



Využití akumulace tepla u otopných soustav s kotli na tuhá paliva

Návrh velikosti akumulátoru

Heat Accumulation Utilization at Heating Systems with Solid Fuels Boilers

Heat Accumulator Design

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

Článek uvádí základní pravidla pro stanovení potřebné velikosti akumulátoru tepla u otopných soustav s nízkou tepelnou kapacitou a s kotli na tuhá paliva. Stanovené závislosti je možno využít i pro stejné otopné soustavy s monovalentními tepelnými čerpadly typu voda – voda nebo země – voda, která poskytují prakticky konstantní výkon v průběhu otopného období.

Klíčová slova: kotel na tuhá paliva, účinnost, akumulátor tepla, nabíjení, vybíjení, doba cyklu

The article indicates the rules of the heat accumulator needed size at heating systems with low capacity and solid fuels boilers. The established dependences may be used also for the same heating systems with monovalent heat pumps of the water – water or earth – water types that provide practically constant output in the course of the heating period.

Key words: solid fuel boiler, efficiency, heat accumulator, charging-up, discharging, cycle time

1. ÚČEL AKUMULACE TEPLA

Otopné soustavy s deskovými nebo článkovými tělesy, kterých je většina, mají relativně malý obsah vody, nízkou tepelnou setrvačnost a tedy i nízkou schopnost akumulace tepla. Jsou-li vybaveny kotli na tuhá paliva (na koks, černé uhlí, hnědé uhlí, dříví a dřevní odpad), při snaze o zachování hospodárného provozu s nejvyšší možnou účinností kotle vzniká v průběhu otopné sezóny potřeba akumulovat přebytečný výkon kotle. I u správně nadimenzovaného kotle, který pokrývá 100 % výpočtové tepelné ztráty objektu, je například na začátku a konci otopného období při oblastní výpočtové teplotě $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ potřebný výkon pouze 22 % jmenovitého výkonu kotle. Jmenovitý výkon je tedy asi 5x vyšší než tento potřebný výkon v okrajové části otopného období. V tak širokém rozmezí nejsou kotle na tuhá paliva běžně regulovatelné. Při malém zatížení nedokonale spalují, klesá účinnost, zanášejí se teplosměnné plochy a celkově se plýtvá palivem. Pokud mají pracovat při maximální nebo nepříliš snížené účinnosti, musí být jejich přebytečný výkon akumulován. Kotle na koks a černé uhlí menších výkonů mají rozpětí účinnosti 78 až 82 %. Obtížně se přizpůsobují změně výkonu a je nejlépe, pracují-li plynule na jmenovitý výkon. Nové malé kotle na hnědé uhlí mají účinnost 74 až 78 % a jsou regulovatelné výjimečně od 40, obvykle od 50 do 100 % výkonu. Moderní kotle na dříví a dřevní odpad (zplynovací) mohou být regulovatelné již od 30 do 100 % výkonu. Při jmenovitém výkonu dosahují účinnosti od 84 do 88 %. Tyto kotle mohou pracovat plynule bez zatápění po převážnou část otopného období.

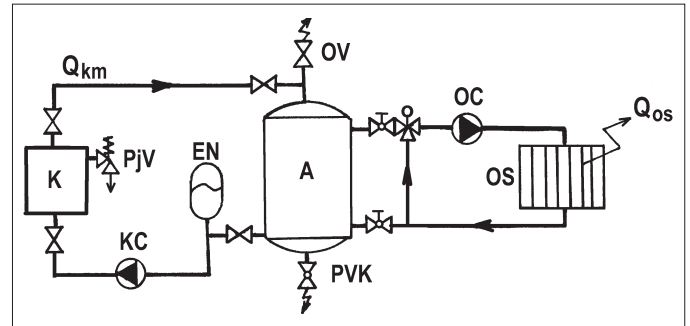
2. VÝCHOZÍ POŽADAVKY PRO STANOVENÍ VELIKOSTI AKUMULÁTORU

Základní schéma otopné soustavy s akumulátorem tepla je na obr. 1.

Doba cyklu zatápění

Pokud nemůže kotel pracovat při plynulé regulaci, je požadavkem obsluhy co nejmenší počet roztápění kotle, tedy co nejdelší doba cyklu τ_c . Ta se skládá z doby nabíjení τ_a (= době chodu kotle) a doby vybíjení τ_v (obr. 2).

Akumulátor se nabíjí z nejnižší teploty t_{amin} na nejvyšší přípustnou teplotu t_{amax} (u beztlakých akumulátorů 90, maximálně 95 $^{\circ}\text{C}$). Nejnižší teplota akumulátoru je dána teplotními parametry otopné soustavy. Nabíjecí výkon $Q_a = Q_{km} - Q_{os}$ je dán rozdílem jmenovitého výkonu kotle Q_{km} a výkonu otopné soustavy Q_{os} v daném čase.



Obr. 1 Základní zapojení akumulátoru tepla (bez obtoku)

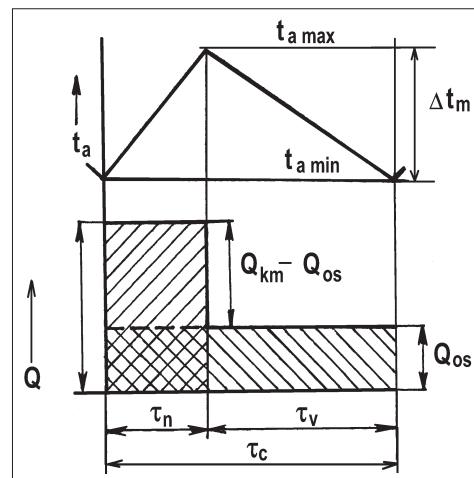
K – kotel, EN – expanzní nádoba, A – akumuláční nádoba, KC čerpadlo kotlového okruhu, OC – oběhové čerpadlo, OS – otopná soustava, PVK – plnicí a vypouštěcí kohout, PJV – pojistný ventil, OV – odvzdušňovací ventil

$$Q_a = Q_{km} - Q_{os}$$

Pro dobu nabíjení platí tepelná bilance akumulátoru

$$(Q_{km} - Q_{os}) \cdot \tau_a = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_m \quad [\text{kJ}],$$

ve které je doba nabíjení v sekundách, tepelné výkony Q v kW, hustota vody ρ v kg/m^3 , měrná tepelná kapacita vody c v kJ/kgK a rozdíl teplot Δt v K.



Obr. 2 Předpokládaný průběh nabíjecího a vybíjecího výkonu a odpovídající průběh teploty vody v akumulátoru

Zavede-li se bezrozměrný poměr $\kappa = Q_{os} / Q_{km} \leq 1$, bude po substituci doba nabíjení

$$\tau_n = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_m}{(1 - \kappa) \cdot Q_{km}} \quad [s] \quad (1)$$

Podobná bilance platí i pro dobu vybíjení, kdy akumulátor pouze kryje odběr otopné soustavy $Q_{os} = \kappa \cdot Q_{km}$ a teplota v něm klesá

$$\tau_v \cdot Q_{os} = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_m \Rightarrow \tau_v = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_m}{\kappa \cdot Q_{km}} \quad [s] \quad (2)$$

Sečtením vztahů (1) a (2) získáme dobu cyklu

$$\tau_c = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_m \left(\frac{1}{1 - \kappa} + \frac{1}{\kappa} \right) \frac{1}{Q_m} = \frac{V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t_m}{Q_{km}} \cdot \frac{1}{\kappa - \kappa^2} \quad [s] \quad (3)$$

Ze vztahu (3) je již možné určit hledaný objem akumulátoru, pokud byl stanoven požadavek na dobu cyklu τ_c a na výpočtový rozdíl teplot v akumulátoru Δt_m

$$V = \frac{Q_{km} \cdot \tau_c \cdot (\kappa - \kappa^2)}{\rho \cdot c \cdot \Delta t_m} \quad [m^3] \quad (4)$$

nebo se stanoví poměrný objem akumulátoru na 1 kW výkonu kotle

$$\frac{V}{Q_{km}} = \frac{\tau_c \cdot (\kappa - \kappa^2)}{\rho \cdot c \cdot \Delta t_m} \quad [m^3/kW] \quad (5)$$

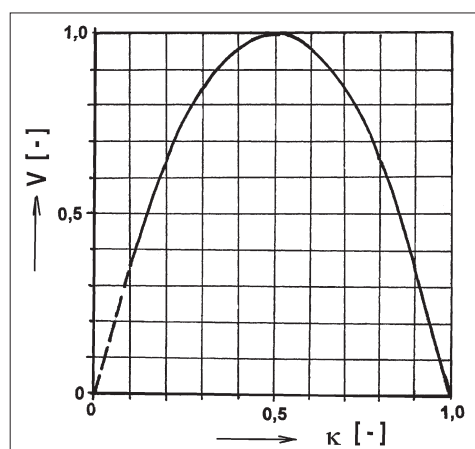
Ve velké většině případů se jedná o akumulaci tepla do vody. Do posledních vztahů lze za ρ dosadit přibližně 1000 kg/m³ a za měrnou tepelnou kapacitu $c = 4,186$ kJ/kg.K. Doba cyklu τ_c je zvykem vyjadřovat v hodinách, takže po převodu sekund na hodiny a dosazením uvedených hodnot obdržíme

$$V = Q_{km} \cdot 0,86 \cdot \tau_c \cdot (\kappa - \kappa^2) \cdot \frac{1}{\Delta t_m} \quad [m^3] \quad (6)$$

nebo

$$\frac{V}{Q_{km}} = 0,86 \cdot \frac{\tau_c}{\Delta t_m} \cdot (\kappa - \kappa^2) \quad [m^3/kW] \quad (7)$$

Ve vztazích (6) a (7) se dosazuje doba cyklu v hodinách. Při stanovení době cyklu a výpočtového rozdílu teplot v akumulátoru jeho objem (kromě konstantního výkonu kotle) závisí na sezónně proměnném poměru výkonů κ . Z výrazů (6) a (7) plyne, že objem akumulátoru bude největší pro poměr výkonů $\kappa = 0,5$, kdy hodnota závorky je také největší a činí 0,25. Proto platí, že pokud dimenzujeme akumulátor na tento poměr a požadovanou dobu cyklu atd., pak při provozu otopné soustavy při menším nebo větším zatížení je doba cyklu delší než požadovaná. Průběh relativní velikosti akumulátoru v závislosti na poměru κ je uveden na obr. 3.



Obr. 3
Závislost poměrné velikosti akumulátoru V na poměru κ

Stejně výsledky podle (6) a (7) lze aplikovat i na podobné otopné soustavy s tepelnými čerpadly typu voda – voda nebo země – voda, která dodávají při nabíjení akumulátoru prakticky konstantní výkon.

Rozdíl Δt_m tam bude představovat rozdíl vypínací a spínací teploty tepelného čerpadla, dobu cyklu lze požadovat např. obdobnou jako je doba vysokého tarifu za elektřinu a podobně.

3. PŘÍKLADY

a) Správně dimenzovaný kotel na černé uhlí

Objekt v klimatické oblasti -12 °C má výpočtovou tepelnou ztrátu 12 kW. Kotel má stejný jmenovitý výkon. Výkon se obtížně reguluje. Na konci a začátku otopného období je poměrný výkon $\kappa = 0,22$, což odpovídá 2,64 kW. Při výpočtové venkovní teplotě ($\kappa = 1$) vychází požadovaný objem akumulátoru nulový a akumulátor je vodou pouze protékán, nenabíjí se ani nevybíjí. Jako příklad volíme výpočtovou dobu cyklu 24 hodin (zatápění 1x denně). Jak je vpředu uvedeno, největší akumulátor vyjde pro $\kappa = 0,5$ (výkon otopné soustavy 6 kW)

$$V = 0,86 \cdot 12 \cdot (24 : 40) \cdot (0,5 - 0,25) = 1,55 \text{ m}^3.$$

Doba chodu kotle na jedno zatápění při těchto poměrech můžeme ověřit podle vztahu (1). Dosazením vychází 12 hodin. Na začátku a konci otopného období, kdy je $\kappa = 0,22$, vychází objem akumulátoru pro stejné podmínky jen 1,06 m³. Při ponechání akumulátoru 1,55 m³ se prodlouží doba cyklu v této době na 35 hodin na jedno zatápění. Doba chodu kotle na plný výkon se při tom zkrátí na 7,7 hodin na jeden cyklus.

b) Správně dimenzovaný kotel na hnědé uhlí s hospodárně regulovatelným výkonem od 40 do 100 %.

Otopná soustava z předchozího příkladu je vybavena tímto kotlem o jmenovitém výkonu 12 kW. Výkon je regulovatelný bez podstatného snížení účinnosti od 12 do 4,8 kW. Výkonu 4,8 kW by podle křivky četnosti teplot odpovídala venkovní teplota $+1$ °C, když nižší teploty jsou v této klimatické oblasti dosahovány průměrně po dobu 80 dnů. V této době pracuje kotel nepřetržitě bez cyklování. Otopné období trvá cca 220 dnů. Na zbývajících 140 dnů by byl potřebný akumulátor. Pokud by kotel mohl pracovat i v těchto 140 dnech na nejnižší výkon 4,8 kW, na začátku a konci otopného období je žádán výkon otopné soustavy jen 2,64 kW a nejnižší poměr výkonů pro toto období vychází $\kappa = 0,55$. Největší objem akumulátoru stanovíme opět ze vztahu (6) pro požadovanou dobu cyklu 24 hodin a rozdíl teplot 40 K

$$V = 0,86 \cdot 4,8 \cdot (24 : 40) \cdot (0,55 - 0,3025) = 0,613 \text{ m}^3.$$

Doba chodu kotle při těchto poměrech vychází 13,2 hodin na 1 cyklus dlouhý 24 hodin. Pokud bychom pro stejnou dobu cyklu (24 hodin) chtěli provozovat kotel na nominální výkon 12 kW, bude na konci otopného období poměr $\kappa = 0,22$ a objem akumulátoru vyjde

$$V = 1,06 \text{ m}^3.$$

c) Předimenzovaný kotel o výkonu 20 kW použitý na dům s výpočtovou ztrátou 12 kW (předimenzování o 66,7 %)

Při výpočtových poměrech je $\kappa = 12 : 20 = 0,6$. Pro dobu cyklu 24 hodin a rozdíl teplot 40 K vychází objem akumulátoru 2,5 m³.

Na začátku a konci otopného období je $\kappa = 0,12$ a za jinak stejných podmínek by pro toto období vyšel objem akumulátoru $V = 1,25$ m³. Pokud se instaluje akumulátor o objemu 2,5 m³, prodlouží se doba cyklu v tomto období na 48 hodin. Ve skutečnosti bude na okraji otopného období doba cyklu ještě delší, protože se sníží teplota vratné vody a zvýší se využitelný rozdíl teplot vody v akumulátoru. ■