



**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

*Katedra fyzické geografie a geoekologie*

**KARLSUNIVERSITÄT PRAG**

**Naturwissenschaftliche Fakultät**

*Lehrstuhl Physische Geografie und  
Geoökologie*

# **REGIONALIZACE POVODÍ ČESKÉ REPUBLIKY NA ZÁKLADĚ SEZONÁLNÍ ANALÝZY VÝSKUTY POVODNÍ**

**Regionalisierung der Einzugsgebiete  
der Tschechischen Republik auf der Grundlage einer  
Analyse der Saisonalität des Auftretens von Hochwasser**

**RNDr. Radek Čekal, Ph.D.**

# Regionalizace, region, nejistota...

## Regionalisierung, Region, Unsicherheit...

- 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.
- Erkenntnisse über die Regionalisierung der Saisonalität des Auftretens von überdurchschnittlichen Abflüssen sind wichtige Grundlagen für den Hochwasserschutz unter dem Gesichtspunkt der Belastung der einzelnen Einzugsgebiete durch Hochwassergefahren, für das Aufdecken des Mechanismus der Entstehung von Hochwassersituationen, zur Ableitung von hydrologischen Bemessungsgrößen und überhaupt zur Vertiefung der Kenntnisse über das Hochwasserregime der Landschaft.

- 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.
- Unter einer Region wird in diesem Zusammenhang eine Gruppierung kleinerer Einzugsgebiete verstanden, die im Hinblick auf gewählte Kenngrößen der Abflussreaktion als ähnlich angesehen werden können. Ihre Ausweisung basiert somit zum einen auf der Forderung nach einem annähernd gleichen Wert der Kenngrößen im Rahmen einer Region und zum anderen auf der Forderung nach Unterschieden zwischen den verschiedenen Regionen.
- Každé povodí je však svým fyzicko-geografickým prostředím unikátní.
- Jedes Einzugsgebiet ist jedoch durch seine physisch-geographischen Gegebenheiten einmalig.



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

**Daher ist jede Regionalisierung immer mit einer  
gewissen Dosis an Unsicherheiten verbunden!!!**

# VÝZNAM SEZONALITY PRO REGIONALIZACI POVODŇOVÉHO ZATÍŽENÍ KRAJINY

## Bedeutung der Saisonalität für die Regionalisierung der Hochwasserbelastung für die Landschaft

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:

Die Analyse der Saisonalität des Auftretens von Hochwasser ist einer der ehrgeizigsten methodischen Ansätze zur Verbesserung der Kenntnisse über das Regime dieser natürlichen Disturbanzen. Ihr Wesen besteht in der Analyse der physikalischen Erscheinungen, die zur Entstehung von Hochwasser in Abhängigkeit von einer bestimmten Jahreszeit führen. Die so gewonnenen Erkenntnisse können konkret zur Lösung folgender Probleme beitragen:



## **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.

## **Regionalisierung der Belastung der Landschaft durch Hochwassergefahren**

Einzelne Fließgewässer und ihre Einzugsgebiete sind u. a. auch dadurch charakterisiert, dass sie sich durch eine erhöhte oder verringerte Eintrittswahrscheinlichkeit von Hochwassern auszeichnen. Unter dem Gesichtspunkt der Bedürfnisse des Hochwasserschutzes... . Eine nützliche Information bei verschiedenen Entscheidungen können jedoch auch Kenntnisse mit entgegengesetztem Charakter sein, d. h. die Ermittlung der Jahressaison mit dem relativ geringsten Hochwasserrisiko.

## **Erkennung der meteorologischen Ursachen von Hochwassern**

Wenn mehrere Hochwasser immer in einem bestimmten kürzeren Teil des Jahres auftreten, lassen sie sich rückwirkend analysieren, auf der Grundlage der bekannten Zirkulationsbedingungen in der Atmosphäre, ihrer Gefahrentypen, was zu einer räumlichen Erhöhung der Effizienz der prognostischen Operationen unter den lokalen Bedingungen des Einzugsgebiets führen kann.

### **Zpřesňování vstupů při frekvenční analýze povodní**

Objasnění sezónního režimu výskytu povodní by mohlo být užitečným podkladem i při odvozování návrhových hydrologických veličin v nepozorovaných profilech vodních toků a to promítnutím vlivu sezónní složky do výpočtu.

### **Präzisierung der Eingangsdaten bei einer Häufigkeitsanalyse von Hochwassern**

Die Klärung des saisonalen Regimes des Auftretens von Hochwasser könnte eine nützliche Grundlage auch bei der Ableitung von hydrologischen Bemessungsgrößen an nicht beobachteten Fließgewässerprofilen sein, und zwar durch die Einbeziehung des Einflusses der saisonalen Komponente in die Berechnung.

#### **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 sezónní složku povodní. Blíží-li se poměr sezónní složky na úkor složky nahodilé ke 100 %, jde již o mimořádně sevřený rozptyl ve výskytu povodní. Základním předpokladem k tomu je však objektivní a spolehlivé určení sezónní složky povodní.

#### **Potenzielle Möglichkeiten für die Nutzung einer deutlichen Saisonalität von Hochwassern**

Am Auftreten von Hochwassererscheinungen sind zwei Gruppen von Einflüssen beteiligt, zum einen die auslösenden Faktoren mit zufälligem Charakter, die also eine zufällige Komponente sind, und zum anderen Faktoren, die sich durch eine relativ geringe zeitliche Streuung auszeichnen und im Wesentlichen eine Art saisonale Komponente der Hochwasser bilden. Wenn sich das Verhältnis der saisonalen Komponente zu Lasten der zufälligen Komponente 100 % nähert, handelt es sich bereits um eine außergewöhnlich geschlossene Streuung beim Auftreten von Hochwassern. Grundlegende Voraussetzung dafür ist jedoch die objektive und zuverlässige Bestimmung der saisonalen Komponente von Hochwassern.



### **Sensitivita jednotlivých povodí na sezónální výskyt povodní**

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 je povodňově citlivé na určitý druh příčinných meteorologických situací, jakož i na jejich sezónní výskyt.

### **Sensitivität der einzelnen Einzugsgebiete im Hinblick auf das saisonale Auftreten von Hochwasser**

Dieselben meteorologischen Vorgänge können in verschiedenen Einzugsgebieten unterschiedliche Folgen auslösen oder die gleiche meteorologische Situation mit einer anderen Zeit des Auftretens kann auch im gleichen Einzugsgebiet zur unterschiedlichen Hochwasserentwicklung führen [Chalušová, 2004; Müller, 2007; Vlasák, 2008]. Bei jedem Einzugsgebiet ist es daher wichtig zu ermitteln, ob und inwieweit es im Hinblick auf Hochwasser für eine bestimmte Art von auslösenden Wetterlagen sowie auch ihr saisonales Auftreten empfindlich ist.





# PŘÍPRAVA A VÝBĚR DAT

## Vorbereitung und Auswahl der Daten

**V povodí Labe 108 stanic**

**108 Pegel im Elbe-Einzugsgebiet**








**V povodí Odry 21 stanic**

**21 Pegel im Oder-Einzugsgebiet**

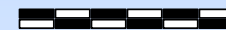
**V povodí Moravy 52 stanic**

**52 Pegel im March-Einzugsgebiet**

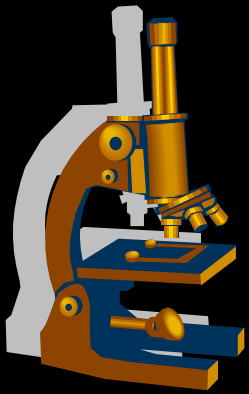
### Legenda:

-  hydrologické stanice v povodí Odry
-  hydrologické stanice v povodí Moravy
-  hydrologické stanice v povodí Labe
-  vodní toky
-  vodní nádrže
-  státní hranice
-  hlavní rozvodnice úmoří

0 10 20 30 40 50 60 km



**Celkem bylo vybráno 181 vodoměrných stanic na území ČR**  
**Insgesamt auf tschechischem Gebiet 181 Pegel ausgewählt**



# METODY SEZONÁLNÍ ANALÝZY VÝSKYTU POVODNÍ:

Methoden der saisonalen Analyse des Auftretens von Hochwasser

## 1. METODA SMĚROVÝCH STATISTIK

Methode der Richtungsstatistiken

## 2. METODA ČAR KUMULATIVNÍCH ČETNOSTÍ VÝSKYTU POVODNÍ

Methode der Linien der kumulativen Häufigkeiten des Auftretens von Hochwasser

## 3. METODA POVODŇOVÉHO INDEXU

Methode des Hochwasserindex

- 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.
- Die gewählten Methoden wurden an Mengen ausgewählter Einzugsgebiete mit einem möglichst unbeeinflussten Abflussregime angewendet.
- Alle arbeiten mit durch das POT-Verfahren (Peaks Over Threshold) separierten Abflüssen, d. h. mit der Kalkulation überdurchschnittlicher Abflüsse über einem gewählten Abfluss-Schwellenwert.

## 1. Metoda směrových statistik - Methode der Richtungsstatistiken



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: Jedes Datum mit einem Scheitel kann als Richtungsvektor mit dem gegebenen Winkel  $\Phi$  und der Größe  $m$  interpretiert werden (für die in einer Einheitskreislinie  $m = 1$  ist). Falls es eine Menge  $n$  an Hochwassern gibt, lassen sich die Koordinaten  $\bar{x}$  und  $\bar{y}$  und des mittleren Eintrittsdatums der Hochwasser MD (**Mean Day**) für das jeweilige Profil folgendermaßen bestimmen:

Jako doplněk k MD je možno určit míru rozptylu  $\bar{r}$  výskytů povodňových případů. Als Ergänzung zu MD kann man das Streuungsmaß  $\bar{r}$  des Auftretens von Hochwassern bestimmen.

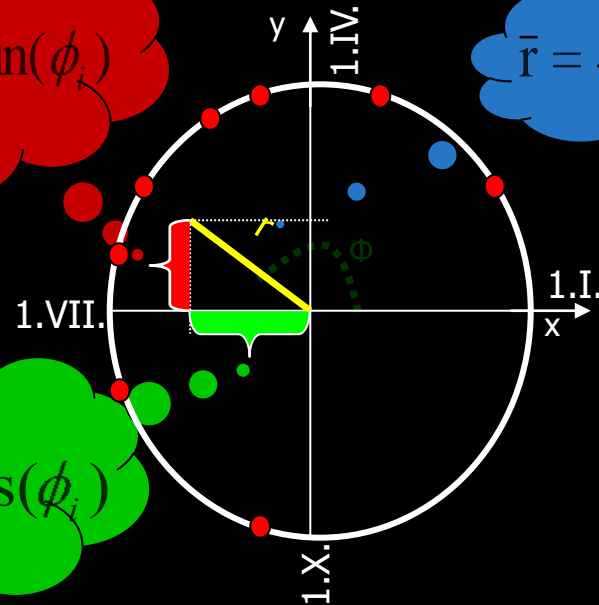
Hodnoty blízké  $0$  ukazují na velký rozptyl výskytu povodňových případů během roku a hodnoty blízké  $1$  vyjadřují vysokou míru sezonality.

Werte nahe  $0$  zeigen eine starke Streuung des Auftretens von Hochwassern während eines Jahres und Werte nahe  $1$  stellen ein hohes Saisonalitätsmaß dar.

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

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

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





## 2. Metoda čar kumulativních četností výskytu povodní Methode der Linien der kumulativen Häufigkeiten des Auftretens von Hochwasser

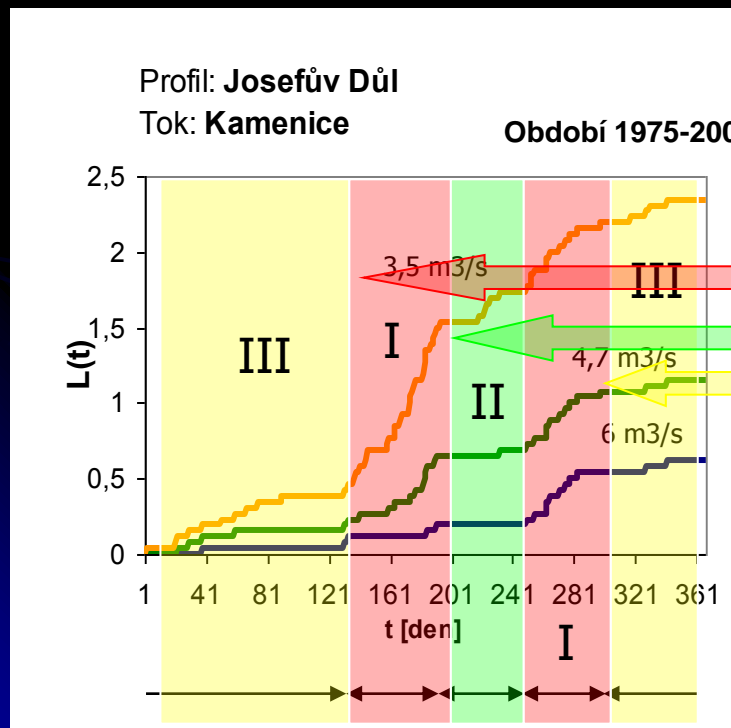
Metoda je založena na znázornění součtové čáry výskytů nadprůměrných průtoků  $L(t)$ , které v čase  $t$  překročily zvolenou prahovou hodnotu  $Q_B$  v daném referenčním období. Proměnná  $t$  probíhá v časovém intervalu  $(0, T)$ , který odpovídá řadě dnů v roce.

Die Methode basiert auf der Darstellung der Summenlinie des Auftretens überdurchschnittlicher Abflüsse  $L(t)$ , die in der Zeit  $t$  den gewählten Schwellenwert  $Q_B$  im jeweiligen Bezugszeitraum überschritten haben. Die Variable  $t$  verläuft im Zeitintervall  $(0, T)$ , das der Reihe der Tage im Jahr entspricht.





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



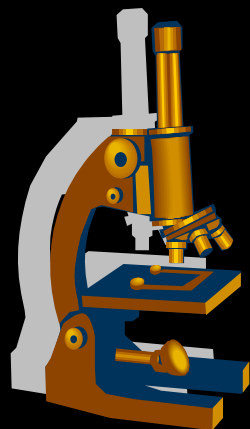
- Der Verlauf eines Jahres wird durch drei verschiedene Zeitraumtypen unterteilt, die sich in ihrer Wasserführung unterscheiden, d. h. einen Zeitraum mit erhöhter Eintrittswahrscheinlichkeit für überdurchschnittliche Abflüsse, die sog. **Hochwasserunruhe (I)**, einen Zeitraum der **Hochwasserruhe (II)** und einen **Übergangszeitraum (III)**.
- Im Rahmen der ausgewiesenen Zeiträume haben die Linien der kumulativen Häufigkeiten des Auftretens von überdurchschnittlichen Abflüssen mit einer verschiedenen Überschreitungshäufigkeit  $Q_B$  einen annähernd linearen Verlauf.

### 3. Metoda povodňového indexu

#### Methode des Hochwasserindex

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.

Zur Identifizierung von Gebieten, die saisonal durch relativ häufigere und extremere Hochwasser belastet sind, wurde aus den Daten über abgelaufene Hochwasser auf der Grundlage der maximalen Abflüsse im Monat die Kenngröße HochwasserINDEX ermittelt.



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

$Q_{\max,m,j} \dots$  höchster Scheitelabfluss aus der Reihe der Abflussscheitel im jeweiligen Monat  $m$  im betrachteten Bezugszeitraum, für den gilt, dass  $Q_{\max,m} \geq Q_{1\text{-jährlich}}$

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

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

$Q_{\max} \geq Q_{1\text{letý}}$

$Q_{\max} \dots$  arithmetisches Mittel aller Scheitelabflüsse, die im betrachteten Bezugszeitraum aufgetreten sind und für die gilt, dass  $Q_{\max} \geq Q_{1\text{-jährlich}}$

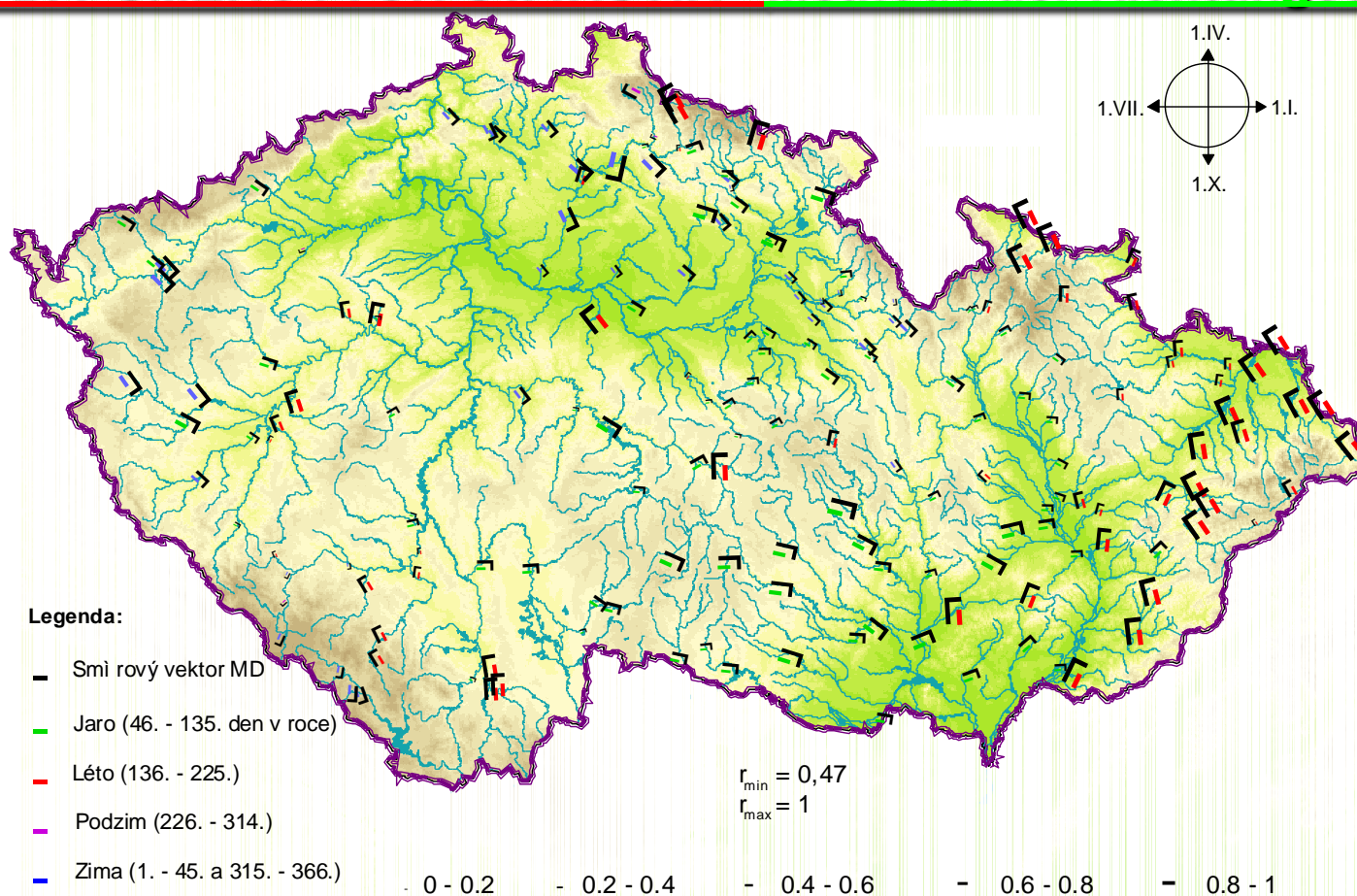
$f_{m,j} \dots$  četnost výskytu všech povodňových kulminací, které se vyskytly v referenčním období v měsíci  $m$  a pro něž platí, že  $Q_{\max} \geq Q_{1\text{letý}}$

$f_{m,j} \dots$  Häufigkeit des Auftretens aller Hochwasserscheitel, die im Bezugszeitraum im Monat  $m$  aufgetreten sind und für die gilt, dass  $Q_{\max} \geq Q_{1\text{-jährlich}}$

# REGIONALIZACE SEZONALITY VÝSKYTU POVODNÍ NA ÚZEMÍ ČR

## Regionalisierung der Saisonalität des Auftretens von Hochwasser auf dem Gebiet der Tschechischen Republik

### 1. METODA SMĚROVÝCH STATISTIK - Methode der Richtungsstatistiken





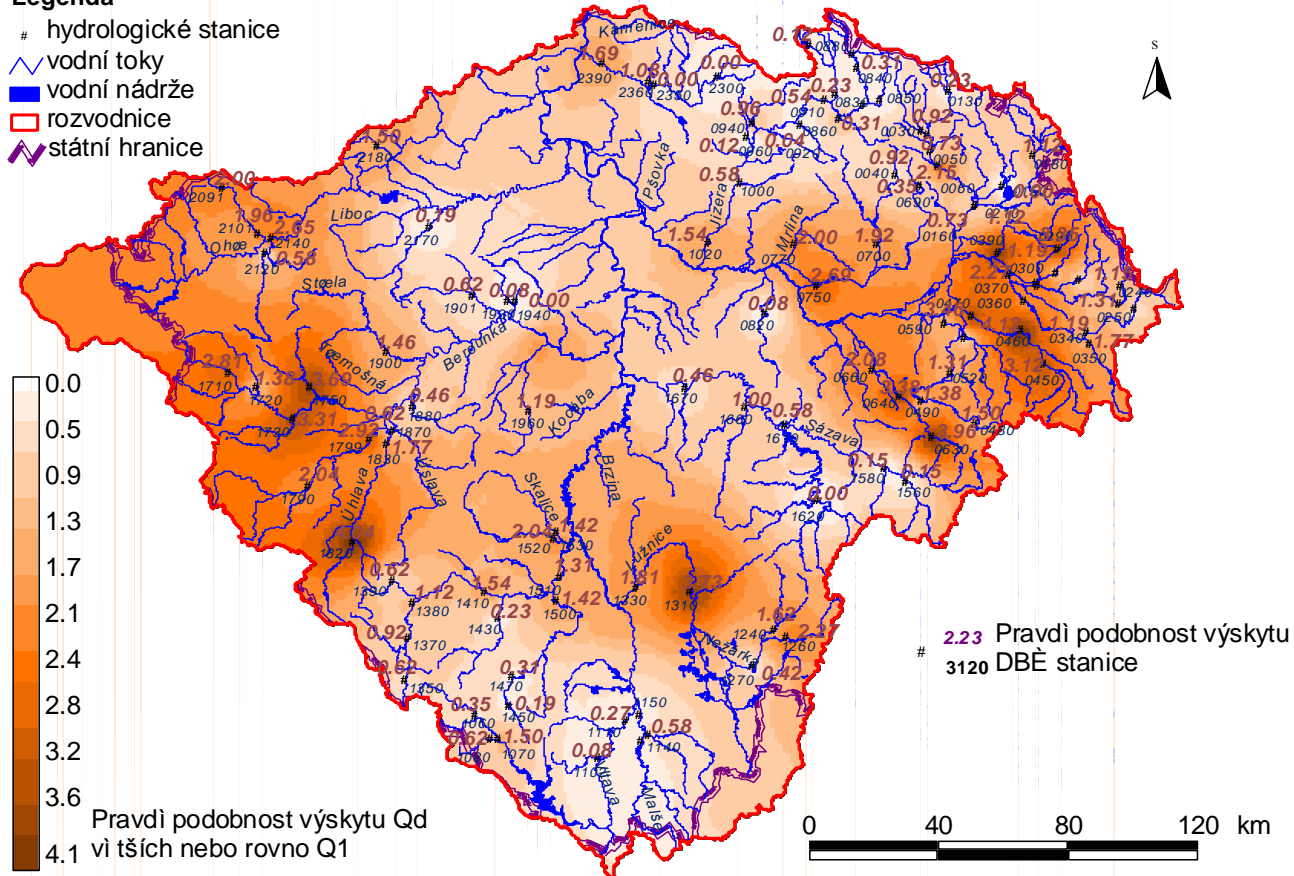
## 2. METODA ČAR KUMULATIVNÍCH ČETNOSTÍ VÝSKYTU POVODNÍ

Methode der Linien der kumulativen Häufigkeiten des Auftretens von Hochwasser

### Povodí Labe a Vltavy - Einzugsgebiet der Elbe und der Moldau

#### Legenda

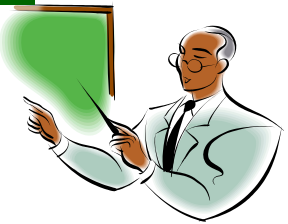
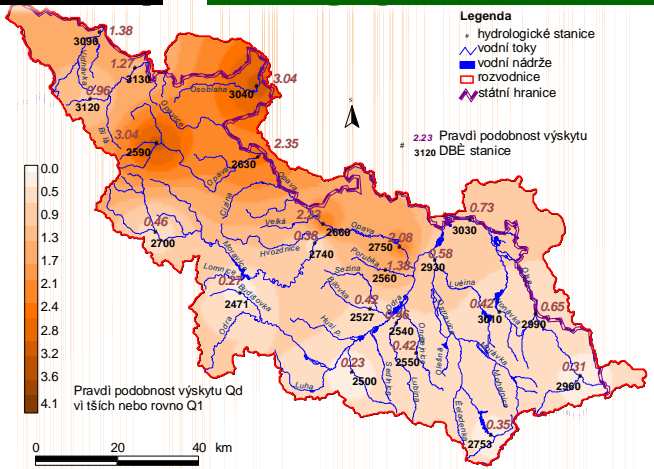
- # hydrologické stanice
- vodní toky
- vodní nádrže
- rozvodnice
- státní hranice



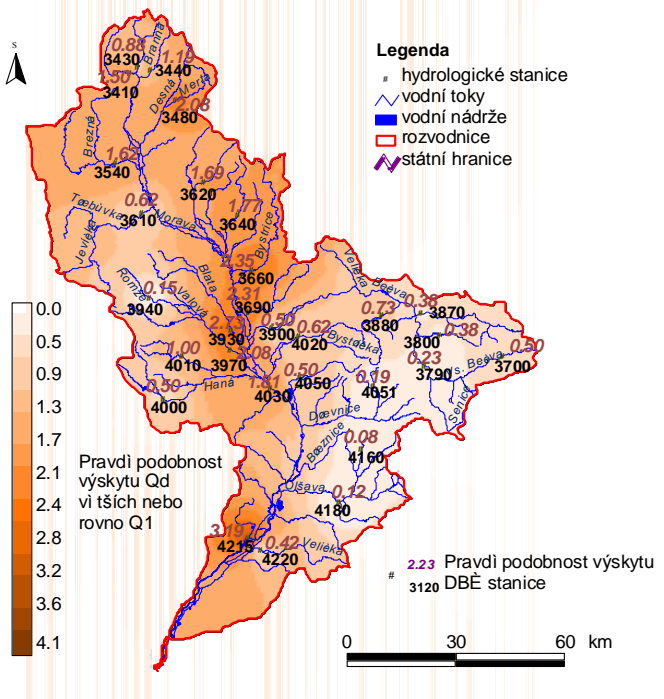
2. METODA ČAR KUMULATIVNÍCH ČETNOSTÍ VÝSKYTU POVODNÍ

Methode der Linien der kumulativen Häufigkeiten des Auftretens von Hochwasser

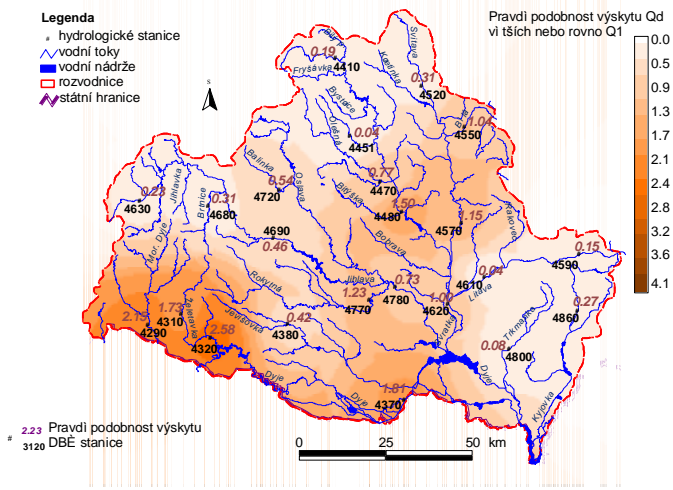
Povodí Odry - Einzugsgebiet der Oder




Povodí Moravy Einzugsgebiet der March



Povodí Dyje Einzugsgebiet der Thaya



Regionalizace sezonality výskytu povodní na území ČR - Regionalisierung der Saisonalität des Auftretens von Hochwasser auf dem Gebiet der Tschechischen Republik



# 3. METODA POVODŇOVÉHO INDEXU - Methode des Hochwasserindex

