# HYDROLOGICKÉ ASPEKTY V RIZIKOVÉ ANALÝZE

Radovan Tyl

*Cílem této studie je začlenění libovolného profilu na vodním toku do kategorie z pohledu rizikové analýzy při využití základních hydrologických charakteristik. To současně vede k vytvoření metodiky, která bude sloužit jako doplněk pro kvantitativní hodnocení rizik vodohospodářských soustav (grantový projekt č. 103/02/0606 „Riziková analýza vodohospodářských soustav" na FSv ČVUT v Praze v letech 2002 až 2004). Hydrologické aspekty rizikové analýzy byly zkoumány na souboru limnigrafických stanic (celkem 429 stanic z celé České republiky). Ze základních hydrologických charakteristik byla vybrána dlouhodobá průměrná roční srážka $P_a$ jako jeden parametr, a dále byly spočítány poměry průtoků $Q_{100}/Q_a$ a $Q_a/Q_{364}$ jako další dva parametry. Byly sestaveny jejich čáry překročení pro nalezení hranic intervalů. Intervalům byly přiřazeny kategorie 1 až 5, výsledné zařazení stanice do rizikové skupiny bylo určeno podle kombinace kategorií jednotlivých parametrů - skupiny A až E. Studie zahrnuje i zohlednění extrémních povodní v letech 1997 a 2002 ve 115 limnigrafických stanicích, pro které byly základní hydrologické charakteristiky vydány v publikaci Hydrologické charakteristiky vybraných vodoměrných stanic České republiky (ČHMÚ, Praha 1996, aktualizováno po povodních v roce 1997 a 2002).*

*Klíčová slova: nebezpečí, riziková analýza, základní hydrologické charakteristiky, kategorizace*

***Hydrologic aspects in risk analysis**. The aim of this study is the incorporating of any profile on the stream into a category risk analysis-wise while using the basic hydrological characteristics. This at the same time leads to the creation of a method, which will serve as a supplement to the quantitative evaluation of risks of the water industry systems (grant project No. 103/02/0606 "Risk analysis of water industry systems" on the FSv ČVUT in Prague during 2002 to 2004). The hydrological aspects of the risk analysis were studied on a set of limnigraphic stations (altogether 429 gauge stations from the whole of the Czech Republic). Out of the basic hydrological characteristics, the long-term average annual precipitation $P_a$ was selected as one parameter, and then the ratios of discharges $Q_{100}/Q_a$ and $Q_a/Q_{364}$ were computed as another two parameters. Their cumulative frequency curves were compiled to find the boundaries of the intervals. The intervals were assigned categories 1 to 5, the resulting grouping of the station into a risk group was determined according to the combination of the categories of the individual parameters – groups A to E. The study includes also the extreme floods in the years 1997 and 2002 on 115 limnigraphic stations, for which the basic hydrological characteristics were put out in the publication Hydrological characteristics of selected watergauging stations of the Czech Republic (CHMI, Prague 1996, updated after floods in 1997 and 2002).*

*Key words: hazard, risk analysis, basic hydrologic parameters, categorisation*

---

## ÚVOD

S rizikem se člověk setkává od nepaměti. Jsou rizika, která podstupuje dobrovolně, aby si zvýšil hladinu adrenalinu v krvi, a jsou rizika, která ovlivnit nemůže, události, které se dějí nezávisle na něm. Přívalové srážky, dlouhodobé deště, povodně, období sucha – to jsou jevy, které člověk svým jednáním neovlivní. Neovlivní ani, kdy se tak stane a kde. Může ale zmírnit riziko důsledků tím, že buduje přehrady a ochranné hráze, protipovodňové stěny, sestavuje povodňové plány.

Riziková analýza vodohospodářských soustav [5] řeší provozní rizika vodních děl, pravděpodobnosti vzniku provozních poruch, zhodnocení důsledků jednotlivých typů poruch (ekonomických, sociálních, environmentálních) a stanovení nákladů na zmírnění rizika. Náklady na zmírnění rizika by neměly přesahovat škody vzniklé poruchami.

Známe kategorie vodních děl v závislosti na míře bezpečnosti, potenciálních způsobených škodách a ztrátách na životech, známe jistě termín „stoletá voda", který také vyjadřuje riziko (pravděpodobnost), opakování povodně. V dalším textu se pokusíme stanovit rizikové kategorie vodoměrných stanic a metodiku, jejíž výsledky by byly aplikovatelné pro libovolný profil říční sítě a jež by mohla být začleněna do celkové metodiky Rizikové analýzy vodohospodářských soustav [5].

## VÝBĚR STANIC A PARAMETRŮ

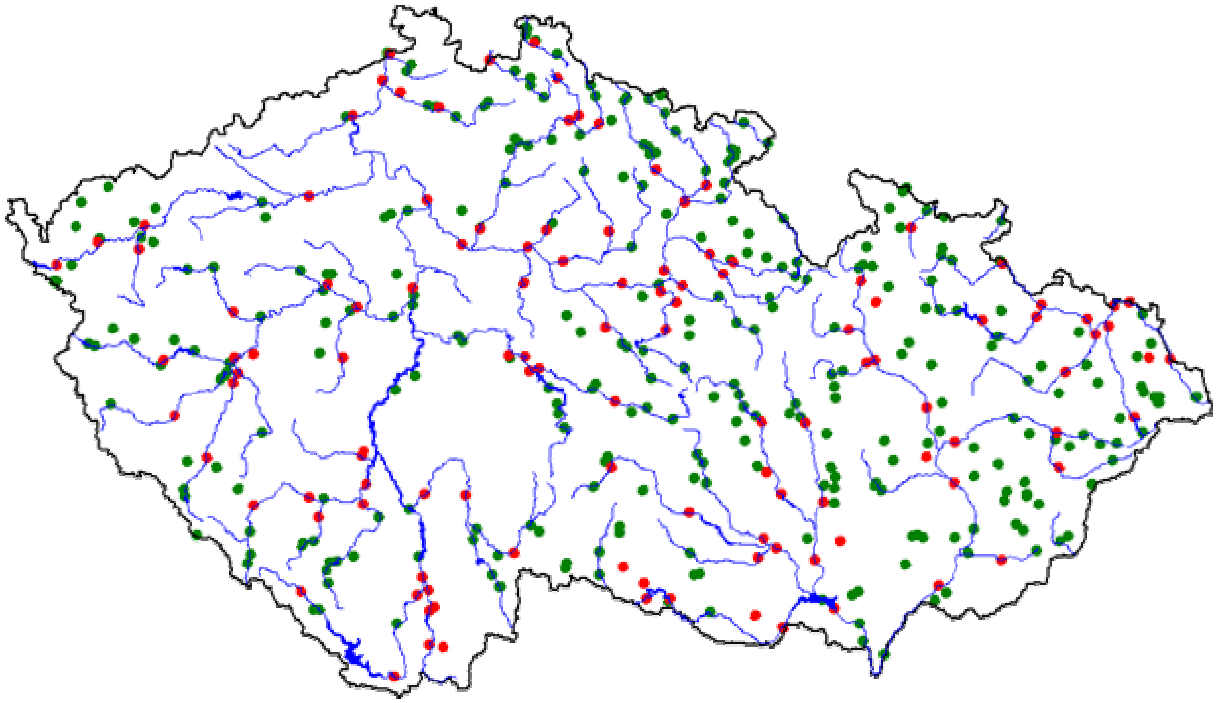
Základní hydrologické charakteristiky poskytuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) pro libovolný profil v síti vodních toků. Jsou to:

- plocha povodí A [$km^2$]
- dlouhodobá průměrná roční výška srážek $P_a$ [mm]
- dlouhodobý průměrný průtok $Q_a$ [$m^3.s^{-1}$]
- M - denní průtoky $Q_{Md}$ [$m^3.s^{-1}$, $l.s^{-1}$]
- N - leté maximální průtoky $Q_N$ [$m^3.s^{-1}$]

První otázkou bylo: Lze vodoměrné stanice podle výše uvedených charakteristik rozdělit do kategorií podle rizika? Liší se od sebe stanice v nějaké charakteristice? Určitě ano, ale musí to být hodnota či hodnoty vzájemně srovnatelné. Nelze porovnávat např. stoletý průtok v Děčíně a v Sušici. Bylo proto potřeba nejprve stanovit parametry, podle kterých by bylo možné stanice vzájemně porovnat, navíc aby měly určitou vypovídací hodnotu z pohledu rizika.

Základní vyhodnocení bylo provedeno na souboru 115 stanic vybraných do publikace [1]. Kniha obsahuje nejdůležitější, nejvýznamnější vodoměrné profily pozorování povrchových vod. Po porovnání různých vypočtených parametrů byly stanoveny tři, ve kterých se projevila největší variabilita mezi stanicemi - $Q_{100}/Q_a$, $Q_a/Q_{364}$ a dlouhodobá průměrná roční srážka $P_a$.

Ve druhém kroku byly z databáze ČHMÚ zjištěny vybrané charakteristiky ($Q_a$, $Q_{100}$, $Q_{364}$ a $P_a$) pro všechny dostupné stanice. Celkem tak byla k dispozici data ze 429 vodoměrných stanic (Obr. 1).



*Obr. 1 Červenou barvou jsou vyznačeny stanice z publikace[1], zelenou barvou stanice doplněné z databáze ČHMÚ.*

*Fig. 1 Red dots – gauges from publication [1], green dots – gauges added from database ČHMÚ.*

### Poměr $Q_{100}/Q_a$

Tento parametr je bezrozměrný. Vyjadřuje, kolikrát stoletý kulminační průtok v dané stanici převyšuje dlouhodobý průměr $Q_a$. Tyto poměry byly spočítány pro všechny N-leté průtoky ($Q_1$ – $Q_{100}$),

největších rozdílů mezi stanicemi bylo dosaženo právě pro průtok $Q_{100}$. Čím víc se $Q_a$ blíží $Q_{100}$, tím vychází poměr menší a naopak, čím větší číslo vychází, tím je stoletá voda v profilu nebezpečnější.

**Poměr $Q_a/Q_{364}$**

Výraznější rozdíly mezi stanicemi jsou patrné až pro nejmenší kvantily $Q_{Md}$, tedy pro 355denní a 364denní průtok. Pokud se průtok $Q_{364}$ (průtok, který je v profilu v průměru překročen 364 dní v roce) bude blížit hodnotě $Q_a$, znamená to, že je v toku vyrovnaný režim. Naopak jestliže poměr bude vycházet velký, vypovídá to o rozkolísanosti vodnosti během roku, profil je náchylnější k nedostatku vody v suchých obdobích. To je samozřejmě nevhodná situace například pro malou vodní elektrárnu. Takže čím větší číslo, tím více je profil nevyrovnaný.

**Srážka $P_a$**

Jako další parametr byla použita dlouhodobá průměrná roční výška srážek $P_a$ za období 1961 – 1990.

## KATEGORIZACE PARAMETRŮ

Pro stanovení intervalů kategorií jednotlivých parametrů byly použity teoretické čáry překročení. Teoretická pravděpodobnost překročení byla spočítána podle Weibulla [2]:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \; [-]$$

nebo

$$P_m = \frac{m}{n+1} * 100 \, [\%]$$

$P_m$ – empirická pravděpodobnost překročení
m – pořadové číslo členu řady seřazené sestupně
n – celkový počet členů

V našem případě n = 429. Čáry překročení byly sestrojeny pro každý ze tří parametrů (Obr. 2) a byly odečteny, resp. interpolací vypočítány hodnoty pravděpodobnosti překročení pro 20, 40, 60 a 80 %. To jsou hranice intervalů, které jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 1).

*Tab. 1 Hranice intervalů parametrů $Q_{100}/Q_a$, $Q_a/Q_{364}$ a $P_a$ pro pravděpodobnost překročení 20, 40, 60 a 80 %.*

*Tab. 1 Limits of intervals of parameters $Q_{100}/Q_a$, $Q_a/Q_{364}$ and $P_a$ for exceeded probabilities 20, 40, 60 a 80 %.*

| **parametr** | **pravděpodobnost překročení** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **80 %** | **60 %** | **40 %** | **20 %** |
| $Q_{100}/Q_a$ | 36 | 51 | 77 | 115 |
| $Q_a/Q_{364}$ | 6,5 | 9,3 | 13,3 | 23,7 |
| $P_a$ [mm] | 561 | 612,7 | 667 | 761 |

Pro každý parametr byly vykresleny také mapy, kde stanovené intervaly jsou barevně rozlišeny. V mapě je vždy pět barevných odstínů (Obr. 2). Tyto mapy byly vytvořeny prostou interpolací bodových hodnot ve stanicích na grid a slouží spíše pro ilustraci, prioritní jsou vypočítané hodnoty.

Každý parametr má pět intervalů označených celými čísly 1 až 5 (1 nejlepší, 5 nejhorší). Tedy například hodnoty $Q_{100}/Q_a$ do hodnoty 36 patří do skupiny 1, hodnoty v intervalu 36 až 51 patří do skupiny 2 atd. (Tab. 2).

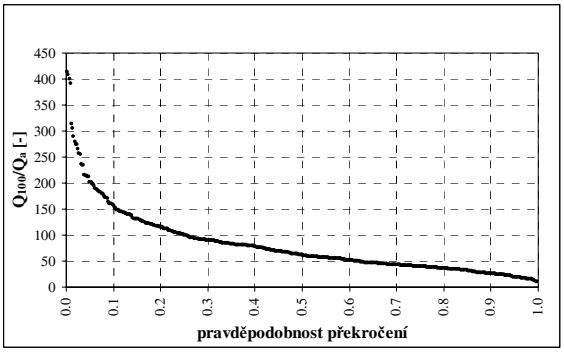
*Tab. 2 Rozmezí intervalů parametrů $Q_{100}/Q_a$, $Q_a/Q_{364}$ a $P_a$ a přiřazené kategorie.*

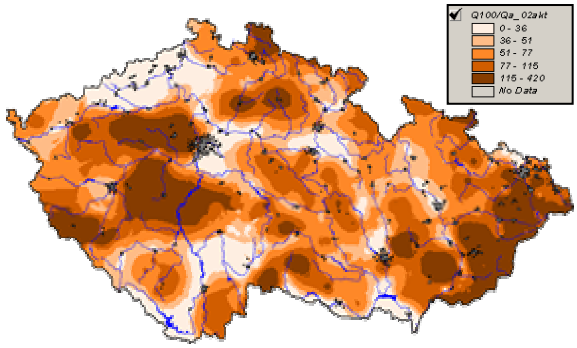
*Tab. 2 Range of intervals of parameters $Q_{100}/Q_a$, $Q_a/Q_{364}$ and $P_a$ and assigned categories.*

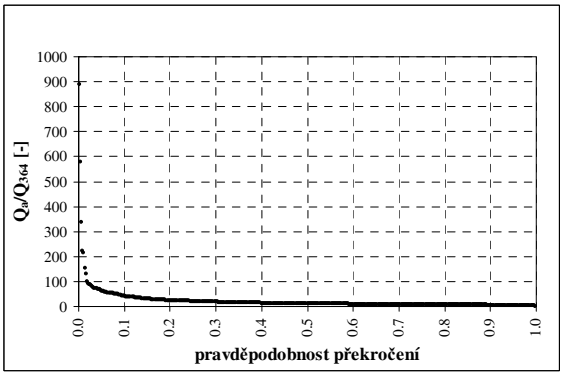
| **parametr** | **interval** | **kategorie** |
|---|---|---|
| $Q_{100}/Q_a$ | < 36 | 1 |
| | 36 – 51 | 2 |
| | 51 – 77 | 3 |
| | 77 – 115 | 4 |
| | > 115 | 5 |
| $Q_a/Q_{364}$ | < 6,5 | 1 |
| | 6,5 – 9,3 | 2 |
| | 9,3 – 13,3 | 3 |
| | 13,3 – 23,7 | 4 |
| | > 23,7 | 5 |
| $P_a$ [mm] | < 561 | 1 |
| | 561 – 612,7 | 2 |
| | 612,7 – 667 | 3 |
| | 667 – 761 | 4 |
| | > 761 | 5 |

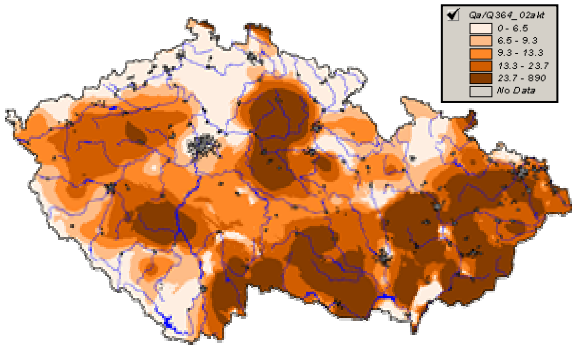
Je zajímavé, že u parametru $Q_a/Q_{364}$ je 98 % hodnot menších než 100, pouze sedm hodnot z 429 jich je větších. Dobře je to vidět právě na čáře překročení (obr. 2 uprostřed). Vytvořený grid je z toho důvodu značně zkreslený.

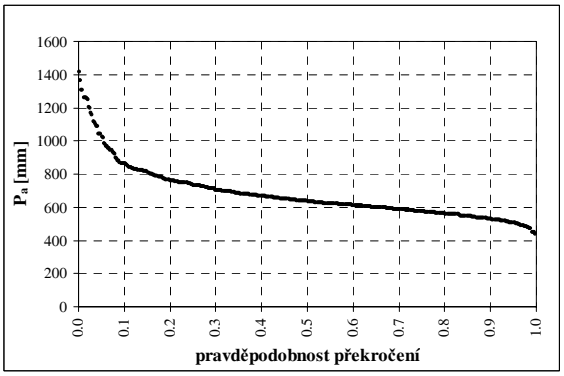
Nejprve byla tedy stanovena kategorie stanice pro každý parametr zvlášť v hodnotách 1 až 5. Po sečtení kategorií dostaneme pro každou stanici číslo výsledné kategorie v rozmezí od 3 (1+1+1) do 15 (5+5+5). Například pro stanici Klášterec nad Ohří na Divoké Orlici vychází kategorie parametru $Q_{100}/Q_a$ číslo 3, parametru $Q_a/Q_{364}$ číslo 2 a pro $P_a$ číslo 5, po sečtení vyjde číslo výsledné kategorie 10.

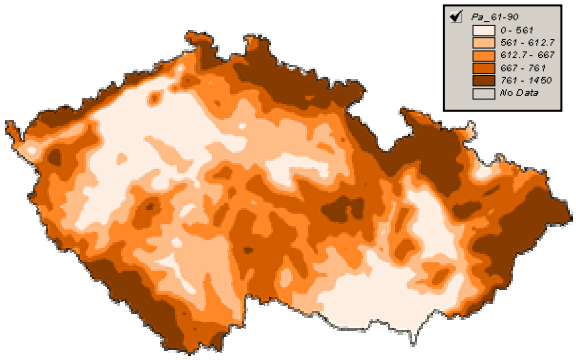



*Obr. 2 Čáry překročení parametrů $Q_{100}/Q_a$, $Q_d/Q_{364}$ a $P_a$ a mapy s barevně odlišenými kategoriemi.*

*Fig. 2 Cumulative frequency curves of parameters $Q_{100}/Q_a$, $Q_d/Q_{364}$ and $P_a$ and maps of categories.*

## KATEGORIE STANICE

Výsledné kategorie stanic byly stanoveny následně v závislosti na tom, kolik vyšlo číslo sečtené z kategorií získaných pro jednotlivé tři parametry:

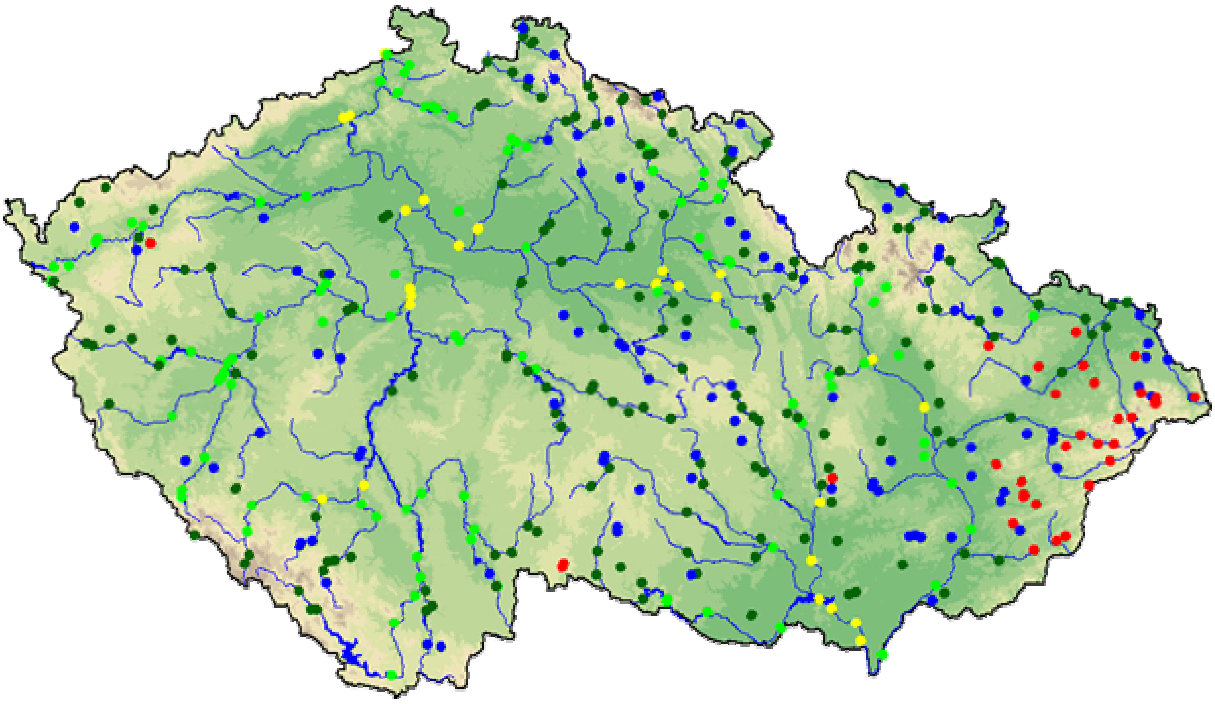
| **hodnota** | **kategorie** | **riziko** |
|---|---|---|
| ***3** a 4* | ***A*** | *zanedbatelné* |
| *5, 6, 7* | ***B*** | *nízké* |
| *8, 9, 10* | ***C*** | *mírné* |
| *11, 12, 13* | ***D*** | *střední* |
| *14 a **15*** | ***E*** | *velké* |

Z toho zjistíme, že stanice výše uvedeného příkladu v Klášterci spadá do kategorie C (podle čísla 10).

Na obrázku 3 jsou vykresleny všechny stanice do mapy a podle barvy rozděleny do kategorií. Nejvíce rizikové stanice jsou vyznačeny červenou barvou. Je jich celkem 34, z toho 6 jich má výslednou hodnotu 15!

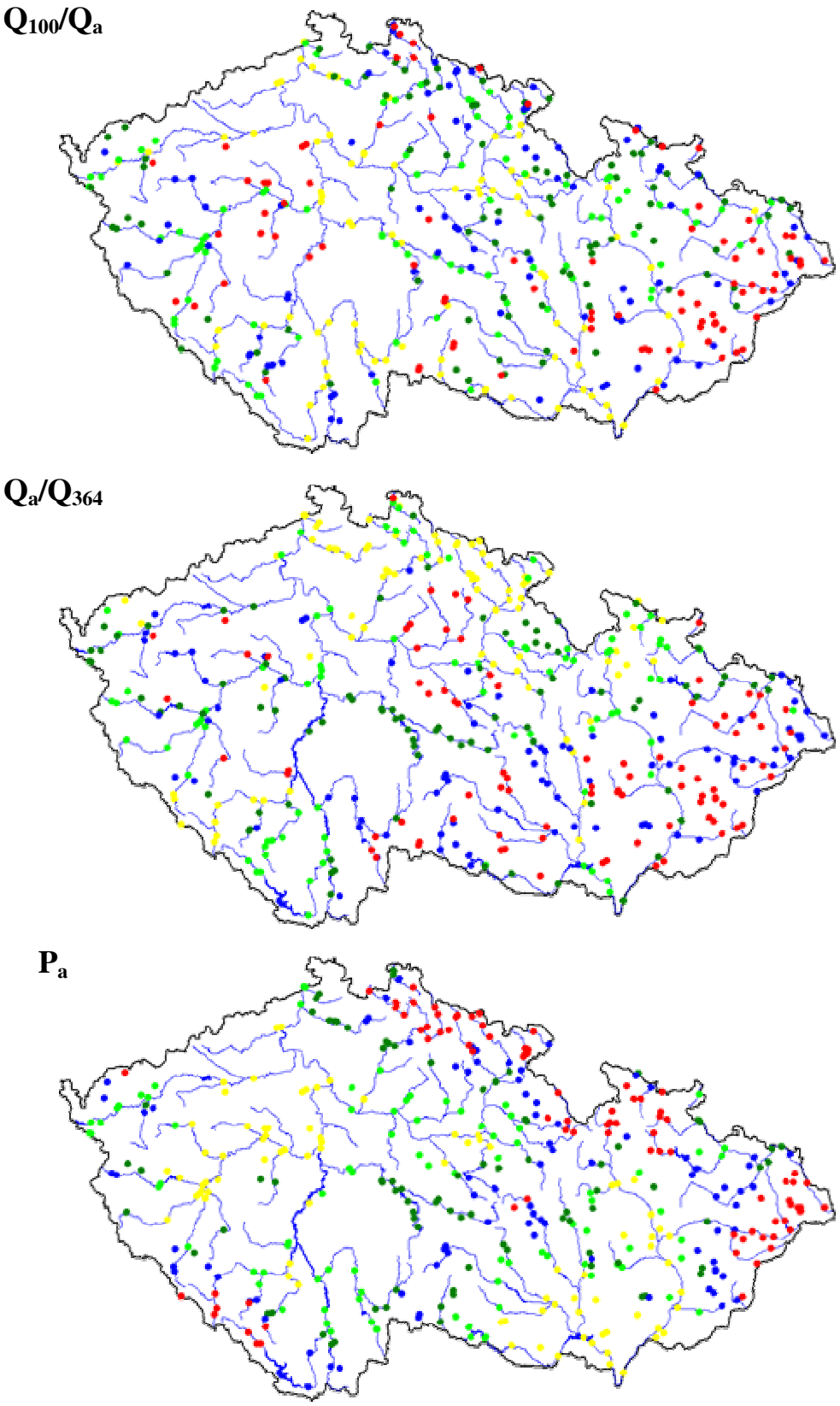
Převážná část nejrizikovějších stanic (červená, kategorie E) se nachází na severovýchodní Moravě, v pohoří Moravskoslezských Beskyd a v okolí Vsetína (povodí Odry, Ostravice a Bečvy). Stanice zobrazené modrou barvou (kategorie D) leží ve vyšších, většinou pramenných oblastech (Krkonoše, Českomoravská Vrchovina). Naopak kategorie A a B reprezentují nížinné oblasti středního a dolního Labe, dolní Vltavy a Dyje.

Na dalším obrázku (obr. 4) jsou vykresleny barevně kategorie pro jednotlivé parametry.



*Obr. 3 Výsledné kategorie vodoměrných stanic. A – žlutá, B – světle zelená, C – tmavě zelená, D – modrá, E – červená.*

*Fig. 3 Final categories of watergauging stations. A – yellow, B – light green, C – dark green, D – blue, E – red.*



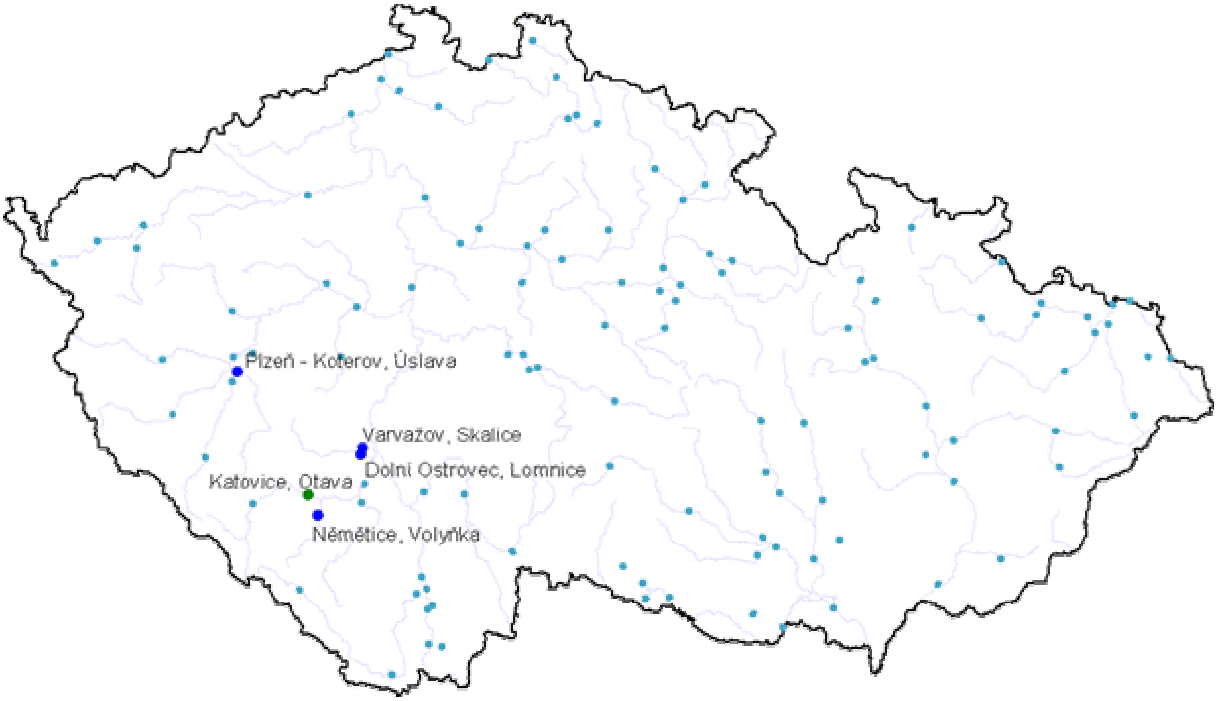

*Obr. 4 Kategorie podle jednotlivých parametrů. A – žlutá, B – světle zelená, C – tmavě zelená, D – modrá, E – červená.*

*Fig. 4 Categories according to individual parameters. A – yellow, B – light green, C – dark green, D – blue, E – red.*

## POVODNĚ 1997 A 2002

Jak už bylo uvedeno, v roce 1996 vydal Český hydrometeorologický ústav publikaci *Hydrologické charakteristiky vybraných vodoměrných stanic České republiky* [1], kde jsou pro 115 stanic uvedeny základní hydrologické charakteristiky a některé další údaje. Avšak hned v červenci 1997 a pak v srpnu 2002 se Českou republikou přehnaly dvě katastrofální povodně. To se také odrazilo v přepracování N-letých (včetně stoletých) průtoků ve většině stanic v uvedené publikaci. Nebylo proto těžké zjistit, zda se u některé ze stanic neprojevily změny v $Q_{100}$ také ve změně kategorie stanice.

A výsledek? Změny se projevily pouze po povodni v roce 2002 u pěti stanic, a to v povodí Otavy (čtyři stanice) a na Úslavě (jedna stanice). U jedné stanice (Katovice na Otavě) došlo ke změně kategorie z B do C (zelená barva), u čtyř dalších ke změně z C do D (modrá barva). Nejlépe patrné je to na Obr. 5.




*Obr. 5 Vodoměrné stanice, u kterých se po povodni v srpnu 2002 změnila kategorie. Barva odpovídá současnému stavu.*

*Fig. 5 Watergauging stations which changed the category after the flood in august 2002 (actual situation).*

## ZÁVĚR

Ze základních hydrologických charakteristik poskytovaných ČHMÚ byla zjištěna kritéria, podle kterých lze jednotlivé profily říční sítě zařadit do rizikové kategorie. Všude tam, kde známe charakteristiky $Q_a$, $Q_{100}$, $Q_{364}$ a $P_a$ (nemusí to být právě ve stanici) můžeme použít parametry $Q_{100}/Q_a$, $Q_a/Q_{364}$ a $P_a$ pro stanovení kategorie 1 až 5 pro každý parametr. Intervaly kategorií jednotlivých parametrů byly spočteny na souboru 429 vodoměrných stanic z celé republiky. Následnou kombinací kategorií je možné zařadit profil do celkové kategorie A až E.
Tato metodika má přispět k rizikové analýze vodohospodářských soustav z hlediska hydrologického režimu. Předpokládá se další vývoj v této oblasti.

## Literatura

Hydrologické charakteristiky vybraných vodoměrných stanic České republiky, ČHMÚ, Praha, 1996 (aktualizováno po povodních v červenci 1997 a srpnu 2002)

Kemel, M. (1996): Klimatologie, meteorologie, hydrologie, ČVUT, Praha

Kos, Z., Satrapa, L., Přenosilová, E., Fošumpaur, P. (2003): Specifikace a sestavení rizikových modelů pro pilotní oblasti rizikové analýzy. Rizikové modely na základě metody předběžné rizikové analýzy PrRA a metody studie nebezpečí a provozuschopnosti HAZOP, VaV, Zpráva za rok 2003, ČVUT

Říha, J. (2003): Dílčí problémy rizikové analýzy přehrad, dílčí zpráva, projekt GAČR č. 103/02/0606, Brno

Satrapa, L. (2004): Riziková analýza vodohospodářských soustav, závěrečná zpráva, projekt GAČR č. 103/02/0606, ČVUT, Praha (http://www.prehrady.cz/index3.htm)

### Autor

Ing. Radovan Tyl, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, Praha 4 – Komořany, tyl@chmi.cz