

## KLASIFIKACE HYDROLOGICKÝCH ROKŮ PRAVDĚPODOBNOSTI PŘEKROČENÍ ROČNÍCH STAVŮ HLADINY PODZEMNÍ VODY

### ÚVOD

Podzemní voda je článkem v oběhu vody v přírodě, a to dosti významným. Vytváří v povodí zásoby, které jsou jedním ze zdrojů vyživování vodních toků a kterých využívá k rozličným účelům i lidská společnost. Množství vody, které se oběhu vody na určitém území zúčastňuje, se během jednotlivých hydrologických roků mění. Atmosférické srážky charakterisují vlhkost roků a množství vody odečtené z území vodními toky určuje jejich vodnost. Míra vlhkosti a vodnosti roků se dá stanovit metodami matematické statistiky, které se i u nás, možno říci běžně, používají. V podstatě stejnými metodami můžeme určit i vlastnosti hydrologických roků dané množstvím podzemní vody, pohybujícím se ve zvodněných horizontech nebo vytvářejícím jiné druhy zásob.

Ukazatelem změn zásob vody v území je kolísání hladiny podzemní vody, pozorované v sondách pro tyto účely speciálně zbudovaných nebo ve studnách. Hydrologický rok je pak charakterisován průměrným ročním stavem hladiny podzemní vody. První podmínkou správné klasifikace roků je pokud možno najpřesněji stanovená hodnota každého ročního průměru a z toho vyplývající hodnota dlouhodobého průměru. Správnost hodnoty ročního průměru závisí jednak na způsobu jeho určení a jednak na přesnosti pozorovacího materiálu.

Vhodnost použití některých způsobů hodnocení pozorovacího materiálu a výpočet hodnot potřebných pro klasifikaci hydrologických roků bych chtěl osvětlit na jednom z hydropedologických profilů, rozmístěných v trase plánovaného průplavu Odry—Dunaj. Tento profil je označen názvem PHP 4 Horní Moštěnice. Dvacet sond profilu je situováno ve směru zhruba Z—V na aluviální rovině Bečvy a Moštěnky, které je zčásti jejich bývalým inundačním územím, a to v prostoru mezi železniční tratí Přerov—Břeclav a východním okrajem Bochořského lesa. Rovina je na povrchu tvořena jemnozrnnými říčními sedimenty pleistocenního až recentního stáří, které dosahují mocnosti až 5 m. Pod nimi spočívá až 8 m mocná vrstva štěrkopísků rovněž říčního původu a pleistocenního stáří. Jejich podloží je miocenní souvrství jílu.

Ve vrstvě štěrkopísků je vyvinut proud podzemní vody, který jí vyplňuje v celé mocnosti. Hladina zvodněného horizontu je pod tlakem, na jednotlivých místech profilu a v různé roční době nestejně velikým. Sondy zasahují svým dnem ponejvíce jen do syplých hlinitých písků nebo hlín, které leží tesně na svrchní ploše štěrkopísků. Hladina vody v sondách představuje negativní piezometrickou úroveň. Zvodněný horizont je sice v hydraulickém spojení s korytem Bečvy, ale toto spojení je takového rázu, že vliv kolísání vodních stavů se v režimu podzemní vody přímo neuplatňuje, neboť nejbližší sonda profilu je od řeky vzdálena více než 4 km a za každé situace je viditelný spád hladiny podzemní vody směrem k řece.

Poloha hladiny podzemní vody je však značně ovlivňována zářezy odvodňovacích příkopů, které profil protínají a z nich obzvláště uměle zahlobeným korytem potoka

Moštěnky. Po melioračních úpravách krajiny, intensivně zemědělsky využívané, a po regulaci Bečvy v Přerově, dokončené r. 1912, hladina podzemní vody se v celém území snížila a zabránilo se postupně i inundacím. Takové jsou zhruba poměry území v okolí uvedeného profilu, kterých si musíme být při studiu režimu podzemní vody vždy vědomi.

#### STANOVENÍ PRŮMĚRNÝCH ROČNÍCH STAVŮ HLADINY PODZEMNÍ VODY A DLOUHODOBÉHO PRŮMĚRU

Poněvadž se hladina vody v sondách zaměřuje jen jednou týdně, máme k výpočtu průměrných ročních stavů  $H_i$  k dispozici 52 nebo nejvíce 53 zjištěných hodnot. Z nich můžeme určit roční průměr dvěma způsoby, a to jako prostý aritmetický průměr z podílu součtu všech hodnot a jejich počtu ( $H_i = \frac{\sum H}{n}$ ) anebo grafickou metodou z čáry stavů hladiny podzemní vody. Zdálo by se, že výsledky získané grafickou metodou budou přesnější. Ve skutečnosti je rozdíl ve výsledcích získaných oběma způsoby nepatrný a nedosahuje ani 2 ‰, jak je vidět z tab. 1. Pro ilustraci jsem v tabulce použil jednak měření v profilu PHP 4, jednak stavů v profilu PHP 22, který se rozkládá v typickém inundačním území řeky Moravy u Lanžhota. I tu má zvodněný horizont hladinu pod tlakem. V profilu PHP 4 jsou výkyvy hladiny vody v sondách většinou pozvolné a její kolísání plynulé. V profilu PHP 22, kde je zvodněný horizont v přímém hydraulickém spojení s korytem řeky Moravy, podléhá hladina vody v sondách častým, náhlým a značným výkyvům, způsobeným rychlými změnami tlaku, vyvolanými kolísáním vodních stavů. Ačkoliv se jedná o zcela odlišné vlastnosti kolísání hladiny, přece nedosahují rozdíly v různém výpočtu ročních průměrů ani v nejvíce nepříznivém případě (PHP 22 S<sub>8</sub>) takové hodnoty, abychom je nemohli zanedbat. Nemáme-li tedy k dispozici čáry stavů hladiny jednotlivých sond, spokojíme se stanovením ročního průměru početní metodou, která je v takovém případě méně náročná na čas i pracovní výkon a dává dobré výsledky. Při určování měsíčních průměrů bude však grafická metoda vhodnější.

Aby hodnoty ročních průměrů mohly charakterisovat určité hydrologické vlastnosti roků a tím i režim podzemní vody vůbec, je třeba, aby byly srovnávány se stálou veličinou, která je k nim v určitém vztahu. Touto veličinou je dlouhodobý průměr  $\bar{H}$ . Přesnost jeho určení se řídí délkou řady „n“ roků, ze kterých se odvozuje jako jejich aritmetický průměr. Proto je třeba, abychom si zabezpečili co nejdélší řadu spolehlivých ročních průměrů. Tato podmínka není tak ležce splnitelná, jak se na první pohled zdá. Pozorovací materiál musí být totiž pečlivě kriticky zhodnocen a zrevidován a také doplnění chybějících údajů si vyžaduje značné péče, jak je vidět z následující tab. 1.

Tabulka 1

PHP 4 S <sub>1</sub>		PHP 4 S <sub>19</sub>		PHP 22 S <sub>8</sub>		PHP 22 S <sub>23</sub>		Profil a sonda	
1941	1947	1941	1947	1941	1947	1941	1947	Rok	
153	220	177	175	204	318	157	276	H <sub>i</sub> cm planimetrováním	
154	220	177	177	201	314	155	277	H <sub>i</sub> cm aritm. průměr	

Vzhledem k tomu, že hladina podzemní vody byla na Moravě soustavně pozorována na větších územních celcích v některých hydrologických profilech teprve od r. 1934 a v jiných až od r. 1941 (pouze v plánované trase průplavu Odra—Dunaj), máme dnes k dispozici období nanejvýše 23 nebo 18 roků nebo prakticky dvacetileté a patnáctileté. Tato období mohou být náhodná, ne dosti dobře reprezentativní, a dlouhodobý průměr z nich odvozený nemusí mít vlastnosti dlouhodobé průměrné hodnoty.

Jedním z možných způsobů, jak se přesvědčit o reprezentativnosti kratšího období, je srovnávat průměrné srážky nebo odtok takového období s jejich normálem, t. j. se skutečnou dlouhodobou hodnotou. Srážek můžeme použít tam, kde se dá zjistit nebo s největší pravděpodobností předpokládat, že je režim podzemní vody výhradně pod jejich vlivem, a odtoků tam, kde je nejvíce ovlivňován vodními stavy řek. Nesmíme však přitom zapomínat na vliv umělých zásahů do přirozených poměrů území, který se projevuje obzvláště u podzemních vod tak pronikavě a rychle, že vliv dlouhodobých změn přirozených činitelů zatlačuje zcela do pozadí. Z tohoto důvodu jsme prozatím velmi často nuceni použít dlouhodobé průměry, odvozené i z kratších období, jako jediné srovnávací hodnoty. Studium srážek a odtoků nám však ukáže v každém případě, zda se jednalo o období nadprůměrně nebo podprůměrně vlhké anebo vodné, a dále, zda se v takovém období vyskytly roky mimořádně vlhké či vodné a mimořádně suché. Výskyt roků těchto vlastností je další podmínkou reprezentativnosti období.

Zhodnotíme-li z tohoto hlediska pro profil PHP 4 období 1941—1955, pak bylo srážkově slabě podprůměrné ( $S_{1941-1955} = 626$  mm oproti  $S_{1906-1955} = 654$  mm). Mimořádně vlhký rok se v něm nevyskytl vůbec a jen hydrologický rok 1948 se blížil hranici takového roku. Zato však se v tomto období vyskytly 3 roky mimořádně suché. Podle odtoku na Bečvě pod Přerovem (vodočet-stan. Dluhonice) a na Moravě u Kroměříže se v tomto období vyskytl podle A. Čerkašína (1) jeden rok mimořádně vodný, a to 1941 a jeden mimořádně suchý (1954) (tab. 8).

Další okolností, která může být důležitou při hodnocení reprezentativnosti období, je výskyt srážkově mimořádně vlhkého a mimořádně suchého chladného půlroku. Chladného proto, že v něm probíhá nejintenzivnější vyživování zvodněného horizontu, které může mít vliv i na výšku hladiny podzemní vody v teplém pololetí. Po této stránce vyhovuje období 1941—1955 pro profil PHP 4 mnohem lépe, neboť se v něm vyskytly alespoň jednou chladné půlroky se srážkami okolo 50 % a 150 % jejich dlouhodobého průměru (100 %). Jako dostatečně reprezentativní nelze však období 1941—1955 prohlásit. Podle všech známek odpovídá spíše období poněkud suššímu a dlouhodobý průměrný stav hladiny je poněkud nižší.

Pravděpodobnou chybu dlouhodobého průměru, stanoveného z pozorovacího materiálu, můžeme určit podle vzorce:

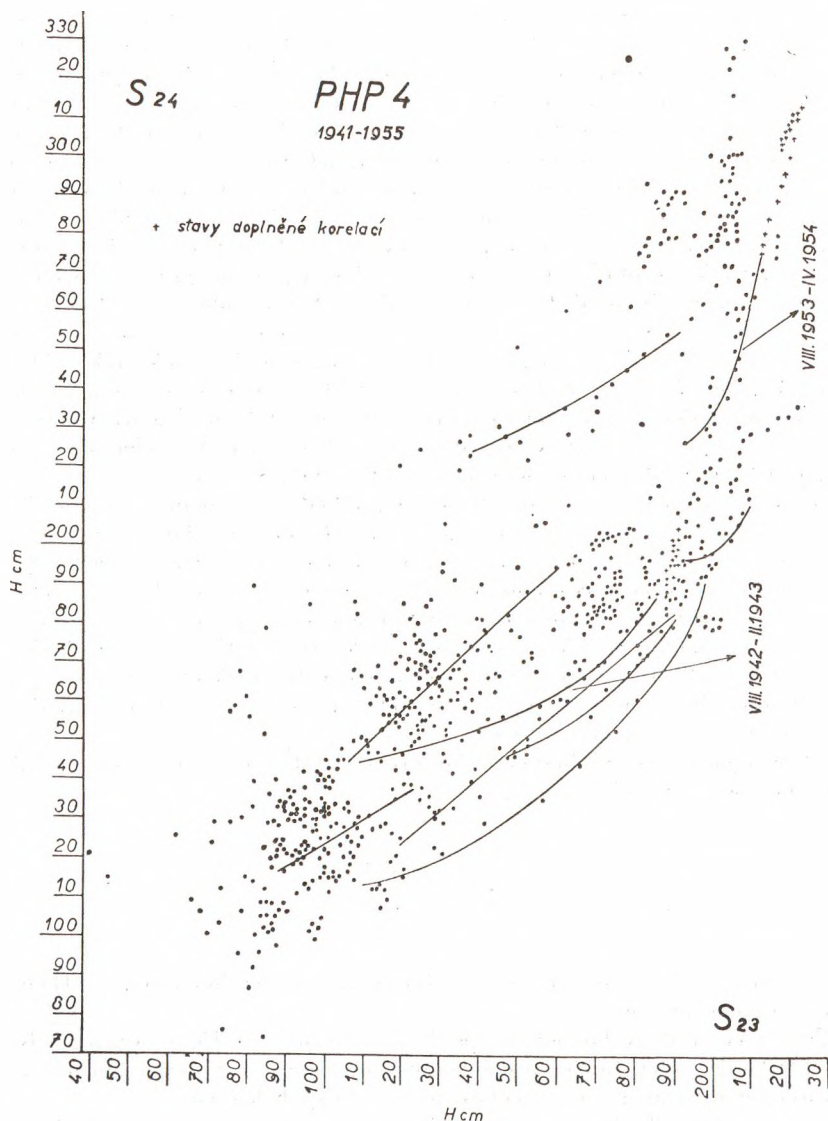
$$\sigma \text{ ‰} = \frac{100 C_v}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

kde  $C_v$  = variační koeficient a „ $n$ “ = počet roků, z nichž byl odvozen. Hodnotu  $C_v$  vypočítáme podle vzorce 5.

V tab. 4 jsou uvedeny hodnoty  $C_v$ ,  $\sigma \text{ ‰}$  i  $\sigma$  cm při  $n = 15$ , a to pro sondy celého profilu PHP 4. Je vidět, že chyba dlouhodobého průměru nedosahuje ani u sond s největší variabilitou ročních stavů hladiny příliš vysokých hodnot.

Roční průměry a dlouhodobé průměrné stavy hladiny, uvedené v tab. 4, byly vypočítány z pozorovacího materiálu již doplněného a kriticky zhodnoceného.

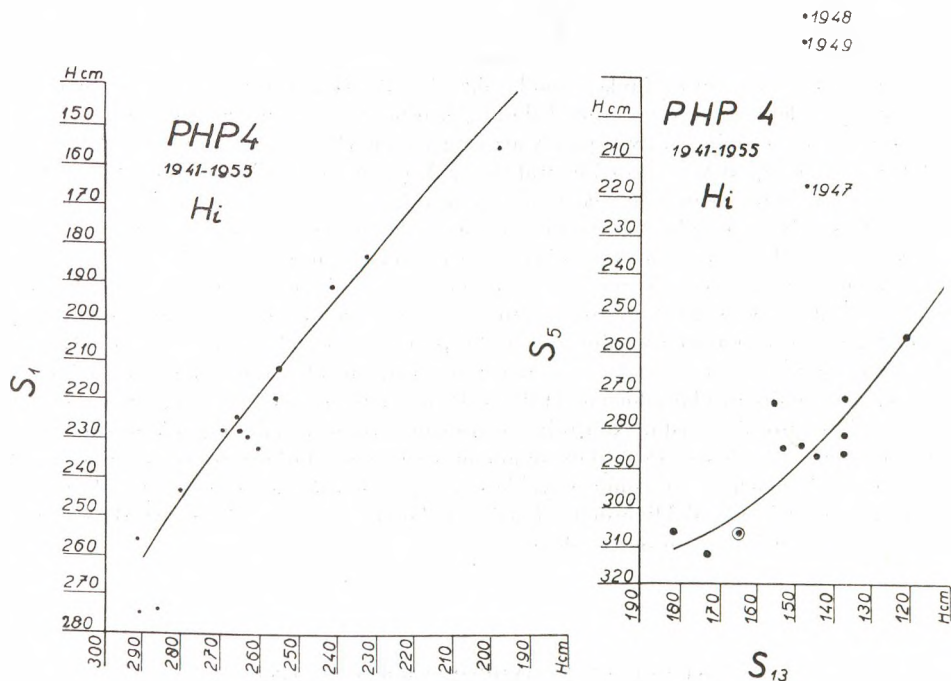
Pozorovatel neměřil hladinu z různých příčin buď u všech sond profilu, nebo jen u některých, a to po dobu jak několika týdnů, tak i několika měsíců. Obzvláště dlouhé mezery v pozorování vznikly tenkrát, když hladina klesla velmi nízko a sonda, částečně zanesená, vyschla. Ve snaze získat souvislou a pokud možno nejdelší řadu stavů hladiny, ať již týdenních nebo ročních, jsme nuceni tyto mezery doplnit.



Obr. 1. Vztah mezi týdenními stavy hladiny podzemní vody z období 1941—1955.

Chybí-li pozorování v celém profilu z období ne příliš delšího než 1 měsíc, můžeme použít čar stavů hladiny. V mezeře pozorování je doplníme s přihlédnutím na jejich předechozí a následující průběh a na možný vliv atmosférických srážek.

Když chybí údaje o stavu hladiny v ojedinělých sondách, a to jak z několika týdnů tak i z několika měsíců, použijeme grafické korelační metody. Zjistíme, zda existuje vztah mezi kolísáním hladiny těchto sond a sousedních sond s úplným pozorováním. Při používání této metody se doporučuje, aby byl vztah hledán pokud možno



Obr. 2. Vztah ročních stavů hladiny podzemní vody.

Obr. 3. Vztah ročních stavů hladiny podzemní vody.

z nejdelšího období, v našem případě tedy z celých 15 roků. Takový vztah bývá však velmi volný, jak ukazuje obr. 1. Je to snadno vysvětlitelné, neboť hladina vody v sondách, které nejsou dolními perforovanými částmi zapuštěny až ve zvodněných štěrkopiscích, ale sahají obvykle do nejspodnější, propustné části krycí vrstvy, reagují na změny tlaku ve zvodněném horizontě různě rychle.

Delší mezery v pozorování spadaly v profilu PHP 4 většinou do období, v němž hladina ležela ve velmi nízké úrovni a jevila stálou tendenci poklesu. V období několika týdnů před mezerou se dal zjistit vztah velmi těsný, body se daly proložit přímkou nebo křivkou matematicky těžko vyjádřitelnou. Tento vztah platil však vždy jen pro dané období. V jiném období měl zcela jiný průběh, jak je vidět z obr. 1. Korelační čáry odvozené z kratšího časového úseku velmi dobře vyhovovaly. Při jejich použití je možno se dopustit větší chyby jediné v jednom nebo nanejvýše ve dvou termínech,



předcházejících opětnému zaměřování, umožněnému zdvihem hladiny, který není ve všech sondách časově shodný. Z uvedených příčin je grafická metoda výhodnější než početní. Můžeme jí použít i tenkrát, jedná-li se o zvodněný horizont, v němž sondy reagují především na výkyvy vodních stavů řek.

I když je pozorovací materiál zcela doplněn, je třeba jej celý pečlivě zrevidovat. Ojedinelé větší chyby jsou nápadné, lze je snadno zjistit a opravit. Abychom vyloučili delší souvislou řadu chyb, které mohou vyplynout ze špatné funkce sondy, zaviněné různými příčinami, je nutné, vzhledem k zaměření naší práce, srovnávat roční stavy hladiny dvou sousedních sond nebo těch, u nichž předpokládáme, že podléhají účinkům stejných vnějších vlivů. V profilu PHP 4 byl vztah mezi ročními stavy pouze korelační. V prvních letech pozorování byl těsnější než v posledních, což souvisí zřejmě s postupným zhoršováním funkce sond (obr. 2 a 3). Roční stavy, které se nápadně vymykají z pole bodů a které s přihlédnutím k ostatním sondám nemůžeme považovat ani za náhodné, je třeba opravit, poněvadž jsou zřejmě chybné. Takový případ je dobře vidět z obr. 3. Oprava se provádí graficky z korelační čáry. V profilu PHP 4 bylo nutné opravit tímto způsobem rok 1947 u sondy č. 5 a roky 1948 a 1949 u sond č. 4 a č. 5. U sondy č. 4 byla oprava provedena podle sondy č. 3 a u sondy č. 5 podle sondy č. 13. Dále byly takto kontrolovány a případně opraveny i roky, v nichž byly několikaměsíční mezery týdenních stavů doplněny grafickou korelační metodou. Opravené nebo odvozené roční stavy jsou v tab. 4 označeny závorkou za číslem (na př. 288/.)

Doplnění i revise pozorovacího materiálu jsou časově velmi náročné. Někdy jsou obtížné i proto, že jsou prováděny se značným časovým odstupem od vykonaného měření. Kdyby hydrologické oddělení HMU v Brně, které je pověřeno organizací pozorování, mohlo provádět častou kontrolu pozorování přímo v terénu a okamžitou revizi měsíčních pozorovacích výkazů, daly se mnohé vážné nedostatky v pozorování odstranit. To by přispělo nejen ke snazšímu a rychlejšímu zpracování celého materiálu, ale i k dosažení přesnějších a spolehlivějších výsledných hodnot. Proto měl být HMU pro tyto účely vybaven početnějším personálem.

## KLASIFIKACE HYDROLOGICKÝCH ROKŮ

Klasifikace jednotlivých hydrologických roků (XI—X) podle průměrných ročních stavů hladiny podzemní vody metodami matematické statistiky nebyla u nás zatím vůbec prováděna a nejsou mě známy ani z cizí literatury případy jejího použití. Užitím metod matematické statistiky lze totiž získat obecné charakteristiky, které mají všeobecný srovnávací význam. Jde o vyjádření členů řady ročních stavů hladiny pravděpodobností jejich výskytu. To je možné, neboť kolísání ročních stavů hladiny je jevem náhodným a mezi dvěma sousedními hydrologickými roky je jen malá závislost. Řadu průměrných ročních stavů můžeme proto považovat za složenou ze statisticky nezávislých členů. Používáme přitom podle metod matematické statistiky empiricky nebo teoreticky odvozené čáry překročení, přičemž v obou případech je východiskem pro jejich konstrukci dlouhodobý průměr. Z něho a z dalších parametrů křivky můžeme sestavit celou řadu ročních hodnot rozličné pravděpodobnosti překročení.

Pravděpodobnost překročení hodnot jednotlivých členů řady, určených absolutním číslem, vyjadřuje se jako relativní četnost obvykle v procentech. Máme-li tedy v našem případě řadu členů o počtu „n“, je pravděpodobnost překročení „m“ téhož člena v procentech

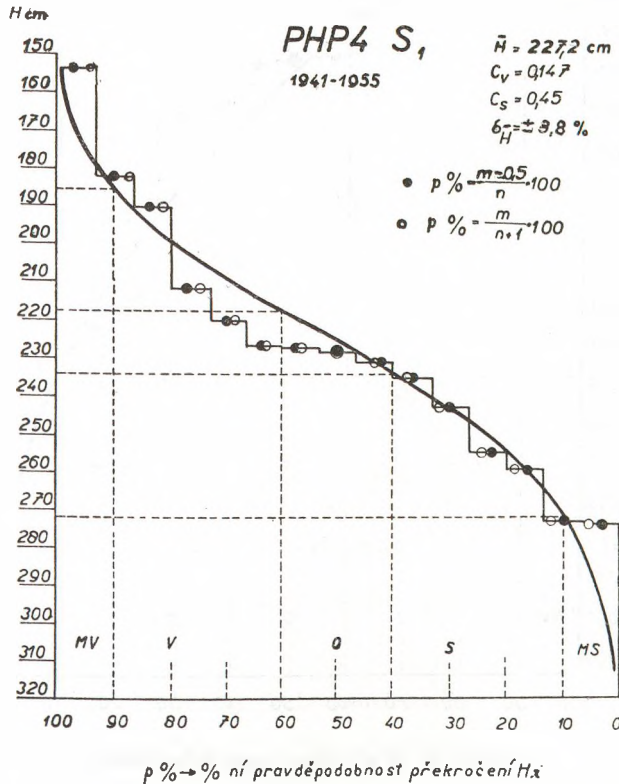
$$p \text{ (‰)} = \frac{m - 0,5}{n} \cdot 100, \text{ nebo} \quad (2)$$

$$p \text{ (‰)} = \frac{m}{n + 1} \cdot 100, \text{ nebo} \quad (3)$$

$$p \text{ (‰)} = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100. \quad (4)$$

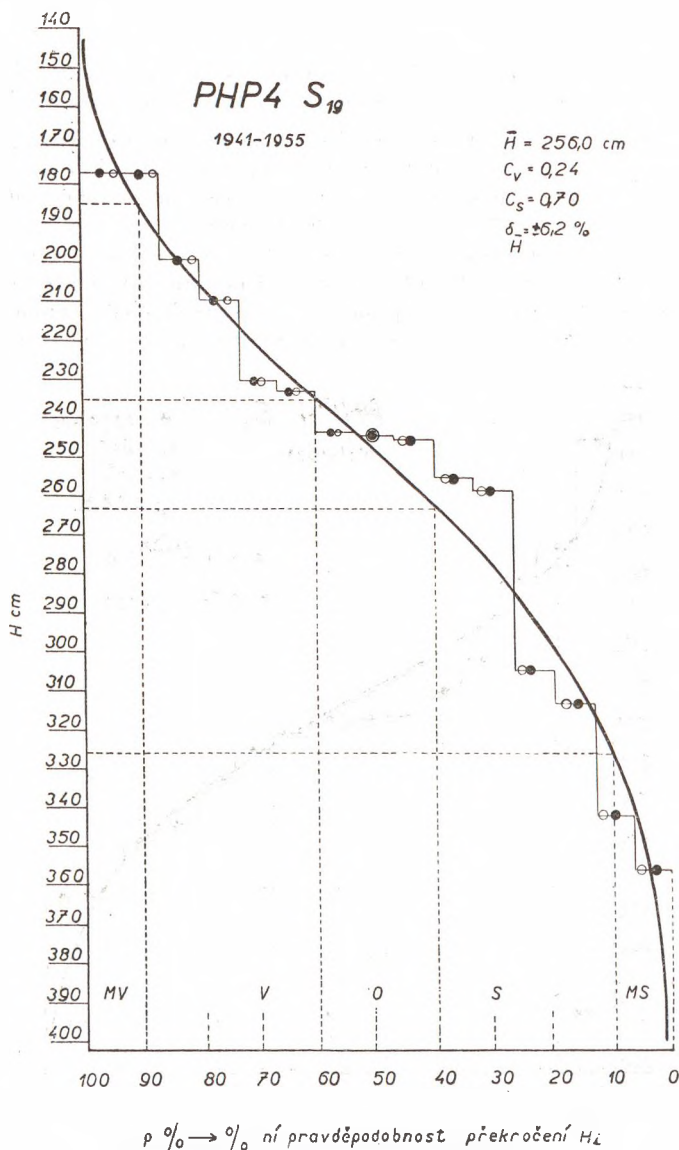
Rozdíly ve výsledcích při použití těchto tří vzorců jsou uvedeny v tab. 2. Výsledky podle vzorce (4) jsou průměrem výsledků dosažených použitím vzorců (2) a (3).

Takto charakterisované roční průměry by našim účelům vyhovovaly velmi málo, neboť při malém počtu členů se stává, že hodnoty průměrů velmi sobě blízkých odpovídají značně odlišným hodnotám jejich pravděpodobnosti překročení. Vyneseme-li procenta pravděpodobnosti překročení ročních průměrů do soustavy pravoúhlých souřadnic, je jejich vyrovnání křivkou často dosti obtížné, a to zvláště v oblasti nejmenších a největších pravděpodobností. Podobně je tomu i při konstrukci čáry překročení vyrovnáváním stupňovité čáry ročních průměrů, sestavených podle velikosti v sestupné řadě (viz obr. 4 a 5). Nejpřijatelnější způsob je konstruovat teoreticky odvozenou čáru



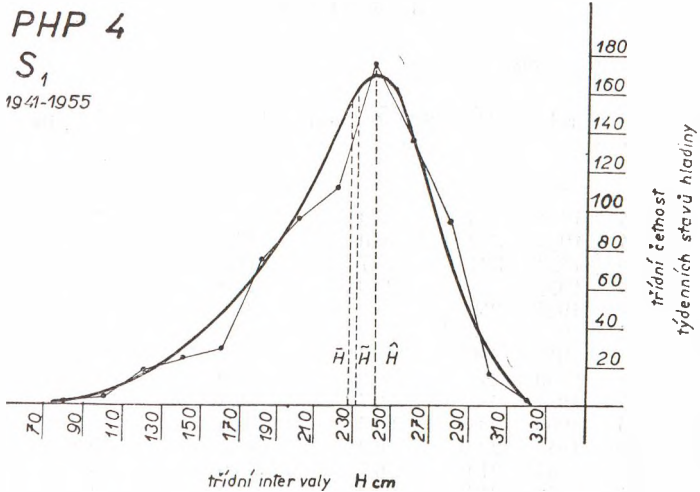
Obr. 4. Teoreticky odvozené čáry překročení ročních stavů hladiny podzemní vody v pravoúhlé síti souřadnic.

překročení podle Pearsonovy křivky III. typu, určenou třemi parametry, jimiž jsou variační koeficient  $C_v$ , míra asymetrie  $C_s$  a dlouhodobý průměr  $\bar{H}$ . Tato křivka nejlépe vyhovuje asymetrickému rozložení četnosti výskytu ročních stavů hladiny (obr. 4 a 5) a zvláště týdenních stavů hladiny, jak je vidět na polygonech četnosti na obr. 6 a 7.

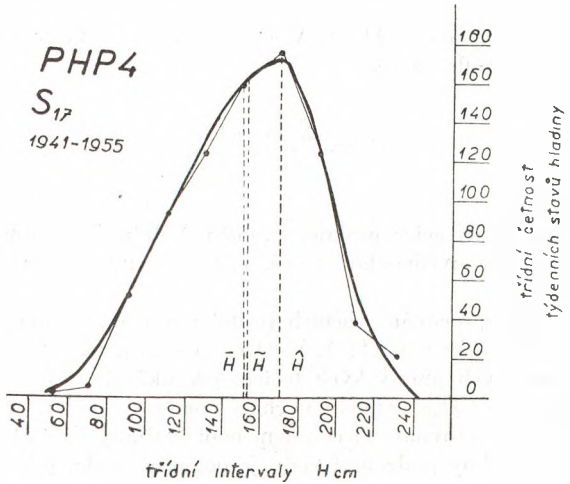


Obr. 5. Teoreticky odvozené čáry překročení ročních stavů hladiny podzemní vody v pravoúhlé síti souřadnic.





Obr. 6. Polygony četností týdenních stavů hladiny podzemní vody.



Obr. 7. Polygony četností týdenních stavů hladiny podzemní vody.

Pro výpočet variačního koeficientu  $C_v$  lze použít vzorce:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (k_i - 1)^2}{n - 1}} \quad (5)$$

kde  $k_i = \frac{H_i}{\bar{H}}$  a „n“ = počet členů řady ročních stavů hladiny. Je všeobecně známo

Tabulka 2

Poř. č.	S <sub>1</sub>		S <sub>19</sub>		p <sup>0</sup> / <sub>0</sub>			z čar překročení	
	rok	H cm	rok	H cm	$\frac{m-0,5}{n} \cdot 100$	$\frac{m}{n+1} \cdot 100$	$\frac{m-0,3}{n+0,4} \cdot 100$	S <sub>1</sub>	S <sub>19</sub>
1	1952	274	1954	356	3,3	6,2	4,5	9	6,5
2	1949	274	1953	342	10,0	12,5	11,0	9	9
3	1954	260	1952	331	16,7	18,8	17,5	16	11
4	1944	256	1955	305	23,3	25,0	24,0	20	19
5	1943	244	1944	259	30,0	31,2	30,5	30	43
6	1948	232	1943	256	36,7	37,5	37,0	41	46
7	1946	229	1946	246	43,3	43,8	43,5	43	51
8	1955	228	1949	245	50,0	50,0	50,0	46	52
9	1951	227	1951	244	56,7	56,2	56,5	46	53
10	1950	224	1950	234	63,3	62,5	63,0	50	59
11	1947	220	1945	230	70,0	68,8	69,5	54	62
12	1945	212	1947	210	76,7	75,0	76,0	64	76
13	1953	191	1948	210	83,3	81,2	82,5	88	76
14	1942	182	1942	200	90,0	87,5	89,0	92	88
15	1941	154	1941	177	96,7	93,8	95,4	99,5	94

(O. Dub, 6; A. A. Lučševa, 11; A. V. Ogievskij, 13), že chyba vypočítaného Cs z řady o 15 členech podle vzorce

$$C_s = \frac{\sum (k_i - 1)^3}{(n - 1) \cdot C_v^3} \quad (6)$$

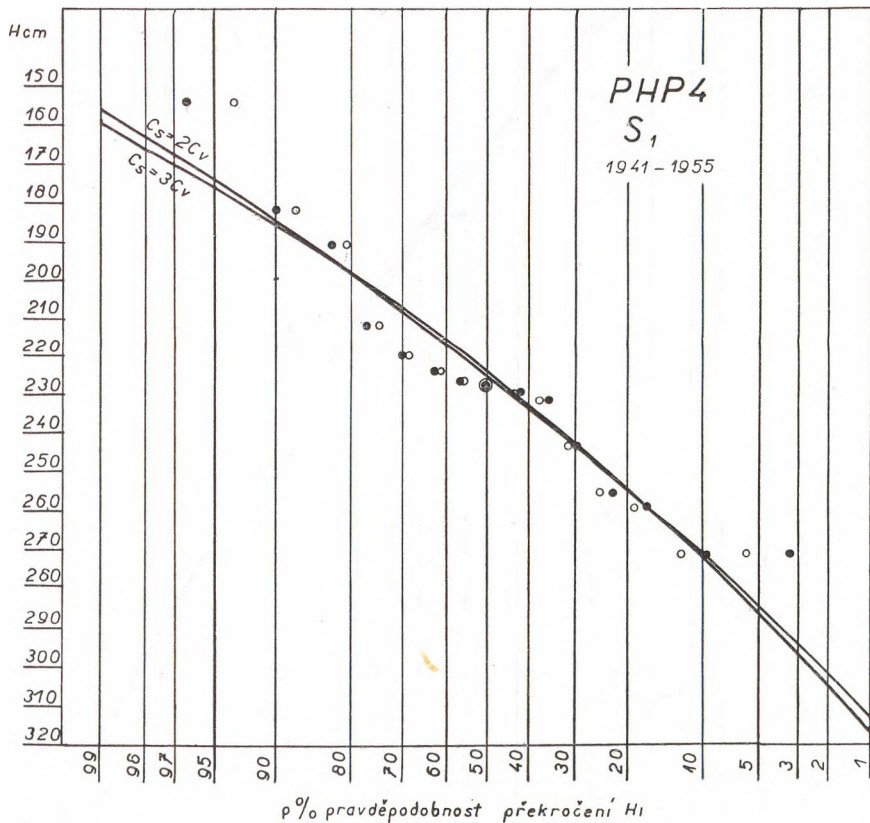
je tak velká (63<sup>0</sup>/<sub>0</sub>), že jej nelze prakticky použít. V tab. 3 uvádím pro ilustraci hodnoty Cs vypočtené podle uvedeného vzorce, jakož i poměr Cv : Cs pro několik sond profilu PHP 4.

V hydrologii se při zpracování ročních průtoků používala hodnota Cs = 2 Cv (O. Dub, 6, 8, 9; A. A. Lučševa, 11; A. V. Ogievskij, 13; M. Čermák, 3, 4, 5), ačkoliv např. na mnohých moravských tocích, jak ukázal A. Čerkašín (1), tento poměr nevyhovuje a ve 43<sup>0</sup>/<sub>0</sub> případů vychází poměr Cs = 2,5 Cv. Je též známo, že jezerní a horské řeky s vyrovnaným odtokem mají hodnoty Cs > 2 Cv. Poněvadž variabilita ročních stavů hladiny podzemní vody je poměrně malá, jak o tom svědčí nízké

Tabulka 3

Sonda č.	1	2	3	5	19	20	21
Cv	0,147	0,097	0,042	0,045	0,24	0,28	0,25
Cs	0,49	0,82	0,19	0,41	0,70	0,91	1,1
Cv:Cs	1:3,3	1:8,4	1:4,5	1:9,1	1:2,9	1:3,2	1:4,4

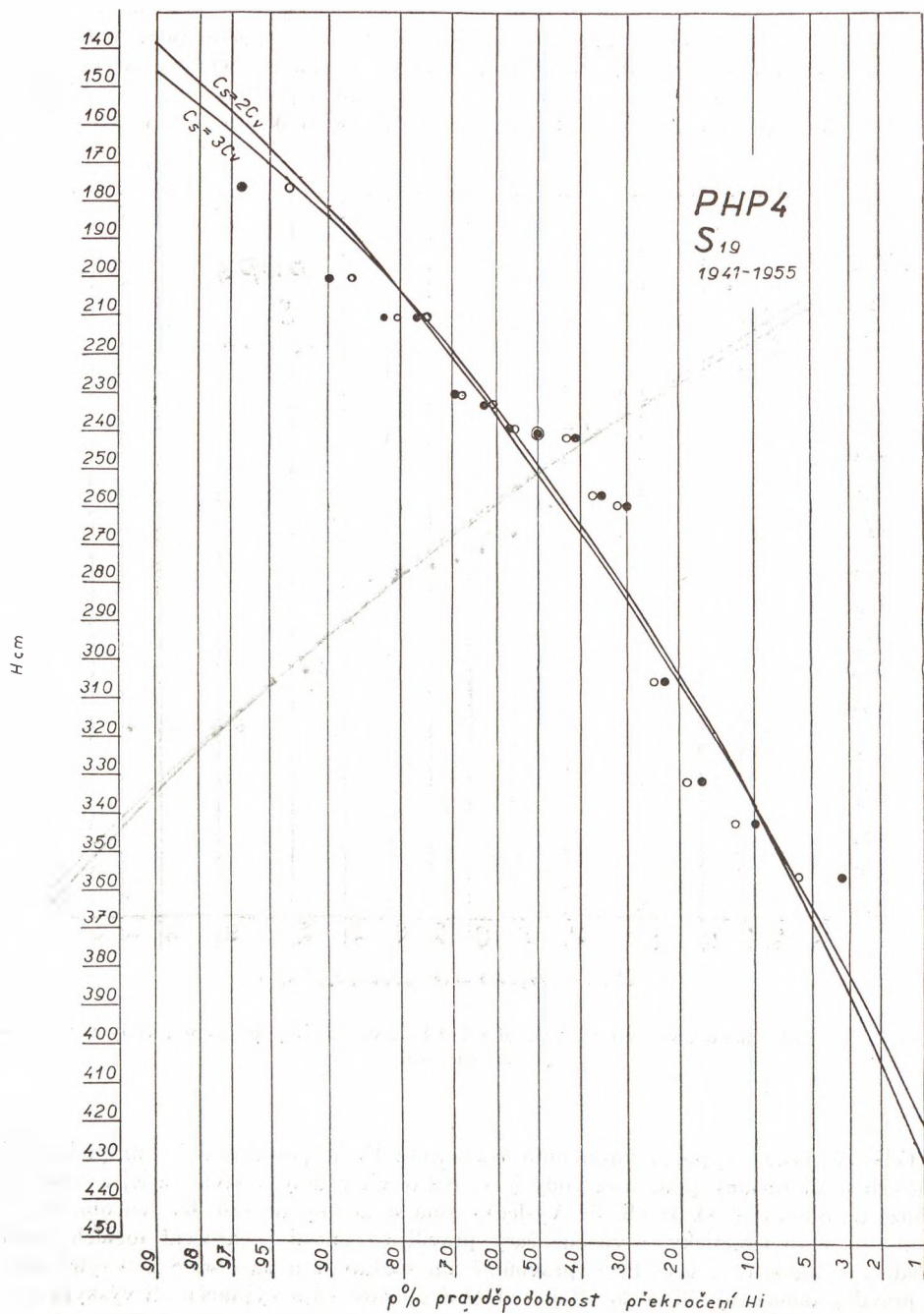
hodnoty  $C_v$ , dá se použít stejného poměru mezi  $C_s$  a  $C_v$  jako u vyrovnaných toků, t. j.  $C_s = 3C_v$ . Při nízkých hodnotách  $C_v$  jsou při použití různého poměru  $C_s$  k  $C_v$  rozdíly ve výsledcích v rozsahu ročních stavů překročených 10–90 % velmi malé, jak je vidět z tab. 5. Můžeme je proto dobře srovnávat jak s průtoky, tak i se srážkami stejnými procenty překročenými, ale stanovenými za předpokladu poměru  $C_s = 2C_v$ .



Obr. 8. Teoreticky odvozená čára překročení ročních stavů hladiny podzemní vody v pravděpodobnostní síti.

Celkový postup výpočtu variačního koeficientu  $C_v$  a pravděpodobnosti překročení ročních stavů hladiny podzemní vody je v hydrologii známý, neuvádím jej a odkazuji pouze na literaturu (O. D u b, 6). Výsledky jsou sestaveny do tab. 6 a na obr. 4 a 5 jsou vyneseny teoreticky odvozené čáry pravděpodobnosti překročení ročních stavů hladiny v sondě č. 1 a č. 19 v pravoúhlé síti souřadnic a na obr. 8 a 9 tytéž čáry v pravděpodobnostní síti. Tato síť je výhodná pro určování výjimečnosti výskytu ročních průměrů dosahujících velmi vysokého a velmi nízkého procenta překročení.

Při sestavování tab. 6 a při konstrukci čar překročení je třeba přihlížet k tomu, že hladina podzemní vody je udána hloubkou od koty vrcholu výpažnice. Proto jsou



Obr. 9. Teoreticky odvozená čára překročení ročních stavů hladiny podzemní vody v pravděpodobnostní síti.

Tabulka 4

Roční stavy hladiny podzemní vody  $H_i$  cm

PHP 4 - Horní Moštčnice

Rok	Sonda číslo																
	1	2	3	4	5	8	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1941	154	200	411	369	256	144	121	132	115	108	133	177	130	130	70	90	57
1942	182	234	450	407	282	123	138	152	137	129	156	200	163	137	91	110	64
1943	244	280	482	430	307	141	165	177	169	167	206	256	212	180	115	166	81
1944	256	292	468	425	307	158	164	174	164	167	204	259	220	182	115	155	80
1945	212	256	460	417	287	142	144	158	144	141	178	230	183	157	100	144	71
1946	229	264	453	414	273	152	155	162	159	158	194	246	203	170	101	141	79
1947	220	257	433	395	280/	140	147	140	146	131	148	210/	175	148	110	127	67
1948	232	261	427	384/	288/	142	148	147	148	150	178	210	184	154	102	131	63
1949	274	286	426	384/	288/	148	148	155	159	161	201	245	209	162	108	137	64
1950	224	266	441	400	286	137	138	147	142	135	175	234	186	146	95	130	63
1951	227	270	453	392	288	159	153	150	143	137	176	242	183	166	111	135	47
1952	274	290	452	432	311	170	173	183	187	185	238	331/	290/	257/	185/	186	47
1953	191	243	450	405	285	168	148	158	155	158	231	342/	310/	256	176/	192	44
1954	260	299	468	426	306	185	182	195	204	207	275	356/	333/	284	205/	211/	88
1955	228	265	448	406	283	186	142	147	150	164	223	305	277	202	144	174	77
H	227,2	264,2	448,1	405,7	288,4	153,0	150,0	158,3	154,8	153,1	194,2	256,0	212,0	182,0	122,0	148,4	66,0
Cv	0,147	0,097	0,042	0,046	0,045	0,12	0,10	0,10	0,136	0,16	0,192	0,24	0,28	0,25	0,31	0,218	0,202
Cs	0,45	0,30	0,15	0,15	0,15	0,35	0,30	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,90	0,75	0,90	0,65	0,60
$\sigma^{\%}_0 \pm$	3,8	2,5	1,1	1,2	1,3	3,1	2,6	2,6	3,5	4,1	5,0	6,2	7,2	6,4	8,0	5,6	5,2
$\sigma_{cm} \pm$	8,6	6,6	4,9	4,9	3,7	4,7	3,9	4,1	5,4	6,3	9,7	15,8	15,2	11,6	9,8	8,3	3,4



PHP 4 S<sub>1</sub>  $\bar{H} = 227,2$  cm  $C_v = 0,147$

p %	0,1	1	10	40	50	60	90	99	99,9	
Cs = 0,30	338	314	272	234	226	217	185	156	138	Cs = 2 C <sub>v</sub>
Cs = 0,45	352	317	272	233	224	216	186	159	145	Cs = 3 C <sub>v</sub>

PHP 4 S<sub>10</sub>  $\bar{H} = 256,4$  cm  $C_v = 0,24$

p %	0,1	1	10	40	50	60	90	99	99,9	
Cs = 0,50	490	421	338	268	251	236	181	138	109	Cs = 2 C <sub>v</sub>
Cs = 0,70	509	430	338	265	249	234	184	147	128	Cs = 3 C <sub>v</sub>

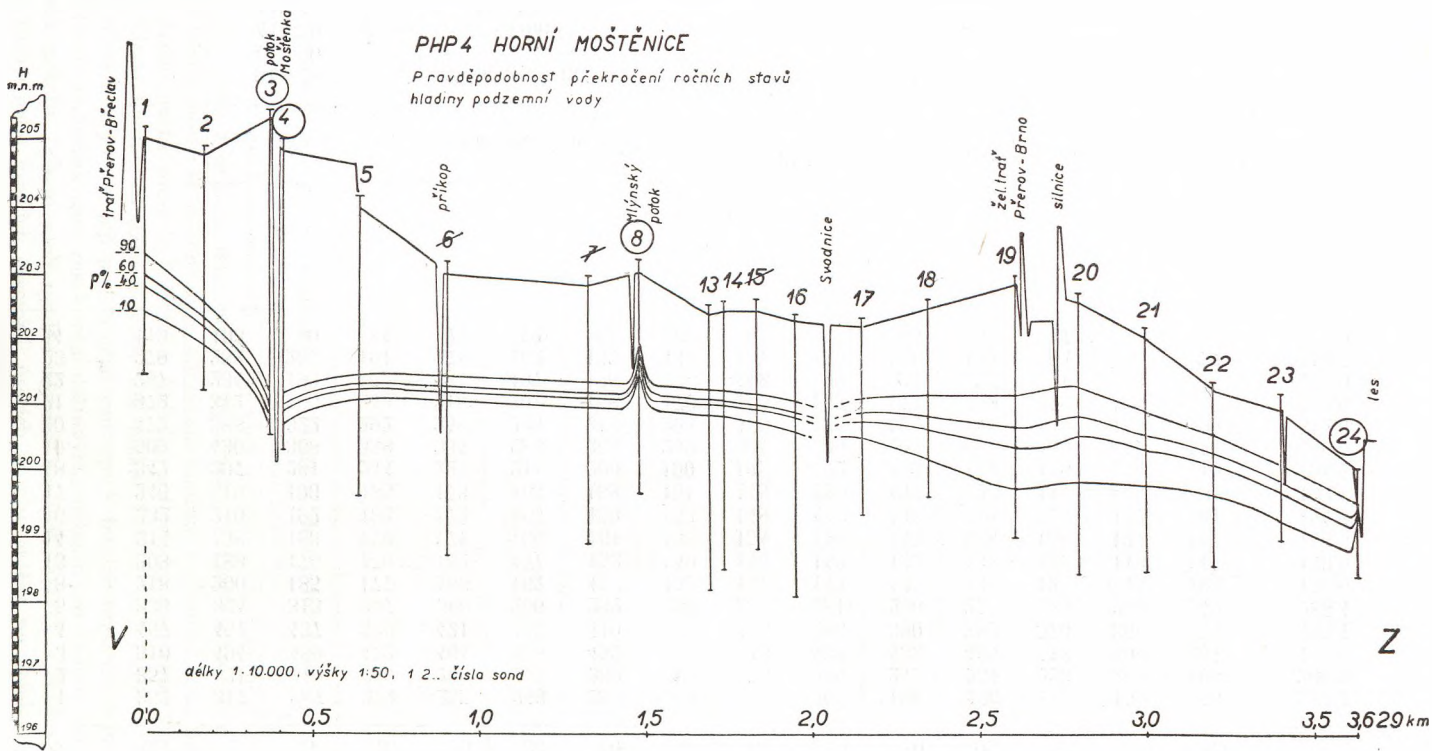
na ose pořadnic uvedeny hodnoty obráceně, t. j. číselně největší jsou nejbliže ose úseček. Podobně je tomu i s procenty překročení na ose úseček. V tomto směru se tabulky i grafy liší od těch, s nimiž se setkáváme v hydrologii řek nebo v klimatologii.

Míru nadprůměrnosti a podprůměrnosti ročních stavů hladiny můžeme vyjádřit slovním označením a symbolicky. Činíme tak podle poměrných četností a do jednotlivých oddílů zařazujeme roky, jejichž průměrné stavy hladiny vyjadřují stejnou poměrnou četnost. Při slovním označení roků se jim přisuzuje určitá mez, vyjádřená pravděpodobností překročení ročního průměru v procentech.

V hydrologii řek, kde se tímto způsobem vyjadřuje vodnost roků, používá se různých stupnic. O. D u b (6, 8, 9) použil při určování vodnosti slovenských toků stupnice devítičlenné, M. Č e r m á k (3, 4, 5) při určování vodnosti roků na moravských tocích stupnice sedmičlenné a A. Č e r k a š i n (1) stupnice pětičlenné. Poslední autor zvolil za hranice obyčejných čili normálních roků průtoky překročené 36 a 50 % na rozdíl od předchozích, kteří za hranici průměrného roku zvolili průtoky překročené 46 a 55 %. V klimatologii se používá devítičlenné stupnice (M. N o s e k, 12).

Pro klasifikaci hydrologických roků podle ročního stavu hladiny podzemní vody bude nejvhodnější stupnice pokud možno jednoduchá. To proto, že variační rozpětí krajních hodnot ročních průměrných stavů hladiny je v některých případech tak malé, že rozsah jednotlivých stupňů složitější stupnice dosahoval by sotva několika centimetrů. Takové detailní dělení nemá praktického významu. Klasifikační stupnice, které jsem použil, je uvedena v tab. 7.

Roční stavy hladiny, které tvoří hranici jednotlivých kategorií roků, jsou vyneseny do celého profilu PHP 4 (obr. 10). Z profilu je na první pohled vidět, ve kterých místech podléhá hladina podzemní vody největší a nejmenší rozkolísanosti ročních stavů. Tento poznatek je velmi důležitý zvláště pro řešení vodárenských úkolů. Místa s nejmenší variabilitou průměrných ročních stavů hladiny podzemní vody mohou být za jinak příznivých poměrů geologických a s přihlédnutím k jiným podmínkám nejvhodnějšími pro jímání podzemní vody. Na takových místech je zaručena poměrně stálá vydatnost zvodněného horizontu. Dále je z takového grafu vidět účinek zářezů říčních koryt a příkopů.



Obr. 10. Pravděpodobnost překročení ročních stavů hladiny podzemní vody v profilu PHP 4.

Tabulka 6

Pravděpodobnost překročení průměrných ročních stavů hladiny podzemní vody v PHP 4

Sonda č.	Pravděpodobnost překročení p %															H
	0,1	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99	99,9	
1	352	317	287	272	255	243	233	224	216	207	198	186	176	159	143	227,2
2	357	331	310	299	286	277	269	263	256	249	242	231	223	209	195	264,2
3	510	494	480	472	464	458	452	448	443	438	432	424	418	406	394	448,1
4	467	451	437	430	421	415	410	405	400	396	390	382	376	364	352	405,7
5	336	324	313	307	300	296	292	288	284	281	276	270	265	256	249	288,4
8	218	200	185	177	168	162	157	152	147	143	137	130	125	115	105	153,0
13	203	188	176	170	162	157	153	149	146	142	137	131	127	118	111	150,0
14	214	198	186	179	171	166	161	158	154	149	145	138	134	125	117	158,3
16	232	210	192	182	172	165	159	153	148	143	137	129	123	112	101	154,8
17	246	219	196	185	173	164	158	151	145	139	132	123	117	105	94	153,1
18	342	297	261	244	224	211	200	190	182	172	162	149	140	124	110	194,2
19	509	430	368	338	304	283	265	249	234	220	204	184	170	147	128	256,0
20	472	388	322	292	258	236	218	203	189	176	162	144	132	114	99	212,0
21	372	312	265	243	218	201	188	176	166	155	143	128	118	101	87	182,0
22	287	234	192	172	151	137	126	116	108	99	90	78	71	59	50	122,0
23	279	238	207	191	174	163	153	145	137	129	121	110	102	89	77	148,4
24	119	103	90	84	77	72	68	65	61	58	55	50	47	41	36	66,0

Tabulka 7

p %	Jmenné označení roku	Symbolické označení	Význam jmenného označení roku
91 a >	mimořádně vydatný	VV	s mimořádně vysokou
61-90	vydatný	V	s vysokou
41-60	průměrně vydatný	O	s průměrnou
11-40	málo vydatný	M	s nízkou
10 a <	mimořádně málo vydatný	MM	s mimořádně nízkou průměrnou roční hladinou

Hydrologické roky odpovídající jednotlivým stupňům vydatnosti jsou uvedeny v tab. 8, a to symbolickým označením. Jeho význam je uveden v tab. 7. Jmenné označení roků, jehož se v tomto smyslu dosud nepoužívalo, má vyjádřovat jednu ze základních charakteristik zvodněného horizontu (nebo i pramene), kterou je bezesporu vydatnost. Ačkoliv pojem vydatnosti se vztahuje především na množství vody, které je možno jímat nebo které vytéká z pramene za vteřinu (l/sec.), lze jej přenést i na delší časové období jako vydatnost průměrnou s relativním významem. Ta je pak přímo úměrná změně mocnosti zvodněného horizontu nebo hydrostatického tlaku. Použití termínu vydatnost roku může být vhodné i proto, že je odlišné od označení roků charakterisovaných množstvím srážek nebo odtokově (viz tab. 8).

Z tab. 8 vyplývá, že rok 1941 můžeme v období 1941—1955 označit za rok mimořádně vydatný. Odpovídají tomu poměry v převážně většině sond celého profilu. Za rok mimořádně málo vydatný můžeme považovat rok 1954 a rok 1952 a u sond západní části profilu i rok 1953.

Pokud jsou patrné rozdíly v povaze roků, dají se vysvětlit nestejnou reakcí sond na změny tlaku ve zvodněné vrstvě, rozdíly v geologické struktuře roviny a vlivy činitelů geografického prostředí, jejichž účinek se může rok od roku i místně měnit. Snad se tu projevují i nedostatky v pozorování. V celém profilu můžeme dále rozlišovat dvě části, nepočítaje v to sondy ovlivňované přímo terénními zářezy. Ve východní části profilu se sondami č. 1 a č. 2 je hladina podzemní vody ovlivňována přítokem podzemní vody ze širokého údolního dna Moštěnky, vyúsťujícího na okraj roviny Hornomoravského úvalu, a ze svahových a úpatních hlin jeho zlomového okraje. Hluboký zářez Moštěnky zabraňuje pronikání těchto vod směrem dále na západ, a proto západní část profilu tvoří samostatný územní celek. Sondy situované těsně u otevřených toků nebo příkopů protékáných povrchovou vodou jsou na grafu obr. 10 označeny kruhem, a ty, které musely být vyloučeny ze zpracování, jsou na grafu přeškrtnuty.

Rozdíly v hydrologickém významu roků ukazují dále na to, jak důležité je, abychom při posouzení režimu podzemní vody na větším území měli k dispozici co nejvíce sond. Jedna nebo dvě sondy by mohly obraz o režimu podzemní vody zcela zkruslit, neboť nemusí v každém případě správně reprezentovat celkové poměry.

V posledních sloupcích tab. 8 jsou uvedeny i charakteristiky hydrologických roků podle srážek v Přerově a průtoků ve vodočetné stanici Dluhonicích na Bečvě. Srovnáme-li výsledky, jichž bylo dosaženo použitím stejné metody i klasifikační stupnice, shledáme, že mezi ročními srážkami a ročními stavy hladiny podzemní vody, jakož i mezi těmito a odtoky na Bečvě, existuje zjevný nesoulad. To znamená, že vztah mezi kolísáním ročních stavů hladiny podzemní vody a ročními srážkami a odtoky není v našem případě zákonitý, ale spíše nahodilý. Některé značné rozdíly v povaze roku se dají vysvětlit. Stačí k tomu často, když si povšimneme srážek chladného (X—III) a teplého (IV—IX) pololetí. Tak je jistě zajímavé, že rok 1947, který byl rokem srážkově mimořádně suchým (MS), jevil se v převážné části sond jako rok vydatný (V) až průměrně vydatný (O). Ve chladném pololetí spadlo však vysoce nadprůměrné množství srážek (Přerov 301 mm) a ačkoliv letní pololetí bylo jedno z vůbec nejsušších v posledních padesáti letech, přece se během něho udržovala hladina podzemní vody poměrně dosti vysoko. Zcela opačně tomu bylo r. 1954. Chladné pololetí bylo enormně suché (94 mm), a proto klesla hladina podzemní vody tak nízko, že ani nadprůměrně deštivé teplé pololetí nemohlo vyvolat její podstatnější vzestup. V letních měsících jsou ostatně nejméně příznivé podmínky pro zasakování dešťových srážek a pro vyživování zvodněných horizontů, ačkoliv během nich spadne největší množství srážek z celého roku. V některých rocích nebo kratších časových úsecích se vliv srážek na polohu hladiny pod-

Tabulka 8

Vydatnosti jednotlivých roků v období 1941—1955 v PHP 4

Rok	Sonda číslo																Srážky Přerov 1941—1955	Srážky Přerov 1906—1955	Odtok Bečva 1926—1952
	1	2	3	4	5	8	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23			
1941	VV	VV	VV	VV	VV	V	VV	VV	VV	VV	VV	VV	V	VV	VV	V	MV	V	MV
1942	VV	V	O	O	V	VV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	O	S	MS	N
1943	M	M	MM	MM	MM	V	M	M	M	M	M	O	O	O	O	M	O	S	S
1944	M	M	M	M	MM	M	M	M	M	M	M	O	M	O	O	M	S	S	V
1945	V	O	M	M	O	V	V	O	V	V	V	V	V	V	V	O	V	V	V
1946	O	O	M	M	V	O	M	M	M	M	O	O	O	O	V	O	O	S	N
1947	O	O	V	V	V	V	O	V	V	V	VV	V	V	V	O	V	MS	MS	S
1948	O	O	V	V	O	V	O	V	O	O	V	V	V	V	V	O	MV	V	N
1949	MM	M	V	V	O	O	O	O	M	M	M	O	O	V	O	O	S	S	V
1950	O	O	V	O	O	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	O	V	V	S
1951	O	M	M	V	O	M	M	V	V	V	V	O	V	O	O	V	S	MS	N
1952	MM	M	M	MM	MM	M	MM	MM	MM	MM	M	M	M	MM	MM	M	V	V	N
1953	V	V	O	O	O	M	O	O	O	O	M	MM	MM	MM	MM	MM	V	O	V
1954	M	MM	M	M	M	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	S	S	MS
1955	O	O	O	O	M	MM	V	V	O	M	M	M	M	M	M	M	V	V	V

Srážky: MV = mimořádně vlhký, V = vlhký, O = průměrný, S = suchý, MS = mimořádně suchý rok.

Odtok: MV = mimořádně vodný, V = vodný, N = průměrný, S = suchý, MS = mimořádně suchý rok.



zemní vody projevuje. To nás však nemůže přivést k závěru, že tento vliv je zákonitý a dá se všeobecně aplikovat. Stejně tak je tomu i u jednotlivých sond v jednom roce. Odpovídá-li např. v jedné sondě roční stav hladiny roku mimořádně vydatnému, neznamená to ještě, že témuž roku musí odpovídat hladina v celém profilu. Příčiny těchto nepravidelností jsou zřejmě velmi složité a již jsme se o nich zmínili.

## ZÁVĚR

Jako roční srážky a průtoky určují vlastnosti hydrologických roků podle jejich vlhkosti a vodnosti, mohou zase roční stavy hladiny podzemní vody charakterisovat hydrologické roky podle jejich vydatnosti. Roční stavy hladiny ( $H_i$  cm) můžeme nejjednodušěji a s dostatečnou přesností vypočítat jako aritmetické průměry zaměřených týdenních stavů. Před jejich určením je však nutné provádět velmi pečlivě revisi pozorovacího materiálu a jeho doplnění. Pro kontrolu ročních stavů a doplnění materiálu je výhodná grafická korelační metoda, kterou vystihuje obr. 1, 2 a 3 a dále rekonstrukce čar stavů hladiny.

Za měřítko vydatnosti roků jsme použili pravděpodobnost překročení ročních stavů hladiny podzemní vody, vyjádřenou v procentech. Tu můžeme nejlépe stanovit z teoreticky odvozené čáry překročení podle Pearsonovy křivky III. typu (obr. 4, 5, 7, 8), která celkem dobře vystihuje asymetrické rozložení četnosti ročních i týdenních stavů hladiny (obr. 4, 5, 6, 7). Její průběh je dán třemi parametry, a to variačním koeficientem  $C_v$ , mírou asymetrie  $C_s$  a dlouhodobým průměrem  $\bar{H}$ . Z nich  $C_v$  se určí podle vzorce 5,  $C_s$  jako trojnásobek  $C_v$  ( $C_s = 3C_v$ ) a  $\bar{H}$  jako aritmetický průměr ročních stavů hladiny  $H_i$ .

Klasifikace hydrologických roků pravděpodobností překročení ročních stavů hladiny podzemní vody se dá provádět podle stupnice uvedené v tab. 7. V ní se rozlišují roky mimořádně vydatné (VV), za které můžeme označit ty, jejichž roční stav je překročen více než 90 %, vydatné (V) (61–90 %), průměrně vydatné (O) (41–60 %), málo vydatné (M) (11–40 %) a mimořádně málo vydatné (MM) (10 a méně %). Obrácený sled procent překročení, uvedený i v tab. 6, je podmíněn tím, že hladina vody v sondách je dána její hloubkou od horní hrany výpažnice (H cm). Význam polohy hladiny vody je však určen její absolutní výškou.

Klasifikace hydrologických roků byla provedena uvedenou metodou v profilu označeném PHP 4. Tento sestává celkem ze 20 sond, z nichž ty, které jsou na obr. 10 přeškrtnuty, musely být pro nedostatečné nebo nesprávné měření ze zpracování vyloučeny. Sondy jsou rozmístěny na rovinně jihovýchodní části Hornomoravského úvalu na jih od města Přerova. Struktura roviny je následující. Nejsvrchnější vrstvy, do nichž jsou zapuštěny sondy, jsou budovány jemnozrnnými říčními sedimenty, slabě propustnými až nepropustnými. Pod nimi leží až 8 m mocná vrstva štěrkopísků, spočívajících na miocenních jílech. Štěrkopísky jsou zvodněny v celé mocnosti. Jejich nadložní jemnozeme tvoří většinou nepropustný kryt zvodněnému horizontu s proudem podzemní vody, který je pod tlakem.

Hydrologické roky (XI–X) období 1944–1955, odpovídající jednotlivým stupňům vydatnosti, jsou uvedeny symbolickým označením v tab. 8 a hraniční poloha hladiny těchto stupňů je vyznačena na obr. 10. Výsledky ukazují, že při studiu režimu podzemní vody můžeme metody matematické statistiky s výhodou používat, neboť nám umožňují dosáhnout dobrých výsledků a všeobecně srovnatelných hodnot.

Rozdíly v povaze roků v jednotlivých sondách (tab. 8) se dají vysvětlit hlavně nestejnou reakcí sond na změny tlaku ve zvodněném horizontě, který neprorážejí a dále rozdíly ve fyzickogeografických vlastnostech blízkého okolí profilu.

Srovnáme-li stupeň vydatnosti roků s jejich vlhkostí, danou překročením ročních atmosférických srážek a vodností, určenou překročením ročních průtoků (poslední 3 sloupce tab. 8), vidíme, že je mezi nimi pouze náhodný vztah. I když srážky ovlivňují kolísání hladiny podzemní vody, není jejich vliv jednoznačný.

#### LITERATÚRA

1. Čerkašín A., *Klasifikace moravských řek podle variability průtoků*. Vodní hospodářství 4, Praha 1955. Totéž: III. celostátní hydrometeorologická konference v Praze v září 1954. Sborník dokumentů. Praha 1956. — 2. Čermák M., *Výzkum podzemních vod v Pomoraví*. Vodní hospodářství 6, Praha 1952. — 3. Čermák M., *Dyje*. Hydrologická studie. Brno 1952. — 4. Čermák M., *Jihlava*. Hydrologická studie. Brno 1951. — 5. Čermák M., *Svratka*. Hydrologická studie. Brno 1950. — 6. Dub O., *Hydrologia, hydrografia, hydrometria*. Bratislava 1957. — 7. Dub O., *Pravdepodobnosť prekročenia ročných a mesačných srážkových úhrnov v Bratislave*. Meteorologické zprávy, roč. II, č. 2. Praha 1948. — 8. Dub O., *Vodnosť slovenských riek a ich hydrologická klasifikácia podľa matematickej štatistiky*. Štátny hydrologický ústav v Bratislave. Bratislava 1948. — 9. Dub O., *Všeobecná hydrologia Slovenska*. Bratislava 1954. — 10. Jelen V., Myslivec A., *Zeminy a podzemní voda v trase kanálu Odra—Dunaj*. Plavební cesty D—O—L, roč. III, č. 1. Praha 1942. — 11. Lučševa A. A., *Praktičeskaja gidrologija*. Leningrad 1950. — 12. Nosek M., *Praktická klimatologie*. Praha 1954. — 13. Ogievskij A. V., *Gidrologija suši*. Moskva 1952. — 14. Šimo E., Drobilová L., *Podiel podzemných vod na celkovom odtoku Váhu v období 1931—1940*. Vodohospodársky časopis SAV, roč. III, č. 1—2. Bratislava 1955.

Recenzoval dr. E. Šimo

#### Ростислав Н е т о и л

### КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ГОДОВ ПО ВЕРОЯТНОСТИ ПРЕВЫШЕНИЯ СРЕДНЕГО ГОДОВОГО УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Если годовое количество осадков и годовая сток обуславливают особенности гидрологических годов в отношении влажности и водности, то средний годовой уровень подземных вод характеризует гидрологические годы в отношении дебита. Вычислить с достаточной степенью точности среднее годовое положение уровня  $H_1$  в см проце всего как среднее арифметическое производимых каждую неделю измерений. Данные наблюдений следует, однако, очень тщательно проверить и дополнить. Для проверки и дополнения выгодно воспользоваться методом корреляции, который иллюстрируют рис. 1, 2 и 3, а также реконструкцией гидроизогипс.

За эталон годового дебита принята вероятность превышения среднегодового уровня грунтовых вод, выраженная в процентах. Ее легче всего определить по теоретически установленной линии превышения на кривой Пирсона III типа (рис. 4, 5, 7, 8), на которой хорошо видно несимметричное распределение частоты различных положений уровня грунтовых вод по годам и неделям (рис. 4, 5, 6, 7). Кривая определена тремя параметрами: вариационным коэффициентом  $C_v$ , степенью асимметрии  $C_s$  и многолетней средней  $\bar{H}$ .  $C_v$  определяется по формуле 5,  $C_s$  равняется тройному  $C_v$  ( $C_s = 3C_v$ ), а  $\bar{H}$  выражается средней арифметической измерений уровня грунтовых вод в течение года  $H_1$ .

Классификацию гидрологических годов по вероятности превышения среднегодового уровня грунтовых вод можно произвести по шкале, приведенной на таблице 7. Различают исключительно обильные водой годы VV, когда положение среднегодового уровня бывает более чем на 90 % выше обычного, обильные V (61—90 %), среднеобильные 0 (41—60 %), малообильные M (11—40 %) и исключительно малообильные MM (10 % и меньше). Обратная последовательность процентов превышения, которую мы видим на

таблице 6, объясняется тем, что уровень воды в буровых скважинах измеряется от верхнего края обсадной трубы (Н см), тогда как положение поверхности грунтовых вод определяется ее абсолютной высотой.

Классификация гидрологических годов была произведена описанным методом на профиле РНР 4. Из 20 изображенных на нем скважин некоторые не были приняты во внимание (на рис. 10 они перечеркнуты) из-за недостаточности или неправильности измерений. Скважины расположены на равнине юго-восточной части бассейна верхней Моравы к югу от г. Пршеров. Равнина имеет следующее строение: самые верхние слои, пройденные скважинами, сложены тонкозернистыми речными наносами слабо водопроницаемыми или непроницаемыми. Под ними находится 8-метровый слой галечнико-песков, лежащих на миоценовых глинах. Вся масса галечнико-песков водоносна. В их кровле находятся тонкозернистые землистые образования, которые по большей части подpiraют воду горизонту водопроницаемых пород, в которых грунтовой поток находится под напором.

Гидрологические годы (XI—X) периода 1941—1955, соответствующие различным градациям дебита, отмечены значками на таблице 8; положение уровня на границе каждой ступени отмечено на рисунке 10. Применение метода математической статистики для изучения режима подземных вод дает хорошие результаты, которые можно выразить в сравнимых величинах.

Разница в данных наблюдений для одного и того же года в различных буровых скважинах (табл. 8) объясняется главным образом тем, что они неодинаково реагируют на изменение напора в водоносном горизонте, через который проходят скважины, а также физико-географическими свойствами среды в непосредственной близости профиля.

Производя сравнение годов по их дебиту, влажности воздуха и водности (определяемую превышением среднегодовых величин стока, см. последний столбец таблицы 8), мы видим, что между ними нет определенной зависимости. Если осадки и влияют на изменение уровня подземных вод, то прямой связи между этими явлениями установить нельзя.

Перевод с чешского В. Андрусово́й

#### Объяснение рисунков

- Рис. 1. Колебания уровня грунтовых вод по неделям за период 1941—1955.  
Рис. 2 и 3. Среднегодовое положение уровня грунтовых вод для каждого года за тот же период.  
Рис. 4 и 5. Теоретические линии отклонения уровня грунтовых вод от среднего положения в прямоугольных координатах.  
Рис. 6 и 7. Полигоны частоты положений поверхности грунтовых вод по неделям.  
Рис. 8 и 9. Теоретическая линия отклонений поверхности грунтовых вод от среднего положения в году на ести вероятности.  
Рис. 10. Вероятность отклонений от среднегодового положения поверхности грунтовых вод в профиле РНР 4.

#### Объяснение таблиц

- Таб. 1. Сопоставление среднегодовых величин, полученных при помощи математического вычисления, с теми, которые даны линиями положения поверхности грунтовых вод.  
Таб. 2. Вероятность отклонения от среднегодового положения поверхности грунтовых вод в процентах, вычисленная по формулам и по теоретически построенной линии отклонений.  
Таб. 3. Отношение вариационного коэффициента  $C_v$  к степени асимметрии  $C_s$ , вычисленной по формуле 6.  
Таб. 4. Среднегодовые уровни грунтовых вод в профиле РНР 4.  
Таб. 5. Отклонения от среднегодовых уровней подземных вод в процентах при  $C_s = 2C_v$  и  $C_s = 3C_v$ .  
Таб. 6. Вероятность отклонения от среднегодового уровня подземных вод в буровых скважинах на профиле РНР 4.  
Таб. 7. Классификационная таблица для определения величины дебита различных гидрологических годов.  
Таб. 8. Величины дебита различных гидрологических годов в профиле РНР 4.

## DIE KLASSIFIKATION DER HYDROLOGISCHEN JAHRE DER WAHRSCHEINLICHKEIT DER ÜBERSCHREITUNG DES JÄHRLICHEN GRUNDWASSERSTANDES

So wie die Jahresniederschlagsmengen und die Jahresabflüsse die Eigenschaften der hydrologischen Jahre betreffs ihrer Feuchtigkeit und ihres Wasserreichtums bestimmen, so können die jährlichen Grundwasserstände die hydrologischen Jahre in ihrer Ausgiebigkeit bestimmen. Den Jahresstand des Grundwasserspiegels  $H_i$  cm können wir am einfachsten und mit genügender Genauigkeit als arithmetische Mittelwerte der gemessenen wöchentlichen Wasserstände berechnen. Vor ihrer Bestimmung ist es jedoch notwendig eine sehr sorgfältige Revision des Beobachtungsmaterials durchzuführen und dieses zu ergänzen. Zur Kontrolle der Jahreswasserstände und zur Ergänzung des Materials verwendet man vorteilhaft die graphische Korrelationsmethode, die aus den Abb. 1, 2 und 3 zu ersehen ist und weiter die Rekonstruktion der Grundwasserstandsverläufe.

Als Masstab der Jahresergiebigkeit verwendeten wir die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung der Jahresgrundwasserstände, die in Prozenten ausgedrückt wird. Diese können wir am besten aus der theoretisch abgeleiteten Überschreitungslinie nach der Pearsonschen Kurve des III. Typus bestimmen (Abb. 4, 5, 7, 8), die ziemlich gut die asymmetrische Häufigkeitsverteilung der Jahres- und Wochenwasserstände charakterisiert. (Abb. 4, 5, 6, 7). Ihr Verlauf ist durch drei Parameter gegeben und zwar durch den Variationskoeffizienten  $C_v$ , durch das Ausmass der Asymmetrie  $C_s$  und durch den langjährigen Durchschnitt  $\bar{H}$ . Von diesen wird  $C_v$  nach der Gleichung 5 bestimmt,  $C_s$  als das Dreifache von  $C_v$  ( $C_s = 3C_v$ ) und  $H$  als arithmetisches Mittel der Jahreswasserstände  $H_i$ .

Die Klassifikation der hydrologischen Jahre mit Hilfe der Wahrscheinlichkeit der Überschreitung der jährlichen Grundwasserstände kann nach der in der Tabelle 7 angeführten Skala durchgeführt werden. In dieser unterscheiden wir ausserordentlich ergiebige Jahre, VV, — als solche können wir die bezeichnen, deren Jahreswasserstand um mehr als 90 % überschritten wird, argiebige V (61—90 %), durchschnittlich ergiebige 0 (41—60 %), wenig ergiebige M (11—40 %), und ausserordentlich wenig ergiebige MM (10 und weniger %). Die umgekehrte Folge der Überschreitungsprozente, die in der Tabelle 6 angeführt ist, ist dadurch bedingt, dass der Wasserspiegel in den Sonden durch deren Tiefe von der oberen Kante (H cm) gegeben ist. Die Bedeutung der Stellung des Wasserspiegels wird jedoch durch seine absolute Höhe bestimmt.

Die Klassifikation der hydrologischen Jahre wurde durch die erwähnte Methode im mit PHP 4 bezeichneten Profil durchgeführt. Dieses besteht im ganzen aus 20 Sonden, von denen diejenigen, die auf der Abb. 10 durchgestrichen sind, wegen ungenügender oder unrichtiger Messungen aus der Verarbeitung ausgeschlossen werden mussten. Die Sonden befinden sich auf der Ebene des südöstlichen Teiles des Beckens der oberen March südlich der Stadt Přerov (Prerau). Die Struktur der Ebene ist folgende: Die obersten Schichten, in die die Sonden eingelassen sind, bestehen aus feinkörnigen Flusssedimenten die schwach durchlässig bis undurchlässig sind. Darunter liegt eine bis 8 m dicke Schicht von Sandschottern, die auf Miozäntonen ruhen. Die Sandschotter sind in ihrer ganzen Mächtigkeit wasserführend. Ihre aus feinkörnigen Böden bestehende Oberschicht bildet grösstenteils eine Decke, unter der sich der wasserhaltige Horizont mit der unter Druck befindlichen Grundwasserströmung befindet.

Die hydrologischen Jahre (XI.—X) der Jahresreihe 1941—1955 die den einzelnen Stufen der Ausgiebigkeit entsprechen, werden in symbolischer Bezeichnung in der Tabelle 8 angeführt und die Grenzlage der Wasserspiegel dieser Stufen ist in der Abb. 10 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass wir beim Studium des Grundwasserregimes die Methoden der mathematischen Statistik vorteilhaft verwenden können, weil sie es uns ermöglichen gute Ergebnisse und allgemein vergleichbare Werte zu erzielen.

Die Charakterunterschiede der Jahre in den einzelnen Sonden (Tab. 8) sind hauptsächlich durch die ungleiche Reaktion der Sonden auf die Druckveränderungen im wasserführenden Horizont zu erklären, die nicht durchdringen, sowie durch die physikalisch-geographischen Eigenschaften der nahen Umgebung des Profils.

Wenn man den Ausgiebigkeitsgrad der Jahre mit ihrer Feuchtigkeit, die durch das Überschreiten der jährlichen atmosphärischen Niederschläge gegeben ist, und mit dem Wasserreichtum, der durch die Überschreitung der Jahresabflusswerte gegeben ist (die letzten 3 Säulen der Tab. 8) vergleicht, so sehen wir, dass die Beziehung zwischen ihnen rein zufällig ist. Wenn auch die Niederschläge die Schwankungen des Grundwasserspiegels beeinflussen, so ist ihr Einfluss nicht eindeutig.

Aus dem Slowakischen übersetzt von R. Lindner

#### Erklärung zu den Abbildungen

- Abb. 1. Beziehung zwischen den täglichen Grundwasserständen des Zeitraumes 1941–1955.
- Abb. 2. Beziehung der Jahresgrundwasserstände.  
und 3.
- Abb. 4. Theoretisch abgeleitete Überschreitungslinien der Jahresgrundwasserstände im recht- und 5. winkelligen Koordinatennetz.
- Abb. 6. Häufigkeitslinien der wöchentlichen Grundwasserstände.  
und 7.
- Abb. 8. Theoretisch abgeleitete Überschreitungslinie der Jahresgrundwasserstände im Wahr- und 9. scheinlichkeitsnetz.
- Abb. 10. Die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung der Jahresgrundwasserstände im Profil PHP 4.

#### Erklärung zu den Tabellen

- Tab. 1. Vergleich der zahlenmässig und aus dem Grundwasserstandsverlaufe berechneten Jahrmittleren jährlichen Grundwasserständen.
- Tab. 2. Wahrscheinlichkeitsprozente der Überschreitung der Jahresgrundwasserstände, berechnet unter Verwendung von Formeln und aus der theoretisch abgeleiteten Überschreitungslinie.
- Tab. 3. Verhältnis des Variationskoeffizienten  $C_v$  zum Ausmass der Assymetrie  $C_s$  berechnet nach der Formel 6.
- Tab. 4. Jahresgrundwasserstände im Profil PHP 4.
- Tab. 5. Perzentuelle Werte der überschrittenen Jahresgrundwasserstände bei Verwendung von  $C_s = 2 C_v$  und  $C_s = 3 C_v$ .
- Tab. 6. Überschreitungswahrscheinlichkeit der Jahresgrundwasserstände in den Sonden des Profils PHP 4.
- Tab. 7. Klassifikationstabelle zur Bestimmung des Ergiebigkeitsausmasses der hydrologischen Jahre.
- Tab. 8. Ergiebigkeit der hydrologischen Jahre im Profil PHP 4.