} - 15,7653 * \ln DIST_{ij}$$

Tvar základního gravitačního modelu exportu je následující:

$$EXP_{ijt} = 4881,82 * HDP_{it}^{0,0351594} * HDP_{jt}^{0,00649233} * DIST_{ij}^{-15,7653}$$

P-hodnota je opět u dvou exogenních proměnných (HDP_{jt} , $DIST_{ij}$) menší než 0,05, takže jsou obě proměnné statisticky významné na 1% hladině významnosti. Avšak proměnná HDP_{it} je statisticky významná na 10% hladině významnosti, jelikož *p-hodnota* této proměnné je větší než daná hladina významnosti 0,05.

Když se *HDP České republiky* zvýší o 1 % a proměnné HDP_{jt} a $DIST_{ij}$ budou konstantní, tzv. za podmínky *ceteris paribus*, tak se *export České republiky* zvýší o 0,0351594 %. Jestliže se *HDP obchodních partnerů České republiky* zvýší o 1 % a HDP_{it} i $DIST_{ij}$ zůstanou konstantní, tj. za podmínky *ceteris paribus*, tak se hodnota *exportu ČR* zvýší o 0,00649233 %. Nakonec pokud se proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a zbylé dvě proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt}) zůstanou konstantní, *export České republiky* se sníží o 15,7653 %.

Hausmanův test potvrdil nulovou hypotézu, že GLS (metoda zobecněných nejmenších čtverců) odhady jsou konzistentní, tzn. individuální efekt je nekorelovaný s exogenními proměnnými pro všechny jednotky po celé sledované období (2004 – 2013). Hausmanův test ukazuje, že $\chi^2 = 0,15626$ a *p-hodnota* = 0,984321. Tímto je tedy potvrzen model náhodných efektů jako vhodný model pro *export České republiky*.

4.2.2. ROZŠÍŘENÝ GRAVITAČNÍ MODEL EXPORTU

Základní tvar gravitačního modelu je možné rozšířit o další proměnné. Tento rozšířený tvar je použit k otestování gravitačního modelu exportu České republiky s jejími devíti největšími zahraničněobchodními partnery: Německem (*DE*), Slovenskem (*SK*), Polskem (*PL*), Francií (*FR*), Rakouskem (*AT*), Velkou Británií (*GB*), Itálií (*IT*), Nizozemskem (*NL*) a Ruskem (*RU*).

Základní tvar gravitačního modelu exportu obsahoval tyto exogenní proměnné: *hrubý domácí produkt země i* (HDP_{it}), *hrubý domácí produkt země j* (HDP_{jt}) a *geografická vzdálenost ze země i do země j* ($DIST_{ij}$). Proměnná *geografická vzdálenost* je ve skutečnosti vzdušná vzdálenost hlavních měst daného páru zemí. K těmto proměnným ze základního tvaru gravitačního modelu je do rozšířeného tvaru přidáno těchto pět proměnných: *počet obyvatel země i* (POP_{it}), *počet obyvatel země j* (POP_{jt}), *inflace země i* (INF_{it}), *inflace země j* (INF_{jt}) a *měnový kurz* (ER_{ijt}), který představuje počet jednotek měny *i*, za které lze nakoupit jednotku měny *j*. Obě proměnné inflace (INF_{it} , INF_{jt}) jsou měřeny pomocí indexu spotřebitelských cen. Hodnoty těchto proměnných jsou uvedeny jako průměrné roční míry inflace.

STATICKÝ ROZŠÍŘENÝ GRAVITAČNÍ MODEL

Rozšířený tvar statického gravitačního modelu exportu je následující:

$$EXP_{ijt} = \beta_0 HDP_{it}^{\beta_1} HDP_{jt}^{\beta_2} POP_{it}^{\beta_3} POP_{jt}^{\beta_4} INF_{it}^{\beta_5} INF_{jt}^{\beta_6} ER_{ijt}^{\beta_7} DIST_{ij}^{\beta_8} e^{\varepsilon_{ijt}}, \quad (20)$$

kde značí

EXP_{ijt} = exporty země i do země j (pozn. exporty z CZ do DE, SK, PL, FR, AT, GB, IT, NL, RU)

β_0 = regresní konstanta

HDP_{it} = HDP České republiky

HDP_{jt} = HDP devíti obchodních partnerů České republiky (tj. DE, SK, PL, FR, AT, GB, IT, NL, RU)

POP_{it} = počet obyvatel České republiky

POP_{jt} = počet obyvatel devíti obchodních partnerů České republiky (tj. DE, SK, PL, FR, AT, GB, IT, NL, RU)

INF_{it} = inflace České republiky (*index spotřebitelských cen*)

INF_{jt} = inflace devíti obchodních partnerů České republiky (*index spotřebitelských cen, pozn. inflace DE, SK, PL, FR, AT, GB, IT, NL, RU*)

ER_{ijt} = měnový kurz (počet jednotek české měny, za které lze nakoupit jednotku měny zahraniční, tzn. EUR/CZK, PLN/CZK, GBP/CZK atd.)

$DIST_{ij}$ = vzdálenost mezi zeměmi i a j (tzn. CZ – DE, CZ – SK, CZ – PL atd.)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$ = regresní koeficienty

ε_{ijt} = reziduální složka ($\varepsilon_{ijt} \sim n. i. d. (0, \sigma^2)$)

Pro regresní analýzu je třeba rozšířenou gravitační rovnici zlogaritmovat. Tvar zlogaritmované rovnice vypadá následovně:

$$\ln EXP_{ijt} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln HDP_{it} + \beta_2 \ln HDP_{jt} + \beta_3 \ln POP_{it} + \beta_4 \ln POP_{jt} + \beta_5 \ln INF_{it} + \beta_6 \ln INF_{jt} + \beta_7 \ln ER_{ijt} + \beta_8 \ln DIST_{ij} + \varepsilon_{ijt} \quad (21)$$

Před odhadem samotných parametrů, je stejně jako u základního tvaru gravitačního modelu nejdříve otestována stacionarita časových řad neboli tzv. přítomnost jednotkového kořene panelových dat.

K otestování stacionarity časových řad je také využit Levin, Lin a Chu test (LLC test). Nulová hypotéza (H_0) LLC testu se zamítá na 1% hladině významnosti, tj. pokud je p -hodnota menší než 0,01. U všech proměnných (EXP_{ijt} , HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{it} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ij}$) vyšla p -hodnota = 0,000, tedy nižší než hladina významnosti 0,01. Nulovou hypotézu (H_0) lze zamítnout na 1% hladině významnosti, a tím jsou všechny proměnné shledány jako statisticky významné na příslušné hladině významnosti. Zamítnutí H_0 značí nepřítomnost jednotkových kořenů a je tedy možné přejít rovnou k odhadu jednotlivých parametrů.

Nejdříve je opět otestována multikolinearita pomocí korelační matice. Multikolinearita v modelu je identifikována, jestliže je korelační koeficient libovolné dvojice exogenních proměnných větší než 0,8.

V případě rozšířeného tvaru gravitačního modelu exportu je identifikována multikolinearita ve dvojici proměnných HDP_{it} a POP_{it} . Korelační koeficient této dvojice proměnných nabývá hodnoty 0,8544, což znamená, že tyto proměnné jsou vzájemně silně závislé. Tyto proměnné stejným způsobem ovlivňují endogenní proměnnou, a je třeba jednu z nich vyřadit z modelu, aby neubírala na významnosti ostatních proměnných. V případě odhalení multikolinearity lze vyřadit z dvojice korelovaných exogenních proměnných tu proměnnou, která má slabší korelaci s endogenní proměnnou. Proměnná HDP_{it} má korelační koeficient s proměnnou EXP_{ijt} ve výši 0,5214. Korelační koeficient druhého páru proměnných POP_{it} s EXP_{ijt} nabývá hodnoty nižší, jen ve výši 0,2084, tudíž je vhodné vyřadit z modelu proměnnou POP_{it} .

U ostatních dvojic exogenních proměnných rozšířeného gravitačního modelu exportu ČR není multikolinearita identifikována, tedy ostatní exogenní proměnné nejsou vzájemně korelované a lineárně závislé.

Tvar rozšířené gravitační rovnice bude po vyřazení proměnné POP_{it} vypadat takto:

$$EXP_{ijt} = \beta_0 HDP_{it}^{\beta_1} HDP_{jt}^{\beta_2} POP_{jt}^{\beta_3} INF_{it}^{\beta_4} INF_{jt}^{\beta_5} ER_{ijt}^{\beta_6} DIST_{ij}^{\beta_7} e^{\varepsilon_{ijt}} \quad (22)$$

Pro účely regresní analýzy je třeba výše uvedený tvar gravitační rovnice zlogaritmovat. Logaritmická rovnice je poté ve tvaru:

$$\ln EXP_{ijt} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln HDP_{it} + \beta_2 \ln HDP_{jt} + \beta_3 \ln POP_{jt} + \beta_4 \ln INF_{it} + \beta_5 \ln INF_{jt} + \beta_6 \ln ER_{ijt} + \beta_7 \ln DIST_{ij} + \varepsilon_{ijt} \quad (23)$$

K odhadu parametrů rozšířeného tvaru statického gravitačního modelu exportu jsou opět využity tyto tři metody: metoda sdružených nejmenších čtverců, model fixních efektů a model náhodných efektů.

Metoda sdružených nejmenších čtverců:

Stejně jako v případě základního tvaru gravitačního modelu byly při odhadu využity robustní (*HAC*) směrodatné odchylky kvůli předpokládanému výskytu pozitivní autokorelace reziduí a heteroskedasticity. Využitím robustních směrodatných odchylek se nezmění odhadované hodnoty parametrů a navíc je umožněno odstranění zkreslených testových statistik.

Základní statistiky odhadu parametrů statického rozšířeného gravitačního modelu exportu zjištěné pomocí metody sdružených nejmenších čtverců jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Tabulka č. 7: Základní statistiky odhadu statického rozšířeného gravitačního modelu exportu metodou sdružených nejmenších čtverců

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	4191,45	1,398	0,1659	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0511669	4,831	6,24 ⁻⁶	***
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00366321	2,979	0,0038	***
<i>ln POP_{jt}</i>	225,971	6,325	1,26 ⁻⁸	***
<i>ln INF_{it}</i>	-362,398	-1,214	0,2283	
<i>ln INF_{jt}</i>	689,058	2,040	0,0446	**
<i>ln ER_{ijt}</i>	42,4672	0,6672	0,5065	
<i>ln DIST_{ij}</i>	-32,4758	-27,01	1,42 ⁻⁴²	***
<i>R²</i>	0,866917			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,855556 = 85,5556 %			
<i>F-statistika</i>	76,30820 (<i>p-hodnota</i> < 3,12 ⁻³³)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	1,284536			

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Metodou nejmenších čtverců jsou zjištěny hodnoty regresních koeficientů: $\beta_0 = 4191,45$, $\beta_1 = 0,0511669$, $\beta_2 = 0,00366321$, $\beta_3 = 225,971$, $\beta_4 = -362,398$, $\beta_5 = 689,058$, $\beta_6 = 42,4672$ a $\beta_7 = -32,4758$.

Regresní odhad funkce metodou sdružených nejmenších čtverců vypadá následovně:

$$\begin{aligned} \ln EXP_{ijt} = & \ln 4191,45 + 0,0511669 * \ln HDP_{it} + 0,00366321 * \ln HDP_{jt} \\ & + 225,971 * \ln POP_{jt} - 362,398 * \ln INF_{it} + 689,058 * \ln INF_{jt} \\ & + 42,4672 * \ln ER_{ijt} - 32,4758 * \ln DIST_{ij} \end{aligned}$$

Tvar rozšířeného gravitačního modelu exportu je poté ve tvaru:

$$EXP_{ijt} = 4191,45 * HDP_{it}^{0,0511669} * HDP_{jt}^{0,00366321} * POP_{jt}^{225,971} * INF_{it}^{-362,398} * INF_{jt}^{689,058} * ER_{ijt}^{42,4672} * DIST_{ij}^{-32,4758}$$

P-hodnota u některých proměnných je nižší než 0,05, což značí statisticky významný vztah mezi proměnnými, a to s 95% spolehlivostí. Výrazně nižší *p-hodnoty* nabývají proměnné HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} a $DIST_{ij}$. Tyto proměnné jsou tedy statisticky významné na 1% hladině významnosti. Tzn. statisticky významný vztah mezi danými proměnnými s 99% spolehlivostí. Proměnná INF_{jt} nabývá *p-hodnoty* 0,0446, což značí statistickou významnost proměnné na 5% hladině významnosti. *P-hodnoty* posledních dvou proměnných (INF_{it} , ER_{ijt}) dosahují vyšších hodnot než je daná hladina významnosti 0,05. Tyto proměnné jsou tedy statisticky nevýznamné a je možné je odstranit z modelu.

Parciální regresní koeficienty ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$) jsou vyjádřené prostřednictvím pružností. Konkrétně udávají, o kolik procent se změní endogenní proměnná, jestliže se exogenní proměnná změní o jedno procento za podmínky *ceteris paribus*. Pokud se tedy *HDP České republiky* zvýší o 1 % a ostatní proměnné (HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ij}$) zůstanou konstantní, tzv. za podmínky *ceteris paribus*, tak se *export České republiky* zvýší o 0,0511669 %. Když se *HDP obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 %, HDP_{it} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ij}$ budou stále konstantní, tak se *export České republiky* zvýší o 0,00366321 %. *Export České republiky* se zvýší o 225,971 %, jestliže se zvýší proměnná *počet obyvatel obchodních partnerů České republiky* o 1 % a zbylé exogenní proměnné zůstanou neměnné, tj. za podmínky *ceteris paribus*. Pokles *exportu ČR* o 362,398 % vyvolá jednocentní navýšení proměnné *inflace České republiky* za podmínky *ceteris paribus*. Pokud se proměnná *inflace obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 % a ostatní exogenní proměnné zůstanou neměnné, tak dojde k nárůstu *exportu České republiky* o 689,058 %. Když se proměnná *měnový kurz* zvýší o 1 % a zbylé exogenní proměnné zůstanou konstantní, pak se *export ČR* zvýší o 42,4672 %. Pokud se i poslední proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a zbylé proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt}) zůstanou neměnné, tak se *export České republiky* sníží o 32,4758 %.

Výše uvedené procentuální změny nejsou ve skutečnosti v souladu s logickými předpoklady, a to především u proměnných POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ij}$. Jednoprocentní změna jedné z těchto proměnných ve skutečnosti nemůže vyvolat tak velkou změnu *exportu* České republiky. Proto tento model je třeba brát s rezervou a zaměřit se spíše na výsledky základního tvaru gravitačního modelu exportu České republiky. Aby parametry tohoto rozšířeného tvaru gravitačního modelu vyšly reálnější, bylo by třeba data upravit, a to buď pomocí tempa růstu či první, příp. druhé diference.

Dále, závislost *exportu* na exogenních proměnných (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ij}$) je silná, protože koeficient determinace (R^2) nabývá hodnoty 0,866917.

Hodnota adjustovaného koeficientu determinace (R^2) znamená, že změny HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} a změny $DIST_{ij}$ způsobují změny *exportu* České republiky z 85,5556 %. Jiné faktory působí na *export* jen z 14,4444 %.

Ke zjištění přítomnosti autokorelace reziduí je využita Durbin-Watsonova statistika. Autokorelace náhodných složek (ε_{ijt}) v regresním modelu značí, že náhodné složky jsou navzájem závislé (existuje mezi nimi regresní vztah). Tak je porušen požadavek na kovarianční matici pro odhad regresních parametrů pomocí metody nejmenších čtverců. V případě rozšířeného gravitačního modelu exportu Durbin-Watsonova statistika nabývá hodnoty menší než 2, konkrétně 1,284536. Tato hodnota poukazuje na přítomnost pozitivní autokorelace reziduí.

Pomocí Whiteova testu je testována přítomnost heteroskedasticity v rozšířeném gravitačním modelu exportu. Heteroskedasticita znamená, že hodnoty endogenní proměnné nemají pro všechny hodnoty exogenní proměnné konstantní rozptyl. V případě rozšířeného gravitačního modelu exportu je *p-hodnota* velmi nízká (0,000273) a to poukazuje na heteroskedasticitu v modelu. *P-hodnota* je tedy menší než hladina významnosti 0,05, což znamená, že nulovou hypotézu (H_0) je možné zamítnout na 5% hladině spolehlivosti. Tím je potvrzena heteroskedasticita v modelu.

Jak autokorelace reziduí, tak i heteroskedasticita, jsou však typické pro gravitační modely, pokud jsou použita panelová data, jako je tomu v případě této diplomové práce.

Model fixních efektů:

Stejně jako při odhadu parametrů pomocí metody sdružených nejmenších čtverců, tak i pro odhad pomocí modelu fixních efektů jsou využity robustní (*HAC*) směrodatné odchylky. Takto zjištěné základní statistiky odhadu parametrů statického rozšířeného gravitačního modelu exportu jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tabulka č. 8: Základní statistiky odhadu statického rozšířeného gravitačního modelu exportu modelem fixních efektů

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	5607,69	1,653	0,1026	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0471238	3,884	0,0002	***
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00424955	3,058	0,0031	***
<i>ln POP_{jt}</i>	204,497	4,988	3,92 ⁻⁶	***
<i>ln INF_{it}</i>	-424,831	-1,344	0,1830	
<i>ln INF_{jt}</i>	847,485	2,299	0,0243	**
<i>ln ER_{ijt}</i>	6,06460	0,08217	0,9347	
<i>ln DIST_{ij}</i>	-32,3639	-26,53	1,52 ⁻³⁹	***
<i>R²</i>	0,874776			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,873212 = 87,3212 %			
<i>F-statistika</i>	34,46281 (<i>p-hodnota</i> < 2,74 ⁻²⁷)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	1,370652			

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Pomocí modelu fixních efektů jsou zjištěny tyto hodnoty regresních koeficientů: $\beta_0 = 5607,69$, $\beta_1 = 0,0471238$, $\beta_2 = 0,00424955$, $\beta_3 = 204,497$, $\beta_4 = -424,831$, $\beta_5 = 847,485$, $\beta_6 = 6,06460$ a $\beta_7 = -32,3639$.

Regresní odhad funkce modelem fixních efektů je ve tvaru:

$$\begin{aligned} \ln EXP_{ijt} = & \ln 5607,69 + 0,0471238 * \ln HDP_{it} + 0,00424955 * \ln HDP_{jt} \\ & + 204,497 * \ln POP_{jt} - 424,831 * \ln INF_{it} + 847,485 * \ln INF_{jt} \\ & + 6,06460 * \ln ER_{ijt} - 32,3639 * \ln DIST_{ij} \end{aligned}$$

Odlogaritmováním lze dostat samotný tvar rozšířeného gravitačního modelu exportu, který vypadá následovně:

$$\begin{aligned} EXP_{ijt} = & 5607,69 * HDP_{it}^{0,0471238} * HDP_{jt}^{0,00424955} * POP_{jt}^{204,497} * INF_{it}^{-424,831} \\ & * INF_{jt}^{847,485} * ER_{ijt}^{6,06460} * DIST_{ij}^{-32,3639} \end{aligned}$$

Jestliže je *p-hodnota* menší než 0,05, tak je s 95% spolehlivostí statisticky významný vztah mezi proměnnými. V tomto případě je *p-hodnota* pěti exogenních proměnných menší než zvolená hladina významnosti ($\alpha = 0,05$). Lze proto říci, že proměnné HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , $DIST_{ij}$ jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti a pátá proměnná (INF_{jt}) je statisticky významná na 5% hladině významnosti. Zbylé dvě proměnné (INF_{it} , ER_{ijt}) nabývají *p-hodnoty* větší než daná hladina významnosti 0,05 a proto jsou statisticky nevýznamné a lze je vyřadit z modelu.

*Export České republiky se zvýší o 0,0471238 %, pokud se HDP České republiky zvýší o 1 % a zbylé proměnné (HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ij}$) zůstanou neměnné, tzv. za podmínky *ceteris paribus*. Když se HDP obchodních partnerů ČR zvýší o 1 % a HDP_{it} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} i $DIST_{ij}$ zůstanou neměnné, tak se hodnota exportu České republiky zvýší o 0,00424955. Pokud se proměnná počet obyvatel obchodních partnerů ČR zvýší o 1 % a ostatní exogenní proměnné zůstanou neměnné, tak dojde k nárůstu exportu České republiky o 204,497 %. Jestliže se proměnná inflace ČR zvýší o 1 % a zbylé exogenní proměnné zůstanou neměnné, tj. za podmínky *ceteris paribus*, tak se export České republiky sníží o 424,831 %. Když se proměnná inflace obchodních partnerů ČR zvýší o 1 % a ostatní exogenní proměnné zůstanou neměnné, export České republiky se zvýší o 847,485 %. Pokud se proměnná měnový kurz zvýší o 1 % a zbylé exogenní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , $DIST_{ij}$) zůstanou*

neměnné, tak se *export* ČR zvýší o 6,06460 %. Pokles *exportu* České republiky o 32,3639 % vyvolá jednoprocenní navýšení poslední proměnné *geografická vzdálenost* za podmínky *ceteris paribus*.

I v případě modelu fixních efektů vyšly procentuální změny příliš veliké, a to především u proměnných POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ij}$. Proto je třeba tyto procentuální změny brát s rezervou, nelze je totiž ve skutečnosti uplatnit. Data by se však dala upravit pomocí tempa růstu či první, popř. druhou diferencí, tak by bylo docíleno reálnějších výsledků.

Závislost *exportu* na HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ij}$ je silnější než v případě metody sdružených nejmenších čtverců. Koeficient determinace (R^2) dosahuje hodnoty 0,874776.

Adjustovaný koeficient determinace (R^2) vyjadřuje, že jsou změny *exportu* způsobeny změnami všech sedmi exogenními proměnnými (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ij}$) z 87,3212 %. Zbylé faktory působí na *export* pouze z 12,6788 %.

I přesto že v modelu fixních efektů Durbin-Watsonova statistika nabývá vyšší hodnoty než je tomu v metodě sdružených nejmenších čtverců, tak je znovu potvrzena pozitivní autokorelace reziduí. Durbin-Watsonova statistika v modelu fixních efektů dosahuje hodnoty 1,370652.

Model náhodných efektů:

Základní statistiky odhadu parametrů statického rozšířeného gravitačního modelu *exportu* zjištěné pomocí modelu náhodných efektů jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka č. 9: Základní statistiky odhadu statického rozšířeného gravitačního modelu exportu modelem náhodných efektů

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	4191,45	0,8857	0,3784	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0511669	3,053	0,0030	***
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00366321	2,470	0,0156	**
<i>ln POP_{jt}</i>	225,971	4,122	8,94 ⁻⁵	***
<i>ln INF_{it}</i>	-362,398	-1,029	0,3065	
<i>ln INF_{jt}</i>	689,058	1,797	0,0761	*
<i>ln ER_{ijt}</i>	42,4672	0,3908	0,6969	
<i>ln DIST_{ij}</i>	-32,4758	-16,25	2,29 ⁻²⁷	***

Pozn.: ***/**/* signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Modelem náhodných efektů jsou zjištěny následující hodnoty regresních koeficientů: $\beta_0 = 4191,45$, $\beta_1 = 0,0511669$, $\beta_2 = 0,00366321$, $\beta_3 = 225,971$, $\beta_4 = -362,398$, $\beta_5 = 689,058$, $\beta_6 = 42,4672$ a $\beta_7 = -32,4758$.

Regresní odhad funkce modelem náhodných efektů vypadá následovně:

$$\begin{aligned} \ln EXP_{ijt} = & \ln 4191,45 + 0,0511669 * \ln HDP_{it} + 0,00366321 * \ln HDP_{jt} \\ & + 225,971 * \ln POP_{jt} - 362,398 * \ln INF_{it} + 689,058 * \ln INF_{jt} \\ & + 42,4672 * \ln ER_{ijt} - 32,4758 * \ln DIST_{ij} \end{aligned}$$

Odlogaritmovaný tvar rozšířeného gravitačního modelu exportu je poté ve tvaru:

$$\begin{aligned} EXP_{ijt} = & 4191,45 * HDP_{it}^{0,0511669} * HDP_{jt}^{0,00366321} * POP_{jt}^{225,971} * INF_{it}^{-362,398} \\ & * INF_{jt}^{689,058} * ER_{ijt}^{42,4672} * DIST_{ij}^{-32,4758} \end{aligned}$$

V případě modelu náhodných efektů je *p-hodnota* menší než hladina významnosti 0,05 u těchto exogenních proměnných: HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} a $DIST_{ij}$. Proměnné HDP_{it} , POP_{jt} a $DIST_{ij}$ jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti. Proměnná HDP_{jt} je

statisticky významná na 5% významnosti. *P-hodnoty* zbylých proměnných (INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt}) dosahují hodnoty vyšší než je daná hladina významnosti 0,05. Konkrétně proměnná INF_{jt} nabývá hodnoty 0,0761, takže je statisticky významná jen na 10% hladině významnosti. U zbylých dvou proměnných (INF_{it} , ER_{ijt}) je *p-hodnota* ještě větší než *p-hodnota* proměnné INF_{jt} . Obě tyto proměnné (INF_{it} , ER_{ijt}) tedy nejsou statisticky významné a je možné je odstranit z modelu.

Pokud se *HDP České republiky* zvýší o 1 % a proměnné HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ij}$ budou konstantní, tj. za podmínky *ceteris paribus*, tak se *export České republiky* zvýší o 0,0511669 %. Jestliže se *HDP obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 % a HDP_{it} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} i $DIST_{ij}$ zůstanou konstantní, tzv. za podmínky *ceteris paribus*, tak se hodnota *exportu ČR* zvýší o 0,00366321 %. Když se zvýší proměnná *počet obyvatel obchodních partnerů ČR* o 1 % a ostatní exogenní proměnné zůstanou neměnné, tzv. za podmínky *ceteris paribus*, pak se *export České republiky* zvýší o 225,971 %. Nárůst proměnné *inflace ČR* o 1 % za podmínky *ceteris paribus*, vyvolá pokles *exportu České republiky* o 362,398 %. Když se proměnná *inflace obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 % a ostatní exogenní proměnné zůstanou neměnné, *export České republiky* se zvýší o 689,058 %. Jednoprocentní nárůst proměnné *měnový kurz* za podmínky *ceteris paribus*, zvýší hodnotu *exportu České republiky* o 42,4672 %. Nakonec pokud se proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a zbylé proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt}) zůstanou konstantní, *export ČR* se sníží o 32,4758 %.

I v případě modelu náhodných efektů vyšly procentuální změny příliš vysoké a nejsou tak v souladu s logickými předpoklady. 1% změna proměnných POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ij}$ nemůže ve skutečnosti vyvolat tak velkou změnu *exportu ČR*. Pro vhodnější výsledky by bylo třeba data upravit první, příp. druhou diferencí nebo pomocí tempa růstu.

Hausmanův test i v rozšířeném tvaru gravitačního modelu exportu potvrdil nulovou hypotézu (H_0), takže odhady metody zobecněných nejmenších čtverců (GLS) jsou konzistentní. Individuální efekt je nekorelovaný s exogenními proměnnými pro všechny jednotky po celé sledované desetileté období. Hodnoty Hausmanova testu jsou $\chi^2 = 3,03645$ a *p-hodnota* = 0,88161. Tím je potvrzen model náhodných efektů jako vhodný model pro *export České republiky*.

4.3. GRAVITAČNÍ MODEL IMPORTU

4.3.1. ZÁKLADNÍ GRAVITAČNÍ MODEL IMPORTU

Základní tvar gravitačního modelu importu České republiky je otestován s devíti největšími zahraničněobchodními partnery České republiky: Německem (*DE*), Čínou (*CN*), Polskem (*PL*), Slovenskem (*SK*), Ruskem (*RU*), Itálií (*IT*), Francií (*FR*), Rakouskem (*AT*) a Nizozemskem (*NL*).

Exogenními proměnnými v základním tvaru gravitačního modelu importu jsou: hrubý domácí produkt země *i* (HDP_{it}), hrubý domácí produkt země *j* (HDP_{jt}) a geografická vzdálenost ze země *j* do země *i* ($DIST_{ji}$). Geografická vzdálenost, jako u ostatních gravitačních modelů v této práci, je měřena na základě vzdušné vzdálenosti hlavních měst daného páru zemí.

STATICKÝ ZÁKLADNÍ GRAVITAČNÍ MODEL

Základní tvar statického gravitačního modelu importu vypadá následovně:

$$IMP_{jit} = \beta_0 HDP_{it}^{\beta_1} HDP_{jt}^{\beta_2} DIST_{ji}^{\beta_3} e^{\varepsilon_{jit}}, \quad (24)$$

kde značí

IMP_{jit} = importy ze země *j* do země *i* (pozn. importy z *DE*, *CN*, *PL*, *SK*, *RU*, *IT*, *FR*, *AT*, *NL* do *CZ*)

β_0 = regresní konstanta

HDP_{it} = HDP České republiky

HDP_{jt} = HDP devíti obchodních partnerů České republiky (tj. *DE*, *CN*, *PL*, *SK*, *RU*, *IT*, *FR*, *AT*, *NL*)

$DIST_{ji}$ = vzdálenost mezi zeměmi *j* a *i* (tzn. *DE* – *CZ*, *CN* – *CZ*, *PL* – *CZ* atd.)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = regresní koeficienty

ε_{jit} = reziduální složka ($\varepsilon_{jit} \sim n. i. d. (0, \sigma^2)$)

Logaritmický tvar základní gravitační rovnice importu České republiky je ve tvaru:

$$\ln IMP_{jit} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln HDP_{it} + \beta_2 \ln HDP_{jt} + \beta_3 \ln DIST_{ji} + \varepsilon_{jit} \quad (25)$$

Nejdříve je opět třeba otestovat stacionaritu časových řad. Nulová hypotéza (H_0) Levin, Lin a Chu testu (LLC test) se zamítá v případě p -hodnoty menší než 0,01, tzn. na hladině významnosti 1 %. U všech proměnných vyšla p -hodnota = 0,000, což je menší než daná hladina významnosti 0,01. Tím dochází k zamítnutí nulové hypotézy (H_0) a všechny proměnné (endogenní i exogenní) jsou tak shledány jako statisticky významné na 1% hladině významnosti. Zamítnutím H_0 je potvrzena stacionarita časových řad neboli nepřítomnost jednotkových kořenů a lze tedy přejít rovnou k odhadu jednotlivých parametrů.

Multikolinearita v modelu je otestována pomocí korelační matice. Ani jeden korelační koeficient dvojice exogenních proměnných (HDP_{it} , HDP_{jt} a $DIST_{ji}$) gravitačního modelu importu není větší než 0,8, takže není v modelu identifikována multikolinearita. Tzn., všechny exogenní proměnné jsou vzájemně nekorelované a nejsou lineárně závislé.

Odhad parametrů základního tvaru statického gravitačního modelu importu je opět proveden pomocí třech metod: metody sdružených nejmenších čtverců, modelu fixních efektů a modelu náhodných efektů.

Metoda sdružených nejmenších čtverců:

Zjištěné základní statistiky odhadu parametrů statického základního gravitačního modelu importu pomocí metody sdružených nejmenších čtverců jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka č. 10: Základní statistiky odhadu statického základního gravitačního modelu importu metodou sdružených nejmenších čtverců

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	1701,49	0,4315	0,6672	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0143858	0,7586	0,4501	
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00423288	7,388	8,98 ⁻¹¹	***
<i>ln DIST_{ji}</i>	-2,17263	-6,024	4,10 ⁻⁸	***
<i>R²</i>	0,440957			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,421456 = 42,1456 %			
<i>F-statistika</i>	22,61145 (<i>p-hodnota</i> < 6,94 ⁻¹¹)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	0,985655			

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Metodou nejmenších čtverců jsou zjištěny tyto hodnoty regresních koeficientů: $\beta_0 = 1701,49$, $\beta_1 = 0,0143858$, $\beta_2 = 0,00423288$ a $\beta_3 = -2,17263$.

Regresní odhad funkce metodou sdružených nejmenších čtverců je v tvaru:

$$\ln IMP_{jit} = \ln 1701,49 + 0,0143858 * \ln HDP_{it} + 0,00423288 * \ln HDP_{jt} - 2,17263 * \ln DIST_{ji}$$

Tvar základního gravitačního modelu importu vypadá následovně:

$$IMP_{jit} = 1701,49 * HDP_{it}^{0,0143858} * HDP_{jt}^{0,00423288} * DIST_{ji}^{-2,17263}$$

Když je *p-hodnota* menší než 0,05, tak existuje statisticky významný vztah mezi proměnnými, a to s 95% spolehlivostí. Ale jelikož *p-hodnota* proměnné HDP_{it} je dost vysoká oproti zvolené hladině významnosti 0,05 (*p-hodnota* $HDP_{it} = 0,4501$), není proto tato proměnná statisticky významná na 5% hladině významnosti a lze ji vyřadit z modelu. Zbylé dvě proměnné (HDP_{jt} , $DIST_{ji}$) jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti.

Regresní koeficienty jsou interpretovány jako jednoprocenní změny, tzv. pružnosti. Pokud se *hrubý domácí produkt České republiky* zvýší o 1 % a zbylé dvě proměnné (HDP_{jt} , $DIST_{ji}$) zůstanou konstantní, pak se *import* zvýší o 0,0143858 %. Jestliže se *hrubý domácí produkt obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 % a HDP_{it} i $DIST_{ji}$ budou konstantní, pak se *import* České republiky zvýší o 0,00423288 %. Když se proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a zbylé exogenní proměnné zůstanou neměnné, pak se *import* sníží o 2,17263 %.

Koeficient determinace (R^2) je 0,440957. Tato hodnota udává středně silnou závislost *importu* České republiky na HDP_{it} , HDP_{jt} a $DIST_{ji}$.

Adjustovaný koeficient determinace vyjadřuje, že pouze ze 42,1456 % jsou změny v *importu* způsobeny změnami HDP_{it} , HDP_{jt} a změnami $DIST_{ji}$. A z 57,8544 % ovlivňují *import* ostatní faktory.

Durbin-Watsonova statistika opět potvrzuje pozitivní autokorelaci reziduí, protože její hodnota je opět menší než 2. Durbin-Watsonova statistika nabývá hodnoty 0,985655.

P-hodnota u Whiteova testu je pouze ve výši 0,000. To poukazuje na heteroskedasticitu v modelu, jelikož je hodnota Whiteova testu nižší než daná hladina významnosti 0,05. Tím je možné nulovou hypotézu zamítnout na 5 % hladině spolehlivosti.

Kvůli autokorelaci reziduí a heteroskedasticitě jsou při odhadu využity robustní (*HAC*) směrodatné odchylky.

Model fixních efektů:

K odhadu parametrů pomocí modelu fixních efektů jsou opět využity robustní (*HAC*) směrodatné odchylky. Základní statistiky odhadu parametrů statického základního gravitačního modelu importu zjištěné pomocí modelu fixních efektů jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Tabulka č. 11: Základní statistiky odhadu statického základního gravitačního modelu importu modelem fixních efektů

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	1691,11	0,4290	0,6691	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0142531	0,7552	0,4524	
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00424667	7,220	3,00 ⁻¹⁰	***
<i>ln DIST_{ji}</i>	-2,16530	-5,897	9,00 ⁻⁸	***
<i>R²</i>	0,444718			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,436185 = 43,6185 %			
<i>F-statistika</i>	5,679011 (<i>p-hodnota</i> < 1,23 ⁻⁶)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	1,001586			

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Pomocí modelu fixních efektů jsou zjištěny hodnoty regresních koeficientů $\beta_0 = 1691,11$, $\beta_1 = 0,0142531$, $\beta_2 = 0,00424667$ a $\beta_3 = -2,16530$.

Regresní odhad funkce modelem fixních efektů je následující:

$$\ln IMP_{jit} = \ln 1691,11 + 0,0142531 * \ln HDP_{it} + 0,00424667 * \ln HDP_{jt} - 2,16530 * \ln DIST_{ji}$$

Samotný tvar základního gravitačního modelu exportu je poté následující:

$$IMP_{jit} = 1691,11 * HDP_{it}^{0,0142531} * HDP_{jt}^{0,00424667} * DIST_{ji}^{-2,16530}$$

Pokud je *p-hodnota* menší než 0,05, tak je statisticky významný vztah mezi proměnnými, a to s 95% spolehlivostí. Proměnné (*HDP_{jt}*, *DIST_{ji}*) jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti. Proměnná *HDP_{it}* nabývá *p-hodnoty* větší než hladina významnosti 0,05, proto je možné ji shledat jako statisticky nevýznamnou na 5% hladině významnosti a lze ji odstranit z modelu. *P-hodnota* této proměnné je 0,4524.

Jestliže se *HDP České republiky* zvýší o 1 % a proměnné HDP_{jt} i $DIST_{ji}$ zůstanou konstantní, tzv. za podmínky *ceteris paribus*, pak se *import* ČR zvýší o 0,0142531 %. A když se *HDP obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 %, HDP_{it} i $DIST_{ji}$ zůstanou konstantní, tzv. za podmínky *ceteris paribus*, tak se hodnota *importu* ČR zvýší o 0,00424667 %. Pokud se i poslední proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 %, ostatní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt}) zůstanou konstantní, tak se *import* ČR sníží o 2,16530 %.

Závislost *importu* na exogenních proměnných (HDP_{it} , HDP_{jt} , $DIST_{ji}$) je v tomto případě o trochu silnější, než tomu je u metody sdružených nejmenších čtverců. Koeficient determinace (R^2) nabývá hodnoty 0,444718. Tzn. středně silnou závislost *importu* ČR na daných exogenních proměnných.

Adjustovaný koeficient determinace udává, že změny *importu* jsou způsobeny změnami HDP_{it} , HDP_{jt} a změnami $DIST_{ji}$ ze 43,6185 %. Ostatní faktory působí na *import* z 56,3815 %.

Opět Durbin-Watsonova statistika dosahuje v modelu fixních efektů vyšší hodnoty než v metodě sdružených nejmenších čtverců. Přesto zde existuje pozitivní autokorelace reziduí, jelikož její hodnota dosahuje výše 1,001586, což je menší než 2.

Model náhodných efektů:

Pomocí modelu náhodných efektů jsou odhadnuty základní statistiky jednotlivých parametrů statického základního gravitačního modelu importu, které jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tabulka č. 12: Základní statistiky odhadu statického základního gravitačního modelu importu modelem náhodných efektů

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	1701,49	0,4581	0,6480	
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0143858	0,7295	0,4677	
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00423288	7,701	2,12 ⁻¹¹	***
<i>ln DIST_{ji}</i>	-2,17263	-4,940	3,80 ⁻⁶	***

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Prostřednictvím modelu náhodných efektů jsou zjištěny hodnoty těchto regresních koeficientů: $\beta_0 = 1701,49$, $\beta_1 = 0,0143858$, $\beta_2 = 0,00423288$ a $\beta_3 = -2,17263$.

Regresní odhad funkce importu ČR modelem náhodných efektů je ve tvaru:

$$\ln IMP_{jit} = \ln 1701,49 + 0,0143858 * \ln HDP_{it} + 0,00423288 * \ln HDP_{jt} - 2,17263 * \ln DIST_{ji}$$

Tvar základního gravitačního modelu exportu je následující:

$$IMP_{jit} = 1701,49 * HDP_{it}^{0,0143858} * HDP_{jt}^{0,00423288} * DIST_{ji}^{-2,17263}$$

I v tomto případě, pokud je *p-hodnota* proměnných menší než 0,05 tak je statisticky významný vztah mezi proměnnými, a to s 95% spolehlivostí. Avšak hodnota proměnné HDP_{it} je větší než daná hladina významnosti 0,05, proto není statisticky významná na 5% hladině významnosti a je možné ji vyřadit z modelu. Ostatní proměnné (HDP_{jt} , $DIST_{ji}$) jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti.

Import České republiky se zvýší o 0,0143858 %, jestliže se *HDP České republiky* zvýší o 1 % a proměnné HDP_{jt} , $DIST_{ji}$ budou konstantní, tj. za podmínky *ceteris paribus*. Pokud se *HDP obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 % a zbylé dvě proměnné (HDP_{it} , $DIST_{ji}$) zůstanou neměnné, pak se hodnota *importu České republiky* zvýší o 0,00423288 %. A když se proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a ostatní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt}) se nezmění, *import České republiky* se sníží o 2,17263 %.

Hausmanův test potvrdil nulovou hypotézu (H_0) tím, že GLS odhady jsou konzistentní, tj. individuální efekt je nekorelovaný s exogenními proměnnými pro všechny jednotky po celé desetileté období (2004 – 2013). Hodnoty Hausmanova testu jsou: $\chi^2 = 0,220366$ a *p-hodnota* = 0,974236. Vhodným modelem pro *import České republiky* je tedy model náhodných efektů.

4.3.2. ROZŠÍŘENÝ GRAVITAČNÍ MODEL IMPORTU

Rozšířený tvar je použit k analyzování gravitačního modelu importu České republiky s jejími devíti největšími zahraničněobchodními partnery: Německem (*DE*), Čínou (*CN*), Polskem (*PL*), Slovenskem (*SK*), Ruskem (*RU*), Itálií (*IT*), Francií (*FR*), Rakouskem (*AT*) a Nizozemskem (*NL*).

Rozšířený tvar gravitačního modelu importu je sestaven z osmi exogenních proměnných, jakými jsou: *hrubý domácí produkt země i* (HDP_{it}), *hrubý domácí produkt země j* (HDP_{jt}), *počet obyvatel země i* (POP_{it}), *počet obyvatel země j* (POP_{jt}), *inflace země i* (INF_{it}), *inflace země j* (INF_{jt}), *měnový kurz* (ER_{ijt}) a *geografická vzdálenost ze země j do země i* ($DIST_{ji}$). Proměnná *geografická vzdálenost* je měřena jako vzdušná vzdálenost hlavních měst daného páru zemí. Proměnné inflace (INF_{it} , INF_{jt}) jsou měřeny pomocí indexu spotřebitelských cen. Hodnoty těchto proměnných jsou uvedeny jako průměrné roční míry inflace.

STATICÝ ROZŠÍŘENÝ GRAVITAČNÍ MODEL

Rozšířený tvar statického gravitačního modelu importu vypadá následovně:

$$IMP_{jit} = \beta_0 HDP_{it}^{\beta_1} HDP_{jt}^{\beta_2} POP_{it}^{\beta_3} POP_{jt}^{\beta_4} INF_{it}^{\beta_5} INF_{jt}^{\beta_6} ER_{ijt}^{\beta_7} DIST_{ji}^{\beta_8} e^{\varepsilon_{jit}}, \quad (26)$$

kde značí

IMP_{jit} = importy ze země *j* do země *i* (pozn. importy z *DE*, *CN*, *PL*, *SK*, *RU*, *IT*, *FR*, *AT*, *NL* do *CZ*)

β_0 = regresní konstanta

HDP_{it} = HDP České republiky

HDP_{jt} = HDP devíti obchodních partnerů České republiky (tj. *DE*, *CN*, *PL*, *SK*, *RU*, *IT*, *FR*, *AT*, *NL*)

POP_{it} = počet obyvatel České republiky

POP_{jt} = počet obyvatel devíti obchodních partnerů České republiky (tj. *DE*, *CN*, *PL*, *SK*, *RU*, *IT*, *FR*, *AT*, *NL*)

INF_{it} = inflace České republiky (*index spotřebitelských cen*)

INF_{jt} = inflace devíti obchodních partnerů České republiky (*index spotřebitelských cen, pozn. inflace DE, CN, PL, SK, RU, IT, FR, AT, NL*)

ER_{ijt} = měnový kurz (počet jednotek české měny, za které lze nakoupit jednotku měny zahraniční, tzn. *EUR/CZK, CNY/CZK, PLN/CZK atd.*)

$DIST_{ji}$ = vzdálenost mezi zeměmi j a i (tzn. *DE – CZ, CN – CZ, PL – CZ atd.*)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$ = regresní koeficienty

ε_{jit} = reziduální složka ($\varepsilon_{jit} \sim n. i. d. (0, \sigma^2)$)

Zlogaritmovaná rovnice pro účely regresní analýzy je ve tvaru:

$$\ln IMP_{jit} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln HDP_{it} + \beta_2 \ln HDP_{jt} + \beta_3 \ln POP_{it} + \beta_4 \ln POP_{jt} + \beta_5 \ln INF_{it} + \beta_6 \ln INF_{jt} + \beta_7 \ln ER_{ijt} + \beta_8 \ln DIST_{ji} + \varepsilon_{jit} \quad (27)$$

Před odhadem jednotlivých parametrů je opět nejdříve otestována stacionarita časových řad neboli tzv. přítomnost jednotkového kořene panelových dat.

Stacionarita časových řad je otestována pomocí Levin, Lin a Chu testu (LLC test). Podstatou testu je, že pokud *p-hodnota* je menší než 0,01, tak se nulová hypotéza (H_0) zamítá na 1% hladině významnosti. *P-hodnota* všech proměnných (IMP_{jit} , HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{it} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$) vyšla limitně blízká nule, tím se zamítá nulová hypotéza (H_0) a všechny proměnné jsou shledány jako statisticky významné na 1% hladině významnosti. Po zamítnutí H_0 , což znamená nepřítomnost jednotkových kořenů, je možné přejít k odhadu jednotlivých parametrů.

K otestování přítomnosti multikolinearity v modelu je využita korelační matice. Multikolinearita v modelu je identifikována, pokud korelační koeficient libovolné dvojice exogenních proměnných nabývá hodnoty větší než 0,8.

Stejně jako v případě rozšířeného gravitačního modelu exportu České republiky, tak i v případě rozšířeného tvaru gravitačního modelu importu je identifikována multikolinearita ve dvojici proměnných HDP_{it} a POP_{it} . Korelační koeficient této dvojice proměnných nabývá opět hodnoty 0,8544. To znamená, že tyto proměnné jsou vzájemně silně závislé, a je třeba jednu z nich vyřadit z modelu, aby neubírala na významnosti ostatních proměnných. V tomto případě lze vyřadit z modelu tu exogenní proměnnou, která

má slabší korelaci s endogenní proměnnou. Korelační koeficient proměnných HDP_{it} a IMP_{jit} je ve výši 0,5214. Kdežto korelační koeficient POP_{it} a IMP_{jit} nabývá hodnoty pouze 0,2084, tudíž je vhodné vyřadit z modelu proměnnou POP_{it} .

U zbylých dvojic exogenních proměnných (HDP_{jt} , POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$) gravitačního modelu importu ČR není multikolinearita identifikována, tedy ostatní exogenní proměnné nejsou vzájemně korelované a lineárně závislé.

Po vyřazení proměnné POP_{it} vypadá tvar rozšířené gravitační rovnice importu takto:

$$IMP_{jit} = \beta_0 HDP_{it}^{\beta_1} HDP_{jt}^{\beta_2} POP_{jt}^{\beta_3} INF_{it}^{\beta_4} INF_{jt}^{\beta_5} ER_{ijt}^{\beta_6} DIST_{ji}^{\beta_7} e^{\varepsilon_{jit}} \quad (28)$$

Pro účely regresní analýzy je zlogaritmovaný tvar rozšířené gravitační rovnice importu ve tvaru:

$$\ln IMP_{jit} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln HDP_{it} + \beta_2 \ln HDP_{jt} + \beta_3 \ln POP_{jt} + \beta_4 \ln INF_{it} + \beta_5 \ln INF_{jt} + \beta_6 \ln ER_{ijt} + \beta_7 \ln DIST_{ji} + \varepsilon_{jit} \quad (29)$$

Stejně jako u předešlých modelů, tak i v případě rozšířeného tvaru statického gravitačního modelu importu jsou k odhadu parametrů využity tyto tři metody: metoda sdružených nejmenších čtverců, model fixních efektů a model náhodných efektů.

Metoda sdružených nejmenších čtverců:

Pro odhad parametrů metodou sdružených nejmenších čtverců jsou opět využity robustní (*HAC*) směrodatné odchylky kvůli předpokládanému výskytu pozitivní autokorelace reziduí a heteroskedasticity. Využitím robustních směrodatných odchylek se odstraní zkreslené testové statistiky a zároveň se nezmění odhadované hodnoty parametrů.

Základní statistiky odhadu parametrů statického rozšířeného gravitačního modelu importu zjištěné pomocí metody sdružených nejmenších čtverců jsou uvedeny v příloze č. 1. Regresní koeficienty u proměnných INF_{it} a INF_{jt} však nesplňují předpoklad

působení. Konkrétně, pokud se proměnná INF_{it} zvýší o 1 % za podmínky *ceteris paribus*, tak se *import* České republiky sníží o 84,5545 %. Předpoklad působení je však opačný, tj. pokud se proměnná INF_{it} zvýší o 1 % za podmínky *ceteris paribus*, tak by mělo dojít k nárůstu *importu* České republiky. To samé platí i pro druhou proměnnou INF_{jt} . Předpoklad působení u proměnné INF_{jt} je záporný, avšak v případě takto sestavené gravitační rovnice je působení na *import* ČR kladné.

Z tohoto důvodu je třeba tyto dvě proměnné z modelu vyřadit a sestavit tak nový rozšířený gravitační model importu, který bude ve tvaru:

$$IMP_{jit} = \beta_0 HDP_{it}^{\beta_1} HDP_{jt}^{\beta_2} POP_{jt}^{\beta_3} ER_{ijt}^{\beta_4} DIST_{ji}^{\beta_5} e^{\varepsilon_{jit}} \quad (30)$$

Zlogaritmovaný tvar rozšířené gravitační rovnice importu vypadá poté následovně:

$$\ln IMP_{jit} = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln HDP_{it} + \beta_2 \ln HDP_{jt} + \beta_3 \ln POP_{jt} + \beta_4 \ln INF_{it} + \beta_5 \ln INF_{jt} + \beta_6 \ln ER_{ijt} + \beta_7 \ln DIST_{ji} + \varepsilon_{jit} \quad (31)$$

Odhad parametrů této nově sestavené gravitační rovnice importu je opět proveden pomocí všech tří metod (metody sdružených nejmenších čtverců, modelu fixních efektů a modelu náhodných efektů).

V tabulce č. 13 jsou uvedeny základní statistiky odhadu parametrů zjištěné pomocí metody sdružených nejmenších čtverců.

Tabulka č. 13: Základní statistiky odhadu statického rozšířeného gravitačního modelu importu metodou sdružených nejmenších čtverců

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	16950,8	10,33	1,28 ⁻¹⁶	***
<i>ln HDP_{it}</i>	0,00795987	1,176	0,2430	
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00346384	5,605	2,58 ⁻⁷	***
<i>ln POP_{jt}</i>	96,2805	34,85	1,01 ⁻⁵¹	***
<i>ln ER_{ijt}</i>	-271,161	-9,320	1,35 ⁻¹⁴	***
<i>ln DIST_{ji}</i>	-20,3257	-28,02	2,20 ⁻⁴⁴	***
<i>R²</i>	0,746805			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,731734 = 73,1734 %			
<i>F-statistika</i>	49,55197 (<i>p-hodnota</i> < 1,23 ⁻²³)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	1,682905			

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Hodnoty regresních koeficientů jsou následující: $\beta_0 = 16950,8$, $\beta_1 = 0,00795987$, $\beta_2 = 0,00346384$, $\beta_3 = 96,2805$, $\beta_4 = -271,161$, $\beta_5 = -20,3257$.

Regresní odhad funkce metodou sdružených nejmenších čtverců je ve tvaru:

$$IMP_{jit} = 16950,8 + 0,00795987 * HDP_{it} + 0,00346384 * HDP_{jt} + 96,2805 * POP_{jt} - 271,161 * ER_{ijt} - 20,3257 * DIST_{ji}$$

Tvar rozšířeného gravitačního modelu importu je poté ve tvaru:

$$IMP_{jit} = 16950,8 * HDP_{it}^{0,00795987} * HDP_{jt}^{0,00346384} * POP_{jt}^{96,2805} * ER_{ijt}^{-271,161} * DIST_{ji}^{-20,3257}$$

P-hodnota u většiny proměnných je výrazně nižší než 0,05, což značí statisticky významný vztah mezi proměnnými, a to s 95% spolehlivostí. Proměnné HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ji}$ jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti. Takže existuje

statisticky významný vztah mezi těmito proměnnými dokonce s 99% spolehlivostí. Jediná proměnná HDP_{it} nabývá p -hodnoty větší než je zvolená hladina významnosti 0,05. P -hodnota této proměnné je 0,2430 a není tedy statisticky významná. Tuto proměnnou je tak možné vyřadit z modelu.

Když se *hrubý domácí produkt ČR* zvýší o 1 % a zbylé proměnné (HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$) zůstanou neměnné, tak se *import České republiky* zvýší o 0,00795987 %. Jestliže se *hrubý domácí produkt obchodních partnerů ČR* zvýší o 1 %, HDP_{it} , POP_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ji}$ zůstanou neměnné, tak se *import České republiky* zvýší o 0,00346384 %. Pokud se zvýší proměnná *počet obyvatel obchodních partnerů ČR* o 1 % a zbylé exogenní proměnné zůstanou neměnné, tak se *import České republiky* zvýší o 96,2805 %. *Import České republiky* se sníží o 271,161 %, pokud se proměnná *měnový kurz* zvýší o 1 % a ostatní exogenní proměnné zůstanou neměnné, tzv. za podmínky *ceteris paribus*. A nakonec, pokud se poslední proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a ostatní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt}) zůstanou neměnné, tak se *import ČR* sníží o 20,3257 %.

Výše uvedené pružnosti ve skutečnosti nejsou v souladu s logickými předpoklady, a to především u proměnných POP_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ji}$. Jednoprocentní změna jedné z těchto proměnných ve skutečnosti nemůže vyvolat tak velkou změnu *importu České republiky*. Proto tento model je třeba brát s rezervou a zaměřit se spíše na výsledky základního tvaru gravitačního modelu importu České republiky. Aby parametry tohoto rozšířeného tvaru gravitačního modelu vyšly reálnější, bylo by třeba data upravit, a to buď pomocí tempa růstu či první, popř. druhé diference.

Koeficient determinace (R^2) udává závislost *importu* na exogenních proměnných (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$). Tato závislost je poměrně silná, protože nabývá hodnoty 0,746805.

Hodnota adjustovaného koeficientu determinace (R^2) znamená, že změny HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} a změny $DIST_{ji}$ způsobují změny *importu České republiky* ze 73,1734 %. Ostatní faktory působí na *import* jen z 26,8266 %.

Pomocí Durbin-Watsonovy statistiky je testována přítomnost autokorelace reziduí. Durbin-Watsonova statistika nabývá v případě rozšířeného gravitačního modelu importu hodnoty menší než 2, konkrétně 1,682905. Tato nízká hodnota značí přítomnost pozitivní autokorelace reziduí.

Přítomnost heteroskedasticity v rozšířeném gravitačním modelu importu je testována pomocí Whiteova testu. V případě rozšířeného gravitačního modelu importu je *p-hodnota* velmi nízká (rovna nule) a to poukazuje na heteroskedasticitu v gravitačním modelu. Nulovou hypotézu (H_0) je možné zamítnout na 5% hladině spolehlivosti, jelikož *p-hodnota* Whiteova testu je menší než daná hladina významnosti 0,05. Tak je potvrzena heteroskedasticita v modelu.

Jak již bylo uvedeno, autokorelace reziduí i heteroskedasticita jsou pro gravitační modely typické.

Model fixních efektů:

I v modelu fixních efektů jsou využity robustní (*HAC*) směrodatné odchylky pro odhad jednotlivých parametrů. Základní statistiky odhadu těchto parametrů statického rozšířeného gravitačního modelu importu jsou uvedeny v tabulce č. 14.

Tabulka č. 14: Základní statistické odhady statického rozšířeného gravitačního modelu importu modelem fixních efektů

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	16953,4	9,865	$2,99^{-15}$	***
<i>ln HDP_{it}</i>	0,00797152	1,188	0,2387	
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00346127	5,468	$5,59^{-7}$	***
<i>ln POP_{jt}</i>	96,5936	34,84	$1,74^{-48}$	***
<i>ln ER_{ijt}</i>	-271,088	-9,380	$2,50^{-14}$	***
<i>ln DIST_{ji}</i>	-20,3688	-27,50	$3,00^{-41}$	***
<i>R²</i>	0,749644			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,745797 = 74,5797 %			
<i>F-statistika</i>	17,50521 (<i>p-hodnota</i> < $7,97^{-18}$)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	1,706239			

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Hodnoty regresních koeficientů jsou následující: $\beta_0 = 16953,4$, $\beta_1 = 0,00797152$, $\beta_2 = 0,00346127$, $\beta_3 = 96,5936$, $\beta_4 = -271,088$, $\beta_5 = -20,3688$.

Regresní odhad funkce modelem fixních efektů je ve tvaru:

$$IMP_{jit} = 16953,4 + 0,00797152 * HDP_{it} + 0,00346127 * HDP_{jt} + 96,5936 * POP_{jt} - 271,088 * ER_{ijt} - 20,3688 * DIST_{ji}$$

Tvar rozšířeného gravitačního modelu importu vypadá následovně:

$$IMP_{jit} = 16953,4 * HDP_{it}^{0,00797152} * HDP_{jt}^{0,00346127} * POP_{jt}^{96,5936} * ER_{ijt}^{-271,088} * DIST_{ji}^{-20,3688}$$

Pokud je *p-hodnota* menší než 0,05, tak existuje s 95% spolehlivostí statisticky významný vztah mezi proměnnými. V případě modelu fixních efektů je *p-hodnota* menší než zvolená hladina významnosti 0,05 u proměnných HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ji}$. Tyto proměnné jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti. *P-hodnota* proměnné HDP_{it} je větší než daná hladina významnosti 0,05 (*p-hodnota* HDP_{it} = 0,2387), a proto lze říci, že tato proměnná není statisticky významná a je ji možné odstranit z modelu.

Když se *HDP České republiky* zvýší o 1 % a HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} i $DIST_{ji}$ zůstanou neměnné, tak se hodnota *importu* České republiky zvýší o 0,00797152 %. *Import* České republiky se zvýší o 0,00346127 %, pokud se *HDP obchodních partnerů České republiky* zvýší o 1 % a zbylé proměnné (HDP_{it} , POP_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$) zůstanou neměnné, tzv. za podmínky *ceteris paribus*. Pokud dojde k nárůstu proměnné *počet obyvatel obchodních partnerů ČR* o 1 % a zbylé exogenní proměnné zůstanou neměnné, tak se *import* České republiky navýší o 96,5936 %. Jestliže se zvýší proměnná *měnový kurz* o 1 % a ostatní exogenní proměnné zůstanou neměnné, tj. za podmínky *ceteris paribus*, tak se *import* ČR sníží o 271,088 %. A jestliže se poslední proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a ostatní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt}) zůstanou neměnné, *import* České republiky se sníží o 20,3688 %.

Výše uvedené procentuální změny opět vyšly značně veliké, a to především u proměnných POP_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ji}$. Jednoprocentní změna jedné z těchto proměnných v reálu nemůže vyvolat tak velkou změnu *importu* České republiky. Proto tento model je

třeba brát s rezervou. Data by se však dala upravit buď pomocí tempa růstu či první, popř. druhé diference, a tak by se docílilo lepších výsledků.

Dále, závislost *importu* na exogenních proměnných (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ji}$) je silná, jelikož koeficient determinace (R^2) nabývá hodnoty 0,749644.

Adjustovaný koeficient determinace (R^2) vyjadřuje, že exogenní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$) působí na *import* ze 74,5797 %. Ostatní faktory působí na *import* pouze z 25,4203 %.

I v tomto případě je pomocí Durbin-Watsonovy statistiky potvrzena pozitivní autokorelace reziduí. Durbin-Watsonova statistika v modelu fixních efektů dosahuje hodnoty 1,706239, což je menší než 2.

Model náhodných efektů:

V tabulce č. 15 jsou uvedeny základní statistiky odhadu parametrů statického rozšířeného gravitačního modelu importu zjištěné pomocí modelu náhodných efektů.

Tabulka č. 15: Základní statistiky odhadu statického rozšířeného gravitačního modelu importu modelem náhodných efektů

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	16950,8	5,119	$1,92^{-6}$	***
<i>ln HDP_{it}</i>	0,00795987	0,5758	0,5663	
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00346384	8,338	$1,27^{-12}$	***
<i>ln POP_{jt}</i>	96,2805	9,814	$1,37^{-15}$	***
<i>ln ER_{ijt}</i>	-271,161	-4,580	$1,60^{-5}$	***
<i>ln DIST_{ji}</i>	-20,3257	-11,08	$4,06^{-18}$	***

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl

Hodnoty regresních koeficientů zjištěné pomocí modelu náhodných efektů jsou: $\beta_0 = 16950,8$, $\beta_1 = 0,00795987$, $\beta_2 = 0,00346384$, $\beta_3 = 96,2805$, $\beta_4 = -271,161$, $\beta_5 = -20,3257$.

Regresní odhad funkce modelem náhodných efektů je následující:

$$IMP_{jit} = 16950,8 + 0,00795987 * HDP_{it} + 0,00346384 * HDP_{jt} + 96,2805 * POP_{jt} - 271,161 * ER_{ijt} - 20,3257 * DIST_{ji}$$

Odlogaritmovaný tvar rozšířeného gravitačního modelu importu je poté ve tvaru:

$$IMP_{jit} = 16950,8 * HDP_{it}^{0,00795987} * HDP_{jt}^{0,00346384} * POP_{jt}^{96,2805} * ER_{ijt}^{-271,161} * DIST_{ji}^{-20,3257}$$

P-hodnota u většiny exogenních proměnných (HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$) je opět menší než 0,05. Jediná proměnná HDP_{it} je vyšší než daná hladina významnosti 0,05, proto není statisticky významná a je možné ji vyřadit z modelu. Ostatní proměnné (HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$) jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti.

Jestliže se *HDP České republiky* zvýší o 1 % a proměnné HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt} , $DIST_{ji}$ budou konstantní, tak se *import České republiky* zvýší o 0,00795987 %. Když se *HDP obchodních partnerů České republiky* zvýší o 1 % a HDP_{it} , POP_{jt} , ER_{ijt} i $DIST_{ij}$ zůstanou konstantní, tzv. za podmínky *ceteris paribus*, tak se hodnota *importu České republiky* zvýší o 0,00346384 %. Pokud se zvýší proměnná *počet obyvatel obchodních partnerů ČR* o 1 % za podmínky *ceteris paribus*, pak se *import ČR* zvýší o 96,2805 %. Když se proměnná *měnový kurz* zvýší o 1 % a ostatní exogenní proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , $DIST_{ji}$) zůstanou neměnné, tak se *import České republiky* sníží o 271,161 %. Jestliže se poslední proměnná *geografická vzdálenost* zvýší o 1 % a zbylé proměnné (HDP_{it} , HDP_{jt} , POP_{jt} , ER_{ijt}) zůstanou konstantní, *import České republiky* se sníží o 20,3257 %.

Jednoprocentní změna proměnných POP_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ji}$ ve skutečnosti nemůže vyvolat tak velkou změnu *importu České republiky*, jako tomu je statisticky dokázáno výše, proto tento model je třeba brát s rezervou. Je však možné data upravit buď pomocí tempa růstu či první, příp. druhé diference, a tak by bylo dosaženo lepších výsledků.

Hausmanův test opět potvrdil nulovou hypotézu (H_0) a to i v případě rozšířeného tvaru gravitačního modelu importu. Tzn., že odhady metody zobecněných nejmenších

čtverců (GLS) jsou konzistentní a individuální efekt je nekorelovaný s exogenními proměnnými pro všechny jednotky. Hausmanův test nabývá těchto hodnot: $\chi^2 = 0,562325$ a $p\text{-hodnota} = 0,989663$. Tak je jako vhodný model pro *import* České republiky potvrzen model náhodných efektů.

5. ZÁVĚR

Gravitační modely mezinárodního obchodu byly zprvu velmi kritizovány kvůli nedostatečnému teoretickému zázemí. To se však změnilo koncem 70. let, kdy ekonomové tento model podložili ekonomickými teoriemi. Mezi nejdůležitější teorie, z nichž byla odvozena gravitační rovnice, patří ricardiánský model, Heckscher-Ohlinův model a model rostoucích výnosů z rozsahu. Nyní význam a využití gravitačního modelu stále roste a to především kvůli vysoké statistické vypovídací schopnosti a také kvůli dobré shodě s daty.

Gravitační modely se využívají k analyzování mezinárodního obchodu a jeho determinant. Stanovením gravitační rovnice a použitím statisticko-ekonometrických analýz lze zjistit vliv determinant působících na mezinárodní obchod daných zemí. Avšak tyto modely mají širší využití, a to např. v oblastech jakými jsou migrace, přímé zahraniční investice, regionální integrace, měnová unie apod.

Základními proměnnými gravitačního modelu jsou HDP obou zemí a vzdálenost mezi danými zeměmi. Každý model samozřejmě obsahuje i stochastickou složku. Gravitační model je navíc možné rozšířit o další proměnné, jakož i dummy proměnné vyjadřující specifické charakteristiky ekonomik (např. jazykovou blízkost, členství v mezinárodních organizacích apod.). Parametry gravitačního modelu lze odhadnout jak pro model statický, tak i pro model dynamický. S odhadem gravitační rovnice souvisejí určité problémy, které je třeba odstranit a vyhnout se tak zkreslení výsledného odhadu. Těmito problémy jsou endogenita, heterogenita a identifikace modelu. Názory jednotlivých ekonomů na řešení těchto problémů se různí, avšak nejčastěji jsou používány modely fixních efektů, příp. náhodných efektů. K odhadu se nejčastěji v dnešní době používají panelová data. Nejdůležitější však stále zůstává správná specifikace gravitačního modelu. Jen tak se lze vyhnout nesprávnému výsledku.

V diplomové práci jsou sestaveny statické gravitační modely zvlášť exportu a zvlášť importu. Gravitační modely mezinárodního obchodu České republiky jsou analyzovány na základě panelových dat devíti největších zahraničněobchodních partnerů České republiky v letech 2004 - 2013. Pro export to jsou země: Německo, Slovensko, Polsko, Francie, Rakousko, Velká Británie, Itálie, Nizozemsko, a Rusko. Pro import jsou to konkrétně: Německo, Čína, Polsko, Slovensko, Rusko, Itálie, Francie, Rakousko a Nizozemsko.

Nejprve jsou sestaveny gravitační rovnice v základním tvaru, tzn. s proměnnými *hrubý domácí produkt ČR*, *hrubý domácí produkt obchodních partnerů ČR* a *geografická vzdálenost*, vyjádřená jako vzdušná vzdálenost mezi hlavními městy daných dvou zemí. Poté jsou dané základní gravitační rovnice rozšířeny o tyto proměnné: *počet obyvatel ČR*, *počet obyvatel obchodních partnerů ČR*, *inflace ČR*, *inflace obchodních partnerů ČR* a *měnový kurz*. Pro odhad parametrů je využito více odhadových metod, konkrétně metoda sdružených nejmenších čtverců, model fixních efektů a model náhodných efektů. Odhadu parametrů však předchází otestování stacionarity časových řad a testování přítomnosti multikolinearity v modelu. Multikolinearita je zjištěna ve dvojici proměnných *HDP České republiky* a *počet obyvatel České republiky*. Z této dvojice je z modelu vyřazena proměnná *počet obyvatel ČR*, kvůli slabší korelaci s endogenní proměnnou (exportem / importem).

Výsledky odhadu parametrů gravitačních modelů jsou do určité míry závislé na použité metodě. Přesto je však možné, v odhadech provedených různými metodami, nalézt společné rysy typické pro export i import České republiky.

První gravitační model v této práci je sestaven v základním tvaru pro export. Za hlavní determinanty, které ovlivňují export České republiky, je možné označit *hrubý domácí produkt obchodního partnera České republiky*, a *geografickou vzdálenost*. Tyto proměnné jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti. Proměnná *hrubý domácí produkt České republiky* nabývá *p-hodnoty* vyšší než je zvolená hladina významnosti 0,05. Přesto je možné tuto proměnnou interpretovat jako statisticky významnou na 10% hladině významnosti. Koefficient determinace ukazuje silnou závislost mezi endogenní proměnnou a exogenními proměnnými. Tzn., exogenní proměnné ovlivňují export České republiky z 62,7041 % v případě metody sdružených nejmenších čtverců a z 64,3504 % v případě modelu fixních efektů. Za vhodný model pro export České republiky je dle Hausmanova testu potvrzen model náhodných efektů.

Druhý model je sestaven jako rozšířený tvar statického gravitačního modelu exportu České republiky. Mezi parametry, které nejvíce ovlivňují export České republiky lze zařadit *HDP ČR*, *HDP obchodního partnera České republiky*, *počet obyvatel obchodních partnerů ČR* a *geografickou vzdálenost*. Parametry *HDP ČR*, *počet obyvatel obchodních partnerů ČR* a *geografická vzdálenost* jsou statisticky významné na 1% hladině významnosti. Proměnná *HDP obchodního partnera České republiky* je také statisticky významná, avšak na 5% hladině významnosti. Ostatní tři proměnné, které jsou

do modelu také zahrnuty, nejsou statisticky významné na 5% hladině významnosti. Proměnnou *inflace obchodních partnerů ČR* je ještě možné interpretovat jako statisticky významnou na 10% hladině významnosti. Avšak zbylé dvě proměnné *inflace České republiky* a *měnový kurz* lze vyřadit z modelu kvůli příliš vysoké *p-hodnotě*. Značně vysoká velikost regresních koeficientů proměnných POP_{jt} , INF_{it} , INF_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ij}$, v případě rozšířeného gravitačního modelu exportu ČR, není v souladu s logickými předpoklady. Proto je třeba brát tento model s rezervou a zaměřit se spíše na výsledky základního tvaru gravitačního modelu exportu České republiky. K zajištění lepších výsledků by však mohlo dojít úpravou dat buď pomocí tempa růstu či první, příp. druhé diference. Avšak závislost mezi exportem a danými exogenními proměnnými je opravdu silná, jelikož je export těmito exogenními proměnnými ovlivněn z 85,5556 % (metoda sdružených nejmenších čtverců), příp. z 87,3212 % (model fixních efektů). Za vhodný model pro export ČR je pomocí Hausmanova testu zvolen model náhodných efektů.

Dalším modelem je základní gravitační model importu České republiky. Na 1% hladině významnosti jsou statisticky významné dvě proměnné: *hrubý domácí produkt obchodního partnera České republiky* a *geografická vzdálenost*. Tyto proměnné jsou tedy hlavními determinanty působící na import České republiky. Třetí proměnnou *hrubý domácí produkt ČR* je možné vyřadit z modelu, jelikož její *p-hodnota* nabývá hodnoty vyšší než je zvolená hladina významnosti 0,05. Tato proměnná tedy není statisticky významná. Závislost mezi importem ČR a danými třemi exogenními proměnnými je pouze středně silná. Exogenní proměnné ovlivňují import České republiky jen ze 42,1456 % (metoda sdružených nejmenších čtverců), příp. ze 43,6185 % (model fixních efektů). Dle Hausmanova testu je model náhodných efektů potvrzen jako vhodný model pro import ČR.

Posledním modelem sestaveným v této diplomové práci je rozšířený tvar statického gravitačního modelu importu České republiky. Kvůli nesplnění předpokladu působení na import České republiky, musejí být proměnné *inflace České republiky* a *inflace obchodních partnerů ČR* vyřazené z modelu. Veškeré proměnné, kromě *HDP ČR* jsou statisticky významné, konkrétně na 1% hladině významnosti. Jsou tedy hlavními determinanty působící na import České republiky. Jediná proměnná *HDP ČR* není statisticky významná a je ji možné odstranit z modelu. I v případě tohoto rozšířeného tvaru gravitačního modelu, zjištěné regresní koeficienty proměnných POP_{jt} , ER_{ijt} a $DIST_{ji}$ nelze považovat za reálné. Nejsou v souladu s logickými předpoklady, jelikož nabývají příliš vysokých hodnot. Proto

je třeba brát tento model s rezervou a zaměřit se spíše na výsledky základního tvaru gravitačního modelu importu České republiky. Úpravou dat by bylo však možné dosáhnout lepších výsledků, a to buď pomocí tempa růstu či první, příp. druhé diference. Další parametr ukazuje, že závislost mezi endogenní proměnnou a exogenními proměnnými je opět silná, jelikož metodou sdružených nejmenších čtverců je import ČR ovlivněn ze 73,1734 % a modelem fixních efektů ze 74,5797 %. Model náhodných efektů je potvrzen pomocí Hausmanova testu jako vhodný model pro import České republiky.

Souhrnně lze říci, že na základě sestavených gravitačních modelů v této diplomové práci je export České republiky v letech 2004 – 2013 nejvíce pozitivně ovlivňován *hrubým domácím produktem obchodních partnerů ČR, počtem obyvatel obchodních partnerů ČR* a negativně ovlivňován *geografickou vzdáleností*. Dále je jedním z nejpodstatnějších determinant pozitivně ovlivňující export České republiky v případě rozšířeného tvaru rovnice *hrubý domácí produkt ČR*, avšak v případě základního tvaru je statisticky nevýznamný. Import České republiky ve stejném období je nejvíce pozitivně ovlivňován *hrubým domácím produktem obchodních partnerů ČR, počtem obyvatel obchodních partnerů ČR* a negativně je ovlivňován *měnovým kurzem a geografickou vzdáleností*.

6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ADKINS, Lee C. *Using gretl for Principles of Econometrics, 4th Edition Version 1.041* [online]. 2014 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z:
http://www.learneconometrics.com/gretl/using_gretl_for_POE4.pdf

BAIER, Scott L. a Jeffrey H. BERGSTRAND. Do Free Trade Agreements Actually Increase Members' International Trade?. *Journal of international Economics* [online]. 2007, 1/71 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z:
<http://www.econstor.eu/bitstream/10419/101013/1/wp0503.pdf>

BIL, Jaroslav, Daniel NĚMEC a Martin POSPIŠ. *Gretl - uživatelská příručka* [online]. 2009 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z:
http://www.thunova.cz/wp-content/uploads/CZU/Manual_gretl.pdf

BUBÁKOVÁ, Petra. Gravitační model mezinárodní směny, jeho proměnné, předpoklady, problémy a aplikace. *Acta oeconomica Pragensia*. 2013, 2/13.

BURDEJOVÁ, Petra, Gabriel LENDEL, Josef OREL a Pavel SŮVA. Regresní model s fixními a náhodnými efekty (s příklady). In: *Seminár pre ekonometrov* [online]. 2010 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z:
<http://www.petra.traceit.org/index.php?p=ekonometria&f=Semin%C3%A1r%20pre%20ekonometrov>

CIHELKOVÁ, Eva. *Mezinárodní ekonomie*. Praha: Oeconomica, 2004. ISBN 978-80-245-0815-3.

CIHELKOVÁ, Eva a kol. *Mezinárodní ekonomie II*. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, 2008. ISBN 978-80-7400-054-6.

ČADIL, Jan. *Regionální ekonomie. Teorie a aplikace*. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, 2010. ISBN 978-80-7400-191-8.

Databáze zahraničního obchodu. *Český statistický úřad* [online]. 2015 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z:<http://apl.czso.cz/pll/stazo/STAZO.STAZO>

DAUBNER, Petr. Vzdušné vzdálenosti od Prahy. *Kompas.estranky.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z:<http://www.kompas.estranky.cz/clanky/clanky---svet/ortodroma-vzdusna-vzdalenost-od-Prahy.html>

EGGER, Peter. An econometric view on the estimation of gravity models and the calculation of trade potentials. *The World Economy* [online]. 2002, 2/25 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z:http://www.development.wne.uw.edu.pl/uploads/Courses/ied_egger_2002.pdf

EICHENGREEN, Barry a Douglas A. IRWIN. *The Regionalization of the World Economy: The Role of History in Bilateral Trade Flows* [online]. Chicago: University of Chicago Press, 1998 [cit. 2015-03-29]. ISBN 0-226-25995-1.

FIDRMUC, Jarko. Gravity models in integrated panels. *Empirical economics* [online]. 2009, 2/37 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z:
<http://faculty.smu.edu/millimet/classes/eco6375/papers/fidrmuc.pdf>

FÍGLOVÁ, Zuzana. Ekonometrická analýza panelových dat s aplikací na vybavenost domácností. *Acta Oeconomica Pragensia*. 2007, 1/15.

GOLOVÁ, Andrea. *Modelování zahraničněobchodních vztahů v oblasti agrárního zahraničního obchodu*. Praha, 2013. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.

GREENE, William H. *Econometric analysis*. 7th ed. Boston: Pearson, 2012. ISBN 978-0-273-75356-8.

GUJARATI, Damodar N. a Dawn C. PORTER. *Basic econometrics* [online]. 2009 [cit. 2015-02-21]. ISBN 978-0-07-337577-9. Dostupné z:
<https://hoangftu.files.wordpress.com/2014/03/basic-econometrics-gujarati-2008.pdf>

HEAD, Keith. *Gravity for Beginners* [online]. 2003 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <https://www3.nd.edu/~agervais/documents/Gravity.pdf>

HILL, R, William E. GRIFFITHS a Guay C. LIM. *Principles of econometrics*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. ISBN 9780471723608.

Historie kurzů měn. *Kurzy.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/kurzy-men/historie/>

CHENG, I-Hui a Ying-Yi TSAI. Estimating the Staged Effects of Regional Economic Integration on Trade Volumes. *Applied Economics* [online]. 2005, roč. 40, č. 3 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?>

JANDA, Karel, Eva MICHALÍKOVÁ a Věra POTÁCELOVÁ. *Gravitační a fiskální modely státní podpory exportních úvěrů v České Republice* [online]. 2010 [cit. 2015-02-21]. ISSN 0032-3233. Dostupné z: <http://www.vse.cz/polek/732>

KRUGMAN, Paul R., OBSTFELD a MELITZ. *International Economics*. New Jersey: Prentice Hall, 2011. ISBN 978-01-329-2588-4.

NEUMANN, Pavel, Pavel ŽAMBERSKÝ a Martina JIRÁNKOVÁ. *Mezinárodní ekonomie*. Praha: Grada Publishing a.s., 2010. ISBN 978-80-247-3276-3.

NOVÁK, Petr. *Analýza panelových dat* [online]. Praha, 2006 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://www.vse.cz/vskp/137_analyza_panelovych_dat. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze.

NOVÁK, Petr. Analýza panelových dat. *Acta Oeconomica Pragensia*. 2007, 1/15.

PÁNKOVÁ, Václava. Práce s panelovými daty. *Acta oeconomica Pragensia*. 2007, 1/15.

RAHMAN, Mustafizur, Wasel BIN SHADAT a Narayan CHANDRA DAS. An Application of Augmented Gravity Model. In: *Trade Potential in SAFTA* [online]. 2006 [cit. 2015-03-26]. ISSN 1818-1597. Dostupné z: http://www.cpd.org.bd/pub_attach/OP61.pdf

SAWYER, W. Charles a Richard L. SPRINKLE. *International Economics*. New Jersey: Prentice Hall, 2008. ISBN 978-01-360-5469-6.

SOUKUP, Alexandr. *Mezinárodní ekonomie*. Plzeň: Aleš Čeněk, 2009. ISBN 978-80-7380-197-7.

ŠEVELA, M. Gravity-type model for Czech agricultural export. *Agricultural Economics*. 2002, 10/48 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.cazv.cz/2003/anglicka/clanky/ekon10-02/Sevela.pdf>

ŠTĚRBOVÁ, Ludmila a kolektiv. *Mezinárodní obchod ve světové krizi 21. století*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2013. ISBN 978-80-247-4694-4.

TOMŠÍK, Vladimír. *Vyrovňovací procesy platební bilance a analýza vývoje zahraničního obchodu České republiky v letech 1993-1998*. Praha: Národohospodářský ústav Josefa Hlávky, 2000. Studie (Národohospodářský ústav Josefa Hlávky).

VERBEEK, Marno. *A guide to modern econometrics*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. ISBN 0-470-85773-0.

WANG, C., Y WEI a Xiaming LIU. Determinants of bilateral trade flows in OECD countries: evidence from gravity panel data models. *World Economy* [online]. 2010, 7/33 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://eprints.bbk.ac.uk/3468/1/3468.pdf>

World Development Indicators. *The World Bank* [online]. 2015 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>

7. PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Základní statistiky odhadu statického rozšířeného gravitačního modelu importu metodou sružených nejmenších čtverců

	<i>Koeficient</i>	<i>T-statistika</i>	<i>P-hodnota</i>	<i>Významnost</i>
<i>Absolutní člen</i>	11602,6	9,430	$1,00^{-14}$	***
<i>ln HDP_{it}</i>	0,0134950	2,642	0,0099	***
<i>ln HDP_{jt}</i>	0,00332975	5,626	$2,49^{-7}$	***
<i>ln POP_{jt}</i>	108,646	23,24	$7,85^{-38}$	***
<i>ln INF_{it}</i>	-84,5545	-0,2240	0,8233	
<i>ln INF_{jt}</i>	781,483	4,798	$7,09^{-6}$	***
<i>ln ER_{ijt}</i>	-130,606	-3,802	0,0003	***
<i>ln DIST_{ij}</i>	-22,2238	-21,41	$2,54^{-35}$	***
<i>R²</i>	0,772951			
<i>Adjustovaný R²</i>	0,753568 = 75,3568 %			
<i>F-statistika</i>	39,87930 (<i>p-hodnota</i> < $7,67^{-24}$)			
<i>Durbin-Watsonova statistika</i>	1,789197			

Pozn.: ***/*** signifikantní na 10% / 5% / 1% hladině významnosti.

Zdroj: vlastní zpracování pomocí programu Gretl