



5

Hydrológia a hydrogeografia

Fyzická geografia 2

Doc. RNDr. Milan Trizna, PhD.

RNDr. Norbert Polčák, PhD.

Mgr. Juraj Timko

Katedra fyzickej geografie a geoekológie, PRIF UK

Účty k hydrometrii

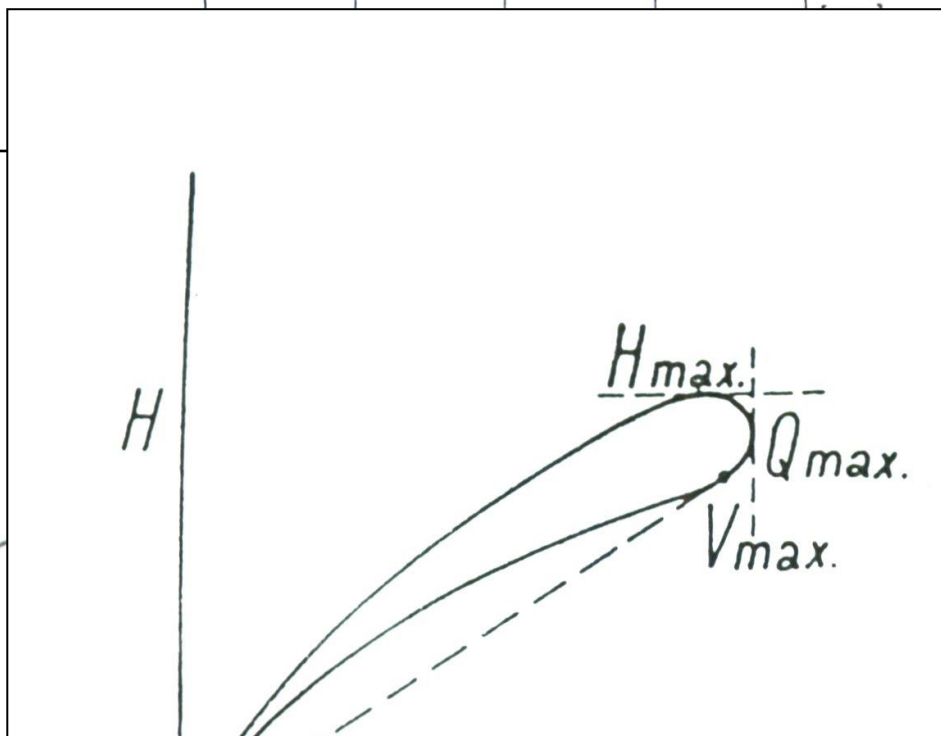
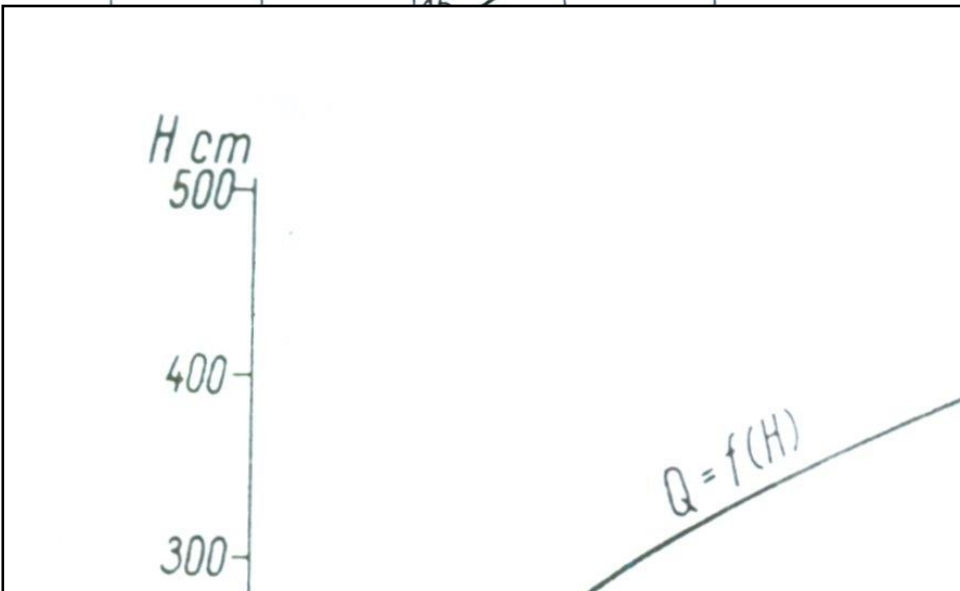
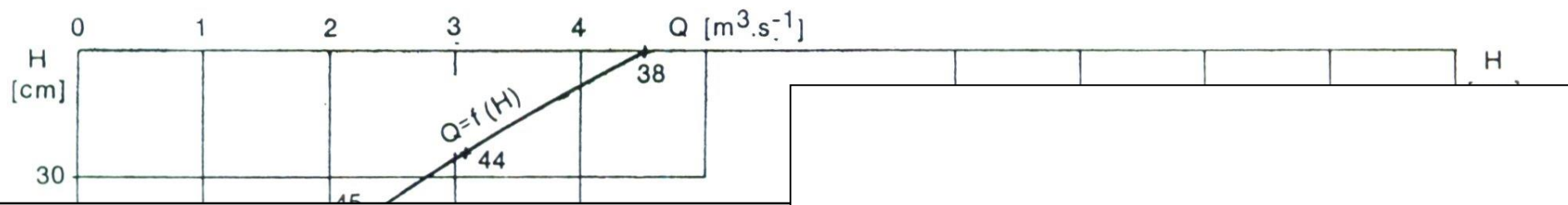
$$Q = F \cdot v$$

$$Q = f(H)$$

$$F = f(H)$$

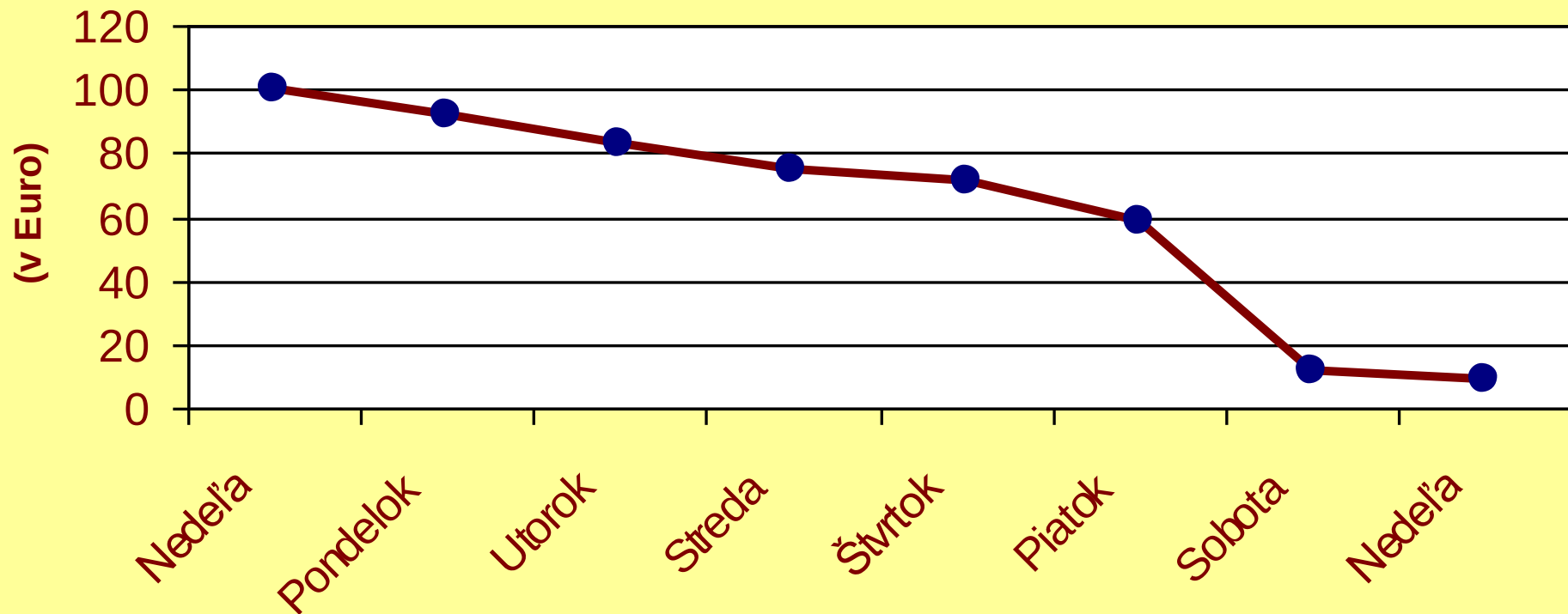
$$v = f(H)$$

- Vzťah vodných stavov a prietokov. $Q = F \cdot v$
- Mení sa v čase (nestálosť koryta, prúdenia, atď.).



Prehľad základných pojmov

Chronologická čiara vývoja financií študenta vždy ráno o 8.00 hod



pomocou analógie alebo matematických vzťahov z radu hodnôt podmieňujúcich prvkov za konkrétne časové obdobie.

Metódy hodnotenia hydrologických prvkov

Vodné stavy, prietoky

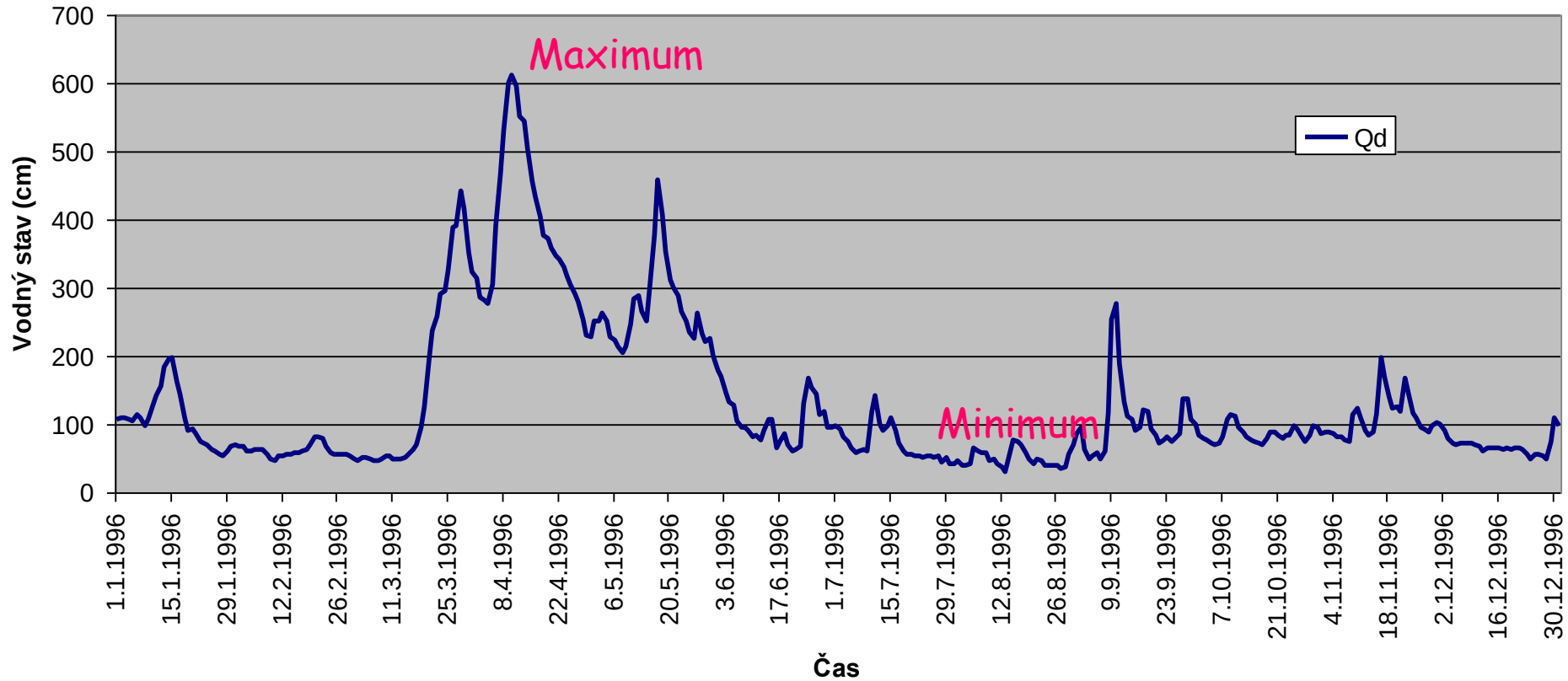
Po nameraní hodnôt **vodných stavov** je základným spôsobom ich vyhodnotenia vykreslenie **chronologickej čiary vodných stavov (prietokov)** za určité zvolené obdobie.

Z množiny nameraných dát sa týmto zoradením stáva **hydrologický rad**.

Už z **chronologickej čiary** je možné zistiť **maximálny a minimálny** vodný stav za sledované obdobie. Rozdiel týchto hodnôt nazývame **variačné rozpätie - amplitúda**.

Ďalšie hodnoty zaujímavé z hľadiska hodnotenia hydrologického radu získame využitím jednoduchých **metód matematickej štatistiky**.

Čiara vodných stavov



Priemerné hodnoty - mesačná, ročná, dlhodobá

Medián, modus ...

Pre riešenie **praktických** hydrologických úloh je potrebné hydrologické dáta **detailnejšie** spracovať.

Najpoužívanejšou metódou hodnotenia hydrologických prvkov je **čiara prekročenia**, a to buď **empirická** alebo **teoretická**.

Empirická čiara prekročenia je zostrojená z reálne nameraných údajov.

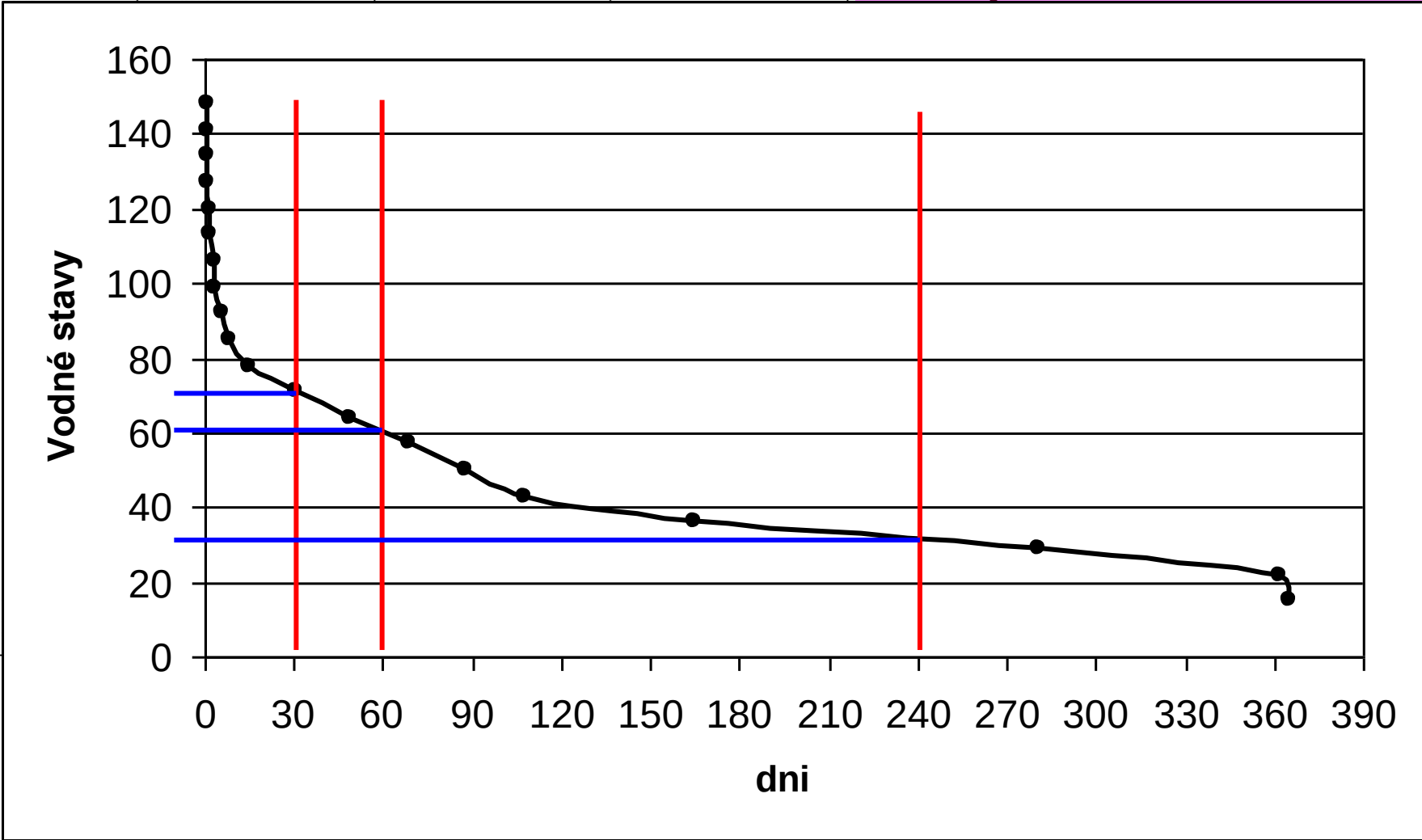
Teoretická čiara (krivka - hydrologický model) **prekročenia** je zostrojená s využitím ďalších, najmä štatistických závislostí.

Čiara prekročenia vyjadruje **dĺžku** (dobu), počas ktorej je **dosiahnutá a prekročená** hodnota určitého vodného stavu.

Tabuľka 10.1. Početnosť výskytu vodných stavov rieky Hron

Poradové číslo intervalu	Interval od do	Počet vodných stavov	Kumulatívna početnosť
1	154 – 148	1	1
2	147 – 141	0	1
3	140 – 134	0	1
4	133 – 127	0	1

ého radu patrí do
latívnu početnosť'.
aru prekročenia
e hodnoty kumulatívnej
stavov (hornú hranicu



Hodnoty prvkov hydrologického radu sú náhodné hodnoty a platia pre ne zákony počtu pravdepodobnosti.

Ak vychádzame z empirickej pravdepodobnosti, potom pravdepodobnosť výskytu zistíme pomerom:

$$p = \frac{m}{n}$$

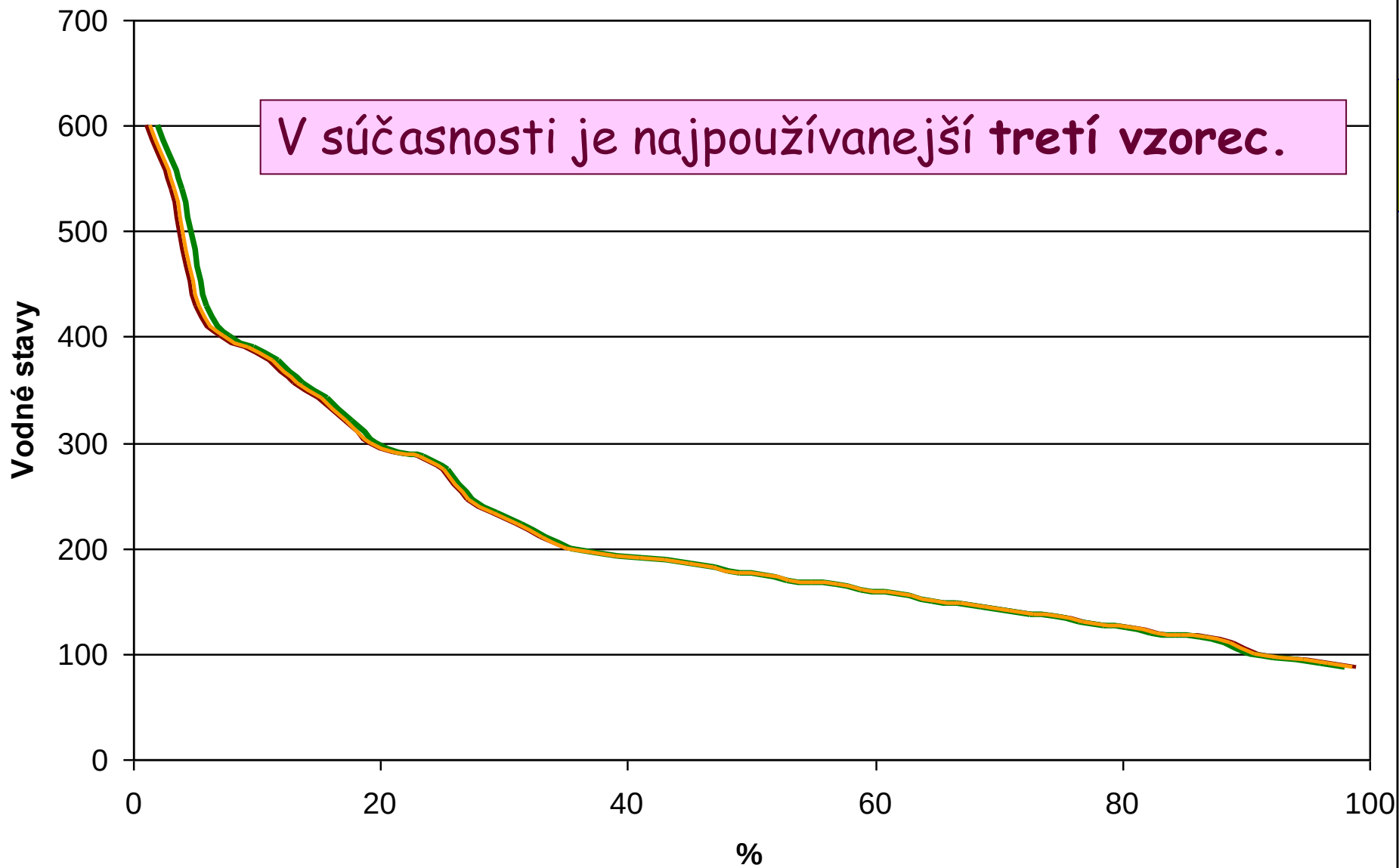
kde m je počet kladných výsledkov javu pri n -násobnom opakovaní pokusu.

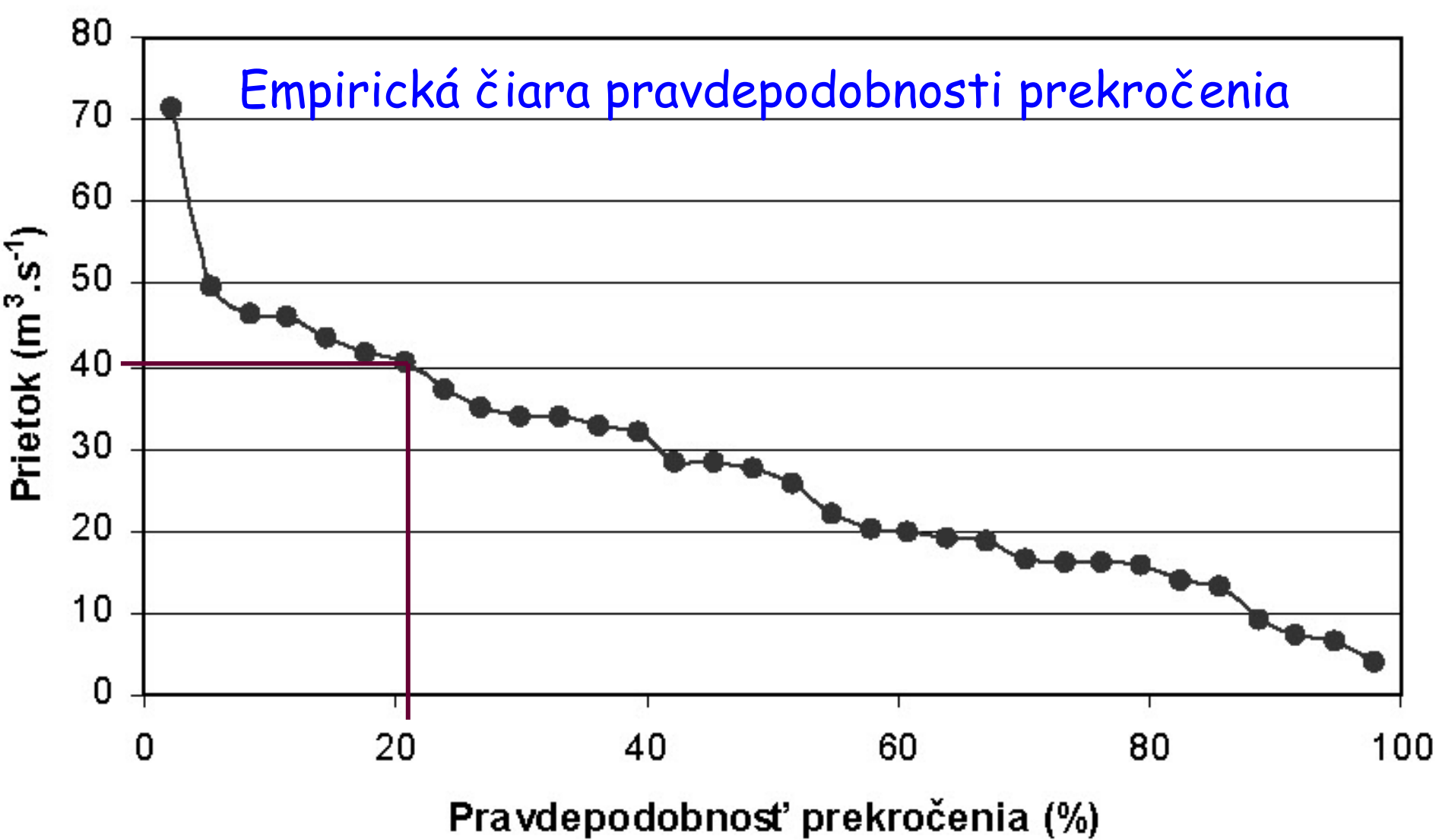
Aplikácia tohto vzťahu v hydrológii vyzerá tak, že množinu prietokov zoradíme do klesajúceho radu a každej hodnote priradíme hodnotu pravdepodobnosti, pričom m je poradové číslo prvku v rade a n je celkový počet prvkov.

Použitím vzorca by však posledný, n -tý prvok mal pravdepodobnosť výskytu 1, čiže 100% a to je v hydrologickej praxi nereálne.

Vzorec preto rôzni autori upravili nasledovne:

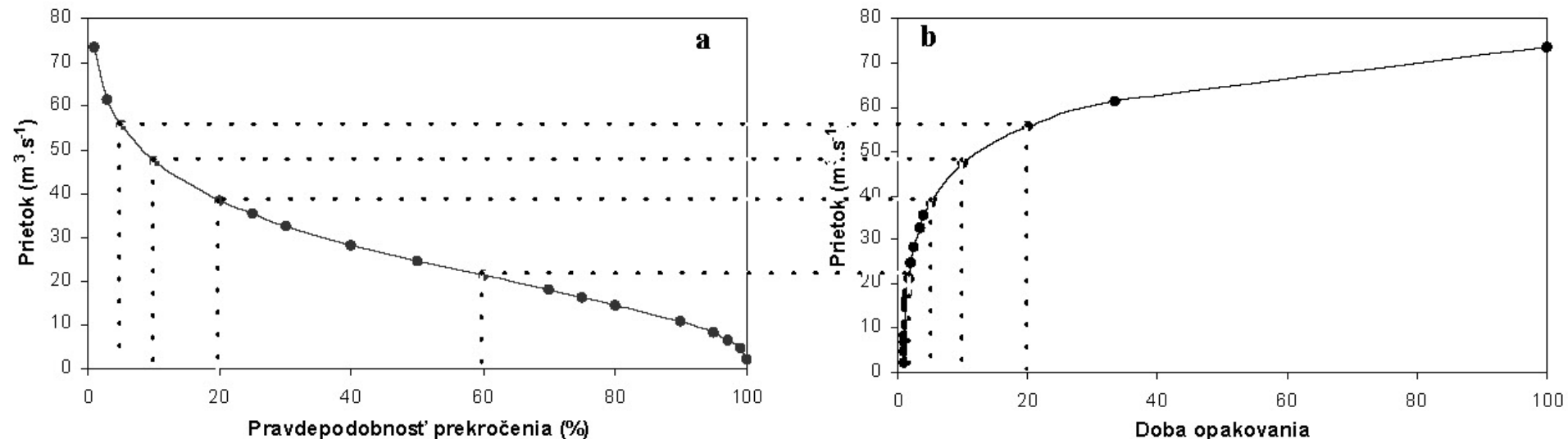
V súčasnosti je najpoužívanejší tretí vzorec.





Doteraz sme zaoberali **empirickým rozdelením početnosti**. Ale **empíria má svoje limity...**

Od empirického rozdelenia musíme prejsť k teoretickému ...



$$P = \frac{1}{N} \cdot 100\%$$

alebo

$$N = \frac{1}{P} \cdot 100\%$$

V hydrológii v praxi využívame **teoretické rozdelenie** početnosti, ktoré môžeme považovať za **matematický model** daného empirického rozdelenia, ktorý zostrojíme na základe parametrov získaných z empirického radu.

Teoretické rozdelenie početnosti môže byť **symetrické** alebo **asymetrické**.

Symetrické rozdelenie početnosti vyjadruje Gaussova - Laplaceova krivka **normálneho rozdelenia**. Keďže krivka je symetrická, **priemer, medián a modus** sú totožné.

V hydrologickej praxi sa stretávame prevažne s **asymetrickým** rozdelením početnosti, keď sú hydrologické rady ohraničené konečnými **maximálnymi** a **minimálnymi** hodnotami.

Z asymetrických kriviek rozdelenia početnosti je najznámejšia jedna z dvanástich kriviek štatistika Pearsona, známa ako **Pearsonova krivka III. typu**.

Tvar a priebeh krivky sú určené tromi parametrami:

1. aritmetickým priemerom radu
2. koeficientom variácie C_v
3. koeficientom asymetrie C_s

Pri výpočte koeficientu variácie zavedieme do vzorca pre výpočet C_v hodnotu k_i , ako:

$$k_i = \frac{x_i}{x}$$

kde x_i je aktuálna hodnota prietoku a x je priemerná hodnota celého radu

Matematický aparát „modelu“ potom vyzerá nasledovne:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (k_i - 1)^2}{n - 1}}$$

$$C_s = \frac{\sum (k_i - 1)^3}{(n - 1).C_v^3}$$

$$Q_p = Q_a.(1 - C_v.\Phi_{s,p})$$

Jednotlivé parametre, potrebné na zostrojenie kriviek, môžeme získať viacerými spôsobmi. Najčastejšie sa používajú metóda momentov a metóda kvantilov.

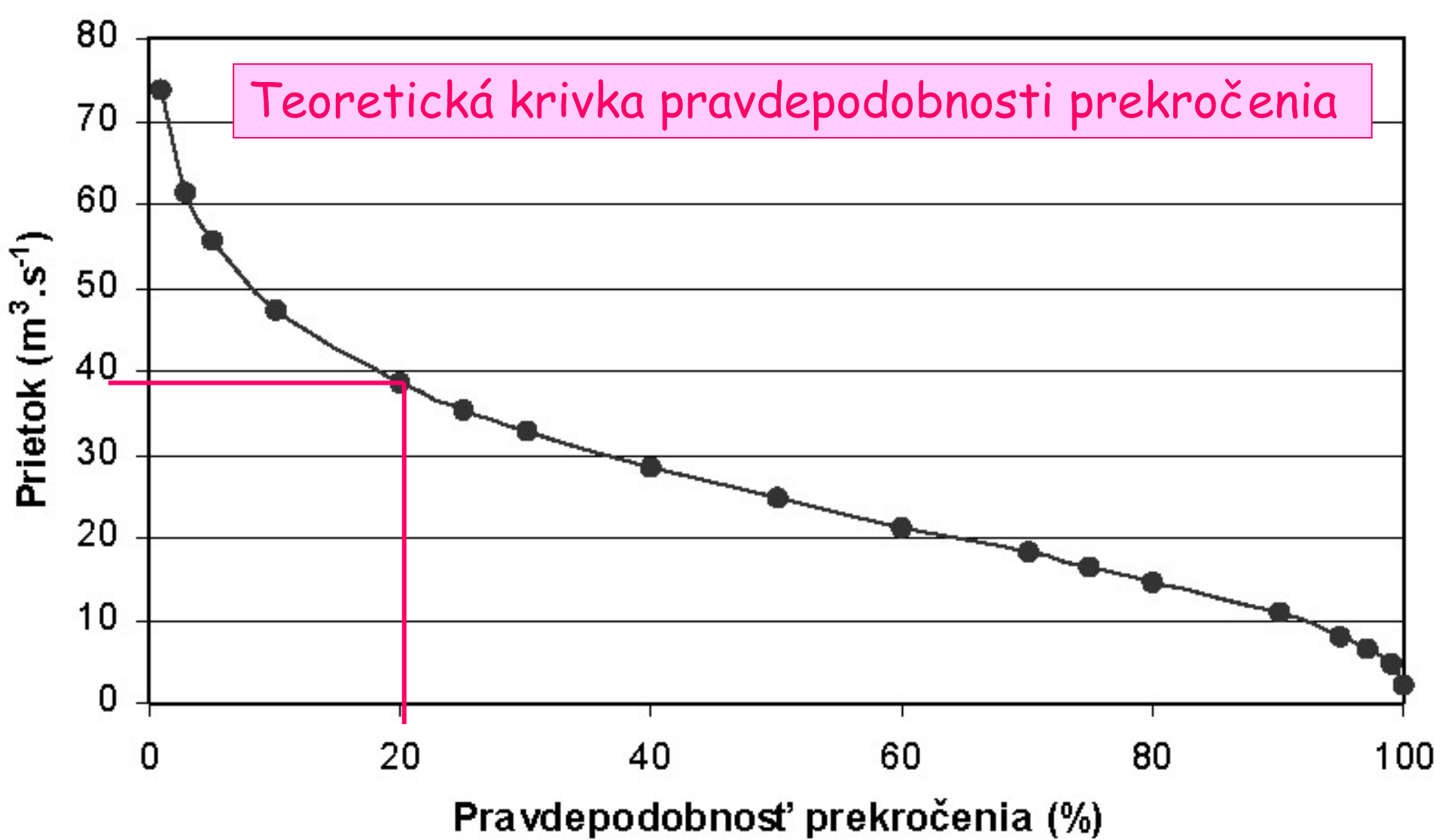
Pri metóde momentov sa parametre Q_a , C_v a C_s vypočítajú zo známych vzťahov.

Krivku prekročenia konštruujeme s využitím **Foster-Rybkinových** tabuliek.

Sú v nich uvedené odchýlky súradníc kriviek - od priemeru pre $x = 1$ a $C_v = 1$ pre rôzne hodnoty C_s .

Tabuľka 11.2 Odchýľky poradníc krivky prekročenia od priemeru pri $C_v = 1$ podľa S. Foster a J. Rybkina

Cs	Pravdepodobnosť prekročenia p (v %)																			
	0,01	0,05	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99
0,00	3,72	3,29	3,09	2,33	1,88	1,64	1,28	0,84	0,67	0,52	0,25	0,00	-0,52	-0,52	-0,67	-0,84	-1,28	-1,64	-1,88	-2,33
0,05	3,83	3,38	3,16	2,36	1,90	1,65	1,28	0,84	0,66	0,52	0,24	-0,01	-0,26	-0,52	-0,68	-0,84	-1,28	-1,67	-1,86	-2,29
0,10	3,94	3,46	3,23	2,40	1,92	1,67	1,29	0,84	0,66	0,51	0,24	-0,02	-0,27	-0,53	-0,68	-0,85	-1,27	-1,61	-1,84	-2,25
0,15	4,05	3,54	3,31	2,44	1,94	1,68	1,30	0,84	0,66	0,50	0,23	-0,02	-0,28	-0,54	-0,68	-0,85	-1,26	-1,60	-1,82	-2,22
0,20	4,16	3,62	3,38	2,47	1,96	1,70	1,30	0,83	0,65	0,50	0,22	-0,03	-0,28	-0,55	-0,69	-0,85	-1,26	-1,58	-1,79	-2,18
0,25	4,27	3,70	3,45	2,50	1,98	1,71	1,30	0,82	0,64	0,49	0,21	-0,04	-0,29	-0,56	-0,70	-0,85	-1,25	-1,56	-1,77	-2,14
0,30	4,38	3,79	3,52	2,54	2,00	1,72	1,31	0,82	0,64	0,48	0,20	-0,05	-0,30	-0,56	-0,70	-0,85	-1,24	-1,55	-1,75	-2,10
0,35	4,50	3,88	3,59	2,58	2,02	1,73	1,32	0,82	0,64	0,48	0,20	-0,06	-0,30	-0,56	-0,70	-0,85	-1,24	-1,53	-1,72	-2,06
0,40	4,61	3,96	3,66	2,61	2,04	1,75	1,32	0,82	0,63	0,47	0,19	-0,07	-0,31	-0,57	-0,71	-0,85	-1,23	-1,52	-1,70	-2,03
0,45	4,72	4,04	3,74	2,64	2,06	1,76	1,32	0,82	0,62	0,46	0,18	-0,08	-0,32	-0,58	-0,71	-0,85	-1,22	-1,51	-1,68	-2,00
0,50	4,83	4,12	3,81	2,68	2,08	1,77	1,32	0,81	0,62	0,46	0,18	-0,08	-0,33	-0,58	-0,71	-0,85	-1,22	-1,49	-1,66	-1,96
0,55	4,94	4,20	3,88	2,72	2,10	1,78	1,32	0,80	0,62	0,45	0,16	-0,09	-0,34	-0,58	-0,72	-0,85	-1,21	-1,47	-1,64	-1,92
0,60	5,05	4,29	3,96	2,75	2,12	1,80	1,33	0,80	0,61	0,44	0,16	-0,10	-0,34	-0,59	-0,72	-0,85	-1,20	-1,45	-1,61	-1,88
0,65	5,16	4,38	4,03	2,78	2,14	1,81	1,33	0,80	0,60	0,44	0,15	-0,11	-0,35	-0,60	-0,72	-0,85	-1,19	-1,44	-1,59	-1,84
0,70	5,28	4,46	4,10	2,82	2,15	1,82	1,33	0,78	0,59	0,43	0,14	-0,12	-0,36	-0,60	-0,72	-0,85	-1,18	-1,42	-1,57	-1,81
0,75	5,39	4,54	4,17	2,86	2,16	1,83	1,34	0,78	0,58	0,42	0,13	-0,12	-0,36	-0,60	-0,72	-0,86	-1,18	-1,40	-1,54	-1,78
0,80	5,50	4,63	4,24	2,89	2,18	1,84	1,34	0,78	0,58	0,41	0,12	-0,13	-0,37	-0,60	-0,73	-0,86	-1,17	-1,38	-1,52	-1,74
0,85	5,62	4,72	4,31	2,92	2,20	1,85	1,34	0,78	0,58	0,40	0,12	-0,14	-0,38	-0,60	-0,73	-0,86	-1,16	-1,36	-1,49	-1,70
0,90	5,73	4,80	4,38	2,96	2,22	1,86	1,34	0,77	0,57	0,40	0,11	-0,15	-0,38	-0,61	-0,73	-0,85	-1,15	-1,35	-1,47	-1,66
0,95	5,84	4,88	4,46	2,99	2,24	1,87	1,34	0,76	0,56	0,39	0,10	-0,16	-0,38	-0,62	-0,73	-0,85	-1,14	-1,34	-1,44	-1,62
1,00	5,96	4,97	4,53	3,02	2,25	1,88	1,34	0,76	0,55	0,38	0,09	-0,16	-0,39	-0,62	-0,73	-0,85	-1,13	-1,32	-1,42	-1,59
1,10	6,18	5,13	4,67	3,09	2,28	1,89	1,34	0,74	0,54	0,36	0,07	-0,18	-0,41	-0,62	-0,74	-0,85	-1,10	-1,28	-1,38	-1,52
1,20	6,41	5,30	4,81	3,15	2,31	1,91	1,34	0,73	0,52	0,35	0,05	-0,19	-0,42	-0,63	-0,74	-0,84	-1,08	-1,24	-1,33	-1,45
1,30	6,54	5,46	4,95	3,21	2,34	1,92	1,34	0,72	0,51	0,33	0,04	-0,21	-0,43	-0,63	-0,74	-0,84	-1,06	-1,20	-1,28	-1,38
1,40	6,87	5,63	5,09	3,27	2,37	1,94	1,34	0,71	0,49	0,31	0,02	-0,22	-0,44	-0,64	-0,73	-0,83	-1,04	-1,17	-1,23	-1,32
1,50	7,09	5,80	5,23	3,33	2,39	1,95	1,33	0,70	0,47	0,30	0,00	-0,24	-0,45	-0,64	-0,73	-0,82	-1,02	-1,13	-1,19	-1,26
1,60	7,31	5,96	5,37	3,39	2,42	1,96	1,33	0,68	0,46	0,28	-0,02	-0,25	-0,46	-0,64	-0,73	-0,81	-0,99	-1,10	-1,14	-1,20
1,70	7,54	6,12	5,50	3,44	2,44	1,97	1,32	0,66	0,44	0,26	-0,03	-0,27	-0,47	-0,64	-0,72	-0,81	-0,97	-1,06	-1,10	-1,14
1,80	7,76	6,28	5,64	3,50	2,46	1,98	1,32	0,64	0,42	0,24	-0,05	-0,28	-0,48	-0,64	-0,72	-0,80	-0,94	-1,02	-1,06	-1,09
1,90	7,98	6,44	5,77	3,55	2,49	1,99	1,31	0,63	0,40	0,22	-0,07	-0,29	-0,48	-0,64	-0,72	-0,79	-0,92	-0,98	-1,01	-1,04
2,00	8,21	6,60	5,91	3,60	2,51	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	-0,08	-0,31	-0,49	-0,64	-0,71	-0,78	-0,90	-0,95	-0,97	-0,99
2,10			6,06	3,65	2,53	2,00	1,29	0,60	0,38	0,19	-0,10	-0,32	-0,49	-0,64	-0,70	-0,76	-0,88	-0,93	-0,93	-0,94
2,20			6,20	3,70	2,55	2,01	1,28	0,58	0,37	0,17	-0,11	-0,33	-0,49	-0,63	-0,69	-0,75	-0,85	-0,90	-0,90	-0,91
2,30			6,34	3,75	2,56	2,01	1,27	0,56	0,35	0,15	-0,12	-0,34	-0,49	-0,62	-0,68	-0,73	-0,82	-0,86	-0,86	-0,87
2,40			6,47	3,79	2,57	2,01	1,25	0,54	0,33	0,13	-0,14	-0,35	-0,50	-0,62	-0,66	-0,71	-0,79	-0,82	-0,82	-0,83
2,50			6,60	3,83	2,58	2,01	1,24	0,53	0,32	0,12	-0,15	-0,36	-0,50	-0,61	-0,65	-0,70	-0,77	-0,79	-0,79	-0,80
2,60			6,73	3,87	2,59	2,01	1,23	0,51	0,30	0,10	-0,17	-0,37	-0,50	-0,60	-0,64	-0,68	-0,74	-0,76	-0,76	-0,77
2,70			6,86	3,91	2,60	2,01	1,21	0,49	0,28	0,08	-0,18	-0,38	-0,50	-0,60	-0,63	-0,67	-0,72	-0,73	-0,73	-0,74
2,80			6,99	3,95	2,61	2,02	1,20	0,47	0,27	0,06	-0,20	-0,38	-0,50	-0,59	-0,62	-0,65	-0,70	-0,71	-0,71	-0,71
2,90			7,12	3,99	2,62	2,02	1,19	0,45	0,26	0,04	-0,21	-0,39	-0,50	-0,58	-0,61	-0,64	-0,67	-0,68	-0,68	-0,69
3,00			7,29	4,02	2,63	2,02	1,18	0,42	0,25	0,03	-0,23	-0,40	-0,50	-0,57	-0,61	-0,62	-0,65	-0,66	-0,66	-0,67

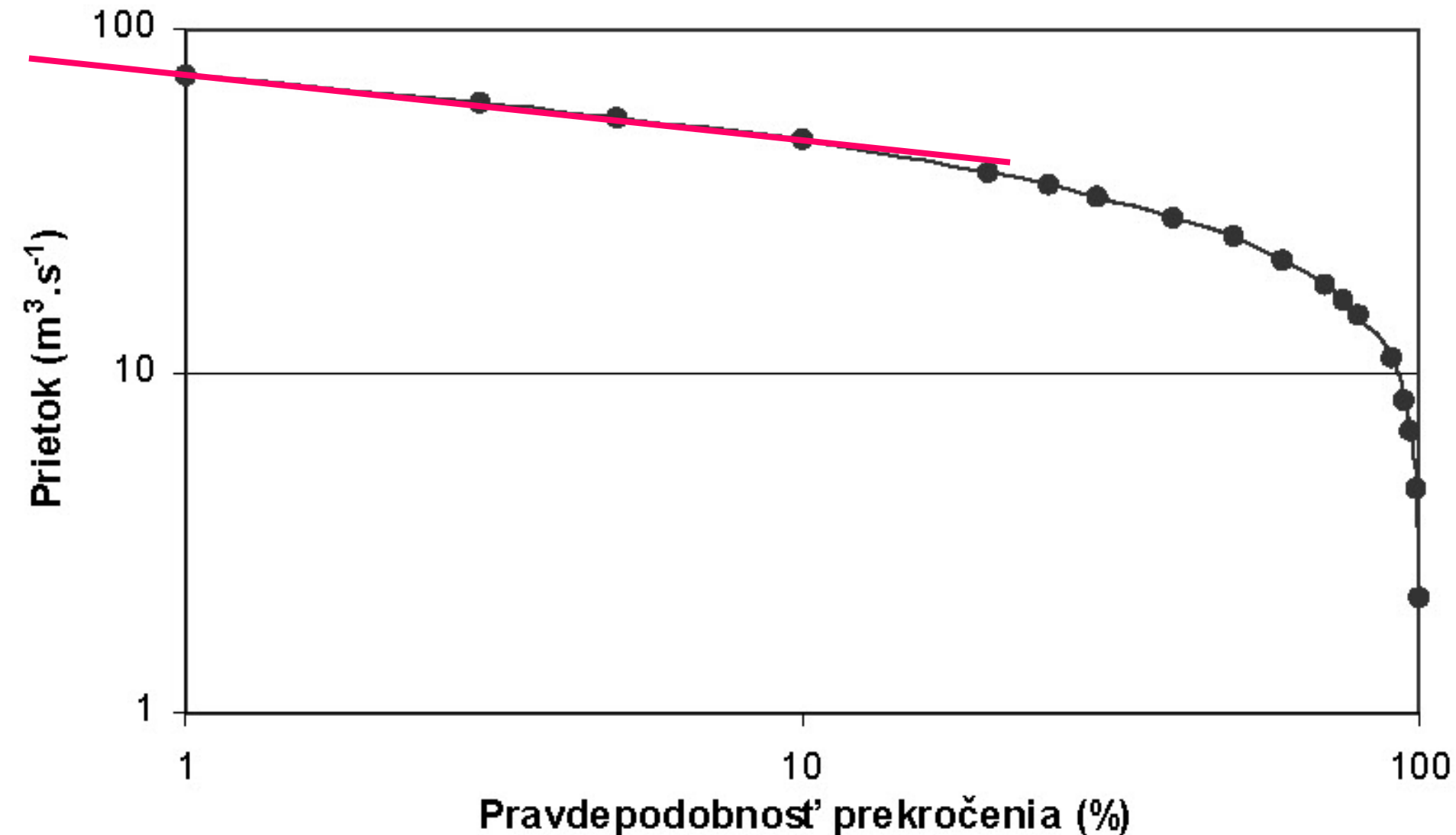


Ďalšie štatistické rozdelenia:

- **Logaritmicko - normálne rozdelenie**, ktoré je vhodné pri súboroch s veľkou asymetriou ($C_s > 3C_v$). U nás je využívané najmä pri maximálnych prietokoch.
- **Goodrichovo exponenciálne rozdelenie** (na hodnotenie maximálnych prietokov) najmä pri väčšom počte ročných kulminácií.
- **Weibullovo rozdelenie** (na hodnotenie minimálnych prietokov).
- **Gumbelovo rozdelenie**.
- Na základe Pearsonovej krivky odvodili svoju krivku **Krickij a Menkel'**, používa sa aj **logaritmický variant** Pearsonovej krivky.



Krivky prekročenia, či už empirické alebo teoretické, môžeme vykresliť buď v normálnej, semilogaritmickej alebo v logaritmickej sieti pravouhlých súradníc.



Režim prietokov – zmena prietokov v čase

je odrazom:

- zmien odtoku na ploche povodia,
- odtoku v korytách riečnej siete,
- prípadne aj zaplavovanej časti údolného dna (inundácia).

Povrchový odtok

Časové rozloženie odtoku vody z povodia súvisí so **zdrojom vodnosti riek.**

voda z dažďov,
voda z periodickej snehovej pokrývky,
voda z ľadovcov a z trvalej snehovej pokrývky (nad
snežnou čiarou)
podzemná voda.

Podiel každého z nich môže byť **rozličný** a svojim množstvom premenlivý **v čase a priestore.**

Je závislý na vlastnostiach celého **geografického prostredia povodia ako komplexu.**

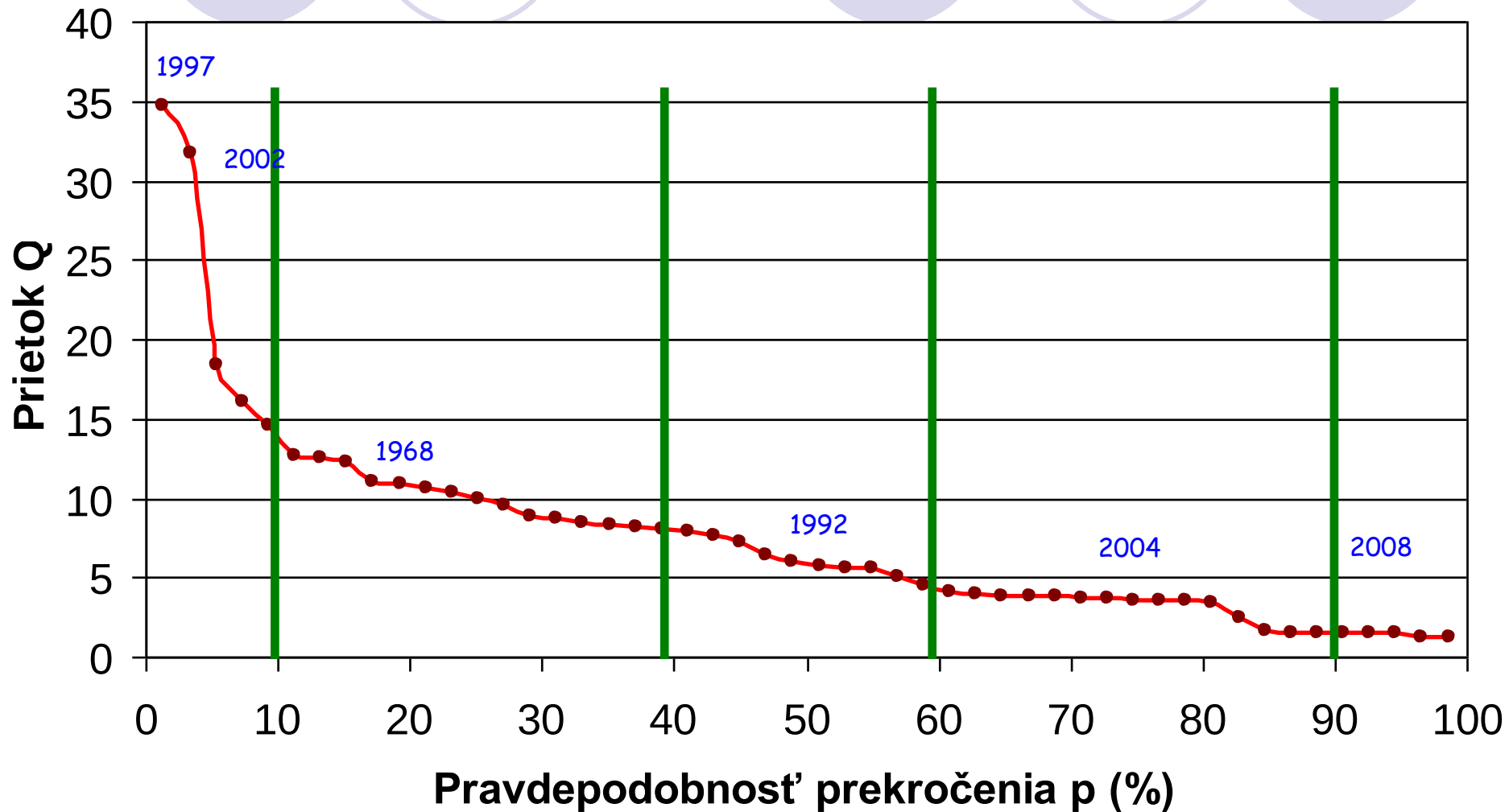
K posúdeniu **miery vodnosti riek** v jednotlivých rokoch je možné použiť pomer ročných prietokov a dlhodobého priemerného prietoku, t.j. Q_r/Q_a alebo $Q_r/Q_a \cdot 100\%$.

Pretože rady ročných prietokov tvoria súbor na sebe nezávislých veličín, je možné ročné vodnosti riek hodnotiť **pravdepodobnosťou prekročenia ročných prietokov** vyjadrenou v percentách (p%).

Miera vodnosti jednotlivých rokov

p%	slovné označenie	symbolické označenie
0 – 10	mimoriadne vodný rok	MV
11 – 40	vodný rok	V
41 – 60	priemerne vodný rok	P
61 – 90	málo vodný rok	S
91 – 100	mimoriadne málo vodný rok	MS

Čiara pravdepodobnosti prekročenia



- Aj v rámci jedného intervalu môže dochádzať k významnej variabilite hodnôt.
- Vyjadrujeme ju „Koeficientom nevyrovnanosti odtoku K_r “

$$K_r = \frac{\sum |p_i - 8,3|}{8,3},$$

kde p_i je percentuálny podiel mesačného odtoku na ročnom odtoku a 8,3 je konštanta.