

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Vážení čtenáři,

toto číslo časopisu VTEI přináší čtyři příspěvky zabývající se významnými úkoly řešenými v oddělení hydrologie Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i. Tým specialistů tohoto oddělení nadále pokračuje ve výzkumech analýzy dopadů klimatických změn na vodní zdroje České republiky. Jde o celý komplex problémů souvisejících se strategickými zájmy státu a společnosti při ochraně obyvatelstva před nežádoucími účinky vod a při jejich nedostatku. Příspěvky jsou výsledkem nejen vlastního výzkumu VÚV TGM, v.v.i., ale jsou též dokladem účinné a dlouhodobé spolupráce s dalšími významnými tuzemskými i zahraničními pracovišti. Význam a aktuálnost prováděných výzkumů lze dokumentovat i opakovaně získávanou státní podporou těchto směrů výzkumu.

Předložené články byly zpracovány za podpory Technologické agentury ČR (projekt *Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu*), Ministerstva vnitra (projekt *Bezpečnostního výzkumu Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území ČR*), Ministerstva životního prostředí (projekty *Minimální zůstatkové průtoky* a *Analýza vlivu fyzicko-geografických charakteristik na tvorbu povodňového odtoku*).

Článek Vyhodnocení změn hydrologické bilance v simulacích modelů zemského povrchu autorů Pavla Kříže a Martina Hanela se zabývá ověřením schopnosti modelů zemského povrchu, které jsou součástí klimatických modelů, simulovat hydrologickou bilanci. Se zvyšující se dostupností simulací klimatických modelů a s rozšiřováním spektra dostupných veličin existují možnosti jejich dalšího využití pro odhad změn hydrologické bilance, např. v povodích bez dostupných dat nebo pro rámcové odhady změn. Výsledky výzkumu ukazují, že modely zemského povrchu jsou schopny rámcově odrazit sezonní proměnlivost odtoku v daných povodích. Absolutní hodnoty odtoku jsou však v porovnání s pozorovanými daty výrazně nižší, stejně jako simulované poklesy budoucích odtoků ve srovnání s výstupy z modelu Bilan. Použití modelů zemského povrchu pro účely hydrologické bilance je proto v současné době neúčelné.

Příspěvek Pavla Tremly s názvem **Monitoring a plánování v období nedostatku vody a sucha z pohledu Evropské unie**

přináší informace z oblasti monitoringu vod a vodohospodářského plánování pro období nedostatku vody a sucha. Představuje hlavní evropské dokumenty týkající se tohoto do budoucna palčivého problému (zvláště v některých částech Evropy) – Drought management plan report, MEDROPLAN a Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU. Článek uvádí existující regionální přístupy k plánování v Německu na příkladu Braniborska a Bavorska a porovnává je se špičkovým systémem plánování a monitoringu sucha, který je používán v USA. Na území ČR je podrobná plánovací dokumentace a detailní monitoring pro období sucha intenzivně připravován a celkový plán by měl být dokončen během roku 2014. S navrhovanou ucelenou koncepcí by se měla Česká republika ocitnout na špičce evropského plánování pro zvládání období nedostatku vody a sucha.

Návrh postupu ke stanovení minimálního zůstatkového průtoku Magdaleny Mrkvičkové a Pavla Balvína je důležitou metodikou, na jejímž základě připravuje MŽP návrh nového nařízení vlády. Minimální zůstatkový průtok je stanovován s ohledem na požadavky vodních a na vodu vázaných ekosystémů a zároveň respektuje požadavek co nejednoduššího způsobu stanovení. Podle rozdílných přírodních podmínek byl vypracován návrh rozdělení území ČR do čtyř oblastí v závislosti na charakteru hydrologického režimu a na klíčových procesech, které se v dané oblasti podílejí na tvorbě odtoku. Na základě podrobného výzkumu byl uplatněn požadavek, aby výsledná hodnota minimálního zůstatkového průtoku tvořila alespoň 20–30 % Q_0 (průměrného dlouhodobého ročního průtoku).

Zajímavé údaje lze najít v příspěvku Ladislava Kašpárka a Martiny Pelákové **Vliv fyzicko-geografických charakteristik na velikost povodně v srpnu 2002**. Byly studovány dvě veličiny charakterizující velikost povodně – výška odtoku (objem povodně) a kulminační průtok. Z fyzikálních a geografických charakteristik povodí byly zkoumány plocha povodí, sklon povodí, průměrná nadmořská výška, hydrogeologický index propustnosti a způsob využití území. Analýza ukázala vysokou závislost velikosti povodně na srážkových úhrnech a nasycenosti povodí z předchozích srážek, z dalších charakteristik má význam též využití území (zvláště podíl lesa a orné půdy a také velikost urbanizované plochy).

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.

VYHODNOCENÍ ZMĚN HYDROLOGICKÉ BILANCE V SIMULACÍCH MODELŮ ZEMSKÉHO POVRCHU

Pavel Kříž, Martin Hanel

Klíčová slova

modely zemského povrchu – Bilan – změny hydrologické bilance – změna klimatu

Souhrn

Cílem popisované studie je ověření schopnosti modelů zemského povrchu (Land Surface Models – LSM) simulovat hydrologickou bilanci prostřednictvím porovnání charakteristik simulovaného a pozorovaného odtoku a porovnáním odha-

dů změn hydrologické bilance získaných z těchto modelů se změnami stanovenými pomocí hydrologického modelu Bilan. Vyhodnocením simulací celkem šesti LSM na dvou velikostně odlišných povodích ČR bylo zjištěno, že LSM jsou schopny alespoň rámcově zachytit pozorovanou sezonní proměnlivost odtoku v daných povodích. Z hlediska absolutních hodnot odtoku se však ve většině případů výrazně rozcházejí s pozorovanými daty a zpravidla udávají výrazně nižší hodnoty, než jaké byly na daných povodích pozorovány. Rovněž i z pohledu relativních změn indikují podstatně nižší pokles odtoku v budoucím období, než jaký byl stanoven s pomocí modelu Bilan. Z provedených srovnání vyplývá, že LSM v současnosti nejsou schopny věrohodně simulovat pozorovanou hydrologickou bilanci.

Úvod

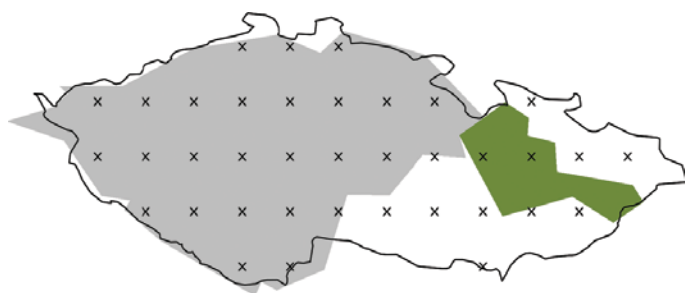
V některých povodích v České republice je možné již v současnosti pozorovat negativní změny hydrologické bilance. Jako příklad lze uvést povodí Rakovnického potoka nebo povodí horní Srpiny. Tyto

změny je nutné vzít v úvahu při vodohospodářském plánování, a proto je v posledních letech věnována pozornost zpřesnění odhadů možných dopadů změny klimatu na hydrologický režim. Výzkum je v současnosti kromě možných důsledků klimatické změny často rovněž zaměřen na návrhy adaptačních opatření, jež by byla schopna zmírnit nepříznivé dopady těchto změn na hydrologický režim zejména v nejhůře postižených povodích.

Jednou z potenciálních možností jak odhadnout pravděpodobný vývoj a na jeho základě přijmout včas účinná adaptační opatření a reagovat tak na možné změny hydrologické bilance způsobené měněním se klimatem je využití výstupů klimatických modelů. Standardně jsou pro odhad změn hydrologické bilance využívány simulované řady srážek a teploty, které slouží k tvorbě vstupních řad do hydrologického modelu. Nejpoužívanějšími metodami transformace výstupů simulací klimatického modelu na vstupy hydrologického modelu (tj. statistický downscaling) jsou korekce systematických chyb (bias correction) nebo přírůstková metoda (delta change method). Tyto metody byly v minulých letech aplikovány na řadě povodí v České republice (Hanel a Vizina, 2010; Hanel et al., 2011, 2012; Benčoková et al., 2011 aj.). V současnosti, se zvyšující se dostupností simulací klimatických modelů a zároveň s rozšiřováním spektra dostupných veličin, se otevírají možnosti využití simulací modelů zemského povrchu, které jsou součástí klimatických modelů, pro odhad změn hydrologické bilance, např. v povodích bez dostupných dat nebo pro rámcové odhady změny.

Modely zemského povrchu (LSM) simulují procesy výměny tepla mezi zemským povrchem a nejspodnější vrstvou atmosféry, včetně hydrologické bilance. Modely zemského povrchu též často do svých výpočtů implementují účinky vegetace ovlivňující celkovou bilanci uhlíku, zemské albedo a evapotranspiraci, což umožňuje zahrnutí vlivu změn koncentrací skleníkových plynů (zejména CO_2) na evapotranspiraci. Rovněž celá řada LSM zahrnuje kromě podrobného popisu vegetace i poměry v oblasti kořenové zóny rostlin a s ní související povrchový a podpovrchový odtok vody, vlhkostní poměry půdního profilu a tepelné toky energie v půdě (Hanel et al., 2011; Overgaard et al., 2005). Dostupnými výstupy simulací LSM jsou pak typicky veličiny jako celkový odtok, povrchový odtok, podpovrchový odtok, vlhkost půdy, obsah vody ve sněhu, vlhkost na povrchu, aktuální evapotranspirace, potenciální evapotranspirace atp.

Výstupy LSM je teoreticky možno použít pro odhad změn hydrologické bilance bez detailního hydrologického modelování. Cílem studie je ověření schopnosti LSM simulovat charakteristiky pozorované hydrologické bilance pro dvě vybraná povodí v České republice a především porovnání změn hydrologické bilance simulované LSM se změnami odvozenými standardním postupem – tj. modelováním pomocí hydrologického modelu Bilan v kombinaci s jednoduchou přírůstkovou metodou. Použitá data LSM a pozorovaná povodí jsou popsána v následující kapitole. Modelování dopadů změn klimatu pomocí modelu Bilan a jejich odhad podle LSM jsou popsány v kapitole Metodika. Dále jsou prezentovány nejdůležitější výsledky a závěry.



Obr. 1. Zájmová povodí: šedý polygon znázorňuje povodí Labe po Děčín a zelený polygon pak povodí Moravy po Kroměříži; křížky znázorňují jednotlivé výpočtové buňky LSM; pro snížení výpočtové náročnosti při dávkové identifikaci výpočetních bodů uvnitř povodí pro LSM simulace byly rozvodnice zjednodušeny

Fig. 1. The study area: grey polygon represents the Labe basin, green polygon the Morava basin; the LSM grid is indicated by crosses; basin divides have been simplified in order to save the computational time in batch calculations

Data

LSM

S cílem kvantifikovat dopady klimatické změny na jednotlivé složky globálního hydrologického cyklu se v rámci šestého rámcového programu Evropské unie uskutečnil integrovaný projekt WATCH (The Water and Global Change). V rámci tohoto projektu byly (kromě dalších datových sad) vytvořeny i simulace pomocí 10 modelů zemského povrchu (GWAVA, H08, HTESSEL, JULES, LPJmL, MPI-HM, MacPDM, Orchidee, VIC a WaterGap) řízené třemi globálními klimatickými modely (ECHAM5, CNRM a IPSL). Tyto simulace byly vytvořeny jak pro kontrolní období, tak i období budoucí podle dvou emisních scénářů SRES A2 a B1 (Nakicenovic a Swart, 2000). Jako kontrolní bylo uvažováno období 1971–2000, pro emisní scénáře jsou dostupné simulace pro celé 21. století. Archivovány jsou zpravidla denní simulace celkového, povrchového a podpovrchového odtoku, aktuální a potenciální evapotranspirace, vlhkost půdy a obsah vody ve sněhu. Pro simulace některých LSM je archivováno více veličin, pro jiné některé veličiny chybí, popř. nejsou kompletní. Přehled dostupných simulací uvádí Kříž (2013).

Pro následné porovnání odhadů změn hydrologické bilance odvozených na základě simulací hydrologického modelu Bilan se změnami odvozenými pomocí LSM byly vybrány modely GWAVA, H08, JULES, LPJmL, MPI-HM a WATER GAP. Modely HTESSEL, MacPDM, Orchidee a VIC byly z hodnocení vzhledem k většímu počtu neúplných simulací vyloučeny. Pro porovnání byla vybrána třicetiletá časová období 1971–2000 (kontrolní období) a 2071–2100 (scénářové období).

Zájmová povodí

Pro posouzení schopnosti LSM simulovat hydrologickou bilanci byly vybrány dvě povodí ČR, a to povodí Labe po Děčín (41 832 km²) a povodí Moravy po Kroměříži (7 037 km²) (obr. 1). Pro simulaci pomocí hydrologického modelu Bilan byla k dispozici měsíční data srážek, teploty a odtoku pro období 1971–1990 (Labe) respektive 1981–2000 (Morava).

Metodika

Vyhodnocení schopnosti LSM simulovat charakteristiky pozorované hydrologické bilance a porovnání odhadů změn hydrologické bilance odvozených na základě simulací hydrologického modelu Bilan se změnami odvozenými pomocí LSM bylo provedeno v následujících krocích:

- 1. Odvození dlouhodobých charakteristik a změn průtoku podle LSM**
 - Stažení datových souborů z ftp.iiasa.ac.at/WorkBlock6 ve formátu „ncdf“, jež obsahují všechny proměnné získané na základě simulací LSM.
 - Extrakce měsíčních průtoků pro zvolená období 1971–2000 a 2071–2100 pro emisní scénáře SRES A2 a B1 z jednotlivých souborů obsahujících desetileté časové řady vytvořené na základě simulací modelů GWAVA, H08, JULES, LPJmL, MPI-HM a WATER GAP a jejich spojení do třicetiletých časových řad.
 - Výpočet průměrných charakteristik a jejich změn mezi budoucími a kontrolními obdobími, simulovaných podle jednotlivých LSM v závislosti na použitém emisním scénáři.
- 2. Odvození změn průtoků podle modelu hydrologické bilance Bilan**

Hydrologický model Bilan (např. Tallaksen a van Lanen, 2004) je klasický konceptuální hydrologický model, který je dlouhodobě používán ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v Českém hydrometeorologickém ústavu i v řadě jiných českých i zahraničních institucí pro simulaci hydrologické bilance i vyhodnocení dopadů změny klimatu na ni. Bilan je nejprve nakalibrován na datech pro kontrolní období, následně jsou vytvořeny pomocí jednoduché přírůstkové metody scénáře změny klimatu (tj. pozorované měsíční časové řady teploty a srážek jsou upraveny tak, aby jejich změny odpovídaly změnám z klimatických modelů) a tyto scénáře jsou použity pro simulaci hydrologické bilance v budoucím období. Tento postup podrobněji rozebírá např. Hanel et al. (2011).

 - Kalibrace hydrologického modelu s využitím pozorovaných dat na zájmových povodích a ponechání modelu v nastavení, jež poskytlo simulaci s nejlepší shodou mezi pozorovaným a simulovaným odtokem.
 - Stažení datových souborů z ftp.iiasa.ac.at/WorkBlock6 ve formátu „ncdf“, obsahujících denní data srážek a teplot z řídicích modelů

(ECHAM 5, CNRM a IPSL) pro kontrolní i budoucí období (řídící data shodná pro všechny porovnávané LSM) a následná extrakce dat ze souborů a jejich agregace na časové řady v měsíčním kroku.

- Výpočet průměrných hodnot podle jednotlivých měsíců z nově vytvořených časových řad srážek a teplot a odvození přírůstkových faktorů z těchto průměrných hodnot.
- Úprava původních časových řad pozorovaných srážek a teplot na obou zájmových povodích pomocí přírůstkových faktorů.
- Použití upravených časových řad pro modelování změn odtoku pomocí modelu Bilan pro oba emisní scénáře podle jednotlivých řídicích modelů (ECHAM 5, CNRM a IPSL).
- Výpočet změn odtoku podle simulací modelu Bilan.

3. Srovnání simulací LSM pro kontrolní období s pozorovanými daty a vzájemné porovnání změn odtoku odvozených ze simulací LSM se změnami simulovanými modelem Bilan.

Výsledky

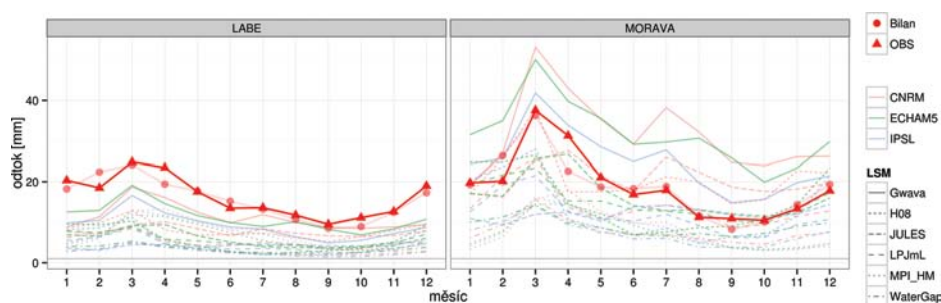
Simulace pro kontrolní období

Model Bilan byl nakalibrován s využitím měsíčních dat z období 1971–1990 pro povodí Labe a z období 1981–2000 pro povodí Moravy. Nash-Sutcliffe koeficient při kalibraci byl pro povodí Labe 0,67 a pro povodí Moravy 0,72. Při porovnání průměrné roční hodnoty odtoku simulované modelem Bilan pro kontrolní období s průměrnou roční hodnotou pozorovanou na povodí je výsledný rozdíl mezi oběma hodnotami 3,9 % (tj. 7,6 mm) na povodí Labe a 1,9 % (tj. 4,3 mm) na povodí Moravy.

Pro kontrolní období udávají všechny simulace LSM pro povodí Labe nižší hodnoty průměrných odtoků, než jsou hodnoty pozorované i simulované modelem Bilan pro kontrolní období (obr. 2). Při porovnání celkové průměrné roční hodnoty odtoku získané ze simulací všech LSM pro kontrolní období s průměrným ročním pozorovaným odtokem vyplývá, že LSM v povodí Labe podhodnocují odtok v průměru o 61,7 %. Tato hodnota pak odpovídá výšce odtoku nižší o 121 mm/rok. Z jednotlivých měsíců je průměrná chyba LSM simulací nejvyšší v dubnu (64,4 % neboli 15,1 mm). Naopak nejmenší chyba (58,2 %, tj. 5,5 mm) připadá na měsíc září. Soubor simulací LSM pro povodí Labe tedy poskytuje výsledky výrazně odlišné od skutečných hodnot. Z pohledu vývoje sezonního cyklu lze konstatovat, že většina LSM alespoň rámcově zachycuje pozorovanou sezonní proměnlivost odtoku na povodí (obr. 2).

V případě povodí Moravy rovněž většina simulací LSM pro kontrolní období simuluje nižší průměrné roční hodnoty odtoku, a to jak v porovnání s pozorovanými daty, tak i v porovnání se simulovanými daty pro kontrolní období pomocí modelu Bilan. Na rozdíl od povodí Labe zde však pět z osmnácti simulací nadhodnocuje průměrné roční hodnoty odtoku, a to o 8,4–65 %. Z porovnání celkové průměrné roční hodnoty odtoku získané ze simulací všech LSM pro kontrolní období s průměrným ročním pozorovaným odtokem vyplývá, že LSM v povodí Moravy podhodnocují odtok v průměru o 19,7 % (tj. 45 mm). K největší průměrné chybě v LSM simulacích dochází shodně jako v případě povodí Labe v dubnu (38,8 %, tj. 12,1 mm). Naopak nejmenší chyba (3 %, 0,3 mm) připadá na měsíc říjen. Podobně jako v povodí Labe, tak i v povodí Moravy většina LSM alespoň rámcově zachycuje pozorovanou sezonní proměnlivost odtoku na povodí (obr. 2).

Pro bližší posouzení zdrojů systematických chyb byly rovněž vyhodnoceny chyby srážek



Obr. 2. Průměrné hodnoty odtoku v jednotlivých měsících v kontrolním období: červeně je znázorněn pozorovaný a simulovaný (modelem Bilan) odtok pro současné období; typ čáry udává LSM, barevně jsou LSM simulace rozlišeny podle řídicího globálního modelu

Fig. 2. Monthly mean runoff for the control period – observed runoff and runoff simulated by the Bilan model are given by red lines; line type differentiate the LSMs and the color indicate the driving GCM simulation

a teploty v příslušných GCM simulacích (vstupy do LSM). Z tohoto hodnocení je patrné, že srážkové úhrny z GCM jsou v průměru nadhodnoceny o 14 % (povodí Labe), respektive o 19 % (povodí Moravy). Hodnoty teploty jsou pak v průměru nadhodnoceny o 0,45 °C (povodí Labe), respektive podhodnoceny o 0,23 °C (povodí Moravy).

Změny srážek a teploty – přírůstkové faktory

Změny srážek pro obě povodí (obr. 3) jsou konzistentní s obecně známými projekcemi změn pro Českou republiku – tedy růst zimních srážek a stagnace či pokles srážek po zbytek roku. Průměrné roční změny srážek pro povodí Labe leží v rozmezí od –4 % do +6 %, pro povodí Moravy v rozmezí od –16 % až do +9 %. Teploty v GCM simulacích rostou po celý rok (obr. 4), v ročním průměru o 2–4 °C, ale jsou i měsíce, ve kterých je zvýšení až více než 6 °C.

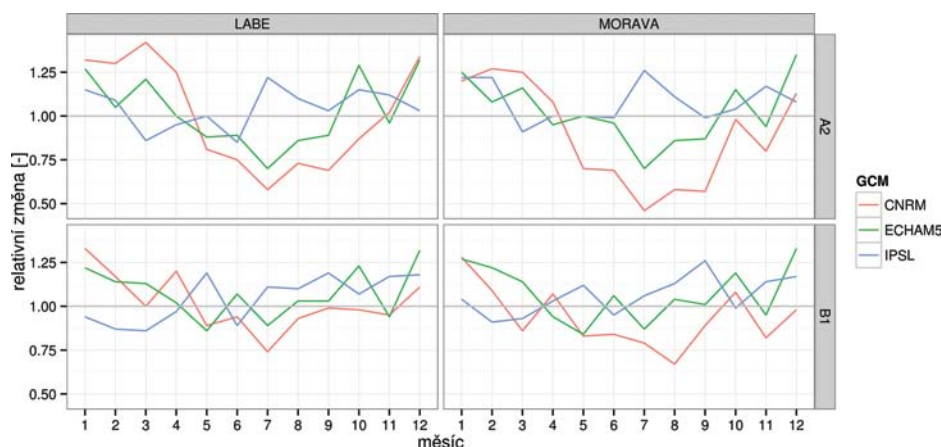
Změny hydrologické bilance podle LSM a jejich porovnání se změnami podle Bilanu

Z porovnání průměrných ročních hodnot relativních změn pro povodí Labe vyplývá, že změny odtokových výšek mezi budoucím a kontrolním obdobím stanovené na základě simulací LSM jsou poměrně malé. Průměrné roční hodnoty změn stanovené jako průměr všech použitých LSM se pohybují v rozmezí od –9 do +9 %. Tyto změny jsou o cca 24–48 % nižší než podle simulace modelu Bilan.

Změny odtokových výšek mezi budoucím a kontrolním obdobím stanovené na základě simulací LSM jsou pro povodí Moravy v porovnání s obdobnými změnami v povodí Labe větší. Průměrné roční hodnoty změn se pohybují v rozmezí od –27 do +7 %. Tyto změny jsou o 15–56 % nižší než podle odhadu modelu Bilan.

Diskuse a závěr

Byla ověřena schopnost modelů zemského povrchu (LSM) simulovat hydrologickou bilanci a její změny, a to na základě porovnání



Obr. 3. Relativní změny srážek mezi obdobími 1971–2000 a 2071–2100 v uvažovaných simulacích GCM

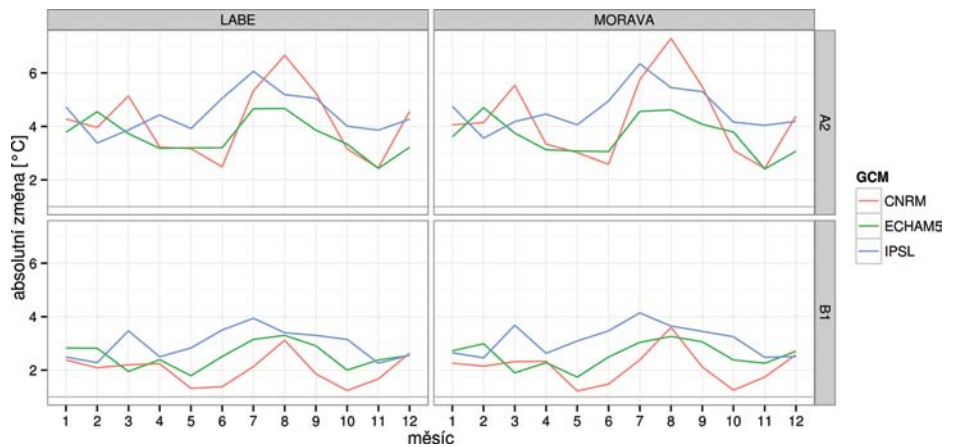
Fig. 3. Relative changes in precipitation between the control (1971–2000) and scenario (2071–2100) period in driving GCM simulations

průměrných měsíčních a ročních odtokových výšek pro kontrolní a budoucí období na dvou velikostně odlišných povodích ČR (povodí Labe po Děčín a povodí Moravy po Kroměříži). Pro posouzení bylo vybráno celkem šest modelů zemského povrchu (GWAVA, H08, JULES, LPJmL, MPI-HM a WATER GAP), jejichž simulace byly řízeny globálními klimatickými modely (CNRM, ECHAM5 a IPSL). Simulace LSM pro kontrolní období byly porovnány s pozorovanými hodnotami odtoku na zkoumaných povodích. Pro budoucí období pak byly relativní změny odtoku podle simulací LSM porovnávány se změnami simulovanými hydrologickým modelem Bilan, a to podle příslušných řídicích modelů a použitých emisních scénářů SRES A2 a SRES B1.

Z výsledného porovnání simulací LSM pro kontrolní období (1971–2000) vyplývá, že tyto modely alespoň rámcově zachycují sezonní proměnlivost pozorovanou na obou povodích, avšak absolutní hodnoty odtokových výšek jimi simulované se ve většině případů rozcházejí s pozorovanými daty. Zatímco na povodí Labe všechny použité LSM výrazně podhodnocují odtok v porovnání s odtokem pozorovaným, na povodí Moravy je odtok v případě několika simulací LSM i poměrně výrazně nadhodnocen. Původ rozdílů v simulacích LSM oproti pozorování může být pouze částečně vysvětlen systematickými chybami v simulaci srážek a teploty. Na obou povodích jsou srážky nadhodnoceny, nicméně pro povodí Labe je toto nadhodnocení nižší, navíc teplota je nadhodnocena v povodí Labe a podhodnocena v povodí Moravy. Rozdíl potenciální evapotranspirace odpovídající rozdílu systematických chyb teploty odpovídá cca 25 mm/rok (odhad potenciální evapotranspirace na základě radiční bilance, který je využit i v modelu Bilan – Oudin et al., 2010), zatímco rozdíl systematických chyb odhadu odtoků je cca 75 mm/rok. Původ rozdílů v simulaci odtoků pro zájmová povodí tak zůstává nejasný.

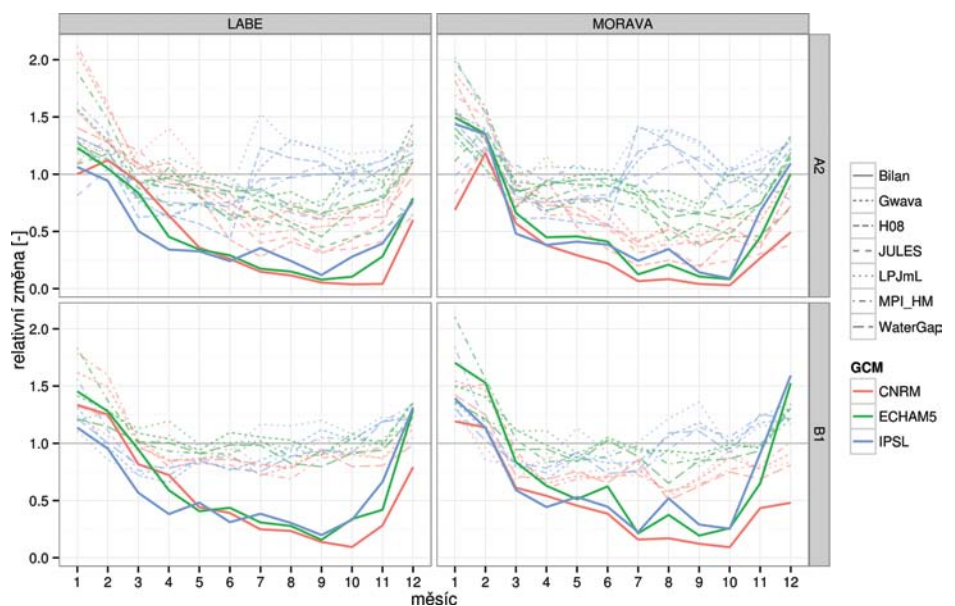
Rovněž i z pohledu relativních změn se projekce LSM příliš neshodují se simulacemi modelu Bilan. Zatímco LSM indikují pro povodí Labe pokles odtokových výšek v průměru pouze o 4,0 % a pro povodí Moravy o 8,3 %, pak změny stanovené pro povodí Labe (s využitím modelu Bilan) indikují v průměru pokles odtokových výšek o 38,3 % a pro povodí Moravy o 35,0 %.

Jistá část tohoto rozdílu může být způsobena odlišným způsobem stanovení potenciální evapotranspirace v jednotlivých LSM ve srovnání s modelem Bilan. Evapotranspirace je ovlivňována mnoha faktory, jako je například atmosférický tlak, rychlost a směr proudění vzduchu, nasycení půdy vodou, nasycení okolního vzduchu vodními parami nebo hustota a typ vegetačního krytu. Witte et al. (2006) pak uvádí jako další vlivy teplotu vzduchu a koncentraci CO_2 v atmosféře. Tyto dva faktory, jak dále uvádí, mají na velikost evapotranspirace protichůdný vliv. Zatímco rostoucí koncentrace CO_2 v atmosféře způsobují pravděpodobně růst globálních teplot, jejichž zvyšování má za následek i růst evapotranspirace, tak na druhé straně způsobují redukci a uzavírání listových průduchů rostlin, což má naopak za následek její pokles. Výsledný efekt těchto dvou protichůdných faktorů je však prozatím jen odhadován. Dále například uvádí možný průměrný roční pokles evapotranspirace, způsobený zvýšením koncentrací CO_2 o 385 ppm (předpokládaný nárůst do roku 2100 řádově korespondující se scénáři SRES A2 a B1), o 5–11 %, a to v závislosti



Obr. 4. Absolutní změny teploty mezi obdobími 1971–2000 a 2071–2100 v uvažovaných simulacích GCM

Fig. 4. Absolute changes in temperature between the control (1971–2000) and scenario (2071–2100) period in driving GCM simulations



Obr. 5. Relativní změny odtoku mezi obdobími 1971–2000 a 2071–2100 podle uvažovaných simulací LSM (tenké čáry) a modelu Bilan (tlusté čáry)

Fig. 5. Relative changes in runoff between the control (1971–2000) and scenario (2071–2100) period in the considered LSM simulations (thin lines) and simulations of the Bilan model (thick lines)

na typu vegetace. Metoda výpočtu potenciální evapotranspirace v modelu Bilan však tyto předpokládané změny koncentrací CO_2 neuvažuje (na rozdíl od LSM). Je tedy pravděpodobné, že velikost negativních změn odtoku stanovené pomocí modelu Bilan může být nadhodnocena (řádově do 10 %). Tato hypotéza nicméně nebyla v rámci předložené studie dále zkoumána.

Na základě zhodnocených faktů a provedených srovnání lze konstatovat, že z hlediska současného stavu a úrovně LSM nejsou tyto modely prozatím schopny dostatečně simulovat hydrologickou bilanci konkrétních povodí. Nicméně je možné, že v případě agregace výstupů LSM do větších celků dojde k částečnému vyrušení chyb. Řada prací využívající simulace LSM pro vyhodnocení charakteristik odtokového režimu aplikuje postupy korekce systematických chyb běžné pro srážky a teplotu na simulace LSM. Použití nelineárních transformací při těchto korekcích obecně povede k částečně odlišným odhadům změn odtoku. Nicméně nepředpokládáme, že by rozdíly mezi odhadem změn odtoku podle LSM a simulací Bilanu mohly být tímto způsobem eliminovány.

Simulace LSM v současnosti nejsou schopny simulovat pozorovanou hydrologickou bilanci a její změny z LSM odvozené nejsou konzistentní s odhadem změn na základě standardních metod.

Nicméně ve světě byly publikovány studie dokladující užitečnost LSM např. při hodnocení propagace sucha (van Loon et al., 2012) či modelování časoprostorového vývoje sucha (Wang et al., 2009).

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu „Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu“ (TA02020320), který je podporován Technologickou agenturou ČR.

Literatura

- Benčoková, A., Krám, P., and Hruška, J. (2011) Future climate and changes in flow patterns in Czech headwater catchments. *Climate Research*, 49, 1, 1–15.
- Hanel, M., Vízina, A., Máca, P., and Pavlásek, J. (2012) A multi-model assessment of climate change impact on hydrological regime in the Czech Republic. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60(3), 152–161.
- Hanel, M. a Vízina, A. (2010) Hydrologické modelování dopadů změn klimatu v denním kroku: korekce systematických chyb a přírůstková metoda. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 52, č. II, s. 17–21, příloha *Vodního hospodářství* č. 11/2010.
- Hanel, M., Kašpárek, L., Mrkvíčková, M. aj. (2011) Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Praha: VÚVTGM, 108 s.
- Kříž, P. (2013) Modely zemského povrchu v klimatických modelech. Diplomová práce, Česká zemědělská univerzita v Praze, 89 s.
- van Loon, A.F., van Huijgevoort, M.H.J., and van Lanen, H.A.J. (2012) Evaluation of drought propagation in an ensemble mean of large-scale hydrological models. *HESS*, 16, 4057–4078.
- Nakicenovic, N. and Swart, R. (2000) Special report on emissions scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Oudin, L., Moulin, L., Bendjoudi, H., and Ribstein, P. (2010) Estimating potential evapotranspiration without continuous daily data: possible errors and impact on water balance simulation. *Hydrological Sciences Journal*, 55, 2, 209–222.
- Overgaard, J., Rosbjerg, D., and Butts, B.M. (2005) Land-surface modelling in hydrological perspective. *Biogeosciences discussions*, vol. 2, No. 6, p. 1815–1848, eISSN 1810-6285.
- Tallaksen, L.M. and van Lanen, H.A.J. (eds) (2004) *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Amsterdam: Elsevier.
- Wang, A., Bohn, T., Mahanama, S.P., Koster, R.D., and Lettenmaier, D.P. (2009) Multimodel Ensemble Reconstruction of Drought over the Continental United States. *J. Clim.* 22, p. 2694–2712.
- Witte, J.P.M., Kruijt, B., and Maas, C. (2006) The effects of rising CO₂ levels on evapotranspiration. Kiwa Water Research, Nieuwegein.

Ing. Pavel Kříž¹, Ing. Martin Hanel, Ph.D.^{1,2}

¹Fakulta životního prostředí,

Česká zemědělská univerzita v Praze

²Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
hanel@vuv.cz

Příspěvek prošel lektorským řízením.

Assessment of changes in hydrological balance simulated by Land Surface Models (Kříž, P.; Hanel, M.)

Keywords

land surface models – Bilan – climate change – changes in hydrological balance

For estimation of the future climate changes and their impacts on hydrological regime simulations of climate models are often used. These simulations give us the possible view of the future changes and enable us for the preparation of implementation and evaluation of the adaptation strategies, the main focus of which is to reduce negative influences of the climate change. Recently, a large number of climate model simulations is available in the framework of European or world-wide initiatives as the ENSEMBLES, CMIP5 or CORDEX projects. In addition to variables that are routinely considered in the climate change impact assessment studies (in general precipitation and tem-

perature) more advanced variables like grid box runoff, soil moisture, snow water amount etc. are also becoming available. These variables in principle allow the assessment of changes in hydrological balance (e.g. changes in mean runoff) without detailed hydrological modelling. However, as the skill of climate models in simulation of precipitation and temperature is often disputed, the skill in simulation of variables as runoff is even more questionable, although these simulations might still provide valuable information.

Except for precipitation and temperature, the variables relevant for hydrology are mostly generated by land surface component of the climate models. These are basically models describing hydrological and energetical balance on the land surface and in the soil. Thus important hydrological processes as runoff generation, potential and actual evapotranspiration, snow mass accumulation, infiltration etc. are addressed in these models. Recently a number of simulations of various land surface models (LSM) is available through the EU funded WATCH project.

The objective of this work is to assess the skill of LSMs in simulation of observed characteristics of runoff in two basins (Elbe and Morava) in the Czech Republic. In addition, the changes in mean monthly runoff in the LSM simulations are evaluated and compared to those obtained by a routine climate change impact assessment procedure involving modelling with conceptual hydrological model Bilan and the climate change scenarios developed by a delta change method. Six LSM in combination with three global climate models and two SRES emission scenarios have been considered.

The skill of the LSM in reproduction of observed characteristics of mean runoff is rather poor, especially in the Elbe basin where the LSM simulations on average underestimate the runoff by 61,7% (121 mm/year). The underestimation is smaller in the Morava basin (19,7%, 41 mm/year) and some of the simulations also overestimate the runoff. Such a large underestimation can be hardly attributed to the bias in precipitation and temperature, since precipitation is overestimated in both basins (14–19%) and temperature is overestimated in Labe basin (0.45 °C) and underestimated in Morava basin (0.23 °C). Despite the large underestimation, the seasonal cycle of runoff is more or less reasonably reproduced in the LSM simulations.

The changes in mean runoff according to the simulation of the Bilan model are rather strong and negative due to large increase in temperature in some simulations followed by large decrease of precipitation in summer months. For instance the runoff in summer months for the CNRM simulation is at 10% of present level. The mean decrease in the Bilan simulation is 45% (SRES A2) and 30% (SRES B1) for the Elbe and 42% (SRES A2) and 29% (SRES B1). The changes in the LSM simulations are in general much smaller, on average only 4–8%. Part of the differences could be perhaps attributed to the different scheme for calculation of potential evapotranspiration, with LSMs considering also the reducing effect of CO₂ to transpiration.



PRŮZKUMY A SANACE ZNEČIŠTĚNÍ
HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ A PODZEMNÍ VODY,
INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM,
MONITORING, EKOLOGICKÉ AUDITY, E.I.A.,
ANALÝZY RIZIK, LABORATORNÍ ANALÝZY



Praha 6, Bělohorská 31, 169 00, tel. 220 515 042, opv@opv.cz
Liberec 3, Americká 26, 460 00, tel. 485 150 268, opv_lbc@opv.cz
České Budějovice, Čechova 52,
370 01, tel. 387 312 372

www.opv.cz

MONITORING A PLÁNOVÁNÍ V OBDOBÍ NEDOSTATKU VODY A SUCHA Z POHLEDU EVROPSKÉ UNIE

Pavel Tremł

Klíčová slova

sucho – nedostatek vody – plánování – monitoring – Evropská unie

Souhrn

Příspěvek se věnuje problematice monitoringu a plánování v období nedostatku vody a sucha především v rámci zemí Evropské unie. Uvádí stručnou historii plánovacího procesu a poté podrobněji představuje nejvýznamnější dokumenty pro plánování v období nedostatku vody a sucha – tzv. Drought management plan report (základní manuál pro plánování ke zvládnutí období nedostatku vody a sucha v rámci zemí Evropské unie), MEDROPLAN (první pokus o navržení metodiky pro plánování ke zvládnutí období nedostatku vody a sucha na evropském kontinentu) a dokument Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU. Je představena European Drought Observatory, jež byla zřízena kvůli monitoringu sucha pro území Evropy. Na příkladech Braniborska a Bavorska jsou ukázány regionální přístupy k možnému plánování (resp. monitoringu) v období nedostatku vody a sucha. Je představen i jeden z nejpropracovanějších systémů pro plánování a monitoring sucha ve světě, který je využíván v USA, a současná podoba monitoringu sucha a plánování zvládnutí nedostatku vody a sucha v ČR.

Úvod

Sucho patří mezi extrémní hydrologické jevy. V souvislosti s jeho výraznějším projevem v uplynulých letech a predikovanými klimatickými změnami a jejich možnými dopady je monitoringu a prognóze sucha věnována stále větší pozornost.

K metodickému postupu jak hodnotit průběh sucha vyšla v České republice řada příspěvků – např. Potop aj. (2011), Tremł (2011), Trnka aj. (2009), Fiala (2009), Možný (2004) a další. Výzkum a projekty zabývající se tematikou sucha a nedostatkem vody v rámci ČR ale nesouvisí pouze se snahou ČR zabývat se suchem lokálně. Jedná se o celoevropský a celosvětový trend. V Evropě i jinde ve světě vznikají různé programy na podporu monitoringu sucha a vytvářejí se metodiky pro plánování v období nedostatku vody a sucha, které jsou obdobou metodik pro plánování v období povodní. Ucelená metodika pro plánování ke zvládnutí období nedostatku vody a sucha proto vzniká i na území ČR. Bude dokončena v roce 2014. Prozatím je řešena problematika zvládnutí období nedostatku vody a sucha pouze v obecné rovině. Shrnutí dosavadního stavu je uvedeno na konci příspěvku.

Cílem příspěvku je shrnout historii nejpodstatnějších kroků dění a zkušeností s plánováním v období nedostatku vody a sucha a monitoringem sucha v rámci EU se zaměřením na možnosti uplatnění v rámci území České republiky. Jsou představeny nejvýznamnější dokumenty v oblasti plánování v období nedostatku vody a sucha. S ohledem na rozsah těchto dokumentů je uveden vždy pouze zjednodušený popis a zároveň je obsažen odkaz na daný dokument pro seznámení se s jeho kompletním nezjednodušeným obsahem.

Nejprve je uveden stručný přehled historie plánování pro zvládnutí období nedostatku vody a sucha na území Evropské unie. V rámci celoevropského plánování bylo doporučeno členským zemím, aby vytvořily národní plány pro zvládnutí nedostatku vody a sucha. Obsahu se věnuje pasáž, která představuje tzv. Medroplan, první metodiku pro zvládnutí období nedostatku vody a sucha v Evropě (na jejíž formulaci se podílely státy z oblasti Středomoří) a část věnovaná tzv. Drought management plan reportu, což je již manuál sestavený pro pomoc při plánování ke zvládnutí v období nedostatku vody a sucha v celé Evropě.

Při plánování v období nedostatku vody a sucha v současnosti i budoucnosti mohou nastat problémy. Podrobnosti o možném

přístupu k řešení této otázky uvádí pasáž věnující se dokumentu Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU.

Sucho se projevuje v každém regionu odlišně. Každý stát sucho hodnotí podle vlastních kritérií. Aby bylo možno sucho v rámci celé EU snadno porovnat, byla založena tzv. European Drought Observatory (EDO), jejímž cílem je věnovat se analýze sucha na území Evropy. Také její aktivity jsou popsány v následujícím textu.

Na základě doporučení pro plánování pro období nedostatku vody a sucha a konkrétních dopadů sucha na národní hospodářství jednotlivých členských zemí EU v nich postupně vznikají plány opatření pro období sucha. Plánování a monitoring sucha jsou řešeny zejména v jihoevropských státech. Z geograficky blízkých zemí je velmi detailní monitoring sucha v Bavorsku, v Braniborsku existuje koncept pro zvládnutí období nedostatku vody a sucha pro oblast vnitřního Spreewaldu. Detaily o podobě tohoto plánování a monitoringu jsou obsaženy v další části textu.

Do jaké podoby by se mohlo plánování v období nedostatku vody a sucha v Evropě i u nás posunout, ukazuje příklad z USA. Monitoring a plánování v období nedostatku vody a sucha jsou v USA velmi propracovány a neustále se zlepšují a přibližují požadavkům jednotlivých uživatelů.

Plánování v rámci zvládnutí nedostatku vody a sucha na území Evropské unie

Počátek evropského plánování v oblasti řešení problematiky nedostatku vody a sucha lze datovat k roku 2006, kdy 9. března doporučily některé členské státy EU na zasedání Rady Evropy, aby se řešení problematiky spojené s výskytem sucha a nedostatku vody věnovala pozornost. Následně 27. června 2006 oznámila Komise evropských společenství (v dalším textu zkráceně EK) záměr přijmout nejpozději do července 2007 Sdělení o problému nedostatku vody a sucha v Evropské unii (Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union). Bylo přijato 18. července 2007 a Radou Evropy ratifikováno 30. října 2007. Sdělení EK (COM(2007) 414 final, 2007) se zabývá možnostmi řešení nedostatku vody v Evropské unii. Objevuje se zde i doporučení, aby jednotlivé členské státy EU vytvořily plány pro zvládnutí období nedostatku vody a sucha. Je tu nastíněn také plán na vytvoření evropské observatoře pro sledování sucha.

Právě druhá polovina roku 2007 byla pro rozvoj plánování v oblasti řešení problematiky nedostatku vody a sucha klíčová. Předsednickou zemí EU v té době bylo Portugalsko. To si v oblasti životního prostředí vytyčilo jako jednu ze tří hlavních priorit přijetí vhodných opatření proti nedostatku vody a suchu (dalšími prioritami v oblasti životního prostředí byla témata spojená se změnou klimatu a podpora biodiverzity). Kromě přijetí sdělení EK byla v červenci 2007 vydána i 2. průběžná zpráva o nedostatku vody a suchu (DG Environment, European Commission, 2007), jež navázala na zprávu z října 2006. Zpráva se zabývá problematikou vodního hospodářství v době výskytu sucha a nedostatku vody. Přináší mnoho zajímavých statistických srovnání projevů sucha. V době portugalského předsednictví se 1. září 2007 konal v Lisabonu summit prezidentské země EU k otázkám nedostatku vody a sucha a následně koncem října vědecká konference k problematice řešení problémů souvisejících se suchem a nedostatkem vody. Na ní byl přijat i tzv. Drought management plan report (European Communities, 2007). Jedná se o základní dokument doporučující, jak by měly vypadat plány pro zvládnutí nedostatku vody a sucha a co všechno by měly obsahovat. Nejvýznamnější výsledky Portugalska z jeho předsednictví v oblasti problematiky řešení nedostatku vody a sucha jsou shrnuty v publikaci s názvem Water scarcity and drought. A Priority of the Portuguese Presidency (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2007).

Na podzim roku 2008 projednával problematiku sucha i Evropský parlament (2008/2074 (INI), 2008). Přijal usnesení, ve kterém doporučuje, aby EU zaujala při řešení nedostatku vody ucelený přístup, který bude kombinovat opatření k řízení poptávky po vodě, opatření k optimalizaci existujících zdrojů v rámci koloběhu vody a opatření k vytváření nových zdrojů. Přijímaná opatření by měla být nadregionálního charakteru. Návrhy na možná opatření jsou pak v usnesení uvedena detailněji.

Problematika související s nedostatkem vody a sucha řešená v rámci EU se postupně rozšiřuje. Zpočátku se jednalo zejména

o činnosti související s návrhem podoby plánovací dokumentace a hledáním vhodných indikátorů sucha pro monitoring a pro předpovědní systémy indikující vznik sucha, popř. hledání vhodných indikátorů pro tvorbu map oblastí ohrožených suchem. Později se přeshlo na hledání možných potenciálních úspor, řešení vazby mezi zemědělstvím a vodou, náročností budov na vodu, spotřeby vody jednotlivými zařízeními, řešení problematiky bioenergií a dostupnosti vody, možností alternativního zásobování vodou, problematiky řízené poptávky po vodě apod. Jsou připravovány i změny evropské legislativy a jsou analyzovány také slabé stránky současné koncepce. Právě jim je věnována studie s názvem Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU (Strosser et al., 2012), jež byla vydána v srpnu loňského roku.

Od konce roku 2008 Evropská komise každoročně přijímá (resp. aktualizuje) souhrnné zprávy (COM(2008) 875 final, 2008; COM(2010) 228 final, 2010; COM(2011) 133 final, 2011) o tom, co se udělalo, popř. bude dělat v oblasti prevence sucha. Kromě nich od počátku samotného plánování pro zvládání období nedostatku vody a sucha vznikají i podrobné zprávy k jednotlivým řešeným tematickým blokům. Pro řešení problematiky nedostatku vody a sucha byla zřízena expertní pracovní skupina s názvem Water Scarcity and Droughts, jejímiž členy jsou zástupci ústředních orgánů státní správy zabývající se problematikou životního prostředí, popř. výzkumní pracovníci zabývající se problematikou sucha. Podoba, zaměření a název pracovní skupiny se mění v závislosti na aktuálních požadavcích souvisejících s řešením problematiky sucha a nedostatku vody.

MEDROPLAN – první pokus o navržení metodiky pro zvládání období nedostatku vody a sucha na evropském kontinentu

V roce 2001 se spojily suchem pravidelně ohrožované středomořské státy Kypr, Řecko, Itálie, Maroko, Španělsko a Tunisko v projektu MEDROPLAN (Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning) (MEDROPLAN, 2013), jehož hlavním cílem bylo sestavit metodiku pro přípravu plánu ke zvládání sucha. Výsledná verze metodiky vyšla v šesti jazykových mutacích (anglicky, francouzsky, řecky, italsky, španělsky a arabsky) v roce 2007.

První část metodiky (Iglesias et al., 2007) se věnuje úvodu do problematiky – vymezuje užívané pojmy a popisuje, proč je třeba plánovat v období sucha. Druhá část metodiky se zabývá institucemi podílejícími se na přípravě a zavádění plánu pro zvládání sucha. Následující podrobná metodologická část je věnována způsobu analýzy sucha a možnostem hodnocení jeho dopadů na jednotlivé sféry. Další část se věnuje tzv. operativním činnostem v období sucha, tj. tvorbou monitorovacího a varovného systému pro období sucha, stanovením jednotlivých stupňů sucha a stanovením činností, které by měly probíhat v době sucha, prioritám pro užívání vody apod. Nechybí pasáž o zhodnocení sucha po jeho skončení.

Díky MEDROPLANU byl nastartován proces plánování a spolupráce v oblasti monitoringu sucha. Byla zřízena pracovní skupina Mediterranean Water scarcity and drought WG (více o činnosti pracovní skupiny na <http://www.emwis.net/topics/WaterScar>

city) a začaly vznikat národní plány pro zvládání období sucha a nedostatku vody (např. o španělském plánu a tamním způsobu monitoringu sucha lze získat více podrobností na <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/gestionsequia/Paginas/PlanEspecialdeAlertayEventualSequia.aspx>).

Drought management plan report – základní manuál pro zvládání období nedostatku vody a sucha v zemích Evropské unie

V rámci EU postupně vznikala požadavek, aby se problematice sucha a nedostatku vody věnovala větší pozornost. Již se nejednalo pouze o státy jižní Evropy, ale do podpory plánování pro zvládání období sucha a nedostatku vody se zapojily i další státy (nejen v souvislosti s dopady extrémního sucha z roku 2003). Bylo žádoucí vytvořit dokument, který by se na celoevropské úrovni věnoval této problematice a doporučil, jakým způsobem by měly plány pro zvládání nedostatku vody a sucha vypadat a co všechno by měly obsahovat. Vznikl proto tzv. Drought management plan report (European Communities, 2007). Skládá se z deseti kapitol a příloh, které upřesňují a doplňují text.

První část manuálu (European Communities, 2007) se věnuje suchu z obecného pohledu. Obsahuje mj. definici pojmu sucho a představuje metody pro identifikaci sucha, nejvýznamnější vědecké projekty zabývající se suchem a upozorňuje na ekologické a socio-ekonomické dopady sucha.

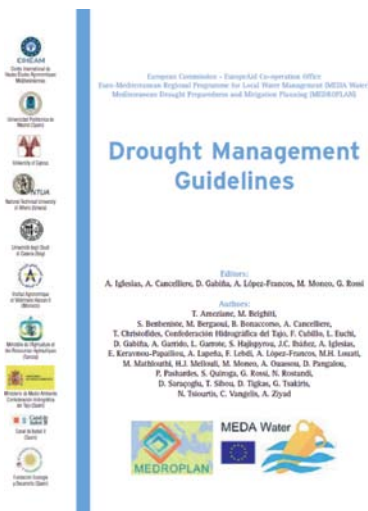
Druhá část manuálu již obsahuje samostatná doporučení, jakým způsobem by se mělo plánovat v situacích spjatých s nedostatkem vody a v období sucha.

Plánovat by se mělo na národní úrovni, na úrovni jednotlivých povodí a na místních úrovních. Mají být definovány mechanismy pro předpověď a detekci sucha, stanovena stupnice intenzity sucha (včetně prahových hodnot, které tyto stupně stupnice definují), určeny metody, které objektivně vyhodnotí jednotlivé fáze sucha, a má být zabezpečena veřejná transparentní spolupráce při tvorbě plánů k odstranění následků sucha.

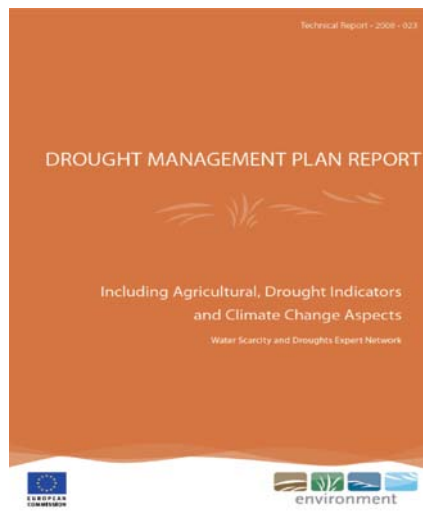
Doporučená osnova plánů má tyto kapitoly:

- Úvod a objekty, jichž se má plán týkat
- Základní charakteristika povodí zaměřená na zranitelnost povodí vůči suchu
- Základní přehled období sucha, která postihla povodí v minulosti
- Charakteristika sucha uvnitř povodí
- Implementace systému včasné ochrany před suchem se stanovením postupu pro zvládání plánování v období sucha podle Rámcové směrnice o ochraně vod
- Vytvoření preventivních programů pro předcházení a snižování následků účinků sucha
- Vytvoření organizačního schématu plánování
- Stanovení, jakým způsobem se bude plán aktualizovat a jak bude plán publikován

Vydávané zprávy o nebezpečí vzniku sucha se klasifikují podle jeho úrovně a hrozící síly (jedná se o zprávy typu normální zpráva, předběžná výstraha, výstraha, nebezpečí, popř. extrémní nebezpečí).



Obr. 1. Metodika pro zvládání období nedostatku vody a sucha vytvořená v rámci projektu MEDROPLAN (Iglesias et al., 2007)
Fig. 1. Methods for planning in the period of water scarcity and drought (Iglesias et al., 2007)



Obr. 2. Publikace Drought management plan report (European Communities, 2007)
Fig. 2. Publication Drought management plan report (European Communities, 2007)

Další části manuálu pak rozebírají, jakým způsobem monitorovat sucho, jak stanovit hlavní přírodní oblasti, které bude nutno ochránit před dopady sucha a nedostatkem vody, či adaptační opatření vůči suchu. Závěr se pak věnuje souvislostem mezi suchem, zemědělstvím a podzemními vodami a vlivem klimatické změny na sucho a též problematice změny klimatu obecně. Na závěr jsou shrnuty hlavní myšlenky do 30 bodů.

Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU – analýza nedostatků ve strategii EU v oblasti nedostatku vody a sucha

V rámci evropského plánování jsou přijímána různá opatření k adaptaci na možné sucho, vznikají koncepce plánů pro zvládání období nedostatku vody a sucha, aktualizuje se legislativa apod. O odpověď, zda se tento dlouhodobý proces ubírá správným směrem a zda lze nalézt v současném řešení problematiky zvládání sucha přetrvávající nedostatky, se snaží studie s názvem Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU (Strosser et al., 2012).

V úvodu dokumentu jsou uvedeny jeho cíle a metodika zpracování a jsou definovány základní pojmy. Samotná analýza nedostatků pak probíhá na základě sedmi hlavních tematických okruhů:

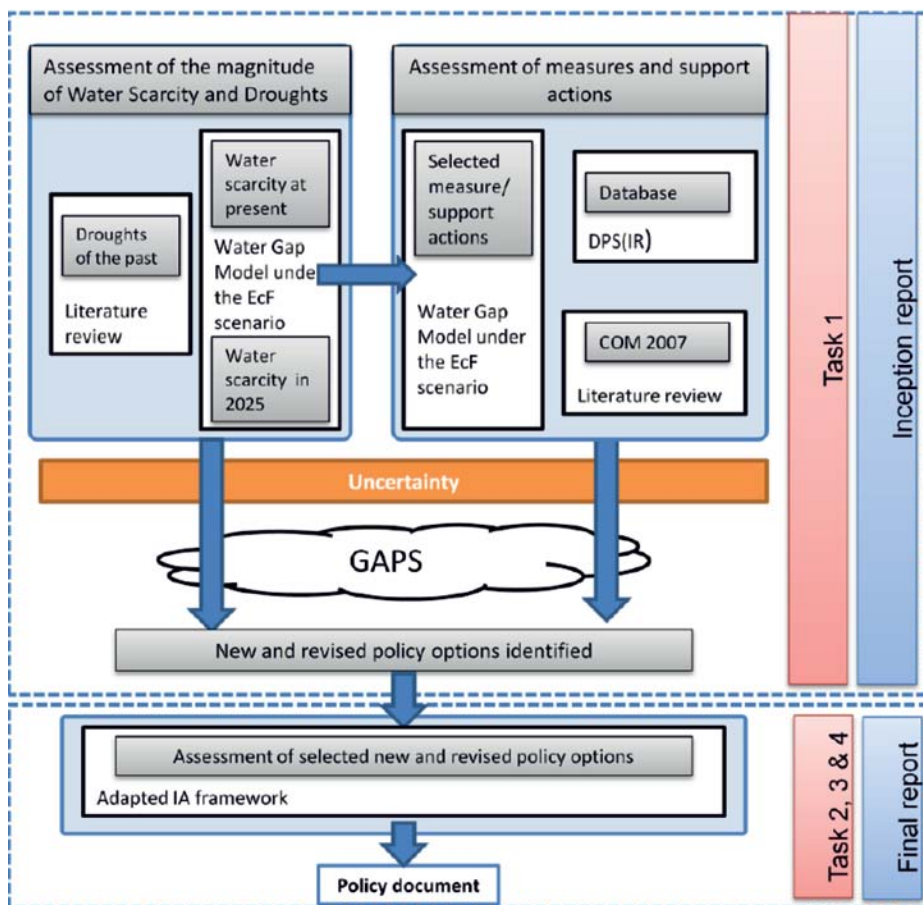
1. Jak velký nedostatek vody a sucha může být způsoben v Evropě za současných podmínek?
2. Jak se může změnit velikost nedostatku vody a sucha do roku 2030?
3. Jsou navrhovaná opatření k prevenci, řízení nebo zmírnění dopadu nedostatku vody a sucha v jednotlivých členských státech dostačující pro řešení problémů?
4. Jaké jsou hlavní zdroje nejistot u provedených posouzení a prezentovaných výsledků?
5. Jaké jsou současné mezery v řešení problematiky nedostatku vody a sucha v EU?
6. Jaké jsou nové možnosti řešení v oblasti nedostatku vody a sucha v Evropě?
7. Jaké jsou potenciální sociální, ekonomické a environmentální dopady navrhovaných politik a možností?

Monitoring sucha v rámci European Drought Observatory – jednotný monitoring sucha pro oblast Evropy

Aby bylo možno v období sucha a nedostatku vody v rámci jednotlivých zemí EU dobře plánovat, nestačí mít pouze dobrou legislativu, ale je důležité mít i kvalitní monitoring, o který se budou přijímaná opatření opírat. Z tohoto důvodu byla založena European Drought Observatory (EDO) při Joint Research Centre (JRC). Výstupy EDO by měly přispět k lepšímu poznání dopadů sucha na jednotlivé regiony Evropy a umožnit tyto dopady porovnat napříč kontinentem. Hlavní výstupy z činnosti EDO jsou k dispozici na webovém portálu s adresou <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>. Je analyzován jak aktuální stav, tak predikován i stav budoucí.

Pro analýzu sucha používá EDO tzv. kombinovaný indikátor sucha (Combined Drought Indicator, zkratka CDI) (EDO, 2011). Index CDI se skládá ze tří hlavních stupňů ohrožení suchem – upozornění, varování a poplach. Tyto tři hlavní stupně se dělí ještě na 3–4 podstupně (pro všechny stupně je celkem 10 podstupňů). Výslednou podobu komplexního indexu sucha CDI je možno nalézt na stránkách EDO. Index CDI se vymezuje kombinací tří odlišných metod vyhodnocení:

- na základě srážkových úhrnů – na základě indexu SPI, resp. jeho měsíční, tříměsíční a 12měsíční varianty,
- pomocí vlhkosti půdy – indikátor pF,



Obr. 3. Schéma metodického postupu užitého v dokumentu s názvem Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU (Strosser et al., 2012)

Fig. 3. The scheme of methods applied in the document Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU (Strosser et al., 2012)



Obr. 4. Webová stránka JRC s mapkou aktuálního ohrožení suchem na podzim roku 2012 (zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>)

Fig. 4. JRC web page with the map of the current threat of drought in the autumn of the year 2012 (source: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>)

- na základě množství fotosyntézou absorbovaného aktivního záření (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation, zkratka fAPAR; jedná se o množství sluneční energie, která je vstřebávána vegetací – vyjadřuje množství přírůstku zelené hmoty).

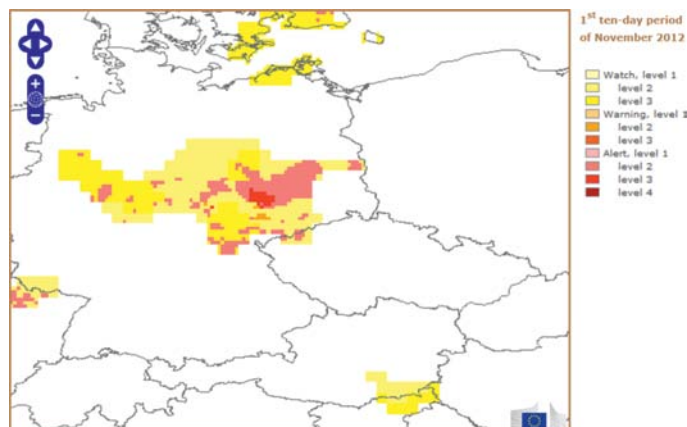
Sucho je vyhodnocováno v desetidenním intervalu s maximálním rozlišením 5 km. Kromě výsledné podoby indexu CDI lze na stránkách EDO dohledat i mapky a grafy s vývojem některých dílčích charakteristik, ze kterých se index CDI skládá.

Příklad konkrétního plánu a monitoringu sucha z geograficky blízkého regionu

Komplexní monitoring sucha a plánování pro zvládání období sucha a nedostatku vody v okolních zemích není prozatím příliš rozšířen. V oblasti monitoringu sucha se většinou jedná pouze o velmi hrubý a zjednodušený monitoring, detailnější monitoring sucha má pouze Bavorsko. Ucelené plánování pro zvládání období nedostatku vody a sucha prozatím chybí.

Bavorsko má systém pro monitoring sucha od roku 2008 (Niedrigwasser-Informationsdienst, 2013). Jeho analýzou je pověřen Spolkový úřad pro životní prostředí, který hodnotí intenzitu sucha na základě průtoků a jejich odchylek od limitních průtoků, pomocí úhrnů srážek (index SPI a počet dnů bez srážek), teploty vody, stavu podzemních vod, jezer a akumulačních nádrží a v omezené míře i kvality vody. Všechny výstupy monitoringu sucha jsou přehledně zobrazeny na internetové stránce <http://www.nid.bayern.de>, již dominuje velká mapa s vodoměrnými stanicemi a barevným označením, zda na daném profilu je hydrologické sucho či není, a dále následuje podrobnější popis informací o epizodě sucha, pokud se vyskytuje, a stručný výhled, jak se bude sucho v nejbližších dnech měnit. Obdobným způsobem jsou zpracovány i sekce pro ostatní sledované veličiny (index SPI, teploty vody...). Pro většinu veličin jsou zpravidla k dispozici i grafy s vývojem sledované veličiny za uplynulé období, základní informace o dané stanici (poloha, statistické vyhodnocení předchozího období apod.).

Jak již bylo uvedeno, ucelené plánování pro zvládání období nedostatku vody a sucha prozatím ve střední Evropě chybí. Nicméně několik dílčích plánů pro oblast střední Evropy již existuje. Asi nejvýznamnější je plán pro oblast řeky Sprévy (Spree) v Braniborsku v Německu (Materne, 2008). Oblast střední Sprévy postihlo v srpnu 2003, od dubna do června 2006 a v dubnu 2007 výrazné sucho. Kombinace vysokého výparu a velkých odběrů vody způsobila, že z území vnitřního Spreewaldu odtékalo velmi malé množství vody. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno ke zpracování Konceptu hospodaření s vodou v povodí střední Sprévy za extrémně nízkých vodních stavů (Konzept zur Wasserbewirtschaftung im mittleren Spreegebiet unter extremen Niedrigwasserverhältnissen) (Materne, 2008) zabývajícího se plánováním v této oblasti v období sucha. Koncept hospodaření s vodou zahrnuje informace o důvodech zpracování studie, údaje o základních charakteristikách povodí a k jakým účelům se voda užívá. Další část konceptu shrnuje všechny vodní zdroje, které jsou k dispozici, jaké množství vody mohou poskytnout a příklady odběru vody různými odběrateli. Poté následuje doporučení, jakým způsobem by se mělo postupovat v období nedostatku vody a sucha. Pro implementaci konceptu v období sucha je doporučeno, aby byla ustanovena pracovní skupina pověřených organizací v čele s Landesumweltamt Brandenburg (LUA), která by se měla sejit, pokud



Obr. 5. Detail hodnocení sucha pomocí kombinovaného indikátoru sucha pro oblast střední Evropy během podzimu roku 2012 (zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1052>)

Fig. 5. Combined Drought Indicator in the autumn of the year 2012 (source: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1052>)



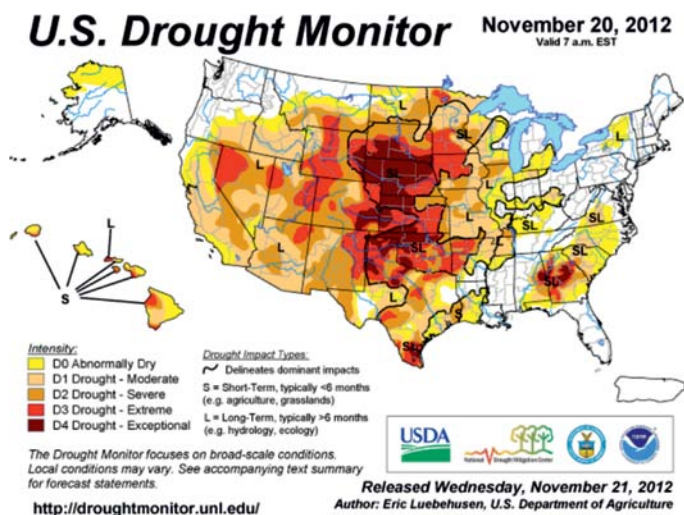
Obr. 6. Monitoring sucha v Bavorsku (zdroj: <http://www.nid.bayern.de/>)

Fig. 6. Drought Monitoring in Bavaria (source: <http://www.nid.bayern.de/>)



Obr. 7. Poloha povodí střední Sprévy (území vnitřního Spreewaldu).

Fig. 7. Location of the Central Spree basin



Obr. 8. Ukázka vyhodnocení sucha podle U.S. Drought Monitoru pro podzim roku 2012 (zdroj: <http://www.droughtmonitor.unl.edu>)
Fig. 8. The U.S. Drought Monitor for the autumn of the year 2012 (source: <http://www.droughtmonitor.unl.edu>)

nastane 2. stupeň ohrožení suchem. Stupně sucha (celkem čtyři) jsou definovány podle poklesu průtoku na vodočtu Leibisch. Při prvním stupni se navyšuje průtok z přehrad, při stupních 3 a 4 pak již dochází k omezování spotřeby vody.

USA – nejpropracovanější systém pro plánování a monitoring sucha ve světě

Ve světě existují regiony, které oproti Evropě mají s plánováním pro zvládání období nedostatku vody a sucha podstatně delší zkušenosti a výzkumu a vývoji věnují více prostoru. Asi nejpropracovanější systém z mimoevropského regionu existuje v USA.

Každý z jednotlivých států zde má zpracovanou vlastní plánovací dokumentaci. Všechny plány jsou k dispozici na stránkách National Drought Center (<http://drought.unl.edu/Planning/PlanningInfoByState/DroughtandManagementPlans.aspx>). National Drought Mitigation Center na University of Nebraska–Lincoln (NDMC) (<http://drought.unl.edu>) je hlavní institucí věnující se problematice sucha v USA. Zabývá se komplexním výzkumem a monitoringem sucha a vším, co s ním souvisí – vytváří plány pro zvládání sucha, organizuje semináře o suchu, věnuje se osvětě, mezinárodní spolupráci apod.

Pro území USA je vytvořen kromě detailní plánovací dokumentace i komplexní monitoring sucha – tzv. U.S. Drought Monitor (2012a). Výsledky monitoringu jsou k dispozici na webových stránkách <http://www.droughtmonitor.unl.edu/>. Výpočty jsou aktualizovány 1x týdně, každý čtvrtek v 7 hodin času EST. Rozšířená verze U.S. Drought Monitoru byla vytvořena i pro oblast Severní Ameriky pod názvem North American Drought Monitor. Za účelem stanovení intenzity sucha je sucho rozděleno do pěti kategorií (U.S. Drought Monitor, 2012b) – mírné, střední, závažné, extrémní a výjimečné. Stupně sucha jsou definovány na základě kombinace pěti hlavních metod (SPI index, PDSI index, CPC model, týdenní průtoky, tzv. vyhlazený objektivní krátkodobý a dlouhodobý index sucha – Objective Short and Long-term Drought Indicator Blends) a několika metod doplňkových. Na webu U.S. Drought Monitoru lze nalézt i výsledky analýzy sucha podle několika dalších metod – mj. PDSI index, Crop Moisture Index, srovnání aktuálních srážek oproti normálu, SPI index, údaje o půdní vlhkosti, vyhodnocení rizika vzniku požárů, údaje o odchylce průtoků od normálu vyjádřené zařazením do kategorie

příslušného percentilu a různé indexy vyhodnocované pomocí DPZ. V období měsíců leden až květen jsou k dispozici i údaje o množství sněhu v západní polovině USA. Na stránkách U.S. Drought Monitoru lze nalézt i sekci věnovanou předpovědi.

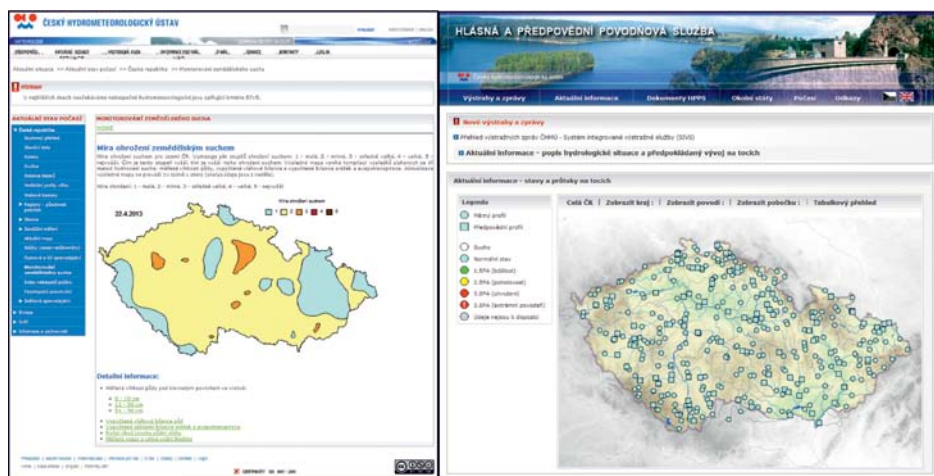
Stav současného plánování zvládání nedostatku vody a sucha a monitoring sucha v České republice

V Česku se ucelená koncepce plánování pro zvládání období sucha a nedostatku vody podle vzoru Drought management plan report a států, které mají v této oblasti zkušenosti, připravuje. Měla by být dokončena v roce 2014. Prozatím je podpora plánování v české legislativě řešena pouze v obecné podobě. Nejdetailnější informace v této problematice jsou uvedeny v jednotlivých Plánech oblastí povodí (Povodí Labe, 2009; Povodí Moravy, 2009a, 2009b; Povodí Odry, 2009; Povodí Ohře, 2009; Povodí Vltavy, 2009a, 2009b, 2009c) v kapitole D, zejména v podkapitolách D.2.2. Cíle prevence negativních důsledků suchých období, D.3.3. Historická období sucha a jejich důsledky, D.3.4. Nebezpečí výskytu období sucha a možné škody a D.4.7. Zabezpečení užívání vod v období sucha. Jedná se o teze zahrnující, co by se mělo v období nedostatku vody a sucha dělat, avšak bez detailnějšího řešení vzniklé situace.

Obecný text o nutnosti řešit problematiku sucha je i součástí Plánu hlavních povodí České republiky, zejména kapitoly 2.2. Rámcové cíle v ochraně vod před dalšími škodlivými účinky vod (problematika sucha a vodní eroze) a C.2. Ochrana před povodněmi a dalšími škodlivými účinky vod.

Ve vodním zákoně (zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů) je v § 1 uvedeno, že je potřeba vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha. V rámci plánování v oblasti vod (§ 23) mají být přijímána opatření pro snížení nepříznivých účinků povodní a sucha a udržitelného užívání vodních zdrojů. Tato opatření by měla být součástí národních plánů povodí (§ 24). S problematikou sucha souvisí nepřímo i vymezení území chráněných pro akumulaci povrchových vod (§ 28a). Vodoprávní úřady mohou při mimořádných situacích (§ 109) svým rozhodnutím nebo opatřením obecné povahy bez náhrady upravit na dobu nezbytně nutnou povolená nakládání s vodami, popřípadě tato nakládání omezit nebo i zakázat.

Do plánování pro zvládání nedostatku vody a sucha v České republice lze nepřímo zahrnout i vytvoření Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod (Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí ČR, 2011). Plánování pro zvládání nedostatku vody a sucha v České republice může využít i výsledků mnoha výzkumných úkolů zabývajících se problematikou sucha, adaptačních opatření na sucha či dopady klimatických změn se zaměřením na suchá období či období s nedostatkem srážek. Jedná se např. o projekty s názvy InterSucho, Stanovení vhodných indikátorů pro identifikaci výskytu, předpověď a vyhodnocení intenzity období sucha pro podmínky České republiky, Časová a plošná variabilita hydrologického sucha



Obr. 9. Monitoring zemědělského a hydrologického sucha na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu (zdroj: www.chmi.cz)

Fig. 9. Drought monitoring on the website of the Czech Hydrometeorological Institute (source: www.chmi.cz)

na území ČR, Dlouhodobé změny režimu výskytu extrémního sucha v Česku, Vysychání toků v období klimatické změny: predikce rizika a biologická indikace epizod vyschnutí jako nové metody pro management vodního hospodářství a údržby krajiny, Udržitelné využívání vodních zdrojů v podmínkách klimatických změn, Výzkum adaptačních opatření pro eliminaci dopadu klimatické změny v regionech České republiky, Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulační schopnosti v povodí Rakovnického potoka a mnohé další.

Na území ČR se v současné době vyhodnocuje vznik a průběh zemědělského sucha a sucha z pohledu výskytu požárů. Analýza sucha probíhá pouze v době vegetačního období. Hydrologické sucho je evidováno jen v případě, když průtok klesne pod limitní průtok $Q_{95\%}$. Podrobnější klasifikace hydrologického sucha chybí. Dále existuje monitoring podzemních vod, v jehož rámci se eviduje výška hladiny podzemních vod ve vrtech a pokles či vzrůst hladiny podzemní vody v těchto vrtech.

Zemědělské sucho se hodnotí na základě kombinace tří metod – pomocí měřené vlhkosti půdy, vypočtené vláhové bilance a vypočtené bilance srážek a evapotranspirace. Na základě průniku těchto metod se stanoví riziko ohrožení zemědělským suchem pomocí pěti stupňů (malé, mírné, středně velké, velké, nejvyšší ohrožení suchem).

Index pro předpověď vzniku požárů popisuje nebezpečí vzniku požárů v otevřené krajině pokryté vegetací. Závisí zejména na vlhkosti půdy, stavu vegetace a typu synoptické situace. Nebezpečí vzniku požárů je rozděleno do pěti úrovní podle stupně nebezpečí vzniku požáru (velmi nízké, nízké, střední, vysoké a velmi vysoké riziko vzniku požáru).

Mapky s aktuálním vyhodnocením sucha lze nalézt na internetových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu www.chmi.cz.

Závěr

Hydrologickým extrémním situacím je věnována stále větší pozornost. Donedávna to byly zejména povodně, jejichž dopad je okamžitý, následky povodní lze pozorovat ihned. Suchu taková pozornost věnována nebyla, neboť se projevuje pozvolna. Suchu byla věnována pozornost zejména v oblastech, které mají pravidelný nedostatek srážek a vysoký výpar. V Evropě iniciovaly potřebu plánování pro zvládnutí období nedostatku vody a sucha státy kolem Středozemního moře, které vzhledem k jejich poloze postihuje sucho každoročně. V rámci Evropské unie je suchu věnována pozornost od roku 2006, přičemž klíčové pro posun v plánování pro zvládnutí nedostatku vody a sucha bylo portugalské předsednictví v EU ve 2. polovině roku 2007. Tempo přípravy konkrétních plánů a systémů monitoringu sucha v jednotlivých členských státech a jejich nižších správních jednotkách je odlišné. Obecně platí, že čím častěji zájmové území suchu postihlo, tím rozvinutější stadium vykazuje příprava plánovací dokumentace a monitoringu pro období sucha. V okolních zemích existuje pilotní plán pro řešení nedostatku vody např. v oblasti Braniborska, podrobný monitoring sucha pak v Bavorsku. Na území České republiky je prozatím podrobná plánovací dokumentace a detailní monitoring pro období sucha v přípravě. Měl by být hotov během roku 2014. S navrhovanou ucelenou koncepcí by měla být Česká republika na špičce evropského plánování pro zvládnutí období nedostatku vody a sucha. Zájem o české zkušenosti z přípravy plánovací dokumentace je však v okolních zemích již nyní.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci projektu Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území ČR (projekt BV MV ČR č. VG20102014038).

Literatura

2008/2074(INI) (2008) Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=O-JC:2010:009E:0033:0040:EN:PDF> [online, cit. 1. 3. 2013]
COM(2007) 414 final (2007) Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0414:FIN:EN:PDF> [online, cit. 1. 3. 2013]
COM(2008) 875 final (2008) Follow up Report to the Communication on Water Scarcity and Droughts in the European Union COM(2007) 414 final. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0875:FIN:EN:PDF> [online, cit. 1. 3. 2013]
COM(2010) 228 final (2010) Second Follow-up Report to the Communication on water scarcity and droughts in the European Union COM (2007) 414 final. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0228:FIN:EN:PDF> [online, cit. 1. 3. 2013]
COM(2011) 133 final (2011) Third Follow up Report to the Communication on water scarcity and droughts in the European Union COM (2007) 414 final. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0133:FIN:EN:PDF> [online, cit. 1. 3. 2013]
DG Environment, European Commission (2007) Water Scarcity and Droughts Second Interim report. http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/comm_droughts/2nd_int_report.pdf [online, cit. 1. 3. 2013]
EDO (2011) PRODUCT FACT SHEET: Combined Drought Indicator – EUROPE. http://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_combinedDroughtIndicator.pdf [online, cit. 1. 3. 2013]
European Communities (2007) Drought management plan report. http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp_report.pdf [online, cit. 1. 3. 2013]
Fiala, T. (2009) Variabilita nedostatkových objemů na českých tocích ve vztahu k fyzicko-geografickým charakteristikám povodí. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, roč. 51, č. I, s. 16–19. ISSN 0322-8916, příloha *Vodního hospodářství* č. 11/2009.
Iglesias, A., Cancelliere, A., Gabiña, D., López-Francos, A., Moneo, M., and Ross G. (2007) Drought Management Guidelines. http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/guidelines/archivos/guidelines_english.pdf [online, cit. 1. 3. 2013]
Materne, K. (2008) Konzept zur Wasserbewirtschaftung im mittleren Spreegebiet unter extremen Niedrigwasserhältnissen. Landesumweltamt Brandenburg, Regionalabteilung Süd – Cottbus, 13 s. [rukopis]
MEDROPLAN (2013) Webová stránka projektu MEDROPLAN na <http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/> [online, cit. 1. 3. 2013]
Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2007) Water scarcity and drought A Priority of the Portuguese Presidency. http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/water_scarcity_book.pdf [online, cit. 1. 3. 2013]
Ministerstvo zemědělství (2007) Plán hlavních povodí České republiky. http://eagri.cz/public/web/file/18971/PlanHlavPov_schvaleny_vladou1_1_.pdf [online, cit. 1. 3. 2013]
Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí ČR (2011) Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod. http://eagri.cz/public/web/file/133229/Generel_LAPV_vc_protokolu.pdf [online, cit. 1. 3. 2013]
Možný, M. (2004) Hodnocení sucha na území ČR v letech 1891–2003. In: Seminář Extrémní počasí a podnebí (ed. Rožnovský, J., Litschmann, T.), ISBN 80-86690-12-1. dostupné z <http://www.cbks.cz/sbornik04/prispevky/MOZNY.pdf> [online, cit. 1. 3. 2013]
Niedrigwasser-Informationsdienst (2013) Webová stránka Niedrigwasser-Informationsdienst na <http://www.nid.bayern.de/> [online, cit. 1. 3. 2013]
Potop, V., Soukup, J. a Možný, M. (2011) Drought at various timescales for secular lowland climatological stations in the Czech Republic. *Meteorologické zprávy*, roč. 54, č. 6, s.177–187. ISSN 0026-1173.
Povodí Labe (2009) Plán oblasti povodí Horního a středního Labe. <http://www.pla.cz/planet/projects/planovani/files/navrhpop/WEB/index.html> [online, cit. 1. 3. 2013]
Povodí Moravy (2009a) Plán oblasti povodí Dyje. <http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/>
Povodí Moravy (2009b) Plán oblasti povodí Moravy. <http://www.pmo.cz/pop/2009/Morava/End/>
Povodí Odry (2009) Plán oblasti povodí Odry. <http://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/>
Povodí Ohře (2009) Plán oblasti povodí Ohře a dolního Labe. <http://www.poh.cz/VHP/pop/index.html> [online, cit. 1. 3. 2013]
Povodí Vltavy (2009a) Plán oblasti povodí Berounky. <http://www5.pvl.cz/portal/hydroprojekt/BE/index.html> [online, cit. 1. 3. 2013]
Povodí Vltavy (2009b) Plán oblasti povodí Dolní Vltavy. <http://www5.pvl.cz/portal/hydroprojekt/VD/index.html> [online, cit. 1. 3. 2013]
Povodí Vltavy (2009c) Plán oblasti povodí Horní Vltavy. <http://www5.pvl.cz/portal/hydroprojekt/VH/index.html> [online, cit. 1. 3. 2013]
Strosser, P., Dworak T., Delvaux, P.A.G., Berglund, M., Schmidt, G., Mysiak, J., Kossida M., Iacovides, I., and Ashton, V. (2012) Gap Analysis of the Water Scarcity and Droughts Policy in the EU European Commission – Final Report. <http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/WSDGapAnalysis.pdf> [online, cit. 1. 3. 2013]
Tremil, P. (2011) Největší sucha na území České republiky v období let 1875–2010. *Meteorologické zprávy*, roč. 54, č. 6, s.168–176, ISSN 0026-1173.

- Trnka, M., Dubrovský, M., Svoboda, M.D., Semerádová, D., Hayes, M.J., Žalud, Z., and Wilhite, D.A. (2009) Developing a regional drought climatology for the Czech Republic for 1961–2000. *International Journal of Climatology*, vol. 29, p. 863–883, ISSN 1097-0088.
- U.S. Drought Monitor (2012a). <http://www.droughtmonitor.unl.edu/> [online, cit. 1. 3. 2013]
- U.S. Drought Monitor (2012b). <http://droughtmonitor.unl.edu/classify.htm> [online, cit. 1. 3. 2013]
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů. <http://www.mvcr.cz/soubor/sbirka-zakonu-dokumenty-sb101-10-pdf.aspx> [online, cit. 1. 3. 2013]

Mgr. Pavel Tremil^{1,2}

¹ Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i.,
pavel_tremil@vuv.cz,

² Katedra fyzické geografie a geoekologie
Přírodovědecké fakulty UK
Příspěvek prošel lektorským řízením.

Key words

drought – water scarcity – planning – monitoring – European Union

NÁVRH POSTUPU STANOVENÍ MINIMÁLNÍHO ZŮSTATKOVÉHO PRŮTOKU

Magdalena Mrkvičková, Pavel Balvín

Klíčová slova

ekologický průtok – *Instream Flow Incremental Methodology* – hydrologický režim – minimální zůstatkový průtok – nakládání s vodami

Souhrn

V příspěvku je představen návrh metodiky stanovení minimálních zůstatkových průtoků, na jehož základě připravuje Ministerstvo životního prostředí nařízení vlády. Při návrhu nového přístupu ke stanovení minimálních zůstatkových průtoků bylo snahou zohlednit požadavky vodních a na vodu vázaných ekosystémů a zároveň zachovat pokud možno jednoduchý způsob stanovení. Aby bylo možné zohlednit rozdílné přírodní podmínky, byl vypracován návrh rozdělení území ČR do čtyř typů oblastí v závislosti na charakteru hydrologického režimu a na klíčových procesech, které se v dané oblasti podílejí na tvorbě odtoku. Pro získání představy o potřebné velikosti minimálního zůstatkového průtoku, která je ještě přijatelná pro zachování existujících vodních a na vodu vázaných ekosystémů, byla vypracována rešerše studií zpracovaných na stanovení minimálního zůstatkového průtoku pro různé typy nakládání s vodami. Metodika navrhuje rozdílné přístupy ke stanovení minimálního zůstatkového průtoku pro různé typy nakládání s vodami. Nejjednodušší koncept založený na hydrologické metodě je navržen pro nakládání, které významně nemění hydrologický režim. Třístupňový koncept minimálního zůstatkového průtoku je navržen pro nakládání, jež vedou k významné změně hydrologického režimu dotčeného toku. Pro tato nakládání bude třeba zajistit měření aktuálního průtoku nad odběrným objektem. Pro rozhodnutí o velikosti minimálního zůstatkového průtoku pod nádržemi o objemu nad 1 mil. m³ je doporučeno uplatnit komplexní expertní metodu využívající výsledky po-

Monitoring and planning in the period of water scarcity and droughts in European Union view (Tremil, P.)

The paper deals with problems of drought planning and monitoring in countries of the European Union. It contains a brief history of the planning processes. The most important documents for the planning in the case of water scarcity and droughts are described in detail later – The Drought Management Plan report – is so-called basic guide for the planning in the case of water scarcity and droughts in the European Union countries, MEDROPLAN was the first attempt to propose certain methods for the planning in dry seasons in Europe, and the document Gap Analysis of the Water Scarcity and droughts Policy in the EU. The activity of European Drought Observatory, which was set up for the drought monitoring in Europe is introduced as well. The paper also contains some examples of regional drought planning in the region of Brandenburg and some examples of the regional drought monitoring in the region of Bavaria. Final passage of the text describes one of the most sophisticated system for drought planning and monitoring in the world which is operated in the USA and drought monitoring and planning in the Czech Republic.

drobného průzkumu úseku toku potenciálně dotčeného novým nakládáním.

1 Úvod

V souvislosti s novelizací zákona č. 254/2001 Sb. (dále jen vodní zákon) zákonem č. 150/2010 Sb. bylo Ministerstvo životního prostředí pověřeno vypracovat nařízení vlády o způsobu a kritériích stanovení minimálního zůstatkového průtoku. V této souvislosti získal VÚVTGM, v.v.i., v letech 2011 a 2012 finanční podporu na vypracování metodiky stanovení minimálního zůstatkového průtoku (MZP) a metodiky měření minimálního zůstatkového průtoku. Příspěvek představuje navrženou metodiku stanovení MZP, na základě které Ministerstvo životního prostředí připravuje vlastní nařízení vlády.

Minimálním zůstatkovým průtokem se podle § 36 vodního zákona rozumí průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s vodami a ekologické funkce vodního toku. Novela vodního zákona ukládá vodoprávním úřadům stanovit hodnotu minimálního zůstatkového průtoku s přihlédnutím k podmínkám vodního toku, charakteru nakládání s vodami a k opatřením k dosažení cílů ochrany vod přijatých v plánu povodí. Požadavky dané zákonem bylo třeba zohlednit v návrhu metodiky. Nově navržený koncept vychází z doposud platného metodického pokynu odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k zásadám stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích z roku 1998 (MŽP, 1998). S cílem lepšího zohlednění požadavků vodních ekosystémů a ekosystémů vázaných na vodní prostředí byl oproti původnímu pokynu uplatněn regionální přístup ke stanovení hodnoty MZP – hodnota MZP je proměnná v roce a při jejím stanovení se přihlíží jednak k charakteru nakládání a také k cíli ochrany vod pro dotčený vodní útvar.

Velikost minimálního zůstatkového průtoku má značný vliv na ekologický i na chemický stav vodního útvaru dotčeného nakládáním s vodami, neboť zajišťuje přežití vodních a na vodu vázaných ekosystémů v období sucha a též zajišťuje dostatečné ředění vypouštěných vod. V tomto kontextu je možné se v literatuře setkat s termínem ekologický (environmentální) průtok. Velikost ekologického průtoku je zpravidla stanovována na základě znalosti specifík dané lokality, ke kterým patří např. struktura ekosystému (převažující, chráněné druhy organismů a rostlin), hydromorfologie dotčeného úseku toku, výskyt habitatů atd. Pro stanovení velikosti ekologického průtoku existuje řada expertních metod, které však v každém případě vyžadují odborné posouzení konkrétní lokality a jsou často časově i finančně náročné. Není tedy možné je doporučit pro rutinní stanovení hodnoty MZP vodoprávním úřadem pro všechna povolená nakládání. Při odvození nové metodiky stanovení minimálního zůstatkového průtoku bylo snahou přiblížit se co nejvíce konceptu ekologického průtoku a zároveň vypracovat metodu uplatnitelnou v praxi, proto

bylo třeba přístupy ke stanovení MZP rozlišit podle potenciálních dopadů jednotlivých typů nakládání s vodami.

2 Metodika a data

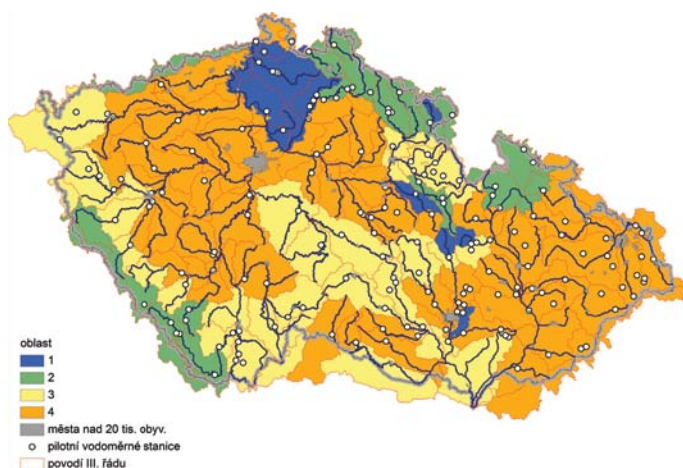
Pro návrh metodiky stanovení MZP byly k dispozici statistické charakteristiky průtoků pro 185 vodoměrných stanic z celé ČR za období 1981–2010, které byly získány od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Sledované charakteristiky zahrnovaly velikost dlouhodobého ročního průměrného průtoky, p-procentní a M-denní průtoky, koeficient variace a asymetrie řady denních průtoků, hodnoty průměrného průtoky v jednotlivých měsících v roce a hodnoty pravděpodobnostního pole průměrných měsíčních průtoků. Střední hodnota velikosti plochy povodí vybraných vodoměrných stanic činí 222 km². Po kontrole ovlivnění řady a kontrole kvality dat bylo pro další odvození metody stanovení MZP vybráno 155 profilů.

ČHMÚ stanovuje M-denní průtoky na základě pozorovaných hodnot, které odpovídají přirozenému nebo více či méně ovlivněnému hydrologickému režimu. V případě ovlivněného režimu ČHMÚ od roku 2013 poskytuje M-denní průtoky ovlivněné nebo odovlivněné, které byly získány odpočtem evidovaného nakládání a které tak reprezentují „přirozený“ hydrologický režim. Pro výpočet MZP je doporučeno vycházet právě z těchto odovlivněných hodnot hydrologických charakteristik. Ve výsledném nařízení vlády budou ale stanoveny podmínky, kdy bude doporučeno uplatnit pro výpočet charakteristiky MZP odvozené z ovlivněného průtokové řady. Pro stanovení MZP je třeba odovlivněné (popř. ovlivněné) M-denní průtoky v řešeném profilu zajistit od ČHMÚ.

2.1 Návrh regionalizace

Zohlednění přírodních podmínek toku při návrhu regionalizace ČR bylo založeno především na uvážení klíčových procesů podílejících se na tvorbě celkového odtoku z povodí. Bylo třeba vymezit oblasti, kde si celkový odtok po většinu roku zachovává vyrovnaný charakter, a tedy nedochází k výraznému poklesu vodnosti toku v létě a na začátku podzimu. Jedná se především o oblasti, kde je celkový odtok po většinu roku dotován ze zásob podzemních vod, nebo o oblasti, kde je celkový odtok z velké míry tvořen především povrchovým odtokem z vydatných srážek. Na druhou stranu pak bylo třeba vymezit oblasti, které mohou být potenciálně zranitelné vůči suchu, kde je celkový odtok během roku výrazně nevyrovnaný. Pro návrh regionalizace byl vybrán parametr K_{99} , který udává poměr mezi průměrným denním průtokem s pravděpodobností překročení 99 % během referenčního období a hodnotou průměrného dlouhodobého průtoky Q_a . Čím vyšší je hodnota parametru, tím vyrovnanější chod průtoků během roku můžeme předpokládat.

Hodnoty parametru K_{99} v testovaných vodoměrných stanicích byly vykresleny do mapy hydrogeologických rajonů. Na základě souvislosti hodnot parametru K_{99} , hydrogeologických poměrů a nadmořské výšky bylo navrženo rozdělit území ČR do čtyř typů oblastí. Samostatnou třídu tvoří oblasti křídových sedimentů, které představují



Obr. 1. Návrh rozdělení ČR do oblastí s rozdílným způsobem stanovení MZP

Fig. 1. Regions of the Czech Republic with different ways of MRF setting

drenážní báze a základní odtok, tj. odtok ze zásob podzemních vod; zde tvoří podstatnou část celkového odtoku. Patří sem pravostranné přítoky Labe, horní Metuje, Loučná, pramenné oblasti Svítavy a Třebůvky, Říčka. Hodnota parametru K_{99} je v těchto oblastech zpravidla větší než 0,18. Druhou třídu tvoří horské oblasti, které jsou rovněž relativně vodné. Vyrovnaný charakter odtoku je zde dán především vysokými srážkami. Hodnota parametru K_{99} je v těchto oblastech zpravidla větší než 0,15. Do této třídy byly zařazeny především oblasti Krkonoš a Jizerských hor, Šumavy, Jeseníků, vrcholů Krušných hor a dále byla touto třídou klasifikována i část povodí Tiché Orlice, která má obdobně vyrovnaný charakter. Třetí třídu představují oblasti tvořené převážně krystalinickými strukturami, které se nacházejí v podhůří pohraničních pohoří a v oblasti Českomoravské vrchoviny. Jedná se o oblasti s velmi podobným průběhem čáry překročení jako u třídy 2. Vzhledem k nižší nadmořské výšce, než je dosahována v oblastech třídy 2, zde dochází k dřívějšímu nástupu období jarního tání. Také srážky jsou zde nižší než u třídy 2. Hodnota parametru K_{99} se v těchto oblastech zpravidla pohybuje od 0,1 do 0,15. Do čtvrté třídy byly zařazeny oblasti, které se vyznačují výrazně nevyrovnaným režimem průtoků během roku, kde hodnota parametru K_{99} je menší než 0,1. Mapa oblastí je na obr. 1.

Pro zařazení řešeného úseku vodního toku je třeba dále zohlednit skutečnost, že páteřní toky si zachovávají průtokový režim, který odpovídá charakteru pramenné oblasti. U páteřních toků se při zařazení profilu musí prioritně přihlídnout k hodnotě parametru K_{99} bez ohledu na zařazení oblasti, kterou daný vodní tok protéká. Tím se rovněž předejde skokové změně v hodnotě MZP na hranicích dvou oblastí, kterými daný páteřní tok protéká.

2.2 Návrh způsobu stanovení minimálního zůstatkového průtoky

Aby navržený způsob stanovení MZP dostatečně respektoval potřeby vodních ekosystémů a ekosystémů na vodu vázaných, byl v první řadě proveden rozbor existujících studií zaměřených na stanovení hodnoty MZP s využitím expertní metody „Instream Flow Incremental Methodology“ – IFIM (Bovee et al., 1998) a modelového nástroje „Physical Habitat Simulation Software“ – PHABSIM (Milhous et al., 1989) v podmínkách ČR. Jedná se o metodu, která využívá pro stanovení hodnoty MZP výsledky rekognoskace zájmového úseku toku z hlediska jeho hydraulických parametrů, charakteru habitatu a vyskytujících se živočišných a rostlinných druhů. Metoda zahrnuje simulaci vážených využitelných ploch habitatu při různých velkých průtocích. Výsledky simulačního modelování jsou dále uplatněny při diskusi nad volbou kompromisní úrovně MZP, která umožní zachování současných ekosystémů a zároveň umožní rozumnou míru nakládání s vodami (Balvín a Mrkvičková, 2011). Odvození hodnoty MZP pomocí metody IFIM trvá zpravidla 1,5 až 2 roky a vyžaduje opakovaný sběr biologických dat z úseku toku, který bude dotčen navrhovaným nakládáním. Rešerše zahrnovala 15 lokalit v ČR a vedla k závěru, že výsledná kompromisní hodnota MZP se ve většině případů pohybovala na úrovni průtoky s pravděpodobností překročení 330 dní v roce.

Studie provedené na základě metody IFIM byly většinou zpracovány pro lokality v oblastech třídy 2 a 3. Pro tyto oblasti platí, že hodnota Q_{330d} činí přibližně 26–31 % Q_a (tabulka 1). Z tabulky je rovněž patrné, že pro oblast 1 odpovídá průtoky o velikosti 30 % Q_a M-denní průtok s dobou překročení 364 dní v roce, zatímco pro stanice zařazené do

Tabulka 1. Podíl hodnoty M-denního průtoky s danou dobou překročení a průměrného dlouhodobého průtoky – průměr pro pilotní vodoměrné stanice zařazené do jednotlivých oblastí

Table 1. Ratios of streamflow values with defined probability of exceeding and mean annual values – average for specified region

Oblast	M-denní Q/Q_a [-]						
	Q_{210d}	Q_{240d}	Q_{270d}	Q_{300d}	Q_{330d}	Q_{355d}	Q_{364d}
1	0,72	0,65	0,59	0,53	0,46	0,38	0,29
2	0,57	0,50	0,43	0,37	0,31	0,24	0,17
3	0,54	0,46	0,39	0,33	0,26	0,18	0,11
4	0,44	0,35	0,28	0,22	0,15	0,08	0,04

oblasti 4 by se jednalo o průtok s dobou překročení přibližně 300 až 270 dní v roce. Pro návrh metody stanovení MZP byl dále uvažován orientační požadavek, aby MZP činil přibližně 20–30 % Q_a . Tento požadavek je v souladu se závěry dokumentu „Environmental Flows as a tool to achieve the WFD Objectives – discussion paper“ (EK, 2012). V dokumentu je doporučeno pro dosažení dobrého ekologického stavu zajistit ekologický průtok v rozsahu 25–50 % Q_a , navržená úroveň 20–30 % tedy představuje dolní hranici z daného rozpětí. Výpočet hodnoty MZP byl dále odvozován od hodnoty průtoku s pravděpodobností překročení 330 dní v roce.

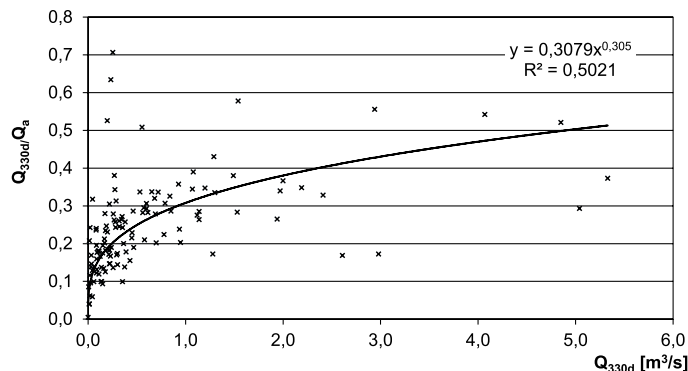
Původní metodický pokyn pro stanovení MZP z roku 1998 pracuje se skutečností, že s velikostí vodního toku se průtokový režim stává vyrovnanější, pro stanovení MZP u vodnějších toků je doporučeno uplatnit hodnoty průtoků s vyšší pravděpodobností překročení. Podobný přístup je rovněž uplatněn např. ve švýcarském vodním zákoně (FASC, 1991), kde velikost minimálního zůstatkového průtoku („residual water flow“) roste v závislosti na hodnotě průtoku s pravděpodobností překročení 347 dní v roce s mocninou menší než 1. Aby byl popsán princip zachován i v nově navrhované metodice stanovení MZP, bylo nejprve provedeno vyhodnocení závislosti podílu průtoku s dobou překročení 330 dní v roce a dlouhodobého průměrného průtoku Q_a na velikosti průtoku Q_{330d} . Graf na obr. 2 znázorňuje výsledky získané pro pilotní vodoměrné stanice v ČR. Aproximujeme-li datové body mocninnou funkcí, získáme odhad exponentu 0,3. V dalším kroku byla pro pilotní vodoměrné stanice stanovena hodnota návrhového minimálního zůstatkového průtoku jako 25 % Q_a a byl vyhodnocen vztah mezi touto návrhovou hodnotou MZP a velikostí Q_{330d} . Závislost je vykreslena na obr. 3. Data je možné aproximovat pomocí rovnice $y = 0,8x^{0,7}$, kde x odpovídá hodnotě průtoku Q_{330d} . Se změnou velikosti podílu MZP ku Q_a dochází ke změně konstanty, hodnota exponentu zůstává více méně zachována.

Pro odvození rovnice vhodné pro stanovení MZP pro jednotlivé oblasti byl vykreslen vztah podílu návrhové hodnoty MZP/ Q_{330d} k velikosti Q_{330d} pro jednotlivé oblasti zvlášť. Nicméně bylo rozhodnuto, že míra redukce velikosti MZP v závislosti na velikosti řídicího průtoku Q_{330d} bude pro celé území ČR stejná a rozdílný bude parametr násobku v rovnici. Vliv navržené hodnoty exponentu v rovnici na výslednou hodnotu MZP byl porovnáván s účinkem konceptu MZP z původního metodického pokynu z roku 1998. Ve výsledku byl exponent v rovnici upraven na hodnotu 0,85. Tím dochází ke snížení míry redukce hodnoty MZP v závislosti na velikosti Q_{330d} u profilů, kde Q_{330d} je větší než 1. Výsledné rovnice pro stanovení MZP pro jednotlivé oblasti byly odvozeny opět z požadavku dosažení poměru MZP/ Q_a přibližně na úrovni 25 %. Výsledné rovnice jsou uvedeny v tabulce 2.

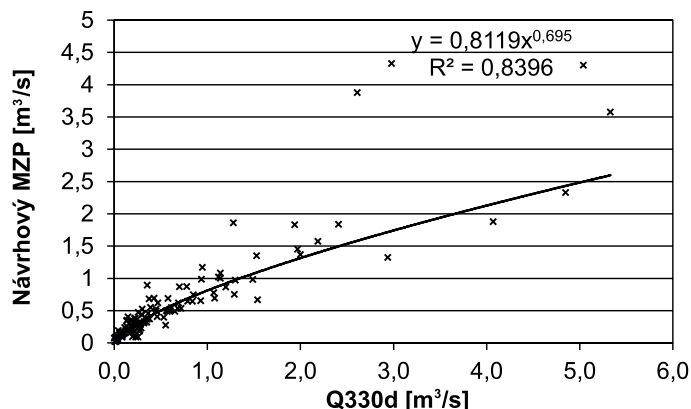
2.3 Návrh uplatnění sezonality v konceptu MZP

Pro uplatnění sezonality v konceptu MZP bylo třeba provést nejprve rozbor vlivu různých typů nakládání na celkový hydrologický režim, neboť rozlišení MZP podle sezonality má smysl především u nakládání, která mohou vést k zásadní změně hydrologického režimu. Jako nakládání, která významně nemění celkový hydrologický režim toku, byly vyhodnoceny takové zásahy do velikosti průtoku dotčeného vodního toku, které vedou v dlouhodobém průměru k poklesu vodnosti o méně než 20 % hodnoty Q_a . Jedná se např. o odběry a převody vody, jejichž maximální velikost nepřesahuje hranici 20 % Q_a . U takového nakládání je třeba z hlediska ochrany vod zajistit, aby došlo k jeho omezení, popř. přerušení v období malých průtoků tak, aby nebylo ohroženo přežití vodních ekosystémů. Přirozená variabilita průtoku v dotčeném úseku toku je při respektování požadavku MZP ve své podstatě zachována.

Nakládání, která vedou k dlouhodobému snížení vodnosti dotčeného úseku toku o více než 20 % Q_a , dále považujeme za nakládání, jež výrazně mění hydrologický režim. Do této skupiny je možné zařadit např. akumulaci povrchových vod v nádržích, využívání energetického potenciálu na vodních elektrárnách s derivačním kanálem, odběry a převody vody, jejichž maximální povolená hodnota je větší než 20 % Q_a . U takového nakládání již hrozí, že průtok v dotčeném úseku toku se bude po značnou část roku pohybovat na úrovni MZP. Takový stav však vede k nepříznivým dopadům na vodní a na vodu vázané ekosystémy. Hranice 20 % Q_a byla stanovena expertně. Z posouzení míry ovlivnění průtoků ve 200 profilech měrné sítě ČHMÚ, které bylo realizováno v rámci řešení projektu „Udržitelné užívání



Obr. 2. Závislost podílu Q_{330d}/Q_a na velikosti hodnoty Q_{330d}
Fig. 2. Relation between the ratio of Q_{330d}/Q_a and Q_{330d}



Obr. 3. Závislost návrhové hodnoty MZP (25 % Q_a) na velikosti hodnoty Q_{330d}
Fig. 3. Relation between the preliminary estimate of MRF and Q_{330d}

Tabulka 2. Návrh výpočetního postupu pro stanovení MZP v jednotlivých oblastech pro dvě období v roce

Table 2. Proposal of equations for MRF setting in regions of the Czech Republic for two periods of a year

Oblast	Hlavní sezona	Jarní tání
1	květen–leden $0,6 \cdot Q_{330d}^{0,85}$	únor–duben $0,7 \cdot Q_{330d}^{0,85}$
2	červen–únor $0,8 \cdot Q_{330d}^{0,85}$	březen–květen* $0,9 \cdot Q_{330d}^{0,85}$
3	květen–leden $0,85 \cdot Q_{330d}^{0,85}$	únor–duben $0,95 \cdot Q_{330d}^{0,85}$
4	květen–leden $0,9 \cdot Q_{330d}^{0,85}$	únor–duben $Q_{330d}^{0,85}$

* pro lokality klasifikované do oblasti 2, které leží v povodí Orlice, volíme období jarní sezony únor–duben

vodních zdrojů v podmínkách klimatických změn“ (TA01020508), vyplynulo, že míra ovlivnění průtoků vyšší než 20 % byla zaznamenána přibližně u 10 % vodoměrných stanic, uvažíme-li pouze odběry z povrchových toků, a u 14 % vodoměrných stanic, uvažíme-li odběry z povrchových i podzemních vod. Nakládání, která přesahují hodnotu 20 % Q_a , tedy pravděpodobně činí pouze relativně malou část realizovaných nakládání s vodami.

Pro nakládání, která významně nemění hydrologický režim, byl zvolen jednoduchý koncept zohlednění sezonality průtoků v podobě navýšení hodnoty MZP o 10 % v období jarního tání – od února do května v oblastech 1, 3 a 4, v horské oblasti 2 od března do května. Pro nakládání, která výrazně mění hydrologický režim u útvarů povrchových vod, pro něž je cílem ochrany vod dosažení dobrého ekologického stavu, byl pro zajištění proměnné hodnoty MZP během roku zvolen přístup využívající informaci o velikosti aktuálního průtoku v toku nad odběrným profilem. Byly navrženy tři hodnoty MZP v závislosti na velikosti aktuálního průtoku. Mezní hodnoty

průtoku a jim odpovídající hodnoty MZP udává *tabulka 3*. Meze byly navrženy v souladu s výsledky studií věnovaných problematice odvození environmentálních standardů ve Velké Británii (Ackerman et al., 2008). Uplatnění navrženého postupu v praxi bude vyžadovat zajištění měření průtoků v profilu nad odběrným místem. U nádrží s povoleným objemem vody akumulované vodním dílem menším než 1 mil. m³ se požaduje, aby velikost MZP závisela na velikosti přítoku do nádrže. Je-li přítok menší než hodnota stanovená pomocí rovnic v *tabulce 2*, odpovídá velikost MZP hodnotě aktuálního přítoku do nádrže.

Samostatnou skupinu nakládání s vodami představuje akumulace povrchových vod v nádržích s povoleným objemem vody akumulované vodním dílem nad 1 mil. m³. Pro tato nakládání jsou provozovatelé povinni předávat správci povodí každoročně údaje pro potřeby vodní bilance. U této skupiny nakládání obvykle dochází k významnému ovlivnění hydrologického režimu v úseku toku pod nádrží a zároveň existuje možnost nalepšování průtoků v profilu pod nádrží v období malých průtoků v závislosti na velikosti disponibilního zásobního objemu v nádrži. Stanovení hodnoty MZP v profilu pod nádrží je rozumné provést na základě výsledků vhodné expertní metody (jakou je např. metoda IFIM s využitím modelového nástroje PHABSIM). Návrh MZP by v tomto případě měl zohlednit původní přirozený sezonní chod průtoků alespoň ve formě větší hodnoty MZP v období jarního tání. Přípustné ovlivnění hydrologického režimu je dáno požadavkem na dosažení cíle ochrany vod přijatého v plánu povodí pro dotčený vodní útvar. Pro dosažení dobrého ekologického stavu doporučujeme, aby nastavení MZP vedlo v dlouhodobém průměru ke změnám hydrologického režimu v rámci mezí stanovených v *tabulce 4*. Ověření míry ovlivnění hydrologického režimu v úseku pod nádrží je možné posoudit na základě výsledků vodohospodářského řešení nádrže s uplatněním všech uvažovaných požadavků na odběry a s uplatněním navrženého konceptu MZP.

3 Porovnání hodnot MZP podle starého (stávajícího) a nově navrhovaného metodického postupu

Hodnoty MZP získané podle nově navrženého přístupu byly porovnávány s hodnotou MZP, která by byla získána s použitím původního metodického pokynu ZP16/98 s uplatněním M-denních průtoků odvozených pro nové referenční období 1981–2010. Porovnání bylo provedeno pro profily vodoměrných stanic, které jsou pro danou oblast reprezentativní, tzn. hodnota parametru K_{99} odpovídá rozsahu uvedenému v kapitole 2.1. U vodoměrných stanic, které leží v oblasti 1 (16 reprezentativních profilů), dochází ke snížení hodnoty MZP oproti původnímu postupu. S velikostí Q_{330d} míra snížení roste. Přesto se však podíl nově stanovené hodnoty MZP/ Q_a pohybuje v rozsahu 20–52 % Q_a (s průměrem na úrovni 30 %). Pro stanice, které reprezentují oblast 2 (26 profilů) platí, že pro stanice s velikostí $Q_{330d} < 1,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ dochází ke zvětšení hodnoty MZP a pro ostatní stanice dochází ke snížení požadavku na MZP. Podíl MZP/ Q_a však neklesá pod 20 % Q_a a průměrně činí 27 %. Pro stanice reprezentující oblast 3 (21 profilů) platí, že pro stanice s velikostí $Q_{330d} < 1,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ dochází ke zvýšení požadavku na MZP, pouze pro jednu stanici (Sázava ve Světlé nad Sázavou) byl výsledný MZP stanovený podle nového postupu menší než podle původního metodického pokynu. Pro stanice reprezentující oblast 4 (61 profilů) platí, že dochází ke zvýšení požadavků na zachování minimálního průtoku u všech vodoměrných stanic. Průměrný podíl MZP ku Q_a zde činí 18 %. Pro některé stanice s malou hodnotou Q_{330d} však výsledná hodnota MZP nedosahuje ani 10 % Q_a . Pro tuto kategorii je tedy rozumné doplnit metodu stanovení o dolní hranici pro MZP, která by měla činit alespoň 10 % Q_a . Porovnání průměrné hodnoty poměru MZP/ Q_a pro jednotlivé oblasti je zachyceno na *obr. 4*. Změna hodnoty MZP v rozsahu -50 až -25 % byla zaznamenána pro 7 reprezentativních profilů, změna v rozsahu -25 až 0 % byla zjištěna pro 17 profilů, navýšení do +25 % se týká 41 profilů, navýšení o +25 až +50 % 39 profilů a navýšení o více než +50 % 21 profilů.

4 Diskuse a závěr

Představená metodika byla předložena odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí jako podklad pro vypracování nařízení vlády ke stanovení minimálních zůstatkových průtoků. Metodika navrhuje rozdílné přístupy ke stanovení MZP v závislosti

Tabulka 3. Návrh odstupňovaných hodnot MZP pro zajištění variability průtoků u nakládání, která významně mění hydrologický režim dotčeného úseku toku

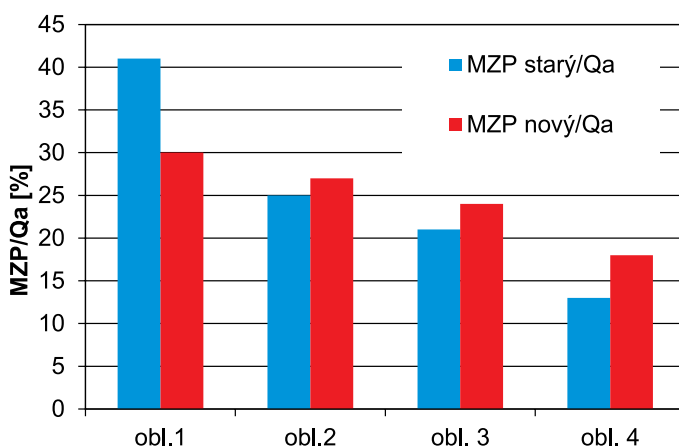
Table 3. Proposal of stepwise values of MRF for conservation of hydrological regime in locations where it could be affected by water use

Řídicí průtok Q	MZP
$Q \geq Q_{180d}$	$0,6 \cdot Q_{180d}$
$Q \geq (Q_{240d} + Q_{270d})/2$	$0,7 \cdot (Q_{240d} + Q_{270d})/2$
$Q < (Q_{240d} + Q_{270d})/2$ a zároveň $Q \geq \text{MZP}$	MZP z tabulky 2 pro hlavní sezonu
$Q < \text{MZP}$	Q

Tabulka 4. Požadavek na maximální přijatelnou odchylku mezi průtokem stanoveným na základě ovlivněné řady průtoků a průtokem stanoveným na základě přirozené řady průměrných měsíčních průtoků při dané pravděpodobnosti překročení

Table 4. Maximum acceptable deviation from natural streamflow values with defined probability of exceeding in locations affected by impoundments

Pravděpodobnost překročení průměrného měsíčního průtoku	Q50%	Q70%	Q95%
Max. odchylka od hodnoty přirozeného průtoku při dané pravděpodobnosti překročení	40 %	30 %	25 %



Obr. 4. Porovnání průměrného podílu MZP/ Q_a pro jednotlivé oblasti, spočteného podle metodického pokynu ZP16/98 a podle nově navrženého postupu (pro hlavní sezonu)

Fig. 4. Comparison of average ratio of MRF/ Q_a estimated for each region calculated according to the document ZP16/98 (current approach) and according to the proposed methodology (for the main season)

na převládajících mechanismech tvorby celkového odtoku v řešené lokalitě a v závislosti na charakteru nakládání s vodami s přihlédnutím k navrženým cílům ochrany vod v dotčené lokalitě. Nejjednodušší přístup založený na hydrologické metodě je uplatněn při stanovení MZP u nakládání, která významně neovlivňují hydrologický režim dotčeného úseku toku, naopak metodika doporučuje uplatnit komplexní expertní metody stanovení MZP v profilech pod nádržemi s povoleným objemem vody akumulované vodním dílem o objemu nad 1 mil. m³, kde je třeba vyhodnotit specifické požadavky ekosystémů dotčených změnou hydrologického režimu. Pro nakládání, která mohou vést ke změně hydrologického režimu dotčeného úseku toku (např. odběr pro derivační vodní elektrárnu), byl navržen třístupňový koncept MZP, kdy hodnota MZP je proměnná (v rámci tří hodnot) v závislosti na aktuálním průtoku v profilu nad odběrným objektem. Takový požadavek je však spojen s nutností zajistit měření průtoku (respektive úrovně hladiny) ve vhodně zvoleném měrném profilu nad

odběrným objektem. Aby bylo možné kontrolovat plnění požadavků na dodržení MZP, je třeba rovněž zajistit podmínky pro stanovení aktuálně zachovaného MZP.

Metodika ve většině případů vede ke zvýšení požadavků na MZP oproti směrným hodnotám, které odpovídají požadavkům původního metodického pokynu z roku 1998. Zpřísnění podmínek se týká především toků v oblasti 4 s rozkolísaným průtokovým režimem, která podle navržené regionalizace na území ČR plošně převažuje. Naopak ke snížení požadavků na MZP dojde v oblasti 1, kde je celkový odtok vydatně dotován základním odtokem, a u profilů na větších tocích v oblastech 2 a 3 s vyrovnanějším režimem průtoků.

Vzhledem ke skutečnosti, že metodika využívá několik expertně stanovených kritérií (např. hranici mezi skupinou nakládání, která mění a která nemění hydrologický režim, maximální míru ovlivnění hydrologického režimu pod nádržemi aj.), bude třeba oprávněnost nastavení těchto kritérií zpětně posoudit, popř. zrevidovat, pokud se objeví problémy s jejich uplatněním v praxi (např. budou zdokumentovány případy nedostatečné ochrany ekosystémů dotčených nakládáním s vodami nebo naopak neoprávněně vysoké nároky na MZP nebo budou k dispozici výsledky výzkumu, které poskytnou podklad pro robustní nastavení dané hodnoty).

Navržená metodika nepředstavuje nástroj pro vlastní rozhodování o vydání nového povolení k nakládání s vodami. Do procesu rozhodování o povolení nového nakládání vstupuje řada faktorů, které jsou velmi často specifické pro danou lokalitu a které nebyly při návrhu metodiky uváženy. Při rozhodování o povolení nového nakládání je třeba zohlednit již existující povolení uplatněná v úseku nad a pod posuzovanou lokalitou, zejména pokud by nově vydané povolení mohlo významně zhoršit podmínky pro uplatnění již povoleného nakládání v úseku pod posuzovanou lokalitou v případě, kdy hrozí nepříznivý efekt kumulace mnoha malých odběrů, nebo např. v případě, kdy je nutné zajistit dostatečné ředění pro realizované vypouštění. Dalším hlediskem, které je třeba zohlednit při rozhodování o povolení nového nakládání, je výsledek hodnocení vodohospodářské bilance dotčeného povodí. Rozhodnutí o vydání povolení je záležitostí vodoprávního úřadu, popř. správce povodí, který vydává k žádosti o povolení své stanovisko. Podpůrný nástroj pro rozhodování o nových povoleních by měl vzniknout v rámci řešení projektu „Udržitelné užívání vodních zdrojů v podmínkách klimatických změn“ (TA01020508), jehož řešení bude ukončeno v roce 2014.

Poděkování

Príspevok vznikl v rámci úkolu Minimální zůstatkové průtoky realizovaného z prostředků Ministerstva životního prostředí ČR v letech 2010–2012.

Literatura

- Ackerman, M. et al. (2008) Developing environmental standards for abstractions from UK rivers to implement the EU Water Framework Directive. *Hydrological Science Journal*, 2008, vol. 53, 6, p. 1105–1120.
- Balvín, P. a Mrkvičková, M. (2011) Stanovení minimálních zůstatkových průtoků. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, roč. 53, č. 4, s. 1–3, příloha *Vodního hospodářství* č. 8/2011, dostupný online: http://www.vuv.cz/fileadmin/user_upload/pdf/vtei/2011/vtei_4-2011.pdf
- Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J., and Henriksen, J. (1998) Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology: U.S. Geological Survey Information and Technology Report 1998-0004. 130 p., dostupný online: <http://www.fort.usgs.gov/Products/Publications/3910/preface.html>
- FASC (1991) Federal Law on the Protection of Water 814.20. The Federal Assembly of the Swiss Confederation, dostupný online: http://www.admin.ch/ch/e/rs/814_20/index.html
- EK (2012) Environmental Flows as a Tool to Achieve the WFD Objectives – discussion paper, dostupný online: <https://circabc.europa.eu/sd/d/0898cf3d-657a-4018-b53d-b34ac3460997/55171-Eflows-Discap-Ed2-20120613.pdf>
- MŽP (1998) Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích č.j. ZP16/98, dostupný online: [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/BB978B5BAED-F46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/BB978B5BAED-F46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- Milhous, R.T., Updike, M.A., and Schneider, D.M. (1989) Physical Habitat Simulation system. Reference Manual Version II. Instream Flow Information Paper 26.

National Ecology Research Center, Fish and Wildlife Service. Ft Collins, CO, dostupný online: <http://www.fort.usgs.gov/Products/Publications/3912/3912.pdf>

Ing. Magdalena Mrkvičková
VÚV TGM, v.v.i.,
magdalena_mrkvickova@vuv.cz

Ing. Pavel Balvín
VÚV TGM, v.v.i.,
balvin@vuv.cz
Príspevok prešiel lektorským řízením.

Proposal for minimum residual flow setting (Mrkvičková, M.; Balvín, P.)

Key words

environmental flow – Instream Flow Incremental Methodology – hydrological regime – residual stream flow – use of water

The revision of the Water Act No. 254/2001 Coll. implemented by the act No. 150/2010 Coll. has implied a need for review of the methodology of minimum residual flow (MRF) setting. MRF is defined as a stream flow, which still allows for general surface water use and for ecological functions of the watercourse. The water authorities are responsible for setting the value of MRF according to the local conditions, type of water use and with consideration of measures identified in River Basin Management Plans to achieve the environmental goal of affected surface water body. The paper describes a proposal of reviewed methodology for MRF setting in conditions of the Czech Republic.

Streamflow statistics of 185 gauging stations from period 1981–2010 were available for development and testing of the proposed methodologies. The minimum residual flow is an essential legislative tool for good ecological status (good ecological potential) achievement. When developing the concept of MRF, it was crucial to keep the needs of potentially affected ecosystems in mind and also to keep the concept as simple as possible. Therefore the approaches for MRF setting were differentiated. A simple hydrological method was proposed for the use of water, which does not affect the hydrological regime significantly. The use of water, which leads to decrease in mean annual discharge higher than 20%, is expected to affect the hydrological regime significantly. So, a concept of three MRF values was proposed for such water uses. The actual MRF value is related to actual stream-flow. A complex expert method of MRF setting was recommended for impoundments with more than 1 mil. m³ of accumulated water.

To define a robust requirement for MRF value, a review of MRF case studies applying the Instream Flow Incremental Methodology was worked out. The most frequent conclusion of the case studies recommends a discharge rate with probability of exceeding 330 days in a year as a compromising value, which still ensures reproduction of occurring organisms. The recommended MRF values are lying in the range of 25–30% of long-term mean annual discharge. Based on that fact, the values of preliminary MRF estimate were calculated as a 25 percentile of the mean annual discharge. The preliminary MRF estimates were correlated with the value of the discharge with the probability of exceeding 330 days in a year. The relation of these two streamflow characteristics can be estimated by an equation $MRF = 0.8 \cdot Q_{330d}^{0.7}$. The equation was modified for four different types of regions in the Czech Republic to take the local conditions into consideration. Proposed concept of MRF setting was compared with the existing methodology. It brings more strict requirements than the existing methodology in most cases. Lower requirements are proposed in regions with high baseflow or in profiles on large rivers. The proposed methodology is currently transformed into a legislative document by the Ministry of the Environment of the Czech Republic.

VLIV FYZICKO-GEOGRAFICKÝCH CHARAKTERISTIK NA VELIKOST POVODNĚ V SRPNU 2002

Ladislav Kašpárek, Martina Peláková

Klíčová slova

povodeň – kulminační průtok – srážky – ukazatel předchozích srážek – sklon povodí – využití území

Souhrn

Analýza ukázala, že při povodni v srpnu 2002 celkový objem obou povodňových vln závisel z 89 % na srážkových úhrnech. Z charakteristik povodí se mírně projevíly pouze způsoby využití území (zejména podíl lesa a podíl orné půdy).

Specifický kulminační průtok z druhé vlny povodně závisel z 64 % na srážkách. Dalším významným vlivem byla nasycenost povodí z předchozí vlny srážek. Podařilo se prokázat i tendenci ke zvětšování kulminačních průtoků u povodí s větším podílem orné půdy a u povodí s větší urbanizovanou plochou.

Úvod

Po skončení úkolu „Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002“, které bylo shrnuto v publikaci [1], byl v roce 2004 ve VÚV TGM řešen navazující výzkumný úkol „Analýza vlivu fyzicko-geografických charakteristik na tvorbu povodňového odtoku“ [2]. Jeho výsledky jsou obsahem článku.

Předmětem analýzy byly dvě veličiny charakterizující velikost povodně: výška odtoku (objem povodně) a kulminační průtok. Pro rozbor byla použita data získaná z projektu Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. Kulminační průtoky ($Q_{\max}$), výšky odtoku (R), výšky srážek (P) a ukazatele předcházejících srážek (API) pro povodí vodoměrných stanic byly převzaty ze zprávy [3]. Po vyloučení několika největších povodí obsahuje použitý soubor údaje pro 41 povodí, viz obr. 1 a tabulku 1.

Z fyzicko-geografických charakteristik povodí byly zkoumány: plocha povodí, sklon povodí, průměrná nadmořská výška povodí a hydrogeologický index propustnosti. Dále byl prověřován vliv zastoupení nejvýznamnějších způsobů využití území: urbanizovaná území, orná půda, louky a lesy.

Použité postupy

Při analýze vlivu charakteristik povodí na základě dat z konkrétní povodňové situace musíme přihlídnout k podstatě zkoumaných fyzikálních procesů a nejprve popsat závislost zkoumané charakteristiky odtoku (závisle proměnné) na srážce a na počátečních podmínkách odtoku. Pro hledání vlivu fyzicko-geografických charakteristik máme k dispozici jen zbývající nevysvětlenou část původního rozptylu závisle proměnné.

Další důležitou okolností je, že některé základní vztahy mezi zkoumanými veličinami mají nelineární charakter. Předcházející výzkum ukázal, že když tuto skutečnost nerespektujeme, můžeme dospět k neopodstatněným výsledkům.

Třetí neopominutelnou zásadou je ověření fyzikálního smyslu. Každý rozpor mezi fyzikál-

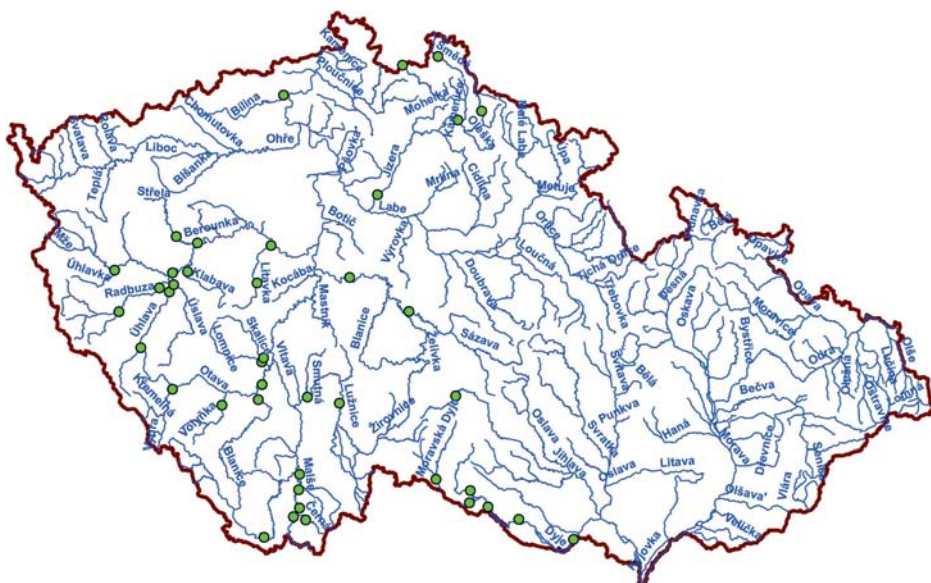
ním smyslem působení nějaké proměnné a znaménkem regresního koeficientu nás upozorňuje, že vztah, který jsme odvodili, je zavádějící a je spíše výsledkem náhodného seskupení čísel než odrazem skutečných poměrů. Taková posouzení lze samozřejmě provést jen v případě relativně jednoduchých a přehledných tvarů použitých závislostí, jakékoliv seskupování vzájemně silně korelovaných nezávisle proměnných (multikolinearita) v jednom vztahu (i lineárním) takovou kontrolu neumožňuje.

Z výpočetního hlediska jsme pro řešení použili metodu postupného výběru nezávisle proměnných a metodu mnohonásobné nelineární regrese.

Analýza vlivů na odtokovou výšku

Základní charakteristikou povodně je její objem, který jsme použili ve formě výšky odtoku. Hodnotili jsme výšku odtoku za celou dobu trvání povodně. Rozčleněné výšky odtoku pro první a druhou vlnu nebyly k dispozici, separace povodňových vln by v některých případech byla zatížena značnou subjektivní chybou. Adekvátně k tomu byly použity výšky srážek za období 6.–15. 8. 2002, tj. z obou dvou srážkových vln.

V prvním kroku byla znázorněna závislost výšky odtoku na výšce srážek (obr. 2). Souborem pozorovaných odtokových výšek a výšek srážek byl proložen polynom 2. stupně



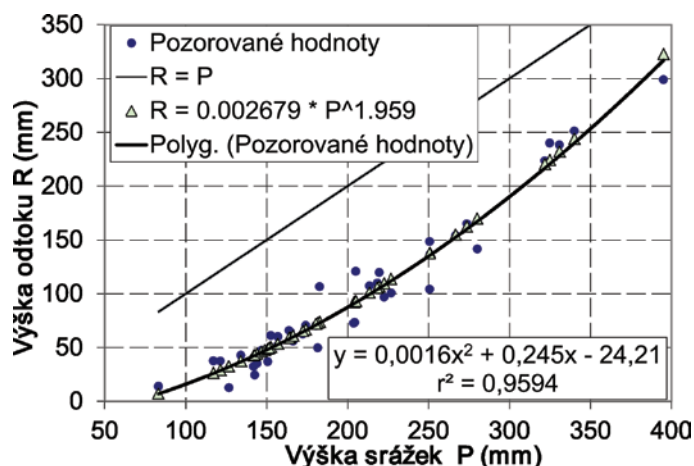
Obr. 1. Mapa ČR s umístěním použitých vodoměrných stanic

Fig. 1. Location of selected gauging stations in the map of Czech Republic

Tabulka 1. Seznam uzávěrových profilů 41 povodí použitých pro analýzu

Table 1. List of 41 selected gauging stations

Číslo stanice	Název stanice	Vodní tok	Číslo stanice	Název stanice	Vodní tok
0845	Jablonec nad Jizerou	Jizera	1799	Lhota	Radbuza
0910	Železný Brod	Jizera	1820	Klatovy	Úhlava
1018	Tuřice-Předměříce	Jizera	1830	Štěnovice	Úhlava
1090	Vyšší Brod	Vltava	1860	Plzeň-Bílá Hora	Berounka
1120	Kaplice	Malše	1870	Plzeň-Koterov	Úslava
1125	Ličov	Černá	1880	Nová Huť	Klabava
1126	Pořešín	Malše	1900	Plasy	Střela
1130	Římov	Malše	1910	Liblín	Berounka
1150	Roudné	Malše	1960	Čenkov	Litavka
1310	Klenovice	Lužnice	1973	Beroun	Litavka
1330	Bechyně	Lužnice	2260	Trmice	Bílina
1380	Sušice	Otava	3200	Hrádek nad Nisou	Lužická Nisa
1430	Němětice	Volyňka	3230	Frýdlant v Čechách	Smědá
1500	Heřmaň	Blanice	4290	Janov	Moravská Dyje
1510	Písek	Otava	4300	Podhradí	Dyje
1520	Dolní Ostrovec	Lomnice	4320	Vysočany	Želetavka
1530	Varvažov	Skalice	4340	Vranov-Hamry	Dyje
1610	Zruč nad Sázavou	Sázava	4350	Znojmo	Dyje
1670	Nespeky-Poříčí n. S.	Sázava	4370	Travní Dvůr	Dyje
1730	Stříbro	Úhlava	4650	Dvorce	Jihlava
1790	Staňkov	Radbuza			



Obr. 2. Závislost výšky odtoku na výšce srážek
Fig. 2. Dependence of runoff on precipitation

$$R = 0,0016 \cdot P^2 + 0,245 \cdot P - 24,21 \quad (1).$$

Výpočty pomocí programu nelineární regrese prokázaly, že rovnice

$$R = 0,002679 \cdot P^{1,959} \quad (2)$$

poskytuje v rozsahu pozorování výsledky prakticky shodné jako polynom 2. stupně. Nelineární vztah mezi výškou srážek a výškou odtoku je zejména v oblasti velkých srážek poměrně těsný.

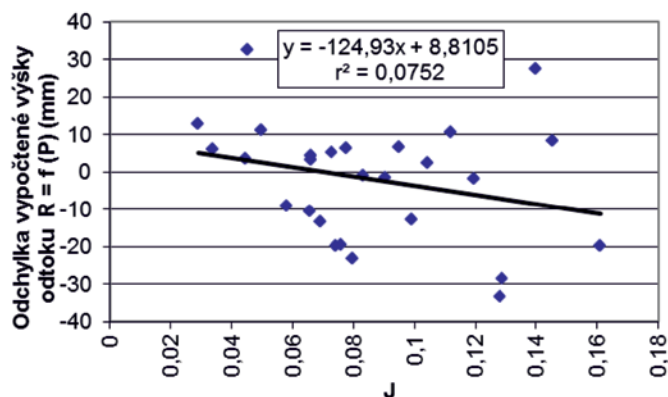
Dále se pokusíme nalézt příčiny odchylek pozorovaných hodnot od proložené funkce.

V dalším kroku byly vyneseny do grafů reziduální odchylky odhadů výšek odtoku podle srážek na základě rovnice (1) a jednotlivé proměnné, které pokládáme za možné vlivy na odtok. Závislostmi mezi reziduálními odchylkami a proměnnými byly proloženy lineární funkce. Rozložení velké části proměnných vykazovalo opačný trend, než se předpokládalo (obr. 3 a 4). Pouze v případě ukazatele předchozích srážek a většiny druhů využití území vykazovaly grafy předpokládaný trend, jak je vidět z obr. 5 a 6. Výsledky pro všechny proměnné shrnuje tabulka 2.

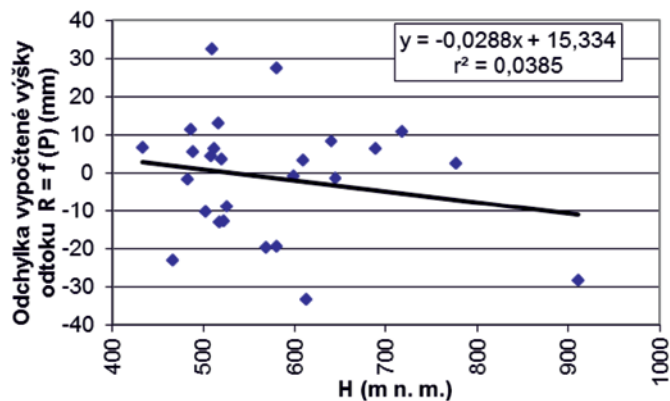
Malý koeficient korelace u ukazatele předcházejících srážek naznačuje, že ukazatel předcházejících srážek nebyl zřejmě před povodní na různých povodích tak odlišný, aby mohl podstatně přispět k vysvětlení odchylek vypočtených odtokových výšek od pozorovaných hodnot.

U všech fyzicko-geografických charakteristik a u podílu urbanizované plochy vyšla závislost s opačným gradientem, než by odpovídalo teoretické představě. Z toho lze usuzovat, že vliv těchto proměnných na výšku odtoku nebyl významný anebo byl potlačen jiným výraznějším vlivem.

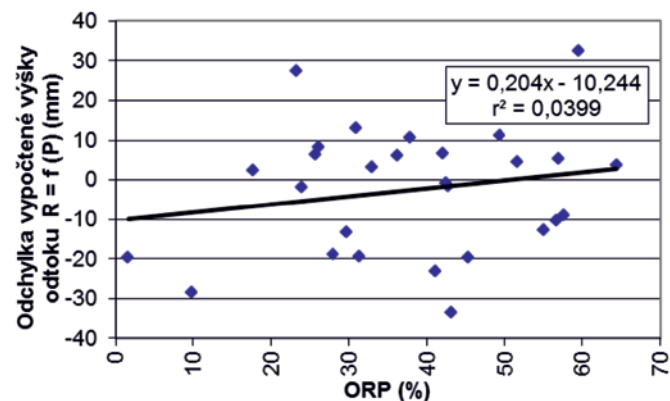
Způsoby využití území (podíl orné půdy, podíl lesů a luk) vykazují očekávaný trend, i když s nevelkými koeficienty korelace. Když



Obr. 3. Vztah mezi odchylkami vypočtené výšky odtoku a sklonem povodí
Fig. 3. Relationship between runoff deviations and catchment slope



Obr. 4. Vztah mezi odchylkami vypočtené výšky odtoku a nadmořskou výškou povodí
Fig. 4. Relationship between runoff deviations and average catchment altitude



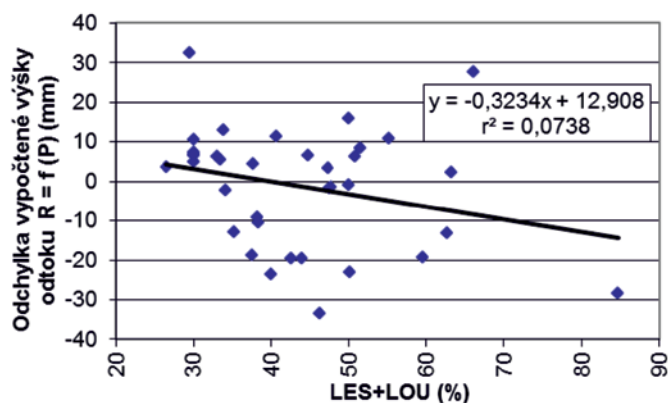
Obr. 5. Vztah mezi odchylkami vypočtené výšky odtoku a podílem orné půdy
Fig. 5. Relationship between runoff deviations and arable land proportion

přihlédneme k ostatním vlivům, můžeme usuzovat, že vliv využití území je zřejmě poněkud potlačen například právě zmínovanými fyzicko-geografickými charakteristikami. Důvodem je, že jednotlivé proměnné jsou na sobě vzájemně závislé. Například se zvětšujícím se sklonem roste podíl lesa (v našem souboru dat koreluje sklon s lesností s $r = 0,54$ při lineární závislosti). Na odtok mají však protichůdný efekt. Z naší analýzy vyplynulo, že vliv podílu lesa převážil nad vlivem sklonu povodí. Podobně je tomu u závislosti podílu orné půdy na sklonu, který s rostoucím sklonem klesá s $r = 0,62$ v našem souboru dat. Velmi obdobně vychází závislost těchto způsobů využití území

Tabulka 2. Koeficienty korelace k reziduálním odchylkám odhadu výšky odtoku podle výšky srážek, tj. podle rovnice (1)

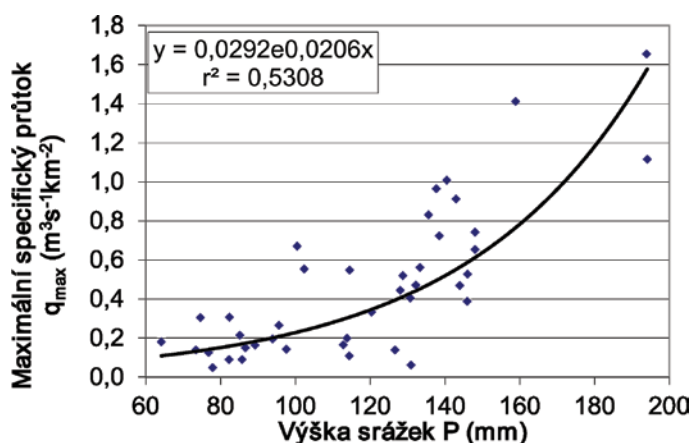
Table 2. Correlation coefficients for the relations between catchment characteristics and runoff deviations, from the equation (1)

Proměnná	Symbol	Koeficient korelace (r)	Gradient (trend)	Fyzikálně odpovídá?
Ukazatel předch. srážek	API	0,175	rostoucí	ano
Plocha povodí	A	0,135	rostoucí	ne
Sklon povodí	J	0,274	klesající	ne
Nadm. výška povodí	H	0,196	klesající	ne
Hydrogeologický index	HGI	0,429	rostoucí	ne
Podíl urbaniz. plochy	URB	0,131	klesající	ne
Podíl orné půdy	ORP	0,181	rostoucí	ano
Podíl luk	LOU	0,146	klesající	ano
Podíl lesů	LES	0,237	klesající	ano
Podíl lesů a luk	LES+LOU	0,272	klesající	ano



Obr. 6. Vztah mezi odchylkami vypočtené výšky odtoku a podílem lesů a luk

Fig. 6. Relationship between runoff deviations and forest and pasture proportion



Obr. 7. Vztah mezi maximálním specifickým průtokem a výškou srážek

Fig. 7. Relationship between specific peak flow and precipitation

na nadmořské výšce, přičemž spolu poměrně dobře koreluje také sklon a nadmořská výška, jak se dá v podmínkách ČR předpokládat. Podíl luk se chová obdobně jako podíl lesa. Tímto se potvrzuje pozitivní působení trvalých porostů (lesů a luk) na sklonitých povodích na zmenšování odtoku.

Stejně tak existuje i mírná závislost využití území na ploše povodí. Podíl lesa se zmenšuje se zvětšující se plochou povodí ($r = 0,33$). Podíl orné půdy se zvětšuje se zvětšující se plochou povodí ($r = 0,19$). Ovšem také sklon a plocha povodí jsou na sobě závislé ($r = 0,39$). A tak bychom mohli pokračovat dále.

Při uvážení všech souvislostí je patrné, že vliv plošně významných způsobů využití území (orná půda, lesy) na výšku odtoku převládá nad vlivem vybraných fyzicko-geografických charakteristik. Nejen kvůli vzájemnému protichůdnému působení jednotlivých vlivů, ale také kvůli jisté chybě všech vstupních dat není možno číselně vyjádřit, jak velký byl vliv využití území.

Jistotou tak zůstává pouze poměrně spolehlivý odhad výšky odtoku podle výšky srážek na základě použité rovnice. Průměrná velikost odchylky pozorovaných hodnot od funkce $R = f(P)$ je jen 11 mm, což činí v řadě odtoků od 13 do 299 mm 11,3 % průměrné výšky odtoku.

Analýza vlivů na kulminační průtok z druhé vlny povodně

Základní veličinou, která je příčinou vzniku povodně, a tedy i kulminačního průtoku, je výška příčné srážky. Předmětem zkoumání jsou kulminační průtoky druhé vlny povodně ze srpna 2002, proto je vhodné využít výšky srážek z období 11.–13. 8. 2002. Kulminační průtok je samozřejmě závislý na ploše povodí. Tento vliv v „nultém“

kroku analýzy předpokládáme ve tvaru přímé úměry a místo kulminačního průtoku zkoumáme specifický kulminační průtok, tj. průtok připadající na jednotku plochy (1 km²).

Podle empirických dat na obr. 7 lze usoudit, že vztah mezi specifickým maximálním průtokem $q_{\max}$ a výškou příčné srážky P je nelineární. Po řadě pokusných výpočtů se ukázalo, že v daném souboru lze pro aproximaci vztahu $q_{\max} = f(P)$ použít exponenciální funkci

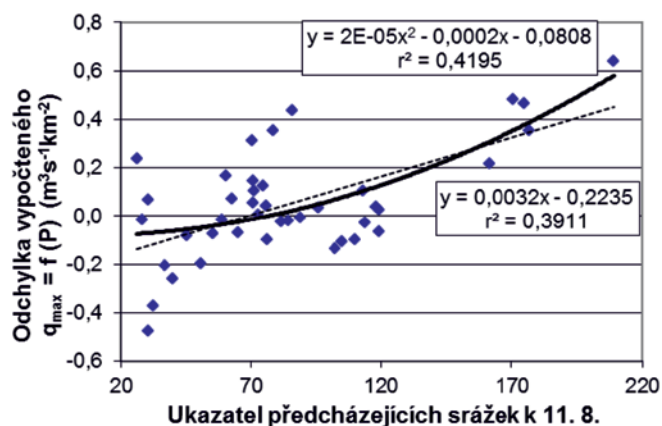
$$q_{\max} = 0,0292 \cdot e^{0,0206 \cdot P} \quad (3).$$

Další proměnnou, která ovlivňuje velikost kulminačního průtoku, je ukazatel předcházejících srážek (API). Při analýze velikosti kulminačních průtoků druhé vlny srpnové povodně 2002 je třeba použít ukazatel předchozích srážek spočítaný ke dni 11. 8. 2002. Charakter jeho vlivu můžeme posoudit na obr. 8, kde jsou vyneseny v závislosti na velikosti API odchylky mezi pozorovanými hodnotami $q_{\max}$ a odhady $q_{\max}$ podle rovnice (3).

Závislostí mezi reziduálními odchylkami a API je proložena lineární funkce a polynom druhého stupně. Z porovnání velikostí koeficientu determinace ($r^2 = 0,3911$ pro lineární vztah, $r^2 = 0,4195$ pro polynom druhého stupně) vyplývá, že i vliv ukazatele předcházejících srážek na $q_{\max}$ má nelineární charakter. Rovnici (3) odvozenou v prvním kroku výpočtů jsme proto rozšířili o člen odpovídající vztahu mezi reziduálními odchylkami získanými aplikací rovnice (3) a API (polynom druhého stupně). Rovnici typu $q_{\max} = f(P, API)$ sestavíme ve tvaru

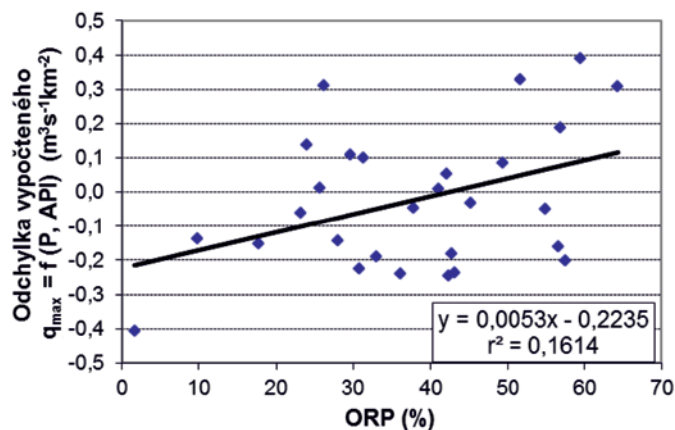
$$q_{\max} = 0,0292 \cdot e^{0,0206P} + 0,00002 \cdot API^2 - 0,0002 \cdot API - 0,0808 \quad (4).$$

V dalším postupu analýzy jsme získali jako rozdíly mezi pozorovanými $q_{\max}$ a odhady podle rovnice (4) reziduální odchylky. Do grafů



Obr. 8. Vztah mezi odchylkami vypočteného specifického kulminačního průtoku a API

Fig. 8. Relationship between specific peak flow deviations and API



Obr. 9. Vztah mezi odchylkami vypočteného specifického kulminačního průtoku a podílem orné půdy

Fig. 9. Relationship between specific peak flow deviations and arable land proportion

byly vyneseny vztahy mezi jednotlivými charakteristikami a odchylkami. Podle koeficientů korelace k proměnným jsme hledali, čím lze tyto odchylky vysvětlit. S reziduálními odchylkami nejlépe koreloval podíl orné půdy (obr. 9). Také u podílu luk a podílu urbanizované plochy byla prokázána předpokládaná tendence. Význam maximální jednodenní srážky překvapivě prokázán nebyl. Souhrn výsledků pro všechny proměnné obsahuje *tabulka 3*.

V dalším kroku analýzy byla rovnice (4) rozšířena o člen odpovídající vlivu ORP:

$$q_{\max} = 0,0292 \cdot e^{0,0206P} + 0,00002 \cdot API^2 - 0,0002 \cdot API - 0,0808 + 0,0053 \cdot ORP - 0,2235 \quad (5).$$

Zpřesnění odhadu $q_{\max}$ přidáváním proměnných je shrnuto v *tabulce 4*.

Výsledky provedené analýzy ukazují, že maximální specifické odtoky při povodni 2002 závisely největší měrou (64 %) na příčinných srážkách, dalších 5 % odchylek můžeme vysvětlit ukazatelem předcházejících srážek a dále 3 % podílem orné půdy, popřípadě v menší míře dalšími způsoby využití území. Dalšími vlivy, které způsobily vybočení hodnot specifických kulminačních průtoků, mohou být: vliv nádrží, morfologické změny způsobené důlní činností aj. Vliv základních fyzicko-geografických charakteristik povodí (hydrogeologický index propustnosti, sklon povodí, nadmořská výška) se neprojevil. Vliv výšky srážek je rozhodující, část nevysvětleného rozptylu by velmi pravděpodobně zmenšilo využití některého ukazatele jejich intenzity. Tyto údaje jsme však neměli k dispozici.

Literatura

- [1] Hladný, J., Kašpárek, L., Krátká, M., Kněžek, M. a Martinková, M. (eds) (2005) Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002. Praha: VÚV TGM, 67 s. ISBN 80-7212-350-5.
- [2] 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.
- [3] Šercl, P. aj. (2004) Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002, 2. etapa (Aktualizace podle výsledků 3. etapy) – Hydrologické vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. Praha: ČHMÚ, 146 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.

The effects of physical-geographic factors on the August 2002 flood magnitude (Kašpárek, L.; Peláková, M.)

Key words

flood – peak flow – precipitation – Antecedent Precipitation Index – catchment slope – land-use

The August 2002 flood affected approximately one half of the area of the Czech Republic. Two waves of long-term regional precipitation caused two flood waves. The second flood wave

Tabulka 3. Koeficienty korelace k reziduálním odchylkám odhadu specifických kulminačních průtoků podle výšky srážek a ukazatele API, tj. podle rovnice (4)

Table 3. Correlation coefficients for the relations between catchment characteristics and runoff deviations, from the equation (4)

Charakteristika	Symbol	Koeficient korelace (r)	Gradient (trend)	Fyzikálně odpovídá?
Max. jednodenní srážka	P _{max}	0,145	klesající	ne
Plocha povodí	A	0,176	klesající	ano
Sklon povodí	J	0,187	klesající	ne
Hydrogeologický index	HGI	0,308	rostoucí	ne
Podíl urbaniz. plochy	URB	0,325	rostoucí	ano
Podíl orné půdy	ORP	0,402	rostoucí	ano
Podíl luk	LOU	0,341	klesající	ano
Podíl lesní plochy	LES	0,046	klesající	ano

Tabulka 4. Odchylky odhadu $q_{\max}$ podle získaných vztahů

Table 4. Deviations of specific peak flow estimation by equations (3, 4, 5)

Vztah	Číslo rovnice	Průměrná absolutní odchylka hodnot $q_{\max}$ ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)	Odchylka % z průměrného pozorovaného $q_{\max}$
$q_{\max} = f(P)$	3	0,167	36,0
$q_{\max} = f(P, API)$	4	0,144	31,1
$q_{\max} = f(P, API, ORP)$	5	0,132	28,5

was larger. The paper investigates the effects of catchment characteristics on the total flood volume and the peak flow of the second flood wave. The following characteristics were considered: catchment area, catchment slope, average catchment altitude, hydrogeological permeability index and the proportion of the most common types of land-use (urbanized areas, arable land, pastures and forests).

Method of stepwise selection of independent variables for multiple linear regression method was used. In the first step, the nonlinear regression relation to the predictor (precipitation) was derived. In the next steps, the explanation of the deviations was searched by plotting the deviations in relation to different variables.

The results of the analysis are as follows: 89% of the total volume of both flood waves depended on rainfall. The influence of the most of the catchment characteristics is weak, except for the land-use types (especially the proportion of forests and arable land).

The specific peak flow of the second flood wave depended by 64% on the current precipitation. The previous precipitation highly saturated some of the areas so that the Antecedent Precipitation Index played also an important role. The peak flows were slightly affected by the proportion of the arable land, the pastures and the urbanized areas as well.



**VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE**

Water Management Technical and Economical Information

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství

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 55

**ISSN 0322 - 8916
MK ČR 6365**



**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