

# BENCHMARKING NA ÚPRAVNÁCH VODY

**Mgr. Jiří Paul, MBA<sup>1)</sup>, Mgr. Petr Kavalír, Ph.D.<sup>2)</sup>, Ing. Jan Soukup<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Vodovody a kanalizace Beroun, a.s., Mostníkovská 255, 266 41 Beroun,  
jiri.paul@vakberoun.cz

<sup>2)</sup> Vodárenská společnost Chrudim, a.s., Novoměstská 626, 537 28 Chrudim  
petr.kavalir@vschrudim.cz

## Úvod

Společnosti skupiny ENERGIE AG WASSER (EAGW) vytvořily databázi provozovaných úpraven pitných vod, ve které sdružují kromě základních údajů o technologii také základní technické ukazatele, jako jsou výroba vody, spotřeba technologické vody a energetická náročnost. U úpraven s výrobou nad 10 l/s se shromažďují i náklady na výrobu pitné vody v členění vycházejícím z kalkulační osnovy vodného. Celkem je do databáze zahrnuto 99 úpraven vody s údaji za uplynulých 5 let. Na první pohled se jedná o soubor dat, který by mělo být možno statisticky vyhodnotit a dospět u sledovaných ukazatelů k hodnotám, které lze považovat za normu – benchmark.

Smyslem benchmarkingu je zlepšování výkonu na základě porovnání s okolím. Okolím může být konkurence, srovnatelný provoz, literární údaj. V rámci procesu benchmarkingu lze definovat srovnávací hodnotu nebo stav – benchmark; ten může být nastaven jako cíl, limit, v některých případech i jako nejlepší dosažená hodnota (např. [1]). Při snaze porovnávat technické údaje úpraven ovšem narážíme na řadu překážek. Tou první, nejzásadnější, je absence obecného aktuálního a věrohodného standardu nebo ideální hodnoty, se kterou by bylo možno reálně dosahované hodnoty porovnávat. V literatuře je takových údajů poskrovnu. Pokud se vyskytnou, bývá složité je interpretovat a použít tak, aby se porovnávalo porovnatelné. Druhým problémem je, že většina dostupných údajů se týká zejména velkých zařízení, u ÚV zpravidla nad 100 l/s okamžitého výkonu. Přitom lze říci, že mezi zařízeními této velikostní kategorie nelze očekávat až tak velký rozdíl. Naopak u malých úpraven je variabilita značná. V neposlední řadě ztěžuje porovnání to, že srovnatelná data tvoří malé soubory, které se dají jen obtížně statisticky vyhodnocovat.

## Metodika

Ukazatele, kterým jsme se věnovali v první řadě, byly podíl technologické vody a specifická spotřeba elektrické energie na výrobu 1m<sup>3</sup> upravené vody. Již z prvních výstupů bylo zřejmé, že variabilita výsledků, zejména u nejmenších úpraven, je značná a hledání benchmarku v takovém vzorku bude obtížné. Pro první rozdělení dat do více kategorií jsme i z důvodu možného porovnání údajů použili kategorizaci podle výkonu úpravny vycházející z analýzy dat vybraných ukazatelů provozní evidence provozovatelů úpraven za rok 2008 [2]; roční výroba přepočtená na průměrný výkon v l/s. Vedle faktoru velikosti jsme pro porovnání specifické spotřeby el. energie při dalším dělení do kategorií vzali v potaz i to, zda je voda na úpravnu nebo z úpravny čerpána, resp. zda je do hodnot spotřeby el. energie zahrnuta spotřeba na čerpání.

Pro lepší prezentaci variability dat v jednotlivých kategoriích bylo použito sestrojení krabicových grafů; jako příklad je přiložen graf na Obr. 1. Velikost obdélníku v grafu je dána rozpětím hodnot stanovených jako průměr  $\pm$  standardní odchylka. Z obdélníku vystupují úsečky, které znázorňují maximální a minimální hodnotu výběru. Statistická analýza jednotlivých kategorií ukázala, že zejména u souboru úpraven s nejmenším výkonem je standardní odchylka nepřijatelně velká a potvrdil se tak předpoklad, že nebude vhodné pracovat s průměrnou hodnotou jako standardem.

V další fázi zpracování dat jsme přistoupili k výpočtu kvantilů. Kvantily dělí soubor hodnot na několik zhruba stejně velkých částí a jsou tak mírou polohy rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny [3]. Kvantily pro význačné hodnoty se označují zvláštními jmény. V praxi se nejčastěji setkáme s kvantily rozdělujícími soubor na čtvrtiny nebo s percentily, které rozdělují soubor na setiny. Medián (střední hodnota) je v podstatě jeden z kvantilů, tj. 50. percentil, a rozděluje soubor dat na dvě poloviny. Kvantil označuje, kolik procent dat v souboru má nižší hodnotu. Například hodnota 90. percentilu je tedy ve zkoumaném souboru dat překročena právě deseti procenty hodnot. Určení libovolného percentilu je např. s použitím aplikace MS Excel velmi jednoduché.

Prezentovaná data jsou výsledky z roku 2012.

## Výsledky a diskuze

Přehled hodnot podílu technologické vody obsahuje Tabulka 1. Velký rozptyl hodnot již byl diskutován, maximálních hodnot je dosahováno u technologie reverzní osmózy a u úpraven pracujících diskontinuálně nebo jako doplňkové zdroje.

### Tabulka 1. Podíl technologické vody v % surové (veškeré odebrané) vody

Data označená VUPE jsou výsledky analýzy dat z vybrané provozní evidence za rok 2008 [2] (více v textu)

<b>výkon úpravny</b>	<b>pod 0,2</b>	<b>0,2-1</b>	<b>1-5</b>	<b>5-10</b>	<b>10-50</b>	<b>50-100</b>	<b>všechna data</b>
průměr	9,9	7,9	6,9	7,2	5,1	5,9	7,4
Max	34,6	25,9	19,5	19,9	16,7	11,3	34,62
Min	2,6	0,4	0,4	0,6	1,4	0,5	0,38
směr. odch.	9,4	5,67	6,14	5,4	4,4	5,41	6,28
<b>medián</b>	<b>5,8</b>	<b>7</b>	<b>4,2</b>	<b>6,9</b>	<b>3,4</b>	-	<b>5,94</b>
75 percentil	11,6	10,1	10,4	9,2	5,7	-	10,1
90 percentil	18,8	13,2	16,4	14,6	8,7	-	16,5
Počet	10	31	23	14	9	2	89
VUPE - průměr	2,01	2,46	3,34	2,9	4,48	5,04	4,59
VUPE - počet	245	426	248	67	91	27	1104

Nabízí se srovnání s analýzou provedenou Frankem [2] na datech pocházejících z „vybraných údajů provozní evidence“ (VUPE); tuto evidenci předávají provozovatelé povinně ministerstvu zemědělství. Ve výsledcích této analýzy jsou překvapivě nízké hodnoty malých úpraven do 5 l/s, zejména s přihlédnutím k počtu zařízení v těchto kategoriích. Do jisté míry je možné je vysvětlit tím, že právě tyto menší aplikace jsou často úpravny s technologií iontovýmění nebo sorpce, na kterých se technologická

voda nepoužívá k praní, ale jen k regeneraci náplní. V těchto kategoriích je také největší podíl objektů provozovaných malými provozovateli, často samotnými obcemi, takže se nelze úplně spolehnout na absolutní přesnost poskytnutých výsledků. Celkový průměr dat VUPE uvedený v tabulce je spočítán jako podíl součtu objemů veškeré odebrané vody a součtu objemů technologické vody – výsledná hodnota je 4,6 %. Pokud určíme takto podíl i z našich dat, dostáváme hodnotu 6,4 % (v tabulce 1 uvedený průměr všech dat je průměrem jednotlivých dosažených hodnot).

Z prostého porovnání spotřeb technologické vody je obtížné vyvozovat závěry. U každé úpravy je nutné vzít v potaz specifické podmínky a další okolnosti, jak se ukazuje např. při porovnání spotřeby technologické vody vztažené k odstraněné  $CHSK_{Mn}$  u ÚV Souš v rámci benchmarkingu úpraven skupiny Veolia Voda [4]. Tento benchmarking zahrnuje na 40 úpraven s výrobou vody nad 100 l/s, mezi kterými ÚV Souš v podílu technologické vody zaujímá 24. místo, ale vztaženo k odstraněné  $CHSK_{Mn}$  je 4. nejlepší úpravou. Průměrný podíl technologické vody je u úpraven zahrnutých do benchmarkingu Veolia Voda 6 % [5].

Množství technologické vody může být na řadě úpraven kritickým ukazatelem. V námi zkoumaném vzorku jsou úpravy, které od státního podniku Povodí nakupují 1 m<sup>3</sup> surové vody za více než 6 Kč a technologická voda se tak stává nezanedbatelnou nákladovou položkou ovlivňující výslednou cenu pro spotřebitele. Na některých úpravách pak může odběr vody být na hranici povolení nebo skutečně vydatnosti zdroje. Tam, kde je to možné, se proto technologická voda recykluje a vrací na začátek úpravárenského procesu. Mělo by být samozřejmé, že při nakládání s technologickou vodou se každý vlastník a provozovatel úpravy chová zodpovědně k životnímu prostředí.

Podobně jako u technologické vody jsou podle velikostních kategorií úpraven zobrazeny základní statistiky specifické spotřeby elektrické energie našich dat v Tabulce 2 a pro přehlednost také v grafu na Obr. 2. U tohoto ukazatele je patrný vliv velikosti úpravy (množství vyrobené vody) na specifickou spotřebu – obecně čím větší úprava, tím menší jednotkové energetické nároky. U maximálních hodnot platí to samé, co v případě technologické vody, navíc se přidává faktor spotřeby na jiné účely, zejm. vytápění. V některých případech spotřeba na vytápění převyšuje spotřebu na úpravu vody.

**Tabulka 2. Specifická spotřeba el. energie v kWh/m<sup>3</sup> vyrobené vody**  
 (více viz text a popis tabulky 1)

<b>výkon úpravy</b>	<b>pod 0,2</b>	<b>0,2-1</b>	<b>1-5</b>	<b>5-10</b>	<b>10-50</b>	<b>50-100</b>	<b>všechna data</b>
průměr	2,75	1,34	0,92	0,71	0,58	0,17	1,21
Max	10,2	4,79	2,73	1,41	0,96	0,3	10,2
Min	1,32	0,28	0,02	0,18	0,36	0,05	0
SMODCH	2,49	0,84	0,77	0,38	0,18	0,12	1,26
<b>medián</b>	<b>1,84</b>	<b>1,14</b>	<b>0,84</b>	<b>0,61</b>	<b>0,62</b>	-	<b>0,96</b>
75 percentil	3,38	1,77	1,41	0,98	0,67	-	1,52
90 percentil	3,57	2,21	1,95	1,22	0,76	-	2,23
Počet	12	33	26	16	9	2	98
VUPE - průměr	1,02	0,72	0,65	0,58	0,53	0,42	0,32
VUPE - počet	245	426	248	67	91	27	1104

Klíčovou roli v porovnávání spotřeb el. energie hraje skutečnost, zda je do vykazované spotřeby zahrnuto čerpání surové nebo upravené vody. Ve většině případů, pokud se voda čerpá, je spotřeba energie měřena dohromady za celou úpravnu a provoz není schopen náklad na čerpání oddělit. Pro naše účely postačilo, že jsme data rozdělili podle toho, zda se čerpá buď surová nebo upravená, či obojí. Z výsledků je zřejmé, jak podstatným je právě čerpání v celkové spotřebě (Tabulka 3). Podle výsledků z úpraven skupiny EAGW lze z rozdílu mediánů zjednodušeně zobecnit, že čerpání surové nebo upravené vody odpovídá navýšení specifické spotřeby o zhruba 0,5 kWh/m<sup>3</sup>.

**Tabulka 3. Specifická spotřeba el. energie v kWh/m<sup>3</sup> vyrobené vody podle čerpání**

CS – čerpání surové vody, CU – čerpání upravené vody, U – jen úprava

čerpání	CS+U+CU	CS+U/U+CU	U
Průměr	1,39	1,12	0,37
Max	10,20	4,79	1,74
Min	0,25	0,18	0,02
SMODCH	1,39	1,04	0,61
Medián	1,12	0,70	0,12
75 percentil	1,5	1,6	0,2
90 percentil	2,4	2,2	1,0
Počet	60	22	6

Nabízí se srovnání s dostupnými údaji. Data z VUPE 2008 [2] působí u spotřeby el. energie malých ÚV mnohem reálněji, než tomu bylo u technologické vody. Specifická spotřeba el. energie vypočtená metodikou výše uvedené studie jako podíl spotřeby všech našich ÚV a veškeré vyrobené vody je 0,51 kWh/m<sup>3</sup> (VUPE – 0,32 kWh/m<sup>3</sup>). Velké úpravní zahrnuté v benchmarkingu Veolia Voda mají průměrnou spotřebu 0,5 kWh/m<sup>3</sup>, střední hodnota je 0,25 kWh/m<sup>3</sup> [5]. Studie Electric Power Research Institute uvádí spotřebu úpraven v USA 0,39 a 0,37 kWh/m<sup>3</sup> u úpraven s výkonem 40 l/s, resp. 4 m<sup>3</sup>/s [6]. Nizozemský benchmarking zahrnuje všechny provozovatele na území království. Průměrná spotřeba el. energie (včetně případné spotřeby na distribuci) vzrostla mezi roky 1997 a 2009 z 0,45 na 0,50 kWh/m<sup>3</sup> [7] a je vysvětlována vyššími nároky na úpravu vody. Kanadský benchmarking pokrývá zhruba polovinu provozovatelů, kteří zásobují kolem 21 mil. obyvatel (cca 60 % populace). Medián spotřeby el. energie na úpravu vody se zvýšil z 0,377 kWh/m<sup>3</sup> v roce 2007 na 0,530 kWh/m<sup>3</sup> v roce 2011 [8]. Průměrné hodnoty dosahované při úpravě vody ve státě Wisconsin jsou 0,5 kWh/m<sup>3</sup> u ÚV pro méně než 1000 obyvatel a 0,4 kWh/m<sup>3</sup> u úpraven nad 4000 obyvatel [9]. Stejný zdroj se odkazuje na referenční hodnoty pro USA: 0,37 a 0,47 kWh/m<sup>3</sup> u úpravy povrchové, resp. podzemní vody.

Protože ani kvantilové porovnávání neeliminuje nedostatečný počet dat v některých kategoriích, zejména kde je  $n < 20$ , nesnažili se autoři stanovit cílovou hodnotu, ale použili pro další práci s daty 90. percentil jako kritickou hranici, při jejímž překročení je vyžadováno ověření dat nebo zjištění a vysvětlení příčin. Možným způsobem, jak se vypořádat s nedostatečným počtem dat, je použití trendového hodnocení, při kterém se hodnotí dosažené výsledky jedné úpravní vody v čase.

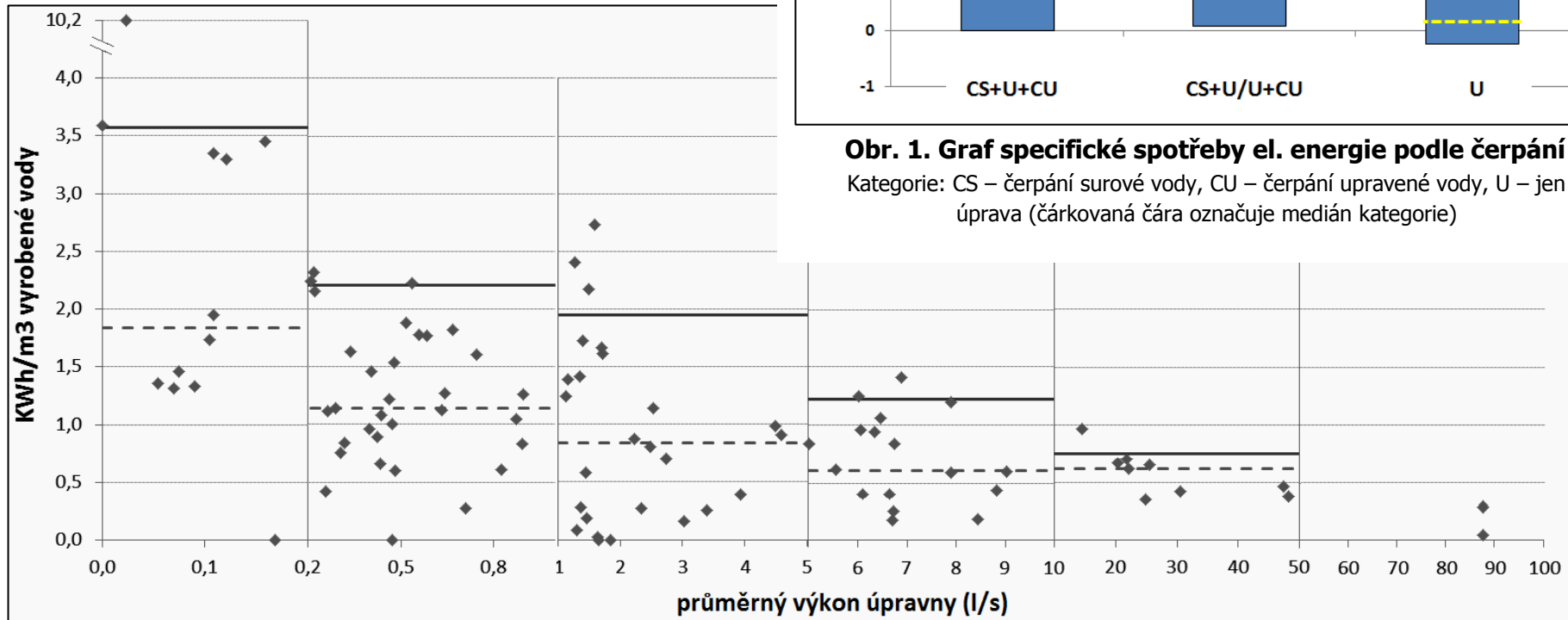
## Závěr

Benchmarking je bezesporu cenným nástrojem. I bez ohledu na míru možnosti interpretovat hodnoty přináší vždy jeden výsledek, možná nejpodstatnější – donutí odpovědné provozní pracovníky zamyslet se nad něčím, čemu mohou v každodenní práci jen obtížně věnovat pozornost. Srovnání s pokud možno srovnatelnými provozy pak upozorňuje na výkyvy a extrémy. Za nejdůležitější pak považujeme porovnání vlastních meziročních výsledků, kde by každý provozovatel úpravný měl být schopen tento vývoj vysvětlit. Významnou pomocí mohou být výsledky benchmarkingu při zdůvodňování výše výrobních nákladů nebo potřeby investic vlastníkům majetku. Na druhou stranu je benchmarking velmi nebezpečným nástrojem, a to zejména v rukou nedostatečně poučených manažerů. Těch naštěstí v oboru ubývá. Snad je nevystřídají nedostatečně poučení úředníci či regulátoři.

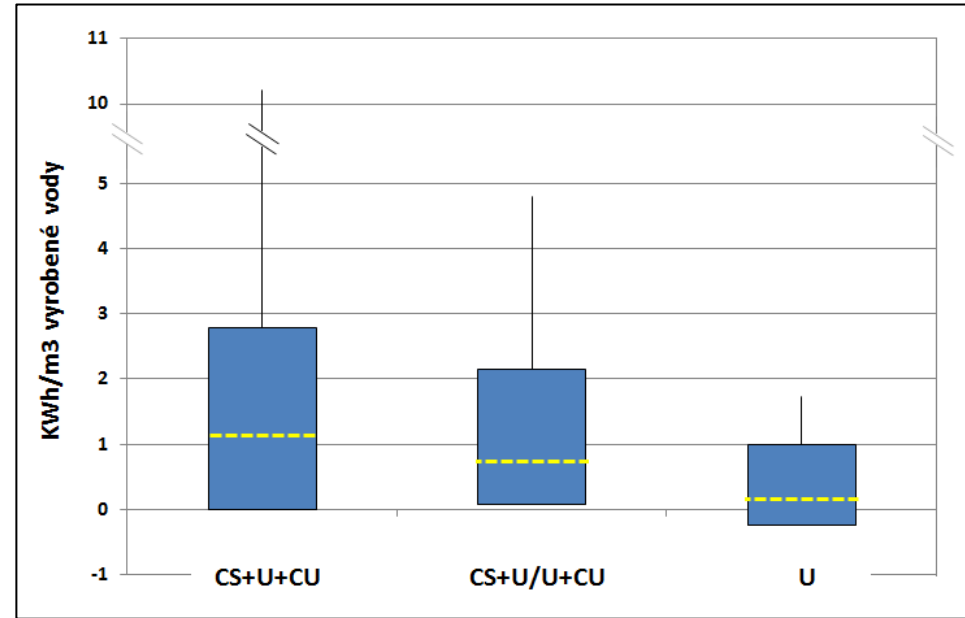
Závěrem bychom rádi vyslovili velký dík všem našim kolegům, kteří v jednotlivých společnostech sbírají data pro tento benchmarking. Čím více dat bude databáze obsahovat, tím přinese větší užitek. Obracíme se tímto i na další provozovatele a vlastníky úpraven s nabídkou zapracování jejich anonymních dat do databáze a sdílení výsledků.

## Literatura

- [1] LINDTNER, S., H. SCHAAR a H. KROISS, 2008. Benchmarking of Large Municipal Wastewater Treatment Plants Treating over 100,000 PE in Austria. *Water Sci Technol*; 57(10):1487-93, ISSN 0273-1223
- [2] FRANK, Karel, 2010. Stavby pro úpravu vody – analýza dat za rok 2008. *SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací*. Praha: SOVAK, 5/2010, str. 9-13. ISSN 1802-3754
- [3] WIKIPEDIA, the free encyclopedia. *Kvantil*. [vid. 2014-02-11], dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kvantil>
- [4] BARTOŠ L. a kol., 2011. *Konkrétní příklad optimalizace úpravný pitné vody a použití nástrojů benchmarkingu a carbon foot print*. Sborník přednášek Voda Zlín 2011, Zlín: Moravská vodárenská, a.s., str. 59-64. ISBN 978-80-254-9113-3
- [5] BENEŠ, Ondřej, *Vybrané údaje z benchmarkingu úpraven vod Veolia Voda, 2011*. Osobní sdělení.
- [6] GOLDSTEIN, R. a W. SMITH, 2002. *Water & Sustainability (Volume 4): U.S. Electricity Consumption for Water Supply & Treatment - The Next Half Century*. Palo Alto: Electric Power Research Institute, [vid. 2014-03-18], dostupné z: <http://www.rivernetwork.org/resource-library/water-sustainability-volume-4-us-electricity-consumption-water-supply-and-treatment>
- [7] VEWIN, 2010. *Reflections on performance 2009*. The Hague: Vewin, 78 str. [vid. 2014-03-18], dostupné z: <http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Overige%20Vewin-uitgaven/2010/Reflections%20on%20performance%202009.pdf>
- [8] NWWIBI, 2013. *2013 Public Report*. Vancouver and Kitchener: National Water and Wastewater Benchmarking Initiative, 87 str. [vid. 2014-03-18], dostupné z: [http://www.nationalbenchmarking.ca/public/docs/Public\\_Report\\_2013.pdf](http://www.nationalbenchmarking.ca/public/docs/Public_Report_2013.pdf)
- [9] SCIENCE APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION, 2006. *Water & Wastewater Industry Energy Best Practice Guidebook*. Madison: Focus On Energy™, State of Wisconsin, Department of Administration, Division of Energy, 93 str., [vid. 2014-03-18], dostupné z: [https://focusonenergy.com/sites/default/files/waterandwastewater\\_guidebook.pdf](https://focusonenergy.com/sites/default/files/waterandwastewater_guidebook.pdf)



**Obr. 2. Graf specifické spotřeby el. energie podle výroby vody** (čárkovaná čára – medián, plná čára 90. Percentil)



**Obr. 1. Graf specifické spotřeby el. energie podle čerpání**  
 Kategorie: CS – čerpání surové vody, CU – čerpání upravené vody, U – jen úprava (čárkovaná čára označuje medián kategorie)