

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Model poptávky po železniční osobní dopravě Českých drah, a. s. na
tuzemském přepravním trhu

Bc. Lenka Zahradníková

Diplomová práce
2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lenka ZAHRADNÍKOVÁ**
Osobní číslo: **D08701**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní management, marketing a logistika**
Název tématu: **Model poptávky po železniční osobní dopravě Českých drah, a. s. na tuzemském přepravním trhu**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Úvod

1. Analýza přepravního trhu osobní dopravy v ČR
2. Metody matematického modelování poptávky
3. Návrh modelu poptávky po železniční osobní dopravě ČD, a. s.
4. Zhodnocení navrženého modelu

Závěr


Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:
dle pokynů vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Rudolf Kampf, CSc.**
Katedra dopravního managementu, marketingu
a logistiky

Datum zadání diplomové práce: **30. listopadu 2009**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2010**


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


prof. Ing. Vlastimil Melichar, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. listopadu 2009

Prohlašuji:

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

Byla jsem seznámena 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 24. 5. 2010

Bc. Lenka Zahradníková

Děkuji doc. Ing. Rudolfu Kampfovi, CSc. za odbornou pomoc při zpracování diplomové práce.

ANOTACE

Práce se zabývá přepravou osob v železniční dopravě a jejím porovnáním s ostatními druhy doprav. Obsahuje stručné představení společnosti České dráhy a. s. a její postavení na přepravním trhu osob. Charakterizuje poptávku a používá k jejímu modelování regresní a korelační analýzu. Zkoumá závislost vybraných ukazatelů na změnách jednotlivých druhů cen.

KLÍČOVÁ SLOVA

poptávka; železniční osobní doprava; České dráhy a. s.; regresní analýza; korelační analýza

TITLE

The model of demand of Czech Railways' passenger transport on domestic market

ABSTRACT

This diploma thesis deals with passenger transport in railway transportation in the comparison to other sorts of transportation. It includes a brief presentation of Czech Railways, joint stock company and its position on passenger transportation market. The thesis characterizes demand and both the regression and the correlation analysis are used for its modeling. The thesis also investigates the dependency of some selected indicators on changes in particular kinds of prizes.

KEYWORDS

demand; railway passenger transportation; Czech Railways, joint stock company; regression analysis; correlation analysis

OBSAH

	strana
ÚVOD	9
1 ANALÝZA PŘEPRAVNÍHO TRHU OSOBNÍ DOPRAVY V ČR.....	11
1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA ŽELEZNIČNÍ DOPRAVY	12
1.2 POSTAVENÍ ŽELEZNIČNÍ OSOBNÍ DOPRAVY V DOPRAVNÍM SEKTORU	13
1.3 LEGISLATIVNÍ RÁMEC	15
1.4 VÝVOJ PŘEPRAVNÍCH UKAZATELŮ	19
1.4.1 Objem přepravy	20
1.4.2 Průměrná přepravní vzdálenost	22
1.4.3 Přepravní výkon.....	23
1.4.4 Nabízená kapacita místových kilometrů	24
1.5 ČESKÉ DRÁHY, A. S.....	26
1.5.1 Základní informace o společnosti.....	26
1.5.2 Vývoj přepravních ukazatelů ČD, a. s.	29
1.5.3 Tarif ČD pro vnitrostátní přepravu cestujících a zavazadel.....	31
2 METODY MATEMATICKÉHO MODELOVÁNÍ POPTÁVKY.....	33
2.1 CHARAKTERISTIKA OBECNÉ POPTÁVKY	33
2.2 ELASTICITA POPTÁVKY	36
2.2.1 Cenová elasticita poptávky	36
2.2.2 Důchodová elasticita poptávky	38
2.2.3 Křížová elasticita poptávky.....	38
2.3 CHARAKTERISTIKA POPTÁVKY V DOPRAVĚ.....	39
2.4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POPTÁVKU V DOPRAVĚ	40
2.4.1 Cena	41
2.4.2 Úroveň příjmů	41
2.4.3 Relativní ceny ostatních přepravních služeb.....	41
2.4.4 Rychlost služby	42
2.4.5 Kvalita přepravní služby	42
2.5 METODY MATEMATICKÉHO MODELOVÁNÍ	42
2.5.1 Regresní analýza	43
2.5.2 Korelační analýza.....	46

2.5.3	<i>Analýza časových řad</i>	47
2.5.4	<i>Korelace mezi časovými řadami</i>	51
3	NÁVRH MODELU POPTÁVKY PO ŽELEZNIČNÍ OSOBNÍ DOPRAVĚ ČD, A. S.	54
3.1	VÝSLEDKY REGRESNÍ ANALÝZY	55
3.1.1	<i>Vliv cen na objem přepravy</i>	55
3.1.2	<i>Vliv vybraných ukazatelů na objem přepravy</i>	56
3.2	INDIVIDUÁLNÍ T – TEST	57
3.3	F – TEST	58
3.4	VÝSLEDKY KORELAČNÍ ANALÝZY	59
3.5	TEST VÝZNAMNOSTI KORELAČNÍHO KOEFICIENTU	60
3.6	KORELACE MEZI ČASOVÝMI ŘADAMI.....	62
3.6.1	<i>Korelace mezi objemem přepravy a skutečnou cenou</i>	62
3.6.2	<i>Korelace mezi objemem přepravy a nákladovou cenou</i>	65
3.6.3	<i>Korelace mezi objemem přepravy a ekonomickou cenou</i>	67
3.6.4	<i>Korelace mezi objemem přepravy a vybranými ukazateli (přepravní výkon, nabízená kapacita, tržby, náklady)</i>	68
3.7	CITLIVOST POPTÁVKY PO OSOBNÍ PŘEPRAVĚ ČD, A. S. NA ZMĚNU CENY	69
4	ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO MODELU	72
4.1	SHRnutí VÝSLEDKŮ PROVEDENÉ REGRESNÍ A KORELAČNÍ ANALÝZY	72
4.2	ODHAD BUDOUCÍHO VÝVOJE OBJEMU PŘEPRAVY ČD, A. S.....	74
4.2.1	<i>Využití regresní funkce</i>	74
4.2.2	<i>Využití trendové funkce</i>	75
	ZÁVĚR	80
	POUŽITÁ LITERATURA	81
	SEZNAM TABULEK	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM ZKRATEK	85
	SEZNAM PŘÍLOH	86

ÚVOD

Železniční doprava má velkou tradici a její historický rozmach byl obrovský. Ten však byl postupně oslabován vývojem nových druhů doprav, jako je silniční nebo letecká doprava. Silniční a železniční doprava jsou velkými konkurenty již řadu let. Každá má svoje výhody a nevýhody a určité jedinečné vlastnosti. Například silniční dopravou lze realizovat přepravu z domu do domu. Naproti tomu doprava železniční je mnohem ekologičtější a pro mnoho lidí má cestování vlakem nádech nostalgie a vzpomínek na minulost. Díky velké tradici je na území České republiky vybudována velmi hustá železniční síť, která je postupem času modernizována a v současnosti také probíhají stavební práce nových železničních tratí s napojením na významné evropské železniční koridory. Tyto hlavní trasy jsou využívány převážně pro vysokorychlostní přepravu osob. Důležitost a významnost těchto tratí dává skutečnost, že dávají železniční dopravě konkurenční výhodu nebo možnost srovnání se s leteckou dopravou co do rychlosti a pohodlnosti cestování na velké vzdálenosti.

Jedním z dílčích cílů práce je zmapování současného stavu na železničním přepravním trhu osob. Zpracování numerických dat určující velikost železničního trhu a porovnání přepravních výkonů s ostatními druhy doprav. Nedílnou součástí je uvedení současné legislativy upravující vstup na trh, podnikání, práva a povinnosti železničních dopravců. Dále pak stručné představení společnosti České dráhy, a. s.

Cílem další části práce je charakteristika poptávky. Teorie poptávky je jednou ze základních oblastí ekonomických dějů. Určuje chování subjektů působících na trhu a jejich vzájemné vztahy. Oblast poptávky je velmi rozsáhlá a zmapování veškerých souvislostí by bylo náročné. Obsahem práce však není detailní charakteristika teoretických ekonomických dějů, ale zaměření se na poptávku v železniční osobní dopravě ČD a. s. a její modelování ve vztahu k výkonům této společnosti. Vedle charakteristiky obecné poptávky je důležité uvést také charakteristiku poptávky v dopravě, která má jistá specifika.

K sestavování modelů poptávky se využívá různých matematických postupů, statistiky a ekonomické teorie. Tyto tři oblasti jsou základem pro vědní disciplínu nazývanou ekonometrie. Základem ekonometrických výpočtů je korelační a regresní analýza, využívající pro stanovení parametrů modelu metodu nejmenších čtverců. Pomocí těchto metod lze stanovit matematický model charakterizující vlastnosti a vztahy proměnných veličin

vystupujících v modelu. Důležitá je také analýza časových řad, pomocí které lze zjišťovat vazby mezi daty v jedné časové řadě nebo mezi časovými řadami navzájem. S využitím korelační analýzy pak lze charakterizovat korelaci mezi časovými řadami. Po analýze ekonometrických dějů lze pomocí navrhnutého modelu určit předpovědi o budoucím vývoji stanovených kritérií a zhodnotit tak nebo utvrdit významnost navrhnutého modelu. K dosažení cíle práce budou využity výše zmíněné nástroje ekonometrické analýzy a statistická data poskytnutá ČD, a. s., dále odborná literatura a internetové stránky institucí spojených s touto problematikou. Veškeré použité materiály budou uvedeny seznamu literatury na konci práce.

1 Analýza přepravního trhu osobní dopravy v ČR

Dopravní sektor je jednou z velmi důležitých oblastí národního hospodářství. Rozhodujícími faktory, které ho ovlivňují jsou stav a vývoj ekonomiky, zahraniční obchod a především také členství ČR v Evropské unii. V České republice je dopravní sektor tvořen dopravními odvětvími, jako jsou silniční, železniční, letecká a vodní vnitrostátní doprava. Základní členění je na veřejnou a neveřejnou a dále pak na osobní a nákladní dopravu.

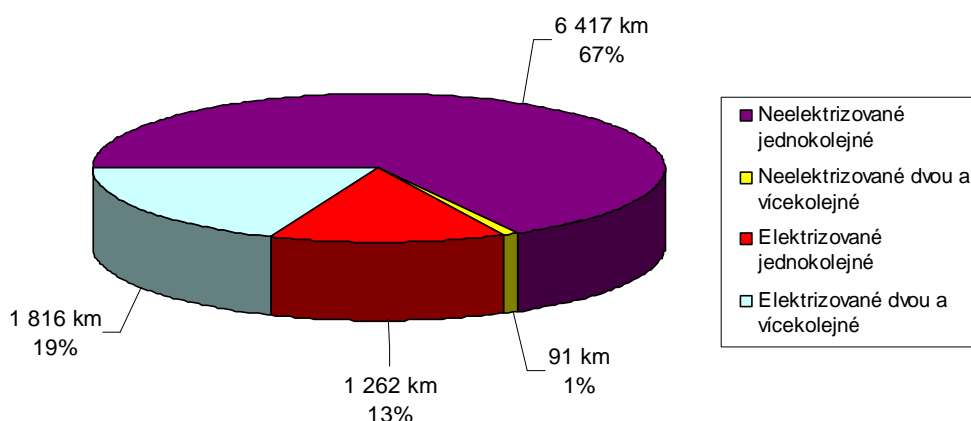
V oblasti dopravy je důležité oddělovat pojmy, jako je doprava, přeprava a dopravní a přepravní proces, neboť se jedná o pojmy s odlišným významem. Dopravou se rozumí dopravní systém skládající se z jednotlivých druhů doprav, které se od sebe liší typem používaných dopravních prostředků a dopravní cestou, po kterých se dopravní prostředky pohybují. Z této definice vychází dopravní proces. Ten lze charakterizovat, jako organizační a řídicí činnost pohybu dopravních prostředků po dopravních cestách zajišťovaný dopravním podnikem. Pojem přeprava charakterizuje činnost, která je ohraničena výchozím a koncovým bodem. Mezi těmito body dochází k samotnému přemístění, a to bez ohledu na to, jaký druh dopravy, tzn. druh dopravního prostředku a druh dopravní cesty, byl použit. Přeprava je tedy výsledkem dopravy. Z přepravy vychází přepravní proces jehož náplní je přemístění zboží, sjednání přepravních podmínek, uzavření smlouvy, sjednání dodacích podmínek a další činnosti, které jsou časově ohraničené.

Nabízené dopravní služby mají své specifické vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří nehmatatelnost, neskladovatelnost, nedělitelnost a proměnlivost. Nehmatatelnost je spojena s činnostmi, kdy si zákazník sjednává službu. Nelze si na službu sáhnout nebo si ji prohlédnout, jako je tomu u výrobků. Názor o kvalitě si tak zákazník vytváří při jednání s dopravcem před přepravou, v průběhu a následně po skončení přepravy. Proměnlivost souvisí s velkým počtem dopravců působících na dopravním trhu. Ti nabízejí různorodé služby o rozdílné kvalitě. Pro některé zákazníky je tak obtížné se v nabídkách dopravců orientovat. Velkou úlohu zde proto hraje zkušenost s dopravcem a reference od ostatních zákazníků. Dalším specifikem je nedělitelnost služeb, která spočívá v současné tvorbě a spotřebě nabízených služeb. Nelze službu nejprve vyrobit, zkontrolovat a následně spotřebovat, jako je tomu u hmotných výrobků. Nároky na kvalitu by tedy měli být mnohem vyšší. Poslední vlastností je neskladovatelnost, která vyplývá již ze samotné podstaty dopravních služeb.

1.1 Základní charakteristika železniční dopravy

Železniční síť v České republice je spolu s Belgií a Německem jednou z nejhustších sítí na světě. Podle Ročenky dopravy pro rok 2008, byla v témže roce celková provozní délka tratí 9 586 km. Rozloha České republiky činí 78 863 km². V přepočtu pak vychází průměrná délka 0,12 km tratí na 1 km² plochy území. Největší hustota železniční sítě je na severu republiky. Z celkové délky tratí je 7 679 km jednokolejných tratí a 1 907 km dvou a více kolejných. Většina tratí má normální rozchod kolejí (1435 mm), a to 99 % z nich. Délka neelektrizovaných tratí činí 6 508 km, z toho jednokolejných je 6 417 km a dvou a více kolejných je 91 km. Celková délka elektrizovaných tratí je 3 078 km, z toho 1 262 km jednokolejných a 1 816 km dvou a více kolejných. Z uvedených údajů vyplývá, že většina tratí na území ČR je neelektrizovaných, a to necelých 68 %. Elektrizovaných je pouze 32 %. Struktura elektrifikace tratí a jejich délky jsou graficky znázorněny v obrázku č. 1.

Obrázek č. 1: Struktura infrastruktury železniční dopravy a délka tratí v roce 2008



Zdroj: Ročenka dopravy 2008 [19]

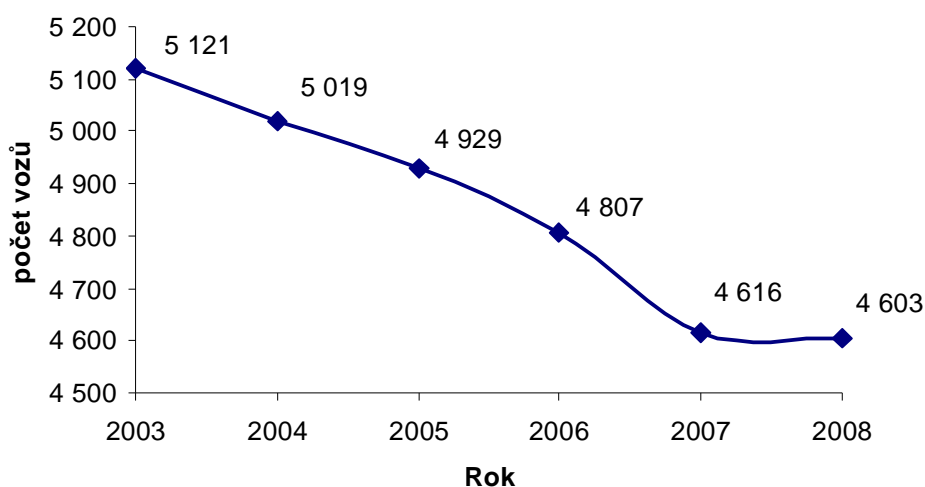
Otázka elektrifikace má samozřejmě zásadní dopad na vozový park využívaný při poskytování služeb zákazníkům a tím pádem i do nákladových položek dopravců. V minulosti se ve statistikách uvádělo také členění tratí pro provoz osobní dopravy a nákladní dopravy. V současné době již nejsou provozovány tratě, které by byly využívány pouze pro osobní nebo nákladní dopravu, ale je na nich provozován smíšený provoz.

Zákon o drahách rozděluje železniční síť na dráhy celostátní a regionální. Dráhy celostátní jsou tvořeny mimo jiné hlavními koridory, které mají velký význam nejen pro Českou republiku, ale také pro mezinárodní přepravu. Pro tyto dráhy je charakteristický velký

podíl přepravních výkonů. Mapa železniční sítě s vyznačením drah celostátních a regionálních je v příloze č. 1.

V roce 2008 bylo v České republice evidováno 2 222 hnacích vozidel. Z celkového počtu bylo 945 elektrických, 1 247 motorových a 30 parních lokomotiv. Celkový počet vozů osobní dopavy byl evidován ve výši 4 603 vozů, do nichž se započítávají například lehátkové, lůžkové a jídelní vozy. Vývoj počtu vozů v železniční osobní dopravě je uveden v následujícím grafu, z něhož je patrný stálý pokles, který se v roce 2008 výrazně zmírnil.

Obrázek č. 2: Počet vozů železniční osobní dopavy v letech 2003 - 2008



Zdroj: Ročenka dopavy 2004 a 2008 [19]

1.2 Postavení železniční osobní dopavy v dopravním sektoru

V rámci České republiky je největším konkurentem železniční dopavy doprava silniční. Její největší předností je možnost přepravy osob a zboží tzv. „z domu do domu“. V této oblasti je konkurence železniční dopavy nemožná, jelikož se jedná o vlastnost, kterou nikdy nezíská. Největší podíl na vysokém tempu růstu silniční dopavy má především rozvoj individuální automobilové dopavy.

V současnosti je státními orgány preferována především doprava železniční, kdy prvotní impuls pochází od Evropské unie. Většina činností a rozhodnutí samozřejmě spadá do kompetencí vlád jednotlivých států, ale snahou EU je zajistit jednotnou dopravní politiku. Jedním z hlavních důvodů tohoto konání je mnohem mírnější dopad železniční dopavy na životní prostředí a větší bezpečnost. Cílem tedy je přesun cestujících ze silniční dopavy k dopravě železniční a nahrazení některých letů cestou po železnici a tím přispět k jejímu

většímu využívání. Zásadní otázkou je, jak přimět cestující, aby využívali právě tento druh dopravy. Základním principem demokracie je svoboda člověka a tudíž i jeho svobodná vůle a rozhodnutí. Žádná instituce tedy nemůže nařídit využívání určitého druhu dopravy, neboť by tím byla popřena demokratická práva jednotlivce. Vlády musí nalézt optimální nástroje k ovlivnění dané situace například prostřednictvím stimulů. To mohou být například cílené investice do cenových systémů, které budou odrážet skutečné náklady na využívání silniční infrastruktury a podpoří „přirozený“ přesun k alternativním formám dopravy. Další díl úkolu pak spočívá na samotných společnostech podnikajících v oblasti přepravy cestujících, aby podnítli cestující vhodnými nástroji ke změně. Jedním ze základních nástrojů, které nejvíce ovlivňují využívání určitého druhu dopravy je cena. Jak je všeobecně známo, osobní doprava je převážně ztrátová a snížení cen tedy nepřichází v úvahu. Velká část ztrát z přepravy osob je hrazena ze státního rozpočtu ve formě dotací za prokazatelnou ztrátu při vykonávání přepravních služeb ve veřejném zájmu, které si objednávají převážně kraje. Vyrovnat náklady vynakládané na přepravu osob lze samozřejmě výrazným zvýšením cen, na kterou však zákazníci citlivě reagují a může mít za následek výraznější odliv cestujících. V takovém případě je nejvhodnějším nástrojem zkvalitňování poskytovaných služeb.

Mezi požadavky kladené na kvalitu služeb v přepravě osob patří:

- bezpečnost, pohodlí,
- dodržení jízdních řádů,
- přijatelná dostupnost přepravy,
- četnost vlakových spojů a návaznost na další spoje nebo ostatní druhy dopravy,
- kvalitní informovanost cestujících o vzniku nepravidelností v přepravě, jejich odstraňování,
- přehledný systém jízdného a informovanost cestujících o nabízených službách,
- zkracování doby přepravy.

Dalším motivačním prvkem působícím na cestující je zvyšování cen pohonných hmot. Toto opatření však může zapříčinit přechod k využívání alternativních pohonných jednotek, jako jsou například „hybridní“ automobily nebo pohon na plyn a výsledný efekt nemusí být v očekávané míře.

Důležitá je však kombinace všech nástrojů, jak ze strany státu, tak ze strany dopravních podniků. Zvýšením nákladů na silniční dopravu, zkvalitněním nabízených služeb

cestujícím nebo zavedení služeb nových lze dosáhnout tíženého úspěchu. Splněním dílčích cílů, jako je kvalita poskytovaných služeb, lze předpokládat spokojenost zákazníků. Pokud jsou cestující spokojeni je možné v určité míře zvyšovat ceny neboť vnímání a citlivost cestujících na zvyšování ceny není tak výrazná. Zákazník je za kvalitní služby ochoten zaplatit i vyšší cenu.

Na počátku kapitoly je uvedeno, že pro železniční dopravu je největším konkurentem doprava silniční. U letecké dopravy je tomu naopak. Zde je železniční doprava velkým konkurentem pro dopravu leteckou, a to hlavně díky vysokorychlostním tratím. V České republice není konkurence z tohoto pohledu tak významná z důvodu rozlohy České republiky, ale například ve Francii je význam těchto tratí mnohanásobný. Využívání vysokorychlostních tratí nabízí cestujícím překonání velkých vzdáleností za velmi krátkou dobu, mnohem jednodušší využívání oproti letecké dopravě, kde je nutné počítat s velkou časovou ztrátou pro odbavení cestujících a samozřejmě pohodlí. Při modernizaci dopravní infrastruktury v České republice se přihlíží k projektu transevropských sítí, tedy napojení na vysokorychlostní tratě, čímž je zajištěna pohodlná a plynulá jízda přes státní hranice. K realizaci jsou využívány zdroje poskytnuté Evropskou unií. Finanční podpora z fondů Evropské unie pro sektor dopravy v České republice je pro období 2007-2013 realizována zejména prostřednictvím Operačního programu Doprava, o kterém bude podrobněji zmíněno v následujících odstavcích.

1.3 Legislativní rámec

Veškerá podnikatelská činnost v železniční dopravě probíhá na základě zákona č. 266/1994 Sb., o drahách ve znění pozdějších předpisů. Tímto zákonem byl vedle ČD, a. s. umožněn vstup na železniční síť i dalším dopravcům a změnilo se tak konkurenční prostředí v této oblasti. Zákon upravuje podmínky provozování dráhy na základě úředního povolení (licence), které vydává Drážní úřad, jenž je podřízen Ministerstvu dopravy. Na území České republiky jsou také uznávány licence přidělené dopravci v jiném členském státě Evropské unie.

Dozor na drahách a zjišťování příčin mimořádných událostí vykonává Drážní inspekce, která je státní institucí nezávislou na jakémkoliv provozovateli drah a drážní dopravy. Vznikla v roce 2003 na základě zákona č. 77/2002 Sb., o akciové společnosti České dráhy, státní organizaci Správa železniční dopravní cesty a o změně zákona č. 266/1994 Sb., o

dráhách, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 77/1997 Sb., o státním podniku ve znění pozdějších předpisů, jako jedna z prvních institucí tohoto typu v rámci Evropské unie. Na základě tohoto zákona vznikla také státní organizace Správa železniční dopravní cesty, jako jedna ze dvou nástupnických organizací České dráhy, s. o. Správa železniční dopravní cesty je tzv. manažerem železniční infrastruktury. V její působnosti je hospodaření s majetkem státu, který je tvořen převážně železniční dopravní cestou. Dále zajišťuje provozování, provozuschopnost, modernizaci a rozvoj železniční dopravní cesty a přiděluje kapacitu dopravní cesty dopravcům.

„Kapacitou dráhy je míněna využitelná propustnost v rámci rozvržení požadovaných tras vlaků na určitém úseku dopravní cesty v určitém časovém období a je vyjádřena počtem vlaků, které je možno dopravovat za určité časové období při daném technickém, provozním a personálním vybavení a při dodržení potřebné kvality dopravy. Kapacita je přidělována na dobu platnosti jízdního řádu. SŽDC přiděluje kapacitu dráhy stanovením rámcových časových tras vlaků za cenu sjednanou podle zákona č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů.“¹ Systém zpoplatnění přístupu na železniční dopravní cestu tvoří tři základní prvky:

- zpoplatnění procesu přidělování kapacity dráhy,
- zpoplatnění užití dopravní cesty,
- zpoplatnění poskytnutých služeb.

„Výše poplatku za přidělení kapacity dráhy je závislá na systému použitém k vyřešení požadavku a na počtu požadovaných rámcových tras. V kalkulaci ceny za přidělení kapacity dráhy jsou zohledněny přímé náklady na provoz elektronických informačních systémů IS SŽDC a na další manuální odborné činnosti potřebné k zapracování tras do jízdního řádu vlaků. Výše ceny za užití dopravní cesty je závislá na definovaném druhu vlaku, jeho hmotnosti a ujeté vzdálenosti.“² Výše celkové úhrady pak závisí na rozsahu a parametrech dopravcem provedeného výkonu.

¹ *Prohlášení o dráze celostátní a regionální* [online]. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2009 [cit. 2010-05-01]. Dostupný na WWW: <<http://www.szdc.cz/soubory/prohlaseni-o-draze/cs/1011/prohlaseni-o-draze.pdf>>.

² *Prohlášení o dráze celostátní a regionální* [online]. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2009 [cit. 2010-05-01]. Dostupný na WWW: <<http://www.szdc.cz/soubory/prohlaseni-o-draze/cs/1011/prohlaseni-o-draze.pdf>>.

Maximální cena za použití vnitrostátní železniční dopravní cesty celostátních a regionálních drah je regulována výměrem Ministerstva financí. Ten stanovuje postup výpočtu ceny pro jeden vlak. Vzorec pro výpočet je uveden v příloze č. 2.

Přístup na železniční dopravní cestu mají právnické nebo fyzické osoby pokud splňují podmínky stanovené zákonem o drahách. Mezi tyto základní podmínky patří:

- fyzická nebo právnická osoba musí být zapsán v obchodním rejstříku,
- musí být držitelem platné licence na provozování drážní dopravy,
- musí být držitelem platného osvědčení dopravce, které obsahuje jaký typ přepravy bude dopravce provozovat, tzn. osobní nebo nákladní a rozsah služeb, které bude provozovat (vydává se na dobu 5 let),
- musí být finančně způsobilí k provozování drážní dopravy,
- musí si sjednat pojištění z odpovědnosti za škody z provozu drážní dopravy,
- musí s provozovatelem dráhy uzavřít smlouvu o provozování drážní dopravy,
- musí mít přidělenou kapacitu dopravní cesty,
- musí být sjednána cena za použití dopravní cesty podle cenových předpisů a stanoven způsob její úhrady.

Na českém železničním přepravním trhu působí několik dopravců, kteří provozují železniční osobní dopravu. Mezi tyto společnosti patří:

- | | |
|---|---|
| ▪ České dráhy, a. s. | ▪ RAILTRANSPORT, s. r. o. |
| ▪ ČD Cargo, a. s. | ▪ Slezské zemské dráhy, o. p. s. |
| ▪ Chládek & Tintěra, a. s. | ▪ Společnost železniční výtopna Jaroměř |
| ▪ Jindřichohradecké místní dráhy, a. s. | ▪ Správa železniční dopravní cesty, s. o. |
| ▪ KŽC Doprava, s. r. o. | ▪ Stavební obnova železnic, a. s. |
| ▪ Lokálka Group, občanské sdružení | ▪ Veolia Transport Morava a. s. |
| ▪ LOKO TRANS, s. r. o. | ▪ VIAMONT, a. s. |
| ▪ OKD - Doprava, a. s. | ▪ ZABABA, s. r. o. |
| ▪ Puš, s. r. o. | |

Celkem na železničním přepravním trhu působí 66 dopravců. Z toho se většina zabývá dopravou nákladní.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že železniční doprava je v tomto ohledu značně znevýhodněna. Ve všech případech musí dopravce platit za přístup a použití železniční dopravní cesty a podmínky jsou pro všechny subjekty jednotné. V silniční dopravě však tomu tak není. Zde jsou zpoplatněny pouze některé typy pozemních komunikací, a to se odráží především na velkém rozvoji individuální automobilové dopravy, která v současné době dosahuje svého vrcholu. Používání dopravní cesty a náklady s tím spojené nejsou uživateli silniční infrastruktury, až na několik výjimek, nijak hrazeny. Jednou z největších nákladových položek, které generuje nejen silniční doprava jsou externí náklady, kterými zatěžuje životní prostředí a společnost při likvidaci následků nehod. Těmito externími náklady jsou hluk, smog, vibrace, kongesce a další. Jednou z možností, jak vyrovnat podmínky na trhu, je výkonové zpoplatnění silniční infrastruktury. O těchto možnostech se diskutuje již několik let, ale stále se nedaří rozpohybovat jednání, která by vedla k prvotním krokům a konečnému závěru. Výkonové zpoplatnění v nejbližší době zavedeno nebude, avšak v horizontu pěti a více let lze s realizací projektu s největší pravděpodobností počítat. Výkonové zpoplatnění silniční dopravní sítě bude mít velký finanční dopad na domácnosti, ale je nutné podotknout, že se jedná o spravedlivé opatření, a to nejen ve vztahu k železniční dopravě, ale také vůči ostatním občanům, kteří silniční dopravu nevyužívají. V současné době jsou veškeré vygenerované náklady tímto druhem dopravy hrazeny všemi obyvateli bez ohledu na to zda ji využívají či nikoli. „V první polovině roku 2009 byla snaha prosadit revizi direktivy Eurovignette, která má v dlouhodobém výhledu nesmírný význam pro harmonizaci, především mezi silniční a železniční dopravou, a ve které jde v konečném důsledku o prosazení zásady, aby struktura ceny, kterou zákazník zaplatí za dopravu, byla totožná u všech druhů dopravy.“³ Kalkulace ceny by tak měla zahrnovat také již zmíněné externí náklady. Příslušný návrh revize dává možnost k internalizaci externích nákladů a je také pro tyto případy vytvořena příslušná metodika, která však není závazná. Jedním ze základních dokumentů evropské dopravní politiky, který se zabývá tímto problémem je Bílá kniha Evropské komise nazvaná „Evropská dopravní politika pro rok 2010: čas rozhodnout“ vydaná v roce 2001. Hlavní náplní Bílé knihy je ochrana životního prostředí se zachováním mobility obyvatel. Základem politiky udržitelného rozvoje dopravy je snížení přepravy zboží a cestujících prostřednictvím silniční dopravy a přesun těchto cestujících k takovým formám doprav, které tolik neznečišťují životní prostředí.

³ Odbor komunikace Českých drah. *Ročenka 2008/2009 Skupiny České dráhy*. Praha: Grand Princ, 2009. ISBN 978-80-85104-24-0.

Česká republika, jako jedna z členských zemí Evropské unie, má nárok na čerpání financí z evropských fondů na rozvoj dopravy. V oblasti železniční dopravní infrastruktury je jediným zodpovědným subjektem za využívání fondů z EU Správa železniční dopravní cesty. Do roku 2002 využívala Česká republika pro modernizaci železniční dopravní sítě předvstupní fondy PHARE a PHARE CBC. Do té doby byly za čerpání těchto peněžních prostředků zodpovědné České dráhy, s. o. Od roku 2003 převzala zodpovědnost státní organizace SŽDC. Vstupem České republiky do Evropské unie bylo SŽDC umožněno čerpání finančních prostředků z několika programů. V současné době jde o Operační program Doprava pro období 2007 – 2013 s rozpočtem 5,774 mld. EUR. OP Doprava je financován ze dvou fondů, a to Evropského fondu pro regionální rozvoj (ERDF) a Fondu soudržnosti (FS). Fond soudržnosti se zaměřuje především na modernizaci, elektrifikaci a zavádění interoperability na železnici celého státu. ERDF je zaměřen především na rozvoj chudších regionů. V ČR je možné v rámci tohoto fondu čerpat na železniční infrastrukturu v rámci přeshraniční spolupráce. Dále lze z tohoto fondu čerpat na výstavbu a modernizaci železničních sítí TEN-T a důležitých železničních uzlů, postupné elektrizace dalších železničních tratí, které nejsou zahrnuty do sítě TEN-T a minimalizace vlivů na životní prostředí již dokončených staveb. Na modernizaci železniční sítě připadá přibližně 2,6 mld. EUR.

1.4 Vývoj přepravních ukazatelů

Při analýze vývojových trendů ve veřejné přepravě osob v železniční dopravě, ale i v ostatních odvětvích dopravního sektoru, je důležité sledovat následující ukazatele:

- objem přepravy
- průměrná přepravní vzdálenost
- přepravní výkon
- nabízená kapacita místových kilometrů

Při analýze přepravních ukazatelů byly použity údaje z Ročenek dopravy za rok 2004 a 2008. Jelikož data za rok 2009 nejsou ještě zpracována a zveřejněna pracuje se v následujících tabulkách a grafech s hodnotami zveřejněnými v těchto ročenkách. Vnitrozemská vodní přeprava osob zde není zahrnuta, jelikož se zpravidla jedná o rekreační přepravu a počet přepravených osob a další ukazatele jsou ve srovnání s ostatními druhy doprav zanedbatelné.

Nutné je však podotknout, že vodní přeprava osob znovu nabývá na oblibě převážně v oblasti turistického ruchu, kdy je lidmi stále častěji vybírána pro trávení volného času.

1.4.1 Objem přepravy

Objem přepravy vyjadřuje počet přepravených osob zjišťovaný na základě prodaných jízdenek a různých převodových koeficientů charakterizující předpokládaný počet jízd na různé druhy jízdného, např. zpáteční jízdenka, týdenní jízdenka jednosměrná nebo obousměrná, atd. V tabulce č. 1 je uveden počet přepravených osob ve vnitrostátní osobní dopravě v jednotlivých druzích doprav.

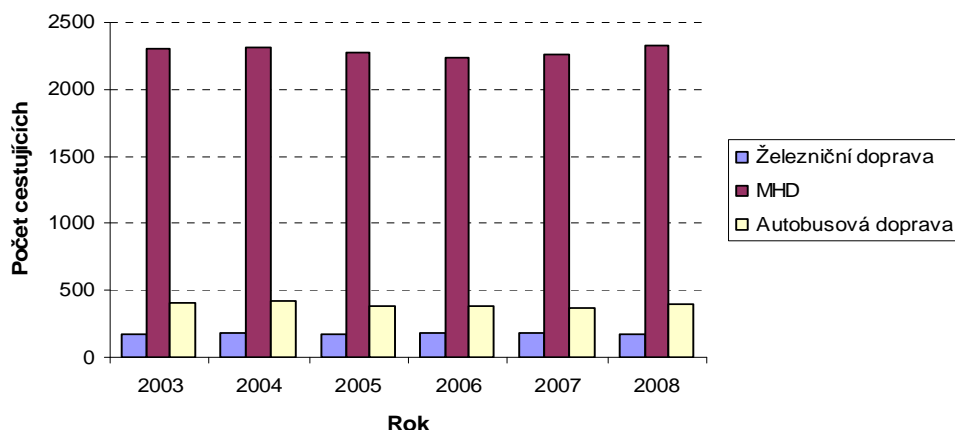
Tabulka č. 1: Mezioborové srovnání počtu přepravených cestujících (v mil. os.)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Železniční doprava	172	179	178	181	182	175
MHD	2 302	2 310	2 269	2 238	2 258	2 324
Autobusová doprava	415	417	387	386	373	400
Letecká doprava	0,053	0,063	0,081	0,108	0,113	0,118
Celkem přepraveno osob	2 889	2 906	2 834	2 805	2 813	2 899

Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19], autor

Celkový počet přepravených osob, od roku 2003 do roku 2008 za všechny druhy doprav vzrostl o 10 mil. V jednotlivých letech však docházelo k mírným výkyvům, ať již poklesu nebo růstu. Na každý rok z tohoto šestiletého období pak připadá průměrný počet přepravených cestujících ve výši 2 858 mil. cestujících. Velké rozdíly v počtu přepravených osob, jsou dány charakteristickými rysy jednotlivých druhů doprav. V městské hromadné dopravě lze usuzovat, že počet přepravených osob bude vždy nejvyšší neboť tento druh dopravy je provozován na území měst, kde je velká koncentrace obyvatel, kteří se přepravují na krátké vzdálenosti v rámci jednoho vyčleněného území. To má samozřejmě také vliv na přepravní vzdálenost, jak bude v následující kapitole patrné. V tomto případě je nejvhodnější porovnávat železniční dopravu s dopravou autobusovou, která má ve zjednodušeném pojetí stejné podmínky provozování, tzn. provozování mezi jednotlivými městy na různé, převážně delší, vzdálenosti. V počtu přepravených cestujících však železniční doprava zaostává o více jak polovinu. Počet přepravených cestujících jednotlivými druhy doprav jsou znázorněny v následujícím grafu, z kterého je lépe patrný velký podíl MHD na celkovém počtu přepravených osob.

Obrázek č. 3: Mezioborové srovnání počtu přepravených osob v letech 2003 - 2004

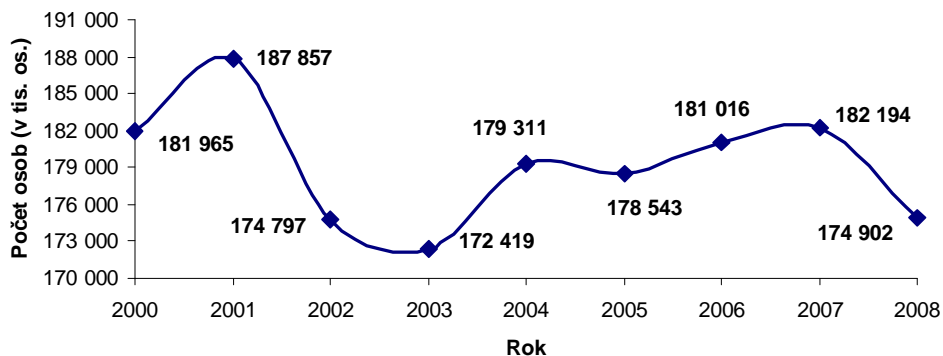


Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

Železniční doprava je třetím nejpoužívanějším druhem dopravy. Na celkovém počtu přepravených cestujících se v roce 2008 podílela 6 %. Největší podíl na přepravě má městská hromadná doprava s nepřekonatelnými 80 % a autobusová doprava téměř 14 %. Zanedbatelný podíl na celkovém počtu přepravených osob má letecká doprava, která se pohybuje kolem 0,2 %. Tato skutečnost je samozřejmě dána tím, že vnitrostátní letecká přeprava není příliš využívána z důvodu zeměpisných podmínek České republiky a tudíž není příliš efektivní. Větší podíl přepravených osob by letecká doprava jistě zaznamenala v případě mezinárodních letů, kde je využívána k překonání větších vzdáleností a v této oblasti její význam znatelně roste.

Vývoj objemu přepravy pouze v železniční dopravě za delší časový horizont je znázorněn v grafu č. 4.

Obrázek č. 4: Objem přepravy v železniční vnitrostátní přepravě v letech 2000 - 2008



Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

V roce 2002 počet přepravených osob rapidně poklesl, a to o 13 mil. a v roce 2003 tento pokles v malé míře dále pokračoval. Daný stav byl ovlivněn jednak dynamickým růstem individuální automobilové dopravy a v jisté míře také chystanými změnami v reorganizaci Českých drahách s. o., nyní akciové společnosti. Ve srovnání s ostatními zeměmi Evropské unie je železniční doprava v objemu přepravy na 4. místě. Což samozřejmě také souvisí s velkou hustotou železniční sítě na našem území.

1.4.2 Průměrná přepravní vzdálenost

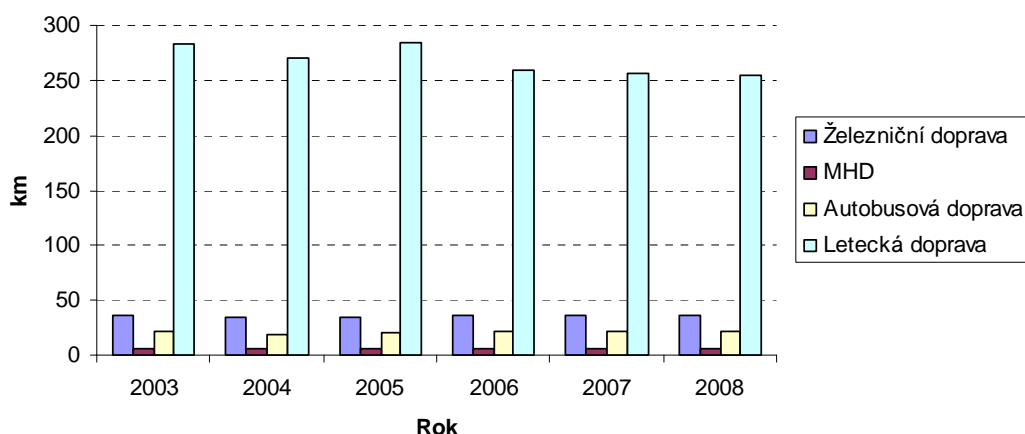
Průměrná přepravní vzdálenost vychází z objemu přepravy, který v osobní dopravě udává počet přepravených osob a z přepravního výkonu. Následující tabulka informuje o průměrných přepravních vzdálenostech v jednotlivých druzích dopravy v období od roku 2003 do roku 2008 a její grafické znázornění je zobrazeno na obrázku č. 5.

Tabulka č. 2: Mezioborové srovnání průměrné přepravní vzdálenosti (v km)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Železniční doprava	35,7	34,8	35,3	36,3	35,9	36,1
MHD	6,7	6,7	6,6	6,4	6,4	6,8
Autobusová doprava	21,6	19,2	21,1	22,6	22,7	21,4
Letecká doprava	283,0	269,8	284,0	259,3	256,6	254,2

Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

Obrázek č. 5: Mezioborové srovnání průměrné přepravní vzdálenosti v letech 2003 - 2008



Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

Největší průměrná vzdálenost je v případě letecké dopravy, což není nijak překvapující a podobně je tomu také i u městské hromadné dopravy, kde je tato vzdálenost naopak nejmenší. V případě letecké i městské hromadné dopravy jsou hodnoty výsledkem jejich

charakteristických rysů, které v letecké dopravě spočívají v její efektivnosti na větší vzdálenosti tudíž i průměrná přepravní vzdálenost je větší a městská hromadná doprava je provozována na území měst tudíž nelze očekávat údaje o velkých přepravních vzdálenostech. Trochu překvapující je železniční doprava, kde by se dalo předpokládat o něco větší hodnoty s ohledem na vzdálenosti mezi hlavními železničními uzly v ČR, jako jsou: Praha, Pardubice, Brno, Plzeň, Česká Třebová, Ostrava, Olomouc, atd. Samozřejmě velkou úlohu zde hraje také regionální přeprava, která průměrnou přepravní vzdálenost snižuje. V železniční dopravě jsou průměrné přepravní vzdálenosti s nepatrnými výkyvy celkem konstantní, a to okolo 35 a 36 km.

1.4.3 Přepravní výkon

Přepravní výkon je součinem počtu přepravených osob a přepravní vzdálenosti a udává se v osobo-kilometrech (oskm).

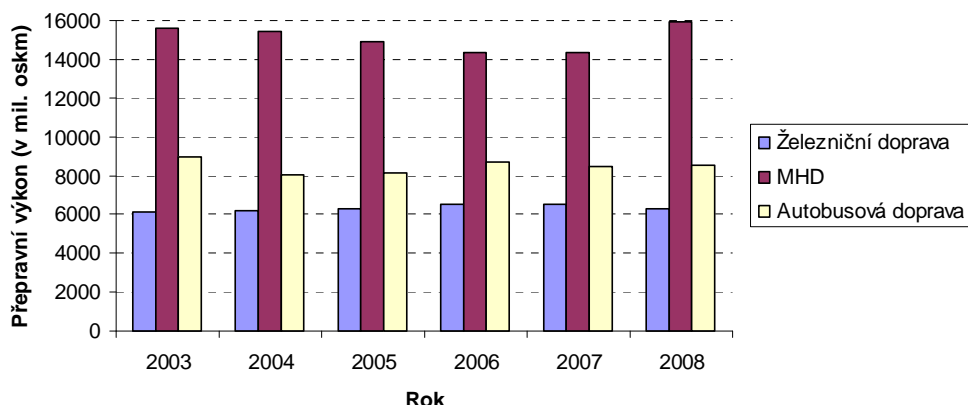
Tabulka č. 3: Mezioborové srovnání přepravních výkonů (v mil. oskm)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Železniční doprava	6 145,0	6 222,3	6 285,3	6 563,8	6 535,8	6 324,4
MHD	15 539,5	15 427,3	14 934,8	14 312,7	14 352,5	15 880,5
Autobusová doprava	8 974,4	8 008,2	8 166,4	8 709,2	8 466,4	8 565,0
Letecká doprava	15,0	17,0	23,0	28,0	29,0	30,0

Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

Grafické znázornění tabulky je v následujícím grafu, z něhož jsou více patrné rozdíly ve výkonu jednotlivých druhů doprav. Městská hromadná doprava s celkově největším přepravním výkonem zaznamenala stálý pokles až do roku 2006 na 14 312 mil. oskm, což je o 1 226 mil. oskm méně než v roce 2003. Po tříletém poklesu následoval růst a v roce 2008 byl přepravní výkon téměř 16 000 mil. oskm. Naproti tomu autobusová doprava měla pouze s menšími rozdíly opačný vývoj a železniční doprava má přepravní výkon po dobu pěti let téměř konstantní s nepatrným náznakem růstu a následného poklesu. V grafu nejsou zaneseny přepravní výkony letecké dopravy, protože jsou s ohledem na ostatní druhy doprav velmi malé.

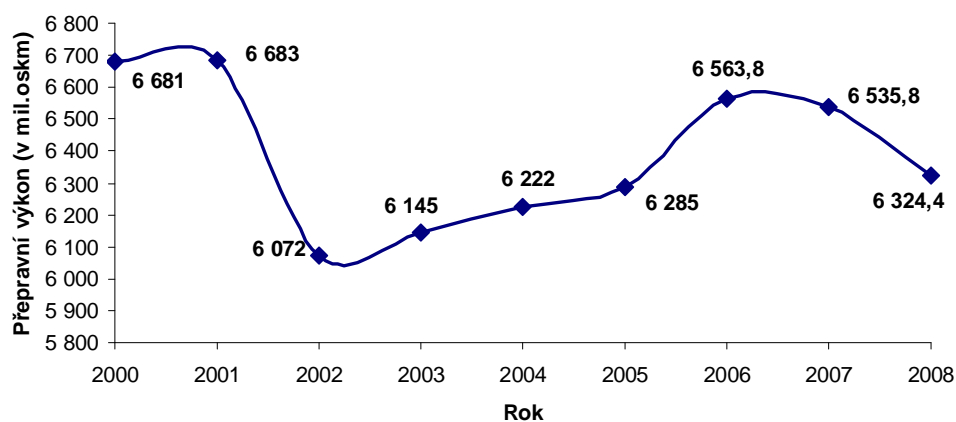
Obrázek č. 6: Mezioborové srovnání přepravních výkonů v letech 2003 - 2008



Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

Další graf je věnován pouze přepravním výkonům v železniční dopravě od roku 2000 do roku 2008. Největší přepravní výkon byl zaznamenán v roce 2001 ve výši téměř 6 700 mil. oskm, který se do roku 2008 již neopakoval.

Obrázek č. 7: Přepravní výkon v železniční vnitrostátní dopravě v letech 2000 - 2008



Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

1.4.4 Nabízená kapacita místových kilometrů

Nabízená kapacita místových kilometrů je součinem obsaditelnosti (kapacity) dopravních prostředků a přepravní vzdálenosti. V případě letecké dopravy se nehovoří o místových kilometrech, ale o nabízených sedačkových kilometrech. Železniční doprava nabízela každý rok průměrně 28 023 mil. místových kilometrů. Při pohledu na tabulku je patrné, že nabízená kapacita od roku 2004 rostla, ale nabízené kapacity nebyly zdaleka ve

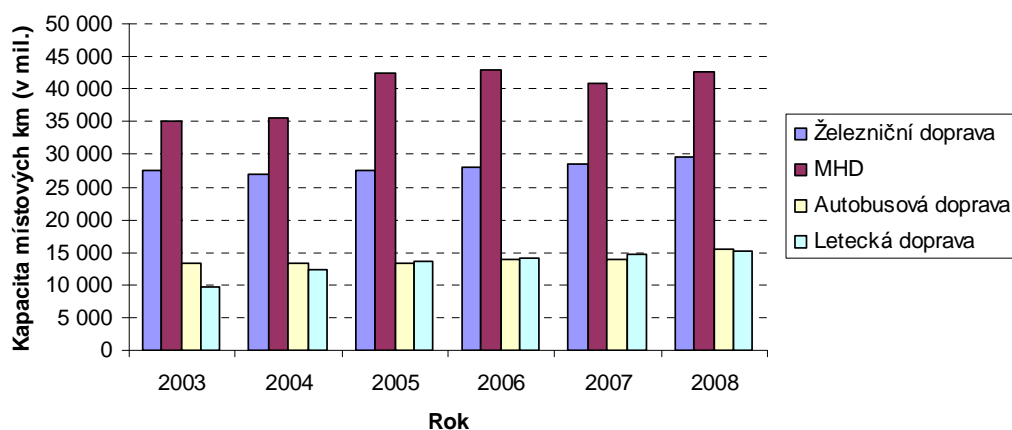
výši průměrné hodnoty. Ta je zkrslena především stálým růstem a hodnotami z posledních dvou let. Ve zvoleném období má největší nabízenou kapacitu místových kilometrů městská hromadná doprava, jejíž nabídka rostla až do roku 2007. Průměrná roční hodnota nabízené kapacity městské hromadné dopravy je 39 973 mil. místokm. V případě autobusové 13 911 mil. místokm a 13 290 mil. místokm v letecké dopravě.

Tabulka č. 4: Nabízená kapacita místových kilometrů (v mil.)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Železniční doprava	27 542	26 996	27 617	27 909	28 573	29 498
MHD	34 984	35 621	42 482	43 062	40 923	42 764
Autobusová doprava	13 428	13 294	13 480	13 973	13 883	15 407
Letecká doprava	9 630	12 349	13 689	14 033	14 782	15 254

Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

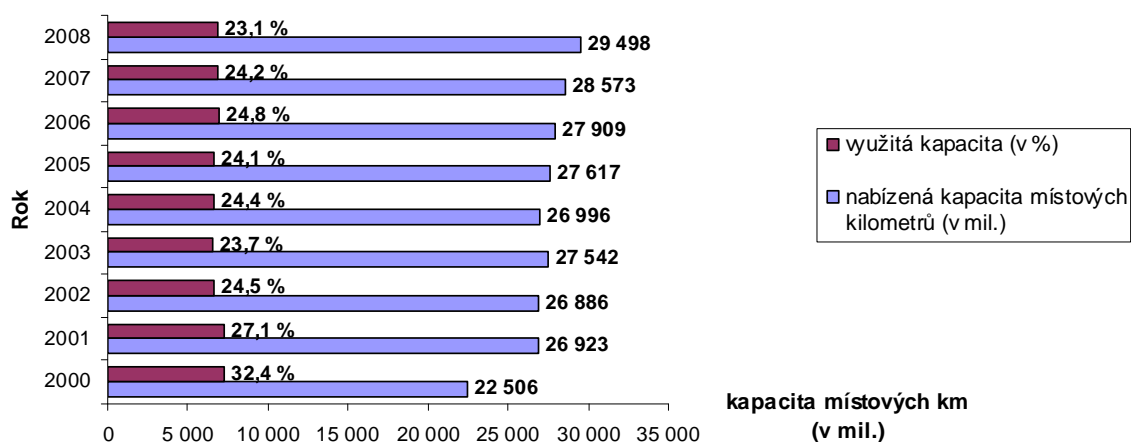
Obrázek č. 8: Mezioborové srovnání nabízené kapacity místových kilometrů v letech 2003 - 2008



Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19]

V roce 2008 byl celkový počet nabízených místových kilometrů ve všech druzích doprav ve výši 102 923 mil. Z toho má největší podíl městská hromadná doprava s téměř 42 %, druhá je železniční doprava s téměř 30 % a letecká a autobusová doprava mají každá podíl 15 %. S ohledem na využití nabízených místových kilometrů jednotlivými druhy doprav je na tom nejlépe letecká doprava. Ta v roce 2008 nabízela 15 254 mil. místových kilometrů a cestujícími bylo využito 70,5 %. Druhou nejlepší dopravou ve využívání kapacity zákazníky je doprava autobusová s 60,7 %, třetí městská hromadná doprava s 37,1 % a nejhůře je na tom doprava železniční, která v témže roce nabízela 29 498 mil. místových kilometrů a bylo využito pouze 23 %. V grafu je znázorněn vývoj nabízených místových kilometrů v železniční osobní dopravě od roku 2000 do roku 2008 a jejich využití.

Obrázek č. 9: Využití nabízené kapacity v železniční vnitrostátní přepravě v letech 2000 – 2008



Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19], autor

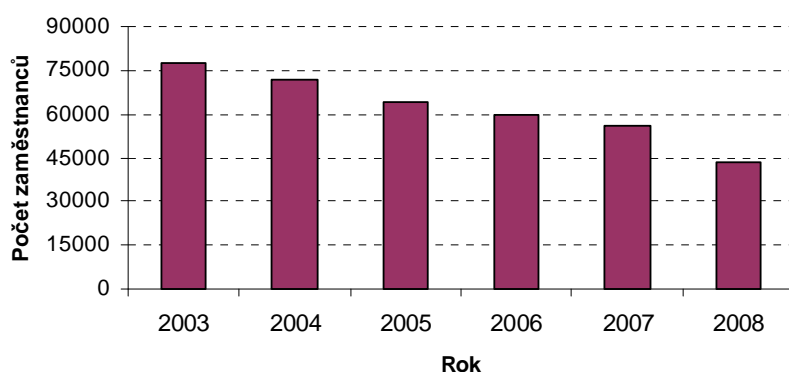
1.5 České dráhy, a. s.

1.5.1 Základní informace o společnosti

Akciová společnost České dráhy jsou největším národním dopravcem v České republice. Vznikly transformací státní organizace České dráhy, s. o. 1. ledna 2003 na základě zákona č. 77/2002 Sb., o akciové společnosti České dráhy. Stoprocentním vlastníkem akcií je stát, který vykonává svá práva prostřednictvím Řídícího výboru, který je součástí řídicích orgánů ve společnosti. Je součástí státní správy a nahrazuje Valnou hromadu. Řídící orgány jsou dále tvořeny orgány Českých drah a těmi jsou Představenstvo a Dozorčí rada. Vrcholovou organizační složkou je generální ředitelství, které řídí organizační a výkonné jednotky a odštěpné závody. ČD, a. s. mají několik dceřiných společností. Asi nejznámější dceřinou společností je ČD Cargo, a. s., která vznikla v roce 2007. Tato společnost zajišťuje přepravu průmyslových a zemědělských komodit, surovin, paliv a pohonných hmot, zboží, kontejnerů a nadměrných nákladů. Další její činností je zajišťování pronájmu nákladních vozů, vlečkových a dalších přepravních služeb. Mezi ostatní dceřiné společnosti patří například ČD Reality, a. s., ČD – Telematika, a. s., ČD travel, s. r. o., Dopravní vzdělávací institut, a. s., DPOV, a. s., Výzkumný ústav Železniční, a. s., a další. České dráhy, a. s. jsou zapojeny do mezinárodních projektů a jsou členy několika mezinárodních organizací působících v oblasti železniční dopravy, jako jsou CER – Společenství evropských železnic a infrastrukturních společností nebo UIC - Mezinárodní unie železnic.

České dráhy jsou po České poště druhým největším zaměstnavatelem v České republice. V roce 2008 byl evidenční počet zaměstnanců celkem pro skupinu ČD 43 233 zaměstnanců. Průměrná měsíční mzda přepočítaná z celkových mzdových nákladů činila za toto období 26 900 Kč. V období od roku 2003 do roku 2008 se počet zaměstnanců v každém roce průměrně snižoval o 6 865 zaměstnanců. Vývoj zaměstnanosti je znázorněn v grafu č. 10.

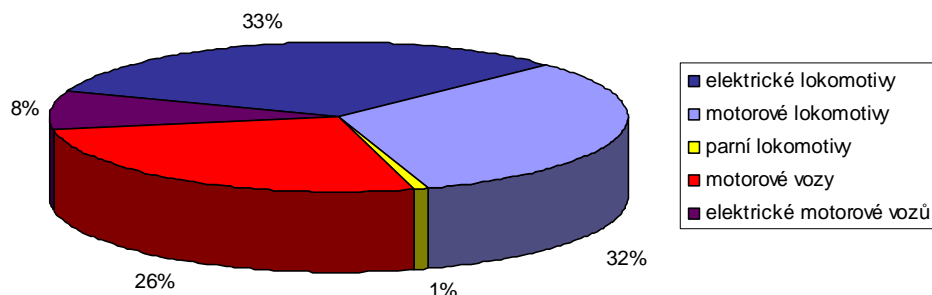
Obrázek č. 10: Evidenční počet zaměstnanců skupiny ČD v letech 2003 - 2008



Zdroj: Statistická ročenka ČD 2005 a 2008 [21]

K 31. 12. 2008 vlastnili České dráhy celkový počet hnacích vozidel ve výši 2 781. Vzhledem k celkovému počtu lokomotiv evidovaných v ČR se jedná o 82 % podíl. Elektrických lokomotiv vlastní 893, motorových lokomotiv 898, parních lokomotiv 23, 735 motorových vozů a 232 elektrických motorových vozů. Procentuální podíl jednotlivých hnacích jednotek je uveden v obrázku č. 11. Největší podíl na celkovém počtu hnacích vozidel mají elektrické lokomotivy s 33 % a motorové lokomotivy, které mají podíl o jedno procento nižší.

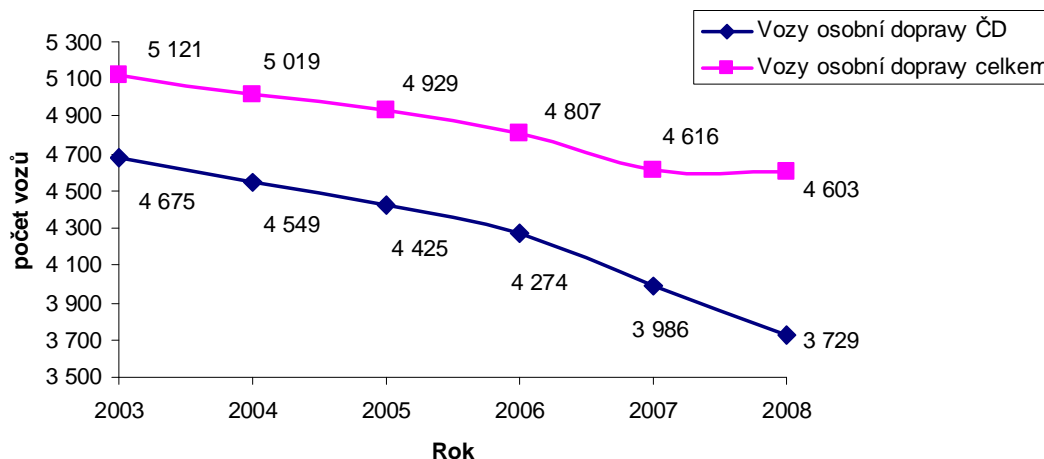
Obrázek č. 11: Struktura hnacích vozidel Českých drah, a. s. v roce 2008



Zdroj: Statistická ročenka ČD 2008 [21]

České dráhy evidují celkem 3 729 vozů osobní dopravy, což je 81 % ze všech evidovaných osobních vozů v železniční osobní dopravě. Z celkového počtu vozů evidovaných ČD tvoří osobní vozy pouze 11 %. Zbýlých 89 % jsou vozy nákladní. Grafické srovnání vozů osobní dopravy v rámci ČD a železniční dopravy, jako celku, je znázorněn v obrázku č. 12.

Obrázek č. 12: Srovnání počet vozů v železniční osobní dopravě a ČD, a. s.



Zdroj: Statistická ročenka ČD 2005 a 2008 [21], Ročenka dopravy 2008 [19]

Délka obsluhovaných tratí k 31. 12. 2008 byla 9 430 km, tedy 98 % ze celkové délky tratí. Z toho 7 523 km jednokolejných a 1 906 km dvou a víceokolejných. Podle trakce se jedná o 3 078 km elektrizovaných a o 6 352 km neelektrizovaných tratí. Vedle Správy železniční dopravní cesty jsou ČD, a. s. vlastníkem 107 km tratí.

Hlavní priority ČD, a. s. v oblasti ochrany životního prostředí je odstraňování negativních vlivů z minulých let, snižování vlivů ze současných zdrojů znečišťování, snižování hlukové zátěže a odstraňování a předcházení úniku nebezpečných látek do životního prostředí. Od roku 2000 do roku 2008 celková produkce odpadu železniční dopavy klesala ze 107 437 tun na 21 580, což je o 85 857 tun méně. Oblast bezpečnosti je v Českých drahách zajišťována Odborem 18 generálního ředitelství ČD, a. s., který zpracovává zprávu o nehodovosti a zajišťování bezpečnosti pro jednání Představenstva ČD.

1.5.2 Vývoj přepravních ukazatelů ČD, a. s.

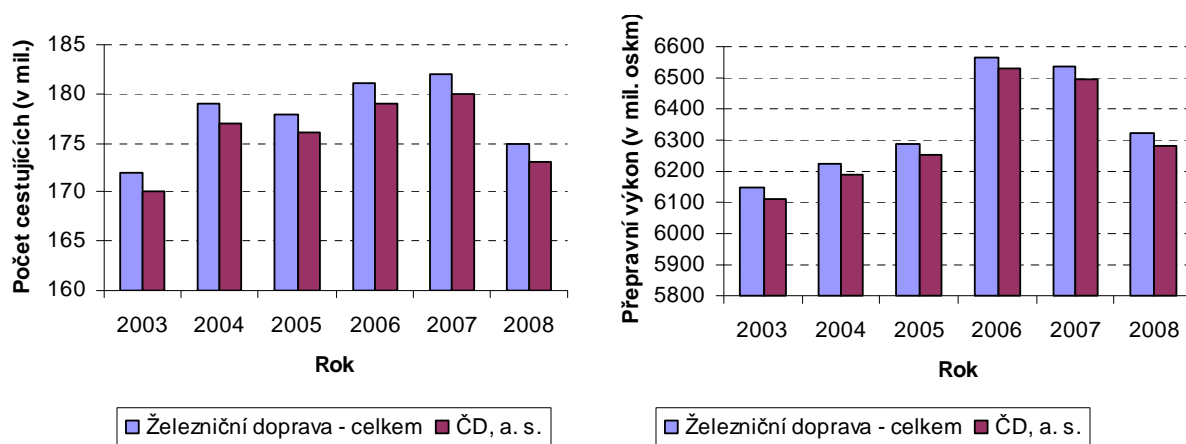
Převážný podíl na hodnotách přepravních ukazatelů v železniční přepravě osob mají České dráhy, a. s., které jsou dominantní společností působící na tuzemském trhu v oblasti železniční dopavy. Celkový vývoj železniční přepravy osob a vývoj v případě Českých drah je totožný. Stejným způsobem, jak klesají nebo rostou přepravní výkony železniční dopavy jako celku, tak klesají nebo rostou přepravní výkony u ČD. Následující tabulka a grafy znázorňují, jak velká část cestujících byla přepravena právě touto společností a jaký podíl měla na přepravním výkonu.

Tabulka č. 5: Vývoj přepravních ukazatelů společnosti České dráhy a. s.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Počet cestujících (mil.)	170,3	177,2	176,5	179,0	180,0	172,7
Přepravní výkon (mil. oskm)	6109,7	6185,3	6251,0	6530,0	6493,7	6283,7
Průměrná přepravní vzdálenost (km)	36,5	34,9	35,4	36,5	36,1	36,4

Zdroj: Ročenka ČD 2005 a 2008 [21]

Obrázek č. 13: Podíl Českých drah, a. s. na celkovém počtu přepravených osob a přepravním výkonu ve vnitrostátní železniční přepravě osob



Zdroj: Ročenka dopravy 2004 a 2008 [19], Ročenka ČD 2005 a 2008 [21]

České dráhy si na železničním přepravním trhu zachovávají stálou pozici. Od roku 2003 do roku 2008 se jejich podíl na přepraveném počtu cestujících měnil v setinách procent. Průměrně přepraví téměř 99 % všech cestujících. V případě přepravního výkonu je situace stejná. Procentní podíl dosahuje necelých 99,5 %.

Z uvedených hodnot lze usuzovat, že pozice Českých drah na tuzemském přepravním trhu je neotřesitelná. V současnosti je však konkurenční tlak mnohem vyšší a situace se stále mění. Na trh se tlačí stále noví dopravci s nabídkou různých služeb a stávají se tak pro ČD hrozbou. Jedním z nejnovějších konkurentů, který se snažil prosadit na českém přepravním trhu byla společnost Student Agency vlastníci společnost RegioJet, která již obdržela od Drážního úřadu licenci na provozování železniční osobní dopravy.

Základním cílem Českých drah pro obstání na konkurenčním trhu je zkvalitňování poskytovaných služeb a prioritou z dlouhodobého hlediska je obnova vozového parku. Počátkem roku 2009 České dráhy představili transformační program nazvaný Vize 2012, který má za cíl zvýšit spokojenost zákazníků a navýšit tak příjmy společnosti, aby hospodařila se ziskem okolo 5 %. Snahou je tedy důslednější orientace na zákazníka. V současné době je však spokojenost zákazníků s Českými drahmi velmi nízká. ČD by doporučilo pouze 48 % zákazníků.

1.5.3 Tarif ČD pro vnitrostátní přepravu cestujících a zavazadel

Tarif Českých drah pro vnitrostátní přepravu cestujících a zavazadel, označovaný TR 10, je základním přepravním řádem pro přepravu osob. Podmínky nabízených služeb ČD se řídí zákonem o drahách a vyhláškou Ministerstva dopravy a spojů č. 175/2000 Sb., o přepravním řádu pro veřejnou drážní a silniční osobní dopravu. V lednu roku 2010 byl schválen nový tarif s účinností od 7. 3. 2010. Tarif se skládá ze čtyř hlavních částí a šesti ceníků pro jednotlivé nabízené služby. Každá část je tvořena jednotlivými kapitolami.

České dráhy mají povinnost tento tarif zveřejňovat. Úplné znění tarifu je možné získat na internetových stránkách ČD, a. s. a stručný přehled nejdůležitějších podmínek je vyvěšen v železničních stanicích pod názvem T1. Povinnost informovat zákazníky o přepravním řádu mají také příslušní zaměstnanci ČD, a. s., a to na požádání ze strany cestujících.

Tarif je tzv. kilometrický. Cena za přepravu se vypočítává na základě tarifních vzdáleností podle počtu ujetých kilometrů uvedených v železničním jízdním řádu provozovatele dráhy, a to z minimální vzdálenosti 1 km a maximální vzdálenosti 600 km. Dále pak podle zvolené vozové třídy, použitého jízdného a použité slevy. Tarif určuje druhy jízdného mezi které patří:

- Obyčejné jízdné – obyčejné jízdné je jízdné regulované Ministerstvem dopravy a jedná se o věcně usměrňované jízdné, tzn. na základě věcných podmínek, kterými může být například změna výše nákladů vynakládaných na poskytování dané služby. Ke změně výše ceny nedochází automaticky po vzniku daných skutečností, ale změna musí být nejprve schválena.
- Zvláštní jízdné – zvláštní jízdné je cena tvořená na základě stejných podmínek, jako jízdné obyčejné, pouze s tím rozdílem, že se jedná o cenu nižší. Zvláštní jízdné je rozděleno na jízdné pro děti, žáky, důchodce, postižené osoby a jejich doprovod, rodiče cestující za postiženými dětmi umístěné v ústavech na území ČR a pro poslance a senátory, soudce ústavního soudu a poslance Evropského parlamentu zvolené na území ČR.
- Základní jízdné – základní jízdné tvoří obyčejné a zvláštní jízdné, zpáteční jízdenky a síťové a traťové jízdenky. Traťové jízdenky platí pro jízdy po příslušné trase mezi stanicemi uvedenými na přepravním dokladu a po stanovenou dobu platnosti. Jiná

trasa lze použít pouze v případech pokud tarifní vzdálenost je stejná nebo kratší. Maximální traťovou vzdáleností je 120 km. Lze je zakoupit s dobou platnosti jeden týden, měsíc či čtvrtrok. Síťové jízdenky platí pro veškeré jízdy vozy Českých drah po stanovenou dobu platnosti (den, týden) ve druhé vozové třídě.

- Akviziční jízdné – akviziční jízdné je speciální typ jízdného, které se uplatňuje při konání velkých kulturních nebo sportovních společenských akcí.
- Zlevněné jízdné – zlevněné jízdné je vyhlášováno v rámci obchodních nabídek Českých drah a je tvořeno systémem poskytovaných různých slev zákazníkům. V současné době nabízejí České dráhy slevy na kartu ISIC pro studenty do 26 let jehož držitel může uplatnit slevu ve výši 25 % z ceny síťových jízdenek, dále skupinovou slevu ve druhé vozové třídě pro 2 až 30 cestujících a kilometrickou banku, což je přenosný jízdní doklad s limitem 2000 km a platností půl roku.

Dále je zde pro cestující možnost využití In-karty nebo In-karty/Rail plus. Obě tyto karty plní stejné funkce pouze s tím rozdílem, že v případě In-karty/Rail plus se jedná o In-kartu, která obsahuje logo Rail plus a umožňuje zákazníkům využívat výhody pro mezinárodní cesty vlakem. In-karta je bezkontaktní čipová karta standardních rozměrů, jako jsou například platební karty. Po zaplacení poplatku za vystavení In-karty a jejím obdržení si zákazník může zakoupit jednotlivé aplikace přinášející mu řadu slev a výhod, a to zákaznické jízdné In-zákazník, In-senior, In-junior a síťová jízdenka In-gold. Kartou lze využívat i bez slevových aplikací, jako elektronickou peněženku k platbám za jízdenky a je možné si na ni nahrát elektronické traťové jízdenky. Platnost karty je 3 roky. In-karta se vyplatí i pro zákazníky, kteří necestují vlakem každý den, ale třeba jen jednou týdně. Na internetových stránkách Českých drah, a. s. je pro zákazníky připravena aplikace pomocí níž si mohou vypočítat případnou úsporu za jízdné při použití In-karty oproti jízdnému obyčejnému.

2 Metody matematického modelování poptávky

Před charakteristikou metod matematického modelování poptávky je důležité si poptávku a její souvislosti s ekonomickými ději podrobněji přiblížit.

Základním a obecným problémem ekonomiky je zodpovězení tří podstatných otázek:

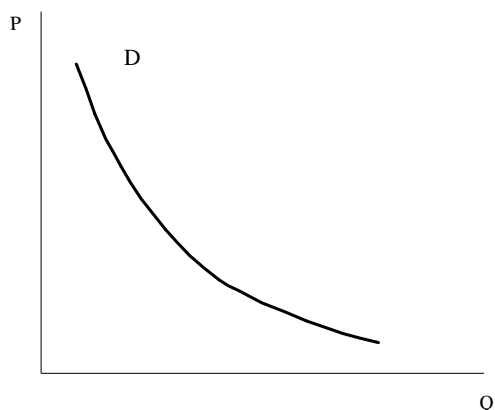
- co? (co bude subjekt vyrábět – jaké statky a v jakém množství)
- jak? (jak to budeme vyrábět – s jakými zdroji a technologickými postupy)
- pro koho? (pro koho se bude vyrábět – cílová skupina zákazníků)

Tyto tři problémy jsou shodné pro všechny ekonomiky a týkají se omezenosti a volby mezi vstupy a výstupy ekonomiky. Kde vstupy jsou tvořeny výrobními faktory, což je práce, půda a kapitál a výstupy jsou produkty ekonomických činností. Ve většině vyspělých zemí se řízení ekonomických rozhodnutí děje pomocí systému trhů a cen. Trhem je míněna oblast ekonomiky, kde se střetávají kupující a prodávající za účelem směny zboží na základě dohodnutého množství a cen. Lze ho tedy definovat, jako oblast střetávání nabídky s poptávkou. Na straně poptávky jsou kupující a na straně nabídky prodávající. Cena je rozhodujícím faktorem, jak pro kupujícího, který se snaží maximalizovat svůj užitek za co možná nejnižší cenu, tak pro prodávajícího, jehož snahou je maximalizace zisku.

2.1 Charakteristika obecné poptávky

Podle Brajerové [2], 2001 je možné poptávku definovat, jako množství zboží, které jsou kupující ochotni nakoupit za určitou cenu. V každém okamžiku tedy existuje jistý vztah mezi tržní cenou zboží a množstvím, který je vyjádřen poptávkovou funkcí neboli poptávkovou křivkou, která je grafickým znázorněním poptávkové funkce. Křivka poptávky je znázorněna v obrázku č. 14.

Obrázek č. 14: Křivka poptávky



Zdroj: Makroekonomie a doprava [2]

Mezi množstvím a cenou je nepřímý vztah neboť nakupované množství roste pokud cena zboží klesá. Poptávková křivka má klesající charakter a probíhá shora dolů a zleva doprava. Tato vlastnost poptávkové křivky se nazývá zákon klesající poptávky. Definice zákona klesající poptávky je následující:

„Pokud cena určitého zboží stoupne (za jinak stejných podmínek), mají kupující tendenci kupovat menší množství tohoto zboží. Podobně sníží-li se cena, pak, ceteris paribus, poptávané množství vzroste.“⁴

Důvodem klesající tendence poptávkové křivky je tzv. substituční a důchodový efekt. Substituční efekt udává změnu v poptávaném množství vyvolanou změnou ceny. Spotřebitel omezí nákup statku, jehož cena byla zvýšena a zaměří se na substituty s nižší cenou. Substituty jsou statky vzájemně zaměnitelné. Důchodový efekt udává změnu poptávaného množství vyvolanou změnou reálného důchodu, nebo-li kupní síly spotřebitele v důsledku změny ceny. V případě zvýšení ceny statku dochází ke skutečnosti, kdy nominální důchodu, tzn. důchod vyjádřený v peněžních jednotkách, je neměnný, ale reálný důchod, který je vyjádřen množstvím statků, klesá, protože si za stejné množství peněz můžeme koupit méně výrobků. Výsledný efekt cenové změny působící na křivku poptávky je vyjádřen součtem substitučního a důchodového efektu. V případě poklesu cen statků jsou efekty opačné.

Dalším důležitým prvkem charakterizujícím poptávku je posun po křivce a posun celé křivky poptávky. Tyto dva aspekty je nutné od sebe rázně oddělovat neboť každý z nich značí

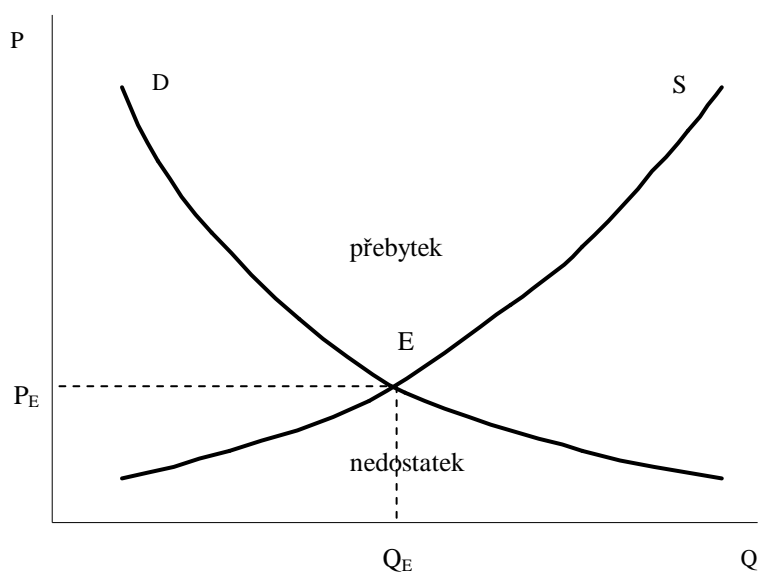
⁴ SAMUELSON, Paul, A.; NORDHAUS, William, D. *Ekonomie*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství Svoboda, 1995. s. 57. ISBN 80-205-0494-X.

naprosto odlišné děje probíhající na trhu. Posun po křivce je způsoben změnou poptávaného množství, který je následkem změny ceny, tzn. když cena roste množství klesá a naopak. Při těchto změnách je důležitým faktorem čas neboť změna ceny se může na změně poptávaného množství projevit za různě dlouhý časový úsek v závislosti na typu zboží. Posun celé křivky poptávky je způsoben jinými než cenovými změnami a dochází k zániku původní křivky poptávky a v důsledku změn vzniká zcela nová poptávková křivka. „Obecně platí, že růst poptávky způsobí posun poptávkové křivky doprava a naopak tzn., že v důsledku poklesu poptávky se poptávková křivka posune doleva.“⁵.

Jak již bylo zmíněno v předchozích odstavcích, trh je prostorem střetávání nabídky s poptávkou. Právě toto střetávání probíhá za neustálých změn nabídky a poptávky s tendencí trhu přibližovat se k rovnovážnému stavu tj., stavu kdy se poptávka rovná nabídce. Tento rovnovážný stav udává skutečnost, že prodávající nabízejí právě takové množství statků a za takové ceny, kolik a za kolik jsou kupující ochotni zboží nebo služby nakoupit. Tato rovnováha je na trhu výjimečná a pokud nastane trvá velmi krátce. Jestliže nabídka převyšuje poptávku vzniká na trhu přebytek zboží a tento stav je signálem, že je cena příliš vysoká. V důsledku toho dochází ke snížení ceny, aby se minimalizoval přebytek zboží na trhu, a to způsobí růst poptávky. Pokud však nabízené množství příliš klesne a poptávka příliš vzroste dochází k převýšení poptávky nad nabídkou a cena je příliš nízká a vzniká nedostatek zboží na trhu. Tímto způsobem se situace neustále mění a inklinuje k rovnovážnému stavu. Rovnovážný stav trhu zobrazuje následující graf, kde P_E je rovnovážná cena, Q_E rovnovážné množství a E rovnovážný bod nabídky a poptávky.

⁵ BRAJEROVÁ, Helena; DRAHOTSKÁ, Hana. *Makroekonomie a doprava*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001. s. 10. ISBN 80-7194-376-2.

Obrázek č. 15: Rovnováha na trhu



Zdroj: Makroekonomie a doprava [2]

Trh je možné rozdělit na několik podskupin podle zboží a služeb na něm nabízených. Prvotně lze tedy trh rozdělit, například na trh zboží a trh služeb, dále pak na trh spotřebního zboží, přepravní trh, atd. Každý takto stanovený trh má svojí podobu poptávky zformulovanou podle již zmíněných zákonitostí. Součtem všech těchto dílčích poptávek na jednotlivých trzích je agregátní poptávka, která je poptávkou po veškerých statcích a službách nabízených na trhu jako celku.

2.2 Elasticita poptávky

Podstatou elasticity poptávky je charakteristika různé citlivosti nebo pružnosti reakce na cenové a důchodové změny. Rozlišuje se cenová elasticita poptávky, důchodová a křížová elasticita poptávky.

2.2.1 Cenová elasticita poptávky

Cenová elasticita poptávky vyjadřuje vztah mezi procentní změnou poptávaného množství statku a procentní změnou ceny poptávaného statku. Vypovídací schopnost o elasticitě poptávky nám udává koeficient cenové elasticity poptávky. Koeficient vyjadřuje o kolik procent se zvýší nebo sníží poptávané množství, když se cena sníží nebo zvýší o jedno procento.

Matematické vyjádření koeficientu cenové elasticity poptávky je následující:

$$E_{DP} = \frac{Q_2 - Q_1}{\frac{(Q_2 + Q_1)}{2}} : \frac{P_2 - P_1}{\frac{(P_2 + P_1)}{2}}$$

E_{DP} koeficient cenové elasticity poptávky

Q_1 poptávané množství před změnou

Q_2 poptávané množství po změně

P_1 cena poptávaného statku před změnou

P_2 cena poptávaného statku po změně

Jelikož koeficient cenové elasticity poptávky vychází záporné číslo pracuje se s tímto koeficientem v absolutní hodnotě. Podle velikosti koeficientu cenové elasticity poptávky je rozlišeno pět základních podob poptávky, a to:

- neelastická
- elastická
- jednotkově elastická
- dokonale elastická
- dokonale neelastická

V případě neelastické poptávky vychází koeficient menší jak jedna a udává, že v případě jednoprocenní změny ceny dochází k méně jak jednoprocenní změně poptávaného množství. U elastické poptávky nastává opačná situace a koeficient cenové elasticity poptávky je větší jak jedna. Jednoprocenní změna ceny pak vyvolá více jak jednoprocenní změnu poptávaného množství. Jednotkově elastická poptávka vyjadřuje rovnoměrnou změnu, jak v případě změny ceny, tak změny objemu poptávaného statku, tzn., že jednoprocenní změna ceny vyvolá jednoprocenní změnu poptávaného množství.

Poslední dva typy elasticity poptávky jsou dokonale elastická a dokonale neelastická poptávka, což jsou dvě krajní možnosti elasticity poptávky. Pro dokonale elastickou poptávku platí, že za odpovídající výši ceny se prodá jakékoliv množství statku, tzn., že změny v poptávaném množství jsou vyvolány jinými než cenovými faktory. Koeficient cenové elasticity se v tomto případě rovná nekonečnu. Naproti tomu dokonale neelastická poptávka udává změnu ceny při nezměněném poptávaném množství a koeficient elasticity je roven nule.

2.2.2 *Důchodová elasticita poptávky*

Důchodová elasticita poptávky vyjadřuje citlivost změny poptávaného množství statku na změny důchodu neboli příjmu. Tento vztah je dán vzorcem:

$$E_d = \frac{Q_1 - Q_2}{I_{p1} + I_{p2}} \times \frac{I_{p1} - I_{p2}}{Q_2 + Q_1}$$

- Q_1 množství poptávaného statku v základním období
 Q_2 množství poptávaného statku ve sledovaném období
 I_{p1} velikost příjmu na hlavu v základním období
 I_{p2} velikost příjmu na hlavu ve sledovaném období

Koeficient důchodové elasticity nabývá kladné nebo záporné hodnoty v závislosti na vlastnostech poptávaného statku.

2.2.3 *Křížová elasticita poptávky*

„Křížová elasticita poptávky udává, o kolik procent se změní poptávané množství určitého statku, když se změní cena jiného statku o jedno procento.“⁶ V případě dopravy se tedy zjišťuje reakce zákazníků na změny ceny nebo úroveň služeb substitutů – konkurenčních druhů doprav. Křížovou elasticitu poptávky můžeme vyjádřit vztahem:

$$E_k = \frac{Q_2^A - Q_1^A}{P_2^B - P_1^B} \cdot \frac{Q_2^A + Q_1^A}{P_2^B + P_1^B}$$

- P_1^B cena poptávaného statku B před změnou
 P_2^B cena poptávaného statku B po změně
 Q_1^A poptávané množství statku A před změnou ceny
 Q_2^A poptávané množství statku A po změně ceny

Pokud koeficient křížové elasticity je větší jak nula, jedná se o substituty. Je-li menší než nula, tak statek B je doplňkovým statkem ke statku A. V případě rovnosti koeficientu nule, se nejedná o křížovou elasticitu.

⁶ MACÁKOVÁ, Libuše; kolektiv. *Mikroekonomie – základní kurs*. Slaný: MELANDRIUM, 2003. s. 66. ISBN 80-86175-38-3.

2.3 Charakteristika poptávky v dopravě

Poptávka v dopravě je totožná s teoretickým vyjádřením obecné poptávky pouze s tím rozdílem, že je zde přímo konkretizován zákazník, jako odběratel neboli přepravce, který poptává přepravní službu a dopravce, který ji přepravci poskytuje. Poptávka po dopravních službách vzniká na dopravním trhu, kde je vyvolána přepravci k uspokojení svých potřeb ve formě časovém a prostorovém přemístění. Přestože podstata obecné poptávky se od poptávky v dopravě neliší, existují v této oblasti jisté zvláštnosti, které jsou pro poptávku v dopravě charakteristické. Jednou z nich je její konkretizace, kterou můžeme rozlišit na tři základní stupně, a to na:

- potřebu
- požadavek
- poptávku

Potřeba dopravy vychází z předpokladu, že doprava je jedním z faktorů ovlivňující kvalitu života. Dostupnost přepravních služeb je proto velmi důležitá a každý člověk by měl mít přístup alespoň k několika typům těchto služeb. Potřebou se rozumí obecné vyjádření potřeb společnosti po dopravě.

Požadavek dopravy je již konkrétnějším vyjádřením potřeb. Přeprava je vnímána, jako jedna z možností, jak dosáhnout určitého cíle. Bere se v úvahu, že je tu taková možnost řešení lidských potřeb, ale stále není určen druh dopravy. Lidské potřeby tedy můžou, ale nemusí být uspokojeny prostřednictvím dopravy.

Poptávka po dopravě je již konkretizovaný požadavek, kdy se osoba stává zákazníkem dopravce určitého druhu dopravy. Je tedy určeno jakým druhem dopravy přeprava proběhne. Tato skutečnost je jistá až v případě podepsání smlouvy popřípadě vyplněním přepravních listin nebo zakoupení jízdního dokladu. Z těchto skutečností vyplývá fakt, že požadavky na dopravu jsou mnohem vyšší než poptávka po dopravě, jelikož se jedná pouze o potenciální přepravní službu.

V dopravním sektoru je důležité také rozlišit poptávku původní a odvozenou. Původní neboli originální poptávka po dopravě je taková, která se vyskytuje v případě, kdy se přeprava uskutečňuje z vlastní vůle cestujícího, tj. například z čisté radosti z cestování. Naproti tomu odvozená poptávka neboli derivativní je taková, kdy je nutné hledat příčinu vzniku poptávky

v jiných oblastech než je doprava. Takový typ poptávky vzniká například v nutnosti návštěvy lékaře nebo pokud podnik usiluje o dopravu, jako o možnost přemístit své výrobky do skladu či prodejny. Jestliže poroste poptávka po výrobcích, poroste také poptávka po dopravě a dopravních zařízeních. Poptávka po dopravě je z převážné většiny případů poptávkou odvozenou.

Přepravní poptávku můžeme dále klasifikovat, jako poptávku aposteriorní a apriorní. Aposteriorní poptávka je poptávkou po využití konkrétní nabízené služby, tzn. například, že v určitý čas daný jízdním řádem jezdí do konkrétní školy určitý počet žáků. Apriorní poptávka je poptávka, která objektivně existuje a v příslušném dopravním systému by se uplatnila, kdyby existovala adekvátní nabídka. Apriorní poptávku dále rozlišujeme podle vztahu k dopravci na adresní a neadresní poptávku a z časového hlediska na poptávku jednorázovou a opakovanou. Adresní neboli explicitní poptávka je dána přímo přepravcem, který své požadavky přímo „řekne“ buď konkrétnímu dopravci nebo u několika dopravců, kteří mu vytvoří nabídku. Neadresní poptávka neboli implicitní (skrytá) poptávka se musí u přepravců zjišťovat. Jednorázová poptávka se týká přepravy jednoho elementu nebo dávky a souvisí především s adresní podobou poptávky. Posledním typem apriorní poptávky je poptávka opakovaná, která je dlouhodobá a projevuje se, jako proud nebo posloupnost dávek.

Zjišťování poptávky po přepravě se provádí převážně z toho důvodu, aby podnik zjistil jakou má nastavit úroveň ceny za poskytované služby. Zjišťuje se maximální hranice ceny, kterou je zákazník ochoten zaplatit za daný typ služby poskytované za daných okolností. Vedle ceny hraje důležitou roli několik dalších faktorů, které působí na zákazníka a ovlivňují jeho rozhodnutí.

2.4 Faktory ovlivňující poptávku v dopravě

Poptávka je ovlivňována faktory působícími pozitivně nebo negativně. Pozitivně působící faktory jsou faktory, které zvyšují poptávku, a to jsou např. růst výroby, růst počtu obyvatelstva, růst příjmů, atd. Negativní působení faktorů má za následek snižování poptávky, např. nevhodně zvolená cena služby, nepříznivé mimoekonomické důsledky, působení dopravních špiček atd. Vliv jednotlivých faktorů na poptávku není vždy bezprostřední, ale může se projevit s časovým zpožděním. Podle Melichara a Ježka [6], 2001 je poptávka obecně ovlivněna cenou zboží P_i , cenou ostatního zboží P_j a úrovní příjmů (důchodů) I a určitou mírou spotřebitelského vkusu t .

Potom platí:

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

Obecný algebraický zápis lze vyjádřit v podobě konkrétní rovnice, která má následující tvar:

$$Q = a \cdot P_i^b \cdot P_j^c \cdot I^d \cdot e^t$$

kde a, b, c, d a t jsou konstanty. Konstanta b určuje cenovou elasticitu poptávky, c křížovou elasticitu a d příjmovou elasticitu poptávky a e^t je vyjádřením trendu pro spotřebitelský vkus.

2.4.1 Cena

Obecně platí, že čím je nižší cena tím je vyšší poptávka. To však nemusí platit například u některého luxusního zboží nebo služeb s vysokou kvalitou. V dopravě je nutné se dívat na cenu ze dvou hledisek. Jedním z nich je vnímání ceny, jako peněžního nákladu na jízdné. Druhým hlediskem je vliv ceny dopravních služeb na konečnou cenu zboží. Změna tarifních sazeb může způsobit snížení nebo naopak zvýšení ceny zboží. Důležitou roli také hrají umístění výrobních prostor podniku a jeho napojení na prodejní síť.

2.4.2 Úroveň příjmů

Úroveň příjmů hraje v dopravě velkou roli, neboť s růstem příjmů roste množství cestování jednotlivců nebo rodin. Lidé s větším příjmem více cestují na dovolenou nebo naopak více cestování vyžaduje jejich práce. Odvrácenou stranou vyšších příjmů je nárůst individuální automobilové dopravy. Vlastnictví automobilu je z finančního hlediska mnohem snazší a může docházet k negativním postojům vůči veřejné dopravě.

2.4.3 Relativní ceny ostatních přepravních služeb

Vliv relativních cen ostatních přepravních služeb na poptávku je založen na subjektivním vnímání nákladů vynaložených na přepravní službu a její dostupnosti pro konkrétní osobu. Ceny ostatních přepravních služeb nemají na zákazníka vliv v případech, kdy nemá zákazník na výběr z více možností přepravních služeb (jediné spojení z místa bydliště je např. autobus).

2.4.4 Rychlost služby

Rychlost přepravních služeb je vnímána relativně kriticky a většina cestujících volí rychlejší způsob přepravy, pokud mají na výběr. Převážně podnikatelé jejichž čas je „vzácný“ se snaží strávit cestováním co možná nejméně času. K těmto účelům jsou ve velké míře využívány vysokorychlostní tratě, které jsou značnou konkurencí pro leteckou dopravu. V silniční dopravě se zvyšování rychlosti dopravy projevuje využíváním dálniční sítě a tím snížení nákladů na pohonné hmoty, maziva a údržbu vozidel. Dodavatelé tak mohou snížit tarifní sazby a nižší cena má kladný vliv na zvyšování poptávky.

2.4.5 Kvalita přepravní služby

Mezi kvalitativní faktory působící na poptávku řadíme frekvenci přepravních služeb, úroveň služeb a pohodlí, spolehlivost a bezpečnost.

Frekvencí přepravních služeb se rozumí příjezdové a odjezdové časy dopravních prostředků. Tyto časy by měly být nastaveny tak, aby vyhovovaly přáním a potřebám zákazníků. V současné době je již samozřejmostí pokrytí časových úseků, kdy lidé dojíždějí do zaměstnání, škol a naopak když pracovní doba končí. Dalším kvalitativním faktorem je úroveň služeb a pohodlí, které souvisí s informovaností zákazníků, kvalitou dopravních prostředků, s dodržováním jízdních řádů, atd. Nedílnou součástí kvalitních přepravních služeb je spolehlivost dopravce a samozřejmě bezpečnost, která může z krátkodobého hlediska snížit poptávku po určitém druhu dopravy. V tomto případě se převážně jedná o leteckou dopravu. Asi nejvíce lidí má strach z létání a raději volí alternativní druhy doprav. Ve srovnání s dopravou silniční je však letecká doprava mnohonásobně bezpečnější. Většinu lidí odradí letecká neštěstí než každodenní nehody na pozemních komunikacích.

Dalšími faktory působícími na poptávku jsou vkus či záliba poptávat přepravní služby, velikost populace (počet a rozmístění obyvatel) a dostupnost ostatních přepravních služeb.

2.5 Metody matematického modelování

Každého dopravce zajímá poptávka po přepravních službách a je v jejich zájmu tuto poptávku zjišťovat nebo alespoň odhadovat. Po zjištění poptávky je vhodné ji vyjádřit pomocí matematického modelu. Metody zjišťování informací pro potřeby sestavení modelu se provádějí pomocí průzkumů nebo výpočtů.

Mezi metody průzkumu patří:

- pozorování, při němž si pozorovatel zaznamenává potřebné údaje,
- dotazování, při kterém tazatel zjišťuje data na předem určeném stanovišti (př. zastávka MHD, vlakové nádraží, zastávka metra, atd.),
- vytahování, kdy se používají již existující údaje a vybírají se z nich informace potřebné pro sestavení modelu.

Zjišťování informací o poptávce pomocí výpočtů se provádí ze statistických údajů potřebného rozsahu. Výpočty probíhají pomocí systému řešení soustavy rovnic či nerovnic. Hlavním cílem je matematický popis dějů probíhajících závislostí mezi statistickými daty. K těmto účelům se využívá korelační a regresní analýza a analýza časových řad. Jejich úkolem je popis průběhů závislostí a jejich intenzity.

2.5.1 Regresní analýza

Regresní analýza je zaměřena na zjišťování závislostí mezi proměnnými. Podle Pojkarové [7], 2006 je úkolem korelační analýzy zkoumání jednostranných závislostí mezi vysvětlujícími a vysvětlovanými proměnnými. Vysvětlující proměnné jsou nezávisle proměnné v úloze příčin a vysvětlované proměnné jsou závisle proměnné v úloze následků. V případě zkoumání vztahů dvou proměnných se o regresní analýze hovoří, jako o jednoduché nebo-li párové analýze. Při zkoumání vztahů mezi více proměnnými se používá vícenásobná regresní analýza.

„Snahou regresní analýzy je nalézt takovou idealizující matematickou funkci, která bude co nejlépe vyjadřovat charakter závislosti a co nejvěrněji zobrazovat průběh změn podmíněných průměrů závisle proměnné.“⁷ Touto funkcí je regresní funkce. Cílem regresní analýzy je přiblížení empirické regresní funkce - funkce, kterou lze skutečně vyčíslit a vypočítat, k hypotetické (teoretické) funkci. Označíme-li teoretickou regresní funkci jako η_i , pak pro všechna pozorování platí vztah:

$$y_i = \eta_i + \varepsilon_i$$

⁷ POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonomie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. s. 18. ISBN 80-7194-868-3.

η_i i-tá hodnota teoretické regresní funkce
 ε_i odchylka y_i od η_i (náhodná složka)
 y_i i-tá hodnota vysvětlované proměnné y

Odchylka ε_i vyjadřuje působení jiných vlivů na vysvětlovanou proměnnou než pouze vysvětlující proměnné x . Dochází tedy k nepřesnostem při vyjádření závislosti. Odchylku ε_i lze nazvat náhodnou veličinou. Pokud model neobsahuje náhodnou veličinu, teoretická regresní funkce platí s pravděpodobností rovné jedné a mezi proměnnými x a y existuje pevná závislost. Tento model se nazývá deterministický. Naopak model obsahující náhodnou veličinu je nazýván modelem stochastickým.

Dále jsou definovány parametry regresní funkce, které jsou označeny $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$.

$$\eta_i = f(x_i; \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$$

a hypotetická regresní funkce má tvar:

$$Y_i = f(x_i; b_0, b_1, \dots, b_p)$$

Odhady parametrů regresní funkce se provádějí na základě několika metod. Nejběžnější z nich je metoda nejmenších čtverců. Tato metoda je založena na odhadech minimalizujících součet čtvercových odchylek. „Stanovení empirické regresní funkce v podstatě znamená, že se každá empirická hodnota y_i nahradí určitou vyrovnanou hodnotou Y_i , která bude ležet na zvolené regresní čáře.“⁸ Podstata metody nejmenších čtverců vychází z následujícího vztahu:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 x_{i0} - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2} - \dots - \beta_m x_{im})^2 = \min$$

„Tato podmínka je splněna, když všechny první parciální derivace podle jednotlivých parametrů β_j jsou rovny nule, přičemž se skutečné hodnoty β_j nahrazují odhadem b_j “⁹

⁸ POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonometrie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. s. 19. ISBN 80-7194-868-3.

⁹ POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonometrie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. s. 20. ISBN 80-7194-868-3.

$$\frac{\partial S}{\partial b_0} = 0, \frac{\partial S}{\partial b_1} = 0, \dots, \frac{\partial S}{\partial b_n}$$

Po úpravě předchozích rovnic jsou odvozeny vzorce, které slouží k výpočtům parametrů regresní funkce popisující závislost mezi dvěma proměnnými – vysvětlované proměnné (y) a vysvětlující proměnné (x). Pro regresní přímkou mají tvar:

$$b_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b_0 = \frac{\sum y_i}{n} - b_1 \frac{\sum x_i}{n}$$

Základním předpokladem pro sestavování kvalitního ekonometrického modelu je správný výběr vhodného typu regresní funkce. Nevhodně použitý typ regresní funkce může vést k milným závěrům. K eliminaci chyb se využívají různé postupy. Jednou z nich je grafická metoda, kdy jsou proměnné znázorněny pomocí bodového diagramu a na základě průběhu vnesených hodnot je stanoven nejvhodnější typ regresní funkce.

Pokud již typ regresní funkce je stanoven a na základě toho vypočítány parametry regresní funkce lze pomocí hodnotících a testovacích kritérií posoudit její vypovídací schopnost. K hodnocení intenzity závislosti a kvality regresní funkce se využívá index determinace. „Nabývá hodnot z intervalu <0;1> a určuje, jakou část celkové variability pozorovaných hodnot lze vysvětlit daným modelem.“¹⁰ Pro soubory malého rozsahu se využívá upravený index determinace, který zohledňuje rozsah výběru a počet parametrů regresního modelu. K ověření významnosti parametrů v modelu a stanovení zda mají vysvětlující proměnné vliv na vysvětlovanou proměnnou se využívají celkový F-test a individuální t-test.

Celkový F-test testuje nulovou hypotézu o nulové hodnotě regresních parametrů $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = 0$, oproti alternativní hypotéze, která říká, že alespoň jeden z parametrů je nenulový a má v modelu význam. Testovací kritérium má rozdělení F s (p-1) a (n-p) stupni volnosti.

¹⁰ POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonometrie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. s. 20. ISBN 80-7194-868-3.

Individuální t-test testuje nulovou hypotézu o nulové hodnotě parametru $H_0: \beta_j = 0$, $j = 0, 1, 2, \dots, k$, která říká, že vysvětlující proměnná x_j nemá žádný vliv na vysvětlovanou proměnnou y , oproti hypotéze alternativní. Testovací kritérium má rozdělení t s $(n-2)$ stupni volnosti.

2.5.2 Korelační analýza

Korelační analýza také slouží k poznání vztahů mezi veličinami, ale jejím hlavním cílem je zjištění intenzity nebo-li síly těchto vztahů. Rozlišují se jednoduché lineární korelace a vícenásobné korelace.

Jednoduchá lineární korelace vychází ze dvou proměnných x_1 a x_2 . Tyto proměnné lze vyjádřit pomocí sdružených regresních přímk, které mají následující tvar:

$$y_1 = \alpha_{12} + \beta_{12}x_2 + \varepsilon_2$$

$$y_2 = \alpha_{21} + \beta_{21}x_1 + \varepsilon_1$$

Odhady regresních koeficientů sdružených regresních přímk se provádějí pomocí metody nejmenších čtverců. Pomocí této metody lze odvodit následující rovnice pro jejich výpočet:

$$a_{21} = \frac{\sum x_{2i}}{n} - b_{21} \frac{\sum x_{1i}}{n}$$

$$b_{21} = \frac{n \sum x_{1i}x_{2i} - \sum x_{1i} \sum x_{2i}}{n \sum x_{1i}^2 - (\sum x_{1i})^2}$$

$$a_{12} = \frac{\sum x_{1i}}{n} - b_{12} \frac{\sum x_{2i}}{n}$$

$$b_{12} = \frac{n \sum x_{1i}x_{2i} - \sum x_{1i} \sum x_{2i}}{n \sum x_{2i}^2 - (\sum x_{2i})^2}$$

Pro měření těsnosti závislosti jednotlivých proměnných se využívá korelační koeficient, který nabývá hodnot z intervalu $\langle -1; 1 \rangle$. „Rostou-li s hodnotami jedné proměnné hodnoty druhé proměnné, jedná se o přímou lineární závislost, korelační koeficient má kladné znaménko a blíží se k 1. V případě nelineární závislosti se korelační koeficient blíží -1. Je-li hodnota korelačního koeficientu rovna nule, potom mezi proměnnými není lineární závislost,

proměnné jsou nekorelované.“¹¹ Pro výpočet těsnosti závislosti se používá výběrový korelační koeficient, který je bodovým odhadem korelačního koeficientu. Vztah pro výpočet je následující:

$$r_{12} = \frac{n \sum x_{1i} x_{2i} - \sum x_{1i} \sum x_{2i}}{\sqrt{\left[n \sum x_{1i}^2 - \left(\sum x_{1i} \right)^2 \right] \cdot \left[n \sum x_{2i}^2 - \left(\sum x_{2i} \right)^2 \right]}}$$

Jelikož ani vysoká hodnota korelačního koeficientu nemusí znamenat příčinnou závislost mezi proměnnými, obzvláště u souborů malého rozsahu, provádí se test významnosti korelačního koeficientu. Je testována nulová hypotéza o nulové hodnotě korelačního koeficientu, která dokazuje lineární nezávislost proměnných x_1 a x_2 . Testovací kritérium má rozdělení t s $(n-2)$ stupni volnosti.

U vícenásobné korelace dochází k potřebě zkoumání závislosti více, jak dvou proměnných, tzn. x_1, x_2, \dots, x_k . Pro tyto případy se používá párový koeficient korelace, který charakterizuje těsnost závislosti proměnné y na všech proměnných x_1 až x_k a sestavuje se do korelační matice, která je symetrická podle hlavní diagonály.

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Dále se využívá dílčí koeficient korelace, který vystihuje těsnost závislosti mezi dvěma proměnnými při vyloučení vlivu ostatních proměnných a nabývá hodnot z intervalu $\langle -1; 1 \rangle$ a vícenásobný koeficient korelace, který nabývá hodnot z intervalu $\langle 0; 1 \rangle$ a čím je tento koeficient větší, tím je závislost mezi proměnnými těsnější.

2.5.3 Analýza časových řad

„Časová řada je posloupnost věcně a prostorově srovnatelných pozorování, která jsou jednoznačně uspořádána z hlediska času ve směru minulost – přítomnost. Analýzou časových

¹¹POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonometrie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. s. 28. ISBN 80-7194-868-3.

řad se rozumí soubor metod, které slouží k popisu těchto řad.¹² Časové řady lze členit podle několika hledisek. Jejich členění je důležité pro výběr vhodných prostředků analýzy. Podle Segera, Hindlse a Hronové [8], 1998 jsou základní druhy časových řad následující:

- podle rozhodného časového hlediska to jsou časové řady
 - okamžikové
 - intervalové
- podle periodicity sledování údajů to jsou časové řady
 - roční (dlouhodobé)
 - krátkodobé
- podle druhu sledovaných ukazatelů to jsou časové řady
 - primárních (prvotních) ukazatelů
 - sekundárních (odvozených) ukazatelů
- podle způsobu vyjádření časových řad to jsou časové řady
 - naturálních ukazatelů
 - peněžních ukazatelů

Důležitým předpokladem pro analýzu časových řad je jejich věcná, prostorová a časová srovnatelnost. K věcné nesrovnalosti může docházet například při změně způsobu zjišťování údajů. K prostorové nesrovnalosti při změně organizačního uspořádání společnosti (přechod na jinou právní formu) a k časové nesrovnalosti dochází při změnách cen nebo u intervalových ukazatelů časových řad.

Základním přístupem k modelování časových řad je jednorozměrný model ve tvaru:

$$y_t = f(t, \varepsilon_t)$$

y_t hodnota modelovaného ukazatele v čase t

t časová proměnná, $t = 1, 2, \dots, n$

ε_t náhodná složka v čase t

„Popis tendence vývoje analyzované časové řady je jedním z nejdůležitějších úkolů analýzy časových řad.“¹³ K charakteristice trendu časové řady se používá její vyrovnání

¹² POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonometrie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. s.34. ISBN 80-7194-868-3.

¹³ SEGER, Jan; HINDLS, Richard; HRONOVÁ, Stanislava. *Statistika v hospodářství*. Praha: ETC Publishing, 1998. s. 339. ISBN 80-86006-56-5.

trendovou funkcí. Přičemž parametry trendové funkce se vypočítají na základě metody nejmenších čtverců. Touto metodou lze přímo získat odhady parametrů lineární a parabolické trendové funkce.

Lineární trend je jednou z nejpoužívanějších trendových funkcí neboť lze použít vždy pro určení orientačního směru vývoje analyzované časové řady. Trendová přímka má tvar:

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t$$

β_0, β_1 parametry funkce

t časová proměnná, $t = 1, 2, \dots, n$

Řešením soustavy normálních rovnic se získají vztahy pro odhady parametrů ve tvaru:

$$b_1 = \frac{\sum t y_t - \bar{t} \sum y_t}{\sum t^2 - n \bar{t}^2}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{t}$$

Pro provedení předpovědi (extrapolaci) časové řady o další období dopředu, se do výsledné trendové funkce za proměnnou t dosadí $t = n+1, n+2, \text{atd.}$ Tímto způsobem se získají bodové předpovědi pro budoucí období. Pro formulování přijatelnějšího závěru o budoucím vývoji proměnné se využívají pravděpodobností předpovědní intervaly, ve kterých lze na zvolené hladině spolehlivosti očekávat vývoj časové řady.

Interval předpovědi je dán vztahem:

$$\hat{T}_P - t_{1-\alpha/2} [n-2] s h_P < T_P < \hat{T}_P + t_{1-\alpha/2} [n-2] s h_P$$

kde T_P je hodnota trendové funkce v čase P a $P > n$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n y_t^2 - \sum_{t=1}^n \hat{T}_t^2}{n-2}}$$

$$h = \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(P - \bar{t})^2}{\sum t^2 - n \bar{t}^2}}$$

Druhým typem trendové funkce, pro kterou lze přímo získat odhady parametrů pomocí metody nejmenších čtverců je parabolická trendová funkce. Tvar funkce je následující:

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$$

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ parametry funkce

t časová proměnná, $t = 1, 2, \dots, n$

Řešením soustavy normálních rovnic se získají vztahy pro odhady parametrů ve tvaru:

$$b_1 = \frac{\sum y_t t'}{\sum t'^2}$$

$$b_0 = \frac{\sum y_t \sum t'^4 - \sum t'^2 \sum y_t t'^2}{n \sum t'^4 - (\sum t'^2)^2}$$

$$b_2 = \frac{n \sum y_t t'^2 - \sum y_t \sum t'^2}{n \sum t'^4 - (\sum t'^2)^2}$$

Pro provedení předpovědi (extrapolaci) se postupuje stejně, jako u přímkové trendové funkce pouze s tím rozdílem, že se použije obměněné vztahy pro stanovení pravděpodobnostního předpovědního intervalu.

Interval předpovědi je dán vztahem:

$$\hat{T}_P - t_{1-\alpha/2}[n-3]sh_P < T_P < \hat{T}_P + t_{1-\alpha/2}[n-3]sh_P,$$

kde:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n y_t^2 - \sum_{t=1}^n \hat{T}_t^2}{n-2}}$$

$$h = \sqrt{1 + (1PP^2)(XX)^{-1}(1PP^2)'}$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & n & n^2 \end{bmatrix}, X' \text{ značí transpozici matice } X$$

2.5.4 Korelace mezi časovými řadami

Korelace časových řad se využívá ke zjištění existence souvislostí a vazeb, které mohou vysvětlit změny v jedné časové řadě změnami v časové řadě druhé. Při zkoumání příčinných vztahů mezi časovými řadami se nelze zaměřit pouze na zkoumání celkové vývojové tendence nebo sezónní kolísání, neboť tyto faktory mohou mít podobný průběh. Z toho důvodu se provádí zkoumání náhodné složky. Pokud je nalezena závislost mezi náhodnými složkami, lze předpokládat existenci vzájemných příčinných závislostí také mezi časovými řadami.

„Pro zkoumání, zda vztah mezi proměnnými je příčinný, je možné použít metody měření těsnosti závislosti řad náhodné složky, tj. řad očištěných od trendu.“¹⁴ Vychází se z jednorozměrného modelu ve tvaru:

$$y_t = T_t + \varepsilon_t$$

kde y_t je hodnota časové řady, T_t hodnota trendové složky a ε_t je hodnota náhodné složky. Při zkoumání závislosti mezi časovými řadami se odhadne průběh trendu stanovených řad a získá se tak posloupnost trendových hodnot \hat{T}_y . Potom se přistoupí ke korelaci reziduálních hodnot, které získáme ze vztahu:

$$e_y = y_t - \hat{T}_y$$

Získané hodnoty se dosadí do vzorce pro výpočet koeficientu korelace reziduí, který je totožný se vzorcem pro výpočet koeficientu korelace. Hodnoty koeficientu korelace reziduí nabývají hodnot z intervalu $\langle -1; 1 \rangle$ a pro jeho znaménko platí totéž jako u koeficientu korelace.

„K ověření předpokladu, který je možné učinit o náhodné složce, se používají různé testy založené na reziduích.“¹⁵

¹⁴ SEGER, Jan; HINDLS, Richard; HRONOVÁ, Stanislava. *Statistika v hospodářství*. Praha: ETC Publishing, 1998. s. 445. ISBN 80-86006-56-5.

¹⁵ POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonometrie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. s. 52. ISBN 80-7194-868-3.

Mezi tyto testy patří:

- Znaménkový test
- Test bodů obratu
- Durbin-Watsonův test autokorelace

Znaménkový test a test bodů obratu se využívá pro stanovení zda jsou rezidua náhodně uspořádaná. V případě znaménkového testu se vyčíslí počet případů S , kde $S = e_{t-1} - e_t$ a na základě testovacího kritéria se testuje nulová hypotéza, která říká, že by se střední hodnota měla rovnat $\frac{n-1}{2}$. Rezidua jsou náhodně uspořádaná pokud je nulová hypotéza přijata, tzn., že hodnota testovacího kritéria leží v oboru přijetí, které je dáno kvantily $u_{1-\alpha/2}$ normovaného normálního rozdělení. Testovací kritérium má tvar:

$$U = \frac{\sqrt{12} \left[S - \frac{1}{2}(n-1) \right]}{\sqrt{n+1}}$$

Test bodů obratu je založen na vyčíslení počtu případů P , kde P je počet vrcholů a dolíků řady. Testuje se nulová hypotéza, která říká, že střední hodnota je rovna $\frac{2(n-2)}{3}$. Rezidua jsou náhodně uspořádaná pokud je nulová hypotéza přijata, tzn., že hodnota testovacího kritéria leží v oboru přijetí, které je dáno kvantily $u_{1-\alpha/2}$ normovaného normálního rozdělení.

Testovací kritérium má tvar:

$$U = \frac{\sqrt{90} \left[P - \frac{2}{3}(n-2) \right]}{\sqrt{16n-29}}$$

Posledním testem je DW test autokorelace, pomocí kterého se určuje nezávislost reziduí. Nezávislost reziduí se testuje na základě stanovení nulové hypotézy, jejímž přijetím je nezávislost potvrzena.

Testovací kritérium má tvar:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}$$

Statistika se pohybuje okolo čísel 0, 2 a 4. Pokud jsou náhodné složky nezávislé blíží se hodnota DW k číslu 2. V případě přímé závislosti se blíží k 0 a v případě nepřímé závislosti se hodnota pohybuje kolem čísla 4.

3 Návrh modelu poptávky po železniční osobní dopravě ČD, a. s.

Pro sestavení modelu poptávky je využita vícenásobná regresní analýza. Model je sestaven ve dvou variantách. První je modelován na základě vlivu jednotlivých druhů cen na objem přepravy a druhý na základě vybraných ukazatelů, prostřednictvím kterých byly tyto ceny vypočítány. Mezi tyto ceny patří:

- skutečná cena (příjmová sazba) = tržby osobní dopravy/přepravní výkon
- nákladová cena = náklady osobní dopravy/přepravní výkon
- ekonomická cena = náklady na osobní dopravu/místo-km

Pro výpočet skutečné, nákladové a ekonomické ceny byly využity údaje z Ročenek a Výročních zpráv Českých drah a. s. auditované v souladu s ustanovením § 10 zákona č. 77/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Tyto data se vztahují k přepravnímu výkonu, nabízené kapacitě, tržbám a nákladům za osobní dopravu.

Výpočet je proveden z tabulky č. 6 obsahující všechny potřebné informace k sestavení modelu.

Tabulka č. 6: Statistická data pro výpočet regresní funkce

Rok	Objem přepravy	Přepravní výkon	Nabízená kapacita	Tržby	Náklady	C _S	C _N	C _E
2003	170,3	6 109,7	27 542	3 531,2	15 596	0,58	2,55	0,57
2004	177,2	6 185,3	26 996	3 743,7	15 517	0,61	2,51	0,57
2005	176,5	6 251,0	27 617	3 918,7	15 914	0,63	2,55	0,58
2006	179,0	6 530,0	27 909	4 198,6	16 553	0,64	2,53	0,59
2007	180,0	6 493,7	28 573	4 456,7	17 442	0,69	2,69	0,61
2008	172,7	6 283,7	29 498	4 468,4	22 134	0,71	3,52	0,75

Zdroj: Výroční zpráva ČD 2004, 2005, 2006, 2007 a 2008 [20], Ročenka ČD 2005 a 2008 [21], autor

C_S skutečná cena - příjmová sazba (v Kč/oskm)

C_N nákladová cena (v Kč/oskm)

C_E ekonomická cena (v Kč/místokm)

3.1 Výsledky regresní analýzy

3.1.1 Vliv cen na objem přepravy

K výpočtu se využije vztah pro vícenásobný lineární regresní model, jehož úpravou dostaneme odhadnutou vícenásobnou regresní funkci ve tvaru:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

kde

- závisle proměnná y (počet cestujících)
- nezávisle proměnné: x_1 (skutečná cena), x_2 (nákladová cena) a x_3 (ekonomická cena)
- parametry zvolené regresní funkce b_0 , b_1 , b_2 , b_3

Výsledná rovnice má tvar:

$$Y = 140,99 + 66,04x_1 - 34,16x_2 + 139,98x_3$$

$b_0 = 140,99$ → Parametr b_0 vyjadřuje, jaký se přepraví počet cestujících, pokud proměnné x_1 , x_2 , x_3 se rovnají nule. V tomto případě je přepraveno 140,99 mil. cestujících za rok.

$b_1 = 66,04$ → Parametr b_1 vyjadřuje, jak se průměrně změní počet cestujících při jednotkové změně proměnné x_1 (skutečná cena) za předpokladu, že ostatní proměnné x_2 , x_3 jsou neměnné. V tomto případě vzroste počet cestujících o 66,04 mil. osob za rok.

$b_2 = -34,16$ → Parametr b_2 vyjadřuje průměrnou změnu počtu cestujících při jednotkové změně proměnné x_2 (nákladová cena) za předpokladu, že ostatní proměnné x_1 , x_3 jsou neměnné. V tomto případě klesne počet cestujících o 34,16 mil. osob za rok.

$b_3 = 139,98$ → Parametr b_3 vyjadřuje průměrnou změnu počtu cestujících při jednotkové změně proměnné x_3 (ekonomická cena) za předpokladu, že ostatní proměnné x_1 , x_2 jsou neměnné. V tomto případě vzroste počet cestujících o 139,98 mil. osob za rok.

Koeficient determinace R^2 , pomocí kterého lze vyjádřit intenzitu závislosti mezi proměnnými, je roven 0,9433 nebo-li 94,33 %. Odhadnutá regresní funkce je tedy spolehlivá

a kvalita odhadnutého modelu je vysoká. V závislosti na stanoveném intervalu spolehlivosti, ve kterém se odhadnuté parametry mohou pohybovat je zřejmé, že u parametrů b_1 , b_2 , b_3 je dolní hranice záporná a horní kladná, tudíž mohou být parametry nulové. Kompletní výsledek regresní analýzy je uveden v příloze č. 3.

3.1.2 Vliv vybraných ukazatelů na objem přepravy

K výpočtu se využije vztah pro vícenásobný lineární regresní model, jehož úpravou dostaneme odhadnutou vícenásobnou regresní funkci ve tvaru:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$$

kde

- závisle proměnná y (počet cestujících)
- nezávisle proměnné: x_1 (přepravní výkon), x_2 (nabízená kapacita), x_3 (tržby), x_4 (náklady)
- parametry zvolené regresní funkce b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4

Výsledná rovnice má tvar:

$$Y = 283,75 - 0,0034x_1 - 0,0054x_2 + 0,0192x_3 - 0,0007x_4$$

$b_0 = 283,75$ → Parametr b_0 vyjadřuje, jaký se přepraví počet cestujících, pokud proměnné x_1 , x_2 , x_3 a x_4 se rovnají nule. V tomto případě je přepraveno 283,75 mil. cestujících.

$b_1 = -0,0034$ → Parametr b_1 vyjadřuje, jak se průměrně změní počet cestujících při jednotkové změně proměnné x_1 (přepravní výkon) za předpokladu, že ostatní proměnné x_2 , x_3 a x_4 jsou neměnné. V tomto případě klesne počet cestujících o 3,4 tis. osob.

$b_2 = -0,0054$ → Parametr b_2 vyjadřuje průměrnou změnu počtu cestujících při jednotkové změně proměnné x_2 (nabízená kapacita) za předpokladu, že ostatní proměnné x_1 , x_3 a x_4 jsou neměnné. V tomto případě klesne počet cestujících o 5,4 tis. osob.

$b_3 = 0,0192$ → Parametr b_3 vyjadřuje průměrnou změnu počtu cestujících při jednotkové změně proměnné x_3 (tržby) za předpokladu, že ostatní proměnné x_1 , x_2 a x_4 jsou neměnné. V tomto případě vzroste počet cestujících o 19,2 tis. osob.

$b_4 = -0,0007 \rightarrow$ Parametr b_4 vyjadřuje průměrnou změnu počtu cestujících při jednotkové změně proměnné x_4 (náklady) za předpokladu, že ostatní proměnné x_1, x_2, x_3 jsou neměnné. V tomto případě klesne počet cestujících o 0,7 tis. osob.

Koeficient determinace R^2 , pomocí kterého lze vyjádřit intenzitu závislosti mezi proměnnými, je roven 0,9997 nebo-li 99,97 %. Odhadnutá regresní funkce je tedy spolehlivá a kvalita odhadnutého modelu je vysoká. V závislosti na stanoveném intervalu spolehlivosti, ve kterém se odhadnuté parametry mohou pohybovat je zřejmé, že u parametrů b_1, b_4 je dolní hranice záporná a horní kladná, tudíž mohou být parametry nulové. Kompletní výsledek regresní analýzy je uveden v příloze č. 4.

3.2 Individuální t – test

Pro ověření vlivu vysvětlujících proměnných x_j na vysvětlovanou proměnnou y_1 a pro ověření, zda alespoň jeden z parametrů má v daném modelu význam se použijí testy hypotéz o parametrech regresní funkce.

- **Vliv cen na objem přepravy**

$$H_0: \beta_0 = 0, \beta_1 = 0, \beta_2 = 0, \beta_3 = 0$$

H_1 : alespoň jeden regresní parametr není roven nule

$$|t| > t_{1-\alpha/2} (n-p)$$

$$|t| > t_{1-\alpha/2} (6-4) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

Tabulka č. 7: Výsledky individuálního t-testu regresní funkce – vliv cen

	$t = \frac{b_j}{s(b_j)}$	Operátor	$t_{0,975} (2)$	Hypotéza H_0
t_0	14,562	>	4,3027	zamítnuta
t_1	2,147484	<	4,3027	přijata
t_2	-2,23108	<	4,3027	přijata
t_3	1,401562	<	4,3027	přijata

Zdroj: autor

Z tabulky je patrné, že v případě vysvětlujících proměnných x_1, x_2, x_3 je přijata nulová hypotéza a zamítnuta hypotéza alternativní, tudíž se jedná o proměnné, které nemají žádný vliv na vysvětlovanou proměnnou y_1 (počet cestujících).

▪ **Vliv vybraných ukazatelů na objem přepravy**

$$H_0: \beta_0 = 0, \beta_1 = 0, \beta_2 = 0, \beta_3 = 0, \beta_4 = 0$$

H_1 : alespoň jeden regresní parametr není roven nule

$$|t| > t_{1-\alpha/2}(n-p)$$

$$|t| > t_{1-\alpha/2}(6-5) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

Tabulka č. 8: Výsledky individuálního t-testu regresní funkce – vliv vybraných ukazatelů

	$t = \frac{b_j}{s(b_j)}$	Operátor	$t_{0,975}(1)$	Hypotéza H_0
t_0	38,69895	>	12,706	zamítnuta
t_1	-3,12954	<	12,706	přijata
t_2	-20,9963	>	12,706	zamítnuta
t_3	26,77857	>	12,706	zamítnuta
t_4	-6,67752	<	12,706	přijata

Zdroj: autor

Z tabulky je patrné, že v případě vysvětlujících proměnných x_1, x_4 je přijata nulová hypotéza a zamítnuta hypotéza alternativní, tudíž se jedná o proměnné, které nemají žádný vliv na vysvětlovanou proměnnou y (počet cestujících). Na základě zamítnutých nulových hypotéz mají ostatní vysvětlující proměnné vliv na objem přepravy.

3.3 F – test

▪ **Vliv cen na objem přepravy**

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

H_1 : alespoň jeden regresní parametr není roven nule

$$F = \frac{S_T}{p-1} : \frac{S_R}{n-p}$$

$$F > F_{1-\alpha}(p-1; n-p)$$

$$F > F_{1-\alpha}(4-1; 6-4) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$11,095362 > 9,552$$

Nulová hypotéza je zamítnuta a je přijata hypotéza alternativní. Celkový F-test dokazuje, že alespoň jeden z parametrů má v modelu význam, je nenulový.

▪ **Vliv vybraných ukazatelů na objem přepravy**

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

H_1 : alespoň jeden regresní parametr není roven nule

$$F = \frac{S_T}{p-1} : \frac{S_R}{n-p}$$

$$F > F_{1-\alpha}(p-1; n-p)$$

$$F > F_{1-\alpha}(5-1; 6-5) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$921,4953 > 7,709$$

Nulová hypotéza je zamítnuta a je přijata hypotéza alternativní. Celkový F-test dokazuje, že alespoň jeden z parametrů má v modelu význam, je nenulový.

3.4 Výsledky korelační analýzy

Tabulka č. 9: Výsledky korelační analýzy – vliv cen

	Objem přepravy	Skutečná cena	Nákladová cena	Ekonomická cena
Objem přepravy	1			
Skutečná cena	0,286564821	1		
Nákladová cena	-0,365680455	0,759884144	1	
Ekonomická cena	-0,243892734	0,824519003	0,989689086	1

Zdroj: autor

Z výsledků provedené korelační analýzy lze usuzovat, že vzájemný vztah mezi počtem přepravených osob a skutečnou cenou je přímá lineární závislost, protože koeficient korelace se blíží k 1. Mezi počtem přepravených cestujících a nákladovou a ekonomickou cenou je nepřímá funkční lineární závislost, neboť koeficient korelace se blíží k -1. Závislosti jednotlivých druhů cen na objemu přepravy se pohybuje kolem nuly tudíž se jedná o volnější závislost mezi proměnnými. Koeficienty korelace však nemusí jednoznačně znamenat slabou závislost mezi proměnnými. Proměnné mohou být silně závislé, ne však lineárně.

Tabulka č. 10: Výsledky korelační analýzy – vliv vybraných ukazatelů

	Objem přepravy	Přepravní výkon	Nabízená kapacita	Tržby	Náklady
Objem přepravy	1				
Přepravní výkon	0,776044	1			
Nabízená kapacita	-0,10052	0,381651	1		
Tržby	0,447885	0,758353	0,842373	1	
Náklady	-0,2255	0,178295	0,937214	0,736435	1

Zdroj: autor

Z výsledků provedené korelační analýzy lze usuzovat, že vzájemný vztah mezi počtem přepravených osob a přepravním výkonem je přímo lineární. Koeficient korelace se blíží k 1. Zde lze předpokládat silnou funkční přímou lineární závislost. Mezi objemem přepravy a nabízenou kapacitou a objemem přepravy a náklady je nepřímá lineární závislost, jelikož se koeficient korelace blíží k -1. Hodnoty se pohybují kolem nuly. Lineární závislost mezi proměnnými je slabá. Pro závislost objemu přepravy a tržeb se koeficient korelace blíží k 1. Závislost je přímo lineární se střední silou závislosti.

3.5 Test významnosti korelačního koeficientu

Ke správnému rozhodnutí o korelačním koeficientu, tzn. k jaké hodnotě se blíží, zda k 1, 0 nebo -1 se využívá testovací hypotéza o nulové hodnotě.

- **Závislost: objem přepravy – skutečná cena**

$$r = 0,286564821$$

$$H_0: \rho_{yx} = 0; H_1: \rho_{yx} \neq 0$$

$$T = \frac{r_{yx} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{yx}^2}} = \frac{0,286564821 \sqrt{6-2}}{\sqrt{1-0,286564821^2}} = 0,5982$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-2) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$t_{0,975} (6-2) = 2,7764$$

$$0,5982 < 2,7764$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí (-2,7764; 2,7764). Nulová hypotéza je přijata a test neprokázal existenci přímé lineární závislosti.

- **Závislost: objem přepravy – nákladová cena**

$$r = -0,365680455$$

$$H_0: \rho_{yx} = 0; H_1: \rho_{yx} \neq 0$$

$$T = \frac{r_{yx} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{yx}^2}} = \frac{-0,365680455 \sqrt{6-2}}{\sqrt{1-(-0,365680455)^2}} = -0,7858$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-2) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$t_{0,975} (6-2) = 2,7764$$

$$-0,7858 < 2,7764$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí (-2,7764; 2,7764). Nulová hypotéza je přijata a test neprokázal lineární závislost proměnných.

▪ **Závislost: objem přepravy – ekonomická cena**

$$r = -0,243892734$$

$$H_0: \rho_{yx} = 0; H_1: \rho_{yx} \neq 0$$

$$T = \frac{r_{yx} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{yx}^2}} = \frac{-0,243892734 \sqrt{6-2}}{\sqrt{1-(-0,243892734)^2}} = -0,5029$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-2) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$t_{0,975} (6-2) = 2,7764$$

$$-0,5029 < 2,7764$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí (-2,7764; 2,7764). Nulová hypotéza je přijata a test neprokázal lineární závislost.

▪ **Závislost: objem přepravy – přepravní výkon**

$$r = 0,776044$$

$$H_0: \rho_{yx} = 0; H_1: \rho_{yx} \neq 0$$

$$T = \frac{r_{yx} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{yx}^2}} = \frac{0,776044 \sqrt{6-2}}{\sqrt{1-0,776044^2}} = 2,4609$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-2) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$t_{0,975} (6-2) = 2,7764$$

$$2,4609 < 2,7764$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí (-2,7764; 2,7764). Nulová hypotéza je přijata a testem nebyla prokázána přímá lineární závislost.

▪ **Závislost: objem přepravy – nabízená kapacita**

$$r = -0,10052$$

$$H_0: \rho_{yx} = 0; H_1: \rho_{yx} \neq 0$$

$$T = \frac{r_{yx} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{yx}^2}} = \frac{-0,10052 \sqrt{6-2}}{\sqrt{1-(-0,10052)^2}} = -0,2021$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-2) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$t_{0,975} (6-2) = 2,7764$$

$$-0,2021 < 2,7764$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí (-2,7764; 2,7764). Nulová hypotéza je přijata a test neprokázal lineární závislost.

▪ **Závislost: objem přepravy – tržby**

$$r = 0,447885$$

$$H_0: \rho_{yx} = 0; H_1: \rho_{yx} \neq 0$$

$$T = \frac{r_{yx} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{yx}^2}} = \frac{0,447885 \sqrt{6-2}}{\sqrt{1-0,447885^2}} = 1,0019$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-2) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$t_{0,975} (6-2) = 2,7764$$

$$1,0019 < 2,7764$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí (-2,7764; 2,7764). Nulová hypotéza je přijata a test neprokázal přímou lineární závislost.

▪ **Závislost: objem přepravy – náklady**

$$r = -0,2255$$

$$H_0: \rho_{yx} = 0; H_1: \rho_{yx} \neq 0$$

$$T = \frac{r_{yx} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{yx}^2}} = \frac{-0,2255 \sqrt{6-2}}{\sqrt{1-(-0,2255)^2}} = -0,4629$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-2) \text{ pro } \alpha = 0,05$$

$$t_{0,975} (6-2) = 2,7764$$

$$-0,4629 < 2,7764$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí (-2,7764; 2,7764). Nulová hypotéza je přijata a test neprokázal lineární závislost.

3.6 Korelace mezi časovými řadami

3.6.1 Korelace mezi objemem přepravy a skutečnou cenou

Trendová funkce pro objem přepravy a skutečnou cenu byla vybrána na základě grafického zobrazení hodnot. Pomocné výpočty pro rezidua a grafické zobrazení trendové funkce jsou uvedeny v příloze č. 5 a 6.

Trendová funkce pro objem přepravy: $Y_1 = -1,1396t^2 + 8,6319t + 163,02$

Trendová funkce pro skutečnou cenu: $Y_2 = 0,0013t^2 + 0,017t + 0,565$

▪ **Znaménkový test**

Pro výpočet znaménkového testu je nutné nejprve vyjádřit počet kladných hodnot S , kdy $e_t - e_{t-1} > 0$ pro $t = 1, 2, 3, \dots, n$

- Pro objem přepravy: $S = 3$

$$H_0: S = \frac{n-1}{2}; H_1: S \neq \frac{n-1}{2}$$

$$U = \frac{\sqrt{12} \left[S - \frac{1}{2}(n-1) \right]}{\sqrt{n+1}} = \frac{\sqrt{12} \left[3 - \frac{1}{2}(6-1) \right]}{\sqrt{6+1}} = 0,655$$

$u_{1-\alpha/2}$ pro $\alpha = 0,05$

$u_{0,975} = 1,96$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí $(-1,96; 1,96)$. Lze s 5 % rizikem přijmout nulovou hypotézu, podle které jsou rezidua náhodně uspořádaná.

- Pro skutečnou cenu: $S = 3$

$$H_0: S = \frac{n-1}{2}; H_1: S \neq \frac{n-1}{2}$$

$$U = \frac{\sqrt{12} \left[S - \frac{1}{2}(n-1) \right]}{\sqrt{n+1}} = \frac{\sqrt{12} \left[3 - \frac{1}{2}(6-1) \right]}{\sqrt{6+1}} = 0,655$$

$u_{1-\alpha/2}$ pro $\alpha = 0,05$

$u_{0,975} = 1,96$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí $(-1,96; 1,96)$. Lze s 5 % rizikem přijmout nulovou hypotézu, podle které jsou rezidua náhodně uspořádaná.

▪ **Test bodů obratu**

Pro test obratu je nejprve nutné zjistit počet vrcholů a dolíků řady.

- Pro objem přepravy: $P = 4$

$$H_0: P = \frac{2(n-2)}{3}; H_1: S \neq \frac{2(n-2)}{3}$$

$$U = \frac{\sqrt{90} \left[P - \frac{2}{3}(n-2) \right]}{\sqrt{16n-29}} = \frac{\sqrt{90} \left[4 - \frac{2}{3}(6-2) \right]}{\sqrt{96-29}} = 1,545$$

$u_{1-\alpha/2}$ pro $\alpha = 0,05$

$u_{0,975} = 1,96$

Hodnota testovacího kritéria leží v obor přijetí $(-1,96; 1,96)$. Lze s 5 % rizikem přijmout nulovou hypotézu, podle které jsou rezidua náhodně uspořádaná.

- Pro skutečnou cenu: $P = 4$

Test bodů obratu je proveden za stejných podmínek, jako pro objem přepravy. Výsledky testu jsou totožné. Nulová hypotéza je přijata. Rezidua jsou náhodně uspořádaná.

▪ Durbinův – Watsonův test autokorelace

Pro výpočet DW testu autokorelace jsou využity výpočty z tabulky uvedené v příloze č. 7. Hodnoty kritéria se pohybují kolem čísel 0, 2 a 4, kde hodnoty pohybující se okolo 2 jsou nezávislé, v případě přímé závislosti se blíží nule a u nepřímé závislosti k hodnotě 4.

- Pro objem přepravy

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} = \frac{36,5778}{13,06} = 2,80$$

Výsledná hodnota DW testu se pohybuje kolem čísla 2. Rezidua jsou nezávislá.

- Pro skutečnou cenu

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} = \frac{0,000915}{0,00310} = 2,9516$$

Výsledná hodnota DW testu se pohybuje kolem čísla 2. Rezidua jsou nezávislá.

- **Korelace reziduí (náhodných složek)**

$$r = 0,4665$$

Koeficient korelace reziduí se blíží k 1. Mezi rezidui existuje přímá lineární závislost. Jelikož je hodnota koeficientu nízká jedná se o slabou lineární závislost.

3.6.2 *Korelace mezi objemem přepravy a nákladovou cenou*

Trendová funkce pro objem přepravy a nákladovou cenu byla vybrána na základě grafického zobrazení hodnot. Pomocné výpočty pro rezidua a grafické zobrazení trendové funkce jsou uvedeny v příloze č. 5 a 6.

$$\text{Trendová funkce pro objem přepravy: } Y_1 = -1,1396t^2 + 8,6319t + 163,02$$

$$\text{Trendová funkce pro nákladovou cenu: } Y_2 = 0,0862t^2 - 0,4503t + 2,993$$

Další výpočty týkající se testů o náhodnosti uspořádání reziduí a jejich nezávislosti pro objem přepravy nebude dále ve výpočtech uváděn neboť výsledky výpočtu jsou stejné. Pro názornost se k příslušnému testu pouze uvede výsledek z předešlých výpočtů.

- **Znaménkový test**

- Pro objem přepravy: $S = 3$

$U = 0,655$; pro $\alpha = 0,05$ rezidua jsou náhodně uspořádaná

- Pro nákladovou cenu: $S = 3$

$$H_0: S = \frac{n-1}{2}; H_1: S \neq \frac{n-1}{2}$$

$$U = \frac{\sqrt{12} \left[S - \frac{1}{2}(n-1) \right]}{\sqrt{n+1}} = \frac{\sqrt{12} \left[3 - \frac{1}{2}(6-1) \right]}{\sqrt{6+1}} = 0,655$$

$u_{1-\alpha/2}$ pro $\alpha = 0,05$

$$u_{0,975} = 1,96$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí $(-1,96; 1,96)$. Lze s 5 % rizikem přijmout nulovou hypotézu, podle které jsou rezidua náhodně uspořádaná.

▪ **Test bodů obratu**

- Pro objem přepravy: $P = 4$

$U = 1,545$; $\alpha = 0,05$ nulová hypotéza je přijata, rezidua jsou náhodně uspořádaná

- Pro nákladovou cenu: $P = 3$

$$H_0: P = \frac{2(n-2)}{3}; H_1: S \neq \frac{2(n-2)}{3}$$

$$U = \frac{\sqrt{90} \left[P - \frac{2}{3}(n-2) \right]}{\sqrt{16n-29}} = \frac{\sqrt{90} \left[3 - \frac{2}{3}(6-2) \right]}{\sqrt{96-29}} = 0,386$$

$u_{1-\alpha/2}$ pro $\alpha = 0,05$

$u_{0,975} = 1,96$

Hodnota testovacího kritéria leží v obor přijetí $(-1,96; 1,96)$. Lze s 5 % rizikem přijmout nulovou hypotézu, podle které jsou rezidua náhodně uspořádaná.

▪ **Durbinův – Watsonův test autokorelace**

- Pro objem přepravy

$DW = 2,80$; rezidua jsou nezávislá

- Pro nákladovou cenu

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} = \frac{0,1995}{0,0908} = 2,1971$$

Výsledná hodnota DW testu se pohybuje kolem čísla 2. Rezidua jsou nezávislá.

▪ **Korelace reziduí (náhodných složek)**

$r = -0,2209$

Koeficient korelace reziduí se blíží k -1. Mezi rezidui je nepřímá lineární závislost. Z nízké hodnoty lze stanovit slabou nepřímou lineární závislost.

3.6.3 Korelace mezi objemem přepravy a ekonomickou cenou

Trendová funkce pro objem přepravy a ekonomickou cenu byla vybrána na základě grafického zobrazení hodnot. Pomocné výpočty pro rezidua a grafické zobrazení trendové funkce jsou uvedeny v příloze č. 5 a 6.

$$\text{Trendová funkce pro objem přepravy: } Y_1 = -1,1396t^2 + 8,6319t + 163,02$$

$$\text{Trendová funkce pro ekonomickou cenu: } Y_2 = 0,0132t^2 - 0,0631t + 0,632$$

▪ Znaménkový test

- Pro objem přepravy: $S = 3$

$U = 0,655$; pro $\alpha = 0,05$ rezidua jsou náhodně uspořádaná

- Pro ekonomickou cenu: $S = 3$

$$H_0: S = \frac{n-1}{2}; H_1: S \neq \frac{n-1}{2}$$

$$U = \frac{\sqrt{12} \left[S - \frac{1}{2}(n-1) \right]}{\sqrt{n+1}} = \frac{\sqrt{12} \left[3 - \frac{1}{2}(6-1) \right]}{\sqrt{6+1}} = 0,655$$

$u_{1-\alpha/2}$ pro $\alpha = 0,05$

$$u_{0,975} = 1,96$$

Hodnota testového kritéria leží v oboru přijetí $(-1,96; 1,96)$. Lze s 5 % rizikem přijmout nulovou hypotézu, podle které jsou rezidua náhodně uspořádaná.

▪ Test bodů obratu

- Pro objem přepravy: $P = 4$

$U = 1,545$; $\alpha = 0,05$ nulová hypotéza je přijata, rezidua jsou náhodně uspořádaná

- Pro ekonomickou cenu: $P = 3$

$$H_0: P = \frac{2(n-2)}{3}; H_1: S \neq \frac{2(n-2)}{3}$$

$$U = \frac{\sqrt{90} \left[P - \frac{2}{3}(n-2) \right]}{\sqrt{16n-29}} = \frac{\sqrt{90} \left[3 - \frac{2}{3}(6-2) \right]}{\sqrt{96-29}} = 0,386$$

$u_{1-\alpha/2}$ pro $\alpha = 0,05$

$u_{0,975} = 1,96$

Hodnota testovacího kritéria leží v oboru přijetí (-1,96; 1,96). Lze s 5 % rizikem přijmout nulovou hypotézu, podle které jsou rezidua náhodně uspořádaná.

- **Durbinův – Watsonův test autokorelace**

- Pro objem přepravy

DW = 2,80; rezidua jsou nezávislá

- Pro ekonomickou cenu

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} = \frac{0,005599}{0,0024} = 2,3329$$

Výsledná hodnota DW testu se pohybuje kolem čísla 2. Rezidua jsou nezávislá.

- **Korelace reziduí (náhodných složek)**

$r = -0,7101$

Koeficient korelace reziduí se blíží k -1. Mezi rezidui je nepřímá lineární závislost. Vysoká hodnota koeficientu korelace naznačuje silnou nepřímou lineární závislost.

3.6.4 Korelace mezi objemem přepravy a vybranými ukazateli (přepravní výkon, nabízená kapacita, tržby, náklady)

Trendová funkce pro objem přepravy a vybrané ukazatele byla vybrána na základě grafického zobrazení hodnot. Pomocné výpočty pro rezidua a grafické zobrazení trendové funkce jsou uvedeny v příloze č. 5 a 6.

Trendová funkce pro objem přepravy: $Y_1 = -1,1396t^2 + 8,6319t + 163,02$

Trendová funkce pro přepravní výkon: $Y_2 = -32,786t^2 + 288,76t + 5795,5$

Trendová funkce pro nabízenou kapacitu: $Y_3 = 134,41t^2 - 517,93t + 27797$

Trendová funkce pro tržby: $Y_4 = -11,989t^2 + 286,92t + 3230,5$

Trendová funkce pro náklady: $Y_5 = 461,13t^2 - 2110,6t + 17586$

Tabulka č. 11: Souhrnné výsledky testů korelace mezi časovými řadami pro vybrané ukazatele

Test	Objem přepravy	Přepravní výkon	Nabízená kapacita	Tržby	Náklady
Znaménkový	0,655	-0,655	1,964	0,655	1,964
Bodů obratu	1,545	1,545	0,386	0,386	0,386
DW	2,796	0,967	3,085	2,277	2,387
Korelace reziduí	–	0,309	-0,587	0,808	-0,717

Zdroj: autor

Tabulka obsahuje výsledky testů a výpočet korelace náhodných složek (reziduí) vyjádřeného korelačním koeficientem. Výsledky reprezentují korelaci mezi časovými řadami, a to mezi objemem přepravy a jednotlivými přepravními ukazateli. U znaménkového testu a testu bodů obratu je vždy přijata nulová hypotéza o náhodném uspořádání reziduí. Hodnoty znaménkového testu u ukazatelů nabízená kapacita a náklady jsou na hranici přijatelnosti, jelikož obor přijatelnosti je v intervalu (-1,96; 1,96). DW test ukazuje, že jsou rezidua nezávislá u časových řad: objem přepravy, tržby, náklady. Pro přepravní výkon existuje mezi rezidui přímá závislost a nabízená kapacita se nachází mezi 2 a 4 tzn. mezi nezávislostí reziduí a nepřímou závislostí. Jelikož hodnota přesahuje číslo 3 blíží se více k 4 a mezi rezidui je nepřímá závislost.

Koeficient korelace reziduí nabývá rozdílných hodnot. Pro objem přepravy a přepravní výkon se blíží k 1. Nízká hodnota naznačuje slabou přímou lineární závislost. Pro závislost mezi objemem přepravy a nabízenou kapacitou a objemem přepravy a náklady je nepřímá lineární závislost. Koeficient korelace se blíží k -1. Na základě vyšších hodnot koeficientu se jedná o silnou závislost. Pro závislost mezi objemem přepravy a tržbami se blíží k 1, mezi časovými řadami je silná přímá lineární závislost.

3.7 Citlivost poptávky po osobní přepravě ČD, a. s. na změnu ceny

Dopravce zajímá nejen poptávka v určitý okamžik za předem stanovených cen, ale také reakce zákazníků na změny ceny. Pro tento účel se využívá cenová elasticita poptávky, která tyto reakce popisuje. Pomocí koeficientu cenové elasticity lze vyjádřit citlivost poptávky

na změnu jedné z proměnných modelu poptávky. Vyjadřuje tedy, jak se změní velikost poptávky při změně jedné z vysvětlujících proměnných. Velikost změny může být vyjádřena absolutně, tzn. o kolik jednotek se změní vysvětlovaná proměnná (y), když se změní vysvětlující proměnná (x) o jednu jednotku a nebo relativně, kde se změna vyjadřuje v procentech. Koeficient elasticity vyjadřuje reakce cestujících na změnu ceny dopravce.

Cenovou elasticitu poptávky ve veřejné železniční přepravě osob lze vypočítat pomocí koeficientu cenové elasticity poptávky s využitím známých statistických dat za jednotlivá období a příslušných cen a také pomocí ekonometrického modelu. K výpočtům jsou využity data z tabulky č. 12, která také obsahuje vypočítané koeficienty cenové elasticity ze statistických hodnot sledovaného období.

Tabulka č. 12: Koeficient cenové elasticity

Rok	Objem přepravy	Skutečná cena	Nákladová cena	Ekonomická cena	Koeficient elasticity		
					Skutečná cena	Nákladová cena	Ekonomická cena
2003	170,3	0,58	2,55	0,57	-	-	-
2004	177,2	0,61	2,51	0,57	0,79	-2,51	0,00
2005	176,5	0,63	2,55	0,58	-0,12	-0,25	-0,23
2006	179,0	0,64	2,53	0,59	0,89	-1,79	0,82
2007	180,0	0,69	2,69	0,61	0,07	0,09	0,17
2008	172,7	0,71	3,52	0,75	-1,45	-0,15	-0,20
Průměr	175,95	0,64	2,725	0,6117	-	-	-

Zdroj: autor

Z výpočtů jsou názorné následující výsledky pro rok 2008:

- citlivost poptávky po osobní přepravě na změnu skutečné ceny je elastická, tzn. při zvýšení ceny o jednotku klesne počet přepravených cestujících o více než jednotku,
- citlivost poptávky po osobní přepravě na změnu nákladové ceny je neelastická, tzn. při zvýšení ceny o jednotku klesne počet přepravených cestujících o méně než jednotku,
- citlivost poptávky po osobní přepravě na změnu ekonomické ceny je neelastická, tzn. při zvýšení ceny o jednotku klesne počet přepravených cestujících o méně než jednotku.

Při zhodnocení celého sledovaného období je patrné, pro změnu skutečné ceny je poptávka po celé sledované období až na rok 2008 neelastická. V případě nákladové ceny je

citlivost reakce na změnu ceny kolísavá. V letech 2004 a 2006 byla poptávka elastická a ve zbývajících obdobích neelastická. Pro ekonomickou cenu je situace za sledované období jednoznačná, zde je poptávka neelastická.

Pro druhý typ výpočtu koeficientu cenové elasticity využijeme stanovenou lineární regresní funkci ve tvaru:

$$Y = 140,99 + 66,04x_1 - 34,16x_2 + 139,98x_3$$

Po dosazení parametrů regresní funkce a vypočítaných průměru proměnných do vzorce koeficientu cenové elasticity dle Melichara [22], 2002 ve tvaru:

$$e_{y,x_i} = b_i \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}},$$

kde e_{y,x_i} je koeficient cenové elasticity, b_i je parametr modelu $b_i = 1, 2, 3$ a \bar{x}_i je průměrná hodnota proměnná x (skutečná cena, nákladová cena, ekonomická cena) a \bar{y} je průměrná hodnota objemu přepravy, jsou získány následující výsledky:

$$e_{y,x_1} = b_1 \frac{\bar{x}_1}{\bar{y}} = 66,04 \frac{0,64}{175,95} = 0,24$$

- citlivost poptávky po osobní přepravě na změnu skutečné ceny je neelastická, tzn. zvýšení průměrných cen nevyvolá vyšší pokles poptávky po přepravě osob

$$e_{y,x_2} = b_2 \frac{\bar{x}_2}{\bar{y}} = -34,16 \frac{2,725}{175,95} = -0,53$$

- citlivost poptávky po osobní přepravě na změnu nákladovou cenu je neelastická, tzn. zvýšení průměrných cen nevyvolá vyšší pokles poptávky po přepravě osob

$$e_{y,x_3} = b_3 \frac{\bar{x}_3}{\bar{y}} = 139,98 \frac{0,6117}{175,95} = 0,49$$

- citlivost poptávky po osobní přepravě na změnu ekonomické ceny je neelastická, tzn. zvýšení průměrných cen nevyvolá vyšší pokles poptávky po přepravě osob

4 Zhodnocení navrženého modelu

4.1 Shrnutí výsledků provedené regresní a korelační analýzy

Pomocí vícenásobné regresní analýzy byly sestaveny dva modely, které matematicky popisují průběh závislostí vysvětlujících proměnných a jejich vliv na objem přepravy Českých drah a. s. Mezi tyto proměnné byly zařazeny ceny (skutečná cena, nákladová cena, ekonomická cena) a vybrané ukazatele ze zpracovaných statistik Českých drah a. s. (přepravní výkon, nabízená kapacita, tržby, náklady). Na základě experimentu byl zvolen lineární regresní model z hlediska parametrů, a to regresní přímka.

Model popisující závislost počtu přepravených osob na cenách, vystihuje tuto závislost z 94 % a model popisující závislost vybraných ukazatelů a počtu cestujících z 99,9 %. Stanovené regresní funkce jsou kvalitní z hlediska výstižnosti síly závislosti mezi proměnnými. Danými modely lze vystihnout převážnou část celkové variability pozorovaných hodnot. Vysoká hodnota koeficientu determinace však nemusí jednoznačně udávat nevýlučnou kvalitu stanovené regresní funkce.

K ověření významnosti parametrů v modelu byl použit individuální t-test a F-test. Na základě t-testu lze vyloučit jakýkoliv vliv cen na velikost objemu přepravy. Dále podle t-testu nemají na objem přepravy žádný vliv proměnné – přepravní výkon a náklady. Ostatní proměnné (nabízená kapacita, tržby) podle testu vliv na objem přepravy mají. Celkové F-testy potvrdily, že alespoň jeden z parametrů, z obou modelů, je nenulový a tudíž má v modelu význam. Pro konečný závěr je vhodné se více přiklánět k výsledku celkového F-testu, který lépe vystihuje vazby mezi proměnnými ve zkoumaných souborech dat.

Pro zjištění těsnosti závislosti mezi jednotlivými proměnnými a objemem přepravy byla využita korelační analýza. Pomocí korelačních koeficientů, byly zjištěny následující skutečnosti:

- mezi objemem přepravy a skutečnou cenou je slabá přímá lineární závislost ($r = 0,2865$)
- mezi objemem přepravy a nákladovou cenou je slabá nepřímá lineární závislost ($r = -0,3656$)

- mezi objemem přepravy a ekonomickou cenou je slabá nepřímá lineární závislost ($r = -0,2438$)
- mezi objemem přepravy a přepravním výkonem je silná přímá lineární závislost ($r = 0,7760$)
- mezi objemem přepravy a nabízenou kapacitou je slabá nepřímá závislost ($r = -0,1005$)

V tomto případě je možné konstatovat, i bez dalších testů korelačního koeficientu, že proměnné jsou nekorelované jelikož koeficient je velmi blízko 0.

- mezi objemem přepravy a tržbami je slabá lineární závislost ($r = 0,4478$)
- mezi objemem přepravy a náklady je slabá nepřímá lineární závislost ($r = -0,2255$)

Dalším krokem zkoumání je zhodnocení korelace mezi časovými řadami, která určuje existenci určitého příčinného vztahu mezi časovými řadami. Při hledání závislosti mezi dvojicí časových řad byl vypočítán korelační koeficient z odhadů reziduálních hodnot. Ty byly získány ze stanovených trendových funkcí a provedeny testy o jejich náhodném uspořádání a závislosti. Znaménkový test a test bodů obratu dokazuje náhodné uspořádání reziduí. Na základě výsledků DW testu bylo zjištěno, že:

- rezidua jsou nezávislá u časových řad: objem přepravy, skutečná, nákladová a ekonomická cena, tržby a náklady
- mezi rezidui existuje přímá závislost u časových řad: přepravní výkon
- mezi rezidui existuje nepřímá závislost u časových řad: nabízená kapacita

Výsledky korelačních koeficientů časových řad jsou následující:

- mezi objemem přepravy a skutečnou cenou je slabá přímá lineární závislost ($r = 0,4665$)
- mezi objemem přepravy a nákladovou cenou je slabá nepřímá lineární závislost ($r = -0,2209$)
- mezi objemem přepravy a ekonomickou cenou je silná nepřímá lineární závislost ($r = -0,7101$)

- mezi objemem přepravy a přepravním výkonem je slabá přímá lineární závislost ($r = 0,309$)
- mezi objemem přepravy a nabízenou kapacitou je slabá nepřímá lineární závislost ($r = -0,587$)
- mezi objemem přepravy a tržbami je silná přímá lineární závislost ($r = 0,808$)
- mezi objemem přepravy a náklady je silná nepřímá lineární závislost ($r = -0,717$)

Pomocí regresní funkce charakterizující závislost objemu přepravy na cenách, byl vypočítán koeficient cenové elasticity poptávky. Pro skutečnou, nákladovou a ekonomickou cenu lze konstatovat neelastickou poptávku, tzn., že zvýšení průměrných cen nevyvolá vyšší pokles objemu přepravy.

4.2 Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s.

Budoucím vývojem sledovaných oblastí se zabývá prognostika, která využívá velkou řadu metod a postupů modelování budoucnosti. K prognostice je zapotřebí jednak zkušenost odborníků, potřebný rozsah dat a programové vybavení k usnadnění výpočtů. Cílem práce není prognózovat budoucí vývoj v přepravě osob ČD, a. s., ale stanovit přibližný odhad přepravených cestujících v budoucnosti na základě stanovených modelů.

4.2.1 Využití regresní funkce

Pro zjištění, kolik bude přepraveno cestujících v budoucnosti lze využít stanovené modely na základě vícenásobné lineární regrese v kapitole č. 3.1. Pro tento účel bude nejvhodnější první rovnice, která popisovala vztah mezi objemem přepravy a cenami. Regresní funkci lze využít pro zjištění konkrétního objemu přepravy v dalších letech, pokud je již známa změna ve výši ceny nebo na základě experimentů pro zmapování reakcí cestujících na různé změny cen.

Za předpokladu, že se ceny v roce 2009 změní následovně:

- skutečná cena se zvýší o 0,03 Kč/oskm, tzn. na 0,74 Kč/oskm
- nákladová cena se zvýší o 0,21 Kč/oskm, tzn. na 3,73 Kč/oskm
- ekonomická cena se zvýší o 0,02 Kč/místokm, tzn. na 0,77 Kč/místokm

a po dosazení do rovnice $Y = 140,99 + 66,04x_1 - 34,16x_2 + 139,98x_3$, lze očekávat počet přepravených osob ve výši 170,2 mil. cestujících. V takovém případě by došlo k poklesu počtu přepravených cestujících o 2,5 mil. oproti roku 2008. V opačném případě, pokud by došlo ke snížení cen o ty samé hodnoty, objem přepravy by vzrostl na 175 mil. osob, tj. o 2,3 mil. oproti roku 2008.

Nutné je však podotknout, že výše cen má na rozhodování potenciálních zákazníků vliv jen do určité výše. S určitostí lze předpokládat, že při snižování cen vzroste poptávka, ale pouze k určité hranici, kde se její růst zpomalí nebo zastaví nebo naopak začne klesat. Při postupném dosazování do regresní rovnice různé výše cen s klesající tendencí, bude objem přepravy klesat. Což je také na první pohled zřejmé ze stanovené rovnice. Parametr b_0 regresní funkce udává, jaká je výše objemu přepravy při cenách rovnajících se nule. Z toho je patrné, že i přes nulové ceny je objem přepravy mnohem nižší než jednotlivé hodnoty za celé sledované období.

4.2.2 Využití trendové funkce

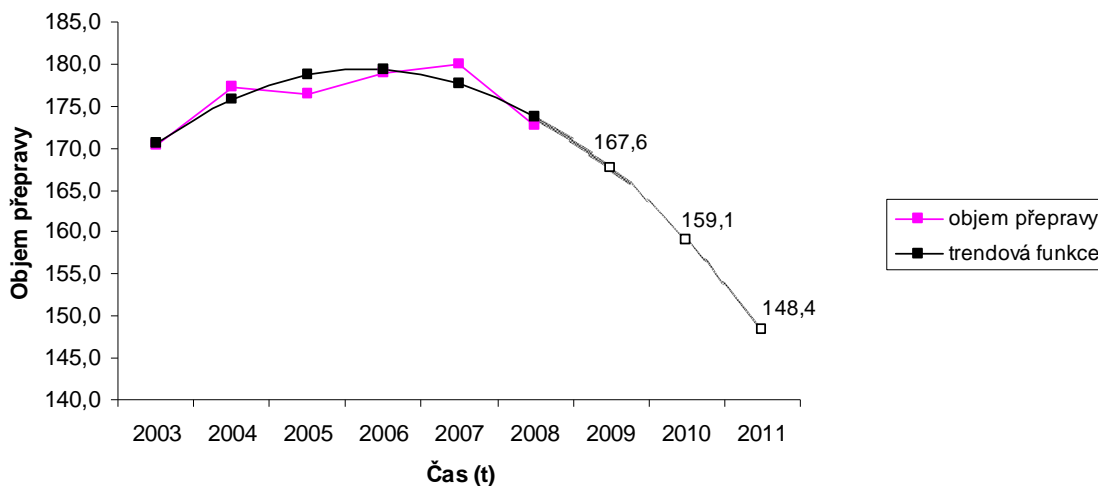
V kapitole č. 3.5 byla na základě grafického zobrazení statistických dat vybrána, jako nejvhodnější trendová funkce parabola, ve tvaru: $Y = -1,1396t^2 + 8,6319t + 163,02$.

Dosazením hodnot $t = 7, 8$ a 9 , které reprezentují roky 2009, 2010 a 2011, do rovnice, lze vypočítat velikost objemu přepravy v těchto letech. Při odhadu se nepředpokládá, žádná změna podmínek působících na velikost zjišťovaných dat, tzn. že budou i stejné podmínky v budoucnosti, bez jakýchkoliv změn.

Odhad budoucího vývoje je znázorněn v grafu č. 16, z kterého je patrné, že vývoj časové řady má klesající tendenci. Velký vliv na stálém poklesu má vývoj časové řady v minulosti a malý rozsah pozorování. Odhadnutá funkce pouze kopíruje vývoj v minulosti. Od roku 2006 počet přepravených cestujících výrazně klesal. Na poklesu počtu přepravených

cestujících se podílí jednak doznívající hospodářská krize a s tím spojená zvyšující se nezaměstnanost (méně cest do zaměstnání, méně cestování ve volném čase, atd.) a také určitou roli hraje značná nespokojenost cestujících s kvalitou služeb ČD, a. s.

Obrázek č. 16: Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s. na základě trendové funkce



Zdroj: autor

Předpověď, která je znázorněna v grafu je tzv. extrapolací trendové paraboly. Hodnoty pro rok 2009, 2010 a 2011 jsou bodové předpovědi. Pro větší spolehlivost předpovědi je stanoven předpovědní interval na úrovni spolehlivosti 95 %. Jeho grafické znázornění je na obrázku č. 17. Postup výpočtu je následující:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & n & n^2 \end{bmatrix} \Rightarrow X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 \\ 1 & 3 & 9 \\ 1 & 4 & 16 \\ 1 & 5 & 25 \\ 1 & 6 & 36 \end{bmatrix}$$

$$(X'X) = \begin{bmatrix} 6 & 21 & 91 \\ 21 & 91 & 441 \\ 91 & 441 & 2275 \end{bmatrix}$$

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 3,2 & -1,95 & 0,25 \\ -1,95 & 1,369643 & -0,1875 \\ 0,25 & -0,1875 & 0,026786 \end{bmatrix}$$

pro rok 2009 $\rightarrow (1 P P^2) = [1 7 49]$

pro rok 2010 $\rightarrow (1 P P^2) = [1 8 64]$

pro rok 2011 $\rightarrow (1 P P^2) = [1 9 81]$

vztah pro předpovědní interval

$$Y_p - t_{1-\alpha/2} [n-3] s h_p < Y_i < Y_p + t_{1-\alpha/2} [n-3] s h_p$$

$$\alpha = 0,05$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-3) = 3,1825$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n y_t^2 - \frac{(\sum_{t=1}^n Y_t)^2}{n}}{n-3}} = \sqrt{\frac{59,4}{6-3}} = 4,4497$$

$$h = \sqrt{1 + (1 P P^2) (X' X)^{-1} (1 P P^2)'}$$

$$h_p = \sqrt{1 + (1 P P^2) (X' X)^{-1} (1 P P^2)'} \Rightarrow h_7 = \sqrt{1 + 3,2} = 2,0494$$

$$h_8 = \sqrt{1 + 9,3714} = 3,2205$$

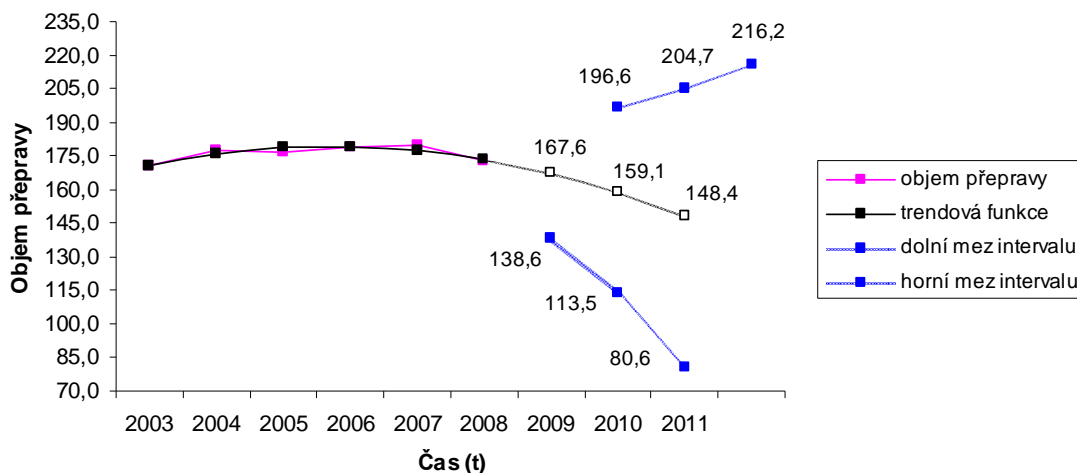
$$h_9 = \sqrt{1 + 21,9071} = 4,7861$$

Tabulka č. 13: Výsledky předpovědních intervalů

t	Objem přepravy	Y	Dolní mez	Horní mez
2003	170,3	170,512	-	-
2004	177,2	175,725	-	-
2005	176,5	178,659	-	-
2006	179,0	179,314	-	-
2007	180,0	177,689	-	-
2008	172,7	173,785	-	-
2009	-	167,603	138,581	196,625
2010	-	159,141	113,535	204,747
2011	-	148,399	80,623	216,176

Zdroj: autor

Obrázek č. 17: Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s. na základě parabolického trendu s předpovědními intervaly



Zdroj: autor

Pro porovnání vývoje objemu přepravy v budoucnosti je v následujícím grafu znázorněna trendová přímka ve tvaru: $Y = 173,661 + 0,655t$ a bodové odhady s předpovědními intervaly na úrovni spolehlivosti 95 %. Postup výpočtu je následující:

$$\hat{T}_P - t_{1-\alpha/2} [n-2] sh_P < T_P < \hat{T}_P + t_{1-\alpha/2} [n-2] sh_P$$

$$\alpha = 0,05$$

$$t_{1-\alpha/2} (n-2) = 2,7764$$

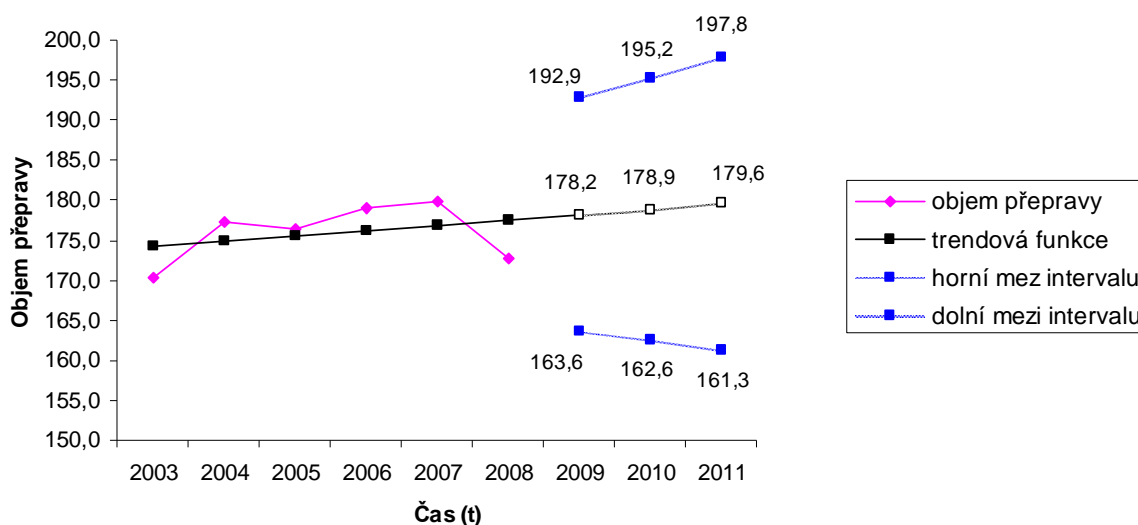
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n y_t^2 - \sum_{t=1}^n \hat{T}_t^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{59,4}{6-2}} = 3,8536$$

$$h_P = \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(P - \bar{t})^2}{\sum t^2 - n\bar{t}^2}} \Rightarrow h_7 = \sqrt{1 + \frac{1}{6} + \frac{(7 - 3,5)^2}{91 - 6 * 12,25}} = 1,3663$$

$$h_8 = 1,5244$$

$$h_9 = 1,7015$$

Obrázek č. 18: Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s. na základě trendové přímky s předpovědními intervaly



Zdroj: autor

Při porovnání obou grafů je rozdíl značný. Zatímco parabolický trend vykazuje klesající tendenci, tak přímkový je mírně rostoucí. Také ve velikostech intervalu pravděpodobnostního vývoje v budoucnosti je značný rozdíl. V případě parabolického trendu určuje interval poměrně velký rozsah možností budoucích hodnot objemu přepravy. Například pro rok 2011 může objem přepravy nabývat hodnot z intervalu $\langle 80,6; 216,2 \rangle$. Kdežto interval přímkového trendu je více konkrétnější a ustálenější. Pro rok 2011 může objem přepravy nabývat hodnot z intervalu $\langle 161,3; 197,8 \rangle$. Na základě středních chyb však byla vybrána parabolická funkce, jako nejvhodnější typ funkce pro presentaci vlastností a závislostí mezi časovými řadami. Tudíž předpověď provedená pomocí této funkce by měla být přesnější.

ZÁVĚR

Železniční doprava je v současné době preferovaným druhem dopravy. Převážně však ze strany státních institucí. Jednak v rámci České republiky a hlavně ze strany Evropské unie. Důvodem těchto tendencí je stav životního prostředí a negativní vliv dopravy na něj. Stav životního prostředí je velmi diskutovaným tématem a je snaha o nalezení trvale udržitelného rozvoje v souladu s nezvyšujícím se znečišťováním životního prostředí. Jednou z možností je železniční doprava, která je jednou z nejekologičtějších druhů doprav. Dalším důležitým tématem je harmonizace podmínek pro dopravce v jednotlivých druzích doprav a podílení se na externích nákladech. S ohledem ke konkurenčním druhům doprav je pro železniční dopravu největším konkurentem doprava silniční. A to nejen jako celek, ale také v rámci jednotlivých typů silniční odpravy, jako jsou například autobusová nebo individuální automobilová doprava. Naopak doprava železniční je velkým konkurentem pro dopravu leteckou, a to díky rozmachu vysokorychlostních tratí a celkovému zrychlování a zkvalitňování železniční přepravy osob.

Před samotným určením modelu poptávky, byla charakterizována obecná poptávka a poptávka v dopravě a její specifické rysy. Důležitým předpokladem pro správné fungování poptávky v dopravě je rozlišení pojmů potřeba, požadavek a poptávka, které se liší konkretizací dějů spojených s chováním cestujících v dopravě. Dále byly určeny metody pro sestavení modelu a charakterizovány zákonitosti s nimi spojené. K sestavení modelu s více proměnnými byla využita vícenásobná regresní analýza, která popisuje vzájemné vztahy mezi proměnnými v modelu. Na základě testů a výpočtů hodnotících koeficientů byly provedeny hypotézy a závěry o kvalitě regresní funkce a vzájemných vztazích a jejich intenzitách. Na základě všech zjištěných poznatků byly formulovány závěry a výpočty o budoucím vývoji objemu přepravy Českých drah a. s.

K vypracování práce byla využita odborná literatura převážně statistického a ekonomického zaměření. Dále pak informace zveřejněné na internetových stránkách Ministerstva dopravy v podobě Ročenek dopravy za roky 2004 a 2008, Statistické ročenky skupiny České dráhy a Výroční zprávy ČD, a. s.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SAMUELSON, Paul, A.; NORDHAUS, William, D. *Ekonomie*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství Svoboda, 1995. ISBN 80-205-0494-X.
- [2] BRAJEROVÁ, Helena; DRAHOTSKÁ, Hana. *Makroekonomie a doprava*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001. ISBN 80-7194-376-2.
- [3] MACÁKOVÁ, Libuše; kolektiv. *Mikroekonomie – základní kurs*. Slaný: Melandrium, 2003. ISBN 80-86175-38-3.
- [4] ŽEMLIČKA, Zdeněk; MYNÁŘÍK, Jaroslav. *Doprava a přeprava*. Praha: Nadatur, 2008. ISBN 80-7270-030-8.
- [5] VONKA, Jaroslav; DRDLA, Pavel; BÍNA, Ladislav; ŠIROKÝ, Jaromír. *Osobní doprava*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001. ISBN 80-7194-320-7.
- [6] MELICHAR, Vlastimil; JEŽEK, Jindřich. *Ekonomika dopravního podniku*. 2. přeprac. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2001. ISBN 80-7194-359-2.
- [7] POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonometrie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. ISBN 80-7194-868-3.
- [8] SEGER, Jan; HINDLS, Richard; HRONOVÁ, Stanislava. *Statistika v hospodářství*. Praha: ETC Publishing, 1998. ISBN 80-86006-56-5.
- [9] CYHELSKÝ, Lubomír; SOUČEK, Eduard. *Základy statistiky*. Praha: Vysoká škola finanční a správní, 2009. ISBN 978-80-7408-013-5
- [10] ČERNÁ, Anna; ČERNÝ, Jan. *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-86530-15-9.
- [11] Odbor komunikace Českých drah. *Ročenka 2008/2009 Skupiny České dráhy*. Praha: Grand Princ, 2009. ISBN 978-80-85104-24-0.

Elektronické dokumenty

- [12] *Společná dopravní politika EU* [online]. Praha: Česká agentura na podporu obchodu/CzechTrade, aktualizováno 16. 6. 2009 [cit. 2010-03-16]. Dostupný na: WWW: <<http://www.businessinfo.cz/cz/clanek/politiky-eu/spolecna-dopravni-politika-eu/1000521/10918/#TOP>>.
- [13] *O Drážní inspekci* [online]. Praha: Drážní inspekce, 2008 [cit. 2010-03-05]. Dostupný na WWW: <<http://www.dicr.cz/o-drazni-inspekci>>.
- [14] *Prohlášení o dráze celostátní a regionální* [online]. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2009 [cit. 2010-03-05]. Dostupný na WWW: <<http://www.szdc.cz/soubory/prohlaseni-o-draze/cs/1011/prohlaseni-o-draze.pdf>>.

- [15] *Operační program doprava – základní informace* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy, 2007 [cit. 2010-03-16]. Dostupný na WWW: <<http://www.opd.cz/cz/Zakladni-informace>>.
- [17] *Cenový věstník 13/2009 – Výměr MF č. 01/2010* [online]. Praha: Ministerstvo financí, 2005 [cit. 2010-05-01]. Dostupný na: WWW: <http://www.mfcr.cz/cps/rde/xchg/mfcr/xsl/cenovy_vestnik_51799.html?year=2009>
- [18] *Tarif Českých drah pro vnitrostátní přepravu cestujících a zavazadel* [online]. Praha: České dráhy, aktualizováno 13. 5. 2010 [cit. 2010-04-04]. Dostupný na WWW: <<http://www.cd.cz/assets/infoservis/cim-se-ridime/1tr10-7-3-2010.pdf>>.
- [19] *Ročenka dopravy 2004, 2008* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy, 2006 [cit. 2010-03-10]. Dostupný na WWW: <<http://www.sydos.cz/cs/rocenky.htm>>.
- [20] *Výroční zprávy 2004, 2005, 2006, 2007, 2008* [online]. Praha: České dráhy, 2008 [cit. 2010-03-10]. Dostupný na WWW: <<http://www.ceskedrahy.cz/skupina-cd/fakta-a-cisla/vyrocnizpravy/-703/>>.
- [21] *Statistická ročenka 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008* [online]. Praha: České dráhy, 2008 [cit. 2010-03-10]. Dostupný na WWW: <<http://www.ceskedrahy.cz/skupina-cd/fakta-a-cisla/statisticka-rocenka/-731/>>.
- [22] *Cenová elasticita poptávky ve veřejné osobní dopravě* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, Univerzitní knihovna [cit. 2010-05-04]. Dostupný na WWW: <<http://library.upce.cz/Sources/CL376.pdf>>

SEZNAM TABULEK

TABULKA Č. 1: Mezioborové srovnání počtu přepravených cestujících (v mil. os.).....	20
TABULKA Č. 2: Mezioborové srovnání průměrné přepravní vzdálenosti (v km)	22
TABULKA Č. 3: Mezioborové srovnání přepravních výkonů (v mil. oskm).....	23
TABULKA Č. 4: Nabízená kapacita místových kilometrů (v mil.)	25
TABULKA Č. 5: Vývoj přepravních ukazatelů společnosti České dráhy a. s.	29
TABULKA Č. 6: Statistická data pro výpočet regresní funkce.....	54
TABULKA Č. 7: Výsledky individuálního t-testu regresní funkce – vliv cen	57
TABULKA Č. 8: Výsledky individuálního t-testu regresní funkce – vliv vybraných ukazatelů	58
TABULKA Č. 9: Výsledky korelační analýzy – vliv cen	59
TABULKA Č. 10: Výsledky korelační analýzy – vliv vybraných ukazatelů	59
TABULKA Č. 11: Souhrnné výsledky testů korelace mezi časovými řadami pro vybrané ukazatele.....	69
TABULKA Č. 12: Koeficient cenové elasticity	70
TABULKA Č. 13: Výsledky předpovědních intervalů.....	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK Č. 1: Struktura infrastruktury železniční dopravy a délka tratí v roce 2008	12
OBRÁZEK Č. 2: Počet vozů železniční osobní dopravy v letech 2003 - 2008.....	13
OBRÁZEK Č. 3: Mezioborové srovnání počtu přepravených osob v letech 2003 - 2004.....	21
OBRÁZEK Č. 4: Objem přepravy v železniční vnitrostátní přepravě v letech 2000 - 2008.....	21
OBRÁZEK Č. 5: Mezioborové srovnání průměrné přepravní vzdálenosti v letech 2003 - 2008	22
OBRÁZEK Č. 6: Mezioborové srovnání přepravních výkonů v letech 2003 - 2008.....	24
OBRÁZEK Č. 7: Přepravní výkon v železniční vnitrostátní přepravě v letech 2000 - 2008	24
OBRÁZEK Č. 8: Mezioborové srovnání nabízené kapacity místových kilometrů v letech 2003 - 2008.....	25
OBRÁZEK Č. 9: Využití nabízené kapacity v železniční vnitrostátní přepravě v letech 2000 – 2008.....	26
OBRÁZEK Č. 10: Evidenční počet zaměstnanců skupiny ČD v letech 2003 - 2008	27
OBRÁZEK Č. 11: Struktura hnacích vozidel Českých drah, a. s. v roce 2008	28
OBRÁZEK Č. 12: Srovnání počtu vozů v železniční osobní dopravě a ČD, a. s.	28
OBRÁZEK Č. 13: Podíl Českých drah, a. s. na celkovém počtu přepravených osob a přepravním výkonu ve vnitrostátní železniční přepravě osob.....	30
OBRÁZEK Č. 14: Křivka poptávky	34
OBRÁZEK Č. 15: Rovnováha na trhu.....	36
OBRÁZEK Č. 16: Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s. na základě trendové funkce	76
OBRÁZEK Č. 17: Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s. na základě parabolického trendu s předpovědními intervaly	78
OBRÁZEK Č. 18: Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s. na základě trendové přímky s předpovědními intervaly	79

SEZNAM ZKRATEK

ČD – České dráhy, a. s.

SŽDC – Správa železniční dopravní cesty

EU – Evropská unie

ERDF – Evropský fond pro regionální rozvoj

FS – Fond soudržnosti

CER – Společenství evropských železnic a infrastrukturních společností

UIC – Mezinárodní unie železnic

PHARE – Fond předvstupní pomoci členským zemím EU

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA Č. 1: Železniční síť ČR	88
PŘÍLOHA Č. 2: Stanovení maximální ceny za použití vnitrostátní železniční dopravní cesty .	89
PŘÍLOHA Č. 3: Výsledky regresní analýzy – vliv cen.....	91
PŘÍLOHA Č. 4: Výsledky regresní analýzy – vliv vybraných ukazatelů	92
PŘÍLOHA Č. 5: Stanovení trendových funkcí na základě grafického vyjádření pro všechny proměnné.....	93
PŘÍLOHA Č. 6: Pomocné výpočty pro korelaci mezi časovými řadami	97

Železniční síť ČR



Zdroj: Ročenka dopravy 2008 [19]

Stanovení maximální ceny za použití vnitrostátní železniční dopravní cesty

$$C_m = C_1 + C_2$$

$$C_1 = S_{1E} \times L_E + S_{1C} \times L_C + S_{1R} \times L_R$$

pro tratě bez trakčního vedení

$$C_2 = \frac{Q}{1000} \times (S_{2E} \times L_E + S_{2C} \times L_C + S_{2R} \times L_R) \times n$$

pro tratě s trakčním vedením

$$C_2 = \frac{Q}{1000} \times (S_{2E} \times L_E + S_{2C} \times L_C + S_{2R} \times L_R) \times n \times e$$

- C_m maximální cena za použití vnitrostátní železniční dopravní cesty dráhy celostátní nebo drah regionálních jedním vlakem pro sjednanou dopravní trasu
- C_1 maximální cena za použití vnitrostátní železniční dopravní cesty dráhy celostátní nebo drah regionálních jedním vlakem pro sjednanou dopravní trasu vztahenou k provozování dopravní cesty (řízení provozu)
- C_2 maximální cena za použití vnitrostátní železniční dopravní cesty dráhy celostátní nebo drah regionálních jedním vlakem pro sjednanou dopravní trasu vztahenou k zajištění provozuschopnosti dopravní cesty (infrastrukturu dopravní cesty)
- S_1 cena za 1 vlkm jako podíl ceny za provozování dopravní cesty (řízení provozu) na jeden vlakový kilometr
 S_{1E} – na tratích dráhy celostátní zařazených do evropského železničního systému1)
 S_{1C} – na ostatních tratích dráhy celostátní1)
 S_{1R} – na dráhách regionálních1)
- S_2 cena za 1000 hrtkm pro příslušný druh vlaku daná jako podíl ceny za zajištění provozuschopnosti dopravní cesty (infrastruktura dopravní cesty) za tisíc hrubých tunových kilometrů
 S_{2E} – na tratích dráhy celostátní zařazených do evropského železničního systému1)
 S_{2C} – na ostatních tratích dráhy celostátní1)
 S_{2R} – na dráhách regionálních1)
- L vzdálenost jízdy vlaku v kilometrech zaokrouhlená na celé km nahoru
 L_E – na tratích dráhy celostátní zařazených do evropského železničního systému1)
 L_C – na ostatních tratích dráhy celostátní1)
 L_R – na dráhách regionálních1)

- Qhrubá hmotnost vlaku v tunách, zjištěná
- pro nákladní vlak jako součet hmotností železničních kolejových vozidel zařazených do vlaku (hnacích vozidel, železničních vozů, jiných kolejových vozidel na vlastních kolech včetně hmotnosti nezavěšených postrkových hnacích vozidel) a hmotnosti přepravovaných věcí, osob a živých zvířat v tunách zaokrouhlený na celé tuny nahoru
 - pro vlak osobní přepravy jako součet hmotností železničních kolejových vozidel (hnacích vozidel, železničních vozů, jiných kolejových vozidel na vlastních kolech včetně hmotnosti nezavěšených postrkových hnacích vozidel) a hmotnosti přepravovaných věcí a cestujících (počet míst k sezení $\times 0,08$) v tunách zaokrouhlený na celé tuny nahoru
- nkoeficient zohledňující použití vozidel s naklápěcí skříní
- ekoeficient zohledňující jízdy hnacích vozidel se spalovacím motorem po elektrizovaných tratích

Výsledky regresní analýzy – vliv cen

VÝSLEDEK

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,971246844
Hodnota spolehlivosti R	0,943320433
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,858301082
Chyba stř. hodnoty	1,39883888
Pozorování	6

ANOVA

	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost F</i>
Regrese	3	65,13255308	21,71085	11,095362	0,083803006
Rezidua	2	3,913500424	1,95675		
Celkem	5	69,0460535			

	<i>Koeficienty</i>	<i>Chyba stř. hodnoty</i>	<i>t stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>	<i>Dolní 95,0%</i>	<i>Horní 95,0%</i>
Hranice	140,9983511	9,682624435	14,562	0,0046827	99,33738063	182,659322	99,33738063	182,6593215
skutečná cena Kč/oskm	66,04453783	30,75438417	2,147484	0,1648322	-66,28089718	198,369973	-66,2808972	198,3699728
nákladová cena Kč/oskm	-34,15622087	15,30928355	-2,23108	0,1553858	-100,0267515	31,7143098	-100,026752	31,7143098
ekonomická cena Kč/místokm	139,9782214	99,87304593	1,401562	0,2960775	-289,7408123	569,697255	-289,740812	569,6972551

Zdroj: autor

Výsledky regresní analýzy – vliv vybraných ukazatelů

VÝSLEDEK

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,999864378
Hodnota spolehlivosti R	0,999728775
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,998643877
Chyba stř. hodnoty	0,136846589
Pozorování	6

ANOVA

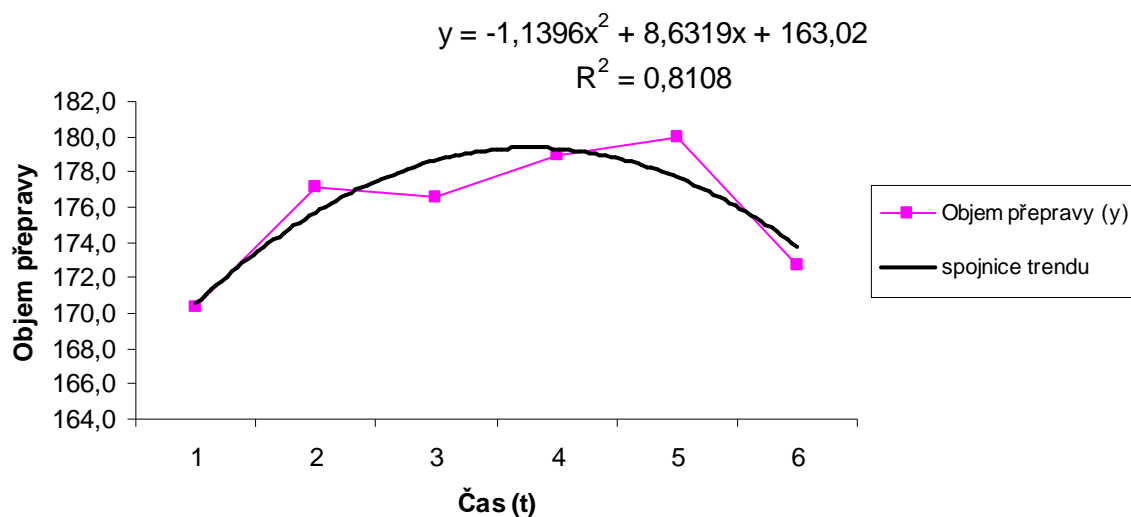
	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost F</i>
Regrese	4	69,02732651	17,25683	921,4953	0,024701114
Rezidua	1	0,018726989	0,018727		
Celkem	5	69,0460535			

	<i>Koeficienty</i>	<i>Chyba stř. hodnoty</i>	<i>t stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>	<i>Dolní 95,0%</i>	<i>Horní 95,0%</i>
Hranice	283,7476314	7,33217985	38,69895	0,016447	190,5834531	376,91181	190,5834531	376,9118097
přepravní výkon	-0,003449511	0,001102241	-3,12954	0,196895	-0,017454811	0,01055579	-0,01745481	0,010555789
nabízená kapacita	-0,005442785	0,000259227	-20,9963	0,030298	-0,00873657	-0,002149	-0,00873657	-0,002149
tržby	0,019170253	0,00071588	26,77857	0,023762	0,010074131	0,02826637	0,010074131	0,028266375
náklady	-0,000651895	9,76253E-05	-6,67752	0,094634	-0,001892343	0,00058855	-0,00189234	0,000588552

Zdroj: autor

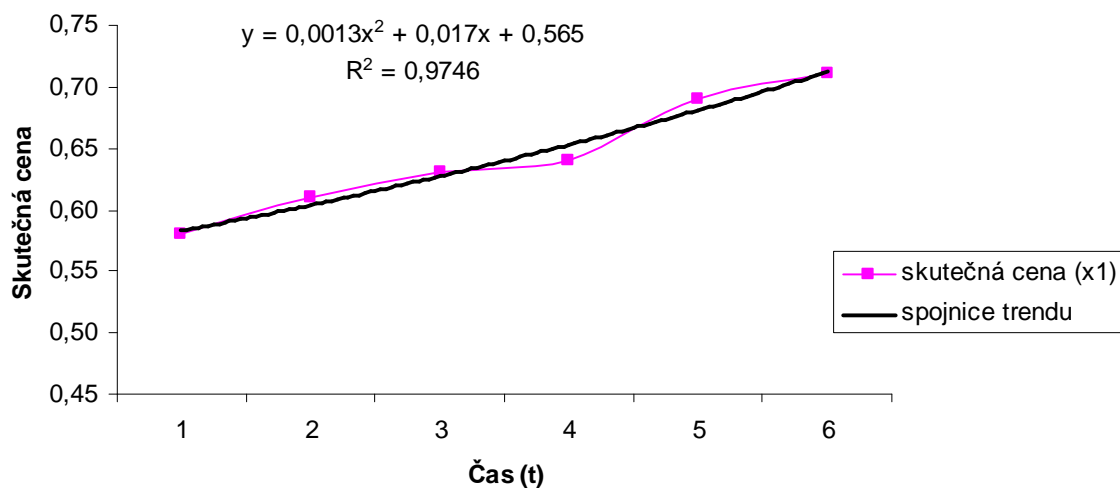
Stanovení trendových funkcí na základě grafického vyjádření pro všechny proměnné

Stanovení trendové funkce objemu přepravy na základě grafického vyjádření



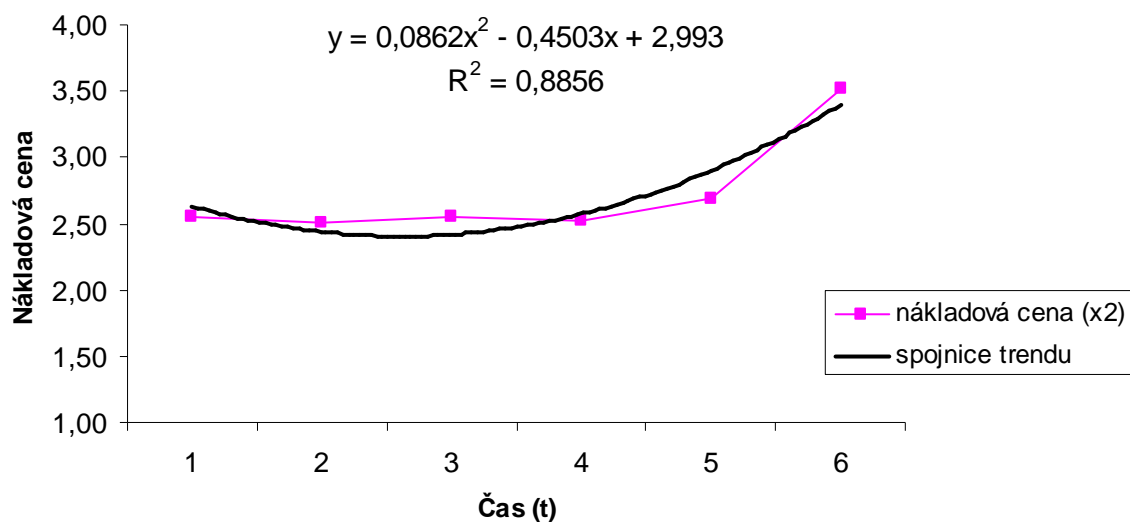
Zdroj: autor

Stanovení trendové funkce skutečné ceny na základě grafického vyjádření



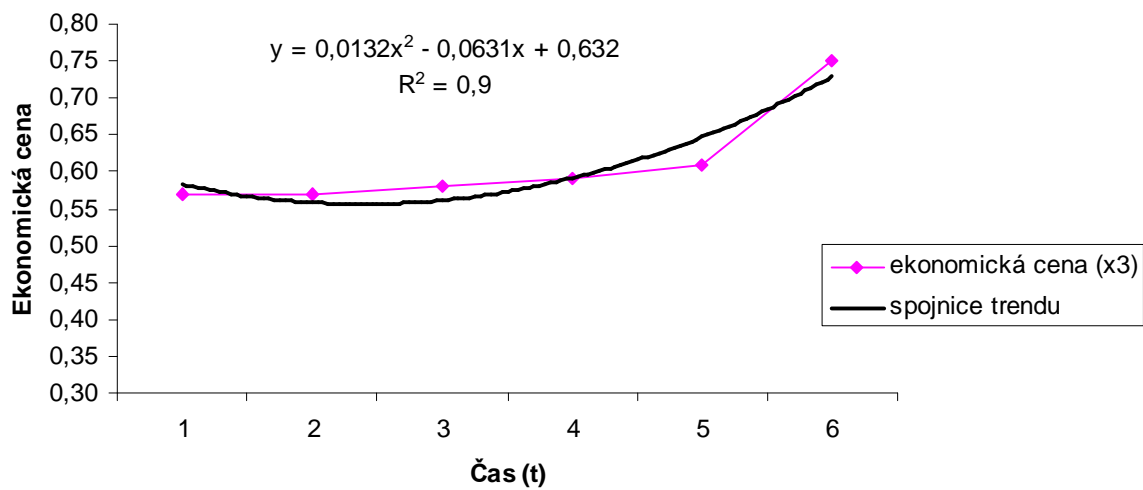
Zdroj: autor

Stanovení trendové funkce nákladové ceny na základě grafického vyjádření



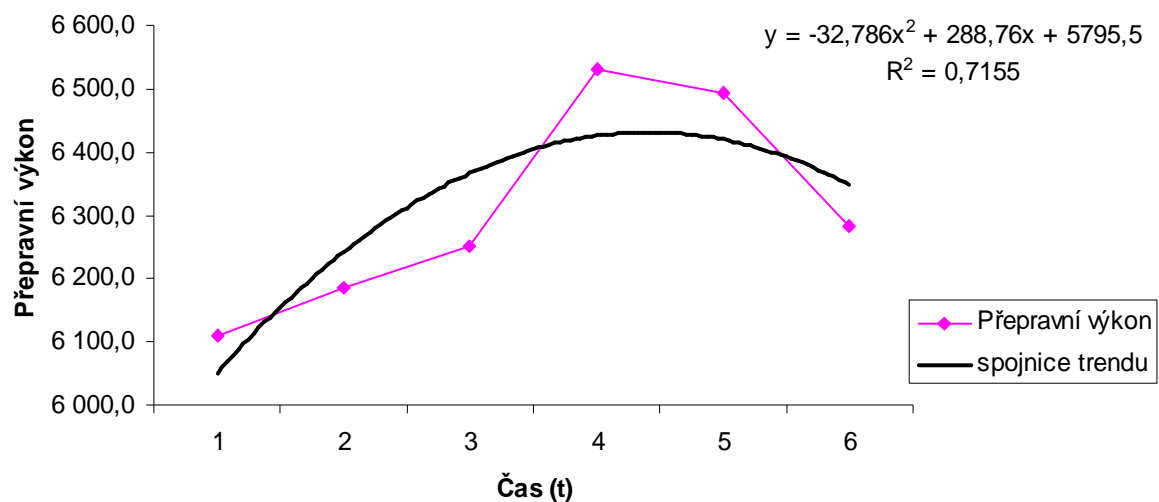
Zdroj: autor

Stanovení trendové funkce ekonomické ceny na základě grafického vyjádření



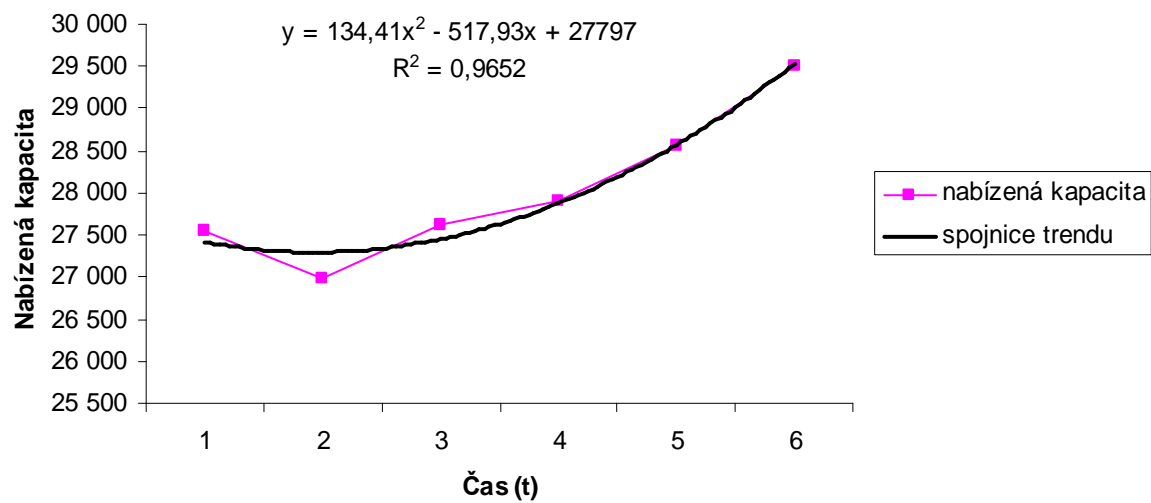
Zdroj: autor

Stanovení trendové funkce přepravního výkonu na základě grafického vyjádření



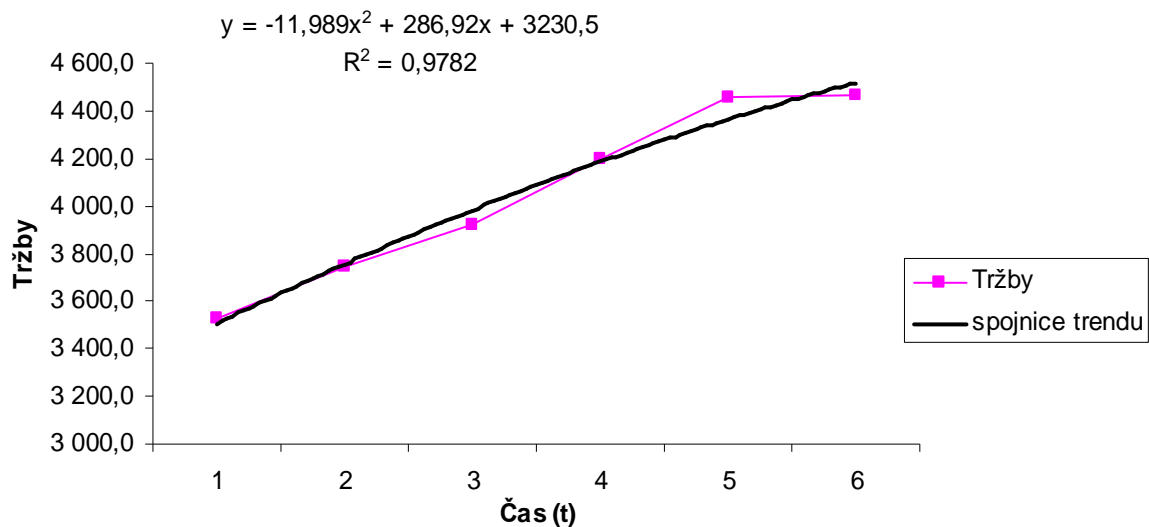
Zdroj: autor

Stanovení trendové funkce nabízené kapacity na základě grafického vyjádření



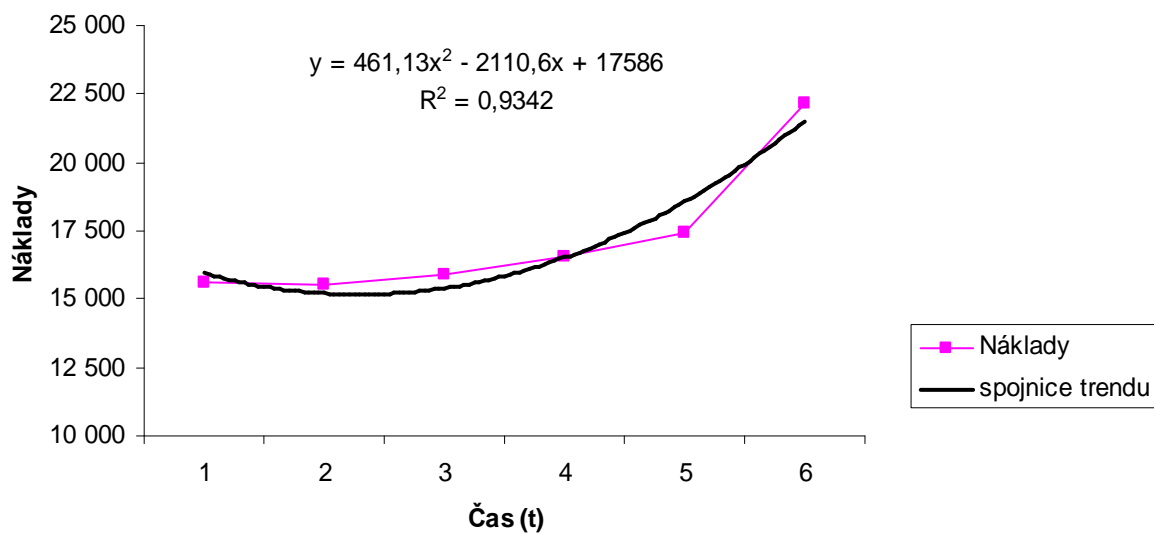
Zdroj: autor

Stanovení trendové funkce tržeb na základě grafického vyjádření



Zdroj: autor

Stanovení trendové funkce nákladů na základě grafického vyjádření



Zdroj: autor

Příloha č. 6

Pomocné výpočty pro korelaci mezi časovými řadami

t	y_{1i}	y_{2i}	y_{3i}	y_{4i}	y_{5i}	y_{6i}	y_{7i}	y_{8i}
t	p.osob	skut.cena	nákl.cena	ekon.cena	přep.výkon	kapacita	tržby	náklady
1	170,3	0,58	2,55	0,57	6 109,7	27 542	3 531,2	15 596
2	177,2	0,61	2,51	0,57	6 185,3	26 996	3 743,7	15 517
3	176,5	0,63	2,55	0,58	6 251,0	27 617	3 918,7	15 914
4	179,0	0,64	2,53	0,59	6 530,0	27 909	4 198,6	16 553
5	180,0	0,69	2,69	0,61	6 493,7	28 573	4 456,7	17 442
6	172,7	0,71	3,52	0,75	6 283,7	29 498	4 468,4	22 134

Hodnota trendové funkce

t	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8
1	170,51	0,583	2,63	0,582	6 501,47	27 413,48	3 505,43	15 936,53
2	175,73	0,604	2,44	0,559	6 241,88	27 298,78	3 756,38	15 209,32
3	178,66	0,628	2,42	0,562	6 366,71	27 452,90	3 983,36	15 404,37
4	179,31	0,654	2,57	0,591	6 425,96	27 875,84	4 186,36	16 521,68
5	177,69	0,683	2,90	0,647	6 419,65	28 567,60	4 365,38	18 561,25
6	173,79	0,714	3,39	0,729	6 347,76	29 528,18	4 520,42	21 523,08

Rezidua

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8
	-0,187	-0,003	-0,080	-0,012	-391,774	128,520	25,769	-340,530
	1,451	0,006	0,070	0,011	-56,576	-302,780	-12,714	307,680
	-2,148	0,002	0,130	0,018	-115,706	164,100	-64,610	509,630
	-0,314	-0,014	-0,040	-0,001	104,036	33,160	12,202	31,320
	2,261	0,007	-0,210	-0,037	74,050	5,400	91,299	-1 119,250
	-1,044	-0,004	0,130	0,021	-64,064	-30,180	-51,980	610,920
Σ	0,019	-0,006	0,000000	0,000000	-450,034	-1,780	-0,034	-0,230

$e_1 * e_2$	$e_1 * e_3$	$e_1 * e_4$
0,000561	0,0150	0,0022
0,008706	0,1016	0,0160
-0,004296	-0,2792	-0,0387
0,004396	0,0126	0,0003
0,015827	-0,4748	-0,0837
0,004176	-0,1357	-0,0219
0,029370	-0,7607	-0,1257

$e_t - e_{t-1}$

0	0	0	0	0	0	0	0
1,638	0,009	0,150	0,023	335,198	-431,300	-38,483	648,210
-3,599	-0,004	0,060	0,007	-59,130	466,880	-51,896	201,950
1,834	-0,016	-0,170	-0,019	219,742	-130,940	76,812	-478,310
2,575	0,021	-0,170	-0,036	-29,986	-27,760	79,097	-1 150,570
-3,305	-0,011	0,340	0,058	-138,114	-35,580	-143,279	1 730,170

 e_t^2

0,035	0,000009	0,00640	0,000144	153 486,867	16 517,390	664,041	115 960,681
2,105	0,000036	0,00490	0,000121	3 200,844	91 675,728	161,646	94 666,982
4,614	0,000004	0,01690	0,000324	13 387,878	26 928,810	4 174,452	259 722,737
0,099	0,000196	0,00160	0,000001	10 823,489	1 099,586	148,889	980,942
5,112	0,000049	0,04410	0,001369	5 483,403	29,160	8 335,507	1 252 720,563
1,090	0,000016	0,01690	0,000441	4 104,196	910,832	2 701,920	373 223,246
13,055	0,000310	0,090800	0,002400	190 486,677	137 161,507	16 186,456	2 097 275,152

 $(e_t - e_{t-1})^2$

0,000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,683	0,000081	0,022500	0,000529	112 357,699	186 019,690	1 480,941	420 176,204
12,953	0,000016	0,003600	0,000049	3 496,357	217 976,934	2 693,195	40 783,802
3,364	0,000256	0,028900	0,000361	48 286,547	17 145,284	5 900,083	228 780,456
6,631	0,000441	0,028900	0,001296	899,160	770,618	6 256,335	1 323 811,325
10,923	0,000121	0,115600	0,003364	19 075,477	1 265,936	20 528,872	2 993 488,229
36,553	0,000915	0,199500	0,005599	184 115,240	423 178,462	36 859,427	5 007 040,016

Zdroj: autor