



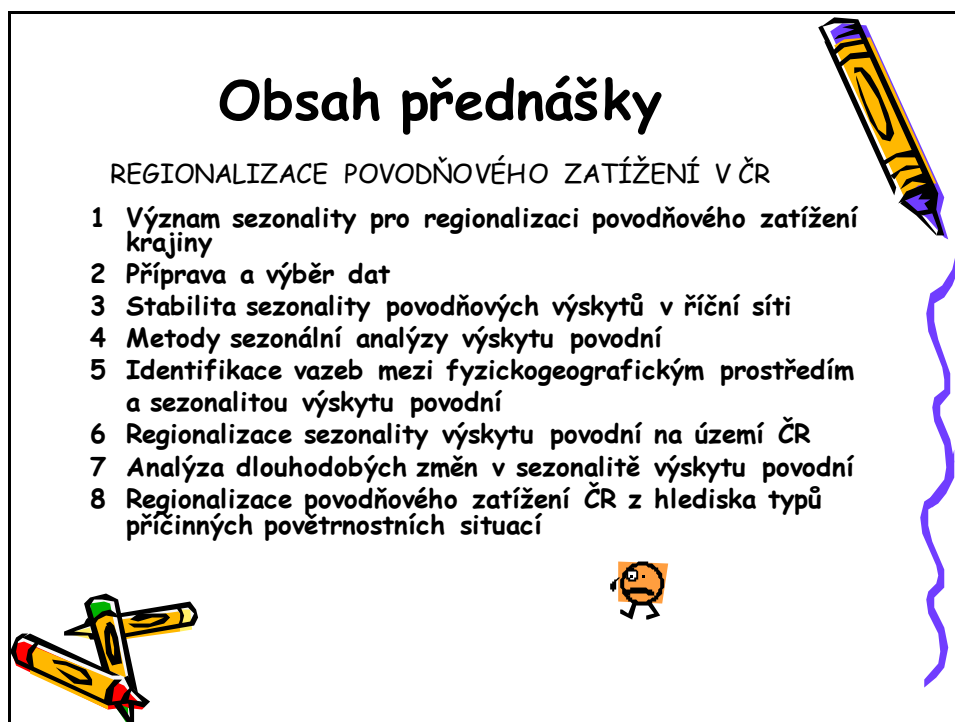
UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra fyzické geografie a geoekologie

**REGIONALIZACE POVODÍ ČESKÉ  
REPUBLIKY NA ZÁKLADĚ  
SEZONÁLNÍ ANALÝZY  
VÝSKYTU POVODNÍ**

RNDr. Radek Čekal, Ph.D.  
Ing. Josef Hladný, CSc.




Povodně v krajině, 4. XI. 2009



## Obsah přednášky

REGIONALIZACE POVODŇOVÉHO ZATÍŽENÍ V ČR

- 1 Význam sezonality pro regionalizaci povodňového zatížení krajiny
- 2 Příprava a výběr dat
- 3 Stabilita sezonality povodňových výskytů v říční síti
- 4 Metody sezónní analýzy výskytu povodní
- 5 Identifikace vazeb mezi fyzickogeografickým prostředím a sezonalitou výskytu povodní
- 6 Regionalizace sezonality výskytu povodní na území ČR
- 7 Analýza dlouhodobých změn v sezonalitě výskytu povodní
- 8 Regionalizace povodňového zatížení ČR z hlediska typů přírodních povětrnostních situací



## Regionalizace, region, nejistota...

- Poznatky o regionalizaci sezonality výskytu nadprůměrných průtoků jsou důležitými podklady pro povodňovou ochranu z hlediska zatížení jednotlivých povodí povodňovým nebezpečím, pro poznávání mechanismu vzniku povodňových situací, k odvozování návrhových hydrologických veličin a vůbec k prohlubování znalostí o povodňovém režimu krajiny.
- Region se v těchto souvislostech chápe jako seskupení menších povodí, která mohou být považována za podobná z hlediska zvolených charakteristik odtokové odezvy. Jeho vymezení tak vychází jednak z požadavku přibližně stejné hodnoty charakteristik v rámci jednoho regionu a jednak z požadavku vzájemných odlišností různých regionů.
- Každé povodí je však svým fyzicko-geografickým prostředím unikátní.



**PROTO JE KAŽDÁ REGIONALIZACE VŽDY  
SPOJENA S URČITOU DÁVKOU NEJISTOT!!!**



*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*

## VÝZNAM SEZONALITY PRO REGIONALIZACI POVODŇOVÉHO ZATÍŽENÍ KRAJINY

Analýza sezonality výskytu povodní představuje jeden z ambiciózních metodických přístupů ke zvýšení poznatků o režimu těchto přírodních disturbancí. Její podstatou je rozbor fyzikálních jevů vedoucích ke vzniku povodní v závislosti na určitém období roku. Konkrétně mohou takto získané poznatky přispět k řešení následujících problémů.

### Regionalizace zatížení krajiny povodňovým nebezpečím

Jednotlivé vodní toky a jejich povodí jsou charakteristické mimo jiné také tím, že se vyznačují zvýšenou nebo sníženou pravděpodobností výskytu povodní. Z hlediska potřeb povodňové ochrany ... Užitečnou informací při různých rozhodováních mohou být však i znalosti opačného charakteru, tj. identifikace roční sezóny s relativně nejmenším povodňovým rizikem.

### Rekognoskace meteorologických příčin povodní

Vyskytuje-li se více povodní vždy v určité kratší části roku, dají se analyzovat zpětně, na základě známých cirkulačních atmosférických podmínek, jejich nebezpečné typy, což může přispívat k prostorovému zvyšování efektivnosti prognostických operací v lokálních podmínkách povodí.



*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*

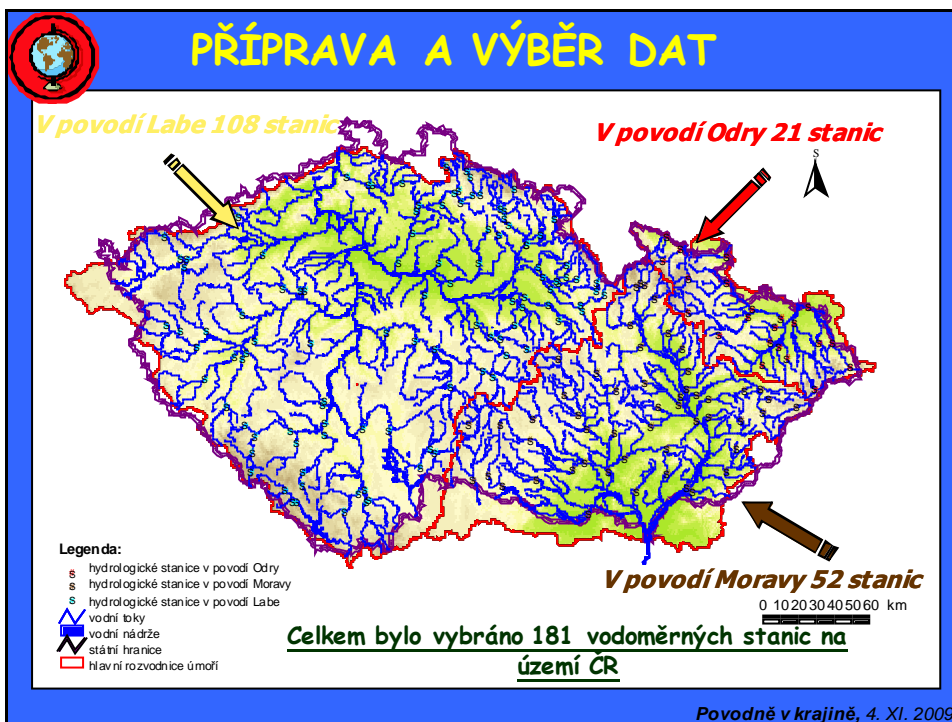
Význam sezonality pro regionalizaci povodňového zatížení krajiny

**Zpřesňování vstupů při frekvenční analýze povodní**  
 Objasnění sezonního režimu výskytu povodní by mohlo být užitečným podkladem i při odvozování návrhových hydrologických veličin v nepozorovaných profilech vodních toků a to promítnutím vlivu sezonní složky do výpočtu.

**Potenciální možnosti využití výrazné sezonality povodní**  
 Na výskytu povodňových jevů se podílejí dvě skupiny vlivů, jednak příčinné faktory nahodilého charakteru, které představují tedy nahodilou složku a jednak faktory, které se vyznačují poměrně menším časovým rozptylem a vytvářejí v podstatě jakousi sezonní složku povodní. Blíží-li se poměr sezonní složky na úkor složky nahodilé ke 100 % jde již o mimořádně sevřený rozptyl ve výskytu povodní. Základním předpokladem k tomu je však objektivní a spolehlivě určení sezonní složky povodní.

**Sensitivita jednotlivých povodí na sezonní výskyt povodí**  
 Tytéž meteorologické pochody mohou vyvolávat v různých povodích rozdílné následky anebo stejná meteorologické situace s jinou dobou výskytu může i ve stejném povodí vést k rozdílnému povodňovému vývoji [Chalušová, 2004; Müller, 2007; Vlasák, 2008]. U každého povodí je důležité proto zjistit zda a nakolik jsou povodňově citlivá na určitý druh příčinných meteorologických situací, jakož i na jejich sezonní výskyt.

*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*



Příprava a výběr dat

**Pro všechna povodí odpovídající vybraným vodoměrným profilům byla vytvořena databáze následujících Charakteristik za období 1975-2000:**

**FYZICKO-GEOFRAFICKÉ**

- plocha povodí [PL v km<sup>2</sup>],
- průměrný sklon svahů [SK v %],
- průměrná nadmořská výška [NV v m n. m.],
- relativní podíl plochy pokryté lesem [LE v %], loukami [LO v %], ornou půdou [OR v %] a městskou zástavbou [ME v %] na celkové ploše povodí,
- délka údolnice [L v km],
- index tvaru povodí [a],
- orientace svahů [ORI ve stupních azimutu] a
- půdní druh [PU s číslem kategorie propustnosti].

**KLIMATOLOGIKÉ**

- průměrný roční úhrn srážek [SR v mm],
- průměrná roční teplota [TER ve °C],
- průměrná teplota měsíce březen [TEB ve °C],
- průměrná výška sněhové pokrývky 1. března [SN1 v cm] a
- průměrná výška sněhové pokrývky 15. března [SN15 v cm].

*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*

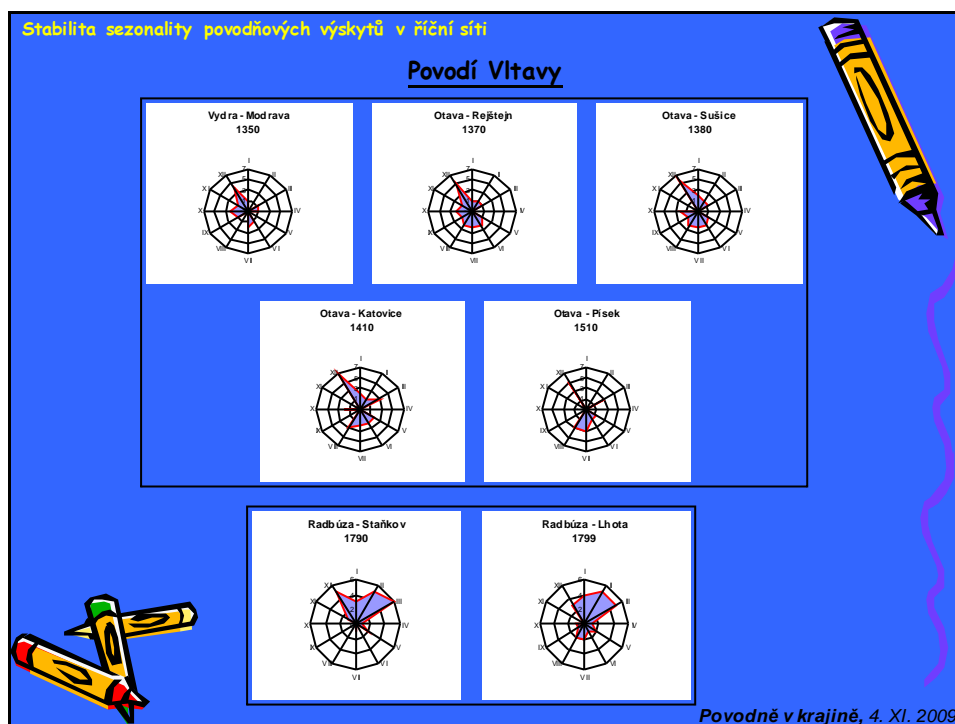
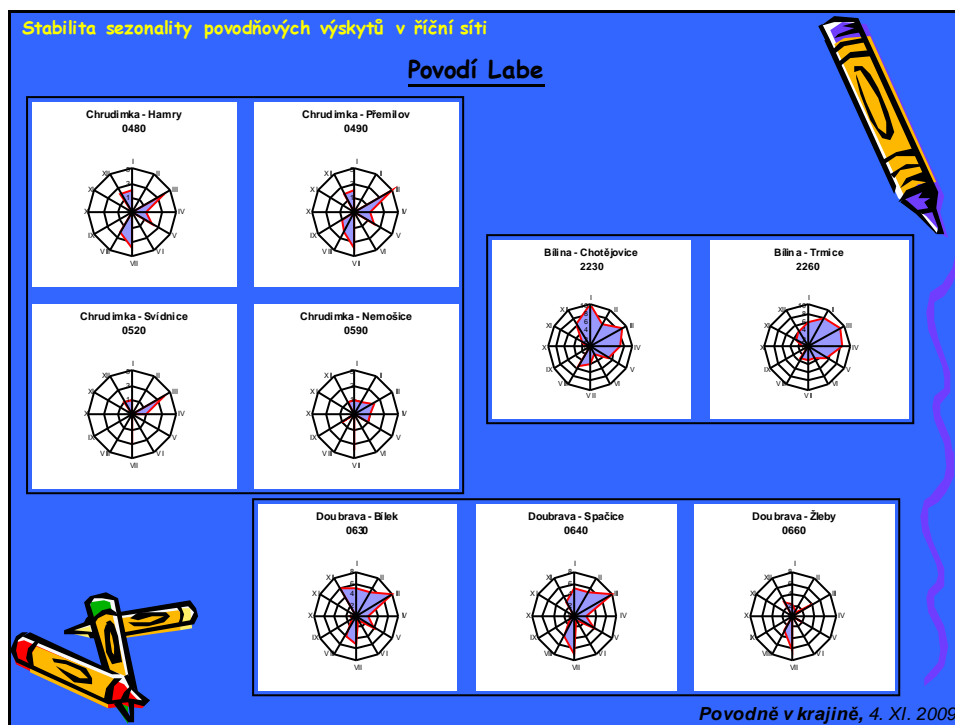
**STABILITA SEZONALITY POVODŇOVÝCH VÝSKYTŮ V ŘÍČNÍ SÍTI**

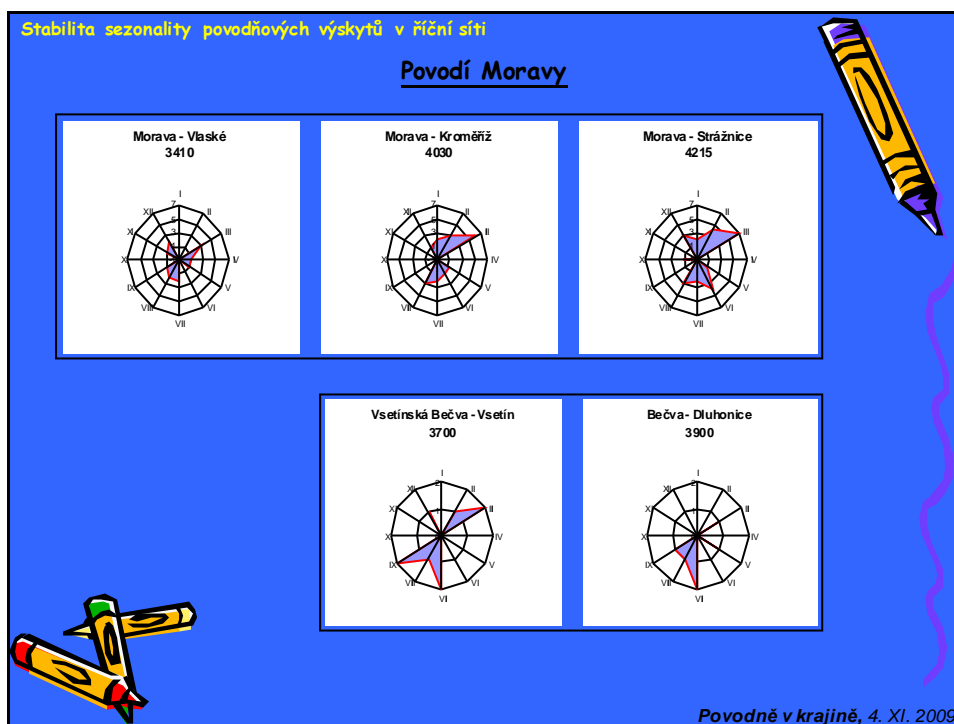
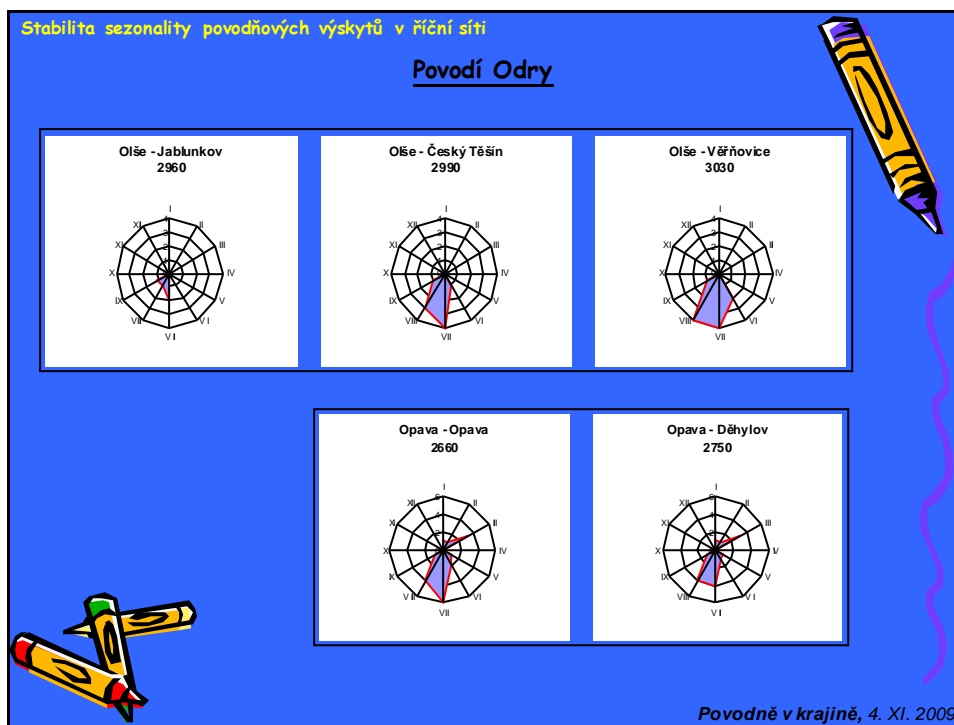
Výběr vhodných vodoměrných stanic na podkladě zvolených kritérií vedl k situaci, že na řadě významných vodních toků nemohla být vzata do úvahy žádná stanice, nebo získané údaje nebyly shledány jako vhodné pro sezónní povodňovou analýzu či muselo být uvažováno pouze s ojedinělými stanicemi a to ponejvíce v úsecích horních toků. Zatímco platnost zjištěné sezonality pro sousední povodí mohla být prověřena na podkladě regionální analýzy, bylo třeba vedle toho ověřit reprezentativnost údajů o sezonalitě zjišťované v horních částech povodí i pro střední a dolní tratě toků.

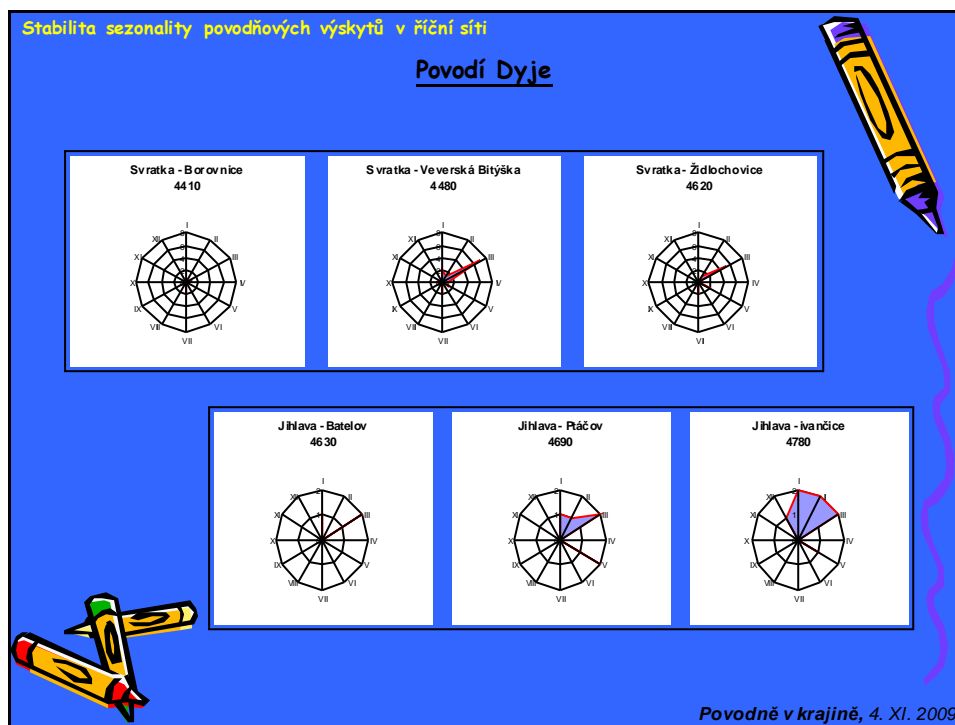
Test stability byl realizován vizuálně pomocí sezónních růžic v těch povodích, kde shodou okolností výběr dovolil využití údajů o povodních z několika stanic na téže toku.



*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*







Stabilita sezonality povodňových výskytů v říční síti

### Výsledky komparativní analýzy prokazují, že:


- konformita sezonality rozvodnění zjištěná v horních úsecích toků se až na malé výjimky zachovává po celé délce toku, pokud není narušena umělým zásahem,
- frekvence rozvodnění se v sezónním dominantním vychýlení rovněž zachovává, v podružných výskytech se však jejich frekvence může lišit poněkud o 1 až 2 případy, jen velmi zřídka o více,
- rozdíly ve frekvenci mohou být způsobeny vlivem mimořádného rozvodnění na přítocích nebo nepřesností v určení 1letých průtoků či nedokonalou evidencí případů rozvodnění vyskytujících se v přechodových obdobích jednotlivých měsíců.

Povodně v krajině, 4. XI. 2009






Identifikace vazeb mezi fyzickogeografickým prostředím a sezonalitou výskytu povodní



### Výsledky korelační analýzy

- Z korelační matice vyplývá, že žádný z uvažovaných fyzickogeografických parametrů nevykazuje jednoznačně výrazný vliv na **MD**. Pouze se potvrzuje známý poznatek, že na větší části našeho území převažuje zimní režim povodní, což se v matici projevuje tím, že v celostátní hodnotě **MD** se odráží relativně významnější nepřímouměrný vliv výskytů povodní v lednu až březnu. Čím menší číslo **MD** tím se vyskytuje více zimních povodní. Kromě toho lze ze znamének dalšího průběhu jinak slabé tendence pouze odhadovat, že pak až do května se vliv zimního povodňového režimu na hodnotu **MD** postupně zmenšuje, zatímco u letního režimu od června až do září se jeho vliv mění na přímoúměrný. V listopadu a prosinci vliv zimních povodní opět postupně zesiluje.
- Částečný vliv na hodnotu **MD** mohou vykazovat oblasti s většími srážkami **SR**, nadmořskou výškou **NV**, sklonitostí **SK**, zalesněním **LE** a s převahou svahů se severovýchodní orientací, nepřímouměrně pak oblastí s menším podílem orné půdy **OR**.



Povodně v krajině, 4. XI. 2009



## METODY SEZONÁLNÍ ANALÝZY VÝSKYTU POVODNÍ:

1. METODA SMĚROVÝCH STATISTIK
2. METODA ČAR KUMULATIVNÍCH ČETNOSTÍ VÝSKYTU POVODNÍ
3. METODA POVODŇOVÉHO INDEXU

- Zvolené metody byly aplikovány na souborech vybraných povodí s pokud možno neovlivněným režimem odtoku.
- Všechny pracují s průtoky separovanými metodou POT (*Peaks Over Threshold*) tzn. s kalkulací nadprůměrných průtoků nad jejich zvolenou prahovou hodnotou.



Povodně v krajině, 4. XI. 2009

Metody sezónní analýzy výskytu povodní

### 1. Metoda směrových statistik

Každé datum výskytu kulminace může být interpretováno jako směrový vektor daný úhlem  $\phi$  a velikostí  $m$  (pro kterou je v jednotkové kružnici  $m = 1$ ). Jestliže existuje soubor  $n$  povodní, pak lze určit souřadnice  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$  a průměrného data výskytu povodní MD (*Mean Day*) v daném profilu jako:

Jako doplněk k MD je možno určit míru rozptylu  $\bar{r}$  výskytů povodňových případů.

Hodnoty blízké 0 ukazují na velký rozptyl výskytu povodňových případů během roku a hodnoty blízké k 1 vyjadřují vysokou míru sezonality.

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

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

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

Povodně v krajině, 4. XI. 2009

Metody sezónní analýzy výskytu povodní

### 2. Metoda čar kumulativních četností výskytu povodní

Metoda je založena na znázornění součtové čary výskytů nadprůměrných průtoků  $L(t)$ , které v čase  $t$  překročily zvolenou prahovou hodnotu  $Q_B$  v daném referenčním období. Proměnná  $t$  probíhá v časovém intervalu  $(0, T)$ , který odpovídá řadě dnů v roce.

- Průběh roku je rozdělen třemi různými typy období vzájemně odlišnými svou vodností, tj. obdobími zvýšené pravděpodobnosti výskytu nadprůměrných průtoků, tzv. **povodňovým neklidem (I)**, obdobími **povodňového klidu (II)** a obdobími **přechodovým (III)**.
- V rámci vymezených období mají čary kumulativních četností výskytu nadprůměrných průtoků s různou pravděpodobností překročení  $Q_B$  přibližně lineární průběh.

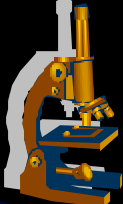
Profil: Josefův Důl  
Tok: Kamenice  
Období 1975-2000

Povodně v krajině, 4. XI. 2009

Metody sezónní analýzy výskytu povodní

### 3. Metoda povodňového indexu

K identifikaci oblastí, které jsou sezónně zatěžovány relativně častějšími a extrémnějšími povodněmi byla z dat o proběhlých povodních na základě maximálních průtoků v měsíci odvozena charakteristika povodňového INDEXU.



$Q_{max,m,i}$ ... maximální kulminační průtok z řady průtokových kulminací v daném měsíci  $m$  v uvažovaném referenčním období, pro které platí, že  $Q_{max,m} \geq Q_{1letý}$

$$INDEX_m = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Q_{max,m,i}}{Q_{max}} \cdot f_{m,i}$$

$Q_{max}$  ... aritmetický průměr všech kulminačních průtoků, které se vyskytly v uvažovaném referenčním období a pro které platí, že  $Q_{max} \geq Q_{1letý}$ .

$f_{m,i}$ ... četnost výskytu všech povodňových kulminací, které se vyskytly v referenčním období v měsíci  $m$  a pro něž platí, že  $Q_{max} \geq Q_{1letý}$

Povodně v krajině, 4. XI. 2009

## REGIONALIZACE SEZONALITY VÝSKYTU POVODNÍ NA ÚZEMÍ ČR

### 1. METODA SMĚROVÝCH STATISTIK

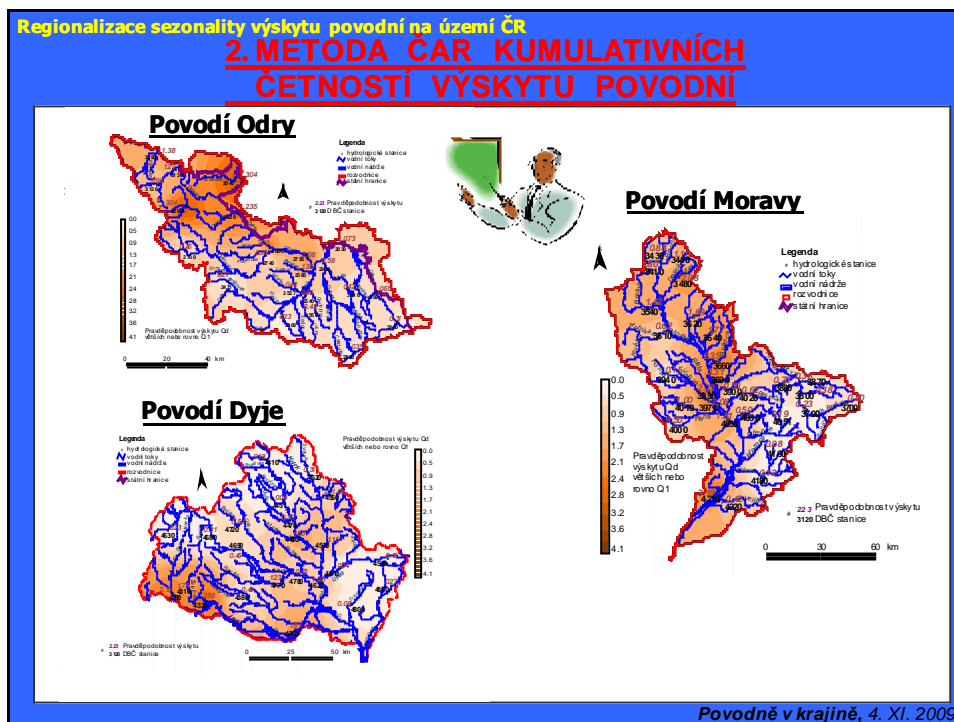
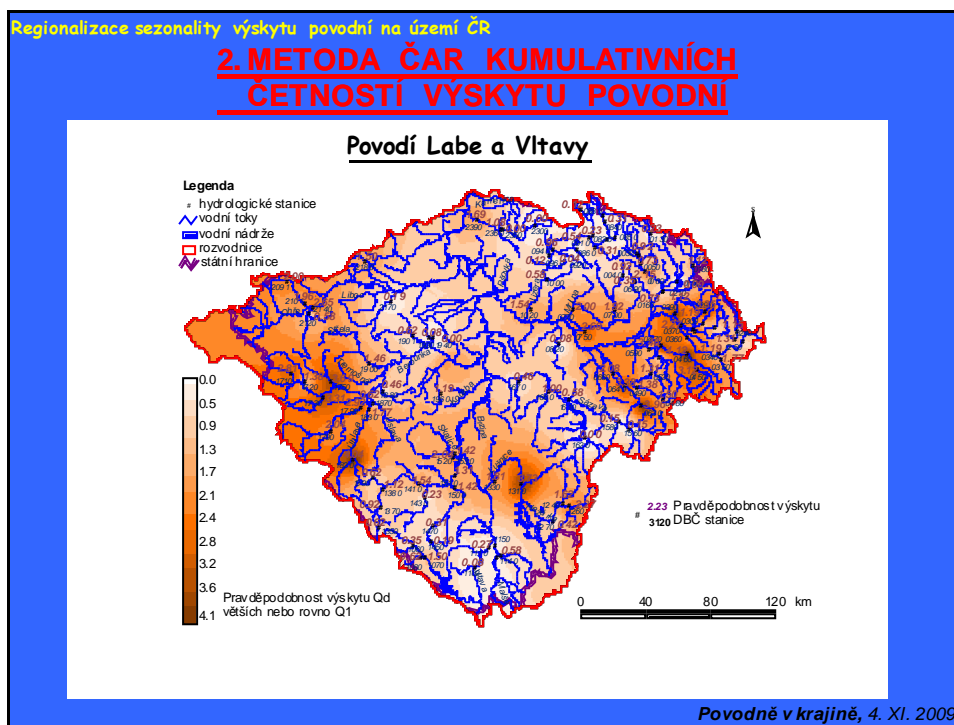
Legenda:

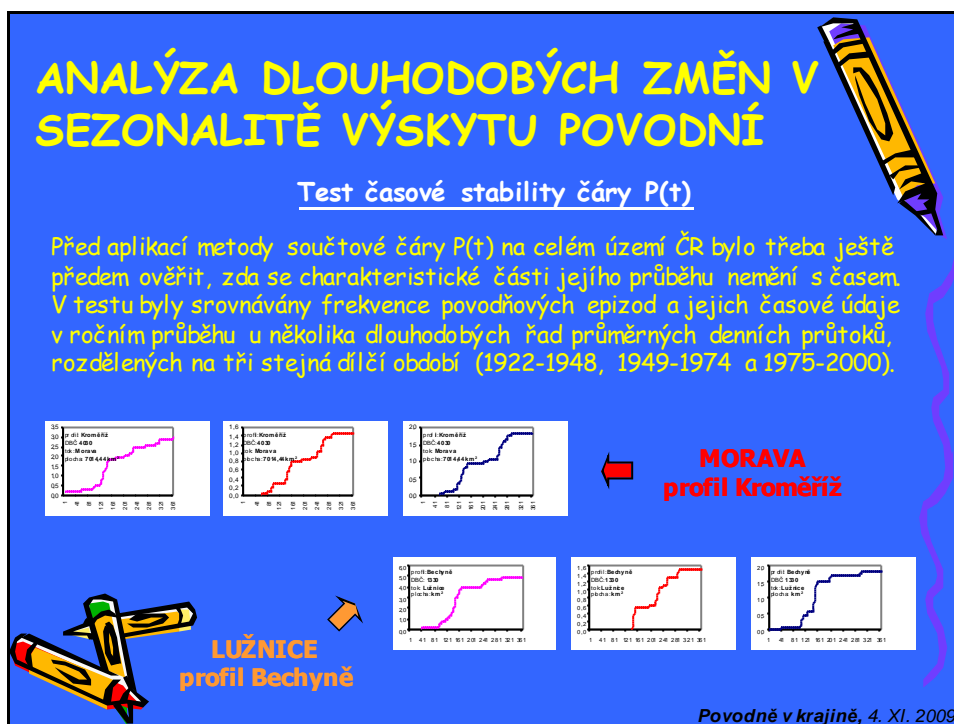
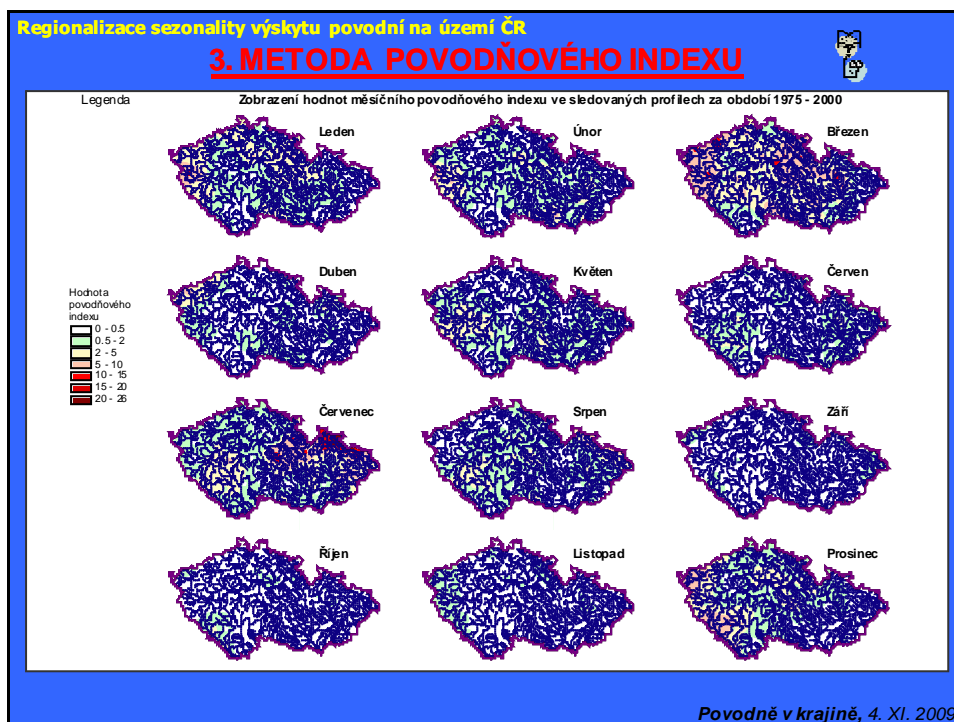
- Směrový vektor MD
- Jaro (46. - 135. den v roce)
- Léto (136. - 225.)
- Podzám (226. - 314.)
- Zíma (1. - 45. a 315. - 366.)

$f_{min} = 0,47$   
 $f_{max} = 1$

0 - 0,2    0,2 - 0,4    0,4 - 0,6    0,6 - 0,8    0,8 - 1

Povodně v krajině, 4. XI. 2009





Analyza dlouhodobých změn v sezonalitě výskytu povodní

**CHRUĐIMKA profil Hamry**

**Výsledky testu časové stability čáry P(t)**

Ze zobrazení lze vyčíst, že počet povodní se mění, pokud jde o dobu jejich výskytu zůstávají však konformně zachována charakteristická období se zvýšenou pravděpodobností rozvodnění a období povodňového klidu. Zachovává se zhruba i prostorová relativita měnících se pravděpodobností výskytu rozvodnění v jednotlivých dílčích obdobích. To znamená, že pokud je frekvenční pravděpodobnost v určitém profilu v jednom období oproti hodnotám v jiných obdobích významná, zůstává významná i v jiných obdobích.

*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*

Analyza dlouhodobých změn v sezonalitě výskytu povodní

**Metoda polárních grafů a výpočet MD a r**

- stejně jako u zkoumání časové stability čáry P(t) byly i u této metody využity stanice s delší dobou pozorování,
- bylo vybráno celkem 26 stanic a to konkrétně pro srovnávací období: 1923-1948, 1949-1974 a 1975-2000,

**Odra v Bohumíně**

**Labe v Děčíně**

*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*

**Analýza dlouhodobých změn v sezonalitě výskytu povodní**

### Výsledky komparativní analýzy

- Počet povodní v měsících roku u jednotlivých dílčích období kolísá, sezonalita jejich výskytu však zůstává převážně stejná. Dominantní vychýlení v četnosti povodňového výskytu (u zimních a jarních povodní převážně v měsíci březnu, u letních převážně v červenci a v srpnu), soudě podle průběhu studovaných referenčních období se v průměru zachovává.
- Zimní režim výskytu povodní je více konformní než režim letní. To znamená, že povodně letní se vyznačují oproti zimním a jarním povodním větší rozkolísaností a v posledním období menší frekvencí výskytu.
- Změny v MD při porovnání jejich průměrných hodnot z povodí s hodnotami v závěrových profilech (anebo mezi sebou) nevykazují na základě aplikovaných metodických přístupů vždy jednoznačné trendy.

**Souhrnně nelze zatím prohlásit, že všechny tyto nejednotné variability frekvence povodňových výskytů jsou důsledkem změny klimatu, pohybují stále ještě v intervalu možné rozkolísanosti porovnávaných veličin.**

*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*

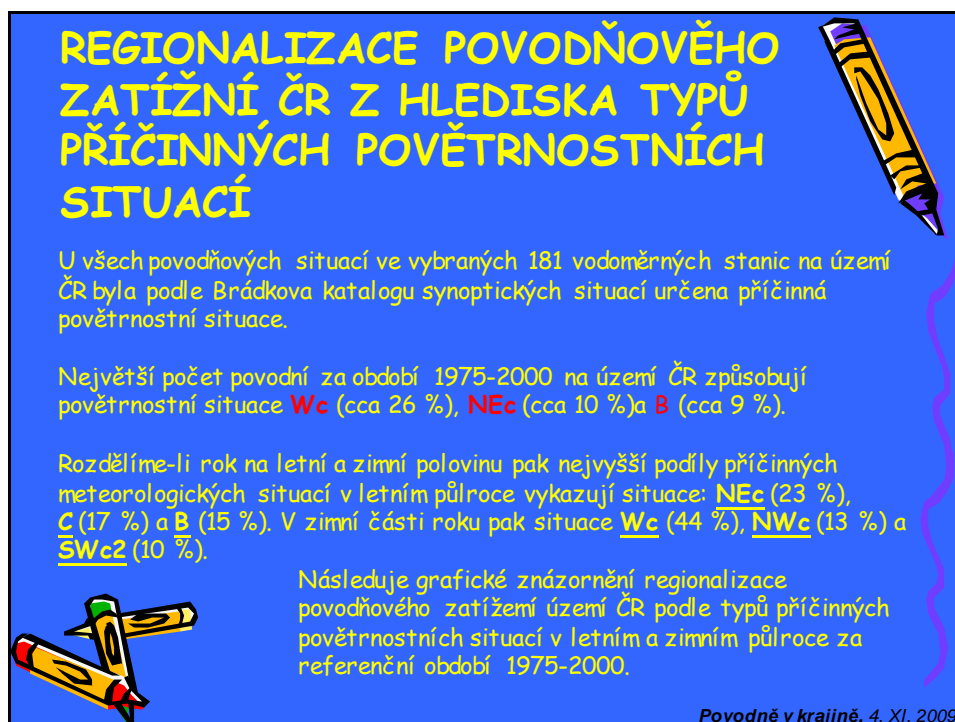
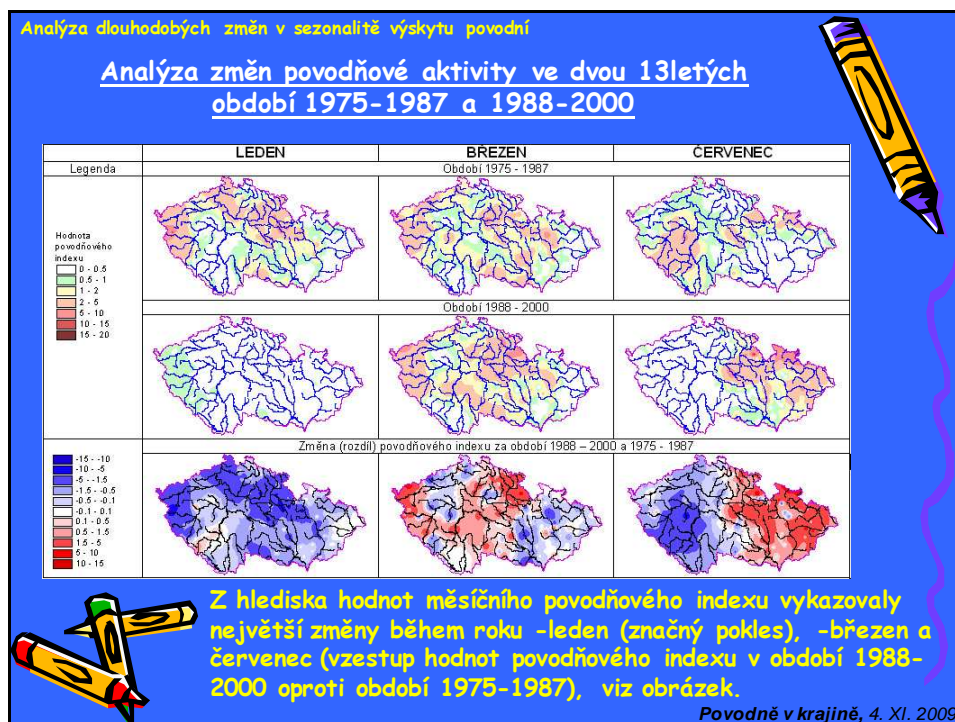
**Analýza dlouhodobých změn v sezonalitě výskytu povodní**

### Analýza změn povodňové aktivity ve dvou 13letých období 1975-1987 a 1988-2000

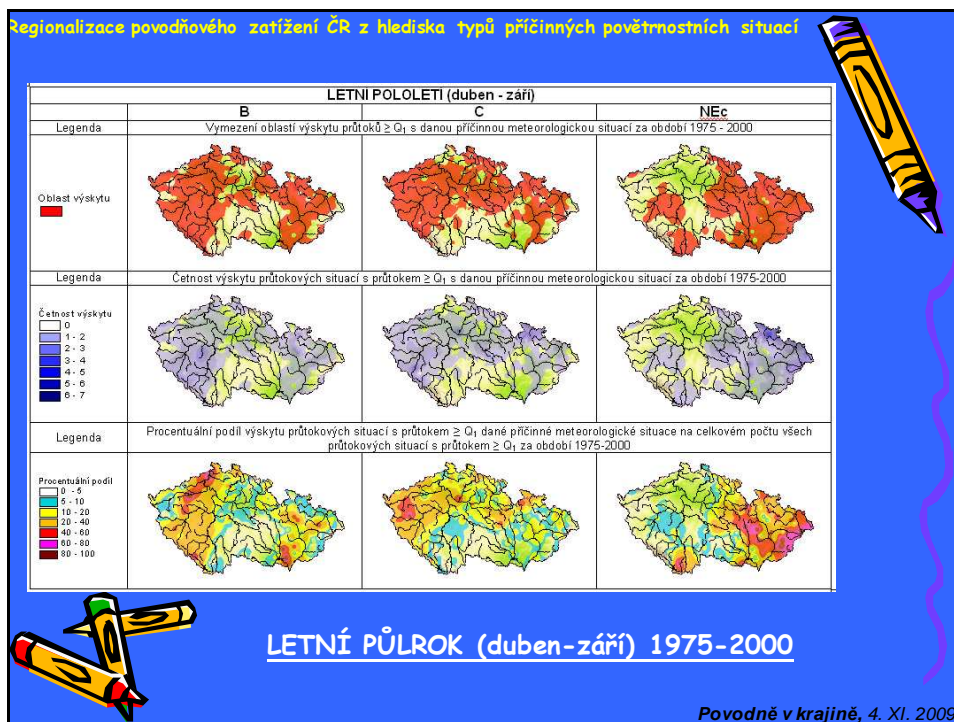
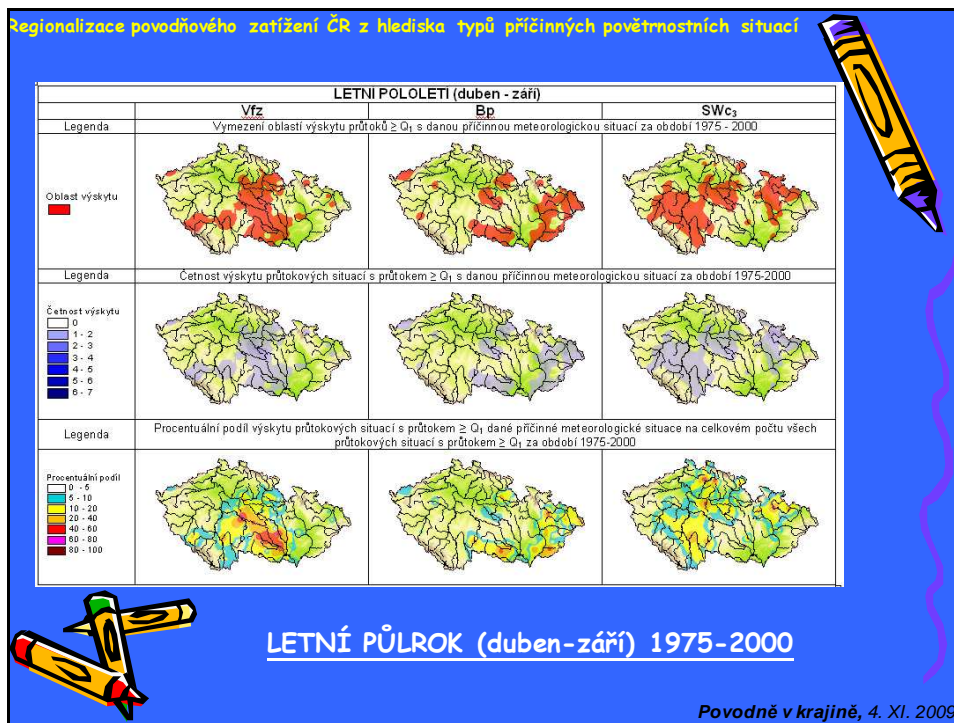
Legenda	LEDEN	Období 1975 - 1987	BREZEN	Období 1988 - 2000																								
Počet výskytu průtokových vln s kutimárním průtokem nad $Q_1$		<table border="1"> <tr><th>Povodí</th><th>Výskyt</th></tr> <tr><td>Labe</td><td>189</td></tr> <tr><td>Odra</td><td>9</td></tr> <tr><td>Morava</td><td>24</td></tr> <tr><td>Dyje</td><td>24</td></tr> <tr><td>Celkem</td><td>245</td></tr> </table>	Povodí	Výskyt	Labe	189	Odra	9	Morava	24	Dyje	24	Celkem	245		<table border="1"> <tr><th>Povodí</th><th>Výskyt</th></tr> <tr><td>Labe</td><td>142</td></tr> <tr><td>Odra</td><td>10</td></tr> <tr><td>Morava</td><td>36</td></tr> <tr><td>Dyje</td><td>37</td></tr> <tr><td>Celkem</td><td>225</td></tr> </table>	Povodí	Výskyt	Labe	142	Odra	10	Morava	36	Dyje	37	Celkem	225
	Povodí	Výskyt																										
Labe	189																											
Odra	9																											
Morava	24																											
Dyje	24																											
Celkem	245																											
Povodí	Výskyt																											
Labe	142																											
Odra	10																											
Morava	36																											
Dyje	37																											
Celkem	225																											
Rozdíl ve výskytu četnosti		<table border="1"> <tr><th>Povodí</th><th>Výskyt</th></tr> <tr><td>Labe</td><td>26</td></tr> <tr><td>Odra</td><td>0</td></tr> <tr><td>Morava</td><td>1</td></tr> <tr><td>Dyje</td><td>2</td></tr> <tr><td>Celkem</td><td>29</td></tr> </table>	Povodí	Výskyt	Labe	26	Odra	0	Morava	1	Dyje	2	Celkem	29		<table border="1"> <tr><th>Povodí</th><th>Výskyt</th></tr> <tr><td>Labe</td><td>219</td></tr> <tr><td>Odra</td><td>7</td></tr> <tr><td>Morava</td><td>38</td></tr> <tr><td>Dyje</td><td>32</td></tr> <tr><td>Celkem</td><td>296</td></tr> </table>	Povodí	Výskyt	Labe	219	Odra	7	Morava	38	Dyje	32	Celkem	296
	Povodí	Výskyt																										
Labe	26																											
Odra	0																											
Morava	1																											
Dyje	2																											
Celkem	29																											
Povodí	Výskyt																											
Labe	219																											
Odra	7																											
Morava	38																											
Dyje	32																											
Celkem	296																											
	Změna (rozdíl) četnosti výskytu průtoků nad $Q_1$ za období 1988 - 2000 a 1975 - 1987																											
		<table border="1"> <tr><th>Povodí</th><th>Rozdíl</th></tr> <tr><td>Labe</td><td>+153</td></tr> <tr><td>Odra</td><td>-8</td></tr> <tr><td>Morava</td><td>-23</td></tr> <tr><td>Dyje</td><td>-22</td></tr> <tr><td>Celkem</td><td>+116</td></tr> </table>	Povodí	Rozdíl	Labe	+153	Odra	-8	Morava	-23	Dyje	-22	Celkem	+116		<table border="1"> <tr><th>Povodí</th><th>Rozdíl</th></tr> <tr><td>Labe</td><td>77</td></tr> <tr><td>Odra</td><td>-3</td></tr> <tr><td>Morava</td><td>2</td></tr> <tr><td>Dyje</td><td>-5</td></tr> <tr><td>Celkem</td><td>71</td></tr> </table>	Povodí	Rozdíl	Labe	77	Odra	-3	Morava	2	Dyje	-5	Celkem	71
Povodí	Rozdíl																											
Labe	+153																											
Odra	-8																											
Morava	-23																											
Dyje	-22																											
Celkem	+116																											
Povodí	Rozdíl																											
Labe	77																											
Odra	-3																											
Morava	2																											
Dyje	-5																											
Celkem	71																											

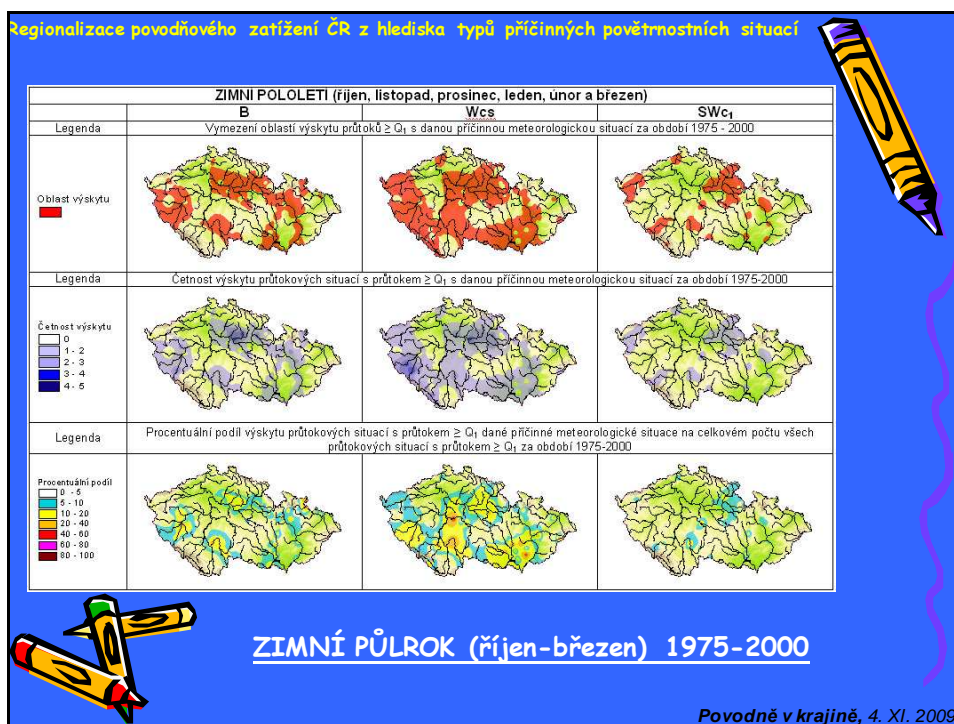
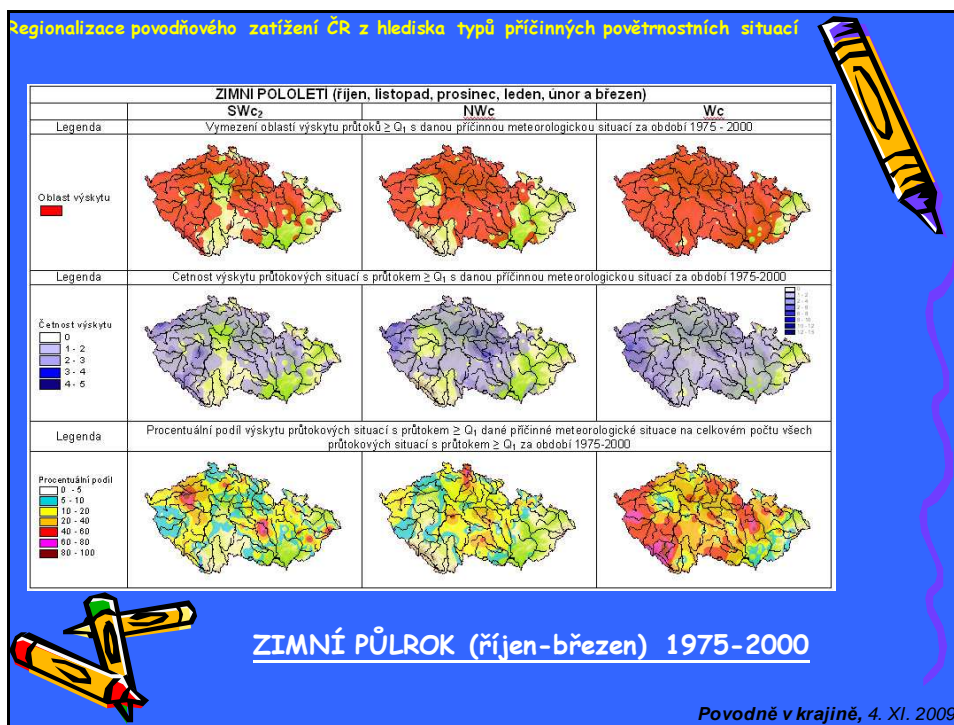
**Z hlediska četnosti výskytu průtoků nad  $Q_1$  byl největší úbytek v lednu (zejména pak v povodí Labe), naopak celkový nárůst počtu výskytů těchto událostí vykazoval měsíc březen (zejména díky povodí Labe), viz obrázek.**

*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*











## DĚKUJEME ZA POZORNOST !!!



RNDr. Radek Čekal, Ph.D.  
cekal@chmi.cz



Ing. Josef Hladný, CSc.  
hladny@chmi.cz



## DRUHOVÁ SKLADBA A FREKVENCE PŘÍČINNÝCH METEOROLOGICKÝCH SITUACÍ



**Vymezené oblasti**

- S Povodí toků v Krkonoších a Jizerských horách
- S Povodí toků v podkřívoňské oblasti
- S Povodí toků v Otavských horách
- S Povodí toků v oblasti středního Labe
- S Povodí toků v oblasti Šumavy

S Povodí Lužnice  
S Povodí toků Sázavy  
S Povodí toků Berounky  
S Povodí Svratky  
S Povodí Dyje  
S Povodí Opavy  
S Povodí Olše  
S Povodí Moravy  
S Povodí Bečvy  
S Povodí toků v oblasti Tepelské vrchoviny  
S Povodí toků v Krušných horách

0 20 40 60 80 100 km

*Povodně v krajině, 4. XI. 2009*



