VLIV FYZICKOGEOGRAFICKÝCH FAKTORŮ NA ČASOVÝ A PROSTOROVÝ VÝSKYT POVODNÍ V POVODÍ LABE

Jana Chalušová

V článku jsou popsány mechanismy vedoucí ke vzniku povodní v české části povodí Labe. Jak ukazují různé scénáře dopadů klimatické změny, z hlediska povodňového režimu můžeme očekávat nejen změny extremity odtoků, ale také změny v období a prostoru jejich výskytu. Aby mohly být tyto změny identifikovány, je nejprve nutné určit sezonální rozložení výskytu povodní a jeho regionální rozsah. Cílem studie tedy bylo vystihnout fyzickogeografické procesy vedoucí ke vzniku povodní a popsat jejich časovou a prostorovou variabilitu. Pozornost byla věnována i dlouhodobým změnám povodňového režimu. Výzkum byl rozdělen do třech částí. Nejprve byla řešena otázka identifikace sezonální variability v povodňových řadách. Druhá část se zaměřovala na odhalení základních fyzickogeografických charakteristik, které ovlivňují období výskytu povodní. Posledním krokem bylo vymezení regionů podobných z hlediska povodňotvorných mechanismů. Výzkum probíhal na 110 dílčích povodích. Celé povodí Labe bylo na základě výsledků sezonální analýzy rozděleno do sedmi regionů.

Klíčová slova: sezonalita, povodně, regiony, fyzickogeografické faktory, region, Labe

Influence of Physical Geographical Factors on the Timing and Spatial Variability of Floods in the Elbe River Basin. *The study examines the temporal framework for floods in the Elbe river basin in order to comprehend the time and spatial dimensions of various flood-producing mechanism. This temporal framework becomes especially important as current predictions of the hydrologic responses to climate changes indicate that various climate change scenarios will not affect only the magnitude of runoff, but also its timing. Before the potential changes in flood regime like shift in flood timing can be identified, it becomes necessary to exactly establish the annual distribution of peak flows and their regional extent. The goals of this research, therefore, are 1) to identify the seasonal variability evident in the flood series, 2) to identify the physical-geography controls on flood timing and 3) to establish similar flood producing regions in the Czech part of the Elbe River basin. This framework is achieved by analyzing the flood series for 110 water-gauging stations. The whole study area was divided into seven homogeneous regions.*

Key words: seasonality, floods, physical geography factors, region, the Elbe River

---

1 ÚVOD

Povodně již od nepaměti patřily k nejobávanějším živelním pohromám. Svou povahou často působily nenahraditelné ztráty na lidských životech a újmy na zdraví, jakož i drastické škody na majetku. Katastrofální povodně v roce 1997 na Moravě a v roce 2002 v Čechách opět ukázaly na důležitost povodňové hydrologie. Proto výzkum zda a jak se dá proti tak rozbouřenému živlu přírody chránit se stal jedním z akutních úkolů moderní ochrany životního prostředí. Zvláště za okolností, kdy jedním z často citovaných scénářů možných důsledků globálních změn klimatu pro území střední Evropy je varianta zvětšování extrémů, a tedy i častější výskyt velkých povodní.

1.1 Cíle práce

Článek se zabývá studiem povodní v povodí Labe za účelem pochopení časové a prostorové dimenze různých mechanismů vedoucích ke vzniku povodní. Toto téma se stává zvláště důležité , protože současné předpovědi hydrologické odezvy na klimatickou změnu ukazuje, že podle různých scénářů nebude ovlivněna pouze extremita průtok, ale také období jejich výskytu. Pokud chceme potenciální změny povodňového režimu, jako např. Shift období výskytu, identifikovat, je nezbytné nejprve popsat výskyt extrémních průtoků v průběhu roku a jejich regionální rozsah.

Cíle studie jsou tedy následující:
1) Identifikovat sezonální variabilitu v povodňových řadách,
2) Identifikovat fyzicko-geografické faktory, které ovlivňují dobu výskytu extrémního průtoku a
3) Vytipovat oblasti podobné z hlediska výskytu povodní v rámci povodí Labe.

Za tímto účelem bylo zkoumáno 110 dílčích povodí.

2 METODY A PŘÍPRAVA DAT

Moderní postupy ke stanovení sezonality výskytu povodní v průběhu roku prokázaly, že maximální roční a měsíční průtoky jsou pro tyto účely v řadě praktických aplikací příliš hrubým parametrem. V relativně vodnějších obdobích roku může totiž docházet ke „ztrátě" informací o reálném výskytu povodňových případů. Stírá se tak rozdíl mezi obdobími se zvýšenou a sníženou pravděpodobností výskytu maximálních průtoků. Je to způsobeno zejména tím, že použití delší časové jednotky vylučuje z úvahy tzv. „přidružené povodně", které se podle historických zkušeností vyskytují často v jednom měsíci.
Proto bylo v této práci počítáno s daty v denním kroku. Konkrétně šlo o maximální hodnoty průměrných denních průtoků, protože data okamžitých denních maxim nebyla vždy k dispozici. Do každé řady byly zahrnuty průtoky pouze nad zvolenou určitou mezí průtoku.
Sezonální analýza v podstatě může být založena na dvou odlišných přístupech. V prvním se pracuje s daty maximálních ročních průtoků (Annual Maximum Floods - AMF), ve druhém se využívají řady dat o maximech nad určitým mezním prahem (Peaks over Threshold – POT). Ve druhém případě jsou analyzovány všechny průtokové hodnoty povodňových vrcholů, které přesáhly zvolenou prahovou hranici Q_B. Metoda vrcholů nad určitou mezí nabízí oproti metodě maximálních průtoků několik výhod [*Black and Werritty, 1997*]:
Je objektivnější. Nezahrnuje malé průtoky v letech, kdy se nevyskytly jejich větší hodnoty. Naopak v letech, kdy častěji dochází k extrémním jevům, jsou zahrnuty všechny odpovídající případy a ne pouze jeden největší. V závislosti na volbě velikosti prahové hodnoty je možné ovlivňovat počet vybraných povodňových případů.
Celkovým přínosem metody je pak detailnější popis povodňového režimu. Pro účely sezonální analýzy byl v této studii upřednostňován přístup POT.

Matematicky je metoda POT definována následující rovnicí [*Todorovic a Zelenhasic, 1970*]:

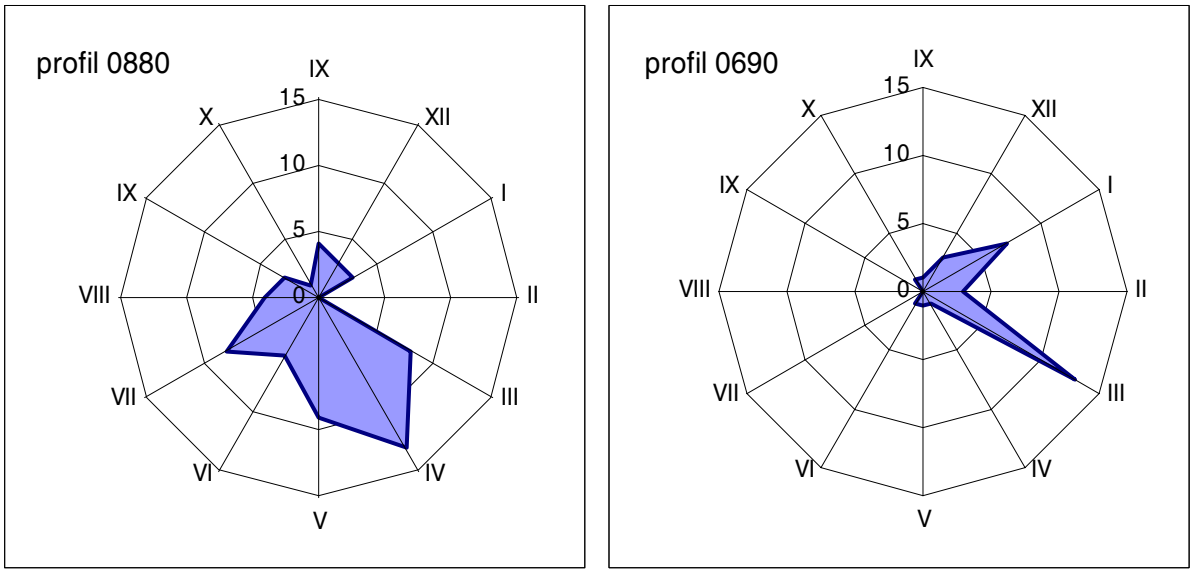
$$\xi_v = \begin{cases} 0 & ; \; Q_v \le Q_B \\ Q_v - Q_B & ; \; Q_v > Q_B \end{cases} \qquad (1)$$

kde Q_B je mezní hodnota průtoku,
Q_ν je průtok v čase $\tau(\nu)$,
ξ_ν je překročení v čase $\tau(\nu)$.

Dalším častým problémem, který narušuje statistiku výskytu povodní je rozlišení více-vrcholových průtokových vln od sledu separátních samostatných vln s určitým časovým odstupem. Pro objektivní stanovení jednotlivých povodňových případů bylo proto použito následující kritérium: 1) interval mezi dvěma sousedními vrcholy musí být alespoň 7 dní a 2) průtok mezi následujícími vrcholy musí klesnout alespoň na polovinu hodnoty vyšší ze dvou kulminací.

2.1 Metody sezonální analýzy výskytu povodní

Pro vyjádření informací o sezonalitě výskytu povodňových kulminací existuje celá řada různých metod, avšak v důsledku početně rozsáhlého spektra příčinných vlivů na vznik povodní neexistuje žádný přístup, který by se dal označit jako univerzálně nejlepší [*Magilligan, Graber, 1996*]. Proto je vždy vzhledem ke stanovenému cíli důležité zvolit vyhovující statistické charakteristiky. Ve studii byly proto za tímto účelem porovnány tři metodiky. Všechny pracují s daty nad určitou mezí.
První z nich, metoda polárních grafů, je založena na grafickém znázornění veličiny na růžicovém grafu, ve kterém jsou na průvodičích pro jednotlivé měsíce roku vynášeny parametry sledovaných fyzikálních jevů (počet výskytu povodňových epizod, kulminační průtok aj.).
Pro každý profil v daném období pak vzniká spojením koncových bodů průvodičů charakteristický obrazec rozložení sledované veličiny. Při ideálním dlouhodobém rovnoměrném rozložení jevů během celého roku by vznikl pravidelný dvanáctiúhelník. Ve skutečnosti je však výskyt extrémních hydrologických událostí značně nepravidelný. V polárním souřadnicovém systému tak v určitých částech roku vznikají různá vychýlení. Některé části roku jsou výrazně typické výskytem extrémů nebo vykazují signifikantní vychýlení oproti průměrnému stavu, v jiném období roku je naopak možno identifikovat úsek s minimální pravděpodobností výskytu jevu (viz Obr. 1). Při výzkumu se potvrdilo, že výsledky metody polárních grafů lze dobře využít pro první orientaci a hrubý celkový pohled na sezonální frekvenci povodňových případů.



Obr. 1 Polární grafy četnosti výskytu povodní pro dvě vybrané vodoměrné stanice v povodí Labe.

Fig. 1 Polar graphs of extreme flow values in two selected profiles in the Elbe River basin.

Metoda směrových statistik převádí datum výskytu povodně do odpovídající polohy v jednotkové kružnici. Podle matematické konvence je počátek roku (1. leden) umístěn do nejvýchodnějšího bodu kružnice a jednotlivá roční období následují po kvadrantech v kružnici proti směru hodinových ručiček [*Mardia, 1972; Fisher, 1993*]. *Bayliss and Jones* [*1993*] definují datum výskytu povodně jako směrovou statistiku, kdy Juliánské datum výskytu povodňové události i převádějí na úhlovou hodnotu

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

kde θ_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 θ_i a velikostí *m*, která je relativní velikostí kulminačního průtoku příslušné povodně (pro největší povodeň

ve sledovaném profilu je m = 1). Pro *n* povodní lze informaci znázornit graficky, a tak získat vizuální reprezentaci povodňového režimu povodí. Jestliže existuje soubor n povodní, pak lze určit souřadnice x a y průměrného data výskytu povodní (Mean Day - *MD*) v daném profilu jako

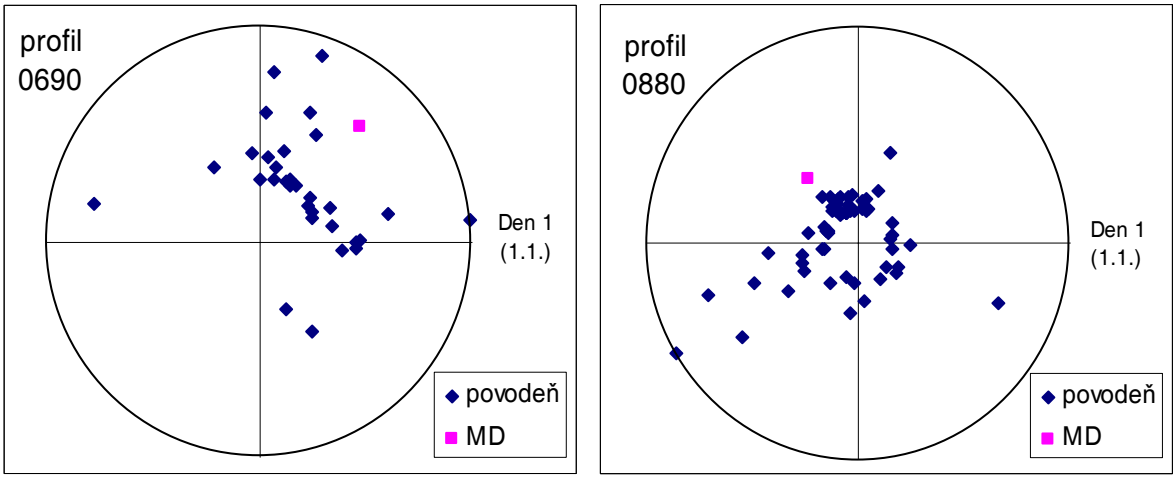
$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\cos(\theta_i) \tag{3}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sin(\theta_i) \tag{4}$$

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

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \tag{5}$$

kde $\bar{r}$ slouží jako míra rozptylu dat.
Hodnoty $\bar{r}$ blízké jedné ukazují na povodí se silnou sezonální povodňovou odezvou (hodnota $\bar{r}$ =1 by ukazovala, že v daném profilu se všechny povodně vyskytly ve stejném dni roku). Hodnota blízká nule naopak ukazuje na velký rozptyl výskytu povodňových případů během celého roku [*Burn, 1997*]. Obr. 2 ilustruje aplikaci výše uvedené metody ve dvou vybraných profilech povodí Labe. Velikost průvodiče charakteristiky *MD* je dána hodnotou rozptylu $\bar{r}$.



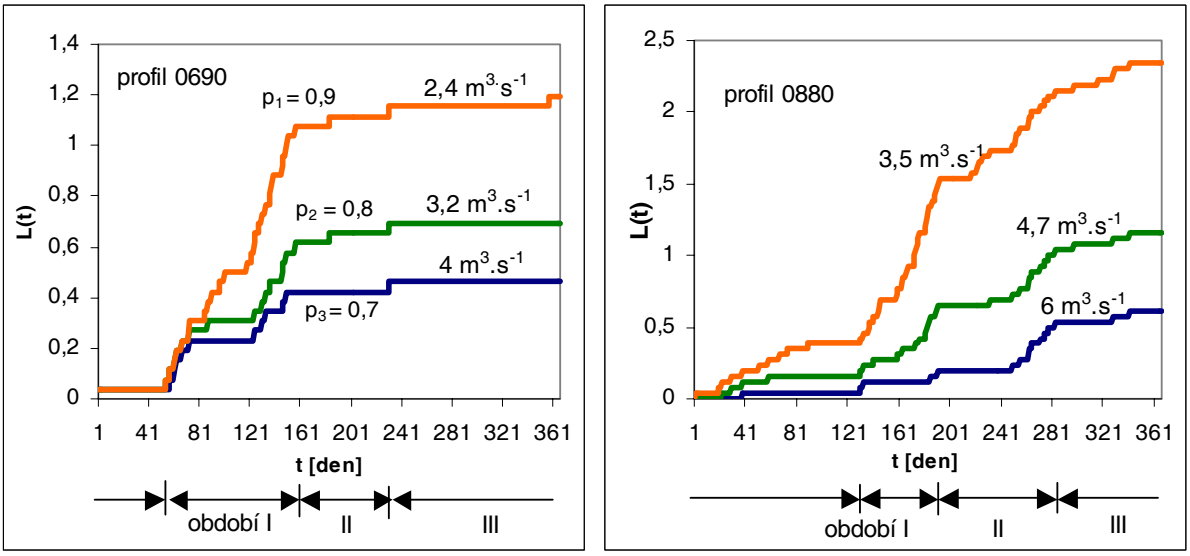
Obr. 2 Výsledky metody směrových statistik pro dvě vybrané stanice v povodí Labe.

Fig. 2 Application of directional statistics method for two gauging stations in the Elbe River basin.

V pořadí třetí posuzovaná, metoda čar kumulativních četností výskytu, 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) odpovídající jednomu hydrologickému roku [*Ouarda et al., 1993*]. V našem případě byly průtokové prahy Q_B voleny ve třech variantách, individuálně pro každý profil. V první variantě mezní průtok Q_B odpovídal pravděpodobnosti překročení p_1 = 0,9; ve druhé pravděpodobnosti překročení p_2 = 0,8 a ve třetí variantě pravděpodobnosti překročení p_3 = 0,7. Zobrazení sezonality pro dvě vybrané vodoměrné stanice ilustruje Obr. 3.
Pro každou stanici a každou z uvažovaných hladin Q_B byla vypracována čára kumulativní četnosti (součtová čára) 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.
K obecným poznatkům sezonálního rozložení velkých průtoků získaných v jednotlivých vodoměrných stanicích metodou součtových čar lze konstatovat, že:

(1) Všechny tři čáry odpovídající příslušným hladinám Q_B mění sklon přibližně ve stejném dni v roce, např. pro profil 0690 nastává počátek vodného období v 53. dni hydrologického roku, tzn. 23.12. a konec ve 159. dni, tzn. 7.4.
(2) Rok tak rozdělují 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.



Obr. 3 Odvozené čáry kumulativní četnosti výskytu pro tři varianty QB ve dvou vybraných vodoměrných stanicích v povodí Labe za období 1975 – 2000.

Fig. 3 Illustration of the graphical method of the cumulative frequency curves for two stations in the Elbe River basin during 1975 - 2000.

Pro posuzování vlivu fyzickogeografických faktorů na časový výskyt povodní byly zvoleny dvě ze zkoumaných metod: metoda směrových statistik a metoda čar kumulativní četnosti výskytu. Jejich výsledky jsou totiž dostatečně přesné pro statistické zpracování. Následující část popisuje obecné rysy časového a prostorového výskytu povodní v povodí českého Labe.

3 SEZONALITA VÝSKYTU POVODNÍ V POVODÍ LABE

V dlouhodobém rozložení četnosti výskytu povodňových případů v závěrovém profilu povodí Labe v Děčíně se za období 1851-2000 byla prokázána výrazná asymetrie se silnou převahou zimního povodňového režimu.
Pro identifikování potenciálních posunů (v zahraniční literatuře tzv. „shift“) ve výskytu povodní byly zvoleny tři stejně dlouhé časové intervaly (50 let), ve kterých byla sledována sezonální variabilita výskytu extrémních průtoků.
Jako charakteristický rys povodňového režimu byl potvrzen přesun maxima četnosti letních povodňových případů z května (1851-1900) do července (1951-2000). Poslední velká letní povodeň na počátku srpna 2002 tento jev potvrdila. Dále je patrný sezonální posun období s malou

pravděpodobností výskytu povodní - tzv. povodňový útlum - z června do dubna, tedy směrem k zimním měsícům. Délka trvání povodňového útlumu se pohybuje od jednoho do dvou měsíců. Obdobná skutečnost se projevuje i na podzim.
Dále bylo potvrzeno, že se sezonalita povodňového režimu na jednotlivých tocích v povodí Labe liší. Výrazné rozdíly se projevují zejména v horských oblastech.
Některé větší vodní toky (Vltava a Berounka) v povodí Labe vykazují dvojí sezonální režim [Kakos, 1983, 1985], což lze vysvětlit jako důsledek různé senzibility jednotlivých částí fyzickogeografického prostředí těchto povodí na tutéž meteorologickou situaci (např. v povodí Berounky se liší její brdská část od šumavské).

4 FYZICKOGEOGRAFICKÉ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ SEZONALITU

V této části studie byla pozornost zaměřena na odhalení fyzickogeografických faktorů, které mají signifikantní vliv na dobu výskytu povodní v jednotlivých částech povodí Labe. Následně byla zkoumána také míra jejich vlivu. V první řadě byly zkoumány příčiny meteorologické. U jednotlivých subpovodí pak podmínky geografické.

4.1 Příčinné cirkulační podmínky atmosféry

Příčinnou povětrnostní situací se rozumí ta povětrnostní situaci, která způsobila v posloupnosti denních cirkulačních podmínek výskyt povodně v zájmovém povodí. Příčinné typy povětrnostních situací [*Brádka, 1968; HMÚ, 1972*] se ve vybraných povodích vzájemně lišily. Pro převážnou část povodí Labe platí, že povodňové průtoky nejčastěji vznikají v důsledku počasí ovlivněného západní cyklonální činností (typ Wc, Wcs). V závislosti na poloze dílčího povodí jde o 20% až 45% ze všech případů. Výjimku tvoří povodí Lužnice, kde je největší část odtokových extrémů způsobena cirkulačními typy s jižní složkou proudění (typy B, C). V povodí Vltavy se příčinné typy Wc a C vyskytují s téměř stejnou četností, což se projevuje i dvojím režimem výskytu povodní. V menší míře je možné vyrovnanou kombinaci jižního a západního příčinného proudění sledovat i v povodí Berounky.
K odlišným výsledkům lze dospět zkoumají-li se kategorie příčinných synoptických typů v závislosti na době výskytu v průběhu roku. Zpravidla ve sledovaném profilu bývá celkově nejčastější příčinou výskytu povodní např. cirkulační mechanismus západní cyklóny, ale v letním období žádný podobný případ zaznamenám není. Proto byla další část věnována hydrosynoptické problematice z hlediska těchto poznatků.
Na vzniku letních povodňových situací se v konkrétním povodí podílejí jiné typy atmosférické cirkulace než v zimním období. Typy povodňových synoptických situací lze v podstatě rozdělit na typy zimní a letní. Zimní typy způsobují povodeň v období od října do března (zimní hydrologický půlrok), letní typy vyvolávají povodně ve zbývající části roku (letní hydrologický půlrok). Určité, tzv. přechodné typy mohou způsobit povodeň jak v létě, tak i v zimě. Mimo povodí Ohře, kde se žádný takový případ ve sledovaném období nevyskytl, jsou přechodové typy poměrně časté.
V letní polovině roku jsou nejčastější meteorologickou příčinou výskytu povodní situace spojené s jižní složkou proudění vzduchu. Nejčetnějším příčinným typem na většině území povodí Labe je cyklóna nad střední Evropou. Často jde o typ tlakové níže vznikající v jihovýchodní části Atlantského oceánu, která je však při svém pohybu po dráze V_b blokována tlakovou výší nad evropskou částí Ruska. Výjimku tvoří povodí Otavy, kde se jedná o situaci B (brázda nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou).
V průběhu zimy se povodně nejčastěji vyskytují v důsledku západního proudění, tedy situace Wc, Wcs a Vfz.

4.2 Časový předstih příčinných atmosférických cirkulačních podmínek

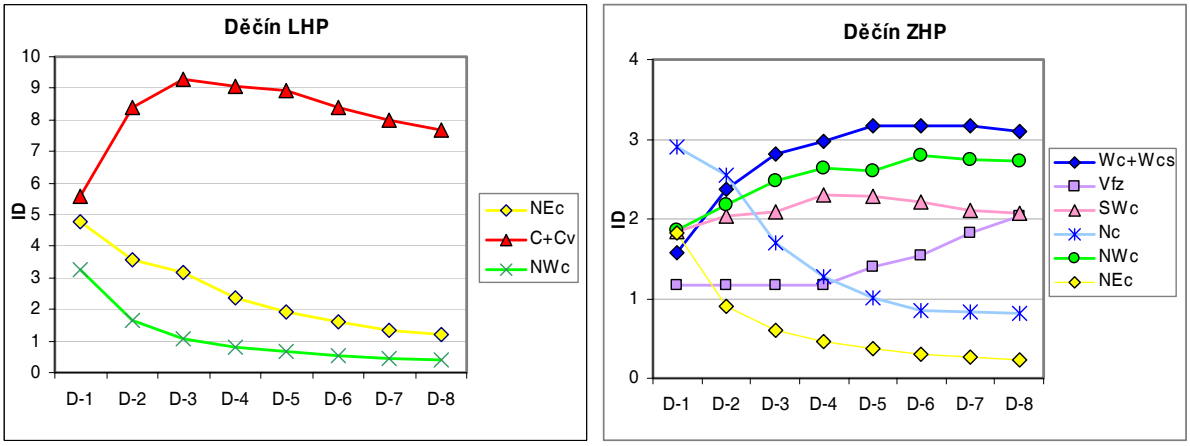
V předešlé kapitole byly představeny typy synoptických situací, které svými procesy ovlivňují s různou pravděpodobností výskyt povodňové vlny v určité oblasti zájmového prostoru a v určitém období roku. Zkoumání povětrnostních situací povodňového charakteru přineslo již dříve poznatek, že

jejich vznik bývá doprovázen fyzikálními symptomy, které časově předcházejí vyvolané povodni. Pokud se tedy tyto náznaky dají zjistit, mohly by signalizovat pravděpodobný nástup povodňového nebezpečí na určitou dobu dopředu aniž by k tomu bylo zapotřebí znát kvantifikaci extremity povodně. Otázkou ale zůstává s jakým předstihem je možné určit výskyt povodňové situace.
Statistickou metodu na testování zmíněné závislosti odvodili *Duckstein, Bárdossy a Bogárdi* [*1993*]. Jako měřítko podmíněnosti výskytu každého cirkulačního typu *j* v období osmi dnů před kulminací je definován tzv. povodňový index *ID*, často označovaný jako povodňová účinnost. Jde o poměr

$$ID(j) = \frac{n_1(j)}{n_2(j)} \tag{6}$$

kde $n_1(j)$ je relativní četnost výskytu příčinného povětrnostního typu j v období před povodňovou situací,
$n_2(j)$ je relativní četnost výskytu stejného typu nepodmíněně na výskytu povodně.

Poměr se vyšetřuje pro každé hydrologické pololetí zvlášť a vždy pro 1 až 8 dní před výskytem kulminace. Hodnoty *ID* větší než jedna příslušejí „povodňovým" cirkulačním typům, které se vyskytují v daném období před povodní častěji, než by odpovídalo jejich nepodmíněné četnosti výskytu. Maximum hodnoty *ID* pak s největší pravděpodobností určuje hledaný časový interval neboli dobu předstihu mezi výskytem příčinné synoptické situace a následné povodně. Časový předstih byl ve všech povodích určován pro každou synoptickou situaci a každé roční období zvlášť. Bylo zjištěno, že časový předstih výskytu fyzikálních symptomů atmosférické cirkulace se před výskytem kulminace liší v závislosti na typu příčinné situace, ročním období jejího výskytu a geografické charakteristice povodí.



Obr. 4 Průběh povodňového indexu ID pro příčinné synoptické situace, které nejvíce přispívají ke vzniku letních a zimních povodní v profilu Děčín na Labi.

Fig. 4 Delay window for causal circulation patterns in summer and winter season in the Elbe River basin at Děčín.

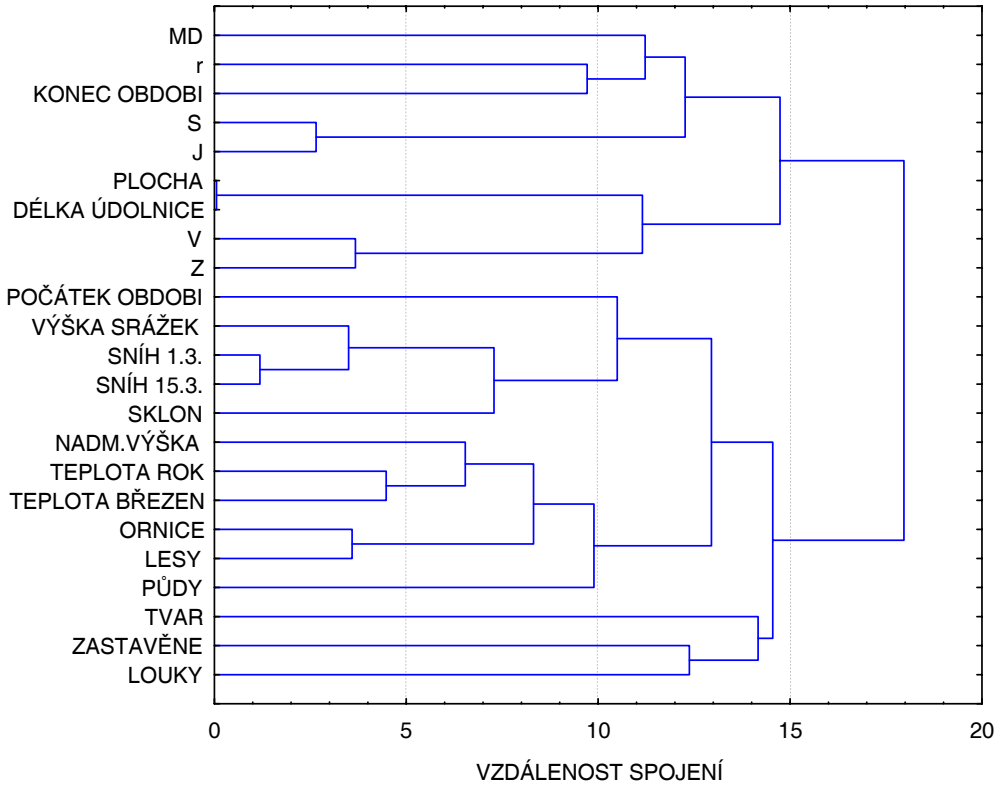
V letní polovině hydrologického roku byl potvrzen předstih nejvýznamnějších příčinných synoptických situací v délce 1 až 3 dnů (výjimku tvoří povodí Lužnice se 4 až 7 dny).
Předstih situací, které se podílejí na výskytu povodňových událostí v zimním hydrologickém půlroce se liší v závislosti na velikosti povodí. U menších oblastí se jedná o 1 až 3 dny, u větších 5 až 7 dnů.

4.3 Příčinné geografické faktory

Prostorem, v němž dochází k transformaci zmíněných srážkových event. teplotních impulsů atmosférické cirkulace na odtokovou odezvu, je fyzickogeografické prostředí povodí. Přestože je

možné hledat souvislost mezi příčinnou synoptickou situací a vznikem povodně metodou černé skříňky [*Vavruška, 1989, Duckstein et al., 1993*], k pochopení mechanismu vzniku povodní fyzikální logikou je dostatečná znalost vlivu vlastností povodí na vývoj těchto procesů nezbytnou podmínkou.
Za tímto účelem byla vytvořena databáze fyzickogeografických faktorů, u kterých je možné předpokládat vliv na vznik a výskyt extrémních průtoků. Vybrané charakteristické veličiny byly pak podle své podstaty rozděleny do dvou skupin: klimatologické faktory (průměrný roční úhrn srážek, průměrná roční teplota, průměrná březnová teplota, průměrná výška sněhu na konci zimy) a geografické faktory (plocha povodí, tvar povodí, délka údolnice, průměrná nadmořská výška, průměrný sklon svahů, orientace svahů, půdní druh, charakteristika využití půdy, podíl plochy pokryté lesem a zeměpisné délka a šířka závěrového profilu.
Prostorová variabilita kvantitativních hodnot určitého faktoru byla v každém dílčím povodí vyjádřena jejich průměrnou hodnotou.
Prvním krokem při odhalování vazeb mezi sezonalitou četnosti výskytu povodňových případů a jejími fyzikálně příčinnými faktory stejně jako při zkoumání vzájemných vztahů mezi jednotlivými fyzickogeografickými veličinami bylo využití metod korelační analýzy. Již ze samotné korelační matice (viz Příloha) je vidět, že výběr možných příčinných faktorů je příliš rozsáhlý. Její rozbor umožnil nalézt ty z nich, které jsou nadbytečné a rozhodnout, zda je možné v další části je vynechat.
Nejprve byly zkoumány vzájemné vztahy veličin charakterizujících sezonalitu výskytu povodní. Bylo zjištěno, že proměnná *MD*, stejně jako její rozptyl *r*, vykazuje mnohem vyšší korelaci ve vztahu ke konci povodňového období (0,54 resp. –0,57) než k jeho počátku (0,29 resp. –0,04). Z toho lze usoudit, že v podstatě ve všech oblastech se první povodně v hydrologickém roce vyskytují zhruba ve stejnou dobu. Rozdíl nastává až v délce trvání povodňového období. V různých částech sledovaného prostoru je odlišnost především v tom, zda a jak často jsou jarní povodně doprovázeny letními neboli zda v povodí existuje dvojí povodňový režim.
Z hlediska zkoumaných fyzickogeografických faktorů je *MD* logicky nejvíce ovlivněno nadmořskou výškou. Zřetelnou korelaci vykazuje i výška sněhu ke dni 15. března a podíl plochy pokryté lesem, ale vliv těchto faktorů je již zahrnut jejich vazbou na zmíněnou nadmořskou výšku.
Počátek povodňového období je rovněž přímo ovlivněn nadmořskou výškou, ale ještě více se zde projevuje výška sněhové pokrývky ke dni 15. března a průměrná roční výška srážek. Počátek tání sněhu je tedy rozhodující pro začátek povodňového období spíše než pro datum průměrného výskytu extrémních odtoků.
Úzká vazba konce povodňového období na další charakteristiku sezonality *MD* již byla hodnocena výše. Z hlediska přírodních faktorů poněkud překvapuje prokázaný nejvýznamnější vliv orientace svahů. Čím větší je podíl severně orientovaných svahů v povodí, tím později v daném povodí končí období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní. Tento vztah je zřejmě možné vysvětlit pozdější dobou odtávání sněhu na severních svazích. Ze zkoumaných čtyř charakteristik sezonálního režimu povodní je tedy možné zanedbat faktor rozptylu r, jehož informace je v podstatě již obsažena v údajích o konci povodňového období.
Z hlediska příčinných faktorů byl největší vliv prokázán u proměnných nadmořské výšky povodí, výšky sněhu ke dni 15. března, ročního srážkového úhrnu na povodí a podílu svahů orientovaných na sever.
Naopak pro východně orientované svahy nebyl nalezen žádný statisticky významný korelační vztah s hydrologickými proměnnými. Proto faktor nebyl zahrnut do další analýzy.
Na základě výsledků korelační analýzy a při použití zmíněných kritérií byly prozatím mezi majoritní faktory zařazeny následující veličiny: *MD*, počátek a konec povodňového období, průměrná roční srážka (srážky), výška sněhové pokrývky ke dni 15.3., nadmořská výška, sklon a plocha povodí, procento plochy pokryté lesem a podíl severně orientovaných svahů.
Metody vícerozměrné statistiky zjištěné výsledky potvrdily. Např. sedmi různými metodami shlukování byly vytvořeny dendrogramy, které jsou si vzájemně velmi podobné. Jako nejvhodnější technika shlukování se ukázala metoda nejvzdálenějšího souseda (viz Obr. 5). Příslušný dendrogram byl proto ve studii považován za optimální a tedy i za výsledný.
Především byla potvrzena zastupitelnost délky údolí a plochy povodí. Úzká závislost se opět projevila i u dvojic faktorů průměrná výška sněhové pokrývky ve dnech 1. a 15. března a u podílu severně a jižně orientovaných svahů v povodí. Dále se projevil shluk hydrologických charakteristik *MD*, *r* a konec období. Naopak počátek a konec období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní podobné

nejsou. To znamená, že se geograficky liší. Vysoká podobnost byla prokázána u faktorů závislých na nadmořské výšce. Do jednoho shluku byly k faktoru nadmořské výšky z geografického hlediska logicky zařazeny návazné proměnné jako jsou průměrná výška srážek, výška sněhové pokrývky na konci zimy, sklonitost svahů, průměrná roční i březnová teplota, druhy půd a procento plochy povodí pokryté lesem nebo ornou půdou. Naopak faktory tvar povodí a podíl zastavěné plochy resp. podíl luk se ukázaly jako více samostatné. Takto získané shluky odpovídají i empiricky získaným zkušenostem a fyzikální podstatě vzniku povodní.



Obr. 5 Dendrogram fyzickogeografických proměnných pro standardizovaná data.

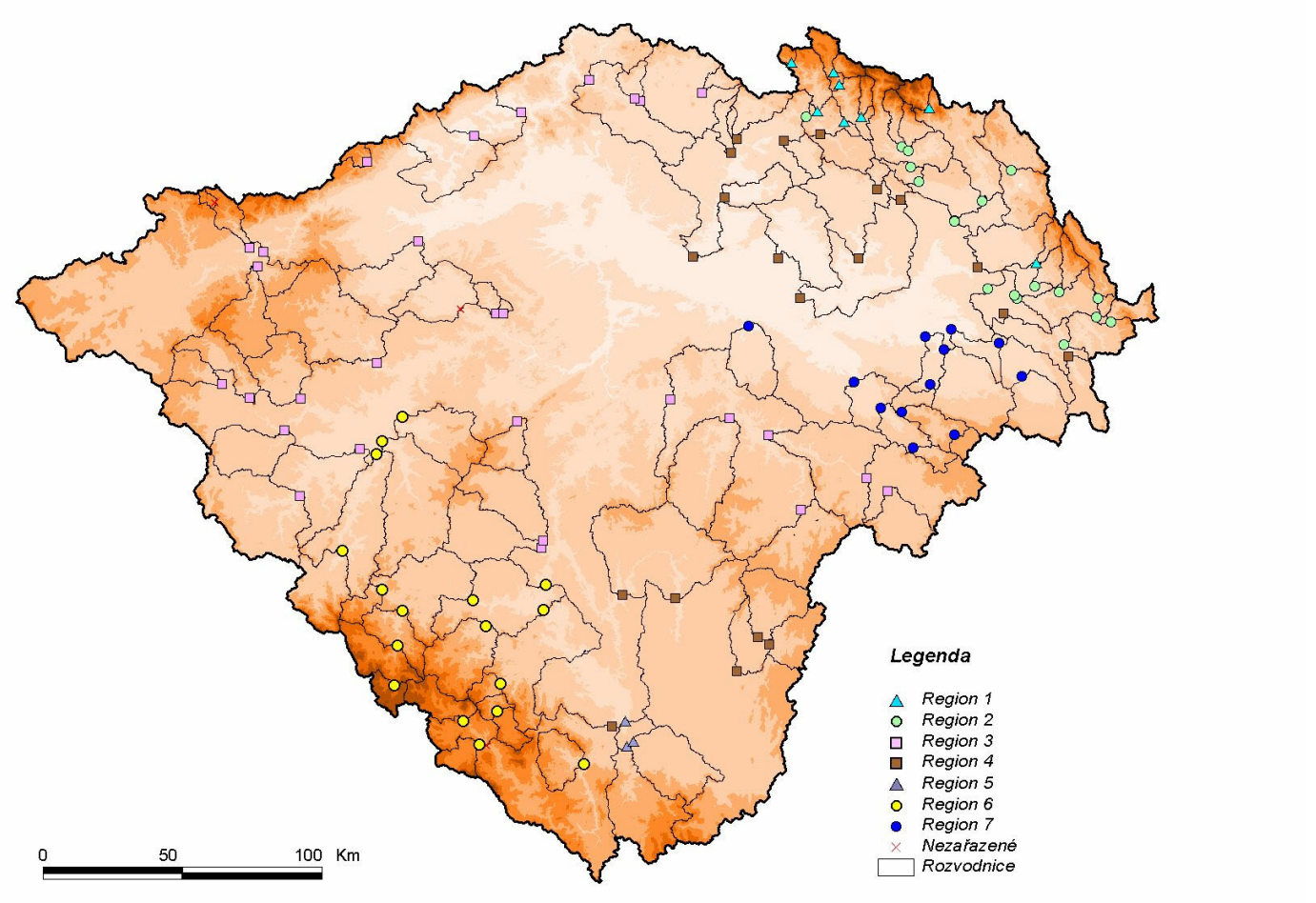
Fig. 5 Dendrogram for physical geography standardize data.

Na základě výsledků korelační analýzy a vícerozměrné analýzy shluků fyzickogeografických faktorů byla vybrána hydrologická charakteristika sezonality označující počátek a konec období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní. Z příčinných přírodních charakteristik byly do dalšího rozboru ponechány: faktor plochy povodí, průměrné nadmořské výšky povodí, průměrné srážky na povodí, podíl plochy pokryté lesem a podíl severně orientovaných svahů.

5 VYMEZENÍ REGIONŮ

Nejužitečnější metodou při vytváření malého počtu shluků z velkého počtu objektů se jeví shlukovací metoda nejbližších středů, v literatuře označovaná jako „K-Means“, [*Meloun, Militký, 2002*].
Celkem na základě dvou hydrologických faktorů - konce a počátku povodňového období a dvou fyzickogeografických veličin - průměrné roční srážky na povodí a plochy povodí bylo vymezeno sedm regionů. Nadmořská výška a podíl plochy pokryté lesem byly vynechány, protože jsou víceméně implicitně zahrnuty v proměnné charakterizující výšku srážek. Parametr severně orientovaných svahů prokázal, že má největší vliv (výraznou korelaci) na konec období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní. Tato veličina byla však do souboru proměnných již začleněna. Ze statického

zpracování byl proto faktor severní orientace svahů vypuštěn. Jeho hodnoty však byly využívány při popisu regionů.
Geografickou polohu vymezených regionů znázorňuje Obr. 6. Ve sporných případech byl největší důraz kladen na hodnoty hydrologických charakteristik povodí. Aby byla zajištěna dostatečná přesnost rozdělení povodí do několika skupin, byly výsledky podrobeny dalšímu posouzení a logickému vysvětlení. Protože snahou bylo vytvářet spíše geograficky spojité regiony, bylo při interpretaci výsledků přihlíženo také k poloze jednotlivých povodí. V konečné fázi zůstala tři povodí nezařazena a pět jich bylo přeřazeno do jiného regionu.



Obr. 6 Regiony vymezené na základě hydrologické podobnosti subpovodí v povodí Labe.

Fig. 6 Geographic display of hydrological regions in the Elbe River basin.

Region 1 – oblast severovýchodních pohoří

Počátek povodňového období nastává až v březnu zřejmě s prvním táním sněhu. Zimní povodně se zde prakticky nevyskytují, což může být důsledek vysoké nadmořské výšky povodí zahrnutých do regionu. Jinde případný zimní déšť zde pak padá již ve formě sněhu. Vzhledem k nejnižším průměrným teplotám vzduchu se v tomto regionu na rozdíl od řady jiných povodí také téměř vůbec nevyskytují povodně způsobené táním sněhu v důsledku vánočních oblev. Období zvýšené vodnosti přetrvává přibližně tři měsíce, do konce května, kdy odtává poslední sníh. Region je tedy charakteristický jarními povodněmi z tajícího sněhu.
Z hlediska fyzickogeografických faktorů je typický nejvyšší průměrný roční srážkový úhrn, což je důsledek vysokých nadmořských výšek příslušných dílčích povodí. V regionu převažují plochou menší povodí.

Region 2 – oblast severovýchodních podhůří

První povodňové případy hydrologického roku se v průměru objevují koncem prosince a přetrvávají do jara, resp. do poloviny dubna. Letní povodňový režim se zde neprojevuje. Geografické charakteristiky sice již v menší míře, ale stále ještě prokazatelně ukazují na horská povodí. Roční úhrn srážek, 962 mm, významně převyšuje republikový průměr. Stejně jako pro Region 1 je významný podíl jižně resp. západně orientovaných svahů v povodí (Region 1 – 64% resp. 57%, Region 2 – 60% resp. 55%).

Region 3 – oblast českých vrchovin v dosahu srážkového stínu

Do tohoto regionu bylo zařazeno absolutně největší množství povodí. Jejich povodňový režim je pro území České republiky typický. Většina povodní vzniká v důsledku tání sněhu spojeného s deštěm. Počátek povodňového období připadá na první dekádu prosince, kdy se již na území sledovaných povodí může nacházet sněhová pokrývka, která v důsledku prosincových oblev odtává. Případné srážky, v těchto nadmořských výškách dešťové, povodňovou situaci ještě zhoršují. Letní povodně se zde příliš nevyskytují, průměrný konec povodňového období připadá na počátek jara, resp. počátek dubna. Hodnoty měřených faktorů jsou v porovnáním s průměry pro celé povodí Labe slabě nadprůměrné.

Region 4 – oblast nížin

Stejně jako u předešlého regionu, zde povodňové období končí s nástupem jara. Odlišná je poloha a fyzickogeografické charakteristiky. Je zajímavé, že nadmořská výška povodí je v průměru o 70 m nižší než u Regionu 3, ale srážkové úhrny zhruba o 50 mm vyšší. Stejně i sněhová pokrývka na konci zimy je zde vyšší. Je to zřejmě způsobeno tím, že značná část Regionu 3 se nachází ve srážkovém stínu vyšších horských pásem, zatímco u Regionu 4 je převážná většina dílčích povodí situována v prostoru mimo tento vliv. Půda je z 50% využita jako orná, 30% tvoří lesy.

Region 5 – oblast vlivu Novohradských hor

Zimní povodně se zde prakticky vůbec neprojevují. Počátek povodňového období připadá až na začátek března. Naopak letní povodňový režim je velmi výrazný. Ze všech regionů se extrémní průtoky v této oblasti vyskytují nejdéle, až do poloviny srpna. Typickým příkladem povodně tohoto regionu byla situace v první polovině srpna 2002, kdy nejvíce zasaženou oblastí srážkovou činností byly právě Novohradské hory. Oblast je ve srovnání s ostatními regiony charakteristická vysokým podílem severně a východně orientovaných svahů. Tím se zde i nejvíce projevují příčinné synoptické situace typu NEc, které způsobují povodně právě v letních měsících. Znak druhu půdy ukazuje na její vysokou propustnost, srovnatelnou s Regionem 1.

Region 6 – oblast vlivu Šumavy

Povodí zařazená do Regionu 6 jsou charakteristická dvojím povodňovým režimem. Nástup zimních povodní, tedy počátek období se zvýšenou pravděpodobností výskytu povodní, odpovídá průměru v povodí českého Labe. První případy se vyskytují v první polovině prosince. Letní povodně se vyskytují zhruba do konce července. Orograficky je tato oblast nejčastěji charakterizována jako hornatina. Návětrnými efekty se zde vytvářejí obdobné situace jako u Regionu 5.

Region 7 – oblast vlivu Žďárských vrchů

Charakteristiky sezonality vykazují prakticky stejné hodnoty jako u Regionu 6. Z hlediska odlišné zeměpisné polohy celého prostoru však bylo třeba definovat tuto oblast jako samostatný region. Rozdíly jsou patrné i v hodnotách některých fyzickogeografických ukazatelů. Region je v průměru výškově nižší, srážkově sušší, méně zalesněný a vykazuje absolutně nejvyšší podíl severně orientovaných svahů (62%). Narozdíl od oblasti pod vlivem pohoří Šumavy zde ve východo-západní orientaci nepatrně převažují západní svahy.

6 ZÁVĚR

V rozdělení četnosti výskytu povodní během roku v Děčíně je patrná výrazná asymetrie. Dlouhodobě největší počet povodňových vln se vyskytuje v březnu, kdy se projevuje jak vliv tání sněhu, tak i narůstající pravděpodobnost výskytu dešťových srážek.

Z hlediska dlouhodobého vývoje sezonálního rozdělení povodňových případů však dochází ke změnám. Byl prokázán postupný úbytek povodňových případů během celého zimního hydrologického pololetí, zvláště pak v období od února do dubna. V letní polovině roku takový pokles ve 150leté řadě patrný není. Spíše naopak, v posledním 50letí byl pozorován nárůst výskytu letních povodňových případů.

U většiny dílčích povodí v prostoru českého Labe se nejvíce povodní vyskytuje v jarních měsících. Sezonalita povodňového režimu se však na jednotlivých tocích může poněkud lišit. Určité odlišnosti ve srovnání s povodňovým režimem v závěrovém profilu povodí českého Labe vykazují např. povodí Vltavy a Berounky. Zde je patrný dvojí sezonální režim, s maximem výskytu extrémních odtoků v březnu a v červenci. Další typ povodňového režimu se vyskytuje na Otavě. Charakteristické je jedno roční maximum četnosti výskytu povodní, které je však vytvářené převážně letními povodněmi.

Příčinné meteorologické vlivy se více či méně liší v závislosti na geografické poloze povodí a období roku. Na vzniku letních povodňových situací se podílejí jiné typy atmosférické cirkulace než v období zimním. V letní polovině roku jsou nejčastější meteorologickou příčinou výskytu povodní situace spojené s jižní složkou proudění vzduchu. Nejčetnějším příčinným typem na většině území povodí českého Labe je cyklóna nad střední Evropou. Výjimku tvoří povodí Otavy, kde se jedná o brázdu nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou. V průběhu zimy se povodně nejčastěji vyskytují v důsledku západního proudění, tedy při situacích Wc a Vfz.

Rovněž časový předstih již zřetelného výskytu fyzikálních symptomů atmosférické cirkulace před výskytem kulminace se liší v závislosti na typu příčinné situace, ročním období jejího výskytu a geografické charakteristice povodí. V letní polovině roku jde zhruba o 1 až 3 dny (mimo povodí Lužnice, kde se zřejmě působením četných rybníků zpožďuje odtoková kulminace a tím i zvyšuje předstih příčinných atmosférických procesů až na 4 až 7 dnů). V zimní části roku se předstih liší v závislosti na velikosti povodí. U menších oblastí jde o 1 až 3 dny, u větších 5 až 7 dnů.

Fyzickogeografické faktory, které spolupůsobí při vzniku povodní byly identifikovány pomocí statických metod. Korelační analýza a výsledky hierarchického shlukování potvrdily těsný vztah mezi charakteristikami sezonality a klimatologickými faktory dlouhodobého ročního úhrnu srážek a průměrné výšky sněhové pokrývky na konci zimy. Z hlediska geografických faktorů byla prokázána úzká vazba nadmořské výšky, podílu zalesněné plochy a procenta severně orientovaných svahů na povodňový režim resp. na určení období zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní.

Vícerozměrnou statistickou analýzou založenou na metodě shlukování nejbližších středů a s přihlédnutím ke geografické poloze jednotlivých dílčích povodí bylo na základě hodnot majoritních faktorů vymezeno v povodí českého Labe sedm hydrologicky homogenních regionů. Jednotlivé regiony se liší v prvé řadě sezonalitou povodňového režimu, která je významně ovlivněna rozložením srážek během roku a táním sněhu. Z hlediska geografických faktorů regiony nejlépe korespondují s oblastmi stejných nadmořských výšek.

Literatura

Bayliss, A.C. and Jones, R.C. (1993): Seasonality of flooding. Peaks-over-threshold flood database: Summary statistics and seasonality. IH Report No. 121, Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 61 pp.

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

Brádka, J. (1968): Typizace v meteorologii. Meteorol.Zpr. 21 (4), ČHMÚ, Praha, s. 122-125.

Burn, D.H. (1997): Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. Journal of Hydrology 202, p. 212-230.

Duckstein, L., Bárdossy, A. and Bogárdi, I. (1993): Linkage between the Occurrence of Daily Atmospheric Circulation Patterns and Floods: an Arizona Case Study. Journal of Hydrology, 143, p. 413-428.

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

HMÚ (1972): Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. HMÚ, Praha, 38 s.

Kakos, V. (1983): Hydrometeorologický rozbor povodní na Vltavě v Praze za období 1873-1982. Meteorol.Zpr. 36 (6), ČHMÚ, Praha, s. 171-181.

Kakos, V. (1985): Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Labe. Meteorol.Zpr. 38 (5), ČHMÚ, Praha, s. 148-151.

Magilligan, F.J. and Graber, B.E. (1996): Hydroclimatological and geomorphic controls on the timing and spatial variability of floods in New England, USA. Journal of Hydrology 178 (1996), p. 159-180.

Mardia, K.V. (1972): Statistics of Directional Data. Academia Press, London, 38 pp.

Meloun, M. a Militký, J. (2002): Kompendium statistického zpracování dat metody a řešené úlohy včetně CD. Academia, Praha, 764 s.

Ouarda, T.B.M.J., Ashkar, F. and El-Jabi, N. (1993): Peaks Over Threshold Model for Seasonal Flood Variations. Engineering Hydrology, USA, p. 341-346.

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

Vavruška, F. (1989): Meteorologické příčiny povodní na Otavě a Lužnici. Meteorol.Zpr., 42 (6), ČHMÚ, Praha, s.111-115.

Autor

Jana Chalušová, Český hydrometeorologický ústav, OHV, Na Šabatce 17, Praha 4 – Komořany, 143 06, Chalusova@chmi.cz

Příloha 1 *Korelační matice charakteristik sezonality a fyzickogeografických faktorů.*

FAKTOR	MD	r	PO	KO	SR	NV	SK	PL	PU	SN 1	SN 15	TER	TEB	L	α	ME	OR	LO	LE	S	J	V	Z
MD	1.00	-0.42	0.29	**0.54**	0.34	0.56	0.17	0.06	0.45	0.44	0.47	-0.44	-0.39	0.06	0.39	-0.24	-0.39	0.28	0.46	0.33	-0.31	0.14	-0.11
r	-0.42	1.00	-0.04	**-0.57**	-0.04	-0.17	0.05	-0.04	-0.25	-0.05	-0.08	0.09	0.06	-0.04	0.04	0.11	0.12	-0.08	-0.16	-0.36	0.36	-0.01	0.05
POČÁTEK OBDOBÍ	**0.29**	-0.04	1.00	0.26	0.55	0.40	0.49	-0.23	0.33	0.53	0.56	-0.27	-0.43	-0.23	0.08	-0.21	-0.35	0.03	0.35	-0.13	0.18	-0.16	0.24
KONEC OBDOBÍ	**0.54**	-0.57	0.26	1.00	0.09	0.28	0.00	0.00	0.21	0.14	0.17	-0.12	-0.08	0.00	0.10	-0.17	-0.08	0.20	0.13	0.57	-0.54	0.05	-0.05
VÝŠKA SRÁŽEK	0.34	-0.04	0.55	0.09	1.00	0.73	0.79	-0.40	0.51	0.96	0.94	-0.68	-0.84	-0.40	0.21	-0.35	-0.66	0.18	0.68	-0.30	0.38	-0.24	0.37
NADM. VÝŠKA	0.56	-0.17	0.40	0.28	0.73	1.00	0.57	-0.06	0.80	0.79	0.79	-0.86	-0.80	-0.06	0.29	-0.50	-0.78	0.59	0.77	0.03	0.05	0.14	-0.03
SKLON	0.17	0.05	0.49	0.00	0.79	0.57	1.00	-0.30	0.23	0.76	0.76	-0.50	-0.62	-0.30	0.04	-0.20	-0.60	0.25	0.54	-0.36	0.48	-0.03	0.24
PLOCHA	0.06	-0.04	-0.23	0.00	-0.40	-0.06	-0.30	1.00	0.03	-0.33	-0.29	0.18	0.36	1.00	0.09	0.21	-0.05	0.12	0.04	0.08	-0.12	0.43	-0.49
PŮDY	0.45	-0.25	0.33	0.21	0.51	0.80	0.23	0.03	1.00	0.52	0.53	-0.71	-0.65	0.03	0.14	-0.42	-0.56	0.47	0.55	0.16	-0.15	0.11	-0.09
SNÍH 1.3.	0.44	-0.05	0.53	0.14	0.96	0.79	0.76	-0.33	0.52	1.00	0.99	-0.72	-0.85	-0.33	0.34	-0.32	-0.71	0.22	0.74	-0.26	0.34	-0.13	0.26
SNÍH 15.3.	0.47	-0.08	0.56	0.17	0.94	0.79	0.76	-0.29	0.53	0.99	1.00	-0.70	-0.83	-0.29	0.35	-0.31	-0.70	0.21	0.73	-0.24	0.31	-0.12	0.24
TEPLOTA ROK	-0.44	0.09	-0.27	-0.12	-0.68	-0.86	-0.50	0.18	-0.71	-0.72	-0.70	1.00	0.91	0.18	-0.29	0.41	0.68	-0.45	-0.71	-0.02	-0.04	-0.08	-0.02
TEPLOTA BŘEZEN	-0.39	0.06	-0.43	-0.08	-0.84	-0.80	-0.62	0.36	-0.65	-0.85	-0.83	0.91	1.00	0.36	-0.28	0.33	0.69	-0.29	-0.71	0.11	-0.18	0.12	-0.23
DÉLKA ÚDOLNICE	0.06	-0.04	-0.23	0.00	-0.40	-0.06	-0.30	1.00	0.03	-0.33	-0.29	0.18	0.36	1.00	0.09	0.21	-0.05	0.12	0.04	0.08	-0.12	0.43	-0.49
TVAR	0.39	0.04	0.08	0.10	0.21	0.29	0.04	0.09	014	0.34	0.35	-0.29	-0.28	0.09	1.00	-0.08	-0.26	0.08	0.34	0.01	-0.04	0.08	-0.12
ZASTAVĚNÉ	-0.24	0.11	-0.21	-0.17	-0.35	-0.50	-0.20	0.21	-0.42	-0.32	-0.31	0.41	0.33	0.21	-0.08	1.00	0.23	-0.30	-0.35	-0.13	0.09	0.01	-0.07
ORNICE	-0.39	0.12	-0.35	-0.08	-0.66	-0.78	-0.60	-0.05	-0.56	-0.71	-0.70	0.68	0.69	-0.05	-0.26	0.23	1.00	-0.55	-0.94	0.24	-0.32	-0.11	-0.03
LOUKY	0.28	-0.08	0.03	0.20	0.18	0.59	0.25	0.12	0.47	0.22	0.21	-0.45	-0.29	0.12	0.08	-0.30	-0.55	1.00	0.41	0.11	-0.07	0.31	-0.26
LESY	0.46	-0.16	0.35	0.13	0.68	0.77	0.54	0.04	0.55	0.74	0.73	-0.71	-0.71	0.04	0.34	-0.35	-0.94	0.41	1.00	-0.20	0.28	0.11	0.02
S	0.33	-0.36	-0.13	0.57	-0.30	0.03	-0.36	0.08	0.16	-0.26	-0.24	-0.02	0.11	0.08	0.01	-0.13	0.24	0.11	-0.20	1.00	-0.97	0.28	-0.32
J	-0.31	0.36	0.18	-0.54	0.38	0.05	0.48	-0.12	-0.15	0.34	0.31	-0.04	-0.18	-0.12	-0.04	0.09	-0.32	-0.07	0.28	-0.97	1.00	-0.22	0.34
V	0.14	-0.01	-0.16	0.05	-0.24	0.14	-0.03	0.43	0.11	-0.13	-0.12	-0.08	0.12	0.43	0.08	0.01	-0.11	0.31	0.11	0.28	-0.22	1.00	-0.94
Z	-0.11	0.05	0.24	-0.05	0.37	-0.03	0.24	-0.49	-0.09	0.26	0.24	-0.02	-0.23	-0.49	-0.12	-0.07	-0.03	-0.26	0.02	-0.32	0.34	-0.94	1.00

Poznámka: Korelační koeficienty statisticky významné na hladině významnosti 0.05 jsou vyznačeny červeně. Tučně zvýrazněn v růžovém poli je vždy nejvýznamnější koeficient pro daný fyzickogeografický faktor (řádek). Druhý nejvýznamnější korelační vztah je označen oranžovým polem. třetí žlutým. Zeleně stínované buňky označují korelační matici hydrologických charakteristik. V každém jejím řádku je tučně zvýrazněna nejvyšší hodnota korelačního koeficientu.