

EKODESIGN OHŘÍVAČŮ TEPLÉ VODY S VAZBOU NA NÁVRH SYSTÉMU PŘÍPRAVY TEPLÉ VODY

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

Bc. Erika Langerová,

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

Technická 4, 160 00 Praha 6

Email: Roman.Vavricka@fs.cvut.cz

ANOTACE:

Příspěvek je zaměřen na možnost využití odběrových profilů dle Nařízení Komise EU č. 811, 812, 813 a 814/2013 s ohledem na návrh systému přípravy teplé vody. Autoři srovnávají možnost využití zátěžových profilů převodem na kumulativní křivky odběru a jejich použití při návrhu velikosti zásobníku a požadovaného tepelného výkonu ohříváče teplé vody.

ÚVOD

Z hlediska přípravy teplé vody je nutné respektovat využití budovy a její provozní režim. Jednou z možností návrhu vhodného zdroje tepla a velikosti zásobníku teplé vody je využití metody křivek odběru a dodávky tepla. Vstupním údajem pro tuto metodu je znalost odběrové křivky daného objektu, která popisuje rozložení odběrů teplé vody v čase. V nejlepším případě se křivka sestaví z měření skutečných odběrů teplé vody z řešeného objektu nebo z naměřených hodnot objektu s podobným využitím. Pokud nelze měření provést, využívají se pro sestavení křivky odběru normativní hodnoty.

V rámci Nařízení Komise EU č. 811, 812, 813 a 814/2013 o zkoušení a hodnocení energetických parametrů ohříváčů vody vzniklo 10 vzorových zátěžových profilů tabulkovou formou, které mají odpovídat reálnému provozu ohříváčů v budově. Tyto tabulky je možné převést na grafické vyjádření křivek odběru. Článek si klade za cíl porovnat tyto legislativní profily odběru se skutečně naměřenými údaji. Dále pak provést maximální zjednodušení tvaru křivek odběru a jejich verifikaci s reálnými odběry teplé vody tak, aby nebyl výrazně ovlivněn výsledek stanovení velikosti zásobníku teplé vody a požadovaného tepelného výkonu ohříváče.

ZÁTĚŽOVÉ PROFILY DEFINOVANÉ NAŘÍZENÍM KOMISE EU Č. 811, 812, 813 A 814/2013

Primárně je nutné si uvědomit, že zátěžové profily definované Nařízeními Komise EU jsou určeny pro testování ohříváčů vody a stanovení tzv. ekodesignu, tj. energetického štítku ohříváče.

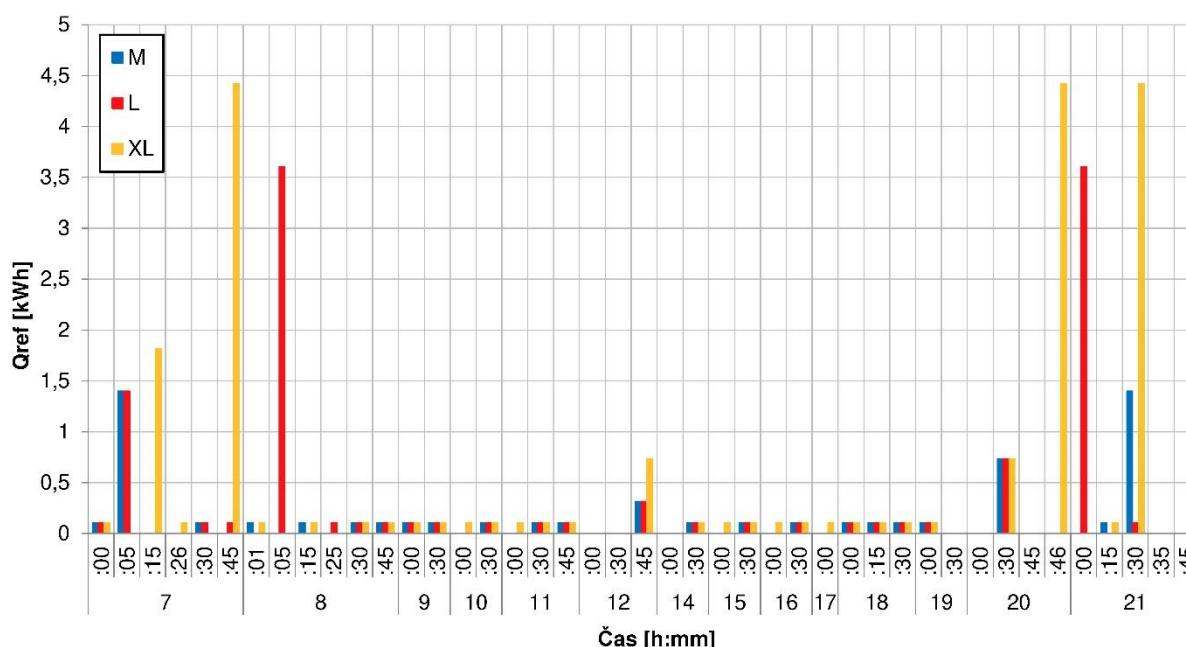
Zkoušení ohříváčů probíhá v několika 24 hodinových cyklech. Odběr teplé vody začíná vždy v 7:00 a probíhá až do 24:00. Od 24:00 až do 6:59 se žádný odběr nevyskytuje [1]. Tzv. zátěžový profil tak určuje sled odběrů teplé vody v časové ose (v našem případě v průběhu dne, tj. za 24 hodin). Definuje tak, jaké množství energie bylo odebráno v příslušném čase. Zátěžové profily dle Nařízení komise EU č. 811, 812, 813 a 814/2013 jsou uvedeny ve formě tabulky, kdy je každému časovému úseku přiřazeno množství odebrané energie. Každý zátěžový profil byl sestaven tak, aby simuloval použití ohříváče v určitém typu budov. Označení zátěžových profilů symbolizuje velikost odběru, přičemž označení 3XS je malý odběr a 4XL naopak označuje výrazné odběrové špičky. Ve studii Ing. Reného Kemny – Water heaters, Review

study Task 1 [5] vypracované pro Evropskou komisi je uvedeno použití profilů z pohledu odběrných míst (Tab. 1). Tab. 1 je navíc doplněna o přiřazení zátěžového profilu předpokládanému typu budovy.

Tab. 1 Přiřazení zátěžových profilů k typům budov [5] (upraveno podle anglického originálu)

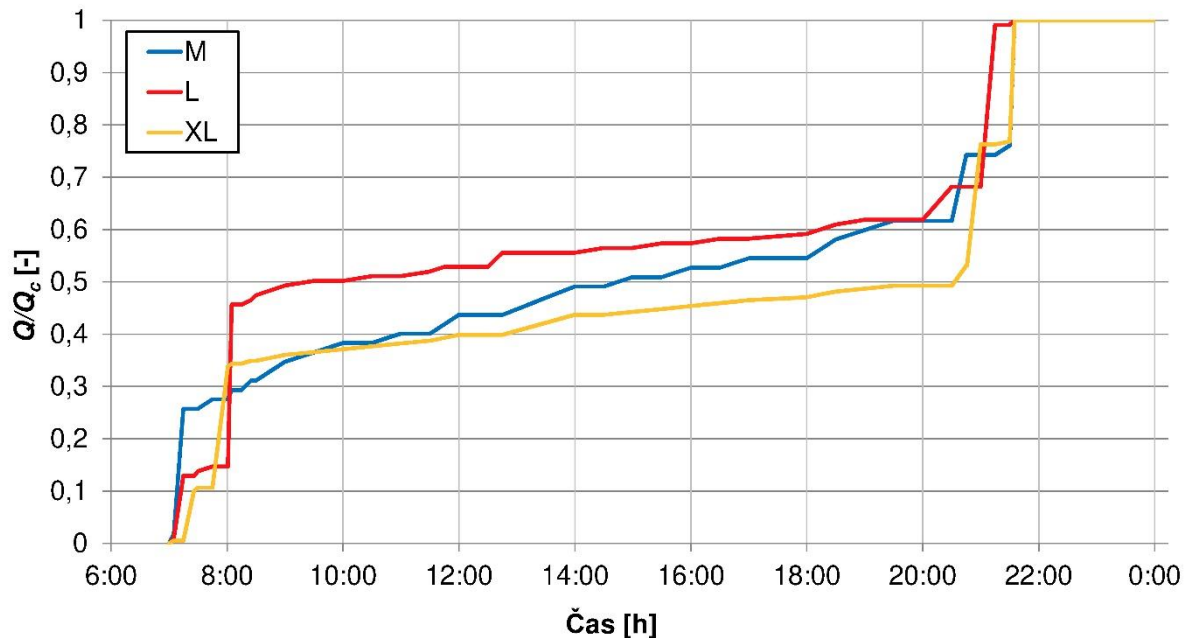
Označení	Typy odběru	Přiřazení k typu budovy
3XS	Umyvadlo	Kancelářská budova
XXS	Kuchyňský dřez nebo umyvadlo	Kancelářská budova
XS	Sprcha (jedno odběrné místo - sprcha)	Kancelářská budova
S	1 osoba s více odběrnými místy, s malým odběrem TV	Bytový nebo rodinný dům
M	2 až 3 lidé – příprava TV pouze pro sprchu	Bytový nebo rodinný dům
L	4 až 5 osob – příprava TV pro sprchu a nepravidelně vanu	Bytový nebo rodinný dům
XL	4 až 5 osob – příprava TV pro sprchy a vanu – denně	Bytový nebo rodinný dům
XXL	více než 5 osob, nebo menší komerční prostory	Víceúčelové budovy
3XL	komerční prostory, veřejné prostory	Specifické budovy*
4XL	komerční prostory, veřejné prostory	Specifické budovy*

*Pojem „Specifické budovy“ zahrnuje např. sportovní areály, veřejné budovy, průmyslový areál, apod.



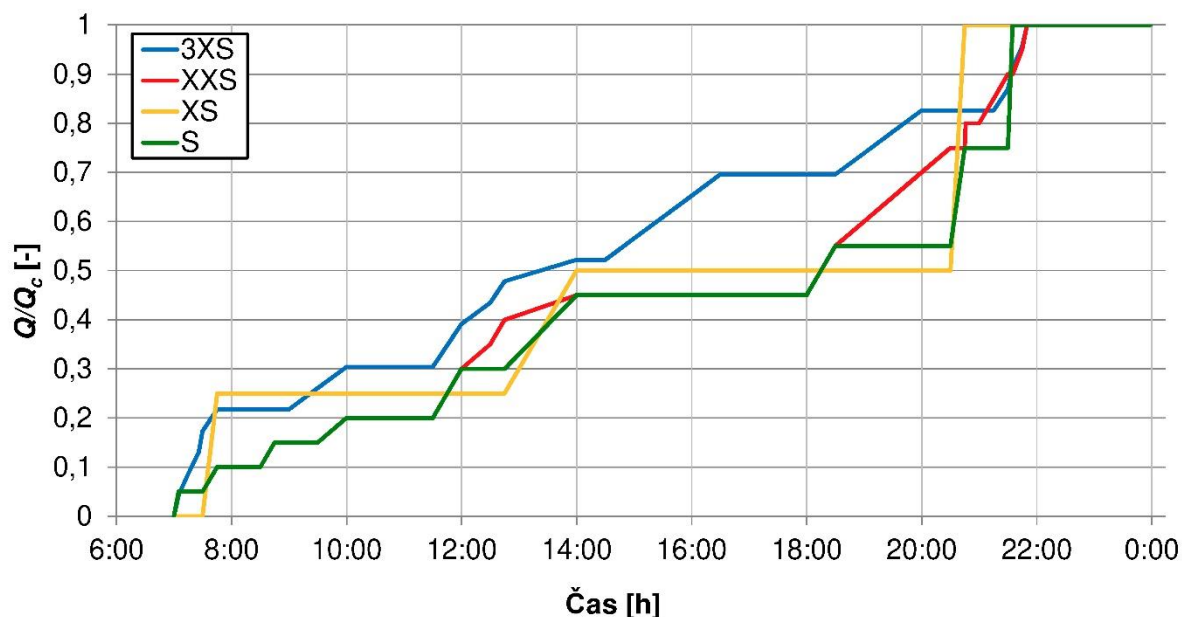
Obr. 1 Sloupcové vyjádření zátěžových profilů M, L a XL dle definice Nařízení Komise EU č. 811/2013 [1]

Základní grafické vyjádření zátěžového profilu lze znázornit ve sloupcovém grafu. Příklad takového grafického vyjádření zátěžových profilů M, L a XL prezentuje obr. 1. Graf je kvůli přehlednosti zobrazen pouze v časovém úseku, kdy Nařízení Komise EU definuje probíhající odběry, tzn. v čase mezi 7:00 do 22:00. Nicméně časová perioda pro daný profil je samozřejmě 24 hodin, tj. graf by začínal v 0:00 a končil ve 24:00.



Obr. 2 Kumulativní vyjádření zátěžových profilů M, L a XL dle definice Nařízení Komise EU č. 811/2013 – křivky odběru tepelné energie v odebrané teplé vodě => tj. křivky odběru [8]

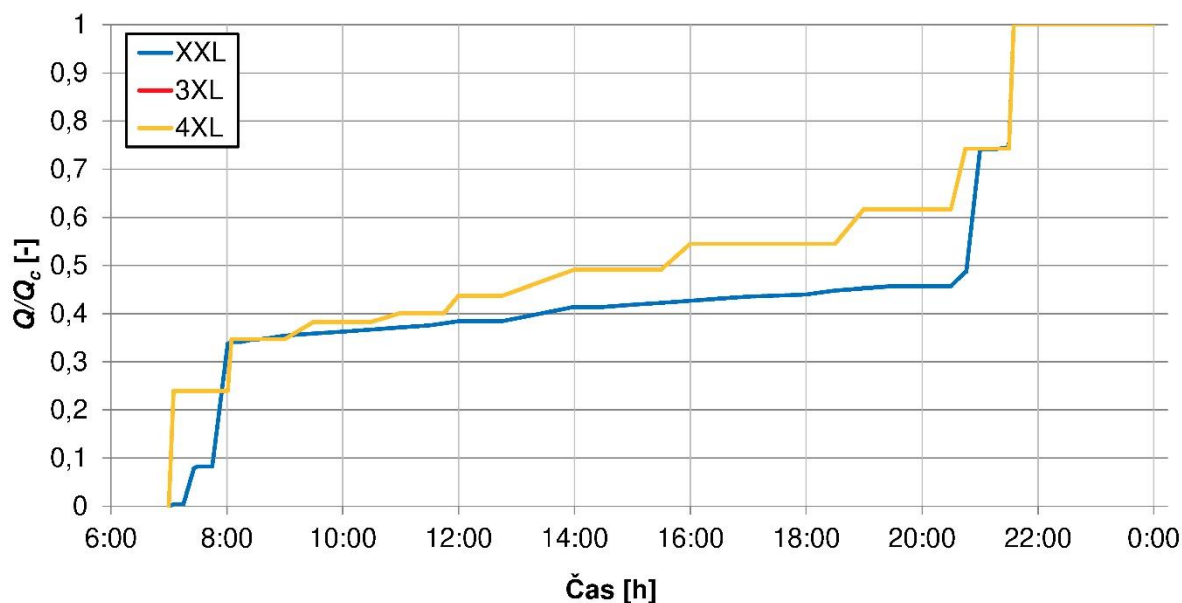
Pokud chceme informace o časovém rozložení odběru teplé vody využít pro návrh velikosti zásobníku teplé vody a požadovaného tepelného výkonu ohříváče vody je vhodné převést informace z obr. 1 do tzv. kumulativního grafu. Kumulativní křivka je přírůstek odběru energie v závislosti na čase, tzn. že kumulativní křivky nemůže mít nikdy klesající trend. Z pohledu návrhu systému přípravy teplé vody rozlišujeme křivku odběru – charakterizuje kumulativní odběr teplé vody a křivku dodávky – charakterizuje kumulativní odběr tepla v ohříváči teplé vody (zdroji tepla). Přičemž čím jsou obě křivky strmější, tím vyšší hodnotu odběru energie v závislosti na čase uvažujeme. Více o metodice návrhu systému přípravy teplé vody metodou křivek odběru a dodávky lze nalézt např. v [5], [9], [10]. Obr. 2 ukazuje kumulativní průběh odběrů teplé vody dle obr. 1. Pro možnosti porovnávání průběhu jednotlivých zátěžových profilů je u kumulativních křivek na ose y použita relativní hodnota odebrané energie vztažená k celkové sumě odebrané energie za celý uvažovaný časový úsek (tj. za 24 hodin).



Obr. 3 Kumulativní vyjádření zátěžových profilů 3XS, XXS, XS a S dle definice Nařízení Komise EU č. 811/2013 – křivky odběru tepelné energie v odebrané teplé vodě => tj. křivky odběru [8]

Právě kumulativní průběh zátěžového profilu dokáže zřetelněji ukázat výrazné změny v odběru teplé vody. Obr. 2 znázorňuje kumulativní průběh odběru u zátěžových profilů M, L a XL. U těchto profilů jsou vidět výrazné odběrové špičky v ranních hodinách (cca mezi 7:05 až 8:05) a ve večerních hodinách (cca mezi 20:30 až 21:30). V průběhu dne je nárůst odběru teplé vody v podstatě rovnoměrný. Naopak u kumulativních křivek zátěžových profilů 3XS, XXS a S (Obr. 3) je vidět rovnoměrný nárůst odběrů teplé vody mezi 8:00 až 20:00 a ačkoli se v tomto čase vyskytují odběrové špičky, nejsou tak výrazné jako u profilů L a XL. Výjimkou je pouze profil XS u kterého nastávají v podstatě pouze tři odběry během dne, přičemž všechny vykazují významný nárůst odběru v krátkém časovém úseku. Nejvíce je toto patrné u večerní špičky, kdy odběr trvá pouze 15 minut a představuje energeticky 50 % z celkového množství odebrané energie během dne. Na druhou stranu zátěžové profily 3XS až S, ale ukazují odběr teplé vody charakteristický např. úklid, používání toalet, mytí nádobí apod. což je typické např. právě pro kancelářské budovy.

U zátěžových profilů XXL, 3XL a 4XL (Obr. 4) je vidět shoda v grafickém vyjádření s průběhy u zátěžových profilů M, L a XL. Zajímavé je, že v kumulativním vyjádření profil 3XL a 4XL vykazují totožný průběh. Profily 3XL a 4XL se sice liší v požadavku na množství odebrané energie během dne, profil 4XL má dvojnásobné energetické potřeby než profil 3XL, nicméně energie se odebírá ve stejných časech a ve stejném poměru k celkovému množství odebrané energie. Zde je proto nutné zdůraznit, že celkové množství odebrané energie na přípravu teplé vody je samozřejmě pro návrh systému přípravy teplé vody důležitý vstupní parametr, ale důležitější je znát časové intervaly s vazbou na podíl z celkové odebrané energie na přípravu teplé vody.



Obr. 4 Kumulativní vyjádření zátěžových profilů XXL, 3XL a 4XL dle definice Nařízení Komise EU č. 811/2013 – křivky odběru tepelné energie v odebrané teplé vodě => tj. křivky odběru [8]

Celkovou energii pro přípravu teplé vody za časovou periodu lze vyjádřit na základě vztahu,

$$Q_{TV, celk} = Q_{TV, teor} + Q_{TV, ztráty} = (1+z) \cdot Q_{TV, teor} = \frac{(1+z) \cdot V_i \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600 \cdot 1000} \quad (1),$$

kde

- $Q_{TV, celk}$ - teplo dodané ohřivačem teplé vody [kWh/periodu],
- $Q_{TV, teor}$ - teplo pro ohřev vody [kWh/periodu],
- $Q_{TV, ztráty}$ - teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV [kWh/periodu],
- z - poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV [-],
- V_i - celková potřeba teplé vody [m^3 /periodu],
- ρ - hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m^3],
- c - měrná tepelná kapacita [$J/kg \cdot K$],
- t_{SV} - teplota studené vody (obvykle 10 °C) [°C],
- t_{TV} - teplota teplé vody (obvykle 55 °C) [°C].

Časovou periodou pak rozumíme např. 24 hodin [9]. Z rovnice (1) je tak vidět, že na celkové teplo dodané ohřivačem teplé vody má nejvýraznější vliv celková potřeba vody V_i a poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci z . Zatímco poměrná ztráta z , je závislá na tepelné izolaci potrubních rozvodů a zásobníku teplé vody, nebo časovému řízení u cirkulačního čerpadla, celková potřeba vody V_i závisí na typu řešené objektu. Proměnnou ve stanovení celkové potřeby vody jsou u obytných budov osoby, u ubytovacích zařízení to jsou často lůžka a např. u průmyslových areálů počet sprch. Základní přehled ukazuje Tab. 2 a Tab. 3 [12].

Tab. 2 Požadavky na teplou vodu pro obytné budovy [12]

Typ budovy	V_i [l/osobu-den]
objekty pro bydlení (prosté bydlení)	25 – 60
objekty pro bydlení (luxusní bydlení)	60 – 100
jednotlivé bytové jednotky	40 – 70
bytové domy	25 – 30

*Hodnoty v tabulkách jsou dle normy uvažovány pro teplotu teplé vody na výtoku 60 °C a teplotu studené vody 13,5 °C!

Tab. 3 Požadavky na teplou vodu pro nebytové budovy [12]

Způsob využití	Vztažná jednotka	V_i [l/jednotku-den]
ubytování	počet lůžek	28
zdravotnické zařízení, bez ubytování	počet lůžek	10
zdravotnické zařízení, s ubytováním a	počet lůžek	88
stravování, 2 jídla za den, tradiční kuchyně	počet hostů na	21
stravování, 2 jídla za den, samoobslužné	počet hostů na	8
hotel 1 – hvězdičkový, bez prádelny	počet lůžek	56
hotel 1 – hvězdičkový, s prádelnou	počet lůžek	70
hotel 4 – hvězdičkový a vyšší, bez prádelny	počet lůžek	118
hotel 4 – hvězdičkový a vyšší, s prádelnou	počet lůžek	132
sportovní zařízení	instalované	101

*Hodnoty v tabulkách jsou dle normy uvažovány pro teplotu teplé vody na výtoku 60 °C a teplotu studené vody 13,5 °C!

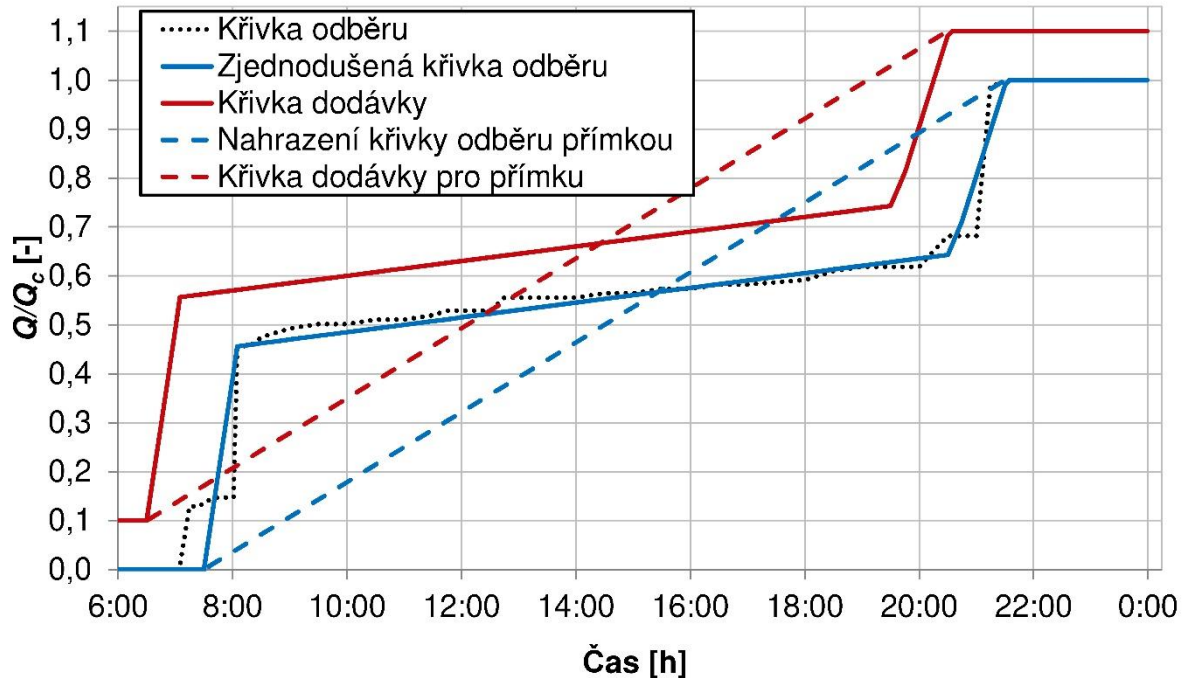
NÁVRH ZJEDNODUŠENÍ KŘIVEK ODBĚRU JEDNOTLIVÝCH ZÁTĚŽOVÝCH PROFILŮ

Při zjednodušování byla využita původní kumulativní křivka zátěžového profilu – tj. křivka odběru a zjednodušení bylo provedeno lineární aproximací v prostředí MS Excel. Snahou bylo vytvoření co nejhladší křivky odběru k danému profilu, ale zároveň musely být zohledněny předpokládané odběrové špičky. Pro porovnání vypočtených hodnot velikosti zásobníku teplé vody byla vytvořena referenční křivka dodávky, která musí splňovat následující kritéria:

- 1) je odsazena od zjednodušené křivky odběru minimálně o 10 %,
- 2) dodávka energie je časově předsunutá o 1 hodinu před křivku odběru,
- 3) křivka dodávky nikdy neprotíná původní ani zjednodušenou křivku odběru.

V dále popisovaných grafech nejsou uvažovány tepelné ztráty při ohřevu a distribuci, protože by to znamenalo pouze konstantní změnu sklonu křivky odběru a dodávky. Uváděné grafy také nemají počátek v 0:00, ale až v 6:00 a to proto, že jak bylo uvedeno výše, zátěžové profily dle Nařízení Komise EU uvažují s počátkem odběru vždy až od 7:00. Obr. 5 současně prezentuje otázku, zda by bylo možné nahradit jakoukoli předpokládanou křivku odběru prostou přímkou. Tento předpoklad se velmi často objevuje v praxi, ačkoli o něm většina projektantů takto graficky nepřemýšlí. V podstatě se jedná o chybný předpoklad výpočtu v tom, že pokud znám celkovou potřebu energie pro přípravu teplé vody dle vzorce (1) a zároveň vím, v jakém celkovém časovém intervalu teplou vodu potřebuji, pak stačí tuto energii vydělit časem

odběru a výsledkem bude potřebný výkon ohřivače teplé vody. Jak je vidět graficky z obr. 5 je jasné, že tento předpoklad zcela ignoruje možné odběrové špičky. Výsledky výše diskutovaného jsou znázorněny v tabulce 4 (požadovaná velikost zásobníku TV) a tabulce 5 (požadovaná velikost zdroje tepla).



Obr. 5 Ukázka uvažovaného zjednodušení u křivky zátěžového profilu L včetně vytvoření křivek dodávky dle popsaných požadavků [8]

Tab. 4 Požadovaný objem zásobníku teplé vody V_{TV}

Odběrový profil	V_{TV} [%]	
	Návrh respektující odběrové špičky křivek	Zjednodušený návrh nahrazením přímkou
3XS	100	54 (-46 %)
XXS	100	51 (-49 %)
XS	100	39 (-61 %)
S	100	38 (-62 %)
M	100	30 (-70 %)
L	100	31 (-69 %)
XL	100	31 (-69 %)
XXL	100	30 (-70 %)
3XL	100	41 (-59 %)
4XL	100	39 (-61 %)

Tab. 5 Požadovaný tepelný výkon ohřivače P_{TV}

Odběrový profil	P_{TV} [%]	
	Návrh respektující odběrové špičky křivek	Zjednodušený návrh nahrazením přímkou
3XS	100	22 (-78 %)
XXS	100	29 (-71 %)
XS	100	22 (-78 %)
S	100	20 (-80 %)
M	100	16 (-84 %)
L	100	9 (-91 %)
XL	100	13 (-87 %)
XXL	100	13 (-87 %)
3XL	100	22 (-78 %)
4XL	100	21 (-79 %)

ZÁVĚR

Článek reaguje na stále opakující se chyby návrhu systému přípravy teplé vody. V praxi je běžné, že projektant podceňuje přípravu teplé vody a při návrhu se dopouští celé řady chyb. Z pohledu požadovaného objemu zásobníku teplé vody a tepelného výkonu ohřivače je zásadní chybou zanedbání tvaru odběrových křivek. Jak bylo ukázáno na profilech odběru dle Nařízení Evropské komise [1], [2], [3] a [4] zjednodušení vykazuje výrazné poddimenzování. Navíc je nutné si uvědomit, že na výsledku návrhu má kromě správně zvoleného tvaru křivky odběru vliv také vhodně navržená křivka dodávky. Křivka dodávky by měla respektovat nejen požadavky na odběr tepla v teplé vodě, ale také možnosti použitého ohřivače. Zcela jiný tvar křivky dodávky tepla bude použit např. v bytovém domě napojeném výměníkovou stanicí na centrální horkovod teplárny a než pokud by stejný bytový dům využíval k přípravě teplé vody tepelné čerpadlo, plynové kotle apod. Tvar navrhované křivky dodávky můžou ovlivnit také časové možnosti provozu použitého zdroje tepla, např. při společné přípravě teplé vody a vytápění objektu ze společného zdroje tepla.

Roman.Vavricka@fs.cvut.cz, Erika.Langerova@fs.cvut.cz

LITERATURA:

- [1] *Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) č. 811/2013: kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/30/EU* [online], 2013. Brusel. [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1559499852559&uri=CELEX:52014XC0703\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1559499852559&uri=CELEX:52014XC0703(01))
- [2] *Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) 812/2013: kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/30/EU* [online], 2013, Brusel.[cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1540490773594&uri=CELEX:32013R0812>
- [3] *Nařízení komise (EU) č. 813/2013: kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign ohřivačů pro vytápění vnitřních*

- prostorů a kombinovaných ohřivačů.* [online], 2013, Brusel. [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1540490895768&uri=CELEX:32013R0813>
- [4] *Nařízení komise (EU) č. 814/2013: kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign ohřivačů vody a zásobníků teplé vody.* [online], 2013, Brusel. [cit. 2018-10-16]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1540490977111&uri=CELEX:32013R0814>
- [5] KEMNA, R.: *Water heaters, Review study Task 1.* [online], 2019, [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.ecohotwater-review.eu/downloads/20190208_Water%20Heater%20TASK1%20draft%20final%20report%20January%202019.pdf
- [6] EDWARDS, S., BEAUSOLEIL-MORRISON, I., LAPERRIÉREC, A.: *Representative hot water draw profiles at high temporal resolution for simulating the performance of solar thermal systems* [online], 2015, [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X14005131>
- [7] VAVŘIČKA, R., MAZUR, M.: Odběrové profily teplé vody. In: *Vytápění, větrání, instalace.* 2017, roč. 26, č. 3, s. 156-164. ISSN 1210-1389.
- [8] LANGEROVÁ, E.: Zátěžový profil ohřivačů teplé vody. Bakalářská práce, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, 2019, 70 s.
- [9] VAVŘIČKA, R. a kolektiv: *Příprava teplé vody, Sešit projektanta č. 3. STP – OS 02 – Vytápění.* Praha 2017, 182 s. ISBN 978-80-02-02713-3.
- [10] VAVŘIČKA, R.: *Metody návrhu zásobníku teplé vody – 1. část. Vytápění, větrání, instalace.* 2011, roč. 20, č. 3, s. 108-112. ISSN 1210-1389.
- [11] ČSN 06 0320 *Tepelné soustavy v budovách. Příprava teplé vody - Navrhování a projektování.* ČNI 2006.
- [12] ČSN EN 12831-3: *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3.* 1. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.