

SPRACOVANIE KRÁTKODOBÝCH EXTRÉMNYCH ZRÁŽOK

In this article a survey is given of some home and foreign methods for establishing the dependence between area and intensity, between intensity and duration of short period extreme precipitations and for establishing their probability of surpassing the limit in a certain intensity and duration. In the second part there is worked out by, by method of K. Chomicz, the probability of the occurrence of individual kinds of extreme precipitations. By means of graphs there is shown the probability of surpassing the limit (periodicity), in dependence on intensity and duration of extreme precipitations in Starý Smokovec for the years 1931–1960. The periodicity graphs for Slovakia are compared with the theoretical ones calculated according to the valid relation of O. Dub.

ÚVOD

Atmosferickými zrážkami rozumieme produkt kondenzácie (sublimácie) vodných pár z ovzdušia, ktoré sa dostali na zem vo forme kvapalnej alebo pevnej.

Zrážky delíme na:

1. *horizontálne*, vznikajúce bezprostredne na zemskom povrchu. Sú to: rosa, šedivý mráz, ovlhnutie a námraza,
2. *vertikálne*, vznikajú kondenzáciou vo voľnej atmosfére a padajú na zem ako dážď, sneh, krúpy a pod. Môžeme ich rozdeliť podľa:
  - a) *spôsobu vzniku*: frontálne (cyklonálne) a vo vnútri vzduchových hmôt napr. mrholenie v anticyklóne, konvekčné (termické), orografické dažde a pod.;
  - b) *trvania*: dlhodobé alebo trvalé (regionálne dažde) a krátkodobé, ku ktorým patria prehánky, búrky, lejaky a prívalové dažde;
  - c) *množstva*: bežné a extrémne;
  - d) *tvaru*: mrholenie, sneženie, krúpy a pod.;
  - e) podľa iných vonkajších znakov, ktoré zrážky v priebehu ich trvania doprevádzajú,

Výdatnosť zrážok určujeme pomerom spadnutého množstva k jednotke času čiže intenzitou vyjadrenou výškou zrážok v mm za minútu alebo špecifickou výdatnosťou vyjadrenou množstvom zrážkovej vody v litroch, ktorá spadne na plochu 1 ha za sekundu. Prepočítanie intenzity vyjadrenej v mm za min. na l/s. ha vyplýva z tohto vzťahu:

$$\frac{l}{\text{ha} \cdot \text{sec}} = \frac{1000 \cdot 1000 \text{ mm}^3}{100\,000 \cdot 10\,000 \text{ mm}^2 \cdot \frac{1}{60} \text{ min}} = 0,006 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \quad (1)$$

$$\text{alebo } \frac{\text{mm}}{\text{min}} = \frac{\text{mm}^3}{\text{min mm}^2} = \frac{1}{60 \text{ s} \cdot \frac{1}{1\,000\,000} \cdot \frac{1}{10\,000} \text{ ha}} = 166,67 \frac{l}{\text{ha} \cdot \text{sec}} \quad (2)$$

Frontálne zrážky (s výnimkou studeného frontu II. typu) majú charakter trvalých

dažďov, zasahujú veľké oblasti a ich výdatnosť len veľmi zriedka dosahuje 80 mm za 24 hod., odtok majú pravidelne časove rozdelený, takže poznanie ich výdatnosti má význam iba pre dimenzovanie vodohospodárskych stavieb na väčších tokoch.

Z hľadiska charakterizovania zrážkových pomerov určitej oblasti je dôležité poznať výskyt extrémnych krátkodobých zrážok, t. j. lejakov alebo privalových dažďov vznikajúcich konvekciou vo vnútri vzduchovej hmoty, resp. na studenom fronte. Tieto dažde dosahujú pomerne veľké intenzity, spôsobujú rozvodnenia na malých tokoch, preťažujú kanalizačnú sieť a vyvolávajú erózne javy. Vyskytujú sa najmä v populďnejších hodinách, a to najmä v mesiacoch máj až september.

V predkladanej práci sa podáva prehľad niektorých závažnejších metód používaných pri spracovaní extrémnych krátkodobých dažďov v zahraničí a u nás. V druhej časti sú spracované extrémne dažde Starého Smokovca za obdobie 30 rokov metódou K. Chomicza, ďalej sú stanovené intenzity dažďov pre rôzne pravdepodobnosti prekročenia. Výsledky sú porovnané so vzťahom pre nepriame odvodenie zrážkových radov na Slovensku stanoveným O. Dubom.

#### PREHLAD NIEKTORÝCH METÓD SPRACOVANIA EXTRÉMNYCH KRÁTKODOBÝCH ZRÁŽOK

Pod pojmom extrémnych krátkodobých zrážok rozumieme lejaky a privalové dažde. Pri ich hodnotení si všimame: a) vzťah rozlohy a intenzity, b) vzťah intenzity a trvania, c) vzťah pravdepodobnosti prekročenia pri určitej intenzite a trvaní.

##### a) Vzťah rozlohy a intenzity krátkodobých zrážok

Krátkodobé zrážky zasahujú iba malé plochy, pričom intenzita na celej ploche nie je rozložená rovnomerne, ubúda od stredu k okrajom, čím je dážď intenzívnejší, tým menšie územie zasiahne.

Z doteraz odvodených vzťahov intenzity lejaka a jeho plošnej rozlohy je najznámejší Fröhlingov vzťah, podľa ktorého ubúda intenzita od stredu zasiahnutej plochy k okrajom podľa parabolickej závislosti tak, že vo vzdialenosti 3 km dosiahne polovičnú hodnotu. Z tohto predpokladu odvodzuje pomer strednej intenzity k maximálnej pre rôzne priemery zasiahnutého územia.

Specht stanovil závislosť tohto pomeru  $\Psi$  od plošnej rozlohy dažďa vzorcom

$$\Psi = \sqrt[12]{\frac{1}{P}}, \quad (3)$$

kde  $P$  značí plochu zasiahnutú dažďom.

Výsledky, ktoré dosiahol Kehr, ukazujú na rozdiel od Fröhlinga na priamkovú závislosť. Reinhold dospel k poznatku, že pokles priemernej intenzity dažďa s jeho plošným rozsahom až do plochy 40 km<sup>2</sup> je značne menší, ako udáva Specht. Podľa neho možno maximálnu intenzitu až do plochy 10 km<sup>2</sup> znížiť o 5 % a do plochy 25 km<sup>2</sup> o 10 %, čím získame priemernú hodnotu, ktorá platí pre tieto plochy.

V SSSR Bogomazovová a Petrovová stanovujú závislosť medzi intenzitou a plochou väčšou ako 100 km<sup>2</sup> takto:

$$\Psi = \frac{h_{st}}{h_o} = \frac{2}{1 + 0,001 P^{0,8}} = \frac{2}{1 + k P^m}, \quad (4)$$

pričom  $h_{st}$  = priemerná vrstva zrážok v mm na plochu P km<sup>2</sup>,

$h_o$  = priemerná vrstva zrážok v mm odpovedajúca ploche 100 km<sup>2</sup>,

$k, m$  = koeficienty jednotlivých oblastí.

Na základe tejto závislosti zostavili tabuľku pre rozličné trvania a plochy lejakov na území USSR (tab. 1).

Tabuľka 1

P km <sup>2</sup>	1 hod.	5 hod.	14 hod.	24 hod.
100	1	1	1	1
200	0,97	0,97	0,97	0,97
400	0,88	0,88	0,90	0,92
1000	0,79	0,78	0,81	0,84
2000	0,64	0,66	0,70	0,72
4000	0,50	0,53	0,59	0,63
8000	0,40	0,44	0,49	0,54

Napríklad pri lejaku  $\phi$  trvaní 1 hod. na jednotku plochy pri rozlohe 100 km<sup>2</sup> spadne v priemere  $\phi$  2,5 krát viac zrážok ako na 8000 km<sup>2</sup>.

#### b) Vzťah intenzity a trvania krátkodobých zrážok

Intenzita dažďa sa počas jeho trvania mení. Ak skúmame ombrografické záznamy lejakov, zistíme, že so vzrastajúcim trvaním klesá intenzita. Kolísanie intenzít v závislosti od času zaznamenáva ombrograf vo tvare súčtovej čiary. Intenzitu v ktoromkoľvek okamihu nám udáva tg uhla, ktorý zvierajú tyčnica krivky zaznamenananej na ombrografickej páske s časovou osou záznamu. Absolútne hodnoty intenzít pre určité trvania dažďa a určitú pravdepodobnosť výskytu nie sú všade rovnaké a menia sa od miesta k miestu.

Tabuľka 2

Čas trvania v minútach	15	30	45	60	120
Lejak (množstvo zrážok v mm)	8	13	17	19	25
Prívalový dážď (množstvo zrážok v mm)	19	32	41	44	51

Kritériá na definovanie dažďa ako lejaka alebo prívalového dažďa sú rozličné. Lessz lejak považuje dážď, počas ktorého v priebehu 1 hodiny naprší aspoň 5 mm. Goodman stanovuje lejak výdatnosťou 10 mm za hodinu. Klein a Riggenbach charakterizujú lejak výškou 20 mm za hodinu. Podľa Vojevjkova a Berga lejak je dážď s výdatnosťou 0,5 mm za minútu, čiže 30 mm za hodinu. Tieto definície, ktorých základom je výdatnosť za hodinu, odporujú už uvedenej skutočnosti o zmene výdatnosti dažďa počas jeho trvania.

Odstupňovaním výdatnosti lejakov na časové úseky sa táto chyba do určitej miery odstránila. Jednou z najstarších klasifikácií na definovanie lejakov podľa trvania je anglická stupnica od Symonsa z roku 1872 až 1897, v ktorej stanovil minimálne hodnoty lejakov a privalových dažďov (tab. 2).

V rokoch 1908 až 1915 tu prišlo ku zmene kritérií, ktoré stanovil Mill (tab. 3).

Tabuľka 3

Čas trvania v minútach	10	20	30	40	50	60	90	120
Lejak (množstvo v mm)	7,6	13,5	17,8	20,8	23,4	25,4	29,3	31,2

V rokoch 1892—1906 v Nemecku Hellman rozdelil extrémne krátkodobé zrážky na lejaky, silné lejaky a privalové dažde. Kritériom je intenzita v mm za minútu stanovená v závislosti od trvania dažďa (tab. 4).

Tabuľka 4

Čas trvania v minútach	1—5	6—15	16—30	31—45	46—60	61—120	121—180	>180
Lejak	0,50	0,30	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,09
Silný lejak	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10
Privalový dažď	2,00	1,60	1,20	1,00	0,80	0,60	0,45	0,30

Pri uvádzaní kritérií extrémnych zrážok používaných v Európe je potrebné uviesť i stupnicu Spechta, podľa ktorej na rozdiel od Hellmana môžeme ohodnotiť i dlhotrvajúce zrážky (tab. 5).

Tabuľka 5

Čas trvania v hodinách	<1	1—3	4—6	7—9	10—12	13—15	16—18	19—23	24	48	72
Lejak (min. množ- stvo v mm)	20	30	35	40	45	50	55	60	70	100	120

Haeuser na základe vyhodnotenia 250 000 údajov o začiatku a konci a výdatnosti dažďov odvodil dva rady význačných dažďových intenzít. Prvý rad tvoria maximálne (medzné) intenzity a majú význam teoretický. Hodnoty druhého radu možno použiť v hydrologickej praxi (tab. 6).

Z výsledkov spracovaných na Slovensku odvodil O. Dub medzné hodnoty intenzít obdobné II. radu Haeusera (tab. 7).

Tabuľka 6

Trvanie dažďa v min.	5	10	15	20	25	30	60	90	100
I. rad, intenzita mm/min.	7,0	5,4	4,47	3,84	2,40	3,07	2,08	1,64	1,38
II. rad, intenzita mm/min.	5,4	3,82	3,06	2,59	2,77	2,03	1,37	1,09	0,91

Tabuľka 7

Trvanie dažďa v min.	5	10	15	20	30	60	90	100
Intenzita mm/min.	5,4	3,82	3,06	2,59	1,95	1,20	0,87	0,72

Tabuľka 8

Trvanie dažďa v minútach	1	5	15	30	45	60
Množstvo zrážok v mm	5,4	6,4	8,9	12,7	16,5	20,3

Tabuľka 9

Trvanie min.	Množstvo v mm	Intenzita mm/min.	Trvanie hod. min.	Množstvo v mm	Intenzita mm/min.
5	2,5	0,50	45	10,25	0,23
10	3,8	0,38	50	11,00	0,22
15	5,0	0,33	1 —	12,00	0,20
20	6,0	0,30	2 —	18,00	0,15
25	7,0	0,28	4 —	27,00	0,11
30	8,0	0,27	12 —	45,00	0,06
40	9,6	0,24	24 —	60,00	0,04

Hodnoty prijaté ako kritérium lejakov pre USA stanovil Fassig a Mayer (tab. 8).

V SSSR od roku 1905 používa sa klasifikácia Berga (tab. 9).

Vzájomné porovnanie vyhodnotených dažďov podľa jednotlivých stupníc sa pre rôznosť ich odstupňovania dá ťažko uskutočniť. Kritériá pre klasifikáciu rôznych kategórií nie sú spojitémi (súvislými) funkciami času, ale sa menia skokmi, čo má za následok, že napr. podľa stupnice Hellmana dážď o množstve zrážok 55 mm, trvajúci 121 minút, je dažďom prívalovým ( $55 : 121 > 0,45$ ), no dážď o množstve 70 mm, trvajúci 120 min., nie je prívalovým, pretože  $70 : 120 < 0,60$ .

V dôsledku uvedených nedostatkov pre závislosť medzi intenzitou zrážok a ich trvaním boli hľadané empirické závislosti vyjadrované rôznymi vzorcami. Tieto vzorce však majú iba lokálny význam.

Táto otázka bola najviac rozpracovaná v Nemecku, kde mali k dispozícii dostatočné rady ombrografických pozorovaní. Výskumom krátkodobých zrážok sa tu zaoberali najmä: Hellman, Lindley, Haeuser, Reinhold, Wüssow, Specht, Kehr, Frühling a Breitung.

Hellman vychádzajú z najčastejšieho priebehu ombrografických kriviek extrémnych krátkodobých dažďov stanovil závislosť

$$h_t = 3,522 t^{2/3} - 0,311 t, \quad (5)$$

kde  $h_t$  = množstvo zrážok dažďa o trvaní  $t$  v minútach.

Lindley stanovil prívalové dažde v Lodži vzťahom:

$$h_t = 3,75 t^{0,55} \quad (6)$$

lejaky v Hannoveri

$$h_t = 2,40 t^{1/2}. \quad (7)$$

Podobných vzťahov bol zavedený celý rad. Napríklad:

$$i = \frac{A}{t^a} - C, \text{ resp. } h = At^{1-a} \cdot Ct \text{ alebo } i = \frac{C}{t+b} \quad (8)$$

kde  $A$ ,  $C$ ,  $b$  sú konštanty zistené za dlhé obdobie meniace sa podľa povahy miesta a podľa pravdepodobnosti výskytu určitých intenzít, kým exponent  $a$  je závislý iba od geografických činiteľov a je pomerne stály.

V značnej miere sa používa vzorec Lindleyho

$$i = \frac{C}{t^a}, \text{ resp. } h = C.t^{1-a}. \quad (9)$$

Jeho použitie je výhodné najmä v logaritmickom tvare

$$\log i + a \cdot \log t = \log C. \quad (10)$$

Zrážkové rady vynesené v log. súradnicovom systéme sa javia ako priamky. Skutočné hodnoty pri zrážkach kratších ako 10 minút sa od tejto priamky odchyľujú, preto Reinhold rozšíril tento vzorec na tvar

$$h = \frac{C \cdot t}{(t+b)^a}, \quad (11)$$

kde pre lejaky  $C = 9$ , pre silné lejaky  $C = 13,5$ , pre prívalové dažde  $C = 18$ ,  $a = 0,765$ .

Dub určil pre Slovensko hodnotu  $a = 0,675$ .

V SSSR používajú taktiež Reinholdov vzťah. Exponent „ $a$ “ určili Bogomazovová a Petrovová na základe spracovania 17 200 lejakov zo 189 ombrografických staníc hodnotou 0,63.

Roku 1922 v časopise *Meteorologische Zeitschrift* na základe Kassnerovej klasifikácie z roku 1919 stanovil W u s s o w pre severné Nemecko medze lejakov vzťahom, ktorý sa v Nemeckej meteorologickej službe používa od roku 1927.

$$h = \sqrt{5t - \frac{1^2}{24}}, \quad (12)$$

pre dažde kratšie ako 2 hodiny použil vzťah

$$h = \sqrt{5t}, \quad (13)$$

pre lejaky dlhšieho trvania tiež rozšírený vzorec

$$h = \frac{1}{24} \sqrt{t(280-t)} = \sqrt{5t - \frac{1}{576} t^2}. \quad (14)$$

Dažde, ktoré dosiahnu dvojnásobnú hodnotu stanovenú vzorcom, označujeme ako katastrofálne dažde.

V Československu sa Wussovo kritérium ako medza pre extrémne dažde používa vo tvare

$$h = 2 \sqrt{5t}. \quad (15)$$

Dub navrhuje používať tvar

$$h = C^3 \sqrt[3]{t}, \quad (16)$$

pretože lepšie vyhovuje vzťahu intenzít odvodenému pre Slovensko (vzťah 31), pričom

$$C = \frac{3200}{(150p)^n} \quad (17)$$

kde  $p$  = periodicita, exponent „ $n$ “ mení sa v medziach  $1/4$  až  $1/3$ .

Pre stanovenie intenzít krátkodobých dažďov, ktoré bývajú dosiahnuté alebo prekročené na Slovensku raz za rok, udáva Dub zrážkové množstvo vzťahom

$$h = 2 \text{ až } 3 \sqrt[3]{6t}. \quad (18)$$

V Sovietskom sväze podobne boli stanovené rôzne vzorce. Napríklad pre oblasť Leningradu používali vzťahy:

lejaky	$h_t = 2,33 t^{0,500}$ ,
silné lejaky	$h_t = 3,60 t^{0,422}$ ,
prívalové dažde	$h_t = 6,50 t^{0,333}$ .

(19)

V Poľsku napr. pre Varšavu stanovil P o m i a r o w s k i lejaky vzťahom

$$h = 6.17 \frac{t}{(t+3)^{2/3}}. \quad (20)$$

Rózański vychádzajúc z toho, že priebeh ombrografických kriviek krátkodobých dažďov je v severnej Európe podobný, stanovil pre Poľsko intenzitu lejakov vzťahom

$$i_t = a + b \cdot t^{-1/3}, \quad (21)$$

kde  $a$ ,  $b$  sú koeficienty pre jednotlivé oblasti.

Roku 1950 Chomicz v tradícii predchádzajúcich stupnic navrhol klasifikovať lejaky v Poľsku vzťahom

$$h_k = 2^{k/2} t^{1/2}, \quad (22)$$

kde  $h$  = množstvo zrážok v mm za čas  $t$  v minútach,  $k = 0, 1, 2, 3 \dots$

Tomuto vzťahu odpovedá zväzok parabol vychádzajúcich z počiatku. Paraboly majú priebeh podobný intenzitám extrémnych dažďov v závislosti od ich trvania a možno nimi extrémne dažde rozdeliť: silné dažde, lejaky I. až IV. stupňa a privalové dažde I. až III., resp. i vyššieho stupňa. Touto klasifikáciou sa budeme ešte zaoberať v druhej časti práce.

Všetky tieto kritériá majú význam klimatický a možno nimi síce lejaky klasifikovať, resp. charakterizovať ich priebeh, no nimi klasifikované dažde nie sú si navzájom rovnocenné, pretože ich výskyt počas určitého obdobia nie je rovnaký.

### c) Periodicity extrémnych krátkodobých dažďov vo vzťahu k intenzite a trvaníu dažďa

Pre rôzne technické účely je potrebné, aby sme poznali pravdepodobnosť výskytu, resp. prekročenia (periodicitu) dažďa dosahujúceho určitú intenzitu pri stanovenom trvaní.

Ak usporiadame zrážky do radov o určitom trvaní podľa nestúpajúcich hodnôt a výdatnosti označíme číslom, ktoré udáva pomernú početnosť dosiahnutia, resp. prekročenia týchto hodnôt v roku, vtedy nám rovnaké hodnoty týchto radov predstavujú zrážky o rovnakej pravdepodobnosti výskytu alebo zrážky určitej periodicity.

Táto metóda je opísaná viacerými autormi, u nás napr. Čížkom, Truplom a tiež v Návode hydrologickej služby pre spracovanie ombrografických záznamov č. 8. Pre určenie takého radu Reinhold považuje za nevyhnutné spracovať ombrografické záznamy za obdobie najmenej 10 rokov.

$$\text{Reinhold na základe vzťahu } i = \frac{C}{(t+b)^a} \quad (23)$$

stanovil pre Nemecko strednú intenzitu pre pravdepodobnosť prekročenia (periodicitu)  $p = 1$  z rovníc

$$i = \frac{1930}{(t+8)^{0,95}} \text{ alebo } i = \frac{2385}{t+9} \quad (24)$$

Pre jednotlivé miesta v Nemecku určujú intenzity privalových dažďov z mapy dažďových intenzít pre trvanie 15 minút a periodicitu  $p = 1$  časovým súčiniteľom  $\varphi$ . Mapy zostavili na základe spracovania 75 200 dažďov z 250 staníc. Pre výpočet časového súčiniteľa platí vzorec

$$\varphi = \frac{38}{t+9} \left( \sqrt[4]{\frac{1}{p}} - 0,369 \right) \quad (25)$$

V Anglii je zaužívaný vzorec B i l h a m a

$$p = 1,25 t (h+0,1)^{-3,55} \quad (26)$$

kde  $p$  = periodicitu v období 10 rokov,  $h$  = množstvo zrážok v palcoch.

V SSSR A l e x e j e v odvodil závislosť medzi intenzitou, opakovaním a trvaním lejakov

$$i = \frac{A+B \log N}{(t+1)^a} \quad (27)$$



kde  $A, B$  sú geografické konštanty vyšetrené pre každú ombrografickú stanicu a je z nich zostavená mapa izolínií;  $N$  = počet rokov, za ktorý sa intenzita vyskytne, „ $a$ “ kolíše medzi 0,5 až 0,8. Ako sme už uviedli, **B o g o m a z o v o v á** a **P e t r o v o v á** stanovili jeho hodnotu na 0,63.

Pre jednotlivé miesta v SSSR určujú maximálne intenzity privalových dažďov pre trvanie 20 minút a periodicitu  $p = 1$  vzorcom

$$i = \frac{20^p \cdot i_{20} (1 + C \log N)}{t^a} \quad (28)$$

kde  $i_{20}$  sa odpočíta z mapy izolínií, konštanta  $C$  sa mení v medziach 0,85–1,25 a vypočíta sa zo vzorca  $C = \frac{B}{A}$ , pričom hodnoty  $A, B$  sú vzaté z **A l e x e j e v o v h o** vzorca.

Pre oblasti, kde  $i_{20}$  nie je možné určiť z mapy izolínií, vypočíta sa z empirickej rovnice

$$i_{20} = 0,071 H \sqrt{d_v}, \quad (29)$$

kde  $H$  = priemerný ročný úhrn zrážok,  $d_v$  = súčet súčinov sýtosťných doplnkov s mesačnými zrážkami za apríl až október, delený úhrnom týchto zrážok.

V USA pre zistenie intenzít miesta, kde nie sú ombrografické pozorovania, za základ slúži mapa rovnakých jednogodinových dažďov pri periodicite výskytu 0,5 (t. j. raz za 2 roky) zostrojená jednak pomocou ombrografických hodnôt, jednak pomocou odvodených hodnôt z obyčajnej zrážkomernej siete. Ďalej zostrojili 15 kriviek závislosti medzi intenzitou od 0,2 do 3 palcov a trvania dažďa od 5 do 240 minút.

Potrebnú intenzitu určujú tak, že z mapy izolínií odčítajú príslušnú hodnotu intenzity pre  $p = 0,5$ , z 15 kriviek vyberú odpovedajúcu krivku zistenej hodnote a odčítajú všetky intenzity pre potrebné časy trvania dažďa.

Iný používaný spôsob je, že celá plocha USA je rozdelená do 7 oblastí a pre každú oblasť bola stanovená rovnica pre pravdepodobnosti prekročenia 0,5 0,2 0,1 0,04 0,02 a 0,01.

Krajné tvary rovnice pre periodicitu  $p = 0,5$  (pre I. a VII. oblasť) sú takéto:

$$i_I = \frac{206}{t+30}; \quad i_{VII} = \frac{32}{t+11}. \quad (30)$$

V ČSSR sa výskumom extrémnych krátkodobých zrážok zaoberali **B a r t o š e k**, **B a u e r**, **Č í ž e k**, **D u b**, **H o r á k**, **H a l á m e k**, **J ú v a**, **N ě m e c**, **R o s í k**, **T r u p l**, **V o r e l** a **Z a v a d i l**.

**T r u p l** stanovil intenzity extrémnych krátkodobých dažďov pre rôzne pravdepodobnosti výskytu v povodiach Labe, Odry a Moravy na základe spracovania 98 ombrografických staníc s 1712 rokmi pozorovaní. Pre jednotlivé povodia a periodicity stanovil konštanty  $C$  a exponent „ $a$ “ Reinholdovho vzorca a zostavil mapy intenzít 15 minútového dažďa a hodnôt „ $a$ “ o periodicite  $p = 1$ .

Pre Moravskosliezske zeme vypracoval **R o s í k** krivky intenzít pre rôzne pravdepodobnosti výskytu na základe 18 ombrografických staníc a 318 rokov pozorovaní. Pre všetky krivky stanovil konštanty Reinholdovho vzorca. Podobné spracovanie uskutočnil **H a l á m e k** pre oblasť Brna a **B a u e r** pre Prahu.

Na Slovensku extrémne krátkodobé zrážky z 10 staníc spracoval **O. D u b**. Z dosiahnutých výsledkov stanovil rovnice pre nepriame odvodenie zrážkových radov

$$i = \frac{3200}{(t+b)^{0,675} (150p)^2} \quad (31)$$

kde  $n = 1/4$ , keď priemerné zrážky pripadajúce na 1 zrážkový deň v období máj až september sú väčšie ako 8,5 mm;  $n = 0,3$ , ak sú v medziach 7,5–8,5;  $n = 1/3$ , ak sú menšie ako 7,5;  $b = 5/t$  pre dažde kratšie ako 15 minút;  $b = 0$  pre dažde trvajúce od 15 do 60 minút;  $b = t/30$  pre dažde dlhšie ako 60 minút;  $p =$  periodičita.

Ide o približný vzorec platný asi po periodičitu 0,1. O vzorci budeme hovoriť ešte v druhej časti práce.

#### EXTREMNE KRÁTKODOBÉ ZRÁŽKY STARÉHO SMOKOVCA V ROKOCH 1931–1960

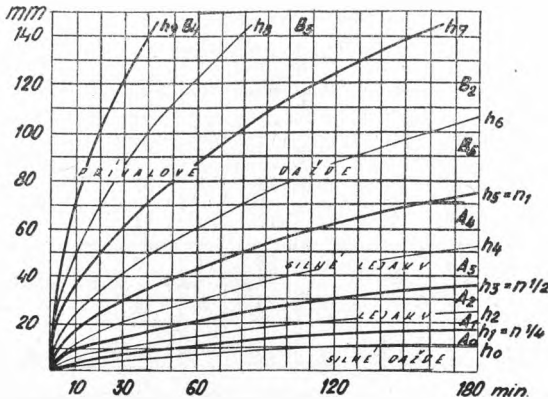
Voľbu spracovaného miesta podmienil celkový riešený problém: meteorológia Vysokých Tatier a kvalita a dĺžka radu ombrografických pozorovaní. Starý Smokovec má viac ako 30 ročný rad nepretržitého svedomitého pozorovania. Z obdobia 1931–1960 ombrografických pozorovaní chýba záznam z 91 zrážkových dní pripadajúcich v úvahu pre spracovanie, a to hlavne v období na začiatku mája, resp. konca septembra, keď ombrograf pre trvajúce mrazy neregistroval. Pri spracovaní boli analyzované extrémne dažde v období od 1. mája do 30. septembra. Je to rovnaké obdobie ako zaviedol Reinhold a je vyhovujúce i pre Vysoké Tatry, pretože dažde o vysokých intenzitách sa tu spravidla v ostatných mesiacoch nevyskytujú.

#### a) Výsledky spracovania metódou K. Chomicza

Chomicz pri stanovení kritérií klasifikácie extrémnych krátkodobých zrážok vychádza z Hellmanovej stupnice intenzít krátkodobých dažďov o trvaní 1–180 minút (tab. 4). Modifikovaním tejto stupnice dostáva 3 čiary ( $n_1, n_{1/2}, n_{1/4}$ ) ohraničujúce lejaky, silné lejaky a príválové dažde. Na určenie týchto kriviek stanovil rovnicu:

$$h_k = 2^{k/2} t^{1/2}, \quad (32)$$

kde  $h =$  množstvo zrážok mm;  $t =$  trvanie v minútach;  $k = 0, 1, 2, 3 \dots$ , pričom čiara  $n_1$  modifikovanej stupnice Hellmana sa rovná čiare  $h_5$ ;  $n_{1/2} = h_3$  a  $n_{1/4} = h_1$  (graf 1).



Graf 1.

Polia medzi čiarami  $h_0, h_1, h_2, \dots$  označuje  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2, B_3$ , pričom  $A_0$  predstavuje silné dažde,  $A_1$ — $A_4$  lejaky I. až IV. stupňa,  $B_1$ — $B_3$  privalové dažde I.—III. stupňa.

Pri spracovaní ombrografických záznamov sa postupuje počtárskym a grafickým spôsobom. Počtársky spôsob spočíva vo vyhodnocovaní množstva zrážok v mm za každých 5 minút počas trvania celého dažďa. Z týchto hodnôt sa potom zostavuje tabuľka maximálnych úhrnov  $H_t$  pre rôzne časové úseky dažďa (5, 10, 15, 20, 30... až do ukončenia dažďa). Nakoniec týmto maximálnym úhrnom zrážok jednotlivých časových úsekov sa prisúdia charakteristiky  $A_0, A_1, A_2, \dots$ . Obdobne sa postupuje u všetkých dažďov za spracované obdobie. Z početnosti prípadov  $A_0, A_1, A_2, \dots$  sa stanoví zvlášť pre jednotlivé časy trvania ich pravdepodobnosť výskytu, resp. prekročenia.

Uvedený spôsob vyhodnotenia ombrogramov je veľmi zdĺhavý a prakticky neuskutočniteľný, a preto Chomicz pre vyhodnotenie odporúča používať grafickú metódu.

Grafická metóda predpokladá zostrojenie aspoň troch základných priesvitných pásov, kde na vodorovnej osi sú nanesené hodnoty množstva zrážok 10, 20, 30... 210 mm v takých časových odstupoch, v akých tieto hodnoty majú dosiahnuť zrážky charakterizované čiarami  $h_5, h_3, h_1$ , t. j. privalové dažde, silné lejaky a lejaky (graf 2).

30	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
PRIVALOVÉ DAŽDE																	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100								
SILNÉ LEJAKY																	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100								
LEJAKY																	

Graf 2.

Priesvitkami posunujeme tak, aby sme priamo na ombrograme mohli určiť maximálnu intenzitu a charakterizovať príslušný časový úsek dažďa.

Takto vyhodnotené dažďové úseky zostavíme do tabuliek početnosti a vypočítame pravdepodobnosti výskytu, resp. prekročenia.

Početnosť extrémnych dažďov v závislosti od času trvania a výdatnosti (Starý Smokovec 1931—1960) sa uvádza v tab. 10.

Tabuľka 10

Trvanie v min.	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120	180	Spolu
$A_0$	137	133	122	109	112	113	114	108	84	68	63	1163
$A_1$	71	78	69	86	69	55	48	51	31	24	20	602
$A_2$	40	47	50	36	31	27	17	12	11	9	4	284
$A_3$	9	15	12	14	15	15	13	11	9	6	5	124
$A_4$	2	4	5	5	3	3	3	3	1	—	—	29
$B_1$	1	1	2	1	1	—	—	—	—	—	—	6

Za obdobie 30 rokov sa v St. Smokovci vyskytlo spolu 2208 extrémnych úsekov dažďa vyhovujúcich podmienkam, z toho viac ako polovica (52,67 %) bolo charakteru

silných dažďov a len 0,27% prívalových dažďov I. stupňa, intenzívnejšie zrážky sa vôbec nevyskytli. Pre doplnenie je uvedená prehľadná tabuľka početnosti v zmysle modifikovanej stupnice Hellmana (tab. 11).

Z celkového počtu 1045 extrémnych krátkodobých dažďov (bez silných dažďov charakterizovaných ako  $A_0$ ) v Starom Smokovci pripadá na lejaky 84,8%, na silné lejaky 14,6% a na prívalové dažde o charaktere  $B_1$  0,6%.

Hodnoty početnosti výskytu extrémnych krátkodobých dažďov v závislosti od času stanovené pre dažde  $A_0 A_1 \dots$  a vydelené skutočným počtom rokov (pričom skutočný počet rokov sa rovná celkovému spracovanému obdobiu zmenšenému o obdobie bez ombrografických pozorovaní; u St. Smokovca v období 1931—1960 skutočný počet rokov sa rovná 29,4) nám predstavujú pravdepodobnosť výskytu týchto druhov extrémnych dažďov. Obdobným spôsobom z kumulatívnej početnosti výskytu extrémnych krátkodobých dažďov vypočítame a zostrojíme tab. 12, resp. čiary pravdepodobnosti prekročenia (periodicity) alebo pravdepodobnosti výskytu takýchto a intenzívnejších dažďov (graf 3).

Pravdepodobnosť výskytu a periodicita extrémnych dažďov, ktoré sú charakterizované symbolom  $A_0 A_1 \dots$  v zmysle Chomiczovej klasifikácie, nie sú pre rôzne trvania dažďa rovnaké, teda takto charakterizované dažde nie sú hospodársky rovnocenné. Najčastejšie sa vyskytujú extrémne dažde o trvaní 10—20 minút, s predĺžovaním trvania ich výskyt postupne klesá. Dažde charakterizované ako  $A_0$  sa vyskytnú v priemere (pri trvaní 5 minút až 3 hodiny) 5 krát za rok,  $A_1$  2—3 krát za rok,  $A_2$  raz za rok,  $A_3$  raz za 2 roky,  $A_4$  raz za 10 rokov a  $B_1$  o trvaní 5—30 minút raz za 30 rokov.

Dažde odpovedajúce kritériu  $A_0$  a vyššie sa vyskytnú v priemere 7 rás za rok, pričom tieto dažde o trvaní 10 minút sú dosiahnuté a prekročené 9—10 rás za rok a o trvaní 3 hod. len 3 krát za rok. Podobne je to i u ostatných rádiv.

Periodicity dažďov klasifikovaných Chomiczovou metódou uvádza tab. 12. U  $A_1$  periodicita kolíše medzi výskytom 1—5 krát za rok; u  $A_2$  kolíše medzi výskytom raz za

Tabuľka 11

Trvanie v min.		5	10	15	20	30	40	50	60	90	120	180	Spolu
Lejak	počet prípadov	111	125	119	122	100	82	65	63	42	33	24	886
	%	10,62	11,96	11,39	11,67	9,57	7,85	6,22	6,03	4,02	3,16	2,30	84,78
Silný lejak	počet prípadov	11	19	17	19	18	18	16	14	10	6	5	153
	%	1,05	1,82	1,63	1,82	1,72	1,72	1,53	1,34	0,96	0,57	0,48	14,64
Prívalový dažď	počet prípadov	1	1	2	1	1	—	—	—	—	—	—	6
	%	0,10	0,10	0,19	0,10	0,10	—	—	—	—	—	—	0,57

Tabuľka 12

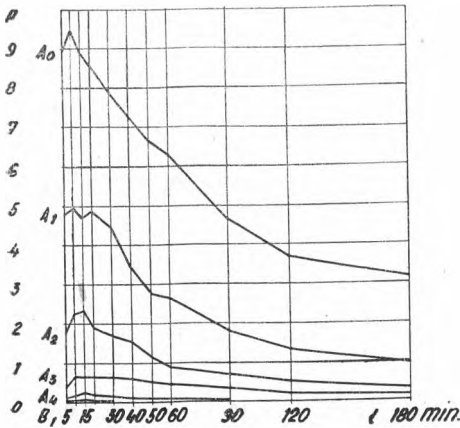
Trvanie	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120	180	riem.
A <sub>0</sub>	8,84	9,46	8,84	8,54	7,86	7,24	6,63	6,29	4,62	3,64	3,13	6,83
A <sub>1</sub>	4,78	4,93	4,69	4,83	4,05	3,40	2,76	2,62	1,77	1,33	0,99	3,23
A <sub>2</sub>	1,77	2,28	2,35	1,90	1,70	1,53	1,12	0,88	0,71	0,51	0,31	1,37
A <sub>3</sub>	0,41	0,68	0,65	0,68	0,65	0,61	0,54	0,48	0,34	0,20	0,17	0,49
A <sub>4</sub>	0,10	0,17	0,24	0,20	0,14	0,10	0,10	0,10	0,03	—	—	0,13
B <sub>1</sub>	0,03	0,03	0,07	0,03	0,03	—	—	—	—	—	—	0,04

2<sup>1</sup>/<sub>3</sub> roka až raz za 3 roky; u A<sub>3</sub> medzi raz za 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> roka až raz za 6 rokov; u A<sub>4</sub> medzi raz za 6 až 30 rokov a u B<sub>1</sub> raz za 15 až 30 rokov.

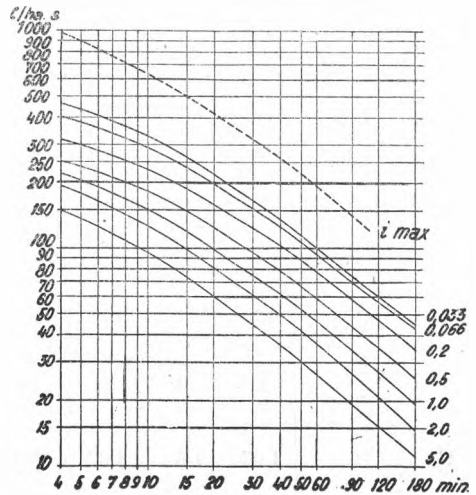
Z grafu 3 i tab. 12 je zrejmé, že čím dažde A<sub>0</sub> A<sub>1</sub> . . . dlhšie trvajú, tým je pravdepodobnosť ich prekročenia menšia. Príčina je v tom, že v Starom Smokovci intenzita dažďa s trvaním klesá rýchlejšie, než to predpokladajú krivky Chomiczovej klasifikácie.

b) Dažďové intenzity pre rôzne pravdepodobnosti prekročenia

Intenzita krátkodobých zrážok má pre dimenzovanie kanalizačnej siete, regulácie a pre výpočet odtokového množstva smerodajný vplyv. Krátkodobé zrážky dosahujú niekedy veľmi vysoké intenzity, ale sa len niekoľkokrát vyskytnú za veľmi dlhé obdobie. Ak by stoková sieť bola dimenzovaná na najväčšie intenzity, bola by využitá len



Graf 3. Periodicita dažďov charakterizovaných intenzitami A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, B<sub>1</sub> podľa Chomicza v St. Smokovci (1931—1960); P = periodicita (1 = pravdepodobnosť prekročenia raz za rok).



Graf 4. Periodicita dažďov St. Smokovca (1931—1960); — — — — i max. = medzné hodnoty podľa O. Duba.

niekoľko hodín za veľmi dlhé obdobie. Taká sieť predpokladá veľké náklady, a preto sa stoky dimenzujú tak, že pri ich projektovaní sa za základ berú dažďe o menšej intenzite a potom dochádza občas (podľa normy stupňa bezpečnosti) k preťaženiu siete a záplavám. Požiadavka intenzit extrémnych krátkodobých dažďov o určitej periodicite je veľmi častá a stav ich spracovania pre územie Slovenska je dosiaľ nedostatočný, no vyriešenie tohto problému je zahrnuté do III. päťročného plánu.

Tabuľka 13

Periodi- cita	Rozmer	Trvanie zrážkových úsekov v minútach										
		5	10	15	20	30	40	50	60	90	120	180
0,033	mm	13,5	20,0	23,4	26,7	30,4	33,3	35,8	37,8	42,0	45,6	50,6
	mm/min.	2,70	2,00	1,56	1,34	1,01	0,83	0,72	0,63	0,47	0,38	0,28
	l/ha. s	440	330	275	222	172	142	121	107	79,0	63,2	46,0
0,05	mm	12,1	18,5	21,9	25,3	29,0	31,6	33,8	35,5	40,1	43,9	49,0
	mm/min.	2,42	1,85	1,46	1,26	0,97	0,79	0,68	0,59	0,45	0,37	0,27
	l/ha. s	402	304	252	205	160	133	114	100	75,0	60,8	44,0
0,1	mm	10,4	16,0	18,8	21,7	25,1	27,7	30,0	32,0	36,4	39,7	44,8
	mm/min.	2,08	1,60	1,25	1,08	0,84	0,69	0,60	0,53	0,40	0,33	0,25
	l/ha. s	348	268	226	185	145	122	105	92,0	69,5	56,2	41,8
0,2	mm	9,1	14,2	16,7	19,3	22,3	24,7	26,8	28,0	31,5	34,1	38,0
	mm/min.	1,82	1,42	1,11	0,96	0,74	0,62	0,54	0,47	0,35	0,28	0,21
	l/ha. s	307	232	197	161	127	106	90,0	80,0	60,0	49,0	36,0
0,5	mm	7,2	11,3	13,3	15,2	17,8	19,7	21,2	22,3	24,6	26,2	28,7
	mm/min.	1,44	1,13	0,89	0,76	0,59	0,49	0,42	0,37	0,27	0,22	0,16
	l/ha. s	242	182	154	127	97,0	80,8	69,0	60,0	44,6	36,0	25,7
1	mm	6,2	9,4	11,0	12,7	14,5	16,0	17,2	18,0	19,7	20,9	22,6
	mm/min.	1,24	0,94	0,73	0,64	0,48	0,40	0,34	0,30	0,22	0,17	0,13
	l/ha. s	210	153	129	104	79,5	64,3	54,6	47,8	34,5	27,2	19,0
2	mm	5,3	8,0	9,1	10,3	11,5	12,5	13,3	13,8	15,2	16,0	17,4
	mm/min.	1,06	0,80	0,61	0,52	0,38	0,31	0,27	0,23	0,17	0,13	0,10
	l/ha. s	181	127	104	82,3	62,4	51,0	43,3	37,8	27,2	21,4	14,8
5	mm	4,1	5,8	6,6	7,3	8,2	8,8	9,3	9,6	10,3	10,7	11,4
	mm/min.	0,82	0,58	0,44	0,36	0,27	0,22	0,19	0,16	0,11	0,09	0,06
	l/ha. s	141	92,8	75,9	59,8	45,0	36,5	30,5	26,4	19,0	14,9	10,5
10	mm	3,2	4,5	5,0	5,5	5,9	6,3	6,6	6,8	7,2	7,5	7,9
	mm/min.	0,64	0,45	0,33	0,28	0,20	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06	0,04
	l/ha. s	107	69,5	55,8	44,0	32,6	26,2	22,0	19,2	14,0	11,2	—

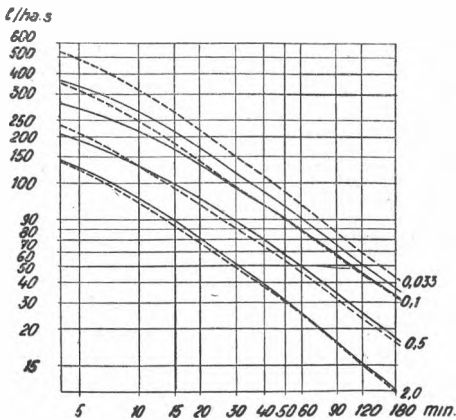
Z vyhodnotených dažďov Starého Smokovca v rokoch 1931—1960 zostavili sme krivky periodicít pre dažde o rôznom trvaní (graf. 4).

Vyhodnotením týchto kriviek dostaneme hodnoty intenzít extrémnych dažďov pre trvanie 5 min. až 3 hod. a rôzne periodicity (tab. 13).

V Starom Smokovci za roky 1931—1960 bolo vyhodnotených 4354 dažďových úsekov o rôznom trvaní. Najnižšie intenzity vzaté do úvahy pri spracovaní mali pravdepodobnosť prekročenia 18 krát za rok. Maximálne intenzity vyskytujúce sa raz za 30 rokov dosahujú 50—60 % hodnôt medzných intenzít ( $i$  max.) odvodených O. Dubom pre Slovensko (graf. 4).

Dostatočne dlhý rad nepretržitých ombrografických pozorovaní možno použiť na overenie platnosti empirických, resp. odvodených vzťahov. Pre porovnanie sme použili vzťah O. Duba (31) platný pre Slovensko.

Priemerné množstvo zrážok pripadajúce na 1 zrážkový deň v období máj až september má St. Smokovec väčšie ako 8,5 mm, preto pri výpočte kriviek periodicity sa používa exponent  $n = 1/4$ . Vypočítané hodnoty podstatne prevyšovali hodnoty skutočné, preto sme pri výpočte použili exponent  $n = 0,3$  platný pre oblasti s priemerným množstvom zrážok na 1 zrážkový deň v medziach 7,5—8,5 mm (graf 5).



Graf. 5. ————— periodicita dažďov St. Smokovca (1931—1960); - - - - - periodicita dažďov vypočítaná vzorcom

$$i = \frac{3200}{(t+b)^{0,675} (150p)^{0,3}}$$

skou výškou klesá teplota vzduchu a tým aj napätie pár. Napríklad v strednej Európe je vo výške 1000 m asi 65 % a vo výške 2000 m už iba 50 % napätia pár nameraného pri zemi.

Z toho vyplýva, že zrážkové extrémny vznikajú skôr v nižších polohách, kde je síce nižší zrážkový úhrn, ale častejší výskyt silných lejakov. V horských oblastiach orografickým zesilňovaním cyklónálnej činnosti je vyšší úhrn zrážok, ale pri celkovo menšom absolútnom množstve pár lejaky tu nemajú takú výdatnosť ako v nížinných polohách.

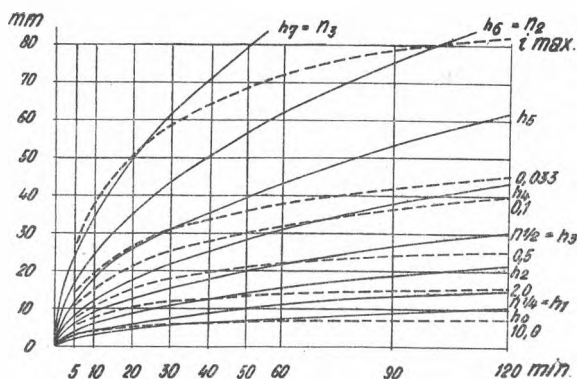
Toto tvrdenie je potrebné overiť porovnaním s ďalšími intenzitami z miest o rozličnej nadmor. výške, čím by sa tiež overila miera a rozsah platnosti použitého vzťahu.

Vypočítaná závislosť množstva zrážok od trvania dažďa a jeho frekvencie je podobná skutočnej. Rozdiely sú zrejme pri trvaní dažďa do 10 minút a pravdepodobnosti prekročenia menšej 0,1, t. j. raz za 10 rokov. Pre extrémne dažde vyskytujúce sa raz za 20, 30 alebo viac rokov sú vypočítané hodnoty vyššie než skutočné (sú vyššie, aj keď berieme do úvahy exponent  $n = 1/3$  platný pre najsuchšie oblasti, t. j. s priemerným množstvom zrážok pripadajúcim na 1 zrážkový deň menším než 7,5 mm), tým sa potvrdzuje, ako sme uviedli už v prvej časti práci, že vzťah má približnú platnosť asi po periodicitu 0,1.

Okolnosť, že St. Smokovec nedosahuje intenzity, ktoré prislúchajú oblastiam s priemerným množstvom zrážok na 1 zrážkový deň väčším ako 8,5 mm, možno vysvetliť dvoma príčinami:

1. Výdatnosť lejakov závisí od obsahu vodných pár v ovzduší a tieto zas od teploty vzduchu. So vzrastajúcou nadmor-

2. Druhou príčinou môže byť zúveterná poloha proti prevládajúcim vetrom s vyšším obsahom vodných pár. Pre potvrdenie tejto domnienky bolo by dobré porovnať periodicity intenzít St. Smokovca s periodicitami Zakopaného z toho istého obdobia.



Graf 6. ——— krivky pre charakterizovanie extrémnych dažďov podľa Chomicza; - - - - - periodicita dažďov St. Smokovca (1931—1960).

#### ZÁVER

Zo spracovania krátkodobých extrémnych zrážok St. Smokovca metódou Chomicza a metódou stanovenia čiar o určitej pravdepodobnosti prekročenia vyplývajú tieto poznatky:

1. Pre stanovenie kriviek periodicít sú vhodné iba ombrografické záznamy s jednodennou obežnou dobou. Pri dvojdňovej obežnej dobe je spracovanie oveľa menej presné a pri hrubšej (rozpítej) čiare dokonca nemožné. Vyhodnotenie ombrogramov grafickou metódou Chomicza možno uskutočniť podstatne rýchlejšie. Pre spracovanie sú vhodné i dvojdňové ombrogramy, no pri hrubých čiarach tak isto trpí presnosť vyhodnotených údajov.

Princípy vyhodnotenia ombrogramov sú v podstate podobné, takže vyhodnotené intenzity pre stanovenie periodicít môžeme s minimálnym časovým a pracovným zaťažením zaradiť a klasifikovať Chomiczovou metódou. Opačný postup nie je možný, t. j. hodnoty získané vyhodnotením ombrogramu metódou Chomicza nie je možné použiť pre zostrojenie kriviek periodicity.

2. Kritériá spodnej medze dažďa pre zaradenie do spracovania sú rozličné. Pri metóde Chomicza sú približne o 50 % vyššie, t. j. dažde vzaté do úvahy pre stanovenie periodicity dosahujú pravdepodobnosť prekročenia 18 krát za rok, kým pri metóde Chomicza najviac 9 krát za rok. Táto okolnosť nie je však podstatná, pretože intenzity zrážok vyskytujúce sa viac ako 10 krát za rok nemajú u nás z hľadiska hydrologického podstatný význam.

3. Pri spracovaní intenzít oboma metódami je rozdiel v tom, že podľa Chomicza berieme do úvahy iba maximálnu intenzitu určitého časového úseku (5, 10, 15, 20... mm) z celého dažďa, jedno i viacnásobného, kým pre stanovenie periodicity berieme do úvahy všetky úseky dažďa do seba nezasahujúce, počnúc od maximálnej intenzity až po prípustnú medzu (Návody pro hydrologickú službu č. 8 [36]).



Zo 4354 dažďových úsekov vzatých do úvahy pre stanovenie periodicity dosahovalo kritérium spodnej medze podľa Chomicza iba 2731 dažďových úsekov a z nich boli spracované iba maximálne intenzity každého dažďa v počte 2208, teda 528 dažďových úsekov o pomerne vysokej intenzite v klasifikácii Chomicza nebolo do spracovania zaradené. Najväčšie rozdiely sú pri trvaní dažďových úsekov do 10 minút; u intenzít malej pravdepodobnosti prekročenia je zhoda.

4. Pravdepodobnosť výskytu a prekročenia jednotlivých druhov lejakov charakterizovaných podľa Chomicza nie je rovnaká (graf 3), ale pri lejakoch o dlhšom trvaní klesá, pričom by však pre jednotlivé druhy  $A_0$   $A_1$   $A_2 \dots$  mala byť rovnaká. V skutočnosti teda u St. Smokovca ubúda intenzita zrážok s trvaním rýchlejšie, ako ubúda intenzita podľa kriviek Chomicza. Túto skutočnosť potvrdzuje i porovnanie čiar periodicít s krivkami ohraničujúcimi jednotlivé druhy lejakov podľa Chomicza (graf 6).

Na grafe 6 vidíme nesúhlas v priebehu týchto kriviek. Tak napr. dažď vyskytujúci sa raz za 30 rokov o trvaní do 30 minút môžeme charakterizovať ako  $B_1$ , t. j. príválový dažď I. stupňa, od 30 do 150 minút ako  $A_4$  a ďalej ako  $A_3$ , podobne je to u čiar maximálnych intenzít i ostatných kriviek.

Dažde charakterizované ako  $A_1$  majú priemernú pravdepodobnosť výskytu 2 krát za rok, no pri trvaní 20 minút sa vyskytnú 3 krát za rok a tie isté dažde o trvaní 180 minút raz za  $1\frac{1}{2}$  až 2 roky. Teda zrážky charakterizované ako  $A_1$ , t. j. lejaky I. stupňa podľa Chomicza pri rozličnom trvaní nie sú hospodársky rovnocenné.

5. Metódou Chomicza môžeme pomerne jednoducho a rýchle a z hľadiska klimatického vhodne charakterizovať a zatriediť extrémne krátkodobé dažde, no samotná klasifikácia bez stanovenia závislosti rovnakej pravdepodobnosti prekročenia je pre praktické použitie neúplná.

#### LITERATÚRA

1. Alexejev G. A., *Metod ustanovlenija zavisimosti meždu intensivnostju i povtorjajemostju livnej*. Trudy NIU GUGMS, ser. VII. vyp. 1, 1940. — 2. Alexejev G. A., *Metod ustanovlenija zavisimosti meždu intensivnostju, prodolžitel'nostju i povtorjajemostju livnej*. Trudy NIU GUGMS ser. 4, vyp. 1, 1942. — 3. Bogomazova Z. P. — Petrova Z. P., *Livni Evropejskoj teritorii SSSR i Kavkaza*. Trudy NIU GUGMS ser. 4, vyp. 1, 1942. — 4. Berg E. J., *Dannye ob najbolje vypadajuščichsja livnevych doždjach raznoj prodolžitel'nosti za desatiletije 1903—1912 g. na teritorii Jevropejskoj Rosii*. Geofizičeskij sbornik TIV. Leningrad 1925. — 5. Čížek P., *Hydrologie stokových sítí*. SNTL, Praha 1953. — 6. Demidov L. G. — Sigorin G. G., *Kanalizacija I*. Moskva, Izdatelstvo Ministerstva komunalnogo chozjajstva 1949. — 7. Drozdov O. A., *Metody klimatičeskoj obrabotki meteorologičeskich nabljudenij*. Hidrometeorologičeskoje izdatelstvo, Leningrad 1957. — 8. Dub O., *Hydrologia, hydrografia, hydrometria*, SVTL, Bratislava 1957. — 9. Dub O., *Všeobecná hydrologia Slovenska*. Vydavateľstvo SAV, Bratislava 1954. — 10. Dub O., *Hydrologické podklady pre výpočet kanalizačných sietí*. Voda, 5—6, 1950.

11. Dub O., *Medze krátkodobých kritických dažďov*. Meteorologické zprávy I, 5, Praha 1947. — 12. Dub O., *Pravdepodobnosť prekročenia ročných a mesačných zrážkových úhrnov v Bratislave*. Meteorologické zprávy II, 2, Praha 1948. — 13. Dub O., *Režim veľkých vód na malých tokoch*. Bratislava, Štátny hydrol. a meteorologický ústav, Bratislava 1946. — 14. Dub O., *Zrážkové intenzity rozličného trvania a rozličnej periodicity na Slovensku*. Slovenský staviteľ X, 9, Bratislava 1940. — 15. Hauser J., *Kurze starke Regenfälle in Bayern*. Abhandl. der Bayer Landesstelle für Gewässerkunde, Mnichov 1922. — 16. Halánek F., *Krivky občasnosti síly dešťů pro zem. hlav. mesto Brno*, Plyn, voda a zdrav. technika, 1, 2, 4 a 5, 1939. — 17. Hellmann G., *Ergebnisse zehnjähriger Registrierungen des Regenfals in Nord — Preuss. Met. Inst. Abhandlungen Sand IV. Nr. 6*. Berlin 1911—1914. — 18. Hershfield D. M. — Weiss L. Z. — Wilson W. I., *Synthies of Rainfall Inten-*

sity — Frequency Regimes. Proceedings ASCE 81 (1955), sep. č. 744. — 19. Horák J., *Najvětší dešťové srážky na Moravě*. Brno, Moravský musejní spolek 1910. — 20. Horák J., *Stanovení největšího odtoku přívalových dešťů pro úpravy toku*. Technický obzor, Praha 1912.

21. Chomicz K., *Deszcze ulewne v Zakopanem*. Przegląd Meteorol. i Hydrologiczny, 3—4, Varšava 1955. — 22. Chomicz K., *Normy opadowe dla potrzeb kanalizacji miast*. Gospodarka wodna, 10, Varšava 1953. — 23. Chomicz K., *Zagadnienia opadów burzowych v Polsce i v ZSRR*. Gospodarka wodna, 3, Varšava 1954. — 24. Chomicz K., *O najvyšších opadoch krátkotrvalých i dobových v Polsce*. Gospodarka wodna, styczeń. Varšava 1951. — 25. Chomicz K., *Przebieg, rozmieszczenie i czestotliwość deszczów nawalnych w Polsce*. Gospodarka wodna. Lipiec — sierpień 1951. Varšava 1951. — 26. Chomicz K., *Ulewny i deszcze nawalne v Polsce*. Odbitka z wiadomości služby hydrol. i meteorol. Tom II, zes. III, 1951. — 27. Chomicz K., *W sprawie jednolitej skali dla klasyfikacji deszczow o duzym nataženiu*. Przegląd Meteorol. i Hydrologiczny, Varšava 1950. — 28. Imhopf K., *Taschenbuch der Stadtentwässerung*, 13. vydanie Oldenburg, Mnichov 1950. — 29. Jennings A. II., *World's Greatest Observed Point Rainfalls*. Monthly Weather Review. January 1950, Washington. — 30. Jůva K., *Nové metody řešení kanalizačních sítí*, Brno 1928.

31. Kehr, *Die Berechnung von Regenwasserbflüssen*, Oldenburk 1933. — 32. Kassner G., *Über sehr dichte Regenfälle*. Meteorol. Zeitschrift. Mai—Juni 1919. — 33. Kooten van F. H., *Einige empirische methoden tot het berekenen van den maximum ofvoer lener rivier nit de grotte van den regenval*, Amsterdam 1927. — 34. Lindley H. W., *Entwässerung des Stadt Lodz*. Frankfurt 1911. — 35. Lebedev V. V., *Novyj metód obrabotki dannyh o doždjach dla vyvoda zavisimosti ich intensivnosti ot prodolzitelnosti*. Trudy VAIT LX 1936. — 36. NÁVODY pro hydrologickou službu č. 8. *Zpracování výsledků ombrografických pozorování*. Státní ústavy hydrologický a hydrotechnický, Praha 1934. — 37. Němec J., *Zjištění náhradních intenzit krátkodobých přívalových dešťů*. Vodní hospodářství, 1, 1957. — 38. Ogijevskij A. B., *Gidrologija suši*. 3. vyd. Selchozizdat, Moskva 1952. — 39. Palmer C. L., *The pollutional effects of storm-water overflows from combined sewers*. Sewage and Industrial Wastes, 2, 1950. — 40. Pomiarowski K., *Die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Regen grosser Intensität in einen bestimmten Zeitraum*. Gesundheits — Ingenieur 21. Heft. Mnichov—Berlin 1938.

41. Reinhold F., *Die Anweisung zur Durchführung von Niederschlagsmessungen*. Gesundheits — Ingenieur Nr. 50, Mnichov 1936. — 42. Reinhold F., *Einheitliche Richtlinien zur Auswertung von Schreiberregenschraufzeichnungen*. Gesundheits — Ingenieur, roč. 60, 1937. — 43. Reinhold F., *Regenspenden in Deutschland GE 1940*. Archiv für Wasserwirtschaft des Reichsverbandes der Wasserwirtschaft, Berlin 1940. — 44. Reinhold F., *Zur Ermittlung von Abflussmengen aus Niederschgsbeobachtungen*. Die Wasserwirtschaft, 5, 1954/55. — 45. *Reinfall Intensities for Local Design in the United States* (for duration of 5 to 24 minutes and 2,5 and 10 year return periods) Part I.: West of the 115 th Meridian 1953. Part II.: Beweten 105° W and 115° W 1954 Washington DC Weather Bureau. — 46. *Reinfall Intensities for Local Drainage Design in the United States 1953* Washington DC. — 47. Rosík B., *Výsledky vyšetřování krátkodobých srážek v zemi Moravskoslezské*. Plyn a voda, 6, 1937. — 48. Rosík B., *Zpracování dešťových křivek periodicity v SSSR a v Německu*. Meteorologické zprávy IX, 3, 1956. — 49. Schmith D. B., *Frequency of Excessive Rainfalls in Florida*. Proceedings ASCE 79, 1953, sep. č. 366. — 50. Schumann T. E. W., *The problem of the Intensity — Frequency of Rainfall of Varying Duration Over Any Given Drainage Area*. The Bulletin of the American Meteorological Society October 1942 Massachusetts.

51. Šiškin Z. N., *Kanalizacija*, Gosudarstvennoje izdatelstvo literatury po strojitelstve i architektúre, Moskva 1951. — 52. Snerejev A. J., *Livnevaja kanalizacija*, Gosudarstvennoje izdatelstvo literatury po strojitelstve i architektúre, Moskva 1953. — 53. Specht A., *Grösste Regenfälle in Bayern und ihre Verwertung zu Hochwasser — Beobachtungen*. Abhandl. des Ugl. Bayern Hydrotechnischen Büros Mnichov 1915. — 54. Trupl J., *Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy*, Výzkumný ústav vodohospodářsky, Práce a studie, zoš. 97, Praha—Podbaba 1958. — 55. Trupl J., *Intensity přívalových dešťů*, Vodní

hospodářství, 6, 1955. — 56. Trupl J., *Závislost intenzit krátkodobých dešťů na výskytu bouřek*. Výzkumný ústav vodohospodářský, Práce a studie, zoš. 100, Praha-Podbaba 1959. — 57. Vojekov A., *livni i bolsije doždi*. Meteorologičeskij vestnik 1899. — 58. Wussow G., *Untere Grenzwerte dichter Regenfälle Meteorolog. Zeitschrift*, 6, 1922. — 59. Yancell D. L., *Reinfall Intensity — Frequency Data*, US Dept. of Agric., Misc. Publ. Nr. 204. — 60. Zavadil J., *Zpracování přivalových dešťů k dimenzování stok*. Vodní hospodářství, 6, 1955. — 61. Zukov A. I., *Kanalizacija*, Moskva 1951.

Recenzoval M. Kouček

Фердинанд Ш а м а й

## ОБРАБОТКА КРАТКОВРЕМЕННЫХ ЭКСТРЕМНЫХ ОСАДКОВ

Экстремные кратковременные осадки т. е. ливни и приливные дожди, возникающие путем конвекций внутри воздушного вещества и на холодном фронте, достигают сравнительно высокой степени интенсивности. Они вызывают разливы на малых тонах, перегружают канализационную сеть и являются причиной эрозивных явлений. Их встречаемость наиболее часта в послеобеденное время в месяцах с мая по сентябрь. Они затрагивают небольшие пространства, причем их интенсивность уменьшается в направлении от центра к окраинам затронутого дождем пространства. Из всех до сих пор приведенных взаимоотношений ливня и его пространства наиболее известными являются отношения Фрюльнга, Шпехта (3), Кера, Рейнхольда, Богомазовой и Петровой (4). (Табл. № 1.).

Для дефиниции ливней или приливных дождей имеются различные критерии. Некоторые автора считают ливнем дождь, во время которого выпадет в течение 1 часа 5—30 мм. Эти дефиниции являются недостаточными потому, что во время дождя его обильность переменчива. Эта ошибка частично устраняется с помощью градации обильности экстремных и приливных дождей на временные участки. Одной из самых известных классификаций ливней из точки продолжительности являются английские шкалы по Сыммонсу и Миллу (табл. № 2 и 3), в Германии по Хелльману (Табл. № 4), Шпехту (Табл. № 5) и Хойзеру (Табл. № 6), в Словакии по Дубу (Табл. № 7), в США по Фассигу и Майеру (Табл. № 8) а в СССР по Бергу (Табл. № 9). Взаимное сравнение определенных дождей провести нелегко из за различной градации. Критерии отдельных классификаций не являются связующими функциями времени, но перемешаются скачкообразно, вследствие чего было нужно искать новые эмпирические зависимости, как это сделал напр. Хелльман (5), Лиддлей (6, 9, 10), Рейнхольд (11), Вуссов (12—15), Дуб (16—18), Помяровски (20), Ружански (21) и Хомич (22). Для различных технических целей необходимо познать вероятность превышения (периодичность) дождя достигающего определенную интенсивность при установленной длительности. Такие отношения установили: для Германии Рейнхольд (24), для Англии Бильхем (26), для СССР Алексеев (27), для Словакии Дуб (21) а для США действительно отношение (30).

Из обработки экстремных кратковременных дождей в г. Старый Смоковец в гг. 1931—1960 методом К. Хомича вытекает, что из общего числа 1045 экстремных дождей приходится на ливни 84,8 %, на сильные ливни 14,6 % а на проливные дожди характера Б только 0,6 %. (Табл. № 11, диагр. № 1). Периодичность отдельных видов ливней в смысле этой классификации неравномерная, но одновременно с продолжением их длительности понижается (диагр. № 3). Интенсивности дождя для различных вероятностей превышения экстремных дождей в Ст. Смоковце подает табл. № 13 и диагр. № 4. Интенсивности встречающиеся один раз за 30 годов достигают 50—60 % величин межевых интенсивностей ( $i_{max}$ ) определенных для Словакии О. Дубом. Интенсивности были вычислены на основании отношения (31) с экспонентом  $n = 1/4$ . Ст. Смоковец имеет среднее количество осадков, приходящихся на 1 осадочный день более чем 8,5 мм; они являются высшими, если их сравнить с настоящими величинами. Применением экспонента  $n = 0,3$  были вычислены интенсивности в зависимости на времени и периодичности, то периодичность 0,1. (Диагр. № 5). С вероятностью превышения раз за 20—30 лет были вычислены более высокие интенсивности, также с применением экспонента  $n = 1/3$ , который является действительным для области из средним количеством осадков меньше чем 7,5 мм. Разницу между настоящими и вычисленными интензив-

ностями можно пояснить тем, что в горным областях имеется вследствие орографического усиления циклонической деятельности большая сумма осадков, но по общему при меньшем количестве паров, вследствие чего ливни здесь менее обильны чем в низинных местоположениях. Следующей причиной является заветренное положение станции против преобладающих ветров с более высоким содержанием водяных паров.

Перевод со словацкого Н. Г у н ь о в с к о й

- Диаграмм № 3. Периодичность дождей, характеризованных интенсивностями  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, B_1$  по Хомичу. Ст. Смоковец 1931—1960.  $P =$  периодичность ( $I =$  вероятность превышения раз в год).
- Диаграмм № 4. Периодичность дождей. Ст. Смоковец 1931—1960. ———  $i_{max} =$  межвые величины по О. Дубу.
- Диаграмм № 5. ——— Периодичность дождей в Ст. Смоковце (1931—1960). - - - - - Пе  
риодичность дождей вычислена по формуле:  $i = \frac{3200}{(t + b)^{0,675} (150p)^{0,3}}$
- Диаграмм № 6. ——— Кривые для характеристики экстремных дождей по Хомичу.  
- - - - - Периодичность дождей Ст. Смоковца за время 1931—1960.

Ferdinand Š a m a j

### DIE VERARBEITUNG KURZE ZEIT DAUERNDER, EXTREMER NIEDERSCHLÄGE

Die extremen Niederschläge von kurzer Dauer, das heisst Platzregen und Gussregen, die durch die Konvektion im Inneren der Luftmasse und an der Kaltfront entstehen, erreichen verhältnismässig hohe Intensitäten. Sie verursachen auf kleinen Wasserläufen Überschwemmungen, überbeanspruchen das Kanalisationsnetz und rufen Erosionserscheinungen hervor. Sie treten am häufigsten in den Nachmittagsstunden während der Monate Mai bis September auf. Ihr Auftreten beschränkt sich auf kleine Flächen, wobei die Intensität von der Mitte nach den Rändern der vom Regen betroffenen Fläche abnimmt. Von den bisher abgeleiteten Beziehungen des Platzregens und seines Flächenausmasses sind die bekanntesten von: Frühling, Specht (3), Kehr, Reinhold, Bogomazova und Petrova (4) (Tab. 1).

Die Kriterien der Definierung von Platzregen oder Gussregen sind verschieden. Einzelne Verfasser betrachten als Platzregen einen Regen, wo während einer Stunde 5 bis 30 mm Regen fällt. Diese Definitionen sind jedoch nicht ausreichend, da sich die Ausgiebigkeit des Regens während seiner Dauer ändert. Durch eine Abstufung der Ergiebigkeit der Platzregen und der Gussregen in einzelne Zeitabschnitte wird dieser Fehler bis zu einem gewissen Grade beseitigt. Die bekanntesten Klassifikationen der Platzregen in der Beziehung zu ihrer Dauer sind die englischen Skalen von Symons (tab. 2), und Mill (Tab. 3), in Deutschland diejenige von Hellmann (Tab. 4), Specht (Tab. 5), und Haeuser (Tab. 6), in der Slowakei diejenige von Dub (Tab. 7), in den USA von Fassig und Mayer (Tab. 8), in der UdSSR von Berg (Tab. 9). Einen Vergleich der ausgewerteten Regen kann man wegen der verschiedenen Abstufungen schwer durchführen. Die Kriterien der einzelnen Klassifikationen sind keine einheitlichen Zeitfunktionen, sondern sie sich sprunghaft ändern, weshalb man neue empirische Abhängigkeiten suchte, zum Beispiel Hellman (5), Lindley (6, 9, 10), Reinhold (11), Wussow (12—15), Dub (16—18), Pomiarovski (20), Róžański (21) und Chomicz (22). Für verschiedene technische Zwecke ist es notwendig die Wahrscheinlichkeit des Überschreitens (der Periodizität) einer gewissen Regenintensität bei einer bestimmten Zeitdauer zu kennen. Solche Beziehungen stellten fest: für Deutschland Reinhold (24), für England Bilham (26), für die UdSSR Alexejev (27), für die Slowakei Dub (31) und für die USA gilt die Beziehung (30).

Aus der Verarbeitung der extremen, kurze Zeit dauernden Regen in Starý Smokovec in den Jahren 1931—1960 durch die Methode von K. Chomicz geht hervor, dass von der Gesamtzahl von 1045 extremen Regen auf Platzregen 84,8 % entfallen, auf starke Platzregen 14,6 % und auf Gussregen des Charakters  $B_1$  nur 0,6 % (Tab. 11, Graph 3). Tabelle 13 und Graph 4 geben die Regenintensitäten für die verschiedene Wahrscheinlichkeit des Überschreitens der extremen

Regen in Starý Smokovec an. Die Intensitäten, die einmal während 30 Jahren auftreten, erreichen 50–60 % der Werte der Grenztintensitäten ( $i_{max}$ ), die von O. Dub für die Slowakei abgeleitet wurden. Die durch die Beziehung (31) berechneten Intensitäten bei der Exponente  $n = 1/4$  (Starý Smokovec hat die durchschnittliche Niederschlagsmenge, die auf einen Niederschlagstag kommt höher als 8,5 mm) sind bedeutend höher als die tatsächlichen Werte. Bei der Anwendung der Exponente  $n = 0,3$  sind die berechneten Intensitäten in ihrer Abhängigkeit von der Zeit und der Periodizität bis zur Periodizität 0,1 (Graph 5) den tatsächlichen ähnlich. Bei einer Überschreitungswahrscheinlichkeit einmal während 20 bis 30 Jahren sind die berechneten Intensitäten höher als bei Anwendung der Exponente  $n = 1/3$ , die für die Gegend mit einer geringeren durchschnittlichen Niederschlagsmenge als 7,5 mm gilt. Der Unterschied der tatsächlichen und der berechneten Intensitäten ist dadurch zu erklären, dass in den Gebirgsgegenden durch die orographische Verstärkung der Zyklontätigkeit eine grössere Niederschlagssumme ist, jedoch bei einer geringeren absoluten Gesamtmenge der Verdunstung, und dass die Platzregen hier nicht so ausgiebig sind wie in den niedrigeren Lagen. Ein weiterer Grund ist die Lage der Station, die vor den vorwiegenden Winden mit höherem Wassergehalt geschützt ist.

Aus dem Slowakischen übersetzt von R. Lindner

#### Erklärung zu den graphischen

- Graph. 3. Die Periodizität der Regen, die nach Chomicz durch die Intensitäten  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, B_1$  charakterisiert sind Starý Smokovec 1931–1960. P = Periodizität (1 = Überschreitungswahrscheinlichkeit einmal jährlich).
- Graph. 4. Die Periodizität der Regen Starý Smokovec 1931–1960 —————  $i_{max}$  = Grenzwerte nach O. Dub.
- Graph. 5. ——— Regenperiodizität in Starý Smokovec (1931–1960); - - - - Regenperiodizität berechnet nach der Gleichung  $i = \frac{3200}{(t+b)^{0,675}(150p)^{0,3}}$
- Graph. 6. ——— Kurven zur Charakterisierung der extremen Regen nach Chomicz; - - - - Regenperiodizität in Starý Smokovec für die Jahresreihe 1931–1960.