

Ing. Jakub VRÁNA, Ph.D.¹⁾
 Ing. Zdeněk JARON²⁾
 Ing. Miroslav KUCHARIK³⁾

¹⁾ VUT v Brně, Fakulta stavební,
 Ústav TZB
²⁾ Dessa, s.r.o.
³⁾ Walraven, s.r.o.

Recenzent
 Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

Měření spotřeby teplé vody v bytových domech

Measurement of Hot Water Consumption in Residential Buildings

Článek pojednává o měření celkové spotřeby vody a jejím rozložení během denního cyklu v bytových domech. Znalost rozložení spotřeby teplé vody během dne je důležitá pro dimenzování zásobníkových ohřivačů a zásobníků teplé vody. Na základě výsledků měření byl stanoven nový výpočtový vztah pro stanovení objemu zásobníkového ohřivače nebo zásobníku teplé vody vycházející z odběru vody v maximální odběrové špičce.

Klíčová slova: teplá voda, příprava teplé vody, zásobníky teplé vody, ohřivače teplé vody, návrh zásobníku teplé vody

The article deals with measurement of total water consumption and its distribution during the daily cycle in apartment buildings. Knowledge of the distribution of hot water consumption during the day is important for dimensioning of storage water heaters and hot water storage tanks. Based on the measurement results, a new computing relation was determined for volume sizing of hot water storage heaters or storage tanks, resulting from peak water consumption.

Keywords: hot water, hot water preparation, hot water storage tanks, hot water heaters, hot water storage tank design

ÚVOD

Norma ČSN 06 0320 [1] platná v současné době pro dimenzování ohřivačů vody uvádí pro bytové domy potřebu teplé vody 82 l/obyvatele a den a možný příklad poměrné křivky odběru teplé vody. Charakter i množství spotřebované vody v domácnostech zaznamenaly v posledních cca 30 letech výrazný pokles, který je způsoben zejména změnou chování obyvatel. S drahou vodou, jejíž spotřeba je v současné době většinou měřena podružnými vodoměry v bytech, se dnes více šetří. V rozúčtovávaných nákladech na teplou vodu jsou, kromě nákladů na vodu, zahrnuty také náklady na její ohřev, a proto se dnes s teplou vodou šetří více než s vodou studenou. Z výše uvedeného lze předpokládat, že dřívější hodnota normové potřeby 82 l/obyvatele/den neodpo-

vidá dnešní spotřebě. Otázkou je také rozložení spotřeby vody během dne, které je rozhodující pro dimenzování zásobníkových ohřivačů a zásobníků teplé vody.

MĚŘENÍ SPOTŘEB VODY

Měření spotřeb vody se prováděla s cílem zjistit maximální špičkové průtoky a spotřeby vody za různá časová období (sekunda, půlhodina, hodina, den apod.). Aby bylo možné získat maximální špičkové průtoky důležité pro dimenzování potrubí vnitřních vodovodů, byly měřené průtoky snímány v sekundových intervalech. Spotřeby vody za různá časová období byly přepočítávány z naměřených průtoků. Byly měřeny průtoky v hlavním přívodním potrubí studené vody za vodovodní přípojkou, nebo na přívodu studené vody k ohřivači. Byty v domech, kde se měření prováděla, byly vybaveny záchodovou mísou s nádržkovým splachovačem, umyvadlem, vanou nebo sprchou, dřezem a některé také automatickou pračkou a myčkou nádobí.

Měření průtoků se prováděla v Bohumíně a Českém Těšíně od 8. 9. 2015 do 23. 3. 2016 ve zděných i panelových bytových domech. V každém z těchto domů byl po dobu nejméně 14 dnů osazen magneticko-indukční průtokoměr OPTIFLUX 1000 s převodníkem IFC 100C DN 40 s měřicím rozsahem do 10 m³/h. Snímač měřil rychlost proudící vody, ze které stanovoval objemový průtok. Průtokoměr byl připojen k datové ústředně AHLBORN 5690-2, popř. AHLBORN ALMEMO A 5690-2 TS, která obsahuje 24bitový A/D převodník (obr. 1).

Další měření průtoků zahrnutá do vyhodnocení byla prováděna při různých příležitostech v bytových domech v Brně průtokoměrem AHLBORN FVA915VTH25 DN 25 (obr. 2). I zde byl průtok snímán v sekundových intervalech. Naměřené průtoky byly zaznamenávány měřicí ústřednou AHLBORN ALMEMO A 5690-2 TS. Od firmy Teplu Zlín byly dále získány ještě spotřeby teplé vody z jednoho bytového domu ve Zlíně měřené v minutových intervalech na přívodu studené vody do ohřivače. Byla použita také data spotřeby teplé vody v jednom brněnském domě měřené v 15 minutových intervalech.



Obr. 1 Měření průtoku vody v bytovém domě v Českém Těšíně průtokoměrem OPTIFLUX 1000 s převodníkem IFC 100C DN 40 propojeným s datovou ústřednou AHLBORN ALMEMO A 5690-2 TS

Fig. 1 Measurement of water flow rate in a residential building in Český Těšín by OPTIFLUX 1000 flow meter with IFC 100C DN 40 converter connected to data logger AHLBORN ALMEMO A 5690-2 TS



Obr. 2 Měření průtoku vody v bytovém domě v Brně průtokoměrem AHLBORN FVA915VTH25 DN 25

Fig. 2 Measurement of water flow in an apartment house in Brno with flowmeter AHLBORN FVA915VTH25 DN 25

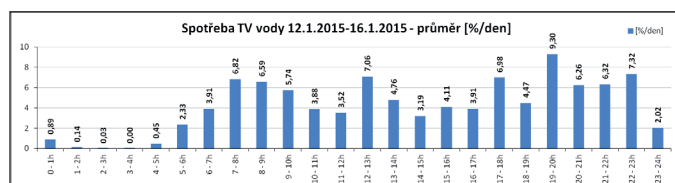
VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH SPOTŘEB VODY

V rámci vyhodnocování výsledků měření byly vyhodnocovány naměřené spotřeby studené i teplé vody a jejich nerovnoměrnost. Jako ukázka rozložení spotřeby vody během dne jsou uvedeny průběhy spotřeby teplé vody v brněnském bytovém domě o 55 obyvatelích a bytovém domě o 131 obyvatelích v Českém Těšíně. Výsledky měření průběhu denní spotřeby teplé vody jsou uvedeny v grafech na obr. 3 a obr. 4. Spotřeby teplé vody v jednotlivých hodinách jsou uvedeny v procentech celodenní spotřeby. Z grafů je patrné, že rozložení spotřeby vody se v pracovních a volných dnech výrazně liší. Během pracovních dnů je průběh odběru teplé vody mezi 7.00 až 22.00 h více vyrovnaný. Také se ukazuje, že při větším počtu obyvatel (131 obyvatel) jsou odběrové špičky v tomto časovém úseku menší než při menším počtu obyvatel (55 obyvatel). V pracovních dnech je patrná

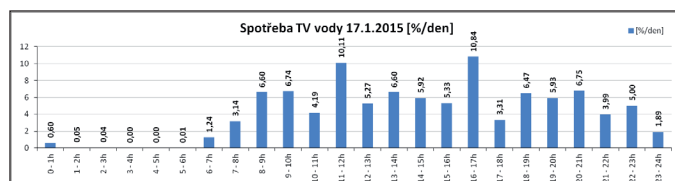
Tab. 1 Spotřeby vody v různých bytových domech

Tab. 1 Water consumptions in various apartment buildings

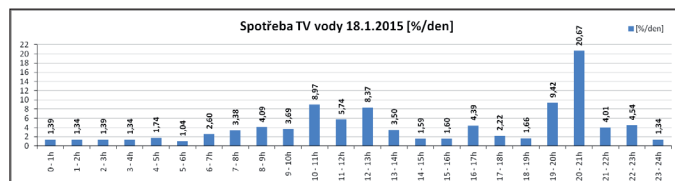
Dům	Počet obyvatel	Spotřeba vody na obyvatele a den [l/obyvatel·den]		Spotřeba vody v největší odběrové špičce [% celodenní spotřeby]			Poznámka SV = studená voda TV = teplá voda
		průměrná	maximální	za 1 h	za 2 h	za 3 h	
109	12	47	71	17,8	30,6	39,7	Jen SV
107	13	102	127	15,8	25,3	30,4	SV+TV
733	21	71	98	21,7	33,5	44,6	SV+TV
10, 12	34	76	90	16,5	29,9	41,0	SV+TV
1, 3, 5	55	67	83	15,3	25,4	32,7	SV+TV
42	55	37	57	20,7	31,9	37,0	Jen TV
Švýcarsko [2]	--	--	--	15,0	25,5	34,0	Jen TV
3938	70	30	34	15,7	23,3	35,5	Jen TV
3	131	39	47	13,1	23,0	30,2	Jen TV
		94	115	11,3	18,4	24,4	SV+TV
16	136	115	136	9,4	16,6	23,4	SV+TV
1070	149	56	66	9,1	16,5	24,7	Jen SV
1071	168	54	66	9,1	17,7	26,3	Jen SV
5	cca 450	cca 32	cca 38	12,7	20,8	28,4	Jen TV



a) pracovní dny (průměr za týden)



b) sobota

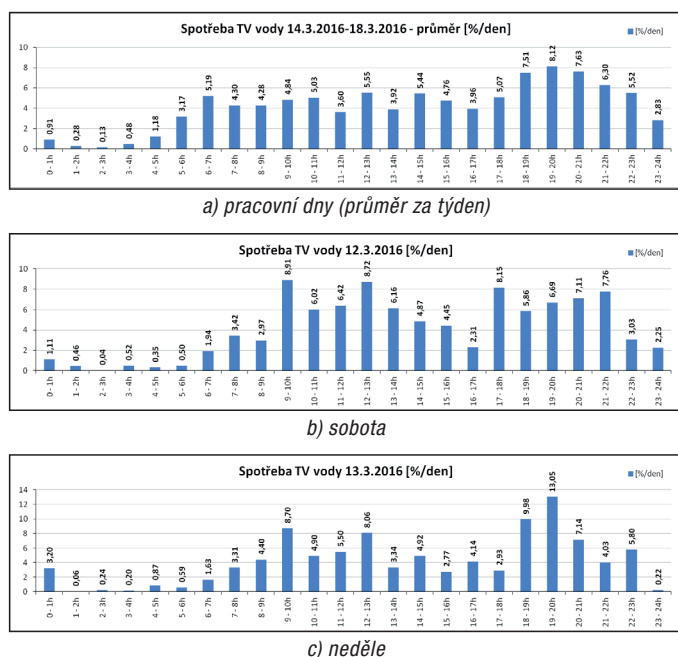


c) neděle

Obr. 3 Průběh spotřeby teplé vody v bytovém domě o 55 obyvatelích v pracovních i volných dnech v procentech celodenní spotřeby

Fig. 3 Time course of hot water consumption in a residential building with 55 inhabitants in both working and free days as a percentage of daily consumption

největší odběrová špička mezi 19.00 až 20.00 h. O víkendu je s ohledem na odběrové špičky více dominantní neděle. Mezi 20.00 až 21.00 h dojde u domu s 55 obyvateli k odběru cca 21 % celkové spotřeby teplé vody. S rostoucím počtem obyvatel (131 obyvatel) je tato maximální špička rozložena mezi 18.00 až 20.00 h, kdy je odebráno cca 23 % z celkového odebraného množství teplé vody. V sobotu je rozložení spotřeby teplé vody během dne jiné a oba domy vykazují odběrové špičky teplé vody v ranních, poledních a pozdních odpoledních a večerních hodinách.



Obr. 4 Průběh spotřeby teplé vody v bytovém domě o 131 obyvatelích v pracovních i volných dnech v procentech celodenní spotřeby
 Fig. 4 Time course of hot water consumption in an apartment building with 131 inhabitants in both working and free days as a percentage of all-day consumption

Výsledky měření jsou uvedeny v tab. 1, ze které jsou patrné spotřeby vody naměřené v bytových domech o různém počtu obyvatel a spotřeby vody v největších odběrových špičkách o dobách trvání 1 h, 2 h a 3 h uvedené v procentech celodenní spotřeby. Uvedeny jsou maximální hodnoty spotřeb naměřené za dobu měření. Spotřeby vody v největších odběrových špičkách jsou porovnány s údaji ze švýcarské literatury [2]. V poznámkách v tab. 1 je uvedeno, zda byla měřena jen spotřeba studené vody (SV), nebo jen spotřeba teplé vody (TV), popř. spotřeba vody u vodovodní přípojky domu zahrnující spotřebu studené i teplé vody (SV+TV).

DIMENZOVÁNÍ OHŘÍVAČE VODY NEBO ZÁSOBNÍKU TEPLÉ VODY PODLE ODBĚROVÉ ŠPIČKY

Po zjištění spotřeb vody v největších odběrových špičkách bylo možné stanovit součinitele nerovnoměrnosti potřeby teplé vody v bytových domech, které odpovídají největším spotřebám vody za určité časové období (v našem případě 0,5 až 3 h) vyjádřeným v procentech celodenní spotřeby. Měření v domě č. 3 ukázalo, že odběrové špičky jsou při odběru teplé vody výraznější než u přívodu vody do domu (SV+TV), což bylo zohledněno při odvozování součinitelů nerovnoměrnosti. Při využití součinitelů nerovnoměrnosti potřeby teplé vody je možné objem zásobníkového ohřivače nebo zásobníku teplé vody V_z [l] stanovit jako:

$$V_z = q_{TV,max} \cdot n \cdot k_{TV} \cdot \psi \quad (1)$$

kde je:

- $q_{TV,max}$ maximální specifická potřeba teplé vody na obyvatele a den [l/obyvatel·den],
- n počet obyvatel, pro které je ohřivač nebo zásobník určen [-],
- k_{TV} součinitel nerovnoměrnosti potřeby teplé vody [obyvatel·den] (tab. 2),
- ψ součinitel mrtvého prostoru [-] (tab. 3).

Podle měření a údajů z literatury [3], [4] je možné (po případném přepočítání z průměrných hodnot potřeby) maximální specifickou potřebu

teplé vody v bytových domech dnes uvažovat hodnotou $q_{TV,max} = 60$ l/obyvatel·den. Z tab. 1 je ale patrné, že se tato maximální spotřeba teplé vody liší podle jednotlivých domů a pohybuje se v rozmezí od 34 až do 57 l/obyvatel·den. Nemalou roli v této hodnotě hraje nejen počet obyvatel, ale také tzv. denní režim, který je zcela odlišný u domů, kde žijí obyvatelé v produktivním věku, a u domů s převažujícím obsazením seniory nebo mladými rodinami s dětmi.

Uvedený způsob dimenzování předpokládá, že doba ohřevu vody v ohřivači je stejná jako doba trvání odběrové špičky. Skutečná (navržená) doba ohřevu vody v ohřivači tedy nesmí být delší než doba trvání odběrové špičky. Výkon otopné vložky ohřivače nebo deskového výměníku musí být takový, aby zajistil požadovanou dobu ohřevu vody a pokryl také tepelné ztráty při cirkulaci teplé vody. Součinitel mrtvého prostoru ψ zohledňuje teplotní vrstvení vody v zásobníkovém ohřivači nebo zásobníku (např. objem studené vody pod topnou vložkou ohřivače, naplnění celého zásobníku teplou vodou oběhem vody přes průtokový ohřivač apod.) a jeho hodnoty vycházejí z českých [5] a rakouských [6] zkušeností, viz tab. 3.

Tab. 2 Součinitel nerovnoměrnosti potřeby teplé vody k_{TV} v závislosti na době ohřevu vody v ohřivači a počtu obyvatel v bytových domech
 Tab. 2 Coefficient of non-uniformity of hot water demand k_{TV} depending on heating time of water in heater and number of inhabitants in apartment buildings

Doba ohřevu vody v ohřivači [h]	Bytové domy	
	Počet obyvatel n	k_{TV} [obyvatel·den]
0,5	12 až 69	0,21
	70 až 450	0,12
1	12 až 69	0,22
	70 až 450	0,16
2	12 až 69	0,34
	70 až 450	0,26
3	12 až 69	0,45
	70 až 450	0,36

Tab. 3 Součinitel mrtvého prostoru
 Tab. 3 Coefficient of dead space

Druh ohřivače nebo zásobníku	Součinitel mrtvého prostoru ψ [-]
Zásobník bez mrtvého prostoru nabíjený teplou vodou oběhovým čerpadlem z průtokového ohřivače	1,00
Ležatý zásobníkový ohřivač	1,20
Stojatý zásobníkový ohřivač bez mrtvého prostoru	1,15
Stojatý zásobníkový ohřivač s topnou vložkou umístěnou v max. 1/3 výšky ohřivače	1,50

Dimenzování zásobníku teplé vody podle odběrové špičky ilustrují dva příklady. V příkladu 1 byly stanoveny objemy zásobníku teplé vody pro různý počet zásobovaných obyvatel. V příkladu 2 byly stanoveny objemy zásobníku teplé vody pro různé maximální specifické potřeby teplé vody na obyvatele a den, protože, jak ukazují výsledky měření, u některých bytových domů je možné uvažovat maximální specifickou potřebu teplé vody menší než 60 l/obyvatel·den. Do porovnání byla zahrnuta také maximální specifická potřeba teplé vody 82 l/obyvatel·den, kterou uvádí ČSN 06 0320 [1].

Příklad 1: Má se navrhnout objem zásobníku teplé vody pro 50, 100 a 300 zásobovaných obyvatel. Maximální specifická potřeba teplé vody je uvažována $q_{TV,max} = 60$ l/obyvatel·den a součinitel mrtvého prostoru $\psi = 1,0$. Navržené objemy zásobníku teplé vody V_z jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Objemy zásobníku teplé vody z příkladu 1

Tab. 4 Volumes of hot water storage tank from Example 1

Doba ohřevu vody v ohřivači [h]	Počet obyvatel, pro které je zásobník určen <i>n</i>		
	50	100	300
Objem zásobníku teplé vody V_z [l]			
0,5	630	720	2160
1	660	960	2880
2	1020	1560	4680
3	1350	2160	6480

Příklad 2: Má se navrhnout objem zásobníku teplé vody pro 100 zásobovaných obyvatel. Maximální specifická potřeba teplé vody je uvažována 40, 50, 60 a 82 l/obyvatel·den a součinitel mrtvého prostoru $\psi = 1,0$. Navržené objemy zásobníku teplé vody V_z jsou uvedeny v tab. 5, ze které je patrné, že při různých maximálních specifických potřebách teplé vody se navržené objemy zásobníku teplé vody výrazně liší.

Tab. 5 Objemy zásobníku teplé vody z příkladu 2

Tab. 5 Volumes of hot water storage tank from Example 2

Doba ohřevu vody v ohřivači [h]	Maximální specifická potřeba teplé vody $q_{TV,max}$ [l/obyvatel·den]			
	40	50	60	82
	Objem zásobníku teplé vody V_z [l]			
0,5	480	600	720	984
1	640	800	960	1312
2	1040	1300	1560	2132
3	1440	1800	2160	2952

ZÁVĚR

Z předchozího textu je patrná snaha autorů o využití poznatků získaných z měření pro zlepšení a zjednodušení stanovení objemu zásobníkových ohřivačů a zásobníků teplé vody v bytových domech. Z hygienického hlediska je důležité, aby ohřivače nebyly zbytečně předimenzovány, k čemuž při dimenzování podle stávající normy [1] bohužel dochází. Na základě dalších měření mohou být součinitele nerovnoměrnosti dále zpřesňovány. Pokud budou prováděna další měření i v jiných než bytových domech, bude možné uvedenou metodu dimenzování ohřivačů

Tab. 6 Ukázky maximálních hodinových spotřeb vody v jiných než bytových domech

Tab. 6 Examples of maximum hourly water consumptions in other than residential buildings

Budova	Maximální hodinová spotřeba TV [% – vztaheno k celodenní spotřebě TV]
Rehabilitační ústav	18,1
Administrativní budova s restaurací	15,6
Administrativní budova	11,1
Mateřská škola	28,7

rozšířit i na jiné druhy budov, u kterých je rozložení spotřeby teplé vody během dne zatím známo jen ze zahraniční literatury [2]. Ukázky maximálních hodinových spotřeb vody podle jednotlivých měření jsou uvedeny v tab. 6. Tyto hodinové spotřeby vody však nelze zevšeobecňovat.

Kontakt na autora: JakubVrana@seznam.cz

Poděkování: Článek je výstupem výzkumného projektu „Měření spotřeby vody a špičkových průtoků v domovních vodovodech na Ostravsku“ podporovaného v rámci dlouhodobého koncepčního rozvoje vědy a výzkumu Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava pro rok 2015. Hlavním řešitelem byl Ing. Zdeněk Jaroň, který prováděl jednotlivá měření. Zpracování naměřených hodnot provedl Ing. Miroslav Kucharik. Zpracování naměřených dat a jejich vyhodnocování provedl Ing. Jakub Vrána, Ph.D., který dále odvodil nový výpočtový vztah pro dimenzování zásobníkových ohřivačů a zásobníků teplé vody v bytových domech.

Další poděkování patří městu Bohumín, firmám Hamrozi, HP trend Ludgeřovice, Teplu Zlín, doc. Dr. Ing. Zdeňku Pospíchalovi, Mgr. Pavlu Rubinovi a všem vlastníkům a správcům domů, kteří měření umožnili.

Použité zdroje:

- [1] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách – příprava teplé vody – Navrhování a projektování*. ČNI, 2006.
- [2] FUX, O., REIST, J., ZEENDER, E. *SI- Handbuch, Kapitel 2 Trinkwasser*. VSSH, 1998.
- [3] FEURICH, H. *Sanitärtechnik*. Krammer Verlag Düsseldorf, 1999.
- [4] TNI 73 0331 *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet*. ÚNMZ, 2013.
- [5] ČSN 06 0320 *Ohřívání užitkové vody. Navrhování a projektování*. ÚNM, 1987.
- [6] DRAXLER, E. Dimensionieren von Warmwasserbereitungsanlagen. In: 15. Mezinárodní konference SANHYGA 2010, zborník přednášek. SSTP, 2010.

Poznámka recenzenta:

Autor na základě konkrétních měření spotřeby teplé vody v bytových domech odvozuje zjednodušený postup návrhu objemu zásobníku. Je důležité si ale uvědomit vazbu na požadovaný tepelný výkon teplosměnné plochy (topné patrony, výměníku apod.), který lze vypočítat z kalorimetrické rovnice za použití zvolené maximální specifické potřeby teplé vody na obyvatele, počtu obyvatel a požadované době ohřevu. Ostatní veličiny (hustota, měrná tepelná kapacita a rozdíl teplot TV a SV) lze uvažovat standardně.

Tepelné čerpadlo na důlní vodu

Okresní nemocnice ve Freibergu v Sasku se nachází nad starým stříbrným dolem. Již od dokončení stavby nemocnice využívá celoročně čistého a rovnoměrně temperovaného důlního vzduchu k účinnému chlazení prostor, jako jsou operační sály a pokoje pacientů. Pro snížení vysokých nákladů na energii 1,2 mil. € ročně navrhl výrobce tepelných čerpadel Johnson Controls (JC) použít teplou důlní vodu jako zdroj tepla ve dvoustupňovém čpavkovém tepelném čerpadle. Nemocnice nabídku přijala a optimalizovala svoji energetickou centrálu.

Štola Rotschlönberg se nachází asi 200 metrů pod nemocnicí a poskytuje zdroj důlní vody s celoročně konstantní teplotou asi 14 °C a průtokem asi 0,3 m³/s. K využití zdroje JC podpořil nemocnici i v prospekci důlního zdroje, koncepci a přípravě projektu. Navrhl užití dvoustupňového tepelného čerpadla s chladivem 55 kg čpavku a tepelným výkonem 860 kW s kompresorem 215 kW a teplou důlní vodu jako zdroj tepla. Současně se vyrábí teplá voda o max. teplotě 70 °C pro vytápění. Celý systém JC kombinuje s plynovou turbínou blokové kotelny na celkový výkon systému 1 160 kW s ohřevem vody ze 70 °C na 76 °C. V létě jej lze použít ke chlazení s výkonem 600 kW. Užití důlní vody ušetří 3 383 t emisí CO₂/rok. Roční úspora nákladů na energii je 350 000 € a výrobní cena 1 MWh klesla ze 71 € na 57 €.

Pramen: hoch zwei Technik 2/2016, s. 20–21

(AB)