

Lenka Zahradníková¹

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

Klíčová slova: *poptávka, osobní doprava, České dráhy, regresní analýza, korelační analýza, objem přepravy, cena*

Úvod

Snahou každého subjektu zabývajícího se jakoukoliv ekonomickou činností je získávat informace o poptávce po svém zboží či službách. Poptávka, jako jedna strana trhu, má svůj velký význam při řízení ekonomických subjektů a je v zájmu těchto subjektů charakterizovat poptávku co možná nejpřesněji, ať již matematicky, graficky nebo verbálně.

Cílem tohoto článku je charakterizovat poptávku v dopravě, a to konkrétně poptávku po osobní dopravě Českých drah, a. s. Poptávka v dopravě je totožná s teoretickým vyjádřením obecné poptávky pouze s tím rozdílem, že jsou zde přímo konkretizovány pojmy aplikované na oblast dopravy. Poptávka po dopravních službách vzniká na dopravním trhu, kde je vyvolána přepravci k uspokojení svých potřeb ve formě časovém a prostorovém přemístění.

Příspěvek vznikl na základě diplomové práce zpracované na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice.

1. Metody modelace poptávky

Poptávku je vhodné vyjádřit pomocí matematického modelu. Metody zjišťování informací pro potřeby sestavení modelu se provádějí pomocí průzkumů nebo výpočtů ze statistických dat.

V tomto případě jsou informace zjišťovány pomocí výpočtů, při kterých se vycházelo ze statistických dat Ročenek a Výročních zpráv Českých drah, a. s. Souhrnná data potřebná k výpočtu jsou uvedena ve 3. kapitole v tabulce č. 1.

K sestavení matematického modelu je využita korelační a regresní analýza a analýza časových řad. Jejich úkolem je popis průběhů závislostí a jejich intenzity mezi stanovenými proměnnými ovlivňující průběh poptávky.

Regresní analýza je založena na zjišťování závislostí mezi jednotlivými proměnnými. Při této metodě se vychází z předpokladu rozdělení proměnných do dvou základních skupin, a to na vysvětlující (x) a vysvětlované (y) proměnné. Při zkoumání vztahů mezi více proměnnými se používá vícenásobná regresní analýza. Při výpočtu se vychází z definovaných parametrů regresní funkce, které jsou označeny jako $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$.

¹ Ing. Lenka Zahradníková, narozena r. 1983, absolventka Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice v roce 2010, obor Dopravní management, marketing a logistika. V současné době zaměstnaná na pozici senior účetní v mezinárodní společnosti.

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

a hypotetické regresní funkce, která má tvar:

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

Odhady parametru 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.

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

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 přímku mají tvar:

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

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

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 přímek, 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 přímek 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 $<-1; 1>$.

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

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

Jelikož ani vysoká hodnota korelačního koeficientu nemusí znamenat příčinnou závislost mezi proměnnými, obzvlášť 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.

Analýza časových řad je zaměřena na popis tendence vývoje analyzované časové řady. K charakteristice trendu časové řady se používá její vyrovnaní trendovou funkcí. Touto metodou jsou získávány parametry trendových funkcí, kterými mohou být lineární nebo parabolické trendové funkce.

Pro další zhodnocení vývoje dat se využívá korelace mezi časovými řadami, pomocí které lze zjišťovat existenci souvislostí a vazeb, které mohou vysvětlit změny v jedné časové řadě změnami v časové řadě druhé. K ověření zjištěných souvislostí a vazeb lze využít několik testů mezi které patří například znaménkový test, test bodů obratu a Durbin-Watsonův test autokorelace.

2. Návrh modelu poptávky po osobní dopravě ČD, a. s.

Model poptávky je sestaven na základě vlivu jednotlivých druhů cen na objem přepravy, mezi tyto ceny řadíme:

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

Data pro výpočet jsou uvedena v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Statistická data pro výpočet regresní funkce

Rok	Objem přepravy (v mil.os)	Přepravní výkon (v mil. oskm)	Nabízená kapacita (v mil.místokm)	Tržby (v mil. Kč)	Náklady (v mil. Kč)	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: Zpracoval autor na základě Statistických ročenek a Výročních zpráv ČD, a. s.

C_S skutečná cena - příjmová sazba (v Kč/oskm)
 C_N nákladová cena (v Kč/oskm)
 C_E ekonomická cena (v Kč/místokm)

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

- y je závisle proměnná (počet cestujících)
- x₁ (skutečná cena), x₂ (nákladová cena) a x₃ (ekonomická cena) jsou nezávisle proměnné
- b₀, b₁, b₂, b₃ jsou parametry zvolené regresní funkce

Po provedení příslušných výpočtů je stanovena vícenásobná regresní funkce, která má tvar:

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

Z výsledné funkce lze provést následující závěry:

- počet přepravených cestujících při nulových cenách je roven 140,99 mil. osob za rok
- pokud skutečná cena vzroste o jednotku a ostatní ceny zůstanou nezměněny, dojde k průměrnému nárůstu cestujících o 66,04 mil. osob za rok
- v případě změny nákladové ceny dojde k poklesu cestujících o 34,16 mil. osob za rok
- při změně ekonomické ceny vzroste počet cestujících o 139,98 mil. osob za rok

S využitím dalších výpočtů lze zjistit například intenzitu závislosti mezi proměnnými, a to pomocí koeficientu determinace, který je v tomto případě 0,9997. Lze tedy s 99,97 % jistotou říci, že odhadnutá regresní funkce je spolehlivá a kvalita odhadnutého modelu je vysoká. Další možností ověření odhadnutého modelu je zjištění vlivu vysvětlujících proměnných x_i na vysvětlovanou proměnnou y. K tomu lze využít individuální t-test a F-test. V následující tabulce jsou uvedeny výsledky individuálního t-testu, kterým bylo zjištěno, že jednotlivé druhy cen nemají žádný vliv

na výši přepravených osob. Následujícím celkovým F-testem však bylo dokázáno, že alespoň jeden z parametrů modelu (cen) má v modelu význam.

Tabulka č. 2: Výsledky individuálního t-testu regresní funkce

	$t = \frac{b_j}{s(b_j)}$	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: Zpracoval autor na základě vlastních výpočtů

Jelikož jsou již popsány vztahy mezi stanovenými cenami a počtem přepravených osob, lze přistoupit k charakteristice intenzity těchto vztahů. K tomu je použita korelační analýza. 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 pohybují kolem nuly, tudíž se jedná o volnější závislost mezi proměnnými. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Koeficienty korelace však nemusí jednoznačně znamenat slabou závislost mezi proměnnými. Proměnné mohou být silně závislé, ne však lineárně.

Tabulka č. 3: 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: Zpracoval autor na základě vlastních výpočtů

Vyjádření o intenzitě vztahu mezi proměnnými je závislé na výsledku výpočtu korelačního koeficientu. Může nastat situace, kdy se koeficient pohybuje okolo hodnot 0,5 nebo -0,5. Záleží pak na subjektivním rozhodnutí osoby provádějící výpočty, ke které hodnotě se přikloní. Zda se hodnota blíží k 0 nebo 1 (0 nebo -1). V takových případech, kdy je výsledek nejednoznačný, lze využít testovací hypotézu korelačního koeficientu o jeho nulové hodnotě. Pomocí tohoto testu lze provést rozhodnutí o intenzitě závislosti proměnných.

Dalším krokem při modelování poptávky je zjištění korelace mezi časovými řadami, kdy se zjišťují závislosti mezi dvěma časovými řadami. Pomocí grafického zobrazení hodnot, sledované proměnné v čase, lze odhadnout trendovou funkci příslušné časové řady, od které se odvíjí další výpočty. Pro objem přepravy byla vybrána parabola a stanovena trendová funkce ve tvaru

$Y_1 = -1,1396t^2 + 8,6319t + 163,02$. Trendovou funkci lze využít k odhadu budoucího vývoje objemu přepravy.

3. Využití výsledků modelace poptávky

Na základě zjištěných informací o poptávce lze provádět kvalifikovaná rozhodnutí při řízení ekonomických subjektů a využívat je k předvídání budoucího vývoje. Budoucím vývojem se zabývá prognostika, která využívá velkou řadu metod a postupů k modelování budoucnosti. V této oblasti je zapotřebí odborných znalostí a programového vybavení. Cílem tohoto článku není prognózovat budoucí vývoj objemu přepravy v osobní dopravě Českých drah, a. s., ale provést přibližný odhad tohoto vývoje.

Pro zjištění, kolik bude přepraveno cestujících v budoucnosti, lze využít model vícenásobné lineární regrese nebo trendové funkce uvedené v kapitole č. 3.

Model vícenásobné lineární regrese je použitelný pouze v případě, že je již známa změna ve výši ceny nebo je cena stanovena 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.

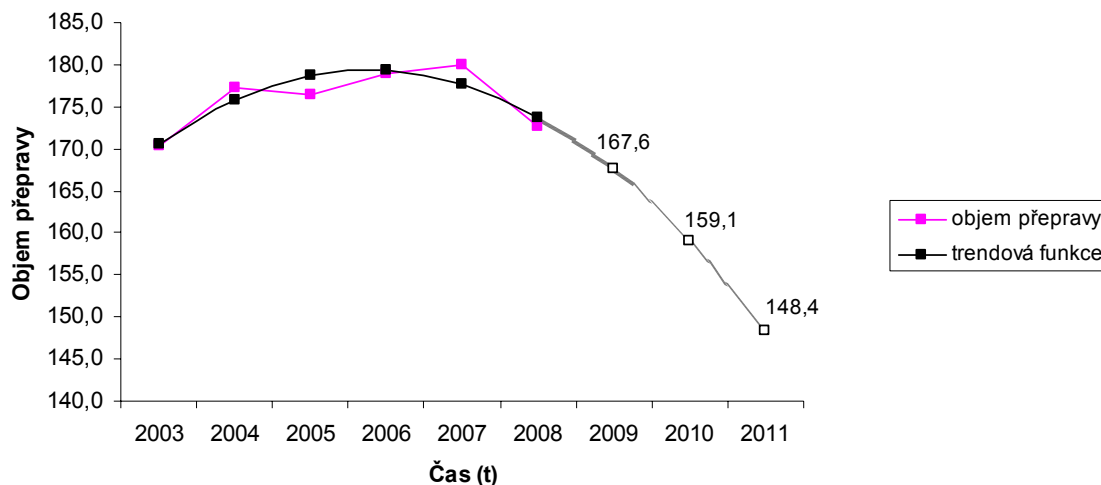
Nutné je však podotknout, že výše cen má na rozhodování potenciálních zákazníků vliv jen do určité výše. S určitostí lze předpokládat, že při snižování cen vzroste poptávka, ale pouze k určité hranici, kde se její růst zpomalí nebo zastaví nebo naopak začne klesat. Při postupném dosazování do regresní 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.

Pro odhad objemu přepravy pomocí trendové funkce je 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 na obrázku č. 1, 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.

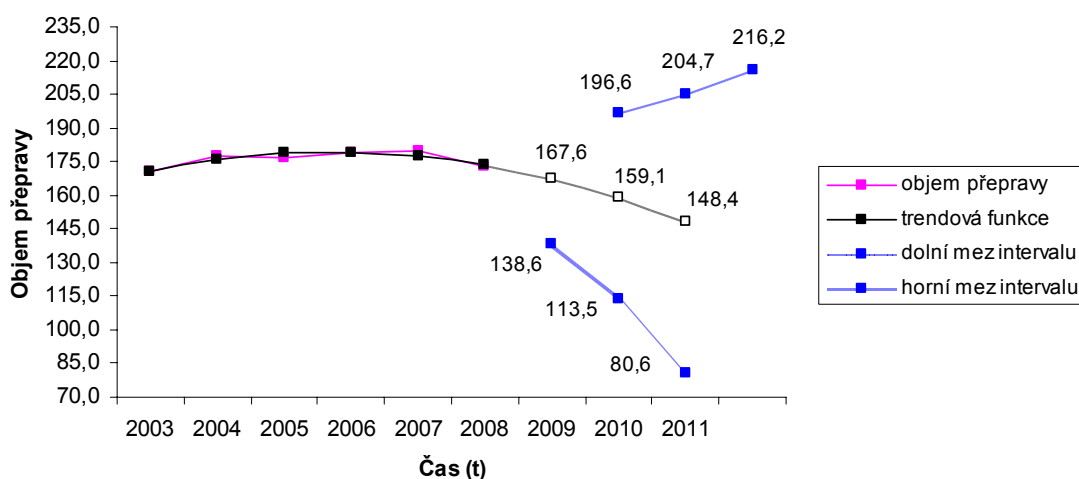


Obrázek č. 1: Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s. na základě trendové funkce

Zdroj: Zpracoval autor na základě vlastních výpočtů

Předpověď, která je znázorněna v grafu, je tzv. extrapolací trendové paraboly a hodnoty pro rok 2009, 2010 a 2011 jsou bodové předpovědi.

Pro větší spolehlivost předpovědi je možné stanovit předpovědní interval, který udává alternativní možnosti budoucího vývoje. Meze, mezi kterými se může objem přepravy pohybovat. Grafické znázornění předpovědního intervalu je uvedeno na obrázku č. 2 se stanovenou úrovní spolehlivosti 95 %.



Obrázek č. 2: Odhad budoucího vývoje objemu přepravy ČD, a. s. na základě parabolického trendu s předpovědními intervaly

Zdroj: Zpracoval autor na základě vlastních výpočtů

Pokud se porovnájí dosažené výsledky bodových předpovědí pro rok 2009 a 2010 s aktuálními daty ze Statistické ročenky ČD, a. s., je zřejmé, že byly přibližně z 96 % přesné. Skutečná hodnota přepravených cestujících pro rok 2009 je 160,951 mil. osob a 160,352 mil. osob pro rok 2010. Jelikož byl k výpočtům použit malý rozsah dat, je velká přesnost bodového odhadu způsobena podobným vývojem hodnot ve sledovaných letech bez výrazných výkyvů. Malý rozsah dat nebo špatně zvolené proměnné ve většině případů značně zkreslují dosažené výsledky. Odhad předpovědního intervalu je již méně přesný. Pro rok 2009 je rozsah intervalu mezi 138,6 a 196,6 mil. osob. Interval má velký rozsah a s postupem do budoucnosti jeho spolehlivost samozřejmě ještě klesá.

Závěr

Modelace poptávky je důležitou, ale značně složitou činností. Velký důraz je kladen na správný výběr proměnných. V tomto případě se pracuje s několika proměnnými, kdy lze výpočet provést pomocí běžných pomůcek, jako je základní programové vybavení MS Office – Excel nebo kalkulačka a data jsou malého rozsahu. Ve většině případů však existuje velké množství proměnných se složitými vazbami a data jsou rozsáhlá. Modely se tak stávají mnohem složitějšími, ale zároveň při kvalitním vypracování mají větší vypovídací schopnost a mohou tak velkou měrou přispět k pozitivnímu vývoji ekonomického subjektu.

Použitá literatura:

- [1] POJKAROVÁ, Kateřina. *Ekonometrie a prognostika v dopravě*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2006. ISBN 80-7194-868-3.
- [2] *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/>>.
- [3] *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/>>.
- [4] ZAHRADNÍKOVÁ, Lenka. *Model poptávky po osobní železniční dopravě Českých drah, a. s. na tuzemském přepravním trhu*. Diplomová práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2010.

Praha, září 2011

Lektoroval:

doc. Ing. Rudolf Kampf, Ph.D.

Univerzita Pardubice, Dopravní
fakulta Jana Pernera