

## ANALÝZA MOŽNOSTÍ INOVÁCIE SYSTÉMOV RIADENIA DODÁVKY TEPLA NA BÁZE EKVITERMICKEJ REGULÁCIE

### ANALYSIS OF INNOVATION POSSIBILITIES OF THE HEAT SUPPLY CONTROL SYSTEMS BASED ON OUTDOOR TEMPERATURE COMPENSATION

**doc. Ing. Ján Piteľ, PhD.**

Technická univerzita v Košiciach,  
Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove,  
Katedra matematiky, informatiky a kybernetiky,  
Bayerova 1, 080 01 Prešov  
e-mail: jan.pitel@tuke.sk

**doc. Ing. Jaroslav Šeminský, PhD.**

Technická univerzita v Košiciach,  
Strojnícka fakulta,  
Katedra biomedicínskeho inžinierstva,  
automatizácie a merania,  
Park Komenského 9, 042 00 Košice  
e-mail: jaroslav.seminsky@tuke.sk

#### Abstract

The classic verified approach to the heating process control is using of outdoor temperature compensation. Final effect of outdoor temperature compensation is however dependent on correct adjusted parameters. Classic PID algorithms after good tuning are able to ensure desired accuracy while system is right identified and there isn't parameters change of controlled system in time. But for heating systems, which parameters change in time, systems with identification difficulties, systems with expressive non-linearity or time delay it is convenient to use the knowledge based control algorithms that can optimise classic algorithms based on outdoor temperature compensation. Algorithms based on artificial intelligence can provide for adaptability on change of heating system static and dynamic characteristics and classic algorithms provide for good control precision. By association of these two approaches it is possible to reach synergetic effect of improvement of the heat supply control accuracy and stability.

**Key words:** innovation, control system, heat supply, outdoor temperature compensation

#### ÚVOD

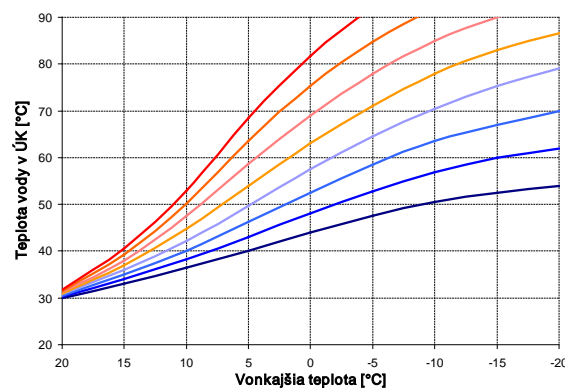
Vytýčené ciele trvalo udržateľného rozvoja v oblasti dodávky tepla pre vykurovanie je možné dosiahnuť len automatizáciou riadenia technologických procesov vykurovania pomocou číslcových regulačných a riadiacich prostriedkov, ktoré umožňujú realizovať zložité riadiace postupy využívajúce vyššie formy riadenia. Na pracoviskách Technickej univerzity v Košiciach sa

problematike optimalizácie riadenia dodávky tepla pre vykurovanie venuje veľká pozornosť už od začiatku 90-tych rokov minulého storočia. Podobne je to s problematikou aplikácie techník umelej inteligencie v automatickom riadení. Cieľom tohto článku je prezentovať možnosti inovácie systémov riadenia dodávky tepla na báze ekvitermickej regulácie aj aplikáciou techník umelej inteligencie s využitím skúseností a zručností získaných riešiteľským kolektívom doterajším výskumom a vývojom v predmetnej oblasti.

#### FORMULÁCIA PROBLÉMU

Klasickým overeným prístupom pre reguláciu vykurovania je použitie ekvitermickej regulácie, ktorej úlohou je zabezpečenie požadovanej teploty vo vykurovanom priestore pri rôznych externých podmienkach. Pre splnenie tejto požiadavky je potrebné nájsť rovnováhu medzi dodávaným tepelným výkonom a tepelnou stratou objektu, t. j. zabezpečiť optimálnu teplotu vykurovacej vody. To sa realizuje tak, že teplota vody vo vykurovacej sústave je riadená teplotou vonkajšieho vzduchu podľa tzv. ekvitermickej krivky.

Ekvitermickej krivka je závislosť medzi teplotou vykurovacej vody a vonkajšou teplotou a nepriamo fyzikálne popisuje vykurovaný priestor a vykurovací systém. Táto závislosť je nelineárna a je daná tepelno-izolačnými vlastnosťami budovy a výkonnosťou vykurovacieho systému. Výsledný efekt ekvitermickej regulácie je závislý na správne zvolenej ekvitermickej krivke, a preto pre praktické použitie ekvitermickej regulácie je k dispozícii viacero ekvitermickej kriviek, ktoré sú charakterizované svojou strmou (sklonom). Príklad ekvitermickej kriviek je uvedený na obr. 1.



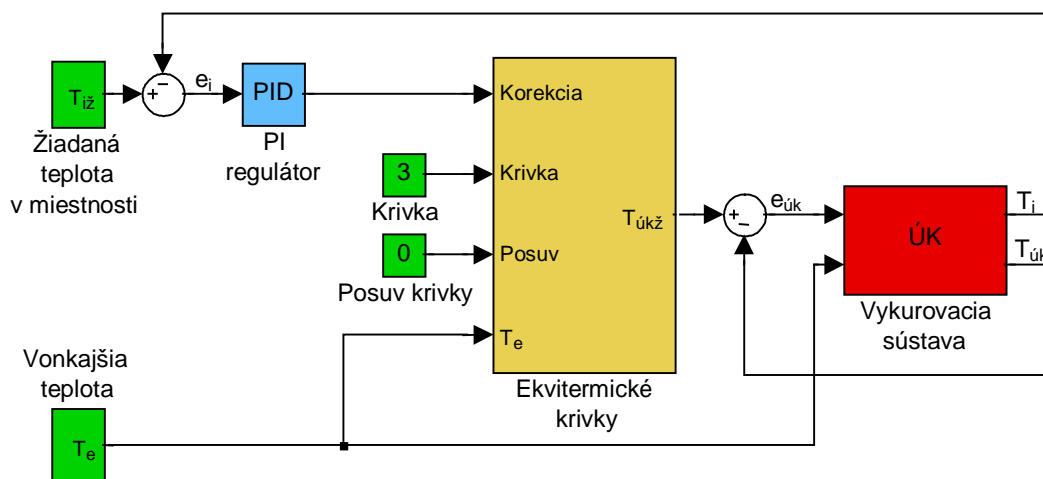
Obr.1 Ekvitermickej krivky

Pre vykurovacie sústavy dimenzované na vyšší teplotný spád sa volí krivka s vyššími teplotami vykurovacej vody (s väčšou strmosťou) a pre dobre izolované objekty je možné voliť krivky s nižšími teplotami vykurovacej vody (s menšou strmosťou). Okrem nastavenia tzv. základnej ekvitermickej krivky pre komfortnú požadovanú teplotu vo vykurovanom objekte sa nastavujú aj útlmy tejto krivky pre útlmové požadované teploty vo vykurovanom objekte. Tieto útlmy sa realizujú posuvom základnej ekvitermickej krivky do mínusových hodnôt vo zvislom smere. Výsledný efekt ekvitermickej regulácie je potom okrem iného závislý aj na správne nastavených týchto parametroch, pričom klasické PID algoritmy po správnom naladení sú schopné zabezpečiť požadovanú presnosť, pokiaľ vykurovacia sústava je správne identifikovaná a nedochádza k zmene parametrov sústavy v čase. U vykurovacích sústav, ktorých parametre sa v čase menia, sústav obťažne identifikovateľných, sústav s výraznými nelinearitami a dopravným oneskorením je výhodné použitie algoritmov riadenia z oblasti umelej inteligencie, ktorými je možné optimalizovať klasické algoritmy ekvitermickej regulácie. Algoritmami na báze umelej inteligencie je možné zabezpečiť adaptivitu na zmenu statických a dynamických charakteristík vo vykurovacom systéme a klasickými algoritmami sa zabezpečí vysoká presnosť regulačného pochodu. Spojením týchto prístupov je možné dosiahnuť synergický efekt v zlepšení parametrov presnosti a stability ekvitermickej regulácie dodávky tepla.

## KLASICKÉ ALGORITMY EKVITERMICKEJ REGULÁCIE

Pri praktickej aplikácii ekvitermickej regulácie vykurovania sa vykurovacia krivka nastavuje individuálne pre jednotlivé objekty, jej ladenie je však prácne a časovo náročné. Preto sa, najmä v rodinných domoch a menších objektoch, dopĺňa ekvitermickej regulácii ešte reguláciou podľa vnútornej teploty (teploty referenčnej miestnosti). Takáto regulácia sa potom nazýva aj ako ekvitermickej regulácia s korekciou na referenčnú teplotu. Korekcia na referenčnú teplotu môže zabezpečiť optimalizáciu ekvitermickej regulácie na ostatné tepelné zisky alebo straty vo vykurovanom priestore. Pri tejto regulácii je však dôležitý výber miestnosti pre referenčnú teplotu, ktorá by za všetkých okolností reprezentovala skutočnú teplotu v objekte.

Pri ekvitermickej regulácii s korekciou na referenčnú teplotu rozdiel medzi žiadanou a skutočnou vnútornou teplotou koriguje (optimalizuje) na základe určitých kritérií nastavenú ekvitermickej krivku tak, aby skutočná teplota v referenčnej miestnosti odpovedala žiadanej. Na obr. 2. je bloková schéma ekvitermickej regulácie s korekciou na referenčnú teplotu na báze PI regulátora, použitím ktorého je možné dosiahnuť nulovú regulačnú odchýlku medzi žiadanou a skutočnou teplotou v miestnosti. PI regulátor aj pri čiastočne nesprávnom nastavení základnej ekvitermickej krivky dokáže vyregulovať teplotu v referenčnej miestnosti na žiadanú.



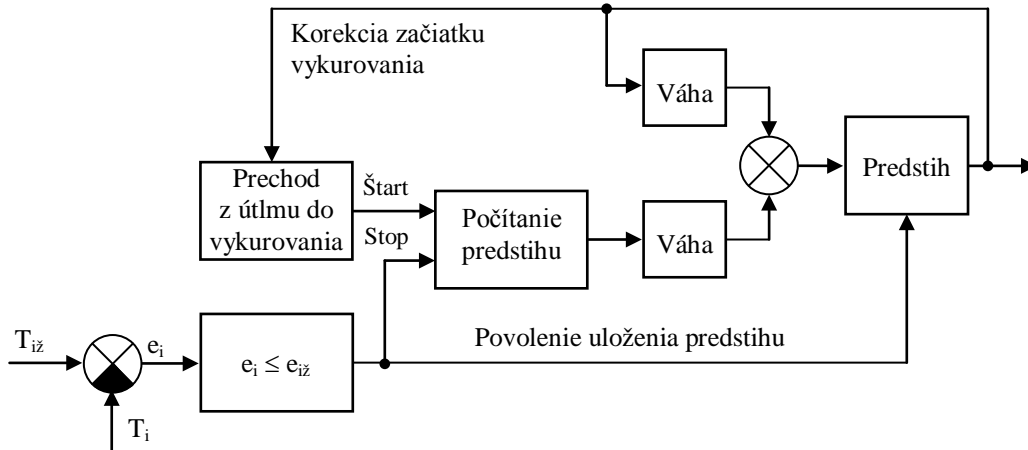
Obr.2 Bloková schéma ekvitermickej regulácie s korekciou na referenčnú teplotu na báze klasického PI regulátora

Dôležitou funkciou ekvitermickej regulácie s korekciou na referenčnú teplotu je optimálny štart prechodu z útlmu do vykurovania tak, aby sa dosiahla požadovaná hodnota vnútornej teploty v naprogramovanom čase. To je možné napr. zabezpečiť doplnením klasických algoritmov ekvitermickej regulácie o prvky adaptivity, a to

napr. jednoduchým algoritmom pre meranie času potrebného na dosiahnutie žiadanej teploty v miestnosti pri prechode z útlmu do vykurovania (tzv. adaptivita na predstih). Jednoduchý algoritmus je často potrebný z dôvodu možnosti jeho zakomponovania do programového vybavenia komerčného regulátora, ktorý má zvyčajne

k dispozícii iba obmedzenú výpočtovú kapacitu.

Princíp výpočtu adaptivity na predstih je na Obr. 3.



Obr.3 Princíp výpočtu adaptivity na predstih prechodu z útlmu na vykurovanie

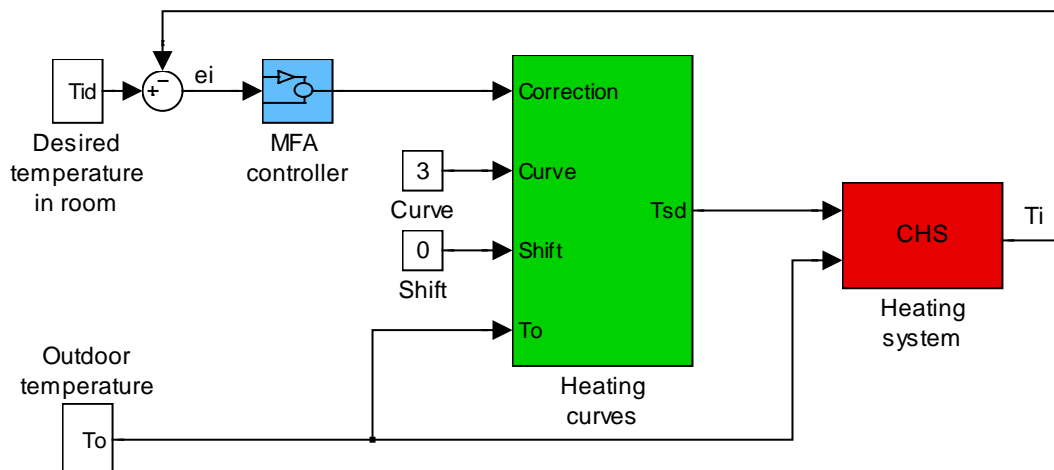
### EKVITERMICKÁ REGULÁCIA A ALGORITMY UMELEJ INTELIGENCIE

Moderné algoritmy a metódy riadenia využívajúce techniky umelej inteligencie nachádzajú v súčasnosti čoraz väčšie uplatnenie zvyšujúcim sa počtom úspešných aplikácií v praxi aj v oblasti riadenia procesov vykurovania a ich praktický prínos je daný viacerými dôvodmi. Jedným z nich je fakt, že súčasťou týchto metód je optimalizácia riadiacich zásahov, z čoho vyplýva, že je tu predpoklad na hospodárnu prevádzku systémov, v ktorých sú tieto metódy implementované. Ďalšou dôležitou vlastnosťou týchto metód je schopnosť zahrnúť do riadiacich algoritmov obmedzenia procesných veličín bez zmeny štruktúry, čo neplatí pri klasických PID štruktúrach

Na reguláciu vykurovania sa už úspešne aplikujú algoritmy z oblasti fuzzy riadenia, ktorými sa zabezpečila hlavne stabilita regulačného pochodu pri zmene parametrov vykurovacej sústavy. Taktiež fuzzy logika je vhodná z hľadiska lingvistického popisu tepelnej pohody vzhľadom na to, že táto je človekom vnímaná subjektívne

a neurčito. Problém je však najmä s presnosťou a rýchlosťou regulácie najmä pri skokoch žiadanej teploty vo vykurovaných priestoroch pri zmene vykurovacej hladiny.

Riešením je aj použitie neurónových sietí, ktoré sa dokážu učiť a tak sa adaptovať na zmeny vo vykurovacej sústave. Charakteristickou črtou neurónovej siete je jej štruktúra tvorená jednotlivými neurónmi pospájanými synaptickými prepojeniami. Nad takto vytvorenou štruktúrou môžeme postaviť viacero algoritmov učenia. MFA (Model Free Adaptive) regulátor navrhnutý ako 3-vrstvová neurónová sieť s proporcionálnym členom bol testovaný na optimalizáciu ekvitermickej regulácie s korekciou na referenčnú teplotu (obr.4). Na tréningovanie neurónovej siete bola využitá metóda spätného šírenia chýb. K vytvoreniu a tréningu MFA-regulátora bol použitý NETLAB Toolbox v prostredí MATLAB. Výsledky simulácie modelu ekvitermickej regulácie s MFA-regulátorom, čo sa týka presnosti a rýchlosti regulácie pri zmene parametrov vykurovacej sústavy, boli lepšie v porovnaní s modelom ekvitermickej regulácie s PI regulátorom.



Obr.4 Bloková schéma ekvitermickej regulácie s MFA regulátorom

Pre riadenie procesu dodávky tepla na báze ekvitermickej regulácie sa perspektívnymi javia aj prediktívne metódy riadenia, ktoré predstavujú v súčasnosti veľkú skupinu moderných metód riadenia s čoraz väčším počtom aplikácií. Túto skupinu metód, ktorá nesie názov Model Predictive Control (MPC), tvoria metódy, ktoré využívajú pre výpočet riadiaceho zásahu matematický model procesu určený z meraných procesných údajov. Základné črty prediktívneho riadenia sú:

- Špecifikovanie referenčnej trajektórie a jej predikcie na vybranom horizonte.
- Predikcia výstupu systému na vybranom časovom horizonte založená na matematickom modeli systému.
- Výpočet nových akčných zásahov založený na minimalizácii kritériálnej funkcie a znalosti matematického modelu systému.
- Korekcia predikovaného výstupu na základe minulých nameraných výstupov.

## ZÁVER

Nové algoritmy riadenia vykurovania na báze umelej inteligencie v spojení s výhodami ekvitermickej regulácie môžu prispieť k zlepšeniu riadenia dodávky tepla pre vykurovanie najmä v najmodernejších regulačných systémoch, ktoré svojim technickým a programovým vybavením podporujú tvorbu aplikácií na báze umelej inteligencie. Napr. Model-Free Adaptive (MFA) regulátory na báze neurónových sietí umožňujú realizovať riadenie vykurovacích sústav, ktorých parametre sa v čase menia, resp. sústav obťažne identifikovateľných bez potreby poznania komplexného matematického modelu sústavy alebo ručného doladovania parametrov regulátora. Zároveň spojením klasických algoritmov vykurovania na báze ekvitermickej regulácie s algoritmi z oblasti umelej inteligencie je možné dosiahnuť synergický efekt v zlepšení parametrov presnosti a stability dodávky tepla pre vykurovanie. Algoritmami na báze umelej inteligencie je možné zabezpečiť adaptivitu na zmenu statických a dynamických charakteristík vo vykurovacom systéme a klasickými algoritmami požadovanú presnosť regulačného pochodu.

## Literatúra

- [1] Boržíková, J. Výskum a vývoj inteligentných systémov riadenia výroby a dodávky tepla na báze biomasy. In: Zborník príspevkov ARTEP 2010, Stará Lesná, 24.2.–26.2.2010. [CD-ROM]. Košice: Sjf TU v Košiciach, 2010. s. 35-1 – 4. ISBN 978-80-553-0347-5
- [2] Boržíková, J., Mižák, J. Analýza možností inovácie systémov riadenia spaľovacieho procesu biomasy. Transfer inovácií, 2010, č. 16/2010. str. 225-227. ISSN 1337-7094.
- [3] Day, A. D., Ratcliffe, M. S., R., Stepferd, K. J. Heating systems, plant and control. Oxford: Blackwell Publishing, 2003. 329 p. ISBN 0-632-05937-0
- [4] Ehrenvald, P., Kurčová, M. Prečo ekvitermickej regulácia nepracuje podľa nášho očakávania? In: Zborník konferencie Vykurovanie 2005, Tatranské Matliare, 7.-11.3.2005. Bratislava: SSTP, 2005. s. 383 – 387. ISBN 80-89216-00-5
- [5] Lipták, P. Inteligentnija systemy upravlenija kondicionirovaniija. Sovremennij naučnyj vestnik, 2008, No. 17 (43). pp. 67-80. ISSN 1561-6886
- [6] Lukáčová, I., Šeminský, J. Porovnanie moderných riadiacich metód s klasickým PID regulátorom pre reguláciu vykurovania. In: Sborník mezinárodní konference kateder automatizace a kybernetiky vysokých škol a univerzit v České a Slovenské republice PRINCIPIA CYBERNETICA 2010, Liberec, Česká republika, 8.–9. září 2010. [CD-ROM]. Liberec: TU v Liberci, 2010. s. 49-54. ISBN 978-80-7372-639-3
- [7] Pastorková, L. Riadenie systémov na báze umelých neurónových sietí. Diplomová práca. Bratislava: FCHPT STU, 2005.
- [8] Pitel, J., Mižák, J. Ekvitermickej regulácia s adaptívnou korekciou na referenčnú teplotu. Automa, 2006, roč. 12., č. 10-2006. str. 48-50. ISSN 1210-9592
- [9] Pitel, J., Mižák, J. Optimalizácia riadenia dodávky tepla na báze ekvitermickej regulácie. In: Sborník mezinárodní konference kateder automatizace a kybernetiky vysokých škol a univerzit v České a Slovenské republice PRINCIPIA CYBERNETICA 2010, Liberec, Česká republika, 8.–9. září 2010. [CD-ROM]. Liberec: TU v Liberci, 2010. s. 66-70. ISBN 978-80-7372-639-3

**Článok vznikol v rámci riešenia projektu zo štrukturálnych fondov EÚ, operačný program Výskum a vývoj, opatrenie 2.2 Prenos poznatkov a technológií získaných výskumom a vývojom do praxe.**

**Názov projektu: Výskum a vývoj inteligentných systémov riadenia výroby a dodávky tepla na báze biomasy**

**ITMS kód projektu: 26220220030**



**Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku /  
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov ES.**