

VLADISLAV KRÍŽ

## HYDROLOGICKÁ ANALOGIE A JEJÍ VYUŽITÍ KE KVANTIFIKACI ZMĚN HYDROLOGICKÉHO REŽIMU ŘEK ZPŮSOBENÝCH ČINNOSTÍ ČLOVĚKA

### 1. Úvod

Využití analogie (obdoby, shody, podoby) není pro hydrologii specifické. Analogie nalézá uplatnění například v různých technických oborech. V technice je analogie pojímána jako shoda základních matematických (obvykle diferenciálních) rovnic, popisujících dva vzájemně nezávislé fyzikální jevy (Korbař, Stránský 1962). Její uplatnění má praktický význam při experimentálních studiích, je-li technika provedení a měření jevu, který má být studován obtížná nebo neproveditelná, zatímco u druhého, analogického jevu, je snazší. V tomto smyslu má analogie pro hydrologii význam zprostředkovaný (využití analogových počítačů, měřících přístrojů na analogovém principu). Přímé využití nalézá analogie zvláště v rámci hydrologických výpočtů (především při stanovování hydrologických charakteristik pro toky s nedostatkem přímých výchozích údajů), případně též v rámci hydrologických předpovědí (jako způsob předpovědi změn režimu vodního objektu v některém období pomocí jiného analogického období se stejnými charakteristickými znaky hydrometeorologických faktorů). V poslední době nabývá na významu využití hydrologické analogie pro nepřímou kvantifikaci změn hydrologického režimu řek působených lidskou činností. Další pojednání je proto zaměřené na obecnou problematiku využití hydrologické analogie s přihlédnutím k tomuto poslednímu uvedenému aspektu.

### 2. Hydrologická analogie

Hydrologickou analogií (v zúženém zaměření na hydrologické výpočty) je způsob přibližného zhodnocení (odhadu) základních charakteristik hydrologického režimu neprozkoumaných (málo prozkoumaných) vodních objektů (např. řek) na základě

- výběru prozkoumaného objektu (analogu), nacházejícího se ve shodných fyzikogeografických podmínkách s neprozkoumaným objektem,
- rozšíření hydrologických charakteristik prozkoumaného objektu na neprozkoumaný objekt (Čebotarev 1964).

Předpokladem pro využití hydrologické analogie ke stanovení hydrologických charakteristik řek s nedostatkem přímých hydrometrických podkladů je vhodný výběr prozkoumané řeky (analogu). Výběr se opírá o vzájemné srovnání a analyzování činitelů podílejících se na utváření hydrologického režimu a je třeba při něm respektovat následující hlediska (upraveno podle Příručky k určení hydrologických charakteristik, Leningrad 1973):

- shodu klimatických podmínek,
- synchronnost hydrologických jevů (např. kolísání odtoku),
- stejnorodost podmínek formování odtoku (vyjádřenou stejným typem reliéfu, obdobnými geologickými, hydrogeologickými a pedologickými poměry, obdobným plošným a druhovým zastoupením vegetace, obdobným využíváním povodí apod.),
- přiměřenou shodu ploch a nadmořských výšek povodí,
- vysokou kvalitu a dostatečně dlouhé období pozorování na řece využitě k odvození údajů.

Ke vzájemnému srovnání obou povodí (prozkoumaného a neprozkoumaného), výběru řeky — analogu slouží kromě jiných údajů a charakteristik (klimatologických, geologických apod.) rovněž hydrografické charakteristiky. Náleží k nim

- plocha povodí po příslušný profil (výpočtový na neprozkoumané řece a profil využitý k analogii na prozkoumané řece),
- délka hlavního toku,
- průměrný sklon hlavního toku, průměrný sklon povodí,
- průměrná nadmořská výška povodí,
- poměrné hodnoty pokrytí povodí lesy, bažinami, jezery, krasovými plochami apod.,
- morfometrický typ reliéfu (podle výškového rozpětí roviny, pahorkatiny, vrchoviny, hornatiny, velehornatiny),
- charakteristiky regulace odtoku nádržemi (počet, poloha, uplatňující se objem apod.) a další charakteristiky.

Po ověření možností využití hydrologické analogie, výběru nejvhodnější řeky a profilu pro analogii, následuje odvození potřebných hydrologických údajů a charakteristik pro řeku (profil), kde nejsou hydrologické údaje k dispozici nebo kde jsou údaje pouze z krátkodobého období. Toto krátkodobé období bývá obvykle totožné (synchronní) s určitým časovým úsekem pozorování na prozkoumané řece. Hydrologická analogie, v běžném zaměření v rámci hydrologických výpočtů, slouží (Příručka k určení hydrologických charakteristik, Leningrad 1973, Dub 1963, Průvodce hydrometeorologickou praxí, SMO, Geneve 1969) k

- odhadu (přibližnému určení) hydrologických charakteristik pro tok bez základních hydrologických údajů,
- prodloužení (transformaci) údajů a charakteristik zjištěných z poměrně krátkodobého pozorování na delší (dlouhodobé) období,
- k systematickému rozpracování hydrologických charakteristik pro větší počet profilů na toku (v říční síti daného povodí), než je počet vodoměrných stanic vhodných k přímému výpočtu,
- ověření (kontrola) výsledků získaných jiným nepřímým způsobem (např. výpočtem podle empirických vzorců).

K požadovaným údajům, které mají být pomocí analogie odvozeny, náleží obvykle základní charakteristiky hydrologického režimu — průměrný průtok za dlouhodobé období ( $Q_0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , resp. objem odtoku —  $W_0 \text{ m}^3$ , specifický odtok —

$q_{0m^3s^{-1}km^{-2}}$ , odtoková výška —  $h_{0mm}$ ), charakteristiky vztahující se k extrémním fázím odtoku (povodňovým průtokům — např. hodnoty kulminačních průtoků s určitou pravděpodobností překročení, minimálním průtokům, resp. suchým obdobím) a rozdělení odtoku v průběhu roku. Dalším typem odvozených údajů jsou údaje spíše účelově zaměřené, dílčího významu, jako např. hodnoty průměrných ročních průtoků v jednotlivých letech vybočujících z období přímého krátkodobého sledování na málo prozkoumané řece apod. Vlastní postup odvození tedy závisí na

- požadované charakteristice, požadovaném údaji,
- rozsahu podkladů na málo prozkoumané řece,
- detailnosti hydrologických poznatků a rozsahu jejich zevšeobecnění na prozkoumaných, k analogii využitelných tocích (matematicko-statistické zpracování výsledků pozorování ve staniční síti, regionální závislosti, časové a prostorové vztahy).

Otázkami techniky odvození hydrologických charakteristik (s využitím hydrologické analogie), které představují širokou problematiku, se zabývají speciálně zaměřené práce (např. Příručka k určení hydrologických charakteristik, Leningrad 1973, Technická zpráva č. 98, SMO, Geneve 1969 a další). Obecně lze shrnout, že ke stanovení charakteristik hydrologického režimu neprozkoumaných (málo prozkoumaných) řek pomocí hydrologické analogie se využívá

- přímého rozšíření hydrologických charakteristik z prozkoumaného toku na neprozkoumaný tok; to předpokládá velmi dobrou shodu nejen základních podmínek utváření odtoku, ale i hydrografických parametrů obou povodí, včetně ploch povodí, resp. možnost odvození hydrologických charakteristik na prozkoumané řece pro shodnou plochu povodí s výpočtovým profilem na neprozkoumané řece,
- grafických vztahů, např. vztahu průměrných ročních průtoků z krátkodobého synchronního pozorování ve výpočtovém profilu a profilu na řece — analogu, kterého lze využít k prodloužení údajů o ročních průtocích nebo k odvození průměrného průtoku za dlouhodobé období ve výpočtovém profilu,
- interpolace hodnot hydrologických veličin mezi opěrnými body (vodoměrnými stanicemi s podrobným zpracováním hydrologických charakteristik),
- kartografického znázornění různých hydrologických veličin a pomocných parametrů,
- výpočtů na bázi korelačních metod a regionálních závislostí hydrologických veličin na parametrech povodí.

### 3. Využití hydrologické analogie k nepřímé kvantifikaci změn hydrologického režimu řek způsobených lidskou činností

Z uvedeného stručného přehledu vyplývá, že hydrologická analogie představuje způsob nepřímého určení údajů (hydrologických veličin), bez přímého nebo dostatečného pozorování (měření), srovnáním s obdobným pozorovaným vodním objektem s hydrologicky podobnými poměry (ČSN 73 65 11, Praha 1976). Analogií z logického hlediska je druh úsudku o shodě dvou jevů na základě shodných vlastností. Hydrologická analogie předpokládá, v souladu s genetickým rozбором a empirickým ověřením, že při shodných vlastnostech povodí dochází k obdobnému utváření hydrologických jevů a tím též k jejich obdobným kvantitativním projevům.

Možnost využití hydrologické analogie pro posouzení hydrologického režimu v povodí řek působených lidskou činností spočívá především ve třech přístupech.

1. Posouzení změn hydrologického režimu řek se opírá o paralelní hydrologická sledování ve dvou povodích, vyhledaných podle zásad hydrologické analogie při respektování vlastního účelového zaměření. Výběr obou povodí se provádí tak, aby základní přírodní podmínky (klimatické, geologické, geomorfologické) utváření hydrologického režimu byly shodné a rovněž hydrologické charakteristiky obou povodí vykazovaly co nejmenší rozdíly. Obě povodí se však vzájemně liší v různém uplatnění činnosti člověka, projevující se např. v odlišném využití povodí (zalesněné povodí, zemědělsky využívané povodí apod.). V tomto parametru („činnost člověka“) se záměrně obvykle volí podstatné rozdíly u obou povodí. Na základě podrobného dlouhodobějšího sledování hydrologického režimu v obou povodích a vyhodnocení hydrologických charakteristik, zjištěné rozdíly, vyplývající z komparace získaných poznatků, přisuzují se pak vlivu odlišné činnosti člověka v povodí (rozdílnému využití povodí apod.) a jejím důsledkům na utváření hydrologického režimu řek.

Klasickým příkladem tohoto přístupu jsou výzkumná povodí založená na území ČSSR v r. 1927 (Válek 1935), která mohou posloužit k jeho rámcovému nástinu. Povodí jsou situována na území jednoho geomorfologického celku (Javorníky, soustava Vnější Západní Karpaty) a jsou od sebe vzdálena pouze 8 km. Povodí Kychové měří 4,09 km<sup>2</sup> a je z 93,2 % zalesněné, povodí Zděchovky měří 4,04 km<sup>2</sup>, 4,7 % plochy je zalesněné, 95,3 % plochy tvoří pole, pastviny a louky. Střední nadmořská výška povodí Kychové je 718 m, povodí Zděchovky 618 m. Na základě srovnání zpracovaných výsledků měření vyplývají pro dané podmínky některé zajímavé poznatky (Čermák 1954). Průměrný odtok za dlouhodobé období je u obou povodí téměř stejný, průměrné odtoky v jednotlivých letech sledovaného období se však od sebe v obou povodích dosti liší. Extrémní roky, nejsušší a nejvodnější, nevyskytují se v obou povodích v témže roce, zalesněné povodí vyrovnává a zpožďuje extrémní průměrných ročních odtoků. Rozdělení odtoku v roce je u obou povodí obdobné (největší odtok v březnu, nejmenší v září). Minimální průtoky klesly v bezlesém povodí na 50 až 57 % průtoku zalesněného povodí. Značný rozdíl odtoku ze zalesněného povodí se rovněž jeví při povodňových situacích, kdy specifické odtoky ze zalesněného povodí jsou podstatně menší než z povodí nezalesněného. Tak např. vyhodnocený průtok s pravděpodobností překročení 1 % je u nezalesněného povodí více než 2krát větší (Kříž 1965). Posuzujeme-li odtokové poměry v obou povodích podle odtokových ztrát (rozdíl mezi průměrnou výškou srážek spadlých na povodí a odtokovou výškou), pak zalesněné povodí vykazuje oproti nezalesněnému ztráty poněkud vyšší.

Z uvedeného stručného demonstračního nástinu praktické aplikace vyplývá, že popisovaný způsob odvození změn hydrologického režimu využívá

- zásad hydrologické analogie při výběru srovnávacích povodí (s odlišným působením pouze studovaného faktoru),
- matematicko-statistického zpracování výsledků pozorování,
- komparační metody, opírající se o předpoklady hydrologické analogie.

2. Posouzení změn hydrologického režimu vychází z

- hydrologických údajů v daném povodí (říčním profilu) před významnějším antropogenním ovlivněním,

- prodloužení těchto údajů podle zásad hydrologické analogie na období se změněnými podmínkami,
- srovnání odvozených údajů (pomocí analogie) se zjištěnými údaji v ovlivněném období.

K předpokladům tohoto postupu náleží: hydrologická pozorování ve sledovaném povodí před uskutečněním ovlivňujících zásahů, jejich pokračování i ve změněných podmínkách, výběr vhodného analogického povodí nebo profilu (s obdobnými hydrologickými poměry jako u sledovaného povodí před vznikem ovlivnění), ve kterém je k dispozici synchronní pozorování za období před i po vzniku ovlivňujících zásahů ve sledovaném povodí. Uplatnění tohoto postupu vyplývá z nástinu širších souvislostí při řešení současných aktuálních hydrologických otázek (Kříž, Schneider 1975).

S časovým prodlužováním řad průtoků, při postupném a mnohdy obtížně postižitelném antropogenním ovlivnění odtokového procesu, vzniká otázka homogenity základních průtokových údajů, reprezentativnosti zjištěných hydrologických charakteristik a jejich interpretace při praktickém využití ve vodním hospodářství. Změny průtoků, vyvolané lidskou činností, jsou způsobené převážně místně i funkčně determinovanými vodohospodářskými opatřeními (vodohospodářskými objekty), avšak i plošně působícími vlivy (agrotechnika, lesní hospodářství apod.). Hledisko interpretace hydrologických údajů, avšak i další hydrologická hlediska, přinášejí požadavek kvantifikace alespoň významnějšího ovlivnění průtoků, které přesahuje rozmezí chyb měření hydrologických veličin a zpracování hydrologických charakteristik a je způsobeno především akumulací, odběry, vypouštěním a spotřebou vody. Jednu z možností takového hodnocení umělých změn průtoků poskytuje metoda bilancování těchto změn na základě podrobného přímého měření, které postihuje manipulace s vodou i její distribuci. Využití této metody předpokládá dobrou organizaci spolehlivých měření, soustředování výsledků měření a soustavného jejich hodnocení spolu s ostatními údaji o průtocích řek. Její použití směřuje k paralelnímu vyhodnocování aktuálních, skutečně se vyskytujících „ovlivněných“ průtoků (hydrologických charakteristik) v říční síti a průtoků (charakteristik) „přirozených“, upravených o významnější změny vyvolané lidskou činností. Využití se předpokládá především u průměrných hodnot (průměrné měsíční a roční průtoky).

K témuž účelu, kromě přímé metody bilancování změn, může v některých případech posloužit i popisovaná metoda, využívající zásad hydrologické analogie k odvození „přirozených“ průtokových charakteristik a aproximativnímu posouzení charakteru a rozsahu jejich ovlivnění. Vlastní odvození (prodloužení) „přirozených“ průtokových charakteristik vychází z grafických vztahů vzájemně si odpovídajících průtokových hodnot (ve sledovaném a analogickém povodí, profilu) a výpočtu korelačních závislostí.

3. Posouzení změn hydrologického režimu vychází z podobného postupu jako je v bodě 2., hydrologické charakteristiky („přirozené“) pro „ovlivněný“ tok odvozují se však pomocí hydrologické analogie jako pro neprozkoumaný tok a srovnávají se se zjištěnými hydrologickými charakteristikami, v nichž se antropogenní ovlivnění hydrologického režimu uplatňuje. Jedná se tedy o případ s nedostatkem výchozích údajů a proto tento postup poskytuje pouze velmi přibližné orientační informace o rozsahu změn hydrologického režimu a mnohdy vyžaduje i určité modifikace (prodloužení hydrologických údajů „ovlivněných“ na delší období podle zásad hydrologické analogie apod.).

#### 4. Závěr

Využití hydrologické analogie při snaze o postižení kvantitativních změn hydrologického režimu řek způsobených činností člověka, představuje nepřímý způsob řešení, který se opírá i o další metodické nástroje hydrologie. V některých případech, zvláště tam, kde je k dispozici dostatek hydrologických údajů a analytických poznatků z širšího zájmového území, může vést tento nepřímý způsob k operativnímu zjištění dostatečně spolehlivých informací. Využití hydrologické analogie je však převážně vztahováno k poskytnutí předběžných, orientačních, aproximativních údajů.

Tato studie rámcově rozebírá obecné podmínky využití hydrologické analogie a podrobněji specifikuje přístupy k jejímu využití pro nepřímé posouzení změn hydrologického režimu v povodích řek způsobených činností člověka. Uvádějí se možnosti využití

- synchronních pozorování v paralelních povodích, lišících se pouze různým vlivem činnosti člověka,
- prodloužení hydrologických údajů pomocí analogie na období s různou úrovní antropogenního ovlivnění v daném povodí a vzájemného srovnání získaných výsledků.

Využití analogie v hydrologii má svůj vývoj a její zaměření na posouzení (odhad) změn hydrologického režimu povodí v závislosti na činnosti člověka je poměrně novým aspektem. Rozvoj přístupu k této otázce na principu hydrologické analogie závisí na prohlubování hydrologických poznatků i na rozvoji přímých metod. V této souvislosti je nutné věnovat pozornost především empiricko-experimentálním metodám, metodě vodní bilance, korelačním metodám a statistické analýze a využití experimentálních povodí a matematického a fyzikálního modelování.

#### -Literatura

- ČEBOTAREV A. J. (1964): Gidrologičeskij slovar. 222 str., Gidrometeorologičeskoje izdatěl'stvo, Leningrad.
- ČERMÁK M. (1954): Odtokové poměry malého povodí. Vodní hospodářství, 1: 9—12, 2: 41—44, Praha.
- DUB O. (1963): Hydrológia, hydrografia, hydrometria. 526 str., SVTL, SNIL, Praha.
- Estimation of Maximum Floods (1969). Technical Note No. 98, 288 p., World Meteorological Organization, Geneva.
- Guide to Hydrometeorological Practices (1965). 513 p., World Meteorological Organization, Geneva.
- KORBAŘ T., STRÁNSKÝ A. (ed.) (1962): Technický naučný slovník. I. díl, 653 str., Státní nakladatelství technické literatury, Slovenské vydavateľstvo technickej literatury, Praha.
- KŘÍŽ V. (1965): Hydrologické vyhodnocení povodňových průtoků a jejich zpracování pro hrazení bystřin. 207 str. kandidátská disertační práce. Vysoká škola zemědělská, Brno.
- KŘÍŽ V., SCHNEIDER B. (1975): Nástin problematiky ovlivněných průtoků. Vodní hospodářství 8: 201—203, Praha.
- Názvosloví v hydrologii (1976). Československá státní norma 73 6511, 155 str., Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření, Praha.
- Rukovodstvo po opreděleniju rasčotnych gidrologičeskich charakteristik (1973). 111 str., Gidrometeorologičeskoje izdatěl'stvo, Leningrad.
- VÁLEK Z. (1935): Výzkum a výsledky pozorování vlivu porostu na odtok srážkových vod v bystřinných povodích Kychové a Zděchovky za léta 1928—1934. Sborník Výzkumných ústavů zemědělských, sv. 114, 130 str., Praha.

HYDROLOGICAL ANALOGY AND ITS UTILIZATION FOR THE QUANTIFICATION OF CHANGES OF THE HYDROLOGICAL REGIMES OF RIVERS CAUSED BY HUMAN ACTIVITY

The utilization of hydrological analogy in the efforts to find out quantitative changes of the hydrological regimes of rivers caused by human activity represents an indirect way of solution which is supported also by other methodological tools of hydrology. In some cases, especially where there are enough hydrological data and analytical pieces of knowledge from a larger area of interest, this indirect way can result in operative establishment of sufficiently reliable information. The utilization of hydrological analogy, however, is mostly related to the provision of preliminary approximative data for basic orientation.

This study roughly analyzes general conditions of the utilization of hydrological analogy and specifies in more detail the approaches to its use for indirect evaluation of the changes of the hydrological regimes in catchment areas caused by human activity. It introduces the possibilities of the utilization of

- synchronic observations in parallel catchment areas diverging only through different influence of human activity;
- extension of hydrological data by means of analogy to periods with different levels of anthropogenic influence in the given catchment area and mutual comparison of obtained results.

The utilization of analogy in hydrology has undergone its evolution and its application for the determination (estimation) of changes of the hydrological regime within a catchment area due to human activity is a relatively new aspect. The development of the approach to this problem on the principle of hydrological analogy depends both on the elaboration of hydrological knowledge and the development of direct methods. In connection with this it is necessary to pay attention above all to empirical and experimental methods, method of water balance, correlation methods and statistical analysis, and utilization of experimental catchment areas and mathematical and physical modelling.