

Univerzita Karlova v Praze  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra fyzické geografie a geoekologie

# **POVODŇOVÉ SITUACE V POVODÍ OPAVY**

bakalářská práce

Jana Šmídová

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.

Praha 2006

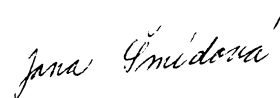
**Poděkování:**

Děkuji panu RNDr. Jakubu Langhammerovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům ČHMÚ za poskytnutí jejich dat.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a poskytnutých dat.

V Praze dne 18. 8. 2006



Jana Šmídová

# OBSAH

<b>Seznam obrázků a tabulek .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Metodika a zdrojová data .....</b>	<b>11</b>
2.1 Změna v rozložení četnosti povodní .....	11
2.2 Metoda polárních grafů .....	11
2.3 Analýza sledů a přestaveb povětrnostních situací .....	11
2.4 Shluková analýza .....	12
2.5 Vizuální klasifikace povodňových vln .....	14
2.6 Soubor dat .....	15
<b>3 Charakteristika modelového povodí .....</b>	<b>17</b>
3.1 Základní charakteristika povodí .....	17
3.2 Geologie .....	18
3.3 Geomorfologie .....	21
3.4 Klimatické poměry .....	23
3.5 Hydrologické poměry .....	25
3.6 Hydrogeologie .....	30
3.7 Půdy .....	32
3.8 Biogeografie .....	34
3.9 Krajinný pokryv .....	36
<b>4 Povodňové situace .....</b>	<b>38</b>
4.1 Povodeň .....	38
4.2 Příčiny vzniku povodní .....	39
4.3 Typy povodní .....	40
4.4 Typizace synoptických situací .....	44
4.5 Extrémní srážky při jednotlivých typech synoptické situace v ČR .....	46
4.6 Sezonalita povodní .....	49
4.7 Vliv geografických podmínek na vznik a průběh povodní .....	50
4.7.1 Fyzikogeografické faktory ovlivňující odtok velkých vod .....	53
4.7.2 Antropogenní faktory ovlivňující odtok velkých vod .....	54
4.8 Historické povodně v povodí Opavy .....	56

<b>5</b>	<b>Povodňové situace v povodí Opavy</b>	<b>58</b>
5.1	Rozložení povodní v letech 1896-2004	58
5.1.1	Největší povodně na Opavě	59
5.2	Sezonalita výskytu povodňových situací	62
5.2.1	Četnost výskytu povodní	62
5.2.2	Změna četnosti výskytu povodní	63
5.3	Vliv atmosférických cirkulačních podmínek na vznik povodní	65
5.4	Rozbor povodňových vln	67
5.4.1	Objektivní klasifikace povodňových vln	67
5.4.2	Vizuální klasifikace povodňových vln	69
5.4.2.1	Kategorizace zimních povodňových vln	69
5.4.2.2	Kategorizace letních povodňových vln	71
<b>6</b>	<b>Diskuse</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>76</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury a pramenů</b>	<b>77</b>
8.1	Literatura	77
8.2	Internetové zdroje	80
8.3	Mapové a datové podklady	81
<b>9</b>	<b>Přílohy</b>	<b>82</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

## Obrázky

- Obr. 2.1 Dendrogram pro pět prvků
- Obr. 2.2 Příklad metody K-means se 3 shluky, které vytvořily čtyři typické body
- Obr. 3.1 Modelové území povodí Opavy
- Obr. 3.2 Geologie povodí Opavy
- Obr. 3.3 Následek povodně v povodí řeky Opavice, snímek ze srpna 1997
- Obr. 3.4 Geomorfologické členění povodí Opavy
- Obr. 3.5 Soutok Černé Opavy s potokem s Revízu
- Obr. 3.6 Bílá Opava
- Obr. 3.7 Vliv tvaru povodí na tvar povodňové vlny
- Obr. 3.8 Podélný profil Opavy a jejích přítoků
- Obr. 3.9 Hypsografická křivka pro povodí Opavy
- Obr. 3.10 Hustota říční sítě v povodí Opavy
- Obr. 3.11 Hydrogeologie povodí Opavy
- Obr. 3.12 Půdní typy povodí Opavy
- Obr. 3.13 Krajinný pokryv povodí Opavy
- Obr. 4.1 Prvky průtokové vlny
- Obr. 4.2 Nakupení dřeva před Karlovým mostem v Praze při povodni v květnu 1872
- Obr. 4.3 Povodeň na Opavě ve městě Opava v červenci 1997
- Obr. 4.4 Ledová bariéra ve Štěchovicích při povodni v roce 1940
- Obr. 4.5 Faktory ovlivňující povodeň
- Obr. 5.1 Chod povodní na Opavě v letech 1986-2004
- Obr. 5.2 Četnost výskytu povodní podle jejich kulminačního průtoku v období 1896-2004
- Obr. 5.3 Povodňová značka na domě v Ratibořské ulici v Opavě, která zachycuje hladinu vody řeky Opavy v červenci 1903 (ruka znázorňuje kulminaci při povodni v červenci 1997)
- Obr. 5.4 Zatopená část města Opavy při povodni v květnu 1940
- Obr. 5.5 Poškozená nádrž Pocheň na Čižině za povodně v květnu 1996
- Obr. 5.6 Četnost výskytu povodní na Opavě v Opavě za období 1926-2004
- Obr. 5.7 Změna výskytu povodní přesahující dvouletý průtok na Opavě v Opavě

- Obr. 5.8 Četnost výskytu povětrnostních situací ve dnech za období 1960-2004
- Obr. 5.9 Četnost výskytu příčinných povětrnostních situací za období 1960-2004
- Obr. 5.10 Dendrogram povodňových situací za období 1960-2004 pro čtyři proměnné
- Obr. 5.11 Průběh zimních povodňových vln typu Z1
- Obr. 5.12 Průběh zimních povodňových vln typu Z2
- Obr. 5.13 Průběh zimních povodňových vln typu Z3
- Obr. 5.14 Průběh letních povodňových vln typu L1
- Obr. 5.15 Průběh letních povodňových vln typu L2
- Obr. 5.16 Průběh letních povodňových vln typu L3
- Obr. 5.17 Průběh letních povodňových vln typu L4
- Obr. 5.18 Průběh letních povodňových vln typu L5
- Obr. 5.19 Srovnání průběhu průměrného letního a zimního typu povodňových vln

## **Tabulky**

- Tab. 2.1 Chronologie povodní přesahující dvouletý průtok v období 1896-2004
- Tab. 3.1 Charakteristika klimatických oblastí v povodí Opavy
- Tab. 3.2 Vybrané hydrologické charakteristiky Opavy a jejích přítoků
- Tab. 4.1 Korelace mezi extrémami odtoku a geografickými charakteristikami

## **ABSTRACT**

Flood situations that cause material and environmental damage and even cost human lives in the worst cases occur irregularly in place and time. The aim of this thesis is to explain the specific situation with floods in the Opava river basin which is important not only for the reason of the flood prevention in the foothills of the Jeseniky Mountains.

First attention is paid to general knowledge about the mechanism of the flood creation, its development and the influence of physical geography factors on its behaviour. The next part of the thesis focuses on a detailed description of natural conditions in the Opava river basin that can influence the flood frequency. The analysis of historical floods in the Opava river basin in the Opava profile comes next. For this evaluation a file of floods of 1896 - 2004 has been created. Further the thesis deals with the time span between floods and the change in the flood frequency. An analysis of the sequence and reconfiguration of the causal weather situations that lead to the creation of flood situations in the Opava river basin is connected with this part. The evaluation of the individual summer and winter flood waves comes after that which reflect the different conditions of their creation and the development in the catchment with their form and behaviour.



# 1 ÚVOD

Povodně v současné době představují mezi přírodními riziky, které mohou postihnout území České republiky, největší přímé nebezpečí. Každoročně povodňové situace ve větším či menším rozsahu ovlivňují naše území, ohrožují lidské životy a způsobují škody na majetku a životním prostředí. Přesto se nejedná v přírodě o neobvyklý jev. Povodně existovaly i v minulosti, jak dokládají historické záznamy, či např. značky velkých vod nebo vodočty v Praze v podobě Bradáče. Proto je nutné s povodněmi počítat i v budoucnu a snažit se, z každé takovéto přírodní katastrofy se poučit a získat nové zkušenosti, jak se před jejími ničivými účinky bránit a zmírňovat její škody.

V posledních letech dochází i k nárůstu povodňových škod (v letech 1997 až 2002 činily 144,3 mld. Kč), což se vysvětluje především zvyšováním cen zaplaveného majetku, zhušťováním zástavby v údolních nivách a změnami ve využití území. Někteří odborníci poukazují i na možnost zvýšení četnosti a extremity povodňových situací v souvislosti s klimatickými změnami.

Z těchto důvodů je důležité chápat studium povodní a jejich dopadů jako komplexní problém, který představuje jednu z nejaktuálnějších výzkumných otázek. Značná pozornost je věnována příčinám vzniku a průběhu povodní ve snaze zlepšit předpovědní systém a povodňovou ochranu a zmírnit tak následky povodně. Protipovodňová ochrana však nemůže být nikdy absolutní a každý prostor v České republice je chráněn podle jeho důležitosti různou intenzitou.

Cílem práce je popsat nejdůležitější procesy související se vznikem a průběhem povodní. A následně tyto poznatky aplikovat při analýze historických povodní, které nastaly v povodí Opavy. Výsledky rozboru proběhlých povodňových případů jsou důležité pro předběžný odhad povodňové situace nejen před jejím vznikem, ale i pro její následný vývoj v daném povodí.

Bakalářská práce je rozdělena do 9 kapitol, jak je patrné z obsahu. Jednotlivé kapitoly popisují otázku povodní a s nimi související problematiku.

Vzhledem k tomu, že vývoj povodní a jejich průběh je ovlivněn fyzickogeografickými poměry jednotlivých povodí, je část práce (kapitola 3) věnována podrobné charakteristice přírodních podmínek povodí Opavy.

Následující kapitola 4 je zaměřena na popis mechanismu vzniku a vývoje povodní. Na základě literárního průzkumu jsou charakterizovány příčiny vzniku povodní a jejich typy,

klasifikace synoptických situací vytvořené pro území České republiky a typy povětrnostních situací, které vedou ke vzniku extrémních srážek. Následuje hodnocení fyzickogeografických a antropogenních faktorů, které mají vliv na vývoj povodňových situací. Kapitulu uzavírá stručný přehled povodní v 19. století v povodí Opavy.

Závěrečná část práce (kapitola 5) se zabývá analýzou dosud pozorovaných povodňových situací v povodí Opavy, což je důležité pro prodloužení doby předpovědi vznikajících povodní v jednotlivých oblastech a tím i pro zmírnění jejich negativních dopadů. V této kapitole je provedeno hodnocení rozložení četnosti výskytu povodní během roku a změny v povodňovém režimu v průběhu minulého století na Opavě v profilu Opava. Také je zde pozornost zaměřena na souvislosti mezi vznikem povodní a jednotlivými typy povětrnostních situací. Na tuto část navazuje hodnocení tvaru a průběhu letních a zimních povodňových vln, které svým tvarem odrážejí odlišné příčiny vzniku a vývoje povodní v této oblasti.

## 2 METODIKA A ZDROJOVÁ DATA

### 2.1 Změna v rozložení četnosti povodní

Na analýzu chodu povodní přesahující dvouletý průtok v letech 1896-2004 byl použit sloupcový graf. Povodňové situace byly rozděleny podle jejich výskytu v letním (květen-říjen) nebo zimním (listopad-duben) půlroce. Do sledování byla zahrnuta i N-letost povodňových případů. Hvězdičkou jsou označeny roky, kdy nastala více než jedna povodeň.

Dále byla hodnocena četnost výskytu povodní v minulém století podle velikosti kulminačního průtoku. Pomocí sloupcového grafu byly povodňové situace za období 1896-2004 rozděleny do čtyřech kategorií podle jejich N-letosti.

### 2.2 Metoda polárních grafů

K vyjádření sezonality četnosti výskytu zvětšených průtoků a k srovnání jejich variability v minulém století byla využita data v denním kroku, která přesáhla prahovou hodnotu jednoletého a dvouletého kulminačního průtoku. Hodnocení rozložení výskytu povodní během roku bylo provedeno pro závěrový profil povodí Opavy v Opavě za období 1896-2004.

Sezonalita povodňových případů byla hodnocena pomocí metody polárních grafů, která je založena na grafickém znázornění veličiny na růžicovém grafu. Jednotlivé měsíce v roce jsou reprezentovány průvodiči (osa x), na které se vynášejí hodnoty sledovaných jevů (osa y) v daném období. Výsledný obrazec znázorňuje rozložení hodnocených jevů během roku, z kterého jsou patrná období s vysokou či téměř minimální pravděpodobností výskytu sledovaného jevu.

Polární grafy mají dobrou vypovídací schopnost a jsou snadno představitelné, ale jejich nevýhodou je menší přesnost.

### 2.3 Určení příčinné povětrnostní situace

V návaznosti na analýzu sezonality výskytu povodní v povodí Opavy bylo provedeno hodnocení sledů a přestaveb povětrnostních situací v letním a zimním období. K analýze

synoptických situací v povodí Opavy byla zvolena Typizace povětrnostních situací pro území České republiky vytvořená na základě klasifikace použité Brádkou et al. (1961), která je každoročně aktualizována, jak je uvedeno v kap. 4.4. Pro zpracování povětrnostních situací byl vybrán soubor povodňových vln od roku 1960.

K identifikaci jednotlivých dnů povodně bylo použito označení, které zavedl Wehry (1968). Den kulminace je určen jako den D, dny před kulminací jako D-1, D-2, atd. a následné dny jako D+1, D+2, atd. Den, ve kterém se vyskytla povětrnostní situace vedoucí ke vzniku povodně je označen jako DD. Pro území České republiky doporučil Hladný (1995), že pro tyto účely postačuje analyzovat 5 dní v předkulminační fázi a 2 dny po kulminaci, tedy celkem období 8 dnů. Na základě Kalendáře povětrnostních situací byl ke každému dni povodňové vlny přiřazen odpovídající typ povětrnostní situace (příloha 1 a 2).

V řadě takto odvozených souborů povodňových vln došlo k přestavbě typů povětrnostní situace na nový následný typ. Proto bylo nutné označit ten typ meteorologické situace, který vedl ke vzniku povodně. V tomto případě byl den DD určen na základě poznatků, které uvádí Hladný (1997) a Čekal (2005). Příčinná povětrnostní situace se vyskytuje mezi dny D-1 až D-3 a nejčastěji se jedná o den, kdy se za celé sledované období v dnech před kulminací vyskytl nejmenší počet typů povětrnostních situací.

Přesto by bylo asi vhodnější tento den určit na základě největších úhrnů srážek, ale to nebylo k dispozici. Ani v tomto případě by nemuselo být určení příčinné povětrnostní situace jednoznačné, protože záleží také na velikosti povodí, sezóně a hlavně na předchozím nasycení povodí srážkami. U povodňových případů, kde nedošlo k přestavbě povětrnostní situace byl za rozhodující den brán den kulminace (D).

## **2.4 Metoda shlukové analýzy**

Pro hodnocení tvaru a průběhu povodňových vln byla zvolena metoda shlukové analýzy, pomocí níž bylo snahou vytvořit klasifikaci povodňových situací.

Metody shlukování umožňují v rozsáhlých souborech dat nalézt jejich určité podobnosti ve vnitřní struktuře, na jejichž základě jsou data rozdělena do tzv. shluků (clusterů). Cílem metody je získat z množiny dat clusterly tak, aby si objekty uvnitř clusterů byly mezi sebou, co nejvíce podobné a naopak objekty patřících do různých shluků, co nejvíce rozdílné (Matoušek, 2002).

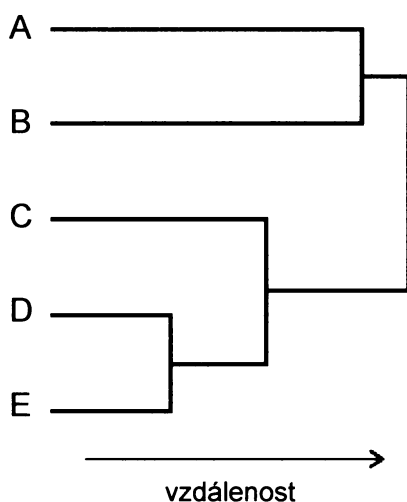
Shluková analýza je tvořena řadou metod založených na různých principech. Pro rozčlenění povodňových vln v této práci byly vybrány dvě metody:

- aglomerativní hierarchické shlukování,
- rozdělovací (optimalizační) metody K-means.

### **Aglomerativní hierarchické shlukování**

Metoda aglomerativního hierarchického shlukování je založena na postupném spojování jednotlivých menších shluků na základě předem definovaného způsobu hodnocení vztahů mezi shluky. Postupně dochází ke spojování těchto nejbližších (nejpodobnějších) shluků do nového společného shluku vyššího hierarchického stupně. Podobnost prvků v clusteru je vyjádřena pomocí míry vazby. Výsledkem hierarchického shlukování je binární strom označovaný jako dendrogram (obr. 2.1). Každý uzel tohoto stromu představuje shluk. Vodorovný směr dendrogramu znázorňuje podobnost mezi clustery.

*Obr. 2.1 Dendrogram pro pět prvků*



*Zdroj: Šarmanová (2002)*

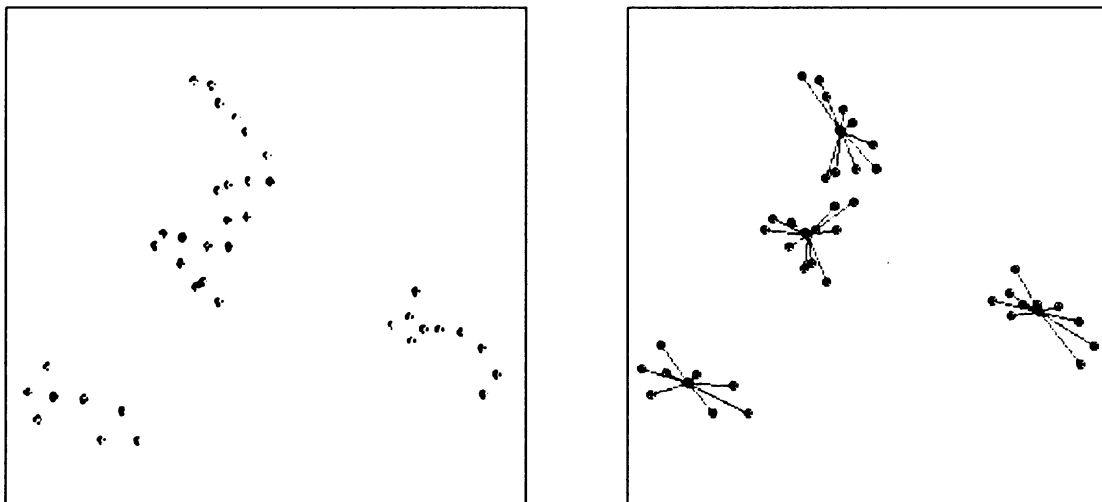
### **Rozdělovací metody**

Optimalizační metody hledají nejlepší rozdělení souboru prvků do několika podmnožin interakčním způsobem (Šarmanová, 2002). V jednotlivých krocích iterakce je možné využít různá relokační schémata. V každém kroku se pracuje se všemi shluky a rozdělení prvků se postupně vylepšuje.

Příkladem optimalizační metody, která byla použita v této práci pro analýzu povodňových vln, je metoda K-means (obr. 2.2). U tohoto algoritmu je předem možné určit

počet výsledných k-shluků. Všechny prvky souboru jsou rozděleny do k-shluků. Pro každý shluk je vypočteno těžiště při tomto rozdělení. Následuje přiřazení typických bodů do shluku, k jehož těžišti je prvek nejbližší. Pokud dojde ke změně přiřazení bodů ke shlukům, je znovu vypočteno těžiště pro každý shluk při novém rozdělení.

Obr. 2.2 Příklad metody K-means se 3 shluky, které vytvořily čtyři typické body



Zdroj: Šarmanová (2002)

Shluková analýza, která byla vytvořena v této práci, dává do souvislosti extremitu povodňových situací, jejich sezonalitu, příčinné povětrnostní situace a vizuální klasifikaci povodňových vln, které ovlivňují odtokové odezvy.

Pro clusterovou analýzu byla extremita povodňových případů rozdělena podle N-letosti průtoků do 5 kategorií. Rozložení výskytu povodní bylo reprezentováno 4 skupinami podle ročního období. Příčinné povětrnostní situace představovaly 9 typů a povodňové vlny byly rozděleny do 6 kategorií podle svého tvaru a průběhu.

## 2.5 Vizuální klasifikace povodňových vln

Pro subjektivní kategorizaci typů povodňových vln byl použit soubor průtokových vln za období 1960-2004 z profilu Opava, kdy kulminační průtok přesáhl hodnotu jednoleté vody. Zpracování se týkalo 5 dnů před a po kulminaci. Byl vytvořen povodňový hydrogram s délkou trvání 11 dnů.

Povodňové vlny byly nejprve rozdělit podle jejich doby výskytu v letním (květen-říjen) či zimním (listopad-duben) půlroce na letní a zimní typ. Takto rozčleněné povodňové

vlny byly seřazeny podle osy procházející okamžikem kulminace. Pomocí vizuálního porovnávání společných rysů v průběhu povodňových vln byly vymezeny tři typy pro zimní a pět typů pro letní povodňové vlny. Při kategorizaci bylo nutné přistoupit k určitému stupni zobecnění, aby mohly být vytvořeny jednotlivé typy povodňových vln.

## 2.6 Soubor dat

K analýze povodňových situací v povodí Opavy po soutok s Moravicí byly použity kulminační průtoky a povodňové vlny z profilu Opava. Kulminační průtoky byly získány z databáze ČHMÚ za období 1926 – 2004 a byly doplněny řadou dat povodňových situací z let 1896-1962, kterou uvádí ve své práci Kříž et al. (1964). Do zpracování byly zařazeny případy s průtokem přesahující dvouletou ( $Q_2=74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a jednoletou vodu ( $Q_1=45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Řady povodňových vln byly rovněž poskytnuty z databáze ČHMÚ za období 1960-2004. Do souboru byly zahrnuty povodňové hydrogramy s kulminačním průtokem přesahující jednoletou vodu.

Takto vytvořený přehled povodňových situací v povodí Opavy přesahující dvouletou vodu za období 1896-2004 obsahuje 42 případů (tab. 2.1). Dále byl sestaven soubor povodní zahrnující 69 povodňových případů nad jednoletou vodu z období 1926-2004. Pro zpracovávané období 1960-2004 bylo celkem vymezeno 38 povodňových vln.

Tab. 2.1 Chronologie povodní přesahující dvouletý průtok v období 1896-2004

Datum	Kulminační průtok	Pořadí	N-letost	Sezonalita
8. 5. 1896	142	13	5	L
30. 7. 1897	130	15	5	L
19. 5. 1897	75	42	2	L
21. 6. 1902	112	23	2	L
11. 7. 1903	290	3	20	L
16. 7. 1907	122	19	2	L
2. 3. 1907	87	36	2	Z
7. 9. 1910	125	18	5	L
21. 5. 1911	106	25	2	L
10. 10. 1915	177	8	10	L
15. 4. 1915	98	31	2	Z
11. 7. 1920	88	35	2	L
3. 8. 1920	79	39	2	L
14. 10. 1922	147	10	5	L
7. 9. 1924	90	33	2	L
4. 8. 1925	95	32	2	L
16. 6. 1926	130	16	5	L
6. 5. 1927	115	21	2	L

*Pokračování tab. 2.1*

Datum	Kulminační průtok	Pořadí	N-letost	Sezonalita
28. 10. 1930	112	24	2	L
26. 9. 1931	145	12	5	L
14. 9. 1937	102	27	2	L
2. 9. 1938	100	29	2	L
20. 5. 1940	310	2	20	L
16. 5. 1942	90	34	2	L
21. 3. 1947	82	38	2	Z
12. 5. 1951	190	6	10	L
30. 6. 1958	198	5	10	L
13. 3. 1963	78,08	40	2	Z
13. 6. 1965	149	9	5	L
25. 7. 1966	116,4	20	2	L
12. 6. 1968	145,2	11	5	L
29. 7. 1968	102,3	26	2	L
22. 8. 1972	130	17	5	L
2. 7. 1975	133,8	14	5	L
3. 8. 1977	180,2	7	10	L
5. 7. 1980	102	28	2	L
10. 8. 1985	113	22	2	L
5. 8. 1991	75,2	41	2	L
14. 5. 1996	262	4	20	L
8. 7. 1997	647	1	100	L
22. 7. 1997	98,4	30	2	L
22. 7. 2001	82,4	37	2	L

*Zdroj: ČHMÚ, Kríž et al. (1964)*



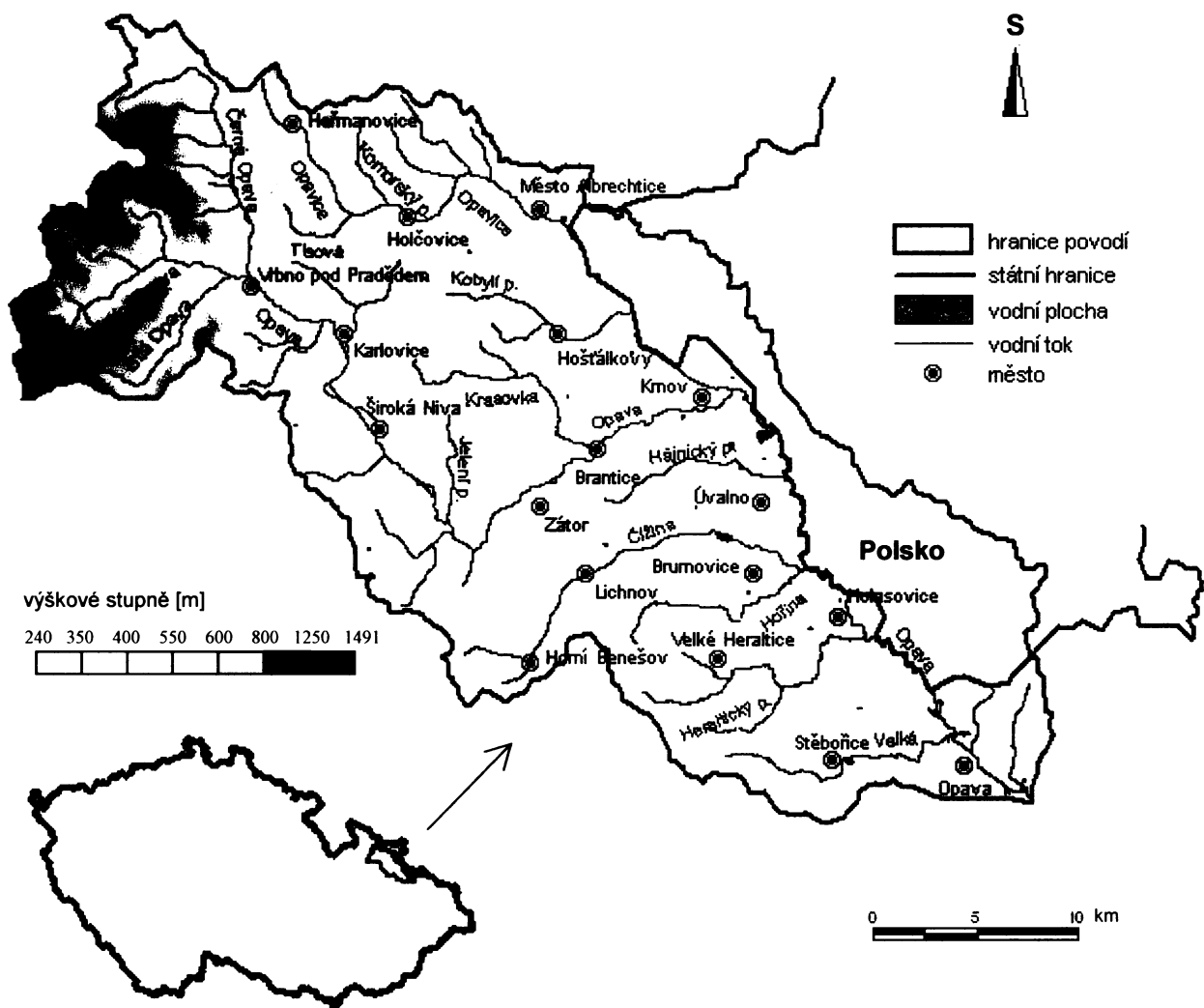
### 3 CHARAKTERISTIKA MODELOVÉHO POVODÍ

Tato část práce je zaměřena na charakteristiku fyzickogeografických podmínek v povodí Opavy, které mají značný vliv na vznik a průběh povodní. Jsou zde popsány geologické, geomorfologické, klimatické, pedologické, hydrologické a hydrogeologické poměry, krajinný pokryv území a biogeografie.

#### 3.1 Základní charakteristika území

Pro účely bakalářské práce bylo vybráno jako modelové území povodí Opavy (obr. 3.1). Jedná se o dílčí část povodí řeky Opavy, horní a střední tok, až po soutok s Moravicí ve městě Opava (dále jen povodí Opavy).

Obr. 3.1 Modelové území povodí Opavy



Zdroj: ZABAGED, ČR 50, DMÚ-25

Povodí Opavy se nachází v severovýchodní části České republiky a na severu zasahuje asi 14 % na území Polska. Celková plocha povodí je 945,85 km<sup>2</sup>. Česká část povodí zaujímá území o rozloze 812,28 km<sup>2</sup>. Délka řeky Opavy po soutok s Moravicí je 89,5 km.

Opava pramení zhruba ve výšce 1100 m n. m. východně od horského pásma Orlík v Hrubém Jeseníku. Povodí je protažené ve směru SZ – JV, přibližně od Rejvízu až k městu Opava. Nejvyšší nadmořské výšky dosahuje Praděd (1491,3 m n. m.) a nejnižší bod povodí leží v závěrovém profilu ve městě Opava (240 m n. m.).

Opava je tokem 2 řádu (podle absolutního modelu řádovosti toků) a je odvodňována řekou Odrou do Baltského moře. Sledované území povodí Opavy představuje necelé 1 % z celkové plochy povodí Odry.

### 3.2 Geologie

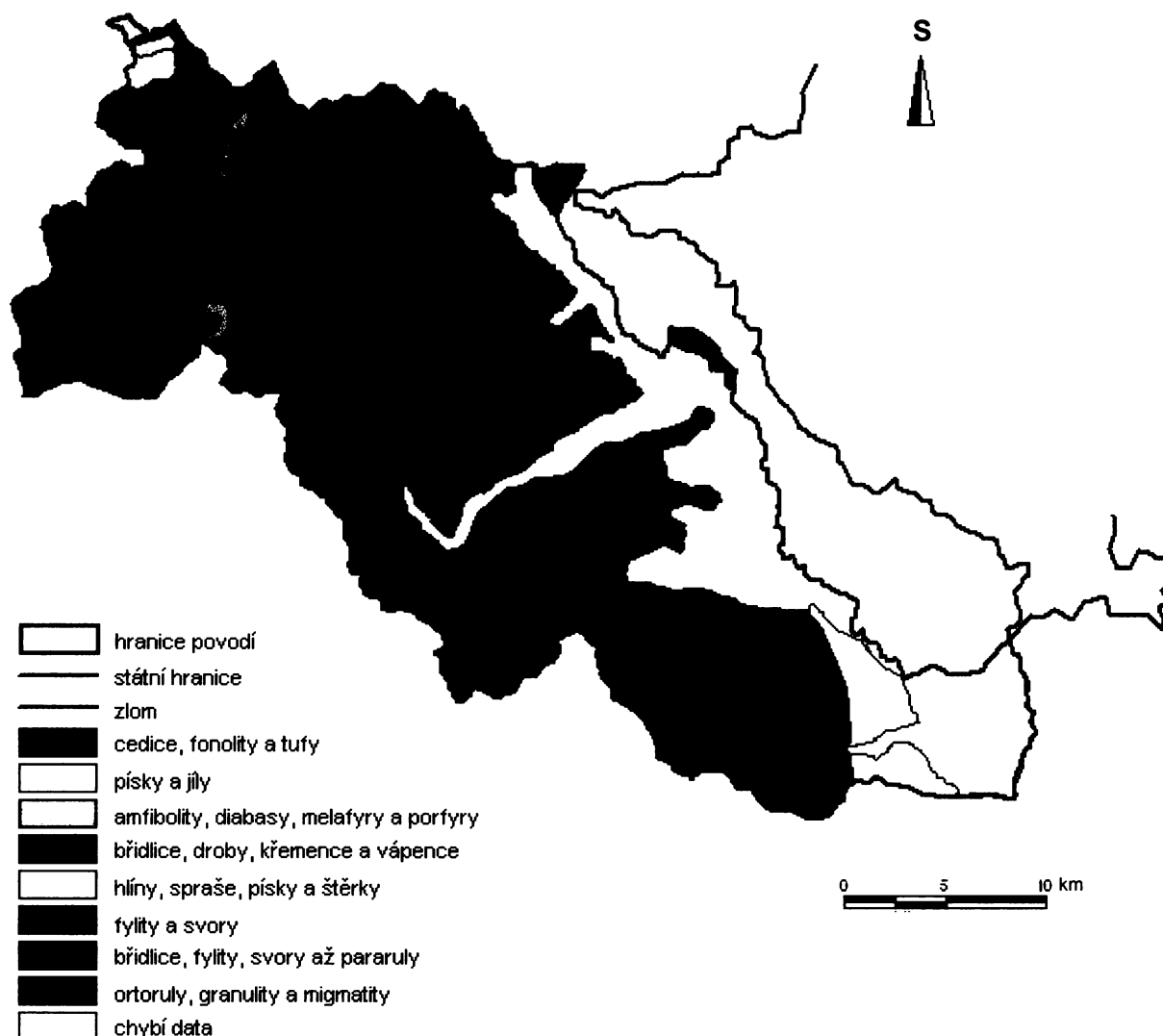
Z geologického hlediska převážná část povodí Opavy patří k moravskoslezské oblasti Českého masivu, kde na povrch vystupují zvrásněné a rozlámané horniny. Tato oblast je tvořena prekambriickým podkladem, krystalinickými horninami a granitoidy, na nichž transgredují sedimenty devonu a spodního karbonu (kulmu). Jen území podél řeky Opavy v okolí Krnova a oblast Opavské pánve, kam zasahuje severní část karpatské předhlubně, náležící k Západním Karpatům (obr. 3.2). Podloží je zde tvořeno karbonátovými horninami. Pokryvné útvary v oblasti Českého masivu jsou málo mocné a jsou tvořeny ostrůvky miocéních a kvartérních sedimentů. Naproti tomu, území patřící k Opavské pánvi se vyznačuje značnou mocností kvartérních sedimentů. Nejvýznamnější jsou sedimenty elsterského a sálského zalednění.

Nejstarší součástí území povodí Opavy je oblast tvořená předdevonským (prekambriickým) krystalinikem složeného z kadomských plutonitů a metamorfitů, která vytváří podklad variské stavbě. Následuje silesikum, jedná se o výstupy metamorfovaných komplexů v podobě klenbových struktur na povrch v jádře desenské klenby v Hrubém Jeseníku (Weissmanová, 2004).

Variská část je budována moravskoslezským paleozoikem, které je tvořeno slabě metamorfovanými až nemetamorfovanými sedimenty a vulkanity paleozoického stáří (devon, spodní a svrchní karbon). Obal jádra desenské klenby tvoří vrbenská skupina devonského stáří. V okolí Vrbna pod Pradědem se nacházejí také vápence a vápnité fylity. Devonské horniny rovněž leží v šternbersko-hornobenešovském pruhu. Jedná se o stlačené antiklinální

pásma devonských hornin, vystupující z podloží kulmu. Nadloží tohoto pruhu je tvořeno spodním karbonem, jehož zvrásněné a rozlámané sedimenty (droby a jílové břidlice) pokrývají rozsáhlou oblast Českého masivu v povodí Opavy. Na povrch terénu však vystupují pouze ojediněle. Směrem k východu jsou pozvolna devonské uloženiny nahrazovány karbonátovým vývojem, který přetrvává až na bázi svrchního karbonu.

Obr. 3.2 Geologie povodí Opavy



Zdroj: Portál veřejné správy ČR - mapové služby: Geologická mapa ČR

Sedimenty jeseníckého spodního karbonu (kulmu) zaujímají rozsáhlou oblast Nízkého Jeseníku. Na povrchu terénu od západu k východu vycházejí litostratigrafické jednotky: andělskohorské a hornobenešovské souvrství (Weissmanová, 2004). Sedimentační prostor pánve byl v kulmu zaplňován materiálem z pevniny, což vedlo k akumulaci uloženin, které jsou typické svým periodickým ukládáním pískovcových a jílovcovo-prachových vrstev.

Postupné vrásnění horstev mělo za následek zmenšování tohoto sedimentačního prostoru směrem k východu. Ve svrchním karbonu v předhlubni pánve byla mořská sedimentace vystřídána kontinentální.

Na variský fundament v období mezi karbonem a miocénem působilo zvětrávání a odnos, což vedlo ke vzniku zarovnané povariské paroviny. Další ukládání sedimentu souviselo s počátečními fázemi alpinského vrásnění. Ve spodním miocénu proniklo na území povodí Opavy spodnobadenské moře, které zde zanechalo své usazeniny. Ve středním badenu docházelo k poklesům hladiny moře, což vedlo k sedimentaci sádrovců a na některých místech i jílu. Po uzavření předhlubně pokračovala sedimentace v Opavské pánvi ve středním a svrchním badenu.

S tektonickými pohyby vázanými na alpinské vrásnění souvisí neovulkanická činnost, která částečně zasáhla do jižní části povodí. K významným neovulkanitům se jistě řadí sopouchová tělesa u Štěplovce a Otice s přibližným stářím 20 mil. let z období miocénu (Weissmanová, 2004). Už podstatně mladší, žilná a zčásti jen podpovrchová tělesa čedičových hornin jsou známa z okolí Krnova.

V období středního pleistocénu pronikl na území povodí Opavy pevninský ledovec ve dvou glaciálech: ve středním elsterském a mladším sálském zalednění. Jeho čelo zasáhlo do Zlatohorské vrchoviny, Opavské pahorkatiny a dále až do oblasti východního okraje Nížkého Jeseníku. Horské zalednění je doloženo z oblasti Hrubého Jeseníku.

V průběhu posledních ledových dob pevninský ledovec na území povodí již nezasáhl. Pro toto období jsou typické fluviální, eolitické a v okrajových pahorkatinách i deluvio-eolitické usazeniny. Ze svrchního pleistocénu jsou dochované rozsáhlé pokryvy eolitických sedimentů spraší a sprašových hlín. Do období holocénu přetrvávala sedimentace spojená s erozně-akumulačními procesy. V současné době se významně projevuje vznik antropogenních sedimentů a rovněž eroze způsobená lidskou činností. Často jsou také svahové pohyby a výrazné erozní jevy (obr. 3.3) projeven extrémních situací v povodí jako jsou velké srážky či povodně.



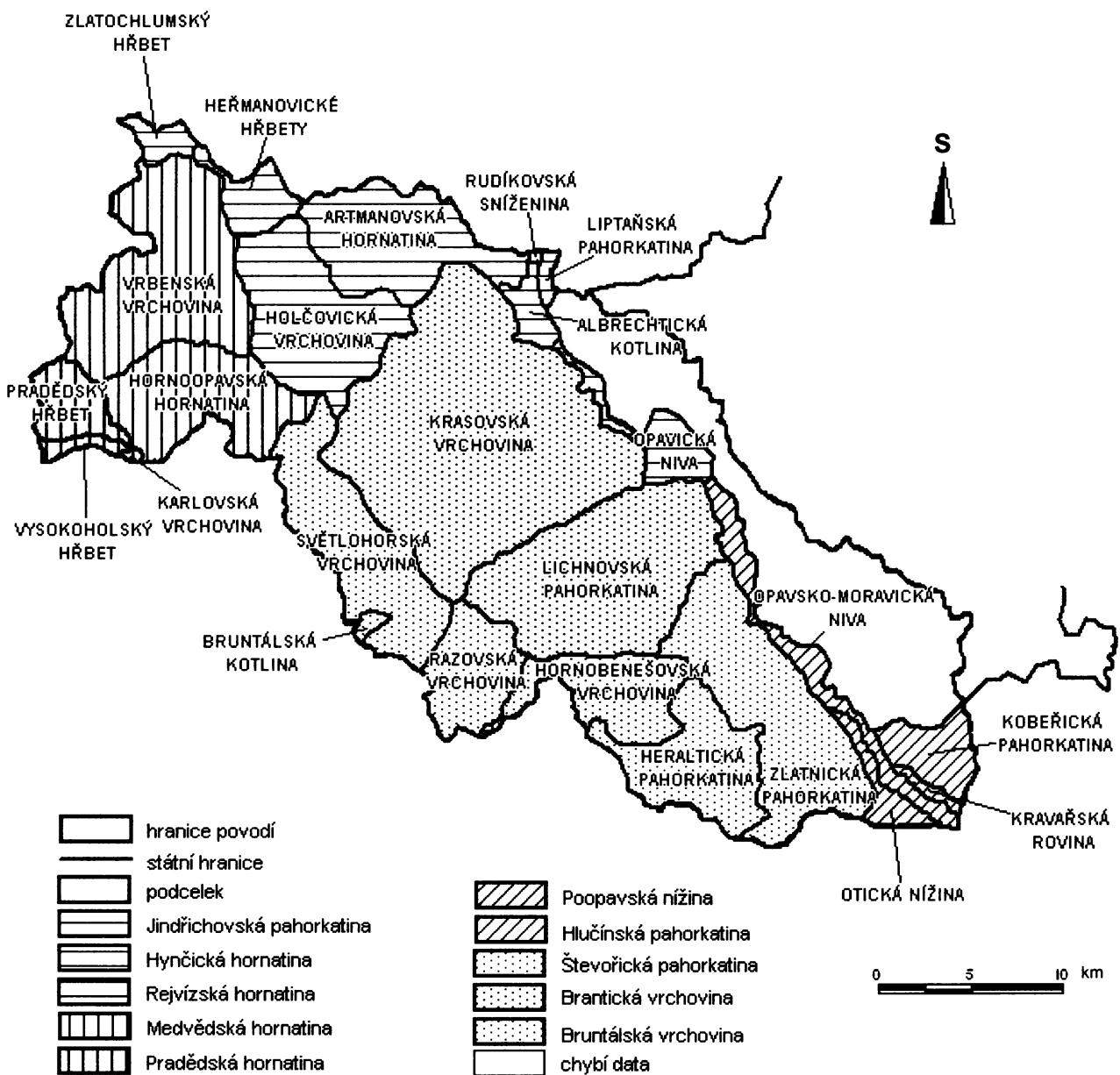
*Obr. 3.3 Následek povodně v povodí řeky Opavice, snímek ze srpna 1997*

*Zdroj: Ochrana před povodněmi na horní Opavě*

### 3.3 Geomorfologie

Území povodí Opavy spadá do dvou geomorfologických provincií (obr. 3.4). Převážná část povodí Opavy patří k provincii Česká vysočina a na východě jen malou plochou zasahuje do provincie Středopolská nížina. Českou vysočinu zastupují jednotky Krkonoško-jesenické soustavy a její Jesenické podsoustavy, celky Zlatohorská vrchovina, Hrubý Jeseník a Nízký Jeseník. Z provincie Středopolská nížina zasahuje do povodí Opavy podsoustava Slezská nížina, z ní celek Opavská pahorkatina.

Obr. 3.4 Geomorfologické členění povodí Opavy



Zdroj: Portál veřejné správy ČR - mapové služby: Geomorfologické členění ČR

Jesenická podsoustava má velmi pestrý georeliéf s členitými hornatinami, vrchovinami a pahorkatinami. Nejrozsáhlejším celkem je Nízký Jeseník, který se dále dělí na několik podcelků. Jedná se o plochou vrchovinu, vyvinutou na spodnokarbonských zvrásněných a rozlámaných sedimentech. Na vrcholech a rozvodí jsou zachovány zbytky holoroviny. Vodní toky se na okraji plošiny do ní zařezávají a vytváří hluboká říční (předbadenská) údolí (Culek, 1996). V severní části je Nízký Jeseník tvořen členitou Brantickou vrchovinou, kde vystupují na povrch terénu vyvýšeniny budované spodnokarbonskými drobami. Na ni navazuje plochá Bruntálská vrchovina a nejjihněji je situována Štěbovická pahorkatina. Obě jsou vytvořeny především na spodnokarbonských břidlicích a na drobách (Weissmanová, 2004). Na severu a východě Nízkého Jeseníku leží pleistocenní sedimenty včetně sprašových hlín.

Nejvyšším celkem Jesenické podsoustavy je Hrubý Jeseník, který do povodí zabíhá částí Medvědké hornatiny a Pradědké hornatiny. Hrubý Jeseník je členitá tektonicky vyzdvižená hornatina na krystalických břidlicích. Je tvořen samostatnými horskými celky oddělenými hlubokými sedly a kotlinovými sníženinami. Horské hřbety nesou znaky zarovnaných povrchů s místy vystupujícími skalními útvary z odolnějších hornin (Demek, 1965). Členitá Medvědká hornatina má charakter vyzdvižené kry, vybudované převážně metamorfovanými horninami. Hluboká říční údolí jsou ovlivněna zlomovou tektonikou. Na svazích i vrcholových oblastech jsou patrné znaky periglaciálního přemodelování. Pradědká hornatina je budována krystalickými břidlicemi, má kernou stavbu a ve vrcholových oblastech jsou rovněž zachovány reliktů holoroviny, které jsou z velké části přemodelovány periglaciálními pochody. Nejvyšším vrcholem Hrubého Jeseníku i celého povodí Opavy je Praděd (1491,3 m n. m.).

Do povodí Opavy také zasahuje celek Zlatohorská vrchovina, která je zde zastoupena podcelky Rejvízská hornatina na západě, na ni nazývá Hynčická hornatina a při státních hranicích se rozkládá Jindřichovská pahorkatina. Rejvízská hornatina je budována krystalinikem a vrbenskými vrstvami. Obdobnou stavbu má i Hynčická hornatina. Jedná se rovněž o kernou hornatinu ukloněnou k jihovýchodu. Ve vrcholových částech jsou zachovány zbytky kryogenních tvarů. Georeliéf Jindřichovské pahorkatiny v severovýchodní části Zlatohorské vrchoviny je výrazně ovlivněn činností pevninských ledovců a jsou zde patrné periglaciální tvary (Demek, 1965).

Do východní oblasti povodí částečně zasahuje provincie Středoevropská nížina, celkem Opavská pahorkatina. Na území povodí Opavy se nachází její dva podcelky, Hlučínská pahorkatina a při úpatí Nízkého Jeseníku, Poopavská nížina. Na velmi malé ploše

leží plochá nížinatá Hlučínská pahorkatina, budována převážně pleistocénními sedimenty kontinentálního zalednění a sprašovými hlínami. Její georeliéf nese znaky neotektonických kerných pohybů s projevy preglaciálních pochodů (Weissmanová, 2004). Poopavská nížina se vyznačuje plochým georeliéfem se širokou údolní nivou řeky Opavy s terasovým systémem.

Konfigurace terénu výrazně ovlivňuje rychlost povrchového odtoku, ale i rozložení srážek (kap. 3.4) v povodí Opavy. Voda ze spadlých srážek v oblasti Hrubého Jeseníku vlivem vysoké svažitosti rychle odtéká po povrchu a v korytech toků. Směrem do nižších poloh dochází ke zmírňování sklonitosti svahů a odtok se zpomaluje. V Poopavské nížině je již rychlost povrchového odtoku menší a voda se akumuluje na povrchu. V horských oblastech má povodňová situace obvykle rychlý a ničivý charakter. Naopak v oblasti Opavické nivy a Poopavské nížině se povodeň projevuje rozsáhlými záplavami inundačního území.

### **3.4 Klimatické poměry**

Podnebí povodí Opavy je dáno celkovou povahou evropského mírného klimatického pásu. Povodí, stejně jako celé území České republiky, leží v přechodné zóně mezi oceánským a kontinentálním typem klimatu.

Podle Quitta (1971) se povodí Opavy nachází v chladné a mírně teplé klimatické oblasti. Chladná klimatická oblast je charakteristická pro vrchoviny a hornatiny Jeseníků. Tato území se vyznačují krátkým, mírně chladným a vlhkým létem, dlouhým přechodným obdobím s mírně chladným jarem a mírným podzimem a dlouhou a mírně vlhkou zimou s dlouhou dobou trvání sněhové pokrývky. Ve vysoko položených oblastech Hrubého Jeseníku a západní části Vrbenska je přechodné období velmi dlouhé a zima velmi chladná s velmi dlouhým trváním sněhové pokrývky.

Pahorkatiny navazující na chladnou klimatickou oblast leží již v mírně teplé klimatické oblasti. V povodí jsou zastoupeny téměř všechny její teplotní a vlhkostní varianty, od nejteplejších a nejsušších na severovýchodě (Opavská pahorkatina) až po nejchladnější a nejvlhčí na západě ve vyšších polohách, kde se její určité charakteristiky prolínají se sousední chladnou klimatickou oblastí. Pro nejnižše položené oblasti povodí je typické dlouhé, suché až mírně suché léto, krátké přechodné obdobím s mírným jarem a mírně teplým podzimem a krátká mírná až mírně teplá zima, která je velmi suchá, s krátkým trváním sněhové pokrývky. V pahorkatinách je pro tuto klimatickou oblast typické kratší, chladnější

a vlhčí léto a delší chladnější zima než v nížinách. Vybrané charakteristiky klimatických oblastí reprezentující povodí Opavy jsou zachyceny v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Charakteristika klimatických oblastí v povodí Opavy

klimatické charakteristiky	klimatické oblasti						
	chladná oblast			mírně teplá oblast			
	CH4	CH6	CH7	MT2	MT7	MT9	MT10
průměrná teplota v červenci [°C]	12 – 14	14 – 15	15 – 16	16 – 17	16 – 17	17 – 18	17 – 18
průměrná teplota v lednu [°C]	-6 – -7	-4 – -5	-3 – -4	-3 – -4	-2 – -3	-3 – -4	-2 – -3
počet letních dnů	0 – 20	10 – 30	10 – 30	20 – 30	30 – 40	40 – 50	40 – 50
počet mrazových dnů	160 – 180	140 – 160	140 – 160	110 – 130	110 – 130	110 – 130	110 – 130
počet dnů se sněhovou pokrývkou	150 – 160	120 – 140	100 – 120	80 – 100	60 – 80	60 – 80	50 – 60
průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	120 – 140	140 – 160	120 – 130	120 – 130	100 – 120	100 – 120	100 – 120

Zdroj: Quitte (1971)

Povodí Opavy se vyznačuje častou proměnlivostí počasí, která je především zapříčiněna pestrým georeliéfem. Klimatické poměry v povodí jsou výrazně ovlivněny vysokou nadmořskou výškou, která vzrůstá směrem k západu, směrem převládajících větrů a také se zde projevuje vliv morfologie Vněkarpadských sníženin (Weissmanová, 2004). Rovněž se jako důležitý klimatotvorný činitel ukazuje člověk, např. odlesňování a průmyslové aktivity.

## Srážky

Povodí Opavy je ovlivňováno přílivem vzduchových hmot z atlantské nebo středomořské oblasti, což vede k vysokým úhrnům srážek. Tyto nadměrné srážkové úhrny mohou být příčinnou vzniku povodňových situací.

Vznik atmosférických srážek je nejčastěji spojován s přechodem atmosférických front atlantického proudění. Nad územím povodí Opavy se také občas nachází tlaková níže středomořského původu, která způsobuje intenzivní srážky často vedoucí ke vzniku povodní. V letním období jsou úhrny srážek největší. Srážky mají mnohdy bouřkový charakter s krátkou dobou trvání, ale značnou intenzitou (Řepka et al., 2005). Množství atmosférických srážek je regulováno nadmořskou výškou, převládajícím západním a severozápadním prouděním a expozicí svahů vzhledem k tomuto proudění.



Rozložení srážek v povodí je značně nerovnoměrné. Nejvyšších úhrnů je dosahováno ve vrcholových částech Hrubého Jeseníku. Tyto oblasti jsou mnohem deštivější, než by jim příslušelo podle jejich nadmořské výšky. Není ale výjimkou, že vysoké úhrny srážek jdou na vrub denním srážkám. Na Pradědu vypadlo během 11. 6. 1965 104,8 mm srážek a průměrný roční úhrn srážek činí 1400 mm (Weissmanová, 2004). Vysoké úhrny srážek jsou zaznamenávány i v horských údolích. V Hrubém Jeseníku roční úhrn srážek přesahuje 1100 mm. Dosti vysoké srážky jsou i v sousední oblasti v Zlatohorské vrchovině. Zde jsou roční úhrny vyšší než 900 mm. Naopak nejsušším regionem, s ročním úhrnem pod 650 mm, je Opavská pahorkatina, která leží ve srážkovém stínu Hrubého Jeseníku. Podobně na srážky chudou oblastí je část Nízkého Jeseníku, která leží na závětrné straně Hrubého Jeseníku a přiléhá k Opavské pahorkatině. Obecně lze říci, že celkově převládají srážky v létě v červenci a nejmenší srážkové úhrny se vyskytují v únoru.

Sněhová pokrývka setrvává nejdéle v oblasti Pradědu, v průměru až 8 měsíců v roce. Největší mocnosti dosahuje v horských oblastech v březnu, v jiných částech povodí většinou v únoru.

## **Teplota**

Teplota vzduchu v povodí je nejvíce ovlivněna výškovými poměry. Nejnižší průměrné roční teploty vzduchu sahají ke 2 °C ve vrcholových polohách Hrubého Jeseníku. Na hřebenech panuje studené a větrné klima, Praděd 0,9 °C. V níže položených oblastech se průměrná roční teplota pohybuje okolo 8 °C.

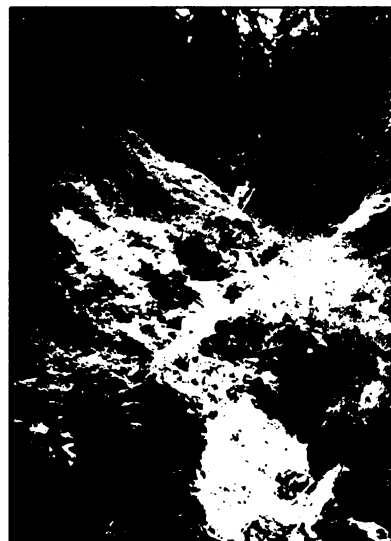
Nejchladnější měsíc v roce je leden. Průměrná teplota vzduchu se v tuto roční dobu pohybuje v nejvyšších polohách Hrubého Jeseníku kolem -7° C, v Nízkém Jeseníku klesá k -4° C a v nižších oblastech povodí je kolem -2 až 3° C. V červenci, v neteplejším měsíci roku, nedosahují teploty vzduchu ve vrcholových partiích Hrubého Jeseníku ani 10 °C, v Nízkém Jeseníku se teploty pohybují kolem 16 °C a v Opavské pánvi přesahují 18 °C (Weissmanová, 2004).

## **3.5 Hydrologické poměry**

Řeka Opava pramení pod horským pásmem Orlický v Hrubém Jeseníku ve výšce kolem 1100 m n. m. Zde vyvěrá jedna ze tří zdrojnic Černá Opava (obr. 3.5), která je považována za hlavní tok. Jiné zdroje (Brosch, 2005) uvádí jako hlavní zdrojnicí její levostranný přítok,

kteřý je označován stejným názvem. Ten pramenní v rašeliništní oblasti nedaleko osady Revíz v Hrubém Jeseníku v nadmořské výšce kolem 800 m. Dalšími zdrojnicemi Opavy jsou Střední a Bílá Opava, které pramení pod Pradědem. Střední Opava pramení ve výšce kolem 1170 m n. m. nedaleko vrcholu Sokol. Bystřinný tok Bílá Opava (obr. 3.6) vyvěrá ze země v nadmořské výšce kolem 1320 m.

*Obr. 3.6 Bílá Opava*



*Zdroj: Správa CHKO Jeseníky*

*Obr. 3.5 Soutok Černé Opavy s potokem z Rejvízu*



*Zdroj: Správa CHKO Jeseníky*

Samotná řeka Opava vzniká soutokem Bílé, Střední a Černé Opavy u Vrbna pod Pradědem ve výšce kolem 550 m n. m. Zde má řeka bystřinný charakter, který pozvolna ztrácí před Krnovem, kde se údolí rozšiřuje a její koryto začíná vytvářet meandry. Pod Krnovem směrem k Opavě se tok rozevívá do široké údolní nivy.

Největším přítokem Opavy je Opavice (dříve Zlatá Opavice), která se zleva vlévá do Opavy v Krnově. Pramení ve Zlatohorské vrchovině v nadmořské výšce kolem 850 m a je téměř na celém svém toku bystřinou. Až pod Městem Albrechtice se údolí zvolna rozšiřuje a tok začíná mírně meandrovat.

Menším pravostranný přítokem Opavy je Čížina. Pramení v hornatině nad Horním Benešovem a ústí do Opavy u obce Brumovice. Říční údolí je poměrně hluboké, které se v dolní polovině mírně rozšiřuje. Povodí Čížiny má podélný tvar, který společně se specifickým uspořádáním terénu, citlivě reaguje na místní přívalové srážky (Brosch, 2005). Ty často zapříčiňují lokální bleskové povodně.

Za významnější přítoky Opavy (tab. 3.2) lze považovat např. její pravostranné přítoky Heraldický potok, který ústí do Opavy u Holasovi a Velkou. Druhým nejdelším levostranným přítokem je Pilštský potok pramenící v Polsku.

Tab. 3.2 Vybrané hydrologické charakteristiky Opavy a jejích přítoků

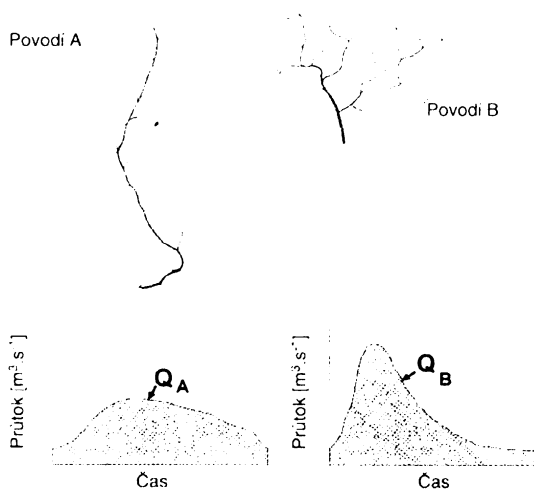
vodní tok	plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	délka údolí [m]	srážky [mm]	průtok v ústí [m <sup>3</sup> /s]	specifický odtok [m <sup>3</sup> /s.km <sup>2</sup> ]
Bílá Opava	27,54	13,7	1123	0,45	16,39
Střední Opava	54,43	12,5	1160	0,90	16,54
Černá Opava	58,68	18,2	1030	0,83	14,12
Krasovka	38,75	15,0	685	0,27	6,97
Opavice	195,44	34,9	745	1,33	6,81
Čižina	102,73	22,0	655	0,45	4,40
Herlička	50,39	16,9	632	0,19	3,72
Pilštský potok	40,95	18,2	577	0,09	2,10
Opava	945,85	89,4	740	6,45	6,82

Zdroj: Hydrologické poměry ČSSR

### Hydrografické poměry

Rozsah a průběh povodňových vln je mimo jiné ovlivněn hydrografickými poměry povodí a koryt toků. Tyto specifické vlastnosti jednotlivých povodí společně s dalšími faktory výrazně ovlivňují vznik a vývoj povodňových situací.

Obr. 3.7 Vliv tvaru povodí na tvar povodňové vlny



Zdroj: Matějíček, Hladný (1999)

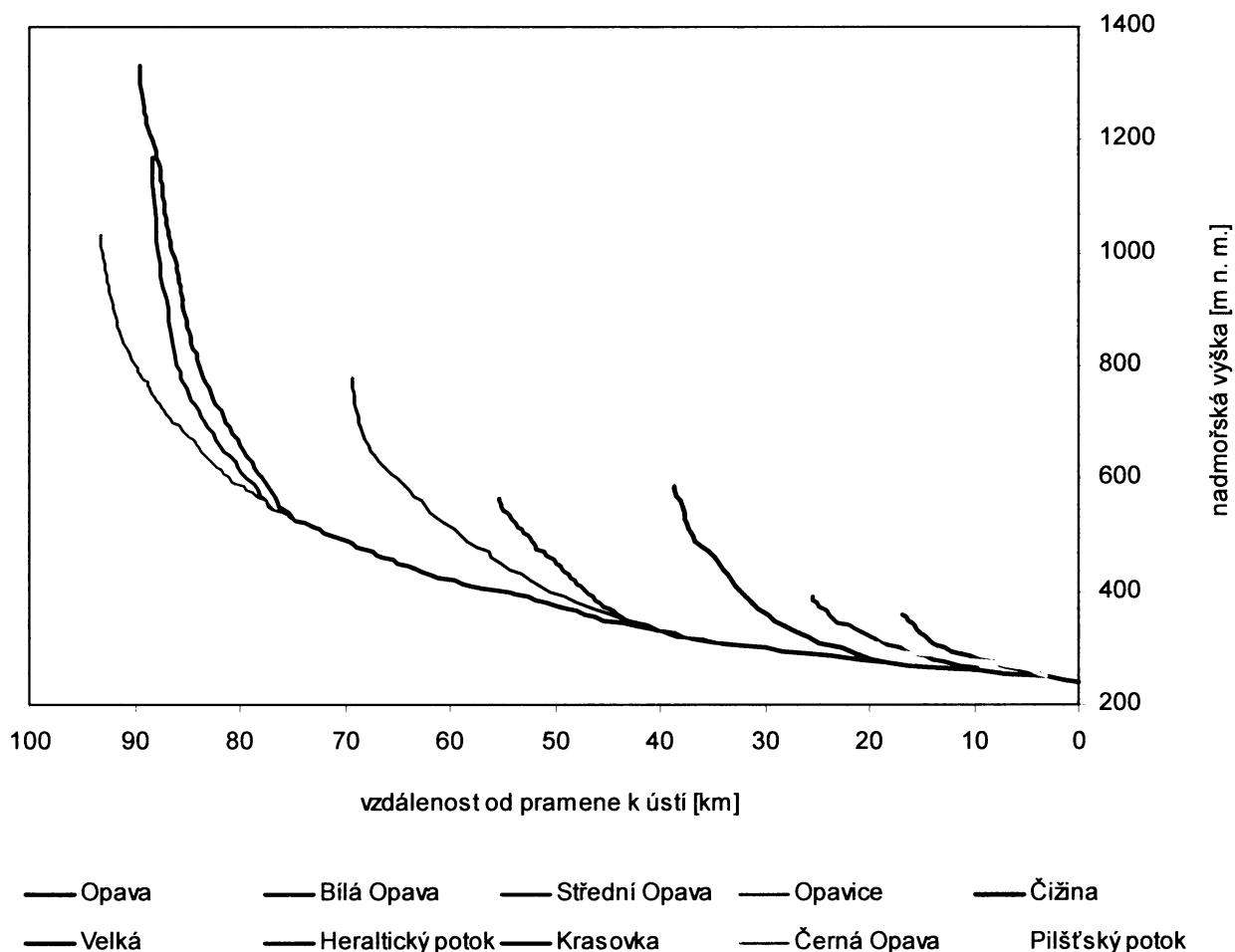
Důležitým ukazatelem, který má vliv na velikost povodně a její průběh je tvar povodí a uspořádání říční sítě. Zjednodušeně lze říci, že povodí protáhlého tvaru jsou méně nebezpečná pro vznik povodní než povodí vějířovitá (obr. 3.7). Ve stromovitě uspořádaném povodí protáhlého tvaru je odtok relativně vyrovnaný. Naopak v povodí vějířovitého tvaru jsou patrná výrazná maxima. U těchto povodí je velikost kulminace a strmost povodňové vlny větší než u povodí protáhlého tvaru.

Pro určení tvaru povodí se nejčastěji používá výpočtu jako je Graveliův koeficient, charakteristika povodí a koeficient souměrnosti plochy povodí. Tvar povodí Opavy vyjádřený

pomocí Gravellova koeficientu  $K_G$  (délka rozvodnice ku délce kruhu o stejné ploše jako povodí) je 1,73. V případě, že hodnota koeficientu  $K_G$  je rovna jedné, jedná se o povodí kruhového tvaru. Čím je hodnota  $K_G$  vyšší, tím je povodí protáhlejší. Charakteristika povodí  $\alpha$  (plocha povodí ku čtverci délky toku) je v povodí Opavy představovaná hodnotou 0,12 tj. protáhlý tvar povodí. Asymetrii přítoků vzhledem k hlavnímu toku udává koeficient souměrnosti plochy povodí  $K_S$  (rozdíl pravé a levé části plochy povodí ku celkové ploše povodí), který pro povodí Opavy je 0,018. Přičemž hodnota 0 znamená souměrné povodí a 1 absenci přítoků z pravé nebo levé strany.

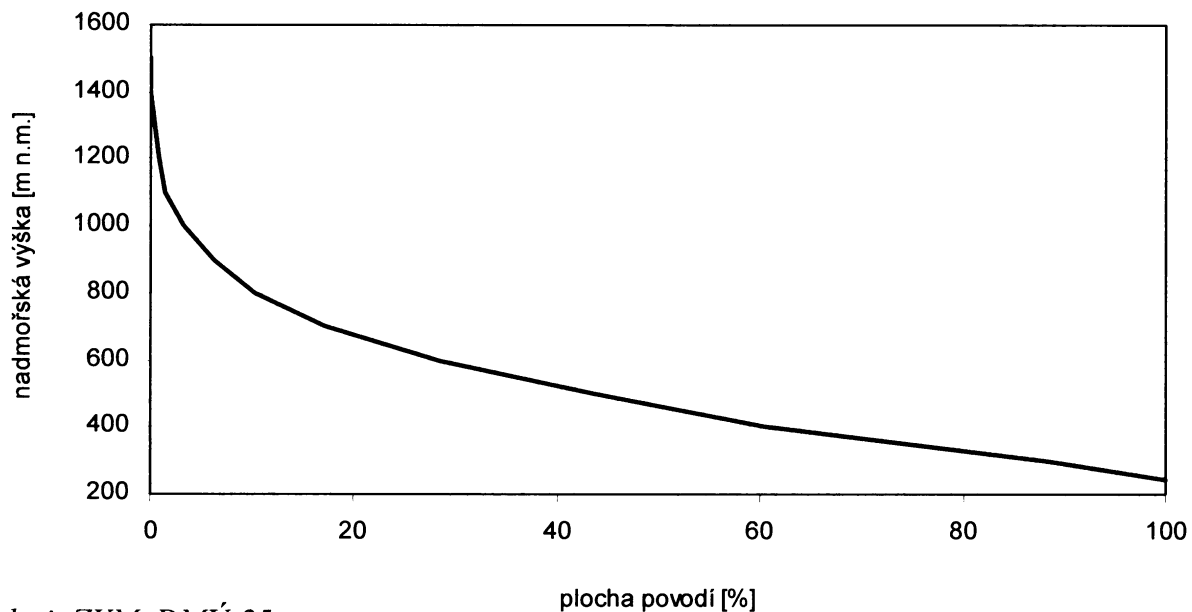
Výškové poměry povodí jsou zastoupeny převýšením  $\Delta h$  (rozdíl mezi max. a min. nadmořskou výškou povodí), které je 1251 m. Spád povodí I (převýšení k odmocnině z plochy povodí) je relativně vysoký 40,67 %. Sklonové poměry toků jsou také znázorněny v podélném profilu na obr. 3.8, z kterého je patrný velký spád na horních tocích Opavy až po Vrbna pod Pradědem. Přibližně od Krnova má Opava již mírnější spád.

Obr. 3.8 Podélný profil Opavy a jejích přítoků



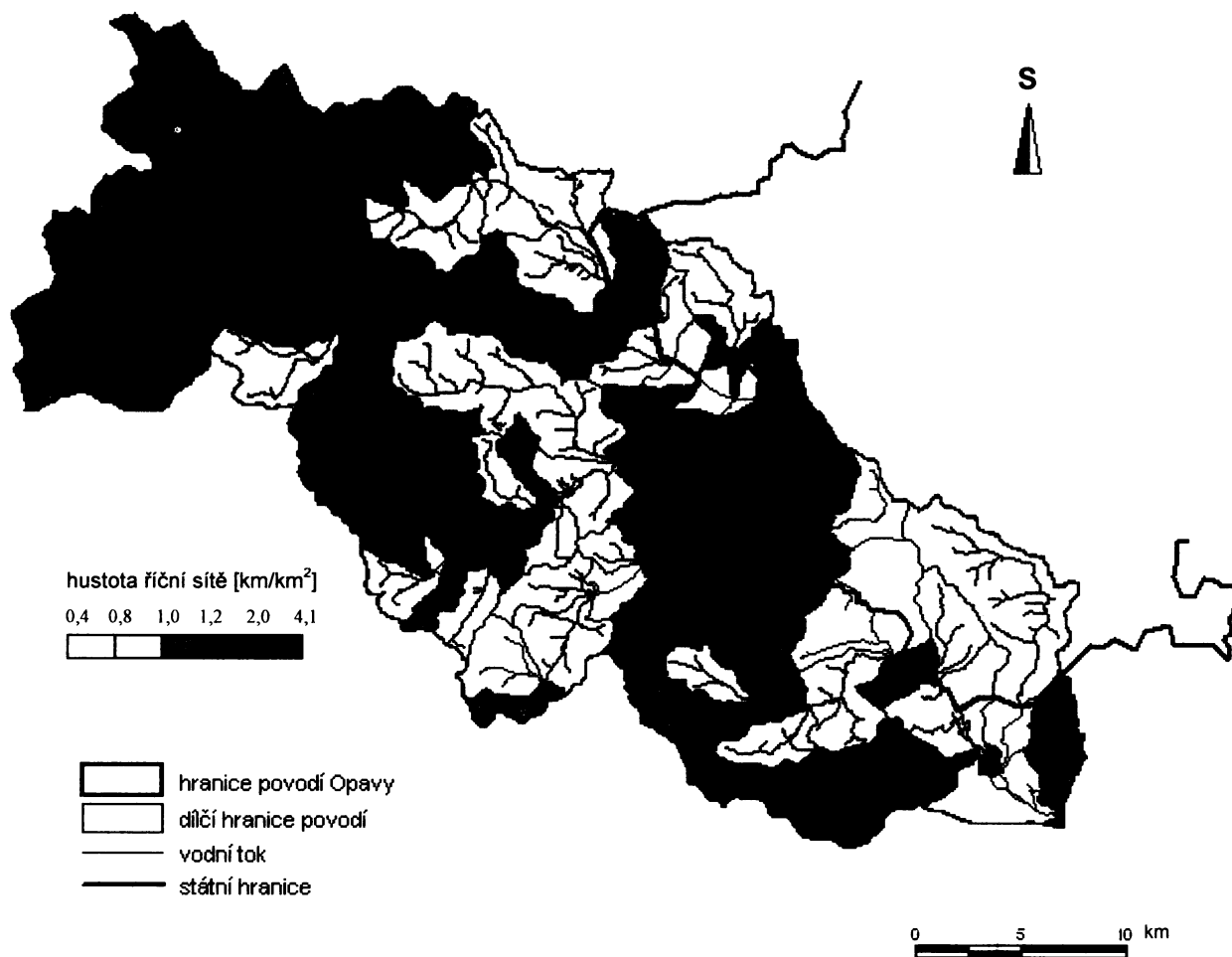
Zdroj: ZVM, DMÚ-25

Obr. 3.9 Hypsografická křivka pro povodí Opavy



Zdroj: ZVM, DMÚ-25

Obr. 3.10 Hustota říční sítě v povodí Opavy



Zdroj: ZABAGED, ZVM

Vlastnosti reliéfu se dají vyjádřit pomocí koeficient reliéfu  $R_h$  (převýšení k délce povodí), který činí 21,13 ‰ nebo využitím hydrografické křivky (obr. 3.9), která znázorňuje podíl ploch výškových pásem na celkové ploše povodí.

Celkový povrchový odtok z povodí je ovlivněn hustotou říční sítě  $r$  (délka vodního toku na 1 km<sup>2</sup> plochy). Čím je hustota říční sítě větší, tím je vyšší i povrchový odtok a naopak. Hustota říční sítě pro dílčí povodí je zachycena na obr. 3.10 a pro povodí Opavy odpovídá hodnotě 1,05 km/km<sup>2</sup>.

### 3.6 Hydrogeologie

V povodí Opavy se nachází rozdílné oblasti z hlediska hydrogeologie (obr. 3.11), které odlišně ovlivňují povodňové situace. Důležitou roli při odtoku hraje propustnost hornin budujících území. Slabě propustné horniny mají vliv na rychlý odtok vody z povodí a na zvětšený maximální průtok. V povodích, která jsou tvořena propustnými horninami, se část vody vsákne do propustného prostředí a tím dojde ke zmenšení objemu povodňových vln.

Z hlediska pohybu se dají podzemní vody rozdělit na puklinové a průlinové. Krystalinikum Jeseníků, horniny devonu a kulmu se vyznačují puklinovým oběhem podzemní vody. Naopak v oblastech, které jsou tvořeny fluvialními a glaciofluvialními sedimenty, se nachází průlinová podzemní voda.

Podle hydrogeologické rajonizace (Michlíček et al., 1986) území povodí částečně spadá do čtyř hydrogeologických rajónů: Fluvialní a glaciální sedimenty v povodí Opavy (152), Glaciální sedimenty Opavské pahorkatiny (155), Krystalinikum Východních Sudet (643) a Kulm Nízkého Jeseníku (661). Největší plochu povodí zaujímá rajón Nízkojesenického kulmu. Pramenná oblast Opavy, území Hrubého Jeseníku, náleží ke krystaliniku Východních Sudet a východní část povodí patří do regionu fluvialních a glaciálních sedimentů povodí Opavy a Opavské pahorkatiny.

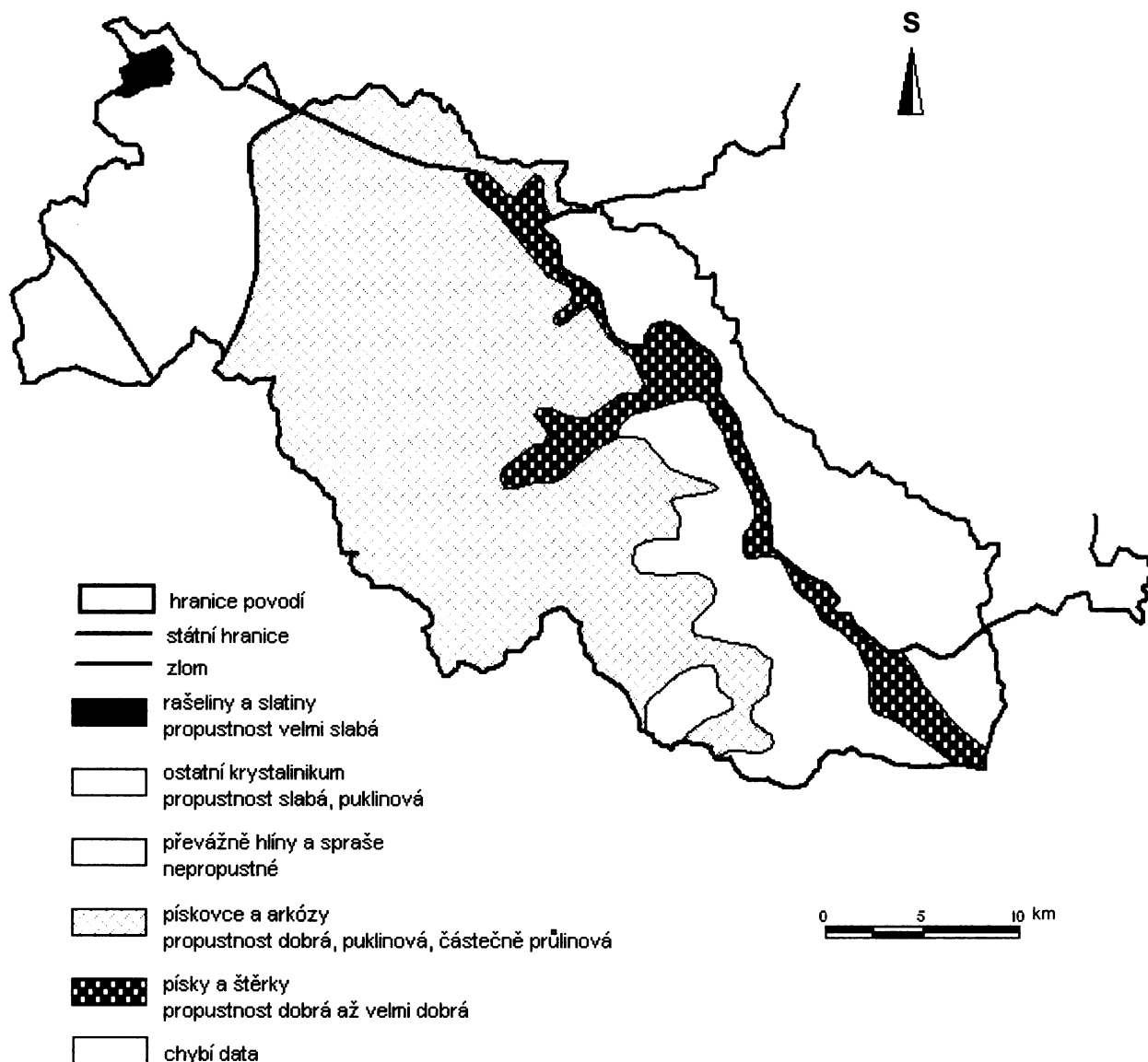
Jesenické krystalinikum je tvořeno horninami, které umožňují pouze puklinový pohyb podzemní vody, což zapříčiňuje malý počet vydatnějších zdrojů. Jen ojediněle se na tektonických zlomech vyskytují i puklinové prameny s vývěrem prosté vody, např. Karlova Studánka (Poruba, 1962). Nejméně podzemních zdrojů je vázáno na skalní podklady tvořené svory a fylity.

Oblast tvořená kulmskými horninami se vyznačuje průlinovým pohybem podzemní vody. Její relativně dobrá propustnost je vázaná na výskyt drob a slepenců, u nichž pukliny

nejsou tak sepnuté jako u břidlic. Rovněž i zde je velký nedostatek podzemní vody. K soustředění podzemní vody dochází pouze na zlomových pásech, kde místy vyvěrají podzemní vody jako zlomové údolní prameny (Roth, 1962).

Hydrogeologicky nejbohatší oblastí podzemních vod jsou území tvořená kvartérními sedimenty. Čtvrtohorní náplavy se vyznačují průlinovou propustností. Podzemní vody, které jsou obsaženy ve fluviálních a glaciofluviálních sedimentech jsou často ovlivněny režimem povrchových vod (kolísání hladiny podzemní vody). Zvodně kvartérních sedimentů patří mezi nejméně kvalitní podzemní vody, přesto jsou nejvíce vodohospodářsky využívány. Představují totiž jedinou možnost získání vodních zdrojů větší vydatnosti.

Obr. 3.11 Hydrogeologie povodí Opavy



Zdroj: Digitalizováno podle hydrogeologické mapy, Hydrologické poměry ČSSR

### 3.7 Půdy

Rozložení půdního pokryvu v povodí Opavy je ovlivněn geologií, georeliéfem a geomorfologickým vývojem území. Důležitou roli také sehrál charakter podložních hornin a jejich zvětralin, které vedly ke vzniku různých půdních typů a druhů.

Půdní pokryv se také uplatňuje při vzniku a průběhu povodňových situací. Dochází ke zmírňování odtoku, ale pouze do té doby, než je retenční kapacita půdy nasycena, poté veškerá voda z povodí odtéká. Retenční kapacita půdy tedy závisí na její vlhkosti, na obsahu jílových frakcí v půdě aj.

V nejnvýše položených částech Hrubého Jeseníku dominují na metamorfovaných horninách a břidlicích hlinitopísčité a písčitohlinité půdy. V oblastech Nízkého Jeseníku a Zlatohorské vrchoviny převládají půdy jílovitohlinité zrnitosti. Níže položená území, část Opavské pahorkatiny, mají převážně hlinité půdy.

V povodí Opavy jsou půdní typy velmi pestré v závislosti na charakteru podloží (obr. 3.12). Dominantním půdním typem v Hrubém Jeseníku je podzol, který se vyvinul na kyselých metamorfovaných horninách a břidlicích. Ojedinele na malých plochách na vrcholcích pohoří leží vložky rankeru. Směrem do nižších poloh je podzol nahrazován přechodným typem kryptopodzolem (rezivé půdy). Na vývoji těchto půd se podílela jak podzolizace, tak i zvětrávání (Tomášek, 2000).

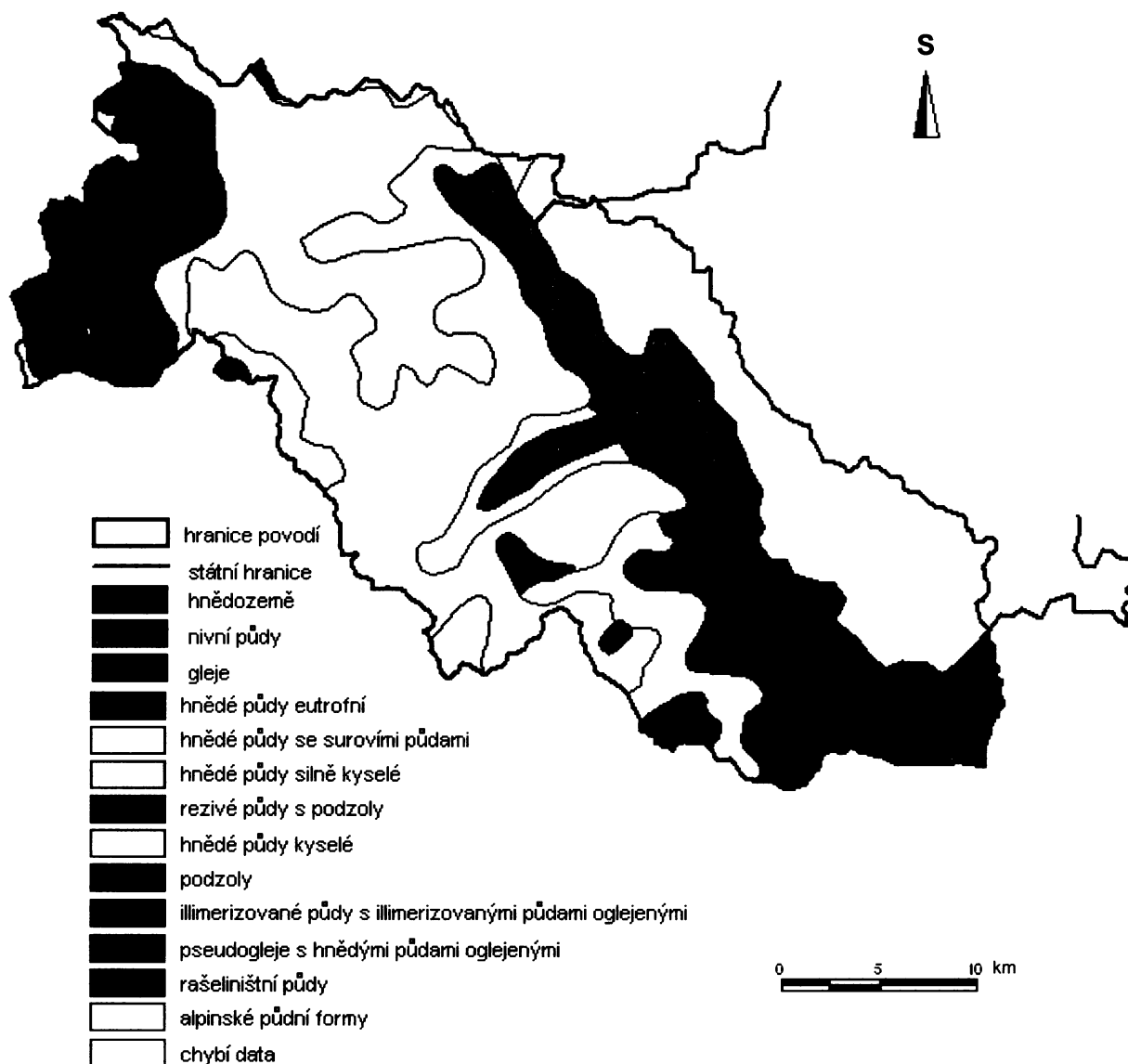
Velkou část povodí pokrývají kambizemě neboli hnědé půdy. Tyto půdy navazují na východě na subregion podzolových půd. Ve středohorských oblastech Nízkého Jeseníku a Zlatohorské vrchoviny jsou na svahovinách drob a břidlic vytvořeny především dystrické (kyselé) kambizemě, které pozvolna přecházejí v kambizem typickou. Menší plochu regionu pokrývají nasycené kambizemě vytvořené na bezkarbonátových flyšových pískovcích a bazických horninách.

Podél drobných vodních toků a pramenišť jsou patrné hydromorfní půdy, převážně gleje. Na území Hrubého Jeseníku se glej střídá s oblastmi pokrytými organozemí, která se vyvinula postupnou biologickou akumulací rostlinného materiálu v zatopených depresích (Weissmanová, 2004). Půdní pokryv doplňují oblasti pokryté pseudoglejí.

Na sprašových hlínách v Hlučínské pahorkatině a ve východní části Jindřichovské pahorkatiny jsou hlavními půdními typy hnědozemě typická a luvizemní a luvizemě se znaky oglejení. V okolí Krnova při státní hranici na ni navazuje pseudoglej na polygenetických hlínách a morénách. Na spraších severozápadně od města Opavy se spolu s hnědozemí vyvinula podél nivy Opavy i šedozem.



Obr. 3. 12 Půdní typy povodí Opavy



Zdroj: Digitalizace podle půdní mapy ČR, Tomášek (2000)

V okolí toků, např. Bílé a Černé Opavy, Opavice, jsou nivní bezkarbonátové uloženiny pokryty pásy fluvizemě glejové a místy i fluvizemě typické. Tyto nivní půdy jsou spíše vyvinuty v údolních nivách větších toků. Při jejich genezi docházelo k postupné akumulaci humusu, která byla střídána periodickou fluviální akumulací vlivem záplav.

Většina půd v povodí Opavy je poznamenána činností člověka. V níže položených oblastech dochází k intenzivnímu zemědělství a v horských polohách jde o lesnické zásahy. S lidskou činností souvisí časté poškozování půdního pokryvu, např. zvýšená vodní eroze, odnos půdy a humusu. Tyto destruktivní jevy se projevují nejcitlivěji v době extrémních hydrologických situacích.

Na území Hrubého Jeseníky převládají podzoly a kryptopodzoly, které se vyznačují vyšší propustností a malou retenční schopností, což společně s vysokou svažitostí podmiňuje relativně rychlý odtok srážkové vody v povrchových tocích. Organozemně, které se nacházejí v okolí Rejvízu, při plném nasycení vodou také urychlují odtok. Rozsáhlou část území pokrývají kambizemě, které jsou využívány k zemědělsko-lesnickým účelům, což má za následek pokles jejich retenční kapacity a zrychlení povrchového odtoku.

### 3.8 Biogeografie

Různorodé přírodní podmínky, především geologický substrát, georeliéf, půdní poměry, klimatické vlivy a rozsah antropogenní činnosti podmiňují rozmístění potenciální přirozené lesní vegetace a vytváří mozaiku nelesních typů náhradní přirozené vegetace.

Přestože se původní vegetační kryt na území povodí Opavy téměř nezachoval, druhotná vegetace a kulturní plodiny se stali součástí krajiny a plní všechny důležité funkce biosféry. Původní vegetace byla představována převážně listnatými horskými lesy, jen ojediněle v podhůří Hrubého Jeseníku se jednalo o středoevropský smíšený les (Culek, 1996).

Povodí Opavy spadá podle fyto geografického členění (Weissmanová, 2004) do dvou oblastí. Západní oblast, nejvyšší část Hrubého Jeseníku, patří k obvodu Českého oreofytika, okresu Hrubý Jeseník. Zbytek povodí náleží k fyto geografickému obvodu České mezofytikum, které je reprezentováno třemi celky. Velkou plochu zaujímá fyto geografický okres Jesenické podhůří, kam patří většina území Nížkého Jeseníku. Níže položená část povodí přísluší k podokresu Opavská pahorkatina, okresu Slezská pahorkatina. V okolí Krnova malou plochou do povodí zabíhá fyto geografický podokres Vidlansko-osoblažská pahorkatina.

Podle Culka (1996) povodí zasahuje do hercynské a polonské biogeografické provincie. Na území hercynské provincie převládají lesnaté plošiny holoroviny, naproti tomu, v polonské provincii má dominantní význam kulturní zemědělská krajina. Většina povodí náleží do hercynské provincie a to do třech bioregionů. Střední část povodí spadá do Nízkojesenického bioregionu, který koresponduje s Nízkým Jeseníkem a okrajem Zlatohorské vrchoviny. Na Nízkojesenický bioregion navazuje Krnovský, který je tvořen východním okrajem Nížkého Jeseníku a Zlatohorské vrchoviny. Na severozápadě se rozkládá Jesenický region, který zahrnuje členité hornatiny především Hrubého Jeseníku. Severovýchodní

nížinatá část povodí, oblast Opavské pahorkatiny, se výrazně odlišuje od okolního území. Rozkládá se zde Opavský bioregion, který patří k výběžku polonské provincie.

Potenciální přirozená vegetace v povodí Opavy odpovídá většinou fytogeografickému členění. V horských polohách Hrubého Jeseníku jsou typické smrkové bučiny, které postupně přechází do klimaxových smrčín. Na horní hranici lesa, formovanou smrčínami, navazuje přirozené subalpínské bezlesí. Specifikem Jesenické oblasti je nepřítomnost přirozených klečových porostů. Na malých plochách se nachází rašeliniště a horská vrchoviště. Mezi nejvýznamnější rašeliniště patří jistě Revíz, který částečně ovlivňuje odtokové poměry horního toku Opavy a Opavice.

V níže položených oblastech Jesenického a na území Nízkojesenického bioregionu v potenciálně přirozené vegetaci převládají květnaté bučiny a na menších plochách bikové bučiny. Na strmých a kamenitých svazích jsou vyvinuty suťové lesy. V oblasti Nízkého Jeseníku primární bezlesí úplně chybí.

Přirozená vegetace v nejnižších polohách povodí potenciálně odpovídá lipovým dubohabřinám a suchým a vlhkým acidofilním doubravám s ojediněle se vyskytujícími dubovými bučinami. V okolí vodních toků velkou plochu zaujímají lužní lesy. Zejména v nivě Opavy jsou zachovány vrbiny a zbytky bažinných olšin.

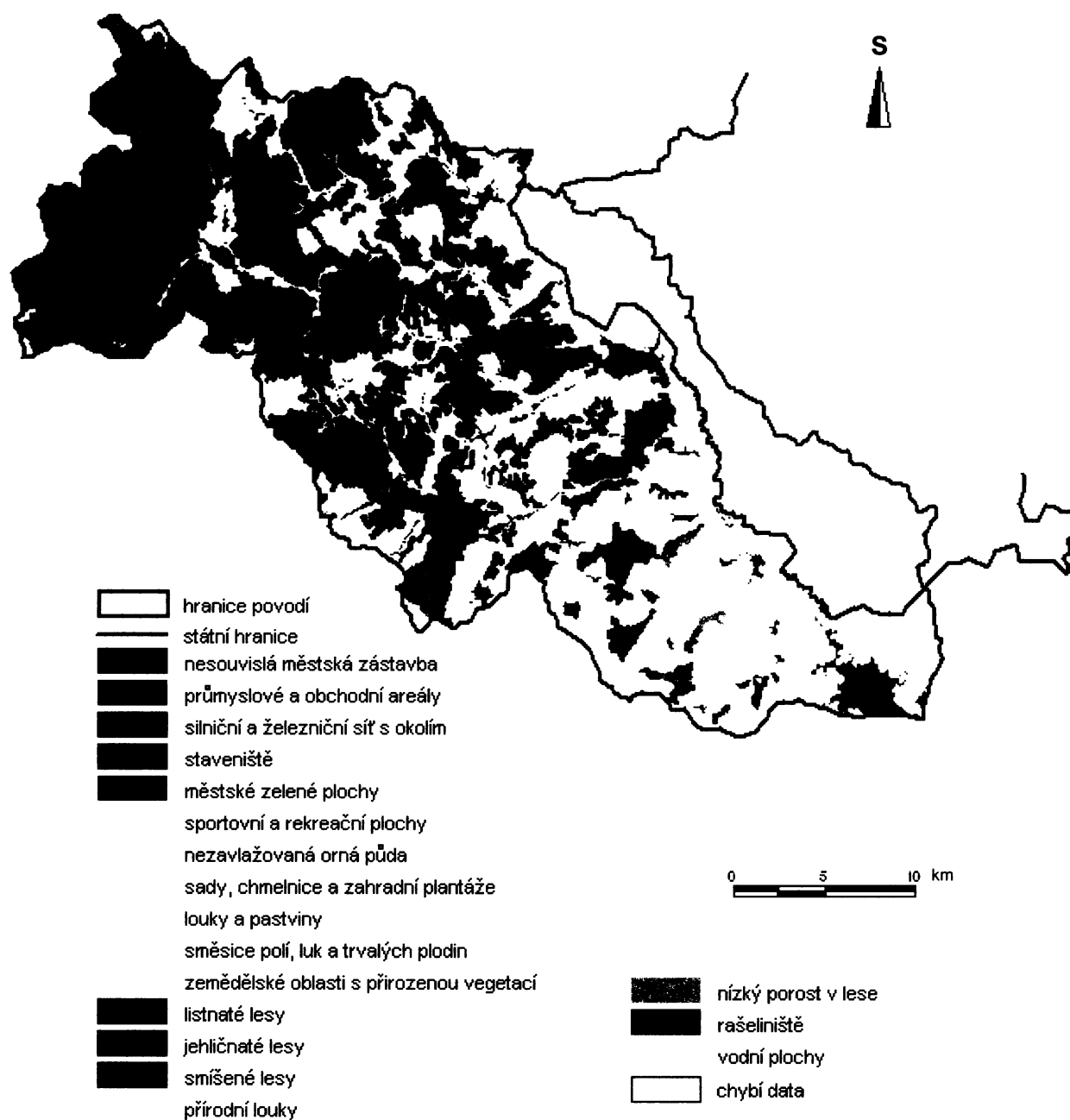
Území povodí Opavy dnes pokrývá hlavně náhradní vegetace, která se značně liší od potenciálního stavu. V horských oblastech byly smrkové a květnaté bučiny většinou nahrazeny druhotnými smrčínami. Přirozené bikové bučiny byly v minulosti odlesněny. Tyto plochy byly především přeměny na ornou půdu a částečně také osázeny smrkem, popřípadě modřínem nebo borovicí. Z původní přirozené vegetace lipových dubohabřin v oblasti Opavského a části Krnovského bioregionu se dochovaly jen nepatrné zbytky. Převážná část území se stala součástí zemědělské půdy. Podobně bylo naloženo i s původními acidofilními doubravami, které byly částečně přeměněny na borové lesy. Na několika málo stanovištích se dochovaly dubové bučiny. Většina lučních společenstev byla přeměněna na ornou půdu nebo značně pozměněna lidskou činností.

Přirozená vegetace měla optimální vlastnosti z hlediska odtoku vody z krajiny. Zásahem lidské činnosti došlo k porušení této rovnováhy a následnému urychlení odtoku z krajiny. Vlivem odlesnění původně lesnatých ploch došlo ke snížení intercepční kapacita a výparu a tím i k zvětšení podílu srážkového vody, která se zapojuje do povrchového odtoku. V důsledku přeměny lesa na ornou půdu se také snížila celková retenční kapacita krajiny a urychlil se odtok. Rychlý odtok se může projevit na dřívějším a větším kulminačním průtoku a zvětšeném objemu povodňové vlny.

### 3.9 Krajinový pokryv

Krajinový pokryv má určitou schopnost zadržovat srážkovou vodu, zpomalovat odtok a zlepšovat vsak. Retenční schopnost jednotlivých krajinových prvků je různá. Obecně lze říci, že nejlepší vlastnosti pro zpomalení odtoku a zadržení srážkové vody má les, pak louky a pastviny a nejhůře se projevuje orná půda.

Obr. 3.13 Krajinový pokryv povodí Opavy



Zdroj: CORINE Land Cover, 2000

Území povodí Opavy je výrazně ovlivněno lidskou činností. Přibližně 5,5 % plochy povodí pokrývají urbanizovaná území. Největší města se nachází podél toků a v údolní nivě řeky Opavy. Od roku 1990 došlo k nárůstu zastavěné plochy o 3 % na úkor zemědělských ploch a lesů.

Z obr. 3.13 je patrné, že rozložení jednotlivých vegetačních pokryvů v povodí Opavy je velmi nerovnoměrné. Ve východní převážně nížinaté části povodí dominují zemědělsky obhospodařované plochy, které zaujímají 46,5 % z celkové plochy povodí. Louky a pastviny pokrývají téměř 10 % rozlohy a orná půda je na 26 % povodí. Naopak na západě v horské části převažují lesy. V povodí Opavy a Opavice nad Krnovem tvoří lesy přibližně 75 % plochy území. Podíl lesních porostů na celkové ploše je 48 %. Nejvíce jsou zastoupeny jehličnaté lesy, jichž podíl na zalesněné ploše je 73 %. Rozloha lesů listnatých a smíšených je poměrně malá. Vodní plochy a rašelinné oblasti tvoří jen velmi malé procento rozlohy.

V horských oblastech, kde lesy pokrývají více než 80 % rozlohy, je část vody z dešťových srážek zadržena intercepací a je tak vyloučena z povrchového odtoku. Les má také pozitivní vliv na zpomalení odtoku a snižování kulminačních průtoků. Naopak zemědělsky obdělávané plochy odtok vody z krajiny urychlují.

## 4 POVODŇOVÉ SITUACE

Problematice povodní je v posledních letech věnována stále větší pozornost i v české literatuře (např. Brázdil et al., 2005). V souvislosti s nedávnými katastrofálními povodňovými událostmi, které postihly velkou část našeho území v červenci 1997 na Moravě a v srpnu 2002 na Vltavě a Labi, vznikla řada studií (viz např. Hladný et al. 1998; Matějčík, Hladný, 1999; Řehánek, 2002; Hladný et al., 2005). Také na půdě Katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze vznikají práce řešící otázky související s povodněmi (viz např. Křížek, Engel, 2004; Šefrna, 2004; Langhemmer, 2006; Vilímeček, 2006). V rámci magisterských či disertačních prací se na této katedře povodňovými situacemi zabývali např. Vlasák (2000), Chaloušková (2004), Štěpánková (2004), Jurgvirťová (2005) či Čekal (2005).

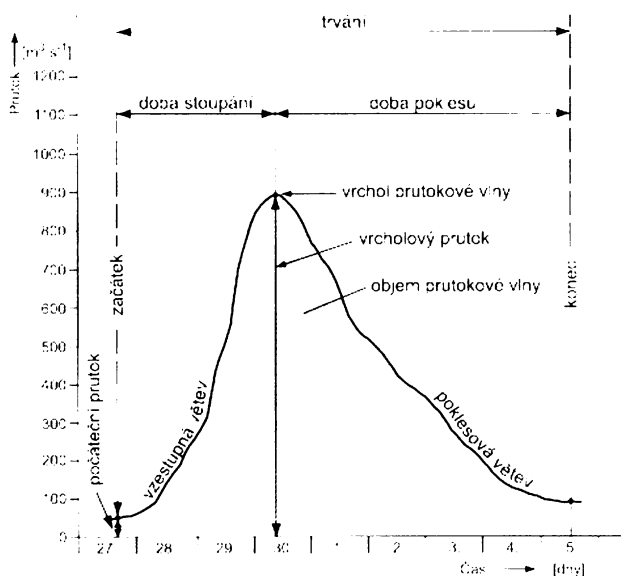
Tyto přírodní katastrofy způsobují ztráty nejen na majetku, ale i na lidských životech a na životním prostředí. Proto je důležité pochopit jejich mechanismus vzniku a průběhu a snažit se zmírnit jejich ničivé následky.

### 4.1 Povodeň

Pojem „povodeň“ se dá definovat mnoha způsoby. I dnes je obtížné přesně vymezit univerzální definici pro pojem povodeň. Každá povodňová situace se projevuje jako specifikum v určitém prostoru a čase. Proto je důležité povodeň hodnotit z hlediska více kritérií. Za nejdůležitější lze považovat hodnoty základních parametrů povodňové vlny, příčiny vzniku povodně, typ povodně, vliv fyzickogeografických poměrů povodí na vznik a průběh povodně a způsobené škody.

V České republice se v povodňové ochraně ustálila definice povodně podle Vodního zákona č. 245/2001 Sb. Povodněmi se zde rozumí „*přechodné významné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém již voda zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod*“. Průběh povodně je charakterizován průtokovou vlnou, která podle ČSN (1975) představuje „*přechodné zvětšení a následující*

*pokles průtoků a vodních stavů, vyvolaný dešti, tání sněhu nebo umělým zásahem v určitém profilu toku a v daném okamžiku“* (Brázdil et al., 2005). Průtoková vlna je charakterizována kulminačním průtokem, objemem a tvarem vlny. Průtoková vlna, která překročila z různých příčin průtočnou kapacitu koryta toku a dochází při tom k vylévání vody do okolního reliéfu a k záplavám, je označována za povodňovou vlnu. Jednotlivé části povodňové vlny jsou znázorněny na hydrogramu (obr.4.1).



Obr. 4.1 Prvky průtokové vlny

Zdroj: Brázdil et al. (2005)

## 4.2 Příčiny vzniku povodní

Rozhodující vliv na vodní režim v krajině mají abnormální cirkulační procesy v atmosféře a jejich fyzikální podmínky, které vedou ke vzniku atmosférických srážek. Voda z dešťových srážek a tající vysoké sněhové pokrývky je nejčastější příčinou povodní.

Výskyt intenzivních srážek je vázán na existenci výstupných pohybů vzduchu (Kakos, 2001). Dochází k nim především cyklonálními pohyby vzduchu v oblasti atmosférických front, termickou konvekcí, výstupními pohyby vzduchu v oblasti cyklón a brázd nízkého tlaku a při orografickém zesílení v důsledku návětrných efektů. Většinou se na vypadávání povodňových srážek podílí kombinace několika těchto příčin, působení všech nevylučuje.

Srážky nepatří k jediným meteorologickým prvkům, které ovlivňují vznik povodní. Podílejí se zde i jiné meteorologické příčiny (Matějček, Hladný, 1999), které se dají rozdělit na předběžné a příčinné. Předběžné meteorologické faktory působí několik dnů až měsíců před vznikem povodně (nasycenost povodí, promrznutí půdy, výška sněhové pokrývky a její

hodnota). Příčinné faktory mají vliv na vznik povodně několik hodin až dnů předem (dešťové srážky, kladné teploty vzduchu, tání sněhové pokrývky a rychlost větru).

Na vývoji a průběhu povodně se svým způsobem podílí i krajina, která má schopnost do určité míry zpomalovat odtok ze spadlých srážek. Tento děj je označován jako srážkoodtokový proces (Linsley et al., 1949). Část spadlých srážek je zachycena na povrchu vegetačního krytu (intercepce). Množství zadržovaných srážek vegetací závisí na její hustotě, druhu, stáří a vývoji porostu v sezoně, ale také na intenzitě a délce trvání srážek. Voda, která není zadržena vegetací a dopadá až na povrch se může vsáknout do půdního prostředí a zvodní podzemních vod (infiltrace). Velikost infiltrace závisí především na půdním typu a druhu, propustnosti půdy a horninového podkladu, promrznutí a nasycenosti půdy předchozími srážkami. Po překročení infiltrační kapacity půdy a horninového podloží začíná přebytečná voda vyplňovat deprese terénu (detence), čímž dochází k akumulaci vody na povrchu a k dočasnému zpomalení odtoku. Poté, co je retenční kapacita krajiny naplněna a voda se už ani nemůže shromažďovat na povrchu, nastává povrchový a podpovrchový odtok. Voda odtéká po povrchu ve směrem spádu do koryt vodních toků, které naplňuje. V případě, že dojde k překročení průtočné kapacity koryta toku a voda zaplavuje přilehlé území, nastává povodeň.

Na vznik a vývoj povodně má samozřejmě vliv i řada dalších fyzickogeografických podmínek jednotlivých povodí a antropogenní ovlivnění krajiny. O tom blíže v samostatné kapitole 4.7.

### **4.3 Typy povodní**

Většina povodňových situací na území České republiky je způsobena dešťovými srážkami. Povodně vyvolané jen táním sněhové pokrývky nejsou tak časté. Povodňové případy vznikající v zimní části roku jsou převážně smíšeného typu (kombinace tání sněhu a dešťových srážek). Méně obvyklým případem jsou povodně způsobené dočasným zmenšením průtočnosti koryty v důsledku pohybu ledové masy nebo přehrazení toku sesuvem půdy.

Brázdil et al. (2005) podle ČSN (1975, 1983) uvádí dělení povodňových situací pouze na základě příčin vzniku povodně na druhy dešťové, sněhové a smíšené. Podle doby výskytu a příčiny vzniku povodní se v literatuře (Matějček, Hladný, 1999) používá následující rozdělení typů povodní:

- a) letní typ povodní



- následkem krátkých přívalových dešťů,
  - následkem regionálních dešťů;
- b) zimní a jarní typ povodní
- následkem tání sněhu,
  - následkem vytváření a pohybu ledové masy v toku;
- c) povodně z jiných specifických příčin.

### **Letní typ povodní z krátkodobých přívalových dešťů**

Dešťové povodně z přívalových srážek jsou často označovány jako „bleskové povodně“. Důvodem je typická krátkost celého průběhu povodňové situace s náhlým a rychlým vzestupem vodních stavů. Tyto povodně jsou vyvolány bouřkovými srážkami, které mají krátkou dobu trvání (2-6 hodin), ale značnou intenzitu (desítky milimetrů až 100 mm za hodinu) a postihují menší plochy území (desítky km<sup>2</sup>). Často jsou spojovány s přechodem studených front (Kakos, 2001).

Přívalové deště vyvolávají povodňové případy především v povodí malých toků, a to kdekoli na území České republiky. Lokálně tyto povodně mají schopnost působit velké škody. V některých výjimečných případech mohou mít takovéto povodně i větší územní rozsah, což bylo pozorováno 25.-26. května roku 1972 v povodí Berounky a Ohře (obr. 4.2). Tato povodeň byla způsobena výhradně přívalovými srážkami s trváním několika hodin.



*Obr. 4.2 Nakupení dřeva před Karlovým mostem v Praze při povodni v květnu 1872*

*Zdroj: Brázdil et al. (2005)*

### **Letní typ povodní z regionálních dešťů**

Tento typ povodní je způsoben dlouhotrvajícími srážkami, které se projevují menší intenzitou a postihují rozsáhlá území (tisíců až stovky tisíců km<sup>2</sup>). Srážková činnost je spojena s přechodem teplé atmosférické fronty. U teplé fronty dochází k pomalému a trvalému

vytváření oblačnosti, což má za následek, že srážky mají menší intenzitu a jsou rovnoměrně rozloženy po celou dobu svého trvání.

Deště, způsobující regionální povodně v České republice, v průměru trvají 1 až 3 dny. V extrémních případech, jak se ukázalo při povodni v červenci 1997 (obr. 4.3), doba trvání srážek může být i delší, až kolem 5 dnů.



*Obr. 4.3. Povodeň v červenci 1997 na Opavě ve městě Opava*

*Zdroj: Fotografie z povodní - Povodně 1997*

Regionální povodně jsou obvykle doprovázeny rozsáhlými záplavami, které působí největší škody na středních a dolních tocích velkých řek. Výše škod v záplavovém území závisí hlavně na hustotě osídlení a využití krajiny v těchto oblastech.

### **Zimní a jarní typ povodní z tání sněhu**

Při vzniku povodní vyvolaných táním sněhové pokrývky je rozhodující teplota, která musí dosáhnout kladných hodnot. Tání sněhu je ovlivněno přísunem slunečního záření, teplotou vzduchu, větrem a dešťovými srážkami. Intenzita tání a následný vznik povodňové situace závisí také na výšce sněhové vrstvy, nasycení a promrzlosti půdy, nadmořské výšce a expozici povodí.

Sněhová pokrývka se často chová jako „sací houba“. Má schopnost zadržovat roztátou i dešťovou vodu, ale jen do doby než je její retenční kapacita vyčerpána. Větší výška sněhové vrstvy působí na rozdíl od rychle tající tenké sněhové pokrývky spíše brzdícím účinkem na vytváření povodňových průtoků.

Povodňové vlny způsobené jarním táním sněhu doprovázené dešťovými srážkami se vyznačují plochým vrcholem, dlouhou dobou trvání a na většině našeho území i značnou intenzitou. Povodně zapříčiněné pouze táním sněhu nebývají na našem území tak významné. Zimní povodně se téměř každoročně vyskytují na Jizeře. Např. zimní povodeň z 8. března

2000, která byla způsobena táním sněhu doprovázeného vypadáváním dešťových srážek, dosáhla skoro průtoku stoleté vody či povodeň z 1. dubna 2006.

### **Zimní a jarní typ ledových povodní**

Ledové povodně vznikají v důsledku zmenšení průtočnosti koryta, které je způsobeno ledovými jevy na tocích a má za následek vzduť vodní hladiny. Tyto povodně vznikají většinou po dlouhotrvajících mrazech se zámrazem řeky, kdy při následné oblevě dochází k uvolnění koryta od ledových jevů. K plynulému odchodu ledových ker brání souvislé úseky ledových příkrovů, ale také mělká a zúžená místa, kde se kry hromadí a vytváří ledové zácpy a nápěchy.



*Obr. 4.4 Ledová bariéra ve Štěchovicích při povodni v roce 1940*

*Zdroj: Svatojanské proudy na starých pohlednicích - Ledy a povodně*

Náhlé uvolnění průtočného profilu od ledových bariér může vyvolat povodně značné ničivé síly, které např. postihly Vltavu v roce 1929 či 1940 (obr. 4.4). Na jaře roku 1940 dosáhla Vltava v Praze průtoku třicetileté vody.

### **Povodně ze specifických příčin**

Povodně mohou vyvolat i jiné příčiny - náhlé přehrazení toku sesuvem půdy, ucpání mostních otvorů, propustků či koryta splávim (kmeny stromů a jiné vodou unášené předměty). Patří sem záplavy vyvolané zpětným vzduť vodní hladiny na přítocích, způsobené vyšší hladinou na hlavním toku.

Při intenzivních srážkách či tání sněhu se mohou na nezalesněných svazích horských oblastí vytvořit proudy vody, bahna a šterku, nazývané jako splaveninové povodně.

Kromě povodní, které jsou způsobeny přírodními vlivy, může povodňovou situaci vyvolat i porucha některého ze zařízení vodního díla. To může vést k omezení ochranné

retenční funkce vodní nádrže nebo dokonce k vypouštění vody z nádrže, což má následně vliv na zhoršení odtokové situace pod nádrží.

#### 4.4 Typizace synoptických situací

Klasifikace synoptických situací jsou v poslední době vystavovány velkému zájmu, především proto, že hledají souvislosti mezi atmosférickými cirkulačními podmínky a výskytem povodní. Cirkulační procesy v atmosféře musí být nejprve podle určitých podobností rozděleny do jednotlivých tříd a ty pak pojmenovány. Dochází tak ke zevšeobecnění informací o synoptických situacích, které jsou svým způsobem jedinečné a neopakovatelné.

Typizace povětrnostních situací rozlišuje dva hlavní metodické přístupy, subjektivní a objektivní. Subjektivní klasifikace využívají znalostí a zkušeností meteorologa. Nevýhodou je právě jejich subjektivní pojetí, platnost jen pro určité území a jejich časová náročnost. Objektivní klasifikace jsou založeny na automatizovaném algoritmu. K výhodám těchto klasifikací patří jejich rychlost a možnost specializace na konkrétní prvek, pro který jsou klasifikace vytvořeny. Proto je možné v posledních letech zaznamenat tendenci k přechodu na klasifikace objektivní, které jsou vytvářeny pomocí počítače (Stehlík, 2000).

Pro území bývalého Československa byly vyvinuty na základě prací Grosswetterlagen (Baur et al., 1944), publikovaných v katalogu Hesse-Brezowského (1952) dvě subjektivní klasifikace povětrnostních situací .

První typizace synoptických situací byla navržena Brádkou et al. (1961). Měla sloužit především pro účely krátkodobé a střednědobé předpovědi počasí. Typy povětrnostních situací byly určovány podle cyklonality (anticyklonality) a směru cirkulace na území v průběhu synoptické situace. Klasifikace původně zahrnovala období 1948-1953, v kterém bylo zpracováno jen asi 50 % dní s typickým průběhem synoptických situací a obsahovala 21 typů. Později při zpracování Katalogu povětrnostních situací pro území ČSSR kolektivem pracovníků hydrometeorologického ústavu (1967, 1972) byla typizace doplněna a rozšířena na 28 typů meteorologických situací. Katalog povětrnostních situací je permanentně aktualizován pracovníky hydrometeorologického ústavu a každoročně (od roku 1972) vychází v Meteorologických zprávách. Od roku 2002 je publikován i na internetových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu.

Druhá typizace Končeka a Reina (1971 sec. Štekl et al., 2001) je podobná klasifikaci, kterou vytvořil Brádka et al. (1961). Cirkulační typy jsou řazeny do tříd podle směru advekce a až sekundárně podle směru cyklonality. Klasifikace rozlišuje 19 povětrnostních situací, z toho 11 cyklonálních a 8 anticyklonálních. Kalendář synoptických typů byl sestaven jen pro období 1950-1971 a později již nebyl doplňován. Výhodou této typizace je větší sevřenost meteorologických prvků a jevů v jednotlivých typech (Brázdil, Štekl, 1986).

Pro území České republiky, resp. pro Čechy, se dá také využít katalog Hesse-Brezowského (1952), který byl vyvinut pro typizaci cirkulace nad územím Německa. Subjektivní klasifikace sleduje synoptické situace v západní a střední Evropě a dobře vystihuje i poměry v Čechách (Kakos, 2001). Použití této typizace pro území Moravy a Slezska je ovšem velmi problematické, jak se ukázalo při studiu meteorologických příčin povodní ve Slezsku (Brádka, 1967). Katalog zahrnuje časové období od roku 1881. Typizace má 23 typů, které lze sdružit do 10 hlavních typů a 3 cirkulačních skupin (zonální, smíšené a meridionální).

Novou vlastní klasifikaci povětrnostních situací pro území bývalého Československa vytvořili Brázdil a Štekl (1986). Typizace na úrovni makro a mezo měřítka byla definována na základě studia cirkulačně-frontálních procesů, které vysvětlují vznik atmosférických srážek v regionu. Vytvořená klasifikace obsahuje 15 typů pro vydatné a plošně významné srážky a 19 typů pro lokálně vydatné srážky. Pro tuto typizaci nebyl vytvořen katalog, který by byl průběžně aktualizován. Další nevýhodou této typizace je, že není možné postihnout rozdíly mezi trvalými srážkami a přeháňkami.

Částečným řešením nevýhod subjektivních klasifikací povětrnostních situací je jejich nahrazení klasifikacemi objektivními. Tyto klasifikace se již využívají např. pro území Velké Británie a Německa. Automatizované objektivní klasifikace jsou založeny na aplikaci principů, kde jsou typy povětrnostní situace klasifikovány pomocí shlukové analýzy (Wilson et al., 1992), fuzzy logiky využívající subjektivně definovaných pravidel (Bárdossy et al., 1995), analýzy hlavních komponent (Dittman et al., 1995) anebo principu neuronových sítí (Cawley, Dorling, 1996).

Pro území České republiky byla první objektivní klasifikace cirkulačních typů vytvořena Stehlíkem (2002) na základě použití fuzzy pravidel. Typizace byla založena na snaze nalézt takové typy povětrnostní situace, které vysvětlují co největší srážkovou variabilitu v regionu. Klasifikace obsahuje 12 cirkulačních typů definovaných pomocí přirozeného tlakového pole. Pro tuto klasifikaci nebyl vytvořen katalog, což znesnadňuje její použití v praxi.

Problémem některých klasifikací vytvořených pro území České republiky (Brádka et al., 1961; Konček, Rein, 1971) je, že byly navrženy pro makroskopické rozměry meteorologických jevů. Meteorologické procesy, které ovlivňují vznik povodňových situací v jednotlivých povodí jsou spíše mezoměřítkových rozměrů, proto použití těchto typizací nemusí být vždy ideální. Pro uplatnění v praxi by se mohla jako lepší jevit typizace navržené Brázdilem a Šteklem (1986), či novější objektivní klasifikace Stehlíka (2002). Další nevýhodou výše zmiňovaných klasifikací synoptických situací je, že srážkové charakteristiky povětrnostních situací většinou jsou studovány „ex post“, výjimku představuje klasifikace Stehlíka (2002) a Brázdila s Šteklem (1986). Přesto tyto dvě klasifikace, které se jeví jako vhodnější, se při studiu cirkulačních procesů v atmosféře moc nevyužívají. Pro tyto typizace povětrnostních situací nebyl vůbec vytvořen katalog, což znesnadňuje jejich další praktické použití. Proto také většina českých odborníků stále využívá Katalog povětrnostních situací Českého hydrometeorologického ústavu vytvořený na základě klasifikace použité Brádkou et al. (1961).

#### **4.5 Extrémní srážky při jednotlivých typech synoptické situace v ČR**

Mimořádné synoptické situace vedou k vypadávání extrémních srážek, které jsou nejčastější příčinou povodní. Existuje úzká závislost mezi vznikem povodňových situací a cirkulačními procesy v atmosféře, které vedou k výskytu extrémních úhrnů srážek (Müller, Kašpar, 2005). Přesto konkrétní povětrnostní situace vyvolávají povodeň jen ve výjimečných případech. Výskyt synoptických situací určitého typu je mnohem četnější než počet dnů s povodňovou situací (Brádka, 1967).

Vztah mezi počasím a jednotlivými typy povětrnostních situací na území Čech a Moravy studoval Brádka et al. (1961). V závislosti na výskytu určitého typu synoptické situace popsal meteorologické prvky, které tuto situaci doprovázejí.

Vznikem a rozložením srážek na území bývalého Československa při jednotlivých typech synoptické situace se zabýval Brádka (1972). Využil při tom Katalog hydrometeorologického ústavu (1967, 1972). Při této analýze byly zahrnuty všechny kalendářní dny i nevýznamné situace s netypickým rozložením srážek. Tím se liší od původního zpracování srážek při vybraných typech povětrnostních situací (Brádka et al. 1961). Hodnocení rozložení průměrných denních úhrnů srážek vyšších než 4 mm bylo provedeno za období 1956-1965 na základě údajů z 85 stanic. Variabilitu ve výskytu srážek

vysvětluje na základě cirkulačních mechanismů dané situace, vlivu konvekce, orografických podmínek a množství vodní páry ve vzduchu. Ve své práci také vymezil tři synoptické situace, které jsou výrazně ovlivněny orografií. Jedná se o typy NWc, NEc a SEc.

Podobnou problematikou se Brádka zabýval ve své další práci (Brádka, 1973). Na základě Katalogu povětrnostních situací rozdělil jednotlivé typy do tří skupin na:

- a) atlantské typy, kdy přecházejí frontální vlny do střední Evropy ze západního sektoru (Wc, Wcs, Wal, Wa, NWc, NWA, Nc, Vfz, SWa, SWc<sub>2</sub>, SWc<sub>3</sub>),
- b) středomořské typy, kdy frontální poruchy postupují z jižního sektoru s jižním nebo východním výškovým prouděním (NEc, NEa, Ec, Ea, SEc, SEa, Sa, B, Bp, C, SWc<sub>1</sub>),
- c) srážkově méně významné typy (Cv, A, Ap<sub>1-4</sub>).

Autor poukázal na to, že vyjma zimních měsíců na území České republiky převládá vliv středomořských typů. Dodává ale, že díky krátkému studovanému období, může být skutečnost jiná. Později Brázdil (1980 sec. Štekl, Brázdil, 1986) ukázal, že i v zimním období převládá vliv středomořského typu.

Ve své práci Gottwald (1981) hodnotil vznik velkých srážek v Čechách v letech 1970 až 1979. Použil při tom snímky z meteorologických družic a našel 11 případů extrémních srážek. Dále studoval průběh synoptické situace ve střední Evropě a na jejím základě vymezil dva dominantní typy povětrnostní situace, při kterých u nás dochází ke vzniku intenzivních srážek:

- a) azorská anticyklóna se pohybuje na sever nebo na severovýchod a kolem ní se dostávají frontální systémy od severovýchodu nebo severu nad střední a jižní Evropu, příliv studeného vzduchu podporuje cyklonální činnost nad Středomořím a ta následně zasahuje nad střední Evropu,
- b) brázda nízkého tlaku nad západní Evropou podmiňuje příliv teplého a vlhkého vzduchu od jihu nad střední Evropu.

Problematikou extrémně vysokých úhrnů srážek na území bývalého Československa se zabývali Šamaj et al. (1983). Práce zahrnovala časové období 1901-1980, v kterém byly analyzovány denní úhrny srážek nad 100 mm. Na základě rozložení denních úhrnů srážek na území České republiky byly vymezeny čtyři oblasti s největšími srážkovými úhrny:

- a) oblast Moravskoslezských Beskyd, zasahující až k polským hranicím;
- b) oblast severočeská, především Krkonoše a Jizerské hory;
- c) oblast Jeseníků, zahrnující Hrubý Jeseník a přilehlou část území při hranicích s Polskem;
- d) oblast Šumavy, zvláště Kašperské Hory.

Dále se v práci zabývali variabilitou rozložení extrémních srážek během roku. Hodnotili všechny případy denních úhrnů srážek nad 100 mm a zjistili, že 95,9 % případů nastalo v letním půlroce (duben až září). Výskyt extrémních srážek v tomto období souvisí s advekci teplého a vlhkého vzduchu z oblasti Středozemního moře nad střední Evropu. Pro tyto extrémní srážky jsou nejvýznamnější situace typu B, Bp, NEc, C a Ec.

Studiem synoptických procesů příznivých pro vznik extrémních srážek na území České republiky se zabývali Brázdil a Štekl (1986). Vytvořili novou vlastní typizaci, která umožnila analyzovat meteorologické procesy v jejich makro a mezo měřítkových rozměrech, které vedou ke vzniku vydatných srážek. Hlavní důraz při tom kladli na vliv atmosférických front, výškových frontálních zón, brázd nízkého tlaku, hřebenů vysokého tlaku, charakteru teplotní advekce a obsahu vodních par. Potřebná analýza denních srážkových úhrnů byla provedena za období 1969-1977. Hodnoceny byly 24hodinové úhrny srážek na stanicích s nadmořskou výškou nižší než 500 m n. m. na území České republiky. Autoři došli k závěru, že extrémní denní srážky se vyskytují především v letním půlroce a postihují spíše menší oblasti.

Meteorologickými prvky při jednotlivých povětrnostních situacích se na našem území v období 1961-1990 zabývali Křivancová a Vavruška (1997). V práci jsou popsány srážkové poměry v různých povětrnostních situacích. Shrnutím jejich poznatků se dá říci, že k vypadávání intenzivních trvalých srážek dochází při situacích typu NEc, Ec, B a C, případně při Bp, Cv, SEc nebo Wc.

Analýzou extrémních denních úhrnů srážek na území České republiky se zabývali Štekl et al. (2001). Pro rozbor bylo vybráno 67 případů denních srážkových úhrnů vyšších než 150 mm pozorovaných v období 1879-2000. V této práci autoři, podobně jako (Brázdil, Štekl 1986), poukazují na skutečnost, že při vzniku extrémně vydatných přívalových nebo trvalých srážek je důležitá existence cyklon a brázd nízkého tlaku s advekci teplého vzduchu a množství vodní páry v ovzduší. Zpracování 67 srážkových případů ukázalo, že se extrémní denní úhrny srážek nejčastěji vyskytují v horských oblastech:

- a) Moravskoslezské Beskydy a Hrubý Jeseník (40,3 % případů),
- b) Jizerské hory a Krkonoše (36,6 % případů),
- c) Šumava (7,5 % případů).

Z toho vyplývá, že na zbylé území republiky připadá jen 15,6 % denních úhrnů srážek nad 150 mm v období 1879-2000. Všechny vybrané úhrny extrémních srážek se během roku vyskytovaly vždy mezi květnem a zářím, jedinou výjimku představuje jedna epizoda z listopadu 1924. Na základě hodnocení vydatných srážek bylo konstatováno, že výskyt



extrémních trvalých srážek je vázán především na synoptické situace typu EC<sub>1</sub>, NEC<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub> a B<sub>1</sub>, celkem u 87 % případů. Pro přívalové srážky jsou nejcharakterističtější situace typů NWC, EC<sub>1</sub> a B<sub>1</sub>.

## 4.6 Sezonalita povodní

Povodňové situace na území České republiky mohou nastat kdykoliv v průběhu roku. Přesto některá roční období jsou na výskyt povodní náchylnější, v závislosti na klimatických podmínkách, okamžitém stavu atmosféry, a také na fyzickogeografických podmínkách jednotlivých povodí. Právě znalost zvýšené pravděpodobnosti výskytu povodní v určitém období je důležitá jak pro účely povodňové ochrany, tak i pro vodohospodářské využití.

Charakter povodní se mění podle jejich výskytu v průběhu roku. Obecně se dá říci (Matějček, Hladný, 1999), že povodně vyvolané dešťovými srážkami mohou nastat po celý rok, a to i v zimním období. Výskyt povodní z přívalových dešťů je zpravidla vázán na letní měsíce, od druhé poloviny dubna do konce září. Smíšené a ledové povodně se u nás vyskytují v období od prosince do první poloviny dubna. Nejmenší pravděpodobnost výskytu povodňových situací je v našich podmínkách na podzim.

K hodnocení sezonality se dá využít několik metod. Rozložení povodní v průběhu roku je možné analyzovat s použitím maximálního průtoku v měsíci. Přesto tento ukazatel není pro regionalizaci povodní příliš vhodný. V případě, že se v jednom měsíci vyskytne více povodňových situací, do hodnocení je zahrnuta pouze jedna, či naopak, pokud je maximální měsíční průtok příliš nízký, je do souboru také zařazen. Proto je vhodnější sledovat sezonalitu povodní podle počtu jejich výskytu nebo dosažených maximálních průtoků, kdy jsou povodňové situace omezeny určitou prahovou hranicí.

Rozložením povodní během roku se ve své práci zabýval Kakos (1974), který jednoduše vyjádřil sezonalitu pomocí poměru počtu výskytu povodní ve vegetačním půlroce (květen až říjen) k povodním v zimním půlroce (listopad až duben). Sezonní režim povodní sledoval na šesti stanicích. Pro většinu z nich je typická převaha zimních povodní nad letními. Pouze na Odře jsou téměř všechny povodňové situace pozorovány ve vegetačním půlroce. Je to způsobeno především vlivem orografie, která ovlivňuje povětrnostní situace a zvyšuje extremitu srážkových úhrnů.

Další možností hodnocení sezonality povodní je pomocí vahového faktoru sezonality (Hladný, 1971). Sezonalita je hodnocena na základě poměru počtu povodní v měsíci ku celkovému počtu povodní, při čemž je zde zahrnut i vliv velikosti kulminačního průtoku.

Nejčastěji používanou metodou např. (Hladný, 1995) je znázornění rozložení sezonality výskytu povodní pomocí polárních grafů. Jednotlivé měsíce v roce jsou reprezentovány průvodiči, na které se vynášejí četnosti výskytu povodní nebo kulminační průtoky v daném období. Pro srovnání sezonality v dílčích povodí se nejčastěji používá relativních veličin. Jako poměr povodní v daném měsíci ku celkovému počtu povodní nad stanovenou mez. Jinými slovy, pravděpodobnost výskytu povodní v daném období.

Dalšími metodami sezónního výskytu povodní se zabývala Chalušová (2005). Ta ve své práci popisuje metodu směrových statistik a metodu čar kumulativních četností výskytu povodní. Metoda směrodatných statistik přiřazuje datum výskytu povodně k odpovídajícímu místu na kružnici. Výhodnou metody čar kumulativních četností je, že se pomocí této metody dá se značnou pravděpodobností určit období výskytu povodní s přesností na dny.

#### **4.7 Vliv geografických podmínek na vznik a průběh povodní**

Vznik a průběh povodňových případů ovlivňují kromě synoptických situací a jimi vyvolaných jevů i geografické podmínky dílčích povodí. Pojetí jednotlivých autorů, které geografické faktory nejvýznamněji působí na vytváření průtoků velkých vod, se místy liší. Přesto se shodují v tom, že jednotlivé příčinné procesy a faktory, které mohou vést ke vzniku nebo ovlivnění průběhu extrémních průtoků by neměly být studovány odděleně, ale v systémovém seskupení.

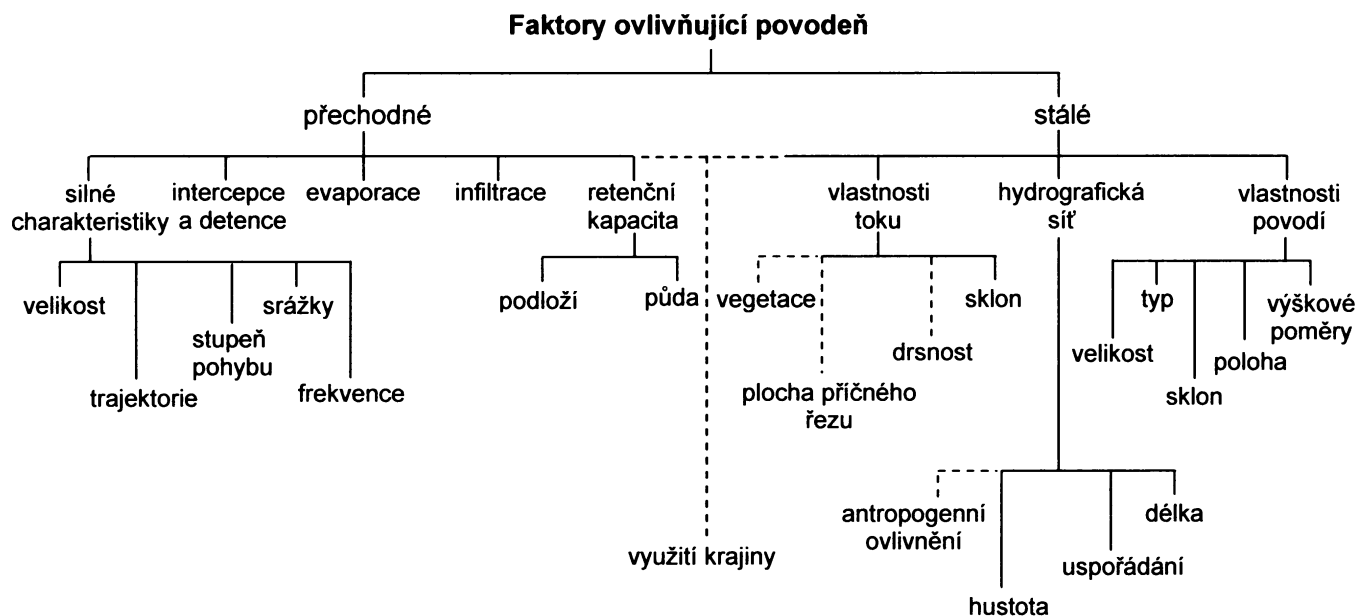
Přehled nejdůležitějších činitelů ovlivňujících vznik a průběh povodní uvedl ve své práci Čermák (1968). Jedná se o jedenáct faktorů:

- velikost povodí,
- tvar povodí,
- sklon povodí,
- nadmořská výška povodí,
- délka toku,
- vegetace,
- retenční prostory,
- průměrný roční úhrn srážek,
- průměrný součinitel odtoku,
- hydraulické parametry.

Mimo tyto zmíněné činitele uvádí autor i jiné, které mohou ovlivnit průběh povodně, např. klimatické, půdní, geologické nebo geomorfologické poměry.

Faktory ovlivňující vznik a vývoj povodně se dají podle Chorey et al. (1969) rozdělit do dvou hlavních skupin, na přechodné a stálé (obr. 4.5). Stálé faktory vyjadřují hydrologické charakteristiky povodí a vodního toku, které jsou relativně neměnné. Naopak přechodné faktory působí vždy odlišnou intenzitou v čase a prostoru.

Obr. 4.5 Faktory ovlivňující povodeň



Zdroj: Rodda (1969)

Vlivem geografických podmínek na vznik a průběh extrémních hydrologických jevů v povodí se v rámci dílčí části grantového projektu „Extrémní hydrologické jevy v povodích“ zabývali Kříž a Kolečka (1999). Faktory, které ovlivňují povodňové situace v jednotlivých povodí rozdělili do tří skupin na:

#### Globální vlivy

- působení sluneční aktivity na cirkulaci zemské atmosféry,
- projevy geomagnetismu, které ovlivňují cirkulaci atmosféry i hydrologické jevy,
- globální oteplení klimatu;

#### Regionální vlivy

- atmosférické srážky,
- výpar (teplota a vlhkost vzduchu, tlak a vítr),
- geologická stavba a hydrogeologické poměry,
- reliéf zemského povrchu;

#### Vliv místních podmínek

- aktuální stav retenční schopnosti území,

- konfigurace reliéfu,
- vegetace,
- bariéry z unášených plavenin,
- průtrže terénních překážek,
- hydrogeografická a geoekologická poloha.

V souvislosti s povodňovými událostmi v roce 1997 a 2002 byly studovány jednotlivé geografické faktory, které mohly ovlivnit tyto situace. V rámci jednotlivých grantových projektů a různých studií byly řešeny otázky retence vody v povodí, vlivu využití a změn krajiny, vlivu lesa, nasycenosti půdy, nádrží a dalších podmínek na povodňovou situaci.

V rámci projektu Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997 se Kříž (2001) zabýval vlivem geografických podmínek krajiny na vznik a průběh povodně. Pro hodnocení vybral 33 dílčích povodí, převážně z povodí Moravy, Bečvy a Odry, kam bylo zařazeno i povodí Opavy a Opavice. Povodí byla vybírána tak, aby soubor obsahoval povodí s různými geografickými podmínkami a aby vodní režim toků nebyl ovlivněn vodními nádržemi. V dílčích povodí byla sledována závislost hydrologických charakteristik (odtoková výška, kulminační průtok a maximální specifický odtok) na nezávisle proměnných (geografické charakteristiky). Pro účely studie byl použit lineární regresní model. Výsledky této analýzy jsou zachyceny v tabulce 4.1.

Ukázalo se, že největší vliv na maximální odtokovou výšku a specifický odtok při kulminaci má kromě příčinných srážek, také sklon povodí a typ reliéfu. U kulminačního průtoku jsou nejtěsnější vztahy s délkou toku a plochou povodí, pak následuje tvar povodí. Výsledky studie prokázaly závislost i u tak velké povodně, která postihla Moravu v červenci 1997, na fyzickogeografických podmínkách jednotlivých povodí.

*Tab. 4.1 Korelace mezi extrémny odtoku a geografickými charakteristikami*

Geografická charakteristika	kulminační průtok	maximální specifický odtok	maximální odtoková výška
plocha povodí	0,80	0,45	0,32
příčinné srážky	0,23	0,84	0,89
ukazatel předchozích srážek	0,28	0,08	0,25
typ reliéfu	0,01	0,51	0,52
průmětný sklon povodí	0,25	0,61	0,59
tvar povodí	0,40	0,17	0,05
délka údolí toku	0,82	0,38	0,23
lesnatost povodí	0,13	0,51	0,37
hydrogeologické poměry	0,04	0,29	0,01

*Zdroj: Kříž (2001)*

#### **4.7.1 Fyzickogeografické faktory ovlivňující odtok velkých vod**

Průběh povodňových situací a v souvislosti s tím, i odtokové poměry mohou být značně ovlivněny nejen časovým a prostorovým rozložením extrémních srážek, ale také geografickými podmínkami jednotlivých povodí, ke kterým patří především reliéf, pedologické, geologické, hydrogeologické, hydrogeografické poměry a využití území (Kříž, Kolejka, 1999).

##### **Hydrografické charakteristiky**

Velikost kulminace, objem a průběh povodňových vln mimo jiné závisí také na hydrografických poměrech jednotlivých povodí a koryt toků. Z těchto vlastností se nejvíce při povodňových situacích projevuje délka údolního toku, tvar povodí, uspořádání říční sítě, plocha povodí, hustota říční sítě aj.

##### **Reliéf**

Geomorfologické vlastnosti reliéfu mohou ovlivnit rychlost povrchového odtoku, ale i rozložení srážek. Reliéf se vyznačuje svými specifickými rysy jako je hustota a hloubka rozčleněného povrchu, sklon či orientace údolí a svahů. Vhodnější podmínky pro infiltraci srážkové vody a zpomalování odtoku jsou v oblastech s menší výškovou členitostí, rovinný až mírně zvlněný reliéf. Ve vyšších nadmořských výškách, kde je sklonitost i výšková členitost reliéfu obvykle větší (členité pahorkatiny až hornatiny), zpravidla bývá povrchový odtok intenzivnější (Kříž, 2000). Důležitý vliv má i orientace svahů vůči převládajícímu západnímu proudění vzduchu. V důsledku toho, jsou návětrné strany dotovány větším množstvím srážek.

##### **Půdní poměry**

Půda má schopnost zachytit část extrémních srážek a na určitou dobu tuto vodu vyloučit z povrchového odtoku. Tato vlastnost půdy se uplatňuje především v počátečních fázích vývoje povodňových vln (Prudký, 2003). Schopnost půdního krytu zadržet srážkovou vodu závisí především na vsaku a retenci (Šefrna, 2004). Infiltrační a retenční kapacita půdy je ovlivněna její zrnitostí, půdním druhem a typem, obsahem jílových frakcí a humusu, hloubkou, charakterem pórů, promrznutí a nasycením půdy vodou a využitím půdy. Obecně platí, čím je půda více písčité, tím nižší retenční kapacita a lepší propustnost pro vodu. Jílovité půdy a jíly (těžké půdy) jsou pro vodu velmi špatně propustné, ale mají vysokou retenční

kapacitu. Naopak písčité a kamenité půdy (lehké půdy) se vyznačují nízkou retencí a vysokou infiltrací, která umožňuje rychlý postup srážkové vody do hloubky. Půdní retence téměř plynule přechází v retenci geologického podloží podle typu horniny, puklinovému systému a stupni zvětrání (Šefrna, 2004).

### **Geologické a hydrogeologické poměry**

Geologická stavba a složení hornin má přímý vliv na povrchový odtok vody z povodí. Z geologických vlastností podloží je nejdůležitější z hlediska ovlivnění povodňových situací stupeň propustnosti hornin (Kříž, 2000). Propustné horniny, např. křída, umožňují vsak vody ze srážek do podloží, kde zvětšují zásoby podzemní vody ve zvodní a kolektorech a tím dochází ke zmenšení objemu povodňových vln. Naopak v povodích, která jsou tvořena málo propustnými horninami, např. horniny karpatského flyše, většina srážkové vody z povodí rychle odtéká.

### **Vegetační pokryv**

Rovněž vegetace má určitý vliv na snížení kulminace a objemu povodňové vlny. Její schopnost zpomalování odtoku závisí na druhu, hustotě, stáří a vývoji rostlin v sezoně. Vegetace ovlivňuje odtok především intercepcí, odebráním vody z půdy na transpiraci a tím, že působí značné odpory proti proudění povrchové vody. Nejlépe se při zmenšování kulminačních průtoků projevuje les, pak louky a pastviny a nejhůře orná půda. Les prodlužuje celkovou dobu odtoku obvykle 3 - 5krát oproti bezlesí (Kantor et al., 2003), což znamená zmenšení kulminačního průtoku a prodloužení doby trvání povodně. Někdy může naopak vegetace zhoršovat povodňové situace vlivem tzv. střešního efektu vegetace, kdy rostliny slehlé v proudu vody zabraňují jejímu lepšímu vsakování do půdy (Kříž, Kolečka, 1999).

### **4.7.2 Antropogenní faktory ovlivňující odtok velkých vod**

Mnohé z fyzickogeografických faktorů jsou s postupem času stále více pozměňovány lidskou činností. Tyto intenzivní zásahy do vodních toků a okolní krajiny mají významný vliv jak na utváření odtoku, tak na povodňové situace a jejich následky v krajině. Mezi nejvýznamnější antropogenní faktory, které nejen ovlivňují rychlost povrchového odtoku vody, ale i samotný průběh povodně v krajině, patří podle Langhammera (2004):

- změny ve využití území, struktuře
- plošné odvodnění krajiny,
- a kvalitě krajinného krytu,
- zkrácení říční sítě,

- úpravy koryt toků,
- charakter využití údolní nivy.

S rozvojem civilizace a nárůstem populace dochází v první řadě k významným změnám ve využití území. Změny ve funkčním landuse jsou spojovány především s hodnocením míry přírodního charakteru jednotlivých typů krajinného pokryvu. Tyto změny ve využití území mají zásadní vliv na odtokový proces a výrazně se projevují při extrémních událostech v povodí jako jsou např. povodně. Největší význam pro odtokový proces mají změny v landuse:

- odlesnění krajiny
- urbanizace a industrializace území
- intenzivní zemědělství,
- výstavba vodních nádrží.

### **Odlesnění krajiny**

Vliv lesa hraje důležitou roli při odtokových poměrech. Les má schopnost prodloužit celkovou dobu odtoku oproti bezlesí zhruba 3-5krát (Kantor et al., 2003). Odlesněním původně lesnatých ploch dochází k redukci intercepce a evapotranspirace, což následně vede ke zvýšení ročního odtoku. Nejvíce se vliv bezlesí na průběh povodně projevuje v horských oblastech, kde dochází k formování povodňové vlny a intercepce zde výrazně ovlivňuje srážkoodtokový proces (Langhammer, 2004).

Na modifikaci odtokových poměrů v lese či bezlesí se různou měrou podílí také charakter lesního hospodářství. Přítomnost zpevněných lesních cest a používání těžké techniky přispívá k určité ztrátě retenční kapacity krajiny a urychlení odtoku. Rychlý odtok se následně může projevit na dřívějším a větším kulminačním průtoku a zvětšeném objemu povodňové vlny.

### **Intenzivní zemědělství**

Přeměnou přirozených luk, pastvin a lesů na zemědělsky obhospodařované plochy člověk přispívá ke snížení celkové retenční kapacity území a zvětšování a urychlování odtoku vody z povodí. Tyto ztráty retenční kapacity zemědělské půdy oproti půdám lesním nebo přirozených luk mají při povodni výrazný vliv na změnu schopnosti krajiny transformovat odtokovou vlnu. Zemědělské půdy jsou navíc často plošně odvodňovány, což se projevuje zrychlením odtoku vody z krajiny, nedostatečným využitím retence krajiny a změnami v časování odtokových vln (Langhammer, 2004).

## **Urbanizace a industrializace území**

S rozvojem populace dochází i k nárůstu urbanizovaných a industrializovaných území, s kterým je spojena přeměna krajiny. Přírodní krajina je nahrazována umělými plochami s pevným povrchem, které mají minimální retenční kapacitu a urychlují odtok srážkové vody. Podobně tomu je i u vodních toků, které těmito oblastmi protékají, ty jsou z velké části regulovány a tečou umělými koryty. Při povodňových situacích dochází k prudkému nárůstu průtoků, zvětšení objemu průtokové vlny a ke zkrácení celkové doby odtoku.

## **Vodní nádrží**

Budování nádrží na vodních tocích má pozitivní vliv z hlediska zvyšování retenční kapacity krajiny. Při povodňových situacích jsou vodní nádrže schopny zadržet část objemu povodňové vlny, zmenšit velikost povodňových průtoků a zpomalit jejich postup a tím i snížit negativní dopady povodně. Obecně mají toky pod nádrží vyrovnanější odtokový režim během roku. Přesto výstavba vodních nádrží je spojena se změnou přirozeného vodního ekosystému, která přináší další negativní vlivy.

## **4.8 Historické povodně v povodí Opavy**

Historickými povodněmi v povodí řeky Odry, které byly pozorovány i na řece Opavě, se zabývalo několik prací. Katastrofální povodně z let 1902 a 1903 popsali Munzar, Ondráček (2005). Opakováním velkých vod v povodí Odry se zabývali Kříž et al. (1964). Jednotlivé analýzy povodňových situací vypracovali pro povodeň z července 1960 Kříž, Sochore (1963), vyhodnocením povodně v srpnu 1972 se zabývali Doležal et al. (1976) a povodňovou situací ze srpna 1985 popsali Hošek et al. (1988). Řehánek (2004) a Munzar, Ondráček (2005) uvádějí největší povodně v období přístrojového pozorování v povodí Odry. Vybrané povodňové události v povodí Opavy popisují Brázdil et al (2005) a Brosch (2005).

V souvislosti s povodněmi v roce 1997 byl vyvolán velký zájem o problematiku povodní. V rámci projektu „Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997“ byla povodňová situace komplexně zpracována řadou odborníků z různých organizací a institucí.



## Nejstarší pozorované povodně

V povodí Opavy se vodní stavy začaly měřit v roce 1895 na profilu ve stanici Opava. Po dokončení úprav řeky Opavy v Opavě v roce 1912 bylo zahájeno pozorování na novém vodočtu (Kříž et al., 1964). Přesto dostupná data z databáze ČHMÚ z profilu Opava jsou až od roku 1926.

Nejvýznamnější pozorované povodně v 19. století v povodí Odry, kdy jejich výskyt byl zaznamenán i na řece Opavě, uvádí Řehánek (2004).

- 26.-28. 8. 1813 - v Opavě dosáhla hladina vody 320 cm nad úroveň vodních stavů
- 12. 9. 1831 - povodeň uváděna i pro Opavu
- srpen 1854 - povodeň uváděna i pro Opavu v Opavě
- 7. 8. a 14. 8. 1880 - dně povodňové vlny, průtok v Opavě  $340 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 30. 3 1895 - na Opavě v Kravařích (217 cm)
- 8. 5. 1896 - průtok v Opavě  $142 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

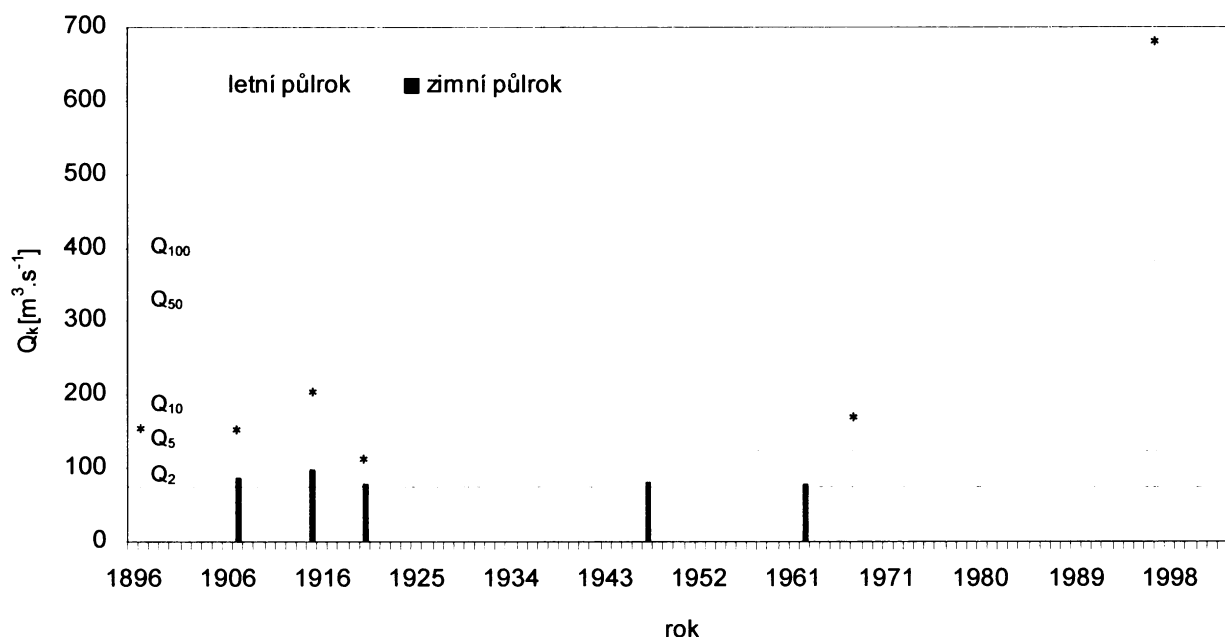
## 5 POVODŇOVÉ SITUACE V POVODÍ OPAVY

Následující kapitola se věnuje analýze historických povodňových situací v povodí Opavy. Povodně vznikají zpravidla při synergickém působení několika výjimečných podmínek v atmosféře a jednotlivých povodí. Rozpoznání těchto extrémních faktorů je důležité z hlediska povodňové ochrany a hospodaření s vodou. Proběhlé povodňové situace nám podávají informace o údobí s největší četností jejich výskytu, o typech povodní, které jsou nejvíce nebezpečné a jak se v dané oblasti projevují aj. Přestože se mechanismy vzniku povodní mohou podobat, není žádná povodeň totožná, každá má svá specifika při průběhu a vlivu na životní prostředí. Vše se dá tady předpokládat jen s určitou pravděpodobností.

### 5.1 Rozložení povodní v letech 1896-2005

Povodňové situace se vyskytují nepravidelně v čase a prostoru. Některá období jsou na výskyt povodní chudší, jindy jsou povodně velmi četné. Obecně se dá říci, že 20. století, především část jeho druhé poloviny, bylo na povodňové situace relativně chudé oproti předcházejícímu období 19. století (Munzar, Ondráček, 2005). Tato skutečnost mohla vést i k jistému pozapomnění čeho jsou povodně schopny, což bylo znovu připomenuto katastrofálními povodněmi v červenci 1997 a v srpnu 2002.

Obr. 5.1 Chod povodní na Opavě v letech 1986-2004



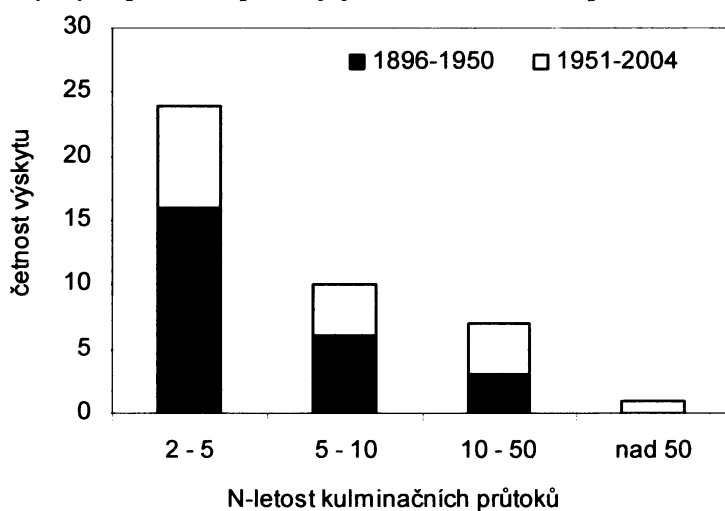
Zdroj: ČHMÚ, Kříž et al. (1964)

Z obr. 5.1 je patrné, že největší počet povodní případů na desetiletí 1921-1930 (13 %), zatímco v období 1961-1970 a dekádě 1981-1990 jejich výskyt byl mnohem menší (4 %). V první polovině 20. století bylo zaznamenáno 60 % případů ze sledovaného období, což ukazuje na nepatrný pokles povodňových situací v posledním půlstoletí.

Pro povodí Opavy jsou typické povodně letního typu. Dosud největší pozorovaná povodeň zde nastala v červenci 1997. Zimní povodně výjimečně přesahují hranici dvouletého průtoku. Největší povodeň v zimním období postihla území v dubnu roku 1915. Za celé období bylo analyzováno 5 povodňových případů v zimním hydrologickém půlroce. Poměr povodňových situací je 1 : 7 ve prospěch letních typů.

V letech 1896-2004 bylo zaznamenáno v povodí Opavy 42 povodňových případů přesahující průtok dvouleté vody. Z toho 60 % povodňových situací nedosahovalo pětiletých průtoků (obr. 5.2). Od roku 1951 došlo k nepatrnému poklesu počtu povodní, ale jejich extremita mírně vzrostla. U povodní v rozmezí deseti až padesátileté vody došlo k nárůstu jejich případů o 10 %. Jediná povodeň přesahující hranici padesátileté resp. pětsetleté vody byla pozorovaná na konci 20. století.

Obr. 5.2 Četnost výskytu povodní podle jejich kulminačního průtoku v období 1896-2004



Zdroj: ČHMÚ, Kříž et al. (1964)

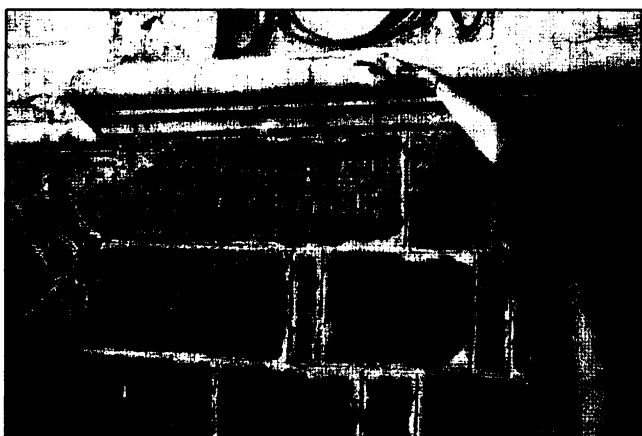
### 5.1.1 Největší povodně na Opavě

K povodním přesahující průtok dvacetileté vody ( $O=226 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) v povodí Opavy dochází zhruba s intervalem padesáti let (obr. 5.1). Pouze koncem 20. století se tyto povodně vyskytly za sebou v krátkém časovém období a to v květnu 1996 a v červenci 1997. Červencová povodeň představuje extrém, kterého v minulosti nebylo dosaženo (Munzar, Ondráček, 2005). K dalším velkým povodním patří povodeň z července 1903 a května 1940.

## Povodeň z července roku 1903

Povodeň 11. července 1903 byla vyvolána déletrvajícími extrémně vydatnými srážkami, které zasáhly zejména oblast Jeseníků. Těžiště srážkové činnosti dále postupovalo z oblasti Hrubého Jeseníku do oblasti Moravskoslezských Beskyd (Štekl et al., 2001). Za zajímavé je podotknout, že při těchto povodních byl naměřen srážkový rekord. Na stanici Nová Červená Voda (stanice již neleží v povodí Opavy) bylo dne 9. července naměřeno 240,2 mm srážek, což je dodnes platným rekordem pro Moravu a české Slezsko, který nebyl překročen ani v červenci 1997.

Řeky v povodí Opavy napáchaly značné škody. Ve městě Opava tehdy řeka Opava vystoupila téměř 3 m nad normální stav. Voda zaplavila níže položené části města (obr. 5.3), na pravém břehu prostor až k Dolnímu náměstí a na levém břehu zejména část Kateřinky a také osadu Karlovec, která je dnes součástí opavské aglomerace. Po této povodni bylo v letech 1908-1912 přistoupeno k úpravě koryta řeky Opavy protékající městem Opavou.



*Obr. 5.3 Povodňová značka na domě v Ratibořské ulici v Opavě, která zachycuje hladinu vody řeky Opavy v červenci 1903 (ruka znázorňuje kulminaci při povodni v červenci 1997)*

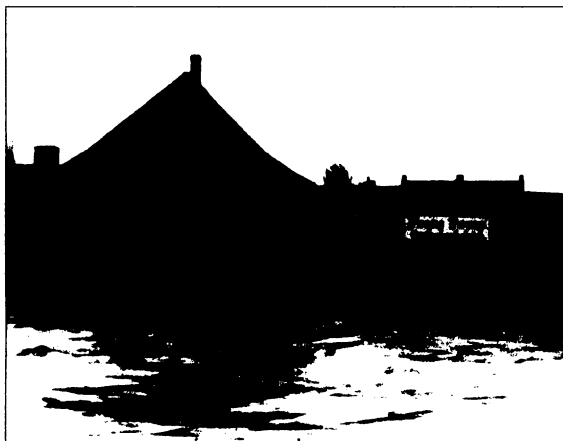
*Foto: V. Dlabola (Munzar, Ondráček, 2005)*

## Povodeň z května roku 1940

Povodeň z 20. května 1940 (obr. 5.4) byla do katastrofální povodně v červenci 1997 největší pozorovanou povodní v profilu Opava, ač dosahovala sotva jedné poloviny průtoku povodně z roku 1997. Květnová povodeň byla způsobena dlouho trvajícím vydatnými srážkami, které vypadávaly na povodí nasycené tajícím sněhem, což zapříčinilo rozvodnění horských bystřin a horního toku Opavy.

V květnu 1940 dostoupila řeka Opava poprvé po provedení regulací toku ve městě Opava v letech 1908 - 1912 vrcholu ochranných hrází. V Palhanci dokonce voda protrhla starý Třebovický jez a most a následně zaplavila vodárenské studny, což způsobilo ve městě Opavě kalamitu s pitnou vodou (Brosch, 2005).

*Obr. 5.4 Zatopená část města Opavy při povodni v květnu 1940*



*Zdroj: Oficiální stránky města Krnov*

*Obr. 5.5 Poškozená nádrž Pocheň na Čižině za povodně v květnu 1996*



*Zdroj: Ochrana před povodněmi na horní Opavě*

### **Povodeň z května roku 1996**

Bezprostřední příčinou vzniku povodně z 14. května 1996 v povodí řeky Opavy byly přívalové srážky trvající několik hodin. Tohoto dne došlo k velmi rychlému nárůstu průtoků na řece Opavě, Čižině a ostatních menších toků přitékajících do řeky Opavy zprava. Zaplaveny byly inundační prostory řeky Opavy, zatopeny okrajové části Krnova, Opavy a obcí v opavské nivě. Nejvíce bylo postiženo okolí obce Lichnov na Čižině, které se nacházelo v centrální srážkové oblasti.

Při této povodni došlo k poškození koryt toků, komunikací, přemostění a bylo zničeno i několik domů. Přes zemní hráz nádrže Pocheň na Čižině (obr. 5.5) po určitou dobu přetékala asi 45 cm vrstva vody a hrozilo její protržení. Objem vody, který přitékl do nádrže Pocheň, překročil celkový objem nádrže zhruba čtyřnásobně (Bosch, 2005). Škody způsobené povodní relativně malého územního rozsahu byly značné.

### **Povodeň z července 1997**

Největší povodeň, která postihla povodí Opavy nastala 7. července 1997. Povodeň byla způsobena extrémními srážkami ve dnech 4.-8. července s těžištěm srážkové činnosti nad oblastí Moravskoslezských Beskyd a Hrubého Jeseníku. Tato povodeň postihla nejen celé povodí Opavy, ale téměř celou oblast Moravy, Slezska a východních Čech.

Zvláště ničivě se červencová povodeň projevila v povodí Opavy. Na některých profilech (Krnov, Opava) kulminační průtoky přesahovaly hodnotu pětisetleté vody. Na horním toku Opavy povodňová vlna zničila vodoměrnou stanicí.

Na horních tocích Opavy měla povodeň charakter rychlých a ničivých horských povodní. Extrémní povodeň napáchala velké škody v údolní nivě Opavy. Největší města Krnov a Opava byla značně zaplavena. Zničeno bylo přibližně 150 a poškozeno 736 domů (Matějček, Hladný, 1999). Celkové škody této povodně v České republice byly vyčísleny na 62 mld. Kč. V povodí Opavy po soutok s Moravicí dosáhly škody 6 mld. Kč.

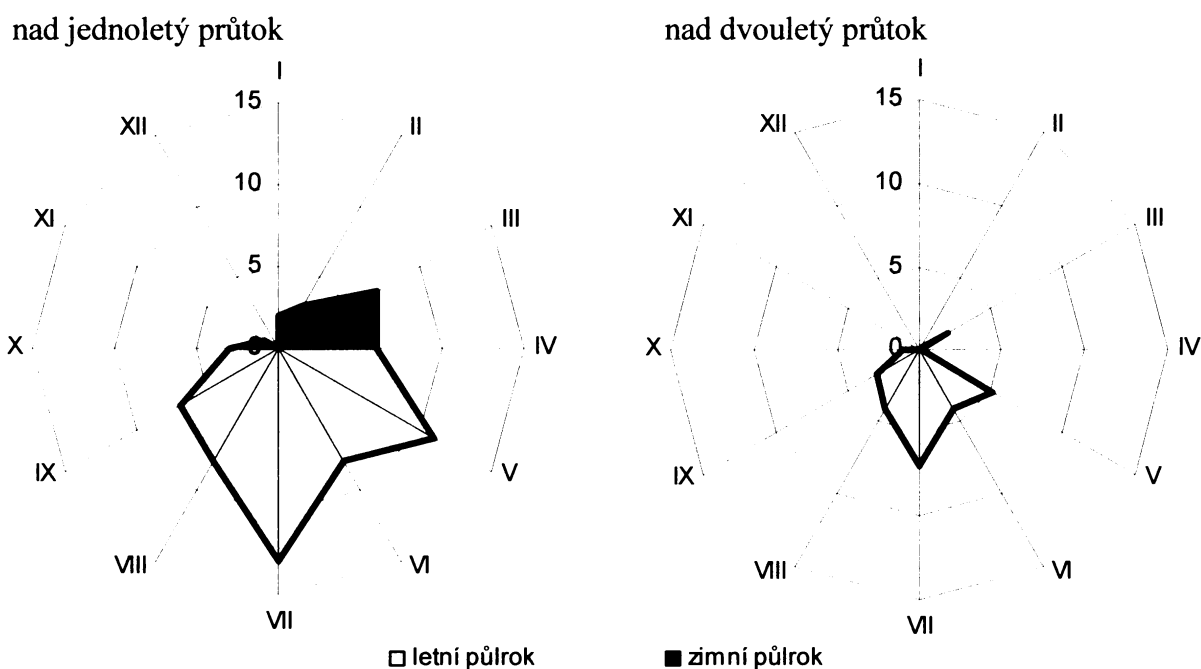
## 5.2 Sezonalita výskytu povodňových situací

Pravděpodobnost výskytu povodní v jednotlivých měsících roku se liší v závislosti na klimatických podmínkách, cirkulačních procesech probíhajících v atmosféře a fyzickogeografických poměrech jednotlivých povodí.

### 5.2.1 Četnost výskytu povodní

Rozložení povodní v průběhu roku v povodí Opavy v profilu Opava je velmi asymetrické, jak ukazuje obr. 5.6. Již v předchozí kapitole 5.1 bylo naznačeno, že výskyt povodňových situací je vázán výhradně na letní hydrologický půlrok (květen-říjen).

Obr. 5.6 Četnost výskytu povodní na Opavě v Opavě za období 1926-2004



Zdroj: ČHMÚ

Při hodnocení povodní nad prahovou hranici jednoleté vody je patrná převaha letního povodňového režimu. Maxima povodňových případů je dosaženo v červenci (13), od tohoto měsíce počtu povodní pozvolna ubývá až do listopadu a prosince, kdy se povodně vůbec nevyskytují. Následně dochází k mírnému nárůstu četnosti povodní až do března (3), kdy je dosaženo zimního maxima. V dubnu je již počet povodní nižší, poté dochází k opětovnému nárůstu a v květnu se vyskytuje druhé letní maximum (11).

V případě zvýšení prahové hodnoty na dvouletý průtok je asymetrie povodňového režimu ještě výraznější. V zimním období se povodně vyskytují jen v březnu (2). Ostatní výskyt povodňových situací je vázán na letní hydrologický půlrok. Výskyt povodní mezi květnem a srpnem je téměř vyrovnaný, výraznějšího maxima je dosaženo červenci (7). Od srpna dochází k prudkému poklesu četnosti povodní až do zimního půlroku, kde je s výjimkou března patrná naprostá absence povodňových případů.

Z analýzy sezonality povodňového režimu vyplývá, že naprostá většina povodní vzniká v letním půlroce v důsledku vypadávání dešťových srážek, které jsou často spojeny s postupem cyklóny nebo s výstupem frontálních zón. Obecně platí, že srážky dosahují největší intenzity v letním období. V povodí Opavy jsou dešťové srážky často zesilovány vlivem orografie, což přispívá k zvýšení jejich úhrnů.

Naproti tomu povodně spojené s oblevou a následným táním sněhu se v povodí téměř nevyskytují. V zimním půlroce se spíše jedná o rozvodnění toku, větších průtoků je zde dosaženo jen výjimečně. To se dá vysvětlit některými fyzickogeografickými a klimatickými charakteristikami povodí Opavy. Absence zimních povodní je způsobena především tím, že sněhová pokrývka taje ve dvou fázích a velká průtoková vlna se nestačí vytvořit. Nejprve odtává sněhová pokrývka v nižších polohách, kde je soustředěna relativně malá vrstva sněhu na větší ploše. A až koncem jara probíhá tání sněhu ve vyšších polohách Hrubého Jeseníku, kde jsou velké zásoby sněhu, které se často chovají jako „brzda“ při vzniku povodňových vln (viz kap. 4.3). V povodí Opavy tedy nedochází k celoplošnému odtávání sněhu. V horských oblastech, kde je přes 80 % plochy pokryto lesem, je ještě odtok vody z tajícího sněhu či dešťových srážek zpomalován v lesním prostředí.

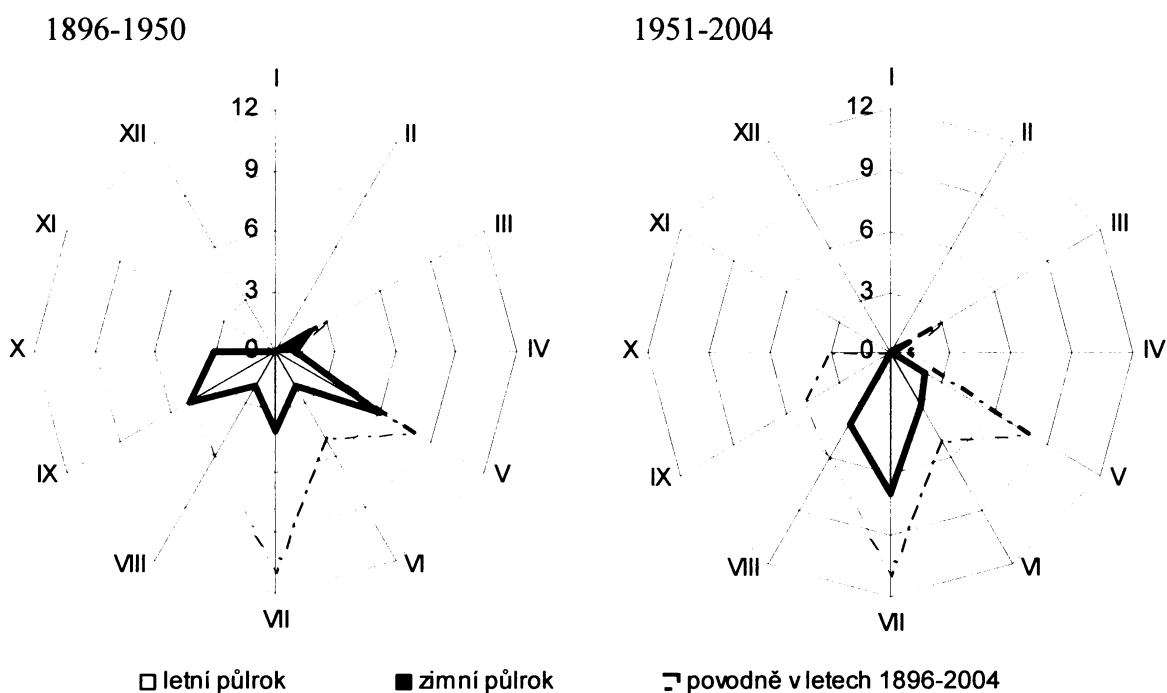
## **5.2.2 Změna četnosti výskytu povodní**

V průběhu minulého století došlo ke změně v povodňovém režimu. Z obr. 5.7 je vidět výrazná proměnlivost ve výskytu povodňových situací v jednotlivých měsících mezi sledovanými obdobími.

V letech 1896-1950 je výskyt povodňových situací v letním období rozdělen na tři maxima. Největšího počtu povodní je dosaženo v květnu (6), pak následuje výrazný pokles v červnu a opětovný nárůst v červenci (4). Dalšího lokálního maxima je dosaženo v září (5). Poté počtu povodní znovu ubývá směrem k zimnímu půlroku, kde se s výjimkou března a dubna nevyskytují žádné povodně přesahující dvouletý průtok. Zimního maxima je dosaženo v březnu (2).

V druhé polovině 20. století je patrný celkový pokles povodňových případů (17). V porovnání s předchozím půlstoletím došlo k výraznému snížení četnosti povodní v květnu (2) a naopak k nárůstu v červenci (7), kdy je dosaženo maxima. Celkově došlo v průběhu roku ke zkrácení období výskytu povodňových případů mezi květen až srpen. V ostatních měsících s výjimkou března (1), kdy došlo k poklesu, nebyly žádné povodně již zaznamenány.

Obr. 5.7 Změna výskytu povodní přesahující dvouletý průtok na Opavě v Opavě



Zdroj: ČHMÚ, Kříž et al. (1964)

Hodnocení změn sezonality povodní v Opavě ukázalo, že došlo ke změně rozložení četnosti výskytu povodní v průběhu minulého století. Letní maximum se v dlouhodobém sledování posunulo z května na červenec. Rovněž došlo k poklesu povodní v zimním období. Tyto variability v povodňovém režimu mohou být připisovány celkové změně



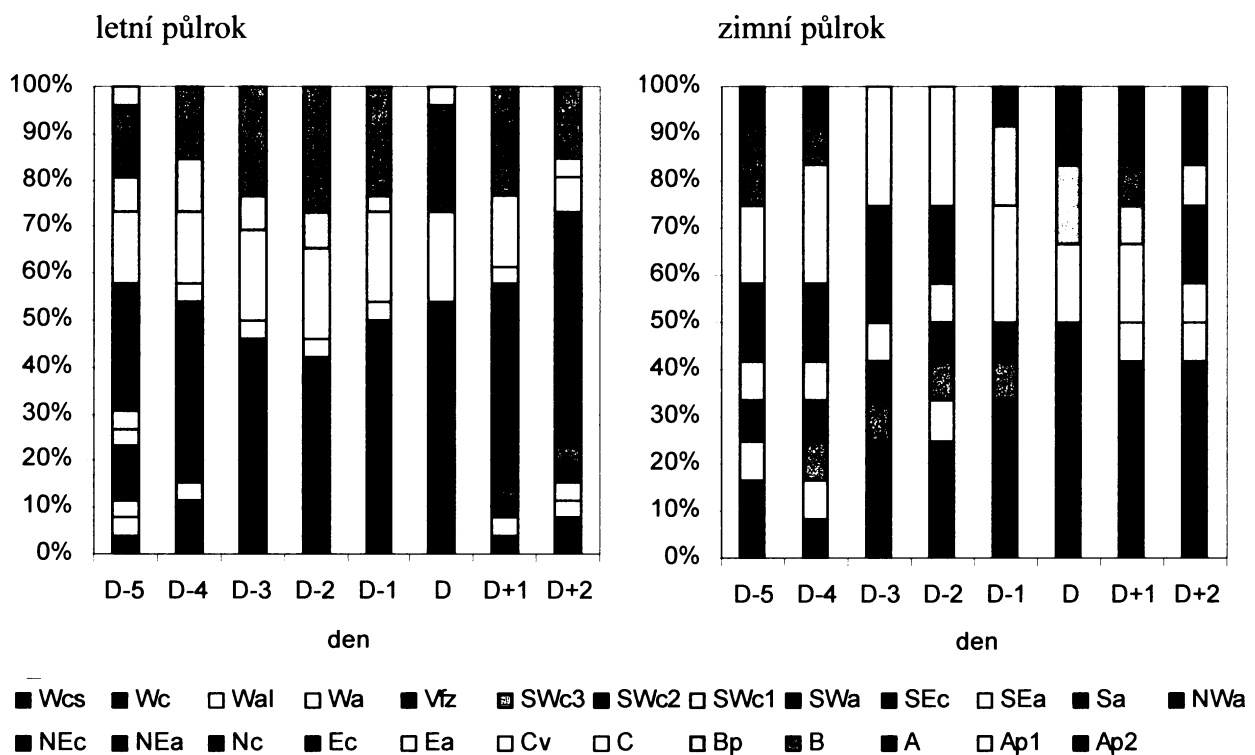
klimatu, která se projevuje pozvolným oteplováním a následnou proměnlivostí ve výskytu a intenzitě atmosférických srážek.

### 5.3 Vliv atmosférických cirkulačních podmínek na vznik povodní

Příčinné atmosférické cirkulační podmínky jsou hlavní příčinou vzniku povodní v daném oblasti. Identifikace jednotlivých typů povětrnostních situací umožňuje objasnit vznik povodní a vývoj povodňových vln.

Jak ukazuje příloha 1 a 2 ve dnech před kulminací dochází k četným přestavbám jednotlivých typů povětrnostních situací na nový následující typ. Příčinná povětrnostní situace byla určena v den D-1, kdy se v povodí Opavy vyskytuje nejmenší počet synoptických situací (příloha 3 a 4).

Obr. 5.8 Četnost výskytu povětrnostních situací ve dnech za období 1960-2004



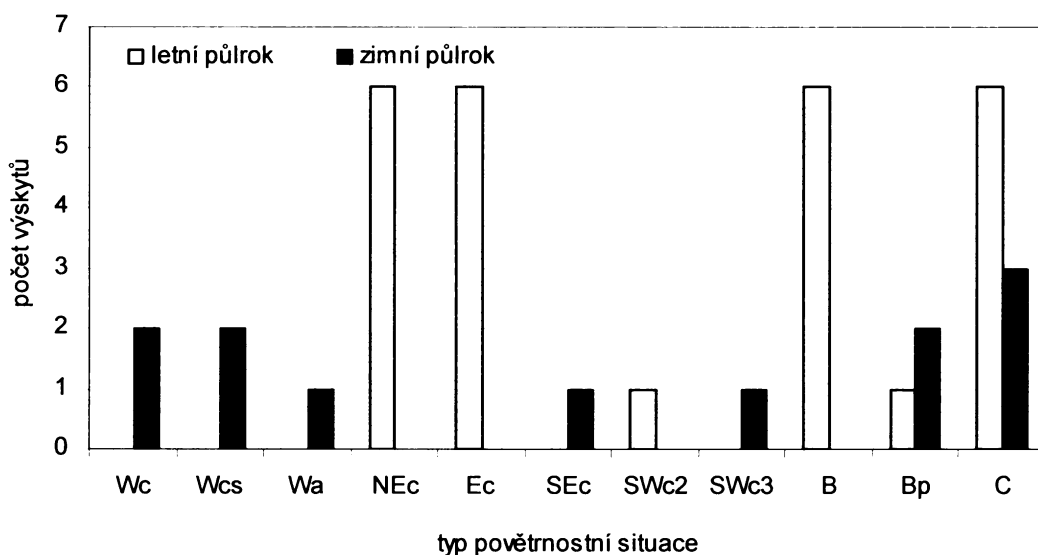
Zdroj: ČHMÚ, Typizace povětrnostních situací pro území České republiky

V zimním půlroce byla pozorována větší nesourodost příčinných povětrnostních situací než u povodní vyskytujících se v letním půlroce (obr. 5.8). Může to být zapříčiněno menším datovým souborem povodňových vln nebo tím, že zimní povodně vyvolává více

příčinných faktorů, a to jak tání sněhové pokrývky, kterému předchází oteplení, tak dešťové srážky. Vznik těchto povodní závisí také na výšce sněhové pokrývky, nasycenosti a promrzelosti půdy (viz kap. 4.3). Naproti tomu povodně v letním období vznikají nejčastěji vypadáváním vydatných srážek frontálního či cyklonálního původu, tj. při určité povětrnostní situaci.

Kalendář povětrnostních situací, který byl pro tuto analýzu použit, obsahuje 28 typů. V povodí Opavy bylo identifikováno celkem 25 synoptických situací (obr. 5.8), které se vyskytují v období 5 dní před a 2 dny po kulminaci. Z toho 12 typů povětrnostních situací (obr. 5.9) může za určitých podmínek vést ke vzniku povodní v povodí Opavy. V letním půlroce bylo analyzováno 7 typů a v zimním půlroce 8 typů. Z toho dva typy povětrnostní situace (Bp, C) mohou způsobit povodně, jak v letním, tak i v zimním půlroce.

Obr. 5.9 Četnost výskytu příčinných povětrnostních situací za období 1960-2004



Zdroj: ČHMÚ, *Typizace povětrnostních situací pro území České republiky*

Zimní povodně se v povodí Opavy vyskytují velmi zřídka (viz kap. 5.2). Tyto povodně představují celkem 12 případů (třetinu všech případů), z nichž pouze jedna přesáhla dvouletý průtok. Povodně v chladném období jsou nejčastěji vyvolány povětrnostní situací typu C, která přináší srážky. Dalšími významnými typy synoptických situací, které mohou zapříčinit vznik zimních povodňových vln jsou západní cyklonální situace (typy Wc a Wcs) s přísunem teplého vzduchu, které vedou k tání sněhové pokrývky a i k výskytu dešťových srážek. Ve dvou případech byl také zaznamenán typ Bp. Rozložení a mechanismus vzniku srážek při této situaci je téměř stejný jako u typu B, jen množství srážek je poněkud menší (Křivancová, Vavruška, 1997).

V letním období bylo pozorováno 26 povodňových případů. Nejvíce povodňových situací způsobují cirkulační typy s jižní složkou proudění (typy B a C) a příčinné synoptické situace typy NEc a Ec. U těchto typů se výrazněji projevují orografické vlivy, jak bylo uvedeno v kap. 4.5. Při povětrnostních situacích (typu B, C, NEc a Ec) se vyskytuje přibližně 93 % všech letních povodní v povodí Opavy. K tomuto závěru dospěl i Brádka (1967), když tyto typy synoptických situací identifikoval jako hlavní příčinu vzniku povodní ve Slezsku. Přesto upozorňuje na fakt, že tyto cirkulační mechanismy se vyskytují mnohem častěji než je počet povodní.

## **5.4 Rozbor povodňových vln**

Odlišné mechanismy vzniku a vývoje povodňových situací v daných fyzickogeografických podmínkách se projevují na tvaru a průběhu povodňové vlny. Na základě souvislostí mezi tvarem povodňových vln a podmínkami, které tuto povodňovou situaci vytvářejí, bylo provedeno hodnocení kategorizace povodňových vln.

### **5.4.1 Objektivní klasifikace povodňových vln**

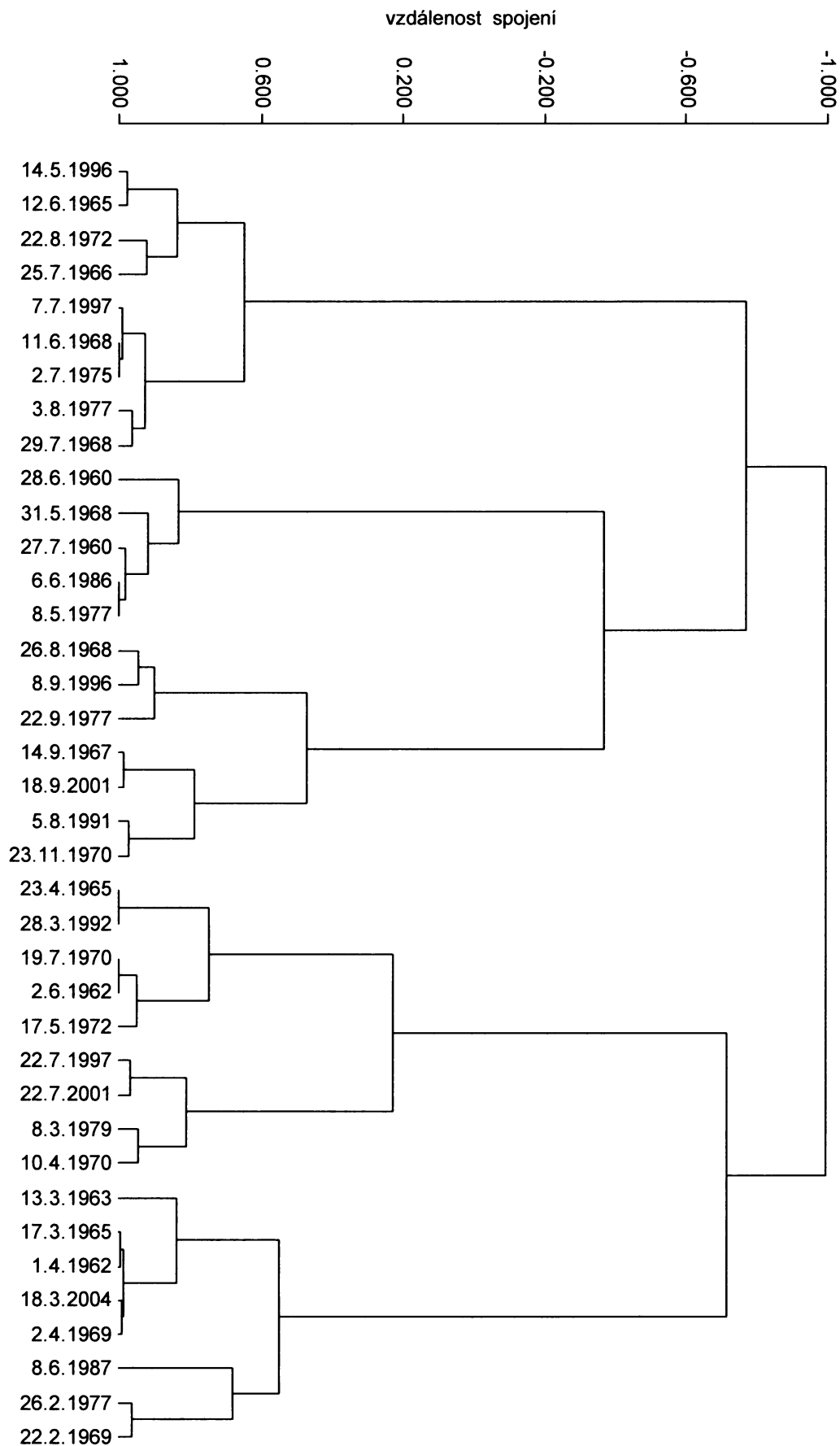
Pro klasifikaci povodňových vln byla použita metoda vícerozměrné statistiky. Pomocí dvou metod shlukové analýzy byly jednotlivé povodňové vlny rozřazeny do skupin.

Nejvhodnější výsledky dává optimalizační metoda K-means se čtyřmi clustery (příloha 5). Rovněž velmi podobného rozdělení bylo dosaženo metodou aglomerativního hierarchického shlukování, jehož výsledkem je dendrogram (obr. 5.10). Ostatní clusterové analýzy K-means s proměnným počtem 3 a 5 až 7 clusterů se ukázaly být nevyhovující.

Ani varianty, které klasifikovaly povodňové situace do čtyř skupin (K-means se 4 clustery a dendrogram) na základě zadaných předpokladů, nevytvořily příliš vhodné kategorie pro klasifikaci povodňových vln v povodí Opavy. V jednotlivých skupinách byly mezi sebou promíchány letní a zimní typy povodní a často byly k sobě spojeny povodňové vlny s velmi odlišným tvarem a průběhem.

Přestože jsou metody vícerozměrné statistiky většinou vhodnější pro klasifikaci požadovaného souboru než vizuální klasifikace, v tomto případě se pro klasifikaci letních a zimních povodní jeví jako méně vhodné. Pro případné další použití této klasifikace by bylo nutné rozšířit parametry proměnných, které by konkrétněji specifikovali jednotlivé povodně.

Obr. 5.10 Dendrogram povodňových situací za období 1960-2004 pro čtyři proměnné



## 5.4.2 Vizuální klasifikace povodňových vln

Povodňové případy se dají jednoduše rozdělit podle jejich doby výskytu v letním (květen-říjen) či zimním (listopad-duben) půlroce na letní a zimní typ (viz kap. 5.2). Tyto typy se vyznačují výrazně odlišnými meteorologickými i cirkulačními charakteristikami (kap. 5.3). Jak již bylo uvedeno v povodí Opavy jasně dominuje letní povodňový režim s pravděpodobností výskytu v poměru 7 : 1 (pro průtok vyšší než dvouletý, při jiné prahové hodnotě průtoku je poměr odlišný). Tato skutečnost je důležitá pro hospodaření s vodou, protipovodňová opatření a celkovou povodňovou ochranu této oblasti.

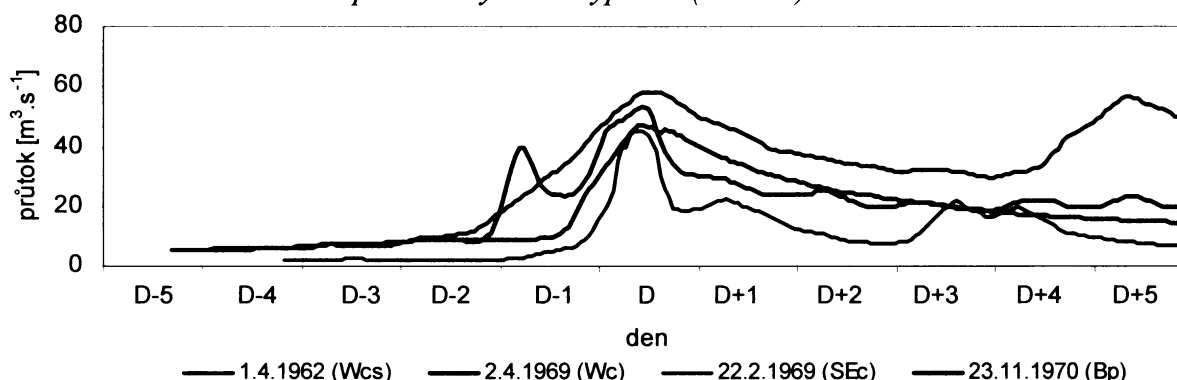
### 5.4.2.1 Kategorizace zimních povodňových vln

Zimní povodně způsobené oblevou a následným táním sněhu či doprovázené dešťovými srážkami se v povodí Opavy vyskytují s mnohem menší pravděpodobností než povodňové situace v letním období (viz kap. 5.2). Ve většině případů povodně v zimním půlroce nedosahují průtoků ani dvouleté vody. Obecně jsou tyto povodňové vlny charakteristické plochým vrcholem a dlouhou dobou trvání. Často jsou přítomny i podružné vrcholy, které mohou reprezentovat vliv denního cyklu intenzity tání sněhové pokrývky. Z celkového sledovaného souboru 38 povodňových vln, na zimní hydrologický půlrok připadá 12 povodňových vln, které byly rozděleny do 3 skupin.

#### Povodňové vlny typu Z1

Do této skupiny povodňových vln (obr. 5.11) byly zařazeny čtyři případy: z 1. 4. 1962, 22. 2. 1969, 2. 4. 1969, 23. 11. 1970. Pro tyto povodňové vlny je charakteristický rychlejší vzestup průtoků s často se vyskytujícím podružným vrcholem na vzestupné a nebo na poklesové části hydrogramu. Pokulminační fáze je typická poměrně dlouhou dobou trvání s velmi pozvolným poklesem průtoků.

Obr. 5.11 Průběh zimních povodňových vln typu Z1 (ČHMÚ)

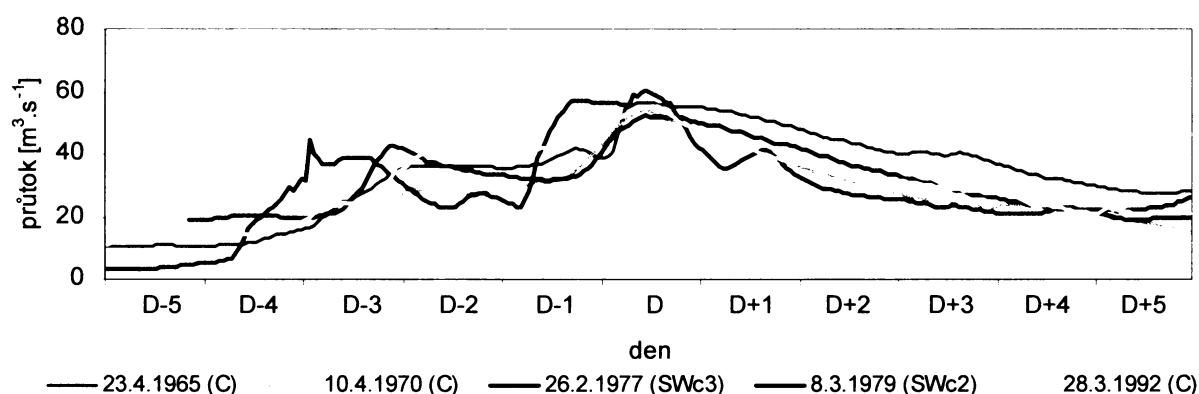


Do typu povodňových vln Z1 byla zařazena i situace ze dne 23. 11. 1970, která má jako jediná povodeň vyskytující se v zimním půlroce jednoduchým průběhem povodňového hydrogramu. Tento tvar je typický především pro letní typ povodní. Proto je možné se domnívat, že tato listopadová povodeň byla způsobena výhradně vypadáváním srážek a že by ji bylo vhodnější přiřadit k letnímu typu.

### Povodňové vlny typu Z2

Povodňové vlny typu Z2 (obr. 5.12) zahrnují z celkového souboru pět případů: z 23. 4. 1965, 10. 4. 1970, 26. 2. 1977, 8. 3. 1979 a 28. 3. 1992. U těchto povodňových vln je patrný pozvolný nárůst vzestupné větve s méně či více výrazným podružným vrcholem ve dnech D-3 či D-2. Kulminační vrchol je poměrně plochý, po kterém následuje mírný pokles průtoků.

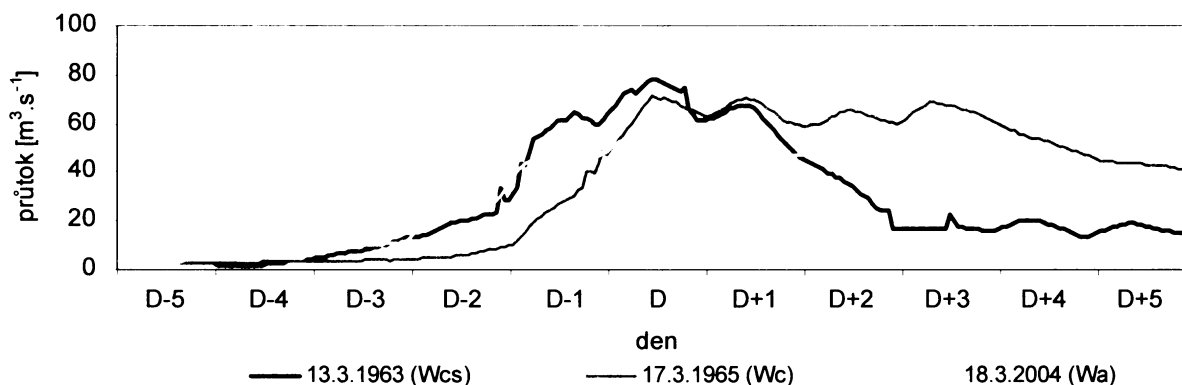
Obr. 5.12 Průběh zimních povodňových vln typu Z2 (ČHMÚ)



### Povodňové vlny typu Z3

Tento typ povodňových vln (obr. 5.13) obsahuje tři povodňové situace: z 13. 3. 1963, 17. 3. 1965 a 18. 3. 2004. Do této skupiny jsou zařazeny vícevrcholové povodňové vlny s výraznějším zdvihem průtoků v den D-1. Na jejich vzestupné části hydrografu je patrný

Obr. 5.13 Průběh zimních povodňových vln typu Z3 (ČHMÚ)



podružný vrchol. Po dosažení maximálního průtoku následuje pozvolný pokles či dokonce téměř několika denní stagnace průtoků.

Zimní povodňové situace z hlediska povodňového nebezpečí nepředstavují v povodí Opavy příliš velké riziko. Tyto povodně se zde vyskytují velmi zřídka a ojediněle dosahují větších průtoků.

Z proběhlých povodňových případů by mohl být za nejvíce nebezpečný typ povodňových vln považován typ Z3, který dosahuje největších kulminací. Je charakteristický intenzivnějším vzestupem a velmi mírnou poklesovou větví. Povodňový účinek je poměrně dlouhý. Tyto vlny také vykazují největší objem, což přispívá k jejich nebezpečnosti.

#### **5.4.2.2 Kategorizace letních povodňových vln**

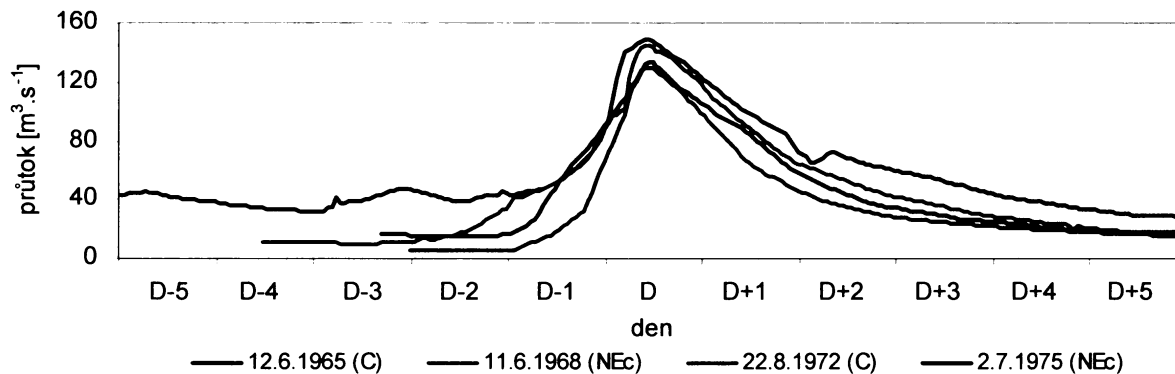
Letní povodňové situace vznikají výhradně vypadáváním dešťových srážek. Důležitou roli zde také sehrává charakter srážek (délka trvání a extremita). Povodně mohou být způsobené krátkodobými přívalovými dešti nebo déletrvajícimi srážkami (viz kap. 4.3). Bleskové povodně postihují především malá území a způsobují spíše lokální rozvodnění toků. Proto se dá předpokládat, že většina povodňových situací zaznamenané v profilu Opava budou způsobeny vydatnými dešťovými srážkami postihující větší území. Tyto srážky jsou frontálního resp. cyklonálního původu. Díky orografickému uspořádání jsou často povětrnostní situace vyvolávající srážky modifikovány, což vede k zvětšení jejich intenzity. Obecně také platí, že výskyt největších úhrnů srážek je vázán na letní půlrok.

Povodňové situace, které se vyskytují v povodí Opavy v letním období, dosahují největších objemů a mají oproti zimním povodním kratší dobu trvání s intenzivnějším nástupem a větší extremitou. Letní povodně obsahují celkem 26 případů, které byly rozděleny do 5 kategorií.

#### **Povodňové vlny typy L1**

Tento typ povodňových vln (obr. 5.14) byl identifikován ve čtyřech situacích a to: 12. 6. 1965, 11. 6. 1968, 22. 8. 1972 a 2. 7. 1975. Povodňové vlny jsou charakteristické rychlým nárůstem průtoků v den D-1 na vzestupné větví, který uzavírá krátkodobý špičatý kulminační vrchol. Pokulminační fáze je typická prudším poklesem průtoků, jejichž intenzita se pozvolna zmenšuje.

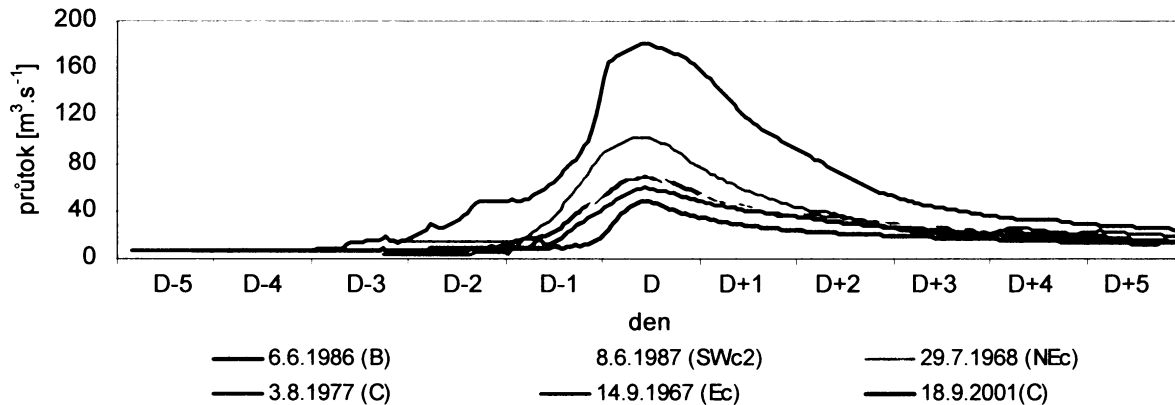
Obr. 5.14 Průběh letních povodňových vln typu L1 (ČHMÚ)



### Povodňové vlny typu L2

Povodňové vlny typu L2 (obr. 5.15) jsou podobné předchozímu typu L1. Do této kategorie bylo zařazeno šest povodňových vln: z 14. 9. 1967, 6. 6. 1968, 29. 7. 1968, 3. 8. 1977, 8. 6. 1987 a 18. 9. 2001. Pro tyto povodňové vlny je typická méně příkrá vzestupná větev než u typu L1. Kulminační vrchol je více zploštělý s delší dobou trvání, okolo jednoho dne. Poté dochází k rychlejšímu úbytku objemu povodňové vlny, který se následně zvolňuje.

Obr. 5.15 Průběh letních povodňových vln typu L2 (ČHMÚ)

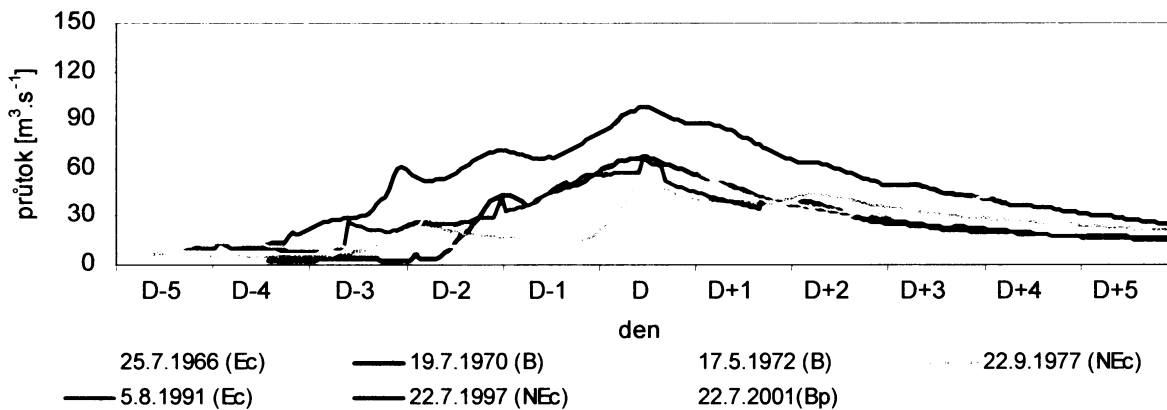


### Povodňové vlny typu L3

Pro tento typ (obr. 5.16) bylo vybráno sedm povodňových případů: z 25. 7. 1966, 19. 7. 1970, 17. 5. 1972, 22. 9. 1977, 5. 8. 1991, 22. 7. 1997 a 22. 7. 2001. Povodňové vlny spojuje ponejvíce jejich pozvolný nárůst v předkulminační fázi s jedním či více podružnými vrcholy. Ke zvětšení průtoků obvykle dochází v dnech D-3, popřípadě D-2. Vrchol kulminační vlny je často nevýrazný a protáhlý. Sestupná větev je mírná s občasně se vyskytujícím lokálním zvětšením průtoků.



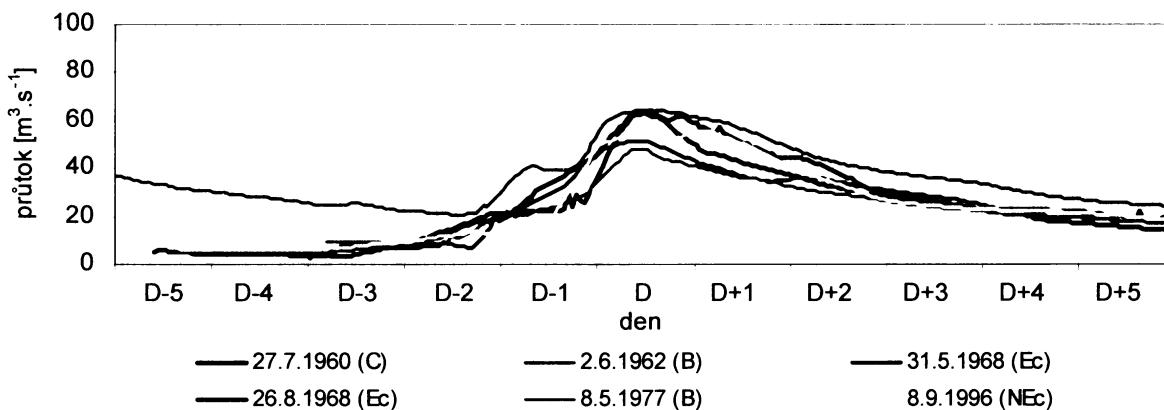
Obr. 5.16 Průběh letních povodňových vln typu L3 (ČHMÚ)



### Povodňové vlny typu L4

K povodňovým vlnám typu L4 (obr. 5.17) bylo přiřazeno šest velkých vod: z 27. 7. 1960, 2.6. 1962, 31. 5. 1968, 26. 8. 1968, 8. 5. 1977 a 8. 9. 1996. U těchto případů dochází obvykle na konci dne D-2 k zvětšení průtoků. Vzestupná část hydrogramu je pozvolná zakončená často dlouhým protaženým vrcholem. Na sestupné větvi je patrný pomalý pokles průtoků během několika dní.

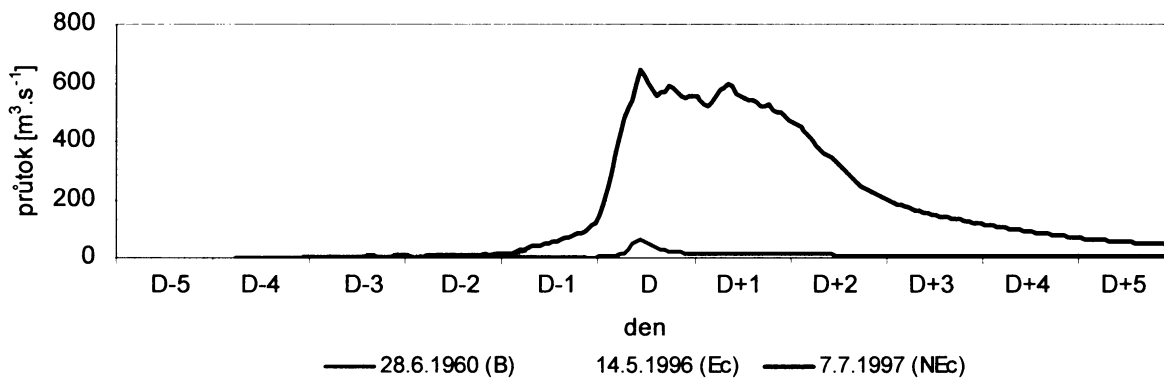
Obr. 5.17 Průběh letních povodňových vln typu L4 (ČHMÚ)



### Povodňové vlny typu L5

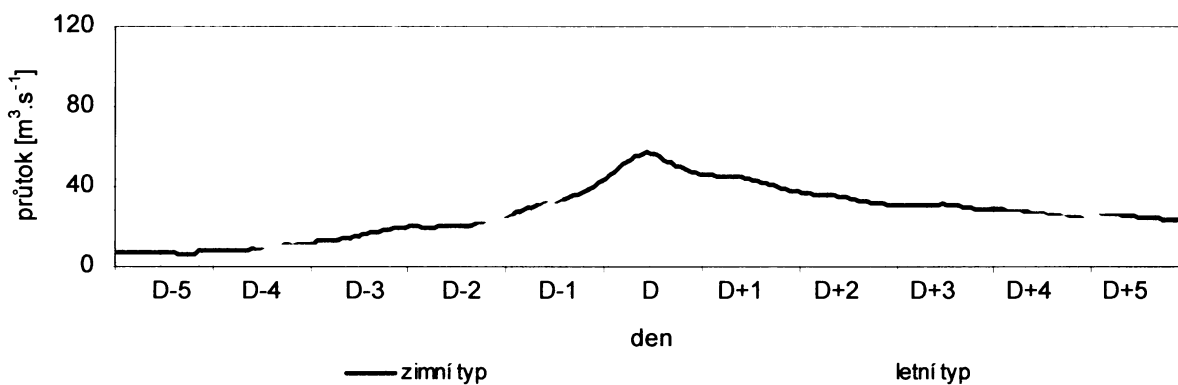
Do této skupiny (obr. 5.18) byly umístěny povodňové vlny, které nebylo možné zařadit do žádných z předchozích typů. Jde o tři případy: z 28. 6. 1960, 14. 5. 1996 a 7. 7. 1997. Povodňové vlny se především odlišují svým objemem. Přesto jejich výrazným podobným znakem je téměř kolmý nárůst průtoků na vzestupné části povodňové vlny a ostrý kulminační vrchol. Pouze u extrémní povodně z července 1997 je vidět více podružných vrcholů. Jejich doba trvání se pohybuje okolo dvou dnů. Pokulminační fáze u těchto vln je již výrazně pozvolnější oproti vzestupné.

Obr. 5.18 Průběh letních povodňových vln typu L5 (ČHMÚ)



Z hlediska povodňové ochrany představují letní povodně v povodí Opavy mnohem větší ohrožení než povodně vzniklé v zimním půlroce (obr. 5.19). Dosahují větší četnosti v průběhu roku a také větších kulminačních průtoků.

Obr. 5.19 Srovnání průběhu průměrného letního a zimního typu povodňových vln (ČHMÚ)



Nejnebezpečnější jsou povodňové vlny s největší kulminací, nejrychlejším nárůstem na vzestupné větvi a největším objemem. Těmito prvky se do určité míry vyznačují povodňové vlny typu L5, resp. jejich dva případy. U těchto povodní je velké nebezpečí momentu překvapení. Např. u povodně z července 1997 došlo k prudkému zvětšení průtoků o téměř  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  během jednoho dne. Přesto tato povodeň představovala extrém v povodňovém režimu povodí Opavy.

Pro povodňové vlny typu L1 je také typický rychlejší nárůst vodní hladiny a prudší pokles na poklesové větvi hydrogramu. Tyto vlny se vyznačují jednoduchým tvarem s krátkou dobou povodňového ohrožení. Naopak dlouhá doba trvání je příznačná pro typ L3, který má nejpomalejší nárůst a pokles průtoků s více vrcholovým průběhem. V případě, že tyto povodňové vlny dosáhnou větších kulminačních průtoků, představují nebezpečí pro přilehlé oblasti vodních toků svým dlouhým povodňovým účinek.

## 6 DISKUSE

K analýze povodňových případů byl použit soubor kulminačních průtoků z databáze ČHMÚ, který byl doplněn o situace uvedené v práci Kříže et al. (1964). Jedná se o období 1896-1926, za které byly kulminační průtoky vypočteny pomocí měrných křivek na základě známých vodních stavů. Proto se nabízí otázka do jaké míry jsou tato data věrohodná. Starší data o průtocích mohou být zatíženy určitou chybou, což by mělo být na paměti při interpretaci a porovnávání kulminačních průtoků, které především v oblastech vysokých vodních stavů ztrácejí na přesnosti. Přesto pro účely bakalářské práce jsou tyto informace naprosto dostačující.

Hodnocení povodňových situací potvrdilo skutečnost, že v povodí Opavy výrazně převažuje letní povodňový režim a zimní povodně se zde vyskytují jen ojediněle. V posledním půlstoletí se tato asymetrie povodňových případů ještě více prohloubila. Větší povodně jsou pozorovány jen ve čtyřech letních měsících. Tato vzrůstající absence zimních povodní je nejčastěji připisována vlivu globálního oteplování klimatu, stejně tak jako nárůst extremity povodňových případů. Přesto v některých případech se spíše může jednat o přirozený chod v povodňovém režimu povodí Opavy, kdy některá údobí jsou na výskyt povodní bohatší a naopak v jiných je četnost povodní nižší.

Rozbor příčinných povětrnostních situací potvrdil analýzu provedenou Brádkou (1967) ve Slezsku. V letním půlroce je téměř 93 % povodňových případů vyvoláno povětrnostními situacemi typu B, C, NEc a Ec. Jedná se o situace, při kterých jsou příznačné vysoké úhrny srážek v oblasti Hrubého Jeseníku a Moravskoslezských Beskyd. Přesto Brádka (1967) poukázal na fakt, že tyto typy se vyskytují mnohem častěji než je výskyt povodní a že tyto situace vyvolávají povodeň jen ve výjimečných případech. Proto lze této informace využít jen jako orientační, při jakých typech povětrnostních situací se zvyšuje potenciální nebezpečí vzniku povodní.

Pro klasifikaci povodňových případů by byla jistě vhodnější nastíněná shluková analýza. V důsledku malého počtu proměnných, které vstupovaly do algoritmu, nebylo vhodné toto rozčlenění povodňových případů použít pro jejich klasifikaci. Pro další využití by bylo nutné tuto analýzu více propracovat a doplnit ji o nové parametry, které by podrobněji charakterizovali povodňové události v povodí Opavy.

## 7 ZÁVĚR

Povodňové situace, které způsobují škody na majetku, životním prostředí a v nejhorších případech i ztráty na lidských životech, se vyskytují nepravidelně v prostoru a čase. Cílem této práce bylo objasnit specifika povodní v povodí Opavy.

Z provedené analýzy povodňových situací v povodí Opavy je patrné, že v posledním půlstoletí došlo k mírnému úbytku povodňových případů, ale jejich extremita mírně vzrostla.

Rozložení povodní v průběhu roku je velmi asymetrické. Většina povodňových situací v povodí Opavy vzniká v letním půlroce v důsledku vypadávání dešťových srážek, které jsou často spojeny s výstupem frontálních zón nebo s postupem cyklóny. Zimní povodně se v povodí vyskytují jen výjimečně.

V minulém století byla sledována změna sezonality četnosti výskytu povodní. V dlouhodobém sledování se letní maximum posunulo z května na červen a celkově došlo ke zkrácení období výskytu povodní mezi červen až srpen. V zimním období byla pozorována absence povodňových případů s výjimkou března.

Z rozboru typů synoptických situací vyplývá, že největší četnost výskytu povodňových vln v letním období vyvolávají povětrnostní situace typu B, C, NEc a Ec. Tyto situace jsou často zesilovány vlivem orografie, která se velmi významně uplatňuje v povodí Opavy. V zimním období se na vzniku povodňových situací nejvíce podílí cirkulační mechanismy s jižní složkou proudění typu C a Bp a také situace typu Wc a Wcs se západním teplým prouděním.

Na závěr bylo provedeno hodnocení letních a zimních povodňových vln. Zimní povodňové vlny byly rozděleny do 3 kategorií na základě jejich společných znaků. Obecně se dá říci, že zimní povodně v povodí Opavy nepředstavují příliš velké nebezpečí. Opačně je tomu u povodní v letním období, které byly rozděleny do 5 skupin. Tyto povodně se vyskytují mnohem častěji a dosahují mnohem větší extremity. Za nejvíce nebezpečné lze považovat povodňové vlny s náhlým a vysokým nárůstem průtoků na vzestupné části hydrogramu a velkým objem.

Tyto informace o proběhlých povodní v povodí Opavy by bylo vhodné rozšířit o další poznatky, které by přispěly k odhadu povodňové situace před jejím vznikem a průběhem v povodí Opavy. Následné doplnění poznatků by bylo předmětem magisterské práce.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ

### 8.1 Literatura

- Bárdossy, A., Duckstein, L., Bogárdi, I. (1995): Fuzzy Rule Based Classification of Atmospheric Circulation Patterns. *International Journal of Klimatology* 15, p. 1087-1097.
- Brádka, J. (1967): Meteorologické příčiny povodní ve Slezsku. *Meteorologické správy* 20, č. 1, Praha, s. 3-9.
- Brádka, J. (1972): Srážky na území ČSSR při jednotlivých typech povětrnostní situace. *Sborník prací HMÚ* 18, Praha, s. 8-62.
- Brádka, J. (1973): Der Einfluss des Atlantischen Ozeans und des Mittelmeeres auf die niederschlagsverteilung auf dem Gebiet der ČSSR. *Studia Geographica* 8, s. 61-68.
- Brádka, J., Dřevíkovský, A., Gregor, Z., Kolesár, J. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. *HMÚ*, Praha, 31 s.
- Brázdil, R. et al. (2005): Historické a současné povodně v České republice. *Masarykova univerzita, Brno*, 369 s.
- Brázdil, R., Štekl, J. (1986): Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. *Univerzita J. E. Purkyně v Brně, PřF, Brno*, 298 s.
- Brosch, O. (2005): Povodí Odry. *Povodí Odry a. s., Ostrava*, 324 s.
- Cawley, G.C, Dorling, S.R. (1996): Reproducing a subjective classification scheme of atmospheric circulation patterns over the United Kingdom using a neural network. In: *Proceedings of the International Conference on Artificial Neural networks 96*, p.281-286.
- Culek, M. et al. (1996): Biogeografické členění České Republiky. *MŽP ČR, Praha*, 347 s.
- Čekal, R. (2005): Hydrosynoptická analýza povodňových situací v povodí horní Ohře. *Disertační práce, PřF UK, Praha*, 220 s.
- Čermák, M. (1968): Základní činitelé ovlivňující odtok velkých vod. *Sborník prací HMÚ ČSSR* 12, Praha, s. 5-42.
- Demek, J. et al. (1965): Geomorfologie Českých zemí. *ČSAV, Praha*, 336 s.
- Doležal, F., Kříž, V., Sochorec, R. (1976): Hydrologické vyhodnocení povodně ze srpna 1972 v povodí Odry. *Sborník prací HMÚ ČSSR* 23, Praha, s. 9-40.
- Gottwald, A. (1981): Případy velkých srážek v Čechách. *Meteorologické zprávy* 34, č. 3, Praha, 85-89 s.
- Hess, P., Brezowsky, H. (1952): Katalog synoptických situací Evropy. Přeloženo z německého originálu, 1958, *ČHMÚ, Brno*, 48 s.
- Hladný, J. (1971): K rajonizaci povodňových situací na území ČSR pro potřeby povodňové ochrany. In: *Sborník referátů hydrologické konference, Studia Geographica* 22, GÚ ČSAV, Brno, s. 221-236.

- Hladný, J. (1995): Odhad vývoje povodňových situací analýzou historických případů. In: Povodňová ochrana na Labi, ČHMÚ, MŽP, Povodí Labe, Ústí nad Labem, s. 161-183.
- Hladný, J. (1997): Možnosti hydrometeorologické analýzy povodňových situací. In: Stoleté výročí extrémních atmosférických srážek, ČHMÚ, Praha, s. 261-269.
- Hladný, J., Blažek, V., Dvořák, V., Kubát, J., Švihla, V. (1998): Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997 – souhrnná zpráva projektu. MŽP, Praha, 163 s.
- Hladný, J., Kašpárek, L., Krátká, M., Kněžek, M., Martínková, M. (2005): Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002. MŽP, Praha, 68 s.
- Hošek, A., Koblihová, E., Sochorec, R. (1988): Hydrologické vyhodnocení povodně v srpnu 1985 na tocích Severomoravského kraje. Sborník prací ČHMÚ 33, Praha, s. 42-64.
- Chalušová, J. (2005): Vliv fyzickogeografických faktorů na časový a prostorový výskyt povodní v povodí Labe. In: Hydrologické dny 2005, ČHMÚ, Praha, s. 498-509.
- Jurgvirtová, E. (2005): Hydrometeorologická analýza povodňových situací v povodí Sázavy. Magisterská práce, PřF UK, Praha, 118 s.
- Kakos, V. (1974): Možnosti hydrometeorologických předpovědí havarijních odtokových situací. Sborník prací HMÚ 21, HMÚ, Praha, s. 55-85.
- Kakos, V. (2001): Maximální srážky na území České republiky z pohledu synoptické meteorologie. In: Vývoj metod pro odhad extrémních povodní. ČVTVHS, ČNVH, ČHMÚ, Praha, s. 46-60.
- Kolektiv autorů (1992): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000. List 15-32 Opava. ČGÚ. Praha. 38 s.
- Kolektiv ČHMÚ (2006): Typizace povětrnostních situací pro území České republiky. ČHMÚ, Praha. [<http://www.chmi.cz/meteo/om/mk/syntypiz/kalendar.html> - 5. 7. 2006].
- Kolektiv pracovníků Hydrologické služby HMÚ (1965): Hydrologické poměry ČSSR. Díl I. HMÚ, Praha, 416 s.
- Kolektiv pracovníků Hydrologické služby HMÚ (1967): Hydrologické poměry ČSSR. Díl II. HMÚ, Praha, 557 s.
- Kolektiv pracovníků Hydrologické služby HMÚ (1970): Hydrologické poměry ČSSR. Díl III. HMÚ, Praha, 305 s.
- Konček, M., Rein, F. (1971): Katalog der Witterungstypen für Mitteleuropa. Acta Fac. Rer. Nat. Univ. Comen., Meteorologia IV, s. 1-33.
- Křivancová, S., Vavruška, F. (1997): Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961-1990. Národní klimatický program ČR, sv. 27, ČHMÚ, Praha, 114 s.
- Kříž, H., Kolečka, J. (1999): Vliv geografických podmínek na vznik extrémních hydrologických jevů v povodích. In: Extrémní hydrologické jevy v povodích, ČVUT a ČVST, Praha, s. 239-248.
- Kříž, H. (2000): Vliv geografických podmínek na vznik extrémních hydrologických jevů v povodích. In: Hydrologické dny 2000, ČHMÚ, Praha, s. 95-101.

- Kříž, H. (2001): Příspěvek k určení vlivu geografických podmínek na průběh povodně v červenci 1997. *Vodohospodarský časopis* 49, č. 3-4, Bratislava, s.237-253.
- Kříž, V., Sochorec, R. (1963): Hydrologické vyhodnocení povodně z července 1960 v povodí Odry. HMÚ, Praha, 72 s.
- Kříž, V., Sochorec, R. Kříž, H. (1964): Opakování velkých vod v povodí Odry. *Sborník prací HMÚ ČSSR* 5, Praha, 132 s.
- Křížek, M., Engel, Z. (2004): Geomorfologické projevy povodně 2002. In: *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní*, CD-ROM, PřF UK, Praha.
- Křížková, J. (1998): Analýza meteorologických příčin sezonality a vzniku povodní v povodí Labe. *Magisterská práce*, PřF. UK, Praha, 121 s.
- Langhammer, J. (2004): Změny přírodního prostředí jako indikátor povodňového rizika. In: Němec, J. et al. *Krajinnotvorné programy*, MŽP ČR, Praha, s. 31-46.
- Langhammer, J. (2006): Geoinformatic Assessment of the Consequences of Extreme Flood in August 2002 in Otava River Basin. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica* 38, č.2, 2003, UK, Praha, s. 185-202.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H. (1949): *Applied hydrology*. Mc Graw-Hill Book Company, New York, 689 p.
- Michlíček, E. et al. (1986): Hydrogeologické rajóny ČSR. Svazek 2. Povodí Moravy a Odry. VÚV a ČHMÚ. Brno. 165 s.
- Matějčík, 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. In: *Hydrologické dny 2005*, ČHMÚ, Praha, s. 564-569.
- Poruba, Z. et al. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1: 200 000. Jeseník M-33-XVIII. Ústřední ústav geografický, Praha, 178 s.
- Prudký, J. (2003): Analýza přirozené retence vody v povodí řeky Opavy při povodni povodni v červenci 1997. *Acta Hydrologica Slovaca* 4, č. 2, Ústav hydrológie SAV Bratislava, Bratislava, s. 248-254.
- Kantor, P. et al. (2003): *Lesy a povodně. Souhrnná studie*. MŽP. Praha. 48 s.
- Quitt, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. *Studia Geographica* 16, Brno, 73 s.
- Rodda, J. C. (1969): Short-term Runoff Patterns. In: Chory, R. J. et al.: *Wagner, Earth, and Man*. Methuen & Co Ltd. London. p. 405-454.
- Roth, Z. et al. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1: 200 000. Olomouc N-33-XXIV. ČSAV, Praha, 226 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. In: *Hydrologické dny 2005*, ČHMÚ, Praha, s. 578-584.

- Řepka, M. et al. (2005): Prostorové rozložení srážek na České a Polské straně hraničních hor - Kralického Sněžníku, Jeseníků a Beskyd. Práce a studie, sešit 33, ČHMÚ, Praha, 60 s.
- Stehlík, J. (2000): Automatická klasifikace povětrnostních situací pro potřeby hydrometeorologických analýz. Sborník konference Hydrologické dny 2000, Plzeň, s. 75-83.
- Stehlík, J. (2002): Objektivní klasifikace cirkulačních typů pro území České republiky. Meteorologické zprávy 55, č. 1, Praha, s. 40-49.
- Šanaj, F., Valovi, V., Brázdil, R. (1983): Extrémné denné úhrny atmosférických zrážím v ČSSR. Meteorologické zprávy 55, č. 2., Praha, s. 14-21.
- Šefrna, L. (2004): Pedologická charakteristika povodí Otavy ve vztahu k povodním. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, CD-ROM, PFF UK, Praha.
- Štekl, J., Brázdil, R., Kakos, V., Jež, J., Tolasz, R., Sokol, Z. (2001): Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny. Národní klimatický program České republiky, sv.31, ČHMÚ, Praha, 140 s.
- Štěpánková, R. (2004): Vliv fyzicko-geografického prostředí na vznik a vývoj povodní v povodí Berouny. Disertační práce, Pff. UK, Praha, 178 s.
- Vilímek, V. (2006): Floods in the Context of Natural Hazards and Risks. Acta Universitatis Carolinae, Geographica 38, č.2, 2003, UK, Praha, s. 5-18.
- Tomášek, M. (2000): Půdy České republiky. ČGS, Praha, 67 s.
- Weissmannová, H. et al. (2004): Ostravsko. Chráněné území ČR, svazek X. AOPK ČR, Praha, 456 s.
- Wehry, W. (1968): Synoptisch-statistische Untersuchungen zu Starkregen-Wetterlagen in Mitteleuropa. Meteorologische Abhandlungen 86, č. 3, s. 1-88.
- Wilson, L.L., Lettenmaier, D.P., Skillingstad, E. (1992): A hierarchical scholastic model of large scale atmospheric circulation patterns and multiple station daily rainfall. Journal of Geophysical Research 97, p. 2791-2809.

## 8.2 Internetové zdroje

- Fotografie z povodní – Povodně 1997. [<http://www.zam.fme.vutbr.cz/~raud> - 5. 7. 2006].
- Matoušek, Z. (2000): Podobnosti dokumentů. [[http://nlp.fi.muni.cz/projekty/podobnost\\_dokumentu/node19.html](http://nlp.fi.muni.cz/projekty/podobnost_dokumentu/node19.html) - 9. 8. 2006].
- Oficiální stránky města Krnov [[http://www.krnov.cz/\\_programs/Gallery](http://www.krnov.cz/_programs/Gallery) - 11. 8. 2006].
- Ochrana před povodněmi na horní Opavě. Ministerstvo zemědělství. [[http://www.mze.cz/attachments/opava\\_fotodokumentace.pdf](http://www.mze.cz/attachments/opava_fotodokumentace.pdf) - 11. 8. 2006].
- Správa CHKO Jeseníky. [[www.jeseniky.ochranaprirody.cz](http://www.jeseniky.ochranaprirody.cz) - 11. 8. 2006].



Svatojanské proudy na starých pohlednicích – Ledy a povodně.

[<http://www.svatojanske-proudy.cz/ledypovodne/1929/htm/ledy1929.htm> - 11. 8. 2006].

Šarmanová, J. (2002): Metody dolování znalostí z dat. Příspěvek z konference Datakon.

[[http://www.datakon.cz/datakon02/d02\\_sarmanova.pdf](http://www.datakon.cz/datakon02/d02_sarmanova.pdf) - 9. 8. 2006].

### **8.3 Mapové a datové podklady**

CORINE Land Cover. MŽP. Praha. 2000.

ČR 50. T-Mapy. Praha. 2005.

DMÚ-25. VTOPOÚ. Dobruška. 2004.

Databáze průtoků. ČHMÚ. Praha. 2006.

Portál veřejné správy České republiky. Mapové služby.

[<http://geoportal.cenia.cz/mapmaker/cenia/portal> - 28. 5. 2006].

ZABAGED. ČÚZAK. Praha. 2006.

ZVM. VÚV, T.G.M. Praha, 2003.

## 9 PŘÍLOHY

### Seznam příloh

- Příloha 1 Sled a přestavba povětrnostních situací při letních povodních za období 1960-2004
- Příloha 2 Sled a přestavba povětrnostních situací při zimních povodních za období 1960-2004
- Příloha 3 Typy povětrnostních situací při letních povodních za období 1960-2004
- Příloha 4 Typy povětrnostních situací při zimních povodních za období 1960-2004
- Příloha 5 Rozdělení povodňových případů za období 1960-2004 do kategorií pomocí metody K-means

*Příloha 1 Sled a přestavba povětrnostních situací při letních povodních za období 1960-2004*

Datum	Kulminační průtok	Typy povětrnostní situace ve dnech								
		D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	D	D+1	D+2	DD
28.6.1960	62,47	NEa	NEa	NEa	B	B	B	B	B	B
27.7.1960	63,86	C	C	C	C	C	C	C	Sa	C
2.6.1962	64,24	B	B	B	B	B	B	B	NEc	B
12.6.1965	149,00	C	C	C	C	C	C	C	Wal	C
25.7.1966	116,40	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	B	B	Ec
14.9.1967	59,92	B	B	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec
31.5.1968	51,62	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ea	Ea	Ec
11.6.1968	145,20	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	NEc	NEc	NEc	NEc	Ea	NEc
29.7.1968	102,30	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEc
26.8.1968	63,46	Ap <sub>1</sub>	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec
19.7.1970	67,06	Wa	B	B	B	B	B	Wc	Wc	B
17.5.1972	55,00	Vfz	B	B	B	B	B	B	B	B
22.8.1972	130,00	Bp	Bp	C	C	C	C	C	NWa	C
2.7.1975	133,8	Wal	NEc	NEc	NEc	NEc	NEa	NEa	NEa	NEc
8.5.1977	48,16	Sa	Sa	B	B	B	B	B	SWc <sub>2</sub>	B
3.8.1977	180,2	SEa	SEc	SEc	C	C	C	Wa	Wa	C
22.9.1977	49,8	Nc	Cv	Cv	Cv	Cv	NEc	NEc	NEa	NEc
6.6.1986	68,76	C	C	C	B	B	B	B	B	B
8.6.1987	71,91	Wc	Wc	Wc	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>3</sub>	SWc <sub>3</sub>	SWc <sub>2</sub>
5.8.1991	75,2	Vfz	Vfz	Vfz	Ec	Ec	Ec	SWa	SWa	Ec
14.5.1996	262	B	Ec	Ec	Ec	Ec	Ec	Vfz	Vfz	Ec
8.9.1996	60,2	Ec	Ec	Nc	Nc	NEc	NEc	NEc	NEc	NEc
7.7.1997	647	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>1</sub>	B	B	NEc	NEc	NEc	NEc	NEc
22.7.1997	98,4	C	C	C	C	NEc	NEc	NEc	Wcs	C
22.7.2001	82,4	B	Bp	Bp	Bp	Bp	Ap <sub>1</sub>	NEc	NEc	Bp
18.9.2001	48,1	Bp	Bp	Bp	Bp	C	C	C	C	C

*Zdroj: ČHMÚ, Typizace povětrnostních situací pro Českou republiku*

*Příloha 2 Sled a přestavba povětrnostních situací při zimních povodních za období 1960-2004*

datum	kulminační průtok	Typy povětrnostní situace ve dnech								
		D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	D	D+1	D+2	DD
1.4.1962	58,16	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Ap <sub>2</sub>	Wcs
13.3.1963	78,08	Wa	Wa	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Ea	Ea	Wcs
17.3.1965	71,16	A	A	SWa	SWa	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc
23.4.1965	56,33	B	B	C	C	C	C	C	C	C
22.2.1969	44,94	C	C	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc	SEc
2.4.1969	53,3	Ec	Ec	Wc	Wc	Wc	Wc	A	A	Wc
10.4.1970	54,53	C	C	C	C	C	C	C	Wcs	C
23.11.1970	47,3	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>1</sub>	Bp	Bp	A	A	Bp
26.2.1977	52,55	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>3</sub>	SWc <sub>3</sub>	SWc <sub>3</sub>	SWc <sub>3</sub>	Nc	Nc	Nc	SWc <sub>3</sub>
8.3.1979	60,51	B	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	Bp	Bp	Bp	Ap <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>
28.3.1992	55,7	Wcs	C	C	C	C	B	B	Ap <sub>1</sub>	C
18.3.2004	56,1	Sa	Sa	Sa	Wa	A	A	Wc	Wc	Wa

*Zdroj: ČHMÚ, Typizace povětrnostních situací pro Českou republiku*

Příloha 3 Typy povětrnostních situací při letních povodních za období 1960-2004

počet	Typy povětrnostní situace ve dnech									
	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	D	D+1	D+2
1	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Nc	NEc	NEc	Wc	Wc
2	Wa	Wa	Wa	Nc	Nc	NEc	Ec	NEa	Wa	Wcs
3	Wal	Wal	Wal	NEc	NEc	Ec	SWc <sub>2</sub>	Ec	NEc	Wa
4	NWc	Nc	Nc	NEa	NEa	SWc <sub>2</sub>	B	SWc <sub>2</sub>	NEa	Wal
5	Nc	NEa	NEa	Ec	Ec	B	Bp	B	Ec	NWa
6	NEa	Ec	Ec	SEc	SEc	Bp	C	C	Ea	NEc
7	Ec	Ea	SEa	Sa	SWc <sub>2</sub>	C	Cv	Ap <sub>1</sub>	SWc <sub>3</sub>	NEa
8	Ea	SEa	Sa	SWc <sub>1</sub>	B	Cv			SWa	Ec
9	Sa	Sa	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>2</sub>	Bp				B	Ea
10	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>2</sub>	B	Vfz				Vfz	Sa
11	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	B	Bp	C				C	SWc <sub>2</sub>
12	SWc <sub>3</sub>	SWc <sub>3</sub>	Bp	Vfz	Cv					SWc <sub>3</sub>
13	B	B	Vfz	C						SWa
14	Bp	Bp	C	Cv						B
15	Vfz	Vfz	Ap <sub>1</sub>							Vfz
16	C	C								C
17		Ap <sub>1</sub>								
celkem	16	17	15	14	12	8	7	7	11	16

Zdroj: ČHMÚ, Typizace povětrnostních situací pro Českou republiku

Příloha 4 Typy povětrnostních situací při zimních povodních za období 1960-2004

počet	Typy povětrnostní situace ve dnech									
	D-7	D-6	D-5	D-4	D-3	D-2	D-1	D	D+1	D+2
1	Wc	Wcs	Wcs	Wcs	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc	Wc
2	Wa	Wa	Wa	Wa	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs	Wcs
3	Ec	Ec	Ec	Ec	SEc	SEc	SEc	Nc	Nc	Nc
4	SEa	SEa	Sa	Sa	Sa	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>3</sub>	SEc	Ea	Ea
5	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>1</sub>	SWc <sub>2</sub>	Bp	B	SEc	SEc
6	B	B	SWc <sub>3</sub>	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>2</sub>	SWc <sub>3</sub>	C	Bp	B	C
7	Bp	C	B	SWc <sub>3</sub>	SWc <sub>3</sub>	SWa	A	C	Bp	A
8	C	A	C	B	SWa	Wa		A	C	Ap <sub>1</sub>
9	A	Ap <sub>2</sub>	A	C	C	C			A	Ap <sub>2</sub>
10	Ap <sub>2</sub>			A						10
celkem	10	9	9	10	9	9	7	8	9	

Zdroj: ČHMÚ, Typizace povětrnostních situací pro Českou republiku

*Příloha 5 Rozdělení povodňových případů za období 1960-2004  
do kategorií pomocí metody K-means*

cluster 1	cluster 2	cluster 3	cluster 4
13.3.1963	7.7.1997	19.7.1970	25.7.1966
8.6.1987	14.5.1996	2.6.1962	29.7.1968
17.3.1965	3.8.1977	8.3.1979	22.7.1997
1.4.1962	12.6.1965	23.4.1965	22.7.2001
18.3.2004	11.6.1968	28.3.1992	5.8.1991
2.4.1969	2.7.1975	17.5.1972	6.6.1986
26.2.1977	22.8.1972	10.4.1970	27.7.1960
22.2.1969			26.8.1968
			28.6.1960
			8.9.1996
			14.9.1967
			31.5.1968
			22.9.1977
			8.5.1977
			18.9.2001
			23.11.1970