

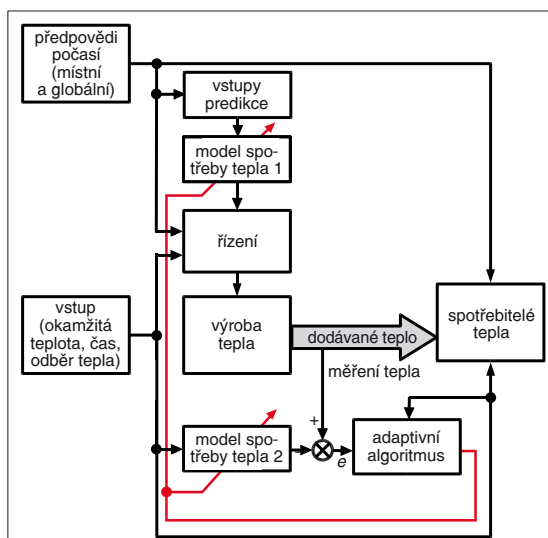
# Adaptivní modelování dodávky tepelné energie do soustavy CZT

Jaroslav Šípala

Článek popisuje použití adaptivního matematického modelu při predikci spotřeby v soustavě centralizovaného zásobování teplem (CZT). Adaptivní matematický model je možné použít jako užitečný nástroj při plánování provozu výrobních bloků zdroje tepelné energie.

## 1. Úvod

Matematický model je popis skutečného systému nebo děje vytvořený za určitým účelem. Modelování umožňuje pozorovat a zkoušet reakce systémů na náhlé změny parametrů a vnějších podmínek. Matematický model umožní pozorovat chování systému, resp. jeho modelu, ve zrychleném, popř. zpomaleném čase. Veškeré pokusy se změnou vnějších podmínek i vnitřních vazeb nijak neohroží bezpečnost nebo provozuschopnost zkoumaného reálného systému. Dobrý model věrně popisuje

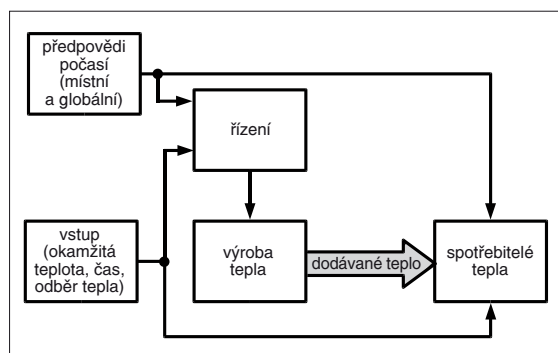


Obr. 2. Schéma plánování výroby tepla s adaptivním modelem

gické spotřebě. Velikost i časový průběh spotřeby tepla v jednotlivých oblastech závisí na mnoha vnějších podmínkách. Mezi nimi jsou např. druh zásobovaných stavebních objektů, geografické umístění soustavy CZT, počet a skladba obyvatel, druh technologického zařízení apod. Soustava CZT tedy s časem přeměňuje

V současné době je výroba tepla řízena podle odhadované spotřeby při použití empirie řídicích pracovníků, jak to schematicky znázorňuje obr. 1.

Do rozhodovacího procesu řízení výroby tepla vstupují okamžité hodnoty (dosavadní odběr, venkovní teplota apod.) a údaje z předpovědi počasí. Za



Obr. 1. Schéma klasického plánování výroby tepla v teplárně

systém, pro který byl vytvořen. Je proto výhodné predikovat chování reálného systému při použití matematických modelů.

## 2. Časově variantní systém

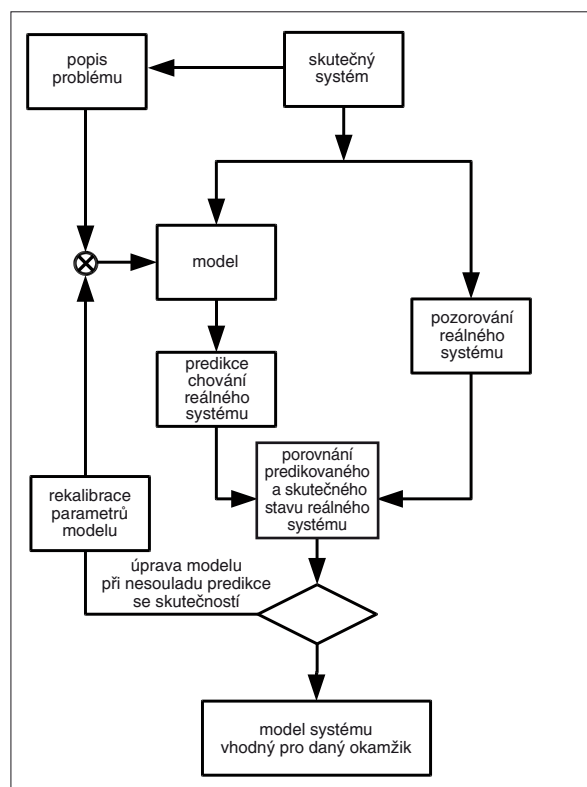
V reálném světě existuje mnoho systémů, které s časem mění své vnitřní vztahy a parametry. Příkladem takového systému může být dodávka tepelné energie (tepla) do soustavy centrálního zásobování teplem (CZT). V soustavě CZT se v průběhu času např. mění počet a skladba odběratelů, zefektivňuje se využívání tepla odběratelem (zateplení stavebních objektů), staví se nové teplovody apod.

I u takového časově variantního systému by bylo třeba sestavit matematický model, jehož úkolem bude predikovat vývoj systému. Například při dodávce tepla do soustavy

CZT by bylo výhodné znát vývoj na jeden až dva týdny dopředu. Tento odhad budoucího vývoje spotřeby by dodavateli, resp. výrobcům, umožnil optimalizovat řízení výrobních jednotek tak, aby byly provozovány v pásmu technologického

optima, čímž lze dosáhnout snížení provozních nákladů na výrobu tepla. Nebo naopak při kombinované výrobě tepelné a elektrické energie může provozovatel na základě znalosti svého technologického zařízení odhadnout budoucí výrobu elektrické energie (elektriny). Tento výkon lze nabídnout obchodníkům jako garantovaný výkon, který je prodáván za vyšší měrnou cenu než výkon nahodilý. V tomto případě narůstají měrné tržby za vyrobenou elektrinu.

Soustava CZT zajišťuje dodávku tepla velkému množství odběratelů. Dodávané teplo je využíváno ve třech oblastech: k vytápění, k přípravě teplé vody a k tzv. technolo-



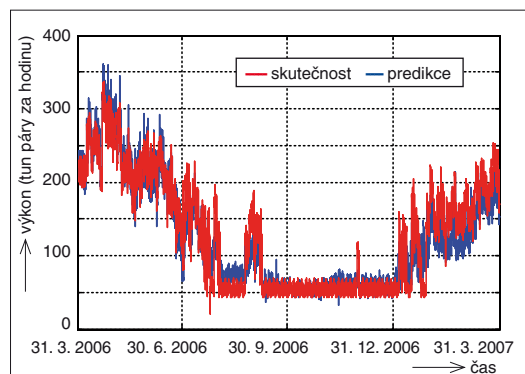
Obr. 3. Schéma činnosti adaptivního modelu

provozních zkušeností řídicích pracovníků je vytvářen krátkodobý plán provozu zařízení na výrobu tepla. Je-li vytvořen matematický model dodávky tepla, je možné jej zařadit jako podpůrný prostřed-

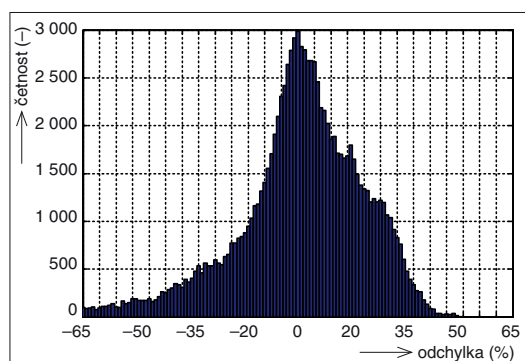
dek rozhodovacího mechanismu, který napomáhá kvantifikovat budoucí požadavek na výrobu tepla.

### 3. Adaptivní model soustavy CZT

Jestliže jde o reálný systém, je obvykle známa podstatná část fyzikálních i technických vazeb i vnějších parametrů, které daný systém ovlivňují. Vzhledem k tomu, že statický model



Obr. 4. Soustava CZT: skutečnost a predikce v roce 2006/2007 s použitím statického modelu



Obr. 5. Histogram rozložení odchylek průběhů predikce a skutečnosti z obr. 4 (statický model)

po určitém čase nevyhovuje zadané přesnosti, je třeba vytvořit adaptivní algoritmy, které budou provádět korekce hodnot parametrů modelu. V takových případech je vhodné vytvořit adaptivní matematický model. Adaptivní model funguje tak, že v průběhu času mění vypočítané hodnoty svých parametrů podle změn vazeb mezi prvky popisovaného systému. Protože je těžké vytvářet obecný popis adaptivního modelu, je vhodné vysvětlit jeho funkci na konkrétním příkladu. Řízení výroby tepla potom probíhá jinak než podle obr. 1. Nové schéma je uvedeno na obr. 2.

Při adaptivním modelování se postupuje tak, že do prvního matematického modelu spotřeby tepla vstupují hodnoty předpokládaného vývoje počasí a předchozí naměřené hodnoty spotřeby tepla. Tento první model vypočítá odhad spotřeby tepla v soustavě CZT, na jehož základě je řízena výroba a dodávka tepla spotřebitelům. Až dosud jde o řízení pomocí predikčního modelu.

Má-li se použít adaptivní řízení, je vytvořen druhý matematický model, jehož parametry

jsou nastaveny (zkalibrovány) stejně jako u prvního modelu. Jako vstupní veličinu používá okamžitou venkovní teplotu a okamžitě požadavky odběratelů a vypočítává odhad předpokládané spotřeby tepla. Tato vypočítaná predikce je porovnána se skutečnou dodávkou tepla do sítě CZT. Zjištěná regulační odchylka vstupuje do adaptivního algoritmu, který provede nový výpočet hodnot parametrů modelu spotřeby tepla. Tyto hodnoty jsou současně zavedeny do prvního i do druhého matematického modelu. Smyčka zpětné vazby se tedy snaží udržovat hodnoty parametrů druhého modelu tak, aby chyba jeho predikce byla minimální. To je zajištěno vhodným adaptivním algoritmem. Činnost adaptivního algoritmu je znázorněna na obr. 3.

Při vhodném adaptivním algoritmu je možné model nechat rychle reagovat na náhlé změny v síti CZT. Rekalibrace parametrů modelu probíhá téměř v reálném čase – ihned po změně v síti. Další výhodou je, že změny probíhají autonomně, bez potřeby zásahu obsluhy. Při dostatečně výkonném a inteligentním adaptivním algoritmu jsou změny v kalibraci parametrů vždy lepší, než jakých může dosáhnout obsluha pracující s manuální rekalibrací vykonávanou jen podle empirické zkušenosti.

### 4. Ověření předpokladů adaptivního modelu v praxi

K ověření uvedených úvah bylo třeba získat naměřené údaje z reálné soustavy. Díky velmi dobré spolupráci společnosti Dalkia ČR, a. s., divize Ústí nad Labem, a Univerzity Jana Evangelisty Purkyně byla použita data ze soustavy CZT v Ústí nad Labem. Tuto soustavu zásobuje společnost Dalkia, která prostřednictvím své parokondenzátní sítě CZT zajišťuje dodávku tepla pro levobřežní část města Ústí nad Labem, obývanou asi 100 000 obyvateli. Na levém břehu řeky Labe se rozkládá větší část města, asi 75 % rozlohy i počtu obyvatel. Teplárna se nalézá v Trmicích, které jsou vzdáleny od centra města Ústí nad Labem asi 5 km. V současné době je v teplárně instalováno šest kotlů o celkovém tepelném výkonu asi 470 MW a pět turbogenerátorů na výrobu elektrické energie s výkonem celkem 88 MW. Soustava CZT je připojena ke zdroji třemi paralelními tepelnými napájecími (TN I, TN II, TN III). Jde o tři soustavy parního a kondenzátního potrubí, každou o délce asi 7 km, se jmenovitými průměry parovodů DN 500, DN 600 a DN 700. Rozvod tepla po městě je zajištěn pátevními parovo-

dy napájecími místní primární sítě. Soustava CZT dodává asi 3 300 TJ tepla v páře za rok. K tepelné síti CZT je připojeno více než 1 300 odběrných míst. Soustava CZT zásobuje teplem asi 26 800 domácností a mnoho průmyslových závodů ve městě.

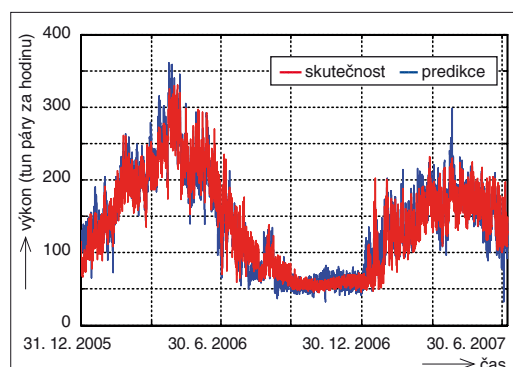
Pro konstrukci a kontrolu modelu tak byl k dispozici dostatek údajů, které byly nasbírány v pětiminutových intervalech. Ke konstrukci modelu byly použity hodnoty naměřené v roce 2005. Hodnoty z roku 2006 a části roku 2007 byly použity pro kontrolu.

Nejprve byl vytvořen statický model soustavy CZT. Vypočítané parametry modelu byly využívány k predikci pro rok 2006. Na obr. 4 je zakreslen skutečný průběh a předpověď vypočítaná modelem. Z pouhého porovnání grafů je zřejmé, že ke konci roku 2006 rostou rozdíly mezi skutečností a predikcí. To je způsobeno změnami v soustavě CZT, které nastaly v průběhu roku 2006.

Protože v grafu na obr. 4 je zachyceno asi 105 tisíc hodnot v každé z obou křivek, je výhodnější znázornit míru shody predikce se skutečností prostřednictvím histogramu (obr. 5).

Při použití adaptivních algoritmů v matematickém modelu, kdy model automaticky reaguje na změny v soustavě CZT, je výsledek mnohem lepší. Porovnání skutečnosti a predikce v časové oblasti je na obr. 6.

O shodě skutečných hodnot s hodnotami predikovanými adaptivním modelem informuje histogram na obr. 7. Je z něj patrné, že z asi 150 tisíc hodnot se více než 30 tisíc odhadů, tj. více než 20 %, nachází v tolerančním pásmu  $\pm 1$  %. V tolerančním pásmu  $\pm 3$  % je více než 87 tisíc hodnot, což přesahuje 50 % celkového počtu odhadů.



Obr. 6. Soustava CZT: skutečnost a predikce v roce 2006/2007 s použitím adaptivního modelu

### 5. Závěr

Uvedený příklad prokázal vhodnost použití adaptivního matematického modelu při predikci v časově variantním systému. Použití navrhovaných algoritmů v praxi při predikci množství tepla dodávaného do soustavy centrálního zásobování teplem umožní realizovat změny v oblasti řízení zdrojů energie. Toto řízení již nebude pouze zaměřeno na splnění technických požadavků, ale půjde

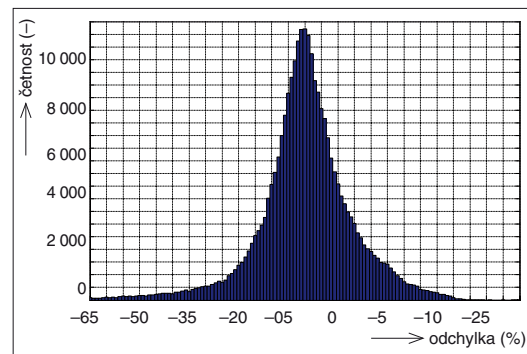
o využití multikriteriálních inteligentních řídicích algoritmů, které budou automaticky optimalizovat i výrobní náklady.

Dosažené výsledky prezentované v článku ukazují, že při použití adaptivního modelu, beroucího v úvahu výrazné rysy chování soustavy pro zásobování teplem, lze předvídat budoucí spotřebu, a tím plánovat výrobu i odstávky technologického zařízení pro vykonání údržby a optimalizovat výrobní proces z hlediska nákladů.

Předložené výsledky by mohly inspirovat výrobce a dodavatele řídicích systémů k tomu, aby do nabízených produktů zavedli adaptivní algoritmy, které se mohou stát velmi užitečným nástrojem pro řídicí pracovníky nejen ve výrobních tepla.

#### Literatura:

- [1] ŠÍPAL, J.: *Model of Steam Consumption in Central Heat Transfer Network*. In: Electronics and Electrical Engineering, 1/2007, pp. 33–36, Kaunas University of Technology, Department of Electronics Engineering, 2007, ISSN 1392-1215.
- [2] ŠÍPAL, J.: *Spolupráce s výrobním podnikem Dalkia*. In: Bulletin vědeckých, výzkumných a pedagogických prací za rok 2005–2006, s. 83–84, FVTM UJEP 2007, ISBN 80-7044-657-9.
- [3] ŠÍPAL, J.: *Nové možnosti řízení tepelné energie*. In: Technical Computing Prague 2007, sborník abstraktů, s. 127, Humusoft Praha, 2007, ISBN 978-80-7080-658-6.
- [4] ŠÍPAL, J.: *Složkový model spotřeby tepelné energie v síti centralizovaného zásobování teplem*. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky, Hebertov, 08/2007, sborník abstraktů, s. 85–86, ČVUT FS Praha, 2007, ISBN 80-86768-09-9.
- [5] ŠÍPAL, J.: *Matlab v analýze naměřených dat průmyslového podniku*. In: Technical Computing Prague 2006, sborník abstraktů, s. 92, Humusoft Praha, 2006, ISBN 80-7080-616-8.
- [6] ŠÍPAL, J.: *Použití matematického programu ke sledování tepelné sítě*. In: Zborník z XXV. mezinárodní vědecké konferencie kateder mechaniky tekutin a termomechaniky, s. 48, STU Bratislava, 2006, ISBN 80-227-2434-3.



Obr. 7. Histogram rozložení odchylek průběhů predikce a skutečnosti z obr. 6 (adaptivní model)

mezinárodní vědecké konferencie kateder mechaniky tekutin a termomechaniky, s. 48, STU Bratislava, 2006, ISBN 80-227-2434-3.

Ing. Jaroslav Šípál, PhD.,  
Fakulta výrobních technologií a managementu,  
Univerzita Jana Evangelisty Purkyně,  
Ústí nad Labem  
(sipal@fvtm.ujep.cz)

## Příručka: Návody na projektování tepelných zařízení

Letos je to už 128 let, kdy byl v pražské První českomoravské továrně na stroje založen samostatný odbor pro ústřední vytápění. Není bez zajímavosti, že jeho první zakázkou byla dodávka teplovzdušného zařízení pro tehdy dokončovanou budovu Národního divadla v Praze. Zcela oprávněně lze tedy považovat rok 1880 za počátek topenářské éry v Čechách a na Moravě.

Organizace pro výkon společných činností v plynárenství GAS Praha vydala v roce 2001 obsáhlou (2 500 stran) dvoudílnou účelovou reprezentativní publikaci *Topenářská příručka. Svazek 1 a 2*. Autorsky se na ní podílelo téměř pět desítek našich předních odborníků z vysokých škol, poradenských a výrobních

organizací i soudních znalců, snažících se postihnout celou šíři a stav současných znalostí v oboru topenářství.

Na uvedené první dva díly v roce 2007 navázal svazek *Topenářská příručka 3. Návody na projektování tepelných zařízení*. Tým deseti autorů, vedený Ing. Vladimírem Valentou, i vydavatel, nyní Agentura Českého sdružení pro technická zařízení (ČSTZ) ve spolupráci s Cechem topenářů a instalatérů, si v ní si kladou za hlavní cíl reagovat na skutečné potřeby technické i laické veřejnosti tak, aby získala úplné informace o vytápění a souvisejících problematikách.

Z publikace je zřejmé, že oblast vytápění objektů všeho druhu je oblastí nanejvýš

aktuální, vytváří optimální prostředí, podstatně se podílí na efektivnosti využití spotřeby energií různých druhů a může značně ovlivnit úroveň zatížení životního prostředí. Obsah příručky o 378 stránkách je rozdělen do šesti tematických celků: *Základní výpočty, Zdroje tepla, Rozvody tepla, Spotřebiče tepla, Různé, Vlastnosti teplotnosných látek a paliv*. Všechny 45 jednotlivých kapitol příručky má jednotnou strukturu, obsahující rozbor příslušného tématu, schéma zařízení, výpočtové vztahy a příklady výpočtů. Texty jsou doplněny mnoha tabulkami a obrázky. Součástí publikace je i její elektronická verze na CD-ROM.

(tes)

### ► Soutěže středoškoláků z ČR a celé Evropy

Dne 13. února 2008 byl zahájen první ročník ojedinělého projektu pod názvem Innovating Minds – Czech Awards for Young Europeans. Nový projekt je obdobou soutěže České hlavičky, ale na rozdíl od tuzemské soutěže je orientován na středoškolskou mládež z celé Evropy. Studenti přírodních a technických oborů ve věku do devatenácti let budou soutěžit v těchto kategoriích:

- informační a komunikační technika,

- zdraví a kvalita života,
- životní prostředí,
- inovace výrobků a technologií,
- design a architektura.

Vítězové každé kategorie obdrží odměnu 5 000 eur. O vítězných laureátech rozhodne devítičlenná mezinárodní porota v čele s prof. Ing. Richardem Hindlsem, CSc., jejímiž členy jsou i nositelé Nobelovy ceny prof. Richard R. Ernst a prof. R. Timothy Hunt a mnoho dalších osobností. Laureáti budou vyhlášeni v říjnu 2008 při slavnostním galavečeru v historických prostorech Ry-

tínského sálu Senátu Parlamentu České republiky. Více informací včetně přihlášky lze nalézt na <http://www.innovatingminds.eu>. Uzávěrka soutěže je 10. září 2008.

Připomeňme, že soutěž České hlavičky pro studenty českých středních škol má uzávěrku 30. června 2008 a soutěžící se mohou přihlásit do jedné z pěti kategorií. Hlavní cena Merkur bude udělena za projekt s výrazným ekonomickým přínosem v oboru technických a přírodních věd. Podrobnosti o všech kategoriích včetně přihlášky jsou k dispozici na <http://www.ceskahlava.cz> (ev)