

Změny srážek a odtoků na povodích v ČR v období intenzivního oteplování

LADISLAV KAŠPÁREK, ROMAN KOŽÍN

Klíčová slova: zvyšování teploty vzduchu – změny atmosférických srážek – změny odtoku z povodí

SOUHRN

Základní meteorologické veličiny, které ovlivňují hydrologický režim, jsou atmosférické srážky a teplota vzduchu. Obě kolísají nejen krátkodobě a v ročním cyklu, ale i dlouhodobě. Dlouhodobé změny obou těchto veličin mají charakter periodického kolísání kolem středních hodnot. V případě teploty vzduchu se na území České republiky přibližně od roku 1980 projevuje její systematické zvyšování. Předložený článek přináší informace o tom, jak kolísání klimatu, jež tuto změnu přináší, ovlivňuje režim srážek a odtoku na našem území.

V první části studie jsme využili dlouhodobých pozorování průtoků Labe v Děčíně od roku 1851 a srážek na jeho povodí a porovnali změny srážek a odtoku z období po roce 1980 s extrémními kolísáními v předcházejícím období. Kolísání čtyřicetiletých klouzavých průměrů ročních a sezonních srážek a ročních a sezonních odtoků s výjimkou vzestupu zimních odtoků nevybočilo z rozmezí, v němž kolísaly v období 1851–1980.

V další práci jsme se zaměřili na posouzení možných změn srážek a odtoku v období oteplování v sedmi větších povodích z různých oblastí ČR. V období 1981–2019 v porovnání s předcházejícím obdobím 1961–1980 se průměry ročních srážek ve čtyřech povodích zvětšily o 2 % až 4 %, na povodí Ohře o 7,5 %. V povodí Labe nad Vltavou cca o 1 % a v povodí Odry o 3 % průměry ročních srážek klesly. Na zvětšení ročních srážek se podílely zejména vzestupy srážek v zimních a podzimních měsících, ve třech povodích nastaly znatelné poklesy jarních, ve dvou povodích letních srážek. Průměrné průtoky v období 1981–2019 byly ve všech porovnávaných vodoměrných stanicích menší než v období 1961–1980, v relativním měřítku až o 17 % ve stanici Bohumín na Odře, nejméně o cca 2 % v Lounech na Ohři.

Při porovnání výsledků pro Sázavu, Lužnici, Berounku a Ohři shledáme, že směrem od východu na západ se poklesy z hodnot mírně převyšujících 10 % mění až na prakticky nezměněný průtok Ohře.

ÚVOD

Hydrologická služba v ČR tradičně vztahovala charakteristiky průměrných průtoků ke konkrétnímu „reprezentativnímu“ období, z kterého byla použita data pro jejich odvození. Stěžejní dílo *Hydrologické poměry ČSSR* [1] vycházelo z období 1931–1960. Ke změně došlo až po roce 1980, kdy bylo třicetiletí prodlouženo na padesátiletí 1931–1980, zhodnocené ve studii [2] z roku 1992. Další posouzení možných změn hydrologického režimu obsahuje práce [3], jež přináší porovnání charakteristik srážek a průtoků z období 1981–2010 s charakteristikami z období 1931–1980, které používá Český hydrometeorologický ústav od roku 2013. Výsledky této studie vedly k závěru, že nedošlo k významným změnám v hodnotách ročních úhrnů srážek a nebylo možné doložit významné rozdíly charakteristik

průtoků dané přirozenou změnou odtokových podmínek. Bezprostředně po roce 2013 se v ČR vyskytlo víceleté hydrologické sucho, jež bylo podle studie [4] nejdelší ze všech období sucha v povodí Labe od roku 1851.

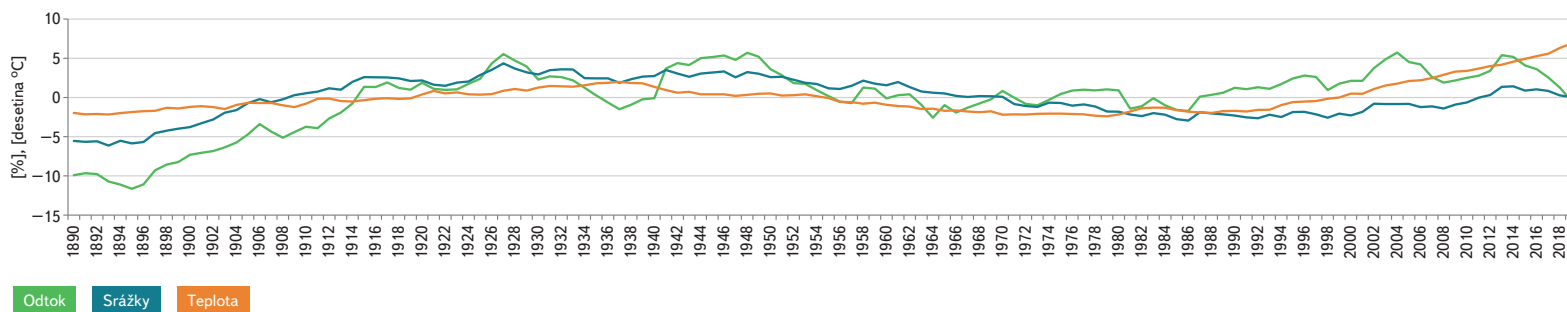
V předkládané studii se pokoušíme zjistit, zda při využití pozorovaných řad srážek a průtoků do roku 2019, které zahrnují období uvedeného meteorologického a hydrologického sucha, nalezneme vliv oteplování na dlouhodobé průměry srážek a průtoků. V první části studie jsme využili dlouhodobých pozorování průtoků Labe v Děčíně od roku 1851 a srážek na jeho povodí a porovnali změny čtyřicetiletých průměrů srážek a odtoku z období po roce 1980 s jejich kolísáním v předcházejícím, intenzivním oteplováním neovlivněným obdobím. V další části jsme se zaměřili na posouzení možných změn srážek a odtoku po roce 1980 v regionálním rozlišení, tj. na to, jak se odlišují průměrné srážky a odtoky na povodích toků v různých oblastech ČR v období let 1981–2019 od průměrů z období 1961–1980, v němž se teplota vzduchu ještě významně nezvyšovala.

POROVNÁNÍ SRÁŽEK A ODTOKŮ NA POVODÍ LABE V OBDOBÍ 1981–2019 S JEJICH KOLÍSÁNÍM V DLOUHODOBÉM MĚŘÍTKU

Nejdříve jsme se zabývali změnami dlouhodobých průměrných srážek a dlouhodobých průměrných výšek odtoku v období oteplování v konfrontaci s jejich dlouhodobým kolísáním v letech 1851–2019. Volba povodí Labe v Děčíně vychází z toho, že jeho plocha zaujímá podstatnou část Čech a je pro něj zpracována dlouhodobá řada průměrných měsíčních srážek i odtoků z období 1851–2019. Od roku 1851 byly na Labi v Děčíně soustavně pozorovány vodní stavy a později ve své práci [5] Novotný rekonstruoval pro historické období průtoky. Použili jsme hodnoty průtoků upravené o odběry vody, vypouštění odpadních vod a manipulace vodních nádrží v povodí. Tato data jsou k dispozici až od roku 1979, což u sezonních a měsíčních průměrů může výsledky porovnání zatížit dodatečnou nepřesností.

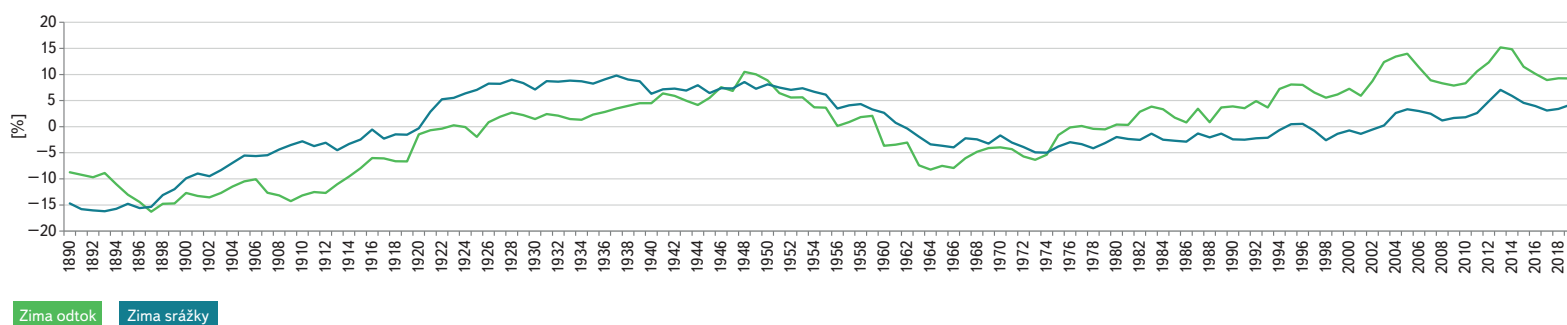
Průměrné srážky na povodí Labe v Děčíně jsou v úseku 1851–1875 zatíženy značnou nejistotou. Do roku 1828 jsou odhadnuty jen podle pozorování z Klementina, počínaje rokem 1829 přibyla pozorování v Havlíčkově Brodě a od roku 1848 v Čáslavi. Od roku 1876 jsou k dispozici data z 55 stanic a od roku 1880 z 382 srážkoměrných stanic.

Oteplování vzduchu, které je součástí globální změny klimatu, se na území ČR intenzivně projevuje po roce 1980. Tento jev je zřejmý na zobrazení odchylek klouzavých průměrů teplot vzduchu za čtyřicetileté období na povodí Labe v Děčíně vypočítaných rozdílem řady ročních průměrů 1851–2019 od průměrné teploty za toto období (viz obr. 1). Na obr. 1 jsou vyznačeny i odchylky



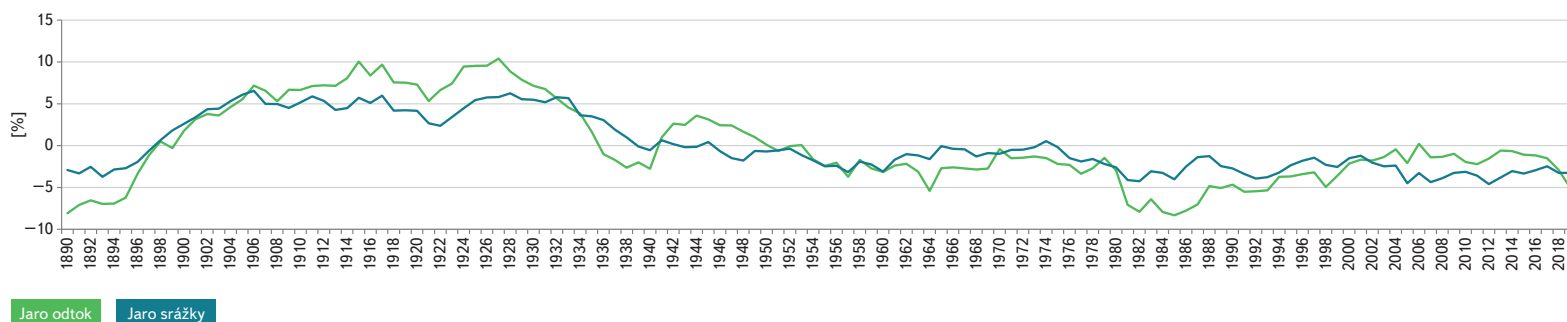
Obr. 1. Relativní odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných ročních srážek a ročních výšek odtoků v % a odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných ročních teplot vzduchu, stupnice v desetinach °C

Fig. 1. Relative deviations of forty-year moving averages of average annual precipitation and annual runoff heights in % and deviations of forty-year moving averages of average annual air temperatures, scale in tenths of °C



Obr. 2. Relativní odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných srážek a výšek odtoků za měsíce prosinec až únor

Fig. 2. Relative deviations of forty-year moving averages of average precipitation and runoff heights for the months December to February



Obr. 3. Relativní odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných srážek a výšek odtoků za měsíce březen až květen

Fig. 3. Relative deviations of forty-year moving averages of average precipitation and runoff heights for March to May

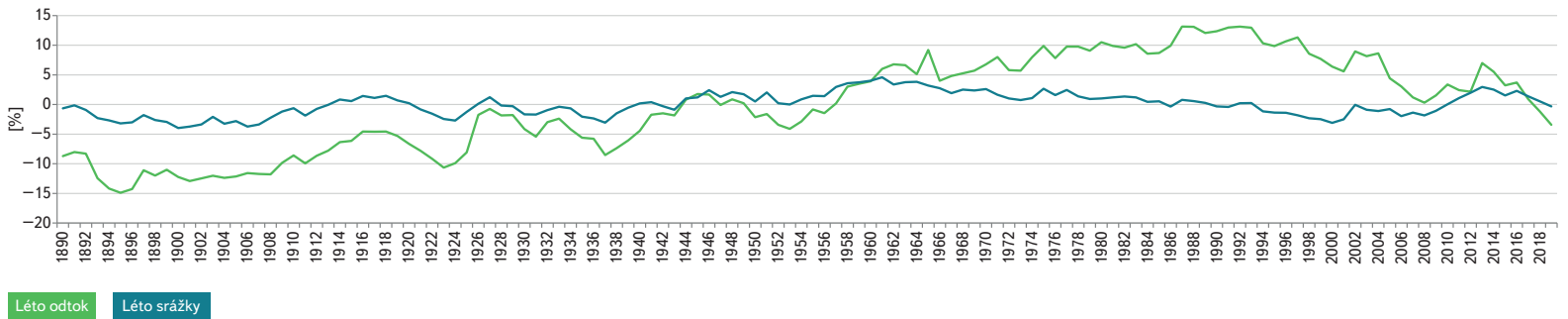
čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných ročních srážek a ročních výšek odtoků z tohoto povodí v podobě relativních hodnot v % průměrů za celé období.

Z analýzy nejdelších řad sledovaných průtoků v ČR, například ve studii dlouhodobého kolísání průtoků Vltavy v Praze [6], vyplynul poznatek, že průměrné průtoky kolísaly v minulosti dlouhodobě v nezanedbatelném rozmezí. Kolísání má periodické složky, což je patrné i na datech ze světových vodních toků, jak prokázala Pekárová v publikaci [7]. Při posouzení možného vlivu oteplování na změny režimu odtoku je nezbytné tento jev vzít do úvahy.

Obr. 1 ukazuje, že i při poměrně dlouhém intervalu průměrování 40 let kolísají průměry srážek přibližně v rozmezí 10 % a kolísání má cyklický charakter s délkou vlny cca 90 až 100 let. Pokud se charakter kolísání nezměnil, jsme v současnosti na vzestupné části cyklu. Ke stejnému poznatku dospěli v článku [8] Květoň a Žák při hodnocení srážkové řady 1808–2019 ze stanice Praha Klementinum.

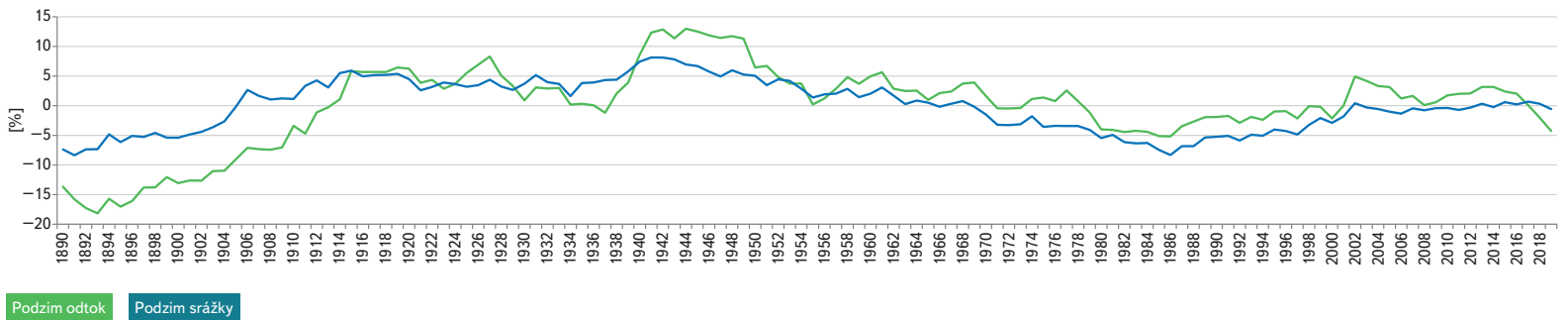
Když pomíneme rozdílné průběhy relativních odchylek čtyřicetiletých klouzavých průměrů srážek a odtoků před rokem 1915, jež mohou souviset s nejistotou odhadu srážek před rokem 1875, sledáme podobný průběh odchylek obou veličin až přibližně do roku 1988. Pak až do roku 2013 jsou odchylky odtoku v relativní míře větší než odchylky srážek. Následující období sucha způsobilo pokles odtoků, a tak čtyřicetileté průměry srážek i odtoků za interval 1981–2019 jsou velmi blízké průměrům za celé období 1851–2019, takže na dlouhodobých ročních průměrech srážek i odtoků z období intenzivního oteplování na údajích pro povodí Labe v Děčíně není vliv oteplování patrný.

Pro objasnění, které fáze ročního odtokového cyklu přispívaly k popsání rozdílu odchylek odtoku a srážek, jsme vytvořili grafy porovnávající relativní odchylky čtyřicetiletých průměrů srážek a odtoků ze čtyř ročních sezon (viz obr. 2–5). Rok je rozdělen na období prosinec až únor (zima), březen až květen (jaro), červen až srpen (léto) a září až listopad (podzim).



Obr. 4. Relativní odchylky čtyřicetiletých klouzavých průměrů průměrných srážek a výšek odtoků za měsíce červen až srpen

Fig. 4. Relative deviations of forty-year moving averages of average precipitation and runoff heights for the months June to August



Obr. 5. Relativní odchylky klouzavých průměrů průměrných srážek a výšek odtoků za měsíce září až listopad

Fig. 5. Relative deviations of moving averages of average precipitation and runoff heights for the months of September to November

Z průběhu čtyřicetiletých klouzavých průměrů sezonních průměrných srážek a odtoků vyplývá:

Zimní srážky i odtoky mají přibližně od roku 1975 vzestupný trend, odtoky od roku 2002 vybočují z rozmezí hodnot, které se vyskytly v předcházející části řady. Lze to vysvětlit tím, že vlivem vyšších teplot roztaje v důsledku zvyšujících se srážek více sněhu již v průběhu zimy a více srážek je dešťových.

Jarní srážky z nadprůměrné úrovně v roce 1933 poklesly cca o 10 % na úroveň roku 1983 a dále jen mírně kolísaly kolem této úrovně. Odtoky z maxima v roce 1927 poklesly do roku 1980 cca o 18 % a pak stoupaly až do roku 2013. Po krátkém poklesu odtoků byly odchylky srážek i odtoků ve čtyřicetiletí 1981–2019 téměř srovnatelné – na úrovni –4 % až –5 %.

Letní srážky v relativním měřítku dlouhodobě příliš nekolísaly, na rozdíl od letních odtoků. Jejich průběh se od průběhu srážek odchyluje podstatně více než u ostatních sezon. Ve čtyřicetiletích končících před rokem 1925 se patrně projevuje menší přesnost odhadu srážek. V následujícím období cca do roku 1954 se postupně zvětšuje rozdíl mezi odchylkami odtoků a odchylkami srážek. Vysvětlujeme to tím, že za letních povodní v letech 1954, 1981, 1997 a 2002 byl koeficient odtoku z několikadenních intenzivních srážek podstatně větší než ze srovnatelného úhrnu srážek menší intenzity rozložených v delším čase. Po roce 2002 relativní odchylky odtoku klesaly, ve čtyřicetiletí 1981–2019 po období hydrologického sucha až na hodnotu –4 %.

Podzimní srážky i odtoky podobně klesaly z úrovně po roce 1941 o cca 16 % až do roku 1988, pak opět podobně vystoupaly k průměrným hodnotám, odtoky po roce 2013 poklesly až na –4 %.

Z průběhu veličin na obr. 3 až 5 vyplývají souhrnné poznatky:

Kolísání čtyřicetiletých klouzavých průměrů sezonních srážek a odtoků s výjimkou vzestupu zimních odtoků v období po roce 2002 nevybočilo z rozmezí, v němž kolísaly v období 1851–2019.

Tab. 1. Relativní odchylky ročních a sezonních srážek a odtoků na povodí Labe v Děčíně [%] v období 1981–2019 od průměrů z celé řady 1851–2019

Tab. 1. Relative deviations of annual and seasonal precipitation and runoff in the Elbe river basin in Děčín [%] in the period 1981–2019 with respect to the whole period 1851–2019

	Rok	XII–II	III–V	VI–VIII	IX–XI
Srážky	0,04	3,39	–3,25	0,53	0,32
Odtok	–0,42	9,27	–5,08	–3,42	–1,99

Tab. 2. Podíly průměrů sezonních srážek a sezonních odtoků na ročním průměru [%] Tab. 2. Shares of averages of seasonal precipitation and seasonal runoff on the annual average [%]

	Zima	Jaro	Léto	Podzim
Srážky	19	24	36	21
Odtok	27	37	19	17

Roční průměr srážek v povodí Labe v Děčíně se podle údajů z tab. 1 prakticky nezměnil. Zřejmě je zvětšení zimních srážek a pokles jarních srážek. Změny odtoku jsou v relativním měřítku větší, vzestup zimního odtoku je v protívázu k poklesům v ostatních sezonách.

Při posuzování relativních odchylek průměrných sezonních srážek i odtoků je třeba mít na paměti, že jsou vztahovány ke značně rozdílným hodnotám dlouhodobých průměrů, takže jejich podíl na odchylkách ročních průměrů je dosti odlišný. Ukazuje to tab. 2, v níž jsou uvedeny procentní podíly průměrů sezonních srážek a sezonních odtoků na ročním průměru.

Ačkoli letní srážky převažují nad srážkami z ostatních sezon, je letní odtok jen polovinou odtoku jarního a přesahuje jej i podíl zimního odtoku z podstatně menších srážek.

Pro analýzu trendu a změn trendu v řadách ročních a sezonních srážek i odtoků jsme také použili statistickou analýzu pomocí programového prostředku metodicky popsaného v práci [9]. Aplikace CTPA umožňuje využít řady statistických testů, které posuzují například následující hypotézy: řada má normální rozdělení, členy řady jsou statisticky nezávislé, v řadě se vyskytuje změna průměru, řada vykazuje trend, v řadě se vyskytuje změna trendu. Pro ověření některých hypotéz lze použít více metodicky odlišných testů.

Pro testování jsme použili nejprve řady ročních výšek srážek a řady výšek srážek za výše definované sezony. Na hladině významnosti 0,05 nebyla zamítnuta hypotéza o normálním rozdělení a nezávislosti členů pro všechny testované řady. Statisticky významná změna průměru byla indikována u roční řady v roce 1991 a u zimní řady v roce 1993. Celkový trend roční řady je vzestupný o 0,187 mm/rok, u zimní řady o 0,174 mm/rok, statisticky významný je však pouze u zimní řady.

Výsledky pro řady odtoků jsou při použití hladiny významnosti neurčitější, jelikož neodpovídají normálnímu rozdělení. V řadě ročních hodnot existuje autokorelace. Použitý algoritmus indikoval změnu trendu v roce 1965 ze vzestupného na poklesový.

Výsledky provedených porovnání lze shrnout do závěru, že kromě vzestupu zimního odtoku jsme nenalezli žádné změny, jež by prokazovaly významnější vliv oteplování na dlouhodobé srážky a odtok. Čtyřicetileté průměry srážek a odtoků nevybočily z rozmezí, v kterém se vyskytovaly v období, kdy se teplota vzduchu dlouhodobě intenzivně nezvyšovala.

POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ SRÁŽEK A ODTOKŮ NA ÚZEMÍ ČR

Proměnlivosti změn srážek a odtoků na území ČR jsme posoudili podle odchylek průměrů z období 1981–2019 od průměrů z období 1961–1980. Volba uvedených období byla ovlivněna požadavkem na dostupná data – synchronní pozorování srážek a odtoků ve vodoměrných stanicích. Posoudili jsme průměry z celých roků, sezon a částečně i z jednotlivých měsíců. Pro zpracování jsme vybrali soubor povodí, který umožňuje posoudit regionální odlišnosti změn srážek i odtoků. V první etapě zpracování byla použita data ze závěrových vodoměrných stanic velkých povodí, pak bylo zpracování doplněno o stanice charakterizující proměnlivost podmínek od horských povodí po nížinné.

POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ SRÁŽEK A ODTOKŮ 1981–2019 A 1961–1980 PRO POVODÍ LABE V DĚČÍNĚ

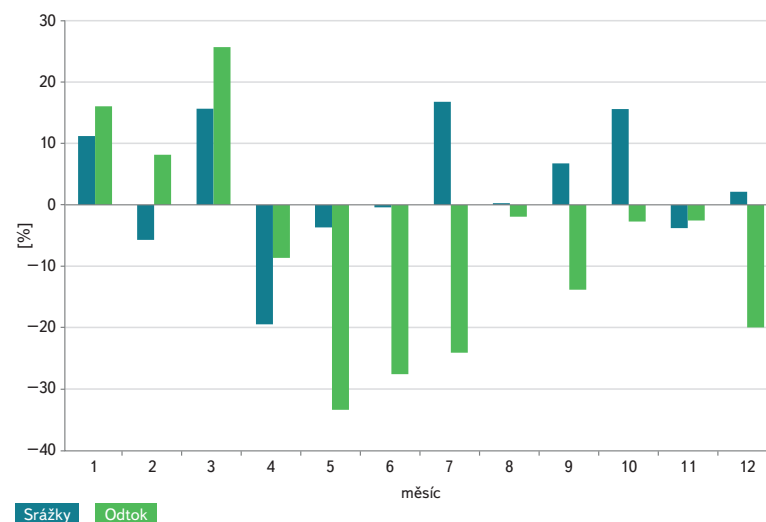
Relativní odchylky ročních a sezonních srážek a odtoků na povodí Labe v Děčíně [%] v období 1981–2019 od průměrů z řady 1961–1980 jsou uvedeny v tab. 3. Při porovnání s tab. 2 sledujeme, že podstatné odchylky jsou v obou tabulkách podobné, větší rozdíl je v tab. 3 v poklesu podzimního odtoku a zřejmě ovlivňuje větší – i když statisticky nevýznamný – pokles ročního průměru.

Porovnání relativních změn výšek srážek a odtoků [%] v jednotlivých měsících pro povodí Labe v Děčíně ukazuje obr. 6. U srážek je patrné souvislé zvýšení od prosince po březen s výjimkou února. Pozornost zasluhuje, že po zvětšení v březnu následuje pokles srážek v dubnu. Poklesy odtoku od května do září lze přisoudit jednak zásobám vody na konci zimy a menším srážkám na jaře, jednak intenzivnější evapotranspiraci ve vegetačním období vlivem zvýšení teploty vzduchu.

Tab. 3. Relativní odchylky ročních a sezonních srážek a odtoků na povodí Labe v Děčíně [%] v období 1981–2019 od průměrů z řady 1961–1980

Tab. 3. Relative deviations of annual and seasonal precipitation and runoff in the Elbe river basin in Děčín [%] in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

	Rok	XII–II	III–V	VI–VIII	IX–XI
Srážky	-0,2	6,53	-2,38	-3,09	0,89
Odtok	-1,93	8,05	-3,52	-14,49	-6,88



Obr. 6. Relativní odchylky průměrných výšek srážek a výšek odtoku v jednotlivých měsících pro povodí Labe v Děčíně v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 6. Relative deviations in average precipitation heights and runoff heights in individual months for the Elbe river basin in Děčín in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

Porovnání průměrů srážek a odtoků 1981–2018 a 1961–1980 ve velkých povodích

V další etapě výpočtů jsme zpracovali data z povodí vodoměrných stanic, které jsou blízko závěrovým profilům větších povodí vodních toků uvedených v tab. 4. Relativní odchylky průměrných ročních a průměrných sezonních srážek v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 jsou obsahem tab. 5, zobrazeny jsou na obr. 7 a 8.

Na obr. 7 je patrné, že na většině povodí se v období 1981–2019 v porovnání s předcházejícím obdobím 1961–1980 průměry ročních srážek zvětšily o 2 % až 4 %, na povodí Ohře o 7,5 %. V povodí Labe nad Vltavou ve stanici Brandýs n. L. nepatrně a v povodí Odry znatelně průměry ročních srážek poklesly.

Obr. 8 a tab. 5 ukazují, že na zvětšení ročních srážek se podílely zejména vzestupy srážek v zimních a podzimních měsících, pouze v povodí Ohře a nepatrně v povodí Vltavy i srážky letní. Poklesy jarních srážek jsou významnější na povodí Labe a na povodí Odry. Letní srážky poklesly na povodí Odry i Moravy. Změny srážek na území ČR v době oteplování posuzované podle průměrných srážek na vybraných větších povodích jsou zřetelně odlišné v povodí v severní části území od povodí z jižní a západní části ČR.

Změny průměrných srážek z jednotlivých kalendářních měsíců uvedené v tab. 6 a znázorněné na obr. 9 dosahují v relativním měřítku větších hodnot než odchylky sezonních průměrů. Potvrzuje se kolísání změn v sousedních měsících v průběhu roku. Lednové průměry (kromě Labe a Odry) vykazují vzestupy i nad 20 %, v únoru převažují mírné poklesy s výjimkou Bečvy, kde byl zaznamenán nevýznamný nárůst. V březnu se ve všech povodích srážky zvětšily nebo nezměnily

Tab. 4. Sestava povodí vodoměrných stanic reprezentující velká povodí v ČR
 Tab. 4. List of river basins of gauging stations representing large river basins in the Czech Republic

	Vodní tok	Stanice	Číslo stanice	Plocha povodí km ²
Čechy	Labe	Brandýs n. L.	104000	13 109
	Vltava	Praha Modřany a Chuchle	200000	26 371
	Ohře	Louny	219000	4 962
Morava	Odra	Bohumín	294000	4 665
	Morava	Olomouc	367000	3 324
	Bečva	Dluhonice	390000	1 593
	Dyje	Dolní Věstonice	479000	11 744

a od dubna do června většinou poklesly. Červencový vzestup (kromě Odry a Moravy) je následován nepatrnými a malými nesourodými změnami v srpnu. V září došlo k nárůstu srážek ve všech povodích, na Moravě i nad 20 %, zvýšení v říjnu je patrné zejména na Vltavě a Ohři. V listopadu (kromě Ohře) je typický pokles pod 10 %, v prosinci vzestup o 6 % až 10 %, v Brandýse nad Labem jen o 1 %.

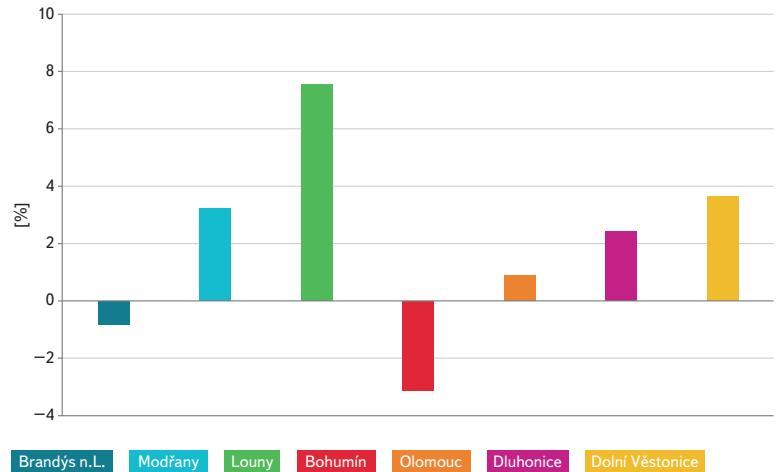
Tím, že změny srážek v sousedních měsících mají zejména ve dvojicích leden–únor, březen–duben, červen–červenec a listopad–prosinec převažující opačný trend, vyrovnávají se změny sezonních průměrů vyjádřené v procentech do podstatně menších hodnot. Pro oblast zemědělství je nepříznivý soustavný pokles srážek v období duben až červen.

Odchytky ročních průměrů průtoků v tab. 7 a na obr. 10 ukazují, že průměrné průtoky v období 1981–2019 byly ve všech porovnávaných stanicích menší než v období 1961–1980, v relativním měřítku až o 17 % ve stanici Bohumín na Odře, nejméně o cca 2 % v Lounech na Ohři.

Relativní odchytky sezonních průměrných průtoků jsou v tab. 8 a na obr. 11. V zimním období nepoklesly průměry průtoků jen na Labi v Brandýse nad Labem a v Lounech na Ohři. V jarním a v letním období se snížily průtoky ve všech sledovaných stanicích, nejvíce na Odře v Bohumíně – na jaře o 17 % a v létě o cca 30 %. Podzemní průtoky se zmenšily na Labi, Vltavě, Odře a Moravě (zde výrazněji – o cca 18 %), naopak největší nárůst byl zaznamenán na Ohři.

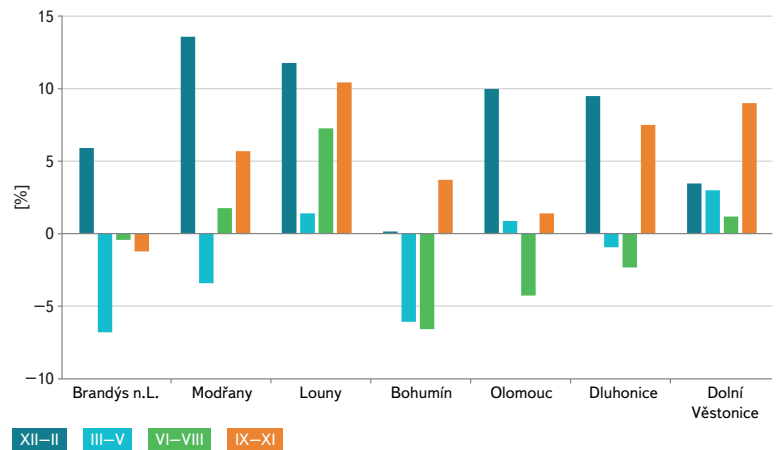
Tab. 5. Relativní odchytky průměrných ročních a průměrných sezonních srážek v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v %, poklesy jsou zvýrazněny
 Tab. 5. Relative deviations of average annual and average seasonal precipitation in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 in %, decreases are highlighted

Povodí	Stanice	Rok	XII–II	III–V	VI–VIII	IX–XII
Labe	Brandýs n. L.	-0,84	5,90	-6,81	-0,43	-1,22
Vltava	Praha Modřany	3,22	13,59	-3,41	1,76	5,69
Ohře	Louny	7,55	11,77	1,39	7,26	10,43
Odra	Bohumín	-3,13	0,14	-6,07	-6,60	3,71
Morava	Olomouc	0,91	9,99	0,87	-4,27	1,39
Bečva	Dluhonice	2,42	9,48	-0,93	-2,34	7,50
Dyje	Dolní Věstonice	3,66	3,46	2,99	1,18	9,01



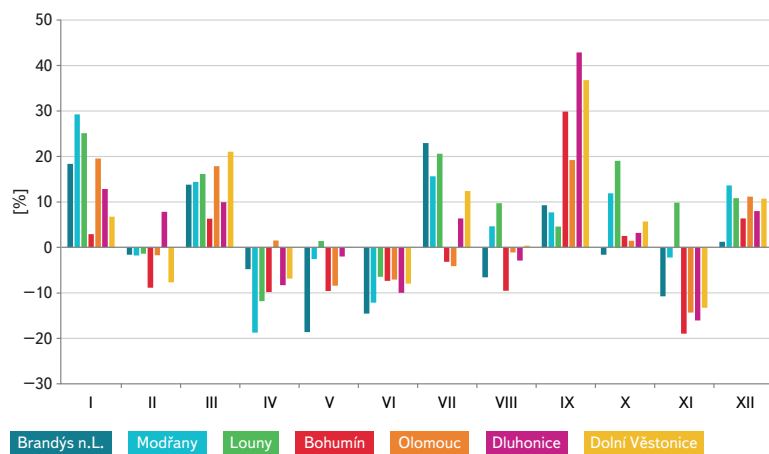
Obr. 7. Relativní odchytky ročních průměrů srážek na povodí vodoměrných stanic v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 7. Relative deviations of annual precipitation averages in the catchment area of gauging stations in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



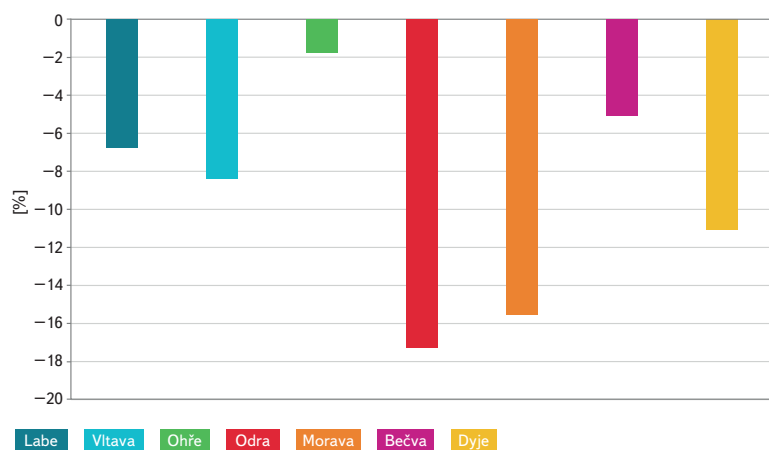
Obr. 8. Relativní odchytky sezonních průměrů srážek na povodí vodoměrných stanic v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 8. Relative deviations of seasonal average precipitation in the catchment area of gauging stations in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



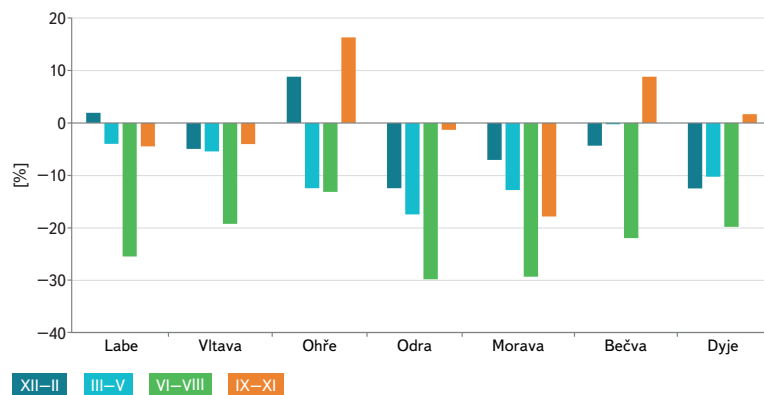
Obr. 9. Relativní odchylky měsíčních průměrů srážek na povodí vodoměrných stanic v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 9. Relative deviations of monthly precipitation averages in the catchment area of gauging stations in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



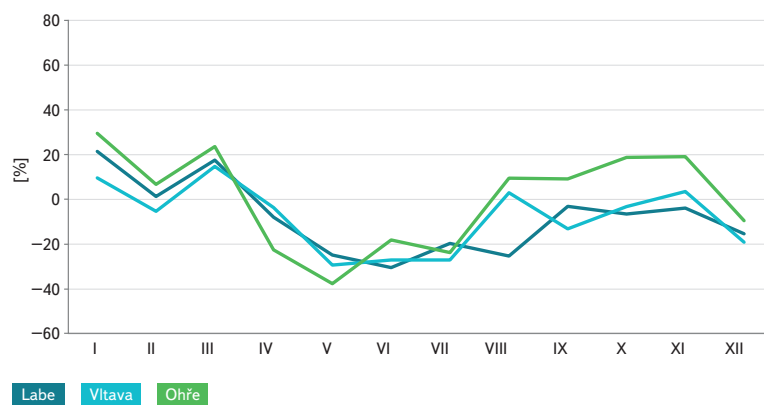
Obr. 10. Relativní odchylky průměrných ročních průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 10. Relative deviations of average annual flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



Obr. 11. Relativní odchylky sezonních průměrných průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 11. Relative deviations of seasonal average flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



Obr. 12. Relativní odchylky měsíčních průměrných průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 – povodí v Čechách

Fig. 12. Relative deviations of monthly average flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 – river basins in Bohemia

Relativní odchylky průměrných měsíčních průtoků z jednotlivých měsíců z období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v % jsou uvedeny v tab. 8.

Obr. 12 ukazuje, že změna sezonního rozložení průtoků na Ohři je odlišná od povodí Vltavy i Labe, změny pro moravské vodní toky se výrazně odlišují jen v září (viz obr. 13).

Tab. 6. Relativní odchylky průměrných měsíčních srážek v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v %

Tab. 6. Relative deviations of average monthly precipitation in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 in %

Vodní tok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Labe	18,38	-1,65	13,80	-4,82	-18,67	-14,62	22,92	-6,60	9,25	-1,63	-10,82	1,20
Vltava	29,26	-1,83	14,39	-18,80	-2,61	-12,18	15,62	4,64	7,70	11,87	-2,23	13,63
Ohře	25,10	-1,40	16,12	-11,87	1,36	-6,48	20,62	9,69	4,56	19,02	9,82	10,81
Odra	2,90	-8,91	6,27	-9,85	-9,64	-7,40	-3,19	-9,60	29,88	2,52	-18,99	6,32
Morava	19,54	-1,77	17,85	1,48	-8,46	-7,13	-4,14	-1,14	19,21	1,41	-14,36	11,14
Bečva	12,86	7,82	9,90	-8,32	-2,02	-10,04	6,35	-2,95	42,91	3,17	-16,09	7,98
Dyje	6,71	-7,73	21,06	-6,89	0,11	-8,00	12,37	0,38	36,80	5,66	-13,32	10,71

Tab. 7. Relativní odchylky průměrných ročních průtoků a průměrných sezonních průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v %

Tab. 7. Relative deviations of average annual and average seasonal flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 in %

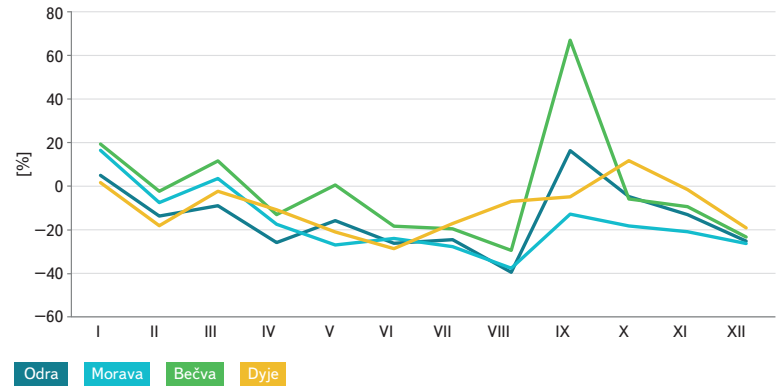
Povodí	Stanice	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
Labe	Brandýs n. L.	-6,79	1,94	-3,98	-25,42	-4,43
Vltava	Praha Modřany	-8,36	-4,96	-5,44	-19,20	-4,03
Ohře	Louny	-1,76	8,82	-12,44	-13,14	16,30
Odra	Bohumín	-17,26	-12,43	-17,42	-29,76	-1,28
Morava	Olomouc	-15,53	-7,04	-12,77	-29,28	-17,82
Bečva	Dluhonice	-5,10	-4,31	-0,23	-21,94	8,81
Dyje	Dolní Věstonice	-11,08	-12,49	-10,25	-19,78	1,66

Proměnlivost změn průměrných srážek a odtoků v dílčích povodích

V další etapě zpracování jsme se zaměřili na proměnlivost změn průměrných srážek ve 41 dílčích povodích. Hodnocení jsme omezili na roční a sezonní průměry. Proměnlivost změn ročních a sezonních průměrů srážek ukazuje obr. 14.

Mírný pokles ročních srážek na dílčích povodích, která jsou součástí povodí Labe nad Vltavou, je obdobný u většiny stanic, a to cca 2 % až 3 %. Na povodích z hor (Les Království – Krkonoše, Týniště n. O. – Orlické hory, Železný Brod – Jizerské hory) jsou změny průměrů srážek zanedbatelné. Ve skupině povodí ve východních a středních Čechách, jež vytvářejí souvislý pás od Loučné až po Výrovku, byl zjištěn pokles srážek v rozmezí od 1,9 % po 3,1 %. Vybočuje pouze výsledek pro Doubravu ve Žlebech. Pokles srážek v závěrovém profilu Brandýs nad Labem o 0,88 % je tedy superpozicí nezměněných srážek v horských oblastech a poklesů v dílčích povodích, která leží v menší nadmořské výšce.

V dílčích povodích Vltavy jsou ve většině stanic vzestupy průměrů ročních srážek cca o 3 % až 4 %, s výjimkou povodí Mašev v Řimově. Na Ohři nárůst srážek klesá od nejvyšší hodnoty v Karlových Varech téměř o 10 % směrem po toku. Podle údajů pro Bílinu v Trmicích a Ploučnici jde o pokles směrem k severu. Poklesy průměrů ročních srážek o cca 2 % až 4 % v povodí Odry jsou



Obr. 13. Relativní odchylky měsíčních průměrných průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 – povodí na Moravě
Fig. 13. Relative deviations of monthly average flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 – river basins in Moravia

podobné ve všech dílčích povodích. V povodí Moravy a Dyje je většinou zaznamenán nárůst cca o 2 % až 3 %, vybočuje zejména údaj pro povodí Jihlavy po stanici Ptáčov (cca 7 %).

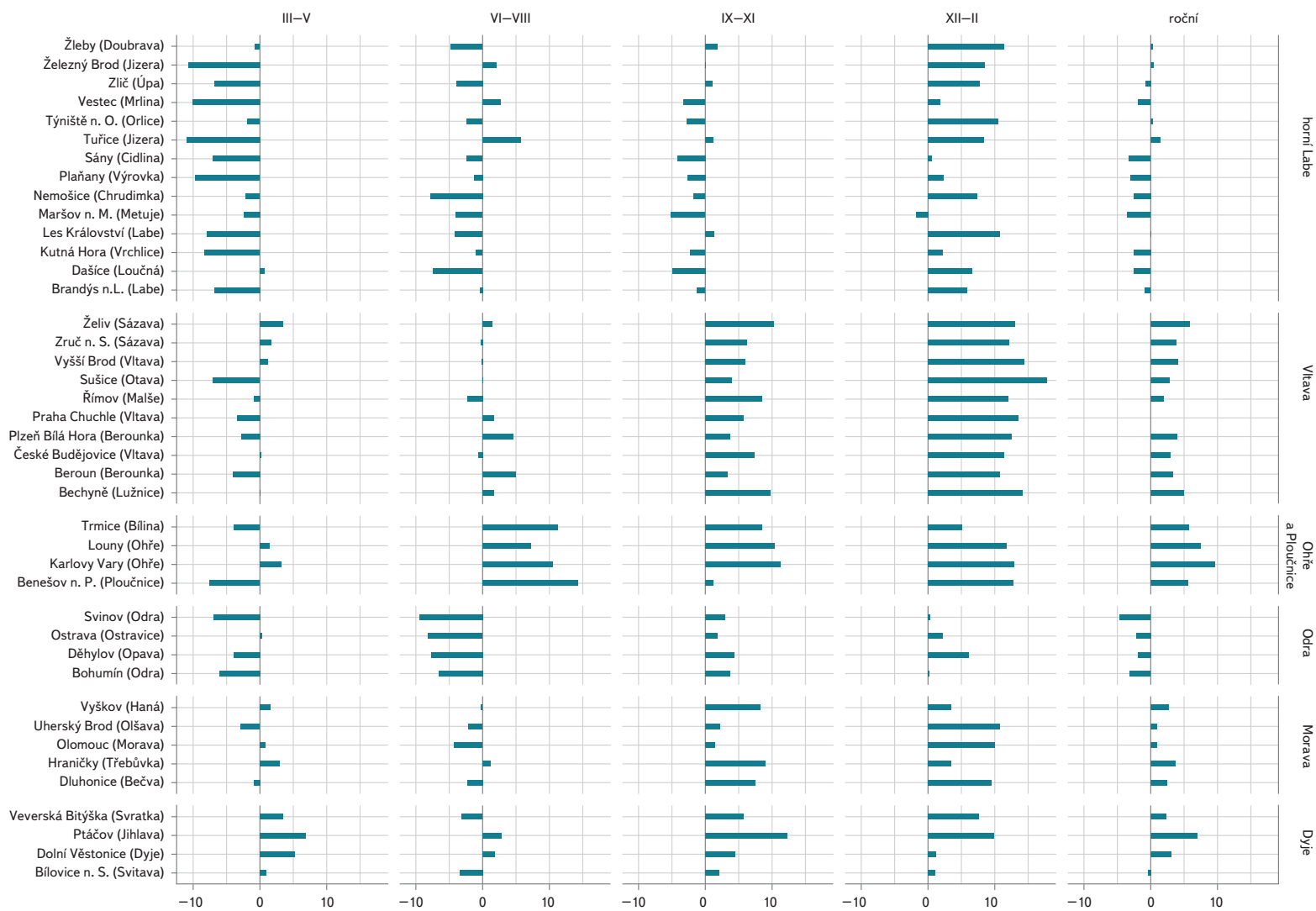
V zimním období prosinec až únor se srážky s jedinou výjimkou zvýšily ve všech povodích. V Čechách je nárůst větší v povodí Vltavy, Berounky a Ohře i Ploučnice, vesměs spadá do intervalu 10 % až 15 %. V období březen až květen zřetelně poklesly srážky na většině přítoků Labe nad Vltavou a také v povodí Odry a Dyje. Změny srážek v období červen až srpen se většinou pohybují, kromě vzestupu v povodí Ohře a Ploučnice, v rozmezí -5 % až +2 %, jen v povodí Odry, Loučné a Chrudimky jsou patrné poklesy v rozmezí do -10 %. Rozložení změn srážek za měsíce září až listopad ukazuje podstatný rozdíl mezi nevelkými poklesy v povodí Labe nad Vltavou a vzestupy v dílčích povodích Vltavy, Berounky a Ohře, a to v rozmezí 3 % až 10 %. Vzestupy v povodí Odry a horní Moravy jsou menší, jen do 5 %.

V souhrnu lze konstatovat, že pouze v zimním období v povodí Vltavy se srážky zvýšily mírně nad 10 %, zatímco v jarním období byl zaznamenán stálý pokles srážek v povodí Labe. Změny v letním období jsou vesměs malé, soustavně se zvyšovaly srážky v povodí Ohře a mírně poklesly v povodí Odry. Na podzim srážky v povodí Labe mírně poklesly, v povodí Vltavy a v povodí Ohře se zvýšily. Výsledky ukazují, že relativní odchylky průměrů sezonních srážek jsou většinou podstatně větší než odchylky průměrů ročních. Rozdíly ve změnách ročních průměrů jsou výsledkem poklesů jarních a podzimních srážek v povodí Labe a Odry a vzestupu podzimních srážek v povodí Vltavy.

Tab. 8. Relativní odchylky průměrných měsíčních průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980 v %

Tab. 8. Relative deviations of average monthly flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980 in %

Vodní tok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Labe	21,47	1,36	17,61	-7,89	-24,78	-30,43	-19,67	-25,24	-3,07	-6,47	-3,86	-15,34
Vltava	9,61	-5,31	14,77	-3,57	-29,30	-26,99	-27,06	2,95	-13,12	-3,22	3,61	-19,12
Ohře	29,55	6,79	23,69	-22,49	-37,61	-18,10	-23,72	9,51	9,20	18,74	19,09	-9,52
Odra	4,90	-13,77	-8,98	-25,85	-15,80	-26,23	-24,56	-39,54	16,27	-4,83	-13,04	-25,27
Morava	16,43	-7,60	3,45	-17,45	-26,98	-23,97	-27,81	-37,65	-12,90	-18,23	-20,97	-26,30
Bečva	19,27	-2,36	11,56	-13,08	0,53	-18,39	-19,59	-29,49	66,95	-5,88	-9,47	-23,34
Dyje	1,67	-18,14	-2,36	-10,91	-21,00	-28,69	-17,16	-6,99	-4,89	11,68	-1,54	-19,11



Obr. 14. Odchytky ročních a sezonních průměrů srážek v dílčích povodích v ČR v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 14. Deviations of annual and seasonal averages of precipitation in sub-basins in the Czech Republic in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

Proměnlivost změn ročních a sezonních průměrů odtoků ukazuje obr. 15.

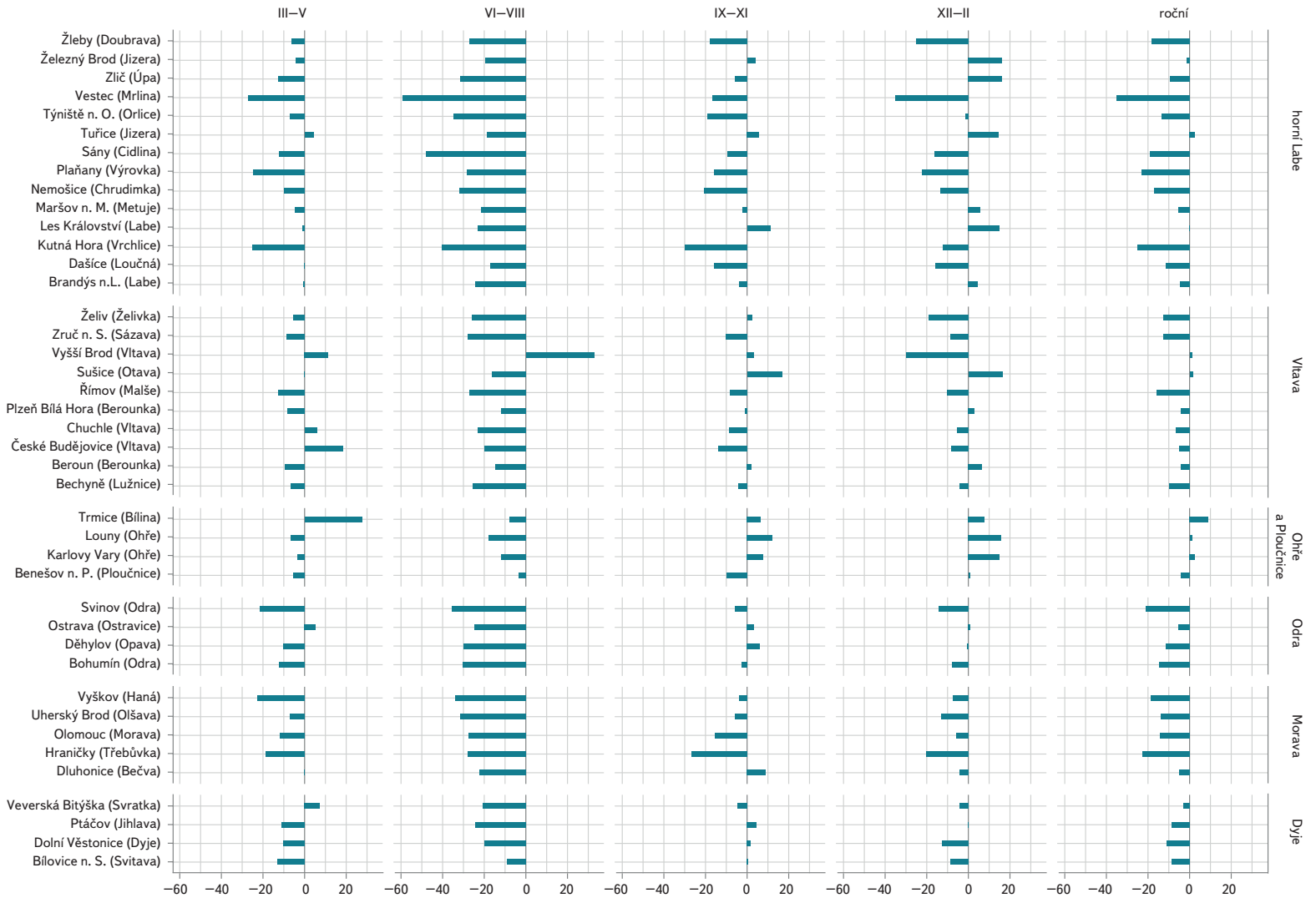
Pro horská povodí horního Labe a Jizery jsou pro roční průměry charakteristické velmi malé změny. Poklesy u přítoků Labe se od hodnoty cca 5 % až 10 % na horním toku zvětšují až do úrovně 25 % pro přítoky středního toku Labe, maximální pokles cca 35 % je vyhodnocen v povodí Mrliny. V povodí Vltavy jsou ve stanicích v oblasti Šumavy změny průtoků velmi malé. Při porovnání výsledků pro Sázavu, Lužnici, Berounku a Ohři shledáme, že směrem od východu na západ se poklesy mění z hodnot mírně převyšujících 10 % až na prakticky nezměněný průtok Ohře. Vzestup v povodí Bíliny kvůli nejistotě eliminace ovlivnění průtoků v této úvaze nevyužíváme. Ve stanicích z povodí Odry, Moravy a Dyje se také ukazuje jen velmi malý pokles průtoků v horských povodích (Ostravice, Bečva). Větší povodí, a to i v případě, že jsou jejich součástí horské oblasti, charakterizují zřetelné poklesy v rozmezí cca 10 % až 15 %, výjimkou je pouze Odry ve Svinově.

V období od prosince do února se v horských povodích a v povodí Ohře průměry zvyšují až do úrovně cca 15 %. Naopak v oblasti přítoků středního Labe průtoky klesají v průměru cca o 15 %, v povodí Odry, Moravy a Dyje pak většinou o 10 %. V jarním období březen až květen se průtoky snížily ve většině stanic, nepatrně v horských povodích, běžně v rozmezí do 10 %, v oblasti přítoků

středního Labe však i o více než 20 %. Letní průtoky za období červen až srpen poklesly ve všech povodích, v povodí Labe i o více než 30 % (nejvíce o 59 % ve Vestci na Mrlině), v povodí Odry a Moravy běžně o cca 30 %, v povodí Vltavy většinou o cca 26 %. Výsledky z období od září po listopad jsou rozkolísanější než v ostatních sezonách. Oblastí s konstantními poklesy o více než 15 % jsou přítoky středního Labe, v ostatních stanicích byly zjištěny poklesy do 10 %. Dochází i ke zvýšení průtoků, avšak pouze ojediněle dosahují více než 10 %.

POROVNÁNÍ ZMĚN SRÁŽEK A ODTOKŮ

Obr. 16, na němž jsou zaznamenány odchytky průměrných ročních srážek a odchylek průměrných ročních odtoků v měřítku srážkových a odtokových výšek na povodí v mm, ukazuje, že poklesy odtoku vykazují volnou závislost na změně srážek. Regresní vztah mezi změnou srážek dP a změnou odtoku dR je znázorněn na obr. 17. Nulové změně srážek při oteplení v jednotlivých povodích, jež se pohybuje v rozmezí 0,68 až 0,94 °C, odpovídá podle regresního vztahu pokles odtoku cca 30 mm/rok.



Obr. 15. Relativní odchylky průměrných ročních a sezonních průtoků v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 15. Relative deviations of average annual and seasonal flows in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980

Vztah mezi zvýšením teploty vzduchu a změnou odtoku v jednotlivých povodích je velmi volný, charakterizuje jej koeficient determinace 0,16.

Pro rámcový odhad poklesu odtoku vlivem zvýšení teploty vzduchu v období 1981–2019 jsme použili výpočet vycházející z předpokladu, že v každém ze sledovaných povodí je průměrný dlouhodobý územní výpar úměrný dlouhodobé průměrné srážce. Podle poměru výpar/srážka určeného z období 1961–1980 jsme vypočetli odhad výparu pro srážky z období 1981–2019. Když od něj odečteme hodnotu územního výparu, který je dán jako rozdíl pozorovaných srážek a pozorovaného odtoku, získáme přibližný odhad části poklesu odtoku, který lze přisoudit vlivu oteplení. Výsledky tohoto výpočtu na obr. 18 ukazují, že vliv oteplení se ve sledovaných povodích liší, a to v dosti širokém rozmezí. Průměrná hodnota poklesu odtoku vlivem oteplení je 27 mm.

ZÁVĚR

Na základě porovnání průběhu čtyřicetiletých průměrů srážek na povodí Labe v Děčíně a výšek odtoku z tohoto povodí za období 1951–2019 lze konstatovat, že po roce 1980 nenastaly žádné změny vybočující z kolísání v předcházejícím

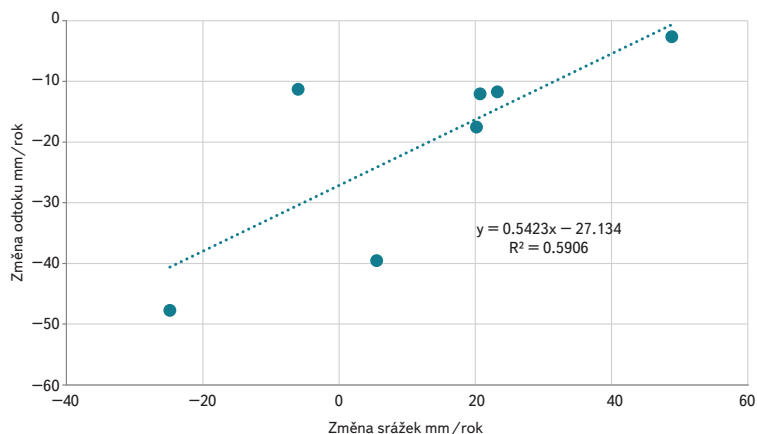
období. Platí to pro průměry z celých let i pro průměry ze čtyř ročních sezon. Obdobný poznatek platí i pro kolísání čtyřicetiletých klouzavých průměrů ročních a sezonních výšek odtoku z uvedeného povodí s výjimkou vzestupu zimních odtoků.

Při porovnání možných změn srážek a odtoku v období oteplování v sedmi větších povodích Čech a Moravy se ukázalo, že se v období 1981–2019 v porovnání s předcházejícím obdobím 1961–1980 průměry ročních srážek ve čtyřech povodích zvýšily o 2 % až 4 %, v povodí Ohře o 7,5 %. V povodí Labe nad Vltavou a v povodí Odry naopak průměry ročních srážek klesly, a to o cca 1 %, resp. 3 %. Na zvýšení ročních srážek se podílely zejména vzestupy srážek v zimních a podzimních měsících, neboť ve třech povodích nastaly znatelné poklesy jarních, ve dvou povodích letních srážek. Průměrné průtoky v období 1981–2019 byly ve všech porovnávaných stanicích menší než v období 1961–1980, v relativním měřítku klesly, vyjma povodí Bečvy a Ohře, o 5 % až 17 %. Změny výšek odtoku jsou regionálně rozdílné a dosahují hodnot, jež ovlivňují průtokový režim. V ročním chodu poklesly průtoky v českých povodích od dubna do srpna či září. V moravských povodích začíná pokles také v dubnu, prohlubuje se až do srpna, avšak v podzimních měsících se průběhy dosti odlišují.



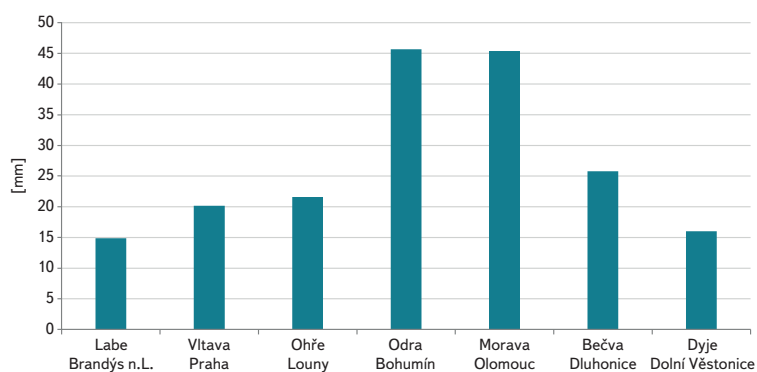
Obr. 16. Odchylky průměrných ročních srážek a průměrných ročních výšek odtoku v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 16. Deviations of average annual precipitation and average annual runoff heights in the period 1981–2019 with respect to the period 1961–1980



Obr. 17. Korelační vztah změny odtoku v závislosti na změně srážek pro povodí z obr. 16

Fig. 17. Correlation relation of the deviations of runoff depending on the deviations of precipitation for the river basin from Fig. 16



Obr. 18. Odhad podílu oteplení na poklesu průměrného ročního odtoku v období 1981–2019 vzhledem k období 1961–1980

Fig. 18. Estimation of the contribution of warming in the decrease of the average annual runoff in the period 1981–2019 compared to the period 1961–1980

Je vhodné zopakovat, že uvedené údaje jsou charakteristické pro průměry za 40 let, kdy se s mírným kolísáním teplota zvyšovala, nikoli pro poměry na konci tohoto období.

Souhrnné zpracování dat ze 41 dílčích povodí ukázalo, že charakter změn zjištěný na základě dat ze sedmi velkých povodí je obdobný u většiny dílčích povodí, která do nich patří. Výjimkou jsou relativní změny průtoků v povodích nacházejících se v horských oblastech, jež jsou velmi malé.

Odhad podílu oteplení na pokles průměrné výšky odtoku, stanovený na základě výše uvedených orientačních výsledků, se pohybuje v rozmezí 15 mm až 45 mm, v průměru tedy 30 mm ročně. Jsou to však jen orientační výsledky. Pro spolehlivější odhady bude třeba použít složitější metody popisující vztahy mezi bilančními veličinami.

Literatura

- [1] *Hydrologické poměry ČSSR*. Díl III. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1970, 305 s.
- [2] NOVICKÝ, O., KOLÁŘOVÁ, S., KAŠPÁREK, L. Charakteristiky průměrných denních průtoků a maximálních průtoků ve vodoměrných stanicích v Čechách. *Sborník prací ČHMÚ*. 1992, sv. 41, 136 s.
- [3] BUDÍK, L., ŠERCL, P., KUKLA, P., LETT, P., PECHA, M. Odvození základních hydrologických údajů za referenční období 1981–2010. *Sborník prací ČHMÚ*. 2018, sv. 65, 60 s. ISBN 978-80-87577-78-3.
- [4] KOŽÍN, R., KAŠPÁREK, L. Extrémní víceletá hydrologická sucha v povodí Labe. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2021, 63(3), s. 28–32. ISSN 0322-8916.
- [5] NOVOTNÝ, J. Dvě stoleté řady průtokové na českých řekách. *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu Československé socialistické republiky*. 1963, sv. 2, 40 s.
- [6] KAŠPÁREK, L. Dlouhodobé kolísání průtoků Vltavy v Praze. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2017, 59(5), s. 25–30. ISSN 0322-8916.
- [7] PEKÁROVÁ, P. *Dynamika kolísání odtoku světových a slovenských tokov*. Bratislava: VEDA Bratislava, 2003, 222 s. ISBN 80-224-0780-1.
- [8] KVĚTOŇ, V., ŽÁK, M. Výskyt suchých období v pražském Klementinu. *Meteorologické zprávy*. 2021, 74, s. 45–55.
- [9] *Identifikace změny v časové řadě*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 1994. 79 s. Práce a studie, sešit 24.

Autoři

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.

✉ ladislav.kasperek@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-8394-9136

Ing. Roman Kožín

✉ roman.kozin@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5773-6567

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.01.002

CHANGES IN PRECIPITATION AND RUNOFF IN RIVER BASINS IN THE CZECH REPUBLIC DURING THE PERIOD OF INTENSE WARMING

KAŠPÁREK, L.; KOŽÍN, R.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: increasing air temperature – changes in atmospheric precipitation – changes in runoff from the river basin

The basic meteorological variables that affect the hydrological regime are atmospheric precipitation and air temperature. Both fluctuate not only in the short term and in the annual cycle, but also in the long term. Long-term changes in both of these variables have the character of periodic fluctuations around the mean values. Approximately since 1980, there has been a systematic increase in air temperature in the Czech Republic. The presented article provides information on how the climate fluctuations that this change brings affect the precipitation and runoff regime in our territory.

In the first part of the study, we used long-term observations of the Elbe flows in Děčín since 1851 and precipitation in its catchment area and compared the deviations in precipitation and runoff from the period after 1980 with the extremes of fluctuations in the previous period. Fluctuations in forty-year moving averages of annual and seasonal precipitation and annual and seasonal runoff, with the exception of an increase in winter runoff, did not deviate from the range in which they fluctuated in the period 1851–1980.

In the next part, we focused on the assessment of possible deviations in precipitation and runoff during the warming period in seven major river basins from different areas of the Czech Republic. In the period 1981–2019, compared to the previous period 1961–1980, the average annual precipitation in the four river basins increased by 2 % to 4 %, in the Ohře river basin by 7.5 %. In the Elbe (above junction with Vltava) river basin was the increase by about 1 %. In the Odra river basin the annual rainfall averages decreased by 3 %. The increase in annual precipitation was mainly due to increases in winter and autumn precipitation, with significant decreases in spring in three river basins and summer precipitation in two river basins. The average runoff in the period 1981–2019 were lower in all compared stations than in the period 1961–1980, on a relative scale by up to 17 % at the Bohumín (Odra river) station and at least about 2 % in Louny (Ohře river).

When comparing the results for Sázava, Lužnice, Berounka and Ohře, we found that from east to west the decreases of runoff slightly exceeded by 10 % to a practically unchanged runoff of Ohře.