

Ing. Jiří HORÁK, Ph.D.  
 Ing. Lubomír MARTINÍK  
 Ing. Kamil KRPEC, Ph.D.  
 Ing. František HOPAN, Ph.D.  
 Ing. Petr KUBESA  
 Ing. Vendula LACIOK, Ph.D.  
 VŠB – TU Ostrava, Výzkumné  
 energetické centrum

# Ověření funkce a vlivu regulace teploty vratné vody u kotle na tuhá paliva v zapojení s akumulací

## Verification of Function and Effect of Return Water Temperature Control on a Solid Fuel Boiler in Connection with a Thermal Storage Tank

Recenzent  
 prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Príspevok sa zaoberá ověřením funkce Laddomatu 21 (zajišťuje směšování přívodní otopné vody s vratnou vodou), ověřením doby potřebné k ohřevu akumulací nádoby v případě použití různých termostatických patron u Laddomatu (nastavení požadované teploty) a vlivem použití tohoto systému na emise znečišťujících látek ve spalinách.

**Klíčová slova:** Laddomat, akumulací nádoba, nízkoteplotní koroze, akumulace tepla

This article deals with verification of function of Laddomat 21 (which mixes supply heating water with return water), verification of the time needed to heat up the thermal storage tank when using Laddomat with different thermostatic cartridges (required temperature settings) and effect of using this system on the pollutants emission in the flue gas.

**Keywords:** Laddomat, thermal storage tank, low-temperature corrosion, process of heat accumulation

### ÚVOD

V ČR a v Evropě je patrný stále větší tlak na snižování emisí znečišťujících látek ze spalování tuhých paliv [1, 2, 3]. Spalovací zařízení, která jsou provozována dlouhodobě na jmenovitý výkon (bez častého přechodu do útlumu či vyhasnutí), produkují méně znečišťujících látek ve spalinách než zařízení, která jsou provozována na snížený výkon, případně provozována s uzavřenými přívody spalovacího vzduchu [4]. Pro zajištění co možná nejdelší periody provozu při jmenovitém výkonu se jako výhodná alternativa nabízí použití akumulací nádoby. Použití akumulací nádoby však může za určitých podmínek způsobit problémy se značným ochlazením teplosměnné plochy výměníku kotle.

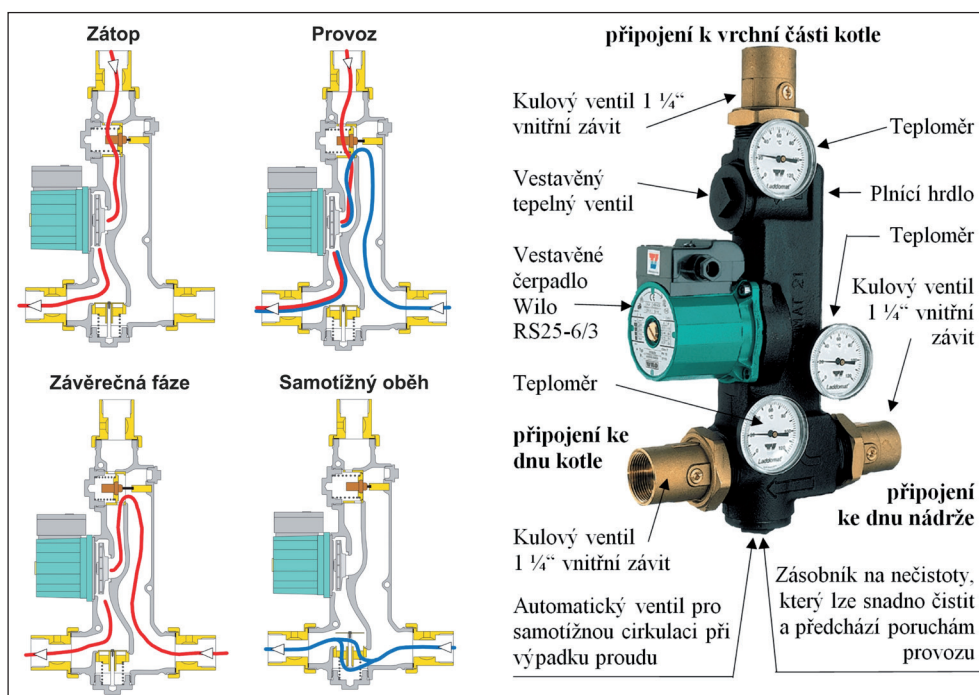
Aby bylo zabráněno dehtování a potažmo nízkoteplotní korozi, je třeba použít některá z řešení pro dohřev vratné vody proudící do kotle [5]. Nejčastějším řešením je dnes použití termostatického směšovacího ventilu instalovaného na vratné potrubí ke kotli.

Laddomat 21 (dále Laddomat) v sobě spojuje výhody termostatického směšovacího ventilu a oběhového čerpadla, které je jeho součástí. Jde o zařízení, které má za úkol [6]:

- zajistit, aby kotel po zátopu rychle dosáhl provozní teploty,
- nabíjet akumulací nádoby na vysokou teplotu s nízkou rychlostí proudění k dosažení optimálního rozvrstvení teplot v nádobě,
- po ukončení topení převést zbývající teplo z kotle do akumulací nádoby (přirozený oběh),

- při přerušení dodávky elektrického proudu a zastavení oběhového čerpadla částečně odvést přebytečné teplo přes zpětnou klapku ve spodní části Laddomatu z kotle do akumulací nádoby nebo otopné soustavy s využitím přirozeného oběhu vody – viz obr. 1.

Díky rychlému dosažení provozní teploty kotlové vody je omezen vznik kondenzace vlhkosti obsažené ve spalinách na vodním výměníku kotle, čímž je omezeno množství vznikajícího dehtu a s ním spojené nízkoteplotní koroze. V případě provozu kotle v soustavě s akumulací nádobou je třeba dobře regulovat systém za účelem co nejrychlejšího nahřívání akumulací nádoby. Laddomat může mít kromě své primární funkce také vliv na dobu nahřívání akumulací nádoby (dále také AKU).



Obr. 1 Laddomat 21 a jednotlivé fáze jeho funkce [6]  
 Fig. 1 Laddomat 21 and its individual function phases [6]

Na zkušebně Výzkumného energetického centra VŠB – TU Ostrava bylo proto testováno zapojení kotle s Laddomatem a akumulací nádobou s cílem zjištění vlivu zapojení na emise znečišťujících látek ve spalínách a vlivu na dobu nahřívání akumulací nádob.

### OVĚŘENÍ FUNKCE LADDOMATU A DOBY NABÍJENÍ AKUMULAČNÍ NÁDOBY

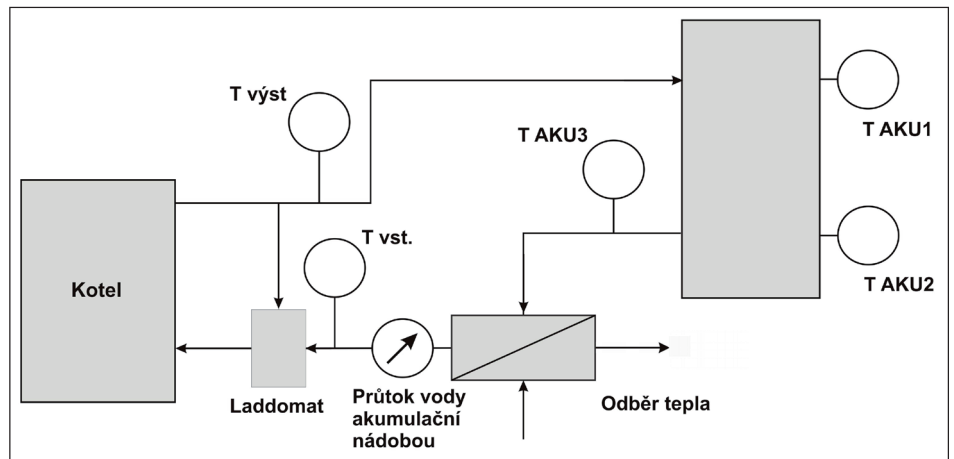
#### Testovaná sestava

Schéma zapojení kotle s akumulací nádobou a Laddomatem je na obr. 2. Pro zkoušky byla použita jednoduchá akumulací nádoba o objemu 1 000 litrů bez výměníků (hydraulicky propojená s otopnou soustavou) a pyrolytický (zplyňovací) kotel s elektronickou a termostatickou verzí regulace (kotel o jmenovitém výkonu 30 kW pro spalování kusového dřeva s nuceným odtahem spalin). Elektronická regulace řídí otáčky spalínového ventilátoru na základě požadované teploty otopné vody, zatímco termostatická regulace pouze otevírá a přivírá přívod spalovacího vzduchu.

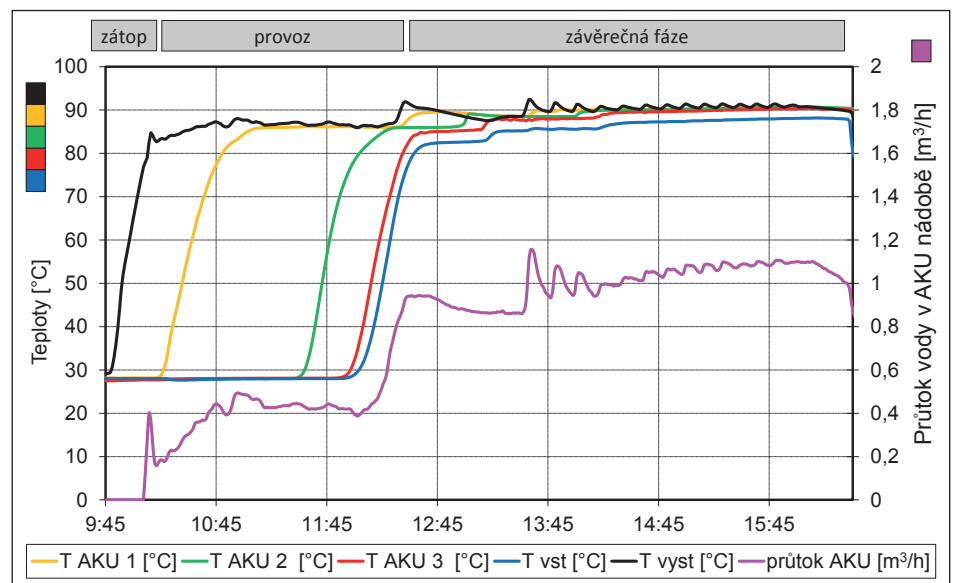
V rámci experimentu byly měřeny teploty ve dvou výškách v akumulací nádobě: na úrovni vstupu vody do akumulací nádoby – 0,35 m od horního povrchu nádoby (T AKU 1 – viz obr. 2) a 1,52 m od horního povrchu nádoby (T AKU 2 – viz obr. 2). Taktéž byla měřena teplota na výstupu z nádoby (1,83 m od horního povrchu nádoby). Dále byly sledovány teploty vstupní a výstupní vody z kotle. Měření bylo prováděno s různými termostatickými patronami (patrona svým působením ovlivňuje otevírání a přivírání směšovacího ventilu příslušně definiční teplotě patrony a nepřímo tak řídí teplotu na vstupu do kotle) v Laddomatu a bez něj. Byly měřeny také teploty v kotli. Začátek nabíjení akumulací nádoby byl stanoven při zapálení paliva v kotli a konec nabíjení byl dán dohodnutou cílovou teplotou výstupní vody z nádoby (T AKU 3 – viz obr. 2), která byla stanovena na 70 °C.

Systém byl doplněn odběrem tepla pro simulaci uživatelského vybíjení akumulací nádoby do otopné soustavy. Odběr tepla byl provozován v režimech 6 a 7.

Průtokoměr je umístěn mezi akumulací nádobou a Laddomatem, aby bylo možné kvantifikovat vliv Laddomatu na

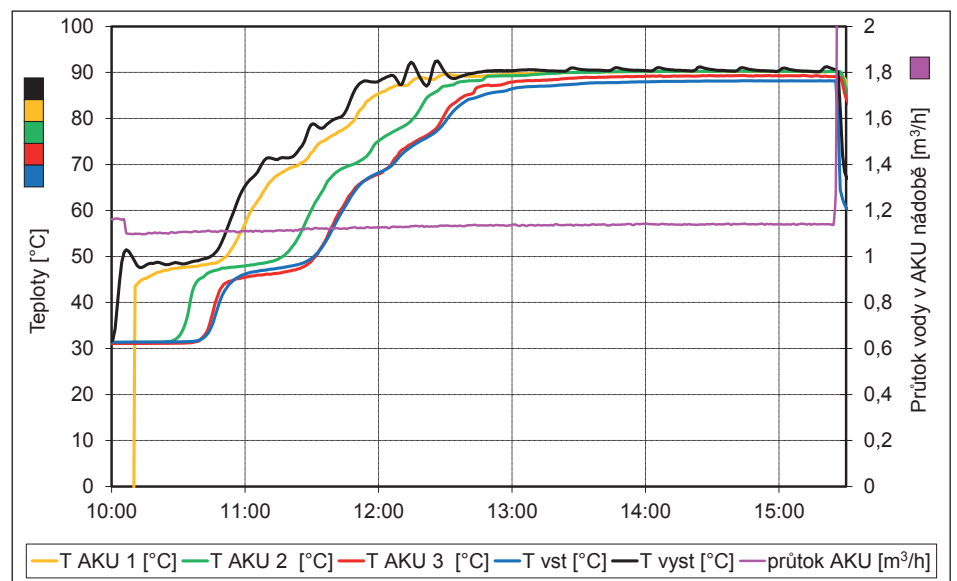


Obr. 2 Schéma zapojení kotle a akumulací nádob s Laddomatem a měřící místa teplot  
Fig. 2 Wiring diagram of the boiler and the thermal storage tank with Laddomat, temperature measurement points



Obr. 3 Průběh průtoku vody akumulací nádobou v závislosti na teplotě na výstupu z akumulací nádoby (T AKU 3) v režimu 3 – s Laddomatem s patronou na 83 °C

Fig. 3 Course of the water flow through the thermal storage tank in dependence on the temperature at the outlet of the storage tank (T AKU 3) in the mode 3 – with the Laddomat with the cartridge on 83 °C



Obr. 4 Průběh průtoku vody akumulací nádobou v režimu 5 – bez Laddomatu 21

Fig. 4 Course of the water flow through the thermal storage tank in the mode 5 – without Laddomat 21

průtok vody v soustavě. Průtok vody kotlem je ve všech fázích měření obdobný, ale než došlo k dostatečnému nahřátí kotlového okruhu, tak byl Laddomat uzavřen a otopná voda netekla do soustavy. Jakmile se nahřála voda v kotlovém okruhu, došlo k postupnému otevírání ventilu a do okruhu kotle se přimíchávala voda ze soustavy. Teprve po dostatečném nahřátí celého okruhu kotle byl Laddomat naplno otevřen a průtok kotlem byl stejný jako akumulací nádobou (tzv. závěrečná fáze funkce Laddomatu) – postupné zvyšování průtoku v závislosti na teplotách v soustavě je patrné z obr. 3. V případě absence Laddomatu byl průtok stabilní po celou dobu – viz obr. 4.

Pro spalovací zkoušky bylo použito měkké dřevo (smrk), tvrdé dřevo a směs odpadního dřeva (odřezky z pily – desky, hranoly).

### Testovací režimy

Při návrhu testovacích režimů se vycházelo z požadavků výrobců kotlů a předpokládaných uživatelských nastavení. Laddomat je opatřen výměnnými termostatickými patronami pro nastavení rozdílných požadovaných teplot (72 a 78 °C, volitelně také 83 a 87 °C) [5]. Pro ověření byly použity patrony pro 72 a 83 °C v porovnání s variantou bez Laddomatu.

Režimy 1–4 byly s Laddomatem s různými patronami – viz tab. 1.

Režimy 5–7 probíhaly bez Laddomatu. Aby bylo možné tyto režimy srovnat, byl průtok vody kotlem (a akumulací nádobou) nastaven na 1,1 m<sup>3</sup>/h, což odpovídá přibližně průtoku vody plně otevřeným Laddomatem – viz tab. 2.

### VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Nastavení a výsledky jednotlivých režimů měření jsou uvedeny v tab. 1 a 2.

V grafech na obr. 5 a 6 je patrný rozdíl v průběhu tepelného výkonu a teploty vstupní a výstupní vody v závislosti na použití Laddomatu – režim 3 a režim 5. Průběhy teploty spalin a koncentrace O<sub>2</sub> jsou v obou režimech srovnatelné. Žlutá čárkovaná čára znázorňuje čas, ve kterém došlo k nahřátí akumulací nádoby.

Z výsledků je také patrné, že v kotli neprobíhalo spalování optimálně. Za to je zodpovědná především volba termostatické patrony a nevhodně nastavená regulace. Při vhodně nastavené regulaci a vhodně zvolené termostatické patroně Laddomatu může kotel dosahovat daleko lepších výsledků koncentrace plynných emisí.

### ZÁVĚR

Z výsledků měření lze vyvodit následující závěry:

- Laddomat s postupným otevíráním uvolňuje výkon v otopné vodě do soustavy a kotel je s nízkou teplotou vratné vody provozován jen po minimální dobu, což omezuje problémy s dehtováním.
- Rozdíl mezi koncentracemi emisí znečišťujících látek při použití Laddomatu a bez něj byl v rámci uskutečněných experimentů (mimo režim 4) zanedbatelný.
- Při použití Laddomatu trvalo nabití akumulací nádoby cca o 0,6 h déle než bez něj. Nejdelší dobu nabíjení akumulací nádoby vyk-

Tab. 1 Porovnání doby nabíjení akumulací nádoby a emisí znečišťujících látek ve spalinách s Laddomatem 21 (72 °C, 83 °C)

Tab. 1 Comparison of the charging time of the thermal storage tank and emissions of the pollutants in the flue gas with Laddomat 21 (72 °C, 83 °C)

číslo režimu		1	2	3	4	
čas počátku měření	h:min	9:35	10:38	9:47	10:15	
čas konce měření	h:min	11:40	12:58	12:20	14:46	
palivo		tvrdé dřevo	odpad. dřevo	smrk	smrk	
měřený výkon kotle	kW	26,9	25,0	22,2	11,5	
teplota spalin	°C	186	173	172	120	
koncentrace O <sub>2</sub> v suchých spalinách	% <sub>obj.</sub>	13,0	18,5	13,2	14,3	
přebytek vzduchu	–	2,6	8,4	2,7	3,1	
koncentrace plynných emisí v suchých spalinách při referenčním kyslíku 10 %	CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	4 607	–	4 817	18 551
	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	249	–	175	117
	TOC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	442	–	371	5 716
	TZL	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	–	–	74	241
	CO <sub>2</sub>	g/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	209	–	198	195
doba nabíjení akumulací nádoby	h	2,08	2,33	2,55	4,52	
regulace		elektronická	elektronická	elektronická	termostatická	
Laddomat 21		ano	ano	ano	ano	
patrona Laddomatu 21	°C	72	72	83	83	

Pozn.: Výsledná koncentrace emisí NO<sub>x</sub> je přepočtena na NO<sub>2</sub>; (–) s ohledem na technické problémy nebyly tyto hodnoty stanoveny

Tab. 2 Porovnání doby nabíjení akumulací nádoby a emisí znečišťujících látek ve spalinách bez Laddomatu 21

Tab. 2 Comparison of the charging time of the thermal storage tank and the emissions of the pollutants in the flue gas without Laddomat 21

číslo režimu		5	6	7	
čas počátku měření	h:min	10:02	9:31	9:51	
čas konce měření	h:min	12:07	11:19	11:41	
palivo		smrk	smrk	smrk	
měřený výkon kotle	kW	25,3	26,9	27,3	
teplota spalin	°C	181	193	196	
koncentrace O <sub>2</sub> v suchých spalinách	% <sub>obj.</sub>	12,8	12,0	11,7	
přebytek vzduchu	–	2,5	2,3	2,2	
koncentrace plynných emisí v suchých spalinách při referenčním kyslíku 10 %	CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	5 536	2 581	4 751
	NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	171	189	170
	TOC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	444	125	469
	TZL	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	85	136	94
	CO <sub>2</sub>	g/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	197	200	199
doba nabíjení akumulací nádoby	h	2,08	1,80	1,83	
regulace		elektronická	elektronická	elektronická	
Laddomat 21		ne	ne	ne	
patrona Laddomatu 21	°C	–	–	–	

Pozn.: Výsledná koncentrace emisí NO<sub>x</sub> je přepočtena na NO<sub>2</sub>

zoval kotel s termostatickou regulací s Laddomatem (termostatická patrona 83 °C) – 4,52 h. Jednoduchá termostatická regulace kotle vyhodnotila, že soustava je již „natopená“, a začala omezovat přívod spalovacího vzduchu. Lze říci, že tato kombinace není vhodná. Zlepšení provozu kotle s termostatickou regulací by mohlo nastat v případě použití 72 °C termostatické patrony v Laddomatu.

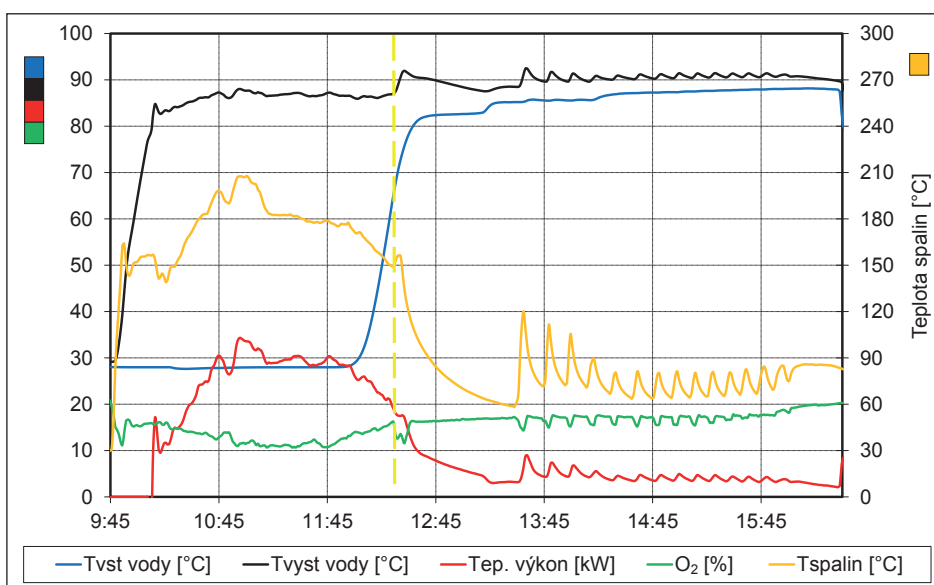
- Nejhoršího výsledku z pohledu emisí znečišťujících látek bylo dosaženo při režimu 4, kdy CO (oxid uhelnatý) byl výrazně vyšší než v ostatních režimech, TOC (celkový organický uhlík) byl mnohonásobně vyšší a TZL (tuhé znečišťující látky – prach) až cca 3x vyšší než v ostatních režimech. Jednalo se o pouhou termostatickou verzi regulace, a to znamená, že největší vliv na emise znečišťujících látek má regulace kotle v kombinaci s nevhodně zvolenou termostatickou patronou v Laddomatu. Elektronická regulace umožňuje lepší řízení přívodu spalovacího vzduchu a dokáže si poradit i v této situaci.
- Je třeba dbát na komplexní posouzení celé otopné soustavy, protože nevhodný návrh teploty termostatické patrony vzhledem k výkonu kotle, velikosti nádrže a průměru potrubí v kotlovém okruhu mohou negativně ovlivnit kvalitu spalování a dobu nabíjení akumulací nádrže.
- Samostatnou otázkou je kvalita obsluhy spalovacího zařízení [7]. Mimo používání kvalitního paliva je nutné, aby obsluha měla relevantní informaci o stavu nabití akumulací nádoby, podle které by věděla, kdy má přestat topit (příkladat). Sebelepší regulace si neporadí se situací, kdy 1) otopná soustava vyžaduje jen minimální výkon, 2) akumulací nádoba má naakumulováno – „je nabitá“ a 3) kotel je plný nespáleného paliva. Systém začne minimalizovat přívod spalovacího vzduchu, což je provázeno dehtováním, zhoršenou kvalitou spalování a vyšší produkcí emisí znečišťujících látek.

Kontakt na autora: SMOKEMAN@vsb.cz

Poděkování: Tento článek vznikl v rámci řešení projektu „INEF-G“ (NPU), „Příležitost pro mladé vědecké pracovníky“ (OPVK) – CZ.1.07/2.3.00/30.0016, „Měrné emise znečišťujících látek a provozní vlastnosti malých spalovacích zdrojů“ SP2014/125.

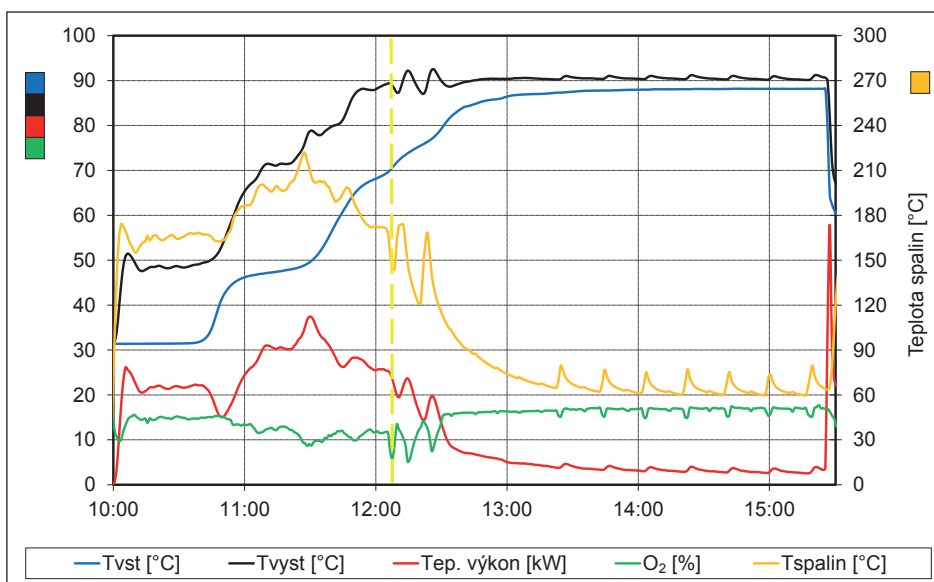
### Použité zdroje

- [1] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. 2012.
- [2] Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinf Feuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken. 2011.



Obr. 5 Průběh tepelného výkonu, teplot vstupní a výstupní vody, teploty spalin a koncentrace  $O_2$  a TZL (prachu) v režimu 3 – s Laddomatem 21

Fig. 5 Course of the thermal power, outlet and inlet water temperature, flue gas temperature and the  $O_2$  and TSP (dust) concentrations in the mode 3 – with Laddomat 21



Obr. 6 Průběh tepelného výkonu, teplot vstupní a výstupní vody, teploty spalin a koncentrace  $O_2$  a TZL (prachu) v režimu 5 – bez Laddomatu 21

Fig. 6 Course of the thermal power, outlet and inlet water temperature, flue gas temperature and the  $O_2$  and TSP (dust) concentrations in the mode 5 – without Laddomat 21

- [3] 1. BImSchV. Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen). 2010.
- [4] HORÁK, J., VOLNÁ, Z., TRAGAN, T., KRPEC, K. *Hodnocení kvality spalování uhlí a dřevěných pelet v kotli Ling 25*. In Sborník konference Spalování a Životní prostředí. Ostrava: 2001, s. 134-138, ISBN 80-7078-906-9.
- [5] BAŠTA, J. Nízkoteplotní koroze kotle. In: TZB-info [online]. 6. 11. 2001. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/719-nizkoteplotni-koroze-kotle>
- [6] *Návod k obsluze Laddomat 21 Laddningspaket. Jaroslav Cankář a syn ATMOS, 2014*. Dostupné z: [http://www.atmos.eu/czech/files/instalace-kotlu/Laddomat%2021\\_CZ\\_pdf](http://www.atmos.eu/czech/files/instalace-kotlu/Laddomat%2021_CZ_pdf)
- [7] HORÁK, J., KUBESA, P., HOPAN, F., KRPEC, K. Co nejvíce ovlivní Tvůj kour? In: TZB-info [online]. 14.1.2013. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>