STUDIE ZAMĚŘENÉ NA DOPADY KLIMATICKÝCH ZMĚN NA VODNÍ REŽIM A VODNÍ ZDROJE

Renata Fridrichová[1], Ladislav Kašpárek[1], Oldřich Novický[1], Petr Vyskoč[1]

Abstrakt

Ve Výzkumném ústavu vodohospodářském byl vyvinut systém, který využívá tři vzájemně propojené modely pro simulaci hydrologické bilance, proudění podzemních vod a hospodaření s vodou v povodí. Systém využívá řady prvků hydrologického cyklu a jejich bilance v měsíčním kroku, které lze simulovat za současných podmínek, a také pro možné budoucí podmínky, které vycházejí ze scénářů klimatické změny. Základním vstupem pro modelování dopadů klimatické změny jsou scénáře klimatické změny, které udávají předpokládané změny teplot, atmosférických srážek a relativních vlhkostí vzduchu.

Mezi modely vzájemně propojené v systému patří Bilan – model vodní bilance (vyvinutý ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka), který se používá pro simulaci hydrologického cyklu v měsíčním nebo denním kroku, MODFLOW model (modulový trojrozměrný model pro simulaci režimu podzemních vod vyvinutý Geologickou službou Spojených států), který simuluje směr a rychlost proudění podzemních vod, úrovně hladin podzemních vod a základní odtok a vodohospodářský model (vyvinutý ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka), který se používá pro simulaci dostupnosti vodních zdrojů.

Tento systém byl použit v řadě projektů zaměřených na podporu integrovaného řízení vodních zdrojů (povrchových i podzemních vod) a vodohospodářského plánování v České republice (např. studie zaměřené na posouzení dopadů klimatické změny na hlavní povodí v České republice). Kromě praktických aplikací je řada témat týkajících se dopadů změny klimatu řešena v rámci výzkumných projektů, které jsou sponzorovány především Ministerstvem životního prostředí a Ministerstvem zemědělství České republiky (MZP0002071101, SP/1a6/125/08, SP/1a6/108/07, QH 81331).

Klíčová slova: klimatická změna, hydrologický cyklus, model vodní bilance, vodohospodářský model

1. Úvod

Klimatická změna, její dopady na různé oblasti lidských činností a příprava zmírňujících a adaptačních opatření se stávají důležitým předmětem celosvětové politiky a tedy i politiky v České republice. Vodní hospodářství je podle výsledků výzkumu jednou z oblastí, která může být nejvíce zasažena, a proto by mu měla být věnována prvořadá pozornost.

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka se této problematice dlouhodobě věnuje. S tím, jak jsou postupně zdokonalovány scénáře klimatické změny, založené na výsledcích modelování globální cirkulace atmosféry v propojení s modely oceánů, jsou postupně zpracovávány odpovídající modelová řešení hydrologické bilance, odhady změn hydrologického režimu a jejich dopady na vodní zdroje a vodní hospodářství, zejména na zásobování vodou.

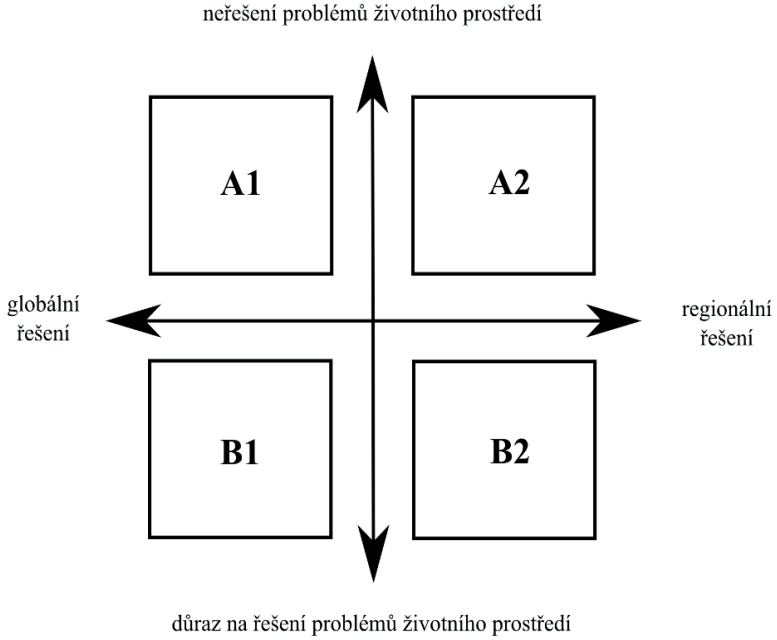
Odhady dopadu změn klimatu na hydrologické poměry a vodní zdroje jsou založeny převážně na scénářích klimatické změny, které byly získány pomocí modelů globální cirkulace (GCM). V posledních letech jsou k dispozici i regionální klimatické modely a jim odpovídající regionální scénáře s jemnějším plošným rozlišením, které částečně zahrnují i vliv místních podmínek na složky vodní bilance.

Studie dopadů klimatických změn jsou prováděny ve dvou nebo ve třech krocích. Složky vodní bilance jsou modelovány pomocí modelu vodní bilance Bilan. Výstupy z tohoto modelu jsou použity ve vodohospodářském modelu nebo v modelu proudění podzemní vody. Výsledky těchto studií podporují integrované vodní hospodářství, plánování na různých úrovních, které zahrnuje centrální plánování pro celou oblast České republiky, plánování v regionálním nebo lokálním měřítku zaměřené na splnění požadavků na odběry povrchových nebo podzemních vod.

Příspěvek popisuje principy metody, obecně platné výsledky regionálních studií a poskytuje vybrané příklady typických použití metod a modelů při hodnocení dostupnosti povrchové nebo podzemní vody.

2. Metody a nástroje

Za hlavní příčinu probíhajících rychlých změn klimatu jsou většinou klimatologů považovány emise skleníkových plynů. Jejich produkce je ovlivněna širokou škálou faktorů – zejména technologickými změnami, socioekonomickým a demografickým vývojem společnosti. Jelikož předpověď vývoje takto komplexního systému je prakticky nemožná, byly Mezivládním panelem pro klimatickou změnu v rámci Speciální zprávy o emisních scénářích (Special Report on Emissions Scenarios – SRES, 2000) vytvořeny scénáře produkce skleníkových plynů založené na různých variantách vývoje společnosti. Systém scénářů má čtyři hlavní skupiny označené jako A1, B1, A2, B2.



Obr. 1: Regionální a globální charakter SRES scénářů a jejich důraz na řešení problémů životního prostředí

SRES A1 popisuje svět s velmi rychlým růstem ekonomiky a vývojem nových technologií. Země dosáhne maxima počtu obyvatel v polovině tohoto století. SRES A2 scénář uvažující růst populace během celého jednadvacátého století na počet 15 miliard, ekonomiku zaměřenou spíše regionálně a bez většího důrazu na řešení problémů životního prostředí, základní ideou je spoléhat se sám na sebe a zachovat místní identitu. SRES B1 má v pozadí ideu konvergentního, stmelujícího se světa, počet obyvatel dosáhne maxima v polovině 21. století (8,7 miliard) a poté bude pozvolna klesat na 7 miliard, předpokládá se rychlý rozvoj informatiky, služeb, zavádění čistých technologií, důraz se klade na globální řešení ekonomických a sociálních problémů a ochranu životního prostředí, růst hrubého domácího produktu není ústřední záležitostí. SRES B2 scénář uvažující mírnější růst populace než

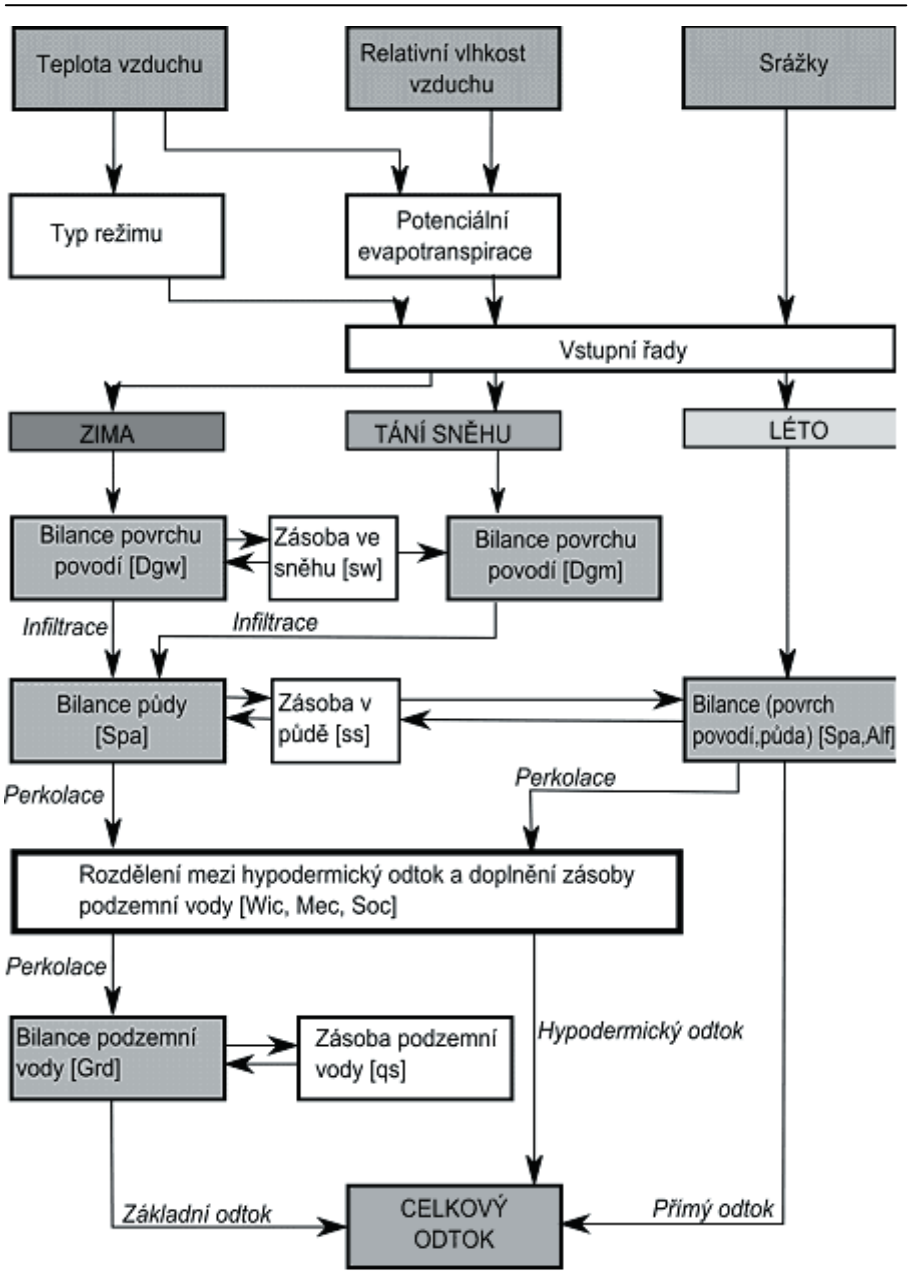
scénář A2 s důrazem na udržitelný rozvoj společnosti, pomalejší je i ekonomický rozvoj a změny v technologiích jsou různorodější než v A1 a B1.

V současné době jsou k dispozici regionální scénáře klimatické změny, které jsou zpracovány pro podstatně jemnější plošné rozlišení, než předchozí scénáře globální. Ve Výzkumném ústavu vodohospodářském byly v posledních letech využívány zejména scénáře založené na simulacích regionálními modely HIRHAM a RCAO v rozlišení 50 x 50 km, získané z projektu PRUDENCE. V současné době se začínají využívat scénáře zpracované regionálním klimatickým modelem ALADIN-CLIMATE/CZ. Model je řízen francouzským modelem globální cirkulace ARPEGE, používá prostorové rozlišení 25 x 25 km a scénář emisí SRES A1B.

Vstupem do systému jsou časové řady v měsíčním kroku srážkového úhrnu, teploty a relativní vlhkosti vzduchu spolu s měřenými průtoky pro simulaci vodní bilance modelem Bilan (popsán v Tallaksen a Lanen, 2004). Model byl vyvinut ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka a byl ověřen na několika desítkách povodí z ČR i evropských států. Model počítá v měsíčním i denním kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (zahrnující i hypodermický odtok) a základní odtok. Vstupem do modelu jsou měsíční srážkové úhrny [mm], měsíční průměrné teploty [°C], průměrná měsíční vlhkost vzduchu [%], měsíční průměrný odtok [mm] (nutný pouze pro kalibraci). Pokud jsou zkoumány dopady klimatických změn na složky vodní bilance jsou pozorované časové řady srážek, teplot vzduchu a relativních vlhkostí vzduchu upraveny o hodnoty dané jednotlivými scénáři klimatické změny. Model Bilan se kalibruje pomocí minimalizace rozdílů mezi simulovaným a pozorovaným odtokem z povodí. Postup výpočtu hydrologických řad ovlivněných klimatickou změnou je znázorněn na obrázku 2.

Pro studie dopadů klimatické změny na podzemní vody je používán model Bilan v kombinaci s MODFLOW modelem (modulový trojrozměrný model pro simulací režimu podzemních vod vyvinutý Geologickou službou Spojených států), který simuluje směr a rychlost proudění podzemních vod, úrovně hladin podzemních vod a základní odtok. Výstupy modelu vodní bilance BILAN zahrnují dotace podzemních vod infiltrací ze srážek a základní odtok z povodí. Hodnoty infiltrace slouží pro zadání okrajové podmínky do hydraulického modelu.

Program MODFLOW je založen na konceptu zvodní s napjatou hladinou a zvodní s volnou hladinou. Hydraulickými parametry prostředí vstupujícími do modelu jsou horizontální hydraulické vodivosti, storativita nebo pórovitost. Model simuluje jak stacionární tak i tranzientní proudění podzemní vody. Základními výstupy jsou mapy izolinií hydraulických výšek a mapy izolinií snížení hydraulických výšek pro jednotlivé zvodně, při tranzientním proudění pro jednotlivé tlakové a časové úrovně. Pro daný tlakový stav, časový krok a vymezenou lokalitu lze vyhodnotit vodní bilanci. To znamená, že lze například v případě, kdy podzemní voda přímo komunikuje s vodami povrchovými zjistit, kolik vody je ve vymezeném úseku recipientem drénováno, resp. kolik vody je z něj infiltrováno do podzemních vod. Tyto údaje mají velký význam při kalibraci modelu. Parametry modelu MODFLOW jsou kalibrovány minimalizací odchylek mezi pozorovanými a simulovanými úrovněmi hladin podzemních vod a také podle shody základního odtoku modelovaného pomocí MODFLOW s jeho průběhem stanoveným některým ze standardně užívaných postupů. Simulace modelem MODFLOW je následně použita k simulaci prostorového rozložení úrovně hladin podzemních vod a základního odtoku v povodí. Tento přístup je podrobněji popsán např. v Uhlík, a kol. [3].



Obr. 2: Schéma modelu chronologické hydrologické bilance Bilan (v měsíčním kroku)

Hospodaření s vodou je simulováno vodohospodářským modelem (vyvinutým ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v.v.i), který využívá průtokové řady (pozorované nebo simulované Bilan modelem). Princip aplikace simulačního modelu lze s určitou mírou zjednodušení popsat takto:

Na reálné oblasti povodí je vymezena vodohospodářská soustava, tj. provede se výběr prvků, které charakterizují chování soustavy z hlediska množství povrchových vod. Jedná se o prvky/profily:

– plnící funkci regulace odtoku (vodní nádrže a převody vody),

– s vlivem/požadavkem na zdroje vody (odběry a vypouštění vody, zajištění minimálních průtoků, hladin apod.),

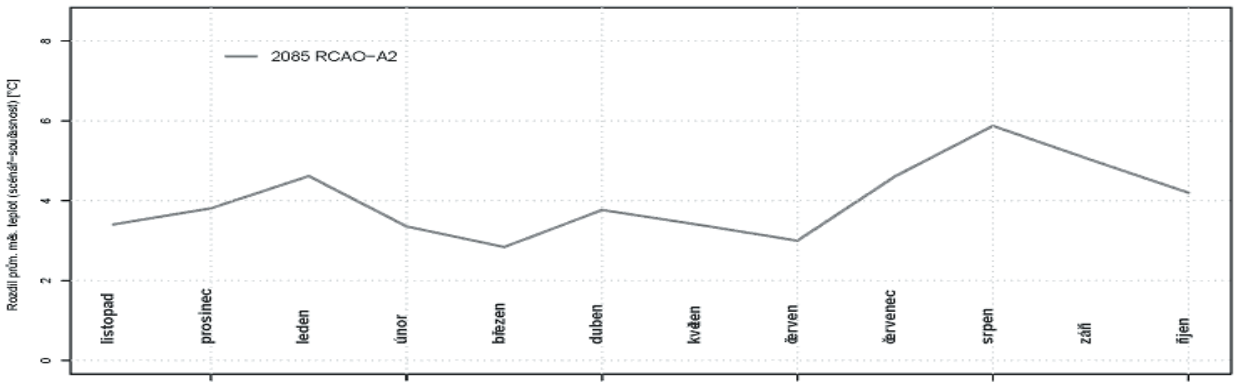
– plnící kontrolní funkci (hodnocení vlivu užívání vody na průtokový režim),

– s údaji o hydrologických hodnotách (vodoměrné stanice).

Simulační model simuluje chování soustavy v diskrétních časových krocích na základě znalosti časových řad přirozených průtoků, požadavků užívání vody, technických parametrů prvků soustavy a do modelu zavedených pravidel regulace odtoku (manipulačních pravidlech). Výsledné Časové řady jsou statisticky analyzovány a dostupnost vodních zdrojů posuzována z hlediska pravděpodobnosti.

3. Výsledky

Výsledky studií zaměřených na klimatickou změnu a její dopady v České republice ukázaly (Kašpárek a kol., 2007), že změny teploty odvozené z regionálních modelů klimatické změny (časový horizont 2085) jsou během roku značně proměnlivé, nicméně všechny uvažované scénáře se shodují v maximálním oteplení v srpnu, a to v rozmezí 5–7 °C, minimální oteplení připadá na období leden – březen (1 – 4 °C). Liší se také rozdíly mezi odhadovanými maximálními a minimálními průměrnými měsíčními teplotami, které jsou v měsících leden a únor většinou přes 10 °C, zatímco v srpnu je tento rozdíl zpravidla do 5 °C.



Obr. 3: Zvýšení průměrných měsíčních teplot na povodí Orlice po Týniště (scénář-současnost)

Podle různých klimatických modelů se na našem území nepředpokládá zásadnější změna v ročních srážkových úhrnech. Nicméně z hlediska odtoku je velmi významnou skutečností předpokládaná změna ročního chodu srážek. Pro odhad změny srážkových úhrnů na našem území je typické výrazné zvýšení srážkových úhrnů v zimních měsících (prosinec – březen) o 20 až 50 % a stejně tak jejich výrazné snížení v letních měsících (červen – září) v rozmezí -20 až -50 %.

Odtok pro referenční rok 2085 (referenční rok representuje období 2071 – 2100, pro které byly simulovány scénáře klimatické změny) a jednotlivé scénáře je nejvíce ovlivněn rozložením srážek v průběhu roku, změnou teploty vzduchu a teploty rosného bodu. Průměrný roční odtok je po klimatické změně nižší než v současnosti a liší se podle jednotlivých scénářů – u HIRHAM A2 (pesimistický) poklesne přibližně o 40 % a u RCAO B2 (optimistický) o 10 – 15 %.

Dopady změny klimatu na povrchové vodní zdroje pro časový horizont 2085 byly odvozeny v měsíčním časovém kroku v řadě studií provedených v roce 2008, které se týkaly české části Labe a povodí Dunaje. V průběhu roku průtok poklesne podle všech scénářů s výjimkou období prosinec až únor, což je důsledkem prosincového zvýšení srážkových úhrnů a zvýšení teplot do té míry, že na většině modelovaných stanic je průměrná teplota záporná pouze v lednu nebo vůbec neklesne pod bod mrazu. Nedochází tak k výraznějšímu zadržení vody ve sněhové pokrývce, což se projeví ve zvýšení odtoku nad současné hodnoty, nebo nebude pokles tak výrazný. S tím souvisí na některých modelovaných profilech již velice výrazné snížení odtoku v dubnu, způsobené posunem období tání sněhu směrem k zimním měsícům. Vlivem zvýšené teploty vzduchu, změnou teploty rosného bodu, poklesem srážkového úhrnu a nárůstem evapotranspirace (výparu) klesá odtok drasticky v měsících duben až listopad pro všechny uvažované scénáře, zejména pro HIRHAM A2, kde jsou

hodnoty měsíčních průměrů odtoku velmi často pod 50 % hodnot pro neovlivněné podmínky. Ale i u optimistického scénáře RCAO B2 v období duben – listopad jsou měsíční minima velmi nízká. Hrozí nebezpečí, že průtoky nebudou dosahovat minimálních zůstatkových průtoků, které jsou stanoveny vodoprávními úřady.

Ukazuje se, že nejvíce ovlivněna budou malá povodí nacházející se v nízké a střední nadmořské výšce. Dopady klimatické změny na horská povodí jsou sníženy vyšším rozdílem mezi srážkami a evapotranspirací.

Výsledky simulací vodohospodářských simulací ukazují, že ve většině povodí současné vodní zdroje by v podmínkách klimatické změny předpokládané pro vzdálenější časové úrovně nebyly schopné zabezpečit dostatečně spolehlivé zásobování vodou. Požadavky na zásobování vodou a minimální průtoky by nebyly splněny ve 25 % - 75 % z případů, které byly analyzovány. Zásoby podzemních vod a základní odtok by rovněž mohly být značně sníženy. Zmenšení zásob podzemní vody se potvrdilo například v případové studii pro Budějovickou pánev, kde jsou podzemní vody v sedimentech horní křídy a v terciérních sedimentech na nepropustném podloží. Pokles doplňování podzemních vod v důsledku změny klimatu se pohybuje od 15 % do 30 %. Důsledkem je pokles hladiny podzemní vody až o 25 m, nejvyšší hodnoty poklesu jsou simulovány zónách podél hranic povodí. Studie možných dopadů změny klimatu na vodní zdroje byly postupně zpracovány pro celé území ČR. Samostatné a podrobnější analýzy posoudily možnosti zajištění vody pro rozšíření jaderné elektrárny Temelín i pro posouzení možnosti rozšíření jaderné elektrárny Dukovany.

4. Diskuse

Navzdory složitosti klimatu, jeho dynamice a nejistotám v klimatickém a hydrologickém modelování, lze simulací hydrologické bilance a funkce vodohospodářských soustav v podmínkách klimatických změn získat výsledky se stejným nebo podobným trendem. Jedná se především o poklesy průtoků, snížení úrovní hladin podzemních vod a pokles kapacity vodních zdrojů i nedostatečné zajištění minimálních ekologických průtoků se zřejmým nepříznivým dopadem na jakost vody.

Dopady změn klimatu budou muset být zmírněny a budeme se jim muset přizpůsobit prostřednictvím adaptačních opatření. Podle získaných výsledků by změny pravidel manipulace na vodních dílech nebyly postačující a budou muset být přijata další opatření jako optimalizace využívání vody, zvýšení zásobní funkce vodohospodářských soustav výstavbou vodních nádrží a racionálním (řízeným) využitím zásob podzemních vod. Z tohoto hlediska jsou možné dopady změn klimatu na vodní zdroje závažným argumentem pro ochranu lokalit, ve kterých lze zásobní nádrže v případě nepříznivého vývoje zřídit.

5. Závěr

Popsané metody, založené na propojení modelu hydrologické bilance, modelu proudění podzemních vod a vodohospodářského modelu, byly použity v řadě studií zaměřených na podporu vodohospodářského plánování. Typickou aplikací byla zaměření na hodnocení možných dopadů klimatických změn na zdroje povrchové nebo podzemní vody a jejich dostupnost. Výsledky studií ukazují, že průměrný roční odtok a měsíční průtoky na jaře, ale zejména v létě a na podzim se v důsledku změny klimatu mohou výrazně zmenšit. Tyto dopady by se v budoucnosti projevily nedostatkem vodních zdrojů pro splnění požadavků zásobování vodou. Nedostatečné minimální průtoky nebo dokonce vysychání menších toků se odrazí ve zhoršení kvality vody a ohrožení vodních ekosystémů.

Následné výzkumné projekty proto budou muset být zaměřeny na zdokonalení projekce dopadů změny klimatu na zdroje povrchové a podzemní vody (např. pomocí nové generace scénářů klimatické změny) a zejména na rozvíjení strategií posílení vodních zdrojů a adaptačních opatření. Výsledky těchto studií se budou uplatňovat především při plánování v oblastech povodí v souladu s Rámcovou směrnicí EU o vodní politice.

Poděkování

Tento příspěvek byl připraven především na základě výsledků výzkumných projektů podporovaných Ministerstvem životního prostředí České republiky, které zahrnují zejména výzkumný záměr Výzkum a ochrana hydrosféry - výzkum vztahů a procesů ve vodní složce životního prostředí, orientovaný na vliv antropogenních tlaků, její trvalé užívání a ochranu, včetně legislativních nástrojů (projekt č. MZP0002071101) – subprojekt Vývoj matematických modelů hydrologické bilance, identifikace jejich parametrů a ověřování experimentálním výzkumem. Dále byly použity výsledky studií posuzujících dopady klimatické změny na hlavní povodí – Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Vltavy, Výhledová studie potřeb a zdrojů vody v Karlovarském kraji, Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Moravy, Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Odry, Výhledová studie potřeb a zdrojů vody v Oblasti povodí Ohře a dolního Labe – východní část, Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe.

Literatura

[1] LANEN, H. A. J. – KAŠPÁREK, L. – NOVICKÝ, O. – QUERNER, E. P. – FENDEKOVÁ, M. – KUPCZYK, E., 2004. Hydrological Drought - processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Tallaksen, Lena M., van Lanen, Henny A. J. (ed.) Amsterdam: Elsevier. ISBN 0-444-51688-3.

[2] KAŠPÁREK, L. a kol., 2007. Studie možnosti zajištění odběrů vody z VD Hněvkovice pro výhledové rozšíření JE Temelín. VÚV T.G.M., v.v.i. Praha.

[3] UHLÍK, J., a kol., 2008. Možné dopady klimatické změny na zdroje podzemní vody v Budějovické pánvi. PROGEO a VÚV T.G.M., v.v.i. Praha.

Kontakty na autora

1 Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. e-mail: renata_fridrichova@vuv.cz, ladislav_kasparek@vuv.cz, oldrich_novicky@vuv.cz, petr_vyskoc@vuv.cz