

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Predikce následků dopravních nehod

Bc. Daniel Vojtěch

Diplomová práce

2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Daniel Vojtěch**
Osobní číslo: **D10727**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Predikce následků dopravních nehod**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

- 1) Úvod
- 2) Nehodovost v ČR
- 3) Predikování následků nehod pomocí ANFIS
- 4) Alternativní predikce nástroji statistiky
- 5) Porovnání výsledků
- 6) Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

NOVÁK, V. Fuzzy množiny a jejich aplikace, SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1986, 280 stran

Přehledy o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky, Praha : Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky

Fuzzy logic toolbox user's guide. The MathWorks. Natick, 2010. 345 s.

POKORNÝ, J. Aplikace výpočetní inteligence v řešení bezpečnosti silničního provozu, disertační práce, Univerzita Pardubice, Pardubice 2010.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Pokorný

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **24. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2012**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Hradci Králové dne 20. 5. 2012

Bc. Daniel Vojtěch

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Janu Pokornému Ph.D. a Mgr. Věře Záhorové Ph.D. za věnovaný čas, po který mi poskytli řadu důležitých informací a cenné připomínky, které mi pomohly při zpracování této práce. Také bych chtěl poděkovat svým rodičům za trpělivost a podporu ve studiu.

V Hradci Králové dne 20. 5. 2012

Bc. Daniel Vojtěch

ANOTACE

Tato diplomová práce je věnována problematice predikcí následků dopravních nehod. Jedním způsobem je využití fuzzy inferenčního systému typu Takagi – Sugeno, do kterého jsou vloženy připravené matice vstupních a výstupních hodnot na základě historických záznamů následků nehod. Druhý způsob se věnuje analýze časových řad ze stejných záznamů a tyto způsoby jsou mezi sebou porovnány.

KLÍČOVÁ SLOVA

následky nehod, predikce, exponenciální vyrovnání, fuzzy inferenční systém typu Takagi - Sugeno, časové řady

TITLE

Prediction of consequences of road traffic accidents

ANOTATION

This thesis is focused on prediction of the accident consequences. There are more possibilities how to make such predictions. One way is to use fuzzy inference system type Takagi–Sugeno. This system works with pre-prepared matrixes of input and output values which have origin in historical records of accident consequences. The second method deals with the time series analysis of the same records. These two methods are compared with each other.

KEYWORDS

consequences of accidents, prediction, exponential compensation, the fuzzy inference system of the type of Takagi - Sugeno, time series

1. Úvod.....	11
2. Nehodovost v ČR	12
2.1. Statistiky nehod od roku 1976.....	12
2.2. Statistiky usmrcených od roku 1976.....	13
2.3. Statistiky těžce zraněných od roku 1982.....	15
2.4. Opatření ČR pro snížení nehodovosti	15
3. Predikování následků nehod pomocí metody ANFIS.....	18
3.1. Nástroje k vyhlazení časové řady.....	18
3.2. Exponenciální vyrovnání	23
3.2.1. Exponenciální vyrovnání i s predikcí pro usmrcené.....	27
3.2.2. Exponenciální vyrovnání i s predikcí pro těžce zraněné	29
3.2.3. Porovnání aditivní a multiplikativní sezóny	30
3.3. Fuzzy inferenční systém (FIS) typu Takagi – Sugeno	32
3.4. Báze podmíněných pravidel	33
3.5. Fuzzifikace vstupu a aplikace operátorů v podmíněných pravidlech	33
3.6. Implikace FIS typu Takagi – Sugeno	34
3.7. Agregační proces a defuzzifikace typu Takagi – Sugeno	34
3.8. Předzpracování dat pro usmrcené a těžce zraněné	35
3.9. Trénovací, testovací a kontrolní množiny dat	37
3.10. Návrhy predikčních modelů pomocí ANFIS	38
3.11. Generování FIS	39
3.12. Predikce následků nehod.....	40
4. Alternativní predikce nástroji statistiky.....	45
4.1. Analýza časových řad	45
4.2. Samotné přístupy k analýze časových řad	45
4.3. Sezónní složka v časové řadě pro usmrcené a těžce zraněné	46
4.4. Predikce pomocí časové analýzy	49
5. Porovnání výsledků	54
5.1. Histogramy	56
6. Závěr.....	59
7. Použitá literatura.....	60
8. Seznam obrázků, grafů a tabulek	61
9. Seznam příloh	63

1. Úvod

Prioritou České republiky v oblasti dopravy je snaha o co největší snížení počtu nehod a s ní související hrozivé počty usmrcených, těžce, či lehce zraněných. Aby bylo možné těchto priorit dosáhnout, je nutné mít k dispozici statistiku z historických údajů a na základě těchto dat se snažit sestavit i vývoj do budoucích let.

Existuje několik sofistikovaných možností, jak budoucí chování systému predikovat. Z hlediska délky predikovaného období je lze rozdělit na dlouhodobé, střednědobé a krátkodobé. Dlouhodobé predikce mají využití především k plánování či sestavování strategií v oblasti dopravní politiky. Důvodem krátkodobých až střednědobých predikcí je například vyhodnocení úspěšnosti změn legislativy nebo policejních akcí. Tato práce se zaměřuje na kratší predikční období. Konkrétně si bere za cíl sestavit pomocí různých metod 12-ti měsíční predikční modely na roky 2011, 2012 a zároveň zjistit, které z modelů generují nejlepší výsledky.

Škála způsobů odhadu budoucího vývoje je poměrně široká a ve většině případů vychází z ekonomických disciplín. V této práci je výběr predikčních metod zúžen na analýzu časových řad, fuzzy inferenční systém typu Takagi – Sugeno a dodatečně i předpovědi, které umožňuje exponenciální vyrovnání. Každá metoda je ještě k tomu doplněná o různé varianty.

Tím, jaké výsledky uvedené metody generují a jak vychází jejich vzájemné porovnání, se zabývají závěrečné kapitoly práce.

2. Nehodovost v ČR

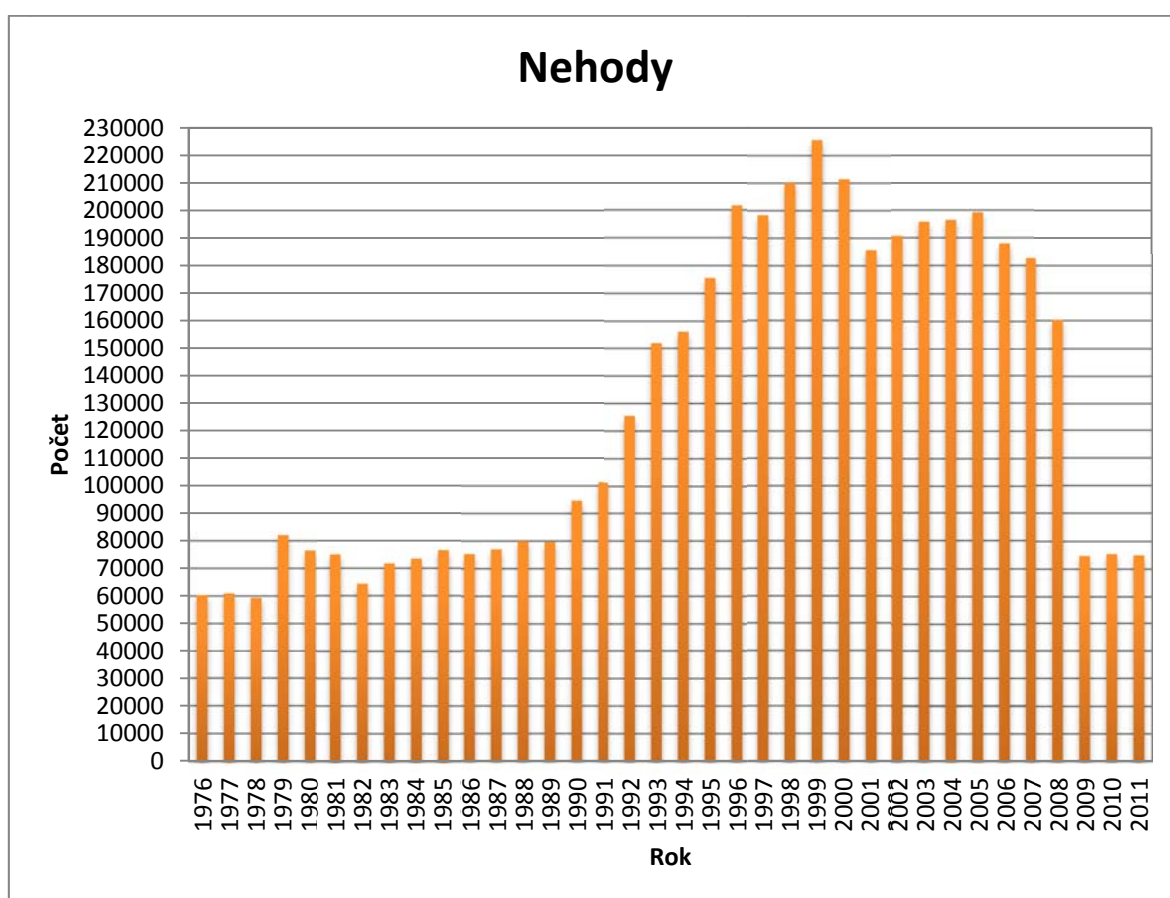
2.1. Statistiky nehod od roku 1976

Graf 1 znázorňuje počet nehod za jednotlivé roky od roku 1976, kdy se začala sbírat data o dopravních nehodách. Je patrné, že první tři roky se celkový počet nehod pohyboval přibližně na konstantní hodnotě, následně v roce 1979 došlo poměrně ke skokovému nárůstu o 22 644 nehod. Za zlomový rok se dá ovšem označit rok 1989, bohužel v negativním slova smyslu. Od tohoto roku dochází k nárůstu nezanedbatelného počtu nehod (s výjimkou roku 1997 kde došlo k mírnému poklesu) a všechno graduje v roce 1999, kde počet nehod dosahuje až k neuvěřitelnému číslu 225 690. Kritické měsíce v tomto roce jsou především listopad (21 191 nehod) a prosinec (23 511 nehod), který je úplně rekordní ze všech sledovaných měsíců. Poslední výraznou změnou je rok 2009, který vypadá velmi pozitivně z pohledu počtu nehod, avšak důvodem tohoto výrazného skoku je, že od 1. 1. 2009 začal platit nový zákon, který ukládá účastníkům dopravní nehody přivolat Policii ČR tehdy, je-li celková hmotná škoda způsobená vozidly větší než 100 000 Kč. Od 1. 1. 2001 do 1. 1. 2009 totiž platilo, že účastníci dopravní nehody musí přivolat policii ČR do hmotné škody 50 000 Kč, to se také samozřejmě promítlo do grafu, ovšem ne tak výrazně jako u roku 2001. K důvodům, proč tento propad počtu nehod nebyl tak razantní, mohlo být pomalé zvykání na nový zákon, který tak trochu staví účastníky dopravních nehod do role odhadců, a tak byla Policie ČR k nehodám volaná častěji i když hmotná škoda nedosáhla této částky. Je tak potřeba brát statistiku počtu nehod od roku 2001 v ČR s velkou rezervou, protože skutečné počty nehod z důvodu tohoto zákona znát nemůžeme. Do roku 2001 byl skutečný počet nehod ovlivněn také mnoha faktory, například i zde byla hmotná škoda, při níž se měla volat policie, větší jak 1 000 Kč. Několikrát je zde zmíněno, že oznamovací povinnost účastníků nehody je určena limitem a to podle příslušného roku, ovšem přivolat Policii ČR k místu dopravní nehody je také dána:

- dojde-li při nehodě ke zranění a to i velice lehkému nebo k usmrcení osoby,
- dojde-li při nehodě ke škodě na majetku (vozidla, nemovitosti apod.) a to v jakékoliv výši třetí osobě. Avšak je zde výjimka, že Policie ČR se nebude volat v případě, kdy půjde o škodu na vozidle třetí osoby (např. někoho ze

členů rodiny, zaměstnavatele, či leasingové společnosti), ale jeho řidič měl na nehodě účast,

- dojde-li při nehodě k poškození pozemní komunikace, její zničení nebo poškození jejích součástí a příslušenství (jde např. o značky, svodidla atd.),
- dojde-li při nehodě k poškození obecně prospěšného zařízení (např. přejezdového zabezpečovacího zařízení) nebo k ohrožení životního prostředí (např. vlivem úniku provozních kapalin vozidla),
- nebudeme-li schopni po nehodě obnovit plynulost provozu. [3]

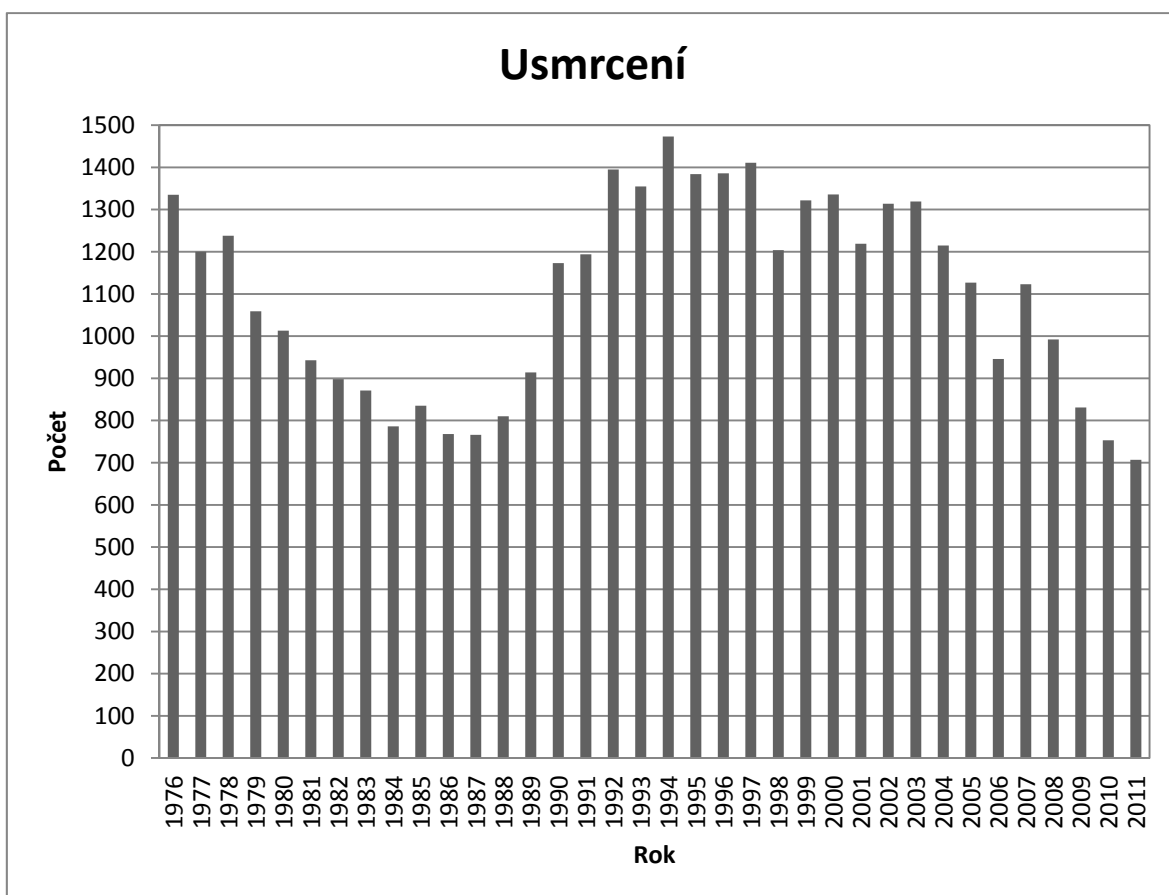


Graf 1: Počet nehod na pozemních komunikacích ČR

2.2. Statistiky usmrcených od roku 1976

Česká republika patří mezi státy s nejhoršími výsledky v oblasti nehodovosti, což se samozřejmě odráží i na počtu usmrcených a těžce zraněných. Dokonce jsme v některých obdobích vykazovali nejhorší výsledky v oblasti nehodovosti mezi státy začleněné do EOCD (Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj). Z grafu 2 lze

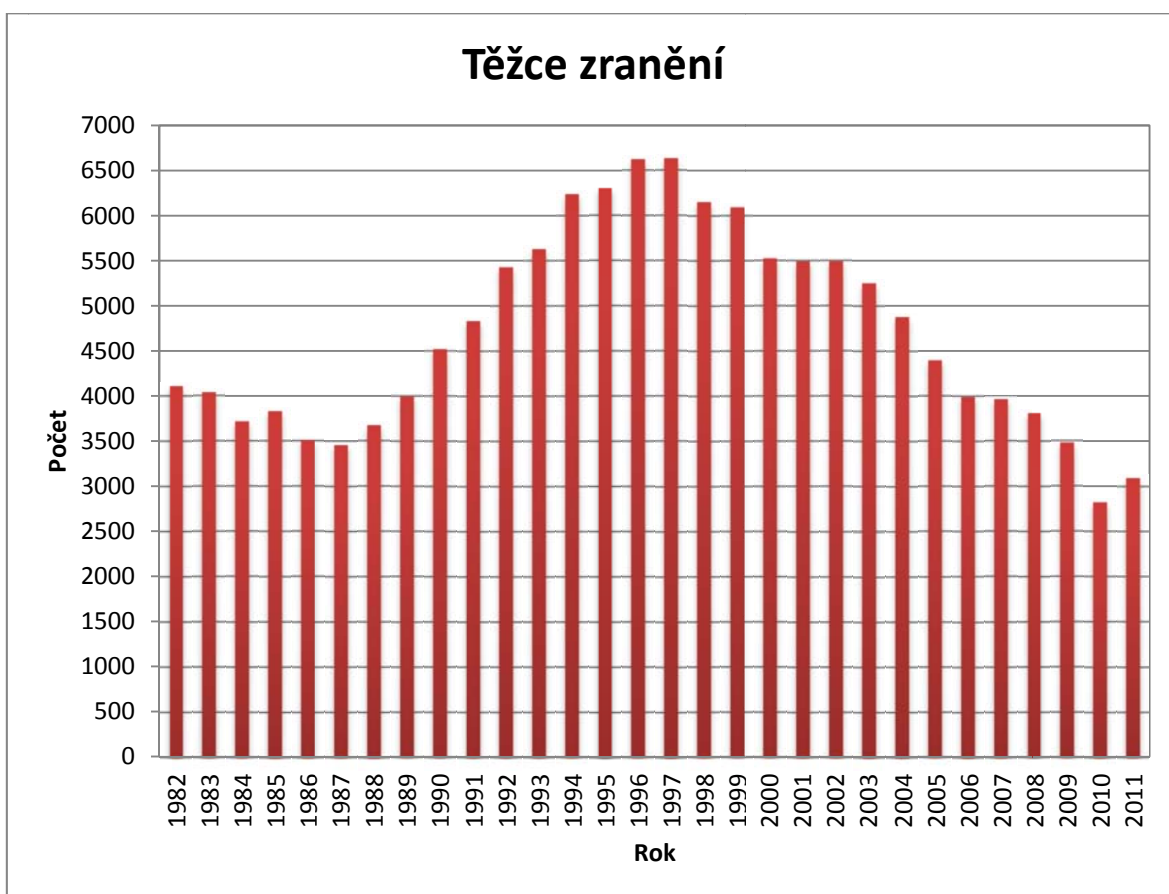
vyčíst, že již první rok co se vytvářela statistika, tak počet usmrcených dosahuje alarmujícího čísla 1 335 osob. Nejnižší počet usmrcení byl v roce 1987 a to 776 osob. Po „sametové revoluci“ ale dochází již ke zmiňovanému růstu nehod, což se odráží v počtu usmrcených. Mezi důvody se řadí pokles policejního dohledu a s tím související zvýšení nekázně řidičů, velký nárůst dopravy způsobený dovozem ojetých aut ze zahraničí, snížení kvality autoškol apod. V posledních letech však počet usmrcených začal klesat, protože došlo v ČR k určitým opatřením (konkrétní důvody u bodu osnovy 2.4. Opatření ČR pro snížení nehodovosti).



Graf 2: Počet usmrcených na pozemních komunikacích ČR

2.3. Statistiky těžce zraněných od roku 1982

Na rozdíl od předchozích statistik, je tato statistika (na Grafu 3) vedena až o 6 let později. Je to jeden z posledních sledovaných parametrů, kterým se tato práce bude v dalších bodech osnova věnovat. Společně s počty mrtvých osob vykazuje tato statistika totiž stabilnější chování, a tak je vhodná pro další zpracování. Samotný průběh těžce zraněných po jednotlivých letech do jisté míry kopíruje průběh Grafu 2 (počtu usmrcených) a tak pro tuto statistiku platí podobné důvody vývoje jako u usmrcených a proto zde nebudou opět zmiňovány.



Graf 3: Počet těžce zraněných na pozemních komunikacích ČR

2.4. Opatření ČR pro snížení nehodovosti

Vysoký počet nehod a katastrofální počet usmrcených nebo těžce zraněných po roce 1987 zákonitě musel vést ke zpřísnění legislativy ČR. Mezi tato opatření se řadí snížení rychlosti v obcích na 50 km/hod (1. 10. 1997), Zákon 361/2000 Sb.

(1. 1. 2001), který přináší celou řadu změn na našich komunikacích (např. přednost chodců na přechodech), Národní strategie bezpečnosti silničního provozu (28. 4. 2004), která si dává za cíl do roku 2020 snížit počet usmrcených na evropských silnicích a zároveň snížit počet těžce zraněných až o 40% oproti roku 2009 a poslední významné opatření bylo zavedení bodového systému (1. 7. 2006). Pozitivní výsledek se dostavil vždy po zavedení některého z těchto opatření. Bohužel největší problém je, že většinou šlo o krátkodobý účinek, protože po určité době kázeň řidičů opět klesla. Nejvíce úspěšná z tohoto úhlu pohledu se zdá být Národní strategie bezpečnosti silničního provozu, protože od jejího přijetí nastal příznivý vývoj po několik následujících let. [5]

Hlavní důvody zpříšňování legislativy jsou spojené především s nedodržováním povolené rychlosti řidičů na našich komunikacích. Z tohoto hlediska naše orgány zareagovaly:

- stavbou kvalitních přechodů,
- zužování komunikací,
- instalací ostrůvků,
- stavbou zpomalovacích retardérů,
- zkvalitnění dopravního značení (např. použití reflexních materiálů),
- omezení rychlosti kolem škol a na jiných rizikových či frekventovaných místech,
- intenzivnější dohled dopravní policie v rizikových oblastech. [5]

Dále je nutno podotknout, že záměrem těchto stavebních či jiných zmíněných opatření, bylo také snížení počtu usmrcených chodců, kteří patří vůbec k nejvíce rizikové skupině i z důvodů platnosti zákona o provozu na pozemních komunikacích č.361/2000 Sb. Na rozdíl od nehod motorových vozidel, při střetnutí chodce s vozidlem podle výzkumů z Nizozemí (Ashon&Mackay; Finch, Taylor aj.), dojde při rychlosti 32 km/hod z 5 % k jeho usmrcení. Při rychlosti vozidla 45 km/hod je již pravděpodobnost usmrcení 45 % a při rychlosti 64 km/hod je šance na přežití chodce nižší jak 15 %. [5]

Ve srovnání se zahraničím, tedy v těch zemích, kde platí přednost chodců, dosahuje ČR hrozivých čísel usmrcených chodců na přechodech proto, že v těchto

zemích také platí striktní pravidla. Příkladem může být Německo, ale je potřeba zmínit že i ostatní vyspělejší země než ČR se liší od Německých pravidel jen minimálně. K těmto pravidlům můžeme zařadit:

- nejvyšší dovolená rychlost nesmí být vyšší jak 50 km/h,
- optický kontakt mezi řidičem a chodcem, musí být takový, aby řidič byl schopen bezpečně zastavit před přechodem,
- délka přechodu a to bez přerušení, může být maximálně 7 m,
- musí být využito maximální použití stavebních prvků, které usnadní bezpečné přecházení (tím můžeme chápat ostrůvky, zúžení, rampy, patřičné osvětlení, apod.) a to na všech typech komunikací. [5]

Dalším nešvarem českých řidičů je nízké používání bezpečnostních pásů anebo špatné používání dětských zádržných systémů. Zvýšení počtu připoutaných řidičů a pasažérů v tomto ohledu přinesl bodový systém a mediální kampaně. Dokonce bylo prokázáno ze známých faktů a vědeckých poznatků zabývající se bezpečností, že pokud by na našich komunikacích používali všichni řidiči a jejich posádka bezpečnostní pásy, mohli být zachráněni tisíce lidských životů. [5]

Pro snížení dopravní nehodovosti bylo sestaveno 5 hlavních dopravně-bezpečnostních skupin. V první skupině jsou opatření cílená na samotné uživatele pozemních komunikací a týkají se samotné výchovy a vzdělávání, dále na vymáhání práva (obecně o legislativě) a kampaně. Do druhé skupiny jsou zařazena vozidla, třetí skupina se zaměřuje na infrastrukturu pozemních komunikací, čtvrtá skupina se věnuje záchranným systémům a v poslední skupině se právě nachází prevence a využití dat. Nejdůležitější skupina je rozhodně skupinou první, protože arogance, drzost řidičů spojená s jejich rychlými auty je nejvíce vražedná na našich silnicích. U skupiny číslo dvě je nutno podotknout, že nehody zapříčiněné technickou poruchou vozidel tvoří podle posledních poznatků méně než 1 % všech nehod. [5]

3. Predikování následků nehod pomocí metody ANFIS

3.1. Nástroje k vyhlazení časové řady

Počet usmrcených, těžce zraněných, lehce zraněných a hmotná škoda jsou následky nehod, které se vztahují k časovému období. Policie ČR sleduje statistiky těchto nehod, podle kterých plánuje např. dopravně bezpečnostní akce. Tyto záznamy také zpřístupňuje veřejnosti jako sumy za měsíc nebo za rok. Měsíční záznamy vykazují spíše charakter chaotické řady, či v opačných případech cyklický charakter s menším šumem. Roční záznamy jsou charakteristické malými výkyvy od střední hodnoty a také jsou vhodné pro odhad vývoje trendu. [1]

Časové řady v této práci bude vztažena na usmrcené a těžce zraněné a tuto řadu lze považovat za statistické záznamy v určitých časových intervalech. Pro množinu pozorování pak platí obecný zápis $\{y_t\}$ pro $t = 1, \dots, n$ a zároveň lze říct, že se jedná o souvislou časovou posloupnost y_1, y_2, \dots, y_n . Parametr Y je jednak sledovaný a následně analyzovaný parametr a parametr t je časová proměnná. [1]

Na základě dat z minulosti (známé časové řady) je v ekonomickém oboru využívána předpověď pro získání důležitých faktorů. Mezi tyto faktory lze zařadit vývoj cen na burze, důležitých ekonomických indexů apod. Z těchto důvodů byla vymyšlena řada metod a indikátorů souhrnně se nazývajících jako technická analýza.

Historická data obecně vykazují v dlouhodobějším pohledu určitý trend a v krátkodobějším pohledu mohou vykazovat náhodný nebo periodický charakter právě kolem tohoto dlouhodobějšího trendu. U nesystematického náhodného rozptýlení hodnot kolem trendu jako jsou záznamy usmrcených a těžce zraněných je nutno tato data vyhladit (očistit), tzv. redukovat šum. Proto jsou v této práci použity tyto následující metody vyhlazení. [1]

I. Klouzavé průměry

Důvodem použití těchto průměrů je vyloučení krátkodobých výkyvů ve vývoji časových řad, potlačení šumových složek, identifikování primárních trendů a zároveň již umožňuje tvorbu jednoduchých krátkodobých předpovědí v časové řadě. Princip spočívá ve zprůměrování pozorovaných hodnot v okolí uvažovaného časového bodu. Toto okolí bývá nazýváno periodou, jejíž délka je dána vztahem $n = 2m + 1$, kde m je počet ztracených údajů na začátku a konci časové řady a tímto

ovlivňuje míru vyhlazení časové řady. Ze vzorce je taktéž patrné, že je zaručena lichá délka průměrů, která slouží k tomu, aby nebyly vyrovnávány hodnoty časové řady mezi pozorováními. Nevýhoda těchto klouzavých průměrů je dána jejich vlastnostmi, protože vždy získáme kratší křivku těchto průměrů než je původní řada dat. Jednotlivé klouzavé průměry se od sebe liší přiřazováním váhy k jednotlivým datům v rámci periody. [1]

a) *Jednoduchý klouzavý průměr (označován JKP)*

Je nejznámější ze všech typů klouzavých průměrů. Jde pouze o aritmetické průměry z původních hodnot v periodě a zároveň je všem hodnotám přiřazována stejná váha. Tento typ je popsán vztahem:

$$JKP_{t,n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n y_{t,n} \cdot [1] \quad (1)$$

b) *Vážený klouzavý průměr (označován VKP)*

Zde se využívá metody nejmenších čtverců, pomocí kterých jsou odvozeny váhy. Váhy jsou jednak symetrické kolem prostřední hodnoty a jejich součet je roven jedné. V této práci je použit vážený klouzavý průměr s periodou 5 a jeho rovnice má tvar:

$$VKP_{t,n} = \frac{1}{35} \cdot \sum_{t=1}^n (-3 \cdot y_{t-2} + 12 \cdot y_{t-1} + 17 \cdot y_t + 12 \cdot y_{t+1} - 3 \cdot y_{t+2}) \cdot [1] \quad (2)$$

c) *Trojúhelníkový klouzavý průměr (označován TKP)*

Je označován jako speciální typ váženého klouzavého průměru, ale jde vlastně o dvakrát za sebou provedený jednoduchý klouzavý průměr.

$$TKP_{t,n} = \frac{1}{9} \cdot \sum_{t=1}^n (y_{t-2} + 2 \cdot y_{t-1} + 3 \cdot y_t + 2 \cdot y_{t+1} + y_{t+2}) \cdot [1] \quad (3)$$

II. Klouzavý medián

Jde o analogii klouzavých průměrů a používá se v případě, kdy nejsou splněny předpoklady pro použití aritmetického průměru. Rozdíl mezi průměrem a mediánem spočívá v jejich chování, průměr reaguje sice citlivěji, ale zároveň falešně na dvě vybočující hodnoty, zatímco medián reaguje rychleji a tak oproti průměru správně. Klouzavý medián je součástí softwarových programů pracujících se statistikou a v programu MS Excel kde jsou předzpracovány data této práce, je vyjádřen následovně:

$$KM_{t,5} = \text{MEDIAN}(y_{t-2}, y_{t-1}, y_t, y_{t+1}, y_{t+2}) \cdot [1] \quad (4)$$

III. Exponenciální vyrovnání

Je dalším z adaptivních přístupů k trendové složce a v praxi je hojně využíván. Problém klouzavých průměrů spočívá v určení jejich délky. Ta závisí pouze na volbě řešitele, ale u exponenciálního vyrovnání tento zjevný problém odpadá. Výpočet nové vyrovnané hodnoty je založeno na všech dostupných pozorování minulých dat řady. Název této metody souvisí s tím, že váhy jednotlivých čtverců v minimalizovaném součtu se směrem do minulosti exponenciálně zmenšují. Výraz, který je minimalizován má tvar:

$$(y_t - \hat{y}_t)^2 + (y_{t-1} - \hat{y}_{t-1})^2 \cdot \alpha + (y_{t-2} - \hat{y}_{t-2})^2 \cdot \alpha^2 + \dots, \quad (5)$$

kde součinitel α tvoří vyrovnávací konstantu (určení této konstanty je uvedeno u jednoduchého exponenciálního vyrovnání). [1]

Exponenciální vyrovnání lze podle typu vyrovnávací křivky rozdělit na jednoduché, dvojité a trojitě.

a) Jednoduché exponenciální vyrovnání

Uplatní se v případě, kdy lze trend (Tr_t) považovat v krátkých úsecích řady za konstantní.

$$Tr_t = \beta_0 \cdot [2] \quad (6)$$

Parametr β_0 je nutno odhadnout, ale stále platí, že se jedná o adaptivní přístup k vyrovnání řady a to znamená, že tento odhad závisí na časovém

okamžiku, v němž je proveden. Lze napsat, že $b_0(t)$ je odhad parametru β_0 provedený v čase t .

$$b_0(t) = (1 - \alpha) \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \alpha^j \cdot y_{t-j}. [2] \quad (7)$$

Koeficient α je zde vyrovnávací konstanta a její hodnota se pohybuje v rozmezí $0 < \alpha < 1$. Její skutečná hodnota se začne hledat pro hodnoty $\alpha = 0,70; 0,72; \dots; 0,98$. Z tohoto intervalu se vybere ta hodnota, pro niž je dosahováno nejlepší předpovědi. Vztah (7) lze také napsat pro vyrovnanou hodnotu řady (\hat{y}_t) v čase t jako:

$$\hat{y}_t = (1 - \alpha) \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \alpha^j \cdot y_{t-j}. [2] \quad (8)$$

Z tohoto vztahu je patrné, že vyrovnaná hodnota řady v čase t je právě váženým součtem hodnot řady do času t s již zmíněnými exponenciálně klesajícími váhami.

$$1 - \alpha, (1 - \alpha) \cdot \alpha, (1 - \alpha) \cdot \alpha^2, \dots [2] \quad (9)$$

Vztah (8) lze přepsat do přehlednějšího tvaru:

$$\hat{y}_t = (1 - \alpha) \cdot y_t + \alpha \cdot \hat{y}_{t-1}. [2] \quad (10)$$

b) Dvojitě exponenciální vyrovnání

Uplatní se v případě, kdy lze trend (Tr_t) považovat v krátkých úsecích řady za lineární.

$$Tr_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot t. [2] \quad (11)$$

Pro odhady parametrů β_0 a β_1 v čase t , které jsou označeny jako $b_0(t)$ a $b_1(t)$, dostaneme po minimalizaci výrazu vztah:

$$\sum_{j=0}^{\infty} [y_{t-j} - (\beta_0 + \beta_1 \cdot (-j))]^2 \cdot \alpha^j. [2] \quad (12)$$

Koeficient α je opět hledán v rozmezích jako u jednoduchého exponenciálního vyrovnání. Parciální derivace tohoto výrazu pro β_0 a β_1 rovno nule, přejde na soustavu normálních rovnic ve tvaru:

$$\sum_{j=0}^{\infty} y_{t-j} \cdot \alpha^j - \beta_0 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \alpha^j + \beta_1 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} j \cdot \alpha^j = 0, \quad (13)$$

$$\sum_{j=0}^{\infty} y_{t-j} \cdot j \cdot \alpha^j - \beta_0 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} j \cdot \alpha^j + \beta_1 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} j^2 \cdot \alpha^j = 0. [2] \quad (14)$$

Po zjednodušení rovnice přejdou na tvar.

$$\beta_0 - \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot \beta_1 = (1-\alpha) \cdot \sum_{j=0}^{\infty} y_{t-1} \cdot \alpha^j, \quad (15)$$

$$\alpha \cdot \beta_0 - \frac{\alpha \cdot (\alpha - 1)}{1-\alpha} \cdot \beta_1 = (1-\alpha)^2 \cdot \sum_{j=0}^{\infty} y_{t-1} \cdot j \cdot \alpha^j. [2] \quad (16)$$

Rovnice jsou pro přehlednost zjednodušeny pomocí tzv. jednoduché vyrovnávací statistiky s označením S_t .

$$S_t = (1-\alpha) \cdot \sum_{j=0}^{\infty} \alpha^j \cdot y_{t-1}. [2] \quad (17)$$

Lze napsat, že S_t je metodou jednoduchého exponenciálního vyrovnání (S_{t1}) a rovnice lze napsat v konečném tvaru:

$$S_{t1} = (1-\alpha) \cdot y_t + \alpha \cdot S_{t-1}. [2] \quad (18)$$

Dvojitá vyrovnávací statistika (S_{t2}) má tvar:

$$S_{t2} = (1-\alpha) \cdot S_{t1} + \alpha \cdot S_{t2-1}. [2] \quad (19)$$

Po zjištění jednoduché a dvojitě vyrovnávací statistiky, je možné dostat i předpovězené hodnoty $y_{t+\tau}$ podle rovnice:

$$\hat{y}_{t+\tau}(t) = b_0(t) + b_1(t) \cdot \tau = \left(2 + \frac{(1-\alpha) \cdot \tau}{\alpha}\right) \cdot S_{t1} - \left(1 + \frac{(1-\alpha) \cdot \tau}{\alpha}\right) \cdot S_{t2}. [2] \quad (20)$$

c) Trojitě exponenciální vyrovnání

Tento způsob exponenciálního vyrovnání je typem nejsložitějším, které se v praxi používá. Princip zůstává zachován jako u předchozích typů exponenciálního vyrovnání (proto zde není uvedené celé odvození), jen s rozdílem že trendová složka je v krátkých úsecích řady považována za kvadratickou.

$$Tr_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2. [2] \quad (21)$$

Rovnice trojitě vyrovnávací statistiky (S_{t3}):

$$S_{t3} = (1-\alpha) \cdot S_{t2} + \alpha \cdot S_{t3-1}. [2] \quad (22)$$

Rovnice pro předpovězené hodnoty:

$$\hat{y}_t(t) = 3 \cdot S_{t1} - 3 \cdot S_{t2} + S_{t3}. [2] \quad (23)$$

3.2. Exponenciální vyrovnání

Exponenciální vyrovnání umožňuje jednak vyhlazení časové řady (pro tvorbu matic u ANFIS metody), ale také dokáže vytvářet predikce. Těto schopnosti bude využito pro porovnání s ostatními metodami. Pro exponenciální vyrovnání je použit program STATISTICA 7, který umožňuje vytvoření pokročilých lineárních/nelineárních modelů. Tyto modely v sobě zahrnují různou tvorbu predikcí na základě historických dat, konkrétně jde o *Exponenciální vyrovnání předpověď*. Po načtení proměnných z usmrcených či těžce zraněných a volbě již zmíněných kroků, je možno v nabídce exponenciální vyrovnání volit několik parametrů.

Nejprve je potřeba vybrat trend jakým se tyto proměnné řídí, možnosti jsou:

- bez trendu,
- s lineárním trendem,
- s exponenciálním trendem,
- s tlumeným trendem.

V případech usmrcených i těžce zraněných je zvolena možnost bez trendu. V tomto ohledu je výhodnější použití jednoduchého přístupu k sezónní složce (v dalším bodě osnovy u alternativních metod nástroji statistiky), kde je volbě trendu věnována velká část pozornosti. U této metody je zjištěno, že trend je optimální hledat pomocí polynomické spojnice a to pro obě možnosti vybraných dat.

Po zvolení možnosti *bez trendu* jsou další kroky věnovány druhu sezóny, zde jsou možnosti:

- bez sezóny,
- aditivní sezóna (označena v této práci jako Exp+12_b a Exp+12_b_2011),
- multiplikativní sezóna (označena jako Exp+12_c a Exp+12_c_2011).

Pro proměnné (usmrcení i těžce zranění) jsou vyzkoušeny všechny tyto možnosti. První možnost *bez sezóny*, je určena pouze pro vyhlazení k předzpracování dat pro usmrcené a těžce zraněné v metodě ANFIS (Varianta_3_a).

Nejdůležitější krok pro získání nejpřesnějších napředikovaných výsledků je volba dvou parametrů α a δ (u zvolení možnosti *bez sezóny* se volí pouze parametr α). Parametr α řídí rychlost adaptace a čím větší má hodnotu, tím rychleji tato metoda

reaguje na změny (hodnota se pro optimální výsledky pohybuje maximálně do 1, ale je možné při hledání tohoto parametru volit $\alpha > 1$). Druhý parametr δ určuje míru vyhlazení lokálně lineárních trendů a pro tento typ proměnných se bude většinou pohybovat kolem nuly. Hledání těchto parametrů pro konkrétní sezóny je v liště programu *Síťové hledání*. Jelikož se hledají oba parametry zároveň, má toto hledání určité limity v podobě celkového počtu kombinací, které nesmí překročit hodnotu 8000. Je tak postupně voleno pro oba parametry minimum 0, maximum 1 s krokem hledání 0,1. Po dokončení hledání program otevře tabulku s různými druhy chyb, nejnižší hodnoty chyb jsou označeny červeně, tak jako v Tab. 1 a 2. Nevýhodou je, že ani větší počet nejnižších hodnot chyb pro konkrétní α a δ , není zárukou získání přesnějších napředikovaných hodnot. Proto je v rámci této práce přikročeno k tomu, že z proměnných jsou odstraněny měsíce roku 2011 a predikce jsou tvořeny právě na tento rok. Tímto způsobem je možno zjistit jak moc se tyto predikované hodnoty liší od skutečných (v Tab. 1 a 2 se jedná o poslední sloupec) a volbu parametrů α a δ řídit právě podle téhle možnosti. Nejlepší výsledky (Průměr chyb vůči skutečným hodnotám v %) jsou označeny v Tab. 1 a 2 žlutě a hodnoty těchto parametrů (α a δ) jsou dále zpřesňovány do stavu, kdy výsledky v posledním sloupci nevykazují změny. Takto zjištěné parametry jsou použity i pro predikci na rok 2012.

Chyba vůči skutečným hodnotám je v této práci základním kamenem pro porovnání všech výsledků mezi sebou a je dána vztahem:

$$r = \frac{|HODNOTA_{predikovaná} - HODNOTA_{skutečná}|}{HODNOTA_{skutečná}}. \quad (24)$$

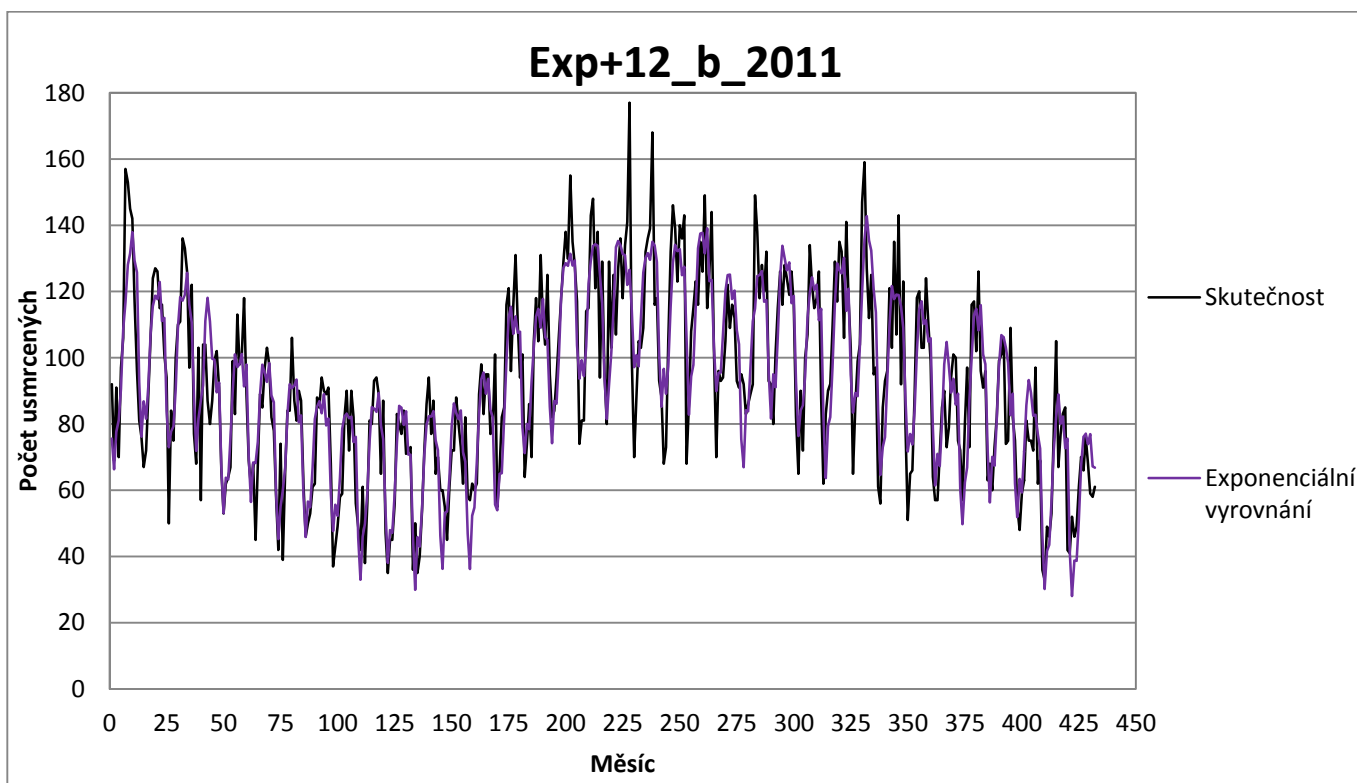
Tab. 1: Hledání nejlepších parametrů α a δ pro usmrcené

										α	δ	Průměrná chyba	Absolutní průměrná chyba	Sumy čtverců	Průměr čtverců	Průměrná procentuální chyba	Absolutní průměrná procentuální chyba	Průměr chyb vůči skutečným hodnotám v %									
										Exponenciální vyrovnání (bez trendu) pro usmrcené										Bez sezóny							
0,9		-0,122658	15,75621	166537,8	396,5185	-3,28751	18,88368	21,25%																			
1		-0,120567	15,90628	172186,4	409,9676	-3,09478	19,01394	26,89%																			
0,79		-0,125855	15,74825	164326,7	391,2540	-3,55979	18,91720	17,36%																			
0,83		-0,124553	15,72678	164653,4	392,0319	-3,45220	18,87124	18,43%																			
0,786		-0,125995	15,75116	164324,0	391,2476	-3,57115	18,92273	17,26%																			
0,791		-0,125820	15,74752	164328,2	391,2576	-3,55697	18,91582	17,39%																			
0,7860		-0,125995	15,75116	164324,0	391,2476	-3,57115	18,92273	17,26%																			
0,7865		-0,125978	15,75080	164324,0	391,2477	-3,56972	18,92204	17,27%																			
Exponenciální vyrovnání (bez trendu) pro usmrcené																											
										0,4	0,1	-0,223116	11,12751	83458,75	198,7113	-2,10316	12,90993	18,22%									
										0,2	0,0	-0,194134	11,06422	83661,30	199,1936	-2,15004	12,85143	16,03%									
										0,21	0,00	-0,370420	10,67478	76687,27	182,5887	-2,47008	12,42321	15,74%									
										0,26	0,00	-0,311371	10,66758	76986,65	183,3016	-2,35453	12,41073	15,45%									
										0,250	0,000	-0,321309	10,66797	76877,82	183,0424	-2,37357	12,41251	15,51%									
										0,257	0,000	-0,314271	10,66774	76951,82	183,2186	-2,36007	12,41132	15,47%									
										Exponenciální vyrovnání (bez trendu) pro usmrcené										Multiplikační sezóna							
0,3	0,0	-0,339971	10,77935	77578,07	184,7097	-2,38214	12,47114	10,46%																			
0,5	0,0	-0,225094	11,04560	83289,97	198,3095	-2,19664	12,75056	10,09%																			
0,40	0,00	-0,270800	10,85835	80002,16	190,4813	-2,26676	12,54760	9,65%																			
0,45	0,00	-0,245839	10,94341	81543,27	194,1506	-2,22780	12,63571	9,71%																			
0,390	0,000	-0,276409	10,84618	79718,63	189,8063	-2,27572	12,53469	9,69%																			
0,395	0,000	-0,273576	10,85225	79859,35	190,1413	-2,27119	12,54113	9,67%																			

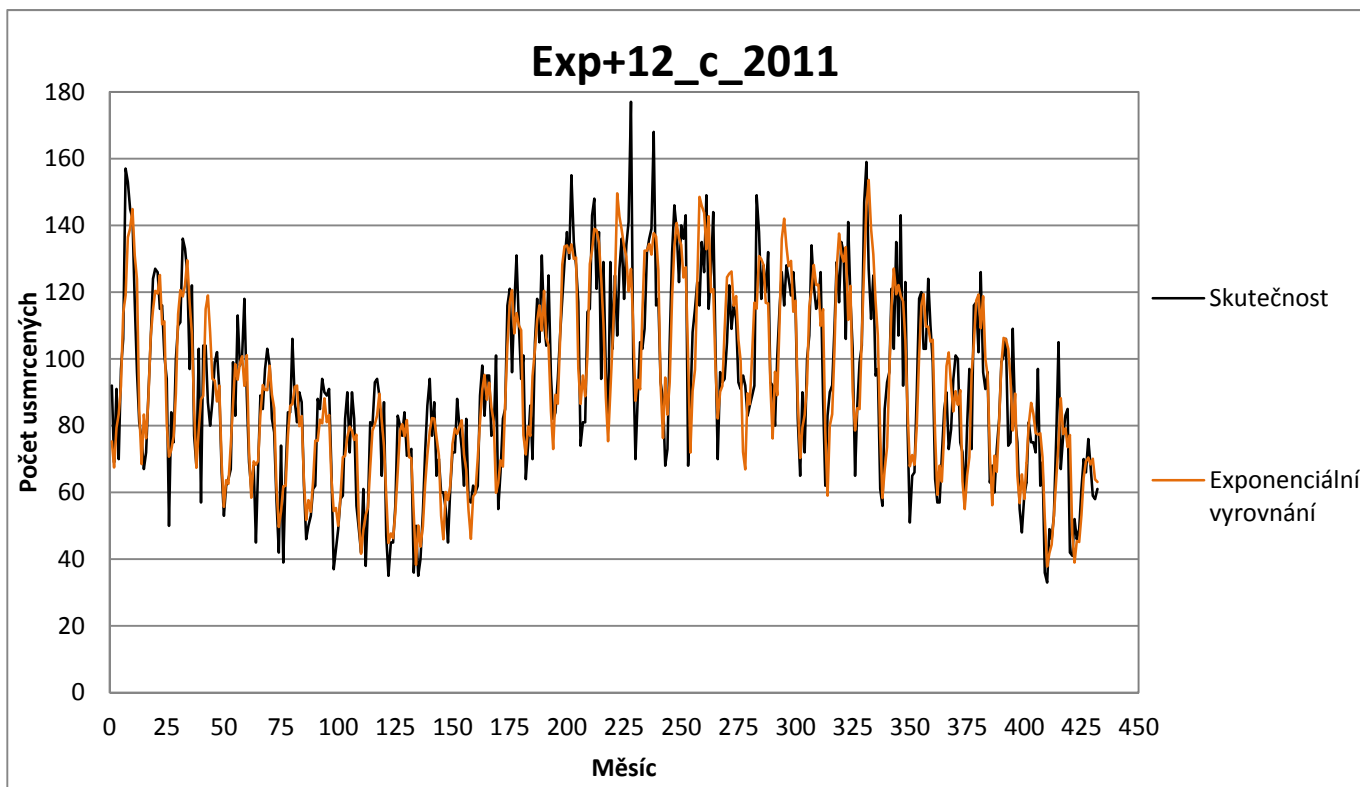
Tab. 2: Hledání nejlepších parametrů α a δ pro těžce zraněné

	α	δ	Průměrná chyba	Absolutní průměrná chyba	Sumy čtverců	Průměr čtverců	Průměrná procentuální chyba	Absolutní průměrná procentuální chyba	Průměr chyb vůči skutečným hodnotám v %
Bez sezóny	1		-0,65560	53,67859	1530299	4397,411	-2,15043	15,17021	31,94%
Aditivní sezóna	0,3	0,0	-1,73425	31,55127	554027,5	1592,033	-1,52492	8,899613	21,76%
	0,3	0,1	-1,73123	31,47794	561754,9	1614,238	-1,37560	8,881851	21,31%
	0,5	0,0	-1,08202	31,75289	561936,5	1614,760	-1,31149	8,942747	23,94%
	0,2	0,2	-2,36426	31,47186	570386,1	1639,041	-1,61210	8,895541	17,02%
	0,4	0,2	-1,36775	31,77337	570959,2	1640,687	-1,22156	8,974351	25,23%
	0,30	0,10	-1,73123	31,47794	561754,9	1614,238	-1,37560	8,881851	21,31%
	0,29	0,13	-1,78029	31,41882	561941,9	1614,775	-1,37949	8,868167	20,99%
	0,28	0,12	-1,83318	31,41915	561957,6	1614,821	-1,40250	8,867528	20,67%
	0,30	0,13	-1,73107	31,43428	561970,3	1614,857	-1,36184	8,872087	21,31%
	Exponenciální vyrovnání (bez trendu) pro těžce zraněné	0,3	0,0	-1,94063	31,34229	551378,7	1584,422	-1,71785	8,849879
0,6		0,0	-0,99997	32,35938	578706,1	1662,949	-1,33942	9,045442	22,52%
0,28		0,00	-2,05963	31,29951	551266,4	1584,099	-1,76294	8,842505	13,81%
0,26		0,00	-2,19327	31,26869	551576,3	1584,989	-1,81357	8,838654	13,07%
0,25		0,00	-2,26656	31,26421	551938,1	1586,029	-1,84136	8,839532	12,68%
0,33		0,00	-1,78436	31,43580	552118,6	1586,548	-1,65842	8,869414	15,50%
0,260		0,000	-2,19327	31,26869	551576,3	1584,989	-1,81357	8,838654	13,07%
0,258		0,000	-2,20756	31,26634	551636,2	1585,162	-1,81898	8,838400	12,99%
0,253		0,000	-2,24408	31,26324	551812,7	1585,669	-1,83283	8,838718	12,80%

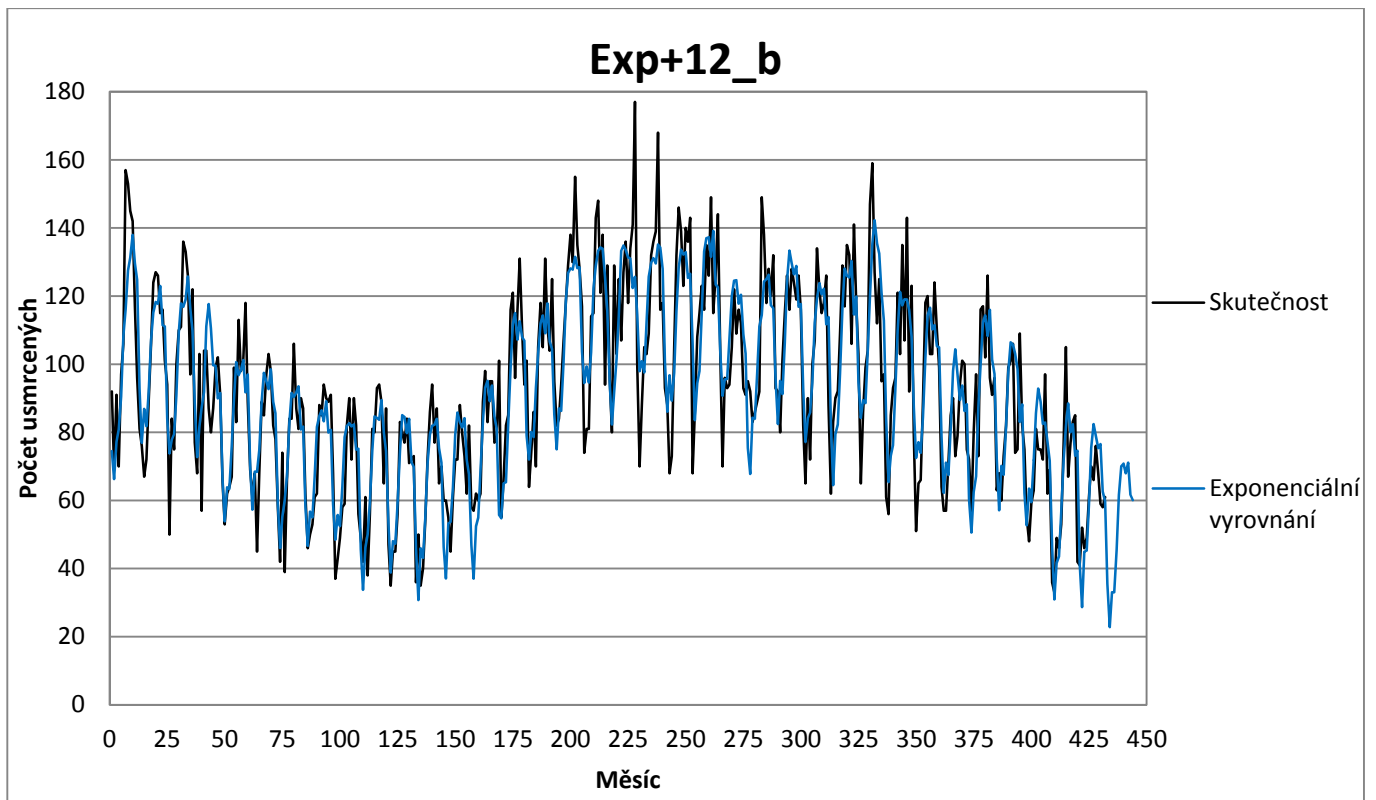
3.2.1. Exponenciální vyrovnání i s predikcí pro usmrcené



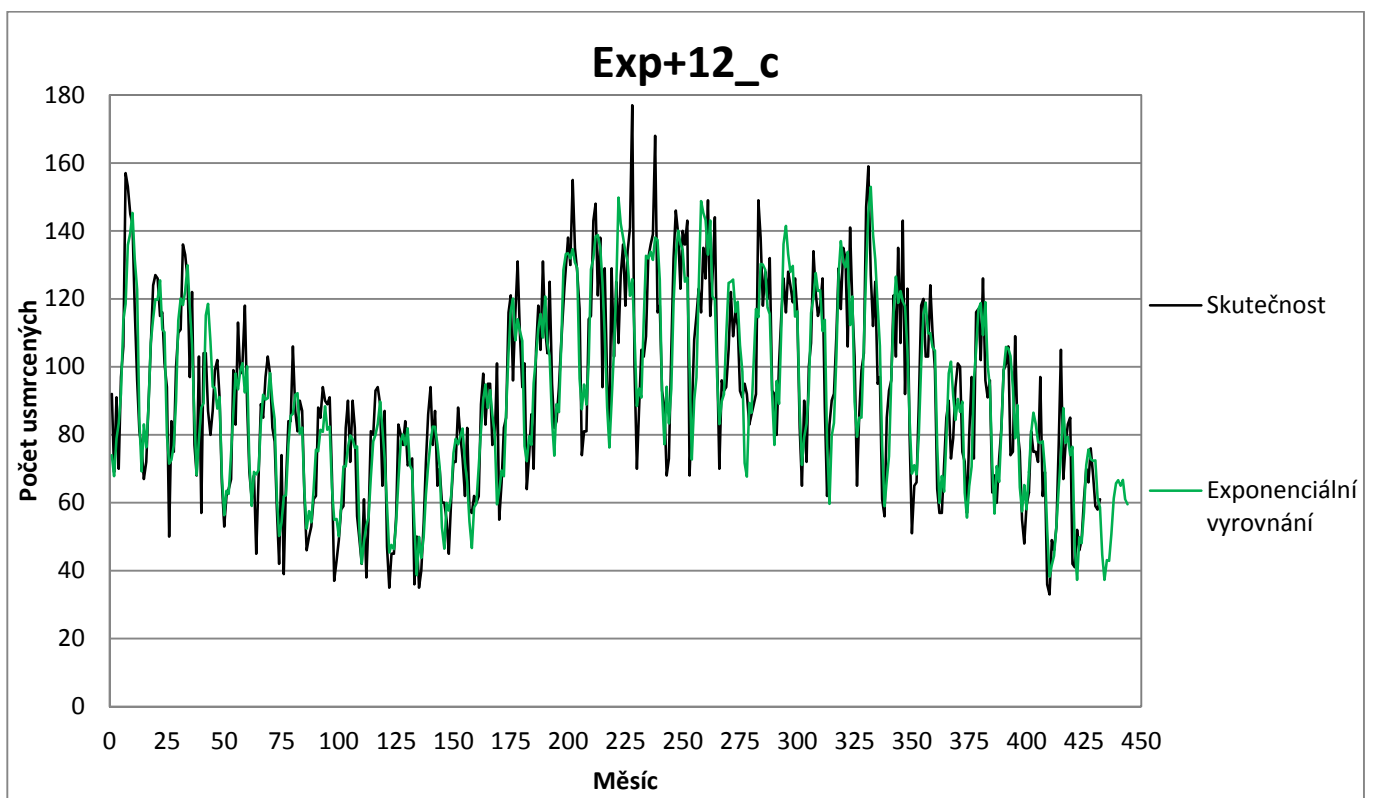
Graf 4: Exponenciální vyrovnání počtu usmrcených i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2011



Graf 5: Exponenciální vyrovnání počtu usmrcených i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2011

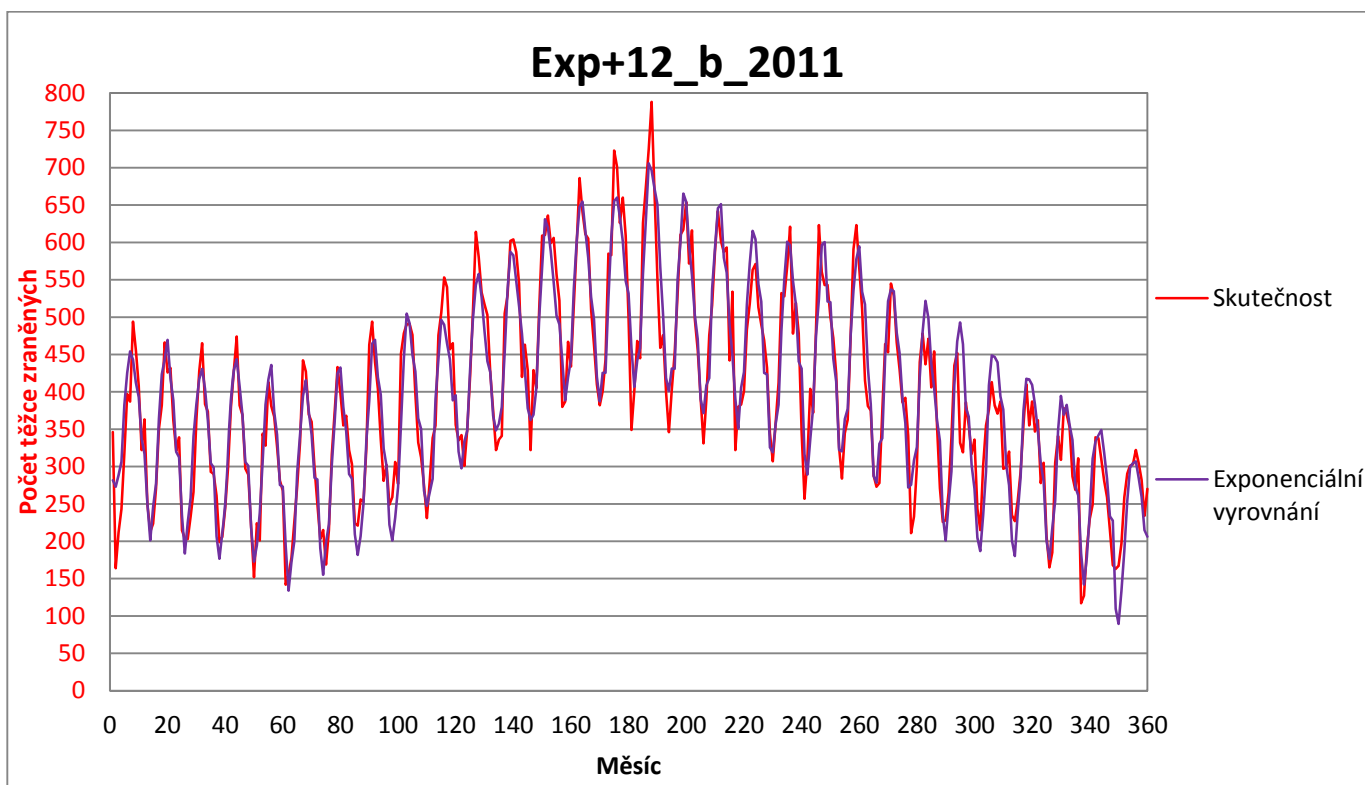


Graf 6: Exp. vyrovnání (varianta Exp+12_b) počtu usmrcených i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2012

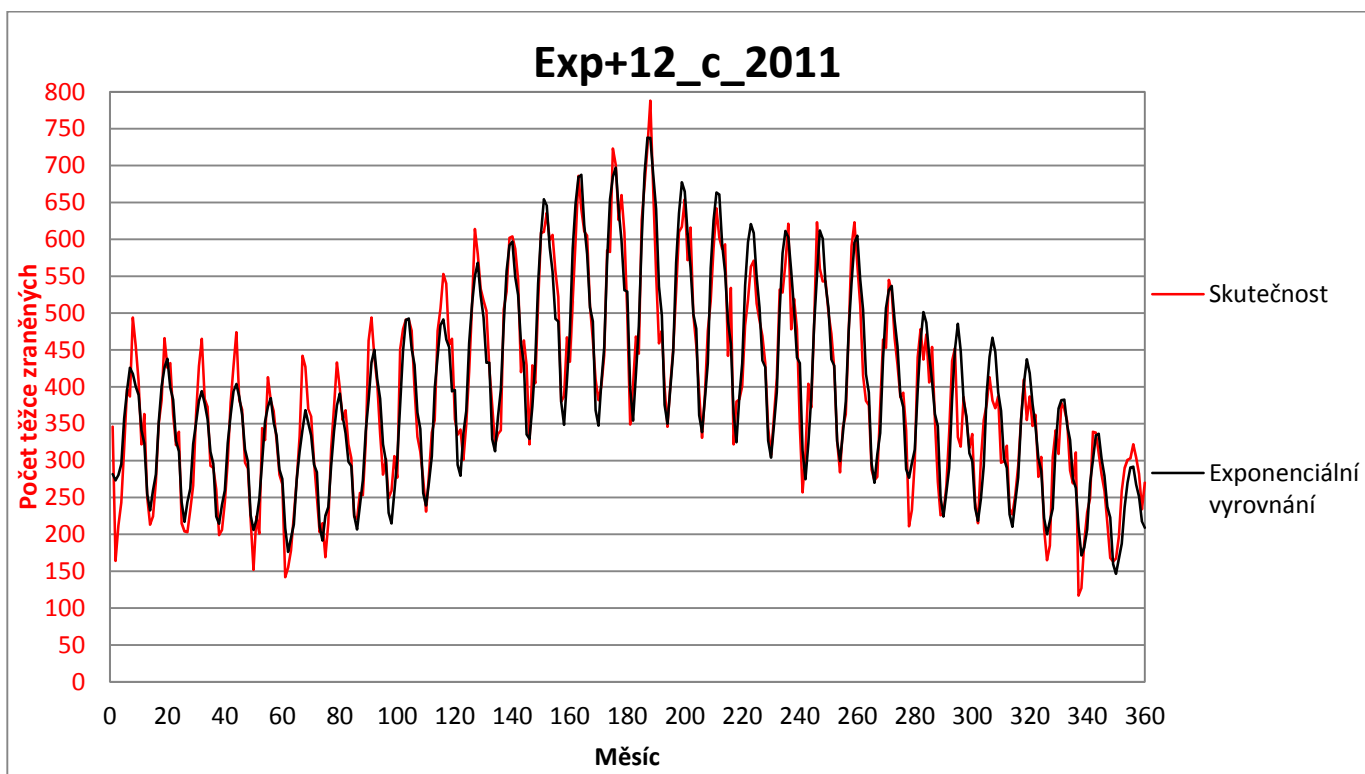


Graf 7: Exp. vyrovnání (varianta Exp+12_c) počtu usmrcených i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2012

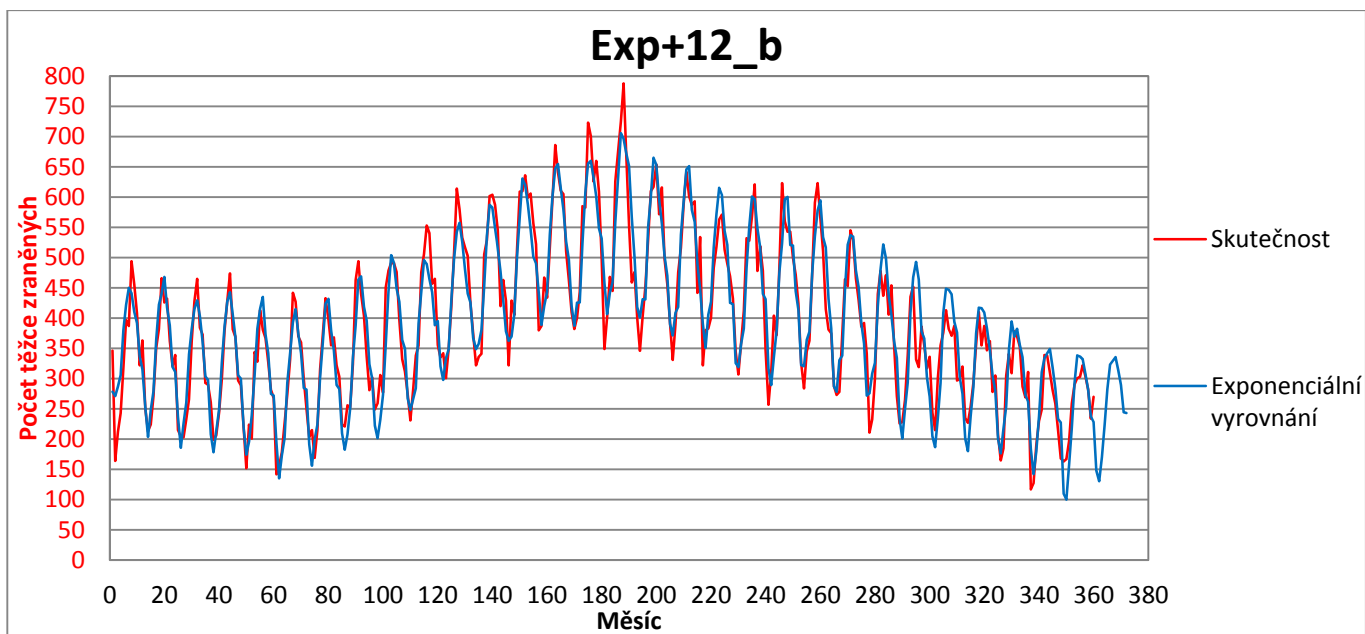
3.2.2. Exponenciální vyrovnání i s predikcí pro těžce zraněné



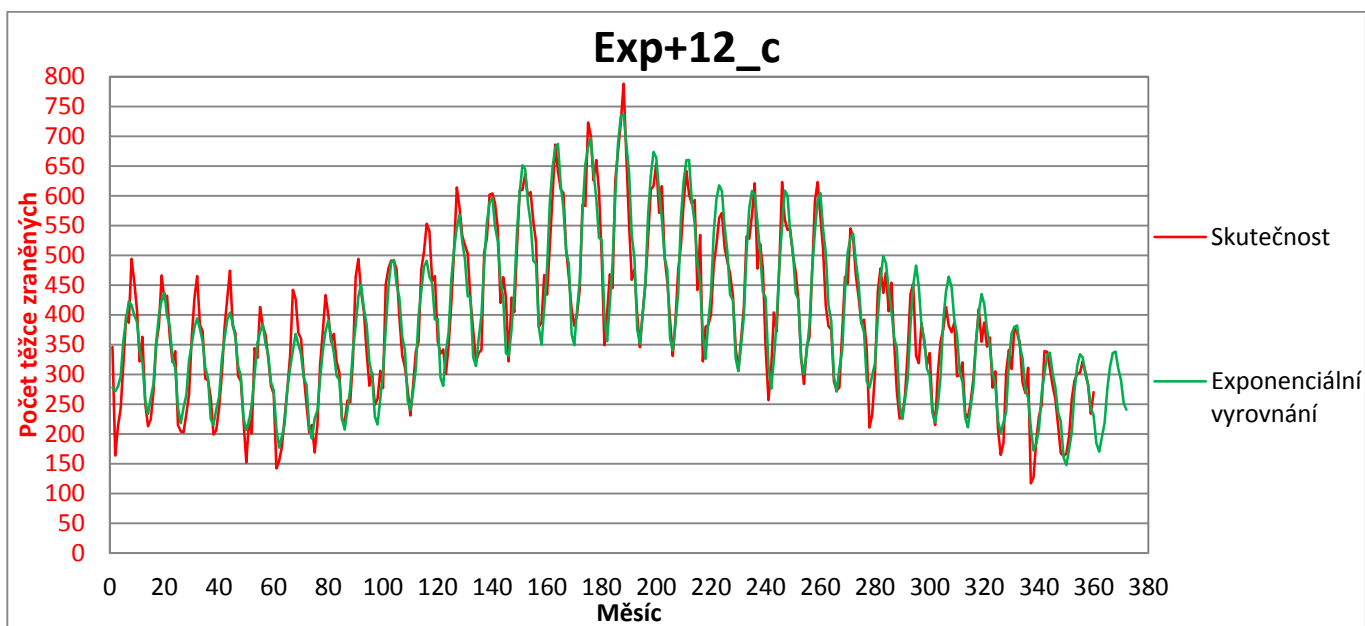
Graf 8: Exponenciální vyrovnání počtu těžce zraněných i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2011



Graf 9: Exponenciální vyrovnání počtu těžce zraněných i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2011



Graf 10: Exp. vyrov. (varianta Exp+12_b) počtu těž. zraněných i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2012



Graf 11: Exp. vyrov. (varianta Exp+12_c) počtu těž. zraněných i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2012

3.2.3. Porovnání aditivní a multiplikativní sezóny

Pomocí Tab. 3 jsou stanoveny rozdíly a chyby vůči skutečným hodnotám zatím jen pro rok 2011. Jelikož je výhodnější z hlediska statistiky pro tvorbu histogramů atd. využít celkový rozdíl vůči skutečným hodnotám je tak učiněno až v dalších bodech osnovy (konkrétně čtvrtý bod osnovy – porovnání výsledků).

Tab. 3: Stanovení rozdílu a chyby vůči skutečným hodnotám roku 2011

Usmrcení	Exp+12_b_2011					Exp+12_c_2011				
	Měsíc roku 2011	Skutečnost	Predikce	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	Skutečnost	Predikce	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	
	Leden	41	41,58	0,58	0,01	41	47,35	6,35	0,15	
	Únor	52	28,06	-23,94	0,46	52	39,00	-13,00	0,25	
	Březen	46	38,74	-7,26	0,16	46	45,44	-0,56	0,01	
	Duben	49	38,70	-10,30	0,21	49	45,15	-3,85	0,08	
	Květen	61	51,11	-9,89	0,16	61	53,15	-7,85	0,13	
	Červen	70	67,37	-2,63	0,04	70	64,34	-5,66	0,08	
	Červenec	66	76,15	10,15	0,15	66	69,24	3,24	0,05	
	Srpen	76	77,06	1,06	0,01	76	70,40	-5,60	0,07	
	Září	68	73,92	5,92	0,09	68	68,41	0,41	0,01	
	Říjen	59	76,90	17,90	0,30	59	70,09	11,09	0,19	
	Listopad	58	67,20	9,20	0,16	58	63,90	5,90	0,10	
Prosinec	61	66,83	5,83	0,10	61	63,10	2,10	0,03		
Průměr			-0,28	15,45%			-0,62	9,65%		

Těžce zranění	Exp+12_b_2011					Exp+12_c_2011				
	Měsíc roku 2011	Skutečnost	Predikce	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	Skutečnost	Predikce	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	
	Leden	163	109,54	-53,46	0,33	163	159,63	-3,37	0,02	
	Únor	167	89,47	-77,53	0,46	167	146,47	-20,53	0,12	
	Březen	197	133,54	-63,46	0,32	197	166,97	-30,03	0,15	
	Duben	259	186,97	-72,03	0,28	259	187,19	-71,81	0,28	
	Květen	290	252,85	-37,15	0,13	290	237,08	-52,92	0,18	
	Červen	301	298,98	-2,02	0,01	301	269,90	-31,10	0,10	
	Červenec	303	304,54	1,54	0,01	303	290,48	-12,52	0,04	
	Srpen	322	306,84	-15,16	0,05	322	291,61	-30,39	0,09	
	Září	304	284,48	-19,52	0,06	304	267,39	-36,61	0,12	
	Říjen	282	259,28	-22,72	0,08	282	251,16	-30,84	0,11	
	Listopad	234	214,87	-19,13	0,08	234	217,45	-16,55	0,07	
Prosinec	270	206,17	-63,83	0,24	270	208,99	-61,01	0,23		
Průměr			-37,04	17,02%			-33,14	12,68%		

3.3. Fuzzy inferenční systém (FIS) typu Takagi – Sugeno

Výstupem tohoto systému je ostré číslo, které je získáno jako lineární kombinace hodnot vstupních proměnných.

Nechť $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ jsou opět vstupní proměnné definované na referenčních množinách $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$ a y je výstupní proměnná definovaná na referenční množině Y . Potom FIS má n vstupních proměnných a jednu výstupní proměnnou. Každou množinu $X_i, i=1, \dots, n$, je možné i zde rozdělit na $p_j, j=1, \dots, m$, fuzzy množin $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x)$. Jednotlivé fuzzy množiny $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x), i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$ představují přiřazení hodnot jazykových proměnných, které se vztahují k množinám X_i . Potom podmíněné pravidlo ve FIS typu Takagi – Sugeno je možné zapsat následujícími způsoby:

$$\begin{aligned} & \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^{(i)} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^{(i)} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_{p_j}^{(i)} \text{ THEN } y = h, \\ & i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m, \end{aligned} \quad (25)$$

nebo

$$\begin{aligned} & \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^{(i)} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^{(i)} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_{p_j}^{(i)} \text{ THEN } y = f(x_1, \dots, x_n), \\ & i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m, \end{aligned} \quad (26)$$

kde

- $A_1^{(i)}, \dots, A_{p_j}^{(i)}$ reprezentují hodnoty jazykové proměnné, které odpovídají fuzzy množinám $\mu_1^{(i)}(x), \mu_2^{(i)}(x), \dots, \mu_{p_j}^{(i)}(x), \dots, \mu_m^{(i)}(x), i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$,
- h je konstanta,
- $f(x_1, \dots, x_n)$ je funkce. [1]

FIS, který je tvořen pravidly definovanými vztahem (25), se označuje jako FIS typu Takagi – Sugeno nultého řádu. V případě druhého způsobu pravidel (vztah 26) záleží označení FIS na použitém typu funkce v konsekventní části pravidla. V případě, že $f(x_1, \dots, x_n)$ je lineární funkce, nese FIS typu Takagi – Sugeno označení prvního řádu, pokud se jedná o funkci polynomickou, jedná se o FIS typu Takagi – Sugeno druhého řádu. [1]

3.4. Báze podmíněných pravidel

Řešitel má více možností jak tento návrh realizovat. Jeden ze způsobů je na základě znalostí a zkušeností, tedy heuristický přístup. Tento způsob je z velkého počtu případů málo kdy praktikovatelný. Další způsob je extrakce báze podmíněných pravidel na základě historických údajů nebo lze použít kombinaci heuristického přístupu a extrakce z historických údajů. [1]

Při extrakci báze podmíněných pravidel z historických dat, může však dojít k problému s exponenciálním nárůstem počtu podmíněných pravidel. Tomu lze však předejít použitím optimalizační metody, přesněji optimalizací tvarů výstupních funkcí příslušnosti na základě vstupních údajů, která by měla generovat nejlepší výsledky. [1]

Další možností pro odvození báze podmíněných pravidel z historických dat, je využití Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System metody (označovaná zkratkou ANFIS metoda). Jde o princip neuro – adaptivního procesu učení, který umožňuje jednak odvodit parametry funkcí příslušnosti a tak i extrahovat bázi podmíněných pravidel. Vstupní údaje jsou přiřazovány k výstupním údajům a zároveň se mění parametry jednotlivých funkcí příslušnosti (parametry se mění tak, aby vztahy mezi prostorem vstupních proměnných a prostorem výstupních proměnných byly co nejlépe charakterizovány). Na tento proces lze aplikovat řadu využívaných statistických metod, jako jsou např.:

- metoda zpětného šíření chyby,
- metoda zpětného šíření chyby s kombinací metody nejmenších čtverců,
- evoluční stochastické optimalizační algoritmy. [1]

3.5. Fuzzifikace vstupu a aplikace operátorů v podmíněných pravidlech

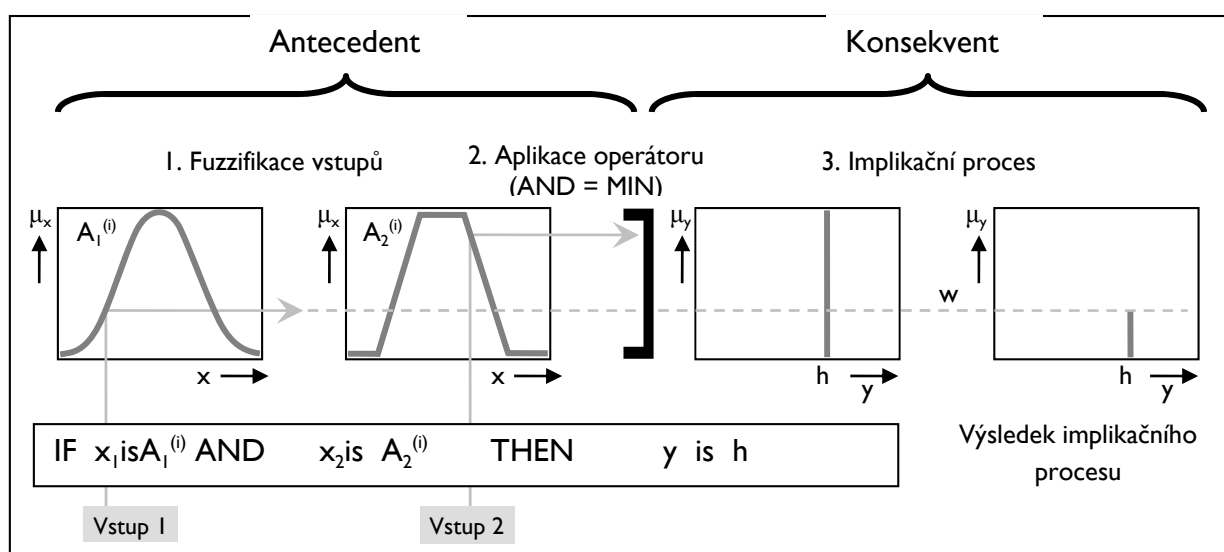
Aby na vstupní parametry (ve FIS nazývané jako proměnné), mohla být aplikována báze podmíněných pravidel zmíněná z předchozího bodu osnovy, je tyto vstupní údaje nutno fuzzifikovat. V rámci každé proměnné je tak vytvořeno několik funkcí příslušnosti, které se vytváří nad uspořádanou množinou hodnot, které vstupní proměnou charakterizují. Množina hodnot je ohraničena minimální a maximální

hodnotou. Charakteristická hodnota může nabývat hodnot pouze z tohoto minima a maxima a nese název univerzum. Fuzzifikace pak umožňuje vstupní ostrou hodnotu z tohoto univerza transformovat na hodnotu odpovídající funkci příslušnosti. [1]

Tento systém FIS typu Takagi-Sugeno využívá dvou operátorů. Operátor AND=MIN, tj. zkrácení a pro operátor OR funkci MAX, tj. prodloužení.

3.6. Implikace FIS typu Takagi – Sugeno

Implikace u tohoto systému probíhá konsekventem (druhá část podmíněného pravidla) konstanty nebo funkce. Touto implikací se rozumí změna funkce příslušnosti konsekventu, u něhož jde víceméně o změnu váhy (míru podpory), příslušné výstupní hodnoty konstanty nebo funkční hodnoty (viz. Obr. 1). [1]



Obr. 1: Implikační proces u FIS typu Takagi – Sugeno [1]

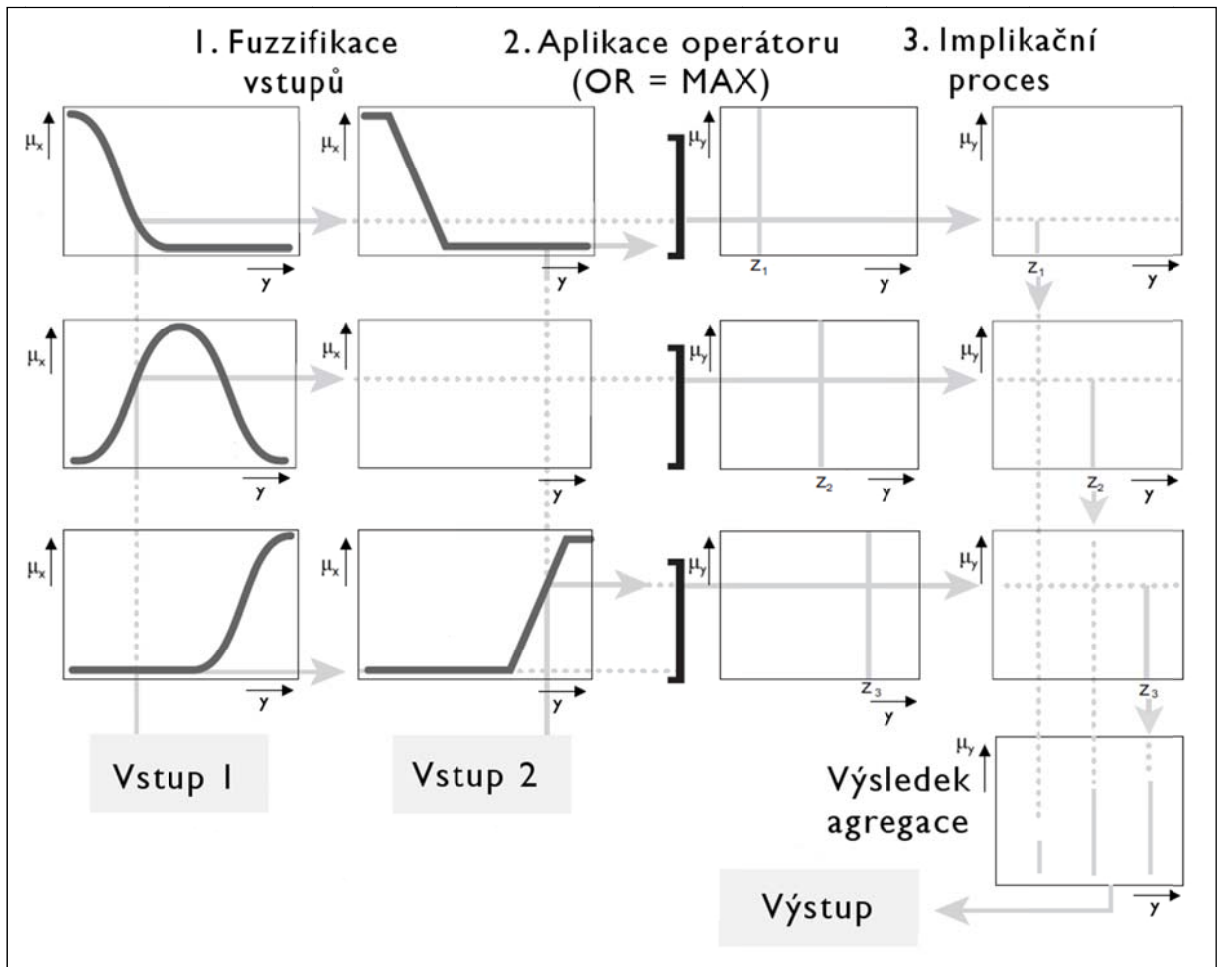
3.7. Agregací proces a defuzzyfikace typu Takagi – Sugeno

Během agregacího procesu jsou výstupy jednotlivých podmíněných pravidel transformovány do jednoho celku. K agregaci je používána metoda MAX. Agregovaná množina je tvořena souborem maximálních vah výstupních hodnot konstant, případně

funkcí každého podmíněného pravidla a její vztah lze popsat pomocí váženého průměru:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad [1] \quad (27)$$

Kde w_i jsou váhy (míry podpory Firing Strength) pravidla, h_i je konstanta nebo funkce v konsekventní části pravidla a n vyjadřuje počet pravidel. [1]



Obr. 2: Agregační a defuzzifikační proces u FIS typu Takagi – Sugeno [1]

3.8. Předzpracování dat pro usmrcené a těžce zraněné

Před aplikací fuzzy množin je nezbytné získané historické časové řady, které jsou členěné podle jednotlivých měsíců předzpracovat. Důvodem proč nejsou zpracovávána data i z celkového počtu dopravních nehod po jednotlivých měsících je jejich nevěrohodnost, vysvětlená v předchozím bodě osnovy. Jelikož hodnoty o usmrcených a těžce zraněných tvoří samostatné sloupcové vektory, nevyhovují tak

základní struktura FIS. Struktura FIS totiž předpokládá v antecedentu pravidla několik vstupních hodnot funkcí příslušnosti spojených logickými operátory a v konsekventu hodnotu (konstantu) nebo funkci. Jsou tak provedeny následující úpravy pomocí variant statistického zpracování původního vektoru dat (tím je dosaženo požadavku, že na vstupu do FIS je nutné mít matici vstupních hodnot a na výstupu vektor výstupních hodnot). [1]

Tab. 4: Skladba matic pro jednotlivé varianty uspořádání původních a statist. zpracovaných dat

Varianta	Sloupce tvořící vstupní matici						Výstupní matice
Varianta_1	y(t)	y(t-12)	y(t-24)	y(t-36)	-	-	y(t-48)
Varianta_2	y(t)	JKP	VKP	KM	TKP	KSO	y(t-12)
Varianta_3_a	Exp_a	JKP	VKP	KM	TKP	KSO	y(t-12)
Varianta_3_b	Exp_b	JKP	VKP	KM	TKP	KSO	y(t-12)
Varianta_3_c	Exp_c	JKP	VKP	KM	TKP	KSO	y(t-12)
Varianta_4_a	Exp+12_b	JKP	VKP	KM	TKP	KSO	y(t-12)
Varianta_4_b	Exp+12_c	JKP	VKP	KM	TKP	KSO	y(t-12)
JKP – jednoduchý klouzavý průměr		EXP_a – jednoduché exponenciální vyrovnaní (bez sezóny)					
VKP – vážený klouzavý průměr		EXP_b – jednoduché exponenciální vyrovnaní (aditivní sezóna)					
KM – klouzavý medián		EXP_c – jednoduché exponenciální vyrovnaní (multiplikativní sezóna)					
TKP – trojúhelníkový klouzavý průměr		EXP+12_b – jednod. exp. vyr. s predikcí + 12 měsíců (aditivní sezóna)					
KSO – klouzavá směrodatná odchylka		EXP+12_c – jednod. exp. vyr. s predikcí + 12 měsíců (multiplikativní sez.)					

Varianta_1 – sloupce vstupní matice jsou tvořeny výhradně původními vektory dat, které jsou vůči sobě posunuty o 12 měsíců. Vznikne tak regresní matice ($y(t)$ představuje hodnotu pozorování v měsíci t):

$$\Phi = \begin{bmatrix} y(t-n) & \dots & y(t-n-36) \\ \dots & \dots & \dots \\ y(t) & \dots & y(t-36) \end{bmatrix} \cdot [1] \quad (28)$$

Varianta_2 – kromě prvního sloupce matice, který je stejný jako u Varianta_1, jsou ostatní sloupce matice tvořeny statisticky zpracovanými původními vektory podle vybraných nástrojů technické analýzy, jejichž význam a způsob výpočtu je uveden v předchozích bodech této části osnovy. Pro všechny vyhlazovací nástroje i klouzavou směrodatnou odchylku byla zvolena jednotná délka periody pěti měsíců.

Varianta_3 – vektory vstupní matice ve sloupcích kromě prvního, jsou použity stejně jako u Varianta_2. První sloupec vektorů je sestaven v programu STATISTICA 7,

tak jak je uvedeno v části týkajícího se exponenciálního vyrovnání (jde o exponenciální vyhlazení původních dat, lišící se podle zvoleného druhu sezóny).

Varianta_4 – princip zůstává zachován jako u Varianta_3 s tím, že do prvního sloupce matice se nekládá samostatná exponenciálně vyhlazená řada, ale tato řada je doplněna již o predikované hodnoty na 12 měsíců dopředu.

3.9. Trénovací, testovací a kontrolní množiny dat

Z jednotlivých variant je nyní potřeba vytvořit trénovací, testovací a kontrolní množiny dat. Je nezbytné, aby byla vytvořena co největší množina reprezentativních trénovacích dat, která pak umožní systému při učení dosáhnout kvalitních a přesných výsledků. Další faktor pro dosažení přesných výsledků spočívá kromě nalezení správných vztahů mezi vstupními a výstupní hodnotou, aby tyto vztahy měly dostatečnou všeobecnou platnost. Reprezentativní data usmrcených a těžce zraněných postihují nejvýznamnější a nejtypičtější události s dostatečným počtem záznamů jednoho kalendářního roku (resp. několika let) a proto jsou dostatečně vhodná k použití pro trénovací množinu vyjmutím části dat ze samotné matice předpřipravených hodnot příslušné varianty. [1]

Všechny varianty (představovanou maticí vstupních a vektorem výstupních dat) jsou nejprve oříznuty od nadbytečných hodnot, tak aby hodnoty matice s vstupními a výstupními vektory byly obsažené na všech řádcích matice. Dále jsou pomocí náhodného čísla přeházeny, jelikož je tímto způsobem dosahováno lepších výsledků. Takto náhodně přeházená data matic (s vstupním a výstupním vektorem dat), je možné rozdělit v určitém poměru. V této práci je zvolen poměr 2:1:1, což znamená, že polovina matice bude sloužit k vytvoření trénovacích dat a druhá polovina matice bude rozdělena na další dvě poloviny, pro vytvoření testovacích a kontrolních dat. Testovací data slouží k testování naučenosti navrhnutého modelu pro budoucí hodnoty tím způsobem, že výsledek je porovnáván s reálnými hodnotami. Kontrolní data plní obdobný účel jako data testovací. Model je dostatečně obecný v případě, kdy chyba kontrolních a testovacích dat je srovnatelná. [1]

3.10. *Návrhy predikčních modelů pomocí ANFIS*

Pro návrh predikčních modelů byl využit program MATLAB, který pomocí podprogramu umožňuje využít adaptivní neuro - fuzzy inferenční systém (ANFIS). Hlavní přednost tohoto programu spočívá v tom, že není nutné mít konkrétní znalost o vazbách mezi vstupními funkcemi příslušnosti a jejich vztahem k výstupní funkci příslušnosti. ANFIS metoda pracuje podobně jako neuronové sítě a umožňuje tak učení modelu na základě poskytnutých dat. [1]

Program nejprve vygeneruje základní FIS, přičemž samotný proces v sobě zahrnuje jak vytvoření počátečních funkcí příslušnosti, tak i extrakci báze podmíněných pravidel. Je možné si vybrat ze dvou metod generování FIS. První metoda využívá shlukovacích algoritmů tzv. Subtractive Clustering, druhá metoda naopak žádných shluků nevyužívá, jde o tzv. metodu Grid Partition. Obě tyto metody umožňují několik možností nastavení od volby počtu funkcí příslušnosti a jejich tvaru pro každý vstup, až po stanovení různých parametrů shluků. Parametry jednotlivých funkcí příslušnosti se upravují tak, aby co nejlépe sledovaly vstupní a výstupní data a tímto způsobem je základní FIS optimalizován. Optimalizace se provádí dvěma algoritmy, buď algoritmem zpětného šíření chyby (backpropagation) nebo v kombinaci s metodou nejmenších čtverců (hybridní metoda). Uživatel si dále zvolí, v kolika krocích proces poběží, tyto kroky se zde nazývají epochy. [1]

V každém jednotlivém kroku (trénování systému), se počítá trénovací chyba, která je dána rozdílem mezi výstupní hodnotou trénovacích dat a výstupem z FIS. Tento výstup odpovídá vstupním hodnotám těch samých trénovacích dat (zjednodušeně se dá říct, že je to rozdíl mezi reálnou hodnotou a výstupní hodnotou z modelu). Trénovací chyba je zjišťována pomocí střední kvadratické chyby, v každé epoše trénování. Střední kvadratická chyba má zkratku RMSE (root mean squared error) a je dána vztahem:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \cdot (z_i - x_i)^2}. \quad [1] \quad (29)$$

Kde z_i je predikovaný i -tý počet usmrcených nebo těžce zraněných a x_i je reálný počet usmrcených nebo těžce zraněných, n je počet kontrolovaných párů.

3.11. *Generování FIS*

Hledání nejlepších parametrů bylo hledáno na Varianta_1 pro usmrcené a to pro kombinace *Grid Partition* a *Subtractive Clustering*. Dále zde byly použity algoritmy zpětného šíření chyby a hybridní metody. Počet epoch byl zvolen na hodnotu 100. Po získání lepších výsledků (menších chybách) byla nadále používána pouze hybridní metoda jak pro *Grid Partition* a *Subtractive Clustering*. U algoritmu *Grid Partition* byly vyzkoušeny všechny možné kombinace, která tato metoda umožňuje, ale ve srovnání se základním nastavením *Subtractive Clustering*, nedosahovala tak malých chyb a proto byla pro další řešení vyřazena. Metoda *Subtractive Clustering* umožňuje nastavit tyto parametry Range of influence, Squash factor, Accept Ratio a Reject Ratio. Přednastavené hodnoty u těchto parametrů jsou:

- Range of influence = 0,5,
- Squash factor = 1,25,
- Accept Ratio = 0,5,
- Reject Ratio = 0,15.

Nejprve byly změněny hodnoty po desetínách pro jednotlivé parametry a následně byly hodnoty parametrů změněny po dvojicích, trojicích a všechny zároveň s výsledkem, že chyby u testovacích a kontrolních dat dosahují nejlepších výsledků pouze při změně parametru Range of influence (~poloměr shluku). U všech variant se tento parametr zvolil v intervalu 0,25 až 0,95 o velikosti kroku 0,05 a sledovala se nejmenší střední kvadratická chyba pro testovací a kontrolní data (v Tab. 5 se jedná o poslední sloupec s názvem ave err). Důvodem proč tento interval neměl minimální hodnotu ještě menší než 0,25, je jednak z důvodů zvyšování výpočtového času a druhým důvodem je, že chyba trénovacích dat sice klesá k nule, ale testovací a kontrolní data dosahují vysokých hodnot chyb. Po zjištění nejmenší střední kvadratické chyby (ave err) všech variant je toto nastavení *Subtractive Clustering* uloženo v otevřeném okně ANFIS editoru s příponou .fis.

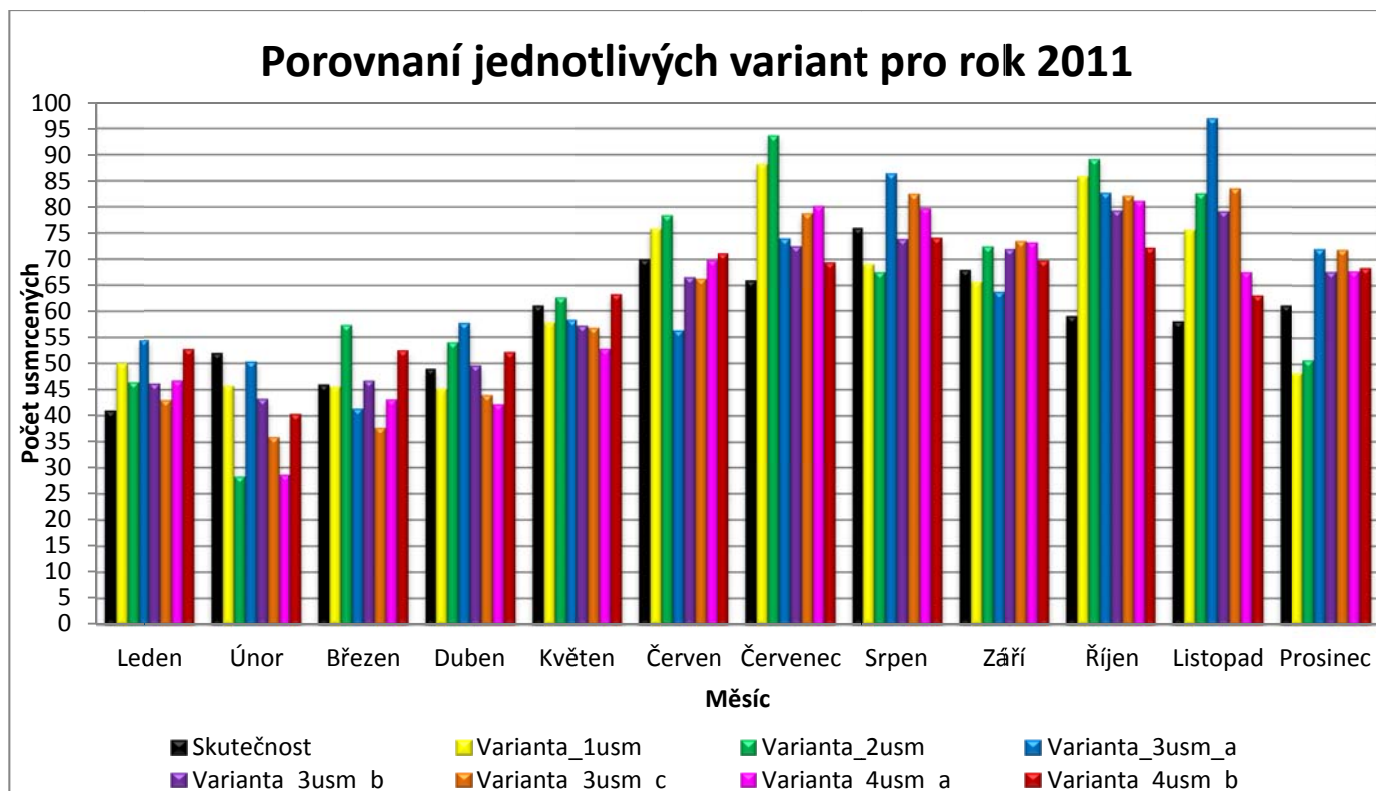
Tab. 5: Hledání nejmenší chyby (ave err) metodou Subtractive Clustering

	Varianta	Range of influence	Squash factor	Accept Ratio	Reject Ratio	mfs	epochy	trainerr	testerr	checkerr	ave err
Usmrcení (data na predikci roku 2011 pro porovnání se skutečností)	Varianta_1	0,95	1,25	0,5	0,15	2	100	15,62	17,36	19,14	18,25
	Varianta_2	0,9	1,25	0,5	0,15	2	100	17,17	17,66	18,78	18,22
	Varianta_3_a	0,85	1,25	0,5	0,15	3	100	17,08	20,74	21,87	21,31
	Varianta_3_b	0,95	1,25	0,5	0,15	3	100	14,91	16,28	17,32	16,80
	Varianta_3_c	0,95	1,25	0,5	0,15	3	100	16,09	16,29	14,82	15,56
	Varianta_4_a	0,95	1,25	0,5	0,15	2	100	15,77	16,96	16,51	16,73
Varianta_4_b	0,95	1,25	0,5	0,15	2	100	16,35	16,32	15,40	15,86	
Těžce zranění (data na predikci roku 2011 pro porovnání se skutečností)	Varianta_1	0,9	1,25	0,5	0,15	2	100	53,53	49,73	54,41	52,07
	Varianta_2	0,8	1,25	0,5	0,15	2	100	50,60	51,35	55,31	53,33
	Varianta_3_a	0,8	1,25	0,5	0,15	2	100	57,06	61,31	60,15	60,73
	Varianta_3_b	0,8	1,25	0,5	0,15	3	100	49,58	52,12	55,41	53,77
	Varianta_3_c	0,85	1,25	0,5	0,15	2	100	51,11	51,33	46,04	48,68
	Varianta_4_a	0,9	1,25	0,5	0,15	3	100	35,73	39,38	47,21	43,30
Varianta_4_b	0,95	1,25	0,5	0,15	3	100	35,51	40,48	40,55	40,52	
Usmrcení (data na predikci roku 2012)	Varianta_1	0,8	1,25	0,5	0,15	3	100	16,00	16,76	17,81	17,29
	Varianta_2	0,9	1,25	0,5	0,15	3	100	16,54	19,33	17,70	18,51
	Varianta_3_a	0,5	1,25	0,5	0,15	4	100	17,76	20,48	21,37	20,93
	Varianta_3_b	0,7	1,25	0,5	0,15	3	100	14,51	16,93	16,11	16,52
	Varianta_3_c	0,75	1,25	0,5	0,15	3	100	15,32	16,51	15,99	16,25
	Varianta_4_a	0,95	1,25	0,5	0,15	2	100	13,53	13,04	12,91	12,97
Varianta_4_b	0,95	1,25	0,5	0,15	2	100	13,28	13,47	14,03	13,75	
Těžce zranění (data na predikci roku 2012)	Varianta_1	0,9	1,25	0,5	0,15	2	100	49,15	55,84	56,34	56,09
	Varianta_2	0,75	1,25	0,5	0,15	4	100	46,56	50,01	57,09	53,55
	Varianta_3_a	0,9	1,25	0,5	0,15	3	100	56,99	63,40	64,99	64,19
	Varianta_3_b	0,95	1,25	0,5	0,15	3	100	46,61	50,34	58,86	54,60
	Varianta_3_c	0,95	1,25	0,5	0,15	2	100	46,66	53,17	51,48	52,33
	Varianta_4_a	0,95	1,25	0,5	0,15	2	100	36,01	40,44	44,61	42,52
Varianta_4_b	0,95	1,25	0,5	0,15	2	100	35,96	42,74	36,89	39,82	

3.12. Predikce následků nehod

V základním okně MATLABu je potřeba nejprve načíst fis soubor z předchozího bodu osnovy (generování FIS) způsobem `a=readfis('název souboru bez přípony fis')`. Dále se zadá matice o 12-ti řádcích do příkazu `evalfis([matice],a)`, která obsahuje příslušnou variantu vstupních vektorů, právě tam, kde již chybí hodnoty výstupního vektoru a tím se dostane 12 predikovaných hodnot (proto je u všech variant vektor výstupní dat posunut nejméně o 12 hodnot).

Pro zjištění přesnosti tohoto způsobu predikování jsou při předzpracování hodnot vzaty také hodnoty do konce roku 2010 (opět pro všechny varianty), aby bylo možno napredikovat hodnoty na rok 2011 a porovnat je tak se skutečností. Všechny grafy jsou z důvodu větší přehlednosti řešeny sloupcovým zobrazením a nikoliv přívětivějším spojnicovým typem, který by byl zde méně přehledný.

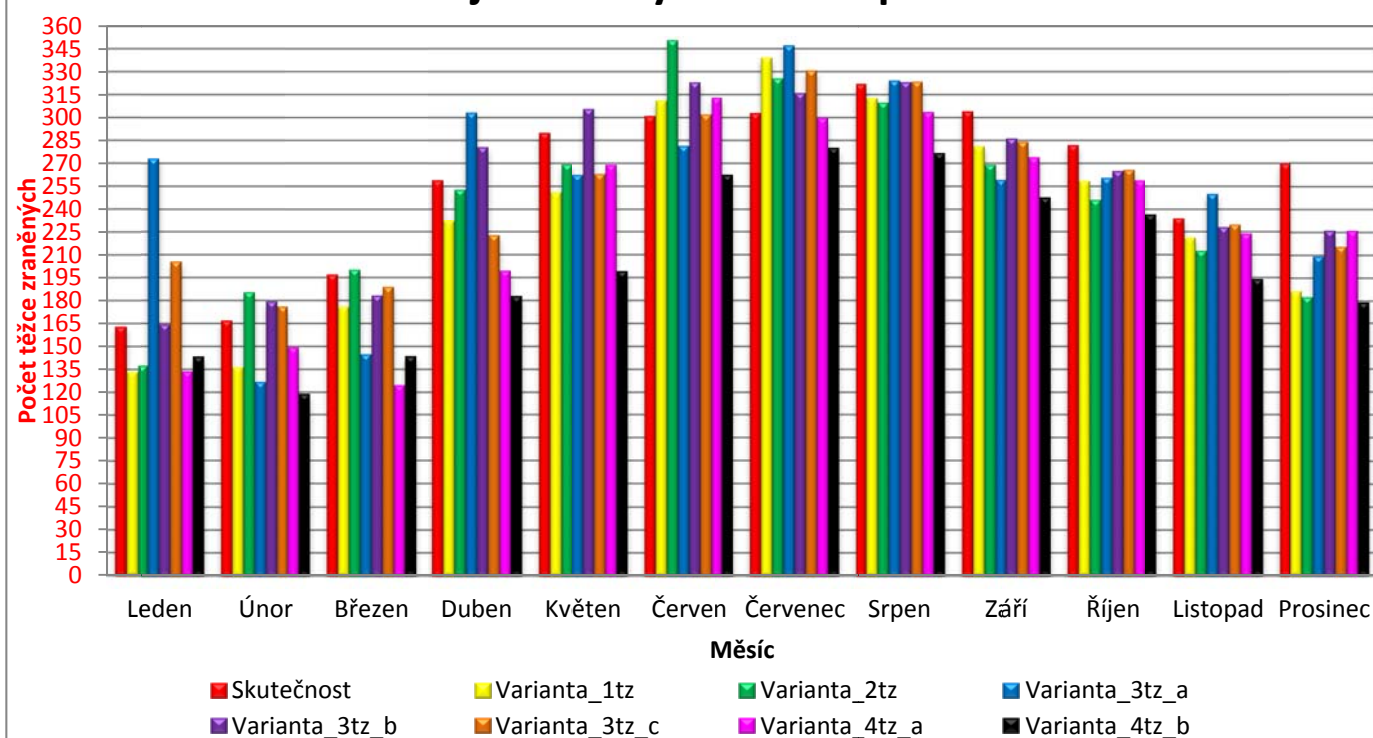


Graf 12: 12-ti měsíční predikce na rok 2011 počtu usmrcených, pro porovnání se skutečností

Tab. 6: Stanovení chyby vůči skutečným hodnotám roku 2011 pro usmrcené

Měsíc roku 2011	Skutečnost	Varianta_1usm	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_2usm	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_3usm_a	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_3usm_b	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_3usm_c	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_4usm_a	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_4usm_b	Chyba vůči skutečným hodnotám
Leden	41	50,07	0,22	46,44	0,13	54,47	0,33	46,20	0,13	43,05	0,05	46,79	0,14	52,74	0,29
Únor	52	45,80	0,12	28,35	0,45	50,37	0,03	43,29	0,17	36,01	0,31	28,67	0,45	40,41	0,22
Březen	46	45,64	0,01	57,34	0,25	41,42	0,10	46,76	0,02	37,76	0,18	43,18	0,06	52,52	0,14
Duben	49	45,25	0,08	54,02	0,10	57,73	0,18	49,65	0,01	44,01	0,10	42,25	0,14	52,20	0,07
Květen	61	57,78	0,05	62,56	0,03	58,30	0,04	57,19	0,06	56,80	0,07	52,79	0,13	63,17	0,04
Červen	70	75,90	0,08	78,44	0,12	56,26	0,20	66,62	0,05	66,29	0,05	69,89	0,00	71,15	0,02
Červenec	66	88,25	0,34	93,69	0,42	74,02	0,12	72,51	0,10	78,81	0,19	80,22	0,22	69,43	0,05
Srpen	76	69,10	0,09	67,56	0,11	86,46	0,14	73,89	0,03	82,53	0,09	79,75	0,05	74,15	0,02
Září	68	65,72	0,03	72,46	0,07	63,61	0,06	71,99	0,06	73,53	0,08	73,25	0,08	69,77	0,03
Říjen	59	85,92	0,46	89,17	0,51	82,73	0,40	79,33	0,34	82,15	0,39	81,19	0,38	72,22	0,22
Listopad	58	75,68	0,30	82,63	0,42	96,96	0,67	79,19	0,37	83,56	0,44	67,54	0,16	62,91	0,08
Prosinec	61	48,30	0,21	50,81	0,17	72,02	0,18	67,66	0,11	71,86	0,18	67,77	0,11	68,37	0,12
Zprůměrovaná chyba		16,61%		23,18%		20,47%		11,99%		17,78%		15,99%		10,83%	

Porovnání jednotlivých variant pro rok 2011

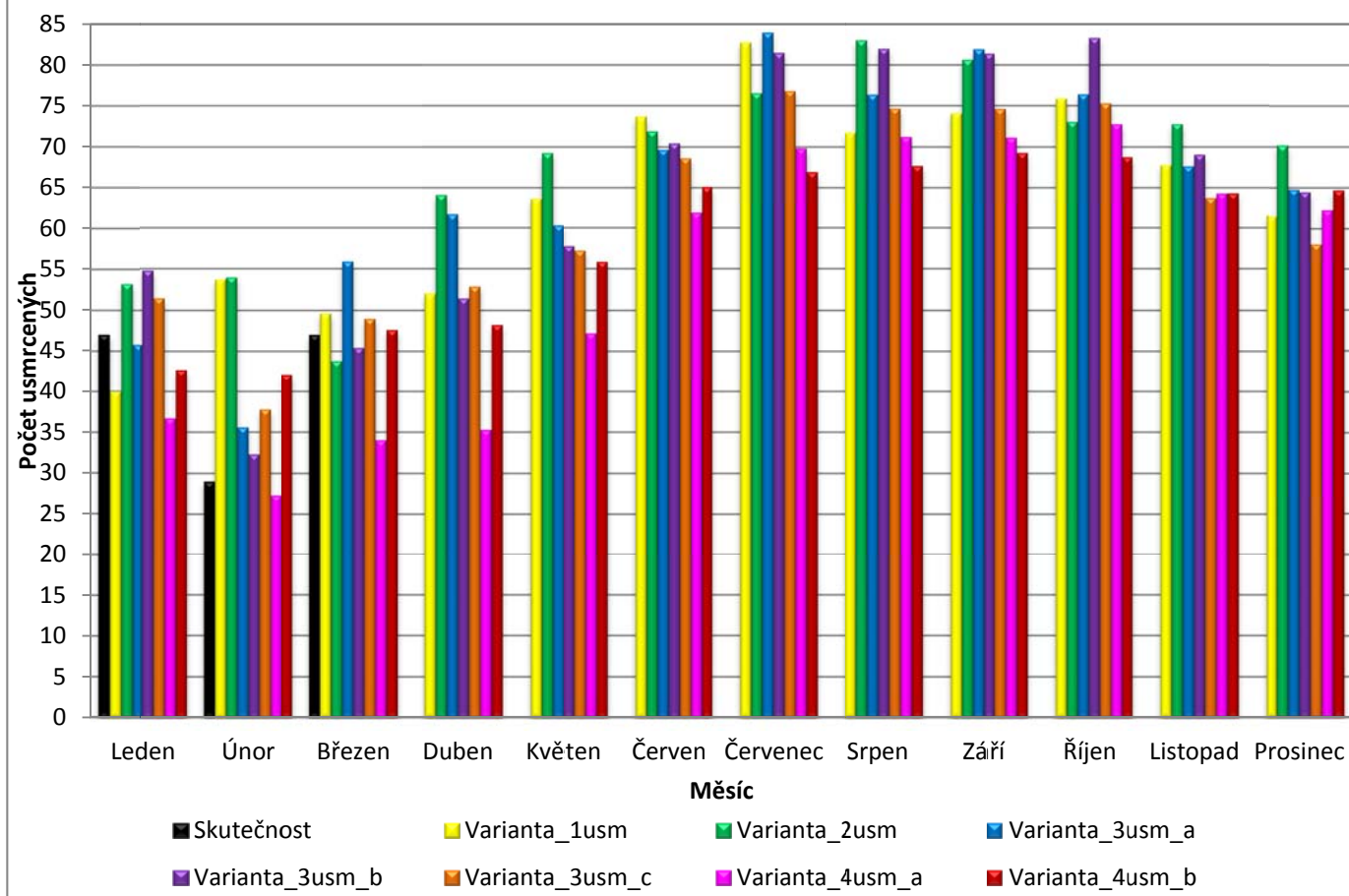


Graf 13: 12-ti měsíční predikce na rok 2011 počtu těžce zraněných, pro porovnání se skutečností

Tab. 7: Stanovení chyby vůči skutečným hodnotám roku 2011 pro těžce zraněné

Měsíc roku 2011	Skutečnost	Varianta_1tz	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_2tz	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_3tz_a	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_3tz_b	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_3tz_c	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_4tz_a	Chyba vůči skutečným hodnotám	Varianta_4tz_b	Chyba vůči skutečným hodnotám
Leden	163	133,36	0,18	137,54	0,16	273,20	0,68	164,34	0,01	205,59	0,26	133,67	0,18	143,45	0,12
Únor	167	136,41	0,18	185,49	0,11	126,74	0,24	179,37	0,07	176,12	0,05	149,51	0,10	118,99	0,29
Březen	197	175,98	0,11	200,14	0,02	144,87	0,26	183,25	0,07	188,96	0,04	124,67	0,37	143,72	0,27
Duben	259	232,22	0,10	252,77	0,02	303,21	0,17	280,62	0,08	222,81	0,14	199,54	0,23	182,98	0,29
Květen	290	251,21	0,13	269,32	0,07	262,43	0,10	305,64	0,05	263,09	0,09	269,11	0,07	199,24	0,31
Červen	301	311,28	0,03	350,56	0,16	281,53	0,06	323,10	0,07	302,04	0,00	312,95	0,04	262,59	0,13
Červenec	303	339,21	0,12	325,60	0,07	347,21	0,15	316,07	0,04	330,83	0,09	299,90	0,01	280,17	0,08
Srpen	322	312,69	0,03	309,76	0,04	324,25	0,01	323,16	0,00	323,49	0,00	303,60	0,06	276,75	0,14
Září	304	281,28	0,07	269,07	0,11	259,18	0,15	286,34	0,06	284,14	0,07	274,04	0,10	247,79	0,18
Říjen	282	258,58	0,08	246,24	0,13	260,62	0,08	265,13	0,06	265,80	0,06	258,85	0,08	236,66	0,16
Listopad	234	221,16	0,05	212,49	0,09	250,06	0,07	228,05	0,03	229,66	0,02	223,85	0,04	194,07	0,17
Prosinec	270	186,55	0,31	182,60	0,32	209,21	0,23	226,24	0,16	215,62	0,20	226,11	0,16	179,15	0,34
Zprůměrovaná chyba			11,78%		10,94%		18,18%		5,96%		8,60%		12,06%		20,67%

Predikce jednotlivých variant na rok 2012

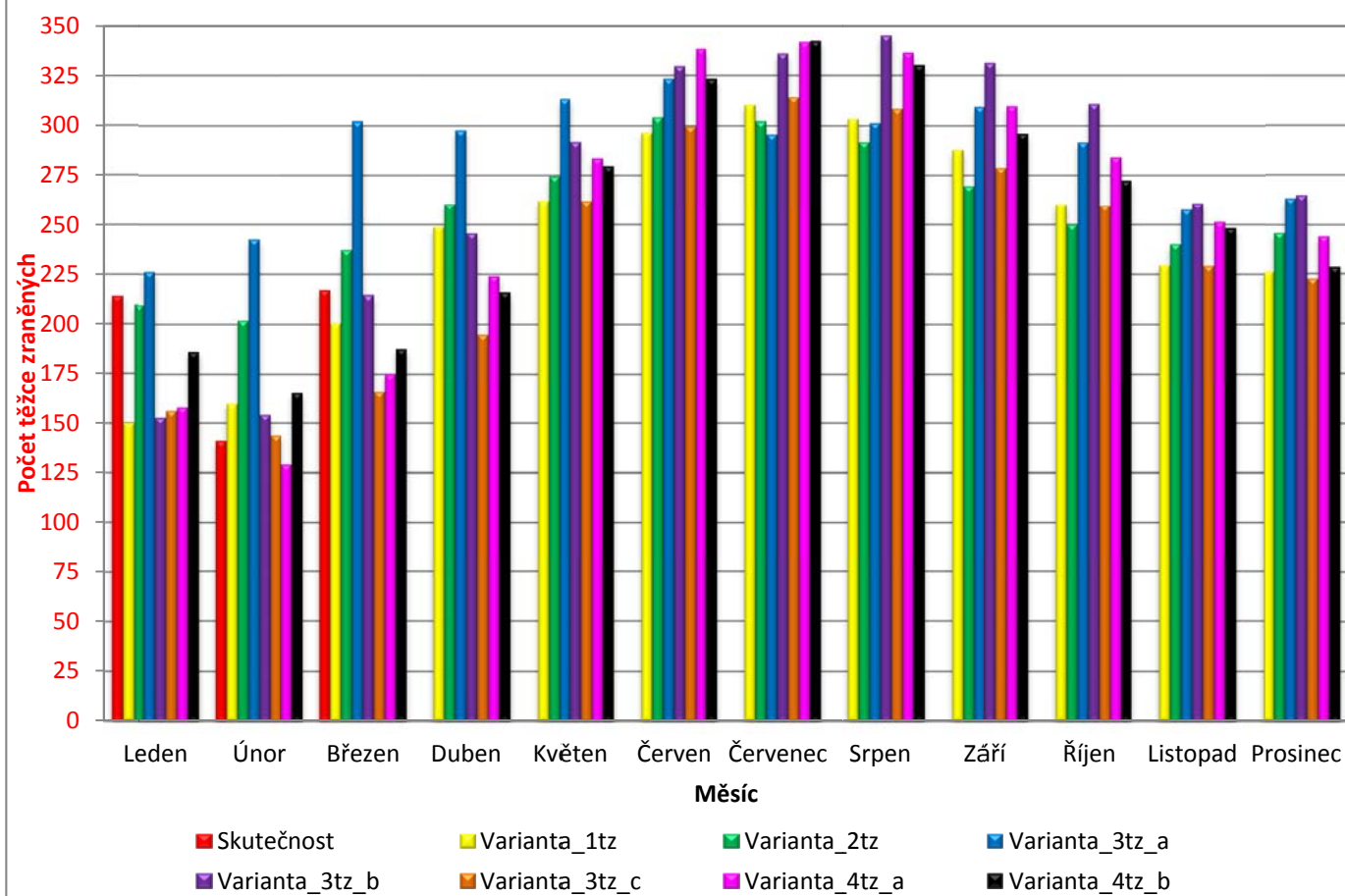


Graf 14: 12-ti měsíční predikce na rok 2012 počtu usmrcených

Tab. 8: Zaokrouhlené hodnoty usmrcených pro jednotlivé varianty na rok 2012

Měsíc roku 2012	Skutečnost	Varianta_1usm	Varianta_2usm	Varianta_3usm_a	Varianta_3usm_b	Varianta_3usm_c	Varianta_4usm_a	Varianta_4usm_b
Leden	47	40	53	46	55	51	37	43
Únor	29	54	54	36	32	38	27	42
Březen	47	50	44	56	45	49	34	48
Duben		52	64	62	51	53	35	48
Květen		64	69	60	58	57	47	56
Červen		74	72	70	70	69	62	65
Červenec		83	77	84	81	77	70	67
Srpen		72	83	76	82	75	71	68
Září		74	81	82	81	75	71	69
Říjen		76	73	76	83	75	73	69
Listopad		68	73	68	69	64	64	64
Prosinec		62	70	65	64	58	62	65

Predikce jednotlivých variant na rok 2012



Graf 15: 12-ti měsíční predikce na rok 2012 počtu těžce zraněných

Tab. 9: Zaokrouhlené hodnoty těžce zraněných pro jednotlivé varianty na rok 2012

Měsíc roku 2012	Skutečnost	Varianta_1tz	Varianta_2tz	Varianta_3tz_a	Varianta_3tz_b	Varianta_3tz_c	Varianta_4tz_a	Varianta_4tz_b
Leden	214	150	210	226	153	156	158	186
Únor	141	160	202	242	154	144	129	165
Březen	217	201	237	302	215	166	175	188
Duben		249	260	298	246	195	224	216
Květen		262	275	313	292	262	284	280
Červen		296	304	323	330	300	338	323
Červenec		310	302	296	336	314	342	342
Srpen		303	292	301	345	308	336	330
Září		288	270	309	331	279	310	296
Říjen		260	250	292	311	260	284	272
Listopad		230	240	258	261	229	251	248
Prosinec		226	246	263	265	223	244	228

4. Alternativní predikce nástroji statistiky

4.1. Analýza časových řad

Analýzy časových řad i se samotnou předpovědí nabývají v oboru statistiky na stále větším významu. Opět se předpovědi uplatňují především v ekonomické oblasti. Samotným cílem analýz je konstrukce odpovídajícího modelu, který je nezbytný k porozumění mechanismu. Tento mechanismus pak slouží jako základ pro generování sledovaných údajů. Lze se setkat s časovou řadou statistickou, která je ovšem zatížena nejistotou, nebo s deterministickou časovou řadou, jejíž chování lze sice matematickým vzorcem popsat a tím nám umožní sestavit přesnou předpověď, ale v praxi se s touto řadou lze setkat jen výjimečně na rozdíl od statistické řady. [2]

4.2. Samotné přístupy k analýze časových řad

Volba metody je hlavně závislá na účelu analýzy, typu časové řady, zkušenostech statistika (řešitele) a dalších o něco méně významných faktorech. Mezi základní metody patří:

- dekompozice časových řad,
- Boxova-Jenkinsova metodologie,
- lineární dynamické modely,
- spektrální analýza časových řad. [2]

V této práci se uplatní metoda dekompozice časových řad, jelikož časové řady mohou být rozloženy do následujících složek.

Trendová složka (označována v této práci zkratkou tr_t), která má dosti relativní charakter, odráží totiž dlouhodobé změny v průměrném chování časové řady. Může se tak například jednat o dlouhodobý růst nebo pokles. [2]

Sezónní složka (označována v této práci zkratkou sz_t), která pro svoje popsání potřebuje především měsíční nebo čtvrtletní měření, jinak ji lze jen těžko popsat. Jak už samotný název této složky napovídá, jedná se periodické změny

v časové řadě, a to během jednoho roku. Největším faktorem je střídání ročního období, kdy jsou řidiči přinuceni změnit své chování na našich komunikacích. [2]

Cyklická složka (označována v této práci zkratkou c_t) je sama o sobě spornou složkou časové řady. Samotní autoři spíše než o cyklické složce hovoří o fluktuacích okolo trendu. Někdy tato složka může být zapříčiněna popsitelnými vnějšími vlivy, ale stejně tak může jít i o vlivy těžko odhalitelné. [2]

Reziduální složka (označována v této práci zkratkou e_t) se uplatní až po odstranění složek předešlých a je tvořena náhodnými pohyby v průběhu časové řady a zároveň tyto pohyby nemají systematický charakter. Tato složka pomáhá odstranit chyby při měření údajů časové řady, chyby způsobené například zaokrouhlováním apod. [2]

Vlastní rozklad dekompozice časové řady může mít tyto tvary:

a) Aditivní tvar dekompozice.

$$y_t = tr_t + c_t + sz_t + e_t. [2] \quad (30)$$

b) Multiplikativní tvar dekompozice.

$$y_t = tr_t \cdot c_t \cdot sz_t \cdot e_t. [2] \quad (31)$$

4.3. Sezónní složka v časové řadě pro usmrcené a těžce zraněné

U sezónní složky v časové řadě je možno zvolit 2 přístupy řešení:

- Jednoduchý přístup k sezónní složce,
- regresní přístup k sezónní složce.

Pro časovou řadu z usmrcených a těžce zraněných je zvolen jednoduchý přístup k sezónní složce pomocí multiplikativního tvaru dekompozice. Nejprve je potřeba provést výpočet centrovaných klouzavých průměrů o délce 12.

$$\hat{y}_t = \frac{1}{24} \cdot (y_{t-6} + 2 \cdot y_{t-5} + 2 \cdot y_{t-4} + \dots + 2 \cdot y_{t+5} + y_{t-6}). [2] \quad (32)$$

Tento krok již dokáže do určité hloubky časovou řadu sezónně očistit a nemá skoro žádný vliv na případnou cyklickou složku, což je vzhledem k dalším krokům řešení výhodné. Zároveň můžeme tyto hodnoty považovat za odhadnutou kombinaci součinu ($\sim tr_t \cdot c_t$). [2]

V dalším kroku je odhadnuta kombinace $sz_t \cdot e_t$.

$$sz_t \cdot e_t = \frac{y_t}{(tr_t \cdot c_t)}. [2] \quad (33)$$

Následně jsou provedeny aritmetické průměry pouze z jednotlivých měsíců, to znamená vytvoření součtu všech lednových hodnot, podělené hodnotou počtu těchto lednových měsíců a tímto postupem se pokračuje pro zbývajících jedenáct měsíců. Zjištěných 12 hodnot je označeno jako \overline{sz}_t . [2]

Vlastní odhady sezónních faktorů sz_t jsou získané až po normalizaci a ta je tvořena rovnicí.

$$sz_t = \frac{12}{\sum_{t=1}^{12} \overline{sz}_t} \cdot \overline{sz}_t. [2] \quad (34)$$

Po těchto krocích následuje výpočet sezónně očištěné řady s označením d_t .

$$d_t = \frac{y_t}{sz_t}. [2] \quad (35)$$

Pro další řešení je potřeba znát co nejpřesnější odhad trendové složky, zde je využito hledání spojnice trendu v programu MS Excel. Jsou zvoleny odhady trendu pomocí lineární spojnice a polynomických spojnic 3°, 4°, 5°. V Tab. 10 jsou uvedeny přesné rovnice bez zaokrouhlování a hodnoty spolehlivosti. Po zjištění, který z následujících trendů v Tab. 10 dává nejlepší výsledky (opět pomocí chyb vůči skutečným hodnotám) pro usmrcené a těžce zraněné jsou zde následně uvedeny i grafy těchto odhadů.

Tab. 10: Hodnoty spolehlivosti a rovnice přímek (regresí)

Usmrcení		
Spojnice trendu	Hodnota spolehlivosti R^2	Rovnice přímky (regrese)
Lineární spojnice trendu	0,001907555	$y = 0,009798646t + 89,57998195$
Polynomická spojnice trendu 3°	0,327398411	$y = -9,33647E-06t^3 + 0,00554339t^2 - 0,816266793t + 111,4340959$
Polynomická spojnice trendu 4°	0,363510457	$y = 3,20601E-08t^4 - 3,71005E-05t^3 + 0,013277682t^2 - 1,562488906t + 127,7578538$
Polynomická spojnice trendu 5°	0,375440025	$y = 1,69775E-10t^5 - 1,51721E-07t^4 + 3,36761E-05t^3 + 0,001765298t^2 - 0,847060063t + 117,2646446$
Těžce zranění		
Spojnice trendu	Hodnota spolehlivosti R^2	Rovnice přímky (regrese)
Lineární spojnice trendu	0,000005847	$y = 0,003010054t + 390,9900186$
Polynomická spojnice trendu 3°	0,396085772	$y = -2,24228E-05t^3 + 0,003966042t^2 + 1,198783305t + 266,100114$
Polynomická spojnice trendu 4°	0,479015796	$y = 4,6582E-07t^4 - 0,000358745t^3 + 0,082089154t^2 - 5,088755183t + 381,006385$
Polynomická spojnice trendu 5°	0,479082535	$y = -1,46106E-10t^5 + 5,9768E-07t^4 - 0,000401087t^3 + 0,087833218t^2 - 5,386635715t + 384,6605121$

Pro všechny předešlé rovnice přímky (regrese) v Tab. 10 je vypočítaná trendová složka tr_t pro porovnání jednotlivých odhadů mezi sebou.

Před výpočtem cyklické složky je nejprve potřeba použít vzorec:

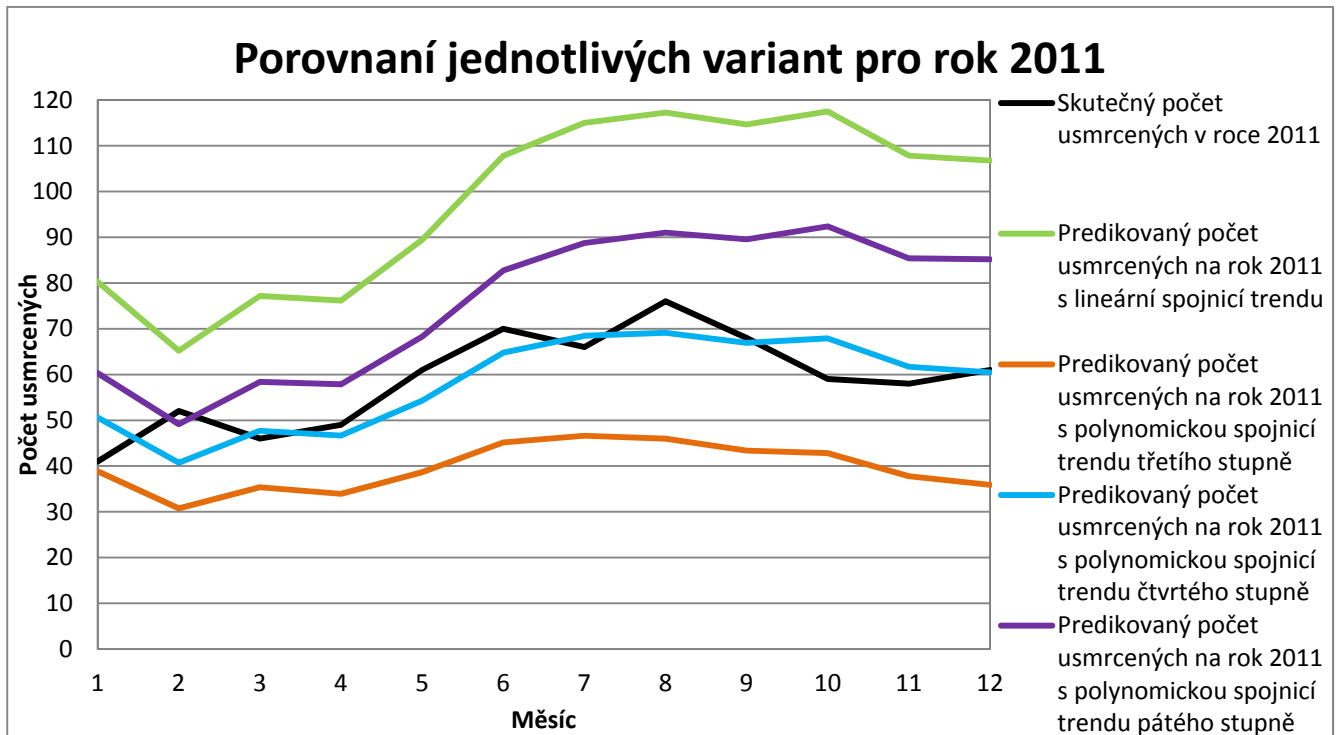
$$c_t \cdot e_t = \frac{y_t}{tr_t \cdot sz_t} \cdot [2] \quad (36)$$

Určení cyklické složky u usmrcených i těžce zraněných je poněkud problematické a tak je vytvořena pomocí jednoduchých klouzavých průměrů délky 240, aby tak i potlačila vliv reziduální složky. Vzhledem k tomu, že se tato hodnota pohybuje kolem jedné, tak lze cyklickou i reziduální složku zanedbat.

Následuje tak již výpočet predikovaných hodnot \hat{y}_t , které se vypočítají jako:

$$\hat{y}_t = tr_t \cdot sz_t \cdot [2] \quad (37)$$

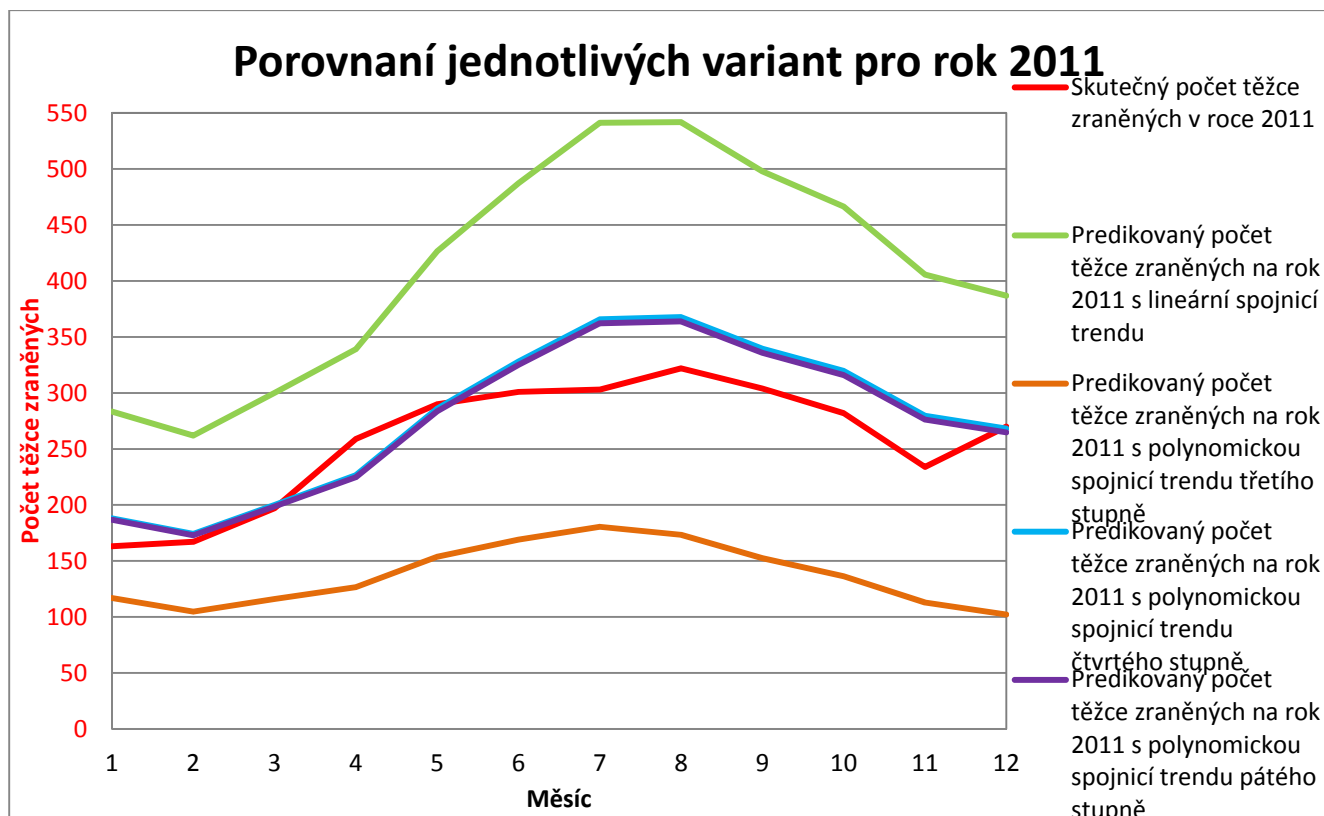
4.4. Predikce pomocí časové analýzy



Graf 16: 12-ti měsíční predikce na rok 2011 počtu usmrcených, pro porovnání se skutečností

Tab. 11: Stanovení chyby a rozdílu vůči skutečným hodnotám roku 2011 pro usmrcené

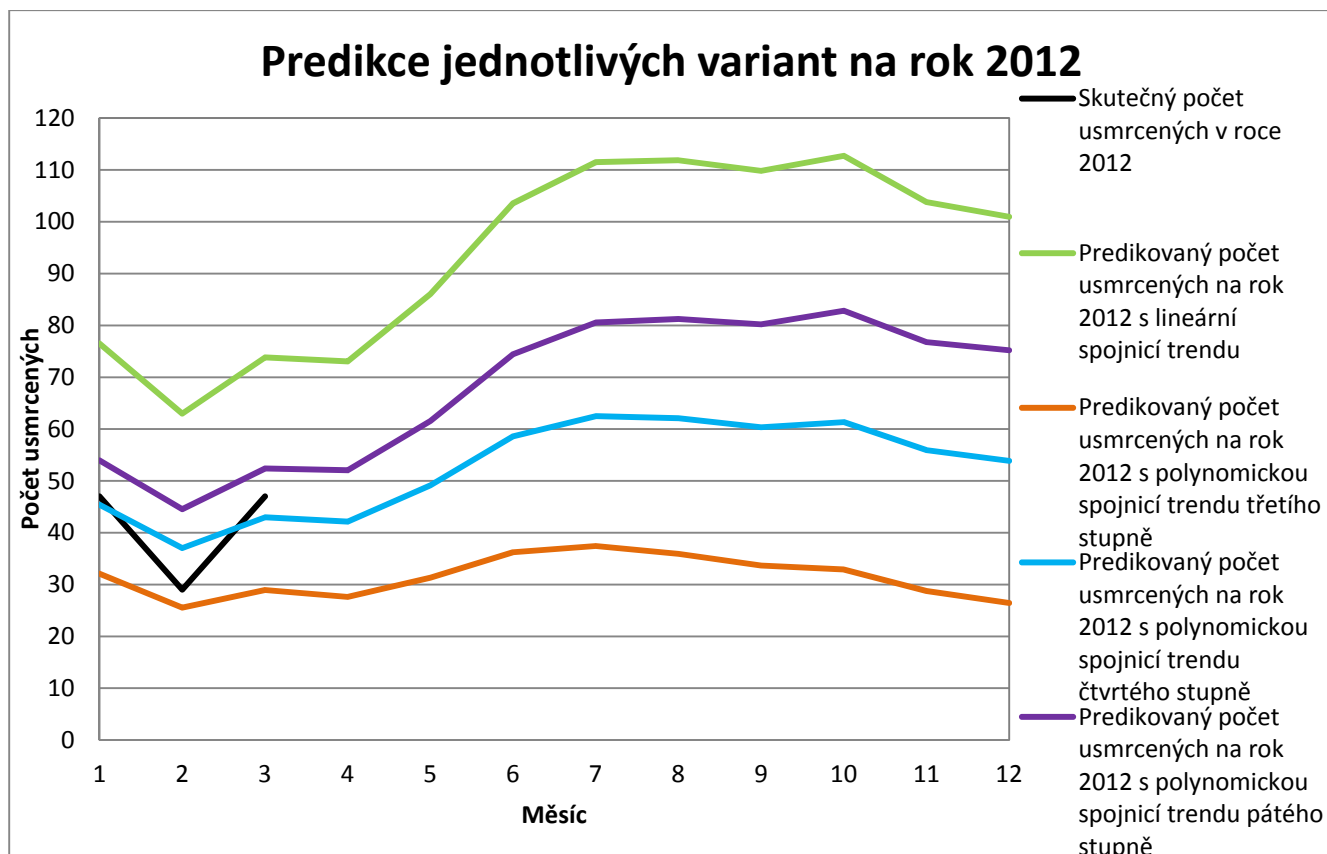
Měsíc roku 2011	Skutečnost	Lineární spojnice trendu	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	Polynomická spojnice trendu 3°	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	Polynomická spojnice trendu 4°	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	Polynomická spojnice trendu 5°	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám
Leden	41	80,29	39,29	0,96	38,87	-2,13	0,05	50,60	9,60	0,23	60,29	19,29	0,47
Únor	52	65,21	13,21	0,25	30,74	-21,26	0,41	40,72	-11,28	0,22	49,14	-2,86	0,05
Březen	46	77,15	31,15	0,68	35,37	-10,63	0,23	47,72	1,72	0,04	58,37	12,37	0,27
Duben	49	76,15	27,15	0,55	33,92	-15,08	0,31	46,66	-2,34	0,05	57,87	8,87	0,18
Květen	61	89,44	28,44	0,47	38,66	-22,34	0,37	54,28	-6,72	0,11	68,28	7,28	0,12
Červen	70	107,79	37,79	0,54	45,16	-24,84	0,35	64,79	-5,21	0,07	82,71	12,71	0,18
Červenec	66	115,00	49,00	0,74	46,63	-19,37	0,29	68,45	2,45	0,04	88,73	22,73	0,34
Srpen	76	117,25	41,25	0,54	45,95	-30,05	0,40	69,11	-6,89	0,09	90,99	14,99	0,20
Září	68	114,64	46,64	0,69	43,36	-24,64	0,36	66,92	-1,08	0,02	89,53	21,53	0,32
Říjen	59	117,50	58,50	0,99	42,81	-16,19	0,27	67,91	8,91	0,15	92,37	33,37	0,57
Listopad	58	107,83	49,83	0,86	37,78	-20,22	0,35	61,70	3,70	0,06	85,37	27,37	0,47
Prosinec	61	106,77	45,77	0,75	35,90	-25,10	0,41	60,48	-0,52	0,01	85,16	24,16	0,40
Průměr (rozdílu, chyby)			39,00	66,85%		-19,32	31,72%		-0,64	9,07%		16,82	29,74%



Graf 17: 12-ti měsíční predikce na rok 2011 počtu těžce zraněných, pro porovnání se skutečností

Tab. 12: Stanovení chyby a rozdílu vůči skutečným hodnotám roku 2011 pro těžce zraněné

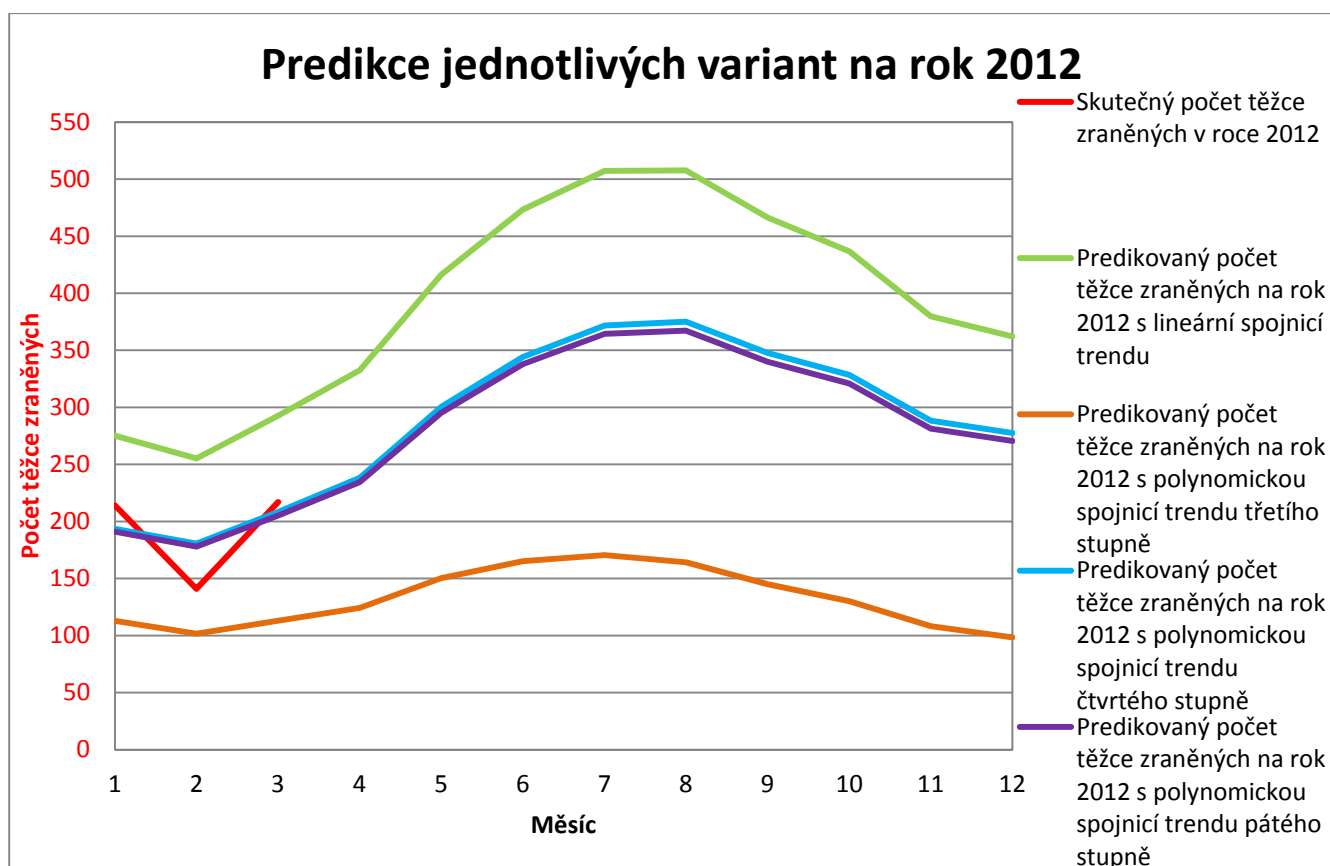
Měsíc roku 2011	Skutečnost	Lineární spojnice trendu	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	Polynomická spojnice trendu 3°	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	Polynomická spojnice trendu 4°	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám	Polynomická spojnice trendu 5°	Rozdíl vůči skutečným hodnotám	Chyba vůči skutečným hodnotám
Leden	163	283,40	120,40	0,74	116,94	-46,06	0,28	188,02	25,02	0,15	186,83	23,83	0,15
Únor	167	261,95	94,95	0,57	104,71	-62,29	0,37	174,16	7,16	0,04	172,97	5,97	0,04
Březen	197	300,13	103,13	0,52	116,07	-80,93	0,41	200,05	3,05	0,02	198,57	1,57	0,01
Duben	259	339,05	80,05	0,31	126,67	-132,33	0,51	226,65	-32,35	0,12	224,84	-34,16	0,13
Květen	290	426,63	136,63	0,47	153,74	-136,26	0,47	286,12	-3,88	0,01	283,67	-6,33	0,02
Červen	301	487,38	186,38	0,62	169,11	-131,89	0,44	328,05	27,05	0,09	325,05	24,05	0,08
Červenec	303	541,20	238,20	0,79	180,49	-122,51	0,40	365,73	62,73	0,21	362,16	59,16	0,20
Srpen	322	541,76	219,76	0,68	173,30	-148,70	0,46	367,71	45,71	0,14	363,90	41,90	0,13
Září	304	497,94	193,94	0,64	152,45	-151,55	0,50	339,58	35,58	0,12	335,84	31,84	0,10
Říjen	282	466,43	184,43	0,65	136,34	-145,66	0,52	319,73	37,73	0,13	316,00	34,00	0,12
Listopad	234	405,71	171,71	0,73	112,92	-121,08	0,52	279,64	45,64	0,20	276,19	42,19	0,18
Prosinec	270	386,92	116,92	0,43	102,23	-167,77	0,62	268,26	-1,74	0,01	264,77	-5,23	0,02
Průměr (rozdíl, chyby)			153,87	59,65%		-120,59	45,88%		20,98	10,35%		18,23	9,78%



Graf 18: 12-ti měsíční predikce na rok 2012 počtu usmrcených

Tab. 13: Zaokrouhlené hodnoty usmrcených pro jednotlivé varianty na rok 2012

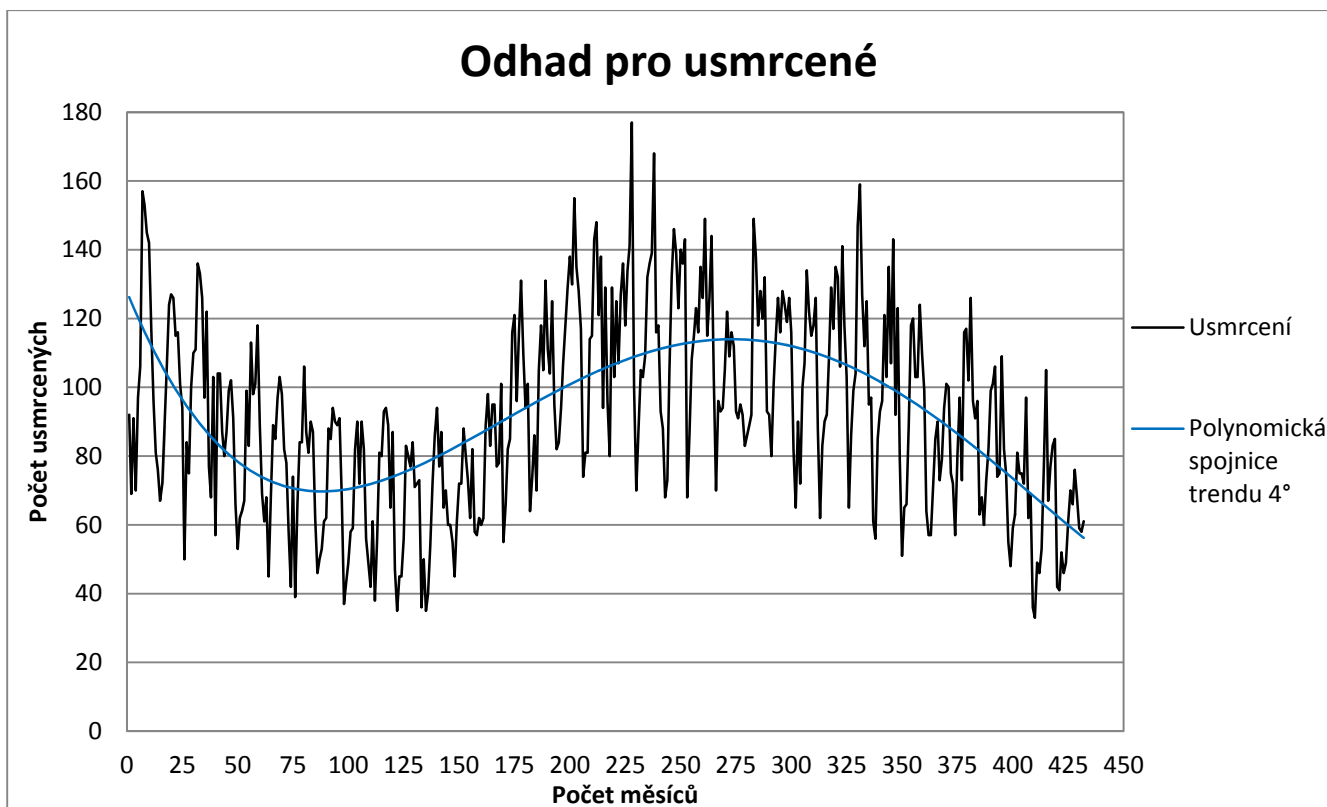
Měsíc roku 2012	Skutečnost	Lineární spojnice trendu	Polynomická spojnice trendu 3°	Polynomická spojnice trendu 4°	Polynomická spojnice trendu 5°
Leden	47	76	32	45	54
Únor	29	63	26	37	45
Březen	47	74	29	43	52
Duben		73	28	42	52
Květen		86	31	49	62
Červen		104	36	59	74
Červenec		112	37	62	81
Srpen		112	36	62	81
Září		110	34	60	80
Říjen		113	33	61	83
Listopad		104	29	56	77
Prosinec		101	26	54	75



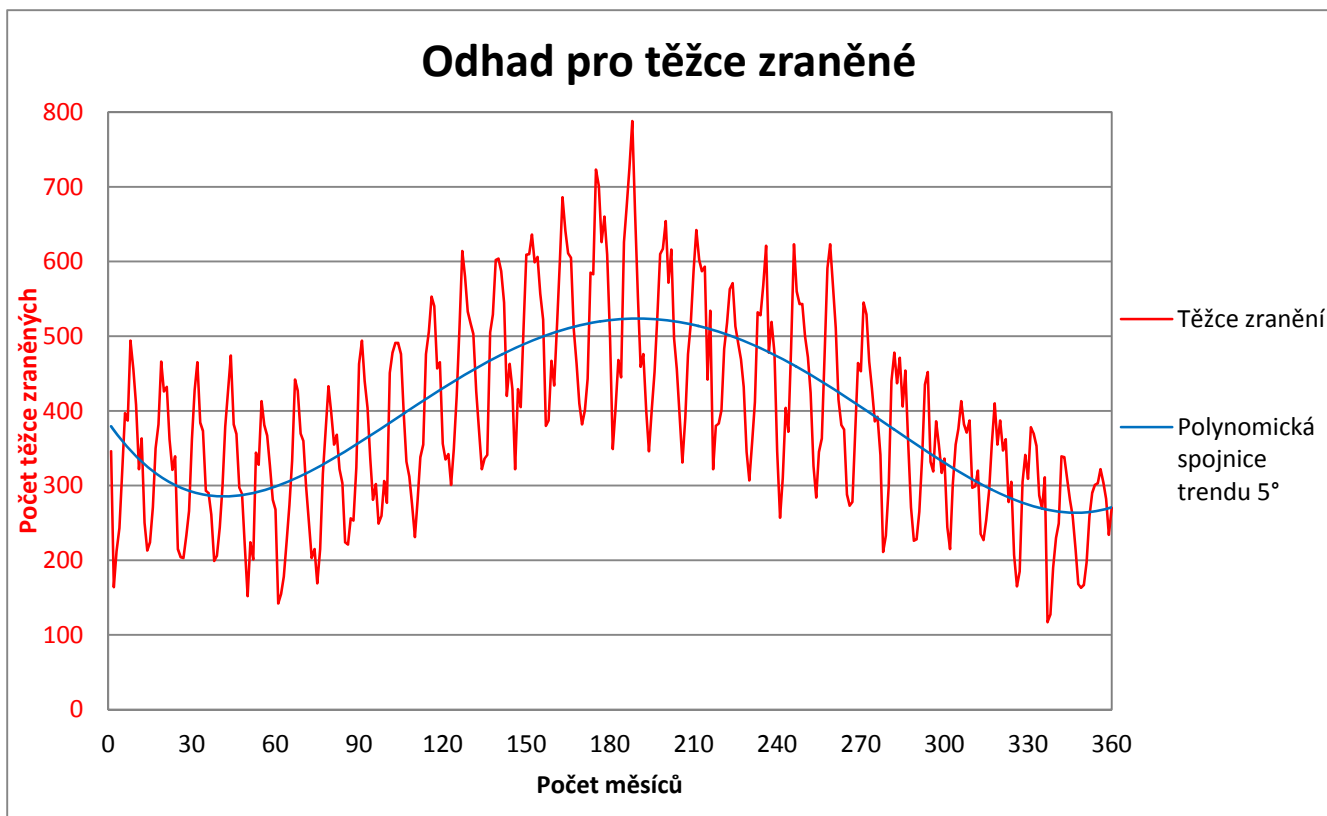
Graf 19: 12-ti měsíční predikce na rok 2012 počtu těžce zraněných

Tab. 14: Zaokrouhlené hodnoty těžce zraněných pro jednotlivé varianty na rok 2012

Měsíc roku 2012	Skutečnost	Lineární spojnice trendu	Polynomická spojnice trendu 3°	Polynomická spojnice trendu 4°	Polynomická spojnice trendu 5°
Leden	214	275	113	194	191
Únor	141	255	102	181	178
Březen	217	293	113	208	205
Duben		333	124	238	234
Květen		416	150	300	295
Červen		473	165	344	338
Červenec		507	171	372	364
Srpen		508	164	375	367
Září		466	145	348	340
Říjen		437	130	328	321
Listopad		380	108	288	281
Prosinec		362	98	278	271



Graf 20: Zobrazení nejlepšího odhadu trendu pro usmrcené



Graf 21: Zobrazení nejlepšího odhadu trendu pro těžce zraněné

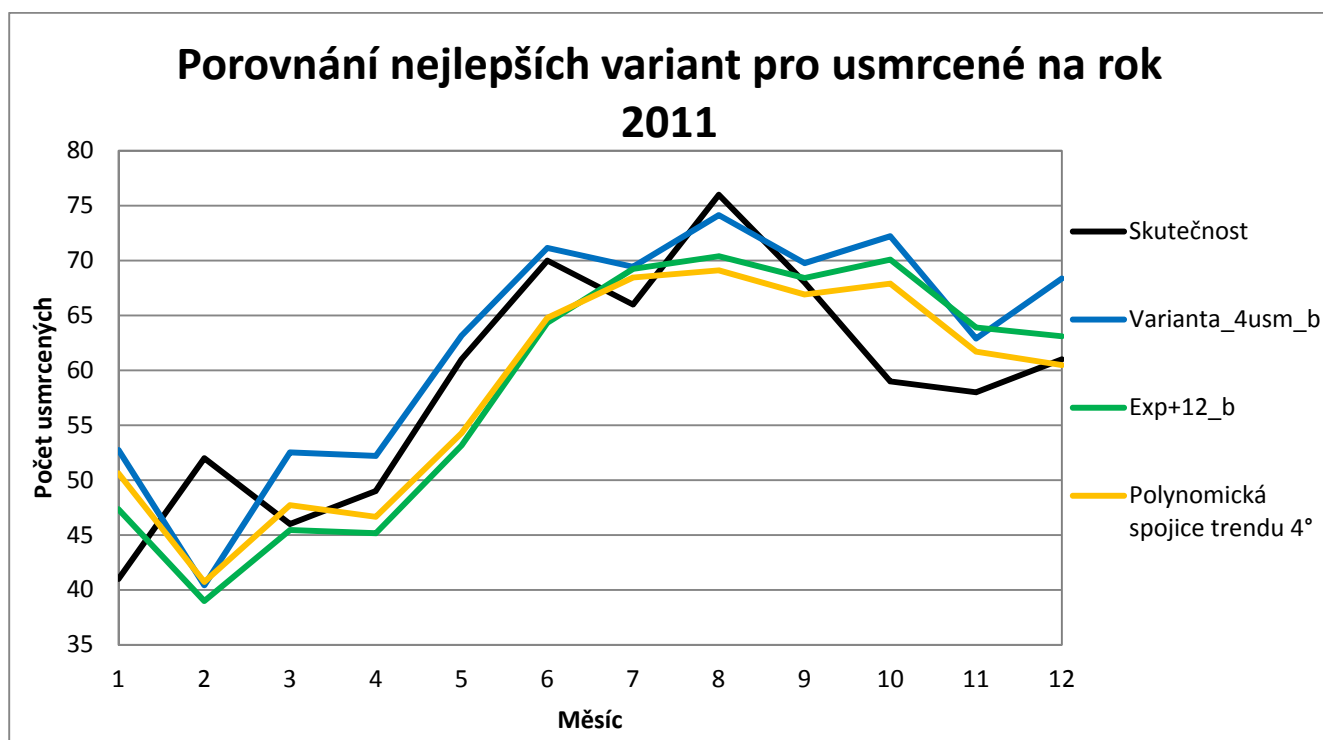
5. Porovnání výsledků

K porovnání je u všech použitých metod predikcí stanovena průměrná chyba vůči skutečným hodnotám roku 2011. Zde již budou uvedeny pouze nejlepší varianty jednotlivých metod na tento rok, tedy exponenciální vyrovnání, metoda ANFIS a analýza časové řady. V Tab. 16 jsou uvedeny průměry rozdílů a chyb vůči skutečným hodnotám. U metody ANFIS je tento rozdíl stanoven jen z 12 hodnot roku 2011, ale protože větší vypovídající hodnotu mají rozdíly a chyby od skutečných hodnot nejen nepredikovaného roku, jsou u metod exponenciálního vyrovnání a metody časové řady, vzaty také rozdíly a chyby od skutečných hodnot vyhlazené řady. Čím více se budou především rozdíly blížit nule, tím lze o modelech říct, že jsou správně navržené.

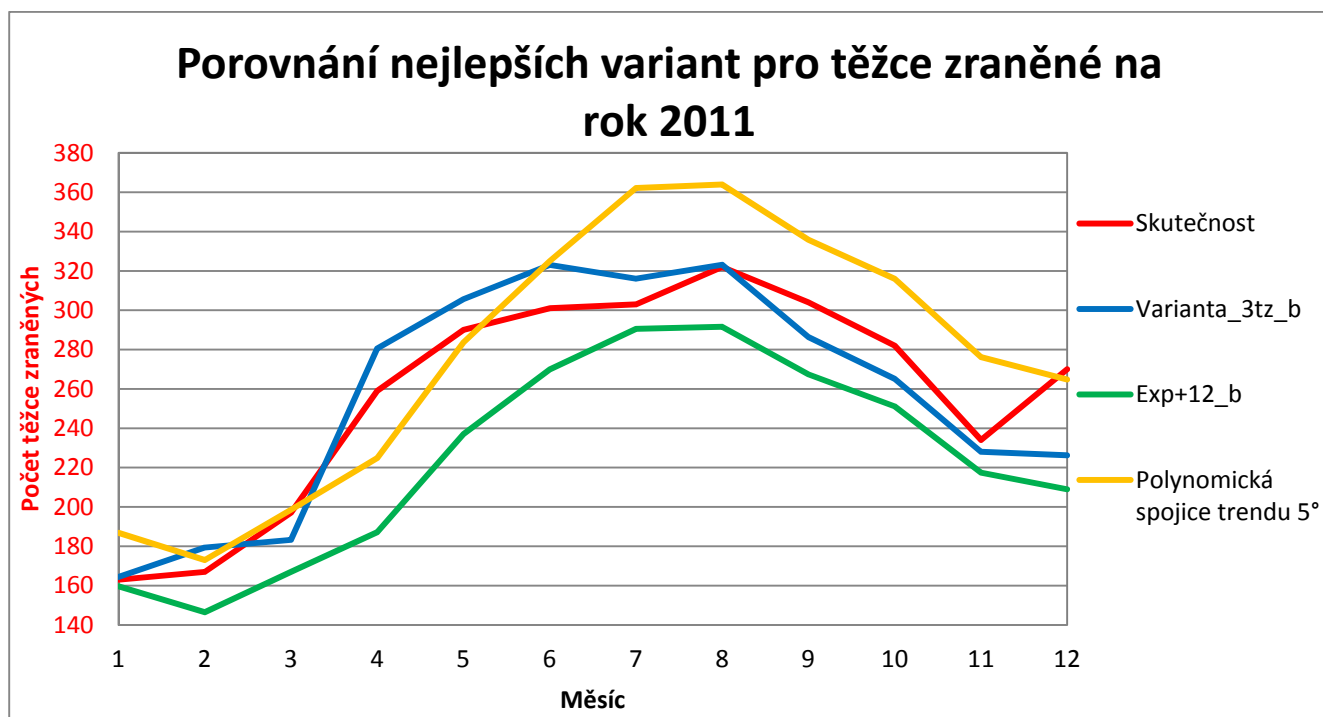
Tab. 15: Porovnání nejlepších predikcí mezi sebou

Usmrcení	Porovnání s rokem 2011				Porovnání s rokem 2011 včetně vyrovnané řady		
	Proměnná	Počet platných	Průměr rozdílů vůči skutečným hodnotám	Průměr chyb vůči skutečným hodnotám	Počet platných	Průměr rozdílů vůči skutečným hodnotám	Průměr chyb vůči skutečným hodnotám
Usmrcení	Exponenciální vyrovnání (Exp+12_c)	12	-0,62	9,65%	432	0,25	12,47%
	ANFIS metoda (Varianta_4usm_b)	12	3,50	10,83%	-		
	Analýzy čas. řad (Pol. spojice trendu 4°)	12	-0,64	9,07%	432	-0,10	13,52%
Těžce zranění	Porovnání s rokem 2011				Porovnání s rokem 2011 včetně vyrovnané řady		
	Proměnná	Počet platných	Průměr rozdílů vůči skutečným hodnotám	Průměr chyb vůči skutečným hodnotám	Počet platných	Průměr rozdílů vůči skutečným hodnotám	Průměr chyb vůči skutečným hodnotám
	Exponenciální vyrovnání (Exp+12_c)	12	-33,14	12,68%	360	1,09	8,97%
	ANFIS metoda (Varianta_3tz_b)	12	-0,89	5,96%	-		
Analýzy čas. řad (Pol. spojice trendu 5°)	12	18,23	9,78%	360	0,45	9,08%	

Pro lepší přehled jsou nejlépe varianty z příslušných metod umístěny do následujících spojnicových grafů.



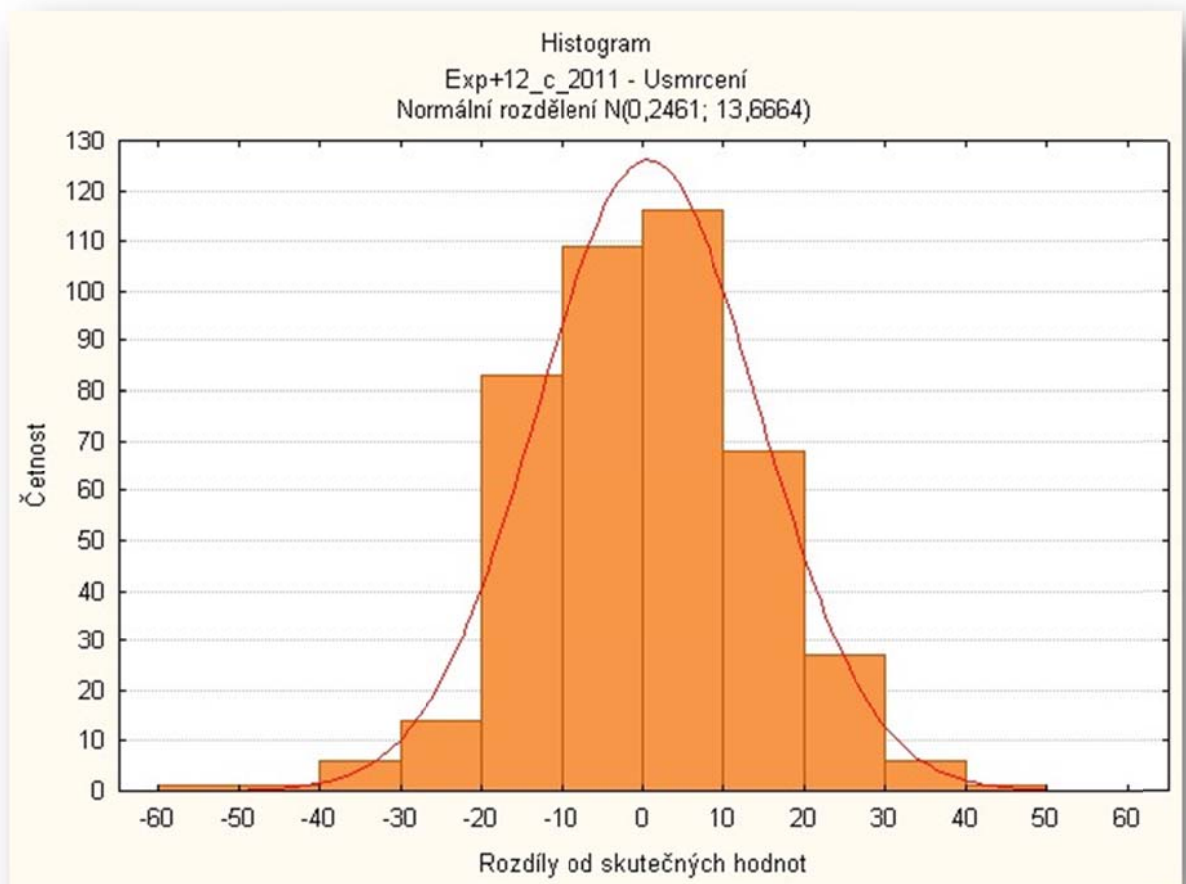
Graf 22: Přehled nejlepších variant z příslušných metod pro usmrcené



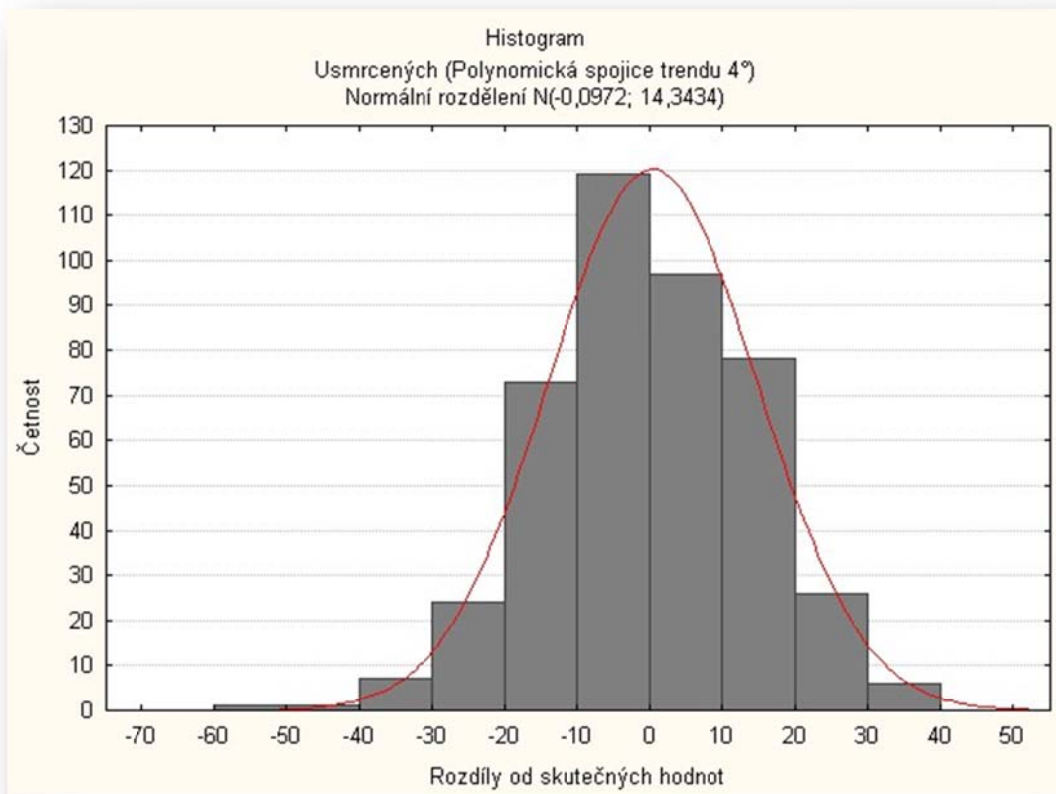
Graf 23: Přehled nejlepších variant z příslušných metod pro těžce zraněné

5.1. Histogramy

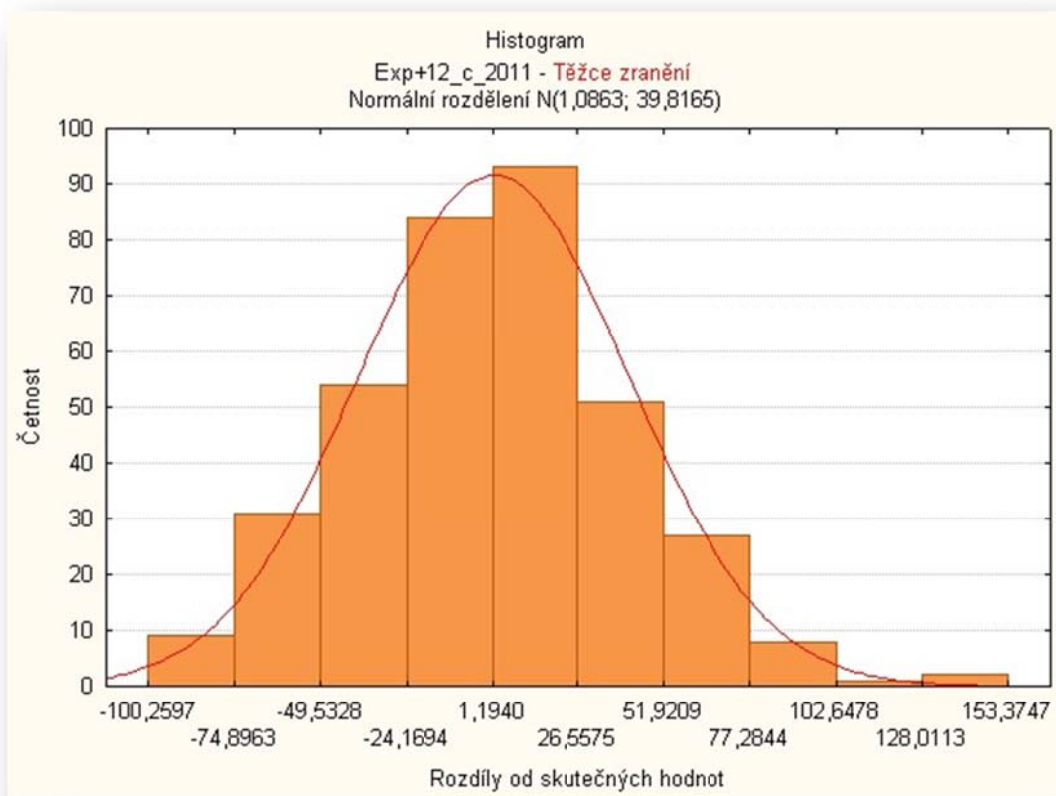
Histogramy budou vytvořeny v programu STATISTICA 7 z rozdílů od skutečných hodnot. Veškerá volba parametrů k sestavení histogramů je ponechána na přednastavených algoritmech tohoto programu, jelikož však u histogramu těžce zraněných Exp+12_c_2011 (Obr. 5) nebyl počet tříd optimální, bylo nastavení počtu tříd zvýšeno ze 7 na 10. Metoda ANFIS zde bude vynechána z důvodu malého počtu platných hodnot, které by tak nevytvořily dostatečně věrohodný histogram.



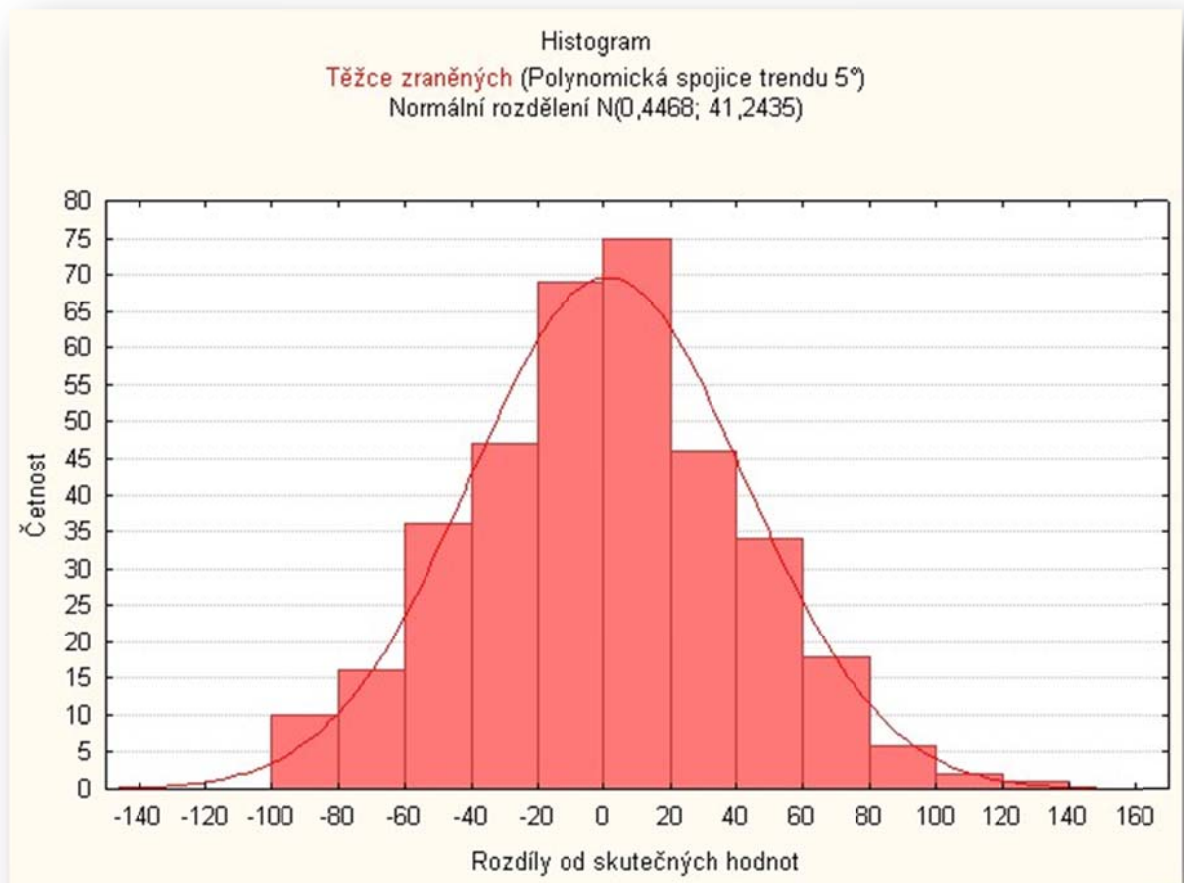
Obr. 3: Histogram usmrcených pro variantu Exp+12_c_2011 exp. vyrovnání



Obr. 4: Histogram usmrcených s pol. spoj. trendu 4° analýzy časových řad



Obr. 5: Histogram těžce zraněných pro variantu Exp+12_c_2011 exp. vyrovnání



Obr. 6: Histogram těžce zraněných s pol. spoj. trendu 5° analýzy časových řad

6. Závěr

V této práci byly použity pro porovnání 3 možnosti predikcí. Predikce pomocí exponenciálního vyrovnání zde byly doplněny spíše dodatečně, jelikož samotné exponenciální vyrovnání bylo potřeba při tvorbě matic pro metodu ANFIS. Hlavní výhodou je bezesporu jednoduchost tvorby samotných předpovědí z následků nehod, protože zde nejsou potřeba žádné odborné znalosti o časových řadách. Pokud uživatel zvolí možnosti bez trendu a s multiplikativní sezónou, dostane výsledky přesné do 20 % od skutečných hodnot, bude-li při hledání parametrů α a δ vycházet pouze z největšího počtu nejmenších hodnot chyb.

ANFIS metoda se může zdát nadbytečná z toho pohledu, že statistické možnosti predikcí jsou zcela vyhovující a i poměrně přesné, přesto je ANFIS metoda jednou z možných alternativ použití a rozhodně výsledky které generuje, nejsou při srovnání se skutečností nepřesné. Nejméně vhodné pro predikci jsou varianty 1, 2, 3a, které velkých přesností nedosahují. Nejvhodnější varianty jsou tak 3b a 3c, protože dosahují kvalitních předpovědí ve srovnání se skutečností. Varianty 4a, 4b jsou spíše nadbytečné i z toho pohledu, že již obsahují predikce vytvořené exponenciálním vyrovnáním, jedním dechem je potřeba dodat, že u usmrcených dosáhla varianta 4b nejlepšího výsledku vůbec. Hlavní nevýhodou však zůstává dlouhé, časově náročné zpracování od tvorby matic až po hledání nejmenší střední kvadratické chyby.

Přesnost analýzy časových řad se zvoleným jednoduchým přístupem k sezónní složce a při vhodně zvoleném trendu vykazuje přesnost kolem 10 procent průměru chyb od skutečných hodnot a to i přes to, že stanovení cyklické a reziduální složky pro oblast následků nehod je problematické a tak je zanedbáno. Samotný trend má význam hledat jen pro polynomickou spojnicí 4° a 5°, jelikož zvolená lineární spojnice trendu není vůbec vhodná a dává i zcela nadhodnocené výsledky a naopak polynomická spojnice 3° vykazuje hodně podhodnocené výsledky opět pro obě možnosti (usmrcení i těžce ranění). Celkově je tato metoda optimální i z toho důvodu, že při jejím zpracování stačí pracovat pouze s nástroji v programu MS Excel.

Histogramy sestavené z rozdílů od skutečných chyb pro vybrané nejlepší varianty o modelech říkají, že mají skutečně vypovídající charakter a tak lze tyto varianty používat i pro následující roky.

7. Použitá literatura

- [1] POKORNÝ, J. *Aplikace výpočetní inteligence v řešení bezpečnosti silničního provozu*, disertační práce, Univerzita Pardubice, Pardubice 2010, s. 105-119.
- [2] CIPRA, T. *Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii*, Praha: Nakladatelství technické literatury, 1986, s. 15-21, s. 28-29, s. 15-21, s. 42, s. 53-54, s. 15-21, s. 57-59, s. 65-66, s. 71-72, s. 75-83.
- [3] *D & I FinServis, s.r.o.* [online]. [cit. 2012-27-01]. Dostupné z WWW: < <http://www.difin.cz/index.php?p=243> >
- [4] *BESIP. Národní strategie BESIP* [online]. [cit. 2012-10-02]. Dostupné z WWW: < <http://www.ibesip.cz/Narodni-strategie-BESIP> >
- [5] *Centrum dopravního výzkumu. Hlubková analýza mezinárodního srovnání dopravní nehodovosti v ČR* [online]. [cit. 2012-10-02]. Dostupné z WWW: < <http://www.czrso.cz/index.php?id=402> >
- [6] *Google books. Klouzavý medián*[online]. [cit. 2012-11-04]. Dostupné z WWW: < <http://books.google.cz/books?id=PvSWj-57Jj8C&pg=SA6-PA83&lpg=SA6-PA83&dq=Klouzav%C3%BD+medi%C3%A1n&source=bl&ots=6oZ-O-eQkd&sig=SEVCRUjAhSiUnCMsUKUvbSnCp9s&hl=cs&sa=X&ei=UbKKT5KfFtCLswb1vpiWDA&ved=0CDsQ6AEwBA#v=onepage&q=Klouzav%C3%BD%20medi%C3%A1n&f=false> >
- [7] DRAŽIL, T. *Analýza ekonomických časových řad*, diplomová práce, Masarykova univerzita v Brně, Brno 2009, s. 41.
< http://is.muni.cz/th/150645/prif_m/diplomka.pdf >

Necitované informační zdroje a zdroje použité v přílohách

- [8] POKORNÝ, J. *Aplikace výpočetní inteligence v řešení bezpečnosti silničního provozu*, disertační práce, Univerzita Pardubice, Pardubice 2010, přílohy na přiloženém CD (historická data nehodovosti od ledna 1976 do května 2010).
- [9] *Policie. Statistický přehled nehodovosti* [online]. [cit. 2012-20-04]. Dostupné z WWW: < <http://www.policie.cz/nehodovost.aspx> >

8. Seznam obrázků, grafů a tabulek

Použité tabulky:

Tab. 1: Hledání nejlepších parametrů α a δ pro usmrcené	25
Tab. 2: Hledání nejlepších parametrů α a δ pro těžce zraněné.....	26
Tab. 3: Stanovení rozdílu a chyby vůči skutečným hodnotám roku 2011.....	31
Tab. 4: Skladba matic pro jednotlivé varianty uspořádání původních a statist. zpracovaných dat	36
Tab. 5: Hledání nejmenší chyby (ave err) metodou Subtractive Clustering	40
Tab. 6: Stanovení chyby vůči skutečným hodnotám roku 2011 pro usmrcené.....	41
Tab. 7: Stanovení chyby vůči skutečným hodnotám roku 2011 pro těžce zraněné.....	42
Tab. 8: Zaokrouhlené hodnoty usmrcených pro jednotlivé varianty na rok 2012.....	43
Tab. 9: Zaokrouhlené hodnoty těžce zraněných pro jednotlivé varianty na rok 2012 .	44
Tab. 10: Hodnoty spolehlivosti a rovnice přímek (regresí).....	48
Tab. 11: Stanovení chyby a rozdílu vůči skutečným hodnotám roku 2011 pro usmrcené.....	49
Tab. 12: Stanovení chyby a rozdílu vůči skutečným hodnotám roku 2011 pro těžce zraněné.....	50
Tab. 13: Zaokrouhlené hodnoty usmrcených pro jednotlivé varianty na rok 2012.....	51
Tab. 14: Zaokrouhlené hodnoty těžce zraněných pro jednotlivé varianty na rok 2012	52
Tab. 15: Porovnání nejlepších predikcí mezi sebou	54

Použité obrázky:

Graf 1: Počet nehod na pozemních komunikacích ČR.....	13
Graf 2: Počet usmrcených na pozemních komunikacích ČR	14
Graf 3: Počet těžce zraněných na pozemních komunikacích ČR	15
Graf 4: Exponenciální vyrovnání počtu usmrcených i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2011	27
Graf 5: Exponenciální vyrovnání počtu usmrcených i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2011	27
Graf 6: Exp. vyrovnání (varianta Exp+12_b) počtu usmrcených i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2012	28
Graf 7: Exp. vyrovnání (varianta Exp+12_c) počtu usmrcených i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2012	28

Graf 8: Exponenciální vyrovnání počtu těžce zraněných i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2011	29
Graf 9: Exponenciální vyrovnání počtu těžce zraněných i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2011	29
Graf 10: Exp. vyrov. (varianta Exp+12_b) počtu těž. zraněných i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2012	30
Graf 11: Exp. vyrov. (varianta Exp+12_c) počtu těž. zraněných i s 12-ti měsíční predikcí na rok 2012	30
Graf 12: 12-ti měsíční predikce na rok 2011 počtu usmrcených, pro porovnání se skutečností	41
Graf 13: 12-ti měsíční predikce na rok 2011 počtu těžce zraněných, pro porovnání se skutečností	42
Graf 14: 12-ti měsíční predikce na rok 2012 počtu usmrcených.....	43
Graf 15: 12-ti měsíční predikce na rok 2012 počtu těžce zraněných	44
Graf 16: 12-ti měsíční predikce na rok 2011 počtu usmrcených, pro porovnání se skutečností	49
Graf 17: 12-ti měsíční predikce na rok 2011 počtu těžce zraněných, pro porovnání se skutečností	50
Graf 18: 12-ti měsíční predikce na rok 2012 počtu usmrcených.....	51
Graf 19: 12-ti měsíční predikce na rok 2012 počtu těžce zraněných	52
Graf 20: Zobrazení nejlepšího odhadu trendu pro usmrcené.....	53
Graf 21: Zobrazení nejlepšího odhadu trendu pro těžce zraněné	53
Graf 22: Přehled nejlepších variant z příslušných metod pro usmrcené	55
Graf 23: Přehled nejlepších variant z příslušných metod pro těžce zraněné	55

Použité obrázky:

Obr. 1: Implikační proces u FIS typu Takagi – Sugeno [1].....	34
Obr. 2: Agregáčnı́ a defuzzifikační proces u FIS typu Takagi – Sugeno [1].....	35
Obr. 3: Histogram usmrcených pro variantu Exp+12_c_2011 exp. vyrovnání.....	56
Obr. 4: Histogram usmrcených s pol. spoj. trendu 4° analýzy časových řad	57
Obr. 5: Histogram těžce zraněných pro variantu Exp+12_c_2011 exp. vyrovnání.....	57
Obr. 6: Histogram těžce zraněných s pol. spoj. trendu 5° analýzy časových řad.....	58

9. Seznam příloh

Příloha 1 - Predikce pomocí exponenciálního vyrovnání

Příloha 2 - Predikce pomocí metody ANFIS

Příloha 3 – Připravené datové soubory pro ANFIS editor včetně příslušných fis souborů
pro MATLAB

Příloha 4 – Predikce pomocí analýzy časové řady

Příloha 5 – Porovnání nejlepších výsledků

Příloha 6 – Obrázky histogramů

Pozn.: Všechny přílohy se nacházejí na přiloženém CD