

ZKUŠENOSTI Z PROVOZU PREDIKTORU SPOTŘEBY TEPELNÉ ENERGIE

J. Šípal

Fakulta výrobních technologií a managementu; Univerzita Jana Evangelisty Purkyně

Abstrakt

Příspěvek seznamuje čtenáře s praktickým využíváním adaptivního modelu spotřeby tepelné energie v soustavě centrálního zásobování teplem ve skutečném provozu teplárny. Mezi laboratorním vyzkoušením a praktickým provozem v reálné soustavě centralizovaného zásobování teplem se vyskytují rozdíly. Některé provozní stavy lze jen těžko simulovat. Čtenář je seznámen s postupem uvádění prediktoru do provozu, s těžkostmi a výsledky provozu.

Úvod

V předchozích ročnících konference Technical Computing Prague byly prezentovány práce na vývoji adaptivního modelu predikce spotřeby tepelné energie, který popisuje chování soustavy centralizovaného zásobování teplem (CZT). Teoretické práce byly zakončeny koncem roku 2008. Druhým logicky navazujícím krokem je uvedení teoretických poznatků do takové podoby, aby bylo umožněno použití prediktoru v průmyslové praxi.

Díky dlouholeté spolupráci Univerzity Jana Evangelisty Purkyně a místní teplárnou Dalkia ČR a.s. Divize Ústí nad Labem, bylo umožněno provést praktické odzkoušení navrhovaných algoritmů. Pracovníky výrobního podniku bylo za určitých podmínek umožněno provádět měření a nastavování kalibračních koeficientů algoritmů v reálném provozu. Soustava centralizovaného zásobování tepelnou energií provozovaná teplárnou patří k velkým soustavám. Soustava je připojena ke zdroji třemi paralelními tepelnými napáječi (TN I; TN II; TN III). Jedná se o tři soustavy parního a kondenzátního potrubí, každá o délce cca 7 km, jmenovité průměry parovodů jsou DN 500, DN 600 a DN 700. Rozvod tepelné energie po městě je zajištěn páteřními parovody. Těmito páteřními parovody jsou napájeny místní primární sítě. Soustava CZT dodává cca 3 300 TJ tepelné energie v páře za rok. K tepelné síti CZT je připojeno více než 1 300 odběrných míst, zásobuje teplem cca 26 800 domácností a velkou část průmyslových závodů ve městě.

Technické řešení způsobu využití prediktoru v praxi

Pro vyzkoušení prediktoru v praxi bylo vybráno výpočetní prostředí Matlab z důvodů snadného provozování a ladění algoritmů. Dále bylo nezbytné zajistit predikčním algoritmům přístup ke skutečným naměřeným datům, popisujícím dodávku tepelné energie do soustavy CZT a přístup na internet. Během jednání se zodpovědnými pracovníky teplárny byly precizovány následující požadavky na instalaci nového zařízení, které je možné vyjádřit v několika bodech:

- Predikční algoritmy svým provozem nesmí v žádném případě ovlivnit ani ohrozit chod automatizovaných a informačních systémů teplárny.
- Měření, zkoušení ani kalibrace predikčních algoritmů nebudou zvyšovat provozní náklady teplárny. V tomto případě se jedná o množství licencí pro stávající měřicí systém.
- Prediktor a všechny jeho potřebné součásti nebudou provozovány na žádném zařízení, které je ve vlastnictví teplárny.

Výše uvedené požadavky vyústily v následující technické řešení:

- Prediktor byl provozován na samostatném počítači, který není ve vlastnictví teplárny.
- Tento počítač měl přístup na internet mimo síť teplárny.
- Pro předávání naměřených dat byl vytvořen samostatný diskový prostor na serveru teplárny. Na tento diskový prostor měli přístup určení pracovníci teplárny a provozovatele prediktoru.
- Přenos naměřených hodnot byl tzv. „ruční“, pověřený pracovník pravidelně exportoval naměřená data z „PHD-serveru“ a ukládal je na určený diskový prostor ve formě Excelovské tabulky. Toto řešení bylo zvoleno proto, že všechny naměřené hodnoty v teplárně jsou ukládány na server nazývaný „PHD-server“. Na serveru je provozována databáze „Oracle“. V současné době není jediná volná licence pro přístup do databáze. Všechny licence tohoto systému jsou v používání.
- Prediktor byl v pravidelných intervalech spuštěn, bylo provedeno načtení naměřených dat a z internetu byla načtena data o regionální předpovědi počasí. Data byla zpracována prediktorem a na jejich základě byl proveden výpočet předpokládané dodávky tepelné energie do soustavy CZT v následujících dnech. V případě, že došlo ke změnám v soustavě CZT, prediktor přepočítal nové parametry soustavy a byl vytvořen nový prediktivní model.

Průběh zkušebního provozu

Prediktor byl spuštěn na samostatném PC a předpokládalo se u něho automatický provoz. Praktické zkušenosti však byly jiné a vyžádaly si drobné úpravy proti plánu. Po uvedení prediktoru do zkušebního provozu se projeví první problémy, které bylo třeba řešit:

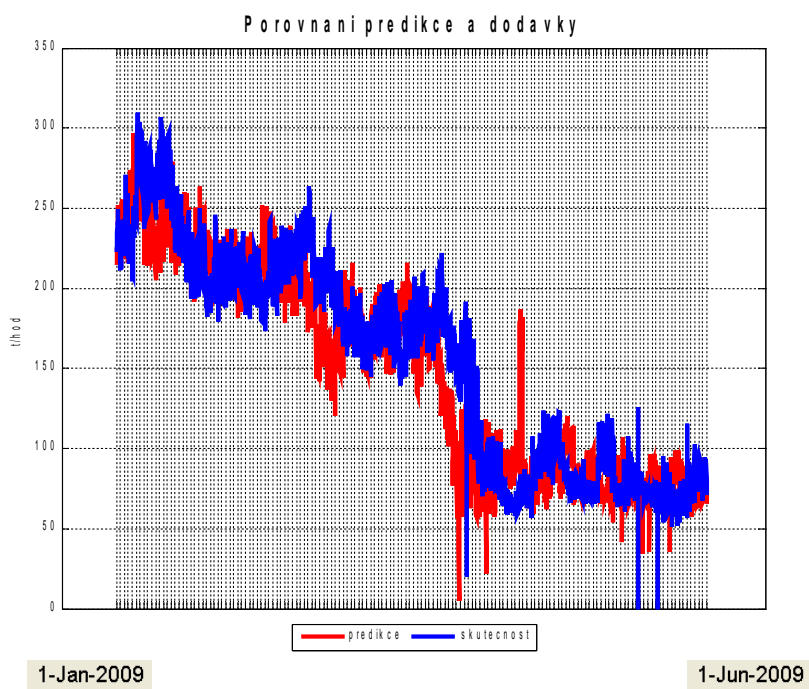
- Prediktor byl naprogramován v Matlabu a na stanici byl provozován operační systém Windows Vista. První komplikace nastala s automatickým spouštěčem programů v operačním systému. Automatický spouštěč nefungoval tak, jak se od něho očekávalo. Řešení bylo realizováno takovým způsobem, že na stanici byl trvale spuštěn program Matlab, který prováděl automatické spuštění prediktoru i programů načítajících potřebná data.
- Druhý okruh problémů způsobovala automatická aktualizace updatů operačního systému. Po instalaci nových aktualizací provedl systém restartování počítače. Pro jeho nové uvedení do provozu bylo nutno zadat heslo a spustit program Matlab. Řešení tohoto problému bylo jednoduché, byl proveden zákaz instalace nových aktualizací.
- Posledním okruhem problémů byly hrubé chyby: špatné zadání naměřených dat operátorem a chybné nebo chybějící údaje předpovědi počasí. Každá takováto chyba měla za následek zastavení výpočtů. Aby nedocházelo k těmto hrubým chybám, byl výpočet provozován ještě na jednom počítači, pod stálým dohledem vývojáře prediktoru, který průběžně prováděl odstraňování hrubých chyb.

Postupným uváděním jednotlivých opatření byly výpadky prediktoru sníženy na minimum.

První výsledky prediktoru

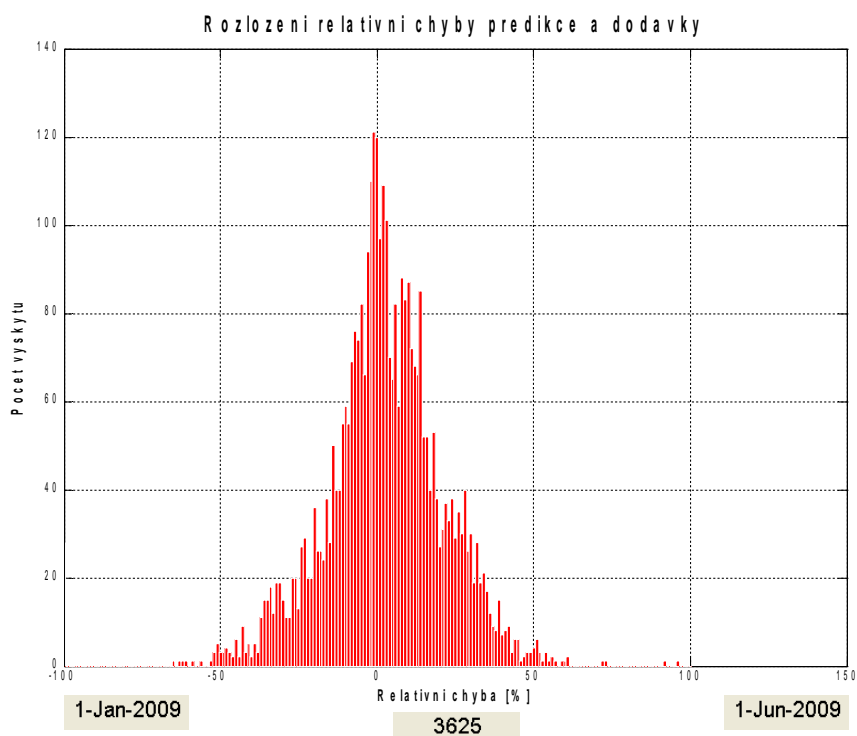
Za prvních pět měsíců provozu prediktoru byly získány výsledky znázorněné na obrázku č. 1. Červeným grafem je zakreslena vypočítaná predikce dodávky tepelné energie do soustavy CZT, která je získávána s týdenním předstihem. Modrý graf zobrazuje následně

získanou skutečností.



Obr. 1: Porovnání za pět měsíců

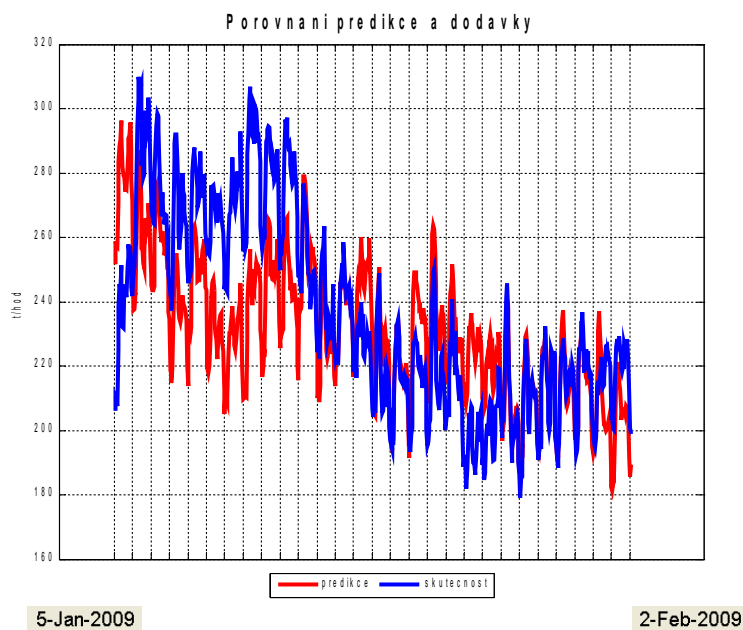
Relativní chyba predikce byla vypočítána z 3 625 hodnot. S chybou do 5 % je 973 hodnot což je 26,8 % ze všech hodnot. S chybou do 10 % je 1 700 hodnot což je 46,9 % ze všech hodnot. S chybou do 15 % je 2 285 hodnot což je 63,0 % ze všech hodnot. S chybou do 20 % je 2 655 hodnot což je 73,2 % ze všech hodnot. Rozložení relativní chyby je na histogramu obrázku č. 2.



Obr. 2: Rozložení relativní chyby

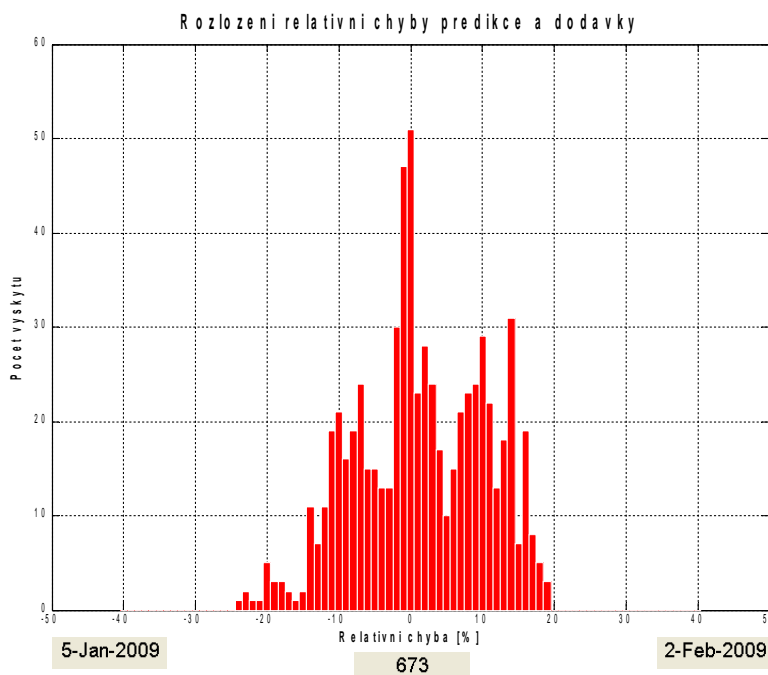
Automatické změny parametrů modelu

Zobrazením hodnot za měsíc leden (od prvního pondělí v měsíci) je získán graf na obrázku č. 3.



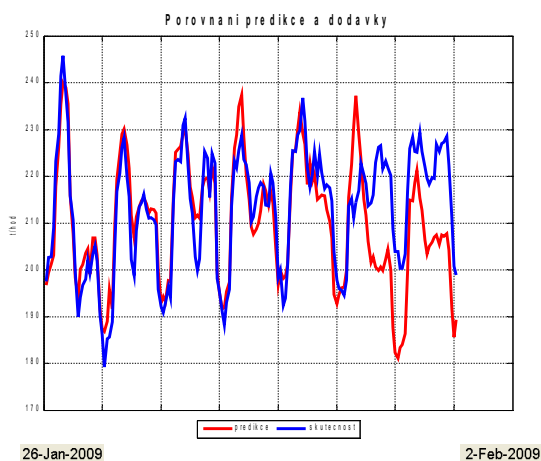
Obr. 3: Leden 2009

Relativní chyba predikce byla vypočítána z 673 hodnot. S chybou do 5 % je 262 hodnot což je 38,9 % ze všech hodnot. S chybou do 10 % je 454 hodnot což je 67,5 % ze všech hodnot. S chybou do 15 % je 615 hodnot což je 91,4 % ze všech hodnot. S chybou do 20 % je 665 hodnot což je 98,8 % ze všech hodnot. Rozložení relativní chyby je na histogramu obrázku č. 4.

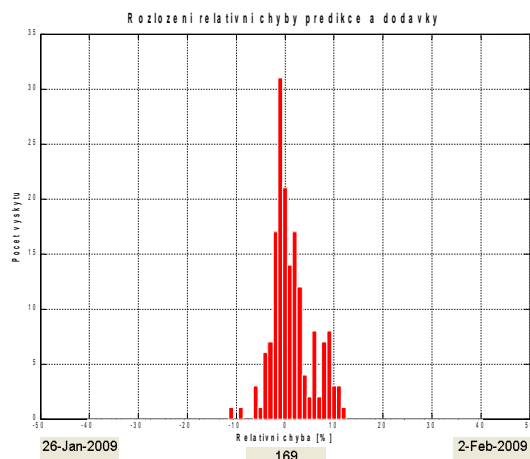


Obr. 4: Relativní chyba - leden

Predikované hodnoty během první poloviny ledna byly vypočteny z koeficientů získaných teoretickými výpočty z předchozího roku. První polovina ledna byla také poznamenána problémy popsány v kapitole „Průběh zkušební provou“, které způsobily výpadky výpočtů. V druhé polovině ledna je zřejmá nastupující adaptivita matematického modelu prediktoru. V poslením týdnu měsíce ledna došlo ke stabilizaci modelu a výsledek porovnání predikce a skutečnosti je na obrázku č. 5.



Obr. 5: Stabilizace modelu



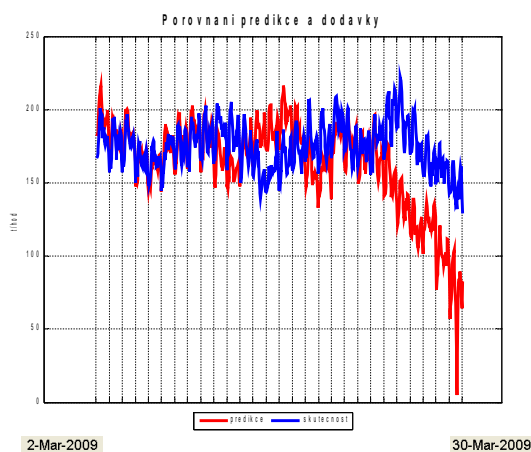
Obr. 6: Relativní chyba

Relativní chyba predikce byla vypočítána ze 169 hodnot. S chybou do 5 % je 132 hodnot což je 78,1 % ze všech hodnot. S chybou do 10 % je 162 hodnot což je 95,9 % ze všech hodnot. S chybou do 15 % je všech 169 hodnot což je 100,0 % ze všech hodnot. Zobrazení rozložení relativní chyby je na obrázku č. 6.

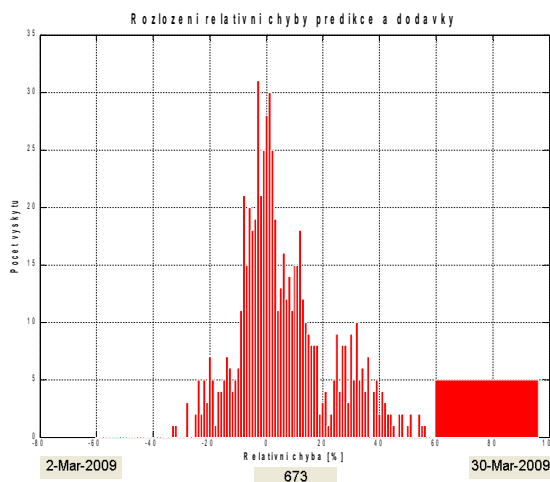
Stabilita algoritmů modelu prediktoru

Koncem měsíce března došlo k nárůstu chyby při predikování dodávky tepelné energie do soustavy CZT. Na obrázku č. 7 je patrná chybná predikce.

Relativní chyba predikce byla vypočítána z 673 hodnot. S chybou do 5 % je 227 hodnot což je 33,7 % ze všech hodnot. S chybou do 10 % je 371 hodnot což je 55,1 % ze všech hodnot. S chybou do 15 % je 466 hodnot což je 69,2 % ze všech hodnot. S chybou do 20 % je 518 hodnot což je 77,0 % ze všech hodnot. Rozložení relativní chyby je na histogramu na obr. č. 8.

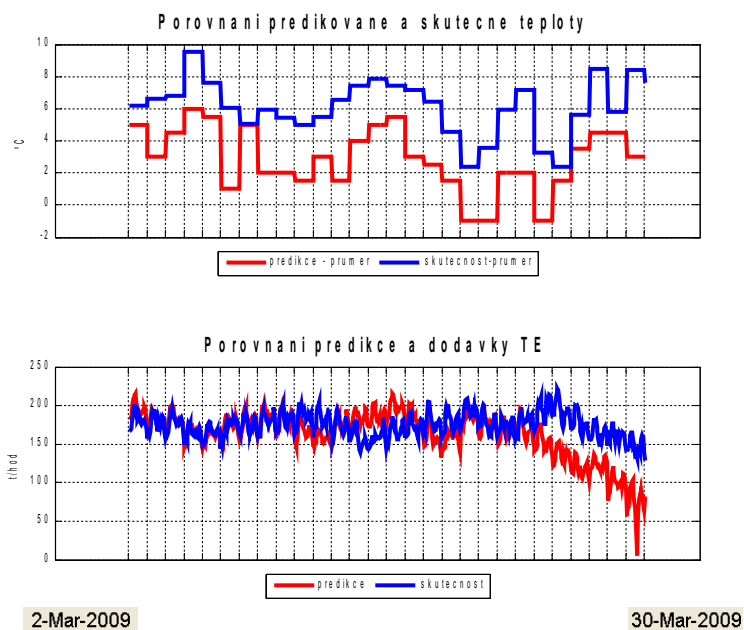


Obr. 7: Březen 2009



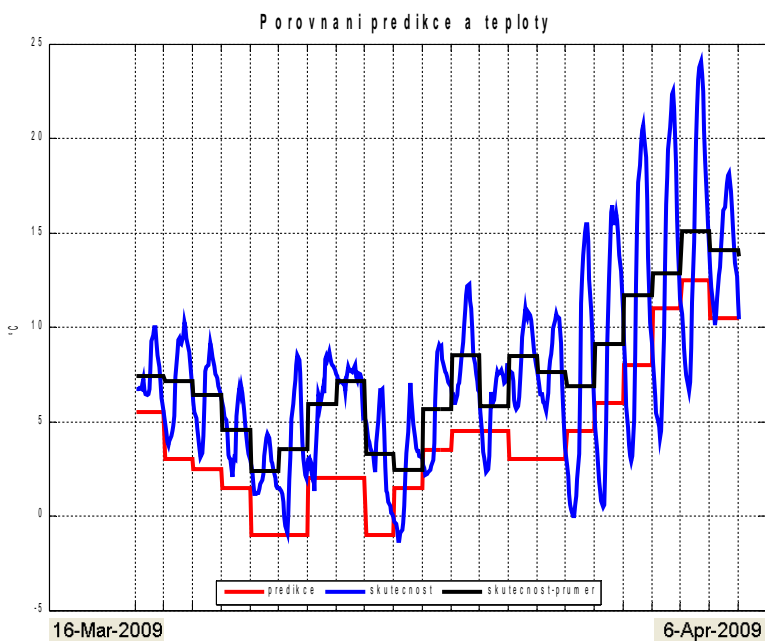
Obr. 8: Relativní chyba - březen

Příčinu tohoto stavu je potřeba hledat v rozdílu mezi predikovanou teplotou a skutečně naměřenou teplotou. Tato skutečnost je zřejmá z porovnání grafů na obrázku č. 9



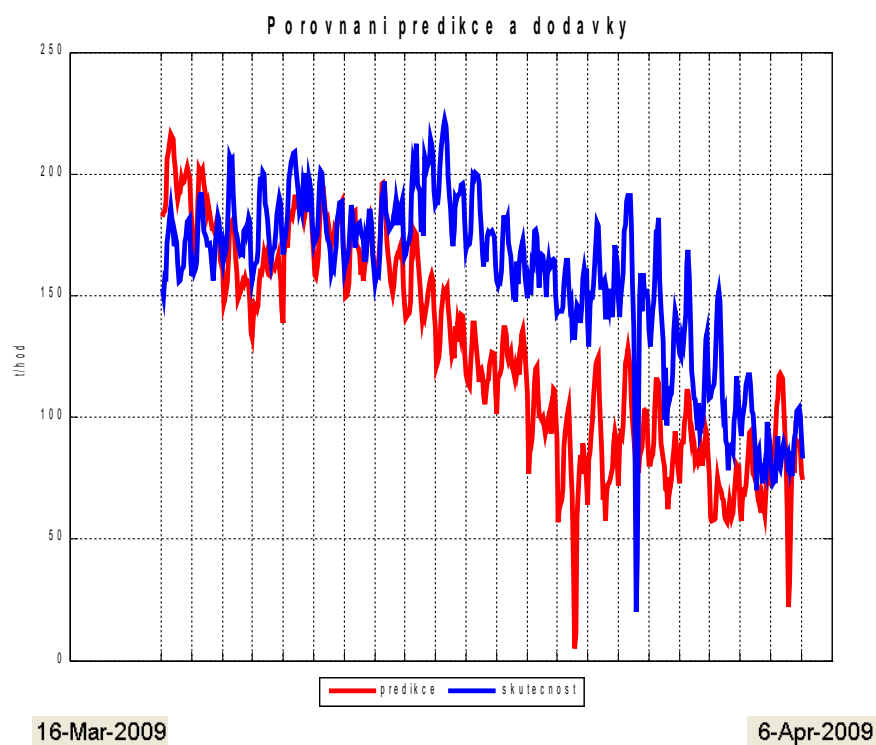
Obr. 9: Porovnání průběhů teploty a dodávky

Pro lepší analýzu je vhodné se zaměřit na druhou polovinu měsíce. Z grafu na obrázku č. 10 je možno usoudit, že opakované, velké rozdíly mezi maximální a minimální hodnotou skutečně naměřených teplot, se projeví mírnou nestabilitou adaptivního modelu. Červenou čarou v grafu je vyznačena průměrná predikovaná teplota, modrou potom její skutečný průběh. Z něho lze odečíst, že rozdíl mezi minimem a maximem se pohybuje od 15 do 20°C. Černou čarou je vyznačena skutečná průměrná teplota.



Obr. 10: Průběh skutečné teploty

Po uplynutí určitého časové období reagoval adaptivní algoritmu prediktoru na velké rozdíly teplot a provedl přepočítání koeficientů matematického modelu tak, že predikovaná dodávka tepelné energie se přiblížila skutečné, obrázek č. 11.



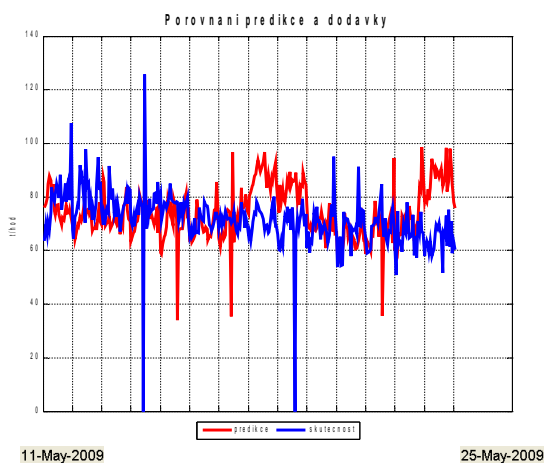
Obr. 11: Působení adaptivních algoritmů

I přes výše popsáný problém se stabilitou algoritmu, chybovost predikce v tomto období nebyla velká. Relativní chyba predikce byla vypočítána z 505 hodnot. S chybou do 5 % je 65 hodnot což je 12,9 % ze všech hodnot. S chybou do 10 % je 131 hodnot což je 25,9 % ze všech hodnot. S chybou do 15 % je 189 hodnot což je 37,4 % ze všech hodnot. S chybou do 20 % je 236 hodnot což je 46,7 % ze všech hodnot.

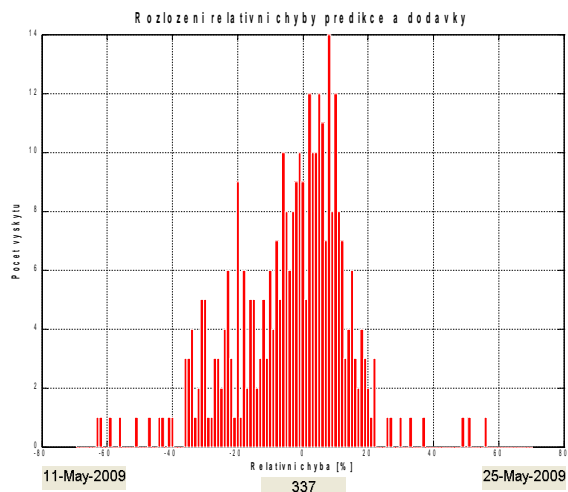
Vstup chybně naměřených dat do výpočtu predikce

Navýšení nepřesnosti predikce vzniká i předáním chybně naměřených dat. Na obrázku č. 12 jsou patrné nesrovnalosti v naměřených hodnotách. První chyba vznikla 14.5.2009, kdy jedna naměřená hodnota dodávky tepelné energie nebyla zaznamenána na PHD-serveru a následující hodnota obsahuje dodávku tepelné energie za oba časové úseky celkem (z minulého okamžiku i současnou). Dne 19.5.2009 došlo z důvodů poruchy teplárny k výpadku dodávky tepelné energie do soustavy CZT. Protože hodnoty nulové dodávky prediktor automaticky převzal, projevila se nulová dodávka i v predikci dodávky tepelné energie.

Relativní chyba predikce v tomto nepříznivém období byla vypočítána z 337 hodnot. S chybou do 5 % je 89 hodnot což je 26,4 % ze všech hodnot. S chybou do 10 % je 176 hodnot což je 52,2 % ze všech hodnot. S chybou do 15 % je 222 hodnot což je 65,9 % ze všech hodnot. S chybou do 20 % je 261 hodnot což je 77,4 % ze všech hodnot. Rozložení relativní chyby je na histogramu obrázku č. 13.



Obr. 12: Chyby v naměřených hodnotách



Obr. 13: Relativní chyba

Závěr

Výsledky za prvních pět měsíců praktického zkoušení ukázaly, že prediktor spotřeby tepelné energie je schopen celkem přesné předpovědi dodávky tepelné energie do soustavy CZT. První pololetí roku (od ledna do května) pokrylo významná období z provozu teplárny: topné období, netopné období a přechodové období, v nichž bylo možno sledovat chování prediktoru. Přesto, že pět měsíců je krátká doba na celkové hodnocení, výsledky praktického zkoušení byly výborné a naznačují směr dalšího vylepšování predikčních i obslužných algoritmů matematického modelu.

Použitá literatura:

- [1] ŠÍPAL Jaroslav. Adaptivní modelování dodávky tepelné energie do soustavy centrálního zásobování teplem. *Automa*. 2008, č. 5, s. 22-24; FCC Public s.r.o.; ISSN 1210-9592 Dostupný z WWW: <www.automa.cz>.
- [2] ŠÍPAL Jaroslav. Nové možnosti řízení tepelné energie. In: *Technical Computing Prague 2007*
- [3] ŠÍPAL, Jaroslav. Model of Steam Consumption in Central Heat Transfer Network *Electronics and Electrical Engineering*. 2007, no. 1 (73), s. 17-20. Kaunas University of Technology Department of Electronics Engineering ISSN 1392-1215 Dostupný z WWW: <<http://internet.ktu.lt/en/>>.
- [4] ŠÍPAL Jaroslav. Model dodávky tepelné energie do městské sítě centralizovaného zásobování teplem *Energetika* č. 12/2006; pp. 400 – 403; ČSZE Praha 2006; ISSN 0375-8842
- [5] ŠÍPAL Jaroslav. Matlab v analýze naměřených dat průmyslového podniku. In: *Technical Computing Prague 2006*; sborník abstraktů s. 92; Humusoft Praha 2006; ISBN 80-7080-616-8

doc. Ing. Jaroslav Šípál, Ph.D.

UJEP; fakulta výrobních technologií a managementu; katedra strojů a mechaniky; Na Okraji 1001; 400 96 Ústí nad Labem; tel 475285515; e-mail: sipal@fvtn.ujep.cz