REGIONALIZACE POVODÍ LABE NA ZÁKLADĚ SEZONÁLNÍ ANALÝZY VÝSKYTU POVODNÍ

JANA CHALUŠOVÁ*

* Oddělení hydrologického výzkumu, ČHMÚ; e-mail: chalusova@chmi.cz

1. ÚVOD

Poznatky o regionalizaci sezonality výskytu maximálních průtoků mají mimořádný význam pro povodňovou ochranu z hlediska zatížení jednotlivých povodí povodňovým nebezpečím, pro poznávání mechanizmu vzniku povodňových situací, rozvoj frekvenční analýzy k odvozování návrhových hydrologických veličin, hospodaření s vodou v nádržích a v neposlední řadě pro prohlubování znalostí o povodňovém režimu krajiny. Regionální analýza bývá také často používána ke zlepšení odhadů pravděpodobnosti výskytu extrémních povodňových průtoků v lokalitách, kde jsou období jejich pozorování relativně krátká v porovnání s odhadovanou dobou opakování povodní anebo v nepozorovaných oblastech, kde je pro odhad charakteristik extrémních průtoků použita informace z podobných povodí s existujícím pozorováním (Burn, 1997; Black et Werritty, 1997).

Region se v těchto souvislostech chápe jako soubor menších povodí, která mohou být považována za podobná z hlediska zvolených charakteristik odtokové odezvy. Jeho vymezení vychází jednak z požadavku přibližně stejné hodnoty charakteristik v rámci jednoho regionu a jednak z požadavku vzájemných odlišností různých regionů. Cílem je nalézt taková „mozaiková“ seskupení povodí, která jsou si natolik podobná, aby zaručily přenos informací o extrémním průtoku mezi jednotlivými lokalitami v rámci regionu. Takto definované enklávy by tedy měly být homogenní (nebo alespoň kvazihomogenní) z hlediska charakteristik extrémních průtoků. Jako míra podobnosti jednotlivých povodí byla v této studii zvolena charakteristika sezonality výskytu povodní.

Na sledovaném území již v minulosti probíhaly studie, které poukázaly jak na rozdíly, tak i na určité shodné rysy některých povodí (Brádka, 1967; Buchtele, 1972; Hladný, 1971, 2001; Kakos, 1983, 1985; Kašpárek, 1999; Vavruška, 1989). V této studii se však na rozdíl od zmíněných prací nezkoumají sezonální charakteristiky výskytu povodní v předem zvoleném povodí, ale na základě podobnosti sezonálních charakteristik výskytu extrémních průtoků se identifikují hydrologicky homogenní regiony. Pro vyjádření sezonality byly použity tři metodické přístupy – metoda polárních grafů, metoda směrových

statistik a metoda čar kumulativních četností výskytu maximálních průtoků. Metody byly aplikovány na souborech vybraných povodí s relativně neovlivněným režimem odtoku v české části povodí Labe. Odlišné výstupy sezonální analýzy umožňují rozdělit oblast, v tomto případě povodí Labe, na dílčí celky, jejichž specifické přírodní podmínky předurčují četnost výskytu povodní v konkrétním období roku.

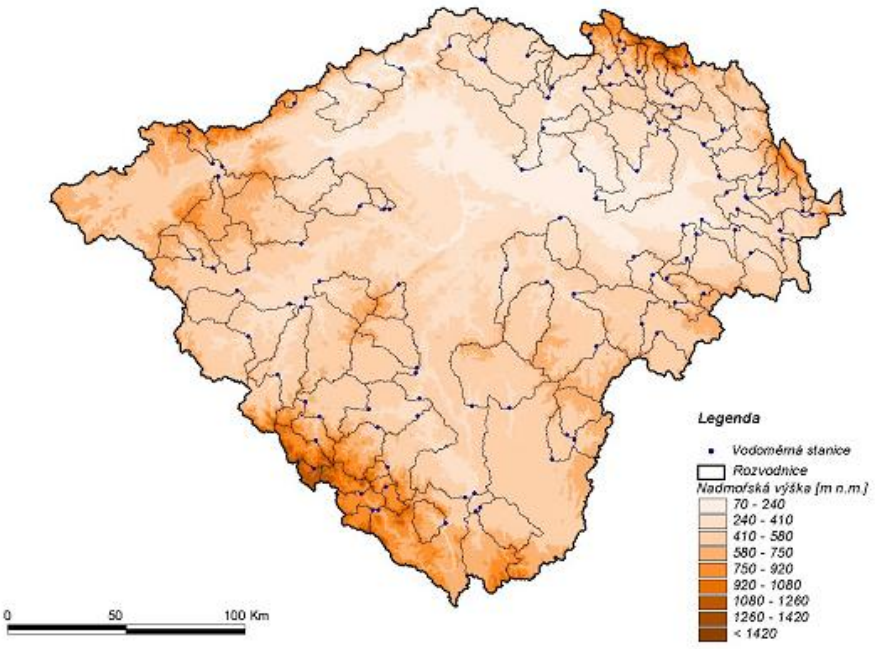
2. PŘÍPRAVA A VÝBĚR DAT

2.1. VÝBĚR REPREZENTATIVNÍCH VODOMĚRNÝCH STANIC

Databáze shromážděná pro tuto studii byla sestavena z řad naměřených průtoků ve vodoměrných stanicích. Pro jejich selekci bylo použito několika kritérií, jako např. požadavek přirozeného odtokového režimu a existence dostatečné kvality dat. Proto nemohly být uvažovány profily se zásadně ovlivněným odtokovým režimem. Dále nebyly zahrnuty ani stanice s přerušenou nebo neúplnou řadou měření.

Kvalita a dostupné množství dat jsou v jednotlivých oblastech České republiky dosti rozdílné. V povodí Labe bylo k dispozici celkem 441 vodoměrných stanic. Nepřerušené řady pozorování denních průtoků Qd v období 1975 – 2000 byly k dispozici pouze ve 158 stanicích. S výše zmíněnými požadavky a s přihlédnutím k pokrytí celé oblasti bylo nakonec vybráno 110 vodoměrných profilů. V takto vzniklém souboru převažují stanice s poměrně menší plochou příslušného povodí (obr. 1).

Obr. 1 Vybrané vodoměrné profily s vyznačením příslušných rozvodnic



2.2. VÝBĚR HYDROLOGICKÝCH DAT

Využití maximálního průtoku v měsíci pro účely regionalizace prokázalo, že jde o příliš hrubý parametr. V relativně vodnějších obdobích roku totiž docházelo ke „ztrátě“ informací o výskytu povodňových případů. Stíral se rozdíl mezi obdobími se zvýšenou a sníženou pravděpodobností výskytu maximálních průtoků. Nebyly by tak vůbec brány do úvahy přidružené povodně, které se vyskytují v jednom měsíci. Např. povodeň z července 1997 by byla chápana jako jeden případ. Ve skutečnosti se však jednalo o dvě povodňové epizody.

Pro sezonální analýzu výskytu povodní byla proto využita hydrologická data v denním kroku z databáze ČHMÚ. Konkrétně šlo o hodnotu průměrného denního průtoku. Data denních maxim, která by ještě lépe vypovídala o extrémech odtokového režimu, nebyla vždy k dispozici. Pro každou ze 110 vybraných vodoměrných stanic byla použita datová řada z období 1975 - 2000.

2.3. VÝBĚR FYZICKO-GEOGRAFICKÝCH DAT

Pro všechna povodí odpovídající vybraným vodoměrným profilům byla vytvořena databáze následujících charakteristik:

- plocha povodí,
- průměrný sklon svahů v povodí,
- průměrná nadmořská výška povodí,
- procento plochy pokryté lesem,
- délka údolnice,
- index tvaru povodí a
- orientace svahů v povodí.

Plochy povodí vodoměrných stanic a délky údolnic byly převzaty z platných údajů ČHMÚ. Průměrné nadmořské výšky povodí, průměrné sklony a orientace svahů v povodí byly vypočteny v prostředí GIS pomocí vrstvy digitálního modelu terénu o velikosti gridové buňky 100 x 100 m a pomocí vrstvy vektorově interpretovaných rozvodnic vybraných povodí. Plocha povodí pokrytá lesem byly určena z údajů databáze CORINE.

2.4. VÝBĚR METEOROLOGICKÝCH CHARAKTERISTIK

Meteorologické veličiny jsou ve studii zastoupeny údaji o ročních srážkových úhrnech a daty o výšce sněhové pokrývky dne 15. března každého roku, které byly

naměřeny ve srážkoměrných a klimatologických stanicích v celém povodí českého Labe. Do zpracování byly zahrnuty všechny stanice, které v daném období měřily.

Průměrné srážky na povodí byly vypočteny v prostředí GIS pomocí interpolační metody Orografická interpolace srážek (Šercl et Lett, 2002) z bodových údajů jednotlivých srážkoměrných stanic. Výsledkem je gridový rastr (o rozměru gridové buňky 1 km x 1 km) reprezentující odvozené kontinuální pole srážek. Průměr za referenční období 1975-2000 byl vytvořen jako průměr z jednotlivých rastrů ročních srážek.

Ke stanovení průměrné výšky sněhu na konci zimy se využila stejná metoda jako v případě výpočtu průměrné srážky na povodí.

3. METODY SEZONÁLNÍ ANALÝZY VÝSKYTU POVODŇOVÝCH PŘÍPADŮ

K vyjádření prostorových odlišností v rozložení sezonality výskytu povodní v povodí Labe o ploše 51 394 km^2 byl zvolen přístup, který pracuje s daty v denním kroku a umožňuje přesnější určení hledaného období s vyšší pravděpodobností výskytu povodní. Sezonální analýza byla provedena u všech vybraných vodoměrných stanic, jejichž údaje charakterizují odtokový režim příslušných povodí.

Na základě metody POT (Peaks Over Threshold), tzn. kalkulace s průtoky nad určitou mezí, byly analyzovány pouze kulminační hodnoty povodňových průtoků, které přesáhly zvolenou hranici QB. Metoda je definována následující rovnicí (Todorovic et Zelenhasic, 1970):

$$x_n = \begin{cases} 0 & ;\ Q_v \le Q_B \\ Q_v - Q_B & ;\ Q_v > Q_B \end{cases}$$

kde Q_B je mezní hladina, Q_v je průtok v čase $\tau(v)$ a ξ_v je překročení v čase $\tau(v)$.

K efektivní interpretaci sezonálních informací obsažených v databázi je důležité zvolit co nejpřesnější statistiky. Ve studii je za tímto účelem provedeno srovnání třech metod užívaných při znázornění sezonálního rozložení výskytu povodňových případů v roce. Všechny pracují s daty průtoků nad určitou mezí.

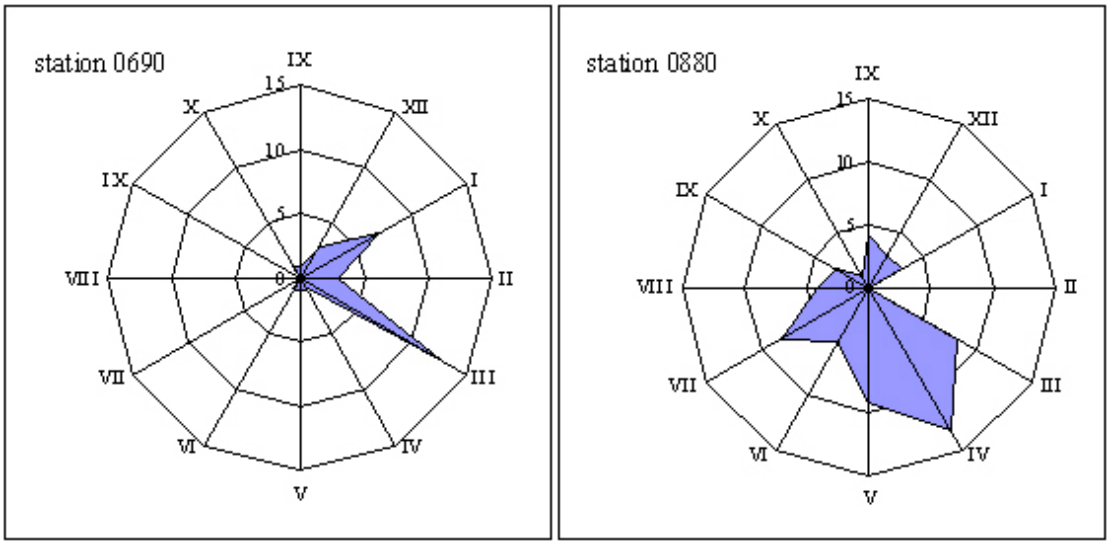
3.1. METODA POLÁRNÍCH GRAFŮ

Metoda polárních grafů je založena na grafickém znázornění veličiny na růžicovém grafu, kde osa x představuje jednotlivé měsíce roku (označené římskými číslovkami) a na ose y jsou vynášeny hodnoty sledovaných fyzikálních jevů.

Pro každý profil v daném období pak vzniká charakteristický obrazec rozložení sledované veličiny. Při dlouhodobém rovnoměrném rozložení jevu během celého roku by vznikl pravidelný dvanáctiúhelník. Skutečné rozložení přírodního jevu je však charakteristické svou nepravidelností. Na polárních souřadnicích tak v určitých částech roku vznikají různá vychýlení. Pro některé části roku jsou typické extrémy, signifikantní vychýlení oproti průměrnému stavu, v jiném období roku je naopak možno sledovat úsek s minimální pravděpodobností výskytu jevu (obr. 2).

Polární grafy mají dobrou vypovídací schopnost a jsou snadno představitelné. Jejich nevýhodou je menší přesnost.

Obr. 2 Růžicové grafy výskytu extrémních průtoků pro dva zvolené profily



3.2. METODA SMĚROVÝCH STATISTIK

Pro každý případ v uvažované řadě napozorovaných průtoků se datum výskytu povodně převádí prostřednictvím polárního souřadnicového systému do příslušné polohy na jednotkové kružnici. Podle matematické konvence je počátek roku (den 1.1.) umístěn do nejvýchodnějšího bodu kružnice a jednotlivá roční období následují po kvadrantech v kružnici proti směru hodinových ručiček (Mardia, 1972; Fisher, 1993). Juliánské datum výskytu povodňové události *i* Bayliss and Jones (1993) převádějí na úhlovou hodnotu takto:

$$\theta_i = (\text{JulianDate})_i \left(\frac{2\pi}{365} \right)$$

kde q_i je úhlová hodnota (v radiánech) pro datum výskytu povodňové události *i*.

Každé datum výskytu kulminace tak může být interpretováno jako směrový vektor daný úhlem q_i a velikostí *m*, která je relativní velikostí kulminačního průtoku příslušné povodně (pro největší povodeň ve sledovaném profilu je *m* = 1). Jestliže existuje soubor *n* povodní, pak lze určit souřadnice $\bar{x}$ a $\bar{y}$ průměrného data výskytu povodní *MD* (Mean Day) v daném profilu jako

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\cos(q_i) \qquad \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sin(q_i)$$

kde $\bar{x}$ a $\bar{y}$ reprezentují x –ovou a y-ovou souřadnici průměrného data výskytu povodní v určitém povodí. Doplňkem k *MD* je možno určit míru rozptylu povodňových případů definovanou jako

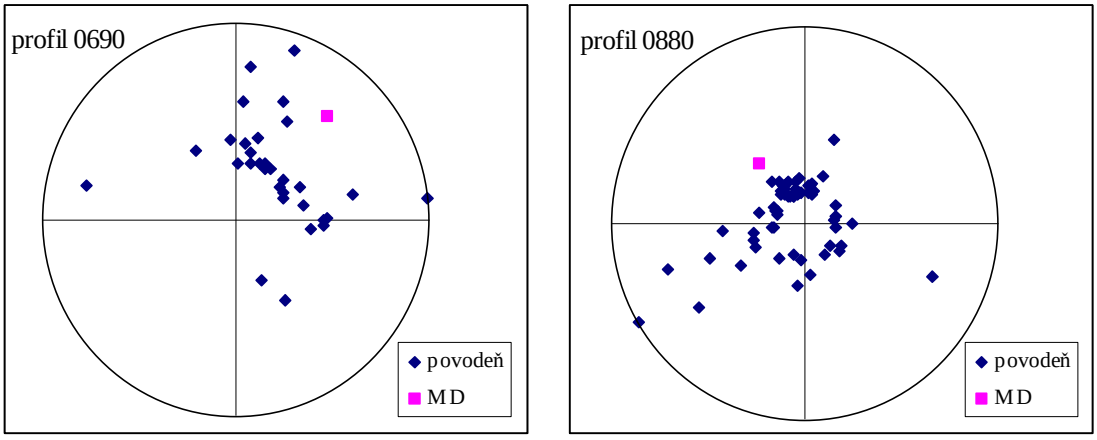
$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$$

kde $\bar{r}$ slouží jako míra rozptylu dat.

Hodnoty $\bar{r}$ blízké jedné ukazují na povodí se silnou sezonální povodňovou odezvou (hodnota rovná jedné by ukazovala, že se všechny povodně v daném profilu vyskytly v přesně stejném dni roku). Hodnota blízká nule naopak ukazuje na velký rozptyl výskytu povodňových případů během celého roku. Obr.3 ilustruje aplikaci výše uvedené metody ve dvou vybraných profilech povodí Labe s vyznačením *MD*. Velikost průvodiče je dána hodnotou rozptylu $\bar{r}$.

Při použití metody směrových statistik jsou spatřovány dvě hlavní výhody. Za prvé umožňuje vyjádřit informaci o sezonalitě průtoků jednou číselnou hodnotou a za druhé je velmi názorná. Naopak nevýhodou je zkreslení sezonální informace do průměrné hodnoty.

Obr. 3 Příklad znázornění sezonality povodňových případů ve dvou profilech s vyznačením příslušných MD



3.3. METODA ČAR KUMULATIVNÍCH ČETNOSTÍ VÝSKYTU

Metoda je založena na znázornění průměrného počtu výskytu povodňových případů *L(t)*, které v čase *t* překročily zvolenou hranici průtoků Q_B. Proměnná *t* probíhá v časovém intervalu (0,T) odpovídajícímu jednomu roku (Ouarda, 1993). Pro každý vodoměrný profil byly zvoleny tři hodnoty hladiny Q_B odpovídající třem zvoleným pravděpodobnostním překročením. Tento grafický postup byl aplikován na hydrologických datech všech 110 vybraných stanic. Zobrazení sezonality pro dva vybrané profily ilustruje obr.4.

Při požadavku zachování nezávislosti jednotlivých povodňových případů byly zařazeny pouze ty kulminace průměrných denních průtoků, kdy od jejich předešlé kulminace uběhlo alespoň sedm dnů a průtoky v tomto období klesly alespoň na polovinu vyšší kulminace. Pro každou stanici a každou ze tří uvažovaných hladin Q_B byla vypracována čára kumulativní četnosti výskytu povodňových případů. Průběh čáry (změna sklonu a její časový počátek i konec, dílčí ustálená tendence a její trvání) pak vymezuje signifikantní období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní neboli období zvýšené vodnosti pro každé povodí přináležející uvažované stanici.

U takto znázorněných sezonalit výskytu zvýšených průtoků v jednotlivých vodoměrných stanicích lze konstatovat, že:

(1) všechny tři čáry pro různé hladiny Q_B mění sklon přibližně ve stejném dni v roce,

(2) rozdělují rok na tři různě dlouhá období, vzájemně odlišná svou vodností (období zvýšené pravděpodobnosti výskytu extrémních průtoků, období snížené pravděpodobnosti výskytu extrémních průtoků a přechodové období),

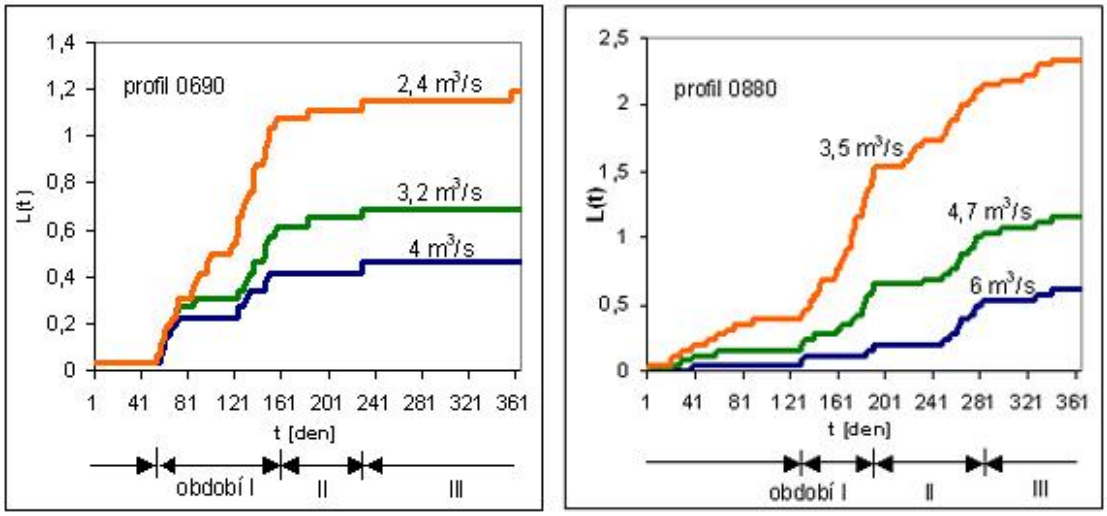
(3) v rámci vymezených období mají čáry kumulativní četnosti výskytu extrémních průtoků víceméně lineární průběh. Linearita má velký význam pro frekvenční analýzu povodní. Prokazuje, že v průběhu vymezených období jsou povodňové případy přibližně stejně rozděleny.

Výhodou výše popsané metody je velká míra přesnosti při zachování informace o sezonalitě, s přesností na dny lze určit období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní. Její nevýhodou je obtížné použití výsledné sezonální informace pro další statistické zpracování.

Pro vyjádření charakteristik sezonality povodňového režimu v daném regionu existuje množství metod. V závislosti na různých příčinných vlivech působících při vzniku povodně však neexistuje žádná univerzálně nejlepší. Vzhledem ke stanovenému cíli,

tj. vyjádřit prostorové rozdíly sezonálního rozložení extrémních průtoků, byly porovnány tři metodiky. Jako nejpříhodnější se jevila metoda čar kumulativních četností.

Obr. 4 Odvozené čáry kumulativní četnosti výskytu pro tři varianty Q_B ve dvou vodoměrných stanicích v povodí Labe



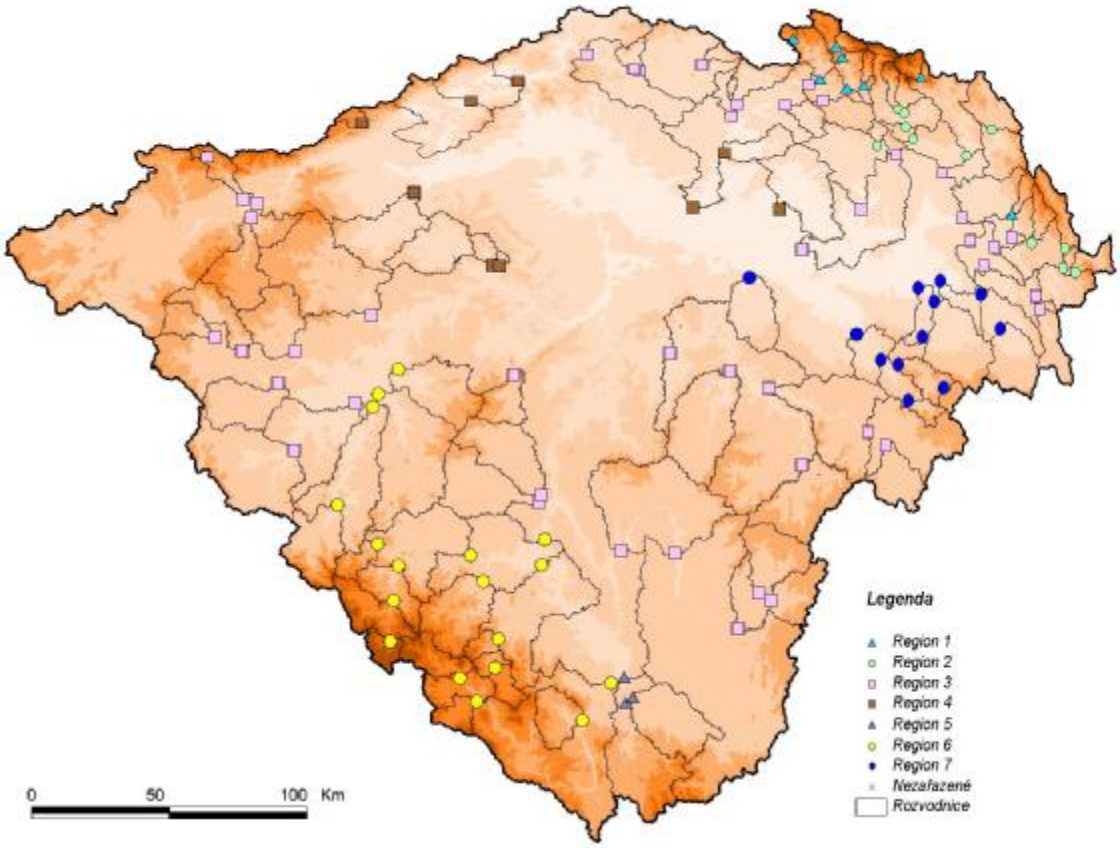
4. VÝSLEDKY

4.1. VYMEZENÍ REGIONŮ

Metoda čar kumulativních četností byla aplikována na řady dat denních průtoků nad určitou mezí. Tím bylo pro každou vodoměrnou stanici, která reprezentuje povodňový režim příslušného povodí, určeno období roku, kdy se povodně vyskytují s největší pravděpodobností. Podobnost resp. rozdílnost počátečního data a délky trvání identifikovaného období byla dále podkladem pro nalezení povodí, která jsou si vzájemně hydrologicky podobná, tzn. podobná z hlediska zvolené charakteristiky sezonálního výskytu extrémních průtoků.

Celé povodí českého Labe bylo po pečlivém zkoumání a porovnávání sezonality výskytu povodňových průtoků v jeho různých částech rozděleno do sedmi oblastí (obr. 5). Zařazení vybraných povodí do jednotlivých regionů je uvedeno v tabulce 1. Výsledné regiony lze z hlediska sezonální informace výskytu povodní považovat za hydrologicky homogenní. U sporných případů v okrajových částech regionů bylo přihlíženo k rozložení průměrného ročního srážkových úhrnů, protože u této veličiny byla prokázána vysoká korelace.

Obr. 5 Rozložení regionů v povodí Labe



Do prvního regionu (severovýchodní pohoří) bylo zařazeno 8 stanic, do druhého 13 (severovýchodní podhůří), do třetího 48 (vrchoviny), do čtvrtého 9 (podkrušnohorský stín), do pátého 3 (oblast vlivu Novohradských hor), do šestého 18 (Pošumaví-Otavsko) a do sedmého 13 vodoměrných profilů (oblast vlivu Žďárských vrchů).

4.2. REGIONÁLNÍ ODHADY PRŮTOKŮ

Následujícím krokem regionalizace bylo vyjádření vztahu mezi hodnotou extrémního průtoku a fyzikálními podmínkami povodí. Při výběru nezávisle proměnných se u metody vícenásobné regrese, které byla aplikována, hledá nejmenší počet smysluplných proměnných. Podle kritéria významnosti jednotlivých fyzicko-geografických faktorů i jejich fyzikálního opodstatnění jich bylo nakonec vybráno šest. Jednalo se o plochu a nadmořskou výšku povodí, průměrný sklon svahů v povodí, procento plochy pokryté lesem, průměrnou výšku sněhu na konci zimy a průměrný úhrn srážek na povodí.

Tabulka 1 Zařazení vodoměrných stanic do regionů

Region 1	Region 2	Region 3		Region 4	Region 5	Region 6	Region 7	Nezařazené
0130	0030	0210	1560	0770	1130	1060	0450	1070
0290	0040	0300	1580	1000	1140	1080	0460	1901
0830	0050	0310	1610	1020	1150	1102	0470	
0840	0060	0340	1620	1930		1110	0480	
0850	0150	0350	1660	1940		1350	0490	
0860	0160	0360	1670	2170		1370	0520	
0880	0180	0370	1710	2180		1380	0580	
0900	0240	0390	1720	2230		1390	0590	
	0250	0700	1730	2260		1410	0630	
	0270	0710	1750			1430	0640	
	0280	0750	1790			1450	0660	
	0320	0870	1799			1470	0820	
	0690	0910	1900			1500		
		0920	1960			1510		
		0940	2091			1820		
		0960	2101			1830		
		1240	2120			1870		
		1260	2140			1880		
		1270	2300					
		1310	2350					
		1330	2360					
		1520	2390					
		1530						

V případě, kdy se v řešené úloze pracuje s méně než 15 nezávisle proměnnými (což byl náš případ), je doporučováno využít techniku algoritmu „všech možných regresí“. V závislosti na různých kombinacích šesti výše zmíněných faktorů tedy bylo vždy v rámci vymezeného regionu odvozeno několik regresních modelů. Výsledek regionálních odhadů ve vodoměrném profilu Sušice na řece Otavě (Region 6) je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2 Výsledky regionálních odhadů Q2, Q100 a Q10000 v profilu 1380 - Sušice (červeně označen FG faktor příslušného regresního modelu)

Nezávisle proměnná	Regionální odhad					
	Q_2	R^2	Q_{100}	R^2	Q_{10000}	R^2
lokální odhad	120		299		520	
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	102	0.949	229	0.854	368	0.706
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	104	0.948	238	0.851	403	0.696
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	103	0.948	243	0.824	407	0.651
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	99	0.947	209	0.841	335	0.698
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	111	0.934	275	0.782	504	0.614
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	100	0.946	226	0.818	387	0.649
Plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	111	0.934	275	0.782	504	0.614
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	103	0.911	272	0.781	523	0.625
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	86	0.927	188	0.831	327	0.697
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	85	0.908	188	0.759	314	0.609
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	116	0.937	313	0.779	598	0.586
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	100	0.946	208	0.792	345	0.616
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	111	0.934	288	0.766	553	0.579
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	84	0.907	178	0.755	305	0.608
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	97	0.904	240	0.753	457	0.605
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	99	0.883	247	0.678	465	0.510
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	95	0.881	231	0.667	433	0.503
plocha, srážky, sklon, les, nadm.výška, sníh	111	0.933	275	0.707	517	0.503

5. DISKUSE A ZÁVĚR

V článku jsou prezentovány tři metody znázornění sezonálního rozložení výskytu povodňových případů. Všechny metodiky pracují s daty výskytu maximálních průtoků nad určitou mezí.

Polární grafy mají dobrou vypovídací schopnost, jsou snadno představitelné, ale z hlediska statistického zpracování nepřesné. Přínosem metody směrových statistik je detailní přehlednost a větší spolehlivost, se kterou je vymezena část roku se zvýšeným výskytem extrémních průtoků. Navíc umožňuje získat informace o rozložení velikosti průtoků jednotlivých povodňových případů. Znázorněný rozptyl je také cenou informací

pro hodnocení citlivosti povodí na výskyt maximálních průtoků. Naopak nevýhodou může být zkreslení sezonální informace do průměrné hodnoty, která není dostatečně reprezentativní.

Metoda čar kumulativních četností výskytu maximálních průtoků se prokázala jako účinný přístup při vymezení vhodného rozdělení roku na tři období, která jsou vzájemně odlišná svou vodností. Výhodou je relativně přesné určení počátku a délky trvání období se zvýšenou pravděpodobností výskytu extrémních průtoků, což je při sezonální analýze stěžejní informace.

Vzhledem ke stanovenému cíli (vyjádření prostorových rozdílů sezonálního rozložení extrémních průtoků) poskytovala nejlepší výsledky metoda čar kumulativních četností. Výstupy zmíněné metody byly podkladem pro vytvoření regionalizace sezonality maximálních průtoků v povodí Labe.

Nalezená sezonální období výskytu zvýšené vodnosti se v závislosti na geografické poloze u jednotlivých vodoměrných stanic více či méně lišila. Ve většině byla potvrzena vysoká korelace počátečního data identifikovaného období s průměrnou nadmořskou výškou povodí a s průměrným dlouhodobým úhrnem srážek na povodí.

Podle podobnosti identifikovaných období byly vybrané profily resp. povodí rozděleny do sedmi hydrologicky homogenních regionů. Regiony nesledují přirozené hranice povodí, spíše korespondují s oblastmi stejné intenzity průměrných ročních srážek nepřímo závislé na nadmořských výškách povrchu.

V závěru bylo pro každý vymezený region odvozeno několik regresních modelů v závislosti na použitých fyzicko-geografických faktorech. Vysvětlení rozhodujícího vlivu příčinných charakteristik je předmětem dalšího výzkumu.

6. LITERATURA

Bayliss, A. C. and Jones, R. C. *Peaks over Threshold flood database: Summary statistics and seasonality*. *Report No. 121*. UK: Institute of Hydrology, Wallingford, 1993. 61 s.

Black, A. R. and Werritty, A. Seasonality of flooding: a case study of North Britain. *Journal of Hydrology*, 1997, 195, s. 1-25.

Brádka, J. Meteorologické příčiny povodní ve Slezku. *Meteorologické zprávy*, 1967, 20.

Buchtele, J. *Kategorizace povodňového režimu na tocích vltavské kaskády*. *Sborník prací HMÚ*. Praha, 1972, sv. 18.

Burn, D. H., Zrinji, Z. and Kowalchuk, M. Regionalization of Catchments for Regional Flood Frequency Analysis. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1997, s. 76-82.

Fisher, N. I. *Statistical Analysis of Circular Data*. UK: Cambridge University Press, 1993.

Hladný, J. *K rajonizaci povodňových situací na území ČSR pro potřeby povodňové služby. Sborník referátů z hydrologické konference v Brně, Studia Geographica 22*. Brno: GÚ ČSAV, 1971.

Hladný, J., Chalušová, J., Vlasák, T. Hydrosynoptické přístupy k identifikaci povodňového mechanismu. *Acta Universitatis Carolinae – Geographica*, Praha, 2001, no. 2.

Kakos, V. Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873-1982. *Meteorologické zprávy*, 1983, roč. 36, č. 6, s. 171-181.

Kakos, V. Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Labe. Meteorologické zprávy, 1985, roč. 38, č. 5, s. 148-151.

Kašpárek, L. et al. *Hodnocení modelování srážko–odtokových vlastností povodí*. Praha: VÚV T.G.M., 1999. 47 s.

Mardia, K. V. *Statistics of Directional Data*. London: Academia Press, 1972. 38 s.

Ouarda, T. B. M. J., Ashkar, F. and El-Jabi, N. Peaks Over Threshold Model for Seasonal Flood Variations. *Engineering Hydrology*, 1993, s. 341-346.

Šercl, P., Lett, P. *Výpočet rastru srážek v prostředí GIS (s využitím ArcView Spatial Analyst). Uživatelská příručka verze 2.0.1*. Praha: ČHMÚ, OPV, 2002.

Todorovic, P., and Zelenhasic, E. A stochastic model for flood analysis. *Water Resources Research*, 1970, vol. 6 (6), s. 1641-1648.

Vavruška, F. Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. *Meteorologické zprávy*, 1989, roč. 42, s. 111-115.