

Od kapky k energii: Hodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků pomocí výsledků projektu „Pico-Hydropower“

ŠTĚPÁN MARVAL, RADEK ROUB, LUDĚK BUREŠ, TOMÁŠ HEJDUK, LUCIE POLÁKOVÁ, MARTIN ŠTICH

Klíčová slova: vodní energie – drobný vodní tok – hydroenergetický potenciál – spád – průtok vody

ABSTRAKT

Zvyšující se poptávka po decentralizovaných obnovitelných zdrojích energie vede k novému zájmu o využití hydroenergetického potenciálu drobných vodních toků. Příspěvek představuje dvoustupňovou metodiku vyvinutou v rámci projektu „Pico-Hydropower“ (TA ČR, č. TK04030223), jejímž cílem je identifikace a hodnocení vhodných lokalit pro instalaci mikrovodních elektráren na území České republiky (ČR). První fáze zahrnuje celoplošné prostorové hodnocení teoretického hydroenergetického potenciálu (HEP) všech povodí IV. řádu, založené na kombinaci digitálního modelu reliéfu (DMR5G), interpolovaných hodnot průměrného ročního průtoku (Q_a) a výpočtu průměrného spádu toku (H). Výsledná geodatabáze umožňuje prioritizaci povodí s nadprůměrným potenciálem a slouží jako vstup pro podrobnější analýzy.

Ve druhé fázi byl vyvinut specializovaný softwarový nástroj SCR (Sklony_ČR), který umožňuje identifikaci konkrétních úseků vodních toků s využitelným spádem a průtokem. Nástroj propojuje topografická a hydrologická data s uživatelsky definovanými technickými parametry (např. minimální spád, průtok nebo požadovaný výkon) a umožňuje rychlý screening vhodných lokalit bez nutnosti rozsáhlého terénního průzkumu. Metodika byla ověřena pilotním testováním v povodí Otavy, jež potvrdilo její praktickou využitelnost pro regionální energetické plánování, projektovou přípravu i akademický výzkum.

Výsledky ukazují, že nejvyšší hydroenergetický potenciál se soustředí zejména v severních a severovýchodních oblastech ČR, konkrétně v povodích Moravy, Jizery, Úpy, Olše a Lužické Nisy. Kombinace prostorového modelování a interaktivní analýzy představuje škálovatelný a uživatelsky přívětivý přístup k využití dosud opomíjeného potenciálu drobných vodních toků, který může významně přispět k udržitelnému rozvoji decentralizované vodní energetiky v horských a venkovských oblastech. V dalších fázích projektu bude metodika ověřena prostřednictvím demonstračních studií, včetně právního a environmentálního posouzení vybraných lokalit.

ÚVOD

Využívání obnovitelných zdrojů energie (OZE) představuje jeden z hlavních směrů současné evropské i národní energetické politiky [1, 2]. Zatímco většina dosavadních investic směřuje do velkých, centralizovaných zdrojů, narůstá zájem o decentralizovaná, nízkonákladová a prostorově rozptýlená řešení, jež umožňují zvyšovat energetickou soběstačnost lokálních komunit. Tento přístup nachází uplatnění také ve vodní energetice, a to zejména formou mikro- a pikohydroelektráren, které jsou schopny efektivně využívat i nízký hydroenergetický potenciál na drobných vodních tocích.

V souvislosti s probíhající klimatickou změnou se zároveň mění i charakter srážkového a odtokového režimu na území ČR. Přestože celkové množství ročních srážek se v dlouhodobém horizontu výrazně nemění, dochází k zásadním změnám v jejich časové a prostorové distribuci [3] a zároveň i k nárůstu intenzity krátkodobých srážkových událostí, jež jsou častější a extrémnější než v minulosti [4]. Zvyšuje se podíl intenzivních srážkových událostí a zkracuje se doba mezi epizodami sucha a přívalových dešťů. Tyto změny se promítají do kolísavosti průtoků na malých vodních tocích a ovlivňují jejich dynamiku, stabilitu a energetickou využitelnost.

Drobné vodní toky (DVT) tvoří významnou část říční sítě ČR a jejich rozložení pokrývá i oblasti, kde jiné obnovitelné zdroje – např. větrná nebo fotovoltaická energie – nejsou dostatečně efektivní a realizovatelné. Ačkoli jejich průtoky a spády často neumožňují přímé energetické využití ve smyslu klasické vodní energetiky, celkový hydroenergetický potenciál DVT může být v kontextu decentralizované energetiky významný. Pro jeho efektivní využití je však zásadní disponovat patřičnými nástroji pro systematickou identifikaci vhodných lokalit a předběžné technicko-energetické posouzení jejich parametrů.

Projekt „*Pico-Hydropower*“ (TA ČR, č. TK04030223) reaguje na výzvu k efektivnímu využití DVT vytvořením metodiky pro stanovení jejich hydroenergetického potenciálu. Tento článek navazuje na předchozí publikaci ve VTEI [5], v níž byla řešena metodika interpolace průtoků v povodích bez přímého měření, která tvoří klíčový vstup do výpočtů potenciálu. V předešlé fázi projektu byl vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál (HEP) všech povodí IV. řádu na území ČR, a to kombinací digitálního modelu reliéfu a interpolovaných hodnot průměrného ročního průtoku (Q_a). Výsledkem je prostorová vrstva umožňující prioritizaci povodí s nadprůměrným potenciálem, která slouží jako vstupní filtr pro podrobnější analýzu na úrovni konkrétních úseků vodních toků [6].

Na základě testování přesnosti různých typů DMR (DMR4G, DMR5G a jejich derivátů) [7] byl následně v rámci projektu vyvinut specializovaný nástroj SCR (Sklony ČR), který umožňuje interaktivní selekci konkrétních dílčích úseků vodních toků s využitelným potenciálem. Tento nástroj kombinuje prostorová data o spádech a průtocích s uživatelsky nastavitelnými technickými parametry (např. požadovaný výkon či minimální spád) a umožňuje rychlou identifikaci vhodných lokalit pro mikroenergetické využití bez nutnosti rozsáhlého terénního průzkumu.

Cílem článku je představit metodiku lokalizace vhodných úseků drobných vodních toků s využitím prostorové databáze HEP pro povodí IV. řádu a nástroje SCR a demonstrovat, jak lze propojit hydrologickou analýzu povodí s technickým návrhem konkrétních míst pro instalaci vodních mikrozdrojů.

METODIKA

Prvním krokem při hodnocení využitelného hydroenergetického potenciálu vodních toků bylo prostorové vymezení a kvantitativní posouzení všech povodí IV. řádu v ČR. Tato úroveň povodí byla zvolena jako optimální kompromis mezi hydrologickou homogenitou a územní podrobností a zároveň navazuje na zavedenou strukturu členění povodí dle správcovských databází (např. DIBAVOD, CEVT, interní databáze VÚV TGM).

Použité datové vstupy

K výpočtu byly využity následující primární datové sady:

- Digitální model reliéfu DMR5G (ČÚZK): raster s horizontálním rozlišením 5 m a přesností $Z \leq 0,2$ m v otevřeném terénu. Slouží k určení sklonu toků.

- Vektorová síť vodních toků – Hrubé úseky z databáze DIBAVOD: reprezentuje hlavní osy vodních toků. Identifikátor HLGP_ID byl doplněn tak, aby úseky vodních toků byly v souladu s vrstvou povodí IV. řádu.
- Polygony povodí IV. řádu: prostorové jednotky z interní databáze VÚV TGM sjednocené s daty o vodních tocích.
- Mapa specifického odtoku (q_a) v jednotkách [$l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$]: interpolovaná vrstva, vytvořená geostatistickou metodou *krigingu s externím driftem* [8] na základě vybraných profilů ČHMÚ s dlouhodobou řadou průtokových dat. Vrstva byla kalibrována vůči sumární bilanci a verifikována v pilotním území povodí Otavy [5].

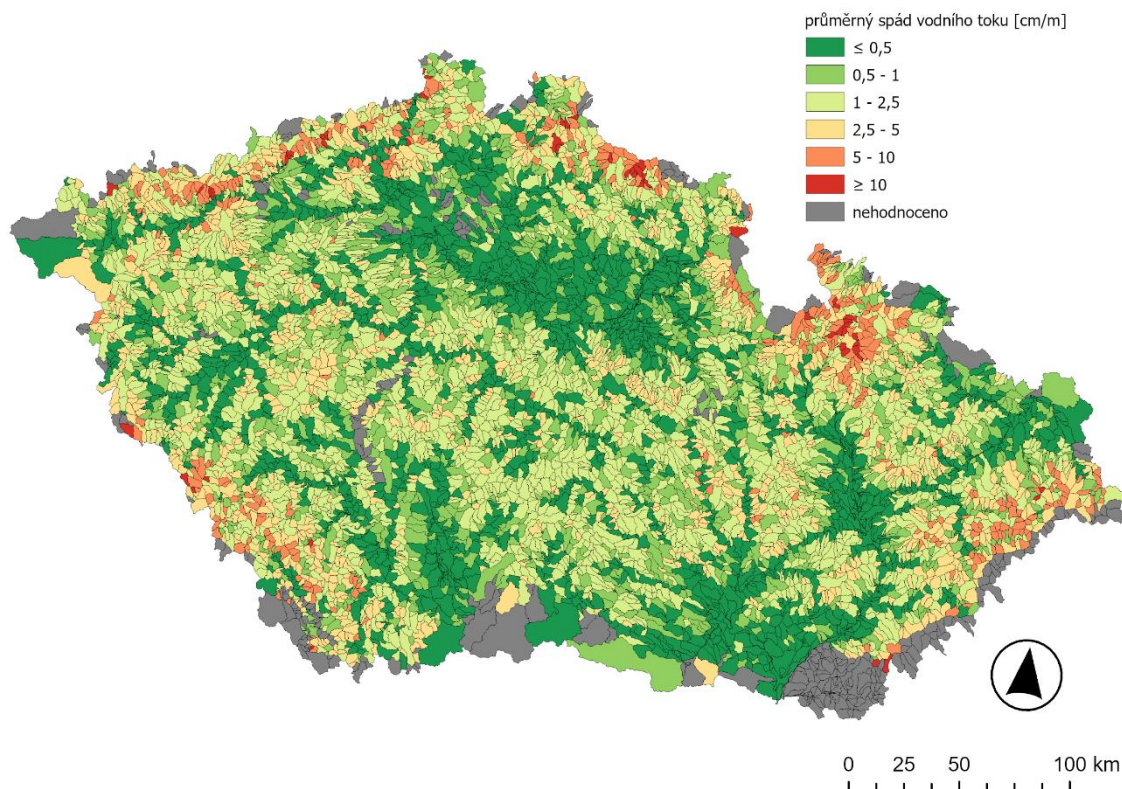
Přestože byla hlavní pozornost v rámci řešeného projektu zaměřena na drobné vodní toky (DVT), byly základní hydrologické charakteristiky stanoveny systematicky pro všechna povodí IV. řádu v ČR. Pro každé povodí byl vypočten průměrný spád toku a průměrný roční průtok Q_a (jako ukazatel dlouhodobé vodnosti) a z těchto údajů byl následně odvozen využitelný hydroenergetický potenciál (HEP). Tento postup umožnil nejen souhrnné zhodnocení všech povodí IV. řádu, ale také následné detailní porovnání s výsledky pro vybrané drobné vodní toky.

Metodika stanovení základních parametrů (H, Q_a , HEP)

Následující text popisuje postup stanovení využitelného hydroenergetického potenciálu vodních toků na území ČR. Základem je prostorové členění na povodí IV. řádu a využití kombinace geodatových podkladů, digitálního modelu reliéfu a hydrologických dat. Popsané kroky vedly k vytvoření jednotné databáze, obsahující pro každé povodí hodnoty průměrného spádu (H), průměrného ročního průtoku (Q_a) a odvozeného hydroenergetického potenciálu (HEP – P), jež je výsledkem řešeného projektu a je dostupná v [7].

a) Průměrný spád hlavního toku (H)

Hodnota H byla odvozena z výškového rozdílu mezi počátkem a ústím tzv. hlavního toku, definovaného jako nejdelší propojený úsek toku v rámci daného povodí IV. řádu. Hlavní linie toku je přitom v databázi členěna na dílčí úseky „od přítoku k přítoku“, případně v pramenné části „od pramene po první soutok“. Počáteční a koncové body příslušného úseku v rámci jednoho povodí byly určeny průnikem hlavní linie toku s hranicí povodí. Výškové hodnoty těchto bodů byly následně extrahovány z rastru digitálního modelu reliéfu DMR5G prostřednictvím nástrojů prostorové analýzy. Spád byl vyjádřen buď v metrech (celkový rozdíl), nebo jako průměrný podélný sklon v $cm \cdot m^{-1}$, resp. v % (obr. 1).



Obr. 1. Průměrný spád vodních toků ČR (H) – měřítko povodí IV. řádu

Fig. 1. Mean channel slope of rivers in the Czech Republic (H) – delineation at the 4th-order catchment scale

b) Průměrný roční průtok (Q_a)

Průměrný roční průtok Q_a byl stanoven pro všechna povodí IV. řádu na území ČR. Základním podkladem byla mapa izolinií průměrného specifického odtoku q_a [$l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$] [9, 10]. Tato mapa byla nejprve vektorizována a následně reklasifikována s využitím lineární interpolace, jejímž cílem bylo zpřesnit krok mezi jednotlivými hodnotami q_a oproti původní tištěné mapě, a získat tak detailnější prostorovou distribuci. Reklasifikace byla provedena v několika intervalech: v rozmezí $1,16-9 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ byl zvolen krok 0,5; v intervalu $9-20 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ krok 1; a v intervalu $20-30,5 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ krok 2. Prakticky to znamená, že např. po minimální hodnotě 1,16 následovala hodnota 1,5, dále 2,0; 2,5; ... až do $9,0 l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Do této nejnižší kategorie spadá většina území ČR, zatímco interval $9-20$ charakterizuje převážně horské oblasti a hodnoty $20-30,5$ se vyskytují jen ojediněle (např. v Krkonoších).

Hodnoty q_a byly přiřazeny jednotlivým povodím IV. řádu na základě průniku polygonu povodí s vektorizovanou mapou izolinií. V případech, kdy povodí zasahovalo do více intervalů q_a , byl výsledný specifický odtok stanoven jako plošně vážený průměr. Následně byl pro každé povodí dopočten průměrný roční průtok Q_a [$l \cdot s^{-1}$] podle vztahu:

$$Q_a = q_a \cdot A$$

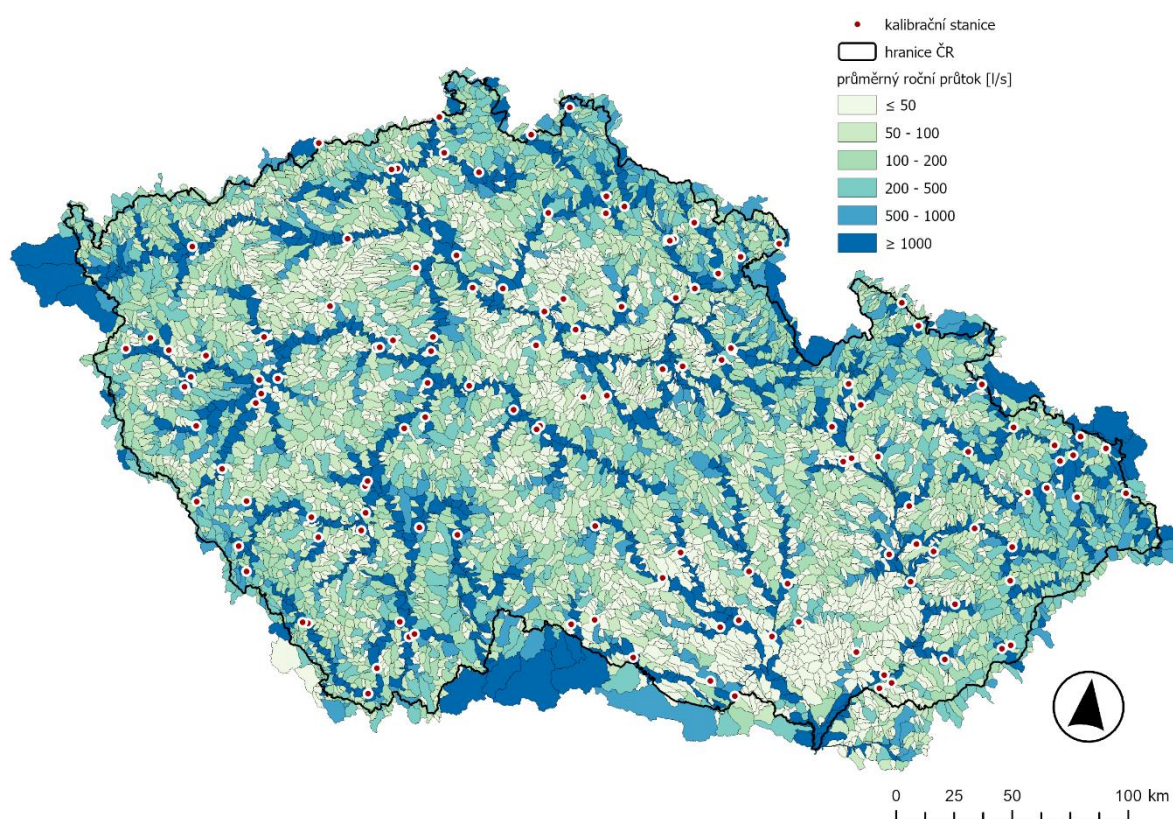
kde:

A představuje plochu povodí [km^2].

Pokud došlo k rozdělení povodí na více částí, byl výsledný průtok určen jako součet dílčích odtoků.

Takto získané hodnoty Q_a byly dále kalibrovány na základě dat z limnigrafických stanic (137) Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Výběr stanic byl proveden tak, aby nedocházelo k nadměrné prostorové hustotě profilů a aby každá stanice reprezentovala dostatečně velkou uzavíranou plochu povodí. Tím bylo zajištěno, že kalibrační databáze pokrývá území ČR rovnoměrně a zároveň se minimalizovala nadbytečná pracnost spojená s velmi malými povodími.

Kalibrace spočívala v porovnání vypočtených hodnot Q_a s měřenými průtoky v profilech stanic a v jejich následné úpravě. Rozdíly byly rozpočítány na jednotlivá povodí IV. řádu proporcionálně podle velikosti původně stanovených odtoků z mapy izolinií. Tímto způsobem byla odstraněna systematická zkreslení a dosaženo vyšší spolehlivosti odhadů Q_a , což je uvedeno na *obr. 2*.



Obr. 2. Průměrný roční průtok (Q_a) – měřítko povodí IV. řádu

Fig. 2. Mean annual streamflow (Q_a) – delineation at the 4th-order catchment scale

c) Hydroenergetický potenciál (P)

Pro odhad teoretického hydroenergetického potenciálu P [kW] byla použita zjednodušená pracovní rovnice:

$$P = 6 \cdot Q_a \cdot H$$

kde:

koeficient 6 zahrnuje převod jednotek a gravitační konstantu

Q_a představuje roční průměrný průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

H je výškový rozdíl [m]

V této fázi výpočtu není zohledněna účinnost turbíny, takže výsledná hodnota vyjadřuje hrubý teoretický výkon využitelný především pro srovnání relativního potenciálu mezi povodími.

Tento zjednodušený vztah vychází z obecné rovnice odvozené z Bernoulliho zákona pro potenciální energii vodního sloupce:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

kde:

ρ je hustota vody ($1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

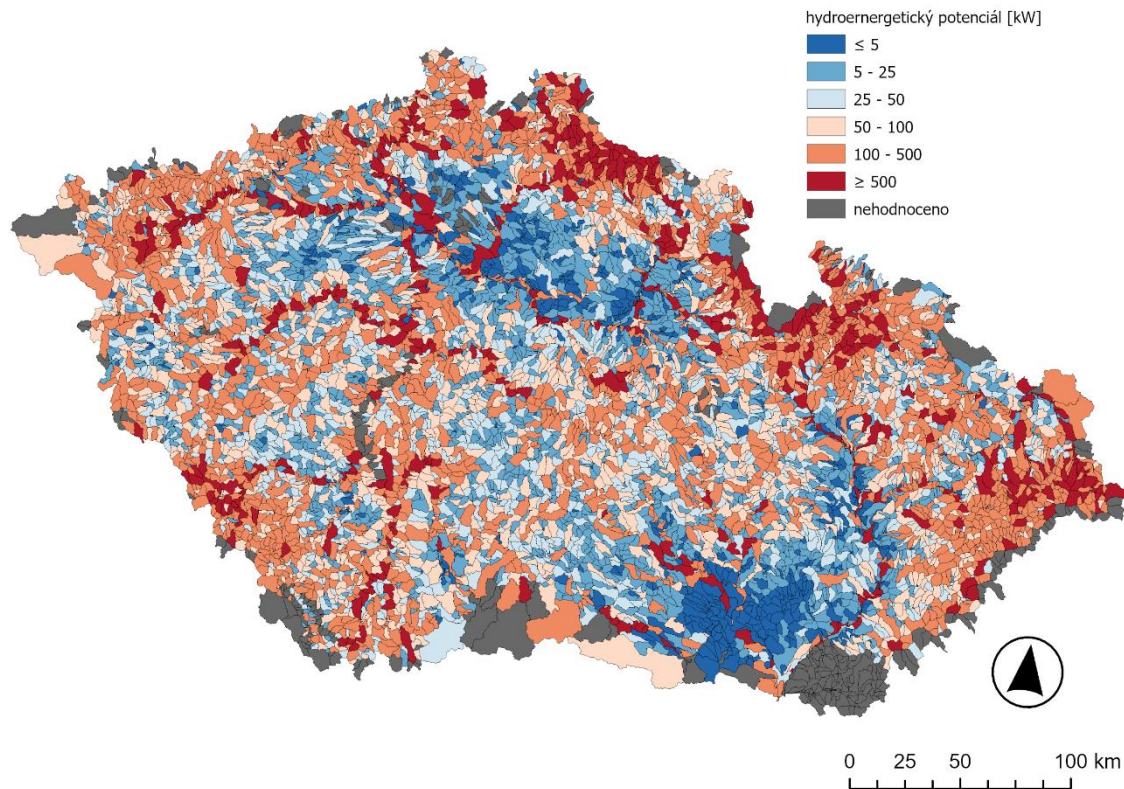
g tíhové zrychlení ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

Q roční průměrný průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

H výškový rozdíl [m]

η účinnost (neuplatňuje se v této fázi výpočtu)

Výsledná prostorová vrstva obsahující atributy průměrného spádu (H), průměrného ročního průtoku (Q_a) a odvozeného hydroenergetického potenciálu (HEP) umožňuje jednotné a srovnatelné vyhodnocení všech povodí IV. řádu na území ČR (obr. 3). Tato vrstva slouží jako podklad pro následné analýzy a tvoří základní vstup pro další fáze hodnocení hydroenergetického potenciálu.



Obr. 3. Odhad teoretického hydroenergetického potenciálu (P) – měřítko povodí IV. řádu

Fig. 3. Estimation of theoretical hydroenergetic potential (P) – delineation at the 4th-order catchment scale

Identifikace dílčích úseků pomocí nástroje SCR (Sklony_ČR)

Zatímco výpočet hydroenergetického potenciálu povodí IV. řádu umožňuje prostorově identifikovat území s vyšší pravděpodobností výskytu vhodných lokalit, pro navazující využití je nezbytné i detailnější hodnocení konkrétních úseků vodních toků. Za tímto účelem byl v rámci projektu vyvinut nástroj SCR (Sklony_ČR) – specializovaný softwarový nástroj pro lokalizaci a hodnocení hydroenergetického potenciálu úseků vodních toků.

Tato aplikace je koncipována jako samostatně spustitelná (*.exe) a vyvinutá v programovacím jazyce C++. Je postavena na geodatabázi generované z digitálního modelu reliéfu ČR, interpolovaných průtokových charakteristik a topologicky navazujících linií vodních toků. Nástroj umožňuje v uživatelském rozhraní vyhledávat a filtrovat konkrétní úseky toků na základě definovaných technických parametrů, a následně je vizualizovat i analyzovat dle zadaných parametrů.

Základem pro fungování nástroje SCR je předzpracovaná geodatabáze úseků s využitelným spádem, vytvořená metodou semi-automatické detekce z DMR5G. Tato databáze obsahuje následující typy dat:

a) Spádové linie (tzv. sklonové segmenty)

Jde o vektorové úseky (hrubé úseky vodních toků) vedené po ose toku, vzniklé segmentací hlavní linie na základě výrazných změn sklonu. Segmenty mají definovaný počátek, konec, délku, výškový rozdíl (ΔH) a vypočtený průměrný sklon. Zpřesnění bylo provedeno pomocí algoritmu detekujícího inflexní body ve výškovém profilu linie odvozené z DMR5G.

b) Průtoková charakteristika (Q_a)

Každému úseku byl přiřazen odhadovaný průměrný roční průtok (Q_a) na základě prostorové interpolace z mapy specifického odtoku (viz kap. Metodika stanovení základních parametrů).

c) Identifikátory a technické atributy

Každý segment nese jednoznačné ID (UTOKH_ID), odkaz na povodí (IDVT) a úsek toku (HLGP_ID). Dále databáze obsahuje výpočty:

- délky úseku L (m),
- výškového rozdílu – minimálního spádu ΔH (m),
- minimálního energetického potenciálu – odhadovaného výkonu P (kW).

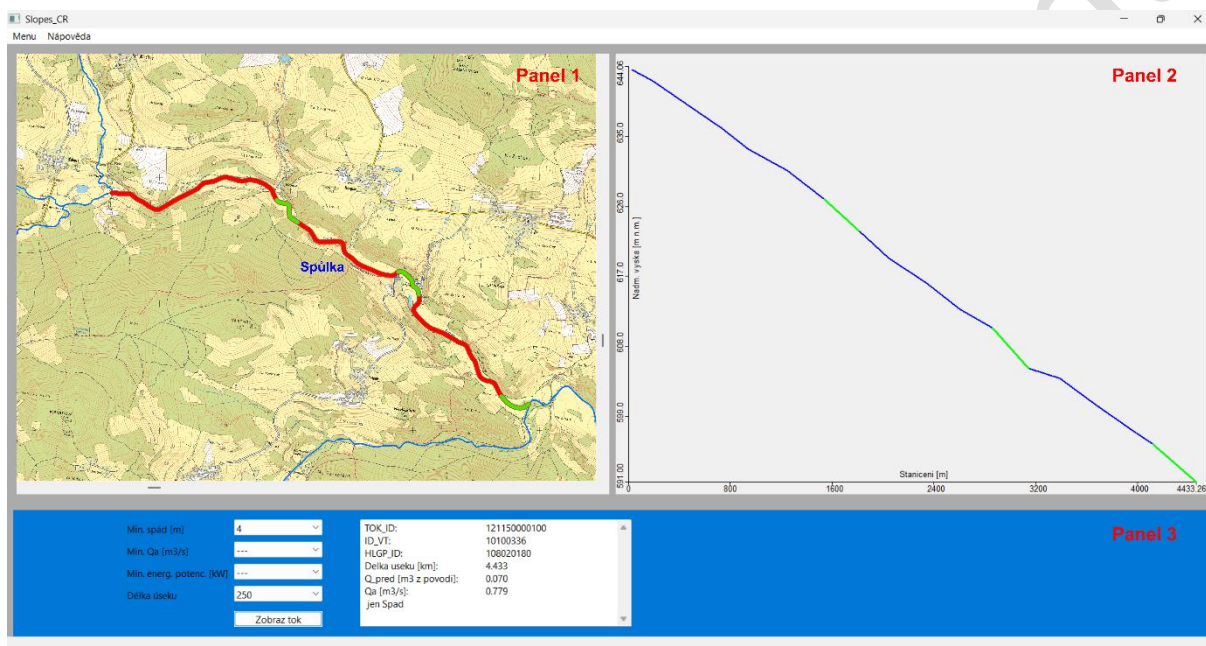
Uživatelské rozhraní a vyhledávací algoritmus

Pro prezentaci uživatelského rozhraní nástroje SCR [11] byl vybrán vodní tok Spůlka (HLPID 108020180). Aplikace je navržena jako průvodce výběru úseků vodních toků, jenž reflektuje logiku rozhodovacího procesu při předběžném hodnocení hydroenergetické využitelnosti. V první fázi práce uživatel definuje zájmové území výběrem povodí IV. řádu, resp. konkrétního hrubého úseku vodního toku.

Na definovaný úsek vodního toku jsou následně aplikována uživatelsky nastavitelná technická kritéria. Mezi filtry patří minimální délka úseku (50, 100, 250 a 500 m), minimální výškový rozdíl (1–5 m po 1 m), minimální hodnota průtoku Q_a (0,1–0,5 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ po 0,1 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), případně přímý požadavek na výsledný výkon (1–5 kW po 1 kW). Kombinace těchto parametrů

umožňuje předem vyloučit úseky s nedostatečnými podmínkami a zefektivnit vyhledávání vhodných kandidátních lokalit.

Výsledky jsou uživateli zpřístupněny formou prostorové vizualizace i tabulkového výpisu, jak je uvedeno na *obr. 4*. V mapovém okně jsou vyhovující úseky barevně odlišeny a lze je dále prokliknout pro získání detailních informací. Zároveň je možné zobrazit interaktivní podélný profil toku, kde jsou segmenty zřetelně označeny, včetně jejich parametrů a prostorové polohy. V textové podobě je k dispozici tabulka s klíčovými údaji (délka, spád, Q_a). Tímto způsobem poskytuje aplikace podporu pro rychlou identifikaci dílčích úseků toků, které odpovídají zadaným parametrům, a to s minimální vstupní znalostí uživatele. Výstupy slouží jako podklad pro následné kroky projektové přípravy nebo pro srovnávací analýzy na regionální úrovni.



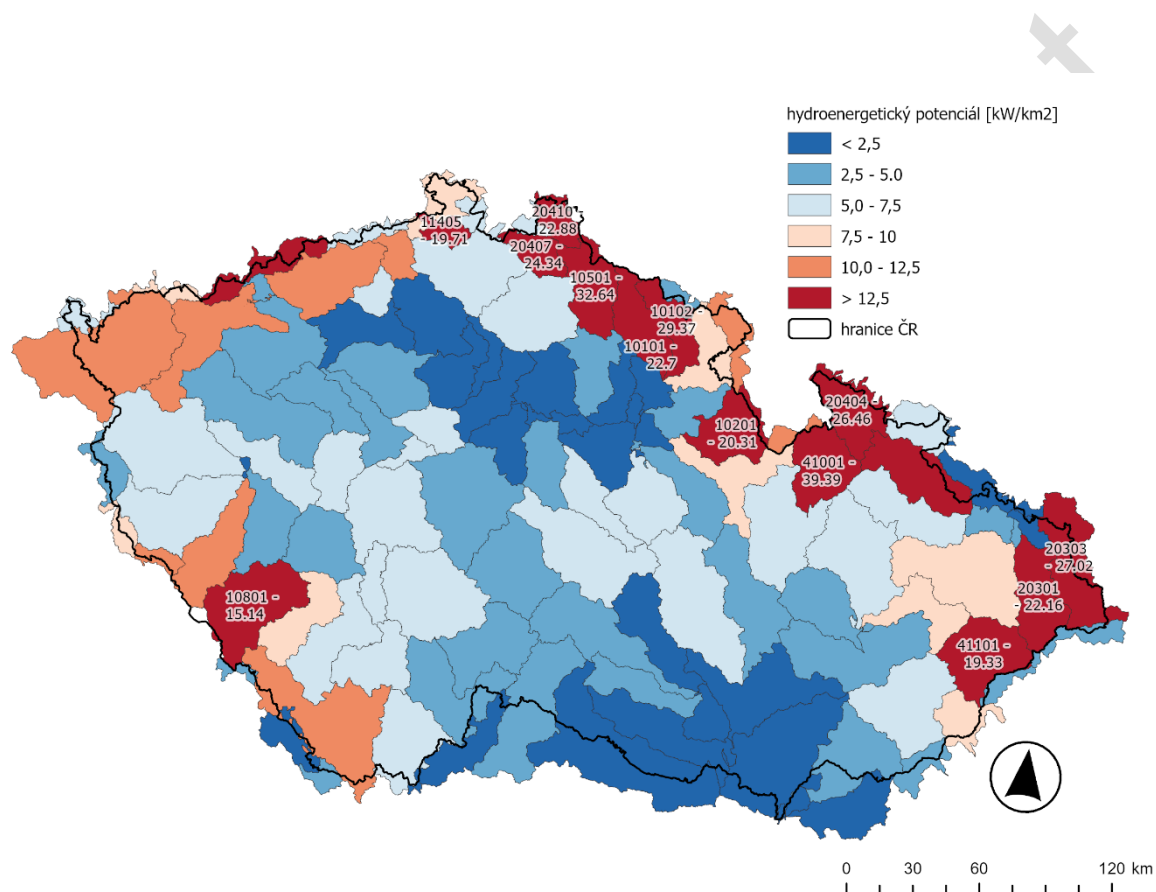
Obr. 4. Identifikace vodních úseků dle nastavených parametrů (panel 1); podélný profil vybraného vodního toku s definovanými úseky (panel 2); a zadané parametry spolu s tabulkovými hodnotami vybraného úseku vodního toku (panel 3)

Fig. 4. Identification of river reaches according to the defined parameters (panel 1); longitudinal profile of the selected river with delineated reaches (panel 2); and input parameters with tabular values of the selected reach (panel 3)

VÝSLEDKY

Databáze hydroenergetického potenciálu na úrovni povodí IV. řádu poskytuje jednotný přehled o rozložení HEP drobných vodních toků a umožňuje rychlou identifikaci regionů s vyššími hodnotami pro následné podrobnější posouzení. Díky vizualizaci v mapách a tabulkách lze provést předběžnou analýzu bez náročného terénního průzkumu. Na databázi navazuje aplikace Sklony_ČR, jež umožňuje detailní analýzu jednotlivých úseků toků na základě zadaných technických parametrů (např. spád, průtok či výkon). Výsledky jsou prezentovány formou map a tabulek s podélným profilem toku, což usnadňuje vyhledání lokalit s reálným energetickým využitím. Kombinace databáze a aplikace tak poskytuje komplexní nástroj – od plošného hodnocení až po detailní lokalizaci vhodných úseků.

Pro demonstraci využití databáze byl proveden postup, při němž byla povodí IV. řádu s průměrným ročním průtokem nižším než $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z analýzy vyloučena. Zbývající povodí byla následně agregována na úroveň povodí III. řádu a hodnoty jejich hydroenergetického potenciálu byly sečteny. Zároveň byly výsledné hodnoty normalizovány na plochu povodí, což umožnilo srovnání jednotlivých celků nezávisle na jejich velikosti. Tento postup poskytl přehled nejen o absolutním souhrnném potenciálu, ale také o jeho relativní intenzitě na jednotku plochy.



Obr. 5. Hydroenergetický potenciál povodí III. řádu přepočtený na jednotku plochy (km²)
 Fig. 5. Hydroenergetic potential of 3rd-order catchments normalized per unit area (km²)

Výsledky ukázaly, že největší hydroenergetický potenciál se soustředí především v severní a severovýchodní části ČR. Výrazně se uplatňují povodí Moravy k Šumperku, Kamenice a Jizery, Úpy či Olše, dále také menší povodí Lužické Nisy, Smědé a Vidnavky s Bělou. Zvýšené hodnoty byly identifikovány rovněž v horských a podhorských oblastech Krkonoš, Jizerských hor, Jeseníků a Beskyd, kde kombinace vyšších spádů a stabilnějších průtoků vytváří příznivé podmínky pro rozvoj mikrohydroenergetiky. Přehled nejvýznamnějších povodí je znázorněn prostřednictvím mapového výstupu a grafu, které ukazují prostorové rozložení potenciálu na území ČR. Základní charakteristiky jsou specifikovány v *tab. 1*.

Tab. 1. Povodí III. řádu s nejvyšším hydroenergetickým potenciálem

Tab. 1. 3rd-order catchments with the highest hydroenergetic potential

Kód povodí III. řádu	Název povodí	Rozloha povodí III. řádu [km ²]	Rozloha povodí DVT [km ²]	Celkový HEP kW	Počet povodí IV. řádu	HEP [kW · km ²]
41001	Povodí Moravy k Šumperku	818,67	635,19	25,02	69,00	39,39
10501	Povodí Kamenice a Jizery k soutoku	782,09	531,40	17,35	49,00	32,64
10102	Povodí Úpy	512,89	366,05	10,75	45,00	29,37
20303	Povodí Olše	1 112,65	484,61	13,09	45,00	27,02
20404	Povodí Vidnavky a Bělé	773,75	657,20	17,39	86,00	26,46
20407	Povodí Lužické Nisy	377,09	240,48	5,85	27,00	24,34
20410	Povodí Smědé	324,25	258,22	5,91	30,00	22,88
10101	Povodí Labe k Jaroměři	711,72	579,40	13,15	68,00	22,70
20301	Povodí Ostravice	826,74	590,44	13,08	59,00	22,16
10201	Povodí Divoké Orlice	777,78	489,17	9,93	63,00	20,31
11405	Povodí Kamenice	220,06	193,54	3,81	21,00	19,71
41101	Povodí Rožnovské a Vsetínské Bečvy k soutoku	988,39	793,37	15,33	87,00	19,33
10801	Povodí Otavy	1 289,08	1 054,55	15,97	107,00	15,14

Vytvořená databáze i aplikace Sklony_ČR nacházejí uplatnění nejen při hodnocení hydroenergetického potenciálu, ale také v dalších oblastech. Pro státní správu a samosprávu mohou sloužit jako podklad pro energetické koncepce, strategické dokumenty a územní plány. Správci vodních toků je mohou využít při plánování hospodaření s vodními zdroji a při vyhodnocování dopadů klimatické změny. Investoři a projektanti získávají nástroj pro rychlý výběr vhodných lokalit a zefektivnění přípravy projektů, což snižuje náklady na průzkum. Akademická sféra je pak může použít pro modelování, výzkum i výuku. Díky těmto možnostem představují oba výstupy univerzální podklad pro propojení energetického, vodohospodářského a environmentálního plánování.

DISKUZE

Jedním z klíčových přínosů představeného přístupu je jeho dvoustupňová struktura, jež umožňuje propojit celoplošné mapové hodnocení hydroenergetického potenciálu povodí IV. řádu s lokální identifikací konkrétních úseků vodních toků na základě volitelných technických parametrů [12, 13].

Tento přístup efektivně kombinuje vysokou míru standardizace a přehlednosti v mapové fázi s možností detailního posouzení konkrétních lokalit pomocí aplikace SCR. Uživatelé mohou z mapových výstupů (např. specializovaných N_{map}) snadno vytipovat povodí s nadprůměrným HEP a následně se pomocí softwarového nástroje zaměřit na identifikaci vhodných úseků s konkrétním spádem, průtokem a výkonem. Tím se eliminuje nutnost manuální prohlídky celého vodního toku nebo jeho kartografické analýzy v prostředí GIS.

Navržený přístup má vysokou míru aplikačního potenciálu pro různé cílové skupiny. Pro veřejnou správu (obce, kraje, správce vodních toků) představuje dostupný podklad pro strategické plánování využití obnovitelných zdrojů a může se uplatnit při zpracování územně-energetických koncepcí. Projektanti a investoři mohou využít softwarový nástroj pro rychlé posouzení lokalit před zpracováním technické studie, čímž se výrazně zkracuje přípravná fáze záměru. Nástroj je přitom použitelný bez pokročilých znalostí GIS technologií, což rozšiřuje jeho využitelnost i pro menší subjekty nebo obce bez odborného zázemí. Praktický přínos byl ověřen v rámci pilotních testů v povodí Otavy, kde byla úspěšně provedena identifikace vhodných lokalit.

Je však nutné zdůraznit, že přístup nese i určité metodické a technické limity. Jedním z klíčových omezení je nejistota v odhadnutých průtocích, které jsou odvozeny na základě interpolace mapy izolinií specifického odtoku [10] a kalibrace podle měřených profilů. V lokalitách bez dostupného měření tedy nelze garantovat vysokou přesnost údajů o průtoku [14], což může mít vliv na spolehlivost odhadovaného výkonu [15]. Rovněž nebyly v současné fázi řešení zahrnuty ekologické a majetkoprávní aspekty, jež mají zásadní význam při reálném posuzování vhodnosti lokality pro výstavbu malé vodní elektrárny [16]. Tyto aspekty (např. ochranná pásma, migrační bariéry, kolize s územním plánem) by měly být posouzeny v navazujících krocích projektové přípravy.

Přesto lze konstatovat, že kombinací robustní mapové analýzy a cíleného softwarového nástroje vznikl praktický a dobře škálovatelný přístup, který rozšiřuje možnosti využití hydroenergetického potenciálu v podmínkách drobných vodních toků a přispívá k modernizaci plánování malých obnovitelných zdrojů energie v ČR. Další výsledek podporující konkrétní realizaci bude proveden v podobě ověřené technologie (Z_{tech}), kde bude testováno několik demonstračních studií. V několika povodích IV. řádu bude uskutečněno modelové ověření záměru výstavby nejmenší vodní elektrárny, doplněné o majetkoprávní prověření a zhodnocení environmentálních aspektů s důrazem na prostupnost vodních toků. Součástí navazujícího výsledku bude také rámcové zhodnocení ekonomické proveditelnosti vybraných variant, což umožní komplexnější posouzení vhodnosti lokalit pro instalaci malých vodních elektráren. Tento výstup bude sloužit jako příklad aplikace navrženého postupu v reálných podmínkách a jako podklad pro ověření proveditelnosti jednotlivých variant.

ZÁVĚR

Představený přístup ke stanovení hydroenergetického potenciálu drobných vodních toků v ČR kombinuje celoplošné prostorové hodnocení s detailní analýzou konkrétních úseků vodních toků pomocí nástroje SCR. Tato dvoustupňová metodika umožňuje efektivní identifikaci lokalit s využitelným energetickým potenciálem i bez přímého měření průtoků, a tím výrazně zkracuje úvodní fázi projektové přípravy. Aplikovatelnost tohoto přístupu byla ověřena na datech z celé ČR i na pilotním území povodí Otavy.

Navržený nástroj a metodika představují praktický základ pro územní screening lokalit vhodných pro realizaci mikroenergetických zařízení, zejména tam, kde jiný obnovitelný zdroj není technicky nebo ekonomicky dostupný. Přístup bude dále rozvinut v rámci výsledku typu

Z_{tech} – ověřená technologie, který se zaměří na prověření reálné proveditelnosti výstavby mikroenergetických zařízení na vybraných lokalitách a na modelování provozních režimů zahrnujících akumulaci a distribuci vody.

V tomto článku nejsou diskutovány další konkrétní okolnosti spojené se skutečnou realizací malých vodních elektráren, jako jsou stavební omezení, legislativní procesy, ekonomické náklady nebo provozní rizika. Tyto faktory mají zásadní vliv na konečnou proveditelnost záměrů a měly by být zohledněny až v navazujících fázích projektové přípravy. Zde prezentovaný přístup se proto zaměřuje především na mapové a analytické zhodnocení potenciálu, které může sloužit jako první krok k systematickému vyhledávání vhodných lokalit.

V souhrnu lze konstatovat, že kombinace prostorového modelování, dostupných hydrologických podkladů a jednoduchého nástroje pro technické hodnocení může významně přispět k identifikaci doposud opomíjeného potenciálu drobných vodních toků a podpořit udržitelný rozvoj decentralizované obnovitelné energetiky v ČR.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR, projektu č. TK04030223 „Stanovení hydroenergetického potenciálu ‚Pico-Hydropower‘ v současných i predikovaných klimatických podmínkách ČR“ a za institucionální podpory Ministerstva zemědělství (MZE-RO0223).

Literatura

- [1] EUROPEAN COMMISSION. *Renewable Energy Directive – Revised RED II (Directive (EU) 2018/2001). European Energy – Renewable Energy Directive: Targets and Rules* [on-line]. 2023 [citováno 2025-07-09]. Dostupné z: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en
- [2] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*. Aktualizace – prosinec 2024. Praha: MPO, 2024. Dostupné z: https://mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2024/12/Vnitrostatni-plan-Ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu-_prosinec-2024_.pdf
- [3] KAŠPÁREK, L., KOŽÍN, R. Changes in Precipitation and Runoff in River Basins in the Czech Republic during the Period of Intense Warming. *Water Management Technical and Economical Information Journal (VTEI)*. 2022, 64(2), s. 17–26. ISSN 0322-8916.
- [4] CRHOVÁ, L., BLIŽŇÁK, V., KAŠPAR, M., MÜLLER, M., SVOBODA, V., ŠERCL, P., ŠTĚPÁNEK, P. *Souhrnná výzkumná zpráva (Vsouhrn) SS02030040-V46: Návrhové hodnoty srážek*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2023. 40 s. Dostupné z: <https://www.perunklima.cz/results/navrhSrazekZprava.pdf>
- [5] BUREŠ, L., SAMCOVÁ, M., ROUB, R., POLÁKOVÁ, L., HEJDUK, T., ŠTICH, M. Interpolace vybraných průtoků v nepozorovaných povodích IV. řádu v povodí Otavy. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2024, 66(4), s. 12–18. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://doi.org/10.46555/VTEI.2024.05.002>
- [6] ROUB, R., BUREŠ, L., MARVAL, Š., HEJDUK, T., TOMEK, M., ŠTICH, M., POLÁKOVÁ, L., FUČÍK, P., PETRŮ, J., BURKET, J., ZAJÍČEK, A., VLČEK, L. *Hydroenergetický potenciál drobných vodních toků v horizontu 2100. Specializovaná mapa s*

odborným obsahem, 2024. 30 s. ISBN 978-80-88664-14-7 (print), ISBN 978-80-88664-15-4 (PDF).

[7] ROUB, R., BUREŠ, L., MARVAL, Š., HEJDUK, T., POLÁKOVÁ, L., ŠTICH, M. *Hydroenergetický potenciál drobných vodních toků. Databáze*. 2024. Dostupné z: <https://www.fzp.czu.cz/scr>

[8] SKØIEN, J. O., BÖLSCHL, G., LAAHA, G., PEBESMA, E., PARAJKA, J., VIGLIONE, A. Rtop: An R Package for Interpolation of Data with a Variable Spatial Support, with an Example from River Networks. *Computers & Geosciences*. 2014, 67, s. 180–190. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.02.009>

[9] PATOČKA, E., NĚMEC, J. *Mapa izolinií specifického průměrného ročního odtoku*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 1956.

[10] KEMEL, M. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Praha: ČVUT, 2000. 290 s. ISBN 8001014568.

[11] BUREŠ, L., ROUB, R., POLÁKOVÁ, L., HEJDUK, T., MARVAL, Š., ŠTICH, M. *SCR (Sklony_ČR): analytický nástroj pro identifikaci potenciálních úseků toků pro Pico-VE (verze [1.0.])* [software]. Praha: Fakulta životního prostředí ČZU, 2024. Dostupné z: <https://www.fzp.czu.cz/scr>

[12] ROJANAMON, P., CHAISOMPHOB, T., BUREEKUL, T. Application of Geographical Information System to Site Selection of Small Run-of-River Hydropower Project by Considering Engineering/Economic/Environmental Criteria and Social Impact. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2009, 13(9), s. 2 336–2 348. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.07.003>

[13] LEHNER, B., LIERMANN, C. R., REVENGA, C., VÖRÖSMARTY, CH., FEKETE, B., CROUZET, P., DÖLL, P., ENDEJAN, M., FRENKEN, K., MAGOME, J., NILSSON, C., ROBERTSON, J. C., RÖDEL, R., SINDORF, N., WISSER, D. High-Resolution Mapping of the World's Reservoirs and Dams for Sustainable River-Flow Management. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2011, 9(9), s. 494–502. Dostupné z: <https://doi.org/10.1890/100125>

[14] BLÖSCHL, G., SIVAPALAN, M., WAGENER, T., VIGLIONE, A., SAVENIJE, H. (eds.). *Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

[15] CASTELLARIN, A., VOGEL, R. M., MATALAS, N. C. Probabilistic Behavior of a Regional Envelope Curve. *Water Resources Research*. 2005, 41(6), W06018. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2004WR003042>

[16] LARINIER, M. Fish Passage Experience at Small-Scale Hydro-Electric Power Plants in France. *Hydrobiologia*. 2008, 609(1), s. 97–108. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9398-9>

Autoři

Ing. Štěpán Marval¹

marval.stepan@vumop.cz

ORCID: 0009-0001-5793-685X

Ing. Radek Roub, Ph.D.²
roub@fzp.czu.cz
ORCID: 0000-0002-6838-2047

Ing. Luděk Bureš, Ph.D.²
buresl@fzp.czu.cz
ORCID: 0000-0002-8358-8932

Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D.¹
hejduk.tomas@vumop.cz
ORCID: 0009-0007-8702-5911

Ing. Lucie Poláková^{1,2}
polakoval@fzp.czu.cz

Ing. Martin Štich³
stich@vrv.cz

¹ Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, Praha (Česká republika)

² Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha (Česká republika)

³ Vodohospodářský rozvoj a výstavba, Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.09.001

ISSN 0322-8916/© 2025 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

FROM A DROP TO ENERGY: ASSESSING THE HYDROENERGETIC POTENTIAL OF WATERCOURSES USING RESULTS FROM THE „PICO-HYDROPOWER PROJECT“

MARVAL, Š.¹; ROUB, R.²; BUREŠ, L.²; HEJDUK, T.¹; POLÁKOVÁ, L.^{1,2}; ŠTICH, M.³

¹Research Institute for Soil and Water Conservation, Prague (Czech Republic)

²Faculty of Environmental Sciences Czech University of Life Sciences Prague (Czech Republic)

³Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a. s., Prague (Czech Republic)

Keywords: hydropower – stream – hydroenergetic potential – head – water flow

The growing demand for decentralized renewable energy sources has sparked renewed interest in harnessing the hydroenergetic potential of small watercourses. This paper presents a two-stage methodology developed within the *Pico-Hydropower project* (TA CR, no. TK04030223), aimed at identifying and evaluating suitable locations for micro-hydropower installations in the

Czech Republic. The first stage involves a nationwide spatial assessment of theoretical hydroenergetic potential (HEP) across all 4th-order catchments, based on a combination of digital elevation models (DMR5G), interpolated values of mean annual streamflow (Q_a), and calculated average channel slope (H). The resulting geodatabase enables prioritization of catchments with above-average potential and serves as input for more detailed analyses.

In the second stage, a specialized software tool called SCR (Sklony_ČR) was developed to identify specific river segments with usable head and flow. The tool integrates topographic and hydrological data with user-defined technical parameters (e.g., minimum head, flow rate, or desired power output) and allows for rapid screening of suitable locations without the need for extensive field surveys. The methodology was validated through pilot testing in the Otava catchment, confirming its practical applicability for regional energy planning, project development, and academic research.

The results show that the highest hydroenergetic potential is concentrated in the northern and northeastern regions of the Czech Republic, particularly in the catchments of the Morava, Jizera, Úpa, Olše, and Lužická Nisa rivers. The combination of spatial modeling and interactive analysis offers a scalable and user-friendly approach to utilizing the previously overlooked potential of small streams, which can significantly contribute to the sustainable development of decentralized hydropower in mountainous and rural areas. In the next phases of the project, the methodology will be verified through demonstration studies, including legal and environmental assessments of selected locations.