

## Vývoj odtokového režimu a sezonality velkých a malých průtoků Labe mezi lety 1931 a 2010

---

### 1. Popis metod

---

#### 1.1. Pardé – Analýza

K charakterizaci průměrných odtokových poměrů během roku, resp. hydrologického režimu vodního toku byla použita jednoduchá a zároveň rozšířená **metoda klasifikace dle PARDÉ** (1947/1964). Tato klasifikace vychází z dlouhodobého průměrného ročního průběhu průtoků v dané vodoměrné stanici vyjádřeného tzv. diagramy dle Pardé. Jejich datová základna je založena na výpočtu poměrů každé jednotlivé z dvanácti hodnot dlouhodobého průměrného měsíčního průtoku a příslušné hodnoty dlouhodobého průměrného ročního průtoku (součinitel dle Pardé). Výpočtem součinitelů dle Pardé dojde k normování, které umožňuje přímé vzájemné porovnávání různých ročních průběhů průtoků.

Poměr  $k_i$  je definován takto:

$$k_i = \frac{Q_{mi}}{Q_a}$$

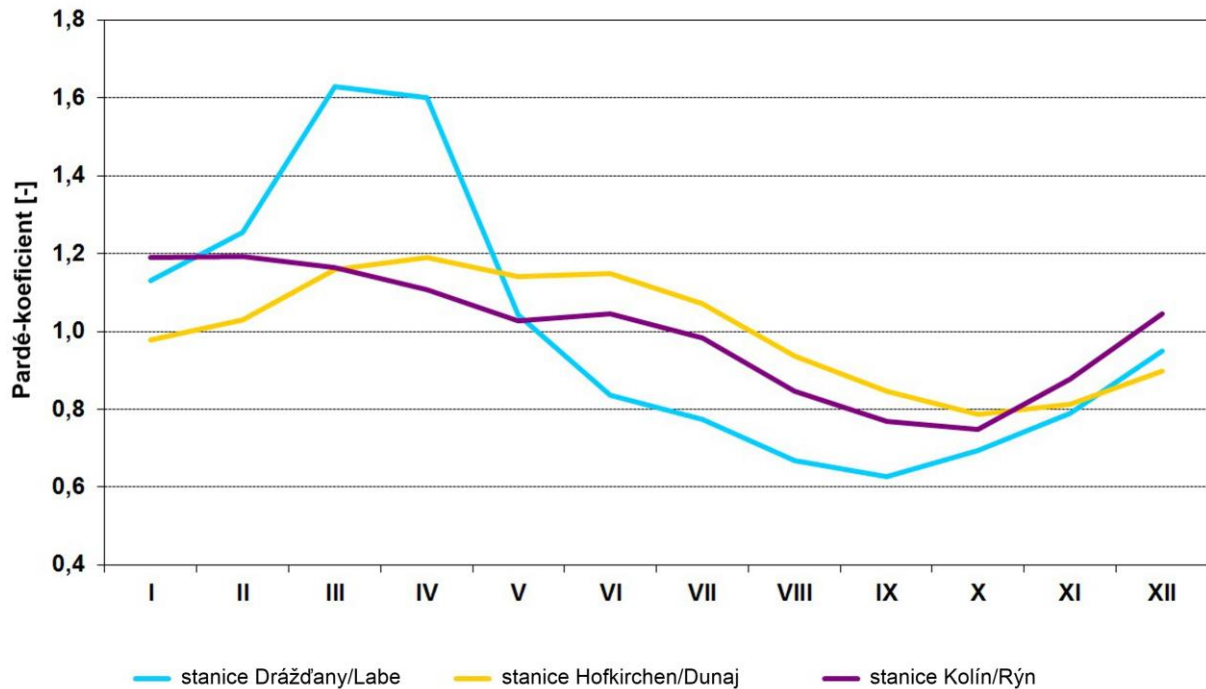
kde je  $Q_{mi}$  – dlouhodobý průměrný měsíční průtok daného měsíce  $i$ , ( $i=I, XII$ ) [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ],

$$\text{tj. } Q_{mi} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n Q_{mi,j}$$

kde je  $n$  = počet let řešeného období

a  $Q_a$  – dlouhodobý průměrný roční průtok [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$$Q_a = \frac{\sum_{j=1}^n Q_j}{n}$$



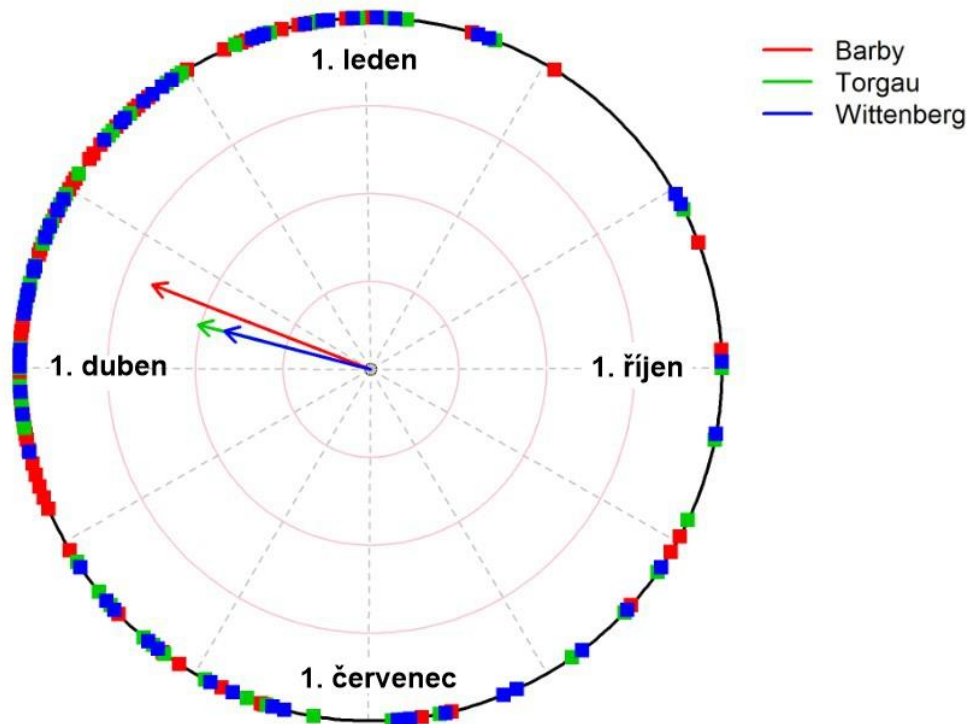
#### Příklad: Součinitel dle Pardé (zdroj: BfG)

Ze dvanácti normovaných měsíčních součinitelů lze sestavit tzv. křivky režimu. Jejich průběh je podstatnou měrou určen měsíční vodní bilancí v povodí. PARDÉ rozlišuje na základě počtu a polohy maxim a minim během roku, způsobu napájení odtoku a rozkolísanosti hodnot součinitelů řadu typů odtokového režimu, které zde není třeba detailně popisovat. Nejvýznamnějším rozlišením je rozlišení na jednoduché (v diagramu mají jeden vrchol) a komplexní typy hydrologického režimu, které se projevují v ročním průběhu podobou několika vrcholů, což je způsobeno překrýváním různých procesů. Maxima průtoků jsou napájena buď vodou z tání ledovců (ledovcový režim), sněhové pokrývky (sněhový režim) nebo dešťovými vodami (dešťový režim).

### 1.2. Index sezonality dle Burna

**Index sezonality dle BURNA** (1994) umožňuje získat informaci o tom, kdy a s jakou pravděpodobností se v kalendářním roce vyskytuje extrémní událost (povodeň nebo sucho). Výsledkem je nejpravděpodobnější datum výskytu extrémní události s mírou stability, resp. regularity případu, že událost se skutečně vyskytuje toho dne v roce.

V rámci výpočtu je  $D_i$  definován jako datum výskytu  $i$ -té události, kde  $D=1$  reprezentuje 1. leden a  $D=365$  31. prosinec.  $D$  se znázorňuje v polárních souřadnicích na jednotkové kružnici s úhlem  $\Theta$ . Směr průměrného vektoru všech událostí poskytuje průměrné datum výskytu  $MD$  a délka  $r$  průměrného vektoru je míra variability data výskytu. Hodnoty  $\bar{r}$  se pohybují mezi 0 (události se vyskytují se stejnou pravděpodobností ve všech dnech roku) a 1 (všechny události se vyskytují v jediném dni v roce).



**Příklad: Sezonalita maximálních průměrných denních průtoků za období 1890–2010 (zdroj: BfG)**

Výpočet  $MD$  a  $\bar{r}$  se provádí podle těchto rovnic:

$$\theta = D_i \left( \frac{2\pi}{365} \right), i = 1, n$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta), \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin(\theta)$$

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left( \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right)$$

$$MD = \bar{\theta} \frac{365}{2\pi}$$

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$$

Je třeba vzít v úvahu, že výsledné na den přesné údaje, které vyplývají z testu dle Burna, mají spíše orientační charakter ve smyslu pravděpodobnostního údaje a neměly by být nesprávně interpretovány jako hodnoty předpovědi.

## 2. Výsledky

---

Odtokový režim Labe je zdokumentován v pěti vodoměrných stanicích na Labi: Brandýs n. L., resp. Kostelec n. L. (plocha povodí 13 183 km<sup>2</sup>), Děčín (51 120 km<sup>2</sup>), Drážďany (53 096 km<sup>2</sup>), Barby (94 060 km<sup>2</sup>), Neu Darchau (131 950 km<sup>2</sup>) a ve stanici Praha na Vltavě (26 730 km<sup>2</sup>).

Hydrologický režim ve všech hodnocených stanicích je dešťovo-sněhový s výskytem odtokových maxim v březnu či dubnu a odtokových minim nejčastěji v srpnu, příp. září (obrázek 1A). Naopak srážková maxima se vyskytují v letním období a minima v zimním období, což souvisí s větším podílem intenzivních konvekčních srážek v letním období (obrázek 1B).

Analýza časové variability srážkového i odtokového režimu na základě čtyř 20letých období 80leté časové řady 1931–2010 ukazuje ve všech šesti stanicích stabilní režim s relativně malými posuny (obrázky 1A a 1B).

Obrázky 2A a 2B znázorňují odchylky koeficientu Pardé pro průtoky za jednotlivá dvacetiletá období vzhledem k jejich hodnotám za období 1931–2010, a to pro měsíce duben – srpen (2A) a měsíce prosinec – březen (2B). Je zřejmé, že odchylky až na výjimky nevykazují ustálený vývoj. Zde je nutno vzít v potaz, že hydrologický režim byl postupně ovlivněn činností vodohospodářských nádrží, např. nádrží Vltavské kaskády od 60. let 20. století, které v letním období nadlepšují minimální průtoky. V profilech na Vltavě v Praze a na Labi v Děčíně je to patrné u srpnových průtoků. Na Labi v Drážďanech je tento vliv již méně zřejmý a níže po toku Labe už nezřetelný.

Dešťovo-sněhový hydrologický režim lze vysledovat i porovnáním anomálií odchylek Pardého koeficientu průtoků a srážek od dlouhodobého koeficientu Pardé (obrázek 3). Je zjevná časová souvislost obou ukazatelů (zejména v období 1951–1970), vliv srážkových anomálií na průtok se však častěji projevuje s drobným zpožděním.

Sezonalita povodňových a minimálních průtoků podle metody dle Burna zjišťuje ke dni vztažené body ročního maximálního denního průtoky a minimálního 7denního průtoky (na obrázku 4 vždy zobrazené v kruhovém grafu). Nejpravděpodobnější datum výskytu je znázorněno jako šipka ukazující na daný den. Délka šipky zároveň udává míru stability resp. pravidelnosti data výskytu, tudíž jeho variabilitu.

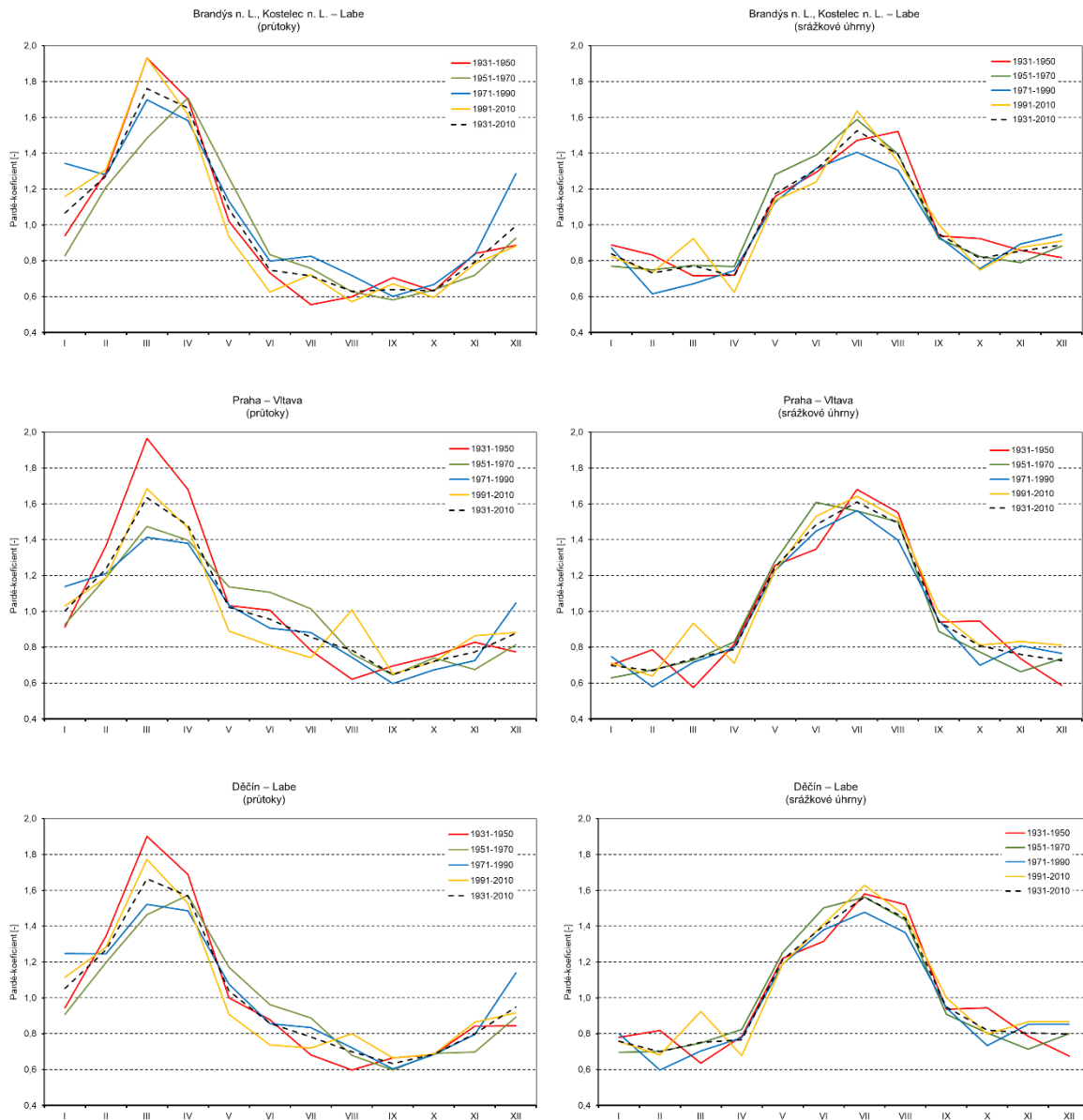
Z obrázku 4A je patrné, že odtoková maxima se vyskytují zpravidla v březnu, na horním Labi v Kostelci n. L. pro třetí a čtvrté hodnocené období již v únoru, naopak v Praze na Vltavě pro druhé a třetí období v dubnu a v květnu a v Děčíně na Labi pro třetí období počátkem dubna. Ve stanici Drážďany lze v posledním dvacetiletí konstatovat mírný časový posun dat maximálních průtoků na konec února, v profilech Neu-Darchau a Barby jsou rozdíly minimální. Ve vztahu k povodním se vzhledem k hodnotám regularity, které se průběžně převážně zmenšují, ve všech hodnocených stanicích projevuje tendence k destabilizaci termínů jejich výskytu.

Obdobně jako u povodní byla provedena analýza sezonality minimálních průtoků a na rozdíl od režimu výskytu povodňových průtoků je patrná změna u všech šesti hodnocených profilů. Ve sledovaném období byla v posledních 40 letech zjištěna sice menší variabilita ve výskytu minim (zvýšené hodnoty regularity), ale zároveň jejich dřívější výskyt. V periodě 1991–2010 je tento posun 6 až 7 týdnů a minima se vyskytovala již v polovině srpna. Příčinou dřívějšího výskytu minim je zvyšující se teplota vzduchu (viz obrázek 5), která vede k většímu výparu v jarním a letním období, a rovněž dřívější tání sněhové pokrývky a častější oblevy i během zimního období.

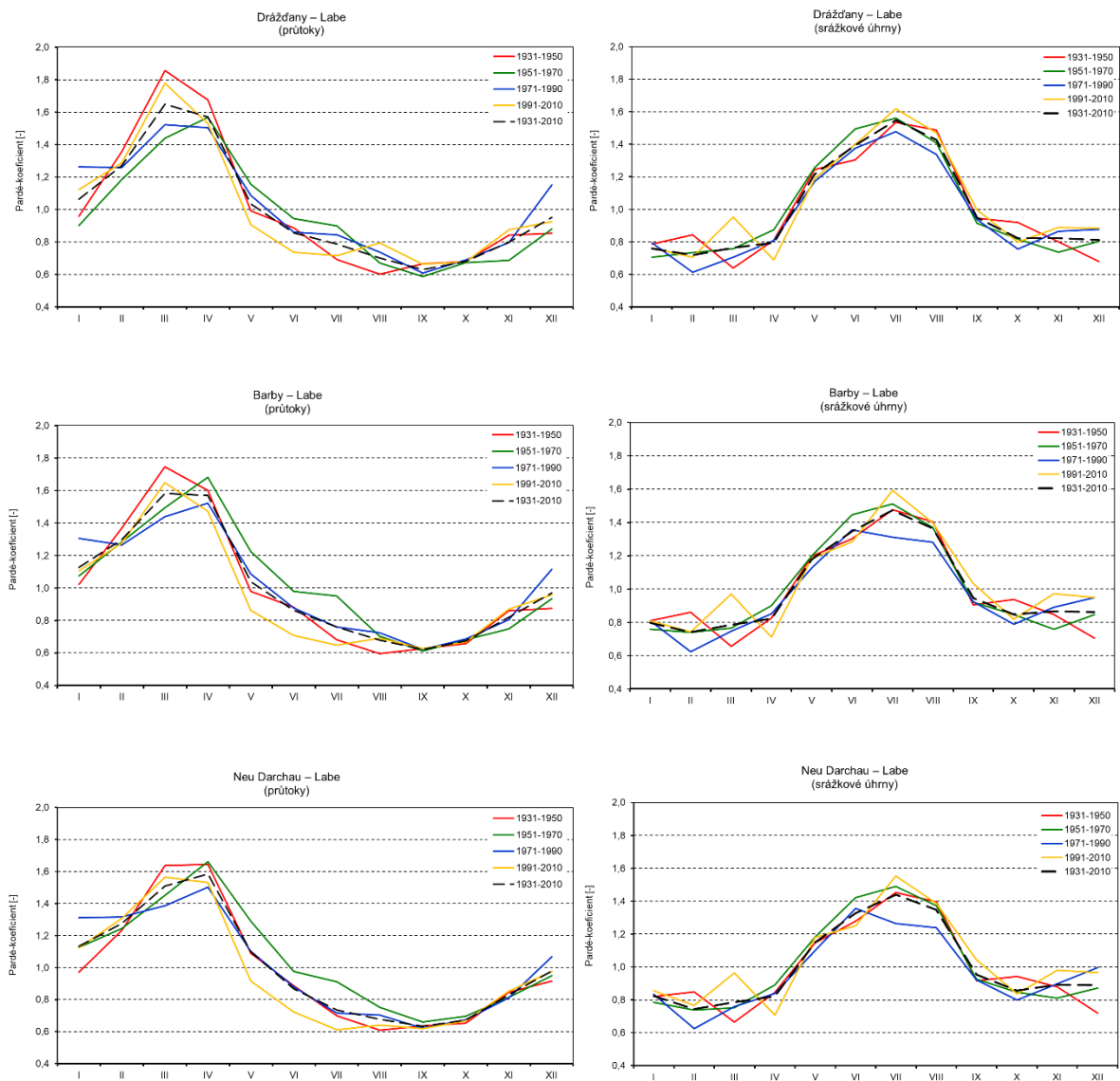
Obrázek 5 znázorňuje koeficienty Pardé (A) a jejich odchylky od dlouhodobých průměrů za období 1931–2010 (B) pro hodnoty průměrné měsíční teploty vzduchu pro povodí od pramene

k vodoměrné stanici Neu Darchau na Labi. Zejména z obrázku 5B je zřejmý přibývající růst teploty vzduchu: Od sedmdesátých let 20. století je patrné oteplování (tj. kladné odchylky od dlouhodobých průměrů) v zimních měsících, které v dvacetiletí 1991–2010 pokračovalo, zintenzivnilo a současně se rozšířilo na všechny měsíce mezi lednem a zářím.

Souhrnně lze konstatovat, že u všech analyzovaných vodoměrných stanic lze v určité míře pozorovat změny režimu průtoků v období 1931–2010. Zatímco u výskytu maximálních průtoků není patrný žádný jasný trend, období výskytu minimálních průtoků se posouvá, tj. minima se vyskytují dříve. Sezonní změny odtokového režimu, jakož i pozorované změny sezonality minimálních průtoků, jsou způsobeny vlivem rostoucí teploty vzduchu, jak dokládá obrázek 5. To způsobuje časnější tání sněhu a i větší výpar v jarním a zejména letním období. Na režimu průtoků a jeho změně se významně podílí i vliv vodohospodářských nádrží, kde dochází k nadeřšování minimálních průtoků v suchých obdobích a v období tání sněhu naopak k zadržování vody a zmenšení jarních průtoků.


**Obrázek 1:**

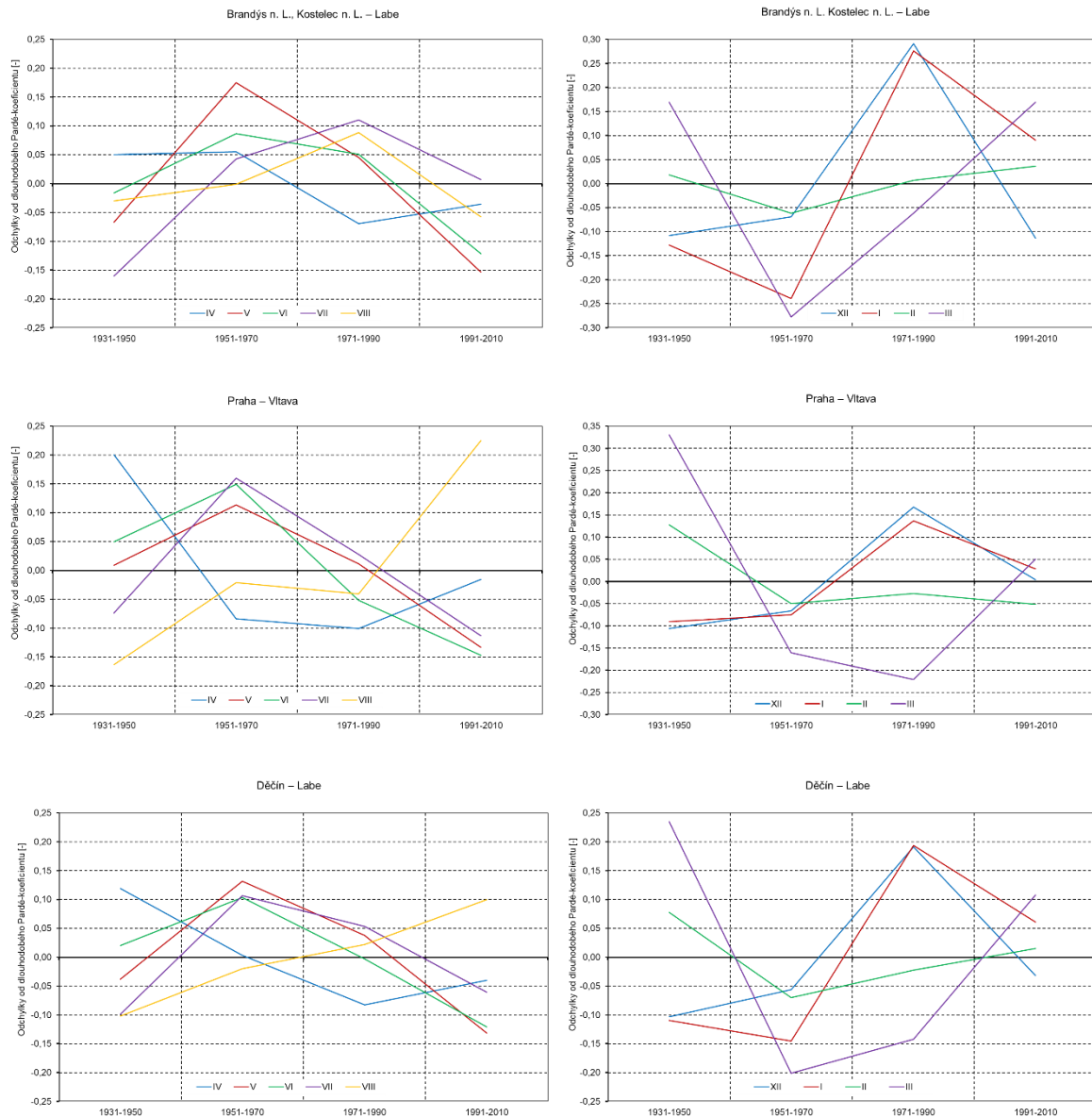
- A) Levá strana: odtokový režim ve vodoměrných stanicích Brandýs n. L., resp. Kostelec n. L., Praha a Děčín mezi lety 1931 až 2010, zobrazeny koeficienty Pardé (zdroj: ČHMÚ)**
- B) Pravá strana: srážkový režim v povodí Labe po Brandýs n. L., resp. Kostelec n. L., Prahu a Děčín mezi lety 1931 až 2010, zobrazeny koeficienty Pardé (zdroj: BfG, data: GPCC)**



**Obrázek 1 (pokračování):**

- A) Levá strana: odtokový režim ve vodoměrných stanicích Dráždany, Barby a Neu-Darchau mezi lety 1931 až 2010, zobrazeny koeficienty Pardé (zdroj: BfG)**
- B) Pravá strana: srážkový režim v povodí Labe po Dráždany, Barby a Neu-Darchau mezi lety 1931 až 2010, zobrazeny koeficienty Pardé (zdroj: BfG, data: GPCC)**

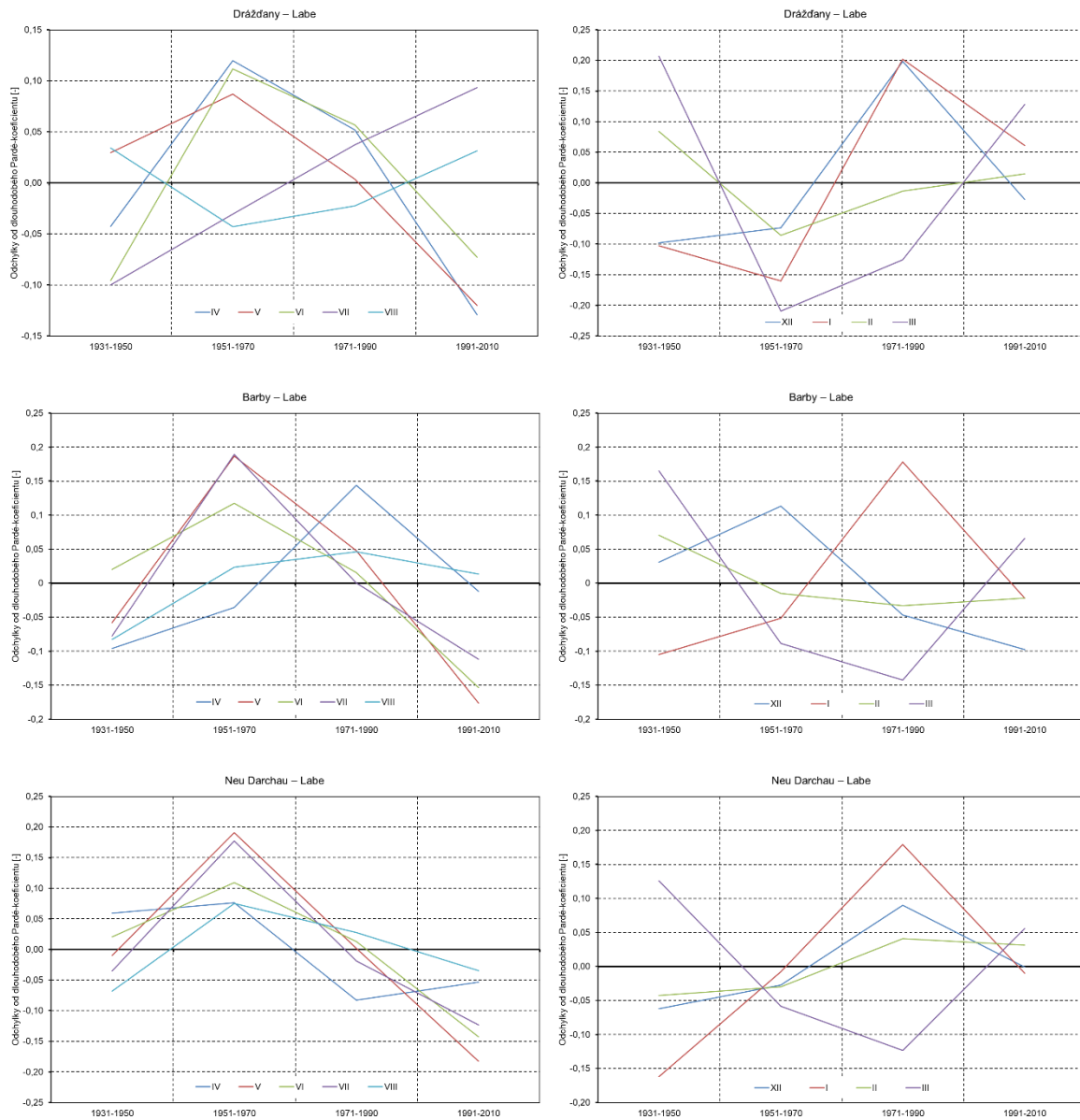



**Obrázek 2:**

**Odchytky koeficientů Pardé pro průtoky od dlouhodobého odtokového režimu ve vodoměrných stanicích Brandýs n. L., resp. Kostelec n. L., Praha a Děčín (zdroj: ČHMÚ)**

- A) Levá strana: pro jarní a letní měsíce duben až srpen**  
**B) Pravá strana: pro zimní měsíce prosinec až březen**





**Obrázek 2 (pokračování):**

**Odchytky koeficientů Pardé pro průtoky od dlouhodobého odtokového režimu ve vodoměrných stanicích Drážďany, Barby a Neu-Darchau (zdroj: BfG)**

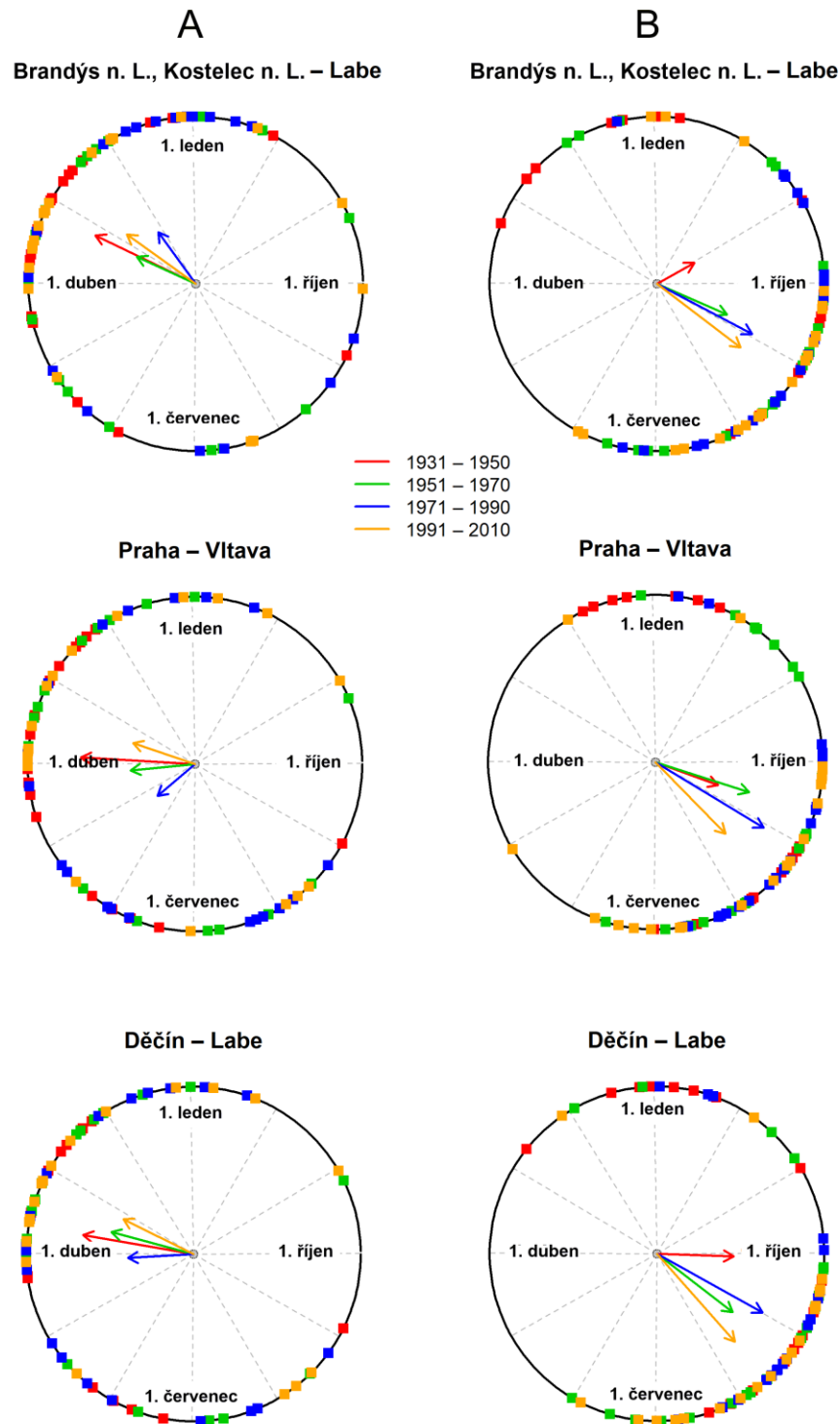
**A) Levá strana: pro jarní a letní měsíce duben až srpen**

**B) Pravá strana: pro zimní měsíce prosinec až březen**



**Obrázek 3:**

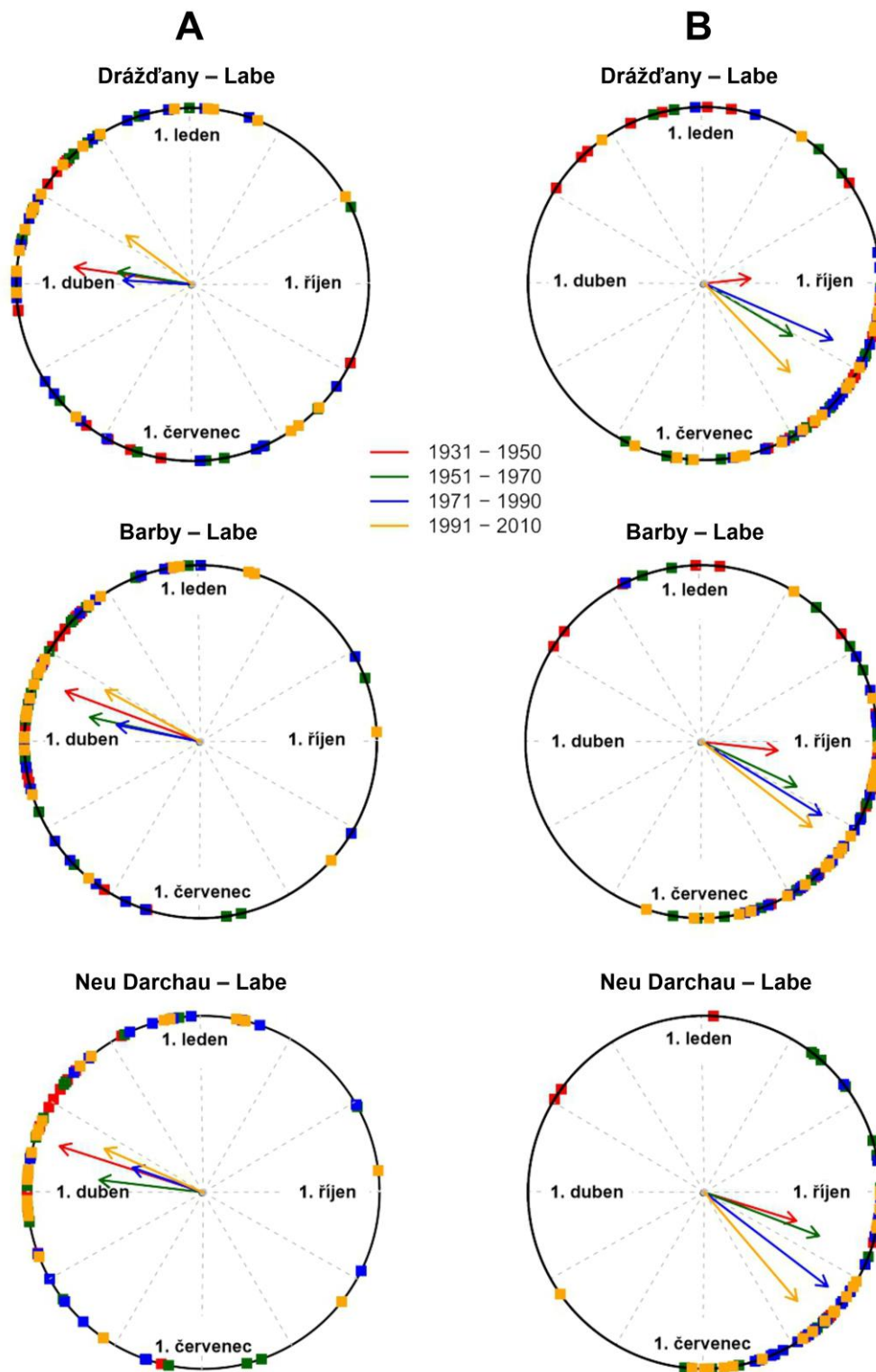
**Srovnávací zobrazení odchylek od koeficientů Pardé pro srážky (modře) a odtok (červeně) pro čtyři dvacetiletí (zdroj: ČHMÚ, BfG, srážková data: GPCP)**


**Obrázek 4:**

**Analýza sezonality průtoků ve vodoměrných stanicích Brandýs n. L., resp. Kostelec n. L., Praha a Děčín dle BURNA (zdroj: ČHMÚ)**

**A) Levá strana: analýza sezonality povodňových průtoků**

**B) Pravá strana: analýza sezonality minimálních 7denních průtoků**

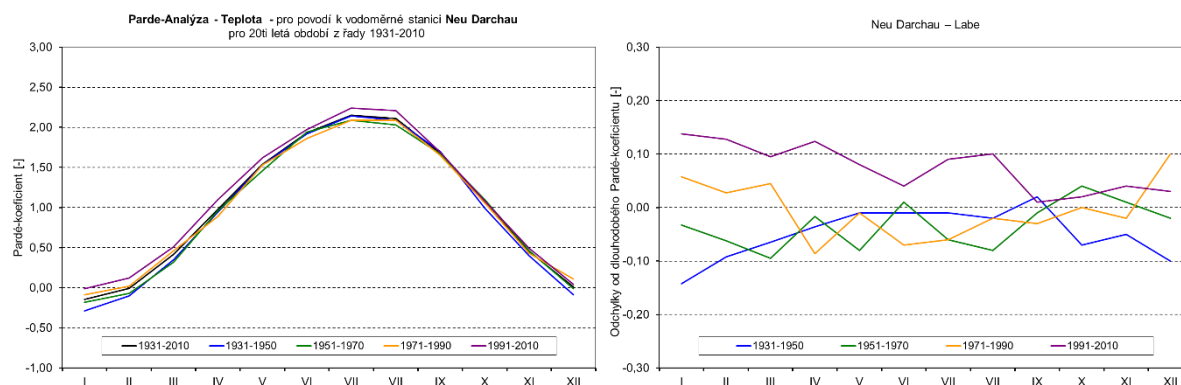


**Obrázek 4 (pokračování):**

**Analýza sezonality průtoků ve vodoměrných stanicích Drážďany, Barby a Neu-Darchau dle BURNA (zdroj: BfG)**

**A) Levá strana: analýza sezonality povodňových průtoků**

**B) Pravá strana: analýza sezonality minimálních 7denních průtoků**



### Obrázek 5:

- A) **Levá strana: průměrná měsíční teplota vzduchu na povodí k profilu vodoměrné stanice Neu Darchau na Labi mezi lety 1931 až 2010, zobrazeny koeficienty Pardé (zdroj: BfG, data: DWD)**
- B) **Pravá strana: Odchytky koeficientů Pardé od dlouhodobých průměrů pro průměrné měsíční teploty vzduchu na povodí k vodoměrné stanici Neu Darchau na Labi (zdroj: BfG, data: DWD)**

### Literatura:

BURN, D. H. (1994): Hydrological effects of climatic change in west-central Canada. In: Journal of Hydrology 160, S. 53–70.

PARDÉ, M. (1947/1964): Fleuves et Rivières. Colin, Paris, 224. S.