

JANA ŠMÍDOVÁ

**KATEGORIZACE POVODNÍ V POVODÍ OPAVY**

**ŠMÍDOVÁ, J. (2015): Categorization of Floods in the Opava River Basine. Geografie, 120, No. 1, pp. 84–100.** – The paper summarizes our knowledge of the flood regime of the Opava river basin between 1960 and 2010. Emphasis is placed on the categorization of the individual components of the causes of flooding and the development of floods. Analogies were sought among floods based on their causal symptoms and the characteristics of the runoff response. Summer and winter categories of flood waves have been delineated via statistical methods, which characterize common features of floods by cluster analysis and similarity index. Flood episodes have been divided into nine groups (four types of winter- and five types of summer floods) based on the spatial and time distribution of rainfall, which is caused by specific atmospheric circulation and thus influences the development and formation of the flow waves.

**KEY WORDS:** flood – extreme events – the Opava river – categories of flood waves.

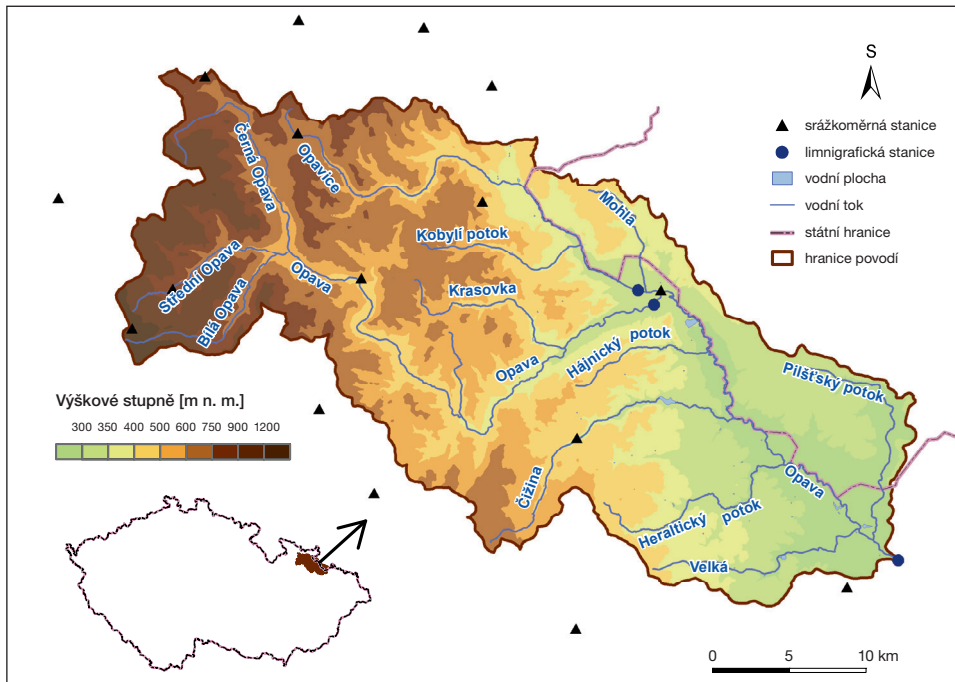
Článek vznikl za podpory Specifického vysokoškolského výzkumu SVV 260078 „Výzkum dynamiky fyzickogeografických procesů“ a Grantové agentury Univerzity Karlovy v Praze GA UK 653712 „Hydrometeorologická analýza silných srážek a povodní v povodí horního Labe“ na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze.

**1. Úvod**

Povodně byly a jsou neoddělitelnou, prostorově i časově nepravidelnou součástí oběhu vody v krajině. Proto je s nimi nutné počítat i v budoucnu a snažit se z každé takové povodňové epizody poučit a získat nové zkušenosti, jak se před jejich ničivými účinky bránit a snižovat povodňové škody.

Problematicke povodní je v posledních letech věnována v Česku stále větší pozornost (např. Brázdil a kol. 2005; Brázdil, Kirchner a kol. 2007; Čekal a kol. 2011). V souvislosti s výskytem katastrofálních povodní, které postihly rozsáhlou část území Česka v červenci 1997, v srpnu 2002, na přelomu března a dubna 2006 či v červnu 2013, vzrostl zájem nejen o preventivní protipovodňová opatření, ale také proběhla řada diskuzí o příčinách vzniku povodní (Hladný a kol. 1998; Strachota a kol. 2003).

Práce zabývající se porovnáním významných povodní ukázaly, že srážko-odtokové epizody mají z hlediska příčin vzniku celou řadu společných znaků (Řezáčová a kol. 2003). Zároveň analýzy povodňového režimu prokázaly (např. Buchtele 1972; Loukas, Vasiliades, Dalezios 2000), že povodně jsou způsobovány omezeným souborem příčin, které se opakují. Tyto výsledky ve svém souhrnu upozorňují na důležitost studia mechanismu vzniku povodní analýzou historických případů a zároveň otevírají možnost využití příčinných symptomů k předpovědi povodní.



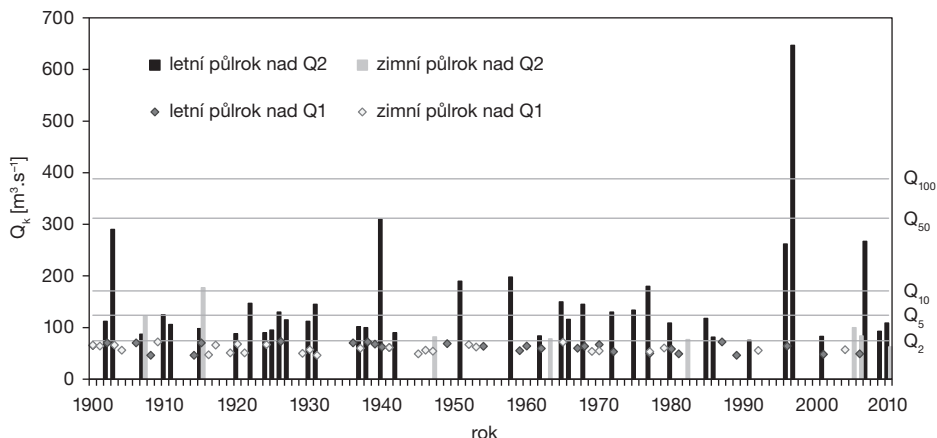
Obr. 1 – Modelové území povodí Opavy po profil Opava (plocha povodí 929,7 km<sup>2</sup>, délka toku 88,3 km)

Metodou předpovědního analogu pro odhad vývoje srážko-odtokových událostí se zabýval Vlasák (2008). Princip této metody spočívá v nalezení analogické povodňové situace z minulosti z hlediska příčin jejího vzniku a předpokládá se, že podobné budou i následky. Povodně jsou proto následně sdružovány do samostatných kategorií, které se co nejvíce přibližují podstatě mechanismu jejich vzniku.

Na základě vývoje příčin vzniku a odtokového utváření povodňových extrémů v konkrétním povodí definovali jednotlivé kategorie povodní např.: Jurgvirtová (2005) v povodí Sázavy, Vlasák (2008) v povodí Otavy a Lužnice, Čekal (2005) v povodí Ohře či Čurda, Janský, Kocum (2011) v povodí Vydry. Aplikace výstupů z těchto prací má však svá omezení, vzhledem k tomu, že každé povodí je svým způsobem specifické jak z hlediska fyzikogeografických podmínek, tak i s ohledem na prostorovou a časovou variabilitu srážek, které vedou ke vzniku povodní.

Pro účely tohoto příspěvku bylo k určení typových skupin povodní vybráno povodí Opavy po limnigrafickou stanici v Opavě (obr. 1). O povodí Opavy existuje řada studií, ze kterých se dají odvodit nepřímě představy o příčinách vzniku a průběhu povodní, např. Kříž, Sochorec, Kříž (1964); Brádka a kol. (1967); Kakos (1974); Koblihová (1989); Řehánek (2005); Munzar, Ondráček (2005); Brázdil, Kirchner a kol. (2007) a Šmídová (2009).

Předkládaný příspěvek se snaží identifikovat nejnebezpečnější příčinné symptomy pro vznik povodní v povodí Opavy, které je možné následně využít



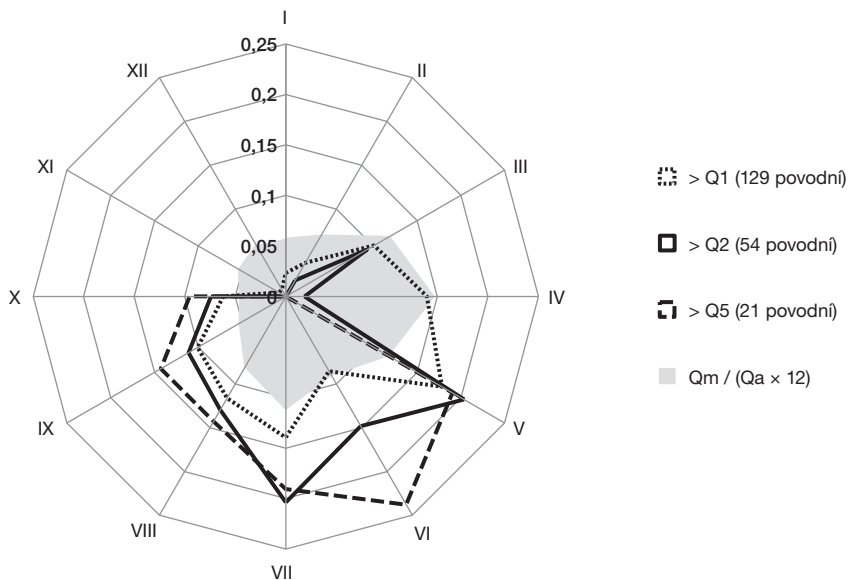
Obr. 2 – Povodně na Opavě v profilu Opava za období 1900–2010 dle kulminačního průtoku a sezónálního výskytu. Zdroj dat: Kříž a kol. (1964), ČHMÚ (2010).

pro odhad odtokové situace. Cílem studie je prozkoumat, zda existují analogy v proběhlých povodňových případech a s užitím těchto podkladů rozčlenit povodně do typových skupin, které se jedna od druhé vzájemně odlišují a uvnitř každé z nich se jednotlivé případy co nejvíce podobají.

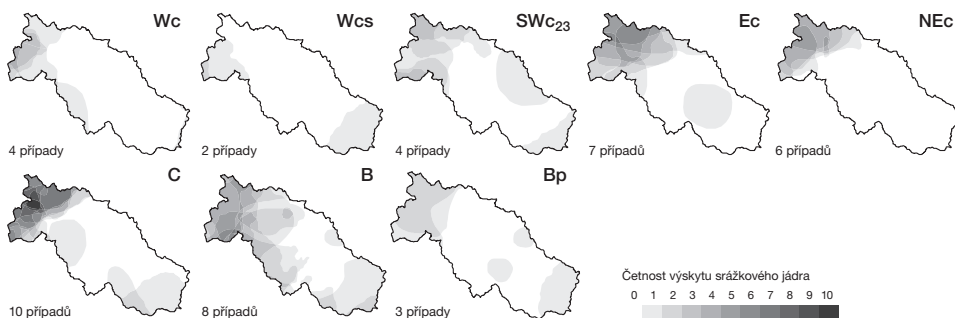
## 2. Povodňový režim Opavy

Povodňové situace, jako neoddelitelná součást oběhu vody v krajině, se vyskytují nepravidelně v čase a prostoru. Přesto rozložení povodní v povodí Opavy se vyznačuje svými specifickými znaky. V povodňovém režimu v povodí Opavy existuje v mnoha aspektech výrazná diferenciacce mezi letním a zimním půlrokiem (obr. 2). Tato odlišnost je kromě různých klimatických charakteristik letního a zimního období zapříčiněna zejména rozdílným vlivem konfigurace reliéfu na prostorové rozložení výskytu dešťových srážek v povodí. Pro povodí Opavy je typická převaha povodní v letním půlroce (květen–říjen). Tato asymetrie se s rostoucí velikostí kulminačního průtoku ještě více prohlubuje. Zimní povodně se v povodí vyskytují jen ojediněle a nedosahují velké extremity (obr. 3).

Velká četnost povodní v letním období je spojena s vydatnými dešti často vázanými na proudění vzduchu ze severního sektoru. Při něm hraje velkou roli specifické orografické uspořádání Hrubého Jeseníku, kde na severovýchodních svazích dochází k výraznému zesilování srážek návětrným efektem. Zimní povodně v povodí Opavy jsou v porovnání s letními případy mnohem mírnější. Na povodně způsobené pouze táním sněhové pokrývky s charakteristickým tvarem a denním vlněním hydrogramu (odrážejícím denní chod teplot) je povodí málo citlivé. Ve většině případů jsou zimní povodně doprovázeny méně vydatnými dešťovými srážkami, které jsou spojeny se západní složkou proudění teplého vzduchu od Atlantiku. Při těchto podmínkách se povodí Opavy nachází v závětrném srážkovém stínu Hrubého Jeseníku, srážky dosahují poměrně malých úhrnů a jejich největší objem často vypadává ve vrcholové části hor,



Obr. 3 – Sezonalita výskytu povodní na Opavě v Opavě za období 1900–2010. Do grafu jsou vyneseny hodnoty relativní četnosti výskytu povodní (0,1) přesahující určitou prahovou hodnotu kulminačního průtoku. Prahový průtok je v případě profilu Opava stanoven pro  $Q_1 = 45,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_2 = 74,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_5 = 124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zdroj dat: Kříž a kol. (1964), ČHMÚ (2010).



Obr. 4 – Poloha srážkových jader s koncentrací 25 % celkového objemu srážek u příčných povětrnostních typů povodní v povodí Opavy v Opavě v období 1960–2010. Zdroj dat: ČHMÚ (2010).

kde obvykle leží i mocnější vrstva sněhové pokrývky, která tyto srážky spíše zadržuje. Rovněž také velká výšková členitost povodí zabraňuje, aby k plnému tání sněhové pokrývky docházelo naráz na jeho celkové ploše.

Klíčovou rolí pro vznik povodňových průtoků v povodí Opavy má i typ příčinné povětrnostní situace (dle Katalogu cirkulačních typů ČHMÚ – Brádka a kol. 1961), který ovlivňuje prostorové rozložení srážek (obr. 4). Letní povodně nejčastěji vznikají při cyklonálních situacích NEc, Ec a C a brázdě nízkého tlaku nad střední Evropou B (přibližně 93 % případů). Srážková jádra vyvolaná

povětrnostními situacemi typu C a NEc bývají plošně malá a leží ve většině případů na úpatí Hrubého Jeseníku, kde představují z hlediska vzniku povodní zdroj největšího nebezpečí (Brádka 1967). Naopak u zimních povodní se povodí Opavy nachází převážně v silném proudění se západní směrovou složkou Wc, Wcs a SWc<sub>2,3</sub>, které přináší do střední Evropy oteplení a srážky v podobě deště. Poloha srážkových jader se oproti letním posouvá blíže k vrcholové části pohoří. Povětrnostní situace NEc a Ec se v zimním období na vzniku povodní nepodílejí, protože v tuto roční dobu při jejich výskytu vypadávají srážky ve formě sněhu.

### 3. Materiál a metody zpracování

#### 3.1. Zdrojová data

Ke kategorizaci povodní byla použita hydrologická data zaznamenávající odtokovou odezvu na Opavě (průtokový hydrogram v hodinovém kroku) v referenčním období 1960–2010. Jako hlavní kritérium pro výběr povodňových epizod byl zvolen kulminační průtok ve stanici Opava dosahující hodnoty alespoň jednoletého průtoku ( $Q_1 = 45,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Tímto způsobem bylo vybráno 48 povodní (32 povodňových případů v letním a 16 epizod v zimním hydrologickém půlroce). Takto vytvořený soubor byl doplněn o meteorologická data popisující stav atmosféry a povodí v předkulminační fázi jednotlivých povodňových případů (cirkulační podmínky, srážkové charakteristiky a pro zimní půlrok i údaje o teplotě vzduchu a výšce sněhové pokrývky). Primární data v podobě naměřených hodnot ze stanic byla poskytnuta z databáze ČHMÚ.

K hodnocení atmosférické cirkulace byl použit Katalog cirkulačních typů ČHMÚ (Brádka a kol. 1961), který popisuje celkem 28 typizovaných situací. Nasycenost území, která ovlivňuje reakci povodí na spadlé srážky a průběh odtoku, byla hodnocena ukazatelem předcházejících srážek (Hladný 1962). Bodová měření meteorologických údajů byla převedena v prostředí GIS pomocí interpolačních metod na průměrné hodnoty vztahující se na plochu povodí (Šercl 2008). Prostorové rozložení srážek bylo charakterizováno pomocí plošně vymezené polohy srážkového jádra, a to jako nejmenší možná územní oblast, na kterou se koncentrovalo 25 % celkového objemu spadlých dvoudenních srážek (Vlasák 2008). Srovnání povodňových vln bylo provedeno překrytím jejich hodinových hydrogramů podle vertikální osy umístěné ve vrcholu povodňové vlny. Z průtokových vln byly následně určeny charakteristiky jako kulminační průtok, objem vlny či velikost průtoku v patě vlny. K identifikaci jednotlivých dnů během povodňové události byl použit obvyklý způsob, kdy je den výskytu kulminace povodně označován jako DD, dny, které mu předcházely, jsou symbolizovány jako D–1, D–2, ..., D–5 a dny, které následovaly po kulminaci jako D+1 a D+2.

#### 3.2. Použité metody

K vytvoření vhodných kategorií povodňových situací byla vedle klasické korelační techniky z metod vícerozměrné statistické analýzy dat využita metoda

hierarchického shlukování, které předcházela faktorová analýza (Hendl 2009). Jako další přístup pro kategorizaci povodní byla zvolena analýza podobnosti povodňových případů (index podobnosti) podle Vlasáka (2008).

### 3.2.1. Výběr parametrů povodňového režimu

Důležitým krokem k vytvoření typizace povodní bylo určit z většího souboru subjektivně vybraných prvků ty parametry, které by nejlépe charakterizovaly výsledné skupiny povodní a které by bylo zároveň možné hodnotit statistickými metodami. Pomocí korelačních koeficientů a vícerozměrné analýzy shluků byla ověřena fyzikální podstata vztahů mezi jednotlivými proměnnými a byly vybrány jen ty parametry, které relativně nejlépe reprezentují srážko-odtokový proces.

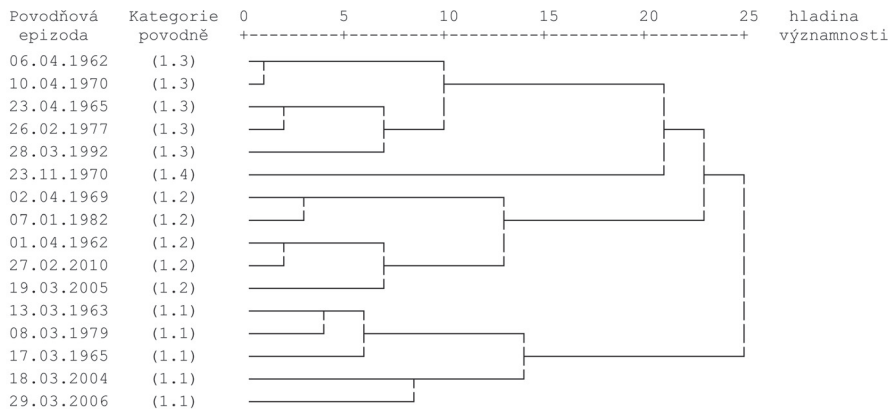
Výsledné proměnné byly vybrány tak, aby přibližně charakterizovaly tři základní symptomy ovlivňující vznik srážko-odtokových událostí (sezónální výskyt, počáteční podmínky v povodí a příčinné meteorologické podmínky povodně), a také samotný průběh vyvolaných povodňových vln v Opavě. Vybrané parametry jsou odlišné pro zimní a letní půlrok, což dokazuje, že na vzniku zimních a letních povodní se podílejí jiné mechanismy.

### 3.2.2. Shluková analýza

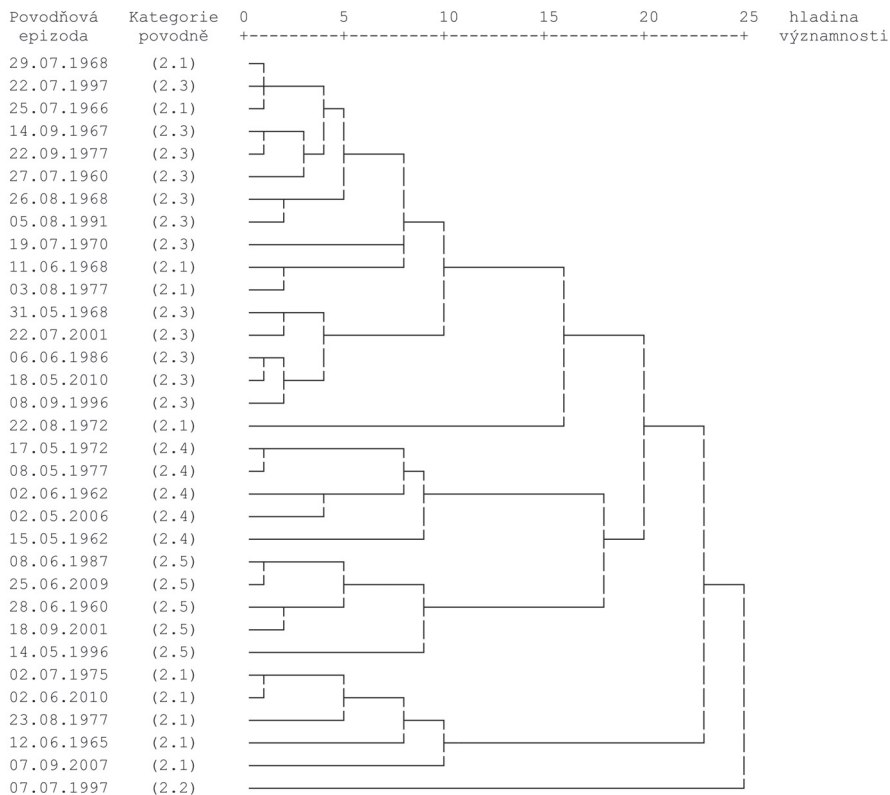
Rozdělení epizod dle typů příčinných podmínek a charakteristik odtokové odezvy bylo provedeno pomocí metod vícerozměrné analýzy dat zvláště pro letní a zimní půlrok. Dříve než bylo přistoupeno k aplikaci shlukové analýzy, byla využita faktorová analýza. Pomocí této analýzy byla určena váha faktorů (vyjádřena prostřednictvím vstupních proměnných), které mají podstatný vliv na hydrometeorologický vývoj povodňových situací v povodí Opavy. Do analýzy vstupoval soubor 12 klimatologických a hydrologických charakteristik srážko-odtokových událostí.

Pro faktorovou analýzu, která předcházela shlukové analýze, byly mezi proměnné z charakteristik odtokové odezvy vybrány kulminační průtok, objem průtokové vlny a také počet vrcholů vlny. Dále byla použita doba, která zhruba charakterizuje koncentraci odtoku, vyjádřená jako vzdálenost těžiště hyetrogramu od kulminace vlny. Z charakteristik příčinných meteorologických podmínek byly zvoleny proměnné vyjadřující úhrn a rozložení srážek – dvoudenní příčinná srážka, prostorové rozložení srážkového jádra na povodí a synoptická situace. Dále byly zahrnuty počáteční podmínky povodí (reprezentují stav povodí před vypadáváním příčinné srážky), které jsou charakterizovány ukazatelem předchozích srážek a průtokem v patě povodňové vlny. Sezonality výskytu povodní byla vyjádřena pořadovým číslem dne v hydrologickém roce, během něhož byl dosažen kulminační průtok. Zimní epizody byly doplněny o další příčinné podmínky – tání sněhové pokrývky a nárůst teploty oproti předcházející.

Hlavním kritériem pro určení počtu faktorů byla hodnota „kumulované variability“ cca 80 % a nejnižší hodnota tzv. charakteristického čísla faktorů 1. Ukázalo se, že těmto zadávacím podmínkám vyhovují čtyři faktory, a to jak



**Obr. 5 – Dendrogram zimních povodní včetně výsledných kategorií povodní. (1.1) – jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu, (1.2) – zimní a jarní smíšené povodně, (1.3) – jarní a zimní povodně s převážujícím vlivem dešťových srážek, (1.4) – podzemní dešťové povodně.**



**Obr. 6 – Dendrogram letních povodní včetně výsledných kategorií povodní. (2.1) – velké letní povodně s orografickým zesílením srážek, (2.2) – povodeň z července 1997, (2.3) – letní povodně s orografickým zesílením srážek, (2.4) – letní povodně bez orografického zesílení srážek, (2.5) – letní povodně z konvenčních bouří.**

pro letní, tak i zimní půlrok. Na tyto faktory byla uplatněna shluková analýza. K vytvoření dendrogramů bylo použito dvou rozlišovacích způsobů zjišťování vzdálenosti a těsnosti proložení mezi objekty – metoda nejvzdálenějšího souseda a Euklidovská vzdálenost. Pro kategorizaci povodní byla stanovena vzdálenost spojení na hladině 15, na které se daly vyčlenit skupiny zimních a letních povodní (obr. 5 a 6).

### 3.2.3. Index podobnosti

Další metoda, která byla aplikována na soubor povodňových událostí, byla analýza podobnosti povodní (Vlasák 2008). Metoda je založena na relativně jednoduchém porovnání parametrů, které charakterizují povodňovou událost. Pro každou zpracovávanou srážko-odtokovou charakteristiku se stanovil index podobnosti (*IP*), který ukazuje míru podobnosti mezi proměnnými dvou porovnávaných povodní. Index je vyjádřený pomocí vztahu  $IP = |(A-B)/((A+B)/2)|$ , kde *A* a *B* jsou dané charakteristiky pro porovnávané povodně *A* a *B*. Hodnoty indexu podobnosti se pohybují v rozmezí 0 (dva naprosto shodné prvky) a 2 (jeden prvek nabývá hodnoty blízké se 0 – odlišné prvky). Za předpokladu, že se povodně budou alespoň přibližně shodovat uvažovanými vstupními parametry, lze je uznat za analog a při kategorizaci povodní je pak zařadit do stejné typové skupiny.

Index podobnosti byl vypočten pro parametry, které charakterizují povodeň z hlediska povodňového nebezpečí, tedy její extremity – kulminační průtok a objem povodňové vlny. Z příčinných podmínek byl zahrnut ukazatel předchozích srážek k prvnímu dni s příčinou srážkou, maximální dvoudenní úhrn srážek a jejich prostorové rozložení v povodí, které vykazuje ve většině případů souvislost s příčinnou povětrnostní situací. Do výběru nebyl zahrnut tvar průtokových vln, který však určitým způsobem implicitně naznačují meteorologické příčiny povodní a je částečně popsán také pomocí pozorovaného kulminačního průtoku a objemu vlny.

## 4. Výsledky

### 4.1. Kategorizace povodňové odezvy v povodí Opavy

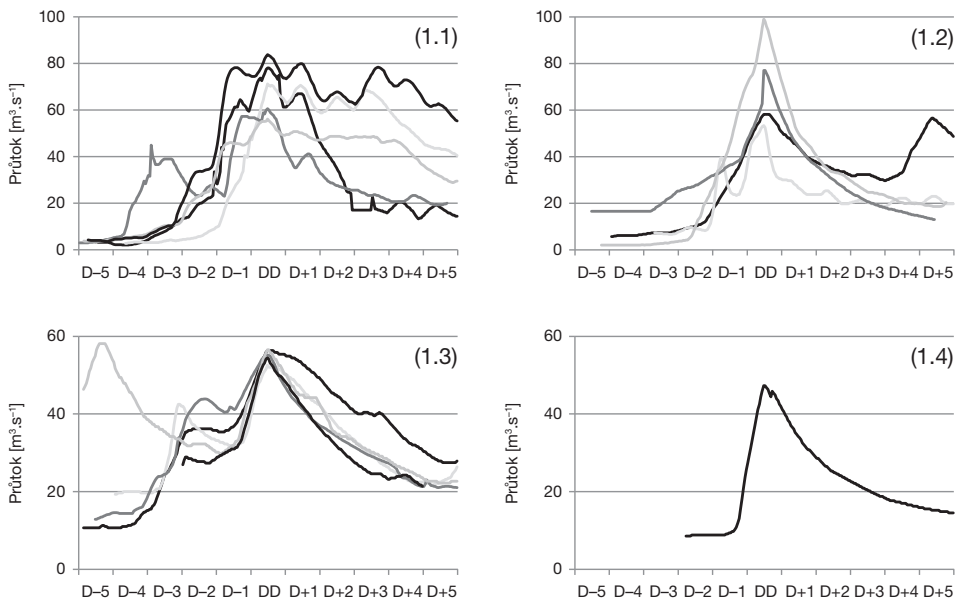
Výsledné kategorie povodní vznikly syntézou dosažených výsledků shlukovou analýzou (obr. 5 a 6) a pomocí indexu podobnosti. K vizuálnímu porovnání povodní byly použity poznatky o povodňovém režimu v povodí Opavy (Šmídová 2009). Ty ukazují, že sezonní výskyt povodní na Opavě je spojen s určitým typem příčinné povětrnostní situace s typickým rozložením srážek, které pak ovlivňují i následný průběh a tvar povodňové vlny. Proto byly kategorie povodní vytvořeny tak, aby se mezi sebou podobaly především příčinnými symptomy, které vedly k jejich genezi. Na základě výsledků shlukové analýzy a analýzy indexu podobnosti byly celkem vymezeny čtyři typy zimních (jarních) a pět skupin letních povodní.



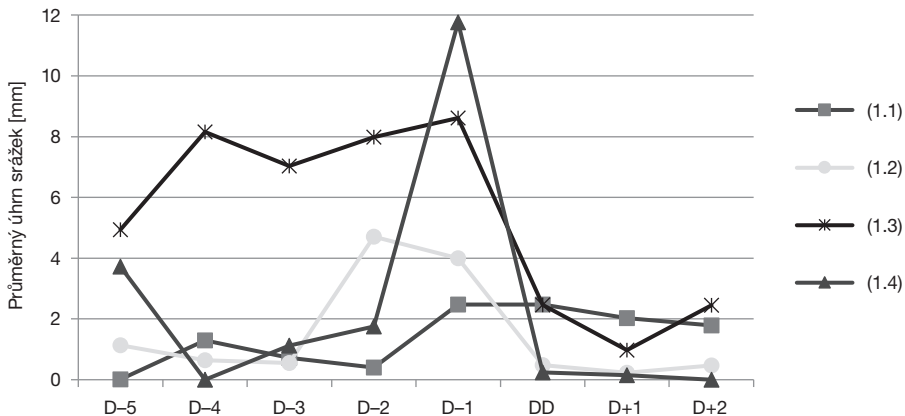
#### 4.1.1. Kategorizace zimních povodní

Zimní povodně v povodí Opavy jsou v porovnání s letními případy mnohem mírnější z důvodů, o kterých je pojednáno v kapitole 2. U kategorizace zimních povodní je převzato rozdělení vytvořené shlukovou analýzou (obr. 5), kde jsou jednotlivé povodňové případy sdružovány podle jejich příčin vzniku do samostatných typů (dešťové, sněhové anebo smíšené povodně). Skupiny povodní byly následně konfrontovány s metodou indexu podobnosti a vizuálně zkontrolovány na základě znaků jednotlivých průtokových případů. Průběh jednotlivých typů zimních povodňových vln je znázorněn na obrázku 7. Porovnání příčných srážek a trajektorií středů řídicích tlakových níží jednotlivých typů povodňových vln ukazují obrázek 8 a obrázek 9.

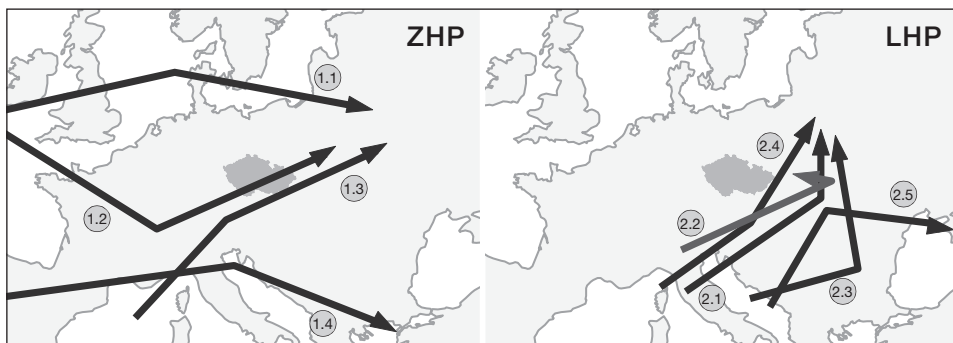
(1.1) *Jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu:* Tání sněhu se v případě těchto povodní podílelo na vzniku odtoku rozhodujícím způsobem. Typickým rysem kategorie je specifický tvar povodňové vlny obvykle s více vrcholy. Na vzestupné i poklesové větvi vlny je patrný denní chod teploty s různě intenzivním táním sněhové pokrývky. Vlny se vyznačují značným objemem a mírně klesající větví, což je způsobeno především kladnými teplotami i v pokulminační fázi. Přestože tyto povodňové vlny nedosahují ve vrcholu velkých průtokových hodnot, patří relativně ze všech zimních povodní v povodí Opavy k těm nejnebezpečnějším, a to především následkem svého poměrně dlouhého povodňového účinku.



Obr. 7 – Průběh jednotlivých typů zimních povodňových vln. (1.1) – jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu, (1.2) – zimní a jarní smíšené povodně, (1.3) – jarní a zimní povodně s převažujícím vlivem dešťových srážek, (1.4) – podzemní dešťové povodně. Zdroj dat: ČHMÚ (2010).



Obr. 8 – Rozložení průměrných denních srážek u jednotlivých typů zimních povodňových vln. (1.1) – jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu, (1.2) – zimní a jarní smíšené povodně, (1.3) – jarní a zimní povodně s převládajícím vlivem dešťových srážek, (1.4) – podzimní dešťové povodně. Zdroj dat: ČHMÚ (2010).



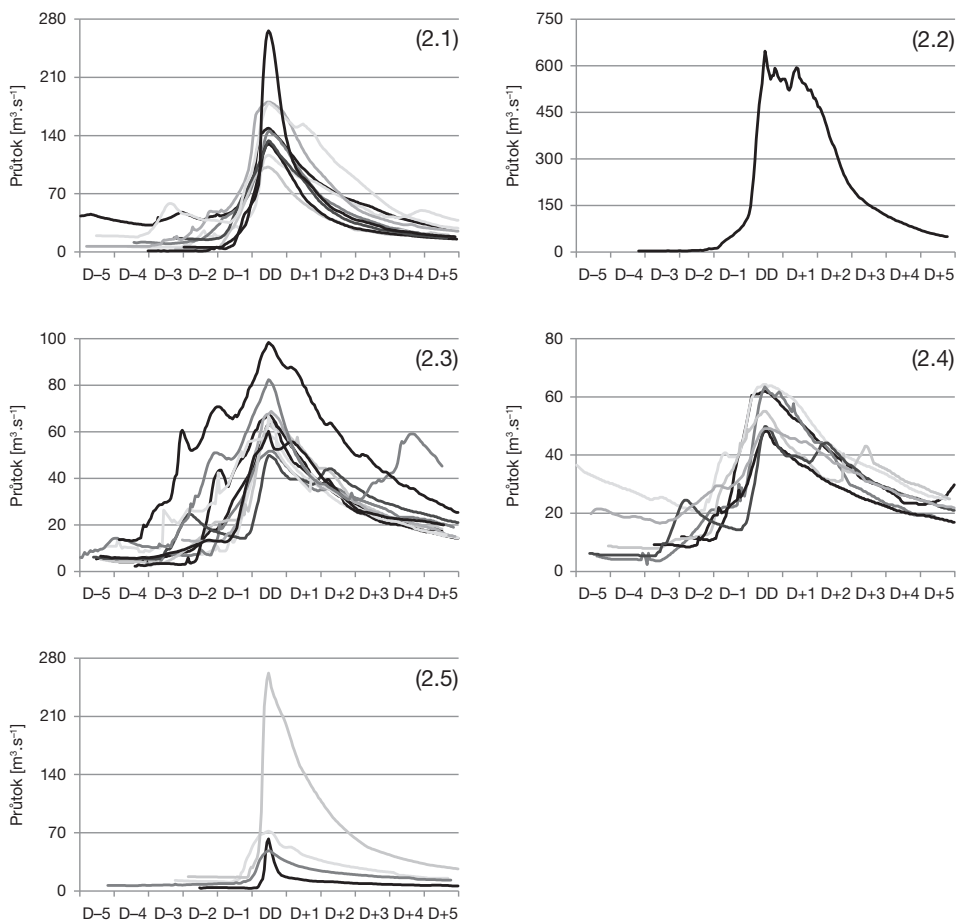
Obr. 9 – Koridory postupu středů tlakových níží u zimních (ZHP) a letních (LHP) povodňových vln ve dnech povodňové události D-2 až DD. Kategorie zimních povodňových vln: (1.1) – jarní povodně s výrazným podílem tání sněhu, (1.2) – zimní a jarní smíšené povodně, (1.3) – jarní a zimní povodně s převládajícím vlivem dešťových srážek, (1.4) – podzimní dešťové povodně. Kategorie letních povodňových vln: (2.1) – velké letní povodně s orografickým zesílením srážek, (2.2) – povodeň z července 1997, (2.3) – letní povodně s orografickým zesílením srážek, (2.4) – letní povodně bez orografického zesílení srážek, (2.5) – letní povodně z konvenčních bouří. Zdroj dat: ČHMÚ (2010), Wetterzentrale (2010).

(1.2) *Zimní a jarní smíšené povodně*: Tyto povodně jsou zapříčiněny kombinací dešťových srážek a táním sněhové pokrývky. Příčinným synoptickým typem jsou u této skupiny povodní západní cyklonální situace. Společným znakem povodní je koncentrace jádra spadlých příčných srážek do vrcholové oblasti Hrubého Jeseníku, kde obvykle v tuto dobu ještě leží relativně vysoká sněhová pokrývka a k tání sněhové pokrývky dochází pozvolna. Vlny se vyznačují jednodušším tvarem povodňového hydrogramu.

(1.3) *Jarní a zimní povodně s převládajícím vlivem dešťových srážek*: Jde o povodně s dominantním vlivem dešťových srážek. Přesto vliv tání sněhové

pokrývky nemůže být úplně vyloučen. Důvodem je skutečnost, že voda z tajícího sněhu obvykle nasatí povodí, což má za následek, že i relativně menší dešťové srážky v jarním období (březen–duben) mohou pak vyvolat vznik povodně. Rozložení srážkového jádra je u těchto epizod nerovnoměrné. Společným rysem všech povodní je podružné maximum na vzestupné větvi povodňového hydrogramu, které souvisí s chodem srážek a teplot v předkulminační fázi.

(1.4) *Podzimní dešťové povodně*: Do této kategorie byla zařazena pouze jediná povodeň z listopadu, která je z hlediska sezonního výskytu výjimečnou povodní v této oblasti. Srážkové jádro bylo situováno do pramenné oblasti, s lokálním výskytem ve střední části povodí, což naznačuje, že srážky mohly být spojeny s konvekční oblačností. Povodňová vlna měla jednoduchý tvar s rychlým vzestupem povodňových průtoků.



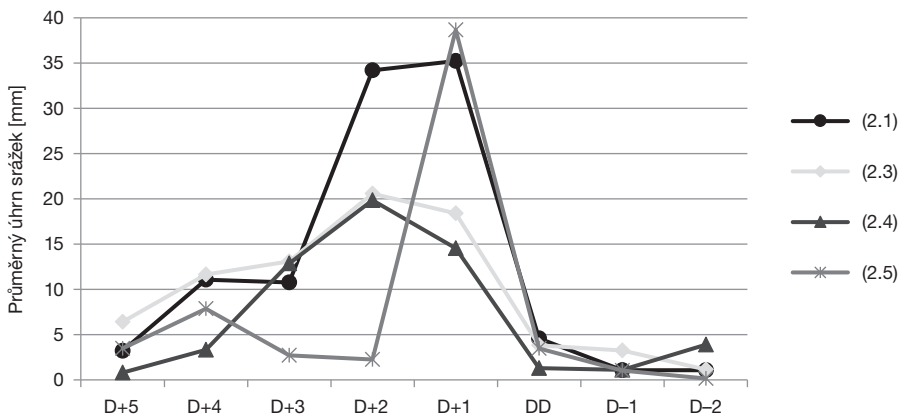
Obr. 10 – Průběh jednotlivých typů letních povodňových vln. (2.1) – velké letní povodně s orografickým zesílením srážek, (2.2) – povodeň z července 1997, (2.3) – letní povodně s orografickým zesílením srážek, (2.4) – letní povodně bez orografického zesílení srážek, (2.5) – letní povodně z konvenčních bouří. Zdroj dat: ČHMÚ (2010).

#### 4.1.2. Kategorizace letních povodní

Kategorizace letních povodní pomocí shlukové analýzy neposkytla tak jasné výsledky jako v případě zimních povodní, aby ji bylo možné beze změny přijmout. Vytvořené shluky byly proto porovnány s indexy podobnosti a upraveny tak, aby se jednotlivé povodně v rámci jedné skupiny co nejvíce podobaly, a to na základě sezonního výskytu, počátečních podmínek v povodí a příčinných meteorologických podmínkách povodně. Průběh jednotlivých typů letních povodňových vln je znázorněn na obrázku 10. Porovnání příčinných srážek a trajektorií středů řídicích tlakových níží jednotlivých typů povodňových vln ukazují obrázky 11 a 9.

(2.1) *Velké letní povodně s orografickým zesílením srážek*: Do této kategorie byly zařazeny povodně s kulminačním průtokem přesahující hodnotu  $102 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na Opavě v Opavě (třetí stupeň povodňové aktivity). Výskyt povodní je vázán na nejteplejší část roku (červen – začátek září). Společným znakem povodní je rozložení srážek s výrazným orografickým zesílením srážkové činnosti na úpatí Hrubého Jeseníku. Vznik srážek je nejčastěji vázán na východní až severovýchodní atmosférické proudění spojené s výskytem příčinných povětrnostních situací typu NEC, Ec a C. Jádru příčinných srážek bývá situováno do širšího okolí Rejvízu, kde také srážky dosahují zpravidla nejvyšších úhrnů. Jádra srážek bývají relativně malá. Doba trvání těchto povodní bývá většinou kratší s rychlým nárůstem i následným poklesem průtoků.

(2.2) *Povodeň z července 1997*: Tato povodeň patří k povodním označeným jako (2.1) velké letní povodně s orografickým zesílením srážek na úpatí Hrubého Jeseníku, ale v rámci této kategorie dosahuje mimořádně velké kulminace, a proto byla ze studijního hlediska zařazena do samostatné skupiny. Lze ji označit za největší přírodní katastrofu v minulém století v povodí Opavy. Podrobný popis této povodně je uveden např. Hladný a kol. (1998); Matějčiček, Hladný (1999); Řehánek (2002).



Obr. 11 – Rozložení průměrných denních srážek u jednotlivých typů letních povodňových vln. (2.1) – velké letní povodně s orografickým zesílením srážek, (2.3) – letní povodně s orografickým zesílením srážek, (2.4) – letní povodně bez orografického zesílení srážek, (2.5) – letní povodně z konvenčních bouří. Zdroj dat: ČHMÚ (2010).

(2.3) *Letní povodně s orografickým zesílením srážek*: Povodně zařazené do této skupiny jsou podobné povodním první kategorie (2.1), kdy dochází k orografickému zesílení srážek při severovýchodním až východním proudění na svazích Hrubého Jeseníku, ale nedosahují takové extremity, poloha srážkových jader je více diferencována a průběh povodňových vln bývá často složitější. Ve většině případů se jedná o složené povodňové vlny s alespoň dvěma vrcholy, které souvisejí s chodem srážek.

(2.4) *Letní povodně bez orografického zesílení srážek*: Společným znakem povodní je příčinná povětrnostní situace (brázda nízkého tlaku – B), která měla u analyzovaných povodní hlavní vliv na rozložení srážek v povodí. Rozložení srážkového jádra je velmi rozmanité v rámci celého povodí. V horských oblastech srážky nedosahují nejvyšších úhrnů a postupové doby povodňových vln bývají často kratší (v závislosti na poloze srážkového jádra v povodí). Povodňové vlny se vyznačují relativně větším průtokem v patě vlny, což souvisí s vysokou nasyceností povodí, a pozvolnější poklesovou větví. Srážková činnost pokračuje i v pokulminační fázi a dochází k poměrně pomalému poklesu průtoků.

(2.5) *Letní povodně z konvekčních bouří*: Letní povodně z krátkodobých přívalových srážek často zasahují pouze jedno nebo několik dílčích povodí Opavy. Přesto, v ojedinělých případech mohou postihovat i plošně rozsáhlejší území (např. povodeň z května 1996). Povodňové vlny u těchto povodní vykazují rychlý vzestup průtoků, stejně tak i jejich rychlý pokles a proto objemy povodňových vln jsou ve vztahu k velikosti kulminace poměrně malé.

## 5. Souhrn poznatků

Příspěvek přináší a shrnuje původní analýzy a poznatky o povodňovém režimu povodí Opavy v období 1960–2010. Pozornost byla především soustředěna na identifikaci nejnebezpečnějších příčinných symptomů vzniku povodní, které je možné následně využít pro odhad odtokové situace. Na základě analýzy příčin vzniku a odtokového utváření povodňových extrémů byla navržena kategorizace povodňových situací.

Ve sledovaném období byly rozvedeny a potvrzeny základní poznatky o povodňovém režimu povodí Opavy publikované Brádkou (1967). Specifickými projevy srážko-odtokového procesu v tomto povodí je zvýšená četnost povodní v letním období (květen až září s maximem v červenci). Ojedinělý výskyt extrémních povodní však není možné vyloučit ani v ostatních měsících. Zimní povodně se v povodí vyskytují jen ojediněle a nedosahují velké extremity. Na vzniku letních povodní se podílejí jiné mechanismy vzniku než na zimní povodně.

V letním půlroce vznikají povodně nejčastěji při cyklonálních situacích typu NEc, Ec a C a brázdě nízkého tlaku. Při proudění ze severního kvadrantu hraje velkou roli specifické orografické uspořádání Hrubého Jeseníku, kde dochází k výraznému zesílení srážek návětrným efektem. Srážková jádra vyvolaná povětrnostními situacemi typu C a NEc bývají malá a jsou koncentrována do oblasti Hrubého Jeseníku. U zimních povodní se povodí Opavy nachází převážně v proudění se západní směrovou složkou (Wc, Wcs a SWc<sub>2,3</sub>). Při těchto situacích leží povodí Opavy ve srážkovém stínu Hrubého Jeseníku a k tání

sněhové pokrývky tak dochází jen za malého přispívání srážek. Proto k výskytu povodní v této části roku dochází jen ojediněle.

Mezi nejvýznamnější symptomy ovlivňující vznik srážko-odtokových událostí patří ukazatel sezonality, počáteční podmínky v povodí jako je nasycenost povodí a příčinné meteorologické podmínky povodně (např. synoptická situace, příčinná srážka, prostorové rozložení srážek či u zimních povodní oteplení a úbytek sněhové pokrývky). Přesto srážko-odtokový proces v krajině je mnohem složitější, než jak byl popsán pomocí proměnných při kategorizace povodňových epizod.

Kategorizaci povodňových vln byly vymezeny čtyři zimní a pět letních skupinových typů povodní, které se co nejvíce podobají na základě společných znaků. Zimní povodně byly rozděleny podle jejich příčin vzniku na dešťové, sněhové anebo smíšené povodně. Letní povodňové epizody byly sdruženy podle charakteru příčinné srážky (srážky z konvekční či vrstevnaté oblačnosti) a vlivu orografie, resp. směru převládajícího proudění. V rámci jednotlivých skupin byly popsány společné znaky mechanismu vzniku srážko-odtokových situací. Tyto informace pak mohou posloužit jako užitečný podklad pro moderní potřeby systémového plánování protipovodňových opatření v povodí Opavy.

*Poděkování patří Ing. Josefu Hladnému, CSc. za jeho cenné rady a připomínky.*

### Literatura:

- BRÁDKA, J. (1967): Meteorologické příčiny povodní ve Slezsku. Meteorologické zprávy, 20, č. 2, s. 3–9.
- BRÁDKA, J., DŘEVIKOVSKÝ, A., GREGOR, Z., KOLESÁR, J. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. HMÚ, Praha, 31 s.
- BRÁZDIL, R. a kol. (2005): Historické a současné povodně v České republice – Historie počasí a podnebí v českých zemích VII. Masarykova univerzita, ČHMÚ, Brno, Praha, 370 s.
- BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K. a kol. (2007): Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita, Český hydrometeorologický ústav, Ústav geoniky AV ČR, Brno, Praha, Ostrava, 432 s.
- BUCHTELE, J. (1972): Kategorizace povodňového režimu na tocích Vltavské kaskády. Sborník prací hydrometeorologického ústavu, sv. 18, HMÚ, Praha, s. 64–139.
- ČEKAL, R. (2005): Hydrosynoptická analýza povodňových situací v povodí horní Ohře. Disertační práce, KFGG PřF UK, Praha, 220 s.
- ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. Geografie, 116, č. 3, s. 335–353.
- ČEKAL, R., DAÑHELKA, J., ŠERCL, P., ŠTĚRBOVÁ, K., VLASÁK, T. (2011): Průvodce informacemi pro povodňové orgány. ČHMÚ, Praha, 32 s.
- HENDL, J. (2009): Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat. Portál, Praha, 696 s.
- HLADNÝ, J. (1962): Některé poznámky k problematice parametrů srážko-odtokových vztahů. In: Sborník mezinárodní hydrologické konference Slovenské akademie věd a Ústavu hydrologie a hydrauliky, Bratislava, s. 20-1 až 20-11.
- HLADNÝ, J., BLAŽEK, V., DVOŘÁK, V., KUBÁT, J., ŠVIHLA, V. (1998): Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Suhrnná zpráva projektu. MŽP, Praha, 163 s.
- KAKOS, V. (1974): Možnosti hydrometeorologických předpovědí havarijních odtokových situací. Sborník prací hydrometeorologického ústavu, sv. 21, HMÚ, Praha, s. 55–85.
- KOBLIHOVÁ, E. (1989): Možnosti využití hydrosynoptických vztahů pro předpověď povodní na Odře v Bohumíně. Meteorologické zprávy, 42, č. 6, s. 168–172.

- KŘÍŽ, V., SOCHOREC, R., KŘÍŽ, H. (1964): Opakování velkých vod v povodí Odry. Sborník prací hydrometeorologického ústavu, sv. 5, HMÚ, Praha, 132 s.
- LOUKAS, L., VASILIADES, L., DALEZIOS, R. N. (2000): Flood producing mechanisms identification in southern British Columbia, Canada. *Journal of hydrology*, 227, s. 218–235.
- JURGVIRTOVÁ, E. (2005): Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Sázavy. Magisterská práce, KFGG PřF UK, Praha, 118 s.
- MATĚJÍČEK, J., HLADNÝ, J. (1999): Povodňová katastrofa 20. století na území České republiky. MŽP, Praha, 60 s.
- MUNZAR, J., ONDRÁČEK, S. (2005): Velké povodně na Odře v 19. a počátkem 20. století a jejich impakty. *Hydrologické dny 2005*, ČHMÚ, Praha, s. 564–569.
- STRACHOTA, J., SANDEV, M., KVĚTOŇ, V., JOVANOVIČ, P. (2003): Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002, 1. etapa. ČHMÚ, Praha, 163 s.
- ŠMÍDOVÁ, J. (2009): Analýza mechanismu vzniku povodní v povodí Opavy po profil Opava. Magisterská práce, KFGG PřF UK, Praha, 115 s.
- ŘEHÁNEK, T. (2002): Povodeň na řece Odře v červenci 1997. Práce a studie, sešit 31, ČHMÚ, Praha, 41 s.
- ŘEHÁNEK, T. (2005): Analýza významných povodní v povodí Odry. *Hydrologické dny 2005*, ČHMÚ, Praha, s. 578–584.
- ŘEZÁČOVÁ a kol. (2003): Posouzení hydrometeorologických podmínek vzniku významných letních povodní na území ČR na základě porovnání situace ze srpna 2002 s vybranými srážkovými epizodami a extrémními podmínkami. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Praha, 79 s.
- ŠERCL, P. (2008): Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické Zprávy*, 61, č. 2, s 33–43.
- VLASÁK, T. (2008): Návrh databanky povodní Otavy a její využití v protipovodňové ochraně. Disertační práce, KFGG PřF UK, Praha, 98 s.

Datové zdroje:

- ČHMÚ (2010). Databáze hydrologických a srážkových dat v povodí Opavy po profil Opava.
- Wetterzentrale (2010): Snímky přízemního a výškového tlakového pole, [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de) (5. 11. 2010).

## S u m m a r y

### CATEGORIZATION OF FLOODS IN THE OPAVA RIVER BASINE

Among the natural disasters occurring in Czechia, floods represent the greatest direct threat. At present, the main task of the scientist who deals with this phenomenon is to provide information that can be used for prevention and to reduce the damage caused by flooding. The basis for this is therefore an analysis of as many past cases as possible in order to clarify the mechanism of how floods arise according to their individual causal components.

The paper deals with the study of the characteristic features of the flood regimes based on the cases observed at the Opava river basin between 1960 and 2010. Primary attention was paid to the identification of the causal symptoms of floods, and the retrieval of information that can be used to estimate the runoff situation. Analogies were sought among floods based on the analysis of their causes and runoff configuration of flood extremes.

The analyses carried out on the set of floods from the past 50 years showed that different causes are responsible for flooding in summer and in winter. The season of the years, the initial conditions in the river basin and the causal meteorological conditions of flooding belong among the most significant symptoms of rainfall-runoff events. The type of weather situation, influenced by the spatial distribution of rainfall, plays a key role in the development of flood flow rate in the Opava river basin. Floods are most common (cca 90% of cases) during the summer half-year in cyclone situations (NEc, Ec and C) and in trenches of low pressure (B). The development of cyclone situations during major summer floods is usually linked to advancement along the Vb track. The greatest rainfall aggregates are found in the

Hrubý Jeseník area, where their orographic intensification occurs. Winter floods are most commonly connected to Wc, Wcs and SWC<sub>2,3</sub> type synoptic situations, which are linked to the advancement of depressions of air pressure from the West to the North of Czechia. There are low rainfall aggregates during these situations. Other winter flood episodes occur in connection with circulatory types with southern flow component (C, B and Bp). Winter floods are rare in the Opava river basin and usually do not reach extreme measures.

Individual cases of floods were categorized according to the types of causal conditions and the characteristics of the runoff response using methods of multidimensional statistical data analyses, and by their similarity index. Flood episodes have been divided based on the spatial and time distribution of rainfall, which is caused by specific atmospheric circulation and thus influences the development and formation of the flow waves. In this manner, four types of winter- and five types of summer floods were determined. Common characteristics in the occurrence of rainfall-runoff situations were described for individual groups which can be used as an effective basis for the needs of modern flood prevention measures in the Opava river basin and for hydrological forecasts and warning services.

- Fig. 1 – Model territory of the Opava river basin, profile Opava (area of river basin 929.7 km<sup>2</sup>, length of flow 88.3 km). In legend from top, weather station, limnographic station, water area, water stream, state border, basin border. Altitude (m a.s.l.).
- Fig. 2 – Development of flooding on the Opava in Opava for the period 1900 to 2010 according to the cumulative flow rate and seasonal incidence. In legend from left – summer discharge, right – winter discharge. Source: Kříž et al. (1964), CHMI (2010).
- Fig. 3 – Seasonality of flood incidence on the Opava in Opava for the period 1900 to 2010. The values of the relative frequency of flooding (0.1) exceeding a certain threshold value of cumulative flow rate are included in the graph. The threshold flow rate in set for  $Q_1 = 45,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_2 = 74,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_5 = 124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  in the case of the Opava profile. Source: Kříž et al. (1964), CHMI (2010).
- Fig. 4 – The position of rainfall centres with concentration of 25% of the total volume of rainfall for causal weather types of flooding in the Opava river basin in the period 1960–2010. In legend: frequency of the occurrence of the rainfall centre. Source: CHMI (2010).
- Fig. 5 – Dendrogram of winter floods, including resultant flood categories. (1.1) – spring floods with significant rates of snow melting, (1.2) – winter and spring mixed floods, (1.3) – spring and winter floods with significant rates of rainfall, (1.4) – autumn rain floods.
- Fig. 6 – Dendrogram of summer floods, including resultant flood categories. (2.1) – great summer floods with an orographic emphasis on rainfall, (2.2) – July 1997 flood, (2.3) – summer floods with an orographic emphasis on rainfall, (2.4) – summer floods without an orographic emphasis on rainfall, (2.4).
- Fig. 7 – Average development of individual types of winter flood waves. (1.1)–(1.4) – see Fig. 5. Source: CHMI (2010).
- Fig. 8 – Average daily rainfall for individual types of winter flood waves. (1.1)–(1.4) – see Fig. 5. Source: CHMI (2010).
- Fig. 9 – Corridors for the advancement of depression centres for winter and summer flood waves on days of flood events D–2 to DD. The designation of individual categories of winter flood waves (1.1)–(1.4) see Fig. 5 and of summer (2.1)–(2.5) see Fig. 6.
- Fig. 10 – Average development of individual types of summer flood waves. (2.1)–(2.5) – see Fig. 6. Source: CHMI (2010).
- Fig. 11 – Average daily rainfall for individual types of summer flood waves. (2.1)–(2.5) – see Fig. 6. Source: CHMI (2010).



*Pracoviště autorky: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43, Praha 2; email: jana.smidova@natur.cuni.cz.*

*Do redakce došlo 19. 1. 2014; do tisku bylo přijato 3. 1. 2015.*

**Citační vzor:**

ŠMÍDOVÁ, J. (2015): Kategorizace povodní v povodí Opavy. *Geografie*, 120, č. 1, s. 84–100.