

MOŽNÉ PŘÍSTUPY KE ZJIŠŤOVÁNÍ ZÁVISLOSTI DOPRAVNÍCH A EKONOMICKÝCH VELIČIN

POSSIBLE APPROACHES TO DEPENDENCE DETECTION OF TRANSPORTATIONAL AND ECONOMICAL QUANTITIES

Daniel Salava¹, Libor Švadlenka²

Anotace: Cílem tohoto příspěvku je postihnout nejen konkrétní kvantifikované závěry týkající se interakce dopravního a ekonomického systému, ale i v obecné modelové podobě právě rovněž prostorový aspekt meziregionálních přeprav a též síťový přístup k dopravnímu sektoru. Modelování těchto dílčích problémů přirozeně vychází z relevantních faktorů, které jednotlivé oblasti přímo a významně ovlivňují a zároveň je možno je podchytit prostřednictvím matematického vyjádření.

Klíčová slova: dopravní systém, ekonomický systém, prostorová rovnováha, síťová rovnováha, model, exponenciální vyrovnání, regresní analýza

Summary: The aim of this contribution is not only reflection of concrete quantified conclusions related to transportation and economical system interaction, but also spatial aspect of interregional transportations and network approach to transport sector in general model form as well. Modelling of these partial problems naturally comes from relevant factors, which strictly and significantly influence particular areas and mutually it is possible to express them mathematically.

Key words: transport system, economical system, spatial equilibrium, network equilibrium, model, exponential smoothing, regression analysis

1. ÚVOD

Zkoumání závislosti veličin dopravního a ekonomického systému skýtá různé způsoby a přístupy k řešení s ohledem na výběr relevantních veličin a adekvátní postup při analýze těchto proměnných. Ekonomické hledisko je ve vztahu k dopravnímu systému jednou ze součástí zkoumaného problému. Samozřejmě neméně důležitá pro efektivnost dopravního systému je i technická a provozní stránka systému, k jehož fungování je třeba samozřejmě i náležitá infrastruktura.

¹ Ing. Daniel Salava, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 466 036 376, E-mail: daniel.salava@upce.cz

² doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 466 036 375, E-mail: libor.svadlenka@upce.cz

2. EKONOMICKÉ KATEGORIE JAKO VÝCHODISKA PRO ZKOUMÁNÍ DOPRAVNÍHO CHOVÁNÍ

2.1 Obecné předpoklady

Makroekonomický aspekt rovnováhy dopravního systému vychází ze základních makroekonomických veličin. Jedná se zejména o tzv. základní makroekonomické cíle společnosti, mezi které patří vysoká úroveň produktu a jeho růst, vysoká zaměstnanost a s ní spojená nízká nezaměstnanost, pokud možno stabilní (nebo jen mírně se zvyšující) cenová hladina a vyrovnaná bilance se zahraničím. Aby ekonomika mohla dosáhnout těchto cílů, má k dispozici tzv. makroekonomické nástroje související s monetární a fiskální politikou, dále mzdovou, cenovou a samozřejmě také zahraniční politikou.

Pro bližší zkoumání a ověření závislostí mezi ekonomickým a dopravním systémem naznačené v uvedených modelech je ovšem nezbytná konkretizace složek těchto systémů včetně jejich číselného vyjádření.

Jedním ze základních ukazatelů, kterými se hodnotí ekonomika země, je hrubý domácí produkt. Používá se pro hodnocení vývoje ekonomiky v zemi i pro porovnávání ekonomické úrovně různých zemí mezi sebou. Protože tento ukazatel udává hodnotu všech statků a služeb, které byly vyrobeny v dané zemi během jednoho roku, je zřejmá jeho souvislost s dopravou, protože doprava je velmi důležitá pro rozvoj výroby a podnikání vůbec, neboť je nositelem fyzického toku materiálů a zboží. Z výše uvedených skutečností je patrné, že vztah dopravy a hrubého domácího produktu je interdependentní, a to proto, že tak, jako doprava působí na tvorbu HDP, je stejně tak i výši HDP ovlivňována.

Vztah mezi ekonomickým růstem a nákladní dopravou není úměrný a podle některých zdrojů je až dvojnásobný. V první řadě ekonomický růst ovlivňuje poptávku po dopravě. Je také zřejmé, že naopak změny v dopravní situaci mají dopad na ekonomický růst. Z tohoto důvodu byl (a stále je) sektor dopravy často využíván jako prostředek k dosažení cíle (tj. pro realizování regionálního, sociálního a ostatních cílů). Na druhé straně se často hovoří, že budoucí růst toků zahraničního zboží, který vychází mimo jiné i z další integrace národních ekonomik, může mít negativní dopad na potenciál ekonomického růstu, a to z důvodu nedostatečné dostupné infrastruktury. Vzhledem k tomu, že poptávka po nákladní dopravě je čistě odvozenou poptávkou, je třeba znát velmi přesný obraz vlivu ekonomických činností. Složitost modelování poptávky po zboží vyplývá z aktivní interakce mezi dopravním systémem a zbývající částí ekonomiky. Princip odvozené poptávky předpokládá, že přeprava zboží je zcela závislá na prostorově oddělené výrobě a spotřebních aktivitách. Navíc dopravní politika generuje dynamické a společenské (sociální) účinky na zbývající část ekonomiky, včetně distribuce důchodu, podnikání, investiční politiky, atd.

2.2 Modelování osobní a nákladní dopravy

Pokud jde o typy modelů, literatura rozlišuje mezi modelováním „agregátní nákladní poptávky“ a „desagregovanými přístupy“. Agregátní modely se zabývají toky zboží mezi sektory průmyslu nebo geografickými regiony. Desagregované modely se soustředí na toky zboží sdružené s jednotlivými společnostmi (podniky).

Většina modelů nákladní poptávky je doposud desagregovaného typu, odpovídajících klasickému Four Step modelu (FSM). V desagregovaném přístupu se na dopravní problém pohlíží na základě množství separátních dodávek, které vyžadují, aby jednotlivý odesílatel vykonal množství rozhodnutí souvisejících s dopravou. Každé rozhodnutí je chápáno jako volba z izolované množiny alternativ. Proces volby je ovlivněný kromě jiného charakteristikami dopravních služeb, zbožím, které je nutno přepravit, trhem i charakteristikami firem požadujících přepravu. Bohužel použitelnost tohoto přístupu byla doposud poněkud omezena, a to nejenom v důsledku enormního množství dat požadovaných pro efektivní odhadnutí tohoto modelu.

Modelování nákladní dopravy tradičně používá jednoduchý vícenásobný vztah Cobb Douglas modelu, ve kterém koeficienty vyjadřují elasticity:

$$y = kx_1^\alpha x_2^\beta x_3^\gamma \dots$$

kde α je elasticita y s ohledem na proměnnou x_1 a vyjadřuje proporcionální míru změny y pro danou proporcionální změnu u x_1 .

Obvyklá specifikace tohoto modelu je vyjádřena buď v rámci celkové přepravy nebo přepravy každým druhem dopravy v tunových kilometrech. Vysvětlující proměnné vyjadřují například ekonomickou činnost, HDP nebo průmyslovou produkci, spíše vzácněji jsou uvedeny ceny různých druhů dopravy.

Ukázalo se, že osobní doprava má sklon spíše k vyšší elasticitě s ohledem na růst ekonomické činnosti a nižší vlastní cenové elasticitě než nákladní doprava. Je zřejmé, že v osobní dopravě existují podstatné rozdíly mezi krátkodobými a dlouhodobými cenovými elasticitami, které jsou typicky vyšší u dlouhodobé než u krátkodobé elasticity. Prezentované elasticity bývají odvozeny z korelací mezi agregátními datovými časovými řadami nebo křížových sekcí agregátních řad za celé země nebo regiony. Elasticity se také mohou vypočítat z modelů přepravy, které odhadují přepravu na každé hraně geografické sítě, ale při jednom měnícím se parametru, např. ceně jednoho druhu dopravy (například proporcionálně změněné pro každou hranu sítě) nebo ceně paliva. Odvozené elasticity jsou samozřejmě vysoce závislé na místních podmínkách konkurence mezi druhy dopravy a hodnoty, které mohou být odvozeny pro danou síť, se mohou lišit od hodnot na jedné a další síti a záviset v průměru na různých podmínkách na kterékoliv síti.

Všechny hodnoty zpravidla odrážejí vztahy pozorované v minulosti. Možnosti změn v průběhu času byly studovány kvalitativně prostřednictvím rozhovorů s experty jako u hodnot pro přepravované zboží. Nejistota posuzovaných faktorů se ukázala jako nejdůležitější při zařazení rozhodnutí dopravní politiky, měnících se demografických faktorech, koncentraci osídlení, reorganizaci pracovního času, internalizaci, rozvoji turistiky, možných změnách v procesu evropské integrace s návratem k národnějším zájmům, rostoucí citlivosti na životní prostředí a zvýšenému tlaku na veřejné finance. Všechny uvedené faktory by se mohly pohybovat velmi různými směry.

3. PROSTOROVÉ MODELOVÁNÍ DOPRAVNÍHO SYSTÉMU

Komplexní multiregionální ekonomicko – dopravní přístup obecně vyžaduje následující základní prvky:

- soulad importu a exportu mezi regiony A a B,
- zahrnutí jak pohyblivých, tak i nepohyblivých prostředků (zdrojů),
- dopravní náklady.

Použitý region zahrnuje vztahy mezi regiony, neboť se zde nezkoumá chování nezávislých regionů (jako v případě rozpočtového určení nebo problémů decentralizace). Proto je startovním bodem multiregionálního přístupu k dopravě charakter vzájemného ovlivňování regionů.

Dalšími modely v regionální ekonomice jsou modely Input – Output (IO), které mají dlouhou tradici. Tyto modely se většinou využívají ve studiích, které se snaží spojit strukturální ekonomické vztahy, tj. propojení mezi průmyslem způsobem dodávek polotovarů, zboží a služeb. Kalkulací přímých a nepřímých účinků exogenních proměnných (výdajů) lze získat multiplikátory a účinky na zaměstnanost a využití zdrojů. K dopravním a IO modelům se musí obvykle přistupovat z perspektivy meziregionálního obchodu (ekonomické báze). Meziregionální gravitační modely se často kombinují s mezisektorovými modely IO. Omezenější přístup využívá fixní input – output koeficienty a lze ho považovat za otevřené rozšíření celkových IO modelů. Je třeba připomenout danou sektorovou desagregaci v každém regionu. Fixní meziregionální obchodní koeficienty jsou interpretovány jako konstantní vzorky nabídkových oblastí nebo kanálů. Jde o důležitý předpoklad, který platí mnohem významněji pro zboží (suroviny), které jsou sdruženy s významnými dopravními náklady (např. cihly, cement, sklo atd.) a nikoliv se zbožím se zanedbatelnými dopravními náklady. Další třída modelů je tvořena multioblastními (venkovskými) modely využívajícími obchodně teoretické koncepty. [5]

Ekonomickou základnou modelů rovnováhy je trh, na kterém se vzájemně ovlivňují na základě cenových signálů nabídka s poptávkou. Předpokládá se, že trhy jsou transparentní. Vedle těchto faktorů, polotovarů, surovin a finálního zboží se také zvažují trhy dopravních služeb. V případě nákladní dopravy to znamená, že se předpokládají prostorově oddělené trhy pro jednotlivé druhy zboží. Pokud se zaměříme na prostorové hledisko rovnováhy, hovoříme o následujících modelech.

Pokud je prostor z multiregionální perspektivy považován za diskrétní a jestliže jsou dopravní náklady fixní a jsou dány funkce poptávky a nabídky pro jednotlivé produkty, potom hovoříme o prostorové (lokační) cenové rovnováze (PCR), charakterizované nezápornými homogenními a jednoznačně tržními poptávkovými a nabídkovými cenami, dále se ve všech ostatních regionech nevyskytuje převaha poptávky nebo nabídky, a na každé meziregionální trase se musí cena v importujícím regionu rovnat nejméně ceně producenta v exportujícím regionu plus dopravní náklady; všechny rovnováhy potom musí být ošetřeny nezávisle, vyjma případu, ve kterém neexistuje žádný kladný meziregionální tok přepravy (zboží).

Obecná formulace multiregionálního modelu PCR s jedním produktem je následující:

$$\text{Minimalizace } \sum_o \int_0^{x_o} S_o(z) dz - \sum_d \int_0^{y_d} D_d(z) dz + CN$$

kde S_o jsou inverzní nabídkové funkce, D_d inverzní poptávkové funkce a CN jsou celkové dopravní náklady. V novější interpretaci je funkcí všech přeprav na specifických linkách (tzn. že t_o^d zastupuje přepravu zboží ze zdroje o do cíle d). Tyto přepravy musí být uspokojeny bez žádných záporných omezení. Nabídky X_o ve zdrojích o se shodují se sumou všech přeprav vycházejících z místa o :

$$X_o = \sum_d t_o^d$$

a poptávky Y_d v cílových místech d se shodují se sumou všech přeprav přijíždějících do regionu d :

$$Y_d = \sum_o t_o^d$$

Nákladová funkce CN patřící meziregionální lince je sdružená s jednotlivou dopravní firmou, přičemž platí, že kolik je firem, tolik je linek. Spolu s dalším dodatečným předpokladem, znamenajícím, že n_o^d jsou fixní jednotkové náklady pohybu zboží na lince z o do d , lze dostat nejobecnější používanou nákladovou strukturu podle vztahu [5]:

$$CN = \sum_o \sum_d n_o^d * t_o^d$$

4. SÍŤOVÉ PŘÍSTUPY K DOPRAVNÍMU SYSTÉMU

Meziregionální přepravy se musí uskutečňovat v dopravní síti. Velikost přeprav a objem dopravních prostředků je rovněž tedy nutné promítnout i do dopravní sítě. Modely dopravní sítě mají zcela mikroekonomickou a detailní orientaci a jsou především použitelné při jednoduché analýze zboží. Zpravidla se mohou přesněji zabývat nákladní dopravou, u které se skutečná dopravní infrastruktura skládá z komplexní sítě, tj. např. s nákladními terminály. Zpravidla se pojmově týkají především multimodálních a multiprodukčních problémů.

Mezi velikostí poptávky po meziregionálních přepravách V_{ij} pro každý pár zdroje a cíle i a j a kvalitou poskytovaných dopravních služeb v konkrétních přepravách S_{ij} existuje závislost vyjádřená dopravním odporem. Jinými slovy objem přeprav zboží z i do j je funkcí kvality poskytovaných dopravních služeb:

$$V_{ij} = D(S_{ij}) \text{ pro každé } ij.$$

Tuto relaci lze přirozeně přenést do každého segmentu dopravního trhu vyjádřeného druhem přepravovaných nákladů, neboť je rovněž různá jejich přepravní náročnost.

Rovnováhu na dané trase lze vyjádřit jako rovnost:

$$\sum_q V_{ijl}^q = V_{cl}$$

kde V_{cl} značí přepravní kapacitu trasy l .

Úroveň kvality služeb S_{ij} na dané trase je odvislá od úrovně služeb na jednotlivých hranách tvořících celou trasu. Jestliže mezi danými uzly i a j existuje n tras, potom je možné

přepravy rozlišovat mezi jednotlivými trasami i jako funkce úrovně poskytovaných služeb na každé z nich. Objem přeprav na dané hraně je sumou objemu přeprav na všech trasách, kterých tato hrana je součástí. Analogicky je možné určitou trasu rozdělit na množinu dílčích tras. Potom objem přeprav na dané dílčí trase je roven sumě objemu přeprav na všech trasách, kterých tato dílčí trasa je součástí.

$$V_{ij} = \sum_n V_{ij}^n$$

S ohledem na síťové charakteristiky kombinovaných dopravně přepravních modelů je obvyklé používat přepravcem vnímanou síť, která se spojila při určitých hranách (překládkové, mezilinkové a jiné klíčové hrany) s detailnějšími dopravci specifikovanými sítěmi. Ve vztahu k přepravcům, dopravcům a sítím je potřebné zmínit také dva Wardropovy principy [1], které stanovují podmínky pro optimum uživatele, resp. optimum systému síťových toků. Optimální rovnováha uživatele je dosažena tehdy, pokud žádný uživatel nemá motiv ke snížení jeho dopravních nákladů prostřednictvím jednostranné akce. Optimální rovnováha systému je dosažena, jestliže se shodují marginální celkové náklady dopravních alternativ (voleb). Přepravce lze modelovat prvním Wardropovým principem, který lze stanovit jako minimalizaci cen dodávaného zboží. Podmínky rovnováhy nastávají v případě, že všechny užití trasy mezi zdrojem a cílem přepravy mají stejné minimální náklady, zatímco všechny nevyužití trasy mají větší nebo stejné náklady. Druhý Wardropův princip systému optimalizace používající modelové programovací formulace modeluje všechny dopravní náklady všech cest jako minimální.

Pro rovnováhu na dopravní síti je velmi důležitý rovněž stupeň jejího využívání. Jedním z nástrojů, který může vést ke efektivnějšímu využívání existující komunikace, je cena za cestu. Tato cena by měla být proměnlivá, právě v závislosti na úrovni kongesce. Teorie informačních efektů v dopravě v podstatě vychází z cestovních nákladů uživatele, kdy se kromě peněžní hodnoty času bere v úvahu i hodnota nejistoty v cestovním chování uživatele sítě, která je právě závislá na tom, jaký stupeň informovanosti s sebou uživatel nese. [4] Cestovní náklady uživatelů dopravy z ekonomického hlediska lze vyjádřit následující obecnou nákladovou funkcí:

$$E(\text{cestovní náklady}) = \alpha E(\text{cestovní čas}) + \beta S_d(\text{cestovní čas})$$

kde S_d je odchylka od náhodné proměnné *cestovní čas*, E je očekávaná (střední) hodnota dané proměnné.

Parametry α a β mohou být vysvětleny jako peněžní hodnota času a hodnota nejistoty (nebo hodnota rizika). Tento model obecné nákladové funkce se v minulosti často využíval. Pro výpočet očekávaných cestovních nákladů je důležitý cestovní čas, ale neméně důležitou roli hraje i nejistota v cestovním chování, která je v této funkci vyjádřena jako $\beta S_d(\text{cestovní čas})$.

Cestovní náklady uživatele jsou variabilní mj. i v závislosti na nejistotě ohledně dopravní situace na dané infrastrukturní síti. Existují 4 typy modelů rovnováhy stochastické sítě s informacemi a s náklady nejistoty, kde v každém z nich se cestující snaží hledat optimální náklady cestování:

1. **N** - uživatelům nejsou dostupné žádné informace, a cestující se rozhodují pouze na základě očekávaných cestovních nákladů,
2. **I** - vychází z předpokladu, že informace o aktuálních dopravních nákladech jsou dostupné všem účastníkům, a to znamená, že cestující se rozhodují spíše na základě skutečných nákladů než očekávaných,
3. **P** - informace určené části uživatelů silnice jsou zvnějšku dostupné,
4. **E** - model formovaný „zevnitř“ - volba cestujících mít informace záleží na jejich osobních užitečích a nákladech spojených s informacemi.

Všechny tyto modely vycházejí z binomického (Bernoulliho) rozdělení pravděpodobnosti s pravděpodobnostmi různých stavů cestovního času v závislosti na různé výši kapacity na dopravní síti.

Základní model **N** představuje situaci, kdy nejsou k dispozici žádné informace. Rovnováha tohoto modelu je popsána následující rovnicí:

$$\alpha \cdot ((1-p) \cdot C^0(N_N) - p \cdot C^1(N_N)) + \beta \cdot \sqrt{p \cdot (1-p)} \cdot (C^1(N_N) - C^0(N_N)) = D(N_N)$$

Levá strana rovnice vyjadřuje očekávané cestovní náklady a pravá strana ochota zaplatit za užívání dopravní sítě. Pro mezního uživatele sítě N_N se očekávané osobní náklady rovnají osobnímu užítku. Tento uživatel je indiferentní, jestli síť využije nebo ne.

Daná rovnice rovnováhy vychází z Bernoulliho rozdělení, kde s pravděpodobností $(1-p)$ bude cestovní čas $C^0(N)$, s pravděpodobností p bude $C^1(N)$. Stav 0 znamená vysokou kapacitu na dopravní síti, stav 1 nízkou kapacitu (způsobenou například dopravními nehodami, prací na silnici apod.)

5. MODELOVÁNÍ INTERAKCE DOPRAVNÍHO A EKONOMICKÉHO SYSTÉMU

5.1 Návrh metodiky pro analýzu

Smyslem tohoto modelování je ověření hypotézy, jež hovoří o vzájemném působení dopravního a makroekonomického systému v různých časových horizontech. Ověření této hypotézy je stavěno na matematickém modelování za použití statistických metod prostřednictvím vybraných klíčových ukazatelů obou systémů.

V souladu s dynamickým přístupem k modelování jsou v modelu užity časové řady vybraných ukazatelů, a to s kvartálními údaji z titulu zvýšení vypovídací hodnoty modelu. Co se týče samotných ukazatelů, jako nejvíce reprezentativní byly vybrány veličiny přepravního výkonu jednotlivých dopravních oborů osobní i nákladní dopravy v naturálních jednotkách za dopravní systém a ukazatel reálného hrubého domácího produktu ve stálých cenách roku 2000 za makroekonomický systém.

Jako první krok zpracování kvartálních údajů těchto veličin bylo nutné přistoupit ke zkoumání, zda jednotlivé časové řady čtvrtletních údajů vykazují významný sezónní faktor. Takto ověřeny byly všechny časové řady přepravního výkonu jednotlivých dopravních oborů. K testování oprávněnosti zařazení sezónního parametru do modelu byl použit test hypotézy o existenci sezónnosti, který ověřuje nulovou hypotézu, zda sezónní výkyvy jsou pro všechny

sezóny rovny nule, proti alternativní hypotéze, že alespoň pro některou sezónu je tento sezónní výkyv nenulový. Jako testové kritérium je užita F-statistika ve tvaru:

$$F = \frac{m \sum_{j=1}^r (\bar{y}_{.j} - \bar{y})^2}{(r-1)\sigma^2}$$

kde $i = 1 \dots m$ je počet let a $j = 1 \dots r$ je počet dílčích období v rámci roku, v našem případě $r = 4$, a

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r (y_{ij} - \bar{y})^2 - r \sum_{i=1}^m (\bar{y}_{i.} - \bar{y})^2 - m \sum_{j=1}^r (\bar{y}_{.j} - \bar{y})^2}{(r-1)(m-1)}$$

Uvedená F-statistika má při platnosti nulové hypotézy F-rozdělení s $(r-1)$ a $(r-1)(m-1)$ stupni volnosti.

Pokud řada nevykazuje významný sezónní faktor, bylo použito Brownovo jednoduché exponenciální vyrovnání pro výpočet vyrovnaných hodnot \hat{y}_t ve tvaru:

$$\hat{y}_t = (1 - \alpha) \cdot y_t + \alpha \cdot \hat{y}_{t-1}$$

kde α je vyrovnávací konstanta.

Modelování trendu časové řady pomocí této metody je vázané na zvolení optimální hodnoty vyrovnávací konstanty tak, aby získaná posloupnost reziduí skutečně reprezentovala náhodnou složku. Jako kritérium tohoto ověření byl zvolen Durbin-Watsonův test, který jako testové kritérium používá statistiku s posloupností reziduí jako odhadů náhodné složky ve tvaru:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (\hat{\varepsilon}_t - \hat{\varepsilon}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \hat{\varepsilon}_t^2}$$

Časové řady přepravních výkonů dopravních oborů vykazující významnou sezónní složku, samozřejmě společně s časovou řadou čtvrtletních údajů sezonně nečištěného reálného HDP, byly vyrovnány Holt-Wintersovou metodou exponenciálního vyrovnání se třemi vyrovnávacími konstantami α pro trendovou složku, β pro přírůstek trendu a γ pro sezónní složku, a to v aditivní podobě v souladu s použitou metodikou v rámci aditivní dekompozice časových řad. Vyrovnané hodnoty \hat{y}_t aditivní Holt-Wintersovy metody jsou určeny následujícími vztahy:

$$\hat{y}_t = \hat{a}_{0,t} + \hat{s}_t \dots, \text{ kde}$$

$$\hat{a}_{0,t} = \alpha \cdot (y_t - \hat{s}_{t-s}) + (1 - \alpha) \cdot (\hat{a}_{0,t-1} + \hat{b}_{1,t-1}) \text{ určuje odhad úrovně lineární trendové složky,}$$

$$\hat{b}_{1,t} = \beta \cdot (\hat{a}_{0,t} - \hat{a}_{0,t-1}) + (1 - \beta) \cdot \hat{b}_{1,t-1} \text{ určuje odhad přírůstku - směrnice trendu,}$$

$$\hat{s}_t = \gamma \cdot (y_t - \hat{a}_{0,t}) + (1 - \gamma) \cdot \hat{s}_{t-s} \text{ určuje odhad sezónního výkyvu,}$$

index s určuje počet sezón v roce.

Po namodelování a otestování odhadů náhodných složek lze přistoupit ke korelování těchto složek pro zjištění těsnosti vztahů mezi ukazateli přepravního výkonu a HDP. K tomuto je použit koeficient korelace ve tvaru:

$$r_{x,y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

kde vždy jedna proměnná (řekněme y) reprezentuje rezidua – náhodné složky HDP a druhá proměnná x rezidua určitého přepravního výkonu, jedná se o měření vztahů těchto veličin v tomtéž období. Následně byly prověřeny i opožděné korelace reziduálních složek veličin navzájem s posunutím o 1-8 období - čtvrtletí, tedy počínaje korelací dat zpožděných vzájemně o čtvrtletí konče korelací dat s dvouletým zpožděním. Korelace reziduí je zkoumána ve smyslu oboustranných závislostí, tedy:

- s jakým zpožděním je či není ovlivněn HDP v závislosti na přepravním výkonu,
- s jakým zpožděním je či není ovlivněn přepravní výkon v závislosti na HDP.

Těsnější vztahy mezi korelovanými proměnnými se modelují metodou regresní analýzy. Obecný tvar lineárního modelu má formu:

$$Y_i = \alpha + \beta \cdot X_i + \varepsilon_i$$

kde se metodou nejmenších čtverců vypočtou bodové odhady a a b parametrů α a β .

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Platnost modelu je ověřena testovacími metodami o hypotézách pro volbu regresní funkce, tedy jednotlivými t-testy o nulových hodnotách jednotlivých regresních parametrů a celkovým F-testem. Dále je model prověřen indexem determinace, který určuje, jaká část měnlivosti hodnot časové řady závislé proměnné je vysvětlena vypočteným regresním modelem.

5.2 Dosažené výsledky

Výsledky koeficientů korelace ukázaly vesměs volnější vztah mezi reziduálními složkami veličin, ve většině případů velmi volný či mizivý, nelze tedy striktně potvrdit skutečnou příčinnou souvislost mezi veličinami samotnými a tedy ani spolehlivě matematicky modelovat. Nejvyšší možné koeficienty korelace z uvedených analýz blížící se zleva alespoň číslu 0,7, které by mohly v omezené míře tvořit základ pro další modelování, přísluší v některých případech pouze vztahu přepravního výkonu silniční nákladní dopravy a HDP ve stejném období, dále závislosti přepravního výkonu na HDP v postupných půlročních intervalech, kdy se navíc mění přímá závislost v nepřímou a naopak, což potvrzuje změna znaménka korelačního koeficientu. Tyto vztahy byly modelovány metodou jednorozměrné lineární regrese, neboť se zkoumáním vztahů v rámci každého dalšího zpoždění se mění rozsah každé časové řady, jež je součástí modelování.

Výsledky modelování jednorozměrné lineární regrese vzájemného působení silniční nákladní dopravy s různým časovým posunem o daný počet čtvrtletí dle významných hodnot korelačního koeficientu jsou shrnuty v následující tabulce.

Tab. 1 – Modelování závislosti HDP a přepravního výkonu silniční nákladní dopravy

POSUN	MODEL
0	$HDP=193632,35+39,05 PV$
0	$PV=2922,18+0,013 HDP$
2	$PV=4547,58-0,010 HDP$
4	$PV=3452,58+0,012 HDP$
6	$PV=4661,06-0,011 HDP$
8	$PV=4289,77+0,012 HDP$

Zdroj: autoři

Dle výsledků t-testů i F-testů lze uvedené regresní funkce použít, neboť potvrdily alternativní hypotézy o přítomnosti nenulového regresního parametru. Nepříznivé výsledky pro použitelnost funkce však přinesl index determinace, který nepotvrdil ani u jedné z modelových funkcí dostatečné procento vysvětlené měnlivosti závislé proměnné.

Modelování vzájemných závislostí reprezentujících veličin obou systémů s použitím opožděných korelací potvrdilo náznak jisté míry závislosti, byť statisticky nevýznamné při zvolené 95%-ní hladině významnosti, proměnné HDP v aktuálním čtvrtletním období na přepravním výkonu některého předešlého čtvrtletního období pouze v několika případech, a to v nákladní dopravě silniční (půlroční a roční posun v pořadí s nepřímou a přímou závislostí) a letecké (čtvrtletní posun s přímou závislostí, posun o 3 s nepřímou a 5 čtvrtletí opět s přímou závislostí). S ročním a dvouletým zpožděním se tato závislost projevila i u individuální automobilové dopravy v nepřímém vztahu.

Naproti tomu překvapivě inverzní opožděné závislosti, tedy závislost ukazatelů dopravního systému v aktuálním období na ekonomických ukazatelích předešlých období, se vyskytují v získaných korelačních výsledcích častěji, přičemž stále hovoříme o velmi volné naznačené závislosti. Konkrétně je to vztah letecké osobní dopravy a HDP (posun o čtvrtletí v přímé závislosti, dále o 3, 5, 7 čtvrtletí se střídavou závislostí a dvouleté zpoždění s nepřímou závislostí) a letecké nákladní a HDP (posun 3 čtvrtletí s přímou závislostí). Nejvýrazněji se projevily účinky změn HDP v silniční nákladní dopravě s půlročním, ročním, jedenapůletým a dvouletým zpožděním a se střídavou závislostí počínaje nepřímým vztahem.

6. ZÁVĚR

Popsaná a zvolená metodika po aplikaci zvolené struktury a druhu vstupních dat vybraných reprezentativních veličin neprokázala v obecném vyjádření těsnější vztahy mezi makroekonomickým a dopravním systémem, a to ani při zkoumání vztahů těchto veličin se vzájemným posunem o různý počet dílčích období. Výběr reprezentativních veličin obou

systemů použitý v této práci však nemusí být zdaleka jedinou alternativou, modelovány mohou být vztahy různých ekonomických a dopravních proměnných, které by blíže specifikovaly konkrétní dílčí vztahové problémy mezi systémy, snahou však bylo vybrat pokud možno veličiny s vysokou mírou agregace tak, aby přitom bylo možné ještě postihnout specifické dopravní subsystémy a jejich příspěvky k rozvoji ekonomického systému.

Z hlediska dosavadních přístupů a náhledů na interakci dopravního a ekonomického systému tyto výsledky při modelování závislosti na základě vybraných klíčových proměnných a zvolené metodiky nepotvrzují všeobecně přijímané a uznávané skutečnosti, některé se zjevně spíše naklánějí k jejich vyvrácení.

Z praktického hlediska je použitá metodická sekvence stavěná na metodách matematické statistiky vhodně využitelná i pro modelování dalších proměnných, jejichž vstupní data mají stejné uspořádání a jsou stejného druhu, nabízí se zde tedy její širší uplatnění. V teoretické i praktické výpočetní části jsou navrženy a použity různé alternativy metod pro zpracování dat a modelování jejich vztahů v závislosti na prokázání charakteru dat.

Článek je publikován v rámci řešení výzkumného záměru VZ-MSM 0021627505 „Teorie dopravních systémů“.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] WARDROP, J.G. *Some Theoretical Aspekt of Road Traffic Research*. Proceedings of the Institution of Civil Engineering (1952). ISBN 1-325-378.
- [2] ISSAEV, B., NIJKAMP, P., RIETVELD, P., SNICKARS, F. *Multiregional Economic Modeling*. Practise and Prospecz, North Holland, Amsterdam (1982).
- [3] EMMERINK, R.H.M., VERHOEF, E.T., NIJKAMP, P., RIETVELD, P. *Information in Road Networks with Multiple Origin-Destination Pairs*. In *Transport Systems and Policy: Selected Essays of Peter Nijkamp*. Edward Elgar Publishing, Inc. 2004, Cheltenham, U.K. ISBN 1-84376-266-8.
- [4] EMMERINK, R.H.M., VERHOEF, E.T., NIJKAMP, P., RIETVELD, P. *Information Effects in Transport with Stochastic Capacity and Uncertainty Costs*. In *Transport Systems and Policy: Selected Essays of Peter Nijkamp*. Edward Elgar Publishing, Inc. 2004, Cheltenham, U.K. ISBN 1-84376-266-8.
- [5] BERGH, J.C.J.M., NIJKAMP, P., RIETVELD, P. *Spatial Equilibrium Models: A Survey with Special Emphasis on Transportation*. In *Transport Systems and Policy: Selected Essays of Peter Nijkamp*. Edward Elgar Publishing, Inc. 2004, Cheltenham, U.K. ISBN 1-84376-266-8.
- [6] HINDLS, R., HRONOVÁ, S., NOVÁK, I. *Metody statistické analýzy pro ekonomy*. Management Press Praha 2000, 2. přepracované vydání. ISBN 80-7261-013-9.
- [7] DRAHOTSKÝ, I. a kol. *Modelování vlivu sociálních a ekonomických faktorů rozvoje a omezení dopravního systému*. Tribun EU Brno, 2009, 1. vydání. ISBN 978-80-7399-640-6.
- [8] *Český statistický úřad*. [cit. 2009-12-23]. Dostupné z < <http://www.czso.cz/> >.