SOUČASNÉ PŘÍSTUPY A VÝVOJOVÉ TRENDY V URČOVÁNÍ NÁVRHOVÝCH HYDROLOGICKÝCH VELIČIN V ČR

***Bohuslava Kulasová*[1]**

Abstrakt

V příspěvku jsou souhrnně prezentovány současné i nově připravované přístupy používané v ČHMÚ při odvozování režimových charakteristik průtoků. Prezentace je zaměřena na zpracování návrhových hydrologických charakteristik, a to jak M-denních, tak i N-letých průtoků. V současné době probíhají práce na zpracování charakteristik M-denních průtoků za nové referenční období, které bude lépe vystihovat současný hydrologický režim. Nově vyvinutá metodika pro odvozování charakteristik M-denních průtoků v nepozorovaných profilech s využitím GIS je tématem příspěvku L. Budíka z ČHMÚ Brno.

Dále je příspěvek zaměřen na odvozování extrémních teoretických povodňových vln, které jsou poskytovány zejména pro účely posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních (dle TNV 75 2935). K odvození se používají buď statistické přístupy s využitím podmíněných pravděpodobností překročení objemu povodňových vln a pro případy nepozorovaných malých toků jsou používány deterministické přístupy.

Klíčová slova: maximální průtoky, minimální průtoky, teoretické povodňové vlny, hydrologické studie

1. Hydrologické podklady ve smyslu ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“

ČHMÚ zpracovává a poskytuje režimové údaje povrchových vod pro různé účely v souladu s normou ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“ [1], která byla aktualizována v roce 1997. Její další aktualizace je naplánována na rok 2011. Dle této normy se hydrologické údaje povrchových vod rozdělují na standardní a nestandardní.

Zpracování nebo ověřování standardních hydrologických údajů dle článku 5.1 normy provádí odborně způsobilá právnická osoba, dle Věstníku MŽP ČR, částka 2/1997, je touto činností pověřen ČHMÚ. V rámci standardních údajů jsou nejčastěji používané základní hydrologické údaje, které popisují hydrologický režim v tocích. Patří k nim plocha povodí, dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí, dlouhodobý průměrný průtok, M-denní (p-procentní denní) průtoky a N-leté (maximální) průtoky (pro doby opakování N ≤ 100 let). Dalším příkladem standardních údajů mohou být teoretické povodňové vlny určené kulminačním průtokem s dobou opakování N ≤ 100 let. Vzhledem k pravděpodobnostnímu charakteru hydrologických údajů se poskytované údaje o průtocích zatřídí podle předpokládané spolehlivosti do jedné ze čtyř tříd. Standardní údaje jsou poskytovány pro libovolný profil říční sítě, zpracovávají je pobočky ČHMÚ ve své územní působnosti. Nestandardní hydrologické údaje, např. N-leté minimální průtoky daného trvání, teoretické povodňové vlny určené kulminačním průtokem s dobou opakování N > 100 let, ČHMÚ poskytuje formou hydrologických studií. Dle normy mohou být hydrologické studie zpracovány a poskytovány také jinými odbornými pracovišti.

2. N-leté průtoky

Obecně může být zpracování N-letých průtoků založeno buď na řadách ročních maximálních průtoků nebo na řadách průtoků vybraných nad určitou předem zvolenou mezí. V ČHMÚ se používá první způsob, tj. odvození je založeno na řadách ročních maximálních průtoků.

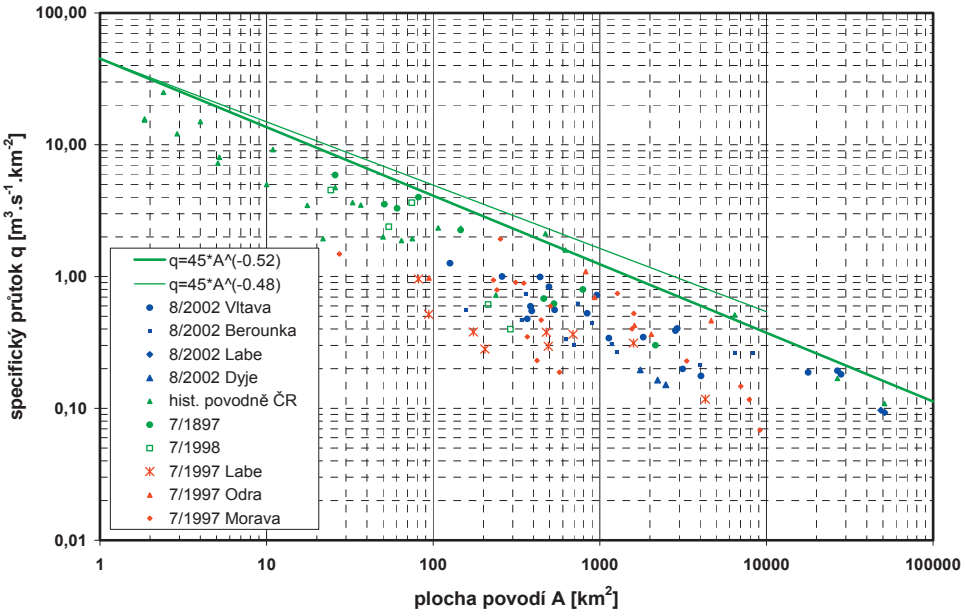
Zpracovávají se průtokové řady za co možná nejdelší období pozorování (řada musí být alespoň 30 let dlouhá), a to pokud možno včetně historických povodní.

Protože hydrologický režim je zatížen antropogenními vlivy a ČHMÚ běžně poskytuje N-leté průtoky odpovídající „přirozenému“ hydrologickému režimu, vstupují do odvození většinou pouze řady průtoků z období před počátkem významného ovlivnění (např. před uvedením příslušného vodního díla do provozu), případně kulminační průtoky ovlivněné provozem vodního díla jsou „odovlivněny“.

N-leté kulminační průtoky ve vodoměrných stanicích jsou stanovovány pomocí interního programu LNWIN. K odvození parametrů se používá metoda momentů a k extrapolaci čar překročení teoretická logaritmicko-normální rozdělení dvouparametrická (LN2) nebo tříparametrická (LN3). Pro kratší pozorované řady program umožňuje opravy výběrových charakteristik rozdělení o systematické vychýlení. Dále se používají metody regionální analýzy. Byla vyvinuta původní metodika extrapolace charakteristik maximálních průtoků ze stanic do nepozorovaných profilů - soutokových uzlů říční sítě. Tato metodika využívá jednak regionální regresní vztahy mezi statistickými charakteristikami maximálních průtoků a vybranými fyzicko-geografickými charakteristikami povodí a jednak se využívají statistické zákonitosti skladby maximálních průtoků v soutokových uzlech. Charakteristiky maximálních průtoků jsou v systému říční sítě vyrovnány, aby bylo minimalizováno nebezpečí vychýlení odhadů pro jednotlivé profily.

Výsledkem zpracování je soubor statistických charakteristik maximálních průtoků, tzv. katastr N-letých průtoků. Jeho aktualizace se provádí systematicky v celé ČR zpravidla po uplynutí určité doby od posledního zpracování (např. v 60. a 80. letech 20. století) nebo po výskytu extrémních povodní, např. po katastrofální povodni v červenci 1997 (povodí Odry, Moravy a horního Labe), po extrémní povodni v srpnu 2002 (povodí Vltavy včetně Berounky a dolního Labe), po jarní povodni 2006 (zejména povodí Dyje) a po přívalových povodních v červnu 2009 (povodí některých toků v povodí Odry).

Obdobným způsobem se na objednávku odvozují z řad sezónních kulminačních průtoků i N-leté sezónní průtoky. Většinou se odvozují při zpracování teoretických letních a zimních povodňových vln (viz dále). Jako zimní sezóna se v českých podmínkách uvažuje období listopad až duben, jako letní sezóna období květen až říjen.



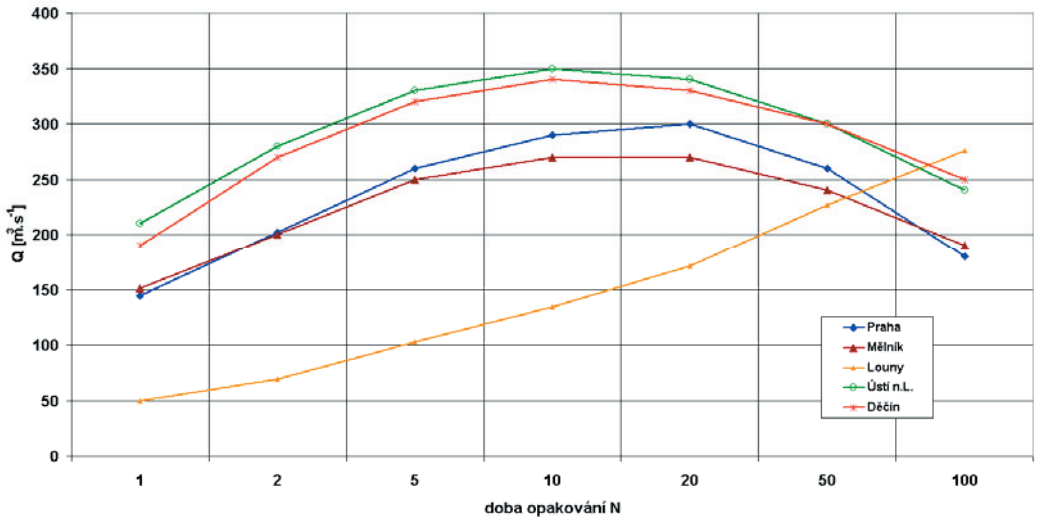
Obr. 1: Obalová křivka maximálních průtoků

Odvozené hodnoty N-letých průtoků pro delší doby opakování (N >>100 let) se porovnávají s obalovou křivkou, viz Obr. 1, znázorňující vztah maximálních specifických průtoků na ploše povodí, která byla odvozena na základě výskytu největších povodní, a to včetně historických, v České republice a na Slovensku. Tento graf je postupně doplňován o nové případy extrémních povodní.

V letech 2003-2005 byl v ČHMÚ řešen grantový projekt „Vliv, analýza a možnosti využití ochranné funkce údolních nádrží pro ochranu před povodněmi v povodí Labe“, jehož koordinátorem byl VÚV T. G. Masaryka. Cílem úkolu bylo analyzovat vliv vodních děl (manipulací a využití jejich ochranné funkce) na zmenšování maximálních průtoků na Labi s využitím znalostí a výsledků z vyhodnocení povodňové situace v povodí Vltavy a dolního Labe v srpnu 2002.

Pro simulace průběhu povodňových vln v dílčích úsecích Labe a jeho přítoků byl vytvořen simulační model založený na systému Aqualog. Výstupem modelu byly v profilu hráze VD Orlík a ve vodoměrných stanicích Praha-Chuchle, Mělník, Louny, Ústí n. L. a Děčín dva typy řad maximálních ročních průtoků: řady neovlivněných průtoků a řady ovlivněných průtoků vodními díly Lipno, Orlík, Slapy a Nechranice. Ve vodoměrných stanicích byly stanoveny N-leté průtoky pro stav povodí bez nádrží a pro stav s nádržemi. Pro standardní stupnici N-letých průtoků pak byly vypočteny rozdíly, tj. ovlivnění maximálních průtoků vlivem manipulací. Výsledky zpracování ukázaly, že vliv Vltavské kaskády se nejvíce projevuje v oblasti povodní s dobou opakování N = 10 až 20 let, viz Obr. 2. Zmenšení N-letých průtoků ve stanicích na Labi nad soutokem s Ohří způsobené Vltavskou kaskádou klesá směrem po toku jen velmi málo, ve stanicích Ústí n. L. a Děčín pod soutokem s Ohří je znatelně zvětšeno o vliv nádrže Nechranice. Výsledky získané pro Ohři jsou odlišné, retenční schopnost VD Nechranice v porovnání s hodnotami N-letých průtoků je tak velká, že zmenšení maximálních průtoků s dobou opakování stoupá v celém rozsahu dob opakování N=1 až 100 let (viz Obr. 2).

Řady neovlivněných maximálních průtoků získaných ze simulačních modelů byly ve výše zmíněných stanicích základem pro odvození N-letých průtoků „přirozených“, které ČHMÚ běžně poskytuje.



Obr. 2: Průběh rozdílů přirozených a ovlivněných N-letých průtoků

V roce 2008 vznesl státní podnik Povodí Labe žádost na ČHMÚ řešit závažnou aktuální problematiku, kterou jsou N-leté průtoky ovlivněné realizací protipovodňových opatření (např. poldrů). Vzhledem k naplňování nových legislativních povinností, např. v souvislosti s implementací Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES o vyhodnocování a

zvládání povodňových rizik, kdy nabývá na významu potřeba vymezení záplavových území a hodnocení povodňového rizika v úsecích toků ovlivněných provedenými nebo plánovanými protipovodňovými opatřeními, je to požadavek oprávněný, ale v současné době neexistuje v ČR jednotný metodický postup pro stanovení takto ovlivněných N-letých průtoků. Použít výše popsaný postup řešený v rámci tříletého grantového projektu by bylo metodicky správné i ověřené, ale protože tento postup je časově velmi náročný na sestavení modelu i na přípravu vstupních dat, bylo by možné ho využít jen v rámci velmi rozsáhlých studií.

V letech 2009–2011 VÚV T. G. Masaryka., v. v. i. řeší v rámci výzkumného záměru studii s cílem zpracovat příslušný (méně časově náročný) metodický postup na odvození N-letých průtoků ovlivněných protipovodňovými opatřeními, a to včetně jeho ověření na povodí Tiché Orlice. ČHMÚ na řešení tohoto úkolu smluvně spolupracuje. Výsledky řešení budou k dispozici na konci roku 2011.

3. Odvozování teoretických povodňových vln statistickými a deterministickými přístupy

Tyto nové metodické přístupy byly v ČHMÚ řešeny v rámci grantových projektů [2] a [3] a upřesněny v příručce [4]. Odvozování extrémních teoretických povodňových vln většinou za účelem posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních [5] se provádí formou hydrologické studie.

3.1 Statistické přístupy s využitím podmíněných pravděpodobností překročení objemů

Při odvozování teoretických povodňových vln původními statistickými přístupy dle normy [1] je uvažována pouze pravděpodobnost kulminačního průtoku a objem odtoku je statisticky neurčitý. Z toho důvodu se přistoupilo k řešení nových statistických přístupů, které využívají navíc i pravděpodobnostní vyjádření objemu odtoku při kulminačním průtoku dané doby opakování N. Řešení je založeno na aplikaci vícenásobné nelineární regrese pro vyjádření vztahu mezi kulminačním průtokem a trváním odtoku jako nezávislými proměnnými a objemem odtoku jako závislou proměnnou. Tato metoda s využitím podmíněné pravděpodobnosti překročení objemu, umožňuje v porovnání s přiřazením „příslušného objemu“ ve smyslu normy [1] exaktněji definovat vlastnosti povodňové vlny.

Na požadavek objednatele (dle kategorie vodního díla) se většinou zpracovávají teoretické povodňové vlny s pravděpodobností kulminačního průtoku pQ = 0,001 (doba opakování N =10 000 let) nebo pQ = 0,001 (N = 1000 let). Dle našich zkušeností doporučujeme použít podmíněnou pravděpodobnost objemu ppW = 0,5 a ppW = 0,4.

Z výsledků analýzy sezonality průtokového režimu, kde se hodnotí nejen sezonalita kulminačních průtoků, ale i objemů, se odvozují letní, příp. i zimní teoretické povodňové vlny.

Tento statistický přístup lze použít jen v případech, kde jsou k dispozici relativně dlouhé pozorované průtokové řady. Pro střední a velká povodí lze využít řady průměrných denních průtoků (uložených v databázi ČHMÚ), pro menší povodí se používají řady hodinových průtoků, zpracování však vyžaduje časově velmi náročnou přípravu pozorovaných hydrogramů v hodinovém intervalu (průběhy povodní se většinou připravují, příp. ověřují a doplňují v rámci studie).

Extrémní teoretické povodňové vlny založené na statistickém zpracování průtoků je třeba, zvláště na menších a středních povodích, ověřovat z fyzikálního hlediska jednoduchými deterministickými přístupy.

3.2 Deterministické přístupy

Pro odvozování teoretických povodňových vln deterministickými přístupy je používán modelovací systém HEC-HMS. Jedná se o soubor několika modelů pro stanovení výšky efektivního deště a odvození průběhu povodňové vlny na základě transformační funkce povodí. V ČHMÚ se jako transformační funkce povodí využívá Clarkova dvouparametrického okamžitého jednotkového hydrogramu a pro stanovení odtokových ztrát metody *CN*-křivek.

Metodika odvození využívá datové podklady odvozené v projektu [2] a [3], a to návrhové N-leté maximální srážky (řešeno v ČHMÚ), typy návrhového hyetogramu (řešeno v ÚFA AV ČR), hydropedologické charakteristiky (řešeno ve VÚMOP). Tvar odvozené vlny je determinován tvarem návrhového hyetogramu. Návrhové hyetogramy odpovídají rozložení srážek za povodní způsobených buď přívalovými nebo orograficky významně zesílenými srážkami. Jedná se proto o povodně vyskytující se převážně v letní sezóně.

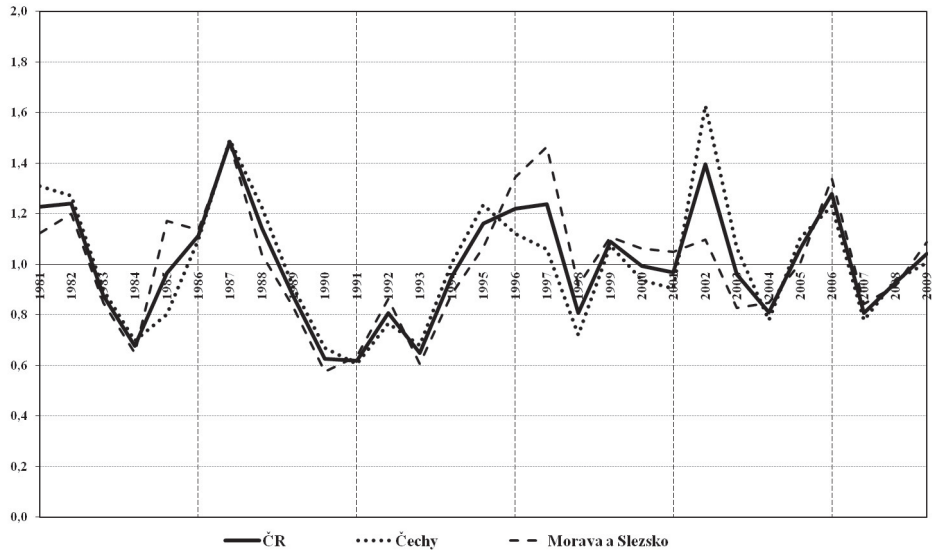
Z důvodu odlišného utváření povodňových vln za různých srážkových situací je vhodné odvodit několik variant teoretických povodňových vln. Kulminační průtok teoretické povodňové vlny stanovené na základě zatěžovacího hyetogramu návrhové srážky o době opakování *N* nemusí být nutně charakterizován stejnou dobou opakování *N*. Objem povodňové vlny by u srážek s malou pravděpodobností výskytu měl mít shodnou dobu opakování jako návrhová srážka.

Předností modelu je možnost kompozice řešeného povodí z menších dílčích povodí, pro která se stanovují příslušné parametry. Deterministický přístup se používá především pro nepozorovaná povodí cca do 500 km^2.

4. M-denní průtoky

ČHMÚ poskytuje M-denní průtoky za období 1931-1980. V současné době probíhají práce na odvození charakteristik M-denních průtoků za nové období pro celou ČR. I když v loňském roce bylo neoficiálně uvedeno, že nové M-denní průtoky budou odvozeny za období 1961–2005, byl při dalším zpřesňování metodických přístupů tento původní záměr přehodnocen. Bylo zvoleno odvozovat M-denní průtoky za referenční období 1981–2010. Třicetileté období z hlediska délky lze ještě považovat za dostatečné, vyhoví doporučené délce výchozí řady, což je 30–40 (50) let [6].

Byla zjišťována vodnost jednotlivých let uvedeného třicetiletí cca ze 100 vybraných vodoměrných stanic v ČR. Byly vypočteny procentuální podíly průměrných ročních průtoků jednotlivých let na dlouhodobém průměru 1981–2009, které byly následně v jednotlivých rocích ze všech stanic zprůměrovány. Jak je patrné z Obr. 3, toto nově navržené období též zahrnuje hydrologicky významné roky, a to jak nadprůměrně vodné roky (např. 1987, 1997 na Moravě, 2002 v Čechách, 2006), tak i suché roky (např. 1984, počátek 90. let, 1998, 2003).



Obr. 3: Procentuální podíly průměrných ročních průtoků z dlouhodobého průměrného průtoku za období 1981–2009

K rozhodnutí použít jako referenční období 1981–2010 nás přivedlo několik důvodů. Jednak toto období z hlediska polohy v časové řadě je nejblíže k současnosti a bude tak nejlépe vystihovat současný hydrologický režim, což uživatelé hydrologických dat požadují. Dále období 1981–2010 umožňuje zahrnout do zpracování více vodoměrných stanic a bude i snazší doplňování neúplných řad. V neposlední řadě je to důvod praktický. Jak známo, hydrologický režim je zatížen antropogenními vlivy a ČHMÚ má záměr poskytovat M-denní průtoky „přirozené“ i ovlivněné, a to dle účelu, pro který budou tyto údaje sloužit. Při zpracování budou využity komplexnější údaje o ovlivnění (odběry vody povrchové, odběry vody podzemní, vypouštění vod, manipulace na nádržích, převody vody mezi povodími), které jsou uloženy v databázi VÚV T.G.Masaryka, v.v.i., a které jsou k dispozici pro celou ČR až od roku 1979.

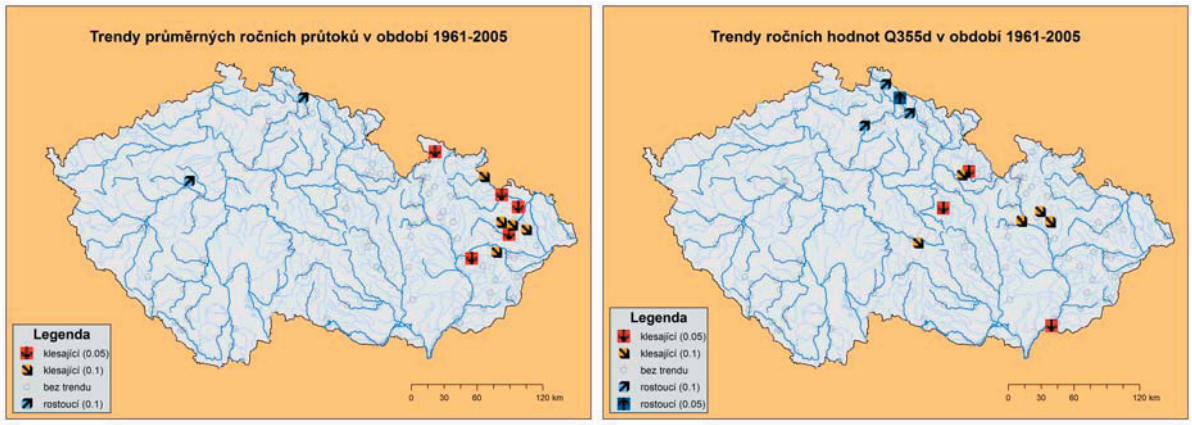
Zpracování ve vodoměrných stanicích je založeno na řadách průměrných denních průtoků. Je navržena metodika extrapolace M-denních průtoků ze stanic do nepozorovaných profilů (soutokových uzlů) říční sítě prostřednictvím teoretického rozdělení pravděpodobnosti. Nově je použito teoretické logaritmicko-normální rozdělení pětiparametrické (LN5), které je k empirickým křivkám překročení více přiléhavé. Obdobně jako u N-letých průtoků jsou i v tomto případě odvozování používány metody regionální analýzy. Využívají se regresní vztahy mezi statistickými charakteristikami průměrných průtoků a fyzicko-geografickými charakteristikami povodí. Dále jednotlivé kvantily v soutokových uzlech a mezipovodích jsou mezi sebou provázány systémem bilančních vazeb. Odvozování v síti soutokových uzlů bude probíhat nad novým datovým modelem zdigitalizovaných rozvodnic v měřítku 1:10 000, který vznikne v průběhu 1. poloviny roku 2011. Výsledkem celého zpracování bude tzv. katastr M-denních, příp. p-procentních průtoků za období 1981–2010. Dle současných předpokladů bude ČHMÚ poskytovat tyto nově odvozené M-denní průtoky od roku 2013. Dále se předpokládá, že každých 10 let budou M-denní průtoky aktualizovány. Podrobnější popis metodických přístupů použitých při zpracování katastru M-denních průtoků je uveden v příspěvku L. Budíka z ČHMÚ Brno.

V letech 2007–2011 ČHMÚ řeší v rámci grantového projektu „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“ vliv klimatické změny na minimální průtoky.

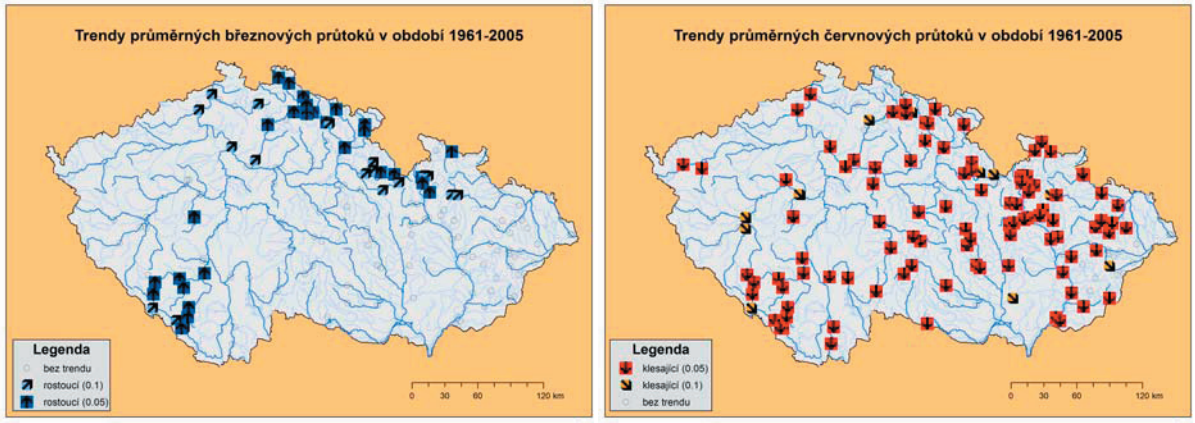
V letech 2007–2008 byly zpracovány za období 1961– 2005 trendy vybraných průtoků, a to průměrných ročních, měsíčních průtoků po jednotlivých měsících, ročních minimálních 7denních průtoků a kvantilů M-denních průtoků (Q_{330d}, Q_{355d} a Q_{364d}) reprezentujících malé až minimální průtoky. Pro analýzu bylo vybráno cca 150 vodoměrných stanic s relativně neovlivněným hydrologickým režimem, pro výpočet trendů byl použit modifikovaný Mann-Kendallův test. Trendy byly vyhodnoceny na základě dvou zvolených hladin významnosti: 0,1 a 0,05. Vypočítané trendy byly rozděleny do pěti skupin (bez trendu, s trendem rostoucím, klesajícím, významně rostoucím, významně klesajícím).

Trendy průměrných ročních průtoků i minimálních průtoků nebyly ve většině stanic nalezeny, viz Obr. 4. Zajímavější výsledky byly zjištěny u průměrných měsíčních průtoků zpracovaných po jednotlivých měsících, viz Obr. 5. V zimních měsících má 15–30 % stanic trend rostoucí. V březnu je cca u třetiny stanic (v horských a podhorských oblastech) trend významně rostoucí. Jednou z příčin zvětšování průtoků v zimě jsou pravděpodobně zvyšující se zimní teploty, kdy srážky častěji dopadají ve formě deště. Naopak v červnu byl u více než 70 % stanic zjištěn klesající trend, téměř u všech stanic významně klesající. Zmenšování průtoků v létě lze vysvětlit nárůstem průměrné teploty vzduchu a tím i evapotranspirace a poklesem srážkových úhrnů.

I když průměrné roční průtoky ve většině stanic nevykázaly statisticky významný trend, v zimních měsících byl u třetiny stanic vysledován trend rostoucí a v letních měsících ve většině stanic trend klesající.



Obr. 4: Trendy průměrných ročních průtoků a průtoku Q_{355d}



Obr. 5: Trendy vybraných průměrných měsíčních průtoků (III, VI)

Hlavním cílem řešení zmíněného projektu je odvodit vybrané hydrologické charakteristiky minimálních průtoků, které budou prezentovat budoucí hydrologický režim a porovnat je s obdobnými charakteristikami prezentujícími současný hydrologický režim. Odvození bude vycházet z řad denních průtoků simulovaných na základě scénářů klimatické změny a několika klimatických modelů pro tři třicetileté časové horizonty: 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099. Tímto odvozením a porovnáním vybraných průtoků z křivky překročení M-denních průtoků (s důrazem na minimální průtoky) se zabývá článek autorů Boháč, Kukla, Kulasová. I když jsou zatím k dispozici pouze dílčí výsledky (projekt končí v roce 2011), lze už z dosavadního hodnocení usuzovat, že v prvním časovém horizontu (2010–2039) se sledované kvantily M-denních průtoků reprezentující malé až minimální průtoky budou zmenšovat jen málo, ale ve druhém a třetím časovém horizontu (2040–2069 a 2070–2099) bude jejich zmenšení výraznější. Pokud budou na konci řešení zmíněného projektu tyto dílčí výsledky potvrzeny, mohli by se při poskytování M-denních průtoků pro některé speciální účely využívat.

Literatura

[1] ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod, Praha, ČHMÚ, Hydroprojekt, Český normalizační institut, 1997.

[2] KULASOVÁ, B., a kol., 2000. DÚ 2.4 Statistické metody odhadu charakteristik extrémních povodní. Grantový projekt VaV 510/3/97 „Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní“. Závěrečná zpráva . Praha, ČHMÚ.

[3] KULASOVÁ, B. – ŠERCL, P. – BOHÁČ, M., 2004. Projekt QD1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“. Závěrečná zpráva. Praha, ČHMÚ.

[4] KULASOVÁ, B. – ŠERCL, P. – BOHÁČ, M., 2007. Metodická příručka pro výběr a aplikaci vhodné metody odvození hydrologických podkladů za účelem posouzení bezpečnosti vodních děl. Projekt QD1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“. Dílčí výstup V07. Praha, ČHMÚ, aktualizace 2007.

[5] TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních, Praha, VD–TBD, a. s., Hydroprojekt CZ, a.s, 2003.

[6] KAŠPÁREK, L., a kol., 1999. Metody výpočtu hydrologických dat v měnících se podmínkách. DÚ 01 Metody zpracování dat v nestacionárních podmínkách. Praha, VÚV T. G. Masaryka.

Kontakty na autora

1 Český hydrometeorologický ústav Praha, e-mail: kulasova@chmi.cz