

Využití tepelných čerpadel v budovách (5)

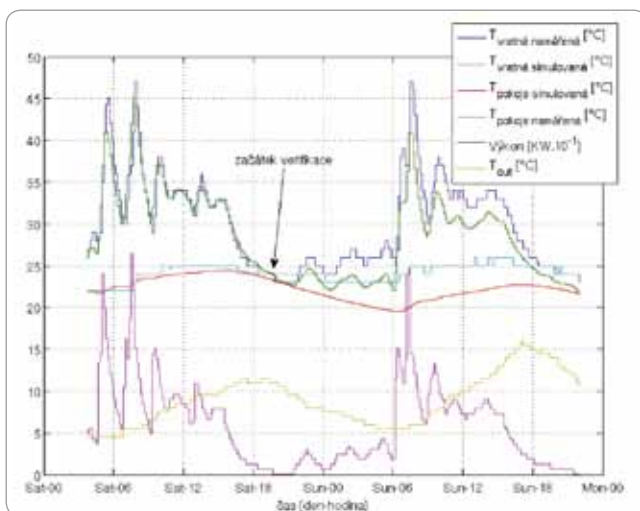
Ve čtvrté části seriálu jsme se zabývali výpočtem roční tepelné ztráty budovy a popis nástroje ACAD Toolkit, který je vhodný pro optimální řízení a odhad parametrů přispívající k věrohodné identifikaci jak lineárních tak i nelineárních systémů. Páta část našeho seriálu je věnována odhadu parametrů metodou lavenberg-marquard na různých časových úsecích. Celý proces je odladěn na šesti sadách parametrů.

V této části seriálu odhadneme parametry metodou lavenberg-marquard na různých časových úsecích s tím, že v několika případech budeme záměrně používat tytéž časové úseky jedou s průběhem měřeného stavu T_{pokoj1} a podruhé s průběhem T_{pokoj2} , jež následně porovnáme.

Většinou budeme brát interpolované vzorky po 10. minutách, jež byly pro každou veličinu měřeny v různých časech. Identifikace jsou provedeny většinou na sadách se 100 až 200 vzorky z důvodu výskytu výpočetních problémů ACADO toolkitu, způsobené buď větším množstvím vzorků nebo nemožností identifikace „s nevhodnými měřenými daty“. Vyzkoušíme také identifikaci na datech s periodou vzorkování 1 hodina pro dosažení delšího časového úseku tj. v horizontu několika dnů.

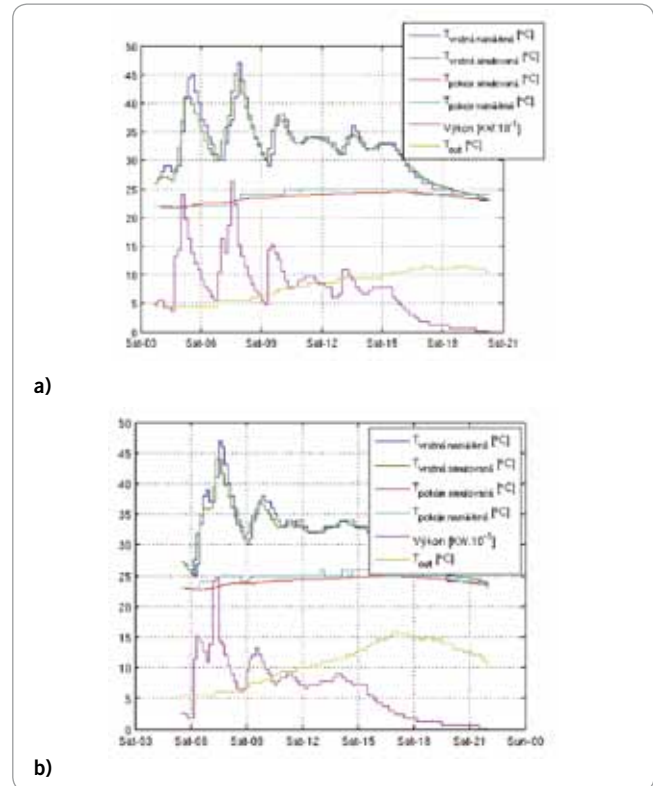
1. sada

Jak můžeme zpozorovat na obr. 12 data byla identifikována na intervalu od 3:00 do 21:00 téhož dne a postupně se simulovaný průběh pokojové teploty začíná v dalších nočních hodinách rozcházet s reálným průběhem pokojové teploty. Začátkem dalšího dne kolem 6:00 se reálná a simulovaná teplota pokoje liší o dva stupně. Lze vyvodit, že odchylka v průběhu dalšího dne, která je přibližně konstantní, je způsobena převážně noční periodou, při klesajících venkovních teplotách a nízkém výkonu vytápěcího systému. Nicméně simulovaný průběh se stále snaží opisovat tvar reálného průběhu. Na následujících obr. 13a a 13b se podařilo simulovat verifikovaný interval téměř bez odchylek, zejména protože jsme vynechali noční průběh a začali s reálnými počátečními podmínkami verifikovat ve stejnou dobu, kdy probíhala identifikace, pouze následující den, kdy průběh teplot je obdobný a tudíž z hlediska odchylek je verifikovaný a identifikovaný průběh téměř nerozeznatelný.



Obr. 12 Identifikace na denních datech a následná verifikace přes noc a nadcházející den

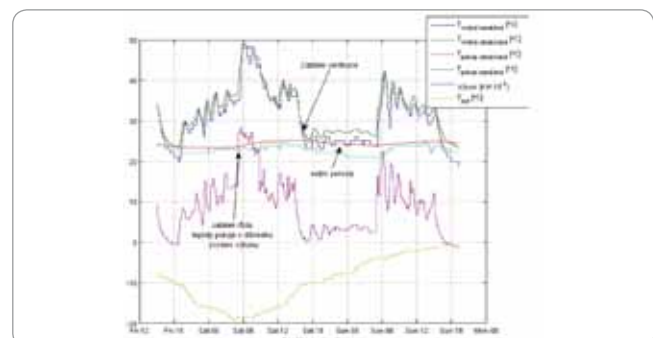
Identifikované parametry pro periodu vzorkování 10min jsou následující: $a = 5.863e^{-01}$, $b = 3.808e^{-01}$, $c = 1.300e^{-02}$, $d = 6.306e^{-03}$



Obr. 13 Identifikace a verifikace s „noční pauzou“
a) Identifikace na denních datech, b) Verifikace na denních datech dalšího dne

2. Sada

Druhý časový úsek, na kterém jsme data identifikovali a verifikovali, jak je zobrazeno na obr. 14, pojímá venkovní teploty, na rozdíl od prvního příkladu, v rozsahu od -20 do -1 $^{\circ}\text{C}$. Lze zpozorovat, že při snižování venkovních teplot zrcadlově, podle horizontu, roste výkon. Simulovaná teplota vratné vody pro dostatečně vysoký výkon téměř opisuje reálnou teplotu vratné vody, naopak při nízkém nočním výkonu se křivky začínají rozcházet a jistým podílem se odchylka přičítá druhému simulovanému stavu systému a reálná pokojová teplota je tak nižší. Pozornosti neujde začátek růstu simulované teploty pokoje v důsledku značného zvýšení výkonu, zatímco reálná teplota pokoje stále drží svou hodnotu, což je mimo jiné způsobeno hrubým rozlišením senzoru, v jednotkách stupňů celsia. Nelze také opomenout, že výsledná pokojová teplota je průměrem



Obr. 14 Identifikace a následná verifikace systému pro záporné venkovní teploty

teplot dvou pokojů a v případě změny polohy ventilu topení dvou různých a částečně časově variantních systémů.

Identifikované parametry pro druhou sadu odpovídají hodnotám:

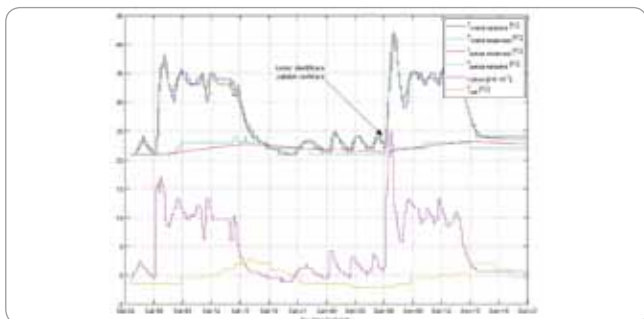
$$\begin{aligned} a &= 4.702e^{-01}, \\ b &= 2.624e^{-01}, \\ c &= 3.705e^{-02}, \\ d &= 8.300e^{-03} \end{aligned}$$

3. Sada

Následující datová sada se rozkládá na intervalu pro venkovní teploty pohybující se kolem 0°C, kterých ze všech naměřených dat není mnoho, ale pro identifikaci a řízení jsou nezbytné, neboť potřebujeme pokud možno co nejrozmanitější venkovní teploty. Na obr. 15 se nám podařilo velmi věrohodně identifikovat průběh naměřených dat, kde simulovaná data v části identifikace jsou, z hlediska odchylky, nerozeznatelná od verifikovaného průběhu.

Identifikované parametry pro třetí sadu:

$$\begin{aligned} a &= 4.329e^{-01}, \\ b &= 2.904e^{-01}, \\ c &= 4.560e^{-03}, \\ d &= 8.042e^{-04} \end{aligned}$$



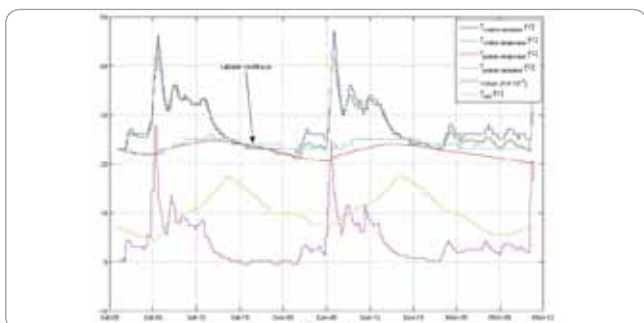
Obr. 15 Identifikace a následná verifikace systému pro venkovní teploty od -2 do +3°C

4. Sada

V následujícím příkladě se podařilo věrohodně identifikovat a verifikovat systém pro delší časový průběh trvající 60 hodin. Simulované hodnoty prvního stavu v první části (tj. do začátku verifikace), přímo kopírují reálný průběh vratné vody, zatímco reálné hodnoty s hrubším rozlišením druhého stavu (teplota pokoje) jsou jakoby přímo proloženy simulovanou křivkou. Simulovaný průběh druhého stavu si během verifikace uchovává svůj tvar i když se od reálné teploty pokoje mírně vzdaluje. V grafu lze zaznamenat „záporný výkon“ tj. Moment kdy nedochází k přenosu tepla z vytápěcího systému do vytápěného prostoru, ale naopak z vytápěných prostor se staly „vytápěcí“ prostory, které předávají teplo zpětně vratné vodě a teplota vratné vody je tak vyšší než teplota vody vstupní.

Identifikované parametry odpovídající čtvrté sadě:

$$\begin{aligned} a &= 4.875e^{-01}, \\ b &= 3.292e^{-01}, \\ c &= 1.310e^{-02}, \\ d &= 5.091e^{-03} \end{aligned}$$



Obr. 16 Identifikace a verifikace v intervalu 60ti hodin +3°C

5. Sada – identifikace pro různé průběhy pokojových teplot na totožném časovém úseku

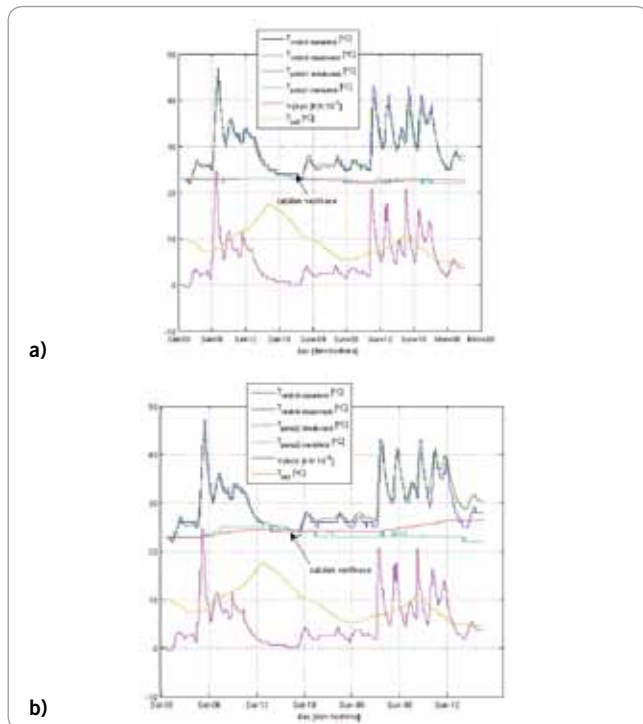
Následující dva příklady byli identifikované na totožném intervalu pouze s jiným průběhem pokojových teplot (pokoj2 je kancelář pana Lišky). Simulované průběhy se, na rozdíl od reálných, liší mimo jiné i prvním stavem, což je způsobeno metodou nejmenších čtverců a algoritmem levenberg-marquard, že se snaží minimalizovat součet druhých mocnin všech odchylek a na úkor prvního stavu pak lépe odhadne (proloží) druhý stav. Teoreticky by bylo možné, a z jistého hlediska správné identifikovat první dva parametry ovlivňující teplotu vratné vody a následně C a D nezávisle na již identifikovaných parametrech A a B. Tuto vlastnost nelze přehlédnout zvláště na konci obou průběhů, kdy je reálná teplota vratné vody oproti grafu a) přesně proložena průběhem simulovaným. Míru těchto odchylek u jednotlivých stavů můžeme ovlivnit kovarianční maticí, jež váží jednotlivé měřené veličiny.

Identifikované parametry pro 1. pokoj

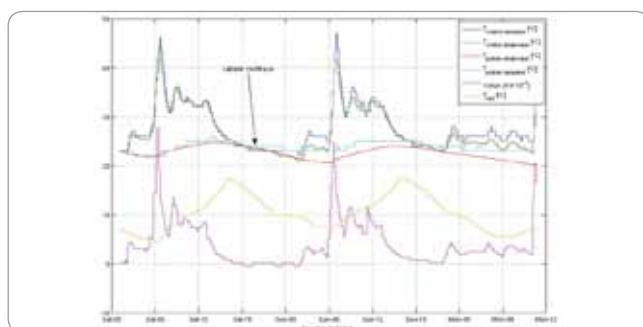
$$\begin{aligned} a &= 4.825e^{-01}, \\ b &= 3.437e^{-01}, \\ c &= 1.638e^{-03}, \\ d &= 8.158e^{-04} \end{aligned}$$

Identifikované parametry pro 2. pokoj

$$\begin{aligned} a &= 5.695e^{-01}, \\ b &= 3.702e^{-01}, \\ c &= 4.795e^{-03}, \\ d &= 9.962e^{-04} \end{aligned}$$



Obr. 17 Identifikace a verifikace s různými průběhy pokojových teplot, a) Průběh teplot v 1. pokoji, b) Průběh teplot v kanceláři pana Lišky



Obr. 18 Identifikace a verifikace se vzorkováním 1h

6. Sada

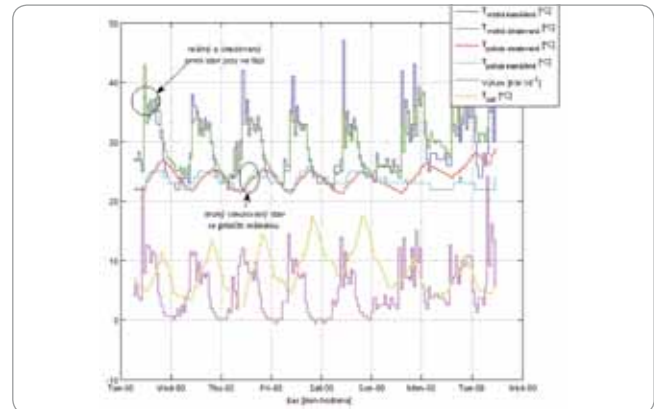
Identifikované parametry pro obr. 18:

$$\begin{aligned} a &= 8.000e^{-01}, \\ b &= 5.383e^{-01}, \\ c &= 1.045e^{-01}, \\ d &= 3.458e^{-04} \end{aligned}$$

Na dalším příkladu se podařilo identifikovat tří denní průběh s periodou vzorkování 1 hodina. Jak si lze všimnout z obr. 19 tak vidíme, že jak první tak i druhý simulovaný stav je fázově opožděný oproti reálným průběhům, což může být způsobeno odvozeným výkonem z rozdílu teplot vstupní a vratné vody, kdy konkrétní rozdíl neodpovídá momentálnímu výkonu, ale tomu který již nastal v momentu předešlém. Pro srovnání jsem při identifikaci i simulaci posunul průběh výkonu o hodinu dříve v obr. 19, tak aby se v rozdílu vstupní a vratné vody projevilo o něco později. Identifikované parametry a,b,c,d jsou téměř totožné jako v prvním případě a na výsledném obr. 19 se simulované křivky fázově k sobě více přiblíží.

Identifikované parametry pro obr. 19:

$$\begin{aligned} a &= 8.000e^{-01}, \\ b &= 5.402e^{-01}, \\ c &= 9.000e^{-02}, \\ d &= 2.919e^{-02} \end{aligned}$$



Obr. 19 Identifikace a verifikace se vzorkováním a fázovým posunutím 1h

Ověřili jsme si předpoklad, že při identifikaci delšího průběhu, kdy se začínají výrazně a nepravidelně měnit vstupní veličiny, se projevují nelinearity systému a jistá invariantnost tj. systém samotný (v čase může být změněna poloha regulačního ventilu topení, začne se větrat, v místnosti se zapínají a vypínají spotřebiče produkující teplo). Identifikace byla těžší respektive nepřesnější také kvůli hrubému rozlišení teplotních senzorů v místnostech. Avšak přesto se podařilo získat několik identifikovaných průběhů, které pro daný časový interval věrohodně popisují reálné chování teplot v Bioregeně v závislosti na výkonu vytápěcího systému a průběhu venkovní teplot a které dále použijeme v následující kapitole, kde se budeme snažit systém řídit.

Sada	Vzorkování [minuty]	Počet vzorků [-]	a $\times 10^{-1}$	b $\times 10^{-1}$	c $\times 10^{-2}$	d $\times 10^{-3}$	Obr. č.
1.	10	101	5.836	3.808	1.300	6.306	12, 13(a), 13 (b)
2.	10	156	4.702	2.624	3.705	8.300	14
3.	10	174	4.329	2.904	0.456	0.804	15
4.	10	107	4.875	3.292	1.310	5.091	16
5.	10	121	4.825	3.437	0.163	0.815	17 (a)
5.	10	121	5.695	3.702	0.479	0.996	17 (b)
6.	60	67	8.000	5.383	10.45	0.345	18
6.	60	67	8.000	5.402	9.000	0.291	19

Tab. 20 Přehled identifikovaných parametrů pro jednotlivé sady

V dalším pokračování se budeme zabývat návrhem a simulací řízení vytápěcího systému pro Bioregenou.

Ing. Alexander Ciller