

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra statistiky



Bakalářská práce

**Zkoumání spotřeby elektřiny v O2 aréně pomocí
časových řad**

Jan Tomaškovič

© 2011 ČZU v Praze

!!!

**Místo této strany vložíte zadání bakalářské práce.
(Do jedné vazby originál a do druhé kopii)**

!!!

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Zkoumání spotřeby elektřiny v O2 aréně pomocí časových řad " jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil(a) autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.3.2011

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval všem, kteří se podíleli na vzniku této bakalářské práce. Zejména pak děkuji Mgr. Jiřímu Peterovi za odborné rady a pomoc při zpracování.

Zkoumání spotřeby elektřiny v O2 aréně pomocí časových řad

Study of electricity consumption in the O2 arena by using time series

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá zkoumáním spotřeby elektrické energie v O₂ aréně. O₂ aréna je víceúčelová uzavřená hala, která disponuje velkým systémem měření a regulace. Ten v budově řídí stovky zařízení, která spotřebovávají elektrickou energii. Spotřebovaná elektřina se pohybuje v desítkách tisíc kWh za den. Vlastní práce je zaměřena na analýzu spotřeby elektřiny a její možný odhad v budoucích letech. Tato analýza je rozdělena do dvou hlavních skupin. Sledování elektřiny v letním a zimním provozu spadají do skupiny, kdy je O₂ aréna v klidu. Zkoumání spotřeby při hokejových utkáních, koncertních vystoupení a ostatních akcích spadají do skupiny, kdy je O₂ aréna při akci. Zkoumání je provedeno pomocí matematické analýzy, matematických metod a analýzy časových řad.

Klíčová slova: analýza, aréna při akci, aréna v klidu, časové řady, O₂ aréna, spotřeba elektřiny, trendová funkce

Summary

Bachelor thesis examines the consumption of electricity at the O₂ arena. O₂ arena is a multipurpose hall, which has a large measurement and control system. Electricity consumed is in the tens of thousands of kilowatt-hours per day. The thesis focuses on the analysis of electricity consumption, and estimates its potential in future years. This analysis is divided into two main groups. Monitoring of electricity in summer and winter operations fall within the group, where is O₂ arena at rest. Exploring consumption at hockey games, concerts and other events within the group, where is O₂ arena during the event. The examination is done using mathematical analysis, mathematical methods and analysis of time series.

Keywords: analysis, arena during the event, arena at rest, time series, O₂ arena, electricity consumption, trend function

Obsah:

1	Úvod.....	4
2	Cíl práce a metodika.....	5
	2.1. Cíl práce	5
	2.2. Metodika	5
3	Literární řešerše.....	6
	3.1. Základní charakteristiky časové řady.....	6
	3.2. Elementární charakteristiky časových řad	7
	3.3. Modely časových řad	8
	3.3.1. Analytické vyrovnání časových řad.....	10
	3.4. Volba vhodného modelu trendu	11
4	Vlastní zpracování.....	14
	4.1. Spotřeba v klidu	14
	4.1.1. Porovnání spotřeby léto x zima.....	15
	4.1.2. Spotřeba v létě.....	16
	4.1.3. Spotřeba v zimě.....	18
	4.1.4. Porovnání spotřeby meziroční	19
	4.2. Spotřeba při akci	20
	4.2.1. Spotřeba při hokejových utkáních.....	21
	4.2.2. Spotřeba při koncertech.....	22
	4.2.3. Spotřeba při ostatních akcích	25
	4.3. Porovnání spotřeby celkem	27
5	Závěr	29
6	Seznam použité literatury.....	31
7	Přílohy	31

1 Úvod

O₂ aréna je nejmodernější víceúčelová hala pro sport, kulturu, zábavu, výstavy, veletrhy a další události v Evropě. Původně Sazka Arena (která byla od 1. března 2008 přejmenována na O₂ arénu) stojí v Libni v Praze 9. Arénu charakterizují nejmodernější technologie, univerzálnost využití, sofistikovaný marketing, komfort a všestranné služby pro diváky a návštěvníky. Hala má kruhový půdorys, zastavěná plocha je cca 36 000 m². Výška objektu je 33 m a střecha má průměr 135 m. O₂ aréna pojme 17 000 návštěvníků, pokud se hraje lední hokej, 18 000 při koncertech a 11 000 pro atletiku. Taktéž nabízí 2 460 klubových a komfortních sedadel, 66 skyboxů, 4 partyboxy a 2 900 míst v barech, restauracích a kavárnách. Zajímavá kuriozita je, že pod O₂ arénou se nachází kilometry pivního potrubí. Vedou do 168 rychlovýčepů rozmístěných do čtyř pater a jedno pivo se natočí za 4-5 vteřin. Základní kámen stavby byl položen koncem října 2002. Při stavbě železobetonové nosné konstrukce se spotřebovalo 23 000 m³ betonu a 7 809 t železa. V říjnu 2003 bylo z poloviny hotovo opláštění budovy, začaly se upravovat interiéry i exteriéry a během zimních měsíců probíhala intenzivní montáž technických zařízení budovy. O₂ aréna byla postavena roku 2004, stavěla se asi 17 měsíců a vyhrála ocenění „za organizaci výstavby rozsáhlého komplexu vytvořeného v krátkém čase se zřetelem ke konstrukci zastřešení ústředního prostoru“ v soutěži Stavba roku 2004. O₂ aréna je příkladem nadstandardně velkého projektu systému měření a regulace. To znamená, že v budově jsou stovky zařízení a desítky integrovaných systémů, stovky podstanic a řídicí centrála s mnoha rozdílnými komunikačními moduly pro integrace cizích systémů, vzdálená pracoviště apod. Nadstandardně velké projekty systému měření a regulace se také hlavně využívají na mezinárodních letištích.

Systém měření a regulace v případě takto velkého projektu nezahrnuje jen základní funkci řízení vytápění a chlazení, ale vystupuje také jako integrátor ostatních technických systémů, jako jsou např. požární zabezpečení (elektronický protipožární systém, protipožární klapky a další), bezpečnostní systémy, transportní systémy, osvětlení, kompletní monitorování elektroinstalace, včetně dieselařegagátu a záložního napájení, chlazení ledové plochy atd.

2 Cíl práce a metodika

2.1. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zkoumání, neboli též analýza spotřeby elektřiny v O₂ aréně. Analýzou časových řad se rozumí soubor metod, které slouží k popisu těchto řad. Na časové řadě z let 2005 – 2009 budu analyzovat různá období či skupiny měření. U některých kapitol bude cílem provést odhad dalšího vývoje spotřeby elektřiny v budoucnu.

2.2. Metodika

Vzhledem k obtížnosti výpočtů trendových funkcí a jejich následných ukazatelů byl k analýze použit statistický, softwarový program SAS. Data byla zpracována v MS Office Excel a poté importována do SASu, kde byla analyzována. Veškerá data byla získána z publikací zabývajících se spotřebou elektřiny v O₂ aréně. Datový soubor byl rozdělen na dvě části: když je O₂ aréna v klidu (to znamená, v O₂ aréně se nekoná žádná akce) a když je při akci. U některých kapitol byly zkoumány elementární charakteristiky časové řady, u jiných analytické vyrovnání časové řady. Mezi elementární charakteristiky patří hlavně diference různého řádu a tempo růstu. Analytické vyrovnání je doprovázeno volbou vhodné trendové funkce. Při volbě vhodného trendu byly srovnány čtyři trendové funkce. A to sice lineární, parabolická, exponenciální a logaritmická trendová funkce. Jako hlavní ukazatele pro zjištění kvality modelů byly použity následující: index determinace, MAPE (střední absolutní procentní chyba), MAE (střední absolutní chyba) a MSE (střední čtvercová chyba). Pomocí těchto ukazatelů byl vybrán vhodný trend, který byl dále popisován.

3 Literární rešerše

3.1. Základní charakteristiky časové řady

Jedním z důležitých nástrojů zkoumání dynamiky ekonomických jevů a procesů je analýza časových řad ukazatelů, které tyto jevy a procesy zkoumají. „*Časovou řadou budeme rozumět věcně a prostorově srovnatelných pozorování, která jsou jednoznačně uspořádána z hlediska času ve směru minulost – přítomnost*“. [6]

Časové řady lze členit následujícím způsobem:

- a) podle charakteru ukazatele na časové řady ukazatelů intervalových a okamžikových
- b) podle periodicity, s jakou jsou údaje sledovány, na časové řady údajů ročních a krátkodobé
- c) podle druhu sledovaných ukazatelů na časové řady primárních (prvotních) ukazatelů a na časové řady sekundárních (odvozených) charakteristik
- d) podle způsobu vyjádření údajů na časové řady naturálních ukazatelů a peněžních ukazatelů

Intervalová časová řada je řada ukazatele, jehož velikost závisí na délce intervalu. Intervalové ukazatele by se měly vztahovat pouze ke stejně dlouhým intervalům, v opačném případě by docházelo ke zkreslenému srovnání. Okamžikové časové řady jsou řady ukazatelů, jejichž hodnoty se vztahují k jistým časovým okamžikům. Hodnoty takových ukazatelů nezávisí na délce časového intervalu sledování. [8]

Časový úsek mezi intervalovými resp. okamžikovými časovými řadami se nazývá periodičita časové řady. Je-li tato periodičita kratší než jeden rok, jedná se o krátkodobé časové řady. Nejčastěji se vyskytuje měsíční periodičita. Je-li periodičita roční nebo delší než roční, jedná se o roční (dlouhodobé) časové řady. [8]

Primární ukazatele jsou ukazatele zjišťované přímo, nejsou odvozené. Jde o ukazatele, kde můžeme jednoznačně určit typ charakteristiky, statistické jednotky i typ statistického znaku. Časové řady sekundárních, neboli odvozených charakteristik můžou vznikat trojím způsobem: jako funkce různých primárních ukazatelů, jako

funkce různých hodnot téhož primárního ukazatele a jako funkce dvou či více primárních ukazatelů. [8]

Časové řady vyjádřeny pomocí naturálních ukazatelů znamená, že hodnoty ukazatele jsou vyjádřeny v naturálních jednotkách. Vzhledem k jejich obvykle menší vypovídací schopnosti se většina důležitých ekonomických časových řad tvoří pomocí ukazatelů vyjádřených v peněžní formě. [8]

3.2. Elementární charakteristiky časových řad

K elementárním charakteristikám řadíme difference různého řádu, tempa růstu, průměrná tempa růstu a průmery naměřených hodnot.

1. difference – říká, zda-li jde o přírůstek či úbytek za dané časové období

$$\Delta_t^1 = y_t - y_{t-1} , \quad (1)$$

kde y_t jsou spotřeby v jednotlivých letech

t je počet časových období

2. difference – říká, zda-li jde o přírůstek či úbytek vzhledem k 1. diferenci

$$\Delta_t^2 = \Delta_t^1 - \Delta_{t-1}^1 , \quad (2)$$

tempo růstu – o kolik procent vzrostla či poklesla spotřeba za dané časové období

$$k_t = \frac{y_t}{y_{t-1}} , \quad (3)$$

průměrné tempo růstu

$$\bar{k} = (k_2 k_3 \dots k_n)^{\frac{1}{n-1}} , \quad (4)$$

kde n je počet let

průměrná spotřeba

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t, \quad (5)$$

3.3. Modely časových řad

Analýzu časových řad lze v podstatě provádět dvojím způsobem. První typ modelů je založen na předpokladu, že jediným faktorem ukazatele shromážděného v časové řadě je čas. Model tohoto typu lze zapsat ve formě

$$y_t = f(t, \varepsilon_t) \quad (6)$$

kde y_t je hodnota analyzovaného ukazatele v čase t ,

f je určitá funkce,

t je časová proměnná a

ε_t je hodnota náhodné složky.

Modely časových řad založené na uvedeném principu se nazývají jednorozměrné modely. Při těchto modelech se vychází z empiricky odpozorované zkušenosti, že každá časová řada může navíc obsahovat čtyři další složky, které vyjadřují různé druhy pohybu. Časová řada může tedy obsahovat tyto složky:

- a) trendovou složku (T_t)
- b) sezónní složku (S_t)
- c) cyklickou složku (C_t)
- d) náhodnou složku (ε_t)

Trendová složka představuje dlouhodobé změny v chování časové řady, tedy zachycuje dlouhodobý růst či dlouhodobý pokles. Trend může mít různý charakter, může být rostoucí, klesající, strmý, mírný, konstantní a také se může v průběhu času měnit. Je výsledkem dlouhodobých a stalých procesů. [4]

Sezónní složka popisuje periodické změny v časové řadě, které nastávají během jednoho kalendářního roku a každý rok se ve stejné nebo modifikované podobě opakují. Sezónní změny se projevují především díky faktorům jako je střídání ročních období a různými institucionalizovanými lidskými zvyky. Při zkoumání sezónní složky se používají hlavně měsíční nebo čtvrtletní měření. [2]

Cyklická složka vyjadřuje kolísání okolo trendu. Charakter se může v čase měnit, je těžko zjištělný a popsateľný, protože působí dlouhodobě v období delším než jeden rok. [2]

Náhodnou složku nedokážeme na rozdíl od předchozích systematicky popsat, protože ji způsobují náhodné výkyvy. V ideálním případě lze počítat s tím, že jejím zdrojem jsou drobné příčiny, které jsou vzájemně nezávislé. [2]

Trendová, sezónní a cyklická složka tvoří společně systematickou složku, kterou značíme Y_t .

$$y_t = Y_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

nebo rozepsáno

$$y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t \quad (8)$$

Z toho vyplývá, že v praxi je nejdůležitější určit trendovou složku. Při stanovení trendu však musíme časovou řadu tzv. vyrovnat. To znamená, že řadu skutečně naměřených hodnot nahradíme řadou hodnot bez zmíněného kolísání. K tomu se nejčastěji používá metoda zvaná analytické vyrovnání časových řad. [6]

3.3.1. Analytické vyrovnání časových řad

Analytické vyrovnávání časových řad umožňuje provádět odhady budoucího vývoje, což je jeden z nejdůležitějších úkolů analýzy časových řad. Empirické hodnoty zde nahradíme určitou matematickou funkcí, která průběh dané řady nejlépe postihuje. Mezi nejčastější trendové funkce, které se používají v praktických aplikacích v oblasti analýzy a prognózy časových řad, patří: lineární trend, parabolické trend, exponenciální trend, modifikovaný exponenciální trend, logistický trend a Gompertzova křivka. Nejvíce užívaná metoda pro odhad parametrů trendové funkce je metoda nejmenších čtverců. Dá se použít v případě, že zvolená trendová funkce je lineární v parametrech. Získat přímo odhady parametrů touto metodou lze pouze u lineární a parabolické trendové funkce. U ostatních funkcí je zapotřebí dalších matematických postupů než lze metodu nejmenších čtverců použít. Dále zde uvedu pár základních trendových funkcí. [6]

Lineární trend:

Je nejčastěji používaným typem trendové funkce. Tento typ je výhodný proto, že jej můžeme použít vždy, chceme-li alespoň orientačně zjistit, jaký směr vývoje bude analyzovaná časová řada mít. Lineární trend vyjádříme ve tvaru:

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t \quad (9)$$

kde β_0 a β_1 jsou strukturální parametry

t (v intervalu $1, 2, \dots, n$) je časová proměnná.

Ke zjištění parametrů β_0 a β_1 se používá metoda nejmenších čtverců, která dává nejlepší nevychýlené odhady.

Parabolický trend:

Je také velmi častým typem trendových funkcí. A jelikož je i tato trendová funkce lineární z hlediska parametrů, používá se k odhadu opět metoda nejmenších čtverců. Parabolický trend zapíšeme ve tvaru:

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 \quad (10)$$

Exponenciální trend:

$$T_t = \beta_0 \beta_1^t \quad (11)$$

Logaritmický trend:

$$T_t = \beta_0 + \beta_1 \log t \quad (12)$$

Pozn.: Existuje i druhá metoda vyrovnání a to sice metoda klouzavých průměrů. Podstata vyrovnání pomocí klouzavých průměrů spočívá v tom, že posloupnost empirických pozorování nahradíme řadou průměrů získaných z těchto pozorování. Tento způsob je matematicky poměrně jednoduchý, ale má i své nevýhody. Určitý počet hodnot na začátku a na konci časové řady zůstává nevyrovnán, a nelze tak kvalitně provádět předpověď budoucího vývoje. Z toho důvodu ve vlastním zpracování s metodou klouzavých průměrů nebude počítáno. [6]

3.4. Volba vhodného modelu trendu

První možností při rozhodování o vhodném typu trendové funkce jsou věcně ekonomická kritéria, to znamená, že trendová funkce by měla být určena na základě věcné analýzy zkoumaného ekonomického jevu. Při této analýze lze posoudit, zda jde o funkci rostoucí nebo klesající. Ovšem tato možnost umožňuje pouze podhalit základní

tendence ukazatele, tudíž není jednoznačné, který konkrétní typ trendové funkce použít. Druhou možností volby je analýza grafu dané časové řady. Zde může dojít k tomu, že různí lidé mohou na základě grafické analýzy stejné časové řady dojít k různým výsledkům. Proto je vhodné se při hledání vhodného typu trendové funkce zaměřit na rozbor empirických údajů. [6]

K tomu slouží často používaný index determinace:

$$I = \sqrt{1 - \frac{\sum(y_t - T_t)^2}{\sum(y_t - \bar{y})^2}} \quad (13)$$

kde y_t je denní spotřeba elektřiny,

T_t je rovnice odhadované trendové přímky a

\bar{y} je průměrná spotřeba

Za nejvíce vhodnou trendovou funkci je pak považována ta, která dosahuje nejvyšší hodnoty indexu determinace. Na rozdíl od předchozího indexu determinace, kdy je žádoucí, aby jejich hodnota byla co nejvyšší, u následujících je tomu naopak a vybíráme model, u kterého jsou tyto hodnoty nejnižší. [1]

Jsou to především tyto ukazatele:

M.A.E. (Mean Absolute Error) – střední absolutní chyba odhadu

$$M.A.E. = \frac{\sum |y_t - T_t|}{n} \quad (14)$$

kde n je počet měření

M.A.P.E. (Mean Absolute Percentage Error) – střední absolutní procentní chyba odhadu

$$M.A..P.E. = \sum \left(\frac{|y_t - T_t|}{y_t} \right) * \frac{100}{n} \quad (15)$$

M.S.E. (Mean Squared Error) – střední čtvercová chyba odhadu

$$M.S..E. = \frac{\sum (y_t - T_t)^2}{n} \quad (16)$$

V neposlední řadě je také nutné zvolit si správný horizont předpovědi. Předpověď budoucího vývoje, neboli horizont předpovědi je vypočítán jako 1/3 z referenčního období. Referenční období je interval dané časové řady. Velmi důležitou hodnotou je také p-hodnota. Porovnává se s hladinou významnosti alfa. Hladina významnosti je zvolená pravděpodobnostní chyba prvního druhu a většinou se volí 0,05. P-hodnotu získáme jako výstup programu SAS. Platí-li $p - hodnota \leq \alpha$, model je statisticky významný a je vhodný k použití. Naopak jestliže neplatí nerovnost výše jedná se o model statisticky nevýznamný.

4 Vlastní zpracování

Velikost spotřeby elektrické energie závisí na několika faktorech. Mezi nejdůležitější faktor zcela jistě patří to, zda-li je v O₂ aréně „akce“ nebo zda-li je „v klidu“. I když je ale O₂ aréna v klidu, tak pořád spotřebuje velké množství elektřiny, proto byly následující kapitoly rozděleny podle toho, zda se v O₂ aréně něco pořádá. Pro všechny výpočty byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Datové soubory jsou k dispozici buď na CD, které je součástí přílohy a nebo jsou uvedeny přímo v dané kapitole.

4.1. Spotřeba v klidu

Ke spotřebě v klidu dochází, když se v O₂ aréně nekoná žádná akce. Tzn.: nehraje se hokejové utkání, hokejisté nemají trénink, nepořádá se koncertní ani jiné vystoupení, nekonají se žádné firemní večírky, prohlídky, přípravy a ostatní akce. I tak však O₂ aréna spotřebuje hodně elektrické energie. Musí udržovat ledovou plochu, provoz kanceláří, osvětlení pro úklid a údržbu, udržení vnitřního prostředí.

Dalším faktorem, který velmi ovlivňuje spotřebu elektrické energie, je roční období. Roční období byla tudíž rozdělena na léto a zimu. V létě je spotřebovaná elektřina větší než v zimě, protože kvůli větším teplotním podmínkám se O₂ aréna musí chladit. Jednak se musí chladit ledová plocha, která v O₂ aréně leží po celých 11 měsíců ročně. Ale hlavně se chladí celá budova, což spotřebuje nemalé množství elektrické energie. Naopak v zimě se O₂ aréna musí vytápět. Vytápění je však zabezpečeno dálkovým teplovodem, tedy se neprojeví na spotřebované elektřině.

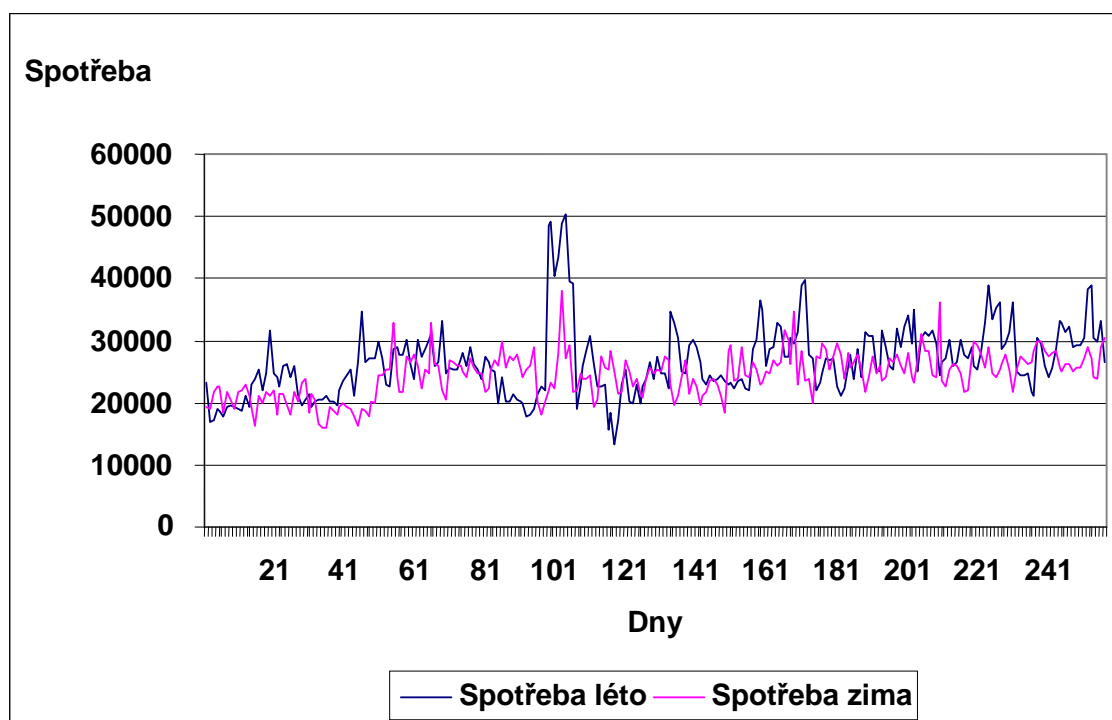
4.1.1. Porovnání spotřeby léto x zima

První podkapitola se zaměřuje na porovnání spotřeby elektřiny mezi létem (netopná sezóna) a zimou (topná sezóna). Bylo vybráno 256 náhodných měření jak pro léto, tak pro zimu v rozmezí od roku 2005 do roku 2009.

Tabulka č. 1 – Spotřeba el. energie [kWh]

	Léto	Zima
Suma	6807851	6277825

Graf č. 1 – Spotřeba el. energie léto X zima



Z tabulky č. 1 můžeme vidět, že spotřeba elektřiny v létě je o 530 026 kWh větší než v zimě. Přitom se považuje léto za topnou sezónu. Ale jak už je uvedeno výše, vytápění O₂ arény není zajišťováno pomocí elektřiny. V létě se naopak musí více chladit, aby se udržovalo vnitřní prostředí budovy, tím se hlavně myslí teplota a vlhkost.

Ledová plocha totiž způsobuje zvýšení vlhkosti, což by bylo nebezpečné pro kovové konstrukce. Proto se musí vlhkost udržovat v určitém rozmezí dané jak normou, tak technickými potřebami budovy. Na grafu č. 1 je modrou barvou znázorněna křivka spotřeby elektřiny v létě. Zde je vidět, že až na pár výjimek je spotřeba elektřiny v létě vyšší než v zimě.

4.1.2. Spotřeba v létě

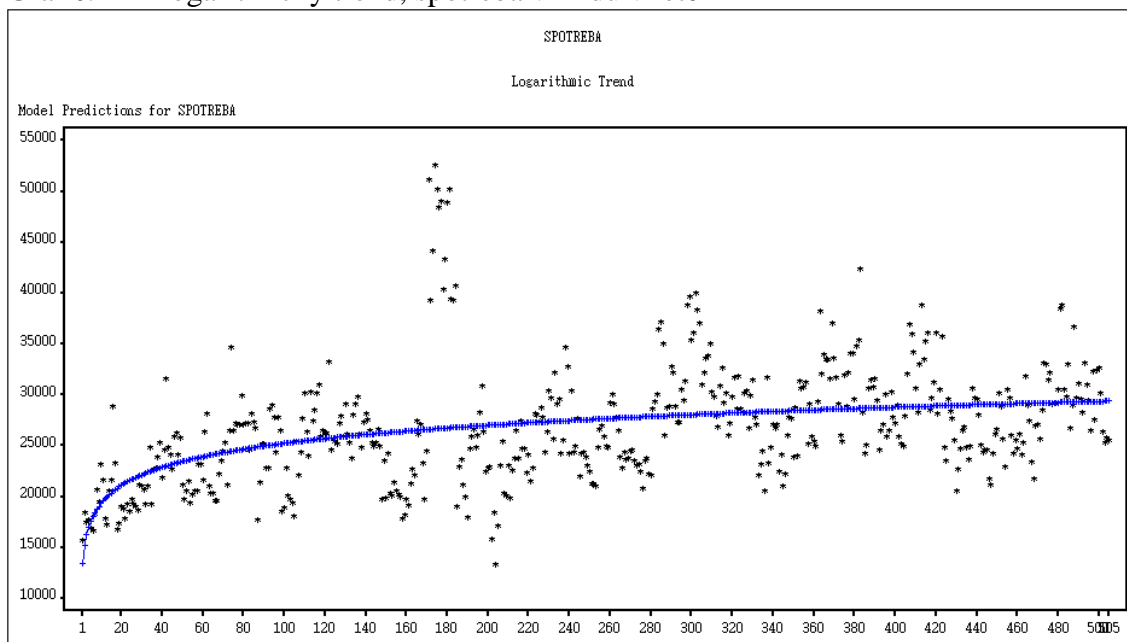
Zde byla vybrána všechna měření v létě, když byla O₂ aréna v klidu. Měření je celkem 505 a byla dále analyzována za účelem vývoje budoucí predikce.

Tabulka č. 2 – Ukazatele kvality, spotřeba v klidu (léto)

Trend	Index	
	determinace	MAPE
Lineární	0,145	14,2807
Parabolický	0,181	13,9775
Exponenciální	0,137	14,3049
Logaritmický	0,19	13,7429

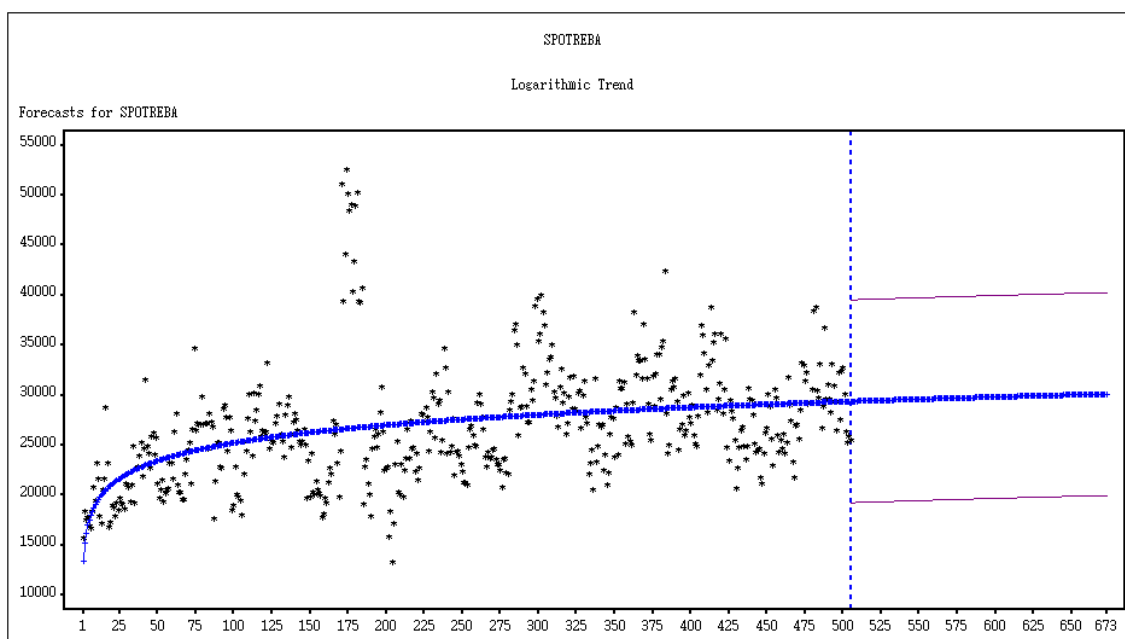
V tabulce výše můžeme vidět jednotlivé trendové funkce a dva ukazatele jejich kvality. První je index determinace, jehož hodnota by měla být co největší. Na rozdíl od toho ukazatel MAPE by měl být co nejmenší. Jako nejvíce vhodný trend byl vybrán logaritmický.

Graf č. 2 – Logaritmický trend, spotřeba v klidu v létě



Tento logaritmický trend má rovnici $T_t = 13415 + 2566 \log t$ a odpovídá skutečnosti z 19%. V grafu č. 2 si můžeme povšimnout velkých výkyvů spotřeby v určitých obdobích, které lze vysvětlit chybami v dodaném datovém souboru (může se jednat o dny, které chybně nejsou uvedeny jako akce).

Graf č. 3 – Logaritmický trend s horizontem předpovědi, spotřeba v klidu v létě

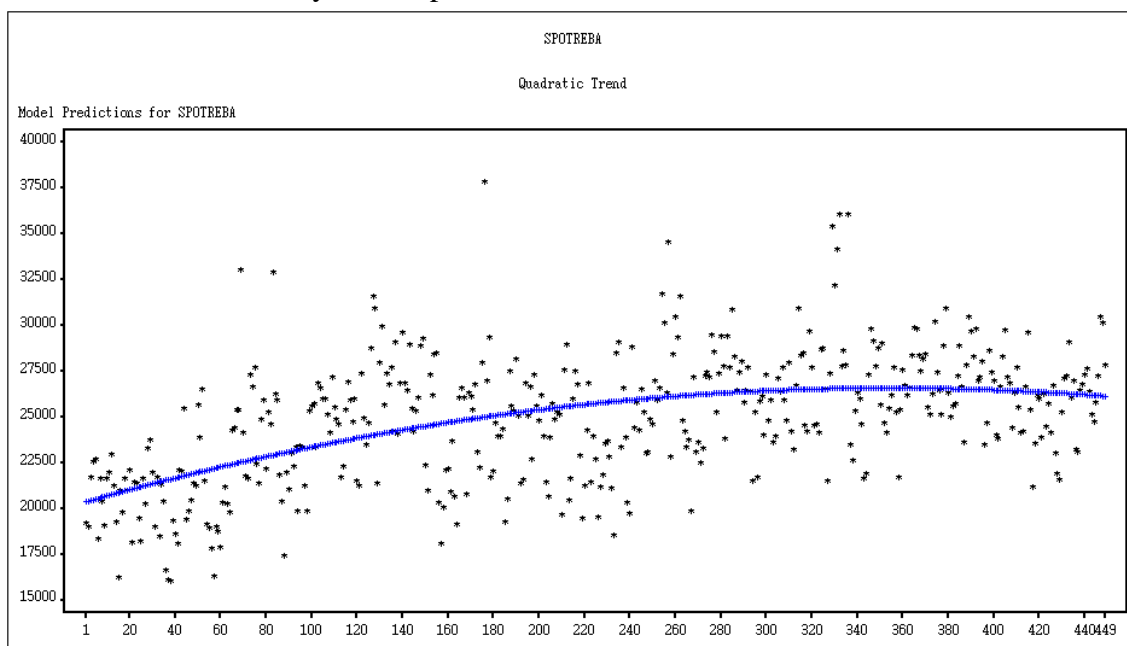


Na grafu č. 3 je znázorněn logaritmický trend s horizontem předpovědi, který byl zde zvolen jako celá 1/3 referenčního období. Můžeme tedy říci, že spotřeba elektřiny v klidu v létě má mírně vzrůstající tendenci.

4.1.3. Spotřeba v zimě

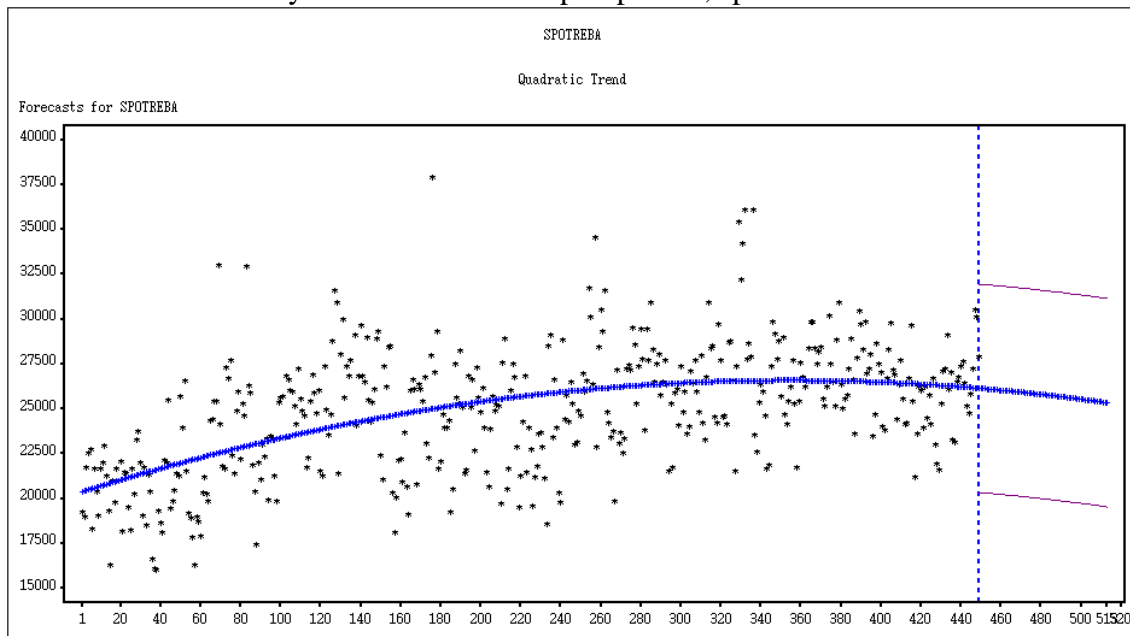
Zde byla vybrána všechna měření v zimním období v klidovém provozu O₂ arény. Měření je celkem 449 a byla dále analyzována za účelem vývoje budoucí predikce.

Graf č. 4 – Parabolický trend, spotřeba v klidu v zimě



Na grafu č. 4 vidíme parabolický trend, který má rovnici $T_t = 22015 + 30,155t - 0,0497t^2$. Tato trendová funkce odpovídá ze 27,7% skutečnosti. I přes značný rozptyl zadaných hodnot můžeme pozorovat, že vzrůstající tendence na počátku intervalu se postupně vyrovnává a dochází až k mírnému poklesu ke konci intervalu.

Graf č. 5 – Parabolický trend s horizontem předpovědi, spotřeba v klidu v zimě



Graf č. 5 zachycuje výše zmíněný parabolický trend s horizontem předpovědi zkráceným na 1/7 referenčního období, ze kterého vyplývá klesající vývoj budoucí spotřeby.

4.1.4. Porovnání spotřeby meziroční

V této kapitole byla porovnávána spotřeba elektřiny za jednotlivé roky. Bylo vybráno 100 náhodných měření za každý rok, kdy je O₂ aréna v klidu. Jak je vidět z tabulky č. 3 spotřeba elektrické energie v průběhu od roku 2005 do roku 2009 kolísavě roste.

Tabulka č. 3 – Elementární charakteristiky, spotřeba v klidu meziroční

Rok	t	Spotřeba	1. diference	2. diference	Tempo růstu
2005	1	2132969	-	-	-
2006	2	2676468	543499	-	1,2548
2007	3	2566886	-109582	-653081	0,9591
2008	4	2753052	186166	295748	1,0725
2009	5	2724975	-28077	-214243	0,9898
Celkem		12854350			

Ve sloupečku 1. diference můžeme vidět roční přírůstky resp. úbytky spotřeby elektrické energie. Největší přírůstek je zcela jistě v roce 2006. Přírůstek činil 543 499 kWh, což je asi 25,48%. V roce 2007 byl úbytek spotřeby elektřiny o 4,09%, v roce 2008 následoval přírůstek o 7,25% a v roce 2009 opět úbytek o 1,02%. Pomocí vzorce (4) bylo vypočítáno průměrné tempo růstu, což je 1,0632. Tzn. jde o růst o 6,32%. Průměrná spotřeba elektrické energie činí 2 570 870 kWh za rok; k tomuto vypočtu byl použit vzorec č. (5). Výpočty sice prokázaly, že spotřeba elektrické energie narůstá, ovšem jen velmi málo a v průběhu let jednoznačně kolísá.

4.2. Spotřeba při akci

Tato kapitola pojednává o spotřebě elektrické energie, když se v O₂ aréně koná nějaká akce. Spotřeba elektřiny je zde větší, než když je O₂ aréna v klidu. Je to dáno mnoha faktory. Už jen to, že O₂ aréna je plná diváků resp. fanoušků, kteří mohou využívat bary a restaurace. Všechna tato místa jsou určena jen pro návštěvníky, a proto jsou zavřená když je O₂ aréna v klidu. Mezi další faktory patří, jak již z názvu kapitoly vychází, konání akce. K tomu je zapotřebí pořádného osvětlení, ať už se jedná o hokej, koncert či jiné akce. Následující podkapitoly popisují, jak se vyvíjí spotřeba elektřiny při různých typech akcí.

4.2.1. Spotřeba při hokejových utkáních

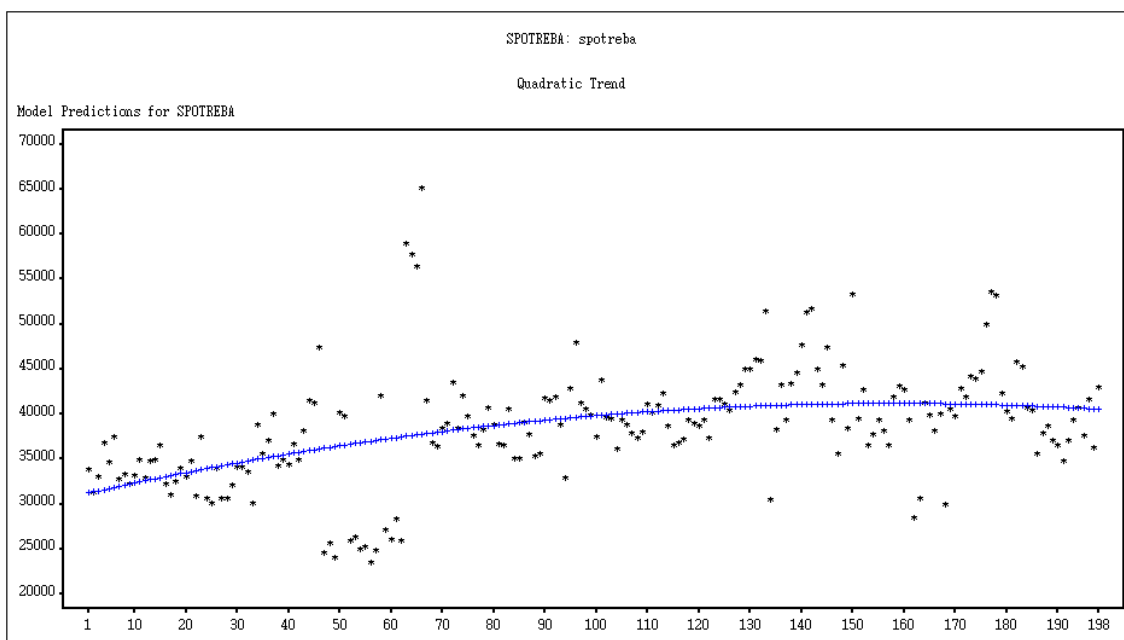
Zde bylo vybráno celkem 198 měření (hokejových zápasů). Výběr obsahuje zápasy ze všech pěti let tj. od roku 2005 do roku 2009. Pomocí programu SAS byla daná měření zanalyzována a bylo určeno, který vhodný trend zvolit.

Tabulka č. 4 – Ukazatele kvality, spotřeba při akci (hokej)

Trend	Index	
	determinace	MAPE
Lineární	0,175	10,8082
Parabolický	0,208	10,5135
Exponenciální	0,168	10,8774
Logaritmický	0,166	11,0381

V tabulce výše můžeme opět vidět jednotlivé trendové funkce a dva ukazatele jejich kvality. Z těchto hodnot byl jednoznačně vybrán parabolický trend.

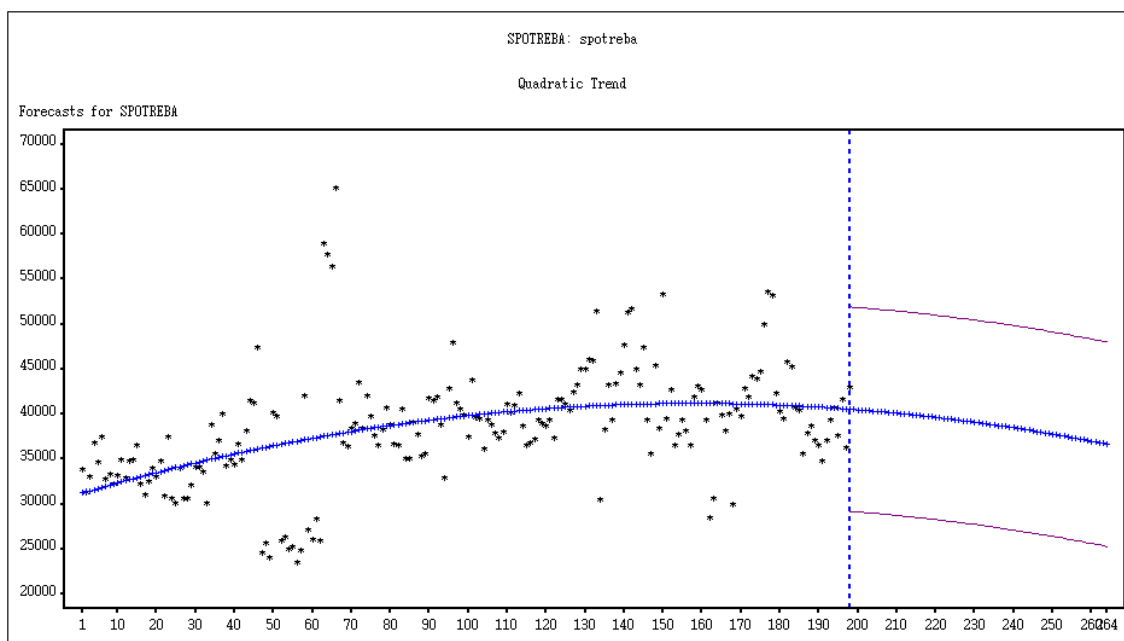
Graf č. 6 – Parabolický trend, spotřeba elektřiny při hokejových utkáních



Na grafu č. 6 můžeme vidět kvadratickou trendovou funkci, která byla zvolena za nejvíce vhodnou. Střední absolutní procentní chyba odhadu je 10, 5135 a index determinace 0,208. Tudíž můžeme říct, že s 20,8% pravděpodobností bude budoucí

spotřeba elektřiny klesat. Rovnice této funkce je $T_t = 36576 + 86,496t - 0,404t^2$. Tento model má p-hodnotu menší než hladinu významnosti alfa, a proto je statisticky významný.

Graf č. 7 – Parabolický trend s horizontem předpovědi, spotřeba elektřiny při hokejových utkáních



Horizont předpovědi je $1/3$ z celkového počtu měření. Což je $198 / 3 = 66$. Horizont předpovědi je tedy pro příštích 66 hokejových utkání. Jak se bude vyvíjet spotřeba elektřiny při hokejových utkáních můžeme vidět na grafu č. 7. Můžeme tedy vidět, že spotřeba elektřiny při hokejových utkáních bude klesat.

4.2.2. Spotřeba při koncertech

Koncertních vystoupení bylo poměrně méně než hokejových utkání, a to sice jen 89. Po analýze dané časové řady vyšly následující hodnoty ukazatelů (tabulka č. 5).

Tabulka č. 5 – Ukazatele kvality, spotřeba při akci (koncert)

Trend	Index	
	determinace	MAPE
Lineární	0,005	20,5014
Parabolický	0,007	20,5012
Exponenciální	0,003	20,2727
Logaritmický	0,002	20,3683

Hodnoty zde vyšly velmi špatně. Indexy determinace jsou příliš malé, poněvadž pravděpodobnost modelu například lineárního je pouze 5%. Naopak střední absolutní procentní chyba vychází příliš velká. Jako nejvhodnější trendová funkce zde připadá parabolická, ovšem ani jedna ze zmíněných trendových funkcí není statisticky významná, protože p-hodnota je větší než hladina významnosti alfa. Tudíž k predikci zde nedojde. Je to dáno tím, že čas zde nemá takovou váhu a záleží spíše na jednotlivých koncertech. Časová řada byla zanalyzována jen pomocí elementárních charakteristik. Všech 89 koncertních vystoupení bylo rozděleno na jednotlivě roky, abych mohl pozorovat, jak se spotřeba elektrické energie pohybovala meziročně. V tabulce č. 6 je datový soubor, kde je vidět, kolik koncertů ve kterém roce proběhlo a jaká byla spotřeba elektřiny.

Tabulka č. 6 – Datový soubor, spotřeba při akci (koncert)

Počet koncertů	2005	2006	2007	2008	2009
1	126240	44657	42464	25590	48988
2	36295	36786	39249	50966	51665
3	32740	25644	34347	53210	49806
4	28960	43925	43931	55437	28058
5	32990	50204	29838	47053	25888
6	33755	31524	42218	38463	34393
7	42370	45885	45566	40395	31842
8	31735	54294	36765	40349	33696
9	31975	84686	26836	36146	36381
10	34505	87218	25597		28030
11	28600	53131	31989		46295
12	32485	68238	30169		43407
13	36245	64497	28679		42620
14	33520	45024	33178		43137
15	36685	40053	29854		41352
16		39361	23370		44323
17		37017	31702		35255
18		37960	32365		27283
19		40355	34522		36696
20			41068		38061
21			39913		42502
22			40276		43225
23					43569
24					37493

Tabulka č. 7 – Elementární charakteristiky, spotřeba při akci (koncert)

Rok	Počet koncertů	Spotřeba	1.diference	Tempo růstu
2005	15	599100	-	-
2006	19	930461	331361	1,55309744
2007	22	763895	-166565	0,8209863
2008	9	387609	-376286	0,50741105
2009	24	933965	546356	2,40955447

Počet koncertů za jednotlivé roky je sice pokaždé jiný, ale dle tabulky č. 7 můžeme vidět následující výsledky. V roce 2006 je vidět očividný přírůstek spotřeby elektřiny. Přírůstek zde činil 55,31% a může být považován za spolehlivý, jelikož počet koncertů od roku 2005 do roku 2006 vzrostl jen o čtyři.

4.2.3. Spotřeba při ostatních akcích

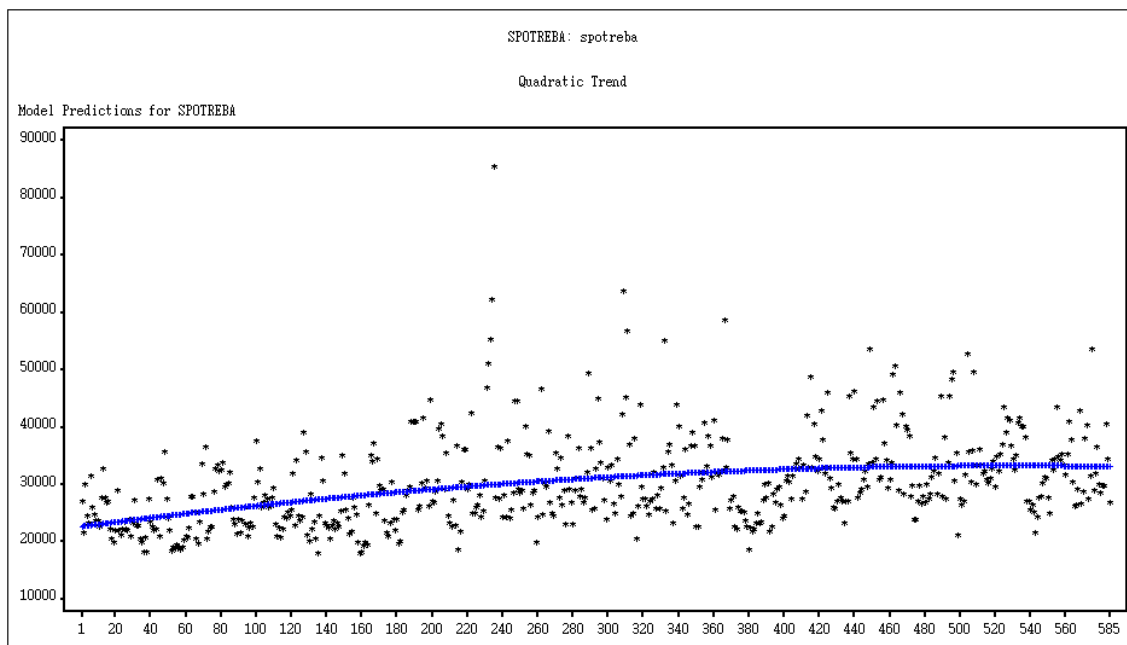
Do ostatních akcí bylo zařazeno všechno, co v O₂ aréně proběhlo a co by nemohlo být zařazeno do dřívějších kapitol. Spadají sem například prohlídky, exkurze, výstavy, všechny ostatní sporty (ME ve stolním tenise, Freestyle motocross, Eurobasket, Davis cup, Snowmania, florbal, halový fotbal, tance a další). Dále akce jako jsou White sensation, Apassionata, Rodeo, Holiday on ice, Live nation, Transmission a plno dalších. Těchto ostatních akcí (měření) je 585.

Tabulka č. 8 – Ukazatele kvality, spotřeba při akci (ostatní)

Trend	Index	
	determinace	MAPE
Lineární	0,149	17,4298
Parabolický	0,164	17,3967
Exponenciální	0,144	17,3974
Logaritmický	0,136	18,1231

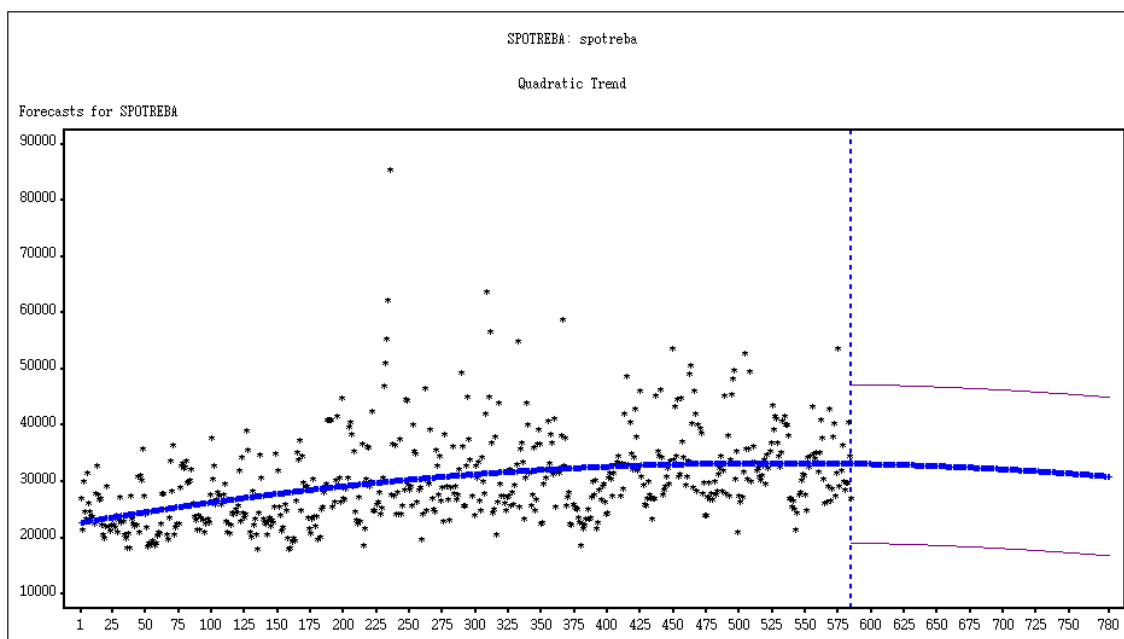
Z tabulky č. 8 můžeme říci, že nejvíce vhodný trend je parabolický, i když všechny hodnoty jsou opět v minimu či maximu. Parabolický trend jsem vybral, protože má největší hodnotu indexu determinace a nejmenší hodnotu ukazatele MAPE.

Graf č. 8 – Parabolický trend, spotřeba elektřiny při ostatních akcích



Na grafu č. 8 jsou vidět jednotlivá měření a parabolická trendová funkce jimi proložená. Tato trendová funkce je kvalitní z 16,4%. Pravděpodobnost je velice malá, což může být zapříčiněno velkým množstvím měření a velkými odchylek jednotlivých měření. I tak má daná trendová funkce p-hodnotu menší než hladinu významnosti alfa, a tudíž je model statisticky významný. Rovnice této funkce je $T_t = 24622 + 36,352t - 0,038t^2$.

Graf č. 9 – Parabolický trend s horizontem předpovědi, spotřeba elektřiny při ostatních akcích



V grafu č. 9 vidíme parabolický trend i s jeho predikcí pro několik příštích hodnot. Horizont předpovědi je zde (opět 1/3 z celkových měření) 195. Můžu tedy říci, že s 16,4% pravděpodobností bude spotřeba elektrické energie při ostatních akcích klesat.

4.3. Porovnání spotřeby celkem

V této kapitole byly použity všechny naměřené hodnoty ze všech pěti let bez ohledu na to, jestli je O₂ aréna v klidu nebo při akci. Množství měření je velice velké, celkem 1 826.

Tabulka č. 9 – Ukazatele kvality, spotřeba elektřiny celkem

Trend	Index		
	determinace	MAPE	MAE
Lineární	0,073	19,2913	5722,3
Parabolický	0,083	19,1909	5703,5
Exponenciální	0,07	19,1749	5708,4
Logaritmický	0,071	19,4617	5757,5

Tabulka s hodnotami ukazatelů (tabulka č. 9) zde vyšla velmi zajímavá. Podle indexu determinace je nejvíce vhodný model parabolický, jelikož má nejvyšší hodnotu. Ale podle ukazatele střední absolutní procentní chyby, kde hledám co možná nejmenší hodnotu, se jeví jako nejvíce vhodný exponenciální trend. Byl zde proto ještě přidán ukazatel střední absolutní chyby. Ten potvrzuje tvrzení indexu determinace, protože dle MAE je nejvíce vhodný trend opět parabolický. Obě trendové funkce mají p-hodnotu menší než hladinu významnosti alfa, ovšem kvalita modelu odpovídá skutečnosti jen v jednotkách procenta. Rozptyl jednotlivých měření je příliš velký a je mnoho měření, není tudíž možná věrohodná predikce do budoucího období.

5 Závěr

Moje práce měla za úkol analyzovat spotřebu elektřiny v O₂ aréně. K dispozici jsem měl údaje o spotřebě elektřiny za každý den od roku 2005 do roku 2009. O₂ aréna má specifický provoz a profil spotřeby závisí na několika faktorech. Proto bylo nutno data rozdělit do několika porovnatelných skupin. Jsou to skupiny O₂ aréna v klidu, O₂ aréna při hokeji, O₂ aréna při koncertu, O₂ aréna při jiné akci, Zimní provoz a Letní provoz. Tyto jednotlivé skupiny byly analyzovány vhodně zvolenou metodou tak, aby se projevil trendy, které by bylo případně možno použít k predikci na další období.

Predikce spotřeby energií je v současnosti stěžejní bod veškeré energetiky, od ní závisí jak plánování výstavby nových energetických zdrojů, tak plánování nákladů na její spotřebu. Z trendů spotřeby energií pak lze zjistit, jak se v průběhu doby mění energetická náročnost provozu objektu. Jestli jsou účinná přijatá úsporná opatření, jestli se zařízení provozují hospodárně, jestli vlivem stárnutí technologie nedochází ke zbytečným únikům energie.

Z práce vyplývá, že i v O₂ aréně se projevoval celosvětový trend neustálého zvyšování spotřeby elektřiny. Ale také to, že v posledním období se tento stav daří zastavit, někdy i zvrátit. Jak při hokejových utkáních, tak i při ostatních akcích je zřetelná parabolická tendence, která dovolí predikovat mírně klesající spotřebu. Je to zřejmě způsobeno zavedením úsporných opatření a vzrůstající zkušeností s provozováním technologií.

Při zkoumání spotřeby při koncertech se ukázalo, že výkyvy mezi akcemi jsou obrovské. Je velmi obtížné je statisticky analyzovat, určit trendy i predikce. Je to dáno specifíčkostí každého jednotlivého koncertu a požadavky promotérů, kteří akci zajišťují. Jeden koncert může být spíše komorního charakteru s nižší spotřebou i při naplnění celé haly, jiný je naopak obrovská audio-vizuální show s velikou spotřebou elektřiny.

Velká část práce se zabývá analýzou spotřeby elektřiny ve dnech klidu, kterých je více než 50%. Tyto byly dále rozděleny na období léto a zima. Po analytickém vyrovnání letního provozu v klidu lze konstatovat, že spotřeba elektřiny má mírně vzrůstající tendenci. V zimním období v průběhu časové řady spotřeba vzrůstá. Až ke

konci intervalu časové řady se spotřeba vyrovnává a začíná mírně klesat. Predikce pro zimní období má mírně klesající tendenci.

6 Seznam použité literatury

- [1] Anděl,J.: *Statistické metody*, Praha, MATFYZPRESS, 1993
- [2] Arlt,J.,Arltová,M.: *Ekonomické časové řady*, Praha, Professional Publishing, 2009
- [3] Arlt,J.,Arltová,M.,Rulíková,E.: *Analýza ekonomických časových řad s příklady*, Praha, VŠE, 2002
- [4] Cipra,T.: *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*, Praha, SNTL/ALFA, 1986
- [5] Hančlová,J.,Tvrdý,L.: *Úvod do analýzy časových řad*, Ostrava, VŠB-TU, 2003
- [6] Hindls,R.,Hronová,S.,Seger,J.,Fischer,J.: *Statistika pro ekonomy*, Praha, Professional Publishing, 2007
- [7] Kožíšek,J.: *Statistika*, Praha, Nakladatelství ČVUT, 2006
- [8] Reisenauer,R.: *Metody matematické statistiky a její aplikace*, Praha, SNTL, 1970
- [9] www.sazkaarena.cz
- [10] www.odbornecasopisy.cz
- [11] <http://cs.wikipedia.org>

7 Přílohy

Viz. CD