REGIONÁLNÍ DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA HYDROLOGICKÝ REŽIM V ČR

Martina Krátká, Ladislav Kašpárek

Scénáře klimatické změny pro Českou republiku jsou odvozeny ze simulací modelů globální cirkulace atmosféry. Důsledky klimatické změny se v jednotlivých regionech ČR projeví na hydrologickém režimu různě v závislosti na přírodních podmínkách povodí.
Simulace změn hydrologického režimu ukázaly, že na území ČR by při předpokládaném vývoji klimatu došlo k významnému zmenšení průměrných průtoků. Minimální průtoky by se na většině povodí zmenšily velmi radikálně. To by se projevilo vážnými dopady na zásobní funkci nádrží. Zmenšení podzemního odtoku by bylo obdobné jako u celkového odtoku. Povodí na jihu a jihovýchodě ČR jsou na změny klimatu popsané použitými scénáři citlivější než povodí na ostatním území, nejméně jsou citlivá horská povodí v severní části území ČR.
Použití daných klimatických scénářů neindikuje zvětšení četnosti ani velikosti povodní, mění se jejich sezónní chod. Přibývá zimních povodí, zmenšují se povodně jarní.

Klíčová slova: scénář klimatické změny, hydrologická bilance, potenciální evapotranspirace, územní výpar, celkový odtok, základní odtok

The Regional Impacts of Climate Change on Hydrological Regime of the Czech Republic. *The climate change scenarios for the Czech Republic (CR) are deduced from the Global Circulation Model simulations. Consequences of climate change will display differently in individual regions of the CR in dependence on natural conditions.*
Simulations of changes in hydrological regime proved that the average discharges of rivers in the CR would significantly decrease owing to the presumed climatic trend. Minimum discharges would radically decrease in most basins. This fact would cause serious problems in reservoirs with insufficient active storage capacity. Reduction of baseflow would be similar to reduction of total runoff. Basins in the southern part of the CR are more sensitive to climate change delimited by the applied scenarios than highland basins in the north part of the CR.
Under the given climate scenarios flood frequency and magnitude is not increasing, but seasonal distribution changes. Floods occur more frequently in winter and less in spring.

Key words: climate change scenario, water balance, potential evapotranspiration, basin evaporation, total runoff, baseflow

---

SCÉNÁŘE KLIMATICKÝCH ZMĚN

Základním zdrojem fyzikálně konsistentních informací pro scénáře změny klimatu jsou globální klimatické modely (GCM). Pro scénáře vztahující se k malým regionům ideální nejsou, zejména z hlediska horizontálního a časového rozlišení, žádný vhodnější podklad však v době řešení úkolu „Vliv klimatických změn na množství a kvalitu vodních zdrojů a na hydrologické poměry v ČR“ (Kašpárek a kol., 2003) nebyl k dispozici. U modelů posuzovaných v ČR se potvrdily obecné rysy GCM - vystihují z hlediska konstrukce regionálních scénářů změny klimatu, nejlépe průměrnou teplotu vzduchu. Slabými místy GCM zůstává vypadávání srážek, včetně sněhových. Shoda mezi modelovými a pozorovanými atmosférickými srážkami je často nevyhovující.

V rámci projektu MŽP „Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku“ byly na MFF UK zkonstruovány scénáře vycházející ze stavu vývoje GCM z roku 2000. Ze sedmi posuzovaných modelů byly vybrány jako nejvhodnější pro ČR dva modely: HadCM2* a ECHAM4[#].

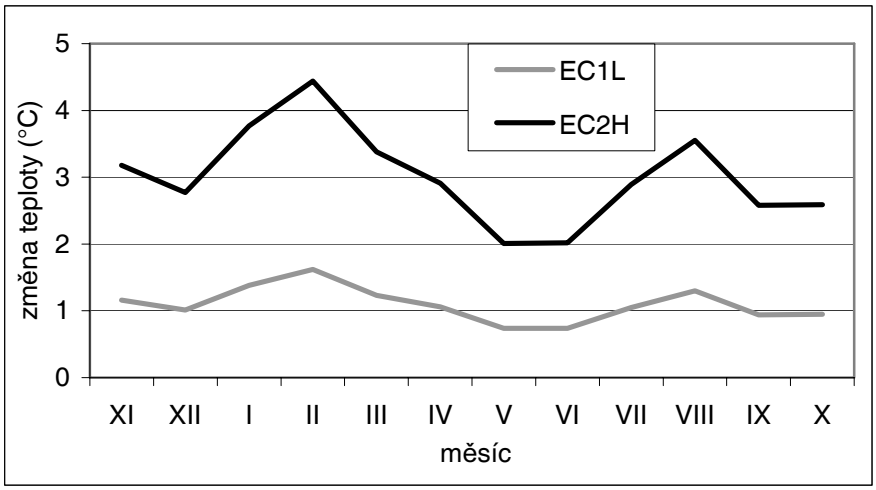
---

* HadCM2 - The Second Hadley Centre Coupled Ocean-Atmosphere GCM

[#] ECHAM4 - vyvinut z modelu European Centre for Medium-Range Weather Forecasts v Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

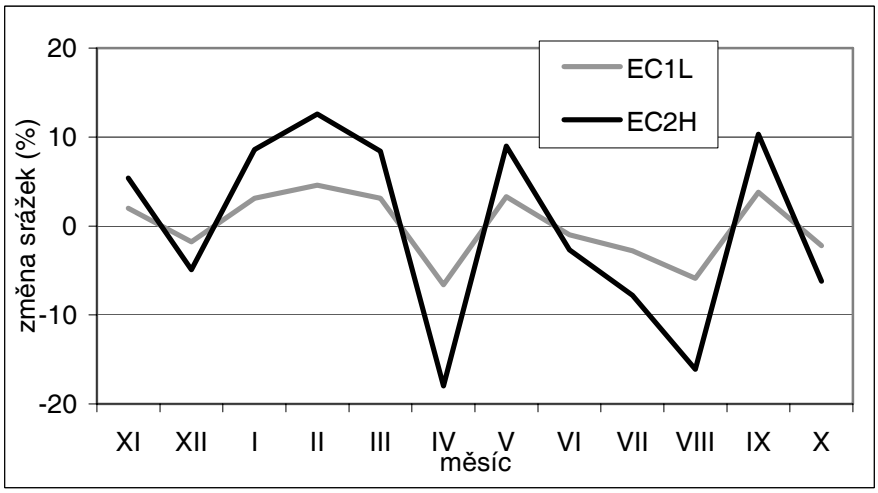
Scénáře emisí byly použity dva: SRESA2 jako pesimistická varianta nárůstu emisí CO_2 k roku 2050 na cca 17 Gt C a SRESB1 jako optimistická varianta vývoje (cca 10 Gt C k roku 2050). Pro citlivost klimatu (změna průměrné globální teploty při zdvojnásobení koncentrace CO_2 ekv.) byly zvoleny hodnoty 1,5 °C (nízká citlivost) a 4,5 °C (vysoká citlivost). Kombinace typu modelu, scénáře emisí a teplotní citlivosti vedou k osmi variantám scénářů. Na základě zkušeností z prací Národního klimatického programu ČR byly pro zkoumání vlivu klimatické změny na vodní zdroje použity pouze scénáře EC1L a EC2H, které vymezují rozmezí s nejpříznivějšími a nejméně příznivými kombinacemi scénářů emisí a klimatické citlivosti pro model ECHAM4. Použité varianty scénářů jsou popsány v tabulce 1. Výsledky podle modelu HadCM2 se od výsledků podle modelu ECHAM4 zásadně neliší, vliv rozdílnosti modelů je v porovnání s vlivem scénářů imisí i v porovnání s vlivem klimatické citlivosti nevýznamný.

Pro výpočty dopadu změn klimatu na hydrologický režim byly použity scénáře ve formě tabulek, které udávají pro každý scénář aditivní změnu pro teplotu vzduchu (viz obr. 1) a relativní změnu pro atmosférické srážky (obr. 2) a vlhkost vzduchu. Tabulky rozlišují roční chod změn v měsíčním kroku.



Obr. 1 Změna teploty v průběhu roku podle scénářů EC1L a EC2H pro časový horizont roku 2050

Fig. 1 Seasonal changes in temperature according to the EC1L and EC2H scenarios for time horizon of the year 2050



Obr. 2 Změna srážek v průběhu roku podle scénářů EC1L a EC2H pro časový horizont roku 2050

Fig. 2 Seasonal changes in precipitation according to the EC1L and EC2H scenarios for time horizon of the year 2050

Tab. 1 Použité scénáře klimatických změn

Tab. 1 Climate change scenarios used in this study

Označení	model GCM	scénář emisí	citlivost klimatu
EC1L	ECHAM4	SRESB1	nízká
EC2H	ECHAM4	SRESA2	vysoká

METODIKA

Vliv klimatických změn na hydrologický režim jsme zkoumali ve zvolených povodích, pro která lze formulovat obecně platné zákonitosti hydrologické bilance. To umožňuje modelovat povodí jako systém, jehož vstupy jsou atmosférické srážky, teploty vzduchu a další meteorologické veličiny významně ovlivňující územní výpar. Výstupem je odtok z povodí.

Vlastní model hydrologické bilance je tvořen strukturou vztahů, které popisují rozdělování srážek mezi výpar, průsak, různé typy akumulace vody v povodí a základní složky odtoku. Hydrologická bilance je vyhodnocována v měsíčním, příp. denním kroku, parametry bilančního modelu se určují optimalizací. Postup výpočtů metodou scénářů:

a) pro zvolené povodí na základě pozorovaných řad byly optimalizací stanoveny parametry modelu,
b) při použití těchto parametrů byl proveden výpočet hydrologické bilance pro pozorované řady teplot vzduchu, srážek a relativních vlhkostí vzduchu upravené o scénářem uvažované změny,
c) byl vyhodnocen účinek změn klimatických veličin na zvolenou hydrologickou veličinu

POUŽITÉ HYDROLOGICKÉ MODELY A DATA

Pro výpočty změn průměrných a minimálních průtoků i základního odtoku byl použit zejména model SIMBA (verze modelu BILAN), který počítá v měsíčním kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí. Pro modelování extrémních odtokových situací v denním kroku byl použit model SAC-SMA (Sacramento), pro modelování povodní frekvenční verze TOP modelu.

Výpočty modelem SIMBA (v měsíčním kroku) byly provedeny s daty, která poskytl ČHMÚ pro 50 povodí vodoměrných stanic vybraných z celého území ČR z jednotného období 1971-2002. Pro výpočty v denním kroku (model SAC-SMA) byla použita data z 8 povodí a simulace frekvenční verzí TOP modelu byly provedeny pro povodí nádrže Skalka na Ohři.

ZMĚNY SRÁŽEK A VÝPARU

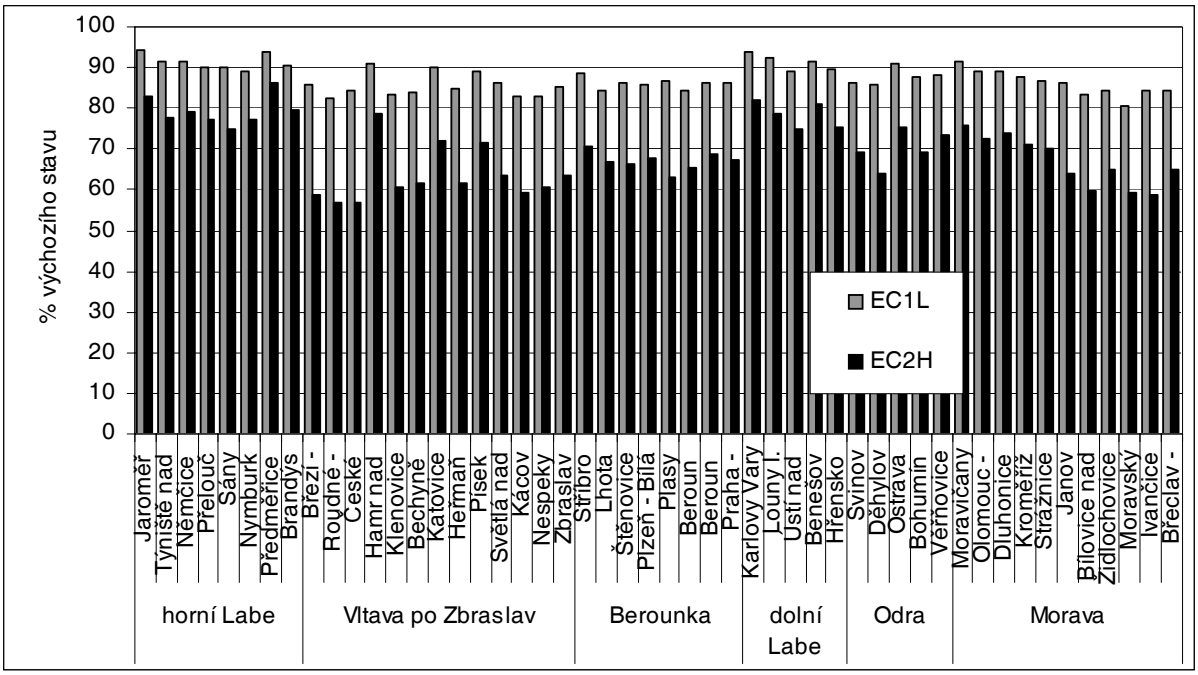
Nejdůležitější veličinou hydrologické bilance jsou srážky. Jejich změny vlivem klimatické změny v rozsahu použitých scénářů klimatické změny jsou sice z hlediska dlouhodobých průměrů zanedbatelné, mění se však jejich sezónní rozložení, zjednodušeně řečeno se zimní srážky zvětšují a letní zmenšují.

Druhou nejvýznamnější veličinou hydrologické bilance je územní výpar, který na většině území ČR je větší, než odtok. Územní výpar je v našich podmínkách většinou výsledkem dvou základních činitelů, dostupné energie (dána především teplotou vzduchu a řadou dalších veličin) a disponibilního množství vody (ze srážek, ze zásob vody v půdě). Výpočty ukázaly, že radikální zvětšení potenciální evapotranspirace (18 až 33 %) při vývoji klimatu podle scénáře EC2H se ve zkoumaných povodích projeví vlivem omezeného množství srážek ve vegetačním období jen podstatně menším zvětšením územního výparu (7 až 26 %).

ZMĚNY CELKOVÉHO ODTOKU

Základním důsledkem klimatické změny je pokles průměrné dlouhodobé odtokové výšky ve všech povodích. Pokles celkového odtoku pro scénář EC1L je na úroveň 80-94 % hodnot pro nezměněné klima, pokles celkového odtoku pro scénář EC2H je na úroveň 57-86 % hodnot pro nezměněné klima (viz obr. 3).

Rozložení velikosti poklesu odtoku není z regionálního hlediska náhodné, menší poklesy jsou v povodí horního Labe, v povodí Ohře, Ploučnice a na tocích které odtékají z Beskyd a Jeseníků. Největší poklesy odtoku jsou typické pro oblast jižních Čech s výjimkou Nežárky a Otavy, na Moravě v povodí Dyje. Důvodem tohoto rozložení jsou rozdíly v ročním chodu srážek. V povodích, kde jsou větší zimní srážky, je zimní zvýšení srážek významnější než u povodí, kde je podíl zimních srážek menší.



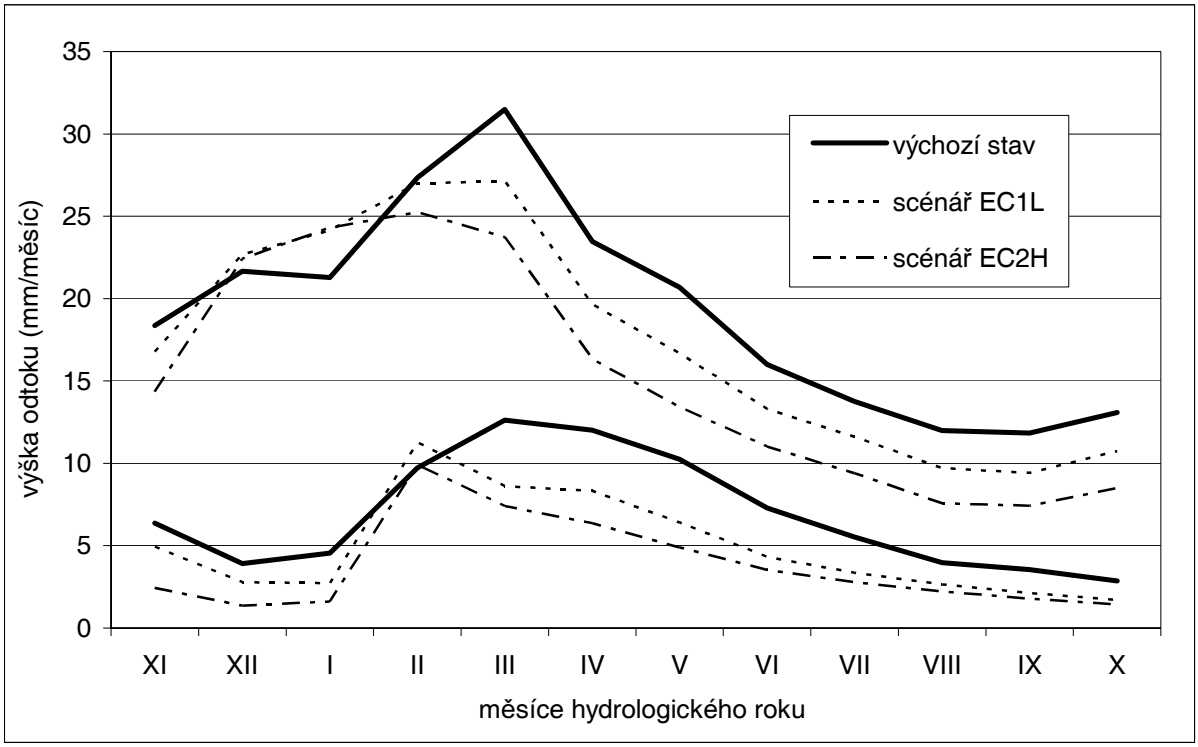
Obr. 3 Celkový odtok v jednotlivých povodích při změně klimatu podle scénářů EC1L a EC2H

Fig. 3 Total runoff in individual basins according to EC1L and EC2H climate change scenarios

ZMĚNY SEZÓNNÍHO CHODU PRŮMĚRŮ A MINIM CELKOVÉHO ODTOKU

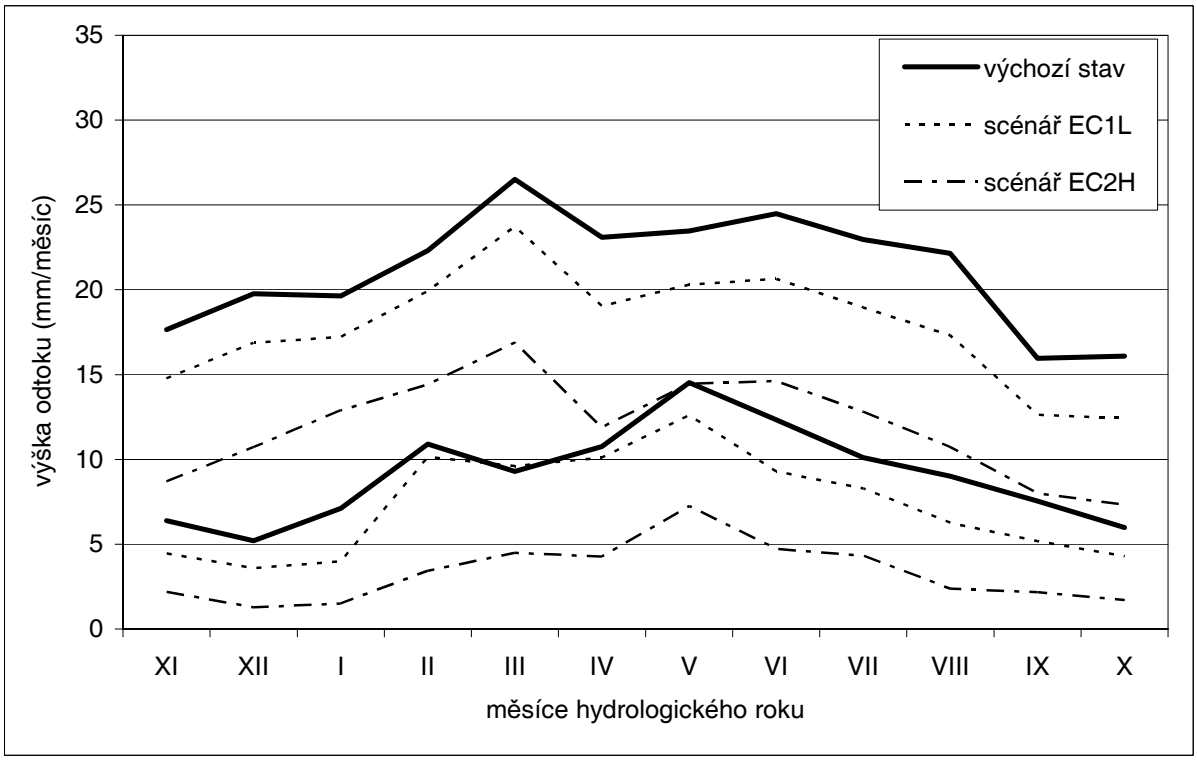
Celkový odtok klesá podle obou scénářů klimatické změny v průběhu jarních, letních a podzimních měsíců zejména na dolních tocích téměř konstantně o 10-20 % (EC1L), resp. o 30-40 % (EC2H). V zimních měsících je pokles méně výrazný, nulový nebo dochází k mírnému vzestupu. Na horních tocích jsou změny celkového odtoku různorodější, v závislosti na lokálních klimatických a hydrogeologických podmínkách. Na obr. 4 a 5 jsou znázorněny příklady odtoků z povodí Labe v Brandýse n. L. a z povodí Vltavy v Č. Budějovicích.

Poklesy minim měsíčních průměrných odtokových výšek jsou podstatné, v některých případech při aplikaci scénáře EC2H až drastické. Vyskytují se i poklesy do oblasti 12-15 % původní hodnoty (v měsíci srpnu, v povodí Moravy a Odry). Minima klesají v některém měsíci pod polovinu původní hodnoty ve všech zkoumaných povodích. Účinek klimatické změny na minimální průtoky je tedy velmi významný a indikuje ohrožení zásobní funkce vodních zdrojů, které nemají dostatečnou akumulaci pro překrytí období hydrologického sucha.



Obr. 4 Sezónní chod celkového odtoku z povodí Labe po Brandýs n. L. - průměry a minima ovlivněného a neovlivněného odtoku

Fig. 4 Seasonal course of total runoff from the Elbe River catchment (to Brandýs n. L.) – means and minimums of non-affected and affected runoff



Obr. 5 Sezónní chod celkového odtoku z povodí Vltavy po Č. Budějovice - průměry a minima neovlivněného a ovlivněného odtoku

Fig. 5 Seasonal course of total runoff from the Vltava River catchment (to Č. Budějovice) – means and minimums of non-affected and affected runoff

ZMĚNY POVODŇOVÉHO REŽIMU

Podle výsledků simulací vlivu předpokládaných změn klimatu na povodňový režim lze usuzovat, že základní změnou je zvětšení četnosti i velikosti zimních povodní, a to na úkor povodní jarních, které se zmenšují a posunují směrem k zimě. Letní povodně se téměř nemění, jen ojediněle se zmenšují. Povodně v podzimních měsících se zmenšují pouze v některých letech, v závislosti na tom, jak suché bylo jim předcházející období. Pokles podzimních povodní se objevuje u povodí s menšími dlouhodobými úhrny srážek.

Důvodem úbytku jarních povodní a nárůstu zimních povodní je jednak výrazné zvýšení teplot, jehož následkem jsou srážky v zimě deštivější, zásoba vody ve sněhu je menší a dříve taje, dalším důvodem je zvětšení úhrnů srážek v zimních měsících.

Celkové zvětšení evapotranspirace spolu s nezvětšenými dlouhodobými letními srážkami vede k poklesu zásoby vody v povodí. V letních měsících ještě není pokles tak významný, aby podstatně redukoval povodně z intenzivních a vydatných letních srážkových případů. Čím později se však povodeň vyskytne, tím větší je (v průměru) deficit vody v půdě, tím zřetelnější je pokles podzimních povodní.

Popsané změny povodňového režimu jsou zřetelné a významné pro scénář EC2H, u výsledků scénáře EC1L jsou patrné méně a redukují se zejména na zvětšení povodní zimních a zmenšení povodní letních.

Literatura

Kalvová, J., Kašpárek, L., Janouš, D., Žalud, Z., Kazmarová, H. a kol. (2002): Scénáře změny klimatu na území České republiky a odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR. Národní klimatický program ČR, svazek 32, Praha, 141 s.

Kašpárek, L. a kol. (2003): Vliv klimatických změn na množství a kvalitu vodních zdrojů a na hydrologické poměry v ČR. Závěrečná zpráva úkolu VaV/650/3/02. VÚV T.G.M., Praha, 192 s.

Autoři

Ing. Martina Krátká – Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, martina_kratka@vuv.cz

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc. - Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, ladislav_kasparek@vuv.cz