

Ing. Zuzana ČERMANOVÁ, Ph.D.¹⁾
 doc. Ing. Jana PERÁČKOVÁ, Ph.D.²⁾
 Ing. Roman VAVŘIČKA, Ph.D.³⁾

¹⁾ Termocom, s.r.o., Bratislava
²⁾ STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra TZB
³⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

Metodika dimenzovania zásobníkových ohrievačov pre bytové domy podľa odberu teplej vody

Dimensioning Methodology for Storage Water Heaters for Apartment Buildings According to the Hot Water Consumption

Recenzent
 Ing. Stanislav Toman

Článok popisuje novú metodiku na návrh zásobníkového ohrievača pre bytové domy, ktorá vznikla na základe meraní *in situ* v bytových domoch v Bratislave. Návrh objemu zásobníkových ohrievačov bol určený na základe výsledkov ročných meraní odberu teplej vody a príkon ohrievačov bol určený na základe meraní energetickej bilancie systému prípravy a distribúcie teplej vody v bytových domoch. Táto metodika návrhu vystihuje súčasné požiadavky na ohrev teplej vody v bytových domoch v Čechách aj na Slovensku, môže byť praktickou pomôckou pre projektantov.

Kľúčová slova: teplá voda, zásobník teplej vody, príprava teplej vody, návrh zásobníku teplej vody

The article describes a new methodology for dimensioning of storage water heaters for apartment buildings based on *in situ* measurements in apartment buildings in Bratislava. The volume sizing of the storage heaters was determined on the basis of the results of the annual measurements of the hot water consumption, while the power input of the heaters was determined on the basis of the energy balance measurements of the hot water distribution system in residential buildings. This design methodology captures the current requirements for hot water preparation in residential buildings in the Czech Republic and also in Slovakia and it can be used as a practical aid for designers.

Keywords: hot water, hot water storage tank, hot water preparation, hot water storage tank sizing

ÚVOD

Projektanti stoja často pred dilemou, ako správne navrhnuť zásobníkový ohrievač v bytových domoch. Keďže návrh zásobníkového ohrievača pre bytové domy podľa slovenskej normy [4] vychádza veľmi predimenzovaný, bola na Slovensku na základe výsledkov meraní *in situ* v bytových domoch vypracovaná nová metodika na návrh ohrievačov v rámci riešenia dizertačnej práce [1].

Táto metodika pozostáva z návrhu objemu a príkonu zásobníkového ohrievača. Návrh objemu zásobníkového ohrievača bol určený z ročných meraní spotreby teplej vody v bytových domoch v Bratislave. Príkon zásobníkového ohrievača bol stanovený na základe meraní energetickej bilancie systému prípravy a distribúcie teplej vody v bytových domoch.

Keďže situácia odberu teplej vody na Slovensku a v Čechách je veľmi podobná, táto metodika, vzhľadom na jej jednoduchosť pri výpočte, by mohla byť vhodná aj pre aplikáciu v Českej republike.



Obr. 1 Bytové domy, ktoré boli využité pri experimentálnych meraniach a pohľad do ich odovzdávacích staníc: A) bytový dom s 156 obyvateľmi; B) bytový dom s 196 obyvateľmi; C) bytový dom s 306 obyvateľmi; D) bytový dom s 159 obyvateľmi

Fig. 1 Residential houses used for experimental measurements and their exchange stations: A) apartment house with 156 inhabitants; B) apartment house with 196 inhabitants; C) apartment house with 306 inhabitants; D) apartment house with 159 inhabitants

Článek zároveň porovnáva na praktickom príklade princípy návrhu zásobníkového ohrievača pre bytové domy podľa českej a nemeckej normy a novej slovenskej metodiky stanovenej podľa odberu teplej vody.

METODIKA DIMENZOVARIA OBJEMU ZÁSObNÍKOVÉHO OHRIEVAČA PRE BYTOVÝ DOM PODĽA ODBERU TEPLEJ VODY

Na správny návrh objemu zásobníkového ohrievača na prípravu teplej vody (ďalej TV) v bytovom dome je nevyhnutné poznať odber TV v bytovom dome.

Tento odber sa v navrhovanej metodike určoval z výsledkov experimentálnych meraní. V rámci výskumu autorkinej dizertačnej práce boli merané hodinové odbery teplej vody počas roka v štyroch bytových domoch v Bratislave (obr. 1). Išlo o panelákové bytové domy v mestskej časti Bratislava Dúbravka, kde žije väčšina pracujúcich obyvateľov. Rozloženie obyvateľstva bolo cca 20 % študenti, 60 % pracujúci a 20 % dôchodcovia.

Ročné experimentálne meranie spotreby teplej vody prebehlo v odovzdávacích staniciach bytových domov (obr. 2), kde bol každú hodinu meraný vodomermom s vysielateľom impulzov objemový prietok studenej vody vstupujúcej do doskového výmenníka tepla na prípravu teplej vody. Jednotlivé namerané údaje boli prepočítané na spotrebu teplej vody v konkrétnej hodine. Hodnoty boli následne prerátané na jedného obyvateľa bytového domu a vypracovaná analýza priemernej hodinovej spotreby teplej vody počas roka.

Z experimentálnych meraní vyplynulo, že najväčší (špičkový) odber teplej vody nastáva v nedeľu od 21.00 do 22.00 h. Táto priemerná maximálna hodinová spotreba teplej vody na 1 obyvateľa bytového domu sa mení s počtom obyvateľov bytového domu a dosahuje hodnotu od 4,0 l/os.h pre bytový dom, ktorý má 300 obyvateľov, a do 4,5 l/os.h pre bytový dom so 150 obyvateľmi (obr. 3 až obr. 5). Aby bol návrh veľkosti zásobníkového ohrievača optimálny, je treba navrhnuť ohrievač tak, aby bol pokrytý tento špičkový odber.

Jednotlivé grafy treba čítať tak, že sa jedná o odber teplej vody v časovom rozpätí hodiny. Takže, ak sa napr. modrý stĺpec s hodnotou 1,4 l/h na obr. 1 nachádza napríklad nad hodinou 1:00, znamená to, že ide o priemerný odber teplej vody na 1 obyvateľa počas pracovných dní v čase od 0.00 do 1.00 h.

Matematický model návrhu objemu zásobníkových ohrievačov pre bytové domy podľa odberu teplej vody

Objem zásobníkových ohrievačov V_z sa vypočíta zo vzťahu (1):

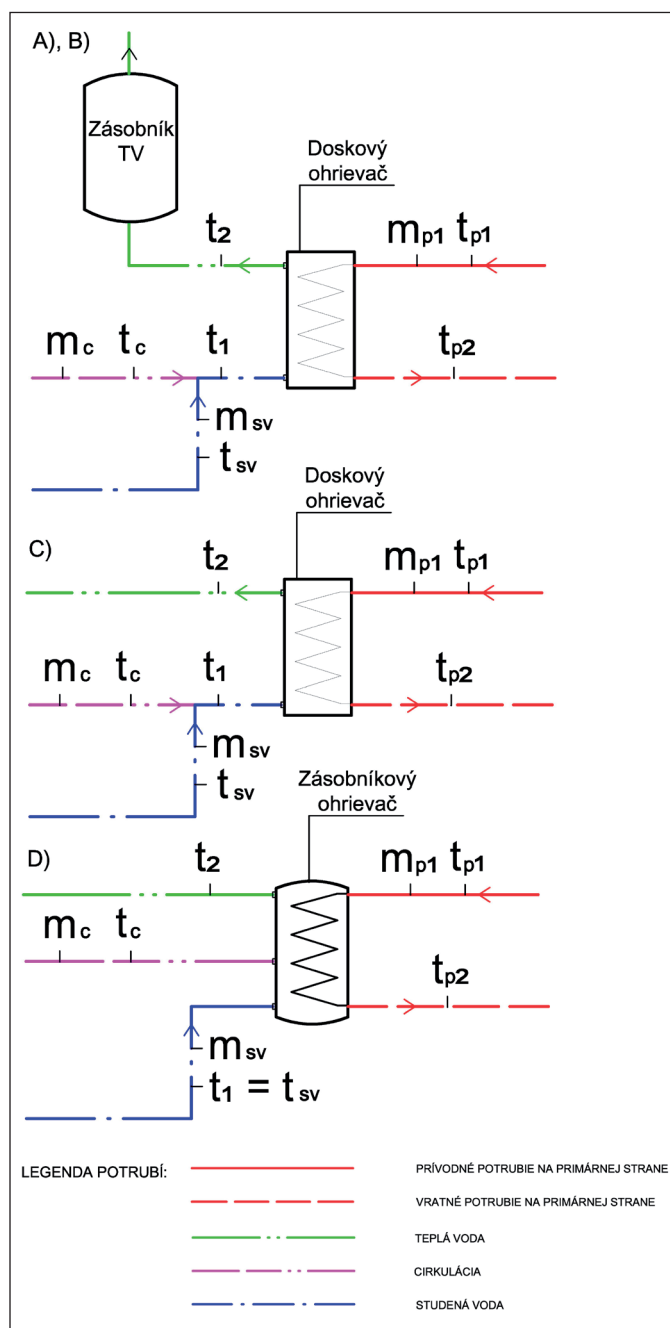
$$V_z = n \cdot q_{\max} \cdot \tau \quad [1]$$

kde je:

- n počet obyvateľov bytového domu,
- $q_{\max}$ priemerná maximálna hodinová potreba teplej vody na 1 obyvateľa bytového domu [l/os. h], $q_{\max}$ závisí od počtu obyvateľov v bytovom dome:
 - pre bytový dom do 150 obyvateľov volíme $q_{\max} = 4,5$ l/os.h,
 - bytový dom od 150 do 250 obyvateľov volíme $q_{\max} = 4,25$ l/os.h,
 - bytový dom od 250 do 300 obyvateľov volíme $q_{\max} = 4,0$ l/os.h,
- τ doba ohrevu [h], volíme $\tau = 1$ h.

Poznámka: Určenie $q_{\max}$, priemernej maximálnej hodinovej potreby teplej vody na 1 obyvateľa bytového domu vychádzalo z autorkiných ročných experimentálnych meraní, ktoré sa uskutočnilo na bytových domoch s počtom obyvateľov cca od 150 do 300.

Maximálny odber nastal priemerne v nedeľu v čase od 21.00 do 22.00 h (obr. 3, 4 a 5). Preto sa bude počítať s touto časovou špičkou a s touto maximálnou priemernou hodnotou. Na presnejšie určenie $q_{\max}$ by bolo vhodné poznať odbery TV z oveľa väčšej vzorky bytových domov s rôznym počtom obyvateľov.

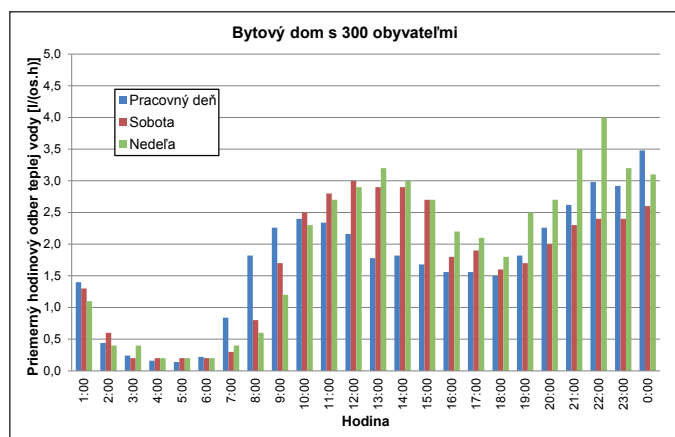


Obr. 2 Zjednodušené schémy prípravy teplej vody v jednotlivých bytových domoch s meranými veličinami. Prehľad meraných veličín:

- m_{p1} hmotnostný prietok vykurovacej vody na primárnej strane [kg/s],
- m_{sv} hmotnostný prietok studenej vody vstupujúcej do doskového výmenníka tepla na prípravu teplej vody (skutočne odobraná teplá voda) [kg/s],
- m_c hmotnostný prietok vody v cirkulačnom potrubí [kg/s],
- t_{p1} teplota vody v prívodnom potrubí na primárnej strane [°C],
- t_{p2} teplota vody vo vratnom potrubí na primárnej strane [°C],
- t_1 teplota vody vstupujúcej do ohrievača [°C],
- t_2 teplota teplej vody vystupujúcej z ohrievača [°C],
- t_c teplota vody v cirkulačnom potrubí [°C],
- t_{sv} teplota studenej vody.

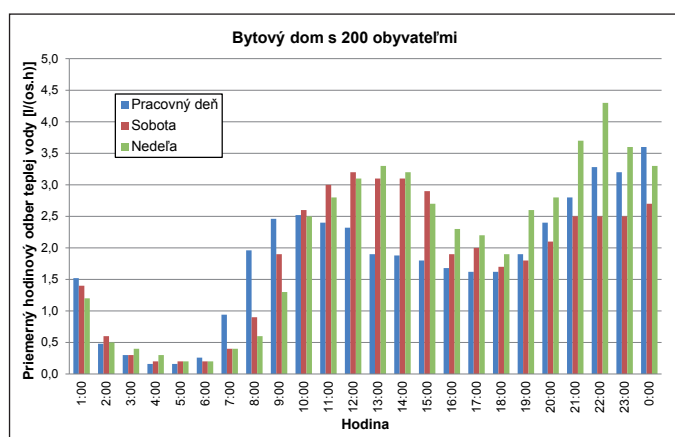
Fig. 2 Simplified schemes of hot water preparation in the individual residential houses with measured quantities. Summary of the measured quantities:

- m_{p1} mass flow rate of heating water on the primary side [kg/s],
- m_{sv} mass flow rate of cold water entering the plate heat exchanger for hot water preparation (really utilized hot water) [kg/s],
- m_c mass flow rate of water in the circulation pipeline [kg/s],
- t_{p1} temperature of water in the supply pipeline of the primary side [°C],
- t_{p2} temperature of water in the return pipeline of the primary side [°C],
- t_1 temperature of water entering the heater [°C],
- t_2 temperature of hot water exiting the heater [°C],
- t_c temperature of water in the circulation pipeline [°C],
- t_{sv} temperature of cold water [°C].



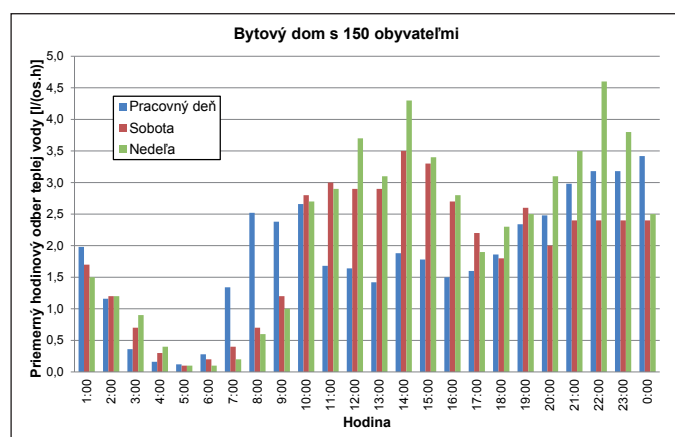
Obr. 3 Priemerný hodinový odber teplej vody v bytovom dome na obyvateľa počas dní v týždni pre bytový dom s 300 obyvateľmi

Fig. 3 Average hourly hot water consumption in a residential building per capita during the week for a residential building with 300 inhabitants



Obr. 4 Priemerný hodinový odber teplej vody v bytovom dome na obyvateľa počas dní v týždni pre bytový dom s 200 obyvateľmi

Fig. 4 Average hourly hot water consumption in a residential building per capita during the week for a residential building with 200 inhabitants



Obr. 5 Priemerný hodinový odber teplej vody v bytovom dome na obyvateľa počas dní v týždni pre bytový dom s 150 obyvateľmi

Fig. 5 Average hourly hot water consumption in a residential building per capita during the week for a residential building with 150 inhabitants

METODIKA NA URČENIE PRÍKONU ZÁSObNÍKOVÉHO OHRIEVAČA PRE BYTOVÉ DOMY

Pre správny návrh zdroja na prípravu teplej vody je treba poznať energetickú (minéno tepelnú) bilanciú systému prípravy a distribúcie teplej vody v bytovom dome.

Na určenie energetickej bilancie systému na prípravu teplej vody treba poznať nasledujúce druhy energie:

- ☐ energiu dodanú do systému na ohrev teplej vody na primárnej strane,
- ☐ energiu odebranú v systéme na ohrev teplej vody na sekundárnej strane,
- ☐ energiu stratenú pri cirkulácii a v distribučnom systéme teplej vody,
- ☐ energiu potrebnú na ohrev skutočne odobratej teplej vody.

Energia dodaná do systému na ohrev teplej vody na primárnej strane je celková energia, ktorá bola dodaná do systému na prípravu teplej vody buď dodávateľom tepla, alebo priamo z kotolne bytového domu. Energiu odebranú v systéme na ohrev teplej vody na sekundárnej strane tvorí súčet energie stratenej pri cirkulácii a v distribučnom systéme teplej vody a energie potrebnej na ohrev skutočne odobratej teplej vody (súčet bytových vodomeroch a ostatných spotrieb vody na upratovanie domu, potrebu nebytových priestorov apod.). Podiel medzi energiou dodanou na primárnej strane a na sekundárnej strane sa dá vyhodnotiť ako účinnosť systému na prípravu teplej vody. Na určenie potrebného príkonu zásobníkového ohrievača je treba poznať energiu dodanú do systému na ohrev teplej vody na primárnej strane a dobu ohrevu.

Tab. 1 Účinnosť ohrevu TV pre jednotlivé energetické médiá podľa [6]

Tab. 1 HW heating efficiency for individual energy sources according to [6]

Druh paliva	Spôsob transformácie	Účinnosť výroby tepla (%)
zemný plyn	štandardný kotol – starý	83
	štandardný kotol – nový	88
	nízkoteplotný kotol – starý	90
	nízkoteplotný kotol – nový	93
	kondenzačný kotol – nový	98,5
koks čiernouhoľný	kotol na tuhé palivo	74
čierne uhlie triedené	kotol na tuhé palivo	72
lignit, hnedé uhlie triedené	kotol na tuhé palivo	68
ľahký vykurovací olej	štandardný kotol – starý	80
	štandardný kotol – nový	85
	nízkoteplotný kotol – starý	86
	nízkoteplotný kotol – nový	91
elektrina	elektrické vykurovanie	99
	elektrický ohrev teplej vody	99
drevené peletky	kotol na biomasu	85
drevená štiepka	kotol na biomasu	76
kusové drevo	kotol na biomasu	68
kusové drevo	kotol na biomasu so splyňovaním	83
elektrina	tepelné čerpadlo – voda, vzduch, zem (el. motor)	270

Poznámka: Pre stanovenie účinnosti ohrevu teplej vody bola použitá účinnosť výroby tepla uvedená v Prílohe č. 2 vyhlášky č. 625/2006 Z. z. Účinnosti zdrojov tepla stanovené týmto právnym predpisom môžu s dostatočnou presnosťou poslúžiť i pre stanovenie účinnosti ohrevu teplej vody. Takto sa zohľadnia energetické straty, ktoré nastávajú pri prenose tepelnej energie z primárnej do sekundárnej strany ohrievača teplej vody.

Matematický model návrhu príkonu zásobníkových ohrievačov pre bytové domy

Príkon zásobníkových ohrievačov P na sekundárnej strane sa vypočíta zo vzťahu (2):

$$P = \frac{V_z \rho c (t_2 - t_1)}{\eta_D \tau} \quad [W] \quad (2)$$

kde je:

- V_z objem zásobníkového ohrievača [m^3],
- c merná tepelná kapacita vody [$Wh/kg \cdot K$],
- ρ hustota vody [kg/m^3],
- t_2 teplota teplej vody vystupujúca zo zásobníka ($55^\circ C$),
- t_1 teplota studenej vody vstupujúca do zásobníka ($10^\circ C$),
- τ doba ohrevu [h], volím $\tau = 1$ h,
- η_D účinnosť ohrevu TV; jednotlivé účinnosti sú závislé od spôsobu ohrevu TV, je odporúčané vybrať z prílohy č. 2 Vyhlášky č. 625/2006 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov, v platnom znení (tab. č. 1),
- η_D podiel energie potrebnej na ohrev skutočne využitej teplej vody k energii dodanej do systému na ohrev teplej vody na sekundárnej strane (tj. účinnosť distribučného rozvodu sekundárnej strany systému TV) ktorá závisí od hrúbky izolácie distribučného systému [1],
 - ak hrúbka izolácie je ≤ 10 mm, $\eta_D = 0,70$,
 - ak hrúbka izolácie je ≥ 10 mm a $\leq DN$ potrubia, $\eta_D = 0,85$,
 - ak hrúbka izolácie je $\geq DN$ potrubia, $\eta_D = 0,95$.

Postup, z ktorého sa vychádzalo pri návrhu matematického modelu na výpočet príkonu

Výpočet príkonu zásobníkového ohrievača na primárnej strane sa vypočíta:

$$P = \frac{E_1}{\tau} \quad [W] \quad (3)$$

kde je:

- E_1 energia dodaná do systému na ohrev teplej vody na primárnej strane [Wh],
- τ čas ohrevu [h], volíme napr. $\tau = 1$ hod.

Energia dodaná do systému na ohrev teplej vody na primárnej strane E_1 sa vypočíta podľa vzťahu:

$$E_1 = \frac{E_2}{\eta_D} = \frac{E_{2z} + E_{2D}}{\eta_D} \quad (4)$$

kde je:

- E_2 energia odobraná v systéme na ohrev teplej vody na sekundárnej strane [Wh],
- E_{2z} energia potrebná na ohrev teplej vody v zásobníkovom ohrievači [Wh],
- E_{2D} energia potrebná na pokrytie energetických strát v distribučnom systéme TV [Wh],
- η_D účinnosť ohrevu TV, jednotlivé účinnosti závisia od spôsobu ohrevu TV, je odporúčané vybrať z prílohy č. 2 Vyhlášky č. 625/2006 Z. z. [6].

Energia potrebná na ohrev teplej vody v zásobníkovom ohrievači E_{2z} sa vypočíta ako:

$$E_{2z} = V_z \rho c (t_{p1} - t_{p2}) \quad (5)$$

kde je:

- V_z potrebný objem zásobníkového ohrievača [m^3],
- ρ hustota vody [kg/m^3],

- c merná tepelná kapacita vody [$Wh/kg \cdot K$], $c = 1,163$ Wh/kg·K,
- t_{p1} teplota vykurovacej vody v prívodnom potrubí [K],
- t_{p2} teplota vykurovacej vody vo vratnom potrubí [K],
- E_{2D} energia potrebná na pokrytie energetických strát v distribučnom systéme teplej vody by sa dala exaktne vypočítať podľa ČSN (STN) EN 15316-3-2; výpočet podľa tejto normy je však náročný a rozsiahly, pričom berie do úvahy jednotlivé dĺžky a DN potrubí, rovnako ako hrúbky ich izolácií a ďalšie parametre.

V rámci experimentálnych meraní v dizertačnej práci bol určený podiel energie potrebnej na ohrev skutočne odobratej teplej vody a energie stratenej v distribučnom systéme teplej vody k celkovej dodanej energii pre bytové domy s rôznymi distribučnými sústavami.

Z meraní vyplynulo, že v posudzovaných bytových domoch z energie odobratej v systéme na ohrev teplej vody na sekundárnej strane (4) prislúcha priemerne cca 50 % energie na tepelné straty distribučného systému a 50 % na ohrev skutočne odobratej teplej vody. Ale v čase maximálnej odberovej špičky TV, na ktorú je dimenzovaný zásobník, je pomer jednotlivých druhov energií rozdelený takto:

- 15 % energie pripadá na tepelné straty distribučného systému,
- 85 % na ohrev reálne odobratej teplej vody.

Percentuálny podiel tepelných strát v distribučnom systéme závisí predovšetkým od kvality a hrúbky tepelnej izolácie potrubia teplej vody. Preto sa navrhuje uvažovať vo výpočte, že z energie dodanej do systému na ohrev teplej vody na sekundárnej strane bude prislúchať pri izolácii do 10 mm 30 % energie na tepelné straty distribučného systému a 70 % na ohrev skutočne odobratej teplej vody, pri tepelnej izolácii väčšej ako 10 mm bude prislúchať 15 % energie na tepelné straty distribučného systému a 85 % na ohrev skutočne odobratej teplej vody, a ak budú potrubia veľmi dobre zaizolované, kde hrúbka izolácie potrubia bude rovná alebo väčšia ako dimenzia potrubia, bude prislúchať 5 % energie na tepelné straty distribučného systému a 95 % na ohrev skutočne odobratej teplej vody. Ďalej platí, že

$$E_{2z} = E_2 \eta_D \quad (6)$$

a

$$E_{2D} = E_2 (1 - \eta_D) \quad (7)$$

PRÍKLAD NÁVRHU ZÁSOBNÍKOVÉHO OHRIEVAČA PODĽA ODBERU TEPLEJ VODY

V bytovom dome s 200 osobami sa pripravuje teplá voda v zásobníkovom ohrievači s nepriamym ohrevom z kondenzačného kotla. Distribučná sústava je pôvodná, nedostatočne zaizolovaná. Aká bude veľkosť zásobníka V_z aký bude príkon ohrievača?

Riešenie:

- n počet obyvateľov bytového domu, $n = 200$,
- q_{max} priemerná maximálna hodinová potreba teplej vody na 1 obyvateľa bytového domu [$l/os \cdot h$], q_{max} závisí od počtu obyvateľov v bytovom dome, pre bytový dom od 150 do 250 obyvateľov je doporučene voliť $q_{max} = 4,25$ l/os·h,
- Poznámka:* Určenie q_{max} priemernej maximálnej hodinovej potreby teplej vody na 1 obyvateľa bytového domu vychádzalo z autorkiných ročných experimentálnych meraní, ktoré sa uskutočnilo na bytových domoch s počtom obyvateľov cca od 150 do 300. Maximálny odber nastával priemerne v nedeľu v čase od 21.00 do 22.00 h. Pre bytový dom s 200 obyvateľmi obr. 4. a vzorec (1).

τ doba ohrevu zásobníku [h] (základným predpokladom je pre náš prípad $\tau = 1$ h),
 c merná tepelná kapacita vody [Wh/kg.K], pri 55 °C $c = 1,163$ Wh/kg.K,
 ρ hustota vody [kg/m³], pri 55 °C $\rho = 985,7$ kg/m³,
 t_2 teplota teplej vody vystupujúca zo systému (55 °C),
 t_1 teplota studenej vody vstupujúca zo systému (10 °C),
 η_o účinnosť ohrevu TV (kondenzačný kotol = 0,985),
 η_D účinnosť distribučného rozvodu sekundárnej strany systému TV (distribučná sústava je pôvodná, nedostatočne zaizolovaná $\eta_D = 0,70$).

Návrh objemu zásobníkového ohrievača podľa vzťahu (1):

$$V_z = n \cdot q_{max} \cdot \tau = 200 \cdot 4,25 \cdot 1 = 850 \quad [l]$$

Návrh príkonu zásobníkového ohrievača podľa vzťahu (2):

$$P = \frac{V_z \rho c (t_2 - t_1)}{\eta_o \eta_D \tau} = \frac{0,85 \cdot 985,7 \cdot 1,163 \cdot (55 - 10)}{0,7 \cdot 0,985 \cdot 1} = 63,6 \quad [kW]$$

Pre bytový dom s 200 obyvateľmi by bol vhodný zásobníkový ohrievač s objemom 850 litrov a príkonom 63,59 kW.

Poznámka recenzenta: Součástí komplexního návrhu musí být řešení konkrétního typu zdroje tepla ve vazbě na typ a parametry zásobníku TV. V uvedeném příkladu to znamená navrhnout kondenzační kotel, který umožňuje při přípravě TV takovou výstupní teplotu otopné (primární) vody odpovídající požadavkům na výkon konkrétní teplosměnné vložky zásobníku TV s příslušným průtokem otopné vody.

Srovnání návrhu zásobníkového ohrievača podľa jednotlivých predpisov

Na porovnanie novej metodiky návrhu podľa odberu TV so súčasne platnými normami sú nižšie uvedené spôsoby výpočtu zásobníkového ohrievača pre bytový dom s 200 obyvateľmi aj podľa noriem DIN 4708 a ČSN 06 0320.

Návrh podľa DIN 4708

Podľa DIN 4708 [3] sa určí pre návrh zásobníkového ohrievača charakteristické číslo potreby N . Hodnota N závisí od počtu bytov jednej skupiny, počtu obyvateľov v jednotlivých skupinách bytov a potreby tepla na odberné miesto, ktoré sa započítava (väčšinou je to vaňa). Podľa charak-

teristického čísla potreby sa objem zásobníka určí buď z tabuliek podľa normy alebo sa priamo priradí zásobník podľa katalógovej hodnoty N_L . Výpočet charakteristického čísla N vychádza z potreby tepla na jeden odber z určujúceho odberného miesta a z počtu obyvateľov.

Výpočet charakteristického čísla potreby budovy N

Výpočet charakteristického čísla potreby N k určeniu objemu zásobníka pre daný bytový dom sa počíta podľa vzťahu:

$$N = \frac{\sum (n \cdot p \cdot w_v)}{Q_N} \quad (8)$$

kde je:

n počet bytov jednej skupiny,
 p počet obyvateľov v byte,
 w_v potreba tepla na odberné miesto [Wh], (napr. pre štandardný vaňový kúpeľ je potreba tepla na 1 odber 5820 Wh),
 Q_N charakteristická potreba tzv. jednotkového bytu $Q_N = 1 \cdot 3,5 \cdot 5820 = 20370$ kWh (predpokladá sa, že typický nemecký byt má 4 izby, 3,5 obyvateľa a vaňu s veľkosťou 1600 mm s potrebou tepla na 1 odber 5820 Wh).

Pre zjednodušenie porovnania jednotlivých noriem budeme počítať, že všetky byty v bytovom dome budú rovnaké, s vaňovým kúpeľom s potrebou tepla na 1 odber 5820 Wh a celkový počet obyvateľov v bytovom dome bude 200. Potom $N = 200 \cdot 5820 / 20370 = 57,15$.

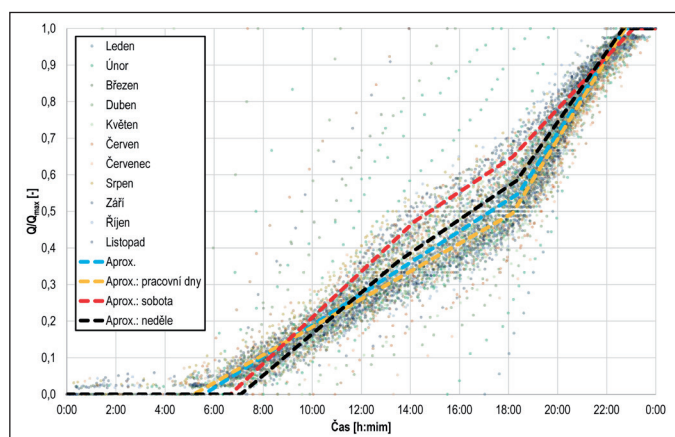
V technických podkladoch výrobcu nájdeme zásobník s charakteristickým číslom N_L , pričom musí platiť podmienka $N_L > N$. V tomto prípade treba navrhnúť z technických podkladov zásobník s N_L viac ako 57. Ak v technických podkladoch výrobcu nie je uvedená hodnota N_L výrobcu, dá sa predbežný objem zásobníka určiť podľa normatívnej tabuľky. Pre určenie príkonu ohrievača Φ_{DHW} sa pre charakteristické číslo potreby budovy $N = 58$ určí z tabuľky 2 príkon ohrievača $\Phi_{DHW} = 58,2$ kW. Teplá voda sa ohrieva na teplotu 55 °C, preto potrebný objem sa bude určovať zo stĺpca úžitkový objem V pre teplotu 55 °C. Pre charakteristické číslo $N = 58$ je potrebný ohrievač s objemom v tomto prípade 1694 litrov.

Podľa DIN 4708 je potrebný objem zásobníkového ohrievača na ohrev teplej vody pre 200 osôb v bytovom dome 1694 litrov a príkonom 58,2 kW.

Tab. 2 Závislosť charakteristického čísla potreby N od príkonu a objemu zásobníka pri teplote vody 55 °C [3]

Tab. 2 Dependence of the demand characteristic value N on the energy input and volume of a storage tank for a water temperature of 55 °C [3]

N	Q_{2T}	$Q_{1,0}$	2T	Φ_{DHW}	Q_{10}	ÚŽITKOVÝ OBJEM ZÁSOBNÍKA V V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ T_1			$Q_w = Q_{1,0} - \Phi_{DHW} \cdot 1h$	2 t
						50 °C	55 °C	60 °C		
-	kWh	kWh	h	kW	kWh	l			kWh	h
46	307,2	121,9	6,47	47,5	40,5	1599	1421	1279	74,4	0,44
47	313,4	124,0	6,48	48,4	41,1	1625	1444	1300	75,6	0,44
48	319,7	126,1	6,48	49,3	41,6	1651	1467	1321	76,8	0,44
49	325,9	128,2	6,49	50,2	42,1	1677	1490	1341	78,0	0,44
50	332,2	130,3	6,50	51,1	42,7	1702	1513	1362	79,2	0,44
52	344,6	134,5	6,52	52,9	43,7	1754	1559	1403	81,6	0,44
54	357,0	138,6	6,53	54,7	44,8	1804	1604	1444	83,9	0,44
56	369,5	142,7	6,55	56,4	45,8	1855	1649	1484	86,3	0,44
58	381,9	146,9	6,56	58,2	46,9	1905	1694	1524	88,7	0,44
60	394,1	151,0	6,57	60,0	47,9	1955	1738	1564	91,0	0,44



Obr. 6 Aproximační křivky denní spotřeby tepla pro přípravu TV pro bytový dům s celkem 150 obyvateli [7]

Fig. 6 Approximation curves of daily heat consumption for HW preparation for a residential building with total number of 150 inhabitants [7]

Diskusia k DIN 4708

Podľa nemeckej technickej normy DIN 4708 [3] sa určí pre návrh zásobníkového ohrievača najprv charakteristické číslo potreby N . Podľa tohto čísla sa objem zásobníka určí buď empiricky z tabuľky, alebo sa priamo priradí zásobník podľa katalógovej hodnoty N_L . Výpočet charakteristického čísla N vychádza z potreby tepla na jeden odber z určujúceho odberného miesta a z počtu obyvateľov.

Návrh podle ČSN 06 0320

(autor Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.)

Návrh zásobníka TV podle ČSN 06 0320 [2] je založený na stanovení potřeby tepla dle křivek odběru a dodávky tepla. Křivka dodávky tepla do systému přípravy teplé vody je sestavena podle požadavků na provozní vlastnosti zdroje tepla. Křivka odběru pak reprezentuje časové potřeby dodávky teplé vody v závislosti na počtu obyvatel. Původní předpoklad normy ČSN 06 0320 vychází z měření bytových domů před cca 30 lety. Navíc hodnoty používané jako měřné jsou v normě stanoveny z maximálních měřených hodnot u bytových domů a odpovídají odběru TV v nedělní večerní špičce v tehdejší době.

Jak bylo ukázáno na začátku článku, průběh odběru TV je v dnešní době zcela jiný. Pokud bychom převedli naměřené odběry TV na obr. 3 až 5 do kumulativní křivky, dostali bychom tzv. křivky odběru. Jedná se vlastně o součet odebraného množství energie za jednotlivé časové úseky přípravy TV. Typický příklad reálné křivky odběru u bytového domu ukazuje obr. 6.

Z pohledu srovnání dosažených výsledků dle předchozích metod je dále vypočítán stejný příklad pro bytový dům s 200 obyvateli. Průměrná potřeba teplé vody je dle ČSN EN 15316-3-1 stanovena 30 l/osobu·den. Poměrná ztráta při distribuci TV je stanovena na 50 % z potřeby tepla pro přípravu TV. Celková potřeba tepla pro přípravu TV [7] je tak:

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = Q_{2t}(1+z) = V_{2p} \rho c (t_2 - t_1)(1+z) = 471 \quad [\text{kWh/den}] \quad (9)$$

kde je:

- Q_{2p} teplo dodané ohřivačem TV [kWh/den],
- Q_{2t} teplo pro ohřev teplé vody [kWh/den],
- Q_{2z} teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV [kWh/den],
- z poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV [-],
- V_{2p} celková potřeba teplé vody [m³/den],
- ρ hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m³],

- c měrná tepelná kapacita vody [J/(kg·K)],
- t_1 teplota studené vody [°C],
- t_2 teplota teplé vody [°C].

Přičemž 314,03 kWh/den je energie pro ohřev vody Q_{2t} a 157,01 kWh/den tvoří tepelné ztráty systému Q_{2z} (tj. 50 % energie Q_{2t}). Pro sestavení křivky dodávky tepla jsou použity dvě podmínky. První je předpoklad samostatného zdroje tepla pro přípravu TV (např. CZT, plynový kondenzační kotel atd.), který umožňuje v podstatě libovolnou provozní dobu zdroje tepla pro přípravu TV. A druhá podmínka respektuje možné nestandardní odběry TV vytvořením alespoň 10% hodinové energetické rezervy v zásobníku TV. Tzn. že v každou hodinu uvažovaného odběru TV musí být hodnota pro vytvoření křivky dodávky tepla nejméně o 10 % vyšší, než je hodnota odebraného tepla v TV. Křivka odběru TV je zvolena podle obr. 6 odpovídající aproximaci zahrnující celý pracovní týden. Výsledky grafického sestavení křivek dodávky a odběru tepla jsou uvedeny na obr. 7.

Maximální rozdíl mezi křivkou dodávky a odběru nastává v 0.00, resp. v 24.00 h, a činí 47,1 kWh. Podobného rozdílu, a sice 45,98 kWh, je dosaženo v 18.00 hodině. Nicméně výpočet velikosti zásobníku je nutné provést z maximálního rozdílu mezi křivkou dodávky a odběru dle vztahu:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{\max}}{\rho c (t_2 - t_1)} = \frac{47100}{1000 \cdot 1,163 \cdot (55 - 10)} = 0,90 \quad [\text{m}^3] \quad (10)$$

kde je:

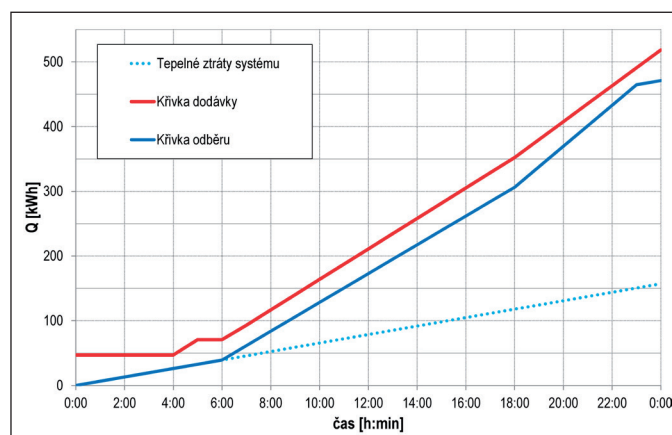
- V_z požadovaný objem zásobníku TV [m³],
- $\Delta Q_{\max}$ maximální rozdíl mezi křivkou dodávky a odběru tepla [kWh].

Z toho vyplývá požadavek na zásobník TV o objemu cca 900 litrů. Z pohledu požadovaného tepelného příkonu ohřivače pro ohřev TV je nutné znát maximální rozdíl mezi energií dodanou zdrojem tepla a časem, po který je do systému přípravy TV dodávána.

$$P_{TV} = \left(\frac{Q_i}{\tau_i} \right)_{\max} \quad (11)$$

kde je:

- P_{TV} jmenovitý tepelný příkon ohřivače TV [kW],
- $\left(\frac{Q_i}{\tau_i} \right)_{\max}$ maximální sklon křivky dodávky tepla v čase [kWh/h].



Obr. 7 Sestavení odběrového diagramu křivek odběru a dodávky pro bytový dům s 200 obyvateli a 19hodinovým provozem zdroje tepla zajišťujícího dodávku tepla do systému TV

Fig. 7 Consumption curve creation of supply and demand curves for a residential building with 200 inhabitants and a 19-hour operation of a heat source supplying heat to the HW preparation system

Z pohledu sestavení křivky dodávky tepla (obr. 7) se jedná o časové úseky od 4.00 do 5.00 ≥ 1 hodina a 23,55 kWh $\geq P_{TV1} = 23,55$ kW, 6.00 až 18.00 ≥ 12 hodin a 281,50 kWh $\geq P_{TV2} = 23,46$ kW a 18.00 až 24.00 ≥ 6 hodin a 166,25 kWh $\geq P_{TV3} = 27,71$ kW. Z pohledu splnění podmínky návrhu metodou křivek dodávky a odběru by měl být požadovaný příkon ohřivače TV $P_{TV} = 27,71$ kW.

Diskuze k ČSN 06 0320

Návrh zásobníku TV dle ČSN 06 0320 je závislý zejména na volbě tvaru křivky odběru. Např. pro rodinný dům nebo bytový dům s menším počtem obyvatel (do cca 30 osob) by bylo vhodnější očekávat výraznější strmost křivky odběru v ranních hodinách, kdy se na tvaru kumulativní křivky odběru TV více projeví rozdílné chování jednotlivých odběratelů. Oproti tomu u větších bytových domů lze hovořit o tom, že budou rozdíly v nestandardním odběru mimo předpokládaný odběr méně ovlivňovat celkový tvar křivky odběru.

Také lze očekávat, že v případě volby kratší doby provozu zdroje tepla bude narůstat požadavek na velikost zdroje tepla. A je nutné si uvědomit, že tato norma nezahrnuje skutečný počet odběrných míst a jejich reálnou potřebu z pohledu profese ZTI, a proto v případě výrazné odchylky v chování odběratele od předpokládané křivky odběru je vhodnější při sestavování křivek dodávky pracovat s vyšší procentuální energetickou rezervou, např. 20 až 30 %.

Vyhodnotenie srovnania

Výsledky návrhu zásobníkového ohřivače pre bytový dom s 200 obyvateľmi podľa ČSN 06 0320, DIN 4708 a podľa novej metodiky návrhu podľa odboru TV sú uvedené v tabuľke 3.

Tab. 3 Srovnání návrhu zásobníkového ohřivače podľa jednotlivých predpisov
Tab. 3 Comparison of storage heater designs according to individual regulations

Metodika	Objem zásobníkového ohřivače [l]	Příkon ohřivače TV [kW]
ČSN 06 0320 (požadovaná 19hodinová převádka zdroje tepla)	899	27,71 ^{*)}
DIN 4780 Pri vaňovom kúpeli $N = 58$	1694	58,2
Nová metodika návrhu podľa odboru TV, 200 osôb $q_{max}=4,25$ l/os.h	850	$\eta_o = 0,7$ 63,59
		$\eta_o = 0,85$ 52,23
		$\eta_o = 0,95$ 46,73

^{*)} výkon ohrevu

Výsledky podľa tabuľky 3 je treba rozdeliť na dva smery. Jeden odpovedá na otázku objemu zásobníka a druhý na tepelný výkon potrebný pre ohrev zásobníka TV. Objem zásobníka TV riešený metódou kriviek dodávky a odboru tepla a metódou podľa maximálneho hodinového odboru TV (v podstate podľa hodnoty prietoku TV vo vodovode) dávajú dobrú zhodu. Je to dané tým, že v podstate obe metódy vychádzajú z maximálneho možného rozdielu medzi predpokladanou dodávkou energie na prípravu TV a jej predpokladaným odberom s časovým krokom. Oproti tomu metóda podľa DIN 4780 predpokladá kumuláciu odboru TV súčasne s nárastom počtu kúpeľní (resp. vaní), preto objem zásobníka vychádza podstatne vyšší. Z pohľadu požiadaviek na tepelný výkon ohřivača TV sú metóda DIN 4780 a metodika podľa maximálneho hodinového odboru koncipované pre výpočet maximálnej hodnoty bez ohľadu na predpokladaný časový priebeh dodávky tepla do systému prípravy TV. Túto možnosť ponúka práve metodika kriviek

dodávky a odboru tepla, kde má projektant možnosť prispôbiť chod „nabíjania“ systému TV (a jeho kontinuálneho dohrievania) podľa parametrov použitého zdroja tepla, prípadne ovplyvniť požadovaný výkon zdroja tepla v závislosti od objemu zásobníka TV.

DISKUSIA

Návrh zásobníkového ohřivača podľa ČSN 06 0320 (2006) vychádza z určenia počtu obyvateľov a teoretickej potreby tepla na ohrev vody pre 1 osobu, pričom sa tu zohľadňuje aj teplo stratené pri ohreve a distribúcii TV. Denná potreba tepla sa rozloží na periódy a súčasne k tomu sa graficky spracuje krivka strát tepla. Objem zásobníka sa určuje následne najväčším rozdielom kriviek dodávky a odboru tepla. Tepelný výkon ohřivača je nutné určiť z maximálnej hodnoty medzi dodaným teplom ohřivača za príslušný časový úsek. Ohřivač nemusí nutne dodávať tepelnú energiu trvale, tj. po dobu 24 hodín, ale stačí v určitých projektantom zvolených časových úsekoch, ktoré závisia na možnostiach prevádzky ohřivača. Voľba doby prevádzky nabíjania zásobníka TV (tzn. dodávka tepla do systému TV) priamo ovplyvňuje ako veľkosť vypočítaného zásobníka TV, tak i veľkosť požadovaného tepelného výkonu ohřivača.

Podľa nemeckej technickej normy DIN 4708 sa určí pre návrh zásobníkového ohřivača najprv charakteristické číslo spotreby N . Podľa tohto čísla sa objem zásobníka určí buď empiricky z tabuľky, alebo sa priamo priradí zásobník podľa katalógovej hodnoty N_L konkrétneho výrobu. Výpočet charakteristického čísla N vychádza z potreby tepla na jeden odber z určujúceho odborného miesta a koeficientu obsadenosti, ktoré je závislé na počte miestnosti v byte.

Nová metodika návrhu zásobníkových ohřivačov pre bytové domy podľa odboru TV vychádza z maximálnej hodinovej potreby teplej vody na jedného obyvateľa bytového domu a závisí od počtu obyvateľov v bytovom dome. Příkon zásobníkového ohřivača podľa novej metodiky vychádza z kalorimetrickej rovnice, účinnosti zdroja na prípravu teplej vody a hrúbky izolácie distribučného systému.

ZÁVER

Pri porovnaní novej slovenskej metodiky s nemeckou a českou normou vychádzajú výsledky návrhu zásobníkového ohřivača rozdielne. Nemecká a česká norma vychádzajú z rozdielných predpokladov ako uvádzaná metodika, ktorá je založená na skutočnom počte odberových miest a hodinovom odbore TV. Preto sa táto metodika javí ako praktická, keďže vychádza zo skutočných odberov a optimálne vystihuje súčasné požiadavky na zásobníkový ohrev teplej vody v bytových domoch.

Kontakt na autory: zuzi.cermanova@gmail.com, jana.perackova@stuba.sk, roman.vavricka@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] ČERMANOVÁ, Z. Spotřeba teplej vody a energetická bilancia jej prípravy v bytových domoch. Dizertačná práca. SvF STU Bratislava, 2015.
- [2] ČSN 06 0320. Tepelné soustavy v budovách. Příprava teplej vody – Navrhování a projektování. ČNI 2006.
- [3] DIN 4708. Zentrale Brauchwassererwärmungsanlagen. 1994.
- [4] STN 06 0320. Ohřevanie úžitkovej vody – Navrhovanie a projektovanie. 1986.
- [5] STN EN 15316-3-2. Výkurovací systémy v budovách. Metóda výpočtu energetických požiadaviek systému a účinnosti systému. 2009.
- [6] Vyhláška č. 625/2006 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
- [7] VAVŘIČKA, R., MAZUR, M. Odběrové profily teplej vody. Vytápění, větrání, instalace. 2017, roč. 26, č. 3, s. 156–164. ISSN 1210-1389.

Poznámka recenzenta:

Článek přináší koncepci nové metodiky návrhu objemu zásobníkového ohřívače pro bytové domy. Ta je založena na stanovení měrné jednotky $q_{\max}$, která vyjadřuje průměrnou maximální hodinovou potřebu teplé vody vztahenou na 1 osobu. Uvedená měrná jednotka byla kvantifikována na základě celoročních měření odběru teplé vody ve čtyřech bytových domech panelového typu v Bratislavě. Metodika vyjádřená rovnicí (1) vychází z jednoduché (více méně logické) úvahy, že změřená (tj. skutečná) průměrná hodinová spotřeba teplé vody v odběrové špičce vztahená na 1 osobu násobená počtem obyvatel v domě poskytuje takový objem zásobníku TV, který zajistí dostatečnou potřebu teplé vody za jakýchkoli podmínek, tj. včetně maximálního odběru. Správně je však podotknuto, že pro přesnější určení klíčové měrné jednotky $q_{\max}$ je třeba výrazně většího souboru měření v bytových domech. Nová metodika současně předkládá způsob výpočtu příkonu zásobníkového ohřívače teplé vody. Ten je založen na předpokladu, že výkon zdroje tepla je schopen ohřát celý vypočítaný objem zásobníku TV za jednu hodinu. Z tohoto důvodu vychází požadavek na výkon zdroje tepla značně předimenzovaný. V energetickém rozboru, který je uveden v kapitole „Postup, z kterého sa vychádzalo pri návrhu matematického modelu na výpočet príkonu“, je správně rozlišována energie na primární E_1 a sekundární E_2 straně ohřívače teplé vody. Proto by bylo žádoucí stanovit, kromě příkonu na primární straně, také příkon na sekundární straně ohřívače.

V nové metodice je třeba ocenit celoroční časosběrnou práci na čtyřech bytových domech sídlištního charakteru. Podobnou cestou šla řada dalších autorů a jistě by stálo za to provést soubornou analýzu všech podobných dostupných měření a rozborů. Opatrnosti je třeba před paušalizací (univerzálností) této metodiky na všechny typy a velikosti bytových domů. To se ovšem týká i ostatních návrhových postupů, neboť kromě zmiňovaného sociálního rozložení spotřebitelů teplé vody (cca 20 % studenti, 60 % pracující a 20 % důchodci), existuje celá řada dalších faktorů ovlivňujících výsledek. Například započítání objemu teplé vody v rozvodném a cirkulačním potrubí, variabilní poměr směšování teplé a studené vody na výtokových armaturách, úroveň zvolené výpočtové rezervy navrhovaného systému, proměnlivost skladby a počtu osob v průběhu životnosti stavby, cenová politika a další.

Přínosné je rovněž předložené srovnání této nové metodiky s postupy uvedenými v technických normách DIN 4708 a ČSN 06 0320. Z porovnání těchto metod si odborník jistě udělá své vlastní další závěry.

Odsolování grafenoxidovou membránou

Běžné odsolovací procesy, užívané pro vytápění, větrání, klimatizaci a přípravu procesní vody v rozvinutých zemích a pro přípravu pitné vody v rozvojových zemích, jsou drahé a energeticky náročné. Vědci z manchesterské univerzity (UM) vyvinuli iontové síto pro odfiltrování soli z vody, založené na grafenoxidové membráně. Je to další aplikace grafenu, za jehož objev obdrželi vědci z manchesterské univerzity v roce 2010 Nobelovu cenu.

Zatímco výroba sítí velkých rozměrů je nákladná, výroba vlastního grafenoxidu je jednodušší a výhodnější. Ve formě barviva nebo roztoku se nanáší na substrát s následným vznikem tenkých membrán s otvory. Průměr otvorů v membráně je 0,64 nanometru ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Těmito prostory procházejí molekuly vody, nikoli však nanočástice, organické molekuly nebo hydratované ionty solí. Velmi tenké stěny z epoxidové pryskyřice, nanesené na obou stranách membrány, zabráňují napučání, proděravění a průniku menších hydratovaných solných iontů membránou.

Podle sdělení UM membrána odfiltruje až 97 % chloridu sodného NaCl (kde iont Na^+ je jedním z nejmenších iontů vůbec). Membrána v tomto provedení má dlouhou životnost v prostředí slané vody. Na komerční nasazení však bude nutno ještě nějaký čas počkat.

Pramen: CCI 05/2017, s. 4

(AB)

KORASmart

NÁSTĚNNÉ VĚTRACÍ A REKUPERAČNÍ JEDNOTKY



- vhodné pro alergiky a astmatiky
- zabraňuje vzniku nadměrné vlhkosti a bakterií
- nízké provozní náklady
- vysoká účinnost rekuperace
- rychlá a jednoduchá montáž



KORADO®