

**UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

**ROVNOVÁHA V DOPRAVNÍM SYSTÉMU
DIZERTAČNÍ PRÁCE**

2009

Ing. Daniel SALAVA

**UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍHO MANAGEMENTU,
MARKETINGU A LOGISTIKY**

ROVNOVÁHA V DOPRAVNÍM SYSTÉMU

DIZERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: Ing. Daniel Salava

ŠKOLITEL: doc. Ing. Pavel Šaradín, CSc.

2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 4. 1. 2010

Ing. Daniel Salava

Děkuji panu doc. Ing. Pavlovi Šaradínovi, CSc. za odborné vedení dizertační práce, cenné rady, názory a připomínky.

Za odbornou pomoc při vypracování a cenné rady také děkuji Ing. Kateřině Pojkarové, Ph.D.

V neposlední řadě patří můj dík mé rodině a přátelům, kteří mě v průběhu let významně podporovali.

Souhrn

Rovnováha v dopravním systému je problematikou integrující v sobě několik důležitých hledisek. Ekonomické hledisko při stanovení rovnováhy v dopravním systému je jednou z klíčových součástí zkoumaného problému. Jedná se zejména o vzájemné působení makroekonomického a dopravního systému. Jiný pohled na rovnováhu řeší marketingový problém interakce tržních kategorií v dopravě, tedy dopravní poptávky a nabídky. Samozřejmě neméně důležitá pro efektivnost dopravního systému je i technická a provozní stránka systému, k jehož fungování je třeba samozřejmě i náležitá kapacita dopravní infrastruktury. Tato strana mince zahrnuje právě hledisko prostorové, tedy je třeba i brát v úvahu možnosti řešení rovnováhy meziregionálních přeprav, a dále řešení problému ve smyslu rovnováhy na dopravní síti. Modelování těchto dílčích problémů přirozeně vychází z relevantních faktorů, které jednotlivé oblasti rovnováhy přímo a významně ovlivňují a zároveň je možno je podchytit prostřednictvím matematického vyjádření.

Těžištěm této práce je právě řešení, odhalení a porozumění problému vztahů makroekonomického a dopravního systému. Základ analýzy tvoří vhodně vytipované reprezentativní veličiny obou systémů a volba struktury a druhu vstupních dat, které tvoří čtvrtletní údaje reálného hrubého domácího produktu ve stálých cenách roku 2000 a přepravních výkonů osobní a nákladní dopravy jednotlivých dopravních oborů. Identifikaci vzájemného vztahu mezi zvolenými proměnnými makroekonomického a dopravního systému poskytuje korelační analýza náhodných složek, které předchází adekvátní vyrovnání a očištění dat s ověřením platnosti získaných výsledků použité techniky vyrovnání. V případech, kde prokáže korelační analýza těsné závislosti, je provedeno regresní modelování z hlediska vzájemného rovnovážného stavu obou systémů. Pro úplnost analýzy se uvažuje rovněž fakt, že stav proměnné jednoho systému se může projevit ve druhém systému s jistým zpožděním, proto je pozornost věnována i opožděným korelacím navzájem inverzních závislostí s různým časovým posunem. Platnost výsledků regresního modelování včetně modelů vycházejících z opožděných korelací je ověřována testovacími metodami pro zkoumání regresních parametrů a míru vysvětlení skutečnosti modelem. Posláním výsledků řešení je nejen ověření předpokladů konkrétní interakce mezi oběma systémy, ale na základě získaných výsledků i zhodnocení role dílčích dopravních subsystémů (oborů) ve smyslu jejich přínosů makroekonomickému systému. Důležité jsou i úvahy o možných příčinách vztahů, které byly matematicky prokázány a které pomáhají porozumět souvislostem a interakcím mezi systémy.

Klíčová slova: rovnováha, dopravní systém, ekonomický systém, modelování, regrese

Summary

Equilibrium in transport system is problem integrating itself some important aspects. Economical aspect by setting of transport system equilibrium is one of key parts of investigated problem. It means especially investigation of mutually related influence of macroeconomical and transport system each other. Other sight on equilibrium solves marketing problem of interaction of market categories in transport, thus transport demand and supply. Of course, technical and traffic provision face of transport system for its efficiency has the same importance. It is necessary of course for its perfect function to hold also relevant and adequate capability of transport infrastructure. This side of problem comprises thus spatial aspect, and that is why it is important to consider also possibilities of solution of interregional transportations equilibrium and next problem solution in context of transport network equilibrium. Modelling of these partial problems is naturally based on relevant factors, which influence directly and importantly particular areas of equilibrium and consequently it is possible to reflect them by means of mathematical expression.

Main focusion of this dissertation is just solution, detection and understanding to problem of relations between macroeconomical and transport system. The basis of analysis is created by appropriately selected representative variables of both systems and choice of structure and kind of enter data, which are quartal data of real gross domestic product in fixed prices of 2000 year and of traffic volumes in personal kilometres and tonal kilometres of passenger and freight transport for particular transport modes. Identification of mutual relation between selected variables of macroeconomical and transport system provides correlational analysis of stochastical components of time series. Before it, adequate smoothing and adjusting of data must be processed with verification of validity of gained results from used technique for smoothing. In cases, when correlation analysis confirms close dependences, regressional modelling is processed from viewpoint of mutual equilibril state of both systems. State of variable of one system can also impact other system with certain delay, and that is why the attention is devoted also to delayed correlations of mutually inverse dependences with various time shifts. Results of regressional modelling including models followed from delayed correlations are veryfied by testing methods for examinations of regressional parametres and rate of explanation of reality by models. Mission of solution results is not only verification of assumptions of concrete interactions between both systems, but also assessment of role of partial transport modes to their support of economical system with additional ideas of causes.

Key words: equilibrium, transport system, economical system, modelling, regression

OBSAH

ÚVOD	8
1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VĚDECKÉHO POZNÁNÍ PROBLEMATIKY ROVNOVÁHY V DOPRAVNÍM SYSTÉMU	9
1.1 Charakteristika poptávky po dopravních službách.....	9
1.2 Charakteristika nabídky dopravních služeb	12
1.3 Rovnováha na dopravním trhu.....	15
1.4 Rovnováha dopravního systému a ekonomiky	23
1.4.1 Vliv ekonomického růstu na nákladní dopravu.....	25
1.4.2 Vliv ekonomického růstu na osobní dopravu.....	28
1.4.3 Vliv stavu dopravního systému na ekonomický růst	30
1.5 Prostorová rovnováha dopravního systému	33
1.6 Rovnováha v dopravních sítích.....	43
1.7 Srovnání přístupů v zahraničí a v ČR.....	49
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	52
3 ZVOLENÉ METODY ZKOUMÁNÍ ROVNOVÁHY DOPRAVNÍHO A MAKROEKONOMICKÉHO SYSTÉMU.....	53
3.1 Východisko pro výzkum a volbu metodiky zkoumání.....	53
3.2 Volba uspořádání a druhu vstupních dat modelu.....	55
3.3 Volba metodiky pro zpracování vstupních dat výzkumu.....	56
4 NÁVRH MODELOVÁNÍ ROVNOVÁHY DOPRAVNÍHO A MAKROEKONOMICKÉHO SYSTÉMU.....	60
5 SHRUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ A ZHODNOCENÍ VLASTNÍCH PŘÍNOSŮ	70
SEZNAM LITERATURY:.....	76
SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ TÝKAJÍCÍCH SE TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE	79
OSTATNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST	80

SEZNAM ZKRATEK	82
SEZNAM TABULEK	83
SEZNAM PŘÍLOH.....	84

Úvod

Národní hospodářství přirozeně požaduje stabilní a dostatečný objem přeprav, který závisí na stavu ekonomiky, poptávce po dopravě, flexibilitě a kapacitě dopravního systému. Čím je dopravní systém dokonalejší a pružnější, tím lépe je schopen zabezpečit nejen samotnou poptávku po přepravách, ale i přispívat k hospodářskému rozvoji.

Dopravní rozhodnutí činí přepravci jakožto zákazníci – zadavatelé přeprav a rovněž i poskytovatelé přepravních služeb – dopravci či speditéři, zajišťující samotný výsledek služby dopravního sektoru. Dopravci jako nabídková strana rozhodují o výběru dopravního prostředku, technologii přepravy, organizaci, přepravci naproti tomu jako strana poptávky rozhodují o objemu požadovaných služeb podle jejich hodnocení užitečnosti dopravy, resp. užitku z dopravní služby. Od tohoto ohodnocení se rovněž odvíjí i ochota zaplatit určenou cenu za dopravní službu.

Tržní kategorie poptávky a nabídky svojí vzájemnou interakcí samozřejmě předurčují aktuální situaci na trhu dopravních služeb, ať už hovoříme o stavu rovnováhy či nerovnováhy na trhu. Jak již bylo naznačeno výše, doprava jako sektor služeb tvoří důležitou součást národního hospodářství a jsou na ni kladeny vysoké nároky nejen z důvodu zefektivnění výrobních a logistických procesů, ale i pro existenci určité společenské poptávky.

Vztah dopravy a národního hospodářství, potažmo celé společnosti, je oboustranný. Hospodářství se ve svém vývoji neobejde bez dopravních služeb a jejich zkvalitňování, naproti tomu dopravní sektor ke své úspěšné existenci potřebuje dostatečnou poptávku generovanou právě národní ekonomikou. Relace dopravy, společnosti a ekonomiky v souvislostech formování poptávky po dopravních službách a vlivu dopravy na činnost a výkonnost ekonomiky vystupuje do popředí v rámci celospolečenského vývoje ať již v krátkodobém či dlouhodobém časovém horizontu. Proto je důležité tyto vzájemné vztahy obou systémů co nejlépe identifikovat, což je hlavním cílem této práce.

1 Analýza současného stavu vědeckého poznání problematiky rovnováhy v dopravním systému

1.1 Charakteristika poptávky po dopravních službách

Pro každý dopravní podnik, který se snaží o zabezpečení dlouhodobé existence na přepravním trhu, je důležité získat měřením poptávky a průzkumem přepravního trhu relevantní, aktuální, přesné, objektivní, konzistentní a srozumitelné informace o poptávce po jeho přepravních službách, aby byl v co největší míře schopen tyto údaje využít pro předvídání změn v poptávce a pro plánování postupů, jak na tyto změny reagovat a jaká opatření použít, aby bylo dosaženo stanovených cílů podniku.

Poptávka je standardně chápána jako vztah mezi poptávaným množstvím a cenou. Poptávka po dopravních výkonech vzniká na dopravním trhu a je vyvolávána přepravci, kteří je využívají k prostorovému a časovému přemístění zboží. Alternativně lze také poptávku vyjádřit jako poměr množství zakoupených přepravních výkonů a služeb k nákladům na získání těchto výkonů a služeb.

Je třeba zdůraznit, že je značný rozdíl mezi poptávkou a realizovanou přepravou. Téměř každý poptávající si hledá nejlepší podmínky pro svoji přepravu, především pokud jde o cenu za přepravu. Proto dělá výběr mezi dopravci tím, že poptává více dopravců a pak si vybere nejvýhodnějšího dopravce, který mu přinese nejvyšší užitek. Ostatní dopravci nejsou potom osloveni, takže přepravu nerealizují. Mluví se proto o potenciálních přepravách.

Poptávka po dopravě je zpravidla odvozenou poptávkou, protože je obvykle vyvolána potřebou, která se netýká dopravního sektoru. Pro silniční nákladní dopravu to znamená, že poptávka po službách podniků, zaměřujících se na tento druh dopravy, je závislá na velikosti poptávky po výrobcích, neboť umožňuje přemístění těchto výrobků ke spotřebiteli. Z toho plyne, že přepravní výkony nejsou vlastním předmětem poptávky.

Pro poptávku po dopravě je rovněž charakteristický prostorový a časový rozptyl a také časová citlivost, která vyplývá ze zvláštností přepravovaného zboží (např. rychle se kazící výrobky) či z požadavku zvláště rychlé přepravy.

V souvislosti s dopravní poptávkou lze hovořit o určitých faktorech, které mohou být buď pozitivní, jestliže zvyšují poptávku (růst výroby), nebo negativní, tedy takové, které danou poptávku snižují (nevhodná cena, nepříznivé mimoekonomické důsledky, atd.). Působení jednotlivých faktorů na výši a dynamiku poptávky nemusí být bezprostřední, mnohdy mají účinek s určitým časovým zpožděním.

Při zkoumání faktorů působících na poptávku po přepravě můžeme obecně konstatovat, že poptávka po zboží (komoditě) D_i je ovlivněna jeho cenou P_i , cenou ostatních zboží P_j a úrovní příjmů (důchodů) I a nějakou mírou spotřebitelských vkusů (zálib) t .

Potom platí:

$$Q_i = f(P_i, P_j, \dots, P_m, I, t)$$

Obecný algebraický zápis můžeme specifikovat volbou konkrétní formy rovnice, například:

$$Q = a \cdot bP_i \cdot cP_j \cdot dI \cdot e^t$$

kde a, b, c, d a t jsou konstanty. Tato konkrétní funkce je nazývána funkcí s konstantní elasticitou poptávky, neboť po úpravě lze zjistit, že b je (vlastní) cenová elasticita poptávky, c je křížová elasticita poptávky a d je příjmová elasticita poptávky. Písmeno e značí základ přirozeného logaritmu, takže člen vztahu e^t pak vyjadřuje jistý trendový faktor pro veličinu spotřebitelského vkusu (zálib). V podmínkách dopravy lze konkrétně faktory poptávky charakterizovat následovně:

- fyzikální charakter přepravovaného zboží,
- cena za přepravu,
- úroveň příjmů,
- relativní cenu ostatních služeb,
- rychlost a kvalita přepravní služby.

Samotný rozsah přepravy může být zavádějícím údajem skutečných dopravních potřeb, protože představuje potřebu, která je přizpůsobena dostupnosti dopravních služeb. Je zřejmé, že rozsah přepravy na přeplněném dopravním zařízení, které je provozováno při této kapacitě, nelze považovat za odhalení skutečné dopravní potřeby, vzhledem k tomu, že nezahrnuje dodatečnou přepravu, která by mohla proudit po zařízení, pokud by byla dostupná dodatečná kapacita pro dopravu. Jestliže přírůstek kapacity vede ke zvýšení rozsahu přepravy, potom je potencionální přeprava větší než původně pozorovaný rozsah přepravy.

Dále musíme vzít v úvahu různou časovou citlivost poptávky po dopravě, která vyplývá z hodnoty zboží, specifik přepravovaného zboží (rychle se kazící produkty), požadavku zvlášť rychlé přepravy (i když někdy málo hodnotného zboží) vzhledem k zabránění následným škodám v podniku.

Tvorbu a charakter zátěžových proudů odvíjejících se od dopravní poptávky ovlivňují některé činitele, jako např.:

- koeficient přepravnosti,
- přepravní vzdálenost,
- koncentrace přepravy,
- nerovnoměrnost časová i směrová,
- nevhodné přepravy.

Koeficient přepravnosti je ukazatelem vzájemného poměru mezi objemem přepravy a objemem výroby /objím v tunách/. Udává tedy v procentech, jakou část vyrobené produkce je třeba z míst výroby přepravit.

$$K_{pr} = \frac{Q_{pr}}{Q_{vyr}} \cdot 100$$

Cílem je organizovat výrobní a odbytové vztahy tak, aby koeficient přepravnosti byl co nejmenší. Koeficient přepravnosti počítáme pro jednotlivé druhy substrátů a u téhož substrátu pro jednotlivé dopravní obory. Koeficient přepravnosti se mění s ohledem na změny v dodavatelsko-odběratelských vztazích (např. při změně zásob u výrobce nebo spotřebitele, při změně norem spotřeby, při účelnějším rozmístění).

Při modelování dopravní poptávky se vychází zpravidla z modelu FSM (Four Step Model), který je hlavním nástrojem pro předpovídání budoucí poptávky a výkonnosti regionálního dopravního systému na bázi modelování založeném na cestách. Model sestává ze čtyř hlavních kroků:

- generování cest (trip generation),
- směrování proudů (trip distribution),
- volba druhu dopravy (mode choice),
- rozdělení proudů na dopravní síti (traffic assignment).

Čistě uživatelský přístup poměřuje hodnotu pro uživatele dopravy prostřednictvím maximální hodnoty jeho užítku jakožto funkce výnosů a nákladů uživatele, které mu konkrétní varianta přináší. Tento přístup právě definuje McFaddenova formule ve tvaru [20]:

$$[Užitek alternativy] = - \left\{ [cestovní doba] + \frac{[náklady cesty]}{[příjem]} \right\} \bullet [m \text{ arg. užitek vol. času}] + \\ + [cestovní doba] \bullet [m \text{ arg. užitek cest. doby}] + [komfort] \bullet [m \text{ arg. užitek komfortu}] + \\ + [další atributy] \bullet [m \text{ arg. užitek atributů}] + \dots$$

1.2 Charakteristika nabídky dopravních služeb

Nabídkou obecně z pohledu makroekonomického se rozumí množství statků, které jsou podniky ochotny vyrábět a prodávat na trhu za danou tržní cenu. Faktory ovlivňující nabídku v podmínkách dopravy mají následující podobu:

- vlastní cena - vyšší vlastní cena zvyšuje úroveň nabízené služby, která přináší nejvyšší zisk,
- výrobní náklady – technologie (např. nové motory v automobilech snižují spotřebu paliva a tím i náklady na přepravu a zvyšují nabídku), ceny vstupů (např. zvýšení cen za pohonné hmoty zvyšuje náklady a snižuje nabídku),
- ceny substitučních výrobků (např. pokud se sníží ceny za železniční dopravu, zvýší se nabídka silniční dopravy),
- organizace trhu (např. liberalizace železničního trhu zvýší nabídku po železniční přepravě),
- jiné faktory (např. pokud vláda sníží daně na silniční přepravu, zvýší se pravděpodobně nabídka přepravy).

V případě dopravy existují tři závažné odlišnosti od konvenční spotřeby a vyžadují modifikaci definice nabídky:

- v dopravě často není správně definován nabízející, a proto nelze zkoumat chování nabízejícího,
- v dopravě jsou důležité nepeněžní aspekty nabídky - u mnoha druhů dopravy je nejdůležitějším atributem cestovní čas, pokud tomu tak není, hlavní roli hraje cena účtovaná provozovatelem,
- určení atributů dopravní nabídky je často výsledkem chování uživatele než nabízejícího - mnoho důležitých aspektů úrovně dopravní služby, které přímo odrážejí vývoj přepravních proudů, závisí na tom, jak cestující používají dostupné dopravní prostředky a dopravní služby, pak je nelze považovat za atributy nabídky určované nabízejícím.

Z těchto důvodů není vhodné omezit definici dopravní nabídky na pojem nabídnutého množství při dané ceně.

Nabídkovou stranou dopravních trhů jsou výkony dopravních podniků a firem překonávající prostor. Výkony v dopravě jsou vždy výsledkem dispoziční a reálné části.

Dispoziční část je chápána jako organizační uspořádání průběhu dopravy. Reálnou částí dopravního výkonu je vlastní přemístění. Společná vlastnost pro dopravu i ostatní služby je

jejich neskladovatelnost. Dopravní výkony musí mít svého zákazníka v určitém čase, jinak se stávají ztraceným nákladem. Při tvorbě dopravního výkonu je nevyhnutelným mezistupněm provozní výkon, což je vlastně výkon nabídnutý dopravním výkonem a odebraným přepravním výkonem se stává tehdy, přistoupí-li k němu zákazník, tedy je-li tu nějaký přepravovaný objekt. Je velmi důležité rozlišovat provozní a přepravní výkony, především při měření produktivity. Produktivita je dána podílem výstupu a vstupů. Provozní výkon pak může mít charakter výstupu i vstupu. Jako výstup bude tehdy, pokud bude měřena produktivita jako podíl osobových km na sedadlové km. Charakter vstupu bude mít tehdy, bude-li měřena produktivita jako sedadlové kilometry k počtu zaměstnanců.

V souvislosti s nabídkou dopravních služeb hovoříme též o tzv. konjunkturálních indikátorech, které se mohou vztahovat k ekonomice jako celku nebo k vybraným prvkům či částem. Standardní systém konjunkturálních ukazatelů zahrnuje tyto oblasti:

- ukazatele produktu (HDP, jeho vyšší úroveň může rovněž zvyšovat nabídku),
- ukazatele trhu práce,
- ukazatele cenové úrovně vstupů a výstupů (cenové indexy – nabídka v dopravě odlišně reaguje při vysoké a při nízké inflaci; dále indexy produkce v odvětví průmyslu),
- ukazatele vnějších ekonomických vztahů.

Tedy konkrétně se jedná o:

- hrubý domácí resp. národní produkt – vyjadřuje tržní hodnotu všech výsledků hospodářských aktivit na území určitého státu (domácí produkt) nebo dosažených příslušníky daného státu (národní produkt). Strukturu hrubého domácího produktu lze vyjádřit z pohledu jeho tvorby jako souhrn vytvořených hodnot přidaných zpracováním za jednotlivá odvětví. Je zřejmé, že čím vyšší hrubý domácí produkt bude, tím větší může nabídka v dopravě být.
- indexy produkce - patří k těm typům ukazatelů, ze kterých lze usuzovat na změny agregátní ekonomické aktivity a v této funkci často nahrazují ukazatele hrubého domácího produktu, který není k dispozici v měsíčních průřezech. Indexy produkce pouze vyjadřují fyzický objem produkce neovlivněný změnami cen. Z hlediska nabídky v dopravě jsou nejdůležitější indexy produkce v odvětví průmyslu.
- cenové indexy – vyjadřují charakteristiku cenových změn. Souhrnná změna celkové cenové hladiny za všechny sféry finální spotřeby je ve statistické praxi sledována pouze při sestavování ročního ukazatele hrubého domácího produktu a

průběžně není k dispozici. Pracuje se proto s dílčími cenovými indexy, zásadní význam pro hodnocení ekonomického vývoje mají především měsíčně sledované spotřebitelské ceny, dále odvětvové ceny producentů (v průmyslu, v dopravě, službách atd.) a také ceny vývozců a dovozců. Znalost cenového vývoje je nezbytná pro určení podmínek, ve kterých probíhá hospodářská činnost. Jinak se ekonomika chová při nízké inflaci, jinak při vysoké. I nabídka v dopravě bude odlišně reagovat při vysoké a při nízké inflaci.

Tyto konjunkturální ukazatele jsou kvantitativní a zjišťují se statisticky.

Na nabídku v dopravě působí čtyři hlavní vlivy:

- technologie – na používané technologii závisí nabízený výkon dopravního systému nebo podniku a především provozní náklady, další aspekty přímo závislé na technologii jsou kapacita, rychlost, bezpečnost, pravidelnost a pohodlnost přepravy, tedy jde o znaky kvality poskytnuté služby.
- provozní strategie – způsob, jakým je využívána technologie při poskytování dopravní služby,
- institucionální požadavky a omezení – dopravně-provozní strategie a cenová politika je často výsledkem požadavků a omezení, které jsou vynuceny regulačními procesy,
- chování uživatele – většina aspektů dopravní nabídky je závislá na chování uživatelů dopravního systému, které pak ovlivňuje nabídku.

Výsledkem těchto navzájem se ovlivňujících jevů je nabídková funkce, která vychází z pohledu uživatele přepravních služeb a vztahuje se k druhu a velikosti přepravních proudů. Jestliže je dopravní technologie provozována dopravcem a jestliže je ovlivňována institucionálním a tržním prostředím, může být popsána jako výkonová funkce. Tuto nákladovou funkci lze analogicky považovat za nákladovou funkci dopravce nebo uživatele. Pro potřeby analýzy lze považovat za nabídkovou funkci také funkci nákladovou, která je ovšem ovlivňována chováním uživatele. V osobní dopravě jde především o nabídku rychlé, spolehlivé, bezpečné a pohodlné vnitrostátní a mezinárodní dopravy.

S ohledem na konkrétní přepravní potřeby zákazníků by měla přepravní služba, která tvoří nabídkovou část dopravního trhu v nákladní dopravě, zohlednit:

- specializaci dopravních prostředků,
- kvalitu přepravy zejména v návaznosti přepravy na ostatní prvky oběhového procesu, zrychlení přepravy, dodržení dodacích lhůt,

- ceny za přepravu odpovídající konkrétním podmínkám a ekonomickým zájmům dopravce i přepravce,
- nabídku dalších doplňkových služeb.

1.3 Rovnováha na dopravním trhu

Interakce tržních kategorií poptávky a nabídky předurčuje aktuální situaci na trhu. Modelování rovnováhy na dopravním trhu se zohledněním faktorů ze strany poptávky a nabídky po dopravních službách je nastíněno v dalším textu. Při řešení tohoto problému se vychází ze stavu fungování společensko-ekonomického systému, kapacit, kvalitativních a kvantitativních schopností dopravního systému. Strana poptávky zohledňuje jak přepravu osobní, tak i nákladní. Níže uvedené rovnice stanoví celkový zápis rovnováhy poptávky a nabídky v přepravě nákladní a osobní, dále celkovou produkční kapacitu dopravního systému jako sumu kapacit v přepravách osobních a nákladních.

Předpokládají se následující obecné funkční závislosti:

- $Q = D(H, K)$, kde je velikost poptávky Q definována funkcí poptávky, která závisí na úrovni a struktuře činností společensko-ekonomického systému H a na úrovni poskytovaných dopravních služeb K (zohledňující takové vlastnosti jako čas přepravního, resp. dopravního procesu, cena, bezchybnost atd.).
- $Q_C = f(T, Q)$, tedy Q_C je produkční kapacita dopravního systému vyjádřená jako funkce stavu tohoto systému T a velikosti poptávky Q (předpokládáme, že není žádné omezení kvantitativní úrovně nabídky).
- $F = g(H, T) = f(Q, K)$, kde velikost dopravních toků F (zboží i osob) je funkce stavu společensko-ekonomického systému H a stavu dopravního systému T , konkrétně funkcí velikosti poptávky Q a úrovně poskytovaných služeb K ,
- $K = J(T, Q)$, kde úroveň poskytovaných dopravních služeb K je vyjádřena funkcí dopravní činnosti J závislé na stavu dopravního systému T a velikosti poptávky Q .

Dopravní systém by se měl nacházet ve stavu rovnováhy, tedy rovnosti mezi nabídkou a poptávkou, což lze zapsat obecně: $Q_C \approx Q$ nebo $Q_C = Q$ v každém časovém období. Závislost typu \approx je bližší skutečnosti, závislost typu $=$ vyjadřuje ideální stav.

Součinitel přepravní náročnosti φ_T ekonomického systému H lze definovat podílem poptávky po přepravě zboží Q_Z (poptávky po přepravě veškerého zboží ve fyzických jednotkách vynásobených cenou za jednotku) a hospodářské činnosti H_H (např. HDP v peněžních jednotkách). Obě tyto veličiny mohou být vektory odrážejícími odpovídající strukturu přeprav ekonomického systému. Souvisí tedy s dopravou nákladní.

$$\varphi_T = \frac{Q_Z}{H_H}$$

Uvedená charakteristika vypovídá o přepravní náročnosti kvantitativně a „bezrozměrně“, v této souvislosti můžeme rovněž hovořit o ukazateli přepravní náročnosti ve smyslu:

- objemovém, kdy Q_Z je poptávka po přepravě veškerého zboží v tunách (objemu přepravy), výsledným ukazatelem je tedy hodnota v tunách/Kč,
- výkonovém, kdy Q_Z je poptávka po přepravě veškerého zboží v tunokilometrech (přepravního výkonu), výsledným ukazatelem je tedy hodnota v tkm/Kč.

Analogicky lze odvodit součinitel pro osobní dopravu. Součinitel pasažérské poptávky, resp. cestovnost či mobilitu φ_P definujeme podílem této poptávky Q_P (počtu potenciálních cestujících) a stavu společenského systému H_S (celkového počtu obyvatelstva). Obě tyto veličiny mohou být vektory odrážejícími jednotlivé společenské skupiny vyčleněné dle stanovených kritérií.

$$\varphi_P = \frac{Q_P}{H_S}$$

Na základě těchto úvah tedy můžeme zformulovat následující vztahy:

$$\begin{aligned} H_H * \varphi_T &= Q_Z \\ H_S * \varphi_P &= Q_P \end{aligned}$$

Stanovení rovnováhy tedy lze vyjádřit následovně:

$$H_H * \varphi_T \leq Q_{ZC}$$

tedy poptávka po dopravních službách v oblasti nákladní dopravy (tedy z podnětu výrobního sektoru) Q_Z není větší než produkční kapacita přeprav zboží Q_{ZC} :

$$H_S * \varphi_P \leq Q_{PC}$$

tedy poptávka po přepravě osob není vyšší než produkční kapacity přeprav osob Q_{PC} . Q_{ZC} a Q_{PC} jsou vektory produkční kapacity přeprav zboží a osob. Q_{ZC} a Q_{PC} přitom můžeme definovat vztahy:

$$Q_{ZC} = T_Z \cdot \frac{Q_Z}{T_{Zef}}$$

$$Q_{PC} = T_P \cdot \frac{Q_P}{T_{Pef}}$$

přičemž hodnoty ve jmenovateli jsou části, resp. komponenty dopravního systému (ať už personální nebo infrastrukturní) efektivně zapojené do přepravního procesu. Pro potřeby

tohoto vztahu jsou promítnuty do skutečných výkonů dopravního systému, kterými jsou vyjádřeny (tunokilometry, osobokilometry). Označujeme je jako efektivní hodnoty, naproti tomu hodnoty stavu dopravního systému T_Z a T_P vyjadřují potenciální, resp. nabízené výkony.

Tedy:

$$Q_{ZC} + Q_{PC} = Q_C$$

a současně

$$T \in (T_Z, T_P)$$

$T_Z - T_{Zef}$ je rezerva v nákladní dopravě (převis nabídky),

$T_P - T_{Pef}$ je rezerva v osobní dopravě (převis nabídky).

Z výše uvedených vztahů je zřejmé, že produkční kapacita přeprav zboží závisí na potenciálních tunokilometrech dopravního systému a jeho produktivitě dané poměrem Q_Z/T_{Zef} .

Analogicky produkční kapacita přeprav osob závisí na potenciálních osobokilometrech dopravního systému a jeho produktivitě dané poměrem Q_P/T_{Pef} .

Takto zapsaná produkční kapacita dopravního systému je vyjádřena jako funkce stavu dopravního systému T a produktivity příslušné části dopravního systému efektivně zapojené v přepravní činnosti:

$$Q_C = T \cdot \frac{Q}{T_{ef}} = Q + (T - T_{ef}) \cdot \frac{Q}{T_{ef}}$$

kde část kapacity vyjádřenou jako $(T - T_{ef}) \cdot \frac{Q}{T_{ef}}$ lze interpretovat jako kapacitní rezervu.

Konečnou podmínkou je, aby $(T - T_{ef}) > 0$ ve všech elementech systému. Jestliže v libovolném elementu i (T) nastane situace $(T - T_{ef}) = 0$, nelze tehdy hovořit o kapacitní rezervě v systému, ale o limitujícím činiteli nebo o eventuálním vnitřním nesouladu dopravního systému za předpokladu, že ve všech ostatních elementech platí $(T - T_{ef}) > 0$. Posouzení, zda se jedná o limitující činitel nebo stav nesouladu v systému, závisí na dosahu, síle působení a času trvání a nelze vždy snadno vynést jednoznačný soud.

Problematika rezerv v dopravním systému chápaných jako vědomé udržování zásoby produkčních činitelů schopných se v každé chvíli zapojit do přepravního procesu vyžaduje hlubších teoretických studií a modelování či empirické výpočty. Na jedné straně je třeba zohlednit:

- nestálost v hospodářských procesech i velikostech užitků zákazníků,
- nutnost harmonizace nabídky a poptávky v čase i prostoru (při sezónních výkyvech poptávky),

- jednoúčelovost dopravních prostředků, dlouhé období využívání a budování nových infrastrukturních objektů,
- konkurence mezi dopravci jako činitel stimulující rozvoj,
- existence náhodných jevů,

což bezpodmínečně vyžaduje rezervní kapacity dopravy.

Na druhou stranu existence rezerv generuje dodatečné náklady dopravy. Je potřebné dosahovat stálého optimálního stavu, který by garantoval správné fungování dopravního systému v obsluze ekonomiky a společnosti při přijatelně nízkých nákladech a přiměřeném zisku. Zvláště důležité je si uvědomit, v jaké formě mají rezervy vystupovat, v jakém čase je možné jejich zapojení do procesu určených dopravně obslužných relací.

Důležité požadavky a podmínky v hospodaření s rezervami dopravní kapacity vyplývají z přijetí logistických zásad uživatelů, kde se počítá hlavně s přesností, spolehlivostí, flexibilitou, komplexností dopravních služeb a rychlostí.

Dopravní poptávka (po nákladní dopravě) závisí především na:

- struktuře činností a odvětví národního hospodářství,
- lokalizaci míst získávání zdrojů, jejich zpracování a odbytových trhů,
- použitých technologiích v produkci zboží a služeb,
- organizaci obratu zboží (nákup, odbyt, skladové hospodářství, počet organizačních stupňů, bezprostřednost a frekvence dodávek),
- organizaci dopravních procesů,
- chování uživatelů dopravy na trhu.

Většina z vyjmenovaných činitelů nemá dopravní charakter. Jsou svázané s charakteristickými vlastnostmi různých průmyslových odvětví, obchodu, ekonomiky z hlediska prostoru a organizace hospodářského života. Ovlivňování přepravy je zvláště důležitou věcí. Záleží na výběru délky trasy přepravy a množství užitých prostředků pro přepravu dané zásilky. V jistém smyslu novým činitelem je chování uživatelů dopravy (ekonomických jednotek) na trhu, pod kterým se rozumí vztah k dopravě (velikost přeprav, náklady) při ekonomických rozhodnutích. Tento činitel je jedním z nejdůležitějších při zkoumání motivů chování národního hospodářství a podniků. Úvahy v kategoriích celkové produkční kapacity dopravy a dopravní poptávky mají však při rozhodovacích procesech omezenou použitelnost. Neodpovídají na řadu důležitých otázek, a to:

- jaký je charakter přepravených nákladů z pohledu dopravy – schopnost dopravy, její možnosti,

- požadavky na druhy dopravních prostředků a organizace dopravních procesů,
- jaká je možnost substituce jednotlivých činitelů působících na dopravní poptávku hospodářství,
- jaká musí být požadovaná dopravní kapacita (vlaky, nákladní automobily atd. a v jaké proporcii),
- jaké kvalitativní znaky je povinna mít produkční kapacita dopravy (hromadnost přeprav, elasticitu, stupeň spolehlivosti, rychlost atd.),
- jaké by měly být technologie přepravních procesů.

Na základě výše uvedených rovnic lze zapsat:

$$\Delta Q_Z = f(\Delta H_H, \Delta \varphi_T)$$

$$\Delta Q_{ZC} = f(\Delta Q_Z) = g(\Delta H_H, \Delta \varphi_T)$$

Tyto rovnice vyjadřují přírůstek poptávky jako výsledek přírůstku hladiny produkce celkem ΔH_H a změn v přepravní náročnosti, což se promítá taktéž do nezbytných změn produkční kapacity dopravy ΔQ_{ZC} .

Ve vektorovém pojetí vyjadřuje H vektor představující hladiny činností jednotlivých odvětví hospodářství, kterých je n :

$$H = \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \cdot \\ H_n \end{pmatrix}$$

Každé z hospodářských odvětví (mohou to být eventuelně skupiny produktů) se vyznačuje svou vlastní hladinou přepravní náročnosti, tedy:

$$\varphi_T = \begin{pmatrix} \varphi_{T_1} \\ \varphi_{T_2} \\ \cdot \\ \varphi_{T_n} \end{pmatrix}$$

Každé z těchto hospodářských odvětví (nebo skupin produktů) tvoří poptávku po dopravních službách ve velikosti:

$$\begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \cdot \\ H_n \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \varphi_{T_1} \\ \varphi_{T_2} \\ \cdot \\ \varphi_{T_n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \cdot \\ Q_n \end{pmatrix}$$

Vektor Q v této vektorové rovnici vyjadřuje velikost poptávky, se kterou je spjatá určitá úroveň kvality poskytovaných služeb S_i ke každému i . Každé S_i je vektorem popisujícím podstatné kvalitativní vlastnosti služeb vzhledem k jednotlivému podsystému i .

Strategie rozvoje dopravy je integrální součástí hospodářské strategie státu. Dosavadní posuzování závislosti ukazuje, že makroekonomické výběry v oblastech:

- úrovně globální produkce a národního důchodu,
- hospodářské struktury kraje,
- zásad obratu zboží,
- lokalizace hospodářských aktivit,

ovlivňují velikost i znaky poptávky po dopravě. Přírůstkovou funkcí lze zapsat v obecném tvaru:

$$(Q + \Delta Q) = (H + \Delta H) * (\varphi_T + \Delta \varphi_T).$$

Neboť všechny veličiny ve vztahu lze chápat jako vektory, uvedené lze zapsat:

$$\begin{pmatrix} Q_1 + \Delta Q_1 \\ Q_2 + \Delta Q_2 \\ \cdot \\ Q_n + \Delta Q_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_1 + \Delta H_1 \\ H_2 + \Delta H_2 \\ \cdot \\ H_n + \Delta H_n \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \varphi_{T_1} + \Delta \varphi_{T_1} \\ \varphi_{T_2} + \Delta \varphi_{T_2} \\ \cdot \\ \varphi_{T_n} + \Delta \varphi_{T_n} \end{pmatrix}$$

Tedy změny v hospodářském systému, zamýšlené a realizované v určitém čase mohou způsobit změny v přepravní náročnosti a oba činitele působí na velikost poptávky po dopravě.

Rovnováhu je zkoumána při následujících předpokladech:

- celkově je možné ji dosáhnout,
- množství užívaných služeb může být jiné než produkční kapacita dopravy,
- velikost poptávky závisí na úrovni poskytovaných služeb, což vyjadřuje funkce poptávky.

Zavedme označení:

- Q_E – množství služeb odpovídající stavu rovnováhy v daných podmínkách,
- Q_C – produkční kapacita dopravy,
- Q_D – množství služeb objednaných, resp. provedených za dané úrovně služeb K .

Množství provedených služeb při daném K vyjadřuje funkce poptávky:

$$Q_D = f_D(K)$$

Úroveň poskytnutých služeb při stavu odpovídajícím rovnováze je:

$$K_E = f_K(Q_E, T)$$

Jestliže přepravní kapacita neomezuje velikost poptávky, tak $Q_D = Q_E$ při dané úrovni služeb K_E . Dopravní poptávka na trhu se odvíjí od odpovídající úrovně poskytovaných služeb.

Jednak je důležitý poměr mezi Q_E a Q_C . Jestliže předpoklad, že $Q_C < Q_E$, nadále platí, je tím vyjádřeno, že dopravní kapacita je využívána ve stupni Q_E / Q_C , což může vyjadřovat součinitel využívání přepravní kapacity.

Jestliže zavedeme předpoklad $Q_C < Q_E$, tehdy při dané hladině poskytnutých služeb lze zavést relaci $Q_D - Q_{ND} = Q_C$, tedy kapacita se formuje na úrovni poptávky zmenšené o poptávku neuspokojenou Q_{ND} . Nerovnováha též může být:

- globální, tedy vystupuje v celém systému v průběhu určitého času,
- strukturální, tedy vzhledem k i -tému dopravnímu oboru, tehdy $Q_{Di} - Q_{NDi} = Q_{Ci}$ v daném časovém období,
- chvilková, vystupující v krátkých obdobích (např. dopravních špiček v denní době nebo sezónních) vzhledem k celému systému nebo k jeho určité součásti i .

V každém z možných stavů nerovnováhy existují tři potenciální způsoby činnosti: ovlivňování zákazníků prostřednictvím změn vlastností služeb K tak, aby snížili poptávku, dále působení na dopravní systém ve smyslu zvětšování Q_C nebo rovnoměrné působení v obou směrech. Je to otázka výběru rozhodovatele, který je povinen provést systémové analýzy změn vlastností vektoru T , a tím samým způsobem rovněž vlastností dopravních služeb K .

Prováděním změn v dopravním systému T je třeba počítat s jejich současným působením na dopravce a změnami v úrovni poskytovaných služeb K také na uživatele, tedy rovněž s možností změny Q . Každá změna dopravního systému také způsobuje změny v zásobách užívaných výrobních faktorů nabídky, tedy i uspořádání dopravního systému - uživatelé změni svůj stav rovnováhy Q_E , protože se změni Q_D .

Provedené změny mohou vést ke stavu konfliktu mezi zákazníkem a dopravcem, čili když například prospěšný vliv změn pro dopravce způsobuje neúčinné změny pro zákazníky. To může například nastat v situaci zvýšení tarifu bez zvýšení kvality dopravních služeb. Dopravci zvětší svoje příjmy na úkor uživatelů, protože jim poskytují ty samé služby. Provedené změny mohou pozitivně ovlivňovat jak zákazníky, tak dopravce, pokud každý z nich zůstane dotčen relevantními vlivy změn. Například pokud dopravci získají možnost zvýšení příjmů a zákazníci získají současně odpovídající zlepšení kvality poskytovaných dopravních služeb.

Dopravní systém musí plně respektovat uvedené základní tržní principy. Základní struktura reálného dopravního modelu je vždy pouze část z uceleného (nadřazeného) socio-ekonomického systému společnosti. Dopravní systém je ovšem determinován dalšími vlivy, a to převážně na makroúrovni (např. legislativní opatření vlády, nařízení EU, mezinárodní smlouvy), což vyplývá převážně z globálního charakteru dopravy.

Časoprostorový přepravní a dopravní proces lze zjednodušeně popsat v rámci procesu modelování následujícími kroky:

- výpočet objemů požadavků na přemístění,
- výpočet směřování přepravních proudů,
- stanovení dělby přepravní práce na jednotlivé disponibilní systémy,
- zatěžování sítí dopravních systémů (volba trasy).

Pomocí dopravního modelu se odhadují důsledky dopravních opatření na dopravní požadavky. Úkolem dopravního modelu je ve všeobecnosti reprodukování dopravního procesu ve dvou rovinách, a to:

- ověření „staveb“ modelů na zjištěných empirických hodnotách,
- simulace a předpověď změn v dopravním procese pro výhledové období (prognóza).

Výsledky modelování pak v praxi tvoří mimo jiné podklady na určení dalších vlivů navrhovaných dopravních opatření, např. na životní prostředí, na bezpečnost apod.

Při použití modelového řešení je potřeba si uvědomit, že jeho výsledkem jsou odhady, které jsou závislé na použitých vstupech. Navíc modely podávají obraz pouze o známém, zjištěném způsobu chování se v dopravním procesu, tedy o takovém, které se vyskytuje v reálném světě. Nové vzory chování nemůžou být vytvořené, čímž je omezen rozsah použití dopravních modelů.

Dopravní model musí plnit různé požadavky, a proto by měl být vytvořený co nejjednodušeji. Přesto musí dostatečně a přiměřeně vystihovat dopravní proces, přičemž musí být senzitivní, tedy citlivý na určité změny. Tento požadavek v oblasti časové přizpůsobivosti se projevuje převážně v modelech, které se používají v prognózách. Dále pak musí být model použitelný pro zodpovězení určité konkrétní otázky. Podle postavení otázky může mít určité navrhované opatření vliv jen na část modelu. Použití modelu by mělo být samozřejmě také ekonomicky efektivní. Jak je vidět z následujícího obrázku celý proces modelování je interaktivní, přičemž zpětné vazby jsou nesmírně důležité, umožní nám následnou verifikaci modelu.

1.4 Rovnováha dopravního systému a ekonomiky

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 naznačených 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.

Mezi faktory, které ovlivňují výši HDP patří také:

- ekonomická aktivita obyvatelstva,
- příjmy obyvatelstva,
- ekonomické vztahy se zahraničím,
- růst průmyslové produkce,
- bytová výstavba,
- doprava a jiné.

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. Podmiňuje tedy:

- vlastní spotřebu, neboť teprve přemístěním výrobku z místa výroby do místa spotřeby se naplňuje smysl reprodukčního procesu,
- ceny výrobků, neboť jako nositel fyzického toku na logistických řetězcích bezprostředně ovlivňuje logistické náklady, které musí výrobci kalkulovat do ceny zboží.

Naproti tomu faktory, které ovlivňují dopravu, jsou:

- politika – mezistátní dohody, OSN, EU, vízová politika,
- cena – publikované tarify, slevy, tarify jiných dopravních oborů,

- cestující – vkus a móda, záliba, zvyklosti, volný čas,
- trh – spádová oblast, počet obyvatel, struktura populace, počet domácností, počet a struktura podniků, vazba regionu na centrum, poloha regionu,
- hospodářství – HDP, úroveň příjmů, export a import, nezaměstnanost, investice,
- nabídka – síť linek, (síť letišť), frekvence spojů, přepravní doba, poskytované služby, nabídka ostatních dopravních oborů.

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. Tento fakt lze vystihnout následujícími funkčními vyjádřeními:

$$HDP = f(EAO, DI, X, PP, BV, D, \dots)$$

$$D = f(Po, P, C, M, HDP, X, EAO, \dots)$$

kde *HDP* je hrubý domácí produkt, *EAO* je ekonomická aktivita obyvatelstva, *DI* je disponibilní důchod, *PP* je průmyslová produkce, *BV* je bytová výstavba, *D* je doprava, *Po* je politika, *P* je cena, *C* jsou cestující a *M* je trh.

Tyto funkce ve své podstatě popisují vztah dopravního systému a ekonomiky v podobě uvažující všechny proměnné působící na HDP a dopravní systém navzájem, tedy v komplexní podobě. Pokud se tedy uvažují vzájemné závislosti veličin, je nutné jejich závislosti skutečně ověřit a určit jejich těsnost jejich vztahů. Uvedený model lze řešit v komplexní podobě, což by však mohlo ztrácet na přehlednosti, nebo vytvořit jednotlivé dílčí modely zahrnující pouze některé vybrané proměnné, resp. časové řady vybraných proměnných. Záleží na preferencích či zaměření řešitele a na konkretizaci výběru jednotlivých proměnných, přičemž by řešitel postupoval od základních (v podstatě agregovaných) oblastí ovlivňujících faktorů k hlubšímu zkoumání vztahů mezi proměnnými, které budou stále více detailně precizovány.

Jako dílčí model lze uvést například zkoumání závislosti ukazatele HDP na straně ekonomiky na následujících veličinách ovlivňujících dopravní systém:

- výdaje na dopravní infrastrukturu,
- hrubé peněžní vydání domácností na dopravu,
- počet dopravních podniků,
- mzdy v dopravních podnicích.

Dalším dílčím modelem může být komplexní analýza celého souboru časových řad detailněji chápaných ekonomických i dopravních ukazatelů.

Pro využití v tomto dílčím modelu by mohly být vybrány následující ukazatele charakterizující ekonomiku země:

- hrubý domácí produkt HDP ,
- míra nezaměstnanosti u ,
- počet pracovníků L ,
- hrubá mzda W ,
- průměrná inflace i ,
- průměrné náklady na dopravu N_d .

Mezi ukazatele charakterizující dopravní systém lze zařadit objem přepravy v tunách či přepravní výkon v tkm, a to jak přepravu zboží celkem, tak přepravu jednotlivými druhy dopravy.

Ekonomický model by mohl vypadat jako soustava těchto dvou interdependentních funkcí [38]:

$$T = f(HDP, u, L, W, i, N_d)$$

$$HDP = f(T, L, W, i)$$

Stejně postupy lze uplatnit i při modelování závislosti dosažené ekonomické úrovně (užitím ukazatele HDP) a přepravních výkonů jednotlivých dopravních oborů. Jak již bylo uvedeno výše, je doprava důležitým faktorem podílejícím se na rozvoji výroby a podnikání vůbec, neboť je nositelem fyzického toku materiálů a zboží. Stejnou měrou se na růstu ekonomiky podílí i doprava osobní, která by tedy také měla být do modelu zahrnuta. Model je určen pro srovnání a určení rovnováhy a ekonomiky v nadnárodním měřítku.

$$HDP = (NŽ, NS, NV, OŽ, OS, \dots)$$

kde $NŽ$ je nákladní železniční přeprava, NS je nákladní silniční přeprava, NV je nákladní vodní vnitrozemská přeprava, $OŽ$ je osobní železniční přeprava, OS je osobní silniční přeprava.

1.4.1 Vliv ekonomického růstu na nákladní dopravu

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.

Má se za to, že za současného režimu dopravní politiky je růst ekonomiky úzce vázán na růst přepravy zboží. Míra růstu přepravy zboží je vyšší než míra růstu váhy HDP, ale menší než její hodnota. Především přeshraniční přeprava ukazuje nejdynamičtější pohyb díky Evropské integraci a rozvoji volného společného trhu bez obchodních bariér. Další ekonomické integrace Evropy přinášející větší dopravní vzdálenosti, které by měly ve skutečnosti zvýšit tržní potenciál železniční dopravy a vnitrozemské plavby.

Pokud jde o rozsah, kterým ekonomický růst působí na přepravu zboží, není jednoduché nalézt užitečnou informaci. Do značné míry je to důsledkem skutečnosti, že dopravní modely pro přepravu zboží jsou méně propracované a méně použitelné než modely pro osobní dopravu. Kromě toho je jejich aplikace často omezena na specifické regiony, určité kategorie zboží nebo sektory průmyslu.

Podle E.Quineta [24] lze identifikovat tři důvody proč zaostává modelování přepravy zboží, a to:

- nedostatek relevantních dat,
- nesprávnost nebo nespolehlivost dostupných dat,
- obtížnost postihnout v „modelování chování podnikatele ve věci dopravy“.

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.

Složitá vlastnost přepravy zboží je také přímým důsledkem velkého množství faktorů, které určují poptávku po nákladní dopravě a následné modely dopravy, a to:

- silně diferencované řady zboží a specifických dopravních požadavků vycházejících z velké různorodosti ekonomických aktivit,
- prostorová distribuce těchto aktivit,
- velké množství možných dopravců,
- různorodé vnitřní struktury jednotlivých druhů dopravy,
- rychlý rozvoj v manipulaci s přepravovaným zbožím,
- velká množství provozních faktorů, určených takovými prvky jako velikost společnosti a obytných kanálů,

- dynamické faktory (jako sezónní výkyvy, změny v chování spotřebitelů),
- nastavené cenové faktory.

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 FSM modelu viz. kap. 2.1. 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.

Např. francouzská Dopravní zpráva z roku 1992 obsahuje elasticity použité Ministerstvem dopravy. Tyto elasticity kolísají v jednotlivých druzích dopravy a u různých kategorií přepravy, ale obecně jsou v rozsahu od 1,2 do 1,8 pro vliv průmyslové produkce nebo HDP na tunové kilometry nákladní dopravy. Navíc, další zahraniční studie rozlišují krátkodobé a dlouhodobé elasticity nákladní dopravy s ohledem na ekonomický růst, přičemž využívají souhrnnou integrační metodu. Krátkodobá elasticita je docela vysoká (řádově nad 2,0), ale dlouhodobá elasticita je v průměru poněkud nižší a pohybuje se okolo dříve odhadnuté hodnoty. Integrační model v Belgii zjistil krátkodobé elasticity účinku průmyslové produkce na přepravu v rozsahu 0,89 pro silniční dopravu, 1,45 pro železniční, ale dlouhodobé elasticity dosahují 2,38 pro silnici, ale pouze 0,45 pro železnici a -0,34

pro vnitrozemskou vodní cestu. Průřezové studie Světové banky pro rozvojové země získaly elasticity s ohledem na HDP od 0,67 pro celkovou přepravu (silnice + železnice), 1,25 pro silnici a 1,00 pro železnici. Odvození elasticit s ohledem na ceny bylo mnohem obtížnější. V rozvoji Francouzského plánu infrastruktury byly odhadnuty elasticity silniční přepravy s ohledem na ceny silničního nákladu -0,4 a křížová elasticita železniční přepravy s ohledem na ceny silničního nákladu +0,6. E. Quinet [24] poskytuje odhady jak pro vlastní tak i křížové cenové elasticity u přepravy po železnici na dlouhou vzdálenost a silniční přepravu v úsecích silniční sítě s nejsilnější konkurencí. Uvádí vlastní cenové elasticity -1,0 pro železnici a -0,7 - 0,9 pro silnici a křížové cenové elasticity 0,5 do 0,7 pro silnici s ohledem na ceny železnice, ale 1,3 pro železnici s ohledem na cenu na silnici.

Ekonometrické vztahy stejně přizpůsobené výše uvedeným úvahám však nepočítají s faktory, které pravděpodobně vedou ke změnám s ohledem na historické trendy nebo vztahy chování. Tyto změny si vyžadují alternativní přístupy k určení budoucích trendů, např. Delfské metody, ve kterých je dotazován panel expertů, nezávisle od zkušeností v daném subjektu, tak aby odpovídal na výsledky prvního kola ankety, tj. průzkumu. Uvedený průzkum byl např. použit v roce 1996 během zpracování Plánu francouzské infrastruktury ve Francii. V postupu měření statistických údajů v dopravě byly zahrnuty následující faktory, a to:

- možný růst netečnosti k nákladům dopravy,
- rostoucí potřeba flexibility,
- rozvoj internalizace,
- nejistota v rozvoji evropské integrace,
- zvýšení citlivosti na životní prostředí,
- možné problémy s veřejným financováním dopravy.

1.4.2 Viv ekonomického růstu na osobní dopravu

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. Např. ve studii vlivu mýtného na motorovou dopravu ve Francii, byla zjištěna krátkodobá elasticita s ohledem na zpoplatněné mýtné -0,96, zatímco dlouhodobá elasticita byla -1,28. Goodwin [25] na základě využití řady studií z různých zemí odhadl krátkodobou elasticitu dopravy

s ohledem na ceny paliva v hodnotě -0,2 a hodnotu dlouhodobé elasticity -0,8. Uvedené hodnoty ukazují vyšší účinek cen paliva spíše na účinnost využití paliva než na cestování.

Johansson a Schipper [26] odhadly elasticity ve 12 zemích OECD na základě údajů za předchozích 20 let. Rozlišili elasticity pro vlastnictví automobilu, průměrnou roční spotřebu paliva, roční ujeté kilometry, poptávku po palivu a rozsah automobilové dopravy. Hodnoty elasticit byly vypočteny vzhledem k příjmu a cenám paliva. Vzhledem k příjmu se elasticity pohybovaly od 0 do +1,2, u vlastnictví automobilu byl vliv s ohledem na ceny paliva okolo -0,1, ale až -0,7 u agregátní spotřeby paliva.

Selvanathan a Selvanathan [27] odhadli vlastní a křížovou cenovou elasticitu osobní dopravy, veřejné dopravy a komunikací (pošta, telefon atd.). Použili složitý model poptávkových funkcí využívající vlastnosti odvozené z užitkové funkce, při které si spotřebitelé volí mezi čtyřmi druhy zboží, veřejnou dopravou, soukromou dopravou, komunikacemi a všemi dalšími druhy zboží. Využitím údajů pro Velkou Británii a Austrálii vytvořili celkové důchodové elasticity mezi +0,5 a +2,3 (v obou zemích mající hodnoty 2 nebo více ve vztahu k soukromé dopravě) a vlastní cenové elasticity v hodnotách od -0,1 do -0,6. Křížové elasticity byly kladné a pohybovaly se v řádu od +0,1, kromě křížových elasticit veřejné dopravy a komunikací se soukromou dopravou, které byly v řádu od +0,5.

Doposud prezentované elasticity byly 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.

Přímé cenové elasticity městské veřejné dopravy byly zkoumány v mnoha studiích v různých zemích. Studie doporučily průměrnou elasticitu kolem -0,3, krátkodobou v obecném rozsahu od -0,1 do -0,6 a více než dvojnásobnou hodnotu dlouhodobé elasticity.

Např. Oum a kolektiv [28] také zkoumali vlastní cenovou elasticitu ostatních druhů dopravy. Pro leteckou dopravu identifikovali široké rozpětí hodnot od -0,5 do -2, pro meziměstskou železniční dopravu v poněkud nižším rozpětí od -0,5 do -1,5. Uvedené hodnoty jsou odvozeny z agregátních modelů. Pokud jsou odvozeny z disagregovaných modelů mají sklon k nižším hodnotám.

Všechny hodnoty odráží 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.

1.4.3 Vliv stavu dopravního systému na ekonomický růst

Předchozí části textu byly věnovány účinkům ekonomického růstu na dopravu, nyní se obrátí pozornost na vliv zlepšení dopravy na ekonomický růst. Tento účinek může působit v různých formách.

Působení infrastrukturních dopravních investic

Vliv investic do dopravní infrastruktury se v současných letech stal vrcholem významné polemiky. Z pozice, kdy byla často tato investice považována za příklad neproduktivní investice veřejného sektoru pravděpodobně zabraňující růstu kumulací investičních výdajů produktivnějšího soukromého sektoru, se v 90tých letech objevily studie, které různými metodami proklamovaly významné růstové vlivy.

Samozřejmě, že nejpřímější makroekonomické důsledky rozvoje infrastruktury vyplývají přímo ze samotné výstavby. To vede k atraktivnosti této investice zejména v období poklesu ekonomického růstu nebo deprese. Pionýrskou studií v této oblasti byla např. Charneilova studie [29], která odvodila základní metodologii pro tento druh analýzy a odhadla, že ve Francii v období 1965 – 1970 byl vliv silniční výstavby na HDP řádově okolo 0,25 procenta.

Redukce dopravních nákladů

Klíčová úloha infrastruktury není jenom v její výstavbě, ale také ve vlivu jejího používání v širší ekonomice. Celkový vliv ze snížení nákladů dopravy na ekonomiku lze snadno pochopit. Stejně jako u zboží, pokud dojde ke snížení nákladů, ceny klesají a nakupované množství se zvýší. U přemísťování osob snížení nákladů může změnit model spotřeby a přemísťování stejně jako distribuci příjmu.

V první z nedávných studií použil Aschauer [30] pro vyslovení této otázky rozšířenou agregátní produkční funkci, zahrnující veřejnou infrastrukturu jako další vstup. Tento přístup vyvolal elasticity veřejného kapitálu řádově od 0,4 do 0,5, správně více než obvyklé elasticity soukromého kapitálu a doporučující velmi vysoké míry návratnosti každé investice do

infrastruktury. Kritika tohoto přístupu (především z ekonometrického detailu) vedla k rozsáhlému počtu následných studií pro široký rozsah geografických situací. Tyto studie inklinovaly k doporučení, že existuje pozitivní elasticita veřejné infrastruktury, ale že její hodnota je bližší 0,1.

Druhý typ studie, doložený prací Bauma a Behnkeho [31], použil růstový účetní přístup, který přiřazuje celkový růst v ekonomice k růstu práce a kapitálu a potom nevysvětlitelný zbytek (trvalou chybu) k ostatním relevantním faktorům, jako například k investici do dopravní infrastruktury. Baum a Behnke naznačili aplikováním této metody v Německu za uplynulých 45 roků, že 50 procent celkového růstu může být prisuzováno k dopravnímu sektoru, a to především růstu silnic a silniční dopravy. Problém tohoto přístupu je v tom, že jednoduše předpokládá, že za nevysvětlitelný zbytek (trvalou chybu) v zúčtovací matici je zodpovědný jeden faktor a ignoruje všechny ostatní změny ve struktuře ekonomiky, ke kterým dochází v dlouhodobém časovém období.

Třetí přístup byl použit Evropskou Komisí (1997). Týká se zlepšení dopravy, ke kterému dochází prostřednictvím infrastrukturních investic jako autonomního zvýšení produktivity. To je zdůvodněno především prostřednictvím vlivu na časové úspory, které mohou souviset s produktivnějším využitím. Vliv lze potom vypočítat prostřednictvím aplikace makroekonomického modelu ekonomiky. Tento přístup také produkuje významné odhadnuté vlivy s přidanou hodnotou vlivu Transevropských sítí, odhadnuté v součtu 0,25 procent na HDP a 0,11 procent na zaměstnanost během 25 roků. Hlavní problém spojený s tímto přístupem spočívá v základním předpokladu spojení mezi úsporami a produktivitou, tj. jak jsou hrazeny časové úspory a zda budou skutečně věnovány k produktivnímu využití. V této agregované úrovni je ovšem obtížné určit podrobnost vztahů v ekonomice. Proto je snadnější zkoumání na úrovni individuálního projektu nebo aspoň z hledisek investičního programu v jednom druhu dopravy.

Bureau a Cipriani [32] prováděli šetření makroekonomického vlivu TGV Sud Est vysokorychlostní vlakové trasy ve Francii využitím mini dynamického makroekonomického modelu (zjednodušení D.M.S. modelu), ke kterému byl přidán dopravní sektor. Původně jde o Keynesův model: hlavními mechanismy jsou multiplikátor a akcelerátor, valorizace cen a mezd, vnější konkurenceschopnost a Philipsův vztah k trhu práce. Produkční funkce jsou Leontiefovy. Pokud jde o dopravu, každý sub-sektor závisel na funkcích s fixními koeficienty a poptávce určené cenou. Veřejná politika (investice, zdanění atd.) je exogenní, infrastruktura je financována půjčkami, počítá se s externím omezením údržby a běžnou bilancí platební rovnováhy. Autoři stanovili, že celková změna HDP úzce souvisela se ziskovostí projektu.

Morisugi a Hayashiyama [33] se pokusili o ex post hodnocení vlivu Japonských železnic na růst HDP v období 1875 – 1940. Použili výpočetní model celkové rovnováhy za předpokladu ekonomicky identických jednotlivců, soukromých podniků a vyrovnaného rozpočtu dopravního sektoru a vlády. Uživatelská funkce spotřebitelů zahrnovala hodnotu zboží a hodnotu cestování, které závisely na úrovni vybavení. Rovněž produkce závisela na dopravě zboží, práci a kapitálu využívající konstantní elasticity substituční produkční funkce. Model závisel na parametrech odvozených z historických dat a naznačil, že příspěvek železniční sítě k růstu HDP, který závisel v podstatě na snížení dopravních nákladů, byl v roce 1875 0,5 procenta (tj. k datumu kdy byla zahájena výstavba) a v roce 1940 vzrostl na 12,3 procent.

Tato práce byla v podstatě Japonským ekvivalentem Fogelovy práce [34] na příspěvku železniční sítě pro americký růst. Ačkoliv Fogel nepoužil formální model, ale rekonstruovaný dedukcí, k čemu by mohlo dojít při absenci železnic, alternativních prostředků dopravy, jejich nákladů a důsledků na ekonomickou činnost. Fogel naznačil, že HDP USA by při absenci železnic mohl být na globální úrovni snížen o 10 až 20 procent.

Pozitivní externalita a jejich vliv na ekonomický růst

Při posuzování pozitivních externalit a jejich vlivu na ekonomický růst lze vycházet z toho, že dopravu je považována za typický faktor produkce vstupující do klasické produkční funkce, ale při konstantních výnosech z rozsahu.

Tento účinek je vyjádřen prostřednictvím produkčních funkcí podniků, které závisí nejenom na soukromém kapitálu a spotřebě polotovarů, které samozřejmě později zmizí, jestliže agregujeme produkční funkci na úroveň celé ekonomiky, ale také na veřejném kapitálu a zde především na kapitálu do dopravní infrastruktury. Po úvaze o jejich zařazení lze produkční funkci zapsat ve tvaru:

$$y_i = f(k_i, l_i, t_i, x_i) * A_i(G)$$

kde k_i je soukromý kapitál, l_i je pracovní síla, t_i je vektor reprezentující náklady a kvalitu dopravy, x_i je vektor reprezentující ostatní faktory a G je parametr související s dopravou, reprezentovaný kapitálem v dopravní infrastruktuře nebo ukazatelem přístupnosti (např. počtem zákazníků, který je možné docílit v daném čase nebo velikosti aglomerace, nebo dalším ukazatelem přístupnosti).

V tomto vyjádření doprava vstupuje ve formě polotovaru t_i , doprava ovšem také vstupuje jako meziproduct v označení $A_i(G)$. Postavení meziproductu lze reprezentovat různými druhy účinku, např.:

- zlepšení komunikací umožňuje podniku lepší informaci o výrobní technologii, rychlejší šíření technického pokroku, lepší informaci o činnostech konkurentů,

- zlepšení komunikací poskytuje přístup k větším trhům, které podnikům umožňují uspokojovat jejich potřeby efektivněji, např. soupeřit o zaměstnání a pracovníky prostřednictvím přístupu na větší pracovní trhy,
- další mechanismus, který např. podnikům umožňuje rozvinout ekonomii z rozsahu prostřednictvím rozšíření jejich trhů.

Vztah tohoto typu byl předmětem četných statistických testů, používajících jak geografické tak i sektorové agregace. Testy tohoto modelu na celostátní úrovni musí nejčastěji používat jako vysvětlující proměnnou agregovaný veřejný kapitál. Daleko méně je specifikován účinek pouze kapitálem do dopravní infrastruktury.

Sektorové testy byly provedeny zejména Nadiri a Mamuneas [35], kteří odhadli nákladové funkce v sektoru a zkoumaly jejich vývoj během času, týkající se změny sektorové produktivity podle změn v silničním kapitálu. Nalezli příspěvek silniční investice k produktivitě, která kolísala podle sektoru, ale se střední hodnotou 0,05 procenta, tj číslem poněkud menším než byla nalezena v jiných studiích.

1.5 Prostorová rovnováha dopravního systému

Dopravní věda i ekonomie si dodnes vytvořily řadu metodických modelů, které reagují na závažné politické otázky, ovšem je potřebné se věnovat i otázkám a odhadování prostorových a ekonomických efektů, zahrnujících celou ekonomiku, regionální nebo národní, ale pokud možno multisektor ovlivňovaný nejen dopravní politikou, ale i autonomními změnami v sektoru dopravy. Objevují se tu specifické přístupy orientované na představy tržního mechanismu, racionální chování a rovnováhu – rozsah pole působnosti sektorové interakce závisí kromě jiného na dopravních nákladech, které jsou variabilní a ovlivňovány množstvím faktorů, jako výrobní technologie, struktura vstupů, hustota faktorů a jevy kongescí. Znamená to, že každá politika zaměřená na ovlivňování dopravních podmínek může mít v rámci celé ekonomiky nezanedbatelný účinek z hlediska dopadů na národní důchod, ceny, sektorovou distribuci faktorů a výrobu, stejně jako na rozmístění výrobků (zboží) a toky cestujících.

Hlavním nedostatkem většiny analýz rovnováhy je to, že upouští od použití prostorově ekonomických vztahů, od soustředění pozornosti na prostorové toky, regionálních rozdílů nebo síťových jevů. Pozornost je rovněž potřebné věnovat srovnání různých přístupů, které lze použít pro analýzu ekonomických účinků dopravní politiky. Hlavní pozornost je třeba dále zaměřit na integrování prostorových a ekonomických konceptů dopravy se speciálním zaměřením na systém rovnováhy. V uvedených modelech, které lze použít pro odhadování prostorových a ekonomických efektů dopravy a dopravní politiky, odpovídající účinky

zahrnují změny v cenách, nákladech, struktuře vstupů, ziscích, tocích zboží, změny v přesunech druhů dopravy, dopravní poptávky a nabídky, kongesce a regionální nebo národní ekonomické výkonnosti.

Většina modelů má jasnou ekonomickou orientaci. Hlavní pozornost je věnována tomu, zda a jak se do modelů včleňují dopravní vlastnosti, jakými jsou výroba, trhy, infrastruktura a kongesce.

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.

Za první přiblížení k síti lze považovat multiregionální strukturu. Údaje o této multiregionální struktuře (např. určující vzdálenosti mezi dvěma body nebo regiony) vychází z přiblížení minimální dopravy nebo minimální vzdálenosti trasy, jak je obvyklé např. v modelech prostorové cenové rovnováhy (viz další text).

Jestliže je v multiregionálním modelu zahrnuta doprava, používá se dále jednoduchá síťová struktura, která obsahuje přímé linky mezi každým regionem. Hlavní nevýhodou této struktury je omezená interpretace obsahu kongesce. Stejně omezení souvisí i s respektováním faktorů hustoty v dopravě. Lze konstatovat, že optimální trasy nezávisí na aktivitě a úrovních poptávky v každém regionu, protože v multiregionálním rámci se předpokládá, že každá meziregionální linka nějakým způsobem reprezentuje optimální spojení, tedy nejmenší dopravní náklady spojení.

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 multiplifikátory 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.

Nevýhodou těchto modelů je jejich fixní charakter: tvorba outputu fixními inputy, fixní vzájemné meziodvětvové závislosti, konstantní výnosy z rozsahu, fixní importní a exportní vztahy, nezávislost cen a nabídky (tj. analýza pouze reálné proměnné) a nabídková orientace sdružená s exogenní poptávkou.

Rozšíření modelů IO na modely lineárního programování zahrnutím mechanismu pro volbu mezi přípustnými možnostmi variant IO může přispět k odstranění některých výše uvedených nedostatků. Toto rozšíření zahrnuje tři hlavní prvky:

- přeměnu IO rovnic na obecné nerovnostní vztahy - použité bilanční materiálové rovnice jsou přizpůsobeny tak, aby požadovaná celková nabídka importované a domácí produkce byla menší nebo rovna celkové poptávce (meziprojektu, investice, konečné spotřeby a exportu),
- připojení účelové funkce, která např. reprezentuje nákladově – výnosově orientovanou funkci sociálního blahobytu,
- zahrnutí doplňkových omezení kapitálu a práce (např. použitím fixních dávek kapitálových výstupů), omezení zahraniční směny (tj. aby hodnota importů nepřesáhla sumu hodnoty exportů plus čistého importu kapitálu) a nezáporné podmínky u všech reálných proměnných.

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:

A. 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 rovnováže (PCR), charakterizované:

- a) nezápornými homogenními a jednoznačně tržními poptávkovými a nabídkovými cenami,
- b) ve všech ostatních regionech se nevyskytuje převaha poptávky nebo nabídky,
- c) 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).

PCR může být rozšířena vícenásobnými produkty, pokud se nepředpokládá nezávislá přeprava každého zboží, lze potom všechny rovnováhy ošetřit nezávisle; jestliže jsou produkty vzájemně ovlivňovány prostřednictvím dopravního systému (např. kombinovaná přeprava, kongesce, účinky hustoty), musí z toho vycházet i související cenový systém.

B. Pokud je doprava zahrnuta jako jeden ze sektorů produkujících zisk, máme:

celkovou prostorovou rovnováhu (CPR), která se vyznačuje:

- a1) existencí nezáporné, homogenní a jednoznačné ceny,
- a2) nulovou převahou poptávky,
- a3) efektivní tržní cenotvorbou (tj. cena \times nadměrná nabídka je nulová),
- a4) nezápornými, homogenními a jednoznačnými dopravními náklady na každé trase,
- a5) neexistuje převis poptávky po přepravních službách,
- a6) lokační cenová rovnováha: podmínka PCR (c) pro každý produkt, dále rovnovážné podmínky producenta (efektivní produkce - maximalizace zisku subjektu je omezena technologicky a institucionálně a spotřebitele (efektivní spotřeba - maximalizace užítka subjektu je omezena jeho příjmem) pro každý region,
- a7) rovnováha bilance poplatků, která zahrnuje dopravní náklady a tržby.

Další možné relevantní rovnováhy jsou:

- multimodální dopravní rovnováha, při které platí stejné podmínky v každém druhu dopravy samostatně; důležité je, že podmínky dodacích cen dováženého zboží by se měly shodovat u všech různých druhů dopravy, rovněž i druhů vznikajících z různých zdrojů, a to tak dlouho, jak jsou používány,
- síťová (nákladní) rovnováha: dopravní náklady na všech cestách, které jsou používány z každého výchozího do cílového místa, jsou stejné a žádné nepoužité cesty nemají nižší dopravní náklady. U síťových modelů jsou důležité ochranné

podmínky toků, které dohlíží na to, aby každá verze hran vznikajících a zanikajících toků byla v rovnováze,

- lokační rovnováha v spojitém prostoru (např. monocentrický model využití pozemku města).

Základní formulace modelu PCR pomáhá řešit meziregionální směnu zboží a prostorovou cenovou rovnováhu, při které se poptávkové ceny rovnají sumě nabídkových nákladů a dopravních nákladů. Samuelson [10], který vycházel z tohoto konceptu rovnováhy, byl prvním, kdo odvodil formální vyjádření problému PCR, a to jako model lineárního programování. Problém lze zvažovat jako nalezení prostorové konkurenční rovnováhy za daných dopravních nákladů a křivek domácí poptávky a nabídky na regionálních nebo prostorových trzích. Později se skládá ze souboru cen ve všech prostorových trzích, poptávek a nabídek v každém místě a všech importů a exportů¹. Samuelson [10] ukázal, že některý druh konceptu přebytků spotřebitelů odpovídá pokusu o převedení problému na stanovení maxima nebo minima. Funkci „čistého výnosu“ definuje jako sumu společenského „čistého výnosu“ v každém regionu (prostorovém trhu) mínus dopravní náklady. Společenský čistý výnos v regionu je potom definován jako „algebraická plocha pod její přesahující křivkou poptávky“ [10]. Jestliže použijeme přesahující nabídkové funkce s_i pro region i , funkci dopravních nákladů t_o^d (pokrývající oba směry) a pro exporty z regionu a do regionu b zadáme E_o^d , potom v případě dvou regionů lze stanovit čistý výnos podle Samuelsona [10] vztahem:

$$NSP = \int_0^{E_{21}} s_1(x) dx - \int_0^{-E_{12}} s_2(x) dx - n_{12}(E_{12}) \quad (1)$$

Uvedený vztah vyplývá ze skutečnosti, že

$$E_{21} + E_{12} = 0,$$

a to v případě pouze dvou regionů. Podmínky pro optimum naznačují předpoklad konstantních dopravních nákladů

$$N_{od}^{12} - N_{21} \leq s_2(E_{21}) - s_1(E_{12}) \leq N_{12}.$$

Jestliže E_{12} je kladný, potom:

$$s_2(E_{21}) - s_1(E_{12}) \leq N_{12}$$

a označená rovnost by měla platit, nebo jestliže uvažujeme místo přesahujících poptávek ceny

$$P_2 = P_1 + N_{12}$$

To je základní výsledek, zejména proto, že ceny pro určité zboží by měly být v rovnováze (tj. optimální) pro různé trhy, což znamená, že by se měly buď rovnat jednotkovým

¹ Rozdíl oproti jednoduchému dopravnímu problému je v tom, že existující poptávky a nabídky jsou v každém místě dány (fixní), místo jejich závislosti na cenách (funkcích poptávky a nabídky).

dopravním nákladům nebo by nemělo probíhat žádné obchodování (tj. ani importy ani exporty).

Obecná formulace multiregionálního modelu PCR s jedním produktem je následující:

$$\text{Minimalizace } \sum_o \int_0^{x_o} S_o(z) dz - \sum_d \int_0^{y_d} D_d(z) dz + CN \quad (2)$$

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 :

$$X_o = \sum_d t_o^d \quad (3)$$

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

$$Y_d = \sum_o t_o^d \quad (4)$$

Jiný pohled na základní formulaci optimalizace PCR navrhuji Florian a Los [6], a to substitucí (3) a (4) ve vztahu (2) tak, že problém nelineárního programování u proměnných t_o^d nezáporných specifických linkových přeprav lze získat vztahem:

$$\text{minimalizace } \sum_o \int_0^{\sum_d t_o^d} S_o(z) dz - \sum_d \int_0^{\sum_o t_o^d} D_d(z) dz + CN \quad (5)$$

Podle Floriana a Lose [6] jde o relativně jednoduchý problém nelineárního programování, pro který jsou dostupné různé metody řešení.

Dále je věnována pozornost složení celkových dopravních nákladů CN v (2) nebo (5). Změna těchto nákladů je v každém případě největší, dokud ji lze provést ještě v rámci PCR a druhem řešení matematicky omezených problémů optimalizace. Zvažuje se především struktura variabilních nákladů za předpokladů respektujících tržní strukturu (počet druhů dopravy nebo firem, hustota účinků na linkách, síťové charakteristiky a doprava hromadného zboží).

Základním předpokladem nejdříve je, že nákladová funkce patřící meziregionální lince je sdružená s jednotlivou dopravní firmou, přičemž platí, že kolik je firem, tolik je linek². Spolu s dalším dodatečným předpokladem, znamenajícím, že n_o^d jsou fixní jednotkové náklady

² Nákladové funkce se sčítají tak, že cena dopravní služby by měla co nejméně kolísat v proporci s jejich nabízenými náklady. Nicméně, tato hodnota není podmíněna strukturou modelu a je důležité upozornit na to, že se v podstatě blíží rámci celkové nákladové rovnováhy, ve kterém se typicky uplatňuje.

pohybu zboží na lince z o do d , lze dostat nejobecnější používanou nákladovou strukturu podle vztahu:

$$CN = \sum_o \sum_d n_o^d * t_o^d \quad (6)$$

Důležité rozšíření z tohoto pohledu je to, při kterém náklady přepravy jedné jednotky výrobku jsou po celé určité lince nelineární funkcí $n_o^d (t_o^d)$ celkového množství dopravy na této lince³, a proto vztah (6) lze nahradit vztahem (7):

$$CN = \sum_o \sum_d \int_0^{t_o^d} n_o^d(z) dz \quad (7)$$

Dále jsou zajímavé dva další tržní předpoklady. První prezentuje extrémní případ, kdy jednotlivá firma obsluhuje všechny linky (trasy). V tomto případě může být cena dopravy na jednotku produktu a vzdálenosti závislá na celkovém rozsahu dopravních služeb. Tento případ požaduje, aby byla dostupná data o τ_o , tj. o množství dopravních služeb požadovaných na přepravu jednotky produktu na určité lince pro každou linku. Celkové náklady potom závisí na inverzní křivce dopravní nabídky nebo cenové křivce p , a to podle vztahu (8):

$$CN = \int_0^{\sum_o \sum_d \tau_o^d * t_o^d} p(z) dz \quad (8)$$

Z uvedeného vztahu (8) vyplývá, že dopravní náklady na přepravu jednotky zboží na lince mezi $o - d$ jsou formulovány jako $\tau_o^d * p\left(\sum_o \sum_d \tau_o^d * t_o^d\right)$.

Druhá tržní situace vyplývá ze dvou extrémů, a to zejména při malém počtu firem m , přičemž každá ovládá disjunktivní podmnožinu linek V_i a každá má inverzní poptávkovou funkci závislou na trasách, které obsluhuje:

$$CN = \sum_{i=1}^m \int_0^{\sum_{(o,d) \in V_i} \tau_o^d * t_o^d} p_i(z) dz \quad (9)$$

Další rozšíření pozdějšího případu lze provést v síťovém přístupu. Toto finální rozšíření spočívá v respektování situace hromadných produktů. Pro dané inverzní nabídkové a poptávkové funkce u každého zboží g a všechny regiony je zobecněna rovnice problému optimalizace (2) následovně (jako výše uvedený subjekt nezáporného omezení u přeprav):

$$\text{minimalizace} \sum_g \left(\sum_o \int_0^{x_{g,o}} S_{g,o}(z) dz - \sum_d \int_0^{y_{g,d}} D_{g,d}(z) dz + CN \right) \quad (10)$$

³ Florian a Los připomínají, že účinky kongesce vyjadřují konvexní tvar a množstevní slevy (účinky hustoty) vedou ke konkávnímu tvaru.

Ve vztahu (10) je nejdůležitější omezení v tom, že inverzní poptávkové funkce jsou pouze funkcí příslušného produktu, tzn., že se přepokládají u produktových cen oddělitelné poptávkové funkce. Pokud nejsou křížové cenové elasticity poptávky nulové, nelze uvažovat inverzi. V tomto případě se zajímáme především o relevantní funkci dopravních nákladů patřící k problému hromadného zboží (10). Protože specifikace (7) a (9) lze zobecnit pro případ výše diskutovaného jednotlivého produktu, můžeme snadno pochopit, že další vztah (11) je zobecněním vztahu (7):

$$CN = \sum_o \sum_d \sum_g^{\eta_g * t_{g,o}^d} \int_0 n_0^d(z) dz \quad (11)$$

ve kterém se přepokládá, že všechny produkty přepravované po lince $o - d$ používají stejné služby, u kterých je rozdíl určený objemem, hmotností a provozními předpisy ošetřen prostřednictvím koeficientu η (transformující srovnatelné jednotky dopravních jednotek). Proto je (12) zobecněním (9):

$$CN = \sum_{i=1}^m \sum_{(o,d) \in V_i} \tau_o^d * (\sum_g \eta_g t_{g,o}^d) \int_0 p_i(z) dz \quad (12)$$

V tomto vztahu je hlavním omezením (komplikací) samozřejmě charakter výpočtu a k tomu ještě výše zmíněné omezení základní oddělitelnosti. K závažné specifické chybě může dojít v nejběžnějších aplikacích, při kterých jsou exportní nabídky a importní poptávky odhadovány pouze jako funkce jejich vlastní ceny. Účinky křížové ceny jsou proto vynechány. V teoretickém přístupu se odvozují exporty a importy jako rozdíly nabídkových a poptávkových rovnic. Matice dopravních nákladů jako klíčový vstup v modelech PCR je však obtížné odhadnout, protože se pro specifické zboží obtížně nalézají vhodná data nákladových sazeb mezi regiony.

U problému PCR hromadného zboží⁴ poptávka a nabídka jsou vzájemně nezávislé a jsou pouze výsledkem vzájemného působení druhů zboží v dopravním systému. U modelů PCR je důležitý odhad oddělitelných poptávkových (a nabídkových) funkcí, tj. nulové křížové cenové elasticity. Tento odhad zdůrazňuje nezávislou úpravu produktů v modelu PCR. Závěrem lze konstatovat, že významnou podmínkou modelu PCR je prostový cenový charakter, který vychází ze zapojení multiregionálního systému do dopravního systému.

Uvedené lineární modely jsou rozšířením multiregionálních modelů Inputu – Outputu pro cenové systémy, které předpokládají fixní dopravní náklady a byly (na rozdíl od standardních

⁴ Aplikace studií PCR hromadného zboží jsou vzácné. Interakce mezi zbožím se nabízí na dopravní síti nebo v rámci substituce v poptávkových funkcích.

nelineárních modelů cenové rovnováhy) specificky rozvíjeny tak, aby umožnily snadná výpočetní řešení rozsáhlých problémů, např. v multiregionální vícesektorové analýze⁵. Důležité otázky, které lze prostřednictvím tohoto typu modelů studovat, jsou ekonomické, multiregionální účinky změn v dopravním systému, které se odráží ve změně nákladů.

Liew [15] uvažuje ekonomiku s více regiony a průmyslovými odvětvími. Výrobci nabízí výstupy a poptávají vstupy, aby maximalizovali svoje užitky. Výrobní technologie reprezentuje lineární logaritmickou funkci. Popisuje výrobu primárního a sekundárního výstupu (multiprodukční technologie) a používá meziproductové a primární vstupy. Dodávky meziproductů jsou povoleny v jednom i mezi různými regiony.

V těchto modelech se odhadují konstantní výnosy z rozsahu. Vyrobené produkty jsou nakupovány průmyslovými odvětvími (nabídka meziproductů), domácnostmi a finálními spotřebiteli. Pozdější přístup je exogenní (obvykle v modelech inputu a outputu) a může zahrnovat vládu, investice, a fixní výdaje domácností. Podmínky rovnováhy výrobce, udávající vztahy mezi poptávkami, nabídkou a cenami jsou odvozeny z plánování problému optimalizace maximalizující sumu zisků všech odvětví s ohledem na technologická omezení a tržní zúčtovací podmínky. Dále jsou odvozeny cenové hranice, které zahrnují $n*m$ lineárních vztahů mezi stejným počtem endogenních cenových proměnných. Exogenními parametry jsou počty dopravních nákladových faktorů, primární cenové faktory a parametry produkční hranice. Nicméně ceny jsou řešeny nezávisle od nabízeného a poptávaného množství produkce. Vektor primárního produkčního výstupu lze vypočítat danými exogenními výdaji na základě řešení cenové rovnováhy. Dále se počítají sekundární výstup, dodávky meziproductů, primární vstupy a konečné spotřební výdaje. Na základě přímého řešení lze odvodit procesy diferenciálních modelů, které poskytují vztahy mezi změnami v endogenních proměnných, vyplývající ze změn v exogenních proměnných nebo parametrech. Diferenciální model by se měl samozřejmě také počítat pro strukturovanější změny vyjádřené časovými změnami tabulek inputů a outputů.

Další přístup přihlíží k meziregionálnímu obchodu, který přímo nenavazuje na žádný z doposud diskutovaných přístupů. Prezentace tohoto přístupu vychází od Snickarse [17], který rozlišuje dva různé způsoby, a to: srovnatelné náklady přizpůsobení meziregionálních obchodních toků a síťové modely tržní rovnováhy. Treyz a kol. [16] používá ve svém modelu následující cenovou strukturu.

⁵ Je důležité poznamenat, že výpočetní přínosy jsou také získávány využitím diferenciálních modelů pro analýzu úspor dopravních nákladů. Tyto modely připouštějí, aby byly eliminovány neovlivněné proměnné z procesu shromažďování dat.

Obchodní toky produktu i z regionu o do regionu d ($t_{o,i}^d$) jsou určeny podle váženého průměru srovnatelných podmínek výhodnosti $CA_{o,i}^d$.

$$t_{o,i}^d = \frac{CA_{o,i}^d}{\sum_{region} CA_{region,i}^d} \quad (13)$$

Tyto podmínky lze interpretovat jako míry srovnatelné výhody regionálních produktů o v regionu d , vzhledem k nákladům produkce i a dopravním nákladům. Musí být stanoveny tak, aby se rovnaly $((q_{i,o} + n_{i,o}^d)/p_i^d)^{w_i}$, kde q je cena výrobce produktu i v regionu k , n je dopravní náklad produktu i z regionu o (výchozí místo) do regionu d (cílové místo) a p je složka nákladové ceny zboží v regionu d (w je parametr specifického produktu), p je určeno sumou toků produktu i ze všech zdrojů násobenou jejich příslušnými náklady na jednotku produkce a dopravními náklady na jednotku produkce:

$$p_i^d = \sum_{region} t_{region,i}^d * (q_{region,i} + n_{region,i}^d) \quad (14)$$

Ceny výrobce jsou určeny použitím Cobb Douglas funkce pro vektor o (F_o) vstupních cen (práce $w_{i,o}$, kapitálu $r_{i,o}$, energie $e_{i,o}$ a meziproductových materiálových vstupů $P_{i,o}$):

$$q_{i,o} = F_o(r_{i,o}, w_{i,o}, e_{i,o}, P_{i,o}) \quad (15)$$

Při tom se předpokládá, že jsou známy všechny dopravní náklady a obchodní toky a dány všechny ceny primárních faktorů.

S analyzovanými hlavními přístupy modelování lze uvažovat také ve studiích ekonomických účinků dopravní politiky. Tento problém nabývá na důležitosti, protože lze očekávat velké změny, a to jak kvalitativních, tak i kvantitativních charakteristik dopravy. Kromě toho to naznačuje důležitou úlohu pro veřejné politiky v oblastech životního prostředí, dalších externalit (hluk, zdraví kongesce), růstu a infrastrukturálních podmínek a poskytování veřejné dopravy. V kombinaci s politickou analýzou jsou studovány další důležité problémové body, ke kterým patří:

- sektorová desagregace,
- klasifikace zboží,
- vertikální a horizontální skladba dopravního sektoru,
- prostorová desagregace: multiregionální a/nebo síťová struktura,
- tržní organizace dopravních služeb,
- představení environmetální-dopravní politiky,
- data, specifikace, odhad a hrubé odhady problémů,

- metody číselného řešení.

Existuje několik problémů dopravní politiky, se kterými se mohou modely prostorově desagregované (multiregionální nebo síťové) rovnováhy lépe zabývat než většina ostatních dopravních, regionálních nebo makroekonomických modelů, a které významně souvisejí s:

- interakcemi mezi dopravou a trhy zboží prostřednictvím cenového mechanismu,
- hodnocením finančních nástrojů pro dopravní politiku,
- kompromisem společenského blahobytu mezi nástroji a důsledky,
- reakcemi trhu zboží na změny dopravních parametrů,
- domácností a multisektorovými účinky dopravních politik,
- s faktory určujícími dopravní poptávku a nabídku,
- integrací externalit jak v sektoru dopravy (kongesce), tak i v celé ekonomice (životním prostředím) nebo smíšených (nehody).

Existující přístupy prostorové a ekonomické rovnováhy, které byly uvedeny, by zejména svojí integrací měly přispívat k řešení prostorových hledisek rovnováhy dopravních systémů jak po teoretické stránce, tak i praktické v podobě případových studií. Volby použití těchto skupin modelů závisí na významu, zájmu, odborném posouzení, charakteristikách případové studie, politických otázkách, dostupných datech a rozpočtu.

1.6 Rovnováha v dopravních sítích

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.

Sítě tvoří hrany (linky) a uzly. Trasa je specifická sekvenční kombinace hran ze zdroje nabídky do cílového místa poptávky. Některé uzly reprezentují regiony, jiné elementy dopravní infrastruktury. Jako jsou přístavy, stanice, terminály atd. Dalšími důležitými pojmy síťových modelů jsou „rovnovážné trhy“, „zdroj“, „cíl“, „trasa“, „dopravce“, „přepravce“. Přepravce⁶ je osoba, která rozhoduje o požadavcích na jednotlivé zboží v jednotlivých cílech⁷.

⁶ Všimněme si, že pojem přepravce se používá pouze v nákladní dopravě a nikoliv v osobní dopravě, protože vzorky toků nákladů jsou určeny jak dopravním systémem uživatelů (přepravců), tak i dopravním systémem nabízejících /vlastníků (dopravců).

Dopravce je osoba, která rozhoduje o skutečném provedení dopravy nákladu. Proto jsou přepravci ti, kteří poptávají dopravu a dopravci těmi, kteří ji nabízí.

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.

Úroveň poskytovaných služeb ale také přirozeně závisí na stavu dopravního systému T_{ij} , velikosti poptávky V_{ij} i stupni využívání dopravního potenciálu W_w , v přepravách mezi jednotlivými regiony i a j a rovněž v odvození do jednotlivých charakterů nákladu. Funkci je možné vyjádřit:

$$S_{ij} = J(V_{ij}, T_{ij}, W_w)$$

V rámci jednotlivých druhů dopravy mohou být přepravy mezi danými páry i a j zpravidla vykonané po několika trasách zahrnující různé kombinace hran. Každá z těchto tras se liší kvalitou přepravy. Uvedená hlediska lze sjednotit následovně: přepravy z i do j nákladů druhu q po trase l dané kvality přepravy při určitém stupni využívání dopravního potenciálu vyjádříme jako:

$$S_{ijl}^q = J_{ijl}^q(V_{ijl}^q, T_{ijl}^q, W_{wl}^q), \text{ kde}$$

$$V_{ijl}^q = D(S_{ijl}^q).$$

Rovnováhu na dané trase lze vyjádřit jako rovnost:

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

kde V_{cl} značí přepravní kapacitu tras 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.

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

⁷ V síťových modelech přepravce funguje v prostředí, ve kterém jsou poptávka a nabídka fixní v různých uzlech. To je rozšířeno u endogenní poptávky a nabídky, např. v modelech PCR a modelech rovnováhy celkových nákladů /CNR) U obou dvou pozdějších případů se stává generování jízdy endogenní.

Zdá se, že při analýze dopravní sítě je důležitou oblastí výzkumu současně probíhající rozhodování přepravců a dopravců. Většina modelů doposud používá submodely, které se musí formulovat souvisle pro oba činitele, stejně jako související výpočet rovnovážných řešení. Přístup celkové rovnováhy může integrovat chování dopravce a přepravce, stejně jako je integrovat s ostatními činiteli v ekonomice. Problémy se obvykle objevují, jestliže se zavádí nelineární funkce a nedokonalé trhy.

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 [8], které stanovují podmínky pro optimum uživatele, resp. optimum systému síťových toků⁸. 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. Kongesce v dopravě jsou jedním z následků nerovnováhy dopravního systému, kdy poptávka převyšuje nabídku. Kongesce způsobují uživatelům dopravy komplikace, v některých případech i finanční náklady, a proto je snahou, aby k takovýmto situacím nedocházelo. Trendem poslední doby, který úzce souvisí s odstraňováním kongescí, nejsou vysoké investice do výstavby infrastruktury, ale snaha využít současnou infrastrukturu tak efektivně, jak je to možné. Právě tento přístup souvisí s informačními efekty v dopravě [22]. 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.

Cestovní náklady uživatelů dopravy z ekonomického hlediska lze vyjádřit následující obecnou nákladovou funkcí:

⁸ 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).

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

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:

- N - uživatelům nejsou dostupné žádné informace, a cestující se rozhodují pouze na základě očekávaných cestovních nákladů,
- 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,
- P - informace určené části uživatelů silnice jsou zvnějšku dostupné,
- E - model formovaný „zevnitř“ - volba cestujících mít informace záleží na jejich osobních užitcích 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.

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

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

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.)

Model I představuje situaci, kdy informace jsou dostupné všem uživatelům. Všichni potenciální uživatelé jsou dokonale informováni o aktuální situaci, to znamená, že rozhodnutí o uskutečnění cesty zakládají na skutečných nákladech a ne na očekávaných (na rozdíl od modelu N). Uživatelé nečelí žádným nákladům souvisejícím s nejistotou cestovního času.

Podmínky rovnováhy jsou dány dvěma rovnicemi:

$$\begin{aligned}\alpha \cdot C^0(N_i^0) &= D(N_i^0) \\ \alpha \cdot C^1(N_i^1) &= D(N_i^1)\end{aligned}$$

Tyto podmínky ukazují, že pro mezního uživatele sítě N_i^0 a N_i^1 jsou osobní náklady rovné osobnímu užítku v obou stavech systému, tedy 0 i 1. Mezní uživatel N_i^1 je indiferentní mezi použitím sítě v obou stavech nebo pouze ve stavu 0, zatímco mezní uživatel N_i^0 je indiferentní mezi použitím sítě ve stavu 0 nebo jejím nepoužitím. Parametr β nehraje v tomto modelu žádnou roli, neboť jsou-li řidiči informováni, nečelí žádným nákladům nejistoty.

Model P představuje situaci, kdy informace jsou dostupné pro exogenně předurčené skupiny cestujících. To, zda jsou uživatelé informováni, závisí na vnějších (exogenních) faktorech. Skupiny potenciálních uživatelů jsou označovány i (informovaní uživatelé) a u (uživatelé, kteří informovaní nejsou). Model rovnováhy je pak zapsán následujícím způsobem:

$$\begin{aligned}\alpha \cdot C^0(N_{P,i}^0 + N_{P,u}) &= D_i(N_{P,i}^0) \\ \alpha \cdot C^1(N_{P,i}^1 + N_{P,u}) &= D_i(N_{P,i}^1) \\ \alpha \cdot ((1-p) \cdot C^0(N_{P,i}^0 + N_{P,u}) - p \cdot C^1(N_{P,i}^1 + N_{P,u})) + \\ \beta \cdot \sqrt{p \cdot (1-p)} \cdot (C^1(N_{P,i}^1 + N_{P,u}) - C^0(N_{P,i}^1 + N_{P,u})) &= D_u(N_{P,u})\end{aligned}$$

První dvě rovnice ukazují rovnost mezi osobními náklady a užítkem pro informované mezní uživatele $N_{P,i}^0$ (když nastane stav 0) a $N_{P,i}^1$ (když nastane stav 1). Třetí rovnostní podmínka ukazuje rovnost mezi očekávanými osobními náklady a užítkem pro neinformovaného mezního uživatele $N_{P,u}$. Tento potenciální uživatel je indiferentní mezi použitím sítě nebo ne nepoužitím.

Model E představuje situaci, kdy informace jsou dostupné pro endogenně předurčenou skupinu cestujících.

Předpoklad pro tento model je, že volba, zda bude uživatel informován nebo ne, závisí na vnitřním užítku odvozenému z informací a osobních nákladech na zajištění informací. V protikladu s předchozím modelem, se v tomto modelu předpokládá, že informace je

komodita, která může být koupena za fixní cenu π . Tato cena označuje náklady na nezbytné informační zařízení a náklady na poplatek za informační služby.

V modelu E čelí potenciální silniční uživatelé dvěma rozhodnutím:

- jestli využít síť nebo ne,
- jestli si koupit informace nebo ne.

Tato rozhodnutí jsou vzájemně závislá.

Skupina potenciálních uživatelů se dá v tomto modelu rozdělit na 4 segmenty. První I_1 budou užívat síť vždy, ať už je stav na síti jakýkoli. Pro tyto řidiče sníží informace jejich nejistotní náklady na nulu. Poněvadž očekávané náklady nejistoty jsou shodné pro všechny řidiče v daném segmentu, tak buď všichni budou vyžadovat informace závislé na ceně za ně nebo žádný.

Další segment je II_1 . Tito uživatelé, pokud nemají potřebné informace, použijí síť vždy, a následně čelí cestovním nákladům souvisejícím s cestovním časem i nejistotou. Nicméně, pokud získají aktuální informace, použijí síť pouze, je-li ve stavu 0, neboť jejich osobní užitek ve stavu 1 nepokryje jejich osobní náklady. Informace tedy dovolí těmto řidičům snížit jejich náklady nejistoty na 0, a navíc jim zajistí výhody z rozhodování ve stavu 1. Ve skutečnosti, přínosy ve stavu 1 vyplývají z možnosti vyhnout se použití sítě, když je kapacita nízká.

Další jsou uživatelé ze segmentu III_1 . Tato skupina uživatelů zakládá své cestovní chování a rozhodování na očekávaných nákladech. Nepoužijí síť, pokud o ní nemají informace. Nečelí tedy žádným nákladům nejistoty. Když jsou informováni, rozhodnou se použít síť pouze, je-li ve stavu 0.

Posledním segmentem je IV, avšak ten je jen hypotetický, neboť uživatelé silnic z tohoto segmentu síť nikdy nepoužijí a ani nebudou nakupovat žádné informace.

Podmínky rovnováhy se dají vyjádřit těmito rovnicemi:

$$(1-p) \cdot (D(N_E^0) - \alpha \cdot C^0(N_E^0)) = \pi$$

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

$(D(N_E^0) - \alpha \cdot C^0(N_E^0))$ je vnitřní osobní užitek řidiče N_E^0 ze segmentu III z využití sítě ve stavu 0. Když se tento užitek vynásobí pravděpodobností výskytu $(1-p)$ udává tento vztah osobní užitek informovaného řidiče N_E^0 při použití silnice. Jedná-li se o mezního informovaného řidiče, pak musí platit, že se výhody sítě rovnají nákladům na získání informací π .

$(\alpha \cdot C^1(N_E^1) - D(N_E^1))$ značí osobní užitek informovaného uživatele segmentu II, který vzniká ze skutečnosti, že neužívá síť ve stavu 1, má-li o tom informace. Bez informací by si jinak řidiči z tohoto segmentu si jinak vždycky zvolili síť použít. Očekávaná hodnota tohoto užitku se získá vynásobením užitku s pravděpodobností p , že nastane stav 1.

$\beta \cdot \sqrt{p \cdot (1-p)} \cdot (C^1(N_E^1) - C^0(N_E^0))$ je užitek z toho, že se řidiči vyhnou nákladům nejistoty. Bez poskytnutých informací by tito řidiči vždy použili síť, a proto jim vznikaly náklady nejistoty.

Aby se zajistilo, že řidič N_E^1 je mezním informovaný řidič segmentu II, musí se vnitřní osobní užitek z poskytnutí informací rovnat nákladům π na tyto informace.

Rovnostní podmínky pro plně vymezené N_E^0 a N_E^1 jsou dány rovnicemi

$$\begin{aligned} (1-p) \cdot (D(N_E^0) - \alpha \cdot C^0(N_E^0)) &= \pi \\ \alpha \cdot C^1(N_E^1) &= D(N_E^1) \end{aligned}$$

1.7 Srovnání přístupů v zahraničí a v ČR

Současný stav studované problematiky je po základních charakteristikách dopravní poptávky a nabídky a jejich interakce určující tržní rovnováhu rozdělen do tří hlavních oblastí řešení rovnováhy v dopravním systému, a to oblasti ekonomické, prostorové a síťové.

Oblast rovnováhy dopravy a ekonomiky je v zahraničí studována především z pohledu poptávky a její elasticity, resp. výběru dopravní alternativy uživatelem s určitou pravděpodobností, vycházející z maximalizace spotřebitelova užitku. Pro určení této pravděpodobnosti určité spotřebitelovy volby se používá tzv. mnohočlenný logit model, kde hlavním parametrem tohoto modelu jsou náklady uživatele na dopravní službu. Tento způsob řešení se ovšem pohybuje spíše v mikroekonomické rovině. Čistě makroekonomický přístup odráží model vazeb (kap. 3.1), který ovšem naznačuje pouze interakci mezi systémy a neřeší přímo jejich rovnováhu. Model krátkodobé rovnováhy rovněž ne, i když v sobě již zahrnuje tržní kategorie. Makroekonomickým i mikroekonomickým aspektům rovnováhy v dopravě byla věnována pozornost v rámci etapového řešení výzkumného záměru MŠM 0021627505 „Teorie dopravních systémů“, řešeného na DFJP UPa, kde bylo dosaženo dílčích výsledků prostřednictvím modelování závislostí některých ekonomických a dopravních proměnných prostřednictvím analýzy dostupných ročních údajů v časových řadách pomocí matematicko-statistického aparátu. Konkrétní modelování se týkalo např. korelační analýzy přepravních objemů všech druhů osobní dopravy a počtu zaměstnaných osob při užití průřezových statických dat roku 2003 za jednotlivé členské země OECD. Významné korelace dosáhla

silniční osobní doprava (veřejná autobusová a individuální automobilová), jejichž vztahy byly modelovány pomocí lineární regrese. Dále byl toutéž metodikou modelován vývoj přepravních proudů při exportu a importu prostřednictvím relevantních dopravních oborů v ČR. Závislost ročních hrubých peněžních vydání na dopravu na hlavu a průměrných hrubých měsíčních mezd fyzických osob na bázi časových řad s ročními údaji byla prokázána těsnou korelací a modelována logaritmickou funkcí jako Engelova křivka. Jako speciální případ byla věnována pozornost výdajům na nákupy osobních automobilů. Významné byly i výsledky zkoumání vztahu HDP a různých finančních dopravních ukazatelů, např. investičními výdaji do dopravní infrastruktury, hrubými peněžními výdaji na dopravu, počty dopravních podniků a mzdami v dopravních podnicích, kde se statisticky významnými ukázala jen peněžní vydání na dopravu za rok na hlavu. Tato závislost byla opět regresně modelována v lineární podobě. Vztah HDP a přepravních výkonů jednotlivých dopravních oborů v rámci statických průřezových dat přes jednotlivé země OECD za rok 2003 prokázal těsnější korelaci u silniční nákladní dopravy, železniční osobní dopravy a individuální automobilové dopravy. Tento vztah byl modelován prostřednictvím vícerozměrného regresního lineárního modelu. Vícerozměrná lineární regrese byla aplikována rovněž na zkoumání poptávky po nákladní dopravě v závislosti na HDP, exportu a importu, které se prokázaly statisticky významnou korelací. Významné jsou i výsledky koeficientů elasticit určujících neelastické poptávky po celkové nákladní dopravě v tkm a HDP v Kč 0,31, celkové nákladní dopravě v tkm a průmyslové a stavební výroby v Kč 0,31, celkové nákladní dopravě v tkm a exportu v Kč 0,23 a celkové nákladní dopravě a importu v Kč 0,24 [36]. Co se týče elasticit poptávky po osobní dopravě, hlubší výzkum byl věnován modelování cenové elasticity na poptávky po veřejné osobní dopravě v MHD v Pardubicích a v železniční dopravě ve vybraných tržních segmentech poptávky v letech 1993 – 2000. Lineární regresní modely jednotlivých tržních segmentů (např. traťové jízdenky, předplatné jízdné atd.), resp. jejich regresní parametry přispěly k výsledkům převážně neelastických poptávkových funkcí v hodnotách koeficientů elasticit -0,25 až -0,51.[37]

Oblast prostorové rovnováhy v dopravě je v zahraničí popisována různými modely viz. výše uvedená kapitola „Prostorová rovnováha dopravního systému“. V ČR zdaleka není vývoj v této problematice na srovnatelné úrovni, modeluje se rovnováha mezi importy a exporty regionů v rámci daného druhu zboží na základě poptávky importujícího regionu a produkce exportujícího regionu samozřejmě s ohledem na dopravní odpor mezi spolupracujícími regiony, který tvoří např. technický stav infrastruktury, náklady a čas přepravy atd. Rovněž

jsou uvažovány v modelování i jednotlivé druhy dopravy. Problematika je rovněž studována a řešena na pracovišti KDMML DFJP.

Oblast rovnováhy v dopravních sítích je řešena v zahraničí tzv. Wardropovými principy viz. předchozí kapitola. Tyto principy jsou stavěny spíše na bázi režimu kongescí na sítích. Nicméně problematika dopravních sítí je velmi úzce spjata s využíváním dopravní infrastruktury. Vhodným nástrojem pro efektivnější využívání infrastruktury (kromě vysoce efektivního, ovšem často diskutovaného nástroje ceny za cestu), a tedy i odstraňování kongescí, je poskytování dopravních informací. Kvalitní, přesné dopravní informace, které jsou poskytnuté včas, mohou napomoci snížení kongescí a mohou vést k lepšímu využívání stávající infrastruktury. Tento nástroj má velkou podporu jak veřejnosti tak i politické sféry, a proto jsou investice do rozvoje informačních technologií tak podporovány. Speciální výzkumné programy v USA, Evropě a Japonsku se zaměřují na přínosy systémů na bázi telematiky. Existují různé matematické modely popisující účinek informovanosti uživatele cesty na dopravní síť podle stupně informovanosti. Tyto modely vycházejí z cestovních nákladů uživatele zahrnující i náklady stupně nejistoty cestovního času, a jeho osobního užítku z použití té dané trasy dopravní sítě. Je zajímavé, že některé matematické formulace těchto modelů zdánlivě nenapovídají o bezprostřední souvislosti s rovnováhou na dopravní síti a zabránění kongescí, jiné jsou přímo vztaženy na konkrétní páry zdroje a cíle a trasy na dopravní síti. Ačkoli v rozboru informačních efektů na dopravní síť je velký potenciál pro řešení síťové rovnováhy, v ČR tato problematika dosud rozpracována příliš nebyla. Řešení této problematiky se zatím pohybuje spíše v rovině obecného modelování funkčních vztahů veličin objemu přepravy, kvality přepravy, přepravní kapacity atd., jak je uvedeno v předchozí kapitole.

V České republice je velká pozornost věnována rovnováze v dopravním systému spíše mezi jednotlivými dopravními obory z pohledu jejich harmonizace přístupu k infrastruktuře a trhu, vývoji nákladů dopravních firem a jejich konkurenceschopnosti právě napříč dopravními obory. To je způsobeno primárními celorepublikovými zájmy související s harmonizací s direktivy EU, souladem podmínek podnikání v jednotlivých dopravních oborech, hledisky udržitelné mobility a přístupnosti, environmentu, ale i zvyšování kvality dopravních služeb s pomocí modernizace technických prostředků a umožnění interoperability, a samozřejmě také osvojení si zákaznického přístupu k formování nabídky. Právě proto byly pro řešení tématu práce zvoleny dosud nepříliš prozkoumané aspekty uvedené problematiky.

2 Cíle disertační práce

Pojem rovnováhy v dopravním systému nelze jednoznačně řešit v komplexní podobě, neboť aspektů řešení tohoto problému je několik.

Rovnováha v dopravním systému z pohledu čistě tržního přirozeně vychází z interakce tržních kategorií daného systému, tedy v tomto případě z nabídky a poptávky po dopravních službách. Zde je nutné v souvislosti s poptávkou po dopravních službách znovu podtrhnout fakt, že tato poptávka je jednak sekundární (tedy v konečném důsledku motivována na základě nabízených technicko-technologických dispozic a kapacit dopravce) a odvozená (tedy generována potřebami, jejichž uspokojení není způsobeno pouze samotným využitím dopravní služby). Právě tato vlastnost dopravní poptávky hovoří o tom, že dopravní systém či doprava jako sektor národního hospodářství nefunguje odděleně (neexistuje sama pro sebe) a bez přímé návaznosti na makroekonomický systém, tedy samozřejmě ani tržní kategorie dopravního systému nelze zkoumat bez přímé návaznosti na ekonomický systém.

Jak již bylo naznačeno výše, ekonomické hledisko při stanovení rovnováhy v dopravním systému je 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. Tato práce mimo jiné v předchozím textu postihuje v obecné modelové podobě právě možná řešení problému rovnováhy systému z hlediska prostorového, tedy nastiňuje řešení rovnováhy meziregionálních přeprav, a dále řešení problému ve smyslu rovnováhy na dopravní síti. Modelování těchto dílčích problémů přirozeně vychází z relevantních faktorů, které jednotlivé oblasti rovnováhy přímo a významně ovlivňují a zároveň je možno je podchytit prostřednictvím matematického vyjádření.

Hlavním cílem a zaměřením této práce je na základě vhodně vytipovaných reprezentativních veličin nejprve identifikovat vzájemný vztah mezi makroekonomickým a dopravním systémem a posléze jej matematicky modelovat z hlediska vzájemného rovnovážného stavu obou systémů. Posláním výsledků řešení je nejen ověření předpokladů konkrétní interakce mezi oběma systémy, ale na základě získaných výsledků i zhodnocení role dílčích dopravních subsystémů (oborů) ve smyslu jejich přínosů makroekonomickému systému. Při modelování rovnováhy dopravního systému ve vztahu k makroekonomickému systému jsou aplikována konkrétní data, ze kterých je odvozen výsledný model rovnováhy obou systémů včetně ověření jeho platnosti za použití příslušného matematického aparátu.

3 Zvolené metody zkoumání rovnováhy dopravního a makroekonomického systému

3.1 Východisko pro výzkum a volbu metodiky zkoumání

Jako základ pro zkoumání interakce mezi makroekonomickým a dopravním systémem bude využit tzv. model vazeb [5]. Základní myšlenkou tohoto modelu je vyobrazení vzájemného ovlivňování obou systémů během dvou časových období prostřednictvím dílčích veličin, které tyto systémy charakterizují.

Protože je model v podstatě založen na působení časového faktoru v delším horizontu, je dáván do souvislosti s dlouhodobou rovnováhou. Model vazeb ilustruje sice obecné vazby mezi jednotlivými systémy, neřeší však přímo rovnováhu mezi systémy v konkrétní podobě.

Naproti tomu krátkodobá - běžná rovnováha na trhu se vyznačuje tím, že kvantitativní i kvalitativní úroveň dopravních služeb odpovídá požadavkům uživatelů i velikosti poptávky. Tedy každá vlastnost dopravní služby se odvíjí na úrovni shodné s předpoklady:

- kvalita poskytovaných služeb S je funkcí poptávky (pro každý faktor kvality např. cenu, dopravní výkonnost, čas přepravy, přesnost atd.),
- úroveň poptávky při daných vlastnostech služeb V je funkcí kvality poskytovaných služeb S ,
- výsledná rovnováha vychází ze vztahu $S = V$.

Jako v předchozím případě tento model vyjadřuje pouze v hrubých obrysech optimální interakci obou stran, kde již nevystupují celé systémy v agregovaném slova smyslu, ale tržní kategorie týkající se zúčastněných subjektů.

Model vazeb poukazuje na dva základní momenty:

- makroekonomický systém a uvažované změny v něm v daném období (označme T_1) jsou ovlivněny změnami, které se odehrály v předchozím období (označme T_0) v dopravním systému a samozřejmě v ekonomickém systému samotném,
- dopravní systém a uvažované změny v něm v daném období T_1 jsou ovlivněny změnami v systému makroekonomickém v tomto období, dále fungováním a stavem dopravního systému v období předchozím T_0 .

Jak vidno, model vazeb neuvádí závislost veličin makroekonomického systému ve sledovaném období T_1 na veličinách charakterizujících dopravní systém v tomtéž období. Tento názor pramení např. z dlouhodobé výstavby dopravní infrastruktury a dopady její existence se promítnou do ekonomických účinků až v dalším období.

Další závislost, která v modelu není obsažena, je vztah dopravních ukazatelů ve sledovaném období T_1 a ukazatelů ekonomických v období předchozím T_0 . Např. inflace či míra nezaměstnanosti se může projevit v dopravních ukazatelích (např. v objemech osobní přepravy) ještě během daného sledovaného období, a ty zase mohou ovlivnit zpět ekonomický systém až v období následujícím. Zde je samozřejmě důležitým měřítkem stanovení časového horizontu, který budou jednotlivé ukazatele reprezentovat. Hlavní myšlenky tohoto modelu obsahuje následující tabulka:

Tabulka 1 – Vztahy v modelu vazeb

SYSTÉM V OBDOBÍ T_0/T_1	SYSTÉM V OBDOBÍ T_1	ZÁVISLOST $X_{T1} = f(X_{T0})$
EKONOMICKÝ T_0	EKONOMICKÝ	ANO
DOPRAVNÍ T_0	EKONOMICKÝ	ANO
DOPRAVNÍ T_1	EKONOMICKÝ	NE
DOPRAVNÍ T_0	DOPRAVNÍ	ANO
EKONOMICKÝ T_0	DOPRAVNÍ	NE
EKONOMICKÝ T_1	DOPRAVNÍ	ANO

Zdroj: autor na základě [5]

Pro bližší zkoumání či ověření závislostí mezi ekonomickým a dopravním systémem naznačených v uvedených modelech je ovšem nezbytná konkretizace složek těchto systémů dostupnými číselnými údaji charakteristických ukazatelů.

Dle těchto výchozích předpokladů pro výzkum a cíle výzkumu se jako stežejní část nabízí využití metodiky statistické korelace. Prakticky je možné všechny závislosti otestovat metodami statistické korelace automaticky bez ohledu na zamyšlení, zda vztah vybraných veličin vychází z logiky ekonomického posouzení a zákonitostí. Pokud vezmeme jako základ skutečnosti vyplývající z modelu vazeb, je možné provést přímo korelační analýzu a posléze navrhnout model rovnováhy, který vychází z regresní metodiky. Ostatní neuvedené závislosti v modelu je také možné korelačně zhodnotit – tyto analýzy by plnily funkci spíše potvrzovací, nicméně není samozřejmě ani tak vyloučeno, že korelační analýza ukáže závislost v pozitivním smyslu. Potom záleží na uvážení řešitele, zda se bude jiným než předpokládaným výsledkem koeficientu korelace zabývat.

Z čistě matematického pohledu vychází model vazeb také z opožděné korelace, jejíž intenzitu lze zkoumat stejnými metodami jako korelaci ukazatelů mezi dvěma stejnými obdobími, je při tom nutné posouvat vždy jednu z časových řad o zvolený počet období.

3.2 Volba uspořádání a druhu vstupních dat modelu

Uspořádáním výchozí báze dat je myšlen zejména přístup k výzkumu z hlediska času. Lze v tomto smyslu hovořit o přístupu statickém a dynamickém.

Statický přístup předpokládá použití dat ukazatelů obou systémů v jednom a totéž určitém časovém období za rozlišení v rámci určitého specifika. Toto specifikum se může týkat např. dat, která náleží jednotlivým regionům (ať už v domácím nebo nadnárodním měřítku), jemného rozlišení odvětvových skupin či produktů nebo služeb atd. V tomto smyslu lze hovořit o plošném či průřezovém přístupu k výzkumu závislostí. Je ovšem otázka, zda takováto analýza bude mít širší vypovídací hodnotu – zda lze generalizovat výsledek plošné či průřezové analýzy údajů daného období na ostatní období. Pokud bychom samostatně ověřili plošný výsledek i v následujících letech, lze vytipovat změny struktury závislosti těchto vytipovaných ukazatelů. Omezení vypovídací hodnoty výsledků tohoto přístupu spočívá právě v tom, že modelování postrádá perspektivu a vývoj obou systémů při jejich vzájemné interakci.

Naproti tomu dynamický přístup je postaven na základě zkoumání této vzájemné interakce prostřednictvím údajů v rámci delšího časového horizontu, které objektivněji identifikuje či prověří předpokládané vztahy a zákonitosti mezi systémy. Jedná se v podstatě o analýzu časových řad, pro kterou existuje celá řada metod umožňujících postihnout důležité znaky dané časové řady či vztahy mezi řadami navzájem. Výzkum v této práci je z výše uvedených důvodů koncipován ve smyslu dynamického přístupu.

Základem pro docílení relevantních výsledků dynamického zkoumání prostřednictvím časových řad je volba vhodného druhu vytipovaných charakterizačních ukazatelů obou systémů. Zde je nutné posoudit, zda jako výchozí bázi dat použít roční či kvartální údaje (popř. měsíční). Tato volba je samozřejmě ovlivněna mimo jiné i dostupností uvedeného druhu dat. Obecně lze říci, že s větším rozsahem časové řady roste výpovědní hodnota výsledku analýzy. Z toho vyplývá, že v rámci stejné uvažované délky období (např. daného počtu let) by výsledky analýzy kvartálních údajů měly mít vyšší vypovídací hodnotu o skutečnosti než analýza ročních údajů, jejíž časová řada má menší rozsah. Zvyšování rozsahu časové řady ročních údajů, tedy celkového časového horizontu však může skýtat určitá úskalí spojená s nesrovnatelností dat v časové řadě, ať již z důvodu vědecko-technologického pokroku či výrazné změny metodiky měření statistických dat tvořících časové řady. Z těchto důvodů bude výzkum této disertace pracovat s ukazateli, u kterých jsou dostupny kvartální údaje.

3.3 Volba metodiky pro zpracování vstupních dat výzkumu

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, výzkum bude prováděn na základě analýzy časových řad tvořených kvartálními údaji. Obecně lze samotné časové řady analyzovat na základě modelování jejich dekompozicí do jednotlivých složek, a to dekompozice:

- aditivní ve tvaru $y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t$
- multiplikativní ve tvaru $y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot \varepsilon_t$

kde T_t je trendová složka časového pohybu, S_t je sezónní složka, C_t je cyklická a ε_t je náhodná složka.

S ohledem na další kroky metodického postupu byl vybráno modelování časové řady prostřednictvím aditivní dekompozice. Složky trendová, sezónní a cyklická tvoří dohromady složku pravidelnou – deterministickou. Náhodná složka se označuje jako stochastická složka

Aditivní model časové řady je dán jako součet deterministické a náhodné složky. Zkoumání celkové vývojové tendence řad však nemusí postačovat k jednoznačnému prokázání příčinného vztahu mezi řadami zkoumaných proměnných, neboť tyto mohou mít velmi podobný průběh, aniž by byly ve skutečnosti v těsnějším vztahu. Proto je třeba zkoumat, zda existuje tento vztah mezi i mezi náhodnými složkami analyzovaných řad. Jestliže se prokáže tato závislost, lze potom usuzovat existenci skutečné příčinné závislosti mezi sledovanými časovými řadami zkoumaných proměnných. K tomu lze užít taktéž metody měření těsnosti závislosti, tedy korelační analýzy, tentokrát pro řady náhodných složek původní časové řady, které je třeba nejvhodnějším způsobem oddělit. Je tedy nutná právě dekompozice řady na jednotlivé složky, z nichž právě náhodná bude tvořit základ pro korelační analýzu.

Vypočtené hodnoty korelačních koeficientů na základě korelační analýzy samy mohou vypovídat o závislosti či nezávislosti mezi proměnnými, může se však jednat pouze o korelaci zdánlivou, a to právě v případě, kdy se pracuje s časovými řadami hodnot jednotlivých veličin. Pro vyloučení této skutečnosti a zpřesnění analýzy je třeba korelovat náhodné složky po vyrovnání časových řad jednotlivých veličin vhodnými metodami vyrovnávání.

Trendovou složku časové řady lze oddělit pomocí různých metod. Nejčastější z nich je vyrovnání pomocí vhodně zvolené trendové funkce (lineární, parabolická, exponenciální, logistická atd.). Vhodný výběr však ani tak nemusí zajistit optimální vystižení trendové složky. Jako další možností se jeví adaptivní přístupy k modelování časových řad, jako např. exponenciální vyrovnávání či klouzavé průměry, volba jejich užití závisí nejen na samotné přesnosti modelování, ale i na použití další metodiky.

Před korelační analýzou náhodných složek je totiž v každém případě vhodné ověřit, zda se skutečně jedná o čistě náhodné nesystematické složky časových řad, tedy zda jednotlivé členy této náhodné složky (po vyloučení trendu, popřípadě sezónní složky z časové řady) nevykazují nějakou závislost uvnitř vlastní řady. Pro zjištění této skutečnosti jsou k dispozici různé testovací metody, např. znaménkový test, test odlehklých hodnot, či Durbin-Watsonův test autokorelace. Vhodné vyrovnání časové řady z pohledu trendu či sezónnosti, a tedy i relevantnosti náhodné složky, potvrdí rovněž i velikost kontrolních chyb odhadů, např. střední chyba odhadu, střední kvadratická chyba odhadu, střední absolutní chyba odhadu atd.

Durbin-Watsonův test autokorelace ověřuje nezávislost náhodných poruch, tedy testuje, zda odhady náhodných složek nejsou vzájemně mezi sebou korelovány (resp. autokorelovány). Další chápání autokorelace, kterou zjišťuje Durbin-Watsonův test, je případ těsné závislosti mezi sousedními členy jedné časové řady. Na zjištění této autokorelace existuje metodika výpočtu koeficientu autokorelace k -tého řádu mezi dvěma členy časové řady, kde $k-1$ značí počet jiných pozorování mezi těmito členy řady. Lze hovořit o tzv. autokorelační funkci, kterou lze znázornit pomocí tzv. korelogramu časové řady.

Opožděná korelace vybraných veličin, zmíněná v kap. 3.1, bude též předmětem zkoumání, neboť změna daného ukazatele v určitém období se nemusí projevit v modelu v tomtéž období, ale v některém z období následujících. O možnosti existence těchto závislostí hovoří i model vazeb.

Pro přesné a přehledné modelování časových řad byla vybrána metodika adaptivního exponenciálního vyrovnávání se souběžným ověřením správnosti vyrovnání dle Durbin-Watsonova testu autokorelace. Exponenciální vyrovnávání totiž užívá ve své konstrukci tzv. vyrovnávací konstantu, jejíž stanovení ovlivňuje vyrovnání časové řady a tedy i posloupnost jednotlivých hodnot náhodné složky, jejíž relevantnost má potvrdit právě Durbin-Watsonův test. Souběžné vyrovnání časové řady a ověření jeho správnosti spočívá ve stanovení takové hodnoty vyrovnávací konstanty exponenciálního vyrovnání, při které dává nejlepší výsledek právě Durbin-Watsonův test. Při namodelování obou technik v tomtéž listě v MS Excelu konkrétní hodnota vyrovnávací konstanty ukazuje hodnotu DW-testu, tedy lze takto nastavit optimální vyrovnání nejvhodnější hodnotou konstanty při nejlepším možném výsledku DW-testu.

Co se týče samotné volby Durbin-Watsonova testu, po experimentálním užití různých těchto metod současně na několika časových řadách před samotným výzkumem, které mělo za účel na základě výsledků vybrat vhodnou metodu, zvolen byl právě Durbin-Watsonův test jako „nejpřísnější“ kritérium. V několika případech totiž výsledky ostatních testových technik

potvrdily správnost vyrovnání, aniž by jej potvrdil i DW-test. Co se týče ukazatelů kontrolních chyb odhadů, konkrétně testované střední kvadratické chyby, její hodnota byla nejmenší právě při optimální hodnotě výsledku DW-testu. Tento byl proto vybrán jako postačující overení vhodného vyrovnání.

Užití DW-testu úzce souvisí i s počátečním výběrem typu dekompozice řady. Rezidua, která tvoří základ konstrukce DW-testu a mají reprezentovat náhodné složky jednotlivých hodnot, se určují jako rozdíl skutečných a vyrovnaných hodnot odhadnutých modelem. Pokud by byla řada modelována multiplikativní dekompozicí, kde je právě i náhodná složka dílčím násobkem pro určení jednotlivých hodnot (odhadů) řady, jednotlivá rezidua obsahující náhodnou složku by potom nemohla být dána rozdílem skutečných a vyrovnaných hodnot, ale jejich podílem, což je ale v rozporu s výpočtem či určením samotného rezidua. Podílový ukazatel by určoval pouze procentní odchylky těchto hodnot, jejichž užití v rámci DW-testu je bezpředmětné.

K upřednostnění a výběru metodiky exponenciálního vyrovnávání oproti ostatním metodám modelování časových řad přispěla zejména jeho adaptabilnost prostřednictvím volby vyrovnávací konstanty a možnost souběžné kontroly DW-testem. Exponenciální vyrovnání jako metodika má však různé své modifikace, přičemž každá je vhodnější pro jiný charakter časové řady.

Jak již bylo řečeno v kap. 3.2, výchozím druhem vstupních dat modelu jsou časové řady s kvartálními údaji. Takovéto řady však v sobě mohou obsahovat významný prvek sezónnosti s ohledem na jednotlivá čtvrtletí. Pokud je zkoumaná časová řada tímto prvkem výrazněji poznamenána, potom prostá technika exponenciálního vyrovnání, která napomáhá odhadnout především trendovou složku, již nebude v tomto případě postačovat, neboť v reziduálních hodnotách, které mají jinak vhodně interpretovat pouze náhodnou složku, bude navíc stále obsažena i tato systematická sezónní složka. Z toho důvodu je předně důležité ověřit, zda je vůbec daná časová řada významněji zatížena sezónním prvkem. K tomu je použit test sezónnosti. Pokud výsledek tohoto testu nepotvrdí přítomnost sezónního prvku, potom je možné použít metody tzv. Brownova modelu jednoduchého exponenciálního vyrovnávání s jedinou vyrovnávací konstantou v případě, že se jedná o stacionární časovou řadu bez významnějšího trendového prvku řady, resp. trend je možné považovat v krátkých úsecích za konstantní, či dokonalejší modifikace této metodiky, týkající se časových řad s významnou složkou trendu (lineární či kvadratický průběh), např. Brownův model dvojitého či trojitého exponenciálního vyrovnání s jednou vyrovnávací konstantou, či Holtův model exponenciálního vyrovnávání se dvěma vyrovnávacími konstantami. Pokud je však sezónnost

v řadě potvrzena, je třeba použít takové modelování, které v systematické složce postihne zvláště i právě tento sezónní prvek. Postupné modelování (ať už v aditivní či multiplikativní podobě) sezónním očištěním řady pomocí výpočtu sezónních indexů a sezónních faktorů a následným jednoduchým exponenciálním vyrovnáním řady se v experimentální fázi před výzkumem neukázalo dle výsledů DW-testu jako úspěšné. Uspokojivé nebyly tyto výsledky ani v opačném pořadí eliminace těchto jednotlivých systematických složek. Z tohoto důvodu se pozornost přesunula k metodě, která přistupuje k dekompozici časové řady při současné identifikaci trendové a sezónní složky. Při použití nastaveného systému modelování je velmi vhodná pokročilá metoda Holt-Wintersova exponenciálního vyrovnávání se třemi vyrovnávacími konstantami, a to pro trendovou složku, přírůstek trendu a sezónní složku. Toto pokročilá metodika flexibilního exponenciálního vyrovnání však má rovněž dvě formy s ohledem na typ dekompozice časové řady, a to multiplikativní nebo aditivní Holt-Wintersův model. V návaznosti na volbu aditivní dekompozice řady a konstrukci použitého DW-testu je modelování provedeno rovněž v aditivní formě Holt-Wintersovy metody.

Jak již bylo řečeno v kapitole 3.1, klíčovým krokem výzkumu je využití korelační analýzy náhodných složek časových řad ukazatelů, která určí vztahy mezi těmito vybranými ukazateli charakterizující dopravní a makroekonomický systém. Po zjištění těsnosti těchto závislostí lze přistoupit ke konstrukci konkrétního modelu rovnováhy na základě regresní analýzy, která postihne souvislosti mezi danými zkoumanými veličinami. Platnost modelu bude ověřena testovacími metodami o hypotézách pro volbu regresní funkce, tedy jednotlivými t-testy o nulových hodnotách jednotlivých regresních parametrů a celkovým F-testem. Dále bude model prověřen indexem determinace, který určí, jaká část měnlivosti hodnot časové řady závislé proměnné je vysvětlena vypočteným regresním modelem.

4 Návrh modelování rovnováhy dopravního a makroekonomického systému

Výchozí základnou pro modelování rovnováhy dopravního a makroekonomického systému jsou obecné předpoklady závislostí uvedené na začátku předchozí kapitoly, vycházející z modelu vazeb. 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. Dostupné časové řady různých ukazatelů ve čtvrtletních údajích mají odchylky v časovém horizontu, tedy i variabilní rozsah, což je zohledněno při všech metodických operacích s těmito jednotlivými daty. Pro vyšší rozsah časových řad jsou tyto uvedeny v přílohách

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, popř. kategorií, naproti tomu údaje o hrubém domácím produktu jsou dostupné i v sezónně očištěné formě dle Box-Jenkinsonovy metodologie, kterou užívá Český statistický úřad, proto zkoumání přítomnosti významného sezónního prvku v HDP se ukázalo jako bezpředmětné a jednoznačně se uvažuje jeho přítomnost. Nutno poznamenat, že právě tento sezónně čištěný reálný produkt na bázi metodologie ČSÚ nebyl v analýze použit z důvodu poněkud odlišného principu zpracování dat a koncepce modelování v této práci, která je stavěna na jiné metodice vhodnější pro daný účel a cíle zkoumání v souladu s tématem práce.

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 užitá 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. Výsledky testu aplikovaného na dílčí ukazatele přepravního výkonu při hladině významnosti $\alpha = 0,05$ shrnuje následující tabulka:

Tabulka 2 – Výsledky testů sezónnosti pro jednotlivé dopravní obory

DOPRAVA	VÝSLEDEK TESTU F	PLATNOST H_0	SEZÓNNOST
Železniční osobní	12,268	zamítnuta	ano
Veřejná autobusová	2,490	potvrzena	ne
Městská hromadná	0,704	potvrzena	ne
Letecká osobní	93,185	zamítnuta	ano
Železniční nákladní	6,063	zamítnuta	ano
Silniční nákladní	8,218	zamítnuta	ano
Vodní nákladní	2,244	potvrzena	ne
Letecká nákladní	9,212	zamítnuta	ano
Potrubní – ropa	4,940	zamítnuta	ano

Zdroj: autor

Jak je zřejmé, u většiny z nich se prokázal významný podíl sezónní složky. Tento fakt je nutné vzít v úvahu právě při další kroku, a to dekompozici řady na jednotlivé složky. V návaznosti na další postup je užita aditivní dekompozice ve tvaru $y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t$. Protože hlavním úkolem v této fázi - zpracování dat – je oddělit náhodnou složku, která bude sloužit korelaci, je nutné vybrat na základě testu sezónnosti vhodnou metodu v rámci zvoleného adaptivního přístupu k vyrovnání časových řad. V jednodušším případě, kdy 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.

Tyto vyrovnané hodnoty určují pouze trendovou složku časové řady, tedy další a poslední složkou je žádaná náhodná - reziduální složka, která se získá rozdílem skutečné a vyrovnané hodnoty. 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 $\hat{\varepsilon}_t$ ve tvaru:

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

Při vyhodnocení bylo využito empirické pravidlo, že pokud hodnota testovacího kritéria $DW \approx 2$, potvrzuje se nulová hypotéza o lineární nezávislosti řad $\hat{\varepsilon}_t$ a $\hat{\varepsilon}_{t-1}$, tedy že náhodné složky nejsou autokorelované a mají skutečně náhodný charakter a modelování je proto vyhovující. Tedy vyrovnávací konstanta exponenciálního vyrovnání byla empiricky stanovena na takovou hodnotu, kdy se co nejdříve blížila hodnota DW-testu číslu 2.

Uvedený postup se týkal vyrovnání časových řad přepravních výkonů veřejné autobusové a městské hromadné dopravy a dále vodní nákladní dopravy, u kterých se neprojevil významný sezónní faktor. U časové řady přepravních výkonů městské hromadné dopravy nastal ovšem problém při tomto jednoduchém modelování, neboť nejlepší hodnota DW-testu dosahovala pouze kolem 2,6, a to navíc při hodnotě vyrovnávací konstanty kolem 0,99, což nesvědčí o přínosném použití této metody. Proto byla tato časová řada ještě vyrovnaná Brownovým modelem dvojitého exponenciálního vyrovnání s jednou vyrovnávací konstantou pro výpočet vyrovnaných hodnot \hat{y}_t ve tvaru:

$$\begin{aligned} \hat{y}_t &= 2\hat{S}_t - \hat{S}_t^2, \text{ kde} \\ \hat{S}_t &= (1 - \alpha) \cdot y_t + \alpha \cdot \hat{S}_{t-1} \\ \hat{S}_t^2 &= (1 - \alpha) \cdot \hat{S}_t + \alpha \cdot \hat{S}_{t-1}^2 \end{aligned}$$

Bohužel i tento způsob vyrovnání dosáhl prakticky totožných nepříznivých výsledků, proto byly ještě experimentálně určeny vyrovnané hodnoty \hat{y}_t předpověďmi hodnot $\hat{y}_{t+\tau}$ v čase t pro $\tau = 1$ ve tvaru:

$$\hat{y}_{t+\tau}(t) = \left(2 + \frac{(1 - \alpha) \cdot \tau}{\alpha}\right) \cdot \hat{S}_t - \left(1 + \frac{(1 - \alpha) \cdot \tau}{\alpha}\right) \cdot \hat{S}_t^2.$$

Zde se podařilo dosáhnout optimální hodnoty DW-testu kolem čísla 2 při vyrovnávací konstantě rovné 0,465. Dále byla ještě prověřena možnost modelování trendu lineární regrese, platnost výsledku této regresní funkce ovšem nepotvrdily velmi nepříznivé hodnoty t -testu pro regresor nezávislé proměnné, celkového F -testu a indexu determinace. Proto pro další analýzu přepravního výkonu MHD je uvažován výsledek dvojitého Brownova vyrovnání při použití predikovaných vyrovnaných hodnot, při kterém je i mimo jiné nižší střední čtvercová chyba. Ačkoliv tento způsob přinesl optimální dílčí výsledek analýzy, zůstává otázkou, zda je vhodné či relevantní tyto predikce v krajních případech k uvedeným účelům využít.

Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 3 –Výsledky jednoduchého exponenciálního vyrovnání

DOPRAVA	VYROVNÁVACÍ KONSTANTA	HODNOTA DW-TESTU
Veřejná autobusová	0,774	1,99928169
Městská hromadná	0,465	2,00275179
Vodní nákladní	0,455	2,00027273

Zdroj: autor

Časové řady přepravních výkonů ostatních 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:

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

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

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

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

index s určuje počet sezón v roce.

Výsledky jsou obsaženy v následující tabulce:

Tabulka 4 – Výsledky Holt-Wintersova exponenciálního vyrovnání

DOPRAVA	VYROVNÁVACÍ KONSTANTA			HODNOTA DW-TESTU
	α	β	γ	
Železniční osobní	0,66	0,66	0,32	2,000763787
Letecká osobní	0,86	0,84	0,15	2,001258637
Železniční nákladní	0,56	0,26	0,40	2,001588201
Silniční nákladní	0,75	0,77	0,15	2,000364082
Letecká nákladní	0,77	0,30	0,41	2,000981455
Potrubní - ropa	0,47	0,71	0,28	1,999888705
HDP	0,90	0,78	0,20	2,000535236

Zdroj: autor

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. Výsledky těchto jednorozměrných korelací jsou uvedeny v tabulce, kde koeficient korelace určuje těsnost vztahu vždy mezi náhodnými složkami HDP a přepravního výkonu jednotlivých dopravních oborů:

Tabulka 5 – Korelace mezi HDP a přepravními výkony

DOPRAVA	KORELAČNÍ KOEFICIENT
Železniční osobní	0,378213
Veřejná autobusová	0,003345
Městská hromadná	0,017387
Letecká osobní	-0,00128
Železniční nákladní	0,161799
Silniční nákladní	0,670278
Vodní nákladní	0,393266615
Letecká nákladní	0,213198
Potrubní – ropa	0,220499

Zdroj: autor

Výsledky v tabulce ukazují prakticky jediný těsnější vztah mezi rezidui HDP a přepravních výkonů silniční nákladní dopravy v hodnotě 0,67 nejbližší číslu 1, který lze teoreticky uvažovat do dalšího modelování, ostatní koeficienty hovoří o velmi volné či takřka nulové vázanosti korelovaných veličin. Zde je ovšem nutné připomenout, že se jedná o zkoumání ovlivňování veličin v tomtéž časovém období, ve kterém změna jedné veličiny nemusí hned ještě ovlivnit průběh druhé veličiny. Z tohoto důvodu 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.

Tabulka 6 – Opožděné korelace mezi HDP a přepravními výkony osobní dopravy

POSUN	ŽELEZNIČNÍ		AUTOBUSOVÁ		MHD		LETECKÁ	
	HDP(D)	D(HDP)	HDP(D)	D(HDP)	HDP(D)	D(HDP)	HDP(D)	D(HDP)
1	-0,11133	0,084312	0,152422	-0,22183	0,134467	-0,11247	-0,3239	0,58236
2	-0,45776	-0,19908	0,015053	-0,04152	0,046126	0,057732	-0,14584	0,036013
3	-0,02656	-0,10021	-0,20255	0,291936	-0,15932	0,245995	0,445995	-0,58045
4	0,461185	0,280799	0,004029	0,045232	-0,09828	-0,05672	0,01855	-0,41875
5	0,176602	-0,05118	0,143279	-0,40434	0,058361	-0,17411	-0,28964	0,618187
6	-0,29011	-0,17552	0,021958	-0,00756	0,048051	0,032052	-0,19712	0,404862
7	-0,29874	-0,07859	-0,21113	0,484347	-0,05442	0,164286	0,319945	-0,59801
8	0,157459	0,125715	0,090305	0,011936	-0,05899	0,01893	0,153128	-0,53092

Zdroj: autor

Tabulka 7 - Opožděné korelace mezi HDP a přepravními výkony nákladní dopravy

POSUN	ŽELEZNIČNÍ		SILNIČNÍ		VODNÍ		LETECKÁ	
	HDP(D)	D(HDP)	HDP(D)	D(HDP)	HDP(D)	D(HDP)	HDP(D)	D(HDP)
1	0,038398	0,389074	0,209773	-0,14321	0,029227	0,091194	0,622943	-0,40724
2	-0,26979	-0,10775	-0,53711	-0,65881	-0,37565	-0,36572	-0,42382	-0,30779
3	-0,08003	-0,10571	-0,31177	-0,03218	-0,06135	-0,16869	-0,5546	0,529889
4	-0,01273	0,010435	0,506967	0,70408	0,311108	0,342853	0,353537	0,256682
5	0,265935	0,167595	0,220748	0,057161	-0,00121	0,212722	0,562115	-0,34554
6	-0,18422	-0,07328	-0,45196	-0,69583	-0,26359	-0,30536	-0,35083	-0,37931
7	-0,08484	0,042532	-0,17226	-0,07303	-0,04882	-0,25169	-0,31556	0,300382
8	-0,12821	-0,043	0,442865	0,716139	0,256501	0,300346	0,24561	0,395228

Zdroj: autor

Tabulka 8 – Opožděné korelace mezi HDP a přepravními výkony potrubní dopravy

POSUN	POTRUBNÍ - ROPA	
	HDP(D)	D(HDP)
1	-0,12334	0,373326
2	-0,42797	-0,30023
3	-0,10473	-0,31223
4	0,326174	0,241553
5	0,285597	0,404157
6	-0,26828	-0,34604
7	-0,19273	-0,26966
8	0,412566	0,275014

Zdroj: autor

Výsledky korelačních koeficientů reziduí pro jednotlivá zpoždění jsou zahrnuty ve výše uvedených tabulkách pro osobní a nákladní dopravu jednotlivých dopravních oborů:

Výsledky v tabulkách ukazují, že v drtivé většině případů se opět jedná o velmi volný vztah mezi reziduálními složkami veličin, nelze tedy předpokládat 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. Obecný tvar lineárního modelu má formu:

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

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

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

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

Tabulka 9 – Lineární regresní modely HDP a silniční nákladní dopravy a jejich ověřovací charakteristiky

POSUN	MODEL	T-testy	F-test	INDEX DETERMINACE
0	HDP=193632,35+39,05 PV	3,17; 7,03	49,39	0,50
0	PV=2922,18+0,013 HDP	2,56; 7,03	49,39	0,50
2	PV=4547,58-0,010 HDP	3,40; 4,82	23,25	0,33
4	PV=3452,58+0,012 HDP	2,62; 5,72	32,77	0,42
6	PV=4661,06-0,011 HDP	2,96; 4,08	16,64	0,28
8	PV=4289,77+0,012 HDP	2,77; 4,46	19,88	0,33

Zdroj: autor

Jednotlivé t-testy a celkový F-test byly provedeny na 95%-ní hladině významnosti za účelem testování nulové hypotézy, dle které jsou u t-testu všechny parametry regresní funkce nulové a dle celkového F-testu je parametr konstanty funkce nenulový a ostatní nulové. Výsledky t-testu pro všechny uvedené regresní funkce při uvedené hladině významnosti s $n-p$ stupni volnosti, kde n je počet pozorování (při nulovém zpoždění 51, dále jeho snížení odpovídá počtu zpoždění), a p je počet parametrů regresní funkce – ve všech případech 2 parametry, leží pro oba parametry všechny v kritické oblasti, lze tedy uvažovat ku prospěchu alternativní hypotézy o zařazení obou parametrů do modelu regresní funkce. Výsledky celkového F-testu při $\alpha=0,05$ s $p-1$ a $n-p$ stupni volnosti leží pro všechny regresní funkce opět v kritické oblasti, tedy F-test lze pro všechny regresní funkce označit jako významný, stejně tak i jednotlivé t-testy, a rovněž hovoří ve prospěch alternativní hypotézy o tom, že alespoň jeden ze směrnicových parametrů regresní funkce je nenulový. Dle výsledků t-testů i F-testů lze tedy uvedené regresní funkce použít.

Tento závěr však nepotvrzuje bohužel ani jeden z výsledků indexu determinace. Nejvyšší hodnoty 0,50 zde dosahují nezpožděné modely, nicméně pokud zvolené modelové regresní funkce vysvětlují pouze 50 % měnlivosti závislé proměnné, příliš výstižně želbohu nerepresentují skutečný vztah obou zkoumaných veličin. Pravděpodobnou příčinou této skutečnosti zřejmě je fakt, že lineární regresní funkce jsou aplikovány na časové řady s větším rozsahem, přičemž jejich jednotlivá data vykazují větší kolísání v důsledku přítomnosti významného sezónního faktoru. K možné eliminaci tohoto problému by mohlo přispět řešení prostřednictvím polynomických nelineárních regresních funkcí, např. metodou linearizující transformace. Vzhledem k nepříliš vysokým korelacím proměnných tvořících vypočtené

modely, jež vycházejí z hodnot korelačních koeficientů v rozmezí 0,66-0,72, se nabízí otázka, zda zkoumání vztahů s touto mírou těsnosti pomocí složitějších polynomických modelových funkcí přispěje k vyšší vypovídací hodnotě získaných výsledků vzhledem ke skutečnosti. Tyto modely mohou přirozeně lépe vystihovat měnlivost závislé proměnné, nicméně možnosti jejich zobecnění či platnosti z hlediska reálné interakce proměnných zůstanou nadále do nemalé míry omezeny.

Základem veškeré dosavadní analýzy byly časové řady čtvrtletních dat reprezentativních ukazatelů za účelem získání vyšší vypovídací hodnoty modelování prostřednictvím většího rozsahu časových řad. Z tohoto důvodu nebyl dosud v modelování zahrnut neméně důležitý ukazatel přepravního výkonu individuální automobilové dopravy. Jednotlivé údaje tohoto ukazatele nevychází z empirického statistického zjišťování, jedná se zpravidla o odborné odhady této veličiny, které se uvádí v ročních intervalech. V rámci použití dat s jemnějším časovým rozlišením je možné vycházet ze statistik vyplývajících z Centrálního registru vozidel vedeného na Ministerstvu vnitra ČR, přičemž by se počet čtvrtletní počet registrovaných vozidel získaný pomocí měsíčních přírůstků korigoval empirickým koeficientem obsazenosti v hodnotě 1,2 popř. 1,3, a získaný počet přepravených osob se znásobil průměrnou přepravní vzdáleností, která se ovšem zpravidla u tohoto způsobu přepravy v čtvrtletní formě neuvádí. V takto získané časové řadě čtvrtletních údajů přepravního výkonu individuální automobilové dopravy v osobokilometrech by stejně tak byly změny jednotlivých údajů určeny pouze přírůstky počtu registrovaných vozidel. Z tohoto důvodu je modelování vztahu přepravního výkonu individuální automobilové dopravy a HDP provedeno pomocí dostupných ročních údajů.

U ročních údajů se zpravidla nepředpokládá sezónní faktor, tedy v souladu s dosavadní metodikou bylo použito modelování v tomto případě jednoduchým Brownovým exponenciálním vyrovnáním pomocí jedné vyrovnávací konstanty, jejíž konečná hodnota je určena na základě optimálního výsledku DW-testu. Stejnou metodikou byl rovněž znovu vyrovnán HDP tentokrát v ročních hodnotách. Použitá metodika však v obou případech poskytla velmi neuspokojivé výsledky, ani jednu z veličin se nepodařilo exponenciálně vyrovnat ani tak, aby výsledek DW-testu alespoň nepadl do kritického oboru. Tato skutečnost je zřejmě způsobena malým rozsahem časových řad o 14 údajích za léta 1995-2008. V obou případech bylo proto aplikováno vyrovnání prostřednictvím lineárního regresního trendu, které naopak přineslo při hladině spolehlivosti $\alpha = 0,05$ vynikající výsledky, obsažené v následující tabulce:

Tabulka 10 – Lineární vyrovnávací trendové funkce pro IAD a HDPa jejich ověřovací charakteristiky

MODEL	T-testy	F-test	INDEX DETERMINACE
HDP=1808075,43+77793,94 t	25,70; 9,41	88,64	0,88
PV=54986,23+1271,60 t	119,72; 23,57	555,7	0,98

Zdroj: autor

Po takto určených lineárních modelech byla zjištěna korelace reziduí jednotlivých funkcí v hodnotě korelačního koeficientu -0,46. Tabulka opožděných korelací následuje (nepředpokládá se opět vliv s více jak dvouletým zpožděním):

Tabulka 11 – Opožděné korelace HDP a IAD

POSUN	IAD	
	HDP(D)	D(HDP)
1	-0,56	-0,19
2	-0,54	0,07

Zdroj: autor

Jak vyplývá z výsledků korelačních koeficientů, lze hovořit opět o nepříliš vysoké těsnosti vztahu obou proměnných, na základě které je matematické modelování funkční závislosti proměnných bezpředmětné.

5 Shrnutí dosažených výsledků řešení a zhodnocení vlastních přínosů

Hlavním účelem dosavadní analýzy bylo **ověření hypotézy**, jež hovoří o vzájemném působení dopravního a makroekonomického systému v různých časových horizontech, které je obsaženo v modelu vazeb. Ověření této hypotézy bylo provedeno prostřednictvím matematického modelování za použití statistických metod aplikovaných na vybraných klíčových ukazatelích obou systémů, jež jsou přepravní výkony jednotlivých dopravních oborů osobní a nákladní dopravy za dopravní systém, a reálný hrubý domácí produkt ve stálých cenách roku 2000.

Po aplikování metod matematické statistiky, jejichž výběr byl odůvodněn na základě povahy vstupních dat a vhodnosti použití jednotlivých metod s přihlédnutím k jejich specifikům, a rovněž na základě zkušebních výpočtů, bylo vzhledem k daným předpokladům hypotézy dosaženo překvapujících výsledků.

Pokud chceme hovořit o stavu nezávislosti či závislosti vybraných veličin, ať už přímé nebo nepřímé, opíráme se o výsledek korelačního koeficientu. Pokud bychom benevolentně stanovili minimální hranici korelačního koeficientu na 0,5, odkdy by teoreticky šlo již do jisté omezené míry hovořit o závislosti, byť stále statisticky nevýznamné při 95%-ní hladině významnosti, prokázalo se ovlivňování v tomtéž časovém (čtvrtletním) období pouze u modelování vztahu HDP a silniční nákladní dopravy v přímé závislosti. Tento vztah byl matematicky modelován v předchozí kapitole pomocí soustavy sdružených navzájem inverzních regresních přímek obou funkčních závislostí. Zde je nutné poznamenat, že model vazeb explicitně neuvažuje, resp. taxativně neuvádí závislost ekonomického systému na stavu dopravního systému v tomtéž období, nicméně ale samotný výsledek korelačního koeficientu zase sám o sobě nehovoří o konkrétním funkčním směru závislosti zkoumaných proměnných. V kap. 3.1 je uveden příklad účinků nově vybudované dopravní infrastruktury s dlouhodobou výstavbou, které se v ekonomice jistě projeví až v následujících obdobích, nicméně nelze na druhou stranu teoreticky zamítnout možnost, že by se zvýšení přepravních výkonů v silniční nákladní dopravě nepromítalo v tomtéž období do HDP.

Modelování vzájemných závislostí reprezentujících veličin obou systémů s použitím opožděných korelací potvrdilo jistou míru závislosti HDP v aktuálním čtvrtletním období na přepravním výkonu některého předešlého čtvrtletního období (za akceptace výše uvedeného měřítka) 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, které opět explicitně model vazeb nepředpokládá, tedy závislost ukazatelů dopravního systému v aktuálním období na ekonomických ukazatelích předešlých období, se vyskytují v získaných korelačních výsledcích častěji. 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). Nejvýrazněji se projeví účinky změn HDP v silniční nákladní dopravě s půlročním, ročním, jedenapůletým a dvouletým zpožděním a se střídavou závislostí počínaje nepřímou formou.

Klíčové momenty, které utvářejí výsledky analýzy, je stanovení délky časového období, za které vystupují jednotlivé údaje. Pro zvýšení rozsahu časové řady se pracovalo s kvartálními daty, která musela být ve většině případů sezónně očištěna. Základní myšlenkou tohoto postupu byl předpoklad, že výsledky korelace mezi časovými řadami s co nejvíce údaji, tedy s co největším rozsahem, budou věrněji odrážet skutečnost a takováto analýza bude spolehlivější a „přísnější“ v porovnání s analýzou kratších časových řad ve stejném časovém horizontu, ale s jednotlivými daty za delší časová období, vedoucí leckdy k jednoznačnějším výsledkům, které ovšem mohou zkreslovat realitu. Pro samotné přípravné zjišťování těsnosti korelace, kdy se po vyrovnání trendu a očištění řady od sezónnosti koreluje pouze rezidua – náhodné složky, a které je výchozí základnou modelování, by čtvrtletní data měla napomoci objektivnějšímu posouzení skutečného vztahu.

Přesto výsledky mají jisté zajímavé a nepřilíš očekávané rysy, které jsou nejlépe zřetelné u silniční nákladní dopravy v případě modelovaných opožděných korelací závislosti přepravního výkonu na HDP. Prvním z nich je měnící se znaménko korelačního koeficientu v jednotlivých korelačních posunech, což může budít dojem, že tato skutečnost je způsobena zkreslením sezónními vlivy. Nicméně tato domněnka by nebyla správná, neboť sezónní faktor byl odstraněn Holt-Wintersovou metodou exponenciálního vyrovnání. Poněkud méně předpokládaná nepřímá závislost mezi přepravními výkony a HDP může být způsobena faktem, že zvýšení korunového vyjádření reálného HDP se nutně nemusí projevit v naturálním vyjádření přepravního výkonu, dokonce v některých případech jak vidno může vést k jeho úbytku. Jiné výsledky by nesly závislosti přepravních výkonů v peněžním vyjádření a HDP rovněž v peněžních jednotkách, zde by bylo předmětné zkoumat pouze těsnost závislosti a příspěvek jednotlivého druhu dopravy k HDP, neboť výdaje na dopravní služby jistě tvoří jednu ze složek výdajů na HDP. Samotné zvýšení HDP může být způsobeno

zlepšením technologických a návazně logistických procesů ve firmách počínaje intenzifikací výroby zvýšením produktivity práce na základě optimalizace technologických procesů, možným outsourcingem vedlejších neproduktivních činností firmy a optimalizací jednotlivých článků logistického řetězce, např. efektivnějším řízením zásob, skladování apod. Za účelem snižování dopravních nákladů se následně snižuje poptávku po dopravních službách příslušného dopravního oboru, což se samozřejmě negativně promítne i do naturálního vyjádření ukazatele přepravního výkonu. Snižování dopravních nákladů se může promítnout i do výsledné ceny produktu, která se rovněž může snížit, nicméně je opět nutné mít na paměti, že provedená analýza pracuje s údaji reálného HDP ve stálých cenách roku 2000. Stejným způsobem by se dala interpretovat tato závislost i u letecké nákladní v jednom případě opožděné korelace, byť statisticky nevýznamné. Nepřímá závislost se v náznacích projevila i v osobní dopravě, a to v některých případech zpožděné korelace změn reálného HDP na leteckou dopravu, kdy projev zvýšení HDP přenáší v omezené míře do některých následných období sníženou motivaci osob cestovat letecky, což může být způsobeno např. rostoucím uspokojením ze spotřebních nákupů zákazníků a odlivem poptávky po zahraničních výletech leteckou dopravou či přesunem poptávky do jiných dopravních oborů za tímto účelem, nebo z pohledu firem úbytkem potřeby zahraničních služebních cest leteckou dopravou z titulu zlepšení komunikace se zahraničními partnery prostřednictvím progresu a zavádění různých vnitropodnikových systémů, např. ERP (Enterprise Resource Planning) systémů jako SAP atd. či dynamickým rozvojem informačních a komunikačních technologií, přičemž všechna tato opatření vedou prostřednictvím efektivnější technologie a managementu ke zvýšení produktivity práce a potažmo i ke zvyšování HDP. Rozpor korunového vyjádření reálného HDP a naturálních ukazatelů přepravního výkonu se objevil v náznacích i v některých málo zpožděných případech nepřímé závislosti právě HDP na přepravním výkonu, opět u nákladní silniční a letecké dopravy, což mohla způsobit vstřícná opatření v rámci koncepce tarifní politiky vzhledem k přepravním, kdy se jejich zvýšená poptávka po dopravních službách a návazně zvýšení přepravních výkonů dopravců do určitého období dostatečně nestačilo zhodnotit do podoby pozitivního vývoje HDP. Velmi mírnou opožděnou nepřímou závislost naznačuje i vztah HDP a individuální automobilové dopravy, kde mohou hrát roli např. snazší možnosti nákupu starších levnějších vozidel a tedy větší dostupnost individuální automobilové dopravy, u které rostou přepravní výkony, aniž by se pozitivně promítly do HDP, ať již se zpožděním nebo i bez něho. Při stále rostoucím takovémto nákupu se ve zpožděných korelacích proto projevuje dokonce náznak negativní závislosti, kdy vývoj HDP takovémuto růstu IAD neodpovídá. Pokud se např. zvýší koeficient průměrného

obsazení v důsledku zvýšení poptávky po IAD při stálém množství registrovaných osobních vozidel, jistě tato skutečnost bude mít vliv na růst přepravního výkonu IAD. Pokud se však toto zvýšení poptávky projeví současně úměrně dalšími nákupy těchto cenově dostupnějších vozidel, koeficient průměrného obsazení zůstane na přibližně stejné nízké úrovni jako v situaci nezvýšené poptávky a dojde k nárůstu spotřeby pohonných hmot, ale přepravní výkon IAD se zvětší ve stejné míře jako předchozí popsany případ. Přesun zvýšené poptávky po IAD v důsledku zvýšení koeficientu průměrného obsazení do nákupu starších vozidel tedy hodnotu přepravního výkonu IAD nezmění. Stále ovšem je třeba mít na paměti, že analýza vztahu HDP a IAD v této práci vychází z ročních dat, tedy časové řady mají malý rozsah, tedy i výše uvedená interpretace výsledků s menší vypovídací hodnotou má omezenou platnost.

Co se týče pozitivních přímých závislostí mezi zkoumanými proměnnými, ty odpovídají klasickému výkladu vzájemné interakce ekonomického a dopravního systému. Zajímavý je ale projev přenosu vícero korelačního posunu v rámci jedné funkční závislosti proměnných, tedy že se ukáže vliv nezávislé proměnné určitého období na závislou proměnnou ve více následných obdobích (tedy s více korelačními posuny) v jedné funkční závislosti, např. již u vícekrát zmiňované silniční nákladní dopravy. Zde by připadalo v úvahu rozhodování, kterou opožděnou korelaci označit z více možných a statisticky koeficientem stejně významných korelací jako relevantní. Zde se může překvapivě jako omezující faktor projevit právě samotné zvolení údajů za čtvrtletí, přičemž toto časové rozmezí může být pro zkoumání závislostí určitých veličin svojí délkou nedostačující, neboť ty mohou potřebovat k promítnutí jejich vlivu do dalšího systému určitou dostatečnou míru změny, která nastane až za určité potřebné období. Pokud analýza vychází z údajů za kratší časové období, její korelační výsledky vypovídají o dílčích účincích v závislých proměnných, které se dějí na základě pouze dílčích menších změn v nezávislých proměnných v takto jemněji diferencovaném časovém horizontu pro výchozí data. Otázkou zůstává, zda tento možný omezující faktor mohl postihnout i tuto vypracovanou analýzu. Výsledky analýzy mohou této skutečnosti částečně napovídat, nicméně změny veličin přepravního výkonu a HDP nedávají tušit potřebu jejich dlouhodobého generování a působení jako například výdaje do dopravní infrastruktury. Řetězení jednotlivých údajů jemněji diferencovaného období by v jistých případech posléze mohlo vést k transparentnějším výsledkům reprezentujícím jednoznačnější účinky.

Analýza vzájemných závislostí systémů na bázi užití časových řad tedy s sebou nese důležitá rozhodnutí a volby, které jsou spolu nedílně propojeny, počínaje volbou ukazatelů, jejich druhu z pohledu zastoupení časového období a samozřejmě návazné metodiky pro zpracování dat a konstrukce výsledných modelů.

Plánované završení této práce, jejíž konečnou fází mělo být sestrojení vícerozměrných modelů lineární závislosti ve tvaru:

$$HDP = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon$$

tedy závislé proměnné HDP a přepravních výkonů osobní, resp. nákladní dopravy jednotlivých dopravních oborů $X_1 \dots X_n$ včetně opožděných korelací, nemohlo být vzhledem k dosaženým výsledkům korelačních analýz realizováno, neboť se jednotlivé korelace s dostatečnou těsností neprokázaly v potřebné míře, ve většině případů se neprokázala ani statisticky významná a potřebná těsnost korelace. Proto byly vypočteny pouze dílčí jednorozměrné lineární regresní modely nezpožděné i zpožděné, jejichž korelační výsledky se alespoň částečně blížily úvahám o statistické významnosti. Použitelnost těchto lineárních modelů se ovšem nepotvrdila s ohledem na neuspokojivé výsledky indexu determinace. Jiné možné řešení by spočívalo pravděpodobně v modelování pomocí nelineárních polynomických funkcí, které by lépe vystihovaly variabilitu skutečných čtvrtletních údajů zatížených sezónností. Vzhledem k nepřilíživé velké těsnosti vztahů proměnných v jednotlivých modelovaných funkčních závislostech se však toto pokročilé modelování jeví jako bezpředmětné, neboť by stejně přes možné pozitivní výsledky ověřovacích testů dostatečně nepopisovalo realitu.

Popsaná a autorem 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 systémů 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 autora 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. Použitá metodická sekvence stavěná na metodách matematické statistiky je vhodně využitelná i pro modelování dalších proměnných, jejichž vstupní data mají stejné uspořádání a jsou stejného druhu. 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. Přáním autora je, aby možnost teoretické a praktické využitelnosti metodických postupů a výsledků této práce přispěla k dalšímu osvětlení oblasti rovnováhy makroekonomického a dopravního systému a jejich interakcí.

Závěr

Doprava jako jedno z významných odvětví spoluurčující stav ekonomického systému je stále středem zájmu různých odborníků, kteří věnují pozornost různým aspektům dopravního sektoru stojícím na rozhraní různých systémů a přenášejícím tak vzájemné interakce těchto systémů. Doprava sama jako sektor ekonomiky se neobejde bez součinnosti s veřejným sektorem, soukromým sektorem a domácnostmi, na druhé straně tyto subjekty, tedy potažmo celá ekonomika požaduje ke svému zdárnému fungování dopravní služby.

Nehovoří se v tomto smyslu pouze o finančních hlediscích či jiných účelově prospěšných aspektech, významnou roli tu hraje i nutné uspokojení společenské poptávky po dopravě jako aspektu sociálního. Zkoumání spolupůsobení dopravního a ekonomického systému a odhalení a pochopení určitých závislostí či zákonitostí by jistě mělo vést k lepšímu řízení obou systémů ve smyslu přijímání důležitých rozhodnutí a realizování různých opatření a kroků vedoucím k růstu celoeconomického potenciálu a společenského blahobytu. Rovnováha v dopravním systému je integrálním stavem dílčích konkrétních stavů dopravního systému z hlediska prostorového a síťového uspořádání přepravních proudů využívajících v různých stupních infrastrukturní kapacity a různých provozních aspektů a specifík dopravního systému. Kromě technicko-provozního je tu také hledisko marketingové, tedy rovnováhy na dopravním trhu, kde zase vystupují do popředí specifické charakteristiky tržních kategorií v dopravě.

Hledání celkového konsensu mezi dopravním a ekonomickým systémem jistě není jednoduchým úkolem, nelze jej řešit čistě obecně, aniž bychom se zabývali dílčími problémy v systémech. Komplexní pohled je ovšem jistě nutný, neboť by měl by přispět k objektivitě při řešení problému. Necht' tedy toť skromný příspěvek k hledání, nalézání a osvětlování.

Seznam literatury:

- [1] MELICHAR, V., JEŽEK, J. *Ekonomika dopravního podniku*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004, ISBN 80-7194-711-3.
- [2] ČERNÁ, A., ČERNÝ, J. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*. Univerzita Pardubice, 2004, 150 s., ISBN 80-86530-15-9.
- [3] HUŠEK, R. *Ekonometrická analýza*. Ekopress, Praha, 1999, 303 s., ISBN 80-86119-19-X.
- [4] ORAVA, F. *Prognostické inženýrství v dopravě*. Univerzita Pardubice, 2000, 132 s., ISBN 80-7194-245-6.
- [5] LIBERADZKI, B. *Transport: Popyt. Podaz. Równowaga*. Warszawa: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomiczno – Informatycznej w Warszawie, 1998. 154 s. ISBN 83-906188-2-6.
- [6] FLORIAN, M., LOS, M. *A New Local Static Spatial Price Equilibrium Models*. Regional Science and Urban Economics (1982). ISBN 12-:579-759.
- [7] HARKER, P.T. *Predicting Intercity Freight Flows*. VNU Science Press, (1987) Utrecht, The Netherlands.
- [8] WARDROP, J.G. *Some Theoretical Aspekt of Road Traffic Research*. Proceedings of the Institution of Civil Engineering(1952). ISBN 1-325-378.
- [9] TAKAYAMA, T., JUDGE, G. *Spatial and Temporal Price Allocation Models*. North-Holland, Amsterdam (1971).
- [10] SAMUELSON, P.A. *Spatial Price Equilibrium and Linear Programming*. American Economic Review (1952). Isbn 42-283-303.
- [11] ROSON, R., WESTIN, L. *Production and Trade in Interacting Economies*. A Survey of Applied Equilibrium Models. Research Paper. Department of Economics, University of Venice, Italy (1990).
- [12] NAGURNAY, A. *Network Economics*. A variational Inequality Approach. Kluwer Academic Publisher, Boston (1993).
- [13] AMANA, K., FUJITA, M. *A Long-Run Economic Effect Analysis of Alternative Transportation Facility Plan:Regional and National*. Journal of Regional Science 10 No 3 (1970).
- [14] ROSON, R. *The Adjustment of International Input-Output Coefficient under Heterogenous Price Sensitivity. A Linearized Model*. Annals of Regional Science, (1991), ISBN 25-101-114.
- [15] LIEW, C.K., LIEW, C.J. *Multi-Modal, Multi-Output, Multi-Regional Variable Input-Output Model*. Regional Science and Urban Economics (1984). ISBN 14-265-281.
- [16] TREYZ, G. *Regional Economic Modelling. A Systematic Approach to Economic Forecasting and Policy Analysis*. Kluwer Academic Publisher (1993).
- [17] SNICKARS, F. *Interregional Linkages in Multiregional Economic Models*. In: Issaev B. at al. (1982).
- [18] ISSAEV, B., NIJKAMP, P., RIETVELD, P., SNICKARS, F. *Multiregional Economic Modeling*. Practise and Prospez, North Holland, Amsterdam (1982).
- [19] BERGMANN, L. *General Equilibrium Effect of Environmental Policy*. A CGE-Modeling Approach. Environmental and Resource Economics.(1991). ISBN 1-43-61.
- [20] MCFADDEN, D. *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*. North Holland, Amsterdam 1977.

- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] QUINET, E., VICKERMAN, R. *Principles of Transport Economics*, MPG Books Ltd Bodlin, Cornwall (2004), 377 pp.
- [25] GOODWIN, P. *A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes*, *Journal of Transport Economics and Policy*, 1992, 26, 155-169.
- [26] JOHANSSON, O. AND L.SCHIPPER. *Measuring the Long Run Fuel Demand of Cars*, *Journal of Transport Economics and Policy* 1997, 31, 277-292.
- [27] SELVANATHAN, E.A. AND SELVANATHAN, S. *The Demand for Transport and Communication in the United Kingdom and Australia*, 1994 *Transportation Research B*, 28, 1-9.
- [28] OUM, T.H., WATERS II, W.C. AND YONG, J.S. *Concepts of Price Elasticities of Transport Demand and Recent Related Estimates*, *Journal of Transport Economics and Policy* 1992, 27, 139-154.
- [29] CHARMEIL, C. *Investissement et Croissance Economique*, Paris 1968 Dunod
- [30] ASCHAUER, D.A. *Is Public Expenditure Productive?*, *Journal of Monetary Economics*, 23, 1989, 177-200.
- [31] BAUM, H. AND BEHNKE, N.C. *Der volkswirtschaftliche Nutzen des Strassenverkehrs*, Schriftenreihe des Verbandes der Automobilindustrie e.V.(VDA), 82, 1997, Frankfurt am Main; VDA
- [32] BUREAU, D. AND CIPRIANI, C. *Impacts macro-économiques du TGV Paris Sud-Est*, 1986 mimeo Paris, Ministère des Finances.
- [33] MORISUGI, H. AND HAYASHIYAMA, Y. *Post-evaluation of the Japanese railway network: 1875-1940*, in E.Quinet and R.Vickerman: *The Econometrics of Major Transport Infrastructures*, 1997 London: Macmillan.
- [34] FOGEL, R.M.: *Railroads and American Economic Growth: Essays in Economic History*, 1964 Baltimore, MD: Johns Hopkins Press.
- [35] NADIRI, M.I. AND MAMUNEAS, T.P. *Contribution of Highway Capital to Industry and National Productivity Growth*, Mimeo, 1996 NBER and Cyprus University
- [36] MELICHAR V., JEŽEK. J., POJKAROVÁ, K. *Modelování elasticity výkonů nákladní dopravy a hlavních indikátorů vývoje ekonomiky v ČR*. *Teorie dopravních systémů – soubor odborných statí*, Tribun EU s.r.o., Brno, 2007, 220 s., ISBN 978-56592-479-6.
- [37] MELICHAR, V. *Cenová elasticita poptávky ve veřejné osobní dopravě*. *Sci. Pap. Univ. Pardubice Ser. B*, 8, s. 5-38 (2003), ISSN 1211-6610, ISBN 80-7194-513-7

- [38] MELICHAR, V., POJKAROVÁ, K., JEŽEK, J. *Modelování rovnováhy dopravního systému a ekonomiky*, II. Konference s mezinárodní účastí „Teorie dopravních systémů 2007“, Pardubice 17.1.2007, ISBN 978-80-7194-927-5.
- [39] CIPRA, T. *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*. SNTL Praha 1986, 1. vydání. ISBN 04-012-86.
- [40] RUBLÍKOVÁ, E. *Analýza časových radov*. Edícia EKONÓMIA Iura Edition Bratislava 2007, 1. vydání, ISBN 978-80-8078-139-2.
- [41] HINDLS, R., HRONOVÁ, S., NOVÁK, I. *Metody statistické analýzy pro ekonomy*. Management Press Praha 2000, 2. přepracované vydání. ISBN 80-7261-013-9.
- [42] HINDLS, R., HRONOVÁ, S., SEGER, J. *Statistika pro ekonomy*. Professional Publishing Praha 2002, 1. vydání, ISBN 80-86419-26-6.
- [43] HINDLS, R., HRONOVÁ, S., NOVÁK, I. *Analýza dat v manažerském rozhodování*. Grada Publishing Praha 1999, 1. vydání, ISBN 80-7169-255-7.
- [44] KUBANOVÁ, J. *Matematická statistika*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1999. ISBN 80-7194-215-4.
- [45] *Český statistický úřad*. [cit. 2009-12-23]. Dostupné z <<http://www.czso.cz/>>
- [46] *Ministerstvo dopravy ČR*. [cit. 2009-12-23]. Dostupné z <<http://www.mdcz.cz/cs/Statistika+dopravy>>

Seznam vlastních publikací týkajících se tématu disertační práce

- KAMPF, R., SALAVA, D. aj.** Supply and Demand Equilibrium. *Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B*, 2007, č. 12 (2006), s. 123-134.
- KUDLÁČKOVÁ, N., SALAVA, D.** Investigation of Transport Demand in Macroeconomic Point of View. In *Proceedings - Section 2: Economics and Management, Part 1* Žilina : Žilinská univerzita, 2007. s. 219-224.
- SALAVA, D.** Aspekty řešení rovnováhy dopravních sítí. In *Aktuální problémy v dopravě 2007 - Sborník příspěvků* Pardubice : Institut Jana Pernera, o.p.s., 2007. s. 117-120.
- SALAVA, D.** Aspekty řešení tržní rovnováhy v dopravě. In *Aktuální problémy v dopravě 2006*, . vyd. Pardubice : Institut Jana Pernera, o.p.s., 2006. s. 88-91.
- SALAVA, D.** Management posuzování aspektů při modelování rovnováhy dopravního systému. In *Sympóziu Manažment'06*, . vyd. Žilina : EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity, 2006. s. 331-335.
- SALAVA, D.** Možné pohledy na řešení rovnováhy dopravy a ekonomiky. In *Rozvoj systémů osobní dopravy z hlediska respektování požadavků uživatele* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2007. s. 159-163.
- SALAVA, D.** Praktické užití modelu vazeb interakce makroekonomického a dopravního systému. In *Rozvoj a perspektivy dopravních systémů ve vazbě na vnější okolí* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2008. s. 218-221.
- SALAVA, D.** Rovnováha v dopravním systému. In *Sborník příspěvků z 6. doktorandské konference IMEA 2006*, . vyd. Hradec Králové : Gaudeamus, 2006. s. 400-404.
- SALAVA, D., KUDLÁČKOVÁ, N.** Zkoumání poptávky po dopravě v makroekonomickém pojetí. In *Národohospodářské aspekty dopravního systému: sborník ze 7. vědecké mezinárodní konference* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2007. s. 38.
- SALAVA, D., ŠARADÍN, P.** Rovnováha na dopravním trhu. In *Sborník příspěvků čtvrté mezinárodní vědecké konference "Nové výzvy pro dopravu a spoje"* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006. s. 111-116.
- SALAVA, D., ŠVADLENKA, L.** Relevantní faktory řešení equilibria dopravního systému. In *Sborník příspěvků II. konference s mezinárodní účastí Teorie dopravních systémů 2007* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2007. s. 247-252.
- ŠARADÍN, P., SALAVA, D.** Zkoumání tržních kategorií při modelování rovnováhy na dopravním trhu. In *Aktuálne problémy podnikania v cestnej doprave* Žilina : Žilinská univerzita, 2006. s. 120-124.
- SALAVA, D.** Modelování vztahů dopravních a ekonomických proměnných. In *Aktuální problémy v dopravě 2009 - Sborník příspěvků* Pardubice : Institut Jana Pernera, o.p.s., 2009. s. 225-230. ISBN 978-80-86530-58-1.
- SALAVA, D.** Možnosti modelování rovnováhy na dopravní síti. *Dopravní systémy a hodnota pro uživatele, Sborník příspěvků, Pardubice, Univerzita Pardubice 2009*, str. 151-155. ISBN 978-80-7395-181-8.

Ostatní publikační činnost

SALAVA, D. Model kvality dopravních a přepravních procesů. In *Sborník příspěvků Vědecké konference „Kvalita dopravních a přepravních procesů a služeb“*, DFJP Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-675-3

BÁRTOVÁ, P., SALAVA, D. Teoretické aspekty benchmarkingu. In *Sborník příspěvků konference Logistická centra*, první. vyd. Brno : Tribun EU, 2008. s. 7-13 .

HÝBLOVÁ, P., KAMPF, R. jr., SALAVA, D. Outsourcing and Logistic Centers. In *BESTUFS 2006 Conference*, vyd. Malta : BESTUFS Coordination Action, 2006. s. 1-9 .

MELICHAR, V., DRAHOTSKÝ, I., SALAVA, D. Vývoj mobility v osobní dopravě v České republice do roku 2020 a její struktury. In *Nové trendy v rozvoji systémů osobní dopravy na principech udržitelné mobility*, vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2005. s. 135-153 .

MELICHAR, V., SALAVA, D., CHMELAŘ, M. Factors of Development and Modelling of Future Mobility in Passenger Transport. *Studies and Works of the Collegium of Management and Finance* vyd. Warsaw School of Economics, 2006, roč. 73, č. 73, s. 68-79.

MELICHAR, V., SALAVA, D., CHMELAŘ, M. Faktory vývoje a modelování budoucí mobility v osobní dopravě. In *Nové trendy v rozvoji systémů osobní dopravy na principech udržitelné mobility*, . vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2005. s. 122-134 .

MELICHAR, V., SALAVA, D., CHMELAŘ, M. Future Mobility Development In Passenger Transport. *Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B*, 2006 roč. 2006, č. 11, s. 89-100 .

SALAVA, D. Comparison of 4PL and 3PL Outsourcing Degrees and Their Implementation and Benefit Aspects. In *Outsourcing dopravně-logistických procesů*, . vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2005. s. 135-138 .

SALAVA, D. Outsourcing Use Possibilities. In *LOGI 2006*, . vyd. Pardubice : Institut Jana Pernera, o.p.s., 2006. s. 152-155 .

SALAVA, D. Transportation Processes Quality Model Proposal. In *Proceedings from International Colloquium of Ph.D. Students*, . vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2005. s. 56-59 .

SALAVA, D., ŠARADÍN, P. Service Quality Management in Passenger Transport. In *Proceedings of The Int. Sci. Conf. "ECOMA 2005: Economy and Management of Enterprises in Transition Economies in the Global Market Environment"* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2005. s. 417-420 .

ŠARADÍN, P., SALAVA, D. Strategie budování vztahů se zákazníky v dopravní firmě. In *Sborník příspěvků čtvrté mezinárodní vědecké konference "Nové výzvy pro dopravu a spoje"* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006. s. 123-128 .

ŠARADÍN, P., SALAVA, D. Střednědobá revize Bílé knihy a osobní doprava. In *Rozvoj dopravních systémů osobní dopravy na principech udržitelné mobility a přístupnosti* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006. s. 154-156 .

ŠVADLENKA, L., SALAVA, D. Aspect of RFID Application in the Postal Sector. In *Future Role of Postal Services in the Face of New Market Conditions and Communication Technologies: proceedings of the IPoCC Conference 2008* Pardubice : Avon, s. r. o., 2008. s. 234-239 .

ŠVADLENKA, L., SALAVA, D. Market Analysis of Express Services in the Czech Republic. In *POSTPOINT 2007* Žilina : Žilinská univerzita, 2007. s. 269-273 .

ŠVADLENKA, L., SALAVA, D. Shift of Postal Operators' Strategies towards Higher Competitiveness. In *Diagnostika podniku, controlling a logistika: sborník ze 4. mezinárodní vědecké konference*, první. vyd. Žilina : Žilinská univerzita, 2008. s. 322-327 .

ŠVADLENKA, L., SALAVA, D. V Pardubicích proběhla konference IPoCC 2008. *Direkt*, 2008, roč. 2008, č. 7, s. 32-33.

SALAVA, D., ŠVADLENKA, L. Měření kvality poštovních služeb na trhu v EU a České republice. In *Perner's Contacts*, Vol. 2 / IV, str. 108-113, srpen 2009. ISSN 1801 – 674X.

SALAVA, D. Index Benchmarking – Tool for Competitiveness Increase. In *TRANSCOM 2009*, Section 2 – Economics and Management, Part 2, str. 105 – 108, Žilina June 22-24th, 2009. ISBN 978-80-554-0040-2.

ŠVADLENKA, L., SALAVA, D. Redefinition of Universal Postal Service in Conditions of Fully Liberalized Market. In *POSTPOINT 2009*, str. 240-245, Žilina September 16-18th, 2009.

SALAVA, D. Efficiency of Index Benchmarking. In *LOGI 2009*, str. 208-213, Pardubice 19. listopad 2009. Tribun EU 2009 Brno. ISBN 978-80-7399-893-6.

SALAVA, D. Praxe a přínosy indexového benchmarkingu. In *Perner's Contacts*, Vol. 3 / IV, str. 201-206, listopad 2009. ISSN 1801 – 674X.

KAMPF, R. JR., SALAVA, D. Handling with Communal Solid Waste. *Perner's Contacts* – v tisku.

Monografie, vybrané kapitoly, učební skripta, učební texty

ŠVADLENKA L. a kol. *Dopravní a spojovací soustava*. První vydání. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006. 136 s. ISBN 80 – 7194 – 911 – 6. – Podíl - 2 kapitoly. – 2/10 skript

ŠVADLENKA, L., SALAVA, D., MORKUS, J A KOL. *Future Role of Postal Services in the Face of Next Market Conditions and Communication Technologies*. Univerzita Pardubice 2008, ISBN 978-80-7395-144-3.

HÖLZL, O., ŠVADLENKA, L., SALAVA, D. *Základní principy ekonomiky a managementu elektronických komunikací*. Univerzita Pardubice 2008, ISBN 978-80-7395-143-6.

Seznam zkratek

CPR	Celková prostorová rovnováha
ČSÚ	Český statistický úřad
DW	Durbin-Watsonův test
FSM	Four Step Model
HDP	Hrubý domácí produkt
IO	Input-Output modely
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PCR	Prostorová cenová rovnováha

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Vztahy v modelu vazeb	54
Tabulka 2 – Výsledky testů sezónnosti pro jednotlivé dopravní obory	61
Tabulka 3 – Výsledky jednoduchého exponenciálního vyrovnání	63
Tabulka 4 – Výsledky Holt-Wintersova exponenciálního vyrovnání	64
Tabulka 5 – Korelace mezi HDP a přepravními výkony	64
Tabulka 6 – Opožděné korelace mezi HDP a přepravními výkony osobní dopravy	65
Tabulka 7 - Opožděné korelace mezi HDP a přepravními výkony nákladní dopravy	65
Tabulka 8 – Opožděné korelace mezi HDP a přepravními výkony potrubní dopravy	66
Tabulka 9 – Lineární regresní modely HDP a silniční nákladní dopravy a jejich ověřovací charakteristiky	67
Tabulka 10 – Lineární vyrovnávací trendové funkce pro IAD a HDPa jejich ověřovací charakteristiky	69
Tabulka 11 – Opožděné korelace HDP a IAD	69

Seznam příloh

- Příloha č. 1 – Exponenciální vyrovnání HDP v mil. Kč Holt-Wintersovou metodou
- Příloha č. 2 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů železniční osobní dopravy v mil. oskm Holt-Wintersovou metodou
- Příloha č. 3 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů veřejné autobusové dopravy v mil. oskm jednoduchou Brownovou metodou
- Příloha č. 4 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů městské hromadné dopravy v mil. oskm dvojitou Brownovou metodou
- Příloha č. 5 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů letecké osobní dopravy v mil. oskm Holt-Wintersovou metodou
- Příloha č. 6 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů železniční nákladní dopravy v mil. tkm Holt-Wintersovou metodou
- Příloha č. 7 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů silniční nákladní dopravy v mil. tkm Holt-Wintersovou metodou
- Příloha č. 8 – Vyrovnání mil. tkm vodní nákladní dopravy Brownovou metodou
- Příloha č. 9 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů letecké nákladní dopravy v tis. tkm Holt-Wintersovou metodou
- Příloha č. 10 – Vyrovnání mil. tkm potrubní dopravy ropy Holt-Wintersovou metodou
- Příloha č. 11 – Tabulka ročních hodnot HDP v mil. a IAD v tis. oskm

Příloha č. 1 – Exponenciální vyrovnání HDP v mil. Kč Holt-Wintersovou metodou

Hodnoty 96-09	Trend	Směrnice	Sezónnost		Vyrovnání
498 778					
537 635					
539 037					
540 155					
505 793	535214,5	4924,53	-29982,7		505 232
536 386	528900,703	-3841,36506	8484,2594		537 385
528 894	519388,1338	-8264,90429	10009,9732		529 398
529 070	517146,723	-3566,5794	11387,8554		528 535
497 415	526015,9444	6133,34523	-29706,349		496 310
531 216	523673,4955	-477,774158	8295,90842		531 969
526 879	517501,6962	-4919,11375	9883,43935		527 385
528 693	516832,8884	-1603,87514	11482,3067		528 315
498 865	527237,1153	7762,44447	-29439,502		497 798
536 452	528840,4384	2958,3298	8159,03906		536 999
535 642	526362,5814	-1281,8959	9762,6352		536 125
541 162	529219,7926	1946,60761	11574,2868		540 794
514 660	542806,192	11025,6452	-29180,84		513 625
556 769	549132,1486	7359,8881	8054,60153		557 187
556 739	547927,932	679,886451	9572,32176		557 500
561 001	549344,8237	1254,75057	11590,6647		560 935
531 316	559507,1135	8202,63118	-28982,895		530 524
570 874	563308,4331	4769,60812	7956,79461		571 265
568 876	560181,1145	-1389,99469	9396,8345		569 578
571 877	560136,8138	-340,353444	11620,569		571 757
542 468	570285,4514	7841,05957	-28749,806		541 536
582 671	575055,4359	5445,62109	7888,5485		582 944
577 999	569792,0547	-2907,40077	9158,85667		578 951
582 350	570344,9533	-208,367242	11697,4646		582 042
558 627	585652,7841	11894,2673	-28405,002		557 248
603 723	596005,7115	10692,0222	7854,2965		603 860
600 785	593133,3024	111,765754	8857,42486		601 991
604 683	593011,4887	-70,4261803	11692,2739		604 704
580 528	607333,8078	11155,9151	-28085,163		579 249
629 419	621257,2054	13314,5515	7915,79611		629 173
627 202	619967,2933	1923,06987	8532,88123		628 500
636 857	624837,2898	4221,67263	11757,7612		636 595
614 350	641097,5429	13611,7654	-27817,639		613 280
670 146	661478,1143	18891,4341	8066,21402		669 544
666 528	660232,5617	3184,58449	8085,39264		668 318
679 249	667083,8296	6044,5975	11839,243		678 923
660 938	687192,9177	17014,9002	-27505,095		659 688
711 102	703152,9892	16192,1338	8042,77338		711 196
712 248	705680,8589	5534,00783	7781,74232		713 463
725 050	713011,168	6935,12278	11879,1608		724 890
709 959	735712,3143	19232,6211	-27154,739		708 558
752 099	745145,0975	11588,7476	7824,99921		752 970
752 986	746357,2164	3494,97722	7551,15058		753 908
766 535	754175,4746	6867,13639	11975,2337		766 151
730 095	757629,0258	4204,53996	-27230,596		730 398
780 457	771552,1573	11785,0413	8040,96791		779 593
778 438	772131,8843	3044,89619	7302,14359		779 434
766 045	756180,4677	-11772,2278	11553,0934		767 734
699 766	728737,7604	-23995,2018	-27578,829		701 159
741 345	730447,8847	-3945,04743	8612,19738		739 060
742 106	733973,7545	1882,26797	7468,16397		741 442

**Příloha č. 2 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů železniční osobní dopravy
v mil. oskm Holt-Wintersovou metodou**

Hodnoty 00-09	Trend	Směrnice	Sezónnost	Vyrovnání
1 729				
1 874				
1 817				
1 881				
1 734	1828,26436	2,1544776	-95,834875	1732,42948
1 869	1823,557585	-2,37394926	47,4789329	1871,03652
1 831	1833,139776	5,51710351	-6,3310483	1826,80873
1 865	1819,573719	-7,07778244	52,5651699	1872,13889
1 701	1801,884416	-14,081386	-97,584168	1704,30025
1 640	1659,159155	-98,9863439	26,2721849	1685,43134
1 545	1554,127368	-102,976336	-7,3276305	1546,79974
1 712	1588,302198	-12,4565659	75,174332	1663,47653
1 542	1618,055626	15,4020298	-90,625915	1527,42971
1 639	1619,796421	6,38561475	24,020151	1643,81657
1 651	1647,587548	20,513253	-3,7989642	1643,78858
1 685	1629,645813	-4,86703905	68,8350855	1698,4809
1 617	1679,447327	31,2142058	-81,613887	1597,83344
1 664	1663,977301	0,40261311	16,3243262	1680,30163
1 628	1642,685747	-13,9155373	-7,3752148	1635,31053
1 681	1617,567175	-21,3095404	66,9882822	1684,55546
1 582	1640,747081	8,05349421	-74,279869	1566,46721
1 697	1669,76158	21,8877576	19,7797161	1689,5413
1 663	1677,778697	12,7331344	-9,661769	1668,11693
1 725	1668,736376	-1,63866572	63,3986315	1732,13501
1 692	1732,625915	41,6099492	-63,477644	1669,14827
1 806	1781,865081	46,6452324	21,037381	1802,90246
1 639	1710,115194	-31,4955464	-29,179025	1680,93617
1 785	1706,975043	-12,7809852	68,0729755	1775,04802
1 656	1710,975605	-1,70516463	-60,711231	1650,26437
1 782	1743,710018	21,024957	26,7146933	1770,42471
1 727	1759,189688	17,3650675	-30,093157	1729,09653
1 734	1703,317373	-30,9716049	55,9999039	1759,31728
1 557	1636,349674	-54,7290272	-66,645133	1569,70454
1 734	1664,495302	-0,03175444	40,3764547	1704,87176
1 701	1708,53215	29,053523	-22,828515	1685,70364
1 811	1749,234292	36,7416117	57,9201612	1807,15445
1 547	1672,235615	-38,326979	-85,395047	1586,84057
1 697	1648,706436	-28,5604309	42,8158496	1691,52229
1 637	1646,504102	-11,1640873	-18,483423	1628,02068

Příloha č. 3 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů veřejné autobusové dopravy v mil. oskm jednoduchou Brownovou metodou

Hodnoty 00-09	Vyrovnání
768	768
640	739,08667
753	742,24548
7 191	2199,5605
2 386	2241,6725
2 676	2339,7573
2 771	2437,1119
2 775	2513,562
2 244	2452,6489
2 249	2406,6815
2 124	2342,7789
3 050	2502,6694
2 186	2430,9941
2 837	2522,6632
1 965	2396,7024
2 461	2411,2606
2 074	2335,0396
2 034	2267,0123
1 935	2192,0766
2 473	2255,5047
2 395	2287,047
1 912	2202,2862
2 028	2162,8946
2 273	2187,6745
2 223	2195,639
2 268	2211,9389
2 448	2265,3796
2 562	2332,4312
1 948	2245,4768
2 301	2258,1082
2 139	2231,1519
3 131	2434,4916
2 040	2345,2368
2 163	2304,1615
2 046	2245,7361
3 047	2426,7101
1 957	2320,6318
2 408	2340,3654
2 080	2281,5646

**Příloha č. 4 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů městské hromadné dopravy
v mil. oskm dvojitou Brownovou metodou**

Hodnoty 00-09	1. vyrovnání	2. vyrovnání	Výsledek
3 700	3700	3700	3700
3 783	3744,405	3723,757	3788,81
1 998	2810,0783	3234,939	1896,4
5 060	4013,7864	3651,622	4792,634
3 846	3924,0207	3797,355	4196,419
3 778	3845,8996	3823,327	3894,444
3 432	3624,4633	3716,935	3425,6
4 082	3869,2454	3798,421	4021,556
3 292	3560,4191	3671,09	3322,417
4 604	4118,7349	3910,58	4566,38
5 175	4683,8367	4324,272	5457,093
2 099	3300,9491	3776,794	2277,626
3 859	3599,5063	3681,945	3422,218
3 893	3756,5254	3721,846	3831,106
3 573	3658,3393	3687,87	3594,833
4 214	3955,6178	3831,115	4223,366
3 983	3970,2673	3905,561	4109,42
3 888	3926,2543	3916,632	3946,947
3 518	3707,8382	3804,927	3499,044
4 038	3884,4748	3847,485	3964,022
3 843	3862,2858	3855,404	3877,086
3 729	3790,9779	3820,936	3726,552
3 419	3591,9697	3698,439	3363,004
3 943	3779,7709	3741,952	3861,103
3 912	3850,5135	3800,032	3959,075
3 282	3546,3588	3664,317	3292,685
3 295	3411,8818	3529,264	3159,447
3 825	3632,9	3584,709	3736,536
3 828	3737,2785	3666,334	3889,848
3 826	3784,7445	3729,684	3903,155
3 000	3364,9062	3534,528	3000,129
3 698	3543,1114	3539,12	3551,695
4 051	3814,8318	3686,626	4090,544
3 946	3885,0068	3792,76	4083,388
3 887	3886,0732	3842,682	3979,387
3 997	3945,419	3897,646	4048,156
3 996	3972,2511	3937,56	4046,856
3 979	3976,1135	3958,186	4014,667
4 267	4131,6519	4050,99	4305,118

**Příloha č. 5 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů letecké osobní dopravy
v mil. oskm Holt-Wintersovou metodou**

Hodnoty 00-09	Trend	Směrnice	Sezónnost		Vyrovnání
1 029					
1 665					
1 988					
1 183					
1 123	1547,430414	68,4015479	-435,4044		1112,02601
1 873	1666,200306	110,710956	200,182564		1866,38287
2 241	1727,516504	69,21936	520,535981		2248,05249
1 161	1493,457843	-185,534178	-290,04163		1203,41621
1 273	1652,394176	103,821051	-426,99291		1225,40127
1 985	1781,140434	124,758225	200,791203		1981,93164
2 296	1794,027604	30,7865385	517,804246		2311,83185
1 340	1657,449544	-109,799724	-294,12844		1363,3211
1 145	1568,397183	-92,3719393	-426,48629		1141,91089
1 914	1680,234224	79,1636045	205,777702		1886,01193
2 414	1876,754869	177,743518	520,669942		2397,42481
1 624	1936,857547	78,9252127	-297,00107		1639,85648
1 483	1924,113374	1,92292812	-428,72473		1495,38865
2 227	2007,810583	70,6133241	207,774515		2215,5851
3 084	2495,853741	421,254385	530,862996		3026,71674
2 021	2401,453935	-11,8951355	-309,59262		2091,86131
1 698	2163,484155	-201,797837	-434,24515		1729,239
2 492	2239,131935	31,2564816	214,54935		2453,68129
3 498	2869,651556	534,637519	545,496165		3415,14772
2 048	2503,796945	-221,775871	-331,58139		2172,21556
1 738	2187,526848	-301,151021	-436,55257		1750,97428
2 721	2419,635125	146,786789	227,570798		2647,20592
3 662	3039,920756	544,525817	557,058346		3596,9791
2 112	2603,011756	-279,879429	-355,54665		2247,4651
1 800	2248,734217	-342,373841	-438,36927		1810,36495
2 690	2384,919632	59,6159336	239,256548		2624,17618
3 745	3084,156707	596,897693	572,677002		3656,83371
2 241	2748,795978	-186,199381	-378,3111		2370,48487
1 864	2338,693329	-374,278126	-443,83668		1894,85665
2 766	2448,163362	32,0703276	251,069003		2699,23236
3 946	3248,702959	677,584514	591,441949		3840,14491
2 168	2739,369069	-319,426946	-407,294		2332,07507
1 796	2264,869978	-449,687548	-447,62332		1817,24666
2 901	2533,153058	153,40778	268,600843		2801,7539
4 520,6	3755,218521	1051,08023	617,537079		4372,7556

**Příloha č. 6 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů železniční nákladní dopravy
v mil. tkm Holt-Wintersovou metodou**

Hodnoty 00-09	Trend	Směrnice	Sezónnost		Vyrovnání
4 037					
4 458					
4 273					
4 728					
4 134	4428,32	14,1232	-319,928		4108,392
4 287	4308,355008	-20,7397299	41,8579968		4350,213
4 216	4304,070722	-16,4613144	-95,828289		4208,24243
4 245	4065,508139	-74,2076442	284,196744		4349,70488
3 863	4098,512218	-46,3325963	-286,23289		3812,27933
3 948	3970,460715	-67,579512	16,174912		3986,63563
3 668	3825,129171	-87,7950403	-120,26464		3704,86453
4 331	3910,776841	-42,6999357	338,70731		4249,48415
3 751	3962,961615	-18,0299111	-256,41198		3706,54964
3 833	3873,093999	-36,7077144	-6,4026524		3866,69135
3 990	3989,478725	3,09632	-72,149875		3917,32885
4 288	3968,441086	-3,17850927	331,122352		4299,56344
3 679	3948,685122	-7,48864759	-261,62204		3687,06309
3 831	3883,251134	-22,554436	-24,614045		3858,63709
3 693	3807,040397	-36,5050742	-89,013284		3718,02711
3 888	3650,747025	-67,6500316	293,474601		3944,22163
3 463	3662,493257	-47,0070031	-236,66892		3425,82433
3 686	3668,761177	-33,1555231	-7,8704978		3660,89068
3 705	3724,486967	-10,0463818	-61,079157		3663,40781
4 011	3716,418401	-9,53214966	294,0962		4010,5146
3 666	3816,290468	18,9129467	-202,28474		3614,00573
3 755	3794,917621	8,43864043	-20,531747		3774,38587
4 074	3988,955323	56,6943964	-2,7480234		3986,2073
4 284	4014,342404	48,5544945	284,256758		4298,59916
4 012	4147,538011	70,5611836	-175,68325		3971,85476
4 108	4167,717984	57,4620689	-36,365842		4131,35214
4 042	4124,317876	31,237903	-34,447565		4089,87031
4 142	3988,966118	-12,0754089	231,900008		4220,86613
4 028	4103,722612	20,9008857	-135,82179		3967,90082
3 839	3984,99217	-15,4032593	-80,249973		3904,7422
3 917	3959,406797	-18,050609	-37,647658		3921,75914
3 654	3650,337518	-93,7154631	140,436997		3790,77452
3 051	3349,335109	-147,610069	-200,96912		3148,36599
2 795	3018,961163	-195,128677	-137,69005		2881,27111
3 189	3049,508662	-136,452871	33,2791407		3082,7878

**Příloha č. 7 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů silniční nákladní dopravy
v mil. tkm Holt-Wintersovou metodou**

Hodnoty 97-09	Trend	Směrnice	Sezónnost		Vyrovnání
7 639					
10 553					
11 751					
10 697					
8 626	10900,25	569,9925	-2483,9875		8416,2625
8 757	9140,560625	-1223,86254	276,5159063		9417,076531
9 086	7600,42452	-1467,39319	1575,186322		9175,610842
7 442	6712,007834	-1021,58128	565,948825		7277,956659
6 750	8348,097263	1024,82517	-2351,103964		5996,993299
10 776	10217,84368	1675,41453	318,7619687		10536,60565
10 326	9536,42481	-139,347187	1457,344652		10993,76946
9 112	8758,807787	-630,814961	534,0353332		9292,84312
9 000	10545,14118	1230,38927	-2230,246547		8314,894635
10 600	10654,78426	367,414702	262,7246589		10917,50892
9 922	9103,861459	-1109,70517	1361,427777		10465,28924
9 515	8733,950302	-540,063781	571,025034		9304,975336
9 638	10950,0267	1582,16416	-2092,439538		8857,587164
11 335	11437,43527	739,202357	207,9868795		11645,42215
8 882	8684,355332	-1949,85501	1186,813662		9871,168994
10 405	9059,119742	-159,898057	687,2560053		9746,375747
10 402	11595,8532	1916,50821	-1957,607962		9638,245233
12 115	12308,16385	989,276094	147,7770021		12455,94085
11 462	11030,59284	-756,19618	1073,471307		12104,06414
11 081	10363,61813	-687,495647	691,7170788		11055,33521
11 115	12223,44033	1273,9391	-1830,24207		10393,19826
11 453	11853,08104	7,82933749	65,5620827		11918,64312
12 182	11296,37419	-426,863529	1045,244497		12341,61868
11 815	11059,54459	-280,537402	701,2187754		11760,76336
9 854	11458,01129	242,295756	-1796,291865		9661,719422
12 087	11941,38648	427,926922	77,61605449		12019,00253
11 737	11111,00282	-540,972226	982,3289681		12093,33179
12 332	11365,48224	71,5255428	740,9913578		12106,4736
10 048	11742,58479	306,819834	-1781,013015		9961,57177
11 851	11842,16798	147,247619	67,25422231		11909,4222
11 129	10607,64683	-916,714329	913,24053		11520,88736
10 419	9681,019096	-924,347652	740,4956875		10421,51478
11 069	11826,44762	1439,38	-1627,524206		10198,92341
12 756	12833,06729	1106,15455	45,61620575		12878,68349
12 841	12430,51531	-55,5494731	837,8052041		13268,32052
13 703	12815,75725	283,859914	762,5352581		13578,29251
12 106	13575,28032	650,120544	-1603,741048		11971,53928
12 826	13141,79822	-184,253497	-8,563926751		13133,23429
11 813	11470,53154	-1329,25364	763,4545452		12233,98609
11 396	10510,48043	-1044,9677	780,9953842		11291,47581
11 877	12477,22383	1274,04985	-1453,155493		11024,06834
14 798	14542,63098	1883,39497	31,00393831		14573,63492
12 755	13099,83898	-677,769001	597,1451963		13696,98417
11 447	11105,14236	-1691,80326	715,1490037		11820,29137
9 161	10314,15458	-998,175342	-1408,114719		8906,039863
11 911	11238,67321	482,299012	127,1386366		11365,81184
11 792	11326,32433	178,420136	577,4128018		11903,73713

Příloha č. 8 –Vyrovnání mil. tkm vodní nákladní dopravy Brownovou metodou

Hodnoty 96-09	Vyrovnání
239	239
354	301,49515
208	250,29232
293	273,58272
162	213,02956
216	214,91822
194	203,56684
211	207,45768
249	230,34895
206	217,10112
197	206,21359
276	244,01501
266	256,08567
257	256,41176
190	220,33016
202	210,14457
282	249,19787
196	220,14236
148	180,84548
146	162,1212
132	145,53892
126	135,01774
234	188,80611
213	202,15528
169	183,98973
160	170,76709
85	124,12431
174	151,08147
218	187,45724
192	189,85456
37	106,71233
62	82,169164
103	93,254919
126	111,32934
66	86,894081
113	101,17903
203	156,40386
223	192,62028
205	199,2882
149	171,88985
167	169,0979
216	194,45735
209	202,6436
226	215,45949
227	221,71365
228	225,10973
229	227,29805
214	220,19286
217	218,22821
266	244,16083
204	222,41433
176	197,16648
196,6	196,85502
220,0	209,46468
183,1	195,08285

**Příloha č. 9 – Exponenciální vyrovnání přepravních výkonů letecké nákladní dopravy
v tis. tkm Holt-Wintersovou metodou**

Hodnoty 02-09	Trend	Směrnice	Sezónnost		Vyrovnání
6 135					
8 348					
8 203					
9 091					
8 163	9505,745955	468,523787	-1617,6568		7888,08913
9 841	9560,928936	344,521545	352,999171		9913,92811
10 706	10322,59261	469,664182	309,976367		10632,569
12 852	11495,26272	680,565961	1232,9054		12728,1681
11 255	12712,17075	841,468583	-1551,9723		11160,1984
11 543	11733,39129	295,394168	130,077884		11863,4692
10 460	10581,89245	-138,673732	132,778951		10714,6714
13 002	11463,92755	167,538916	1357,90909		12821,8366
10 702	12110,89763	311,368265	-1493,2576		10617,64
10 463	10813,70834	-171,198999	-66,918189		10746,7902
10 488	10421,53452	-237,491447	105,716709		10527,2512
13 154	11425,65254	134,991395	1509,96594		12935,6185
11 649	12778,45834	500,335716	-1344,1149		11434,3435
11 501	11961,09739	105,026717	-228,29325		11732,8041
11 297	11392,17443	-97,1581862	23,1797554		11415,3542
13 012	11454,39186	-49,3455035	1529,48428		12983,8761
9 538	11002,39642	-170,140484	-1393,4264		9608,97001
10 218	10535,3384	-259,215744	-264,65601		10270,6824
10 212	10209,17353	-279,300481	14,9806616		10224,1542
10 791	9415,245222	-433,68883	1466,45908		10881,7043
8 801,2	9915,654951	-153,459262	-1279,0297		8636,62529
9 609,9	9848,716983	-127,502874	-254,05996		9594,65703
9 315,9	9397,590986	-224,589811	-24,652664		9372,93832
9 199,2	8064,03543	-557,279535	1330,64678		9394,68221
7 419,0	8424,036693	-282,095295	-1166,6925		7257,34415
6 915,0	7392,822688	-506,830908	-345,80268		7047,02001
7 026,0	7012,78066	-468,794244	-9,1251424		7003,65552

Příloha č. 10 – Vyrovnání mil. tkm potrubní dopravy ropy Holt-Wintersovou metodou

Hodnoty 96-09	Trend	Směrnice	Sezónnost		Vyrovnání
507					
545					
634					
585					
451	541,68	-18,6872	-69,3104		472,3696
505	525,346184	-17,0162974	-22,256932		503,08925
581	511,4648399	-14,7904805	66,9898448		578,45468
569	522,6774105	3,67168574	25,2103251		547,88774
515	553,590909	23,0133728	-60,708943		492,88197
517	559,0510272	10,550562	-27,799278		531,25175
505	507,7536152	-33,3614995	47,461676		555,21529
541	493,8489685	-19,547134	31,3537229		525,20269
402	468,8531753	-23,4156821	-62,429328		406,42385
428	450,3075322	-19,9579544	-26,261589		424,04594
433	409,2882885	-34,9114698	40,8116859		450,09997
532	433,7234642	7,22464848	50,0921105		483,81557
344	424,7242837	-4,29427006	-67,551915		357,17237
413	429,2808543	1,98982676	-23,466984		405,81387
415	404,4419685	-17,0585591	32,3406627		436,78263
440	388,5699151	-16,2161401	50,4667433		439,03666
410	421,796901	18,8884794	-51,940511		369,85639
397	431,1827338	12,1416004	-26,467394		404,71534
415	414,8117857	-8,10230911	23,3379771		438,14976
439	398,1666532	-14,1677137	47,7693923		445,93605
421	425,6707765	15,4192905	-38,78285		386,88793
405	436,6759843	12,2852918	-27,861117		408,81487
415	421,8914267	-6,93430126	14,7908162		436,68224
476	421,4017035	-2,35865082	49,8042335		471,20594
423	439,2404571	11,9815063	-32,405628		406,83483
407	443,6455659	6,60226409	-30,253324		413,39224
419	428,4483407	-8,87537333	7,90774339		436,35608
571	467,1288026	24,8892697	64,8197356		531,94854
441	483,4614314	18,8140547	-35,107341		448,35409
462	497,6237259	15,511305	-31,722093		465,90163
504	505,262237	9,9216213	5,4219506		510,68419
494	474,7391768	-18,7941026	52,0495425		526,78872
538	511,2046855	20,4402215	-17,659413		493,54527
526	544,0371773	29,2387334	-27,809299		516,22788
602	584,1898891	36,9876581	8,86798125		593,05787
592	583,1752311	10,0060136	40,0505133		623,22574
505	560,1539745	-13,4433482	-28,087598		532,06638
583	576,7053343	7,85289451	-18,33863		558,3667
632	602,8964176	20,8730085	14,6581668		617,55458
571	580,0315394	-10,1808911	26,2405082		606,27205
554	575,5062427	-6,16541904	-26,301874		549,20437
603	593,9496786	11,306868	-10,568515		583,38116
481	540,1730337	-34,9024262	-5,8916062		534,28143
440	462,3282643	-65,3914899	12,6816918		475,00996
529	471,3040813	-12,590702	-2,8207924		468,48329
612	535,8157961	42,1520139	13,7761635		549,59196
580	581,628508	44,7511095	-4,7357603		576,89275
594	605,0406727	29,6004587	5,94403346		610,98471
543	593,0580022	0,07643696	-15,950444		577,10756
526	555,1183493	-26,9149869	1,77278529		556,89113
592	560,1936717	-4,20186725	5,36500972		565,55868

Příloha č. 11 –Tabulka ročních hodnot HDP v mil. a IAD v tis. oskm

ROK	HDP	IAD
1995	2 033 699	54500
1996	2 115 605	57900
1997	2 100 143	59000
1998	2 084 203	59725,7
1999	2 112 121	62380
2000	2 189 169	63940
2001	2 242 943	63470
2002	2 285 488	65290
2003	2 367 818	67360
2004	2 474 006	67570
2005	2 630 273	68640
2006	2 809 338	69630
2007	2 981 579	71540
2008	3 055 035	72380