

# NOVÉ MOŽNOSTI ŘÍZENÍ VÝROBY TEPELNÉ ENERGIE

*J. Šípal*

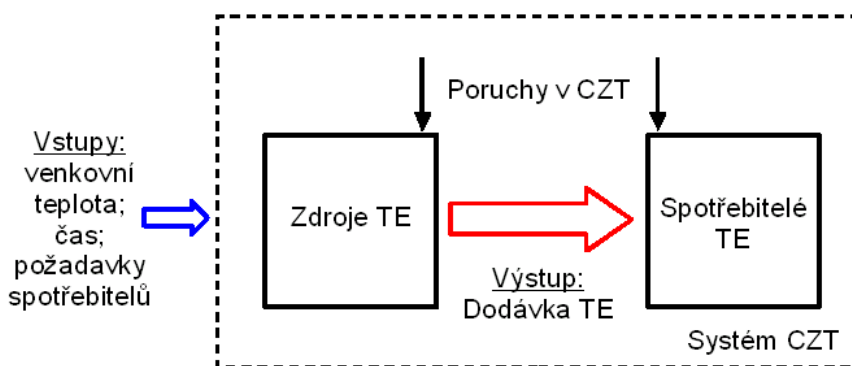
Velmi aktuálním a často diskutovaným tématem je zvyšující se spotřeba energií. Hledají se nové zdroje energie i nové způsoby úspor všech forem energie. Jedním ze základních předpokladů úspor energií je jejich hospodárné využívání. Článek představuje možný způsob řízení výroby tepelné energie ve středně velké teplárně s použitím predikčního modelování spotřeby tepelné energie.

## 1. Úvod

Z hlediska spotřeb různých druhů energie je v průmyslových podnicích na předním místě energie tepelná. Jednou z možností úspor tepelné energie je lepší využívání stávajících zdrojů, například optimalizováním řízení výroby tepelné energie. Protože tepelnou energii není možno skladovat, jedná se o úspory dosažené organizačními opatřeními, tj. plánováním výroby tepelné energie podle předpokládané spotřeby.

## 2. Centralizované zásobování teplem

Větší územní celky se tepelnou energií zásobují pomocí soustavy centralizovaného zásobování teplem (CZT). CZT je rozsáhlý systém zajišťování tepelné energie pro určitou oblast. Tento systém obsahuje minimálně jeden zdroj, distribuční síť pro transport energie, množinu odběratelů a případně množiny lokálních zásobovacích subsystémů. Jedná se například o odběry větších podniků, které mají vlastní distribuční síť. Systémové schéma zajištění zásobování CZT teplem je na obrázku č. 1.



Obrázek 1 - Schéma systému CZT

Jedním ze zdrojů tepelné energie jsou teplárny. Teplárny zajišťují výrobu tepelné energie, druhotná je výroba elektrické energie. U klasické teplárny jsou hlavní výrobní zařízení uspořádána do bloků. Výrobní blok obsahuje kotelní jednotku, parní protitlakou turbínu, napájecí čerpadla, elektrický generátor, vývodový transformátor a elektrické rozvodny vlastní spotřeby. Společným zařízením pro všechny výrobní bloky jsou skladování a příprava paliva, příprava vody, odsun popelovin, odsíření apod.

Výroba energie v teplárnách je realizována protitlakými parními turbínami. Jedná se o stroje, v nichž expanze páry končí na takových parametrech páry, které umožňují využití tepelné energie v dalších technologických procesech, nebo umožňují dopravu páry jako média. Po

odevzdání tepelné energie dochází ke změně skupenství, vodní pára se mění v kondenzát, který je dopravován zpět do teplárny. Kondenzát je zpětně přidáván do napájecí vody a přiveden do parního kotle. Tepelný okruh je tím uzavřen.

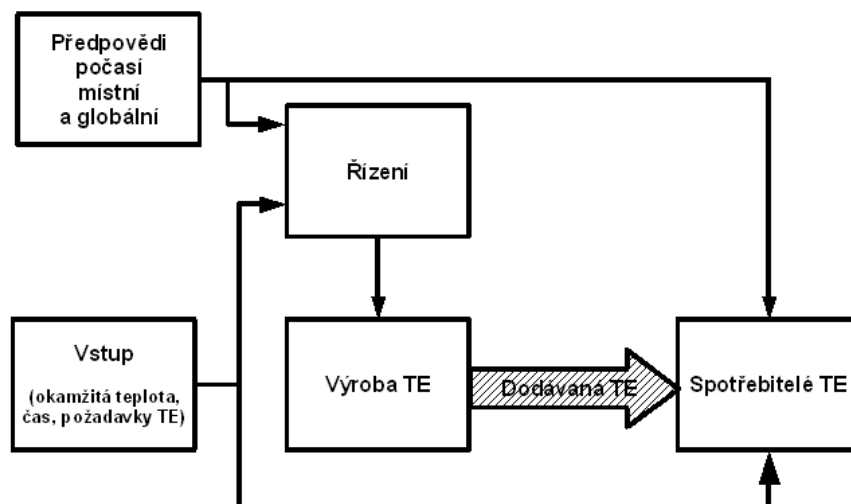
Výkon teplárny je řízen spotřebou tepelné energie v zásobované oblasti. Řídicími veličinami spotřebované tepelné energie je venkovní teplota, počet a skladba obyvatel nebo výroba produktů, které potřebují tepelnou energii při své výrobě.

Transport tepelné energie od zdroje k místu spotřeby je zajišťován potrubní sítí (distribuční sítí) a daným transportním médiem, tj. přehřátou vodní párou nebo horkou vodou. Každé médium má své charakteristické vlastnosti. Přehřátá vodní pára přenáší velké množství energie při menší hmotnosti, nepotřebuje čerpací energii pro dopravu, má vyšší tepelnou setrvačnost, ale má větší ztráty při dopravě. Naproti tomu horká voda potřebuje čerpací práci, ale má nižší tepelné ztráty dopravou.

### 3. Stávající způsob řízení výroby tepelné energie

Okamžitá výroba tepelné energie je závislá na okamžité spotřebě tepelné energie v daném regionu. Proces dodávky tepelné energie do sítě CZT k zajištění zásobování větších celků lze charakterizovat řadou empirických poznatků. Současná rozhodnutí v řízení výroby tepelné energie jsou prováděna pro budoucí provozní stavy v síti CZT. Proces řízení je zatížen množstvím prodlev, reakční doba je dlouhá, jedná se o hodiny až dny. Proto je operativní plánování provozu výrobních zařízení uskutečňováno s velkou nejistotou.

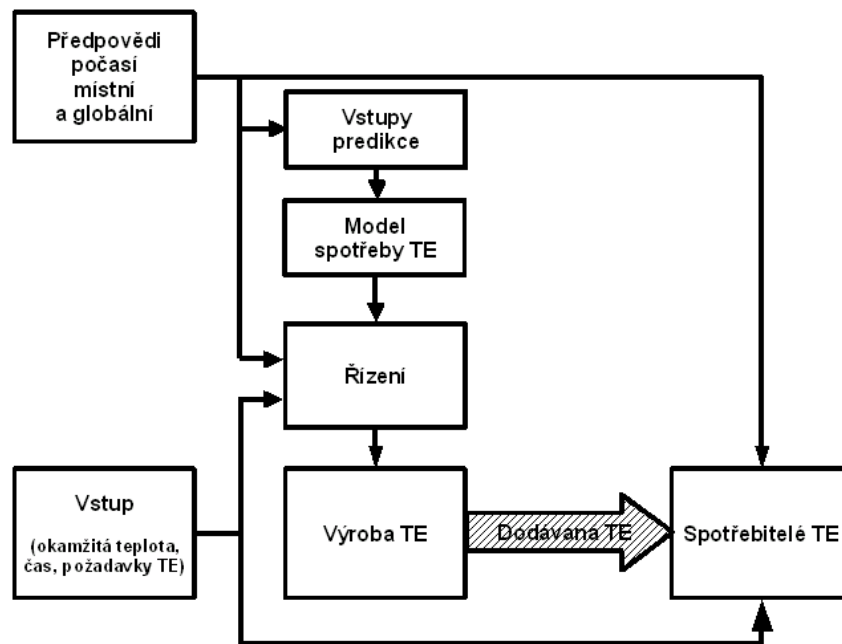
Při řízení soustavy CZT je třeba optimalizovat zatěžování jednotlivých výrobních bloků i paralelních větví teplovodů tak, aby ztráty byly co nejmenší. Jedná se o ztráty energie způsobené provozem výrobního i transportního zařízení mimo oblast technologického optima. Současný stav procesu operativního plánování provozu je na obrázku č. 2.



Obrázek 2 – Blokové schéma stávajícího způsobu řízení

#### 4. Způsob řízení výroby tepelné energie s využitím složkového modelu spotřeby tepelné energie

Z hlediska dodavatele tepelné energie je důležitější, než znalost okamžitého stavu dodávek tepelné energie, znalost budoucí spotřeby tepelné energie. Tato znalost mu potom zajistí lepší možnost plánování provozu jednotlivých výrobních jednotek, jejich oprav a optimalizaci ekonomiky provozu. Toho lze dosáhnout začleněním predikčního modelování spotřeby tepelné energie do řízení výroby tepelné energie. Přesná predikce spotřeby umožňuje provádět současná rozhodnutí o budoucím stavu v síti kvalifikovaněji, snižuje se nejistota v rozhodovacím procesu. Možnost poměrně přesně plánovat výrobu tepelné energie umožňuje zavádět do teplárenství zcela nové metody řízení zaměřené na zvyšování efektivity celé produkce a zajištění optimálních parametrů transportního média. Způsob zařazení predikčního modelu do řídicího procesu je na obrázku č. 3



Obrázek 3 – Zařazení predikčního modelu do rozhodovacího procesu

#### 5. Složkový model spotřeby tepelné energie

Složkový model spotřeby tepelné energie byl vypracován na základě rozkladu časové řady na jednotlivé složky pomocí programového prostředí Matlab firmy MathWorks. Tento model byl v několika krocích na základě porovnání se skutečným systémem upravován.

Postup, jakým model pracuje je možné shrnout do následujících kroků. V první fázi je nutné nakalibrovat parametry modelu na neznámou síť CZT na základě dřívějších měření. Parametrizace se provádí zvlášť pro topnou a netopnou sezónu.

Řídicí veličinou modelu je teplotní funkce,

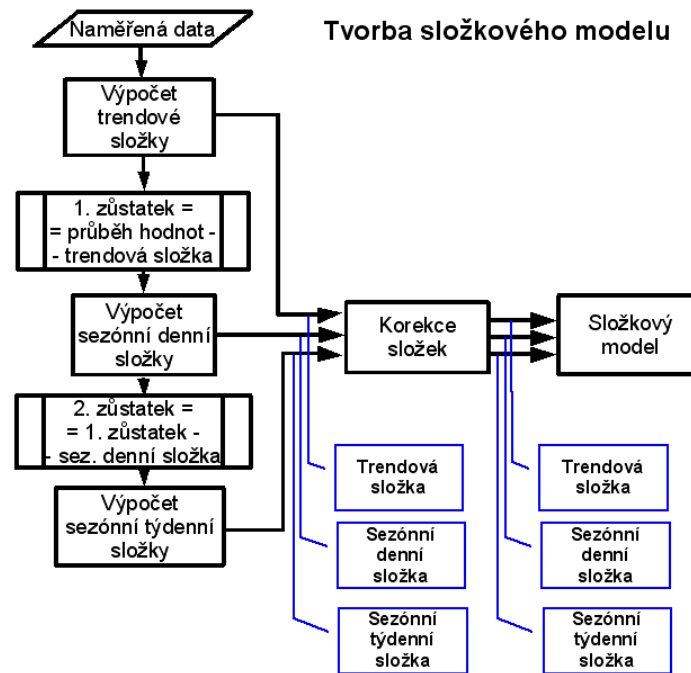
$$\tilde{T}_i = D - T_{i,ext} \text{ pro } (D - T_{i,ext}) \geq 0 \text{ a } \tilde{T}_i = 0 \text{ pro } (D - T_{i,ext}) < 0 \quad (1)$$

kde:  $\tilde{T}_i$  jsou hodnoty teplotní funkce [°C]; koeficient  $D$  byl zvolen 13°C, což je průměrná venkovní teplota – podle této hodnoty se obvykle určuje, zda je nutné začít/skončit s dodávkou TE pro vytápění. Rozdělení na topnou a netopnou sezónu se provede při prvním

výpočtu teplotní funkce. Pro období topné sezóny se vypočtou pomocí metody nejmenších čtverců parametry, tím se získá trendová složka:

$$T_i = C + B \times \tilde{T}_i + A \times \tilde{T}_i^2 \quad (2)$$

kde:  $T_i$  je trendová složka,  $A$ ;  $B$  a  $C$  jsou parametry trendové složky. Parametr  $C$  je jiný pro zimu a pro léto. Vypočtená trendová složka se odečte od naměřených dat a zbylá data se použijí pro výpočet denní sezónní složky pro všední den a víkend. Data se opět očistí od denní složky a stejným výpočtem se vypočte týdenní složka. Obě sezónní složky se vypočtou průměrováním shodných hodnot. Tím se získají parametry modelu. Stejný výpočet se provede pro netopnou sezónu. Protože sezónní složky tímto způsobem výpočtu mohou nabývat i záporných hodnot, provede se korekce. To znamená, že ke všem hodnotám dané sezónní složky je přičtena konstanta, tak aby hodnoty sezónních složek byly vždy nezáporné. Tyto konstanty se odečtou od parametru  $C$  trendové složky [1]. Schématické znázornění postupu tvorby složkového modelu je na obrázku č. 4.



Obrázek 4 – Schéma postupu tvorby složkového modelu

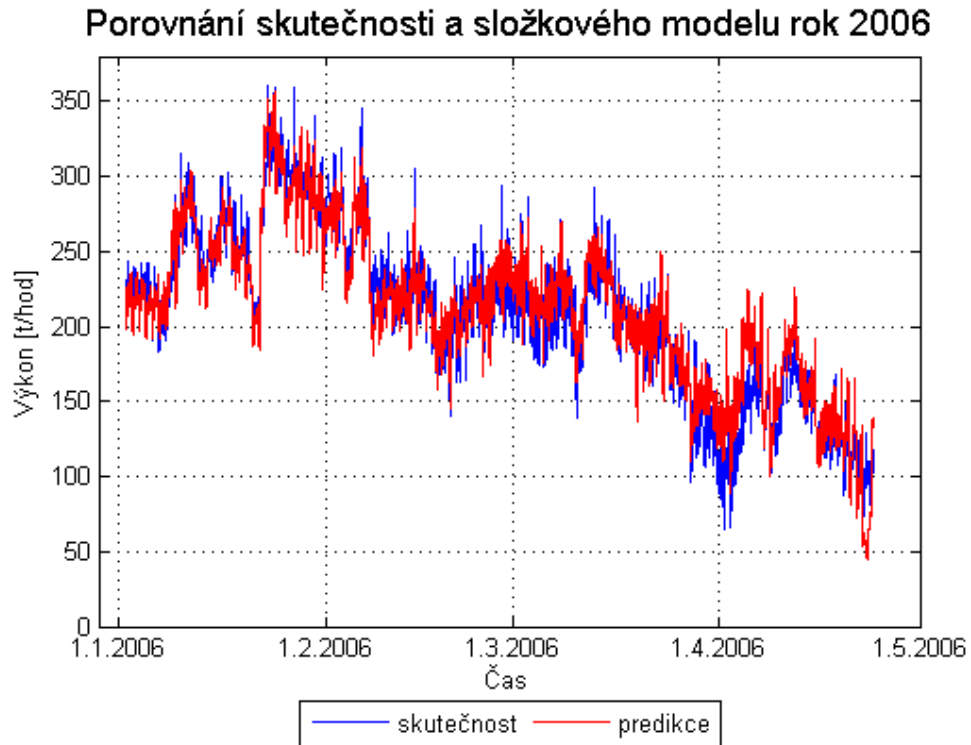
Tak jsou získány parametry modelu, které jsou použity pro predikci. V libovolný časový okamžik je nejprve určeno, zda se jedná o topné nebo netopné období. Spotřeba je součet trendové složky podle aktuální teploty a hodnoty podle daného času a sezónní složky [2], [3].

Výhodou složkového modelu, v okamžiku kdy je nakalibrován na danou síť CZT, je jeho snadná použitelnost s minimálním výpočetním výkonem a běžnými technickými znalostmi uživatelů.

## 6. Adaptivní přizpůsobení

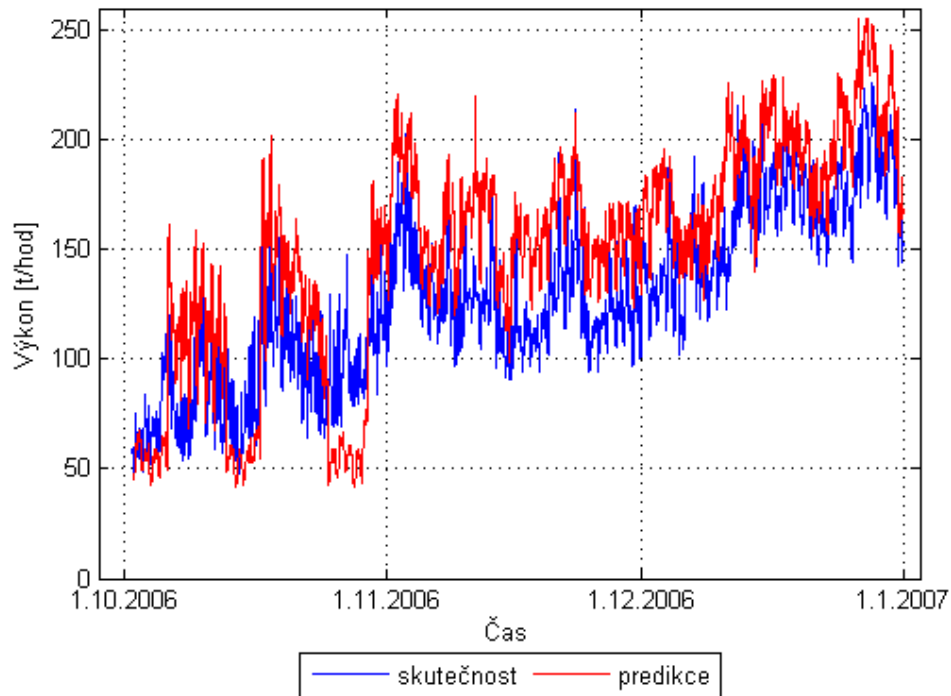
Soustava CZT není časově invariantní soustavou. Dochází k postupným změnám požadavků spotřebitelů TE. Mění se množství a struktura spotřebitelů, kteří využívají TE k zajištění přípravy teplé užitkové vody a vytápění stavebních objektů. Změnami prochází i technologické procesy. Vznikají nové výrobní technologie, likvidují se nepotřebné a u provozovaných dochází k inovacím. Při predikci reálné spotřeby vznikají chyby, které se

zvětšují jak se predikované období vzdaluje od doby tvorby modelu. Toto je dokumentováno na obrázcích č. 5 a 6. Oba obrázky zobrazují predikci a skutečnou spotřebu v síti CZT. Model byl kalibrován daty z roku 2005. Na obrázku č. 5 je vidět, že v prvním čtvrtletí je chyba modelu velmi malá. Na obrázku č. 6 zobrazujícím čtvrté čtvrtletí roku 2006 se odhad modelu a skutečná spotřeba liší o konstantní chybu cca 25 t/h.



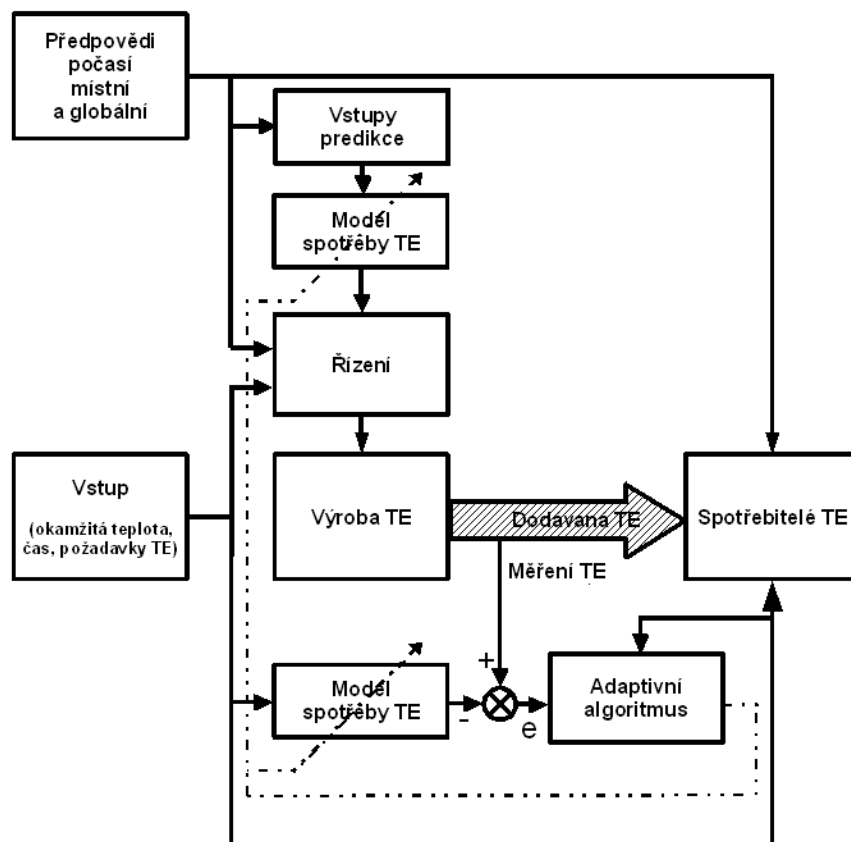
Obrázek 5 – Porovnání predikce a skutečnosti v 1. čtvrtletí

## Porovnání skutečnosti a složkového modelu rok 2006



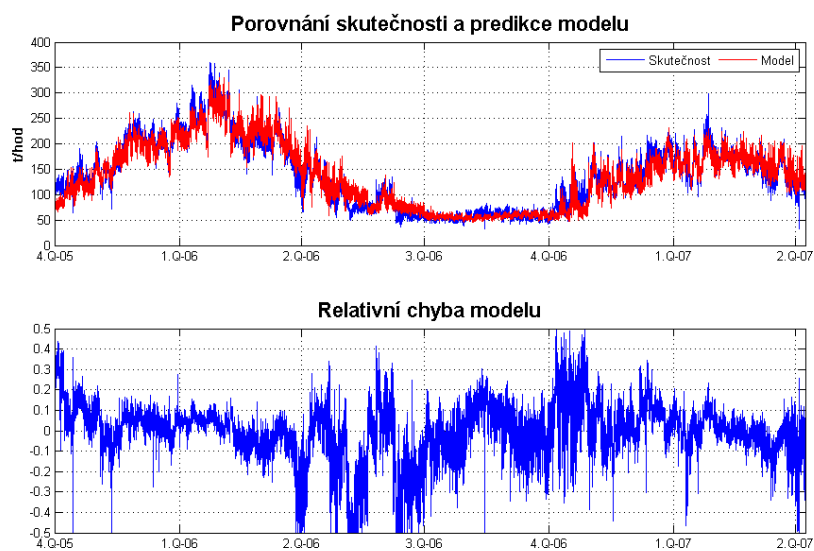
Obrázek 6 – Porovnání predikce a skutečnosti ve 4. čtvrtletí

Z tohoto důvodu je nutné do řízení výroby tepelné energie začlenit adaptivní upravování parametrů modelu. Způsob adaptivní úpravy parametrů je schématicky zobrazen na obrázku č. 7. Pro adaptivní úpravu se použijí dva spřažené modely spotřeby tepelné energie. První model je určen k predikci spotřeby a přispívá tak ke kvalifikovanému rozhodování při řízení. Druhý model vypočítává spotřebu současnou podle současných a minulých vstupů. Takto vypočtená spotřeba je porovnána se skutečnou spotřebou v síti. Rozdíl vstupuje do adaptivního algoritmu, který provádí úpravu parametrů modelu. Tyto parametry jsou pak nastaveny shodně u obou modelů ve schématu.



Obrázek 7 – Zařazení predikčního modelu do adaptivního rozhodovacího procesu

Po určitém časovém úseku, např. měsíc, se proces zopakuje. Výsledky predikce s použitím adaptivního přizpůsobení v porovnání se skutečností jsou znázorněny na obrázku č. 8.



Obrázek 8 - Porovnání predikce adaptivního modelu a skutečné dodávky TE

## 7. Závěr

Vytvořený model popisuje spotřebu tepelné energie s velkou přesností a adaptivní algoritmus zajistí, že predikce bude přesná i při změnách v soustavě spotřebitelů. Pro vztahy, popisující rozdělení spotřebovávané tepelné energie, byla použita matematická teorie časových řad a jejich rozkladu. Použití tohoto modelu je orientováno na potřeby operativního plánování v průmyslových podnicích.

Složkový model lze používat s minimálními výpočetními nároky, běžným tabulkovým procesorem na jakémkoliv PC nebo jen pomocí kalkulačky. Hlavní výhodou složkového modelu spotřeby tepelné energie je exaktní predikce spotřeby na základě znalostí určitých parametrů. Výsledky jsou pak použitelné při plánování provozu výrobních zařízení i přenosových cest tak, aby byl provoz optimální z hlediska nákladů i ztrát.

Vývoj složkového modelu spotřeby tepelné energie a následné ověřování jeho výsledků bylo uskutečněno v rámci spolupráce Univerzity Jana Evangelisty Purkyně s podnikem Dalkia ČR, a. s. Divize Ústí nad Labem. Tento podnik provozuje teplárnu a pomocí vlastní parokondenzátní sítě CZT zajišťuje dodávku tepelné energie pro levobřežní část města Ústí nad Labem, které obývá cca 100 000 obyvatel [2].

### Odkazy:

[1] Šípál Jaroslav - *Model of Steam Consumption in Central Heat Transfer Network*; Electronics and Electrical Engineering 2007, 1(73), pp. 33 – 36; ISSN 1392-1215

[2] Šípál Jaroslav - *Model dodávky tepelné energie do městské sítě centralizovaného zásobování teplem*; Energetika 56, 2006, 12, pp. 400 – 403, ISSN 0375-8842

[3] Šípál Jaroslav - *Matlab v analýze naměřených dat průmyslového podniku*; Technical Computing Prague 2006

---

Ing. Jaroslav Šípál PhD,  
UJEP; fakulta výrobních technologií a managementu; katedra strojů a mechaniky;  
Na Okraji 1001; 400 96 Ústí nad Labem; tel 475285515; e-mail: [sipal@fvtm.ujep.cz](mailto:sipal@fvtm.ujep.cz)