ZVÝŠENÍ PRŮTOČNOSTI DROBNÝCH VODNÍCH TOKŮ A STABILITY ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU

OVĚŘENÁ TECHNOLOGIE

Radek Roub a kolektiv

Česká zemědělská univerzita v Praze

VÚMOP

VRV

Zvýšení průtočnosti drobných vodních toků a stability energetického potenciálu

Ověřená technologie

T A
Č R
Technologická agentura České republiky

2025

Autoři:

Ing. Radek Roub, Ph.D. [1)] (roub@fzp.czu.cz)
Ing. Martin Štich [2)] (stich@vrv.cz)
Ing. Luděk Bureš [1)]
Ing. Martin Tomek [2)]
Ing. Štěpán Marval [3)] (marval.stepan@vumop.cz)
Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D. [3)]
Ing. Lucie Poláková [1, 3)]
Ing. Jakub Burket [1)]

[1)] *Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 961/129, 165 00 Praha 6 - Suchdol*
[2)] *Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s., Nábřežní 90/4, 150 00 Praha 5 – Smíchov*
[3)] *Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5*

Recenzovali:

Ing. Michal Veverka, Ph.D. - Státní fond životního prostředí - projektový manažer - Odbor ochrany přírody, Olbrachtova 2006/9, 140 00 Praha

Ing. Ivan Dalík - PIK Vítek s.r.o. - jednatel společnosti - Úsek zásobování vodou a odkanalizování měst a obcí - Kořenského 1025/7, 150 00, Praha 5 (projekční kancelář)

Poděkování:

Ověřená technologie vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR, projektu číslo TK04030223 „Stanovení hydroenergetického potenciálu „Pico-Hydropower“ v současných i predikovaných klimatických podmínkách ČR“.

V roce 2025 v nákladu 50 ks vydala Česká zemědělská univerzita v Praze

Tisk: Rhodos spol. s r.o., Vyšehradská 51, 128 00 Praha 2

Vydání: první, 2025

ISBN 978-80-213-3539-4 (tištěná verze), 978-80-213-3540-0 (online pdf)

© Česká zemědělská univerzita v Praze

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Obsah:

1. Úvod – potřebnost a využití ověřené technologie 4

2. Cíl ověřené technologie 5

3. Vymezení základních pojmů ověřené technologie 6

4. Seznam použitých zkratek 9

5. Principy užívané v oblasti vodní energetiky 10

6. Popis způsobu testování 12

7. Výhody a omezení 37

8. Ekonomické a inovativní přínosy 39

9. Souhrn a závěr 41

Literatura 43

Dedikace 44

1. Úvod – potřebnost a využití ověřené technologie

V podmínkách České republiky, kde drobné vodní toky vykazují výraznou hydrologickou variabilitu a období s nízkými průtoky jsou stále častější, představují malé vodní nádrže ve spojení s mikro vodními elektrárnami účinný nástroj pro stabilizaci odtoku a energetické využití vody. Akumulační objem nádrží umožňuje alespoň částečně vyrovnávat krátkodobé výkyvy průtoků, zvyšovat využitelnost nízkých průtoků v sušších obdobích a směrovat výrobu elektrické energie do časů, kdy je z provozního i ekonomického hlediska nejvýhodnější.

S pokračující klimatickou změnou lze očekávat další pokles průměrných průtoků a prodlužování období s podprůměrnou vodností, zejména v letních a podzimních měsících. V takové situaci nabývá na významu každý prvek, který dokáže vodu v povodí krátkodobě zadržet a současně umožnit její řízené, energeticky využitelné vypouštění. Malé vodní nádrže s vhodně navrženým odběrem pro mikro vodní elektrárny mohou v těchto podmínkách fungovat jako stabilizační prvek, který umožňuje využít i velmi malé průtoky a lépe načasovat výrobu elektrické energie.

Kombinace akumulační funkce nádrže s řízeným odběrem pro výrobu elektřiny představuje v prostředí drobných vodních toků efektivní způsob, jak i při častějších nízkých průtocích a rostoucím kolísání odtoků zachovat energetické využití vody. Malé nádrže zde plní roli stabilizačního prvku, který umožňuje krátkodobě akumulovat vodu, vyhlazovat extrémy v průtocích a sladit výrobu elektrické energie s ekonomickými požadavky.

2. Cíl ověřené technologie

Cílem ověřené technologie „Zvýšení průtočnosti drobných vodních toků a stability energetického potenciálu“ není maximalizace výkonu, ale praktické ověření způsobu, jak pomocí malých vodních nádrží a řízeného odběru:

- **stabilizovat průtok ve vodním toku,**
- **stanovit kapacitu vodní nádrže** – tj. objem potřebný pro akumulaci přebytkových průtoků nad minimálním zůstatkovým průtokem (MZP), aby bylo možné transformovat dlouhodobě nízké průtoky do krátkodobě vyššího odtoku využitelného pro turbínu. Kapacita se odvíjí od hydrologických podmínek lokality, požadovaného režimu akumulace (denní, týdenní) a technických parametrů turbíny. Pro malé akumulační nádrže se jedná o stovky až tisíce m³, pro střední nádrže desítky tisíc m³ a pro velké rybníky až stovky tisíc m³.
- **určit potřebnou velikost vodní nádrže** – velikost (plocha a hloubka) musí zajistit dostatečný objem pro akumulaci při zachování ekologických a provozních limitů. Změna hladiny by měla být co nejmenší (ideálně do 0,1–0,3 m), aby nedošlo k výraznému narušení litorálních zón a stability břehů. Návrh velikosti nádrže vychází z kompromisu mezi energetickým přínosem (zadržená energie, počet cyklů) a ekologickou únosností kolísání hladiny.
- **prodloužit dobu, po kterou lze energeticky využívat i nízké průtoky v sušších obdobích,**
- **umožnit směrování výroby elektrické energie do vhodnějších časových úseků** – zejména do ranních a večerních špiček, kdy jsou vyšší spotové ceny.

Takto pojaté řešení spojuje vodohospodářskou funkci nádrže se zajištěním provozně stabilního, i když kapacitně omezeného, zdroje elektřiny. Zároveň může sloužit jako přenositelný model pro další podobné lokality na drobných vodních tocích.

3. Vymezení základních pojmů ověřené technologie

Drobný vodní tok - Vodní tok s malým povodím a nízkým průměrným průtokem, typicky v řádu jednotek až desítek litrů za sekundu. Vyznačuje se vysokou hydrologickou variabilitou a častými obdobími nízkých průtoků.

Malá vodní nádrž - Vodní dílo s omezeným akumulačním objemem (od stovek do desítek tisíc m^3), sloužící k zadržení vody pro stabilizaci průtoku a energetické využití. Nádrž může být přírodní, umělá nebo revitalizovaná historická.

Akumulační objem - Část objemu nádrže využitelná pro manipulaci s hladinou (např. ±0,1–0,3 m), která umožňuje shromažďovat přebytkové průtoky nad minimálním zůstatkovým průtokem a následně je využít pro výrobu elektřiny.

Minimální zůstatkový průtok (MZP) - Průtok, který musí zůstat v korytě pod odběrem, aby byly zachovány ekologické a vodohospodářské funkce toku. Stanovuje se podle manipulačního řádu a legislativních požadavků.

Mikro vodní elektrárna (MVE) - Zařízení s instalovaným výkonem obvykle do 100 kW, využívající spád vody na drobných tocích. V kontextu ověřené technologie jde o elektrárny s výkonem v jednotkách až desítkách kW.

Minimální technický průtok turbíny - Nejnižší průtok, při kterém turbína pracuje s přijatelnou účinností. Pod touto hranicí není provoz ekonomicky ani technicky vhodný.

Akumulační provoz („bateriový efekt“) Režim, kdy se voda zadržuje v době nízkých cen elektřiny a vypouští v době špičkových cen, čímž se zvyšuje ekonomický efekt bez změny celkového množství vyrobené energie.

Kolísání hladiny - Rozsah změny hladiny nádrže při akumulaci a vypouštění vody. Z ekologického hlediska je žádoucí minimalizovat rozsah i frekvenci kolísání (ideálně do desítek centimetrů).

Energetický potenciál drobného toku - Možnost využití průtoku a spádu pro výrobu elektrické energie, vyjádřená jako instalovaný výkon nebo roční výroba elektřiny.

4. Seznam použitých zkratek

MVE – Malá vodní elektrárna

MZP – Minimální zůstatkový průtok

Qm – Charakteristický průtok (např. Qm300, Qm270 – průtok s pravděpodobností překročení 300 nebo 270 dní v roce)

TA ČR – Technologická agentura České republiky

OZE – Obnovitelné zdroje energie

5. Principy užívané v oblasti vodní energetiky

Ověřená technologie vychází z následujících principů vodní energetiky, které jsou přizpůsobeny podmínkám drobných vodních toků:

i. **Transformace průtoku na energii**

Výroba elektrické energie je založena na využití spádu a průtoku vody. U drobných toků je spád obvykle malý, proto se uplatňují turbíny s vysokou účinností při nízkých průtocích (např. crossflow, Banki, vodní kola).

ii. **Akumulace a časová transformace odtoku**

Princip spočívá v akumulaci velmi malých průtoků nad minimálním zůstatkovým průtokem (MZP) v nádrži a jejich následném vypouštění ve formě krátkodobě vyššího průtoku, který je technicky využitelný pro turbínu. Tím se zajišťuje energetické využití vody i v sušších obdobích.

iii. **Zajištění minimálního zůstatkového průtoku (MZP)**

Provoz musí respektovat ekologické požadavky toku. Vždy je zachován MZP v korytě pod odběrem, aby nedošlo k ohrožení bioty a stability ekosystému.

iv. **Akumulační provoz („bateriový efekt“) pro ekonomickou optimalizaci**

Nádrž umožňuje časově posunout výrobu elektřiny do období s vyššími spotovými cenami (např. ranní a večerní špičky). Celkové množství vyrobené energie se výrazně nemění, mění se její časové rozložení, což zvyšuje ekonomický efekt.

v. **Minimalizace kolísání hladiny**

Manipulace s hladinou musí být šetrná k ekosystému. Doporučený rozsah kolísání je do 0,1–0,3 m, aby nedošlo k degradaci litorálních zón a břehů.

vi. **Technická jednoduchost a nízká provozní náročnos**

Zařízení je navrženo jako provozně nenáročné, s minimálními zásahy do stávajícího vodního díla. Turbína je umístěna mimo těleso hráze, aby nebyla narušena její stabilita.

vii. **Kombinace vodohospodářské a energetické funkce**

Nádrž plní dvojí roli: stabilizuje průtok v toku a současně umožňuje výrobu elektřiny z obnovitelného zdroje, aniž by vyžadovala zásadní změny hydrologického režimu.

6. Popis způsobu testování

Testování ověřené technologie probíhalo formou modelových výpočtů a simulací provozu mikro vodních elektráren na vybraných teoretických lokalitách (Kostratecký potok – rybník Labuť, Lomnice – Veský rybník, Botič – Hamerský rybník, Botič – Práčský mlýn). Postup zahrnoval tyto kroky:

i. **Hydrologická analýza**
   - Stanovení charakteristických průtoků (Qm330, Qm300, Qm270) a minimálního zůstatkového průtoku (MZP) pro každou lokalitu.
   - Vyhodnocení dostupného „přebytkového“ průtoku nad MZP, který lze akumulovat.

ii. **Výpočet akumulačního objemu nádrže**
   - Určení objemu vody, který lze zadržet při kolísání hladiny o 0,1–0,3 m.
   - Posouzení vlivu velikosti nádrže na dobu vypouštění a počet cyklů za rok.

iii. **Simulace provozu turbíny**
   - Výpočet minimálního technického průtoku turbíny a ověření, zda akumulovaný objem umožní provoz s přijatelnou účinností.
   - Modelování kontinuálního provozu vs. akumulačního režimu („bateriový efekt“).

iv. **Energetické a ekonomické hodnocení**
   - Přepočet zadrženého objemu na vyrobenou energii (kWh) a odhad tržeb při využití spotových cen.
   - Porovnání ročního zisku pro různé varianty kolísání hladiny a délky špičkového provozu.

v. **Ekologické posouzení**
   - Hodnocení vlivu frekvence a rozsahu kolísání hladiny na litorální vegetaci a vodní biotu.
   - Doporučení pro šetrný manipulační režim (omezení rozsahu kolísání, načasování mimo citlivá období).

Výsledky testování byly shrnuty do tabulek pro jednotlivé lokality, které ukazují vztah mezi změnou hladiny, zadrženým objemem, dobou vypouštění, počtem cyklů a ekonomickým přínosem. Testování potvrdilo, že i velmi malé akumulační objemy umožňují zvýšit využitelnost nízkých průtoků a optimalizovat čas výroby elektřiny bez zásahu do minimálního zůstatkového průtoku.

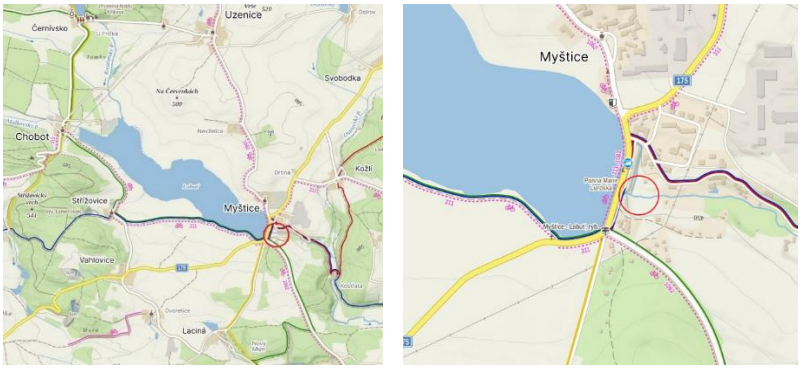
Lokality

Ověřená technologie je založena na návrhu čtyř teoretických lokalit na drobných vodních tocích, které odpovídají umístění historických vodních mlýnů.

Každá z uvažovaných mikro vodních elektráren je navržena jako provozně nenáročné zařízení s instalovaným výkonem v řádu jednotek až desítek kW, napojené na odběr z vodního toku a využívající spád hráze vodní nádrže. Pro zvýšení efektivity využití vody, zejména při velmi malých průtocích, je v návrhu uplatněna akumulační schopnost malých vodních nádrží za předpokladu, že jejich objem bude dostatečný pro zadržení a následné využití nízkých průtoků.

Kostrateckýpotok – rybník Labuť

Rybník Labuť leží v jihozápadní části Jižních Čech na katastru obce Myštice u Blatné, v údolní nivě Kostrateckého potoka, který rybník napájí. S rozlohou cca 101 ha patří mezi největší rybníky regionu a tvoří výraznou krajinnou dominantu. Rybník je využíván především pro intenzivní rybníkářství, zároveň má významnou ekologickou (vodní ptáci) i rekreační funkci. V sousedství hráze se nachází bývalý Labuťský (Myštický) mlýn, původní náhon je dnes zasypán a objekt prochází rekonstrukcí.



Obrázek 1 Lokalizace záměru

Záměrem je vybudovat malou vodní elektrárnu pod rybníkem s umístěním strojovny mimo těleso hráze, aby nebyla narušena její stabilita. Řešení využije stávající spád mezi hladinou rybníka a podjezím a umožní výrobu elektrické energie při zachování provozních a ekologických podmínek vodního díla.

Pro návrh je uvažována mikro-turbína Mavel MT3, vhodná pro nízké spády a omezené průtoky. Turbína využívá sifonové uspořádání s Kaplanovým oběžným kolem (cca 300 mm) a je určena k instalaci přímo na jezech či v náhonech bez nutnosti samostatné strojovny.

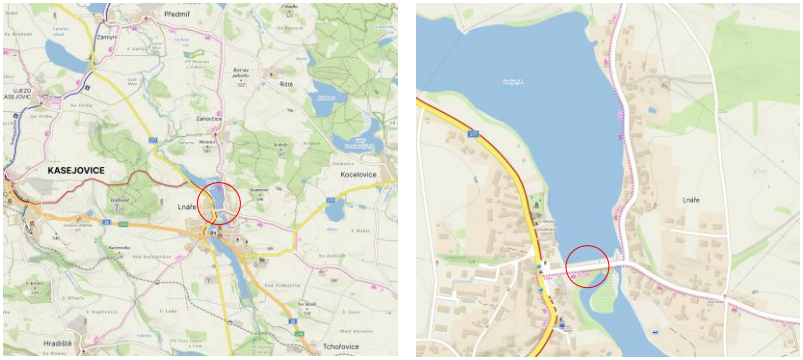
Tabulka 1 Kostrateckỳ potok – rybník Labuť

Q_a [m^3/s]	Spád [m^3]	Výkon [kW]	Energie [MWh]	Zisk [Kč]
0,202	5,0	6,87	24,4	73 174

Lomnice – Veský rybník (Kohoutův mlýn)

Kohoutův mlýn leží v intravilánu obce Lnáře na řece Lomnici, přímo na hrázi Veského rybníka. Lokalita leží v jejím údolním zářezu mezi rybniční soustavou a kompaktní venkovskou zástavbou. Území se nachází jižně od centra obce.

Území má převážně přírodně-venkovský charakter v těsném kontaktu s kompaktní zástavbou Lnář. Hráz Veského rybníka s bývalým mlýništěm tvoří přechod mezi vodní hladinou, řekou pod hrází a zázemím obce a je přirozeným bodem, kde byla historicky soustředěna vodohospodářská a mlynářská činnost.



Obrázek 2 Lokalizace záměru

MVE je navržena s crossflow turbínou na výpusti z Veského rybníka ve Lnářích, se svedením vody z nádrže do strojovny, která by byla umístěna na vzdušním líci hráze. Veský rybník zde zajišťuje akumulaci a spád mezi hladinou nádrže a tokem Lomnice pod hrází.

Tabulka 2 Lomnice – Veský rybník (Kohoutův mlýn)

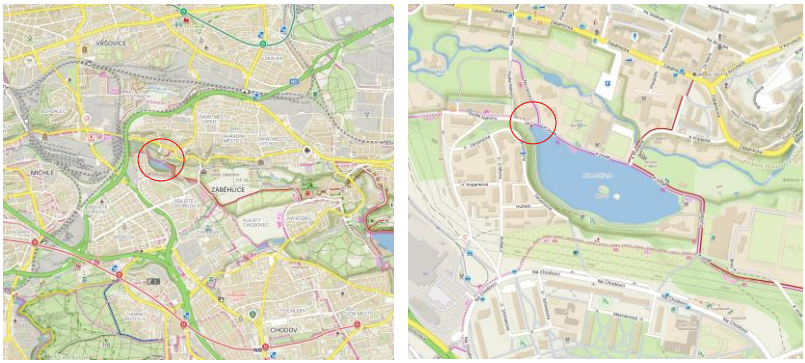
Q_a [m^3/s]	Spád [m^3]	Instalovaný výkon [kW]	Energie [MWh]	Zisk [Kč]
0.400	5.0	8.24	24.4	73 174

Botič – Hamerský rybník (Záběhlický mlýn)

Lokalita se nachází v místě záběhlického mlýna v Praze 10 na levém břehu Botiče, v bezprostředním sousedství Hamerského rybníka, jednoho z nejvýraznějších krajinných prvků celého údolí. Lokalita leží na rozhraní městské zástavby Záběhlic a rozsáhlé rekreační oblasti kolem rybníka.

V prostředí, které je jinak silně urbanizované, představuje areál mlýna spolu s hrází rybníka, nábřežní zelení a okolní starší zástavbou pozůstatek původního venkovského jádra Záběhlic. Samotná stavba mlýna má zděný charakter a v širším okolí ji doplňuje směs starých usedlostí, rekreačních objektů a sportovních zařízení. Pobřežní porosty a otevřená vodní hladina dodávají území přírodně-rekreační ráz, který výrazně kontrastuje s panelovou a vilovou zástavbou Zahradního Města a Horních Záběhlic.

Hamerský rybník je dnes využíván k rekreaci, rybolovu a jako významný vodní prvek v povodí Botiče. Tato kombinace vodní plochy, historického mlýna a zeleného pásu údolí vytváří jednu z nejhodnotnějších krajinářských lokalit v rámci celého toku.



Obrázek 3 Lokalizace záměru

Navržená MVE využívá crossflow (Banki) turbínu na odtoku z Hamerského rybníka, napojenou na stávající výpust v hrázi. Hamerský rybník funguje jako přirozená akumulační nádrž a turbína využívá spád mezi hladinou nádrže a odtokovým korytem pod hrází náhonu, které dále vede do Botiče.

Tabulka 3 Botič – Hamerský rybník (Záběhlický mlýn)

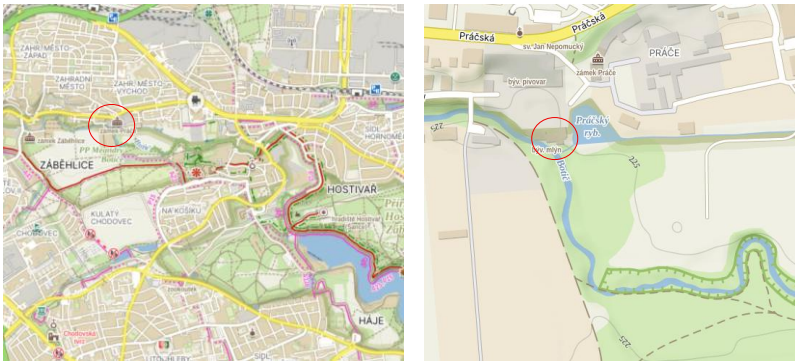
Q_a [m^3/s]	Spád [m^3]	Instalovaný výkon [kW]	Energie [MWh]	Zisk [Kč]
0,466	3,8	12,16	54,1	162 386

Botič – Práčský mlýn

Zájmové území leží v Praze 10 v historické osadě Práče, na levém břehu Botiče při Práčském (mlýnském) rybníku. Jádrem je areál Práčského mlýna – zděné patrové klasicistní stavení z 1. poloviny 19. století s valbovou střechou, několika hospodářskými přístavbami a náhonem od jezu Marcela na Botiči. Objekt je zapsán jako nemovitá kulturní památka a spolu se sousedním zámečkem, bývalým pivovarem a hospodářským dvorem tvoří dochovaný historický celek v jinak silně urbanizovaném prostředí Záběhlic.

Bezprostřední okolí mlýna má téměř vesnický charakter – směs vodní plochy, nábřežní zeleně a historické zástavby kontrastuje s panelovými sídlišti Zahradního Města.

Navržené řešení malé vodní elektrárny využívá vodní kolo instalované na odtoku z Práčského rybníka. Voda je odebírána ze stávajícího rozdělovacího objektu na Botiči a vedena funkčním náhonem do Práčského rybníka, který zároveň slouží jako akumulační a stabilizační prvek.



Obrázek 4 Lokalizace záměru

V místě odtoku z nádrže bude osazeno vodní kolo, které využívá přirozený spád mezi hladinou rybníka a korytem Botiče. Celý systém je navržen jako revitalizace původního historického vodního díla (bývalého Práčského mlýna), při níž je využita funkce původního náhonu a doplněna tradiční technologie využívající obnovitelný zdroj energie s minimálním dopadem na okolní prostředí.

Tabulka 4 Botič – Práčský mlýn

Q_a [m^3/s]	Spád [m^3]	Instalovaný výkon [kW]	Energie [MWh]	Zisk [Kč]
0,466	5,0	16,0	54,1	162 386

Využití minimálních průtoků

Princip využití minimálních průtoků pomocí malých vodních nádrží je založen na časové transformaci odtoku – tedy na akumulaci průtoků, které jsou z hlediska přímého provozu turbíny příliš malé, a jejich následném vypouštění ve formě krátkodobě vyššího průtoku, který již splňuje požadavky na minimální technický průtok přes turbínu.

Minimální zůstatkový průtok (MZP), který by měl zůstat v korytě je stanoven s rezervou na Q_{m330}. Průtoky vyšší, tj. přibližně v intervalu od Q_{m300} po Q_{m300}, případně Q_{m270}, po odečtení MZP (Q_{m330}) vytvářejí pouze velmi malý disponibilní průtok, který je u běžně navržené mikro vodní elektrárny pod hranicí minimálního technického průtoku turbíny a nelze jej přímo využít.

Pokud je však tento přebytkový průtok nad MZP přiveden do malé vodní nádrže, může být v čase akumulován ve formě objemu. Nádrž tak postupně shromažďuje součet těchto malých přítoků, dokud nedosáhne takového objemu, který umožní po omezenou dobu vypouštět vodu přes turbínu při průtoku vyšším nebo alespoň rovném minimálnímu technickému průtoku, tedy v rozsahu, kde již turbína pracuje s přijatelnou účinností. Tím dochází k převodu dlouhodobě velmi nízkých, samostatně nevyužitelných průtoků do podoby krátkodobě zvýšeného odtoku, z něhož lze získat elektrickou energii. Energie, která by při čistě průtočném uspořádání zůstala nevyužita, je tak prostřednictvím akumulační a manipulační funkce nádrže zachycena a přeměněna na elektrickou energii, bez porušení podmínky zachování minimálního zůstatkového průtoku v korytě.

Tabulka 5 Kostrateckỳ potok – rybník Labuť

	Q_m – MZP [m^3/s]	Objem [m^3]	Energie [kWh]	Zisk [Kč]
Q_{m300}	0,001	3 110	29,7	89
Q_{m270}	0,007	17 626	168,1	504

U Kostrateckého potoka (rybník Labuť) jde o nejmenší lokální efekt: akumulací velmi malého přebytkového průtoku (0,001–0,007 m^3/s nad MZP)

se získá objem v řádu jednotek až nižších desítek tisíc m³, což odpovídá zisku cca 30–170 kWh a desítkám až jednotkám stovek Kč. Zisky jsou v tomto případě extrémně nízké především v důsledku velmi malých průměrných denních průtoků, ze kterých výpočet vychází. Při srovnání s ostatními lokalitami však vyvstává důvodná pochybnost o přesnosti použitých průtokových dat ČHMÚ pro tento profil; je proto pravděpodobné, že skutečný energetický potenciál lokality je o něco vyšší, než naznačují uvedené výsledky.

Tabulka 6 Lomnice – Veský rybník (Kohoutův mlýn)

	Q_m – MZP [m³/s]	Objem [m³]	Energie [kWh]	Zisk [Kč]
Q_{m300}	0,028	72 576	415,3	1 246
Q_{m270}	0,052	134 784	771,3	2 314

Na Lomnici (Veský rybník – Kohoutův mlýn) je efekt akumulace nízkých průtoků už výraznější. Přebytkový průtok nad MZP v řádu 0,028–0,052 m³/s umožní v nádrži shromáždit cca 72–135 tis. m³ vody, což odpovídá zhruba 415–770 kWh (tj. přibližně 0,4–0,8 MWh) dodatečně vyrobené energie a zisku kolem 1,2–2,3 tis. Kč.

Tabulka 7 Botič – Hamerský rybník (Záběhlický mlýn)

	Q_m – MZP [m³/s]	Objem [m³]	Energie [kWh]	Zisk [Kč]
Q_{m300}	0,031	80 352	766,4	2 299
Q_{m270}	0,073	189 216	1 804,6	5 414

Tabulka 8 Botič – Práčský mlýn

	Q_m – MZP [m³/s]	Objem [m³]	Energie [kWh]	Zisk [Kč]
Q_{m300}	0,031	80 352	613,1	1 839
Q_{m270}	0,073	189 216	1 443,7	4 331

Nejvýraznější efekt přinášejí lokality na Botiči (Hamerský a Práčský mlýn), kde akumulace průtoků v intervalu Qm300–Qm270 generuje využitelné objemy v řádu desítek až téměř dvouset tisíc m³. To odpovídá stovkám kWh až zhruba 1,8 MWh v případě Záběhlického mlýna a zisku v řádu 1,8–5,4 tis. Kč podle konkrétní varianty. Z čísel je patrné, že při vhodné kombinaci průtoku a objemu nádrže už nejde jen o marginální doplněk, ale o jasně kvantifikovatelný přínos k celkové výrobě mikro vodní elektrárny.

U Práčského rybníka je však potřeba upozornit na praktické omezení dané malou kapacitou nádrže: při průtocích blížících se horní hranici uvažovaného intervalu (Q_{m270}) se nádrž plní velmi rychle. To znamená, že dostupného objemu pro akumulaci je sice zdánlivě dostatek, ale jeho využití by v praxi vedlo k velmi častému spouštění turbíny (resp. vodního kola) i vícekrát než doporučované zhruba 2 cykly denně. Z tohoto důvodu nebude reálně možné plně využít celý teoreticky vypočtený potenciál: část přebytkových průtoků bude v praxi pravděpodobně odtékat bez akumulace, aby nedocházelo k nadměrnému počtu rozběhů zařízení, které by příliš snížilo životnost turbíny.

Pro efektivní velikost vodní nádrže, která je schopna akumulovat a následně využít malé průtoky je možno použít vzorec:

$$V_{min} = Q\ x\ \frac{86\ 400}{N} -\ t_{prázdnění}\ x\ N$$

Q…… uvažovaný průtok [m^3/s]

86 400 ……počet vteřin za den

N…….počet cyklů za den

$T_{prázdnění}$……čas prázdnění nádrže [vteřiny]

Souhrnně lze říci, že výsledky potvrzují princip: akumulace i velmi malých průtoků nad MZP ve vodních nádržích umožňuje jejich převod do krátkodobě vyššího odtoku, který je pro turbínu technicky využitelný, a tím zvyšuje energetické i ekonomické využití drobných vodních toků bez zásahu do minimálního zůstatkového průtoku v korytě.

Akumulační provoz – využití spotových cen

1) Denní cyklus

Výhodu akumulačního režimu, který je možné uplatnit při využití vodních nádrží, lze kvantifikovat porovnáním tržeb při kontinuálním a při špičkovém provozu. V kontinuálním režimu by elektrárna vyráběla neustále (pokud průtok dovolí) elektřinu a prodávala ji za aktuální cenu v dané hodině – část energie by se tedy prodala levně v noci, část dráže ve špičkách. Při optimálním akumulačním režimu jsme schopni větší část energie prodat denně v nejdražších hodinách, místo aby tato elektřina byla rozptýlena i do levných hodin. Ekonomický přínos akumulace pak závisí hlavně na rozdílu ceny mezi špičkou a mimošpičkou.

Princip akumulačního provozu

Rybník s mikro vodní elektrárnou lze chápat jako jednoduchý akumulační prvek („baterii“), který umožňuje časově posunout výrobu elektřiny. Základní idea je:

- v době nízkých spotových cen (noc, část dne s přebytky OZE) se voda zadržuje v nádrži, turbína jede málo nebo vůbec,
- v době vyšších cen (ráno, večer, pracovní špička) se voda vypouští přes turbínu a vyrábí se více elektřiny.

Celkové roční množství vyrobené energie MVE se výrazně nemění, mění se hlavně čas rozložení výroby. Oproti kontinuálnímu provozu (turbína jede stále, pokud je dostatek vody) se zde snažíme koncentrovat výrobu do dražších hodin dne, a tím zvýšit průměrnou tržní cenu za 1 kWh.

Jednoduchý výpočet přínosu

Výpočet denního špičkování je nastaven tak, aby v jednoduché podobě popsal, o kolik lze zvýšit roční tržby z MVE díky tomu, že se část výroby přesune z levných do dražších hodin během dne.

Pracuje se s těmito třemi základními veličinami:

- instalovaný výkon turbíny v režimu špičkování (kolik kW jsme schopni při špičce dodávat),
- počet hodin špičkového provozu za den (jak dlouho může elektrárna pracovat v dražších hodinách),
- efektivní rozdíl spotové ceny mezi drahými a levnými hodinami (kolik korun na kWh v průměru získáme tím, že vyrábíme v dražší části dne místo v levnější).

Nejprve se určí, kolik hodin denně má smysl považovat za „skutečně drahé“. Vychází se z praktického předpokladu, že v průběhu dne existuje přibližně 10–12 hodin, kdy jsou ceny výrazně vyšší než noční minimum. Pokud by elektrárna špičkovala déle, část výroby by už nutně probíhala v hodinách s běžnými, průměrnými cenami, a prodlužování špičkového provozu by nepřinášelo stejný cenový efekt. Zvolí se tedy efektivní doba špičkového provozu, která je pro kratší časy rovna skutečnému počtu špičkových hodin, ale pro velmi dlouhé doby je shora omezena na 12 hodin.

Z výkonu turbíny a efektivní doby špičkového provozu se určí denní množství energie, které je díky akumulačnímu provozu převedeno do dražších hodin. Těžiště metodiky spočívá v odhadu efektivního rozdílu spotové ceny – tedy o kolik je v průměru dražší 1 kWh vyrobená v ranní/večerní špičce oproti 1 kWh, která by byla bez akumulace vyrobena v levných hodinách. Tento rozdíl se liší podle délky denního špičkování:

- při krátkých dobách špičkového provozu (např. 2–4 hodiny denně) je průměrný cenový rozdíl relativně vysoký, protože celý špičkový provoz padá do nejdražších hodin dne,
- při středních dobách (cca 6–8 hodin) již část výroby může probíhat i v hodinách s běžnou cenou, takže průměrný rozdíl postupně klesá,
- při dlouhých dobách (10–12 hodin) přínos dál klesá – téměř všechny výhodné hodiny dne jsou pokryty a cenový rozdíl se blíží rozdílu mezi běžným denním tarifem a nočním minimem.

Aby byla křivka výsledného ročního zisku plynulá a bez skoků, je tento cenový rozdíl uvažován jako hladce klesající funkce délky špičkového

provozu: pro krátké doby je vysoký, s rostoucí dobou špičkování se postupně snižuje, kolem 10 hodin se výrazně zplošťuje a při 12 hodinách již neroste.

Roční navýšení tržeb ze spotových cen se pak určí jednoduše jako součin:

- denního množství energie, které se díky akumulaci vyrábí v dražších hodinách,
- průměrného cenového rozdílu mezi těmito hodinami a levným provozem,
- a počtu dní v roce.

Výsledná hodnota představuje roční navýšení tržeb oproti čistě kontinuálnímu provozu, kdy by stejná energie byla rovnoměrně rozprostřena do všech hodin a nebylo by využito denní špičkování.

Cyklování nádrže a hranice 2× denně

Součástí modelu je i orientační odhad počtu cyklů vypuštění/napuštění nádrže za rok. Ten se uvádí spíše kvůli posouzení provozního namáhání nádrže, hráze a technologie, ne jako přímý vstup do vzorce pro zisk.

Z technického hlediska platí:

- plné dva cykly denně (ranní a večerní špička) dávají smysl při dobách vypouštění zhruba do 5 hodin – je čas ráno nádrž vypustit, přes den dopustit a večer znovu využít,
- při delších dobách vypouštění (např. 6–8 hodin) je druhý cyklus už jen částečný – část času se vypouští, část dne se dopouští,
- model to řeší tak, že se počet cyklů plynule snižuje z hodnoty blízké 2 směrem k 1, žádný ostrý skok.

Výsledky pro jednotlivé lokality

Tabulky shrnují výsledky výpočtu ročního zisku ze spotových cen pro konkrétní lokality (nádrže) při různých změnách hladiny. V každém případě je pro daný pokles hladiny uveden zadržený objem, doba vypouštění,

odpovídající množství energie, počet předpokládaných cyklů za rok a z toho odvozený roční zisk.

Tabulka 9 Botič – Práčský mlýn

Změna hladiny [m]	Zadržený objem [m^3]	Doba vypouštění [hod]	Zadržená energie [kWh]	Počet cyklů za rok [-]	Předpokládaný zisk [Kč]
0,1	152	0,1	1,1	730	932 Kč
0,2	303	0,2	2,2	730	1 641 Kč
0,3	455	0,3	3,3	730	2 267 Kč

Práčský mlýn na Botiči reprezentuje malý akumulační objem v řádu stovek m³. Doba vypouštění je velmi krátká (0,1–0,3 hodiny), což umožňuje až 730 cyklů ročně (cca dva cykly denně). Každé navýšení změny hladiny o 0,1 m zvyšuje zadržený objem a energii, a tomu odpovídá i téměř lineární nárůst ročního zisku z necelých 1 000 na necelé 2 300 Kč/rok. U takto malé nádrže je potenciál „bateriového“ efektu spíše omezený, ale je dobře vidět, že i malá akumulace umožní využít ranní a večerní špičky.

Tabulka 10 Botič – Hamerský rybník (Záběhlický mlýn)

Změna hladiny [m]	Zadržený objem [m^3]	Doba vypouštění [hod]	Zadržená energie [kWh]	Počet cyklů za rok [-]	Předpokládaný zisk [Kč]
0,1	3 657	2,2	34,9	730	13 394 Kč
0,2	7 313	4,4	69,7	730	19 739 Kč
0,3	10 970	6,5	104,6	650	23 423 Kč

Lokalita u Hamerského rybníka ukazuje podstatně větší zadržený objem (v řádu tisíců m³), přičemž doba vypouštění pro uvažované změny hladiny se pohybuje přibližně mezi dvěma a šesti a půl hodinami. Při menším kolísání hladiny je stále možné realizovat zhruba dva špičkové provozy denně po

celý rok (cca 730 cyklů), u vyšší změny hladiny už delší doba vypouštění vede k mírnému snížení počtu cyklů.

Zadržená energie na jeden cyklus roste s velikostí změny hladiny z desítek až k více než stovce kWh a tomu odpovídá i modelované roční navýšení zisku ze spotových cen, které se pohybuje přibližně od 13–23 tisíc Kč/rok. V tomto rozsahu se stále projevuje poměrně příznivý poměr mezi délkou vypouštění a rozdílem spotových cen – nádrž je dostatečně velká, aby přinesla smysluplný zisk, ale ještě není tak velká, aby se výhoda výrazně rozmělnila.

Tabulka 11 Lomnice – Veský rybník (Kohoutův mlýn)

Změna hladiny [m]	Zadržený objem [m^3]	Doba vypouštění [hod]	Zadržená energie [kWh]	Počet cyklů za rok [-]	Předpokládaný zisk [Kč]
0,1	17 004	15,6	97,3	281	10 139 Kč
0,2	34 007	31,2	194,6	140	10 139 Kč
0,3	51 011	46,8	291,9	94	10 139 Kč

Lokalita Veského rybníka na Lomnici odpovídá středně velké nádrži s objemem desítek tisíc m³. Doba vypouštění se zde výrazně prodlužuje (cca 15–47 hodin), což se promítá do nižšího počtu cyklů za rok (281–94). Zadržená energie na jeden cyklus roste, nicméně roční zisk se prakticky nemění a pohybuje se kolem 10 tis. Kč/rok bez ohledu na to, zda je změna hladiny 0,1 nebo 0,3 m. To přesně ukazuje omezení využití spotových cen: s rostoucí dobou vypouštění sice roste množství energie, ale zároveň klesá počet cyklů a efektivní rozdíl spotových cen. Výsledkem je, že přínos akumulace se u středně velké nádrže maximalizuje a další zvyšování objemu zadržené vody už nepřináší vyšší zisk.

Tabulka 12 Kostrateckých potok – rybník Labuť

Změna hladiny [m]	Zadržený objem [m^3]	Doba vypouštění [hod]	Zadržená energie [kWh]	Počet cyklů za rok [-]	Předpokládaný zisk [Kč]
0,1	100 036	138,9	954,1	32	11 266 Kč
0,2	200 071	275,1	1 908,2	16	11 266 Kč
0,3	300 107	412,7	2 862,3	11	11 266 Kč

Rybník Labuť jen potvrzuje předchozí zjištění. Představuje velkou nádrž s objemem v řádu stovek tisíc m³. Doba vypouštění jednotlivého cyklu se pohybuje v řádu stovek hodin (cca 6–17 dní), takže je možné realizovat jen 11–64 cyklů za rok. Zadržená energie na jeden cyklus je velmi vysoká (tisíce kWh), nicméně roční zisk ze spotových cen se drží kolem 11 tisíc Kč/rok a nereaguje na zvýšení změny hladiny. V tomto případě je zřejmé, že přínos ze špičkování je omezen nízkou frekvencí cyklů a velmi dlouhou dobou vypouštění; ekonomický efekt navýšení hladiny je téměř zanedbatelný.

Kontinuální vs. akumulační provoz – shrnutí

Kontinuální provoz MVE znamená, že turbína využívá průtok tak, jak přichází, a vyrábí rovnoměrně ve dne v noci. Průměrná realizační cena odpovídá v podstatě průměrné denní ceně na trhu.

Akumulační provoz s využitím vodní nádrže jako „baterie“ znamená, že významná část výroby je přesunuta do nejdražších hodin dne. Výsledky ukazují, že:

- u malých nádrží a krátkých dob špičkování (2–4 h/den) roste roční přínos poměrně strmě (malé objemy, ale vysoký cenový rozdíl),
- u středně velkých nádrží (6–8 h/den) zisk dál roste, ale pomaleji – přibývají hodiny s průměrnou cenou,
- u větších nádrží s dlouhým špičkovým provozem (10–12 h/den) se křivka výrazně zakulacuje a přínos se přibližuje maximu pro daný výkon turbíny.

Výsledek je jednoznačný: pro daný výkon MVE dává akumulační režim vyšší roční zisk než čistě kontinuální provoz, a to pouze díky lepšímu časovému využití spotových cen – bez potřeby zvyšovat instalovaný výkon nebo měnit základní hydrologii nádrže.

2) Vícedenní cyklus

V předchozí části byla popsána metodika, která hodnotí ekonomický přínos akumulačního provozu MVE především na úrovni denního cyklu – tedy přesouvání výroby mezi levnými a dražšími hodinami v rámci jednoho dne. Ukázalo se, že tento přístup je velmi vhodný pro menší a středně velké nádrže, kde doba vypouštění nepřesahuje několik málo hodin až jednotky desítek hodin a je možné relativně často cyklovat (řádově stovky cyklů za rok). Naopak u velkých nádrží, jako jsou Veský rybník (Lomnice) a Labuť (Kostratecký potok), se denní špičkování z hlediska spotových cen již prakticky vyčerpá: doby vypouštění jsou tak dlouhé a počet cyklů tak malý, že další navyšování akumulačního objemu nepřináší v denním režimu výrazný dodatečný zisk.

U těchto velkých nádrží však vzniká jiná příležitost: velký zásobní objem lze využít nikoliv jen pro špičkování v rámci jednodho dne, ale pro vícedenní řízení výroby podle očekávaného vývoje cen na tzv. day-ahead marketu (denním trhu s elektřinou). Místo toho, aby se nádrž snažila každý den absolvovat celý cyklus napuštění a vypuštění, je možné pracovat s horizontem několika dní – například několik dnů vodu akumulovat při nízkých cenách a následně ji vypouštět v období, kdy jsou na denním trhu vyhlížené vyšší ceny (např. chladnější pracovní dny, období nízké výroby z OZE apod.). Pro nádrže typu Veský a Labuť, u nichž se denní přínos z rozdílu špičkových a základních cen už téměř nemění, tak může být vícedenní špičkování založené na informacích z denního trhu daleko efektivnějším způsobem využití jejich akumulačního potenciálu.

Následující metodická část proto navazuje na dosavadní „denní“ model špičkování, ale rozšiřuje ho o vícedenní cyklus řízený podle cen na day-ahead marketu. Cílem je ukázat, jak lze zejména u velkých nádrží s dlouhou dobou

vypouštění odhadnout dodatečný ekonomický přínos z toho, že se výroba neoptimalizuje jen v rámci jednoho dne, ale v rámci několika po sobě jdoucích dnů, kdy se střídají období nízkých a vysokých velkoobchodních cen elektřiny.

Postup

Tato metodika vychází z předchozího modelu denního špičkování, ale je rozšířena pro využití vícedenních cyklů na denním trhu s elektřinou (day-ahead market). Je určena zejména pro větší nádrže (např. Veský rybník, Labuť), u nichž se ekonomický přínos čistě denního špičkování již téměř nemění, ale jejich velký akumulační objem umožňuje pracovat s delším časovým horizontem – několik po sobě jdoucích levnějších a dražších dní.

Základní princip je stále stejný: rybník s instalovanou MVE je chápán jako „baterie“, která umožňuje část výroby časově přesunout z levnějších období do dražších. U vícedenního špičkování ale neporovnáváme jednotlivé hodiny v rámci jednoho dne, nýbrž celé dny nebo krátká vícedenní období: levnější dny (s nízkou průměrnou cenou) a dražší dny (s vyšší průměrnou cenou).

Metodika je určena k orientačnímu odhadu bonusu z vícedenního (day-ahead) špičkování nad rámec již stanoveného ročního zisku z denního špičkování. Východiskem je pro každou nádrž a zvolenou změnu hladiny základní roční zisk, vypočtený na základě rozdílu spotových cen mezi levnými a drahými hodinami v průběhu dne. Pro stejnou změnu hladiny se následně určí zadržený objem, z něho odpovídající množství využitelné energie a porovná se s obvyklou denní výrobou elektrárny při instalovaném výkonu. Tím se získá představa o tom, zda daná akumulace odpovídá jen části jednoho dne provozu, jednomu dni či několika dnům plného výkonu, a tedy jaký potenciál má nádrž pro přelévání výroby mezi levnějšími a dražšími dny.

Na tento poměr energetické kapacity nádrže k denní výrobě je navázán bezrozměrný koeficient, který vyjadřuje, o kolik procent může day-ahead řízení realisticky navýšit základní roční zisk. Pro vlastní odhad je uvažován průměrný rozdíl mezi levnějšími a dražšími dny v řádu několika desetin Kč/kWh, odvozený z dlouhodobého průběhu spotových cen na českém trhu.

Tato hodnota je zahrnuta právě v uvedeném koeficientu. Koeficient je zvolen jako rostoucí podle velikosti nádrže následovně:

- u malých nádrží přináší pouze malý bonus, řádově jednotky až nízké desítky procent základního ročního zisku ze špičkování,
- u středně velkých nádrží se přínos z day-ahead řízení zvyšuje a může dosahovat vyšších jednotek až desítek procent,
- u velmi velkých nádrží se přínos postupně blíží konzervativně nastavené horní hranici (cca 30–50 % v extrémně příznivém případě), další zvyšování akumulačního objemu již vede jen k mírnému navýšení bonusu.

Vlastní bonus v korunách je pak stanoven tak, že se tímto koeficientem vynásobí již známý roční zisk z denního špičkování.

Výsledkem je roční dodatečný zisk oproti špičkování pouze v denním cyklu. Metodika je záměrně konzervativní: pracuje s reálnými technickými parametry (objem, spád, doba vypouštění) a s typickými, nikoli extrémními rozdíly denních cen. Umožňuje přehledně ukázat, jak se přínos vícedenního špičkování u velkých nádrží odvíjí od dostupného akumulačního objemu a od realistického počtu cyklů, které je možné v průběhu roku provozně a hydrologicky zvládnout.

Výsledky

V následujících tabulkách jsou pro obě velké nádrže (Labuť a Veský rybník) uvedeny odhadované roční bonusy plynoucí z využití vícedenního (day-ahead) špičkování nad rámec již vyhodnoceného denního špičkování. Zatímco předchozí metodika pracovala s rozdělením výroby v rámci jednoho dne (ranní a večerní špička), zde je zohledněna možnost cíleně přesouvat výrobu mezi dny s nižší a vyšší očekávanou cenou elektřiny.

Tabulka 13 Lomnice – Veský rybník (Kohoutův mlýn)

Změna hladiny [m]	Zadržený objem [m^3]	Doba vypouštění [hod]	Zadržená energie [kWh]	Předpokládaný zisk [Kč]
0,1	17 004	15,6	97,3	1 997 Kč
0,2	34 007	31,2	194,6	2 865 Kč
0,3	51 011	46,8	291,9	3 351 Kč

U Veského rybníka se při změně hladiny 0,1–0,3 m pohybuje odhadovaný roční příspěvek day-ahead špičkování v intervalu přibližně 2,0–3,3 tis. Kč. S rostoucí amplitudou kolísání hladiny dochází ke zvyšování akumulačního potenciálu nádrže a modelovaný bonus roste relativně výrazně zejména mezi variantami 0,1 a 0,2 m. Mezi 0,2 a 0,3 m se přírůstek již zmenšuje, což odráží předpoklad, že počet situací, kdy lze energetický obsah nádrže efektivně uplatnit v cenově nadprůměrných dnech, je omezený a přínos s rostoucím objemem akumulace postupně saturuje.

Tabulka 14 Kostrateckých potok – rybník Labuť

Změna hladiny [m]	Zadržený objem [m^3]	Doba vypouštění [hod]	Zadržená energie [kWh]	Předpokládaný zisk [Kč]
0,1	100 036	138,9	954,1	4 796 Kč
0,2	150 053	208,4	1 431,1	5 181 Kč
0,3	200 071	277,9	1 908,2	5 323 Kč

U vodní nádrže Labuť jsou absolutní hodnoty bonusu vyšší, zhruba 4,8–5,3 tis. Kč/rok, nicméně závislost na změně hladiny je již velmi plochá. Již při $\Delta h = 0{,}1$ m je akumulační kapacita nádrže z pohledu day-ahead špičkování natolik vysoká, že umožňuje pokrýt podstatnou část realistického počtu výhodných cenových epizod během roku. Další zvyšování rozsahu manipulace hladiny sice zvyšuje teoreticky dostupnou energii, nicméně z hlediska omezeného počtu skutečně využitelných cenových příležitostí se bonus v korunách dále navyšuje pouze marginálně.

Celkově lze konstatovat, že day-ahead špičkování představuje u obou nádrží doplňkový, avšak nezanedbatelný zdroj navýšení zisku oproti základnímu dennímu špičkování. U středně velké nádrže (Veský) je přínos citlivější na zvolený rozsah kolísání hladiny, zatímco u velké nádrže (Labuť) se přínos s rostoucí velikostí změny hladiny již prakticky nemění a další nárůst akumulačního objemu se promítá spíše do zvýšení provozní flexibility než do výrazného procentuálního růstu tržeb. U Labutě však takto velký objem přináší i další významné benefity: umožňuje lépe stabilizovat výrobu v období nízkých průtoků, usnadňuje dodržení ekologických průtoků při současném energetickém využití, zvyšuje odolnost vůči extrémním hydrologickým i cenovým situacím (možnost cíleně reagovat na mimořádně vysoké ceny v omezeném počtu epizod) a vytváří prostor pro efektivnější integraci s dalšími zdroji v lokalitě (např. fotovoltaika), kde nádrž plní funkci pomalejší dlouhodobější akumulace spíše než klasické denní baterie.

Vliv kolísání hladiny na ekosystémy

Frekvence kolísání hladiny

Denní kolísání: Časté, pravidelné změny hladiny při špičkování MVE představují pro ekosystém největší zátěž. Denní umělé výkyvy hladiny často vedou k odumření litorálních rostlin (nemají čas se přizpůsobit), což způsobuje obnažení a erozi břehů, zhoršení kvality vody a úbytek stanovišť pro živočichy. Rychlé poklesy mohou také ponechat vodní organismy na suchu – např. pravidelné denní opadnutí hladiny dokáže vysušit jikry ryb nakladené u břehu či vajíčka obojživelníků, než se stihnou vyvinout. Celkově tak denní kolísání vytváří velmi nestabilní prostředí s omezenými podmínkami pro život citlivějších druhů.

Týdenní a méně časté kolísání: Pokud k manipulacím dochází jen jednou za několik dní či týdnů, ekosystém má mezi poklesy hladiny delší období stability. To snižuje chronický stres organismů – rostliny mohou v mezičase znovu obrůstat a živočichové mají šanci dokončit rozmnožování nebo se přemístit do bezpečí. Náhlé velké změny jednou za týden však stále představují šok: dochází k dočasné ztrátě litorálu a úhynu vodních bezobratlých v obnažené zóně (i když část z nich může být postupně doplněna z hlubší vody). Méně časté kolísání je tedy o něco méně devastující než každodenní, avšak jeden výrazný pokles týdně může i tak narušit rozmnožování a potravu vodních organismů v daném období. Klíčové je také načasování – například manipulace během jarního rozmnožování ryb a obojživelníků způsobí výraznější škody než obdobné výkyvy mimo tuto citlivou sezónu.

Nepravidelné změny hladiny: Občasné či nepředvídatelné manipulace (např. jen při mimořádných provozních stavech) mívají dopad podle svého rozsahu a roční doby. Pokud jsou vzácné a malé, ekosystém se z takových zásahů obvykle zotaví. Náhlé mimořádné snížení hladiny (např. jednorázové vypuštění nádrže) však může způsobit jednorázový masivní zásah – dojde k úhynu části bioty v litorálu a k výraznému poklesu podzemní vody v okolí nádrže. Nepravidelnost znamená, že se druhy nemohou předem přizpůsobit rytmu změn, což zvyšuje riziko, že zásahem budou zasaženy v nejnevhodnější dobu (např. uprostřed líhnutí mláďat). Celkově platí, že čím

častěji se hladina mění, tím hůře pro stabilitu a biodiverzitu prostředí – nejhorší jsou velmi časté (denní) výkyvy, zatímco občasné a plánované manipulace mimo citlivé období mohou mít jen omezený dopad.

Rozsah kolísání hladiny

Malý rozsah (do 0,1 m): Velmi malé výkyvy hladiny (v řádu jednotek centimetrů) mají na ekosystém minimální vliv. Takové kolísání je srovnatelné s přirozenými denními změnami (výpar, přítoky) a obnažuje jen úzký pruh břehu. Litorální rostliny a drobní živočichové se dokáží udržet – vegetace zůstává zachovaná a břehy jsou stabilní. Kolísání do zhruba 10 cm obvykle nepředstavuje výrazné ekologické riziko, zejména pokud změna probíhá pozvolna.

Střední rozsah (0,1–0,3 m): Tato kategorie kolísání představuje určité ekologické riziko, ale je částečně zvládnutelné. Pobřežní vegetace může být krátkodobě narušena, ale většina robustnějších druhů (např. orobinec, rákos) si udrží vitalitu, pokud kolísání není příliš časté. Také vodní živočichové – včetně rybího plůdku – mají šanci přizpůsobit se, pokud poklesy probíhají pozvolna. Při dodržení tohoto rozsahu je možné výrazně omezit negativní dopady, zvláště pokud manipulace probíhá mimo období rozmnožování.

Vyšší rozsah (cca 0,3–0,5 m): Fluktuace hladiny ve výši desítek centimetrů už znatelně ovlivňují litorál. Část mělkého pobřeží se při poklesu ocitá na suchu, což může poškodit mělce kořenící rostliny (např. ostřice, rákosí) a zahubit plůdek ryb či obojživelníků v této zóně. Časté opakování takových změn může vést k ústupu litorálních porostů a lokálním sesuvům bahnitých břehů. Pokud však kolísání kolem 0,3–0,5 m neprobíhá příliš často, ekosystém si částečně poradí – některé robustnější druhy rostlin (rákos, orobinec) snesou dočasný pokles hladiny a opětovné zatopení, a ryby mohou najít náhradní trdliště o něco hlouběji. Z ekologického hlediska je přesto žádoucí udržet kolísání spíše při spodní hranici této škály. Například vodohospodářské orgány často omezují povolené manipulace jen na ±20–30 cm, aby se břehy zbytečně nerozrušovaly.

Velký rozsah (nad 0,5 m až jednotky metrů): Velké výkyvy hladiny, kolem metru a více, už zásadně mění charakter nádrže. Při poklesu o metr se obnaží široká pásma dna – litorální vegetace je zpravidla likvidována (dlouhodobě

zůstane jen holé bahno či erodující půda). S tím mizí úkryty a trdliště pro vodní živočichy, prudce klesá biodiverzita v příbřežní zóně. Větší ryby sice obvykle stihnou odplavat do hlubší vody, ale plůdek a vajíčka hynou a bentické organismy v bahně jsou vystaveny predátorům nebo vyschnutí. Opakované velké změny hladiny tak vedou k degradaci ekosystému – v nádrži zůstávají jen odolné, obecně rozšířené druhy, zatímco citlivější a specializované mizí. Studie ukazují, že některé druhy ryb ještě dokáží jednorázově rozmnožovat při poklesu hladiny kolem 1 m, avšak při větším úbytku (1,5–2 m) už dochází k odkrytí jejich snůšek a výraznému ohrožení reprodukce. Z toho je patrné, že každé další zvýšení amplitudy kolísání má exponenciálně horší dopad – rozdíl mezi 1 m a 2 m výkyvem je pro biologické společenstvo mnohem dramatičtější než mezi 10 a 20 cm. Agentura ochrany přírody ČR ostatně uvádí, že „výrazné kolísání hladiny v nádrži má negativní vliv na ekosystém malé vodní nádrže a na druhy živočichů a rostlin v ní“. Proto by se velkým výkyvům měla malá vodní díla pokud možno vyhnout.

Srovnání dopadů a doporučení pro šetrný provoz

Z pohledu ekologie jsou nejhorší kombinací časté a velké změny hladiny – například denní kolísání o desítky cm až metry působí na faunu a flóru největší negativní efekt. Takový režim vede k trvalému narušení litorálu, erozi břehů a úbytku druhů (prostředí je proměnlivé natolik, že ho obývají jen velmi odolné organismy). Naopak nejpřijatelnější je režim, kdy je hladina co nejstálejší a manipulace jen mírné. Z technického i biologického hlediska se doporučuje omezit rozsah kolísání – např. provozovat MVE v průtočném režimu s trvalejším průtokem a neakumulovat vodu na špičky. Pokud je potřeba hladinu měnit, pak pozvolna a v malých krocích (např. po centimetrech za hodinu, ne desítky cm naráz). Důležité je také naplánovat manipulace mimo citlivé období – ideálně nekolísat hladinu na jaře během reprodukce ryb, obojživelníků a vodního ptactva, ani v létě v době největší aktivity bioty. Lepší je provádět případné větší jednorázové snížení hladiny v zimě či na podzim, kdy většina vodních organismů je méně aktivních a litorální vegetace je v klidovém stavu.

Z existujících příkladů v ČR vyplývá, že vodoprávní úřady často nastavují manipulační řády tak, aby kolísání bylo co nejvíce limitováno. Například u

jezu Kolín s MVE je povolená tolerance změn hladiny ve zdrži pouze ±20 cm. Obdobně na Labi (Brandýs n. Labem) je manipulačně dovoleno kolísat hladinu jen v rozmezí −10 až +20 cm. Tyto limity mají zajistit, že provoz MVE nenaruší ekologické funkce nádrže a toku nad míru nezbytnou. Obecně platí doporučení udržovat výkyvy hladiny co nejmenší a nejpomalejší, ideálně do desítek centimetrů a s frekvencí spíše výjimečnou než každodenní. Moderní přístupy zahrnují i technická opatření ke zmírnění dopadů – např. postupné pouštění vody (aby nedocházelo k náhlému „šoku“ pro ekosystém) nebo vytváření náhradních mokřadů/litorálních zón, které zůstávají zatopené i při poklesu hlavní hladiny. Podstatné je, že stabilita vodního prostředí přímo ovlivňuje jeho biologickou rozmanitost a zdraví. Režim MVE by proto měl být nastaven s ohledem na přírodu: preferovat menší a pomalejší kolísání, které je ekologicky snesitelné, a vyhýbat se prudkým změnám, jež mají největší negativní dopady.

Shrnutí: Čím častěji a více hladina kolísá, tím vážnější jsou ekologické následky – od vymizení pobřežních rostlin, přes úhyn rybích násad a bezobratlých, až po celkový pokles biodiverzity a destabilizaci prostředí. Naopak při minimálním a zřídka prováděném kolísání zůstává ekosystém malé nádrže relativně zachovalý a funkční. Doporučení odborníků i praxe v ČR směřují k omezení kolísání hladiny (typicky do desítek centimetrů) a k citlivému provoznímu režimu MVE, který zajišťuje výrobu energie s co nejmenším narušením vodního ekosystému.

7. Výhody a omezení

V prostředí drobných vodních toků, které se vyznačují vysokou hydrologickou variabilitou a častými obdobími nízkých průtoků, je klíčové hledat řešení, jež umožní stabilizovat odtok a současně efektivně využít i minimální množství vody. Technologie založená na kombinaci malé vodní nádrže a mikro vodní elektrárny nabízí možnost akumulace přebytkových průtoků nad minimálním zůstatkovým průtokem a jejich následné využití pro výrobu elektřiny v době, kdy je to ekonomicky nejvýhodnější. Tento princip přináší řadu výhod – od zvýšení energetické efektivity a provozní stability až po možnost časového posunu výroby do špičkových hodin. Současně je však nutné zohlednit omezení, která vyplývají z ekologických, technických a ekonomických aspektů provozu. Kolísání hladiny, investiční náklady či závislost na místních hydrologických podmínkách představují faktory, které je třeba pečlivě vyhodnotit při návrhu a realizaci technologie. Následující část kapitoly proto shrnuje hlavní přínosy i limity tohoto řešení, aby bylo možné objektivně posoudit jeho vhodnost pro konkrétní lokalitu.

Výhody

- **Energetické využití nízkých průtoků**

Technologie umožňuje akumulovat velmi malé průtoky nad minimálním zůstatkovým průtokem (MZP) a převést je do krátkodobě vyššího odtoku, který je technicky využitelný pro turbínu. Tím se zvyšuje celková využitelnost vody v sušších obdobích.

- **Stabilizace průtoku a provozu MVE**

Malé vodní nádrže fungují jako stabilizační prvek, který vyrovnává krátkodobé výkyvy průtoků a zajišťuje provozně stabilní zdroj energie.

- **Možnost akumulačního provozu („bateriový efekt“)**

Nádrž umožňuje časově posunout výrobu elektřiny do období s vyššími spotovými cenami (např. ranní a večerní špičky), čímž se zvyšuje ekonomický efekt bez nutnosti zvyšovat instalovaný výkon.

- **Kombinace vodohospodářské a energetické funkce**

Řešení spojuje stabilizaci odtoku s výrobou obnovitelné energie, aniž by vyžadovalo zásadní změny hydrologického režimu toku.

- **Nízká provozní náročnost**

Technologie je navržena jako jednoduché zařízení s minimálními zásahy do stávajícího vodního díla.

Omezení

- **Ekologické dopady kolísání hladiny**

Časté a velké změny hladiny mohou negativně ovlivnit litorální vegetaci, rybí násady a biodiverzitu. Doporučuje se omezit rozsah kolísání na ±0,1–0,3 m a frekvenci manipulací.

- **Limitovaný ekonomický přínos u velkých nádrží**

U nádrží s dlouhou dobou vypouštění (desítky hodin až dny) klesá počet cyklů a efektivní rozdíl spotových cen, takže roční zisk se prakticky nemění ani při zvýšení objemu.

- **Závislost na hydrologických podmínkách**

Technologie je vhodná pouze pro lokality s dostatečným spádem a možností akumulace vody. V extrémně suchých oblastech je její efekt omezený.

- **Nutnost dodržení MZP**

Provoz musí respektovat minimální zůstatkový průtok v korytě, což omezuje množství vody dostupné pro akumulaci.

- **Investiční náklady**

I když jsou relativně nízké, zahrnují úpravy odběrného objektu, instalaci turbíny a manipulační zařízení.

8. Ekonomické a inovativní přínosy

Ekonomické a inovativní přínosy ověřené technologie vycházejí z její schopnosti efektivně využívat obnovitelné zdroje energie v prostředí drobných vodních toků, které jsou charakteristické nízkými průtoky a vysokou variabilitou. Tradiční vodní energetika je v těchto podmínkách často neefektivní, zatímco kombinace malé vodní nádrže a mikro vodní elektrárny umožňuje nejen zvýšit energetickou využitelnost vody, ale také optimalizovat čas výroby elektřiny podle cenových signálů trhu. Tento přístup přináší dvojí efekt: zlepšení ekonomické návratnosti investice a současně podporu inovativních řešení, která propojují vodohospodářské a energetické funkce. Technologie je navržena tak, aby byla technicky jednoduchá, provozně flexibilní a přenositelná na další lokality, což z ní činí atraktivní nástroj pro obce, vlastníky rybníků i investory orientované na udržitelné zdroje energie. Následující část kapitoly shrnuje hlavní ekonomické benefity a inovativní aspekty tohoto řešení.

Ověřená technologie přináší významné ekonomické i inovativní efekty, které zvyšují její atraktivitu pro využití na drobných vodních tocích:

Ekonomické přínosy

- **Zvýšení využitelnosti nízkých průtoků**

Akumulace přebytkových průtoků nad minimálním zůstatkovým průtokem (MZP) umožňuje jejich transformaci do krátkodobě vyššího odtoku, který je technicky využitelný pro turbínu. Tím se zvyšuje celková výroba elektřiny i v sušších obdobích, kdy by jinak byla nulová.

- **Optimalizace prodeje elektřiny díky akumulačnímu provozu**

Technologie umožňuje časově posunout výrobu do období s vyššími spotovými cenami (např. ranní a večerní špičky). Tento „bateriový efekt“ zvyšuje průměrnou realizační cenu za 1 kWh bez nutnosti navyšovat instalovaný výkon.

- **Nízké investiční náklady v porovnání s klasickými vodními díly**

Zařízení je technicky jednoduché, využívá stávající vodní nádrže a minimální stavební úpravy, což snižuje náklady na realizaci.

- **Možnost doplňkového příjmu pro vlastníky rybníků a obce**

Roční zisk ze spotových cen se pohybuje od jednotek tisíc Kč u malých nádrží až po desítky tisíc Kč u středně velkých lokalit, což představuje zajímavý doplněk k tradičním funkcím nádrže.

Inovativní přínosy

- **Kombinace vodohospodářské a energetické funkce**

Technologie spojuje stabilizaci průtoku s výrobou obnovitelné energie, aniž by vyžadovala zásadní změny hydrologického režimu toku.

- **Flexibilní provozní režim**

Možnost volby mezi kontinuálním a akumulačním provozem podle aktuálních cen elektřiny a hydrologických podmínek.

- **Přenositelný model pro další lokality**

Princip je univerzální a lze jej aplikovat na různé typy drobných vodních toků s historickými nebo stávajícími nádržemi.

- **Podpora dekarbonizace a energetické soběstačnosti**

Technologie využívá obnovitelný zdroj energie a přispívá ke snížení emisí CO_2, což je v souladu s cíli klimatické politiky a energetické transformace.

9. Souhrn a závěr

Ověřená technologie „Zvýšení průtočnosti drobných vodních toků a stability energetického potenciálu“ reaguje na aktuální výzvy spojené s klimatickou změnou, poklesem průměrných průtoků a rostoucí potřebou efektivního využití obnovitelných zdrojů energie. V prostředí drobných vodních toků, kde tradiční vodní energetika naráží na limity, nabízí tato technologie inovativní řešení spočívající v kombinaci malé vodní nádrže a mikro vodní elektrárny. Princip je založen na akumulaci velmi malých průtoků nad minimálním zůstatkovým průtokem (MZP) a jejich následném využití pro výrobu elektrické energie v době, kdy je to provozně i ekonomicky nejvýhodnější.

Výsledky testování na modelových lokalitách (Kostratecký potok – rybník Labuť, Lomnice – Veský rybník, Botič – Hamerský a Práčský mlýn) potvrdily, že i malé akumulační objemy umožňují významně zvýšit využitelnost nízkých průtoků. U menších nádrží se projevuje vysoká frekvence cyklů (až 730 ročně), což umožňuje efektivní využití ranních a večerních špiček cen elektřiny. U středně velkých nádrží se přínos stabilizuje – roste množství energie na cyklus, ale klesá počet cyklů a tím i ekonomický efekt. U velkých nádrží je přínos omezen dlouhou dobou vypouštění a nízkou frekvencí cyklů, což ukazuje, že optimální efekt technologie je dosažitelný zejména u menších a středních vodních nádrží. Zároveň však velké nádrže vykazují významný potenciál pro vícedenní špičkování (day-ahead řízení), kdy umožňují cílené využití delších období zvýšených cen, stabilizaci výroby v suchých obdobích a vyšší provozní flexibilitu celého energetického systému.

Ekonomické hodnocení ukazuje, že technologie přináší dodatečný roční zisk v řádu tisíců až desítek tisíc korun v závislosti na velikosti nádrže a provozním režimu. Přínos není založen na zvýšení instalovaného výkonu, ale na lepším časovém využití výroby elektřiny („bateriový efekt“). Tento

princip je obzvláště významný v kontextu rostoucí volatility cen na trhu s elektřinou a zvyšujícího se podílu obnovitelných zdrojů.

Inovativní přínos technologie spočívá v propojení vodohospodářské a energetické funkce, flexibilním provozním režimu a možnosti aplikace na historické či stávající vodní díla bez nutnosti rozsáhlých stavebních zásahů. Technologie podporuje dekarbonizaci, energetickou soběstačnost obcí a adaptaci na klimatickou změnu.

Omezení a doporučení: Provoz technologie musí respektovat ekologické limity. Kolísání hladiny by mělo být omezeno na ±0,1–0,3 m a frekvence manipulací minimalizována, aby nedošlo k degradaci litorálních zón a ohrožení vodní bioty. Manipulace je vhodné plánovat mimo citlivá období (jaro – rozmnožování ryb a obojživelníků). Doporučuje se také provést ekologické posouzení každé lokality a nastavit manipulační řád v souladu s požadavky ochrany přírody.

Závěr: Ověřená technologie představuje perspektivní nástroj pro zvýšení energetické využitelnosti drobných vodních toků, zajištění provozní stability mikro vodních elektráren a optimalizaci výroby elektřiny podle cenových signálů trhu. Její aplikace je vhodná zejména pro menší a střední nádrže, kde přináší nejvyšší ekonomický efekt při zachování ekologické stability. Technologie je přenositelná, technicky nenáročná a může se stát důležitým prvkem udržitelného rozvoje venkovských oblastí.

Literatura

Pérez-Díaz, J.I., Chazarra, M., García-González, J., Cavazzini, G., Stoppato, A. (2015): **Trends and challenges in the operation of pumped-storage hydropower plants.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, 767–784.

Fleten, S.-E., Kristoffersen, T.K. (2008): **Short-term hydropower production planning by stochastic programming.** Computers & Operations Research, 35(8), 2656–2671.

Pérez-Díaz, J. I., Wilhelmi, J. R., Sánchez, J. A. (2010): **Short-term operation scheduling of a hydropower plant in the day-ahead electricity market.** Electric Power Systems Research, 80(12), 1535–1542.

Musil, J., Barteková, T., Barankiewicz, M., Balvín, P. (2015). **Environmentální rizika provozu malých vodních elektráren ve vazbě na poproudovou migraci ryb a nápravná řešení.** Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. Certifikovaná metodika MŽP ČR, 28 s.

Just, T., Moravec, P., Stodola, J., (2020): **Doporučení k projektům malých vodních nádrží.** informační materiál AOPK ČR, regionální pracoviště Střední Čechy, Praha, 53 s.

Seznam publikací, které předcházely zpracování ověřené technologie

Štich, M., Marval, Š., Roub, R., Hejduk, T., Tomek, M., Bureš, L. (2023): **Hydroenergetický potenciál drobných vodních toků na území ČR – lokalizace historických vodních děl a stanovení jejich spádu**. Sborník z konference Vodní toky 2023, www.konference.vrv.cz, s. 145–150

Bureš L., Roub R., Poláková L., Hejduk T., Marval Š., Štich M. (2024): **Porovnání kvality schematizace údolnice extrahované z dat DMR 4G, DMR 5G a jeho derivátů**, Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 2024, roč. 67, č. 2, ISSN 0322-8916.

Marval, Š., Roub, R., Bureš, L., Hejduk, T., Poláková, L. a Štich, M. (2025): **Od kapky k energii: Hodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků pomocí výsledků projektu „Pico-Hydropower“.** Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, roč. 67, č. 6, str. . ISSN 0322-8916.

Dedikace

Ověřená technologie vznikla za finanční za podpory Technologické agentury ČR, projektu číslo TK04030223 „Stanovení hydroenergetického potenciálu „Pico-Hydropower“ v současných i predikovaných klimatických podmínkách ČR“.

Jména oponentů

Odborník ze státní správy:

Ing. Michal VEVERKA, Ph.D.
projektový manažer
Odbor ochrany přírody,
telefon: +420 267 994 670
Michal.Veverka@sfzp.cz
Státní fond životního prostředí
Olbrachtova 2006/9, 140 00 Praha
https://www.sfzp.cz

Odborník z daného oboru:

Ing. Ivan DALÍK
PIK Vítek s.r.o.
Projekční a inženýrská kancelář - jednatel
Kořenského 1025/7, 150 00 Praha - Smíchov
Tel.: +420 251 101 011
E-mail: ivan.dalik@pikvitek.cz
https://www.pikvitek.cz/

Kontakty na osoby předkladatele ověřené technologie

Ing. Radek ROUB, Ph.D.
Česká zemědělská univerzita v Praze
Kamýcká 129
Praha-Suchdol, 165 00
Tel.: + 420 737 483 840
E-mail: roub@fzp.czu.cz
www.czu.cz

Prohlášení předkladatele ověřené technologie

Předkladatel prohlašuje, že zpracovaná ověřená technologie nezasahuje do práv jiných osob z průmyslového nebo jiného duševního vlastnictví. Ze strany zpracovatele (v zastoupení České zemědělské univerzity v Praze) byla uzavřena smlouva o využití výsledku (typu Z – ověřená technologie) s konkrétním uživatelem z komerční sféry v podobě subjektu **Lesy hlavního města Prahy** - Práčská 1885/12, 106 00 Praha 10 – Záběhlice, Česká republika, IČ: 45247650.

Citace

ROUB, R., ŠTICH, M., BUREŠ, L., MARVAL, Š., HEJDUK, T., TOMEK, M., POLÁKOVÁ, L., BURKET, J.: (2025): **Zvýšení průtočnosti drobných vodních toků a stability energetického potenciálu.** Ověřená technologie. 47 s. ISBN 978-80-213-3539-4 (tištěná verze), 978-80-213-3540-0 (online pdf).

Summary

The verified technology *"Enhancing the Flow Capacity of Small Watercourses and Stability of Energy Potential"* addresses the challenge of utilizing renewable energy in conditions of small streams characterized by high hydrological variability and frequent low flows. The concept combines small water reservoirs with micro-hydropower plants to stabilize discharge and optimize electricity generation during economically favorable periods. By accumulating residual flows above the minimum ecological discharge and releasing them in short bursts, the technology transforms otherwise unusable water volumes into technically exploitable flows, increasing energy efficiency without compromising ecological requirements.

Testing on model sites confirmed that even small reservoirs can significantly improve energy utilization and economic returns, especially when operated in an accumulation mode that shifts production to peak-price hours. The solution is technically simple, cost-effective, and transferable to other locations, offering a dual benefit: improved water management and renewable energy generation. While ecological impacts of water level fluctuations must be considered, proper operational regimes can minimize risks to aquatic ecosystems.

This technology supports climate adaptation, decarbonization, and energy self-sufficiency for municipalities and water body owners. It represents an innovative approach that integrates hydrological and energy functions, contributing to sustainable development in rural and peri-urban areas.

Česká zemědělská univerzita v Praze

VÚMOP

VRV

T A
Č R
Technologická agentura České republiky

Název	**Zvýšení průtočnosti drobných vodních toků a stability energetického potenciálu**
Autoři	Ing. Radek Roub, Ph.D., Ing. Martin Štich, Ing. Luděk Bureš, Ph.D., Ing. Štěpán Marval, Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D., Ing. Martin Tomek, Ing. Lucie Poláková, Ing. Jakub Burket
Vydavatel	Česká zemědělská univerzita v Praze
Adresa vydavatele	Česká zemědělská univerzita v Praze Kamýcká 129, 165 00 Praha-Suchdol
Pořadí a rok vydání	První vydání, 2025
Počet stran	47
Náklad	50
Tisk	Rhodos spol. s r.o., Vyšehradská 51, 128 00 Praha 2
Tištěná verze On-line verze	ISBN 978-80-213-3539-4 ISBN 978-80-213-3540-0