

AKTUALIZACE ODHADU HYDROLOGICKÝCH DOPADŮ KLIMATICKÉ ZMĚNY NA POVODÍCH ČR

Martin Hanel, Stanislav Horáček, Jan Daňhelka, Martin Tomek, Kateřina Hánová, Adam Vizina, Ondřej Ledvinka, Pavel Tremel, Eva Melišová

Klíčová slova

změna klimatu – hydrologická bilance – zdroje dat – model Bilan

Souhrn

Článek podává stručnou informaci o nejdůležitějších výsledcích dosažených v souvislosti s řešením projektu Technologické agentury České republiky Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu. Hydrologický model Bilan byl nakalibrován pro 130 povodí pokrývajících ČR s využitím pozorovaných dat a empirických vztahů. Vyhodnocena byla i spolehlivost dat. Byly vytvořeny dvě sady scénářů změny klimatu – na základě korekce systematických chyb byly zpracovány výstupy projektu ENSEMBLES a na základě pokročilé přírůstkové metody pak simulace z projektu CMIP5. Scénářové řady byly použity pro simulaci odtoku a ostatních veličin podílejících se na hydrologické bilanci. Výsledky spolu s metodikou popisující postup modelování dopadů změny klimatu ve vodním hospodářství jsou přístupné na webu rscn.vuv.cz.

1 Úvod

V letech 2012–2014 zajišťoval Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka ve spolupráci s Českým hydrometeorologickým ústavem a akciovou společností Vodohospodářský rozvoj a výstavba řešení projektu Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu, který je spolufinancován Technologickou agenturou České republiky. Cílem projektu je tvorba metodiky zaměřené na korektní postup modelování dopadů změny klimatu v oblasti vodního hospodářství, zejména při plánování v oblasti vod. Tato metodika byla certifikována Ministerstvem zemědělství v létě 2014. Její znění je dostupné na webových prezentacích projektu.

Součástí řešení projektu je i zajištění vybraných datových podkladů potřebných pro aplikaci metodiky. Konkrétně se jedná zejména o opravené simulace regionálních klimatických modelů a vypočtené změny hydrometeorologických veličin v síti klimatických modelů a pro sadu vybraných povodí pokrývajících ČR.

Cílem tohoto příspěvku je stručné představení výsledků projektu, zejména těch, které jsou přístupné na webovém portálu. Následuje přehledný popis sady povodí, kalibrace

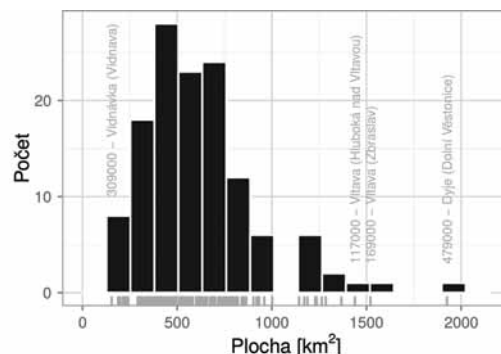
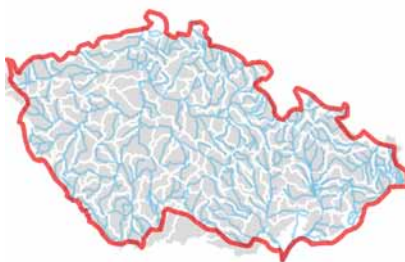
hydrologického modelu Bilan (kapitola 2) a scénářů změny klimatu (kapitola 3). Dále se věnujeme stručnému představení webového portálu obsahujícího informace a výsledky vytvořené během řešení projektu (kapitola 4). Na mnoha místech článku jsou uváděny pouze nejdůležitější poznatky, problematika je dokumentována podrobně na webu projektu (rscn.vuv.cz).

2 Sada povodí

Na účelem posouzení změn hydrologické bilance bylo vybráno 130 povodí a mezipovodí víceméně pokrývajících Českou republiku (obr. 1). V závislosti na dostupnosti pozorovaných řad byly hranice jednotlivých povodí a mezipovodí optimalizovány tak, aby zájmové jednotky měly řádově stejnou velikost a aby existovala pozorovaná data odtoků pro kalibraci hydrologického modelu Bilan. Zejména při výpočtu odtoku z mezipovodí, kde se odtok odvozuje z rozdílů odtoků jednotlivých dílčích povodí, byla dostupnost dat značně limitujícím faktorem.

Na účelem kalibrace modelu Bilan byly shromážděny dostupné měsíční časové řady pozorovaných srážek a teploty pro plochy 130 zvolených povodí. Dále byly odvozeny odtokové řady pro uzávěrové profily jednotlivých povodí. Pro 68 povodí jsou k dispozici časové řady průtoků pro celé období, 98 povodí má řadu aspoň 40 let, 109 povodí aspoň 30 let, 118 povodí aspoň 20 let a 124 povodí aspoň 10 let. Pro tři povodí (DBCN 153200, 169000, 205000) nebyla k dispozici žádná použitelná data. Jelikož se nejedná ve všech případech o uzavřená povodí, ale spíše úseky vodních toků, je výpočet odtoku často problematický – v důsledku nepřesností a chyb měření vycházejí při odčítání průtoků pro jednotlivá dílčí povodí v některých měsících záporné průtoky. Pro 88 povodí se v řadách záporné průtoky nevyskytovaly, pro 115 povodí byl podíl záporných průtoků do 10 %.

Příčinou výskytu záporných hodnot v jednotlivých případech a systematických chyb při odvození odtoku z mezipovodí obecně je částečně doba postupu mezi jednotlivými profily a případné užívání vod. Velkou měrou se však na velikosti systematické chyby může podílet nepřesnost měření průtoků v odečítaných profilech. Podrobný rozbor těchto chyb za zjednodušených předpokladů předkládá Kašpárek (1989). Podstatné je, že pokud se velikost odečítaných povodí při výpočtu odtoku z mezipovodí příliš neliší, tj. plocha mezipovodí je ve srovnání s horním povodím malá, může vliv systematické chyby měření při výpočtu odtoku z mezipovodí dosahovat mnoha desítek procent.



Obr. 1. Vybraná sada povodí (vlevo) a jejich rozloha (vpravo)

Fig. 1. Selected catchments (left) and their area (right)

Kalibrace probíhala pomocí prostředků modelu Bilan, tj. jednou ze dvou optimalizačních metod – gradientní metoda a diferenciální evoluce (Máca aj., 2013). Obě metody umožňují volbu optimalizačního kritéria z kritérií standardně využívaných pro kalibraci hydrologických modelů (Nash-Sutcliffe – NSE, log NSE, střední kvadratická chyba – RMSE, střední absolutní chyba – MAE, střední relativní chyba – MAPE). Kvůli výskytu záporných hodnot byl optimalizační algoritmus modelu Bilan upraven tak, že umožňuje jednotlivým pozorováním přiřadit váhy, které se použijí pro výpočet optimalizačního kritéria při kalibraci. Přiřazením nulových nebo záporných vah je tak možné zcela eliminovat vliv záporných hodnot na hodnotu optimalizačního kritéria, respektive výsledných parametrů. Pro řadu povodí byla využita i možnost kalibrace se zohledněním odhadu základního odtoku. Odhad základního odtoku metodou klouzavých minim poskytl ČHMÚ.

Pro každé povodí byly testovány různé optimalizační metody, kritériální funkce, kalibrační období atp. Pro povodí bez kvalitních dat byly použity sady parametrů přenesené z blízkých povodí. V řadě případů probíhala (vzhledem k povaze dat) kalibrace spíše expertním odhadem než na základě striktní minimalizace/maximalizace optimalizačního kritéria. Výsledky kalibrace vyjádřené hodnotami kritériálních funkcí nejsou na první pohled zcela uspokojivé. Nicméně povodí, která jsou zatížena menší chybou odhadu odtoku, vykazují zároveň přijatelné hodnoty kritériálních funkcí. Naopak pro povodí s nespolehlivými daty indikují kritéria rozpory mezi odhadnutými a simulovanými hodnotami. Neuspokojivé hodnoty kritériálních funkcí lze tak přinejmenším částečně připsat chybám měření.

Vzhledem k obtížné kalibraci jsme se zaměřili na validaci simulovaných odtoků pomocí empirických vztahů a na analýzu výsledných parametrů. V prvním kroku byly revidovány výsledné sady parametrů pro povodí, kde některý z parametrů nabýval neobvyklých hodnot (zpravidla hodnot blízkých jedné z mezí intervalů pro kalibraci jednotlivých parametrů).

Následně bylo pro jednotlivá povodí vyhodnoceno, zda je simulovaný celkový a základní odtok konzistentní s empirickými odhady, které udává např. Kašpárek aj. (2012), Krásný aj. (1982), Beran aj. (2014) a Kašpárek aj. (2000).

Porovnání modelovaného celkového a základního odtoku s empirickými odhady ukazuje obr. 2. Celkový modelovaný odtok dobře koresponduje s empirickými odhady. Základní odtok je v modelu Bilan oproti empirickým odhadům mírně odlišný (v průměru cca -15 % až +12 %).

Nakalibrované parametry byly posléze použity pro několik typů simulací:

1. simulace pro pozorované podmínky na základě homogenní gridované datové sady srážek a teploty pro období 1961–2010,

2. simulace pro scénáře změny klimatu podle korigovaných simulací regionálních klimatických modelů z projektu ENSEMBLES,
3. simulace pro referenční scénáře změny klimatu,
4. simulace pro scénáře změny klimatu podle korigovaných simulací regionálních klimatických modelů z projektu CMIP5.

3 Scénáře změny klimatu

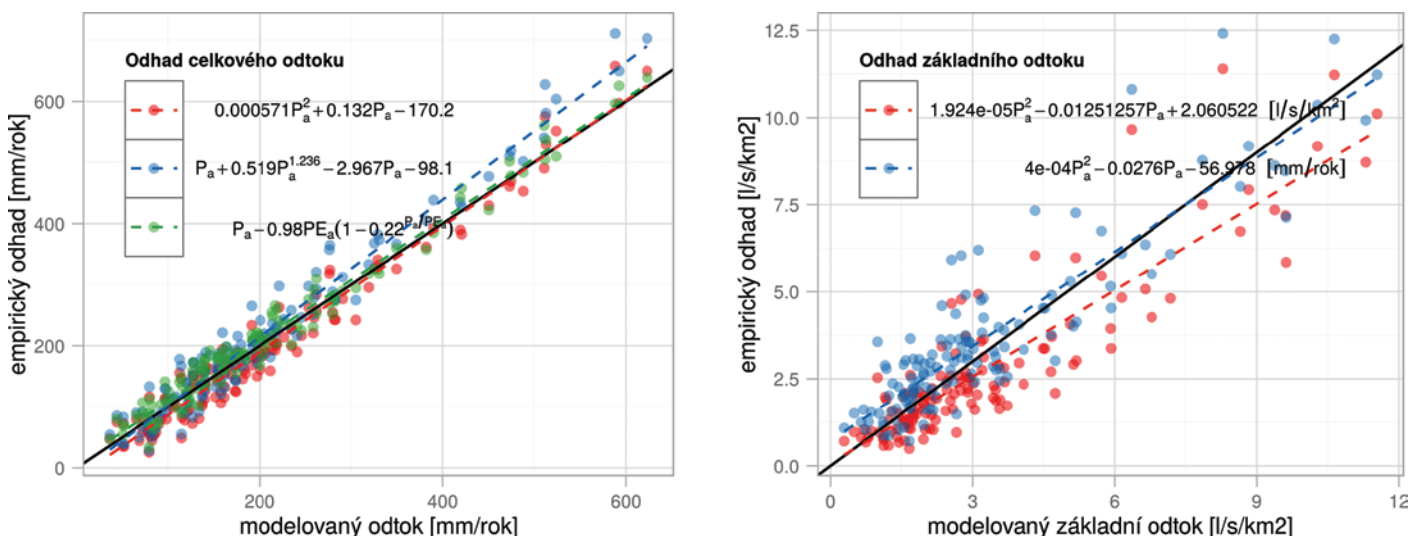
3.1 Korekce simulací regionálních klimatických modelů z projektu ENSEMBLES

Pro konstrukci scénářů změny klimatu bylo využito 15 simulací z projektu ENSEMBLES (přehled viz např. Hanel aj., 2011), které měl řešitelský tým k dispozici v návaznosti na řešení předchozích projektů. Všechny simulace byly řízeny emisním scénářem SRES A1B. Jelikož jedna ze simulací byla dostupná již zkorigovaná (simulace modelu ALADIN-CLIMATE/CZ), zvolili jsme pro korekci ostatních simulací stejnou metodu korekce – tj. metodu mapování kvantilů. Tato metoda spočívá v odvození transferové funkce, jež zaručuje, že hodnoty transformované řady odpovídají stejným kvantilům jako příslušné hodnoty řady původní. Období, vůči kterému byly simulace zkorigovány, bylo zvoleno stejné jako v případě ALADIN-CLIMATE/CZ, tj. 1961–1990.

Pro postižení nejistoty spojené s modelováním klimatu byly z korigovaných ENSEMBLES simulací zvoleny tři referenční scénáře – rScen1 – ALA_ARP (ČHMÚ) reprezentující závažné dopady, rScen2 – CLM_Q0 (ETHZ) zhruba reprezentující střed souboru modelů a rScen3 – REMO_EH5 (MPI) projektující spíše jen mírně negativní nebo i pozitivní změny (z hlediska hydrologie). Popsané chování odpovídá chování průměrnému, v jednotlivých případech (povodích, ročních obdobích, časových horizontech) mohou být dopady různé. Více o výběru scénářů uvádí kromě webu projektu také Daňhelka aj. (2013).

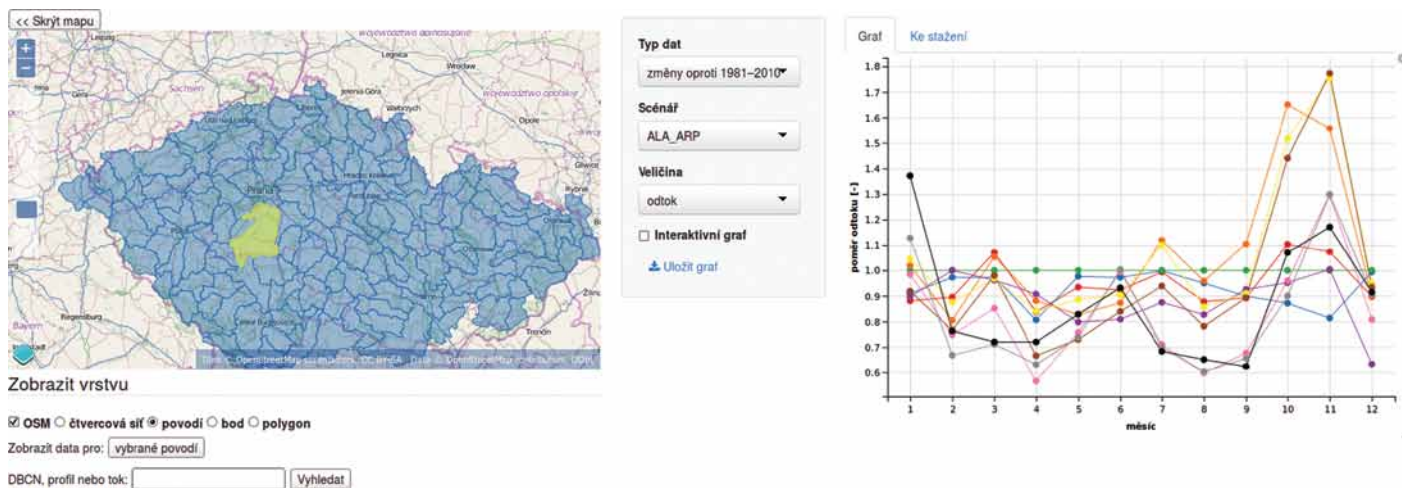
3.2 Scénáře navazující na projekt CMIP5

V současnosti nejaktuálnější řada simulací globálních klimatických modelů vznikla v rámci Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). Tyto simulace byly např. využity při tvorbě Páté hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro klimatickou změnu (IPCC). V rámci projektu CMIP5 je dostupná velká řada simulací. Celkem bylo uvažováno 191 simulací globálních klimatických modelů pro čtyři scénáře koncentrací RCP (Representative Concentration Pathways). Data z globálních klimatických modelů byla transformována pomocí pokročilé delta metody. Principem této metody je transformace pozorovaných denních časových řad pro jednotlivá povodí tak, aby změna dlouhodobých průměrů a variability byla stejná jako v korigované simulaci globálního klimatického modelu. Časová struktura scénářových řad je tak stejná jako v případě pozorovaných dat. K transformaci byl využit balík R skriptů „ADC processing package“ vytvořený v Královském nizozemském meteorologickém institutu.



Obr. 2. Porovnání modelovaného celkového (vlevo) a základního (vpravo) odtoku s empirickými vztahy; čárkovaná čára ukazuje proložení lineárním modelem; P_a je roční srážka [mm], PE_a je odhad roční evapotranspirace [mm]

Fig. 2. Comparison of total runoff (left) and baseflow (right) with the values given by empirical relations; dashed line represents the linear model fit, P_a is mean annual precipitation [mm] and PE_a is estimated evapotranspiration [mm]



Obr. 3. Ukázka vývojové verze aplikace pro vizualizaci a stažení dat (změny odtoku v mezipovodí Vltavy po Zbraslav podle referenčního scénáře rScen1)

Fig. 3. Development version of the application for data visualization and download showing changes in runoff for the Vltava catchment to Zbraslav for the rScen1 scenario

3.3 Odvození změn hydrologických veličin

Scénářové řady byly použity pro simulaci hydrologické bilance pomocí modelu Bilan. Jelikož primárním zájmem bylo odvození změn prvků hydrologické bilance, nikoliv jejich absolutní hodnoty pro jednotlivé roky, pracovali jsme dál s měsíčními, sezonními a ročními změnami vybraných prvků. Jako období, ke kterému jsou změny vztaženy, bylo vybráno období 1981–2010, jednak proto, že lépe vystihuje současné hydroklimatické podmínky, a jednak vzhledem k tomu, že podobné období je použito i v Páté hodnotící zprávě IPCC (Stocker et al., 2013). Pro ENSEMBLES simulace byly následně spočítány změny průměrů mezi obdobími 1961–1990, 1971–2000, ... 2071–2100 a obdobím 1981–2010. Období jsou dále označována i svými středy, tedy 1975, 1985, ... 2085 a kontrolní období 1995. Jelikož pro CMIP5 scénáře byly k dispozici jen změny z období 2035 a 2085 vzhledem k období 1975, bylo pro odvození změn pro chybějící třicetiletá období předpokládáno, že průběh 30letých průměrů mezi průměry dostupnými je ovlivňován spíše radiačním působením než přirozenou variabilitou, tedy že změny jsou monotonní. Pro každý GCM model, scénář koncentrací RCP a měsíc byly hodnoty průměrů (odtoku, srážek, teploty) interpolovány kubickou spline funkcí. Následně byly spočítány změny podobně jako v případě ENSEMBLES dat.

4 Dostupná data

Webová stránka projektu je rozdělena na dvě části: (1) část metodickou a (2) část zaměřenou na výsledky modelování dopadů změny klimatu v ČR. Metodická část obsahuje přepis metodiky Vyhodnocení možných dopadů změny klimatu ve vodním hospodářství a při plánování v oblasti vod. Na tomto místě se budeme věnovat části zaměřené na výsledky. Zároveň upozorníme, že tato část se stále aktivně vyvíjí – je optimalizována struktura a výkon a doplňují se další datové produkty. Dostupná data a jejich vizualizace lze rozdělit na několik částí: (1) stažení dat, (2) vizualizace změn prostorového rozložení změn v sadě povodí, (3) vizualizace očekávaných rozsahů změn meteorologických veličin a (4) vizualizace nejistot spojených s modelováním dopadů. Prvním dvěma položkám se věnujeme dále, ostatní jsou v čase přípravy tohoto článku zpracovávány, čtenáře proto odkazujeme na web rscn.vuv.cz.

4.1 Stažení dat

Webová aplikace pro stažení dat sestává ze dvou hlavních částí: mapové aplikace sloužící k výběru zájmového území a části pro vizualizaci a stažení dat.

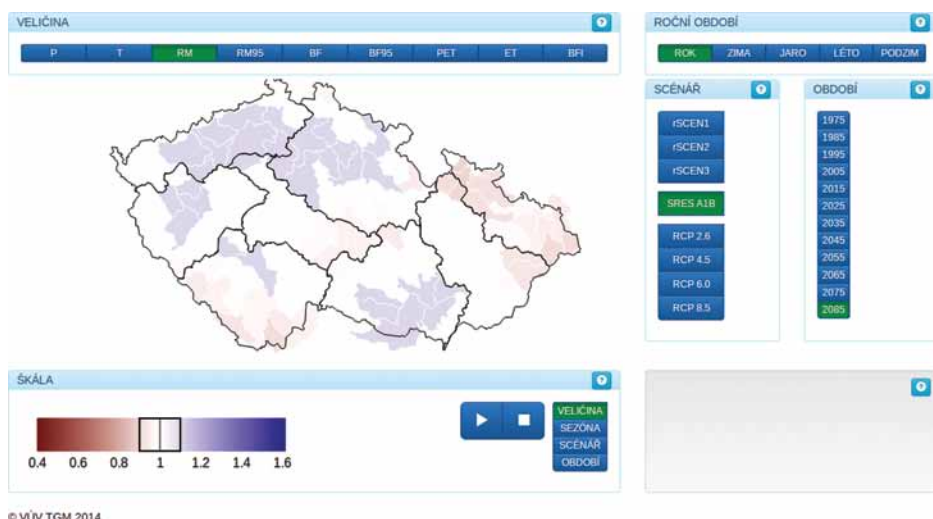
V mapové aplikaci se na podkladové vrstvě zobrazuje zvolená vrstva, v rámci níž uživatel vybírá zájmové území. K dispozici je vrstva 130 povodí (lze je vyhledávat podle názvu povodí, uzavírajícího profilu nebo databázového čísla) a vrstva čtverců odpovídajících výpočetním bodům klimatických modelů. Je možné také definovat vlastní bod nebo polygon, v tom případě budou vybrány všechny čtverce, do kterých definovaný objekt zasahuje.

V druhé části aplikace se zobrazí graf výsledků pro zvolené území. V rozbalovacích seznamech uživatel volí typ zobrazovaných dat (měsíční charakteristiky, změny oproti referenčnímu období, měsíční časové řady, čáry překročení nebo jejich změny oproti referenčnímu období), scénář změny klimatu (včetně referenčních) a meteorologickou či hydrologickou veličinu (hydrologické jsou k dispozici pouze pro povodí). Zobrazená data lze stáhnout ve formě prostého textového souboru.

Ukázka aplikace pro stažení dat je zachycena na obr. 3.

4.2 Vizualizace prostorového rozložení změn v sadě povodí

Interaktivní soubor map znázorňuje odhady možných změn sezonních a ročních průměrů hydrometeorologických veličin způsobených klimatickou změnou pro 130 povodí pokrývajících Českou republiku na základě CMIP5 a ENSEMBLES simulací (obr. 4). Mapy zobrazují změny srážek (P), teploty (T), potenciální evapotranspirace (PET), územního výparu (E), celkového odtoku (RM), základního odtoku (BF), 95% kvantilu z čáry překročení měsíčního celkového (RM95) a základního odtoku (BF95) a baseflow indexu (tj. poměr základního a celkového odtoku, BFI). Interaktivní mapová aplikace umožňuje



Obr. 4. Ukázka mapové aplikace
Fig. 4. Map presentation of results

prohlížení prostorového rozložení změn veličin pro různé časové horizonty, roční období a emisní scénáře.

5 Závěr

V rámci projektu Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu vznikla řada produktů, které mohou být zajímavé pro širokou odbornou veřejnost. Informace a data prezentovaná na webovém portálu jsou přímo využitelná pro konstrukci scénářů změny klimatu a modelování a vyhodnocení dopadů. Cílem článku bylo upozornit na existující zdroj informací a dat.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl na základě výsledků projektu TA02020320 Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu, který je spolufinancován Technologickou agenturou České republiky.

Literatura

- Beran, A., Peláková, M., Kašpárek, L., Hanel, M. a Kožíň, R. (2014) Výpočet velikosti dotace podzemních vod za pomoci hydrologického modelování na vybraných hydrogeologických rajonech ČR. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 56, č. 4, příloha *Vodního hospodářství* č. 10/2014.
- Daňhelka, J., Hanel, M., Kulasová, B., Pretel, J. a Tolasz, R. (2013) Současné možnosti odhadů potenciálních dopadů klimatické změny na vodní hospodářství? *Vodní hospodářství*, 63, č. 3.
- Hanel, M., Kašpárek, L., Mrkvičková, M., Horáček, S., Vizina, A., Novický, O. a Fridrichová, R. (2011) Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Praha: VÚV TGM.
- Kašpárek, L. (1989) Odhad směrodatné chyby průtoků a jejich charakteristik. Technická zpráva. Praha: ČHMÚ.
- Kašpárek, L., Datel, J.V., Hanel, M., Hrabánková, A. a Kněžek, M. (2012) Rebilance zásob podzemních vod: metodika stanovení průměrné hodnoty přírodních zdrojů podzemních vod kvartérních hydrogeologických rajonů. Praha: VÚV TGM.
- Kašpárek, L., Naarová, R. a Špale, M. (2000). Hodnocení a modelování srážko-odtokových vlastností povodí. Praha: VÚV TGM.
- Krásný, J., Kněžek, M., Šubová, A., Daňková, H., Matuška, M. a Hanzel, V. (1982). Odtok podzemní vody na území Československa. Praha: ČMÚ v SNTL.
- Máca, P., Horáček, S. a Vizina, A. (2013) Optimalizace parametrů modelu Bilan metodou SCDE. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 63, č. 4, s. 1–4, příloha *Vodního hospodářství* č. 8/2013.
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Yu Xia, Bex, V., and Midgley, P.M. (2013) *Climate Change 2013: The Physical*

Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). New York: Cambridge Univ. Press,

Ing. Martin Hanel, Ph.D.^{1,2}, Ing. Stanislav Horáček, Ph.D.¹,
RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D.³, Ing. Martin Tomek⁴,
Ing. Kateřina Hánová⁴, Ing. Adam Vizina, Ph.D.¹,
Mgr. Ondřej Ledvinka³, Mgr. Pavel Tremel¹, Ing. Eva Melišová²

¹ VÚV TGM, v.v.i.,

² FŽP, Česká zemědělská univerzita v Praze,

³ ČHMÚ,

⁴ Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

Assessment of hydrological climate change impacts for the Czech Republic – an update (Hanel, M.; Horáček, S.; Daňhelka, J.; Tomek, M.; Hánová, K.; Vizina, A.; Ledvinka, O.; Tremel, P.; Melišová, E.)

Key words

climate change – hydrological balance – data – Bilan model

The present paper informs on the most important results conducted within the framework of the research project “Development of information and data support for design of adaptation measures and long-term planning of water resources considering the climate change effects” co-financed by Technology Agency of the Czech Republic. Hydrological model Bilan was calibrated for 130 catchments covering the area of the Czech Republic using measured data and empirical relationships between mean precipitation and runoff and baseflow. Reliability of data was assessed also. Two sets of climate change scenarios were developed – one based on the climate model simulations from the ENSEMBLES project and one based on the CMIP5 project simulations, using bias correction and advanced delta change method respectively. The scenarios were used to simulate runoff and other variables related to hydrological balance. The results together with the description of the methods used for the water resources related assessment of climate change impacts are available through rscn.vuv.cz.

VÝPOČET VELIKOSTI DOTACE PODZEMNÍCH VOD ZA POMOCI HYDROLOGICKÉHO MODELOVÁNÍ NA VYBRANÝCH HYDROGEOLOGICKÝCH RAJONECH ČR

Adam Beran, Martin Hanel, Martina Peláková

Klíčová slova

rebilance – základní odtok – model BILAN – klimatická změna

V rámci projektu Rebilance podzemních vod, na jehož řešení se v posledních letech podílelo oddělení hydrologie VÚV TGM, v.v.i., proběhlo vyčíslení dotace podzemních vod, jež je stěžejním úkolem při výpočtu celkových zásob podzemních vod. Byly sestaveny hydrologické modely pro vyčíslení základního odtoku a dotace podzemních vod na území 53 hydrogeologických rajonů v rámci České republiky. Modely byly sestaveny za použití bilančního modelu BILAN, modelovaný byl i předpokládaný průběh hydrologických bilančních prvků ovlivněných změnou klimatu, zejména dotace podzemních vod. Článek seznamuje s metodikou prací a s nejdůležitějšími výsledky.

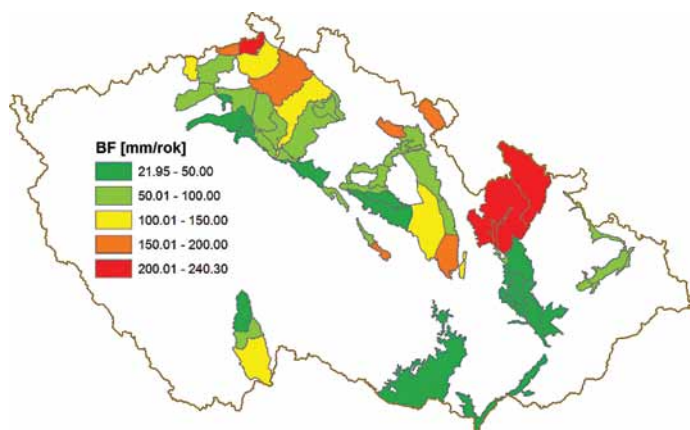
Úvod

Článek seznamuje s dílčími výsledky projektu Rebilance podzemních vod, Aktivita 6, Hydrologické modely, na jehož řešení se oddělení hydrologie VÚV TGM, v.v.i., v posledních letech podílelo. Projekt je koordinován Českou geologickou službou, jeho cílem je přehodnotit přírodní zdroje podzemních vod s použitím moderních technologií ve vybraných kritických hydrogeologických rajonech (dále jen HGR) a současně připravit metodickou a organizační platformu pro systémové a pravidelné přehodnocování přírodních zdrojů podzemních vod na celém území ČR v budoucích desítkách let. V rámci Aktiviny 6 zmíněného projektu byly sestaveny hydrologické modely pro vyčíslení dotace podzemních vod a základního odtoku na území 53 HGR (obr. 1).

Stanovení dotace podzemních vod (perkolace srážkové vody do podzemních vod) je důležitým prvkem vodní bilance HGR. Dotace zásadním způsobem ovlivňuje přírodní zdroje podzemních vod, tj. veličinu, ze které se vyčleňuje využitelné množství podzemních vod. Dotace podzemních vod je v průběhu roku proměnlivá, obvykle s podzimními minimy a jarními maximy.

Dotace se stanovuje jako proměnná hodnota časových řad v měsíčním kroku, což umožňuje vystihnout nepříznivé situace, ke kterým během roku dochází, např. delší období sucha, které může způsobit významné poklesy hladin podzemních vod, poklesy průtoků a v intenzivně využívaných HGR omezení jímání podzemních vod.

Stanovení přírodních zásob podzemních vod se standardně provádí zejména na základě srážko-odtokových poměrů a též vyčleněním zá-



Obr. 1. Rozložení HGR na území ČR s barevným vyznačením velikosti dotace podzemních vod

Fig. 1. Location of the considered hydrogeological zones of the Czech Republic; the estimated average base flow is indicated by colour

kladního odtoku na podkladě analýzy hydrogramů příslušného toku s přihlédnutím ke kolísání hladin podzemních vod. Dotaci lze také stanovit pomocí hydrologických modelů, které simulují celou hydrologickou bilanci zahrnující srážky, výpar, podzemní a povrchový odtok a změnu zásob podzemní vody (kolísání hladin podzemních vod).

Data a metody

Hydrologické modely byly sestaveny pro 53 HGR o rozloze 50 až 1 500 km², jejich přibližné umístění je vidět na obr. 1.

Příprava a zpracování meteorologických a hydrologických dat pro hydrologické modely

Základní veličinou, která ovlivňuje velikost celkového odtoku, základního odtoku a dotace podzemních vod, jsou atmosférické srážky. Teplota vzduchu je používána zejména jako hlavní činitel regulující velikost potenciální evapotranspirace a jako vstupní hodnota do sněhové komponenty hydrologického modelu. Plošné hodnoty pro jednotlivá povodí a HGR byly odvozeny z bodových měření na základě metod zohledňujících proměnlivost vztahu srážek s nadmořskou výškou v ploše i v čase (Šercl, 2008). Pro výpočet srážek byla použita data ze srážkoměrných a klimatických stanic poskytnutá Českým hydrometeorologickým ústavem (dále jen ČHMÚ), standardně dostupná pro období po roce 1960. Pro výpočet teplot vzduchu byla použita data ze sítě klimatických stanic ČHMÚ.

Hydrologická data v podobě průměrných denních a měsíčních průtoků byla pro stanovení základního odtoku a pro kalibraci bilančního modelu vybrána z dostupných vyhodnocených pozorování ve vodoměrných stanicích ČHMÚ, databázi dalších organizací (zejména podniky Povodí) i z vlastních pozorování.

Výběr zpracovaného období a časového kroku výpočtů

Na základě konzultací s řešiteli bylo zadavatelem vybráno pro hydrologické modelování období 1981–2010 s tím, že pro hydraulické modelování časových změn bude použito jen období 2001–2010. Pro posuzování trendů a dlouhodobých změn meteorologických a hydrologických veličin byly použity řady 1961–2010.

Základní zpracování hydrologickým modelem bylo provedeno v měsíčním kroku výpočtu.

Výběr povodí nebo mezipovodí, z kterých se odvozují informace o hydrologické bilanci pro bilanci hydrogeologického rajonu

Jelikož území hydrogeologického rajonu není obvykle totožné s povodím vodoměrné stanice, musela být při aplikaci hydrologického modelu pro dotaci podzemních vod řešena extrapolace hydrologických bilančních vztahů v prostoru.

Výběr vhodných povodí nebo mezipovodí reprezentujících odtok z HGR byl prováděn tak, aby území povodí odpovídala co nejlépe rozsahu HGR. V ideálním případě bylo nalezeno jedno nebo více povodí uvnitř plochy HGR. Pokud HGR není v pramenné oblasti pozorovaného toku, bylo zvoleno mezipovodí (nebo více mezipovodí) uvnitř plochy HGR. U některých HGR byla zvolena kombinace povodí a mezipovodí, jak předurčily přírodní podmínky. U malých HGR a u oblastí s malou hustotou stanic nebylo možné najít žádné

povodí nebo mezipovodí uvnitř rajonu, proto bylo zvoleno takové, které se co nejvíce překrývá s plochou rajonu. Několik HGR se nachází v oblasti, kde je režim odtoku natolik ovlivněn užíváním vod a manipulacemi nádrží, že dostupná vodoměrná pozorování nelze použít. Také odtoky vypočítané pro malá mezipovodí na dolních tocích nejsou věrohodné. V takových případech bylo zvoleno povodí poblíž HGR s obdobným režimem.

Odvození základního odtoku

Pro výpočet hydrologické bilance vyrovnávající naměřené hodnoty byl použit model chronologické hydrologické bilance BILAN. Model byl odzkoušen na desítkách povodí v ČR a v rámci mezinárodního projektu FRIEND (MHP UNECSO) nebo WATCH (Harding a Warnaars, 2011) i na dalších povodích z různých zemí Evropy. Popis programu, příklad aplikace i vlastní program byly zveřejněny v monografii Tallaksen a van Lanen (2004). Od roku 1992 je model používán v ČHMÚ pro výpočet hydrologické bilance zveřejňované v hydrologických ročenkách, od roku 2001 pro výpočty hydrologické bilance jako součásti vodní bilance (podle zákona č. 254/2001 Sb.).

Základní použitá verze modelu pracuje v měsíčním kroku, existuje však i verze s denním krokem výpočtu. Vstupními hodnotami jsou časové řady výšek srážek, řady průměrných teplot vzduchu, zjištěné velikosti přítoků povrchových i podzemních vod. Při odhadu parametrů modelu se zadávají řady průměrných odtokových výšek v závěrovém profilu povodí.

Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody (Horáček aj., 2009). Odtok je modelován jako součet tří složek – dvou složek přímého odtoku (zahrnující i hypodermický odtok) a základního odtoku. Ten lze považovat za odhad části podzemního odtoku z povodí protékajícího závěrovým profilem.

Zvolený postup výpočtu pro hydrogeologický rajon spočívá v tom, že pro povodí vybrané vodoměrné stanice nebo i několika stanic, popř. mezipovodí mezi vodoměrnými stanicemi, je s využitím meteorologických vstupních veličin, pozorovaného odtoku v závěrovém profilu a pozorování podzemních vod, pokud existují, provedena kalibrace hydrologického modelu.

V modelu BILAN je použita dvoustupňová optimalizace. V prvním kroku se optimalizuje všech osm parametrů modelu při použití buď střední kvadratické chyby odhadu, nebo průměru absolutních chyb odhadu (Horáček aj., 2009). Hodnoty parametrů získané v prvním stupni optimalizace se u těch, které podstatně ovlivňují průměrný odtok (maximální možná zásoba vody v zóně aerace, koeficienty vztahu pro výpočet množství vody, která může vlivem teploty roztát při tání a která při zimním režimu může být v kapalném skupenství, koeficient ve vztahu pro výpočet přímého odtoku z deště) již nemění, naopak dochází k optimalizaci parametrů, které významně ovlivňují rozdělení odtoku v čase (parametr pro rozčlenění průsaku mezi přímý odtok a doplnění zásoby podzemní vody: při tání, zimní režim, letní režim; parametr určující poměr mezi základním odtokem a zásobou podzemní vody). Pro jejich optimalizaci se jako kritérium používá průměrná relativní odchylka pozorovaného a modelovaného odtoku.

Další výzkum ukázal, že optimalizaci lze zdokonalit, pokud jsou k dispozici potřebná vstupní data, využitím složitějšího kritéria optimalizace. Například při modelování se zaměřením na odtok podzemní vody, pokud je k dispozici řada základního odtoku vypočtená nezávisle na hydrologickém bilančním modelu, lze optimalizační kritérium sestavit jako vážený součet střední chyby modelovaného celkového odtoku a střední odchylky základního odtoku (vypočtené porovnáním hodnot modelovaného základního odtoku s hodnotami vypočtenými nezávisle na hydrologickém bilančním modelu).

Optimalizační algoritmus modelu BILAN byl v nejnovějších verzích rozšířen o globální optimalizační algoritmus SCDE. SCDE je stochastický optimalizační algoritmus, který je založen na dvou principech: diferenciální evoluci a algoritmu promíchávání populací. Tento algoritmus umožňuje stochastické prohledávání celého prostoru parametrů, zároveň umožňuje efektivněji omezovat hodnoty jednotlivých parametrů. Podrobnosti viz Máca aj. (2013).

Simulace hydrologické bilance pro HGR vychází ze vstupních meteorologických veličin pro plochu rajonu. Základním přístupem k odvození časových řad bilančních veličin na plochu HGR je přenos

parametrů z povodí vybrané vodoměrné stanice, tj. použijí se vstupní meteorologické veličiny pro hydrogeologický rajon a parametry modelu nakalibrovaného na povodí relevantní vodoměrné stanice. V případě, že je v rajonu takových stanic víc, jsou výsledné časové řady bilančních veličin vypočteny jako vážený průměr časových řad získaných podle sad parametrů z jednotlivých relevantních vodoměrných stanic, přičemž váhy odpovídají velikosti překryvu povodí dané stanice s rajonem.

V hydrogeologických rajonech, kde je dostatek kvalitních pozorování, byl použit i alternativní přístup, kdy nebyla hydrologická bilance modelována pro HGR jako celek, ale odděleně pro jednotlivá dílčí povodí rajonu, většinou na základě pozorování vodoměrných stanic. Kde nebyla pozorování k dispozici, byl pro modelování hydrologické bilance v dílčích (zpravidla malých) částech povodí využit přenos parametrů z přílehlých povodí vodoměrných stanic. Výsledné časové řady bilančních veličin byly pak získány součtem výsledků pro dílčí povodí.

Předností tohoto způsobu extrapolace je, že plně respektuje meteorologické vstupy hydrologické bilance, zejména časový průběh srážek.

Pro jednotlivé HGR tak byla vytvořena sada hydrologických modelů vycházejících z věrohodných parametrických sad pro dílčí povodí relevantní pro příslušný HGR. Pro posouzení vhodnosti jednotlivých sad byly výsledky odhadů hydrologické bilance pro HGR porovnány s empirickými odhady ročních odtokových výšek a baseflow indexem získaným z okolních povodí. Sady parametrů vedoucí k nevěrohodným výsledkům byly vyloučeny.

Simulace pro předpokládaný vývoj klimatu

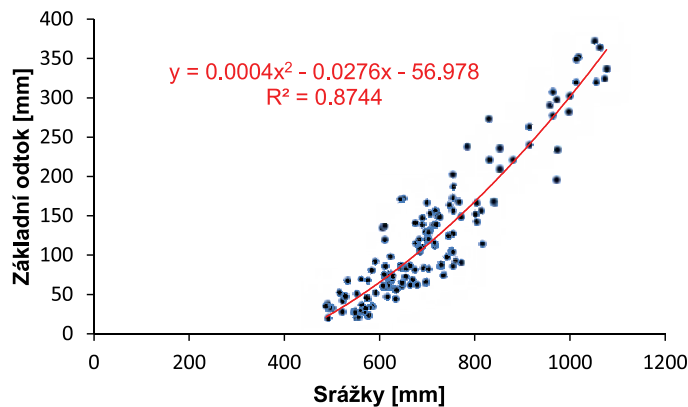
Pro simulace vývoje hydrologického režimu při předpokládaném vývoji klimatu byly využity metodické postupy a scénáře zpracované v úkolu Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a návrhy adaptačních opatření (Pretel a kol., 2009; 2010), na jehož řešení se oddělení hydrologie podílelo.

Posouzení vlivu změn klimatu na hydrologický režim bylo provedeno pomocí hydrologického modelu BILAN na základě scénářových řad vstupních veličin (srážky, teploty). Scénářové řady v měsíčním kroku byly vytvořeny standardním postupem pomocí úpravy pozorovaných řad o měsíční změny odvozené ze simulací klimatických modelů (tzv. přírůstková metoda) (Pretel aj., 2009; 2010). Pro každé povodí byly změny vstupních veličin z výpočetní sítě klimatických modelů interpolovány k těžišti povodí.

Pro konstrukci scénářů byly využity výstupy souboru regionálních klimatických modelů, jako střední odhad byl uvažován průměr souboru simulací, zároveň byla posouzena nejistota odhadů změn hydrologického cyklu vyplývající z volby klimatického modelu.

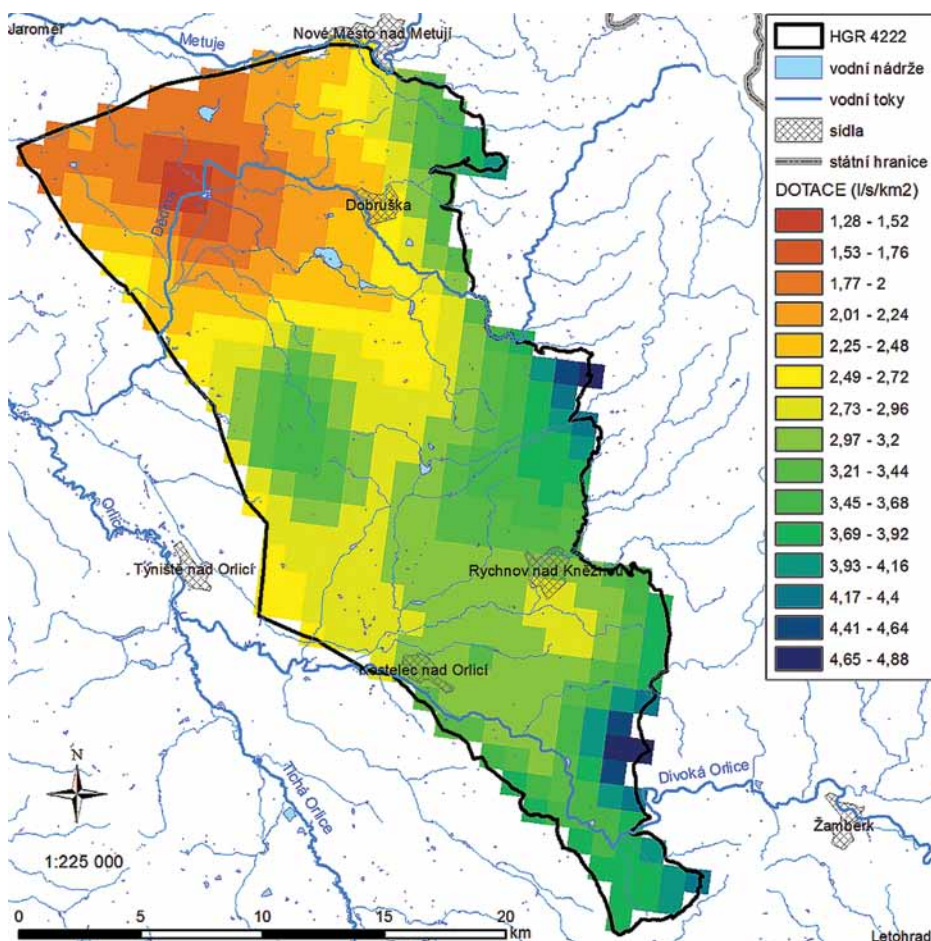
Posouzení možných dopadů klimatické změny bylo provedeno na základě simulací 15 regionálních klimatických modelů pro časové horizonty 2025 (2011–2040), 2055 (2041–2070) a 2085 (2071–2100). Vzhledem k dostupným datům byly uvažovány změny oproti období 1961–1990, které je standardně používáno ve studiích dopadů změn klimatu.

Pro zasazení scénářů založených na simulacích klimatických modelů do kontextu pozorovaných dat byly vyhodnoceny pozorované trendy srážek a teploty. Pro všechny HGR byly spočítány průměrné roční odchylky od průměru za období 1981–2010 pro teplotu vzduchu a 1981–2009 pro srážky. K vyřazení roku 2010 došlo z důvodu



Obr. 2. Závislost velikosti základního odtoku na průměrné srážce pro území všech HGR, povodí a mezipovodí

Fig. 2. Base flow – precipitation relationship for the hydrogeological zones and catchments



Obr. 3. Grafické znázornění prostorové variability velikosti dotace podzemních vod na území HGR 4222 (Podorlická křída v povodí Orlice) vypočtené na základě rozdílných průměrných srážkových úhrnů

Fig. 3. Spatial variability of the groundwater recharge in the hydrogeological zone no. 4222, based on the mean precipitation

relativně vysokého srážkového úhrnu v tomto roce, což ovlivňovalo výsledky následné extrapolace.

Výsledky

Na obr. 2 je příklad závislosti průměrného ročního základního odtoku na průměrné roční srážce pro všechny HGR (i všechny použité povodí a mezipovodí) s vyjádřením rovnice.

Pro vybrané HGR s větší rozlohou bylo vytvořeno grafické znázornění rozložení velikosti dotace podzemních vod na základě proměnlivosti průměrné srážky na ploše. Obrázek 3 ukazuje prostorové

znázornění velikosti dotace podzemních vod na území HGR 4222 Podorlická křída v povodí Orlice. Závislost dotace podzemních vod na průměrném srážkovém úhrnu byla odvozena z výsledků pro HGR a použitá povodí (mezipovodí).

Na obr. 4 je uvedeno souhrnné vyhodnocení pozorovaných trendů v hodnotách teploty vzduchu a srážkách společně s jejich extrapolací do roku 2020. Na základě extrapolace pozorovaného trendu je průměr srážek z období 2011–2020 o cca 5 % vyšší než průměr za období 1981–2010 a cca o 2% vyšší než v období 2001–2010. V případě teploty jde o rozdíl 0,75 °C a 0,35 °C.

Uvažované změny srážek a teploty pro časové horizonty 2011–2040, 2041–2070 a 2071–2100 udává obr. 5. Pro srážky předpokládají klimatické modely pokles v letních měsících (podle časového horizontu 5–25 %), po zbytek roku spíše růst. Teplota roste pro všechny tři časové horizonty po celý rok, v průměru cca o 1,5, 2,2 a 3,5 °C.

Výsledky modelování dopadů změny klimatu v podobě změn základního odtoku, dotace podzemních vod a celkového odtoku pro jednotlivé měsíce a pro časové horizonty 2011–2040, 2041–2070 a 2071–2100 jsou součástí jednotlivých dílčích zpráv.

Závěr

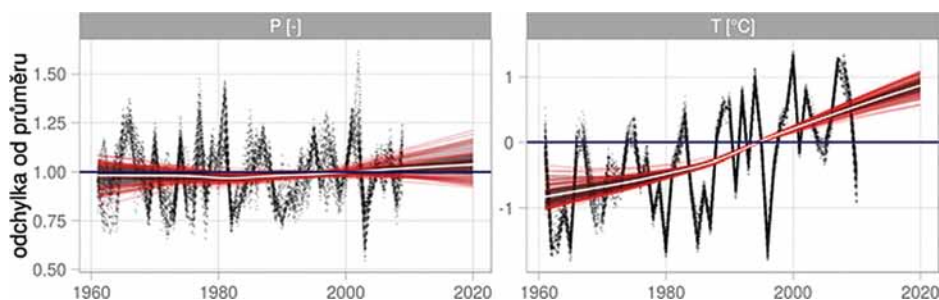
V rámci projektu byla pro každý z 53 hydrogeologických rajonů zpracována průvodní zpráva informující o základních vlastnostech HGR, datech použitých pro zpracování a podrobných výsledcích modelování. Řešení projektu ukázalo, že hydrologický koncepční model BILAN patří mezi platné nástroje k určování velikosti dotace podzemních vod a základního odtoku. Výsledky velikosti dotace podzemních vod a velikosti základního odtoku byly předány k dalšímu zpracování a poslouží jako vstupní data do hydrogeologických modelů pro modelování proudění podzemní vody na území HGR.

Literatura

- Harding, R.J. and Warnaars, T.A. (eds) (2011) Water and global change: The WATCH Project Outreach Report. NERC Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK.
- Horáček, S., Rakovec, O., Kašpárek, L. a Vizina, A. (2009) Vývoj modelu hydrologické bilance – BILAN. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 51, mimoř. č. I, s. 2–5, příloha *Vodního hospodářství* č. 11/2009.
- Máca, P., Vizina, A. a Horáček, S. (2013) Optimalizace parametrů modelu BILAN metodou SCDE. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 55, č. 4, s. 1–4, příloha *Vodního hospodářství* č. 8/2013.
- Pretel, J. (ed.) (2009) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy opatření (II). Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2008. Praha: ČHMÚ.
- Pretel, J. (ed.) (2010) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy opatření (IV). Závěrečná zpráva projektu VaV SP/1a6/108/07. Praha: ČHMÚ.
- Šercl, P. (2008) Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické zprávy*, 61/2.
- Tallaksen, L.M. and van Lanen, H.A.J. (eds) (2004) Hydrological drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Amsterdam: Elsevier, 579 p. Developments in water science, 48.

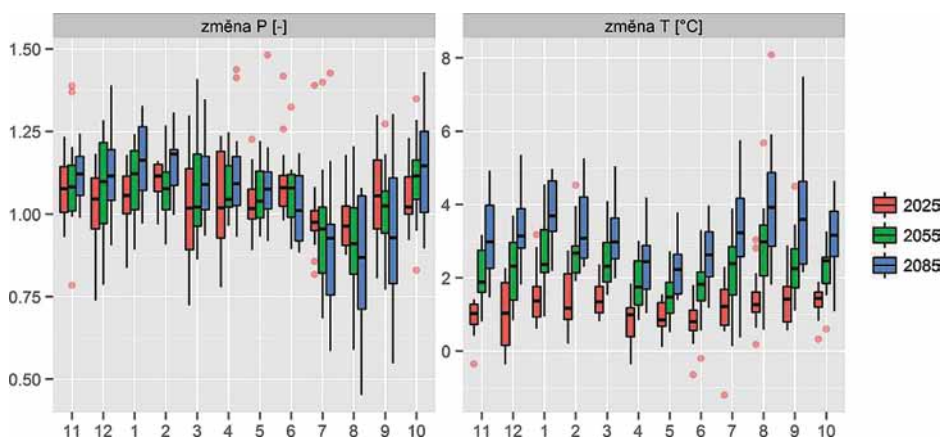
Poděkování

Článek vznikl na základě výzkumu prováděného v rámci projektu Rebalance zásob podzemních vod, který je spolufinancován Evropskou unií – Evropským fondem pro regionální rozvoj, Státním fondem životního prostředí ČR a Ministerstvem životního prostředí ČR v rámci Operačního programu Životní prostředí (Prioritní osa 6, oblast podpory 6.6).



Obr. 4. Souhrnné vyhodnocení pozorovaných trendů a jejich extrapolace; černé čáry znázorňují odchylky srážek a teploty od průměru pro jednotlivé HGR; tyto odchylky jsou proloženy neparametrickou regresí (barevné čáry)

Fig. 4. Observed precipitation and temperature anomaly and its extrapolation; black lines correspond to individual hydrogeological zones, red lines to nonparametric regression fitted at each zone; dark grey area – interquartile range; light grey area – 5% and 95% range of anomaly; white line – mean anomaly



Obr. 5. Uvažované změny v průměrných srážkách a teplotě pro budoucí časové horizonty 2011–2040, 2041–2070 a 2071–2100

Fig. 5. Changes in the mean precipitation and air temperature due to climate change for the periods 2011–2040, 2041–2070 a 2071–2100

Ing. Adam Beran^{1,2}, Ing. Martin Hanel, Ph.D.^{1,2},
Ing. Martina Peláková¹

¹VÚV TGM, v.v.i., Praha,

²Česká zemědělská univerzita v Praze,
Fakulta životního prostředí

adam_beran@vuv.cz, martin_hanel@vuv.cz,
martina_pelakova@vuv.cz

Příspěvek prošel lektorským řízením.

Estimation of groundwater recharge in the selected hydrogeological zones of the Czech Republic using hydrological model (Beran, A.; Hanel, M.; Peláková, M.)

Key words

review of groundwater resources – base flow – BILAN model – climate change

The results presented in this article originate from the research conducted by the Hydrology department of the T. G. Masaryk Water Research Institute, p.r.i. within a project “Review of the groundwater resources”. The aim of the project is to estimate groundwater resources in selected hydrogeological zones of the Czech Republic. The article presents the applied methodology of the hydrological modelling (using model BILAN) and description of the most important results achieved in the hydrological part of the project.

ANALÝZA CITLIVOSTI ZMĚN OBJEMU PŘÍMÉHO ODTOKU A INFILTRACE DO PŮDY PŘI PŘEDPOKLÁDANÝCH ZMĚNÁCH UŽÍVÁNÍ POZEMKŮ

Ladislav Kašpárek, Martina Peláková

Klíčová slova

metoda CN – přímý odtok – přívalový dešť – využití půdy – infiltrace

Souhrn

Príspevek uvádí výsledky výpočtů, které ukazují, jaké změny přímého odtoku a infiltrace do půdy pro hydrologické podmínky v ČR ukazuje metoda CN (metoda čísel odtokových křivek) při předpokladu změn užívání pozemků, cílených zejména na zmenšení povodňového odtoku. Ukazuje se, že například zmenšení přímého odtoku vlivem změny orné půdy na les začíná být od srážek velikosti 50 mm zřetelné, avšak zvětšení infiltrace do půdy v měřítku roční bilance podzemních vod je velmi malé.

Princip metody CN

Metoda čísel odtokových křivek (CN – Curve Number) byla před cca 30 lety navržena v USA pro potřeby Služby na ochranu půdy (SCS – Soil Conservation Service). Janeček aj. (2005) uvádí, že je použitelná pro stanovení objemu přímého odtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm o zvolené pravděpodobnosti výskytu v zemědělsky využívaných povodích či jejich částech s velikostí do 10 km². Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a odtok hypodermický.

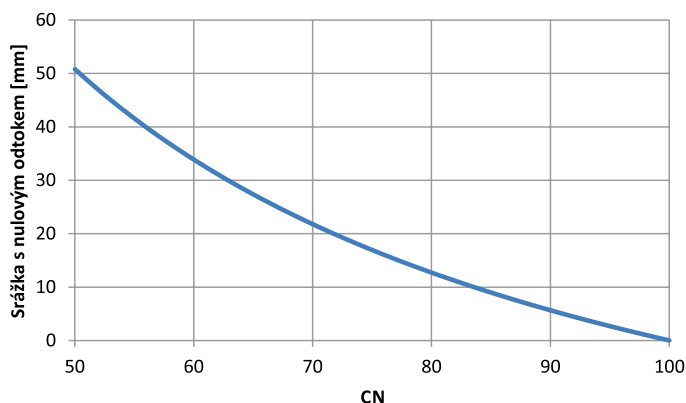
Základním vstupem metody odtokových křivek je srážkový úhrn návrhového deště (P) za předpokladu jeho rovnoměrného rozdělení na ploše povodí. U srážko-odtokové události se pro daný čas předpokládá, že poměr mezi aktuální retencí a maximální potenciální retencí na povodí (S) je stejný jako poměr mezi objemem odtoku (R) a objemem srážky redukováným o počáteční ztrátu, která se předpokládá ve velikosti 20 % potenciální retence (Janeček a Kovář, 2010).

Pomocí bilanční rovnice byla z uvedených předpokladů odvozena rovnice

$$R = (P - 0,2 \cdot S)^2 / (P + 0,8 \cdot S)$$

Místo potenciální retence používá popisovaná metoda čísla odtokových křivek CN, která transformují retenci tak, aby CN byla v rozmezí od 0 do 100 pomocí transformace, která pro veličiny v mm je

$$CN = 25\,400 / (S + 254)$$



Obr. 1. Výška srážky, po jejímž překročení nastává podle metody CN přímý odtok

Fig. 1. Line representing precipitation threshold; if the precipitation is exceeded, the direct runoff occurs (according to the CN Method)

Čísla odtokových křivek jsou dle Janečka et al. (2005) určena podle:

- hydrologických vlastností půd rozdělených do čtyř skupin – A, B, C, D na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení,
- vlhkosti půdy na počátku události,
- využití půdy, tj. typu vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření.

Při aplikacích metody v ČR se obvykle používají CN z tabulek podle Janečka et al. (2005), které udávají hodnoty pro střední stav vlhkosti půdy. Část těchto údajů je uvedena v *tabulce 1*. Čísla CN jsou pro uživatele názorná, při CN = 0 je přímý odtok nulový, při CN = 100 je roven srážce, avšak poněkud zastírají princip a omezení aplikací metody. Například v oblasti malých CN dosahují hodnoty potenciální retence nereálně velkých hodnot.

Omezení aplikace metody CN

Pro přepočítání na stav nasyceného a vysušeného povodí existují přepočítací koeficienty, resp. rovnice z článku Janečka a Kováře (2010). V případě CN z intervalu 50 až 70 (pro střední stav) je po přepočtu pro suchý stav potenciální retence v intervalu 565 až 243 mm. Tyto hodnoty se pro naše poměry jeví nepravděpodobné, mimo horské oblasti by retence postačovala pojmout více než třídní srážku s průměrnou dobou opakování 1 000 let. Doporučujeme přepočítání CN na stav vysušeného povodí pro ČR nepoužívat.

Z předpokladu, že počáteční ztráta je 20 % potenciální retence, vyplývá, že pro srážky menší než 0,2S vychází odtok nulový. Graf na *obr. 1* poskytuje informace o minimálních hodnotách výšky srážek, kdy začíná docházet k přímému odtoku a metodu CN má smysl použít.

Janeček a Kovář (2010) uvádějí rovnice (s odkazem na publikace R. H. Hawkinse) vztahu pro výpočet potenciální maximální retence S [inch] a jí odpovídající hodnotě čísla odtokových křivek CN podle výšky srážky P [inch] a výšky odtoku R [inch]

$$S = 5 \cdot [P + 2 \cdot R - (4R^2 + 5P \cdot R)^{0,5}]$$

Pro posouzení, jak potenciální maximální retence a jí odpovídající CN závisí na srážce při různých poměrech výšky odtoku k výšce srážek, tj. koeficientu odtoku $k = R/P$, byl do uvedené rovnice dosazen vztah

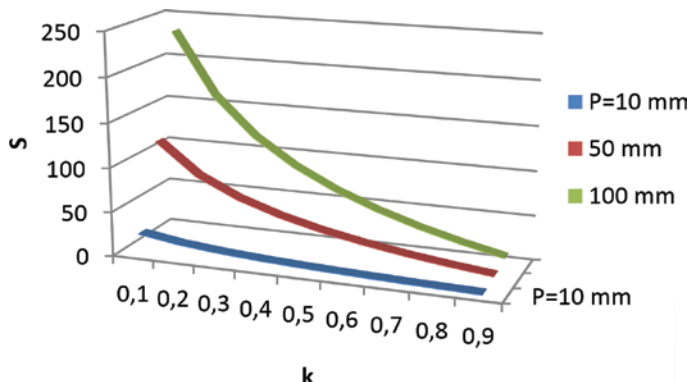
$$R = k \cdot P$$

Po úpravě je potenciální maximální retence v jednotkách [mm]

$$S = 25,4 \cdot 5 \cdot P \cdot [1 + 2k - (4k^2 + 5k)^{0,5}]$$

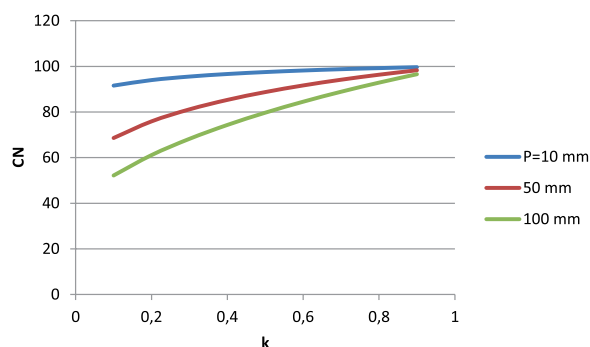
Obrázek 2 obsahuje pro rozsah srážky 10, 50 a 100 mm pokles potenciální retence v závislosti na nárůstu koeficientu odtoku k. Po transformaci veličiny S na CN získáme *obr. 3*. Při konstantní srážce se CN s nárůstem koeficientu odtoku nelineárně zvětšuje – čím je srážka větší, tím strměji.

Pro posouzení, jaké změny potenciální maximální retence a jim odpovídající čísla CN jsou adekvátní vztahům mezi výškami srážek



Obr. 2. Vztah mezi koeficientem odtoku a potenciální retencí podle metody CN

Fig. 2. Relationship between runoff coefficient and potential retention by the CN Method



Obr. 3. Vztah mezi koeficientem odtoku a hodnotou CN
Fig. 3. Relationship between runoff coefficient and CN value

a výškami odtoku pozorovaných povodní, byly využity výsledky analýz extrémních povodní 1997 a 2002 a srážkoodtokové vztahy ve tvaru regresních rovnic pro povodí Sázavy, a to Sázavy ve Zruči n. S., Želivky v Dolních Kralovicích a Vlašimské Blanice v Radonicích, podle zprávy Kašpárka (1970). Srážky za povodní 1997 i 2002 se vyskytovaly zejména v rozmezí 100 až 350 mm, v souborech, z kterých byly odvozeny výše uvedené srážko-odtokové vztahy z povodí Sázavy, nepřesáhly srážky 80–90 mm.

Pro povodeň 2002 byly vyzkoušeny varianty s rovnicemi

$$k = 0,0021 \cdot P$$

$$R = 0,0011 \cdot P^{2,1297}$$

$$k = 0,000006 \cdot P^2 + 0,0033 \cdot P - 0,1145$$

První dvě varianty, jak ukazuje obr. 4, jsou velmi blízké a naznačují, že pro odpovídající hodnoty podle metody CN by čísla CN musela z velikosti cca 87 pro srážku 10 mm klesat k hodnotě cca 60 pro srážku 100 mm. V intervalu srážek 100 až 200 mm jsou změny CN malé, lze použít konstantní hodnotu.

Třetí varianta ukazuje, že pro srážky menší než cca 40 mm indikuje použitá rovnice nulový odtok, pro větší srážky se CN nijak významně nemění.

Pro povodeň 1997 byla použita rovnice

$$R = 0,0272 \cdot P^{1,545}$$

Aby jí metoda CN odpovídala, musely by hodnoty CN klesat s nárůstem srážek v celém rozsahu od 10 do 200 mm (obr. 4).

Pro dílčí povodí Sázavy byly použity rovnice tvaru

$$R = b_1 \cdot P^2 + b_2 \cdot P$$

Hodnoty koeficientů b_1 a b_2 jsou v tabulce 1.

Když se v souladu s rozsahem výchozích dat z povodí Sázavy omezí na rozsah srážek do 100 mm, shledáme, že pro všechna tři povodí je patrný pokles CN s nárůstem srážky, pro povodí Želivky obdobně jako u dat z povodně 2002, u Sázavy a Blanice do menších hodnot (obr. 5).

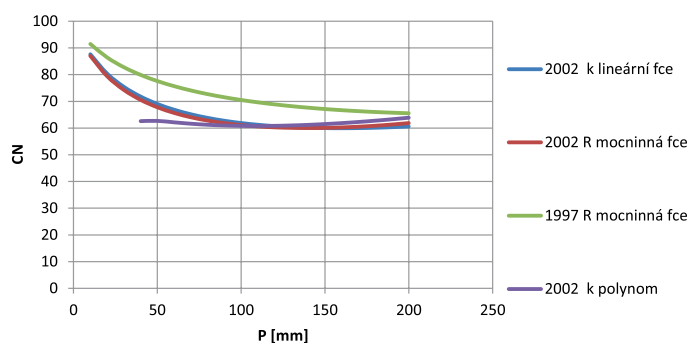
Změny potenciální maximální retence odpovídající hodnotám CN z obr. 5 jsou vyneseny na obr. 6.

V souhrnu lze z uvedených výsledků usuzovat, že využití metody CN ve standardní formě, tj. s hodnotou CN nezávislou na velikosti srážky, má předpoklad pro vystižení reálných povodňových případů pro srážky větší než 100 mm, omezeně i pro oblast 40 až 100 mm.

Potvrzuje se tedy doporučení z textu Janečka a Kováře (2011) „...je metoda CN křivek použitelná pouze pro určení přímého odtoku ze srážek o nižší pravděpodobnosti překročení (a vyšším počtu opakování v letech), tj. pro $N = 20, 50, 100$ let, kdy již vliv úhrnů srážek příliš neroste...”

Je však vhodné připomenout, že pro běžné poměry v ČR, například pro Prahu, jsou podle publikace Kašpárka a Krejčové (1993) úhrny deště větší než 50 mm s dobou opakování 100 let až od trvání nad 1 hodinu, pro dobu opakování 50 let trvání větší než 2 hodiny a pro dobu opakování 20 let až od trvání 5 hodin.

Pro případy menších srážek se zanedbáním proměnlivosti čísla CN v závislosti na velikosti srážky dopouštíme aplikací metody CN

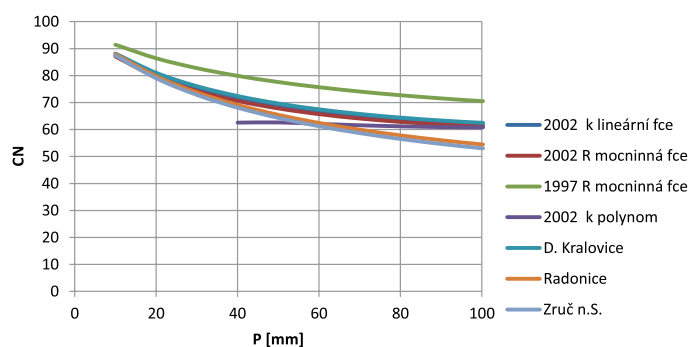


Obr. 4. Vztah mezi srážkami a hodnotami CN
Fig. 4. Relationship between precipitation and CN values

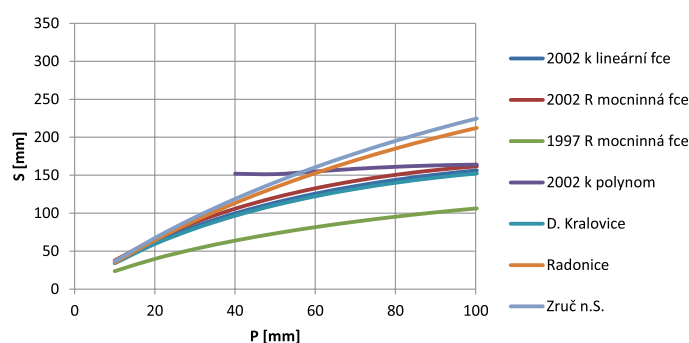
Tabulka 1. Koeficienty b_1 a b_2 pro dílčí povodí Sázavy

Table 1. Values of b_1 and b_2 coefficients in partial catchments of the Sázava River

Tok	Stanice	b_1	b_2
Sázava	Zruč n. S.	0,00105	0,00883
Želivka	Dolní Kralovice	0,002116	0,00665
Blanice	Radonice	0,00109	0,01419



Obr. 5. Vztah mezi srážkami a hodnotami CN
Fig. 5. Relationship between precipitation and CN values



Obr. 6. Vztah mezi srážkami a potenciální retencí
Fig. 6. Relationship between precipitation and potential retention

nepřesnosti, která výsledky znatelně odchyluje od výsledků analýz reálných povodní.

Využití metody CN pro posouzení vlivu změn využití pozemků

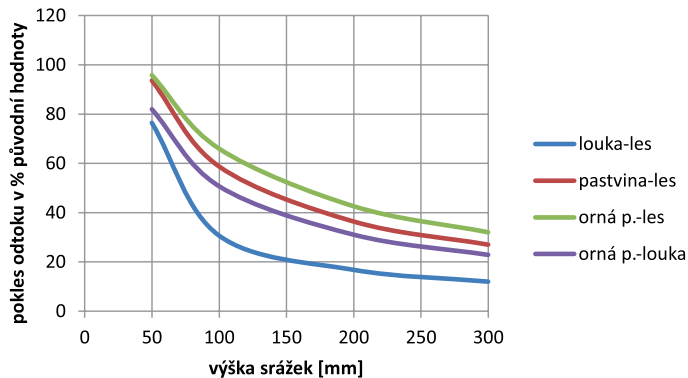
V ČR i v zahraničí je metoda CN často využívána, kromě jiného, i pro posouzení vlivu změn využití pozemků na velikost přímého odtoku. V našem rozboru byly pro stanovení rozdílů mezi kategoriemi využívání pozemků použity hodnoty CN podle zdroje Janeček et al. (2005), viz tabulku 2. V tabulce jsou uvedeny také velikosti potenci-

ální retence, odpovídající uvedeným CN. Rozbor byl soustředěn na změny mezi kategoriemi využití pozemků orná půda, louky a pastviny, přirozené louky a les, uvedené v *tabulce 3*. Jsou to změny, které se potenciálně mohou projevit na plochách, které v souhrnu tvoří rozhodující část území ČR. V *tabulce 3* jsou uvedeny změny retence v absolutní hodnotě mm a v procentech potenciální retence, která odpovídá využití pozemků před uvažovanou změnou.

Zvětšení retence vyjádřené v mm se od kategorie A, což jsou půdy s největší retenční kapacitou, zmenšuje až do kategorie D, která odpovídá půdám s nejmenší retenční kapacitou. Tento průběh je opodstatněný. Pozoruhodné však je, že stejným směrem klesá i změna potenciální retence vyjádřená v relativních hodnotách. Tato tendence je v rozporu s poznatkem „**Když propustnost půdního povrchu nepředstavuje omezení infiltrace, jsou zásadním faktorem pro vznik přívalových povodní geologické vlastnosti. Takže využití pozemků má jen marginální vliv**“, který formuloval Hattermann et al. (2013). V podmínkách, kdy půda nepokrytá vegetací je dostatečně propustná, by vliv stejného vegetačního krytu neměl být silnější než u půd málo propustných.

Vlastní výpočty změn byly provedeny jen pro kategorie půd B a C, které pokrývají většinu území ČR. V levé části *tabulky 4* jsou uvedeny rozdíly odtokových výšek v původním stavu využití pozemků a ve změněném stavu využití, vyjádřené v mm a v % hodnoty odtokové výšky za původního stavu pro srážky 50 a 100 mm. V pravé části tabulky jsou velikosti odtoku před změnou a po změně.

Obrázky 7 a 8 ukazují, že v relativním vyjádření se vliv změn působící pokles odtokové výšky přímého odtoku zmenšuje s narůstající srážkou. To odpovídá poznatkům, které byly získány z rozboru po-



Obr. 7. Pokles odtokové výšky vyjádřené v relativních hodnotách s narůstající srážkou – pro kategorii půd B

Fig. 7. Hydrological soil group B: decrease of runoff (%) versus precipitation depth for different land use changes

Tabulka 2. Hodnoty čísel odtokových křivek CN a jim odpovídající potenciální retence

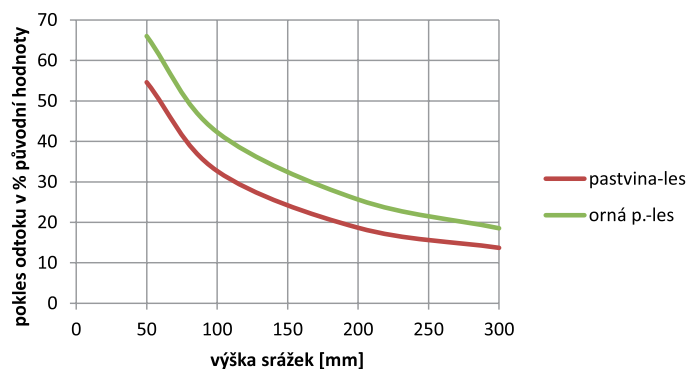
Table 2. CN values for different land use types and corresponding potential retention

Kategorie půd	A	B	C	D	A	B	C	D
Využití pozemků	CN				Potenciální retence [mm]			
Orná půda	64	73	83	87	143	94	52	38
Louky a pastviny	49	69	79	84	264	114	68	48
Přirozené louky	35	60	70	77	472	169	109	76
Les	30	55	70	77	593	208	109	76

Tabulka 3. Poklesy CN a zvětšení potenciální retence při změnách využití pozemků

Table 3. Decrease of CN values and increase of potential retention caused by certain land use changes

Kategorie půd	A	B	C	D	A	B	C	D
Změna využití pozemků	Poklesy CN				Zvětšení potenciální retence [mm]			
Přirozené louky → les	5	5	0	0	121,0	38,5	0,0	0,0
Louky a pastviny → les	19	14	9	7	25,6	22,7	0,0	0,0
Orná půda → les	34	18	13	10	328,3	93,7	41,3	27,5
Orná půda → přirozené louky	29	13	13	10	124	82,1	61,2	56,8
					449,8	113,9	56,8	37,9
					314	121	109	99,9
					328,8	75,4	56,8	37,9
					230	80,2	109,2	99,9



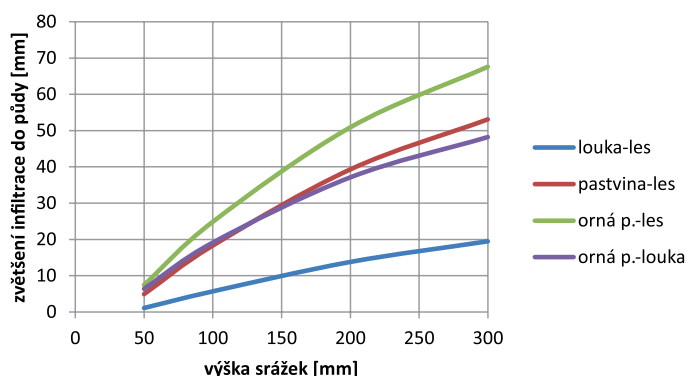
Obr. 8. Pokles odtokové výšky vyjádřené v relativních hodnotách s narůstající srážkou – pro kategorii půd C; obrázek obsahuje jen dvě křivky, neboť u kategorie půd C změna z orné půdy na les a změna z orné půdy na přirozenou louku jsou shodné a při změně přirozené louky na les žádná změna nenastává, u této kategorie půd jsou CN pro louky a les stejné

Fig. 8. Hydrological soil group C: decrease of runoff (%) versus precipitation depth for different land use changes

Tabulka 4. Poklesy odtoku (v mm a v % původní hodnoty) při změnách využití pozemků (včetně hodnot odtoku)

Table 4. Decrease of direct runoff (in mm and percentage of the original value) caused by certain land use changes

Kategorie půd	B	C	B	C	B	C	B	C
Změna využití pozemků	Poklesy odtoku [mm] Poklesy odtoku [%]		Poklesy odtoku [mm] Poklesy odtoku [%]		Původní odtok [mm] Nový odtok [mm]			
	Pro srážku 100 mm		Pro srážku 50 mm		Pro srážku 100 mm		Pro srážku 50 mm	
Přirozené louky → les	5,8 mm 31 %	0 mm 0 %	1,1 mm 78 %	0 mm 0 %	18,6 12,8	32,7 32,7	1,4 0,3	5,8 5,8
Louky a pastviny → les	18,4 mm 59 %	15,9 mm 33 %	4,9 mm 94 %	6,9 mm 55 %	31,2 12,8	48,6 32,7	5,2 0,3	12,7 5,8
Orná půda v les	24,8 mm 66 %	24,0 mm 42 %	7,5 mm 96 %	11,3 mm 66 %	37,6 12,8	56,7 32,7	7,8 0,3	17,1 5,8
Orná půda → přirozené louky	19,0 mm 51 %	24,0 mm 42 %	6,4 mm 82 %	11,3 mm 66 %	37,6 18,6	56,7 32,7	7,8 1,4	17,1 5,8



Obr. 9. Zvětšení výšky infiltrace do půdy vlivem změn využití pozemků – pro kategorii půd B

Fig. 9. Hydrological soil group B: increase of infiltration versus precipitation depth for different land use changes

zorování za povodně z roku 2002 (Kašpárek a Krátká, 2004; Kašpárek a Peláková, 2013) i formulaci „Čím větší objem srážek, tím menší vliv využití pozemků na generování přívalových povodní,“ ze studie Hattermann et al. (2013). Je to zřetelné zejména u změny z kategorie louky a pastviny na les a z kategorie orná půda na les. Kategorie půdy má daleko větší vliv na velikost retence než změny vegetace.

Zmenšení odtokové výšky přímého odtoku nastává tím, že se více vody vsákne do půdy. Změnou využití pozemků nastává zvětšení velikosti infiltrace, které má v závislosti na výšce srážek hodnoty v mm, které ukazují grafy na obr. 9 pro kategorii půd B a na obr. 10 pro kategorii půd C. Následující obrázky 11 a 12 ukazují zvětšení výšky infiltrace v % srážky. U kategorie půd B se při srážce 50 mm vsákne při změně orné půdy na les o 15 % srážky více, při srážce 100 mm o 25 % srážky více. Při větších srážkách zvětšení infiltrace vyjádřené v % srážky klesá. U kategorie půd C se při srážce 50 mm vsákne při změně orné půdy na les o 23 % srážky více, při srážce 100 mm o 24 % srážky více. Při větších srážkách podíl zvětšení infiltrace vyjádřené v % srážky dosti podstatně klesá.

Obrázek 13 ukazuje porovnání relativních změn výšek odtoku a výšek infiltrace pro kategorii půd B. V relativním měřítku se změna využití pozemků projevuje u odtoku silněji při menších srážkách, u infiltrace je tomu naopak.

Rámcový odhad možností změn infiltrace změn orné půdy na les v reálných podmínkách

Odhad byl proveden pro srážkovou událost charakterizovanou výškou srážky 50 mm.

Pro rámcové posouzení byl z výše dokumentovaných výsledků využit poznatek, že pro skupinu půd B se při změně orné půdy na les zvětší infiltrace o 15 % srážky, pro skupinu půd C o 23 % srážky. Průměr těchto hodnot je 19 %, jako přibližný odhad jej použijeme pro všechnu ornou půdu.

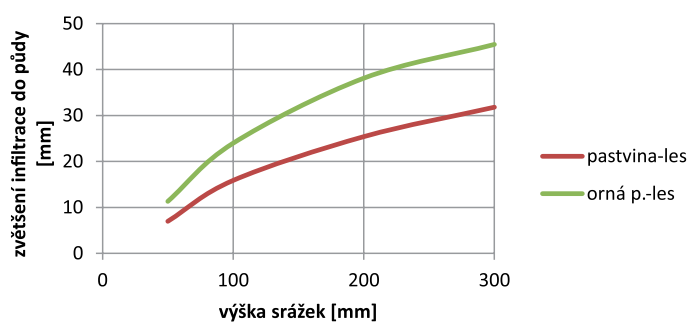
Předpokládáme, že srážkové události, při kterých se změna využití pozemků uplatní, jsou ty, ve kterých je denní úhrn srážek větší než 20 mm. Pro výpočet použijeme poměr

$$K20 = P20 / \text{Proční},$$

kde P20 je průměrný roční úhrn srážek ve dnech, kdy denní srážka překročila 20 mm, Proční je průměrný roční úhrn srážek.

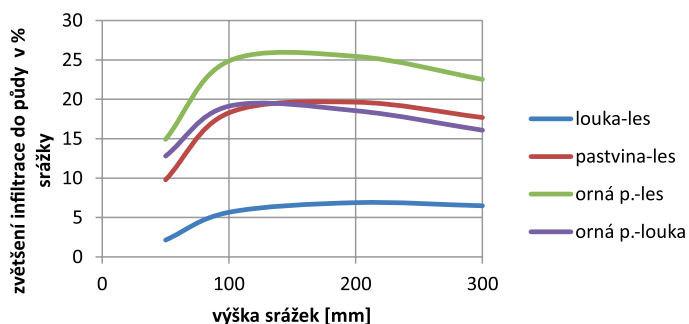
Podle provedených výpočtů lze pro nížinné oblasti použít $K20 = 0,1$, v horských oblastech dosahuje hodnot až 0,35. Pro stupnici průměrných ročních srážek od 550 do 900 mm jsou v tabulce 5 uvedeny použité koeficienty K20 a jim odpovídající úhrny srážek P20.

Na celé ploše orné půdy, pokud by se změnila na les, by se průměrná roční výška infiltrace změnila o hodnotu $P20 \cdot 0,19$. Zvětšení infiltrace na ploše orné půdy by narůstalo se srážkou v rozmezí cca 15 až 60 mm. Orná půda však nepokrývá celá povodí, v tabulce 5 je uveden orientační podíl plochy orné půdy na celkové ploše povodí. Zvětšení infiltrace vztahované k celému povodí se redukuje do rozmezí cca 6 až 10 mm. Proti sobě působí trend zvětšování změn infiltrace a pokles podílu orné půdy s narůstající srážkou.



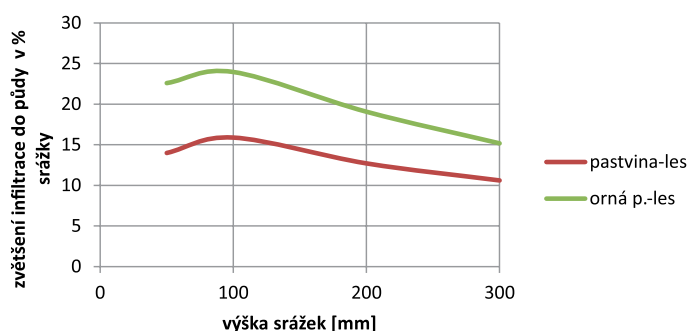
Obr. 10. Zvětšení výšky infiltrace do půdy vlivem změn využití pozemků – pro kategorii půd C

Fig. 10. Hydrological soil group C: increase of infiltration versus precipitation depth for different land use changes



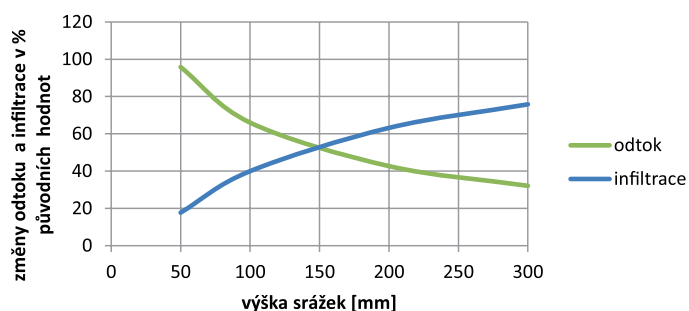
Obr. 11. Zvětšení výšky infiltrace do půdy vlivem změn využití pozemků vyjádřené v % výšky srážek – pro kategorii půd B

Fig. 11. Hydrological soil group B: increase of infiltration (%) versus precipitation depth for different land use changes



Obr. 12. Zvětšení výšky infiltrace do půdy vlivem změn využití pozemků vyjádřené v % výšky srážek – pro kategorii půd C

Fig. 12. Hydrological soil group C: increase of infiltration (%) versus precipitation depth for different land use changes



Obr. 13. Změny výšky odtoku a výšky infiltrace do půdy vlivem změny orné půdy na les vyjádřené v % původních hodnot pro ornou půdu – pro kategorii půd B; pro odtok je změnou zmenšení, pro infiltraci zvětšení

Fig. 13. Hydrological soil group B, land use change arable land to forest: increase of infiltration and decrease of runoff (percentage of the original value) versus precipitation depth

Když uvážíme, že změny orné půdy na les nemohou rozsah orné půdy zmenšit zásadně, dospějeme (např. za předpokladu změny na 10 % orné půdy) k tomu, že zvětšení infiltrace takovým opatřením má velikost jen několika procent dotace podzemních vod. Její hodnoty uvedené v *tabulce 5* jsou spočteny podle rovnice odvozené Kněžkem pro povodí v krystalinických horninách (Kašpárek et al., 2014).

Je vhodné poznamenat, že metoda CN ani tabulky hodnot CN se nezabývají vlivem zhutnění půdního profilu vlivem pojezdu těžkých mechanismů pod horizontem kypřením orbou na infiltraci do podzemní vody.

Závěr

Z provedených porovnání je zřejmé, že zmenšení přímého odtoku z přívalových srážek změnou plochy orné půdy na les indikované metodou CN začíná být od srážek řádově velikosti 50 mm zřetelné. Na malých povodích, kde by bylo možné změnu provést na velkém podílu plochy povodí, by mělo význam.

Zvětšení infiltrace, které při uvedené změně užití pozemků indikuje metoda CN, je pro srážky o velikosti několik desítek mm v měřítku roční dotace podzemních vod celého povodí velmi malé.

Dotaci by mohly znatelně zvětšit jen změny na velké části povodí, které by se projevíly při výskytu velkých výšek srážek, z oblasti 100 a více mm.

Literatura

- Hattermann, F. et al. (2012) Flood Risk from a Holistic Perspective – Observed Changes in Germany. In: Kundzewicz, Z.W. (ed.) Changes in Flood Risk in Europe. IAHS Special Publication 10, IAHR Press, ISBN 978-1-907161-28-5, p. 231–232.
- Janeček, M. aj. (2005) Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ISV nakladatelství.
- Janeček, M. a Kovář, P. (2010) Aktuálnost „metody čísel odtokových křivek – CN“ k určování přímého odtoku z malých povodí. *Vodní hospodářství*, č. 7, s. 187–190.
- Janeček, M. a Kovář, P. (2011) Odpověď na diskusní příspěvek k článku autorů Miloslava Janečka a Pavla Kováře Aktuálnost „metody čísel odtokových křivek – CN“ k určování přímého odtoku z malých povodí. *Vodní hospodářství*, č. 2, s. 81.
- Kašpárek, L. (1970) Krátkodobé předpovědi odtoku z přívalových dešťů v povodí Sázavy, 2. dílčí část. Výzkumná zpráva. Praha: ČHMÚ, 62 s.
- Kašpárek, L. a Krejčová, K. (1993) Vztah mezi úhrnem, trváním a periodicitou dešťů pro území Prahy. Praha: VÚV, 57 s., edice Výzkum pro praxi, sešit 24.
- Kašpárek, L. a Krátká, M. (2004) Analýza vlivu fyzicko-geografických charakteristik na tvorbu povodňového odtoku a sestavení publikace o povodni 2002. Výzkumná zpráva. Praha: VÚV TGM, 67 s.

Tabulka 5. Rámcový odhad zvětšení výšky infiltrace změnou orné půdy (o. p.) na les v reálných povodích

Table 5. Increase of annual infiltration estimated for land use change (arable land to forest)

Srážka roční	Průměrná dotace podz. vod	K20	P20	Změna INF na ploše o. p.	Podíl orné půdy	Změna INF na povodí při změně celé o. p.		Změna INF na povodí při změně 1/10 o. p.	
[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	% dotace podz. vod	[mm]	% dotace podz. vod
550	31,1	15	82,5	15,6	50	7,84	25,2	0,78	2,52
600	46,2	20	120	22,8	40	9,12	19,7	0,91	1,97
700	85,5	25	175	33,2	30	9,98	11,7	0,99	1,17
800	136,8	30	240	45,6	20	9,12	6,7	0,91	0,67
900	200	35	315	59,8	10	5,99	3,0	0,59	0,30

Kašpárek, L. a Peláková, M. (2013) Vliv fyzicko-geografických charakteristik na velikost povodně v srpnu 2002. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, č. 3, s. 17–20, příloha *Vodního hospodářství* č. 6/2013.

Kašpárek, L., Datel, J.V. aj. (2014) Základní výchozí data pro zjednodušené stanovení velikosti přírodních zdrojů podzemní vody v 55 hydrogeologických rajonech. Dílčí zpráva projektu Rebalance podzemních vod. Praha: VÚV TGM, 45 s.

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., Ing. Martina Peláková
VÚV TGM, v.v.i., Praha

tel. 220 197 227, 220 197 291

e-mail: ladislav_kasperek@vuv.cz,

martina_pelakova@vuv.cz

Příspěvek prošel lektorským řízením.

Sensitivity analysis: How do land use changes affect water infiltration and direct runoff? (Kašpárek, L.; Peláková, M.)

Key words

CN method – direct runoff – torrential rain – land use – infiltration

The effect of land use changes on direct runoff and soil infiltration was calculated by the Runoff Curve Number Method (SCS-CN). The analysis is focused on the conditions of the Czech Republic. The aim of the proposed land use changes is mainly to decrease flood flows. When the precipitation exceeds 50 mm, the results show notable decrease of direct runoff e.g. in case of changing arable land to forest. However, increase of soil infiltration in yearly groundwater balance is insignificant.

ODHAD ZÁKLADNÍHO ODTOKU V DOSUD NEPOZOROVANÝCH POVODÍCH

Adéla Trávníčková, Roman Kožín

Klíčová slova

základní odtok – vodoměrná stanice – čára překročení – hydrogeologický rajon

Souhrn

Desítky krátkodobě pozorovaných vodoměrných stanic byly umístěny na malých vodních tocích v povodích České republiky. Data z těchto stanic spolu s hydrometrickými měřeními byla použita k odhadu základního odtoku. Srážky a průtoky ze stanic sítě ČHMÚ byly použity též. Základní odtok je odhadován tzv. metodou klouzavých minimálních průtoků. Kromě toho byly užity také metody nepřímé, založené na regresních vztazích srážek a odtoků. Vypočtená hodnota z krátkodobého pozorování je pak upravena podle analogonu – nejbližšího pozorovaného povodí. Výsledky ukazují rozptyl hodnot základního odtoku vypočteného podle jednotlivých metod. Nicméně pro základní

bilanční hodnocení sledovaných povodí, popř. hydrogeologických rajonů jsou výsledky dostatečné.

Úvod

V rámci projektu Rebalance zásob podzemních vod, jehož spoluřešitelem je VÚV TGM, v.v.i., byla navržena síť pozorovacích stanic na malých vodních tocích v zadaných hydrogeologických rajonech (HGR). Cílem tohoto úkolu je přehodnocení přírodních zdrojů podzemních vod ve vybraných rajonech. Monitorované toky se nacházejí v celkem 48 HGR, přičemž 15 z nich je ve svrchních rajonech, 63 v základních a dva na jejich rozhraní (*obr. 1*). Plocha povodí většiny toků, tedy 69 z celkových 80, nepřekračuje 100 km², zbývajících 11 objektů je umístěno na tocích s povodím od 105 km² do 556 km². Nadmořské výšky sledovaných profilů se pohybují v rozmezí od 150 m n. m. v HGR 4320 (Křída Dolního Labe po Děčín – pravý břeh) po 610 m n. m. v HGR 6211 (Krystalinikum Českého lesa v povodí Kateřinského potoka). Dlouhodobý roční úhrn srážek (1981–2010) v povodích leží v rozmezí 506 mm v HGR 2241 (Dyjskosvratecký úval) až 1 026 mm v HGR 6213 (Krystalinikum Českého lesa v povodí Schwarzach).

Metodika

V první polovině roku 2012 proběhl na daných lokalitách výběr profilů vhodných k pozorování. Podmínkou pro jejich výběr bylo

vyrovnané koryto toku s pokud možno rovnoměrným prouděním. Využity byly i stávající jízky, popř. jiné objekty, které byly dále vhodně upraveny. Poté byly na vodní toky instalovány jednoduché železné tubusy obdélníkového průřezu opatřené uzamykatelným víčkem. Do spodní části stanice byly vyvrtány drobné otvory umožňující proudění vody skrze tubus, dále byly stanice povrchově ošetřeny antikoročním nátěrem. Na takto připravené objekty byly našroubovány plastové vodočty (obr. 2). Záznam dat zajišťují hladinoměry (levelloggery), které sledují výšku hladiny a teplotu vody. Jejich výhodou je malý rozměr, dlouhá životnost (výrobce garantuje deset let) a velká paměť (40 000 záznamů – tzn., že měříme-li v hodinovém intervalu, je sonda schopna ukládat údaje až 4,5 roku). Stanice byly upevněny na stávající objekty v tocích (mostky, opěrné zdi) nebo byly zatlučeny a uchyceny vzpěrami ke břehu. Barologgery snímající atmosférický tlak, který je nutný pro kompenzaci dat z hladinometrů, byly umístěny buď přímo do stanice, nebo do její blízkosti. Řada profilů byla osazena měrnými přelivy pro zvýšení citlivosti v období malých průtoků (obr. 2). Po průběžných hydrometrických měřeních za různých vodních stavů a získání dostatečné dlouhé řady dat z hladinometrů byly sestaveny měrné křivky průtoků a vyčísleny průměrné denní průtoky.

Zpracování dat

Pro stanovení velikosti základního odtoku byla použita metoda separace hydrogramu na základě klouzavých minimálních průtoků, kterou ve své studii navrhl a ověřil Kašpárek (2011). Spočívá ve výpočtu řady klouzavých minim z intervalu předešlých 30 dní. Touto řadou se posléze proloží klouzavé průměry s dobou průměrování 30 dní. Výsledek je graficky znázorněn na obr. 3 na příkladu Kateřinského potoka z HGR 6211 Krystalinikum Českého lesa v povodí Kateřinského potoka.

Takto získané odhady základního odtoku z krátkodobě pozorovaných průtoků je nutné transformovat na hodnoty, které odpovídají dlouhodobému pozorování. Dále uvádíme postup této transformace (Kašpárek, Datel aj., 2014).

Z řady průměrných denních průtoků z krátkého pozorování se separuje metodou popsanou výše řada základního odtoku a vypočte se průměr. Zvolí se stanice ČHMÚ s dlouhodobým pozorováním s hydrologickým režimem, který z hlediska dlouhodobého kolísání průtoků je podobný jako v povodí s krátkým pozorováním. Opět se separuje základní odtok a spočte se průměr. Pro období krátkodobého pozorování se spočte průměr základního odtoku ve stanici ČHMÚ. Vypočítá se poměr průměru z krátkodobého pozorování a průměru z dlouhodobého pozorování. Tímto poměrem se vynásobí průměr z nově postavené stanice s krátkodobým pozorováním. Takto vypočtený průměr základního odtoku odpovídá dlouhodobému průměru podle analogonu ČHMÚ. Přepočet průměru z námi pozorovaného povodí na celý HGR se provede podle studie (Kašpárek, Datel aj., 2013). Odhad základního odtoku na HGR je založen na předpokladu, že územní výpar na povodí – analogonu a na HGR je stejný. Přepočet je založen na rozdílu mezi dlouhodobou průměrnou srážkou na HGR a na povodí – analogonu. Srážky byly interpolovány z rastru srážek pro ČR za období 1981–2010.

Alternativní metody odhadu základního odtoku

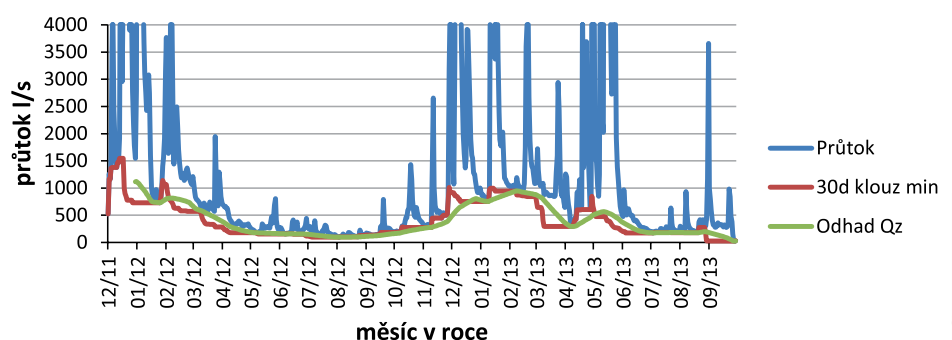
V případech, že není možné vybudovat vodoměrnou stanici (ať už z finančních či



Obr. 1. Mapa rozmístění nových vodoměrných stanic
Fig. 1. Map of newly distributed stream gauges



Obr. 2. Vodoměrná stanice na Kateřinském potoce osazená měrným přelivem za využití stávajícího objektu
Fig. 2. Stream gauge on Kateřinský creek fitted by weir



Obr. 3. Separace základního odtoku na Kateřinském potoce
Fig. 3. Baseflow separation – Kateřinský creek

jiných důvodů), jsme nuceni použít alternativní metody. Tyto metody mohou být přímé nebo nepřímé. Mezi přímé metody patří např. prosté hydrometrické měření ve zvoleném profilu. V situaci, kdy požadujeme informaci o dlouhodobém průměrném průtoku nebo základním odtoku, je jedno i více měření nedostačující. Alternativa se nabízí v tzv. přenesení čáry překročení průtoků z analogonu se stanicí ČHMÚ do námi měřeného profilu. V tomto případě je nutné provést 8–10 hydrometrických měření za rok za různých vodních stavů, aby bylo možné získat informace o průměrném průtoku či základním odtoku.

Přenos se provede následovně. Z čáry překročení ze stanice ČHMÚ se zjistí pravděpodobnosti pro dny, kdy byla provedena hydrometrická měření ve zvoleném profilu. Tyto pravděpodobnosti a průtoky z hydrometrických měření se vynesou proti sobě do grafu. Výsledné body v grafu lze proložit křivkou (obr. 4). Podle rovnice křivky lze pak spočítat 50% kvantil průtoku. Analogicky k výše uvedenému postupu lze z poměru průměrů a kvantilů zjistit dlouhodobý průměrný průtok ve zvoleném profilu. Pro výpočet odhadu základního odtoku je nutné použít BFI (baseflow index) z analogonu ČHMÚ.

Do nepřímých metod spadají zejména různé regresní vztahy, kdy odtok je funkcí průměrné výšky srážek. Jako příklad lze uvést regresní vztah publikovaný Kněžkem a Kesslem v roce 2000 (obr. 5).

Dalším příkladem takovéto regrese je vztah odtoku a srážky zjištěný ze souboru 65 povodí v ČR publikovaný Kašpárkem aj. v roce 2000 (obr. 6).

Diskuse a závěr

Všechny použité metody, ať už se jedná o regrese nebo využití analogonů, jsou zatíženy určitou chybou. Z tohoto důvodu je vhodnější mluvit spíše o odhadech než o přesných hodnotách. Nicméně v místech, kde nejsou k dispozici pozorování ze stanic ČHMÚ a je potřeba získat základní informace o průtoku, jsou tyto metody relevantní. Obrázek 7 ukazuje rozdílné hodnoty průměrného specifického základního odtoku vypočtené na základě popsanych metod. Rozptyl výsledků je značný a průměrný základní odtok se bude nejspíše nacházet v intervalu 3,3–4,9 l/s/km². Jako odhad lze použít medián nebo průměr z těchto výsledků. Nicméně větší váhu by měl mít výsledek daný separací hydrogramu, jelikož je podložen fyzikálním měřením v dané oblasti.

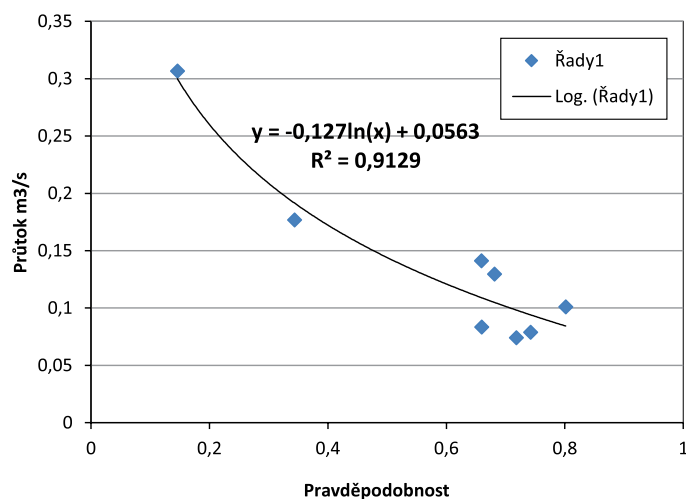
I přes všechny nejistoty v datech, které jsou odrazem už samotné výstavby stanice, jejího provozu, hydrometrických měření, sestavení měrné křivky a použití metod na vyčíslení celkového a základního odtoku, jsou tato data použitelná pro základní bilanční hodnocení sledovaných povodí, popřípadě hydrogeologických rajonů.

Poděkování

Článek vznikl díky podpoře projektu Rebilance zásob podzemních vod.

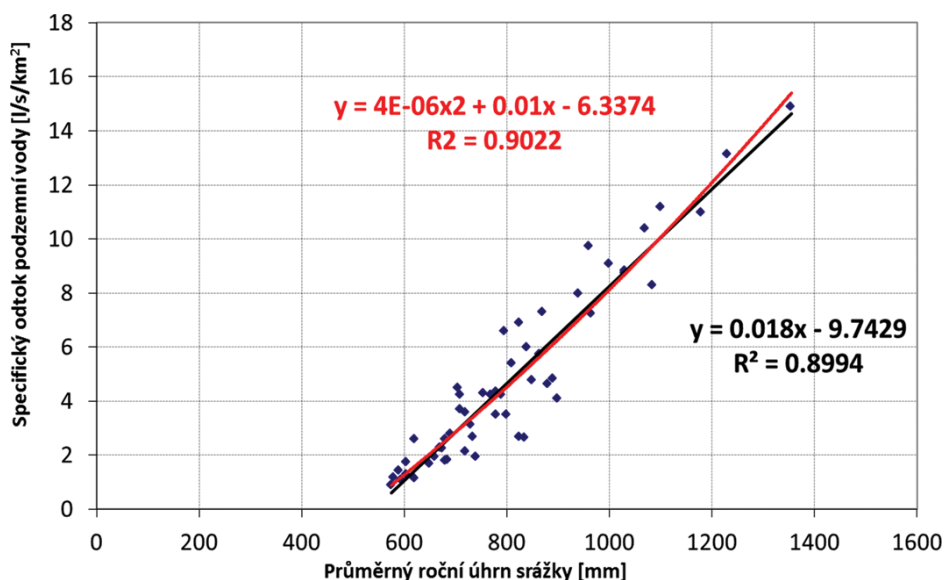
Literatura

- Kašpárek, L., Datel, J.V. aj. (2014) Základní výchozí data pro zjednodušené stanovení velikosti přírodních zdrojů podzemní vody v 55 hydrogeologických rajonech. Dílčí zpráva úkolu Rebilance zásob podzemních vod. Praha: VÚV TGM, 33 s.
- Kašpárek, L., Datel, J.V. aj. (2013) Metodika a výsledky zpracování podkladů pro hodnocení kvantitativního stavu útvarů podzemních vod. Dílčí zpráva úkolu Rebilance zásob podzemních vod. Praha: VÚV TGM, 12 s.
- Kašpárek, L. aj. (2011) Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulace



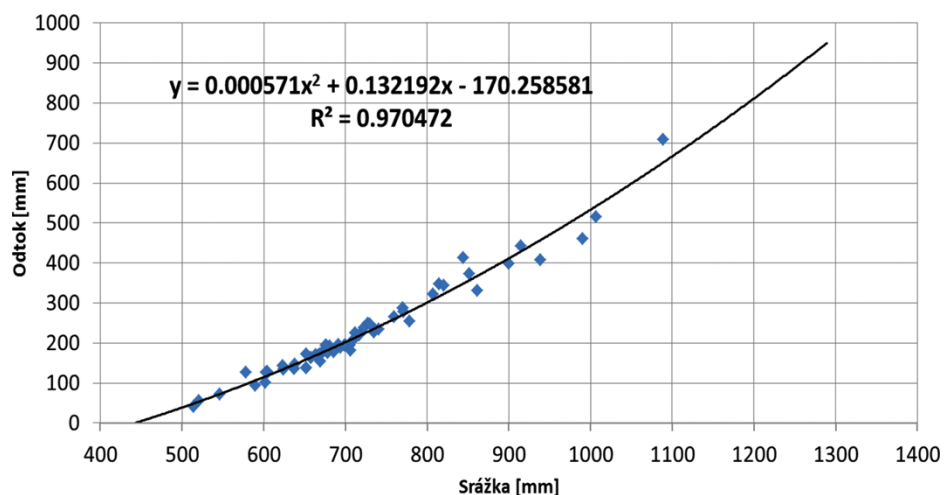
Obr. 4. Přenos čáry překročení ze stabilního profilu ČHMÚ do dočasného profilu Hošťka

Fig. 4. Transfer of a discharge curve from continuously measured cross-section to a temporary cross-section



Obr. 5. Závislost průměrného specifického odtoku podzemní vody na dlouhodobém průměrném ročním úhrnu srážek

Fig. 5. Relation of an average baseflow and an average annual precipitation



Obr. 6. Vztah mezi průměrnou dlouhodobou výškou odtoku a průměrnou dlouhodobou roční výškou srážek

Fig. 6. Relation of an average annual runoff and an average annual precipitation

ní schopnosti v povodí Rakovnického potoka. Praha: VÚV TGM, 161 s.
Kašpárek, L., Naarová, R. a Špalle, M. (2000) Hodnocení a modelování srážkoodtokových vlastností povodí. Závěrečná výzkumná zpráva. VÚV TGM, 55 s.
Kněžek, M. a Kessler, J. (2000) Metody výpočtu základního odtoku. Sborník konference Hydrologické dny 2000.

Ing. Adéla Trávníčková, Ing. Roman Kozín
VÚV TGM, v.v.i., Praha
roman_kozin@vuv.cz

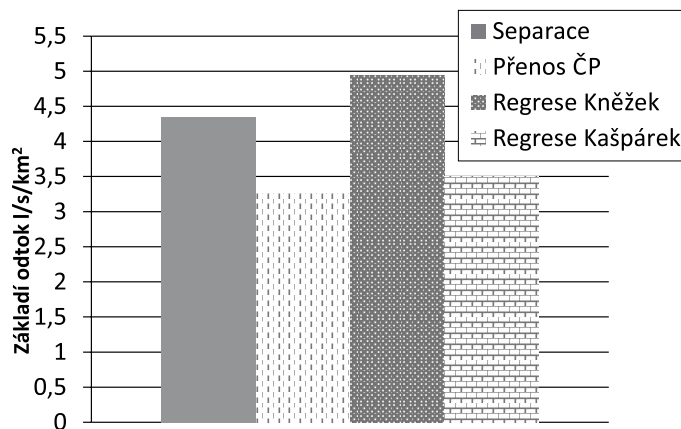
Příspěvek prošel lektorským řízením.

Estimating of a baseflow in so far unobserved catchments (Trávníčková, A.; Kozín, R.)

Keywords

baseflow – stream gauge – discharge curve – hydrogeological region

Dozens of short-term stream gauges were installed on small streams in catchments in the Czech Republic. Data obtained from those gauges and data from hydrometric measurement were used to estimate a baseflow. Precipitation and stream gauge data from the national measurement network were used as well. The baseflow was estimated by so-called method of “moving minimal discharge”. Apart from that, there were also used some indirect methods based on regression relationship of precipitation and runoff. Calculated values of the short-term



Obr. 7. Srovnání specifického základního odtoku vypočteného dle jednotlivých metod pro HGR 6211 (Krystalinikum Českého lesa v povodí Kateřinského potoka)

Fig. 7. Comparison of a baseflow according to the presented methods (Hydrogeological region Český les – Kateřinský creek)

baseflow were adjusted according to hydrological analogy with the nearest observed catchment. The results show a variance in values of the baseflow estimated according to the presented methods. Nevertheless, the results are sufficient for the basic assessment of hydrological balance in studied catchments or hydrogeological regions.

Odbor hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie

Hydrologie

Hydrologie byla od založení instituce základním oborem. Ústav jako celostátní řídicí orgán hydrologických služeb vydával směrnice, kterými koordinoval činnost hydrografických oddělení a zabezpečoval tak jednotnost jejich práce. Výsledky pozorování a měření byly podkladem pro zpracování rozsáhlého díla – vodopisu Československa. Jeho obsahem byly zejména hydrologické ročenky o průtocích a srážkách, publikace obsahující denní průtoky ve vybraných říčních profilech za deseti až padesátiletí, podélné profily všech významných československých řek, zrevidované mapy rozvodnic a soupis povodí celého státního území a toků. Informace z těchto materiálů jsou využívány dodnes.

Ústav řešil i úkoly přesahující rámec tradiční náplně prací hydrografických oddělení. Zkoumal metody a vyvíjel přístroje k pozorování jevů, kterým se dosud nevěnovala žádná anebo jen nedostatečná pozornost, zejména výpar, ledové jevy a pohyb splavenin. Zabýval se vedením významných studijních prací nezbytných při přípravě vodních staveb. Při nich zaváděl a ověřoval nové metody zpracování hydrologických pozorování. V této souvislosti je třeba vzpomenout na aplikace matematické pravděpodobnosti pro odvozování řad intenzit krátkodobých dešťů nebo dešťových oddílů různého trvání a pravděpodobnosti, které navrhl Ing. Čeněk Vorel jako základ pro časově náročné zpracování dlouhodobých ombrografických pozorování v Čechách a na Moravě. Výsledky navazujících prací prof. Josefa Trupla jsou dodnes velmi spolehlivým podkladem při navrhování kanalizací. Nejvýznamnějším hydrologem, který v ústavu již v letech 1933–1938 zpracoval řadu prací zásadně ovlivňujících další vývoj československé hydrologie, byl doc. Dr. Ing. Alois Bratránek. Pečeť původnosti nesou četné hydrologické studie, které vypracoval nebo jejichž zpracování vedl, a to např. pro regulační práce na úseku středního Labe, soustavou úpravu Váhu a Dunaje, ohrazování východoslovenských řek, vybudování soustavy nádrží pro zabezpečení Ostravy vodou, ochranu města Prahy před povodněmi aj. Alois Bratránek zpracoval v širším měřítku i výskyt povodní v ČR, časové průběhy povodní, metodu transformace průtoku při průchodu povodně nádrží za manipulace s uzávěry, metody předpovědi odtoku v období hydrologického sucha.

95 let
1919–2014

V době omezených možností za okupace se ústav věnoval sestavování hydrologických a z nich vycházejících vodohospodářských bilancí pro předvídané potřeby závlah, zásobení pitnou a průmyslovou vodou a pro plavbu. Dále se zabýval otázkami nalepšování malých průtoků v tocích, bilancí potřeb a přebytků vody v povodích, optimálním hospodařením vodou v nádržích a řešením ochrany území před velkými vodami pomocí retenčních prostorů a regulačních úprav (ochrana města Prahy). Podstatná část těchto prací byla později základem pro zpracování Státního vodohospodářského plánu. Byly též položeny základy pro systematické sledování splaveninového a teplotního režimu řek. V obdobných aktivitách pokračoval ústav i v letech 1945–1953, byl např. sestaven katastr vodnosti pro období 1931–1940 a 1941–1950.

Od roku 1951, kdy byl ústav transformován na Výzkumný ústav vodohospodářský, nebyl již pověřen vedením hydrologické služby. Hydrologická složka ústavu pak byla zaměřena jen na výzkumnou a studijní činnost, vyžadovanou zejména při rozvíjejících se pracích na Státním vodohospodářském plánu (o jeho zpracování rozhodla vláda koncem roku 1949). V následujícím období byla pozornost věnována zejména řešení průtokového režimu na stupních umožňujících splavení Labe a na přípravu přehrad Vltavské kaskády. Pro potřeby vodohospodářské výstavby byl vyhodnocen režim unášených splavenin na českých a moravských řekách. Souhrnné výsledky zveřejnil v roce 1978 Ing. Anselm Malíšek.

Výzkum teplotního režimu řek a vodních nádrží se v první fázi zaměřil na měření teploty vody na řadě československých toků a nádrží převážně za přirozených podmínek, později se plně orientoval na problém chlazení tepelných elektráren. Pozornost byla věnována rovněž výzkumu metod pro předpovědi průtoků, pro sezonní režim pomocí výtokových čar z povodí a pro krátkodobé prognózy s využitím průtokové i srážkoměrné sítě.

Současně s uvedenou tematikou probíhal výzkum metod vodohospodářských řešení pro energetické využití vodní energie, ochranu před povodněmi i zásobování vodou v systému nádrží s odstupňovanou a proměnlivou zabezpečeností dodávek. Původní řešení v této oblasti přinesl Ing. Anselm Malíšek a Ing. Jaroslav Urban, CSc. Na klasickou tematiku vodohospodářských řešení nádrží pro kvantitativní nalepšování navazoval výzkum intervenčního hospodaření nádrže. Pro zajištění potřebného množství a hlavně kvality vody v takových úsecích toku, kde se požadované čistoty nedá obvyklými prostředky dosáhnout, zpracoval řešení Ing. Jiří Stránský, CSc. Ten později sestavil a mnohokrát

aplikoval model stacionárního proudění pro stanovení průběhu hladin za n-letých povodní.

Bohatá je historie experimentálních pozorování. Nejstarší specializovaná stanice byla založena Ing. Josefem Rónem v roce 1932 v areálu ústavu a zabývala se kromě běžných hydrometeorologických měření výzkumem výparu. K prvním povodím výzkumného charakteru v ČSR patří sousedící dvojice lesnatého povodí Kychové a bezlesé Zdechovky, založené Dr. Ing. Zdeňkem Válem v roce 1926. V roce 1953 byla zřízena stanice Tišice, kde se prováděl výzkum výparu z vodní hladiny, výzkum evapotranspirace, měření odtoku z uměle postřikovaných ploch aj., a v roce 1957 výparoměrná stanice Hlasivo, kterou lze vzpomenout např. v souvislosti s prací Ing. Jiřího Váši, DrSc.

Experimentální povodí Modrý důl v Krkonoších bylo zřízeno z iniciativy Ing. Jaroslava Martince, CSc., v roce 1958. Cílem výzkumu bylo především vyšetřování sněhového režimu a odtoku ze sněhových zásob. Významným experimentálním povodím provozovaným od roku 1964 je povodí horní Metuje v adršpašsko-teplické oblasti. Bylo vybráno pro řešení ztrátových složek hydrologické bilance se zaměřením na tvorbu podzemních vod, později byla problematika rozšířena na problémy povrchových vod a na řešení srážkoodtokových vztahů. Kromě toho spolupracoval ústav aktivně na zajišťování provozu a výzkumu v reprezentativním povodí Sputky, které bylo v rámci Mezinárodní hydrologické dekády zřízeno Ústavem pro hydrodynamiku ČSAV.

Povodí Žebrakovského potoka, ve kterém byl podrobně zkoumán vliv využití pozemků a vliv odvodnění na kvantitu i kvalitu odtékající vody, se ve spolupráci s Výzkumným ústavem meliorací věnoval doc. RNDr. Václav Zajíček, CSc. V osmdesátých letech bylo pozorováno také povodí Klínového potoka v Krkonošském národním parku, pracovníci ústavu se začali podílet také na rozsáhlém projektu pozorování experimentálních povodí v Jizerských horách, který byl zaměřen na posouzení vlivu odlesnění na hydrologický režim.

Po roce 1990 byla činnost v experimentálních povodích redukována, dosud pokračují jen měření na horní Metuji (základna Bučnice), pozorování na výparoměrné stanici Hlasivo a aktivity v Jizerských horách. Výzkum v oblasti zpracování intenzit srážek jako podkladů pro řešení odtoku z malých povodí a také urbanistické hydrologie, ve které zpracoval řadu významných datových podkladů i studií zejména Ing. Josef Sobota, CSc., byl po roce 1998 v ústavu ukončen.

V devadesátých letech byl hydrologický výzkum nejprve zaměřen na zhodnocení a redukci nepříznivých vlivů antropogenní činnosti na hydrologický režim ve vztahu ke kvalitě vody, zejména v souvislosti s předcházejícím odlesněním Krušných a Jizerských hor a s nebezpečím podstatného zhoršení kvality vody ve vodárenské nádrži Želivka. Tímto povodím se zabývali zejména Ing. Václav Škopek, CSc., Ing. Václav Vojtěch a Ing. Tomáš Just.

Dominantní oblastí výzkumu se pak stala hydrologická bilance, její modelování pro odhad velikosti a průběhu odtoku podzemních vod i pro první odhady dopadu změn klimatu na hydrologický režim. Hydrologický výzkum byl zásluhou Ing. Ladislava Kašpárka, CSc., usměrněn tak, aby jeho výsledky mohly být bezprostředně využity v hydrologické praxi ČHMÚ (progresivní statistické metody zpracování dat, postupy pro odhad pravděpodobných chyb dat, metody výpočtu návrhových extrémních srážek a povodňových vln) i v podnicích Povodí. Šlo zejména o hydrologické studie umožňující navrhnout modernější varianty manipulačních řádů vodních děl, zpracování hydrologických studií konkrétních povodí i celých oblastí, např. Krušných hor, i řešení problematických případů návrhových extrémních povodní.

Ing. Šárka Blažková, DrSc., spolu s týmem hydrauliků a ichtyologů a ve spolupráci s Fish and Wildlife Service USA (dnes USGS), od roku 1994 ověřovala a rozvíjela metody stanovení minimálních ekologických průtoků na základě zkoumání vztahu mezi průtokem a charakteristikami vodního prostředí, které vytvářejí podmínky pro život zvoleného druhu ryb. Další směřování hydrologického výzkumu bylo významně ovlivněno tím, že v roce 1997 zasáhla část území ČR mimořádně velká povodeň. VÚV se podílel na jejím vyhodnocení i na několika následujících projektech, které se povodňovou problematikou zabývaly.

K metodice stanovení extrémních návrhových povodní jako podkladu pro ověřování bezpečnosti přehrad za povodní přispěl ústav vedle vícerozměrných statistických metod i metodikou kombinující stochastický generátor srážek s deterministickým TOPMODELEM, který je dále rozvíjen v různých variantách ve spolupráci s Univerzitou v Lancasteru.

Ústavu bylo svěřeno vyhodnocení další mimořádné povodně v roce 2002 a také velké jarní povodně 2006. Významné jsou též výsledky projektu, který posoudil vliv údočních nádrží na redukci povodní v povodí Labe. Dlouhodobá pozornost byla věnována i opačnému extrémě – minimálním průtokům a výzkumu hydrologického sucha, zejména v rámci mezinárodní spolupráce na projektu FRIEND.

Od roku 1999 byla do výzkumných aktivit zásluhou doc. RNDr. Petra Vlasáka, CSc., začleněna problematika vodohospodářské rekultivace krajiny narušené těžbou uhlí, včetně zatápění zbytkových jam (od roku 2001 Chabařovice). V návaznosti byly řešeny úkoly zaměřené na komplexní posouzení kvality vody (ve vztahu ke kvantitě) v tocích podkrušnohorské oblasti, včetně řeky Bíliny.

Dlouhodobě pokračuje pod vedením Ing. Šárky Blažkové, DrSc., experimentální výzkum v Jizerských horách, zejména s ohledem na vyjádření nejistot v matematickém modelování odtoku z povodí. Od roku 1996 do roku 2011 byl Ing. Šárkou Blažkovou, DrSc. koordinován velký interdisciplinární projekt Labe, za spolupráce několika kooperujících organizací. Řešeny byly související tématicky od biologie v Labi a jeho přítocích a povodí, přes chemii (znečištění z bodových a plošných zdrojů a havárie na tocích) až po problematiku hydrologickou.

Od roku 1992 se hlavním předmětem výzkumu postupně stalo posouzení možných dopadů klimatické změny na hydrologický režim a vodní zdroje. Většina úkolů z této oblasti byla řešena pod vedením Ing. Ladislava Kašpárka, CSc. a později i Ing. Oldřicha Novického. Zde se nejprve kombinovaly výsledky zpracované v rámci Národního klimatického programu ČR s poznatky úkolu financovaného MŽP (2002–2003). V letech 2005–2011 byla tato problematika řešena jako součást výzkumného záměru a také v několika navazujících účelových projektech státem financovaného výzkumu. S využitím takto vytvořeného metodického základu byly následně zpracovány studie, které posoudily možné dopady klimatické změny ve vodohospodářských soustavách podniků Povodí i odhady rizika omezení nejvýznamnějších odběrů vody pro velké vodárenské odběry a pro chlazení stávajících jaderných elektráren i možnosti jejich rozšíření.

Při řešení jsou využívány scénáře klimatické změny a hydrologické modely. Skutečný průběh změn veličin hydrologické bilance se již v letech 2009–2011 projevil v povodí Srpiny, Blšanky, Liboce a Rakovnického potoka extrémním poklesem průtoků. To bylo podnětem k podrobnému posouzení příčin vzniku hydrologického sucha a návrhu opatření zmírňujících jeho dopady. Zejména pilotní studie „Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulační schopnosti v povodí Rakovnického potoka“ ukázala, jaké typy opatření mají v těchto případech význam. Navazující výzkum se pak zaměřil na posouzení časové a plošné variability hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území ČR a na návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody. S těmito úkoly úzce souvisí i příprava podkladů pro inovaci postupů stanovení minimálních zůstatkových průtoků. Zvýšená pozornost byla zaměřena na výzkum adaptačních opatření pro eliminaci dopadu klimatické změny a udržitelné využívání vodních zdrojů v regionech ČR.

V oblasti povodňové ochrany byla zpracována metodika pro změnu N-letých maximálních průtoků vlivem protipovodňových opatření, několik studií vlivu nádrží na povodňový režim a několik návrhových vln pro posouzení bezpečnosti přehrad za extrémních povodní.

Hydrologický výzkum je tradičně mezinárodní činností. Zejména Ing. Jaroslav Urban, CSc., působil jako pedagog i pracovník mezinárodních organizací v řadě asijských zemí. V letech 1965 až 1974 proběhla Mezinárodní hydrologická dekáda, na kterou navázal dlouhodobý Mezinárodní hydrologický program UNESCO. Intenzivní spolupráce na významném projektu FRIEND z tohoto programu probíhá nepřetržitě od roku 1993 v oblasti maximálních srážek a povodní (Ing. Šárka Blažková jako koordinátor této oblasti do roku 2012) i minimálních průtoků (Ing. Ladislav Kašpárek a Ing. Oldřich Novický). V navazujícím projektu Evropské komise ASTHYDA byly v monografii Hydrological drought uplatněny i výsledky výzkumu VÚV, zejména model hydrologické bilance BILAN. Dalšími významnými projekty jsou NEWATER, v jehož rámci byla ve spolupráci s Povodím Ohře, a.s., organizována hra na řízení povodňové situace (Mgr. Marta Martínková, Ing. Šárka Blažková, DrSc.). Dalším projektem 6. rámcového programu EU byl projekt WATCH (Water and Global Change), v němž byly zpracovány i povodňové scénáře na základě vyhodnocení řad o délce 100 tisíc let (pro možnost vyjádření

i velmi nízké pravděpodobnosti výskytu). Na tématu hydrologického podkladu pro posouzení bezpečnosti přehrad za povodní pokračovala Ing. Šárka Blažková, DrSc., ve spolupráci s Universitou v Lancasteru v rámci projektu GAČR a akce COST EU FloodFreq (MŠMT), přičemž je s výhodou využívána metodika mapování nasycených ploch (navržená a prováděná Ing. Alenou Kulasovou). Na základě tohoto mapování lze dosáhnout lepší shody hydrologického modelu se skutečností.

Dlouhodobě je zajišťována agenda spolupráce v oblasti hraničních vod s Polskem, spolupráce se Saskem probíhá aktuálně v rámci úkolu GRACE. Vliv zemědělského znečištění zejména fosforem a dusíkem je předmětem zkoumání v bilaterálním projektu s Universitou v Arkansasu v USA (MŠMT) a v akci COST EuroAgriwat (MŠMT). Tyto projekty jsou řešeny Ing. Alenou Kulasovou a Ing. Šárkou Blažkovou, DrSc.

Hydraulika a hydrotechnika

Ve 20. letech minulého století vyvolala rozsáhlá výstavba vodních děl v Československu potřebu zřízení hydrotechnického ústavu, jehož posláním bylo provádět „výzkumné práce v oboru vodních staveb a užití hydrodynamiky“, včetně výzkumu proudění podzemních vod, vývoje hydrometrických metod a výzkumu v oblasti mechaniky zemin. V roce 1930 tak vznikly Státní výzkumné ústavy hydrologický a hydrotechnický T. G. Masaryka. Organizací hydrotechnického ústavu byl pověřen prof. Dr. Ing. Jan Smetana. V tomtéž roce byla uvedena do provozu budova A se dvěma hydraulickými laboratorii umístěnými ve dvou podlažích nad sebou a s přilehlým tárovacím žlabem. V horní laboratoři byly instalovány hydraulické žlaby pro dvourozměrné modelování, dolní laboratoř byla určena pro trojrozměrné modely. Prvními vědeckými pracovníky v hydraulickém výzkumu byli vedle Jana Smetany Ing. František Kovářik, Dr. Ing. Václav Jelen, Ing. Karel Pirner a Dr. Ing. Ladislav Lískovec. V hydraulické laboratoři zahájil svou výzkumnou činnost i zakladatel československé školy mechaniky zemin prof. Dr. Ing. Alois Myslivec.

V prvním období třicátých a počátku čtyřicátých let byl v hydraulických laboratorních ústavu prováděn modelový výzkum všech významných vodních staveb připravovaných tehdy k výstavbě. Byl to zejména výzkum jezu na Labi v Srnojedech, přehrad na Blanicích u Husince a na Teplé u Karlových Varů, vodních děl Pastviny na Divoké Orlici a Seče na Chrudimce a také regulačních úprav řek Otavy v Písku, Váhu v Piešťanech a Ostravice u Ostravy. Rozsáhlý modelový výzkum byl proveden pro vodní dílo Vrané nad Vltavou a pro vodní dílo Štěchovice s elektrárnou a plavební komorou, jejíž plnění a prázdnění vyřešil originálním způsobem prof. Dr. Ing. Jaroslav Čábelka, CSc. Pro potřeby rekonstrukce labských vodních děl byl realizován příslušný hydrotechnický výzkum jezů, plavebních komor a vodních elektráren ve Velkém Oseku, v Brandýse n. L., Kostelci n. L., Poděbradech a v Hradci Králové.

Výzkum konkrétních vodních děl se odrazil i v dodnes uznávaných teoretických studiích a původních konstrukčních řešeních, z nichž lze uvést zejména studie tvaru přelivných ploch přehrad a dimenzování vývarů prof. J. Smetany a návrh vtoku do tlakových potrubí Dr. Ing. L. Lískovce. Profesor Čábelka navrhl optimální řešení nízkotlaké vodní elektrárny při jezech a originální poklopová vrata, použitá na řadě plavebních komor labsko-vltavské vodní cesty.

Období po osvobození republiky bylo spojeno s mohutným rozmachem vodního stavitelství a hydroenergetiky, což vedlo k velkému rozvoji hydrotechnického výzkumu a podstatnému zvýšení jeho kapacity. V letech 1948–1950 byla v ústavu vybudována velká hydraulická laboratoř s experimentálním zařízením pro výzkum hydraulického rázu a významně se zvýšil počet pracovníků oboru. Výzkum byl zaměřen především na problémy související s výstavbou velkých vodních děl a s dostavbou labsko-vltavské vodní cesty. Mezi stěžejní patřily výzkumy vodních děl Vltavské kaskády Slapy, Orlický, Kamýk a Lipno, realizované pod vedením prof. Dr. Ing. Jaroslava Čábelky, DrSc., Dr. Ing. Ladislava Lískovce a Ing. Petra Hořeního, CSc., jakož i výzkumy některých dalších vodních děl v Čechách, na Moravě a na Slovensku.

Po dokončení výstavby Vltavské kaskády prováděl výzkumy povodňových a průlomových vln na rozsáhlém hydraulickém modelu celé kaskády prof. Dr. Ing. Pavel Novák, DrSc., který se kromě toho věnoval výzkumu říčních tratí, prováděl základní výzkum měření splavenin, jehož účinnost prověřil ve velkém pokusném žlabu, vedl komplexní výzkum hydrauliky podjezí vodních děl a výrazně přispěl ke zdokonalení teorie modelové podobnosti.

Pro potřeby výzkumu bylo zřízeno elektrotechnické oddělení, jehož vedením byl pověřen Ing. Věkoslav Sotorník, CSc. Toto pracoviště zajišťovalo měřicí techniku pro veškerý výzkum včetně vývoje některých měřicích zařízení, jako mikrokřidel, odporových sond, optického sledování rychlosti vozíků v tárovacím žlabu apod. Měření v přírodě a na vybudovaných vodních dílech zajišťovala pracovní skupina vedená Ing. Ladislavem Kutíšem a později Ing. Františkem Bumbou, která především prováděla garanční měření na vodních, tepelných a jaderných elektrárnách.

Na sklonku padesátých let, kdy skončilo období výstavby hydroenergetických děl, se pozornost výzkumných pracovníků postupně přesouvala k modelovému výzkumu vodních děl pro zásobování vodou – Fláje, Křimov, Hracholusky, Jirkov, Jesenice aj. Pod vedením prof. Ing. Karla Haindla, DrSc., byl řešen výzkum vodního díla Želivka, zejména jeho šachtového přelivu a štolového přivaděče, v němž byl zkoumán vliv drsnosti stěn. Dále byl uskutečněn výzkum odpadní štol vodního díla Nechanice na Ohři, výpusti vodního díla Stanovice a komplexní výzkum vodních děl Hněvkovice a Kořensko. Na těchto výzkumech se podíleli prof. Ing. Karel Haindl, DrSc., Ing. Tomáš Nachtmann, Ing. Miroslav Vlček, CSc., a doc. Ing. Aleš Havlík, CSc. Pro potřeby hlavního města Prahy provedli modelový výzkum ukládání kmenové stoky přes Vltavu v Praze u Železničního mostu a modelový výzkum vjezdu do přístavu Praha-Radotín Ing. Ludvík Doležal, CSc., Ing. Josef Libý, CSc., a doc. Ing. Jaroslav Skalička, CSc.

Ve stejném období se hydraulický výzkum začal zaměřovat pod vedením Ing. Jiřího Burdycha rovněž na zdravotně-vodohospodářské stavby a později i na problematiku šíření cizorodých látek v tocích. Výsledky výzkumu přispěly k racionálním návrhům usazovacích a dosazovacích nádrží čistíren odpadních vod a u již provozovaných čistíren ke zvýšení jejich kapacity a účinnosti.

Výzkumem v oblasti průmyslové hydrauliky se zabýval prof. Ing. Karel Haindl, DrSc. a to pro nejrůznější odvětví národního hospodářství. K jeho rozsáhlým pracím z této oblasti patřilo studium vodních rázů a metod protirázové ochrany potrubí a sítí, výzkum proudění vody v potrubí či výzkum úprav odběrných objektů průmyslové vody z toků. Soustavná pozornost byla věnována také posuzování dynamického namáhání trubních systémů technologického zařízení vodních děl prouděním vody, zejména rezonanci vodního sloupce v potrubí, která byla v řadě případů příčinou závažných havárií (Ing. Věkoslav Sotorník, CSc., doc. Ing. Jaroslav Skalička, CSc., Ing. Daniel Mattas, CSc.).

Potřebám praxe vycházel vstříc hydraulický výzkum stavební části čerpacích stanic. Systematický výzkum hydrauliky sací jímky s vertikálním čerpadlem, prováděný Ing. Petrem Hořením, CSc., umožnil uspokojit požadavky provozních organizací na vysoké odborné úrovni. Mezi méně obvyklé, ale velmi úspěšně řešené úkoly, patřil výzkum prvků rozvodového systému chladicích věží pro Jadernou elektrárnu Temelín, uskutečněný doc. Ing. Jaroslavem Skaličkou, CSc.

Rovněž rozvoj vodní dopravy v sedmdesátých a osmdesátých letech našel odezvu v hydrotechnickém výzkumu. Ing. Ludvík Doležal, CSc., Ing. Josef Libý, CSc. a Ing. Petr Jiřínek se zaměřili především na plavební objekty, dispoziční řešení plavebních stupňů a zimní provoz vodních cest. K rozsáhlejší práci patřila studie proudových poměrů v horní rejdě zdymadla Klavary, kde výzkum na aerodynamickém modelu umožnil navrhnout účinná opatření, která byla následně ověřena na hydraulickém modelu.

Koncem sedmdesátých let byla vybudována aerodynamická laboratoř pro zkoumání hydrodynamických jevů na vzduchových modelech. O její vznik a počáteční rozvoj se zasloužil především Ing. Zdeněk Thomas, DrSc., její další vývoj zajistil hlavně doc. Ing. Jaroslav Skalička, CSc., který hlouběji propracoval experimentální metodu aerodynamické analogie a začal používat měřicí metody žárové anemometrie pro stanovení rozdělení rychlostí a metody vizualizace proudění. Vzduchové modely se efektivně využívají především při přípravě výzkumu dispozičních řešení víceúčelových vodních děl, kdy na nich lze vybrat z celé řady variant nejvhodnější řešení, které se pak podrobně zkoumá na hydraulickém modelu. Ing. Ludvík Doležal, CSc., s Ing. Josefem Libým, CSc., řešili na aerodynamických modelech některé problémy zlepšení plavebních podmínek na středním Labi, např. úpravy plavebních stupňů Kostelec nad Labem, Veletov a dalších.

Od sedmdesátých let řešilo hydraulické pracoviště i úkoly základního výzkumu, které měly bezprostřední vazbu na požadavky praxe. Jedním

z nich byl výzkum dvoufázového proudění směsi kapalin a plynů. Cílem bylo rozšířit znalost zákonitostí dvoufázového proudění v jeho základních formách, poznat mechanismus směřování a nabírání plynné složky vodou, včetně vypracování metod pro účelné technické užití. Řešitelský tým pod vedením prof. K. Haindl dosáhl významných teoretických poznatků, jež byly uplatněny v technologii čištění odpadních vod a úpravy vody, v konstrukci objektů pro tlumení energie a pro převádění vody, v zařízeních pro mísení kapalin apod.

Ing. Petr Hoření, CSc., pracoval na popisu rozpadu volného vodního paprsku, rázových jevů a na návrhu přečerpávací vodní elektrárny a nádrže u Hříměždic na Vltavě. Rovněž modelově řešil úpravy stavebních částí čerpacích stanic. Později pracoval na hydraulickém modelování teplotních jevů v nádrži Orlik v souvislosti s výstavbou Jaderné elektrárny Temelín. Ing. Zdeněk Thomas, DrSc., se zabýval obecně mechanickou podobností při proudění v potrubí a otevřených korytech, řešil obtékání mostních pilířů a tvoření výmolů kolem nich. Ludvík Doležal se zaměřil na řešení případů zvláštních jezových konstrukcí a všeobecně plavebně hydraulickou problematiku labských stupňů. Ing. Miroslav Vlček, CSc., provedl modelový výzkum lodního výtahu pro třístunové lodě pro vodní dílo Orlik a výzkum jednotlivých objektů přehrady Hněvkovice. Ing. Josef Libý, CSc., se věnoval problematice drsnosti s aplikací na vodárenský přivaděč ze Želivky do Prahy.

V období od padesátých do osmdesátých let řešil ústav řadu velkých zahraničních úkolů. Byl to např. výzkum vodního díla Bicaz v Rumunsku, úprava vtoku pro velkou čerpací stanici Guelma v Alžírě, výzkum vodního díla Basra s vodní cestou Third River v Iráku, dále výzkum funkčních objektů přečerpávací elektrárny Centro na Kubě, výzkum vodních děl Hemang a Tannoso v Ghaně a Uda-Wallave na Cejlonu. Na těchto výzkumech se podíleli p. t. Pavel Novák, Karel Haindl, Ludvík Doležal, Josef Libý, Miroslav Vlček a Petr Jiřinec. O vysoké úrovni realizovaných výzkumů svědčí uznání, kterého se našim odborníkům v zahraničí dostalo.

Od počátku osmdesátých let nastala éra využívání metod matematického modelování, převážně v oblasti hydrauliky otevřených koryt. Nejprve byl vyvinut model pro vyšetřování průběhů hladin při povodních v okolí urbanizovaných úseků toků a liniových staveb. Dnes je efektivně využívána kombinace výzkumu na hydraulických modelech s 1D, 2D a 3D matematickým modelováním zkoumaných jevů při řešení řady problémů inženýrské praxe.

V tomto období se ústav začal zabývat pod vedením Ing. Václava Matouška, DrSc., problematikou teplotního a ledového režimu vodních toků a nádrží. Vedle matematicky formulovaných podmínek vzniku jednotlivých procesů a jevů byly výsledkem řešení prognostické modely, umožňující předpovídat teplotu vody a průběh ledových jevů ve vodních tocích. Získané poznatky umožnily řešit řadu problémů souvisejících s ochranou před ledovými povodněmi, zimním provozem odběrných objektů vody a zkrácením plavebních přestávek způsobených ledem.

V rámci úkolů základního výzkumu zkoumal Ing. Miroslav Rudiš, DrSc., dynamiku neizotermních nádrží jako podkladu pro odhad šíření znečištění. Výzkumem na fyzikálním modelu stanovil vliv složky součinitele difuze mezi různě teplými vrstvami vody za působení větru. Použití metod vizualizace pomocí laserového nože umožnily okamžité sledování koncentrace v řadě praktických aplikací, mezi jiným pro okamžité kontinuální měření koncentrace čerpaného elektrárenského popílku při stanovování bezpečných metod likvidace dočasných úložišť u velkých tepelných elektráren.

V devadesátých letech se stal ústav nositelem multioborového Projektu Labe, jehož vedením je pověřena Ing. Šárka Blažková, DrSc. Projekt je zaměřen na snižování znečištění toku českého Labe a jeho povodí včetně návrhů na revitalizaci některých částí údolní nivy. V rámci tohoto projektu se Ing. Miroslav Rudiš, DrSc., a Ing. Daniel Mattas, CSc. zabývali energetickým zhodnocením účinků plavby na kyslíkovou bilanci jezových zdřezí a přirozených úseků a pasportizací všech sedimentů v labských zdřezích i v přirozeně tekoucích úsecích toku včetně jejich množství a kvality.

Od roku 1997 do roku 2002 se Josef Libý zabýval problematikou zlepšení plavebních podmínek v úseku Střekov – státní hranice ČR/SRN, a to výzkumem vodních děl Malé Březno a Prostřední Žleb na velkých hydraulických modelech. Přípravný výzkum této problematiky na aerodynamických modelech zajišťovala Ing. Ivana Bémová, později Ing. Petr Bouška, Ph.D., provedl výzkum dlouhých obtoků plavebních komor

Prostřední Žleb a Malé Březno na aerodynamickém modelu. V rámci stejného investičního záměru byl realizován v letech 2002 až 2007 pod vedením prof. Ing. Pavla Gabriela, DrSc., komplexní hydraulický výzkum plavebního stupně Děčín. Od roku 2008 je prováděn výzkum variantního řešení tohoto plavebního stupně zahrnujícího nově navrhovaný rozsáhlý biokoridor.

V období 2000 až 2003 se Ing. Ivana Bémová zabývala aplikací rozhodčích metod pro měření průtoku. Na tuto problematiku navázal Ing. Zdeněk Bagal, který se zabývá problematikou přesnosti kvalitativních parametrů hydrosféry. V rámci tohoto projektu zkonstruoval snímač výšky hladiny kapaliny, na který byl vydán Úřadem průmyslového vlastnictví užitečný vzor.

Po katastrofálních povodních v letech 1997 a 2002 se ústav zabýval řešením účinků povodní v různých místních podmínkách metodami fyzikálního a matematického modelování. Od roku 2006 do roku 2008 se Ing. Petr Bouška, Ph.D., prof. Ing. Pavel Gabriel, DrSc., a Ing. Pavel Balvín zabývali komplexním hydrotechnickým výzkumem ochrany mostních objektů proti jejich destrukci vlivem povodňových událostí.

V roce 2007 byla v rámci projektu Labe navázána Ing. Šárkou Blažkovou DrSc. a Ing. Pavlem Balvínem úzká spolupráce s Federálním hydrologickým ústavem v Koblenzi v Německu ohledně problematiky matematického modelování nutrientů. Tato spolupráce dále pokračovala pod Ing. Pavlem Balvínem v letech 2010 až 2014, ovšem již s povodňovou tematikou na projektu posouzení českých a durynských přehrad při povodních na Vltavě a Labi v České republice a Německu matematickým říčním modelem a dále projektu homogenizace časových řad na Labi.

V letech 2011 až 2014 řešili Ing. Petr Bouška Ph.D. a Ing. Miroslava Benešová v rámci projektu GAČR hodnocení nebezpečí vzniku sesuvu a povodní z ledovcových jezer v oblasti Cordillera Blanca v Peru. Od roku 2011 do roku 2014 řešili Ing. Alena Kulasová a Ing. Zdeněk Bagal v rámci projektů Technologické agentury České Republiky projekt: "Přístroj na kontinuální měření vodní hodnoty sněhu"

V reakci na stále častější povodňové události s extrémními kulminačními průtoky došlo ke změně legislativy, a tím ke zvýšení požadovaného zabezpečení vodních děl proti povodním. Z toho důvodu proběhl ve Výzkumném ústavu v roce 2011 hydraulický výzkum vodního díla Suchomasty a v roce 2013 výzkum vodního díla Hněvkovice. V obou případech se prof. Ing. Pavel Gabriel, DrSc., Ing. Ondřej Motl a Ing. Ján Šepelák věnovali ověření a optimalizaci navržených úprav vodních děl pro splnění zvýšených požadavků na jejich bezpečnost při povodních.

V roce 2014 Ing. Ondřej Motl a Ing. Ján Šepelák zabývali optimalizací návrhu odlehčovací šachty na hydraulickém modelu v rámci projektu odvodnění letiště Praha-Ruzyně.

Ochrana podzemních vod a hydrogeologie

Obor podzemních vod se začal uplatňovat v náplni činnosti ústavu již brzy po jeho založení. Prvním výrazným projevem bylo zahájení edice „Podzemní vody a prameny“, která byla koncipována podle listů speciální mapy 1 : 75 000 a soustředila se na území české křídly. Měla charakter převážně hydrografický – dokumentovala výskyt pramenů jako přirozených vývěrů podzemních vod, obsahovala však kromě místopisu také popis přírodních podmínek pro jejich vznik, přímé zaměření vydatnosti a základní kvalitativní ukazatele. V letech 1934–1938 bylo zpracováno a vydáno pět listů. Tato edice je spojena především se jménem Ing. Františka Podvockého, který byl autorem koncepce edice a většiny listů i publikace mapující výsledky výzkumu podzemních vod za období 1928 až 1935. Tato publikace poskytuje již jinak nenahraditelné údaje z neovlivněného období. Po válce navázalo další pokračování, většinou pod redakcí Ing. Bedřicha Filipa – v období 1951 až 1969 bylo zpracováno a vydáno v rámci ediční řady VÚV Práce a studie dalších devět listů. Tím byla edice ukončena.

Činnost oboru se postupně zaměřila především na výzkum vztahu podzemních a povrchových vod. Od 50. let minulého století se prováděla soustavná měření průtoků na vybraných povrchových tocích a byly vyvinuty metody hodnocení podílu odvodňování podzemních vod na tvorbě celkového odtoku. Tento podíl byl vyhodnocen v rozmezí 40 až 60 procent celkového odtoku, byl lokalizován a stanoven i jeho dlouhodobý režim. Metoda „PPP“ (podélný profil průtoků), je dodnes používána jako standardní postup pro hodnocení interakce podzemních a povrchových vod. Vznik a vývoj tohoto odvětví je spjat s působením Ing. RNDr. Františka Slepíčky, který jednak položil teoretické i praktické

základy pro jeho uplatnění, jednak vychoval celou řadu těch, kteří se zabývají dalšími aplikacemi.

Snaha o komplexní přístup při hodnocení významu podzemních vod nejen z hlediska jejich využívání nebo ochrany před škodlivými účinky, ale i z hlediska jejich významu jako složky ekosystémů přinesl ve svých pracích doc. RNDr. Václav Zajíček, CSc. V ústavu se podílel na řadě prací od návrhu pozorovací sítě podzemních vod na Žitném ostrově, přes řešení podmínek odběrů v mnoha vodárenských oblastech až po návrhy řešení celkových vodohospodářských poměrů dílčích územních celků.

Potřeba ověření výsledků v rámci nutného souladu a vzájemného se doplňování teoretického a experimentálního výzkumu vedla v roce 1964 k založení výzkumného povodí v adršpašsko- teplické struktuře pod vedením RNDr. Miroslava Svobody a Ing. Karla Klinera, CSc. Z výsledků terénních měření vzešla řada doplnění a upřesnění jak pro praktickou hydrogeologii, tak pro hydrologické metody hodnocení přírodních zdrojů podzemních vod. Na přelomu šedesátých let byl Klinerův přístup zpracování chronologické hydrologické bilance prvním postupem tohoto typu důsledně zahrnujícím všechny bilanční složky. Jeho aplikace v ČR se stala základem pro programy matematických bilančních modelů. Rozvoj materiálního vybavení povodí umožnil jeho další využívání pro všechny oblasti hydrologie.

Souběžně byly Ing. Miroslavem Kněžkem, CSc., a Ing. Břetislavem Jedličkou, CSc., řešeny i styčné úkoly hydrologie a hydrauliky podzemních vod převážně zaměřené na vodárenské využívání. Byl to především návrh koncepčního uspořádání umělé infiltrace v oblasti káranské vodárny, následný výzkum kolmatace vsakovacích nádrží, výzkum břehové kolmatace a jejího ovlivňování režimu poříčních podzemních vod. Specifickým zaměřením bylo hydrologické hodnocení možných změn režimu podzemní vody v důsledku výstavby tras pražského metra.

Od 50. let minulého století byly podzemní vody i náplní činnosti rozvojové organizace odvětví vodního hospodářství, původně určené pro sestavení Státního vodohospodářského plánu (SVP). V rámci její činnosti byly vytvořeny základy pro soustavnou evidenci odběrů podzemních vod, vedenou od roku 1968–1969, bilanci podzemních vod a spoluúčast na založení specializované části dokumentačního fondu (Geofond, Hydrofond) a subkomise pro podzemní vody v Komisi pro klasifikaci zásob (KKZ). Součástí činnosti byl hydrogeologický průzkum vodohospodářsky perspektivních oblastí zdrojů podzemních vod. Do rozsahu tohoto průzkumu patřily zejména akce: Polická pánev, Vysokomýtská synklinála, Loučná, povodí pravobřežních přítoků středního Labe, Ploučnice a Kamenice, Třeboňská pánev, kvartérní uložení řeky Moravy aj. Dokumentace průzkumu zůstala zachována i po povodni 2002 a obsahuje cca 400 archivních položek. Zároveň bylo toto pracoviště aktivním účastníkem programu regionálního hydrogeologického průzkumu v období let 1966 až 1990.

V roce 1976 bylo rozvojové pracoviště podniku Vodohospodářský rozvoj a výstavba začleněno do VÚV. Tímto krokem byl ústav rozšířen o řadu pracovníků s výrazným přínosem pro obor (Ing. Miroslav Olmer, RNDr. Zdeněk Anton, RNDr. Karel Růžička). Osobitým přínosem tohoto pracoviště pod vedením Ing. Miroslava Olmera byla jednak aplikace metody stanovení základního odtoku v regionálním měřítku území povodí Labe, Moravy a Odry (později využitá pro sestavení Mapy základního odtoku podzemních vod na území Československa, ČHMÚ, Praha 1982), jednak vytvoření systému členění územních jednotek pro průzkum, bilanci, hodnocení a evidenci zdrojů podzemních vod – hydrogeologická rajonizace. První rajonizace vznikla v roce 1965 pro území Československa spolu s hydrogeologickou mapou v měřítku 1 : 500 000. Od té doby probíhá její postupná aktualizace (1966: Hydrogeologická mapa, Rajony podzemních vod – Kartografické nakladatelství a Ředitelství vodních toků, Praha; 1974–76: Hydrogeologická mapa SVP s bilanční přílohou, Kartografie a VRV, Praha; 1987: SVP, Hydrogeologická rajonizace – ČÚGK a VÚV; 2005: Hydrogeologická rajonizace České republiky – ČGS a HEIS VÚV TGM).

Pro regionální hydrogeologické průzkumy stanovující přírodní zdroje podzemních vod a jejich využitelné množství v kategoriích A, B, C1 a C2 byl VÚV investorem finančních prostředků. Regionální hydrogeologický průzkum byl ukončen po roce 1985 a jeho výsledky byly ve VÚV využity pro další práce, nyní již převážně výzkumného charakteru. Byla řešena problematika interakce povrchových a podzemních vod v povodí Obrtky a Úštěckého potoka, v jihočeských pánvích, ochrana a využití podzemních a povrchových vod při výstavbě a následném provozu JE

Temelín. Výsledky regionálního hydrogeologického průzkumu Polické křídové pánve a následné využívání zdrojů podzemní vody daly v roce 1976 podnět k vytvoření společné česko-polské skupiny expertů hydrologů a hydrogeologů pro řešení problematiky hraničních podzemních vod v tomto regionu. Za VÚV je dlouhodobě členem této skupiny expertů RNDr. Jaroslava Procházková.

V roce 1992 došlo k fyzickému přestěhování rozvojového pracoviště do Podbabý a bylo vytvořeno společné oddělení podzemních vod, které bylo později začleněno do sekce hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie. Pod vedením RNDr. Petra Kubaly a později RNDr. Hany Prchalové se toto oddělení podílelo na tvorbě nového zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, a to implementací komunitární legislativy, zejména Rámcové směrnice pro vodní politiku 2000/60 ES a její dceřinné směrnice č. 2006/118/ES o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu. Tyto práce pokračují v současné době pod vedením RNDr. Hany Prchalové společně s aplikací metodických postupů na národní úrovni (bilance současného a výhledového stavu množství a jakosti podzemních vod, tvorba plánů oblasti povodí). Vývojem metodik a nástrojů pro vymezování zranitelných oblastí a plněním požadavků nitrátové směrnice 91/676/EHS se dlouhodobě zabývá Ing. Anna Hrabánková. Spolu s RNDr. Josefem V. Datlem, Ph.D. v roce 2012 řešili také problematiku vymezení zranitelných oblastí v Chorvatsku. Oddělení se rovněž podílí na řešení ochrany a integrovaného managementu podzemních vod v zahraničí například v Gruzii, na Ukrajině, Rusku (doc. RNDr. Zbyněk Hrkál, CSc., RNDr. Josef V. Datel, Ph.D.) nebo v rámci projektu UNDP v Kyrgyzstánu (doc. RNDr. Zbyněk Hrkál, CSc.). Nejvýznamnějšími aktivitami oddělení v posledních letech bylo hodnocení perspektivnosti území České republiky z hlediska možnosti rozvoje umělé infiltrace a dále zpracování hydrogeologické část zahrnující oblast III České křídové pánve v rámci projektu Rebilance podzemních vod ČR. Tato činnost obsahuje sled a řízení všech hydrogeologických technických prací a vyhodnocení celkové bilance.

V lednu 2005 vzniklo samostatné oddělení hydrogeologie a ekologických zátěží vedené Mgr. Pavlem Eckhardtem. Hlavní náplní činnosti oddělení se stal výzkum v oblastech aplikované hydrogeologie a v problematice ekologických zátěží. Pozornost je věnována vlivu starých vrtů na režim a kvalitu podzemních vod, odborné činnosti v pracovních skupinách hraničních vod v oboru podzemních vod, výzkumu vlivu významných ekologických zátěží na tok Labe, problematice ekologických zátěží s PCB a problematice vsakování odpadních vod do horninového prostředí. V posledních letech byl zintenzivněn výzkum na podzemních hraničních vodách se Saskem v rámci projektu GRACE.

Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí (ČKSVV)

Historie kalibrací hydrometrických přístrojů se v ústavu se datuje od okamžiku otevření nové budovy tehdy Státního výzkumného ústavu hydrotechnického v Praze-Podbabě vedle trojského plavebního kanálu roku 1930. Od té doby až dodnes je kalibrace hydrometrických vrtulí a dalších obdobných přístrojů stabilní činností, kterou ústav poskytuje svým zákazníkům.

Zde je na místě zmínit, že vůbec první kalibrační trať v moderním provedení vybudoval prof. Dr. Ing. Rudolf Harlacher roku 1875 v pražském vltavském přístavu. Trať měla 80 m dlouhou kolejovou dráhu, po níž pojížděl vozík s ručním pohonem. Až roku 1896 byly uvedeny do provozu kalibrační stanice ve Vídni a v Bernu, vybavené speciálními žlaby. Ve Vídni byly také až do zahájení provozu naší kalibrační stanice kalibrovány vrtule používané u nás.

Základním prvkem kalibrační laboratoře je velký hydraulický žlab o šířce 2,5 m a celkové využitelné délce 152,5 m s hloubkou vody 1,8 m (jeden z největších v Evropě). Byl vybudován a předán do provozu v roce 1930. Žlab je napájen vodou z Vltavy, stálou hladinu zajišťuje oboustranný přeliv ve vtokové části a je možné jej uzavřít stavidly, takže voda v něm je zcela klidná. Po stranách žlabu jsou osazeny přímé vodorovné kolejnice, po nichž pojíždí vlečný vozík určený pro kalibrace vrtulí, ale dovolující i vlečení dalších těles v klidné vodě, např. pro stanovení hydrodynamických odporů lodí apod. Pro kalibrace vrtulí se využívá jen střední část žlabu v délce cca 100 m. Žlab (resp. jeho stavební část) se během let od doby výstavby téměř nezměnil, měnilo se však, a to i dosti radikálně, technické vybavení, zejména vozík a zařízení pro sběr dat.

Původní vozík, vyrobený firmou Českomoravská-Kolben-Daněk roku 1930, měl elektrický pohon s regulací rychlosti mechanickou dvoustup-

ňovou převodovkou a regulací obrátek motoru Ward-Leonardovým soustrojím. Rozmezí rychlostí pojezdu vozíku bylo 0,02–6,0 m.s⁻¹. Snímání dráhy bylo zajištěno mechanicky – ve stojně levé kolejnice byly osazeny železné válečky o rozteči 5 m, na které naráželo pružné pero. Registračním zařízením byl tříkanálový chronograf, zaznamenávající na papírový pás impulzy registrující projektor dráhu, čas ve vteřinách a počet obrátek, resp. impulzů hydrometrické vrtule.

Tento první vozík byl roku 1962 nahrazen modernějším vozíkem německé firmy Kempf- Römmer. Systém řízení rychlosti i její rozsah byl shodný s vozíkem původním. V druhé polovině 60. let doznalo zásadní změny i záznamové zařízení – původní chronograf s mechanickým snímáním dráhy byl nahrazen elektronickou aparaturou, vyvinutou ve VÚV Ing. Věkoslavem Sotorníkem, CSc. (čs. patent č. 127621). Aparatura umožňovala současný sběr dat ze tří vrtulí. Základním přínosem systému byla, kromě výrazného zjednodušení vyhodnocení dat, možnost předvolby počtu impulzů vrtule a určení kalibrační dráhy pomocí dlouhého kovového pásu s otvory po 0,05 m s optoelektronickým snímáním. Tento systém se natolik osvědčil, že je používán dodnes. Počítadla otáček i počítadlo impulzů dráhy byla elektromechanická, časovou základnu představovaly krystalové křemenné hodiny s časovým rozlišením 0,01 s. Přenos dat z vozíku do velínu umístěného vedle žlabu (zařízení bylo dosti objemné a k správnému a bezporuchovému provozu vyžadovalo přiměřenou teplotu a vlhkost) byl realizován bezdrátově vysílačem o malém výkonu.

Během doby elektronika dosloužila. Zařízení Ing. Věkoslava Sotorníka, CSc., značně překročilo svoji životnost, což se projevovalo častými poruchami zejména počítadel, takže bylo nutno přistoupit k radikálnímu řešení situace. V oddělení měřicí techniky a elektroniky VÚV v roce 1986 vypracoval Ing. Josef Zaujec pod vedením Ing. RNDr. Pavla Čížka, CSc., návrh a v roce 1987 postavil a uvedl do provozu nové zařízení na bázi průmyslového osmibitového počítače SAPI-1. Zařízení se osvědčilo a během doby byl tento prototyp až do tragické smrti jeho autora průběžně zlepšován. Stále však zůstával problém zpracování kalibračních dat, která se musela opisovat z televizního přijímače sloužícího jako monitor a zpočátku se dále vyhodnocovala semigraficky.

S nástupem počítačů třídy PC bylo roku 1991, již za vedení Ing. Libuše Ramešové, uvedeno do chodu automatizované zpracování dat. Program vypracoval Ing. Pavel Šnederfler. To sice bylo výrazným pokrokem proti dříve používanému graficko-početnímu vyhodnocení kalibračních rovnic, ale přenosem dat z monitoru zařízení do formuláře a z formuláře do počítače narůstalo nebezpečí vzniku chyb, nehledě na nízkou efektivitu.

Také vlečný vozík posléze dosáhl stavu, kdy již bylo značně obtížné jej udržovat v provozu, a kromě toho elektronické zařízení na bázi SAPI-1 s rozvojem výpočetní techniky rychle morálně zastaralo. Proto se začalo uvažovat o komplexní inovaci celého zařízení kalibrační stanice. Ta měla zahrnovat nový vozík, již s digitálním řízením, a automatizovaný sběr dat s návazným vyhodnocením kalibračních rovnic. V roce 1995 se podařilo zajistit finanční prostředky pro rekonstrukci technického vybavení a byl zpracován ideový návrh řešení. Projekt nového vozíku a jeho výrobu včetně systému pro řízení a sběr dat a jejich přenos do centrálního velínu zajistila firma DICON, a.s. Tento vozík bylo možné ovládat nejen přímo, ale i dálkově z velínu. Přenos dat mezi vozíkem a velínem byl řešen optoelektronicky – IČ prvky. Zákaznický software pro automatizované zpracování dat připravila firma Hardware Software. V prosinci roku 1996 byl vozík nainstalován a po úspěšném odzkoušení bylo celé zařízení uvedeno do pravidelného provozu v únoru 1997. Vzhledem k tomu, že parametry zařízení dosahovaly špičkové úrovně, žádal VÚV v roce

1997 ČIA, o.p.s., o akreditaci jako kalibrační laboratoř. Téhož roku byla ČKSUV úspěšně akreditována pod číslem laboratoře 2278.

V srpnu roku 2002 byl ústav postižen katastrofální povodní, která měla za následek devastaci veškerých prostor i zařízení kalibrační stanice. Vlastní žlab sice povodeň přestál bez vážnějších škod, ale veškeré vybavení bylo úplně zničeno. Nový vozík, a to ve zlepšené verzi s příslušnou elektronikou pro řízení provozu a sběr dat, dodala opět firma DICON, a.s. Spojení vozíku s velínem je nyní řešeno pomocí WiFi LAN. Protože v rámci stavebních úprav žlabu došlo i k přesunu velínu o poschodí výše (nad úroveň hladiny 100leté povodně), byl žlab vybaven kamerovým systémem, dovolujícím vizuální kontrolu při automatickém bezobslužném provozu. Nový systém byl po úspěšných zkouškách uveden do provozu v lednu 2005. V rámci stavebních úprav prostor žlabu byla též provedena opatření dovolující v případě vyhlášení povodňového nebezpečí evakuaci vozíku z prostoru žlabu na bezpečné místo. V prosinci roku 2006 byla provedena generální oprava kolejové dráhy vozíku včetně rektifikace a přebroušení kolejnic. Kalibrační žlab je možno využívat i pro další pokusné činnosti – v roce 2008 zde byl např. realizován výzkum ČVUT v Praze zaměřený na analýzu povodňového rizika pro osoby pohybující se v záplavovém území.

Kalibrace vodoměrných vrtulí je prováděna v souladu s ČSN ISO 3455 z roku 1993 (nová verze ISO 3455 :2007 nebyla doposud zavedena do ČSN). Vodoměrné vrtule jsou upevněny na tyči nebo na laně se závažím 5 – 100 kg tak, jak se používají při měření v přírodě. Kalibrační vozík může poježdět v rozsahu rychlostí 0,02–7,00 m.s⁻¹ a dle výše uvedené normy a ve stejném rozsahu rychlostí lze kalibrovat i atypická elektromagnetická měřidla průtoku, pro která máme vypracované metodiky. Norma 3455:2007 se v rozšířené míře zabývá právě kalibrací elektromagnetických měřidel.

Norma v kap. 7.2 stanovuje požadavky, které má splnit kalibrační laboratoř, avšak hovoří i o podmínkách a situacích dávajících vznik nutnosti rekalkibrace měřidla, což je podstatné a zásadní z hlediska uživatele.

Lze konstatovat, že jak z ISO 3455:2007 tak i z našich zkušeností vyplývá zcela jednoznačný závěr: jakékoliv měřidlo, s nímž se má měřit přesně, musí být pravidelně kalibrováno. Měřidlo bez kalibrace může dávat hodnoty dosti vychýlené a výsledek takového měření může být od skutečné hodnoty značně vzdálen.

V červnu 2013 ústav opět postihla povodeň, která zaplavila kompletně technologické zařízení stanice, které bylo následně opraveno a zprovozněno do stavu, který byl před povodní. Vlastní kalibrační vozík nebyl totálně zničen jako při minulé povodni, protože byl evakuován na střeše kotelny. Po povodni a opravách byly prověřeny předepsané metrologické návaznosti a při mimořádné návštěvě akreditačního orgánu předloženy výsledky, aby mohla být prováděna kalibrace dle všech akreditačních požadavků.

V současné době se na nás obrátili zákazníci z Kanady, kteří požadují kalibraci vodoměrných vrtulí při různých teplotách vody, což naše stanice jako jediná může splnit, protože kalibrační žlab je napájen vodou z plavebního kanálu a tudíž i teplota vody v kalibračním žlabu se pohybuje v rozmezí 0,2–21 stupňů.

Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí je unikátní a jediné zařízení v České republice, které je schopné kalibraci vodoměrných vrtulí provádět. Její činnost je nenahraditelná a nezastupitelná i z hlediska historie celé stanice, se kterou je spjat vznik ústavu.

Redakce

VTEI VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Water Management Technical and Economical Information

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství. Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

Redakční rada: RNDr. D. Baudišová, Ph.D., Ing. Š. Blažková, DrSc., Ing. P. Bouška, Ph.D., prof. Ing. A. Grünwald, CSc., doc. Ing. A. Havlík, CSc., prof. Ing. P. Pitter, DrSc. (†), prof. RNDr. A. Sládečková, CSc., prof. Ing. J. Zezulák, DrSc.

Ročník 56

**ISSN 0322-8916
ISSN 1805-6555 (on-line)
MK ČR 6365**

**VÚV
TGM**

**Výzkumný ústav vodohospodářský
T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30
160 00 Praha 6
IČO 00020711**

Kontakt: Mgr. S. Garciova
tel.: 220 197 282, e-mail: garciova@vuv.cz