

# Srovnání vodní stopy VE Fláje a VE Přísečnice s uvažováním alokace podle ekonomické hodnoty užitků vodní nádrže

## Comparison of water footprint of HPP Fláje and HPP Přísečnice with consideration of allocation by the economic value of water reservoir purpose

Libor Ansorge<sup>1\*</sup>, Pavel Vojtko<sup>2</sup>, Veronika Hamanová<sup>2</sup>, Jakub Hrubý<sup>2</sup>, Martin Dočkal<sup>2#</sup>

### INFORMACE O ČLÁNKU

DOI 10.35933/ENTECHO.2020.005

#### HISTORIE

Datum doručení: 31. 10. 2020

Datum revize: 20. 11. 2020

Datum akceptace: 21. 11. 2020

#### AFILACE

<sup>1</sup> Výzkumný ústav vodohospodářský  
T. G. Masaryka v Praze

<sup>2</sup> Vysoké učení technické v Praze,  
Fakulta stavební

\* libor.ansorge@vuv.cz

0000-0003-3963-8290

# dockal@fsv.cvut.cz

#### KLÍČOVÁ SLOVA

vodní stopa; vodní elektrárna;  
ekonomická alokace; srovnávací  
studie

#### KEYWORDS

water footprint; hydropower  
station; economic allocation;  
comparative study

### SOUHRN

V předloženém článku je popsána srovnávací studie vodní stopy elektrické energie vyráběné ve dvou vodních elektrárnách provozovaných státním podnikem Povodí Ohře na vodárenských nádržích Přísečnice a Fláje v Krušných horách. Pro výpočet vodní stopy byla použita metoda hrubé spotřeby, která uvažuje ztráty vody z nádrže na úrovni výparu z hladiny. Protože výroba elektrické energie na vodárenské nádrži je jen doplňkovým užitkem, který poskytuje vodní nádrž, bylo třeba rozdělit ztráty vody z nádrže mezi jednotlivé užitky poskytované vodní nádrží. Pro alokaci ztrát výparem mezi jednotlivé užitky byla použita alokace na základě ekonomické hodnoty jednotlivých užitků. Ztráty vody alokované na výrobu elektrické energie představují méně než 1 % celkových ztrát. Studie ukázala, že vodní stopa elektrické energie vyráběné ve vodní elektrárně Přísečnice je cca dvakrát větší než vodní stopa elektrické energie vyráběné ve vodní elektrárně Fláje, zejména z důvodu rozdílné morfologie obou nádrží. Hodnota vodní stopy elektrické energie vyrobené v obou posuzovaných elektrárnách je srovnatelná s literárními údaji o vodní stopě vodních elektráren z ČR i světa.

### SUMMARY

The submitted article describes a comparative study of the water footprint of electricity produced in two hydroelectric plants operated by Povodí Ohře, a state enterprise, on the water reservoirs of Přísečnice and Fláje in the Ore Mountains. A gross consumption method was used to calculate the water footprint, which considers water losses from the reservoir at the level of the evaporation from the water surface. Since electricity generation on the water tank is only an additional purpose provided by the water tank, it was necessary to divide the water losses from the reservoir among the various purposes provided by the reservoir. Allocation based on the economic value of the individual purpose was used to allocate losses by evaporation to individual purposes. Water losses allocated to power generation account for less than 1% of total losses. The study showed that the water footprint of the electricity produced in the Přísečnice hydropower station is about 2 times larger than the water footprint produced in the Fláje hydropower station, mainly due to the different morphology of the two reservoirs. The water footprint value of the electricity produced in two hydropower stations assessed is comparable to literary data on the water footprint of hydroelectric power plants from the Czech Republic and the world.

## 1 Úvod

Elektrická energie vyrobená ve vodních elektrárnách je považována za čistou a ekologickou energii bez spotřeby přírodních zdrojů během fáze provozu vodní elektrárny. Teprve zavedením komplexnějších nástrojů hodnocení byla k výrobě elektrické energie ve vodních elektrárnách přiřazena i nepřímá užívání přírodních zdrojů. Jedním z těchto nástrojů je vodní stopa (Hoekstra et al., 2011). Vodní stopa je definována jako objem sladké vody přímo nebo nepřímo použité při výro-

bě zboží nebo služby (Hoekstra a Chapagain, 2006). V případě výroby elektrické energie ve vodních nádržích je jako jediná spotřeba vody během produkční fáze životního cyklu vodní elektrárny, uvažován výpar z hladiny vodní nádrže, na které je elektrárna vybudována. Ztráty vody podložím nejsou obvykle uvažovány, protože takto ztracená voda zůstává v povodí a může být k dispozici po proudu nebo pro čerpání podzemní vody; na rozdíl od vypařené vody, kterou již v povodí nelze využít (Gleick, 1994). Ke ztrátám vody výparem z nádrže existují tři rozdílné metodické přístupy označované jako hrubá spotřeba, čistá spo-

třeba a čistá bilance (Herath et al., 2011). Jak ukazují provedené studie, a to i v ČR (Ansorge, 2020), volba přístupu k výpočtu ztrát významně ovlivňuje velikost vodní stopy.

Vodní nádrž obvykle neposkytuje jen jeden užitek, ale mnoho užitků, jako je zásobování vodou, protipovodňová ochrana, výroba elektrické energie, voda pro závlahy, plavba, rybolov, rekreace, nadlepšování průtoků atd. Přiřazení veškerých ztrát vody jen k výrobě elektrické energie tak nadhodnocuje hodnotu vodní stopy. Proces přiřazení ztrát vody k jednotlivým užitkům poskytovaným vodní nádrží je nazýván alokací. V současnosti neexistuje shoda na nejlepším způsobu alokace a v literatuře lze nalézt popis různých přístupů k tomuto problému (Bakken et al., 2017; Xie et al., 2019). Nejjednodušší přístup přiřazuje veškeré užívání vody k nejvýznamnějšímu účelu nádrže a ostatní účely zanedbává (Grubert, 2016). Mezi jednoduché metody alokace lze zařadit přístupy, které žádným způsobem nerozlišují podstatu účelů poskytovaných nádrží, např. přiřazují užívání vody v nádrži všem účelům rovnoměrně, nebo používají nějaký algoritmus založený na pořadí účelů (Scherer a Pfister, 2016). Další přístup staví na objemu nádrže přidělené na jednotlivé účely (Bakken et al., 2016). Jiný přístup staví na ekonomické hodnotě jednotlivých funkcí poskytovaných nádrží (Zhao a Liu, 2015). Ekonomickou hodnotu lze v obecné rovině zaměřit za hodnotu celkového užitku a aplikovat příslušné nástroje jako je cost-benefit analýza apod. Dalším způsobem alokace je aplikace metod pro multikriteriální rozhodování. Volba metody alokace je známým problémem ze studií založených na hodnocení životního cyklu (LCA) (Ardente a Cellura, 2012). Principy alokace v LCA popisuje norma ISO 14044. Nepochybně však zvolená metoda alokace zásadně ovlivňuje hodnotu vodní stopy.

Cílem zpracované studie je pomocí vodní stopy posoudit výrobu elektrické energie ve vodní elektrárně Fláje a ve vodní elektrárně Přísečnice. Pro výpočet ztrát byl použit přístup označovaný jako hrubá spotřeba. Pro alokaci byl použit přístup pomocí ekonomické hodnoty užitků poskytovaných vodní nádrží.

## 2 Data a metody

### 2.1 Porovnávání vodní elektrárny

Vodní elektrárna (VE) Přísečnice i vodní elektrárna Fláje jsou součástí stejnojmenných vodních děl ve správě státního podniku Povodí Ohře. Obě vodní díla i malé vodní elektrárny mají velmi podobné charakteristiky.

Vodní dílo Přísečnice leží na vodním toku Přísečnice v hydrologickém pořadí 1-15-03-0170-1-00 v okrese Chomutov. Účelem vodního díla je zejména zásobování obyvatelstva a zajištění minimálního zůstatkového průtoku ve vodním toku Přísečnice, snížení povodňových průtoků v toku a částečná ochrana území pod hrází před povodněmi. Dalšími účely jsou energetické využití vodárenských odběrů malou vodní elektrárnou Hradiště, rybné hospodářství pod nádrží využívající minimálního průtoku a kompenzační nadlepšování průtoku v Průmyslovém přivaděči vody prostřednictvím Hradištského potoka v množství max. 500 l/s (Povodí Ohře, 2019a). Výroba ve vodní elektrárně Přísečnice tak není ani mezi účely vodního díla zmiňována. Samotná elektrárna je vybavena peltonovou turbínou o hltnosti 0,07 m<sup>3</sup>/s. Spád hladin činí 32,6 metru. Kóta koruny hráze vodní nádrže Přísečnice je 735,9 m n. m.

Vodní dílo Fláje leží na Flájském potoce v hydrologickém pořadí 1-15-03-0290-1-00 v okrese Most. Účelem vodního díla je opět zejména zásobování obyvatelstva a nadlepšování (kompenzace) průtoků v Bílém potoce, zajištění minimálního průtoku ve Flájském potoce, snížení povodňových průtoků v toku a částečná ochrana území pod hrází před povodněmi. Dalšími účely jsou energetické využití vodárenských odběrů špičkovou vodní elektrárnou Meziboří a energetické využití minimálního odtoku (Povodí Ohře, 2019b). Výroba elektrické energie ve vodní elektrárně Fláje je tak uvedena až na posledním místě jed-

notlivých užitků, které vodní nádrž poskytuje. Vodní elektrárna je vybavena čerpadlem v turbínovém provozu META s hltností 0,09 m<sup>3</sup>/s a pracující na spádu 41 metrů. Kóta koruny hráze vodní nádrže Fláje je 739,31 m n. m.

### 2.2 Výpočet vodní stopy výroby elektrické energie

Výpočet vodní stopy byl proveden v měsíčním kroku pomocí metody „hrubé spotřeby“, která ztráty vody uvažuje na úrovni odpovídající výparu z hladiny vodní nádrže:

$$WF_{energy} = \frac{\eta_{energy} \times Ev}{P_{energy}} \quad (1)$$

Kde  $WF_{energy}$  je vodní stopa v m<sup>3</sup>/kWh,  $\eta_{energy}$  je vypočítaný bezrozměrný alokační koeficient výroby elektrické energie,  $Ev$  je vypočítaný výpar z vodní nádrže v m<sup>3</sup>/měsíc a  $P_{energy}$  je výroba elektrické energie v kWh/měsíc.

Údaje o výrobě elektrické energie poskytl státní podnik Povodí Ohře. Pro vodní elektrárnu Přísečnice byly poskytnuty údaje o měsíční výrobě v kWh/měsíc. Pro vodní elektrárnu Fláje byly poskytnuty údaje o denním výkonu v kW. Pro výpočet výroby elektrické energie za den byly poskytnuty hodnoty o výkonu vynásobeny 24 a následně agregovány na měsíce. Pokud v časové řadě nebyly uvedeny hodnoty o výkonu, bylo uvažováno s nulovou výrobou elektrické energie. Průměrná hodnota vodní stopy byla stanovena z měsíčních hodnot vodní stopy jako vážený průměr, kdy vahou byla produkce elektrické energie v daném měsíci.

### 2.3 Stanovení výparu

Stejně jako v jiné studii v České republice (Ansorge, 2020) byla pro výpočet výparu použita rovnice Šermera (1961):

$$Ev = 10^{0,0452 \times T - 0,204} \quad (2)$$

Kde  $Ev$  je výpar z hladiny v mm/den a  $T$  je teplota vzduchu ve °C.

Výpar byl počítán v denním kroku z údajů o teplotě poskytnutých státním podnikem Povodí Ohře. Pro tři dny ve sledovaném období od 1. 1. 2016 do 30. 10. 2019 nebyly k dispozici údaje o teplotě vzduchu. V těchto případech bylo přistoupeno k doplnění časové řady prostřednictvím jednoduché lineární interpolace hodnot ze sousedních dní. Pro stanovení celkového výparu v m<sup>3</sup>/den byl výpar stanovený podle rovnice (2) vynásoben hodnotou plochy hladiny, která byla stanovena na základě státním podnikem Povodí Ohře poskytnutých denních údajů o kótě hladiny a křivek zatopených ploch obou vodních nádrží.

### 2.4 Výpočet alokačního koeficientu pomocí ekonomické hodnoty užitků poskytovaných nádrží

Alokační koeficient  $\eta_{energy}$  se stanoví jako podíl hodnoty výroby elektrické energie k celkové hodnotě užitků, které poskytuje celá nádrž:

$$\eta_{energy} = \frac{P_{energy} \times C_{energy}}{\sum (P_i \times C_i)} \quad (3)$$

Kde  $P_{energy}$  je výroba elektrické energie v kWh,  $C_{energy}$  je výkupní cena elektrické energie v Kč/kWh,  $P_i$  je produkce  $i$ -tého užitku a  $C_i$  je výkupní cena  $i$ -tého užitku.

Pro výpočet alokačního koeficientu byly použity údaje o produkci elektrické energie a odběrech vod. Ostatní užitky nebyly při alokaci uvažovány, protože nejsou k dispozici údaje o jejich množství a ekonomické hodnotě. Výkupní cena elektrické energie byla stanovena podle věstníků energetického regulačního úřadu pro zdroje v nových lokalitách (ERÚ, 2015–2018). Pro rok 2016 byla uvažována ve výši 3,069 Kč/kWh v ostatních letech pak 2,741 Kč/kWh. Ekonomická cena odběru vody byla stanovena na úrovni poplatku za odběr povrchové vody pro povodí Ohře zveřejněné v tzv. Modré zprávě za rok 2019 (MZe a MŽP, 2019).

### 3 Výsledky

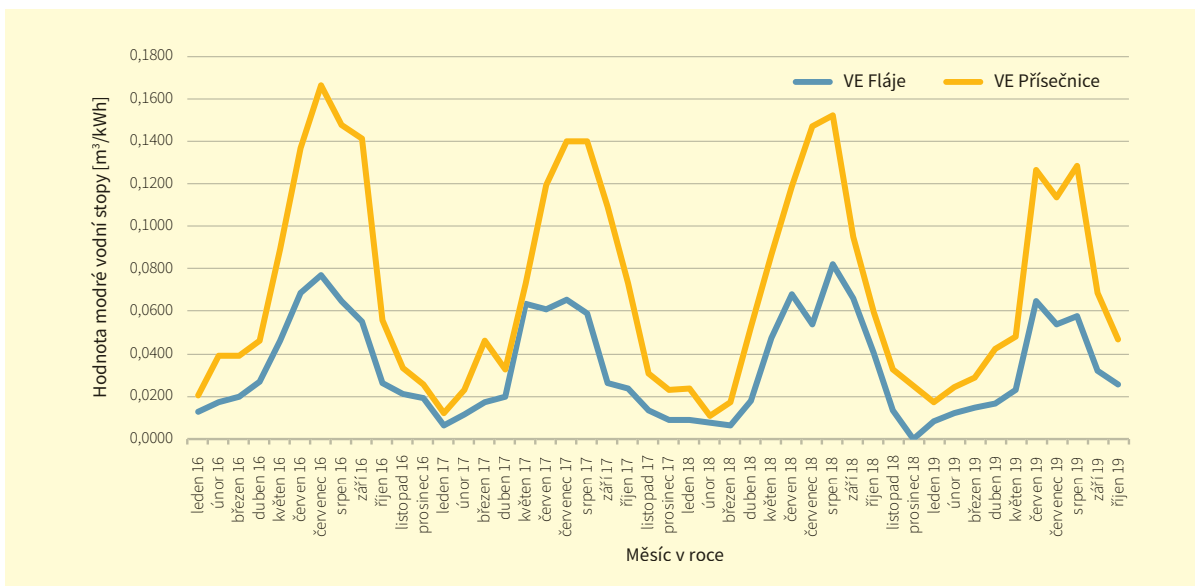
V případě obou vodních nádrží je výroba elektrické energie ve vodní elektrárně jen doplňkovým účelem a primárním účelem obou vodních děl je zásobování obyvatelstva vodou. U vodní nádrže Přísečnice není výroba elektrické energie vyjmenována mezi účely nádrže (Povodí Ohře, 2019a) a u vodního díla Fláje je na posledním místě (Povodí Ohře, 2019b). Doplňkovému účelu výroby elektrické energie odpovídá též hodnota alokačního koeficientu  $\eta_{energy}$  stanoveného podle rovnice 3. V případě vodního díla Přísečnice nabývá alokační koeficient hodnot od 0,18% do 0,46% (při průměru 0,28%). V případě vodního díla Fláje nabývá alokační koeficient hodnot od 0,00% do 0,97% (při průměru 0,55%).

Celkový vypočtený výpar z vodních nádrží (modrá vodní stopa vodní nádrže) se pohybuje v rozmezí 34 540 až 446 321 m<sup>3</sup>/měsíc v případě vodního díla Přísečnice a 15 513 až 193 709 m<sup>3</sup>/měsíc v případě vodního díla Fláje. Vodní stopa vyrobené elektrické energie nabývá hodnot od 0,0105 m<sup>3</sup>/kWh do 0,1665 m<sup>3</sup>/kWh u VE Přísečnice a hodnot od 0,0060 m<sup>3</sup>/kWh do 0,0819 m<sup>3</sup>/kWh u VE Fláje. Průměrná hodnota vodní stopy VE Přísečnice je 0,0708 m<sup>3</sup>/kWh a VE Fláje 0,0329 m<sup>3</sup>/kWh. Průběh měsíčních hodnot vodní stopy zobrazuje **obrázek 1. Obrázky 2 a 3** zobrazují porovnání průběhu vodní stopy elektrárny s vodní stopou nádrže.

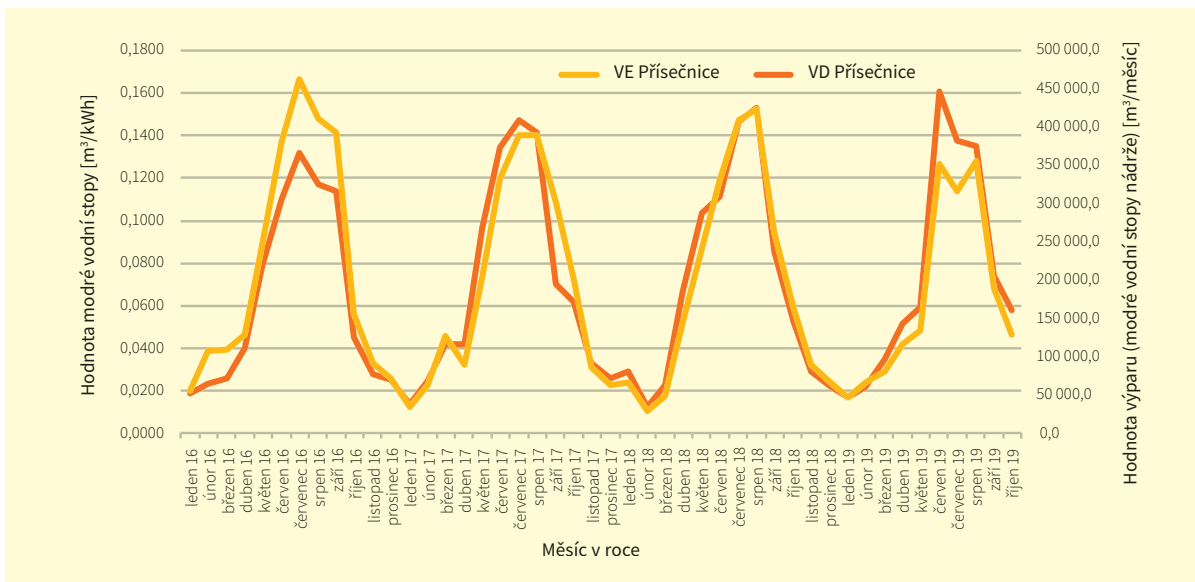
### 4 Diskuse

Pro řešení alokace byla použita ekonomická hodnota dvou užitků poskytovaných vodní nádrží. Byla zanedbána hodnota elektrické energie vyrobené na špičkové MVE Meziboří a MVE Hradiště, které využívají energetický potenciál vody odebrané pro zásobování obyvatelstva. Na hodnotu odebrané vody tak bylo použito řešení popsané Grubertem (2016), kdy veškeré užitky jsou přiřazeny primárnímu účelu, tj. v tomto případě zásobování obyvatelstva. Při zahrnutí hodnoty elektrické energie vyrobené ve špičkové MVE Meziboří a MVE Hradiště do výpočtu by narostla ekonomická hodnota odebrané vody a tím by se dále snížila hodnota alokačního koeficientu výroby elektrické energie ve VE Fláje a VE Přísečnice a tedy i vypočtené hodnoty vodní stopy elektrické energie vyrobené v těchto dvou elektrárnách.

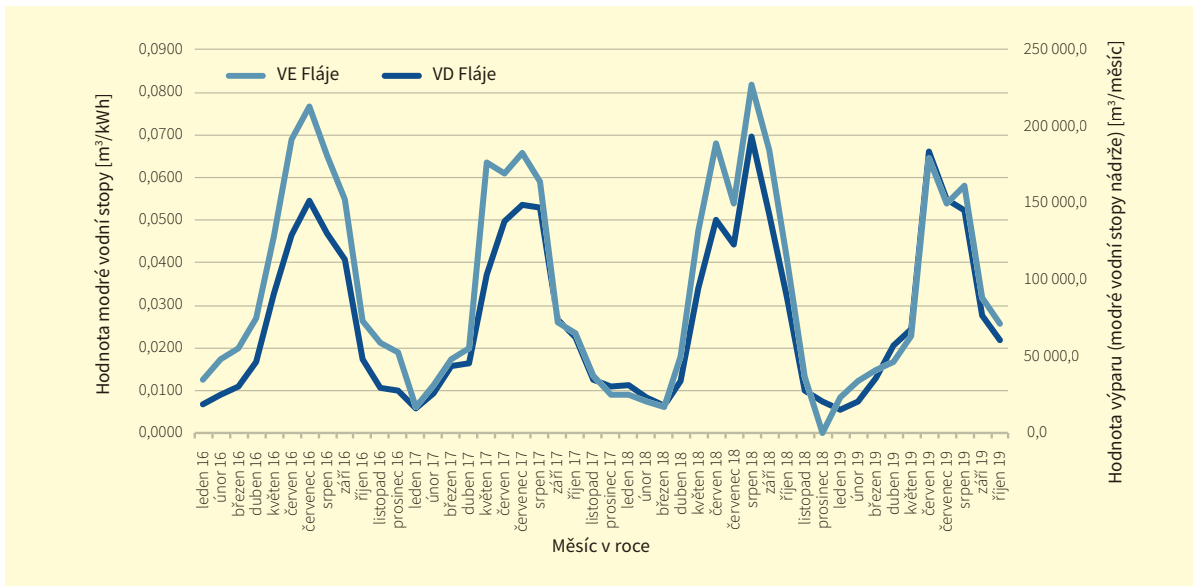
Metody alokace založené na ekonomických základech jsou zpochybňovány s odůvodněním, že vyjádření ekonomické hodnoty/užitku sociální nebo ekologické funkce poskytovaných vodní nádrží není triviální a jednoznačná úloha (Kadigi et al., 2008). Na druhou stranu je myšlenka ekonomické alokace postavena na základu nezávislého tržního ocenění a v případě definované tržní ceny poskytovaného užitku není ovlivněna subjektivním vnímáním řešitele studie jako například multikriteriální rozhodování. Je třeba však do výpočtu alokace zahrnovat nikoliv koncové tržní ceny, ale ceny vztažené k vodní nádrži, tj. ceny,



Obr. 1: Hodnota vodní stopy výroby elektrické energie ve vodní elektrárně (VE)



Obr. 2: Porovnání vodní stopy elektrárny (VE) a vodního díla (VD) - Přísečnice



Obr. 3: Porovnání vodní stopy elektrárny (VE) a vodního díla (VD) - Fláje

kteří dostane provozovatel vodní nádrže. Cena za odběr povrchové vody i cena za vyrobenou elektrickou energii je v podmínkách České republiky regulovaná a nikoliv tržní, nelze ji tak označit za nezávislou. Do výpočtu alokace byly zahrnuty jen ty užitky, pro které je známa ekonomická hodnota (výkupní cena), tj. odběr vody a výroba elektrické energie. Ostatní užitky byly zanedbány, neboť vyjádření jejich ekonomické hodnoty není jednoznačně metodicky ukotveno. Lze vycházet z přehledu popsaného Bakkenem et al (2016), ale zejména pro vyjádření hodnoty ekosystémových služeb existuje mnoho metod (Seják, 2010) a jejich praktické využití při řešení vodní stopy je třeba teprve ověřit. Pokud by byly vyjádřeny ekonomické hodnoty ostatních užitků (jako je nadlepšování průtoků, částečná ochrana před povodněmi, atd.) došlo by nepochybně ke snížení hodnot alokačního koeficientu pro energetiku.

Jiným přístupem pro alokaci je použití metody pořadí účelů (Scherer a Pfister, 2016). Výhoda tohoto přístupu spočívá v tom, že se jedná o snadno aplikovatelný postup alokace, který však zcela opomíjí hospodářský či jiný význam jednotlivých účelů vodní nádrže. V případě vodního díla Přísečnice není výroba elektrické energie uvedena mezi účely vodního díla a lze ji tak zařadit až na poslední místo mezi uváděnými účely vodního díla. Na posledním místě mezi účely je výroba elektrické energie i u vodního díla Fláje. Vodní dílo Fláje má šest účelů a hodnota alokačního koeficientu byla 4,76%. Oproti průměrné hodnotě alokačního koeficientu stanoveného pomocí ekonomické alokace (0,55%) je větší 8,65 krát. Vodní dílo Přísečnice má jen 5 účelů a hodnota alokačního koeficientu by byla 6,67%, což je hodnota 23,8 krát větší oproti průměrné hodnotě alokačního koeficientu stanoveného na základě ekonomické alokace (0,28%). Při použití alokace na základě pořadí účelů vodního díla by se vodní stopa VE Fláje pohybovala na úrovni 0,62 m³/kWh a vodní stopa VE Přísečnice na úrovni 0,78 m³/kWh. Hodnota vodní stopy přiřazená jednotlivým účelům vodního díla je tak velmi citlivá na způsob alokace.

Hodnoty vodní stopy elektrické energie na úrovni 0,0708 m³/kWh (VE Přísečnice) a 0,0329 m³/kWh (VE Fláje) jsou srovnatelné s údaji uváděnými v literatuře. V ČR byla spočtena vodní stopa největší české vodní elektrárny VE Orlik (Ansorge, 2020) a uváděné hodnoty jsou 0,0307 až 0,0553 m³/kWh, ve studii Orlíku však nebyla uvažována žádná alokace ztrát vody z nádrže na jednotlivá užívání. Scherer a Pfister (2016) uvádí celosvětový průměr na úrovni 65,1 m³/GJ což je 0,2344 m³/kWh, pro velké vodní elektrárny pak uvádí hodnoty: Tři soutěsky 0,0374 m³/kWh, Itaipu 0,0267 m³/kWh, Churchill Falls 0,1094 m³/kWh, Cahor Bassa 0,3852 m³/kWh, Guangzhou 0,0004 m³/kWh, Nurek 0,0111 m³/kWh atd. Jako průměr u malých elektráren s výrobou

do 1 MWh za rok uvádí 0,0438 m³/kWh. Ve studii Scherer a Pfister (2016) byla použita alokace podle pořadí účelů. Herath (2011) uvádí hodnoty od 0,003 do 0,1169 m³/kWh bez uvažování alokace. Mekonnen a Hoekstra (2012) uvádí údaje pro 35 hydroelektráren v rozpětí od 0,001 po 3,0456 m³/kWh s průměrem 0,2248 m³/kWh ovšem opět bez uvažování alokace.

Výpar je fyzikální proces, který je ovlivněn mnoha klimatickými faktory, jako je míra slunečního svitu, rychlost větru, vzdušná vlhkost, atd. Proto je při výpočtu výparu v denním kroku nutné počítat s vyšší relativní i absolutní chybou, při řešení s průměrnými měsíčními hodnotami dochází k eliminaci extrémních hodnot a hodnoty meteorologických veličin vstupujících do rovnic pro výpočet výparu se obvykle pohybují v rozsahu platnosti jednotlivých rovnic (Šuhájková, 2020). V rámci analýzy citlivosti navrženého řešení byly provedeny výpočty s průměrnými měsíčními hodnotami teplot a plochy hladiny v nádržích. V případě vodního díla Fláje byly hodnoty měsíčního výparu stanovené na základě denního kroku vyšší o 2,3 až 13,6% (při průměru 5,9%), resp. o 0,6 až 9,5 mm/měsíc (při průměru 3,0 mm/měsíc) oproti výpočtu s průměrnými měsíčními hodnotami. V případě vodního díla Přísečnice pak byly hodnoty měsíčního výparu stanovené na základě denního kroku vyšší o 1,9 až 12,1% (při průměru 6,1%), resp. o 0,7 až 9,3 mm/měsíc (při průměru 3,2 mm/měsíc) oproti výpočtu s průměrnými měsíčními hodnotami. Hodnota vodní stopy tak není významně citlivá na volbu časového kroku výpočtu výparu. Jak však plyne z obrázků 2 a 3, toto tvrzení neplatí v případě ročního kroku (vysoké hodnoty vodní stopy v létě a nízké v zimě). Lze tedy předpokládat, že délka časového kroku není významná v případech, kdy variabilita teplot (resp. v obecném případě faktorů ovlivňujících ztráty vody ze systému) není v průběhu časového kroku velká.

## 5 Závěry

V rámci srovnávací studie byla porovnána vodní stopa vyrobené elektrické energie ve vodní elektrárně Přísečnice a vodní elektrárně Fláje v období let 2016 až 2019. Studie ukázala, že vodní stopa elektrické energie vyrobené ve vodní elektrárně Přísečnice je přibližně 2x vyšší než vodní stopa elektrické energie vyrobené ve vodní elektrárně Fláje. Průměrná hodnota vodní stopy elektrické energie ve VE Přísečnice je 0,0708 m³/kWh a vyrobené ve VE Fláje je dokonce jen 0,0329 m³/kWh. Vzhledem k tomu, že nádrže leží v podobných klimatických a hydrologických podmínkách a mají i obdobné charakteristiky vodních elektráren, je rozdíl v hodnotách výparu z nádrže a vodní stopy vyrobené elektrické energie způsoben rozdílnou velikostí vodní plochy tj. morfologií nádrže. S ohledem na primární účel obou vodních nádrží (zásobování

obyvatelstva) jsou hodnoty alokačních koeficientů pro hydroenergetiku velmi nízké (méně jak 1%). To znamená, že více jak 99% z celkové vodní stopy nádrže (ztrát vody z nádrže) připadá na vodu odebranou pro zásobování obyvatelstva. Průměrná hodnota alokačního koeficientu pro hydroenergetiku na VD Fláje činí 0,55% a je tak skoro dvakrát vyšší než průměrná hodnota alokačního koeficientu VD Přísečnice, která je 0,28%.

## 6 Poděkování

Autoři chtějí poděkovat státnímu podniku Povodí Ohře, které poskytlo potřebná data pro zpracování srovnávací studie vodních elektráren. Taktéž děkují oběma oponentům za podnětné připomínky k doplnění článku. Vznik článku byl částečně podpořen institucionálními prostředky na rozvoj výzkumné organizace – Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka.

## 7 Literatura

- Ansorge, L., 2020. Srovnání různých metod stanovení vodní stopy výroby elektrické energie ve vodní elektrárně Orlik – případová studie. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 62(4), 4–15. <https://doi.org/10.46555/VTEI.2020.04.002>
- Ardente, F.; Cellura, M., 2012. Economic Allocation in Life Cycle Assessment. *Journal of Industrial Ecology* 16(3), 387–398. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00434.x>
- Bakken, T. H.; Killingtveit, Å.; Alfredsen, K., 2017. The water footprint of hydropower production – State of the art and methodological challenges. *Global Challenges* 1(5), 1600018. <https://doi.org/10.1002/gch2.201600018>
- Bakken, T. H.; Modahl, I. S.; Raadal, H. L.; Bustos, A. A.; Arnøy, S., 2016. Allocation of water consumption in multipurpose reservoirs. *Water Policy* 18(4), 932–947. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.009>
- ERÚ, 2015–2018. Cenová rozhodnutí. Energetický regulační úřad, Jihlava.
- Gleick, P. H., 1994. Water and Energy. *Annual Review of Energy and the Environment* 19(1), 267–299. <https://doi.org/10.1146/annurev.eg.19.110194.001411>
- Grubert, E. A., 2016. Water consumption from hydroelectricity in the United States. *Advances in Water Resources* 96, 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.07.004>
- Herath, I.; Deurer, M.; Horne, D.; Singh, R.; Clothier, B., 2011. The water footprint of hydroelectricity: a methodological comparison from a case study in New Zealand. *Journal of Cleaner Production* 19(14), 1582–1589. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.007>

- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K., 2006. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management* 21(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M., 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard. Earthscan, London ; Washington, DC.
- Kadigi, R. M. J.; Mdoe, N. S. Y.; Ashimogo, G. C.; Morardet, S., 2008. Water for irrigation or hydropower generation?—Complex questions regarding water allocation in Tanzania. *Agricultural Water Management* 95(8), 984–992. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.03.008>
- Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y., 2012. The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16(1), 179–187. <https://doi.org/10.5194/hess-16-179-2012>
- MZe; MŽP, 2019. Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2018. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Povodí Ohře, 2019a. Vodní dílo Přísečnice. <http://www.poh.cz/vodni-dilo-prisecnice/d-2616> (viděno 23. 10. 2020).
- Povodí Ohře, 2019b. Vodní dílo Fláje. <https://www.poh.cz/vodni-dilo-flaje/d-2602> (viděno 23. 10. 2020).
- Seják, J., 2010. Hodnocení funkcí a služeb ekosystémů České republiky. Univ. J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem.
- Scherer, L.; Pfister, S., 2016. Global water footprint assessment of hydropower. *Renewable Energy* 99, 711–720. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.021>
- Šermer, A., 1961. Experimentálné vzorce pre stanovenie strát vody výparom z vodných nádrží. *Vodní hospodářství* 11(12), 544–547.
- Šuhájková, P., 2020. Výpar z výparoměrných stanic VÚV TGM. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 62(5), 16–27. <https://doi.org/10.46555/VTEI.2020.07.002>
- Xie, X.; Jiang, X.; Zhang, T.; Huang, Z., 2019. Regional water footprints assessment for hydroelectricity generation in China. *Renewable Energy* 138, 316–325. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.089>
- Zhao, D.; Liu, J., 2015. A new approach to assessing the water footprint of hydroelectric power based on allocation of water footprints among reservoir ecosystem services. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Water Scarcity and Integrated Water Resources Management* 79–82, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.03.005>