

## PRAVDĚPODOBNOTI NEJMENŠÍCH PRŮTOKŮ VE DVOU BESKYDSKÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍCH VYHODNOCENÉ HYDROLOGICKÝM MODELEM LOWFESTIM

PROBABILITIES OF MINIMAL DISCHARGES FROM TWO EXPERIMENTAL WATERSHEDS IN THE BESKYDY MTS. EVALUATED BY THE HYDROLOGICAL MODEL LOWFESTIM

MILAN BÍBA<sup>1)</sup>, WOJCIECH JAKUBOWSKI<sup>2)</sup>, MILAN JAŘABÁČ<sup>1)</sup>, ZUZANA OCEÁNSKÁ<sup>1)</sup>, ZDENĚK VÍCHA<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady, <sup>2)</sup>Katedra matematiky AR - Wrocław, Poland

### ABSTRACT

Earlier we presented the data of low-flows registered on the small and fully forested experimental watersheds outflowing in measuring troughs, in the Beskydy Mts., the Czech Republic, (BÍBA et al. 2005), but using no statistic methods. Now we publish these data evaluated by the statistic model Lowfestim (Low flow estimation), compiled by JAKUBOWSKI, RADCZUK (2003). This model, based on ZELENHASIĆ and SALVAI analysis (1987) for estimating unknown distributions of low flow indices (drought amounts and durations), is described. We have found how to calculate correctly water regime of minimal flows in two experimental watersheds by the Lowfestim model. This model assessed that the data of minimal discharges measured in both watersheds are non-homogenous that is caused more by natural impulses than by accelerated renewal of forests damaged by polluted air.

**Klíčová slova:** experimentální povodí, zrychlená obnova lesa, znečištěné ovzduší, minimální průtoky, hydrologický model Lowfestim  
**Keywords:** experimental watersheds, accelerated forest renewal, polluted air, minimal discharges, hydrological model Lowfestim

### ÚVOD

Stav a vývoj počasí v uplynulých letech podněcuje vyhodnocovat patrné změny v jeho působení na vodní režim lesů. Hydro-meteorologie nyní nevyklučuje oteplování ovzduší Země projevující se i čtenějším opakováním, většími intenzitami a vydatnostmi dešťů. Proto by mělo být předpokládáno ubývání vodních zásob v malých povodích s prameništi toků především v suchých ročních obdobích. Zda takové změny stavu prostředí již existují, je nutné měřeními prokázat. Z padesátiletých měření a vyhodnocování srážek a odtoků v beskydských, velmi malých, experimentálních povodích se zjišťuje, že kritická sucha tam nebyla tak početná, jak se dříve předpokládalo. Je účelné se zaměřit na rozdíly mezi jednotlivými povodími, protože například VÁLEK (1977) vyhodnocoval minima v malých lesnatých povodích Kýchová a Zděchov. Velké rozdíly minimálních průtoků mezi nimi byly zdůvodněny odlišnou lesnatostí v obou zkoumaných povodích, ač jistě byly ovlivněny i jinými parametry.

Dále je důležité vyhodnocovat nejmenší průtoky statisticky. Ukazuje se, že ani padesátileté soubory dat ještě plně nevyhovují pro statistické výpočty. Proto jsou nezbytná další měření. Manuální sestavy řad nejmenších průtoků jsou časově náročné, a proto je nutné tato data vyhodnocovat výpočetními modely. Použili jsme statistický model Lowfestim (JAKUBOWSKI 2005) k ověření, zda bude vhodný pro hydrologii v nejmenších lesnatých povodích, pro určení pravděpodobnosti opakování a trvání sucha, nedostatků objemů odtoků vody, pro změny působení lesů na srážkově-odtokový proces jako důsledek experimentálně zrychlených porostních obnov. Z toho plyne, že původní záměr lesnicko-hydrologického výzkumu v Beskydách musí být operativně upravován podle dnešních výsledků i nových možností získávání a vyhodnocování naměřených dat.



Obr. 1. Letecký pohled na povodí Červík (nahore) a Malá Ráztoka (dole) v roce 2005. Foto: Ing. J. VONDRA  
The aerial view of Červík (above) and Malá Ráztoka (below) watersheds in 2005. Photo: Ing. J. VONDRA

## METODIKA VÝZKUMU V EXPERIMENTÁLNÍCH POVODÍCH

Stručné charakteristiky obou experimentálních povodí, metod měření meteorologických a hydrologických prvků, vyhodnocování minimálních průtoků v Červíku (CE - 1,85 km<sup>2</sup>) a v Malé Ráztoce (MR - 2,075 km<sup>2</sup>) byly podrobněji popsány (CHLEBEK, JAŘABÁČ 1995, BÍBA et al. 2005, BÍBA et al. 2006). Připomínáme, že tento lesnicko-hydrologický výzkum v Beskydách byl a je prováděn nepřerušeně od počátku hydrologického roku 1954; nejprve s dvanáctiletou kalibrací souvisejících prvků počasí i vodní bilance v lesním prostředí, jejich vztahů a změn, ale bez lesnicko-hospodářských prací, a následně se zrychlenou porostní obnovou, která dosud nebyla dokončena.

Podrobnější studia srážkově-odtokového procesu v obou povodích pokračují. Kromě komplexního hodnocení vodních prvků je nyní třeba zaměřit více pozornosti na jejich extrémy a změny v kratších obdobích roků. Mezi ně významně řadíme sucha. Deskriptivní posouzení minim v CE a MR již bylo uveřejněno (BÍBA et al. 2005). Nyní je následováno statistickým rozбором dat modelem Lowfestim (JAKUBOWSKI, RADZUK 2003, JAKUBOWSKI 2005) s výpočty pravděpodobnosti trvání nejmenších průtoků a objemů nedostatků odtoků pro posouzení, zda a jak byly ovlivněny lesnicko-hospodářskými pracemi nebo i jinými vlivy v beskydském prostředí. Muselo být určeno, zda pro rozborů používat náhodné (stochastické) nebo pravděpodobnostní (deterministické) metody. Klima v ČR je typicky sezonní a hodně rozkolísané; a tomu jsou podobné i hydrologické charakteristiky zkoumaných povodí. Vědecký popis metod výzkumu nejmenších průtoků byl dříve uveřejněn (TALLAKSEN, VAN LANEN 2004). Nejmenšími byly označeny průtoky nepřevyšující práh  $Q_g$  určený v procentech (v ČR m-denní hodnotou) z ročních, kratších nebo delších souborů průměrných denních průtoků. Vyhodnocení dat z povodí CE a MR modelem Lowfestim bylo omezeno na pravděpodobnost trvání nejmenších průtoků (počty dnů) a objemů nedostatku vody (v m<sup>3</sup>) průtoků rovných nebo menších než mezní  $Q_g$ .

### Určení nejmenších průtoků $Q_{min}$

OZGA, ZIELIŃSKA a BRZEZIŃSKI (1997) označili nejmenšími průtoky ve dnech, v nichž byly rovné nebo menší než mezní průtok  $Q_g$ . Jeho hodnota musí být určena ze souborů průměrných denních průtoků za analyzovaná období. V publikaci (TALLAKSEN, VAN LANEN 2004) bylo doporučeno, že mezní průtok  $Q_g$  má mít hodnotu  $Q_{70\%}$  z křivky průtoků ročních nebo v jiných obdobích. V Beskydách jsme zjistili, že hodnoty  $Q_{70\%}$  převedené na průtoky Qm-denní kolísaly v CE mezi 297 až 326 dny a v MR mezi 243 až 272 dny z křivek trvání. Nejmenší průtoky  $Q_{min}$  mají tyto dvě přírodní charakteristiky:

- trvání  $T_\tau$  - počty dnů s průtokem rovným nebo menším než mezní průtok  $Q_g$ ,
- objem nedostatku vody  $D_\tau$  při průtoku  $Q$  rovném nebo menším než  $Q_g$

$$D_\tau = \int_{t_p}^{t_k} (Q_g - Q) dt,$$

kde  $t_p$  je počátkem a  $t_k$  koncem trvání  $\tau$ -tých nejmenších průtoků za období. Obě charakteristiky lze však stanovit i jinými metodami (JAKUBOWSKI 2005).

V příspěvku o minimálních odtocích (BÍBA et al. 2005) byly vybrány jako meze m-denní průtoky v povodích CE a MR z křivek prů-

měrných denních průtoků z období jejich měření, a to  $Q_{365d}$  a  $Q_{330d}$ . Měřitko bylo proti  $Q_{70\%}$  v důsledku jejich počtu a rozptýlů dnů přísnější, ale tyto soubory nebyly modelem Lowfestim statisticky zpracovatelnými.

V dobách s nejmenšími průtoky působí nejistotu řešitelům výpočty z naměřených dat: buď období s nejmenšími průtoky krátce trvájí nebo mají malý sumární objem nedostatků průtočných množství. Proto (ZELENHASIĆ, SALVAI 1987) dříve určili podmínky:

- minimální trvání mezi sousedícími obdobími nejmenších průtoků musí být 3 dny,
- minimální trvání nejmenších průtoků 5 dnů,
- minimální velikost nedostatkového objemu (m<sup>3</sup>) v hodnoceném úseku času; jsou vyloučeny objemy menší než  $\alpha D_{max}$  s  $\alpha = 0,005$  a  $D_{max}$  s největším objemem za období.

První podmínka vylučuje netypické jevy, druhá nejistá pozorování, protože platí:

- dva časově blízké nejmenší průtoky byt' plnící první podmínku musí být sloučeny;
- data neplnící druhou a třetí podmínku musí být z rozborů vyloučena.

Po zjednodušení vzorce pro nejmenší průtok podle ZELENHASIĆE a SALVAIE (1987) byl odvozen vztah

$$H(x) = P(E = 0) + \sum_{k=1}^{\infty} G^k(x) P(E = k),$$

v němž  $H_1$  je charakteristikou nejmenšího průtoku s pravděpodobností  $P$  z počtu nejmenších zkoumaných průtoků  $E$  v časovém intervalu  $(0, T)$ .  $G(x)$  charakterizuje nejmenší průtok ve stejném časovém intervalu. Má-li se úroveň nejmenšího průtoku vyjádřit tak, aby  $P(E = 0)$  se blížilo k 0, lze přijmout, že  $H_1 = G(x)$ . To odpovídá standardnímu pojetí – jde o jednotlivý jev v hodnoceném období pro ocenění pravděpodobnosti nejmenších průtoků, což působí nesnáze v rozhodnutích o nezbytné délce souboru dat.

Pro pravděpodobnost počtu dnů s nejmenšími průtoky  $E$  v intervalu  $(0, t)$  bylo v rozboru použito rozdělení Poissona s parametrem  $\lambda$  (střední hodnota počtu výskytu jevů po časovou jednotku) ve vztahu

$$P(E_t = n) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda}, \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

Druhá náhodná proměnná  $Q_g$  – pravděpodobnost objemů nedostatků odtoků v m<sup>3</sup> pod mezním průtokem byla podrobena výpočtům podle Pearsona, Weibulla, Johnsona logaritmováním a dvojitým exponováním a je nejlépe vyjádřena vztahem Generalizovaný Pareto tvaru

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \kappa \frac{x-s}{\alpha} \right]^{\frac{1}{\kappa}-1}, \quad x > s,$$

kde  $\alpha$  je stupeň významnosti a  $k, s$  jsou neznámé parametry, které byly doplněny dvěma způsoby: ke známým byly dva zbývající odhadnuty metodou minimální pravděpodobnosti samostatně pro každé z rozdělení. Systém parametrů je optimálním, když minimalizuje toto kritérium. Správnost byla testována s pomocí  $\chi^2$ . Rozdělení  $E$  a  $H(x)$  s nejmenší hodnotou podle Pearsona  $\chi^2$  byla vybrána pro určení maximálního nedostatku odtoku (trvání). Byly vypočítány hodnoty kritéria Akaika pro rozdělení odvozená touto metodou.



Obr. 2.

Měření nízkých průtoků 50litrovou nádobou (nahore), detail žlabu přízpusobeného pro měření nádobou (dole)  
Measuring of low discharges by 50 litre vessel (above), the detail of trough for measuring (below)

## VÝSLEDKY STATISTICKÉHO ROZBORU NEJMENŠÍCH PRŮTOKŮ

Lesnicko-hydrologickým záměrem řešitelů úkolu bylo prokázat v CE a MR změny pravděpodobností nejmenších průtoků a nedostatkových objemů odtoků v průběhu let 1954 - 2005, a to celoročně i v chladných (XI. - IV.) a teplých (V. - X.) ročních obdobích, prozkoumat rozdíl mezi kalibračním obdobím experimentu (1954 - 1970), zrychlených porostních obnov a s nejvýraznějším působením imisí (1971 - 1988), a také následujících roků s odrůstajícími mlazinami a tyčkovinami včetně poklesu imisí (1989 - 2005).

Předpokládané časové rozdělení průtoků na kalibrační a dvě následující časová období celoročně, v chladných a v teplých částech roku, muselo být změněno pro malé počty dnů sucha statisticky nevyhodnotitelných i pro nestejnorodost řad naměřených dat. Proto byl rozbor vypracován celoročně a jen pro teplá období v rocích výzkumu (1954 - 2005) a rozdělen jen na dva úseky (1954 - 1980 a 1981 - 2005).

Pravděpodobnosti trvání nejmenších průtoků  $Q_t$  a objemů nedostatku vody  $D_t$  byly v povodích CE a MR vyhodnoceny jejich podrobnějšími rozděleními pro  $Q = 0,005$  až  $0,012$  m<sup>3</sup>/s v CE, a  $Q = 0,007$  až  $0,021$  m<sup>3</sup>/s v MR. Rozbory ukázaly, že něk-

teré soubory nebyly pro křivky pravděpodobnosti trvání i nedostatků objemů homogenními.

### Z přehledů vyplynulo:

- CE, 1954 - 2005: soubory dat průtoků  $Q \geq 0,009$  m<sup>3</sup>/s nejsou homogenními, pro pravděpodobnost trvání je třeba použít nižší hodnoty. Pravděpodobnosti nedostatků objemů vody jsou příznivě uspořádány pro všechny průtoky; to platí pro roční i teplá období.
- CE, 1954 - 1980: pro pravděpodobnosti trvání jsou nehomogenními  $Q = 0,010$  a  $0,011$  m<sup>3</sup>/s, menší průtoky vyhovují. Obdobně pro nedostatky objemů odtoků nevyhoví  $Q = 0,012$  m<sup>3</sup>/s, ostatní jsou použitelné v ročním i teplém období.
- CE, 1981 - 2005: pro trvání vyplynulo, že pravděpodobnostem vyhoví nejlépe  $Q = 0,008$  až  $0,012$  m<sup>3</sup>/s, nedostatům objemů  $q = 0,008$  a  $0,009$  m<sup>3</sup>/s.

Je třeba mít v patrnosti, že mezní průtok  $Q_g$  má podle výpočtů ve třech uvedených obdobích souborů průtoků odlišující se m-denní nebo procentní hodnoty.

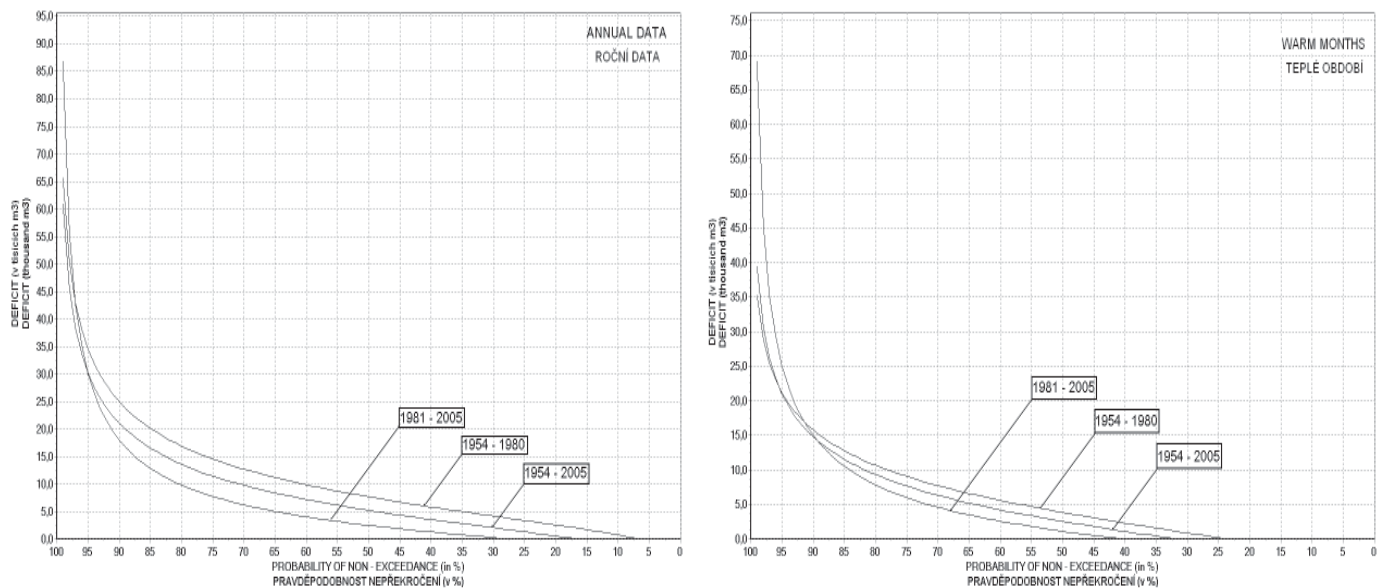
- MR, 1954 - 2005: pro pravděpodobnost trvání vyhovují  $Q = 0,007$  až  $0,009$  m<sup>3</sup>/s a  $Q > 0,016$  m<sup>3</sup>/s. Pro stanovení pravděpodobnosti nedostatku vody nevyhovují průtoky  $Q = 0,012$  až  $0,015$  m<sup>3</sup>/s, zbývající jsou homogenními. Poloha křivek v ročních a teplých obdobích je správná.
- MR, 1954 - 1980: řady naměřených dat jsou homogenní, jen pro trvání byly problémem průtoky s  $Q < 0,015$  m<sup>3</sup>/s; u nedostatku objemů nebyla vhodná data pro  $Q = 0,016$  m<sup>3</sup>/s.
- MR, 1981 - 2005: obsahuje málo naměřených dat, v teplém období je vhodné jen  $Q > 0,014$  m<sup>3</sup>/s. Pravděpodobnosti trvání i nedostatku objemů jsou správné mimo  $Q = 0,017$  m<sup>3</sup>/s.

S ohledem na nepředpokládanou varianci dat bylo použito v CE  $Q = 0,008$  m<sup>3</sup>/s a v MR  $Q = 0,018$  m<sup>3</sup>/s, a to souborů 1954 - 2005, 1954 - 1980 a 1981 - 2005 celoročně a v teplých obdobích roků. Z jejich vztahů k m-denním průtokům vyplynulo, že v CE odpovídaly vybrané průtoky za celé období  $Q_{311d}$  (85,125 % pravděpodobnosti výskytu), mezi 1954 - 1980  $Q_{297d}$  (81,320 %) a 1981 - 2005  $Q_{326d}$  (89,233 %); obdobně v MR celé období  $Q_{257d}$  (70,330 %), 1954 - 1980  $Q_{243d}$  (66,565 %) a 1981 - 2005  $Q_{272d}$  (74,392 %) z křivek průměrných denních průtoků.

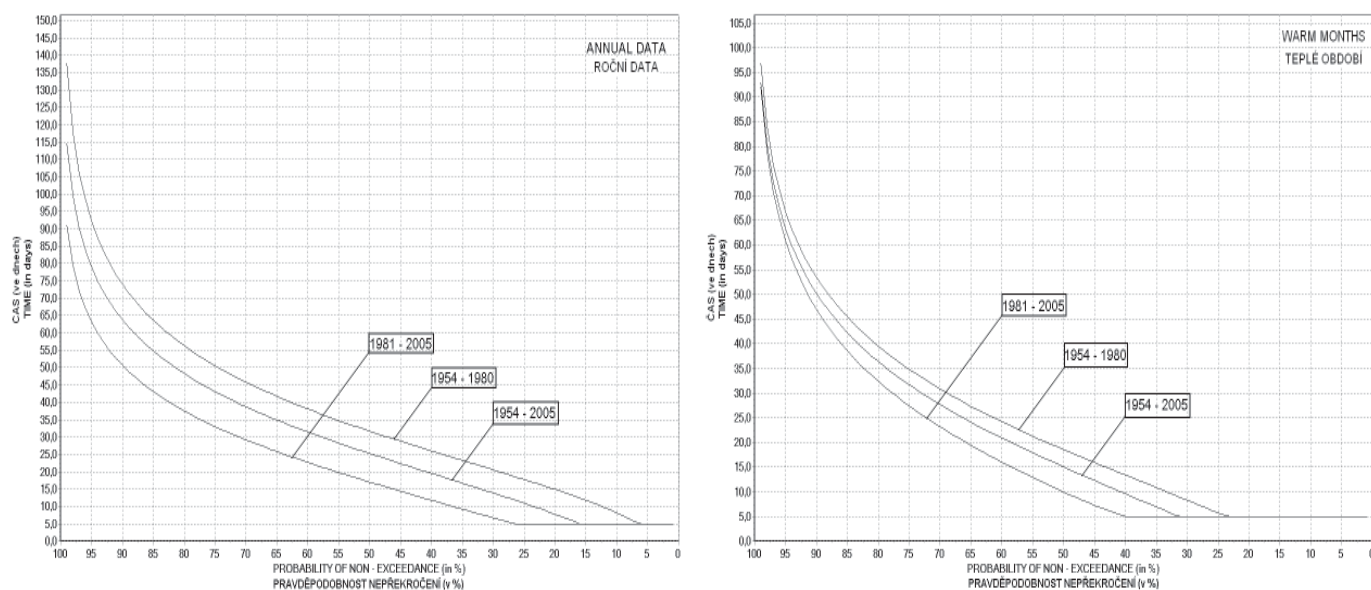
V povodí CE bylo v hydrologických rocích 1954 - 2005 zaznamenáno 113 případů s průměrnými denními průtoky  $Q \leq 0,008$  m<sup>3</sup>/s trvajících od 5 do 95 dnů, v MR ve stejném období 191 případů s průměrnými denními průtoky  $Q \leq 0,018$  m<sup>3</sup>/s trvajících od 5 do 124 dnů. Za pozornost stojí v CE období 22. 9. - 25. 12. 1959, které trvalo 95 dnů s  $Q_{min} = 0,0012$  m<sup>3</sup>/s a s nedostatkovým objemem  $D = 43\,450,6$  m<sup>3</sup>; jiné 30. 7. - 30. 10. 1962 trvalo 91 dnů s  $Q_{min} = 0,0016$  m<sup>3</sup>/s a s objemem  $D = 40\,396,0$  m<sup>3</sup>. V povodí MR bylo nejvýraznějším obdobím 30. 8. - 26. 12. 1959, které trvalo 119 dnů s  $Q_{min} = 0,0019$  m<sup>3</sup>/s a s nedostatkovým objemem  $D = 134\,723,52$  m<sup>3</sup>; jiné 26. 7. - 26. 11. 1983 trvalo 124 dnů s minimálním průtokem  $Q = 0,0037$  m<sup>3</sup>/s a objemem nedostatku  $D = 122\,778,72$  m<sup>3</sup>. Všechna data z obou povodí jsou uložena u řešitelů úkolu. Pro lesnický provoz jsou důležitější data z teplých období v letech 1954 - 2005, která jsou uvedena v tabulkách 1 a 2.

### Komentář k obrázkům

Na obrázku 1 jsou letecké pohledy na obě experimentální povodí. V povodí CE je patrná v jeho pravé části CE-A (0,88 km<sup>2</sup>) téměř již dokončená porostní obnova, zatímco CE-B (0,85 km<sup>2</sup>) nebylo zrychlenou obnovou dotčeno.



**Obr. 3.** Pravděpodobnost rozdělení sucha ve třech obdobích celoročně (vlevo) a v teplé části roku (vpravo) v tisících m<sup>3</sup> na povodí Červík  
Distribution probability of maximum drought events in three seasons; annually (left) and warm months (right) in thousand m<sup>3</sup> at the Červík watershed



**Obr. 4.** Pravděpodobnost rozdělení sucha ve třech obdobích celoročně (vlevo) a v teplé části roku (vpravo) ve dnech na povodí Červík  
Distribution probability of maximum drought events in days; annually (left) and warm months (right) at the Červík watershed

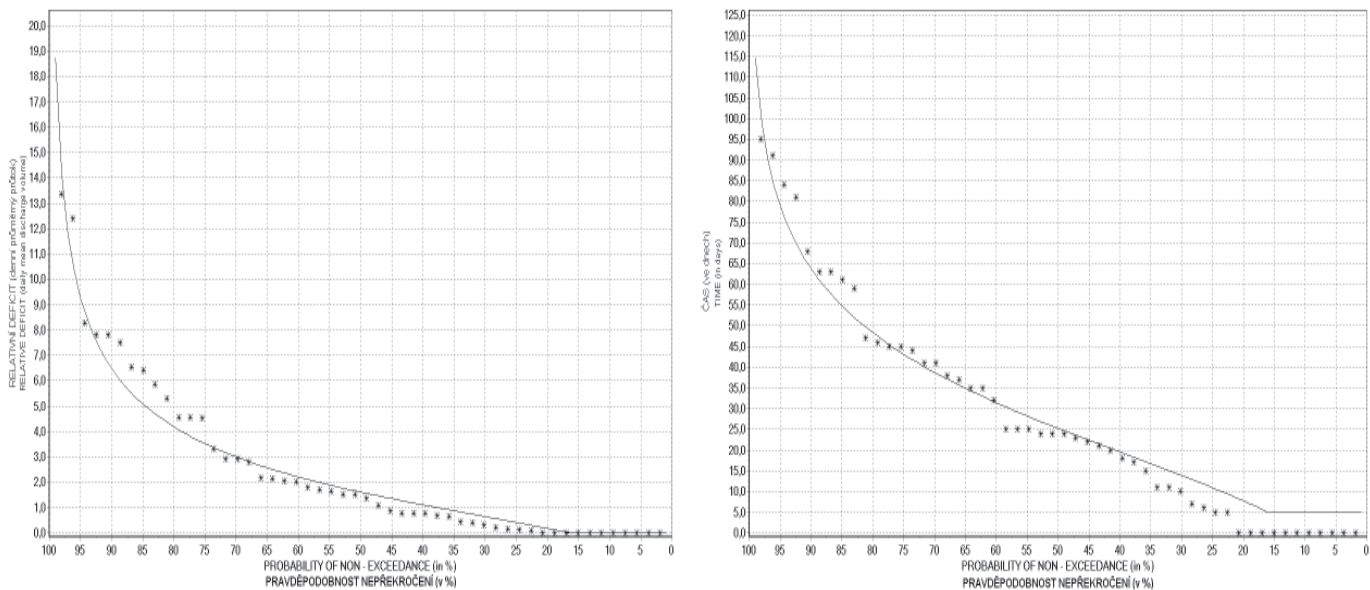
Na obrázku 2 je patrná úprava koruny dolních částí žlabu hranoly soustředujícími nejmenší průtoky na přepadu do 50litrové měrné nádoby.

Obrázky 3 až 8 znázorňují křivky pravděpodobnosti rozdělení průtoků (m<sup>3</sup>) a trvání (dnů) v povodích CE a MR.

V tabulkách 1 a 2 jsou uvedena základní data o nejmenších průtocích v CE (0,008 m<sup>3</sup>/s) a v MR (0,018 m<sup>3</sup>/s) v celém období výzkumu. Je z nich zřejmé, že vznikají převážně v podzimních měsících, což odpovídá přirozenému hydrologickému režimu.

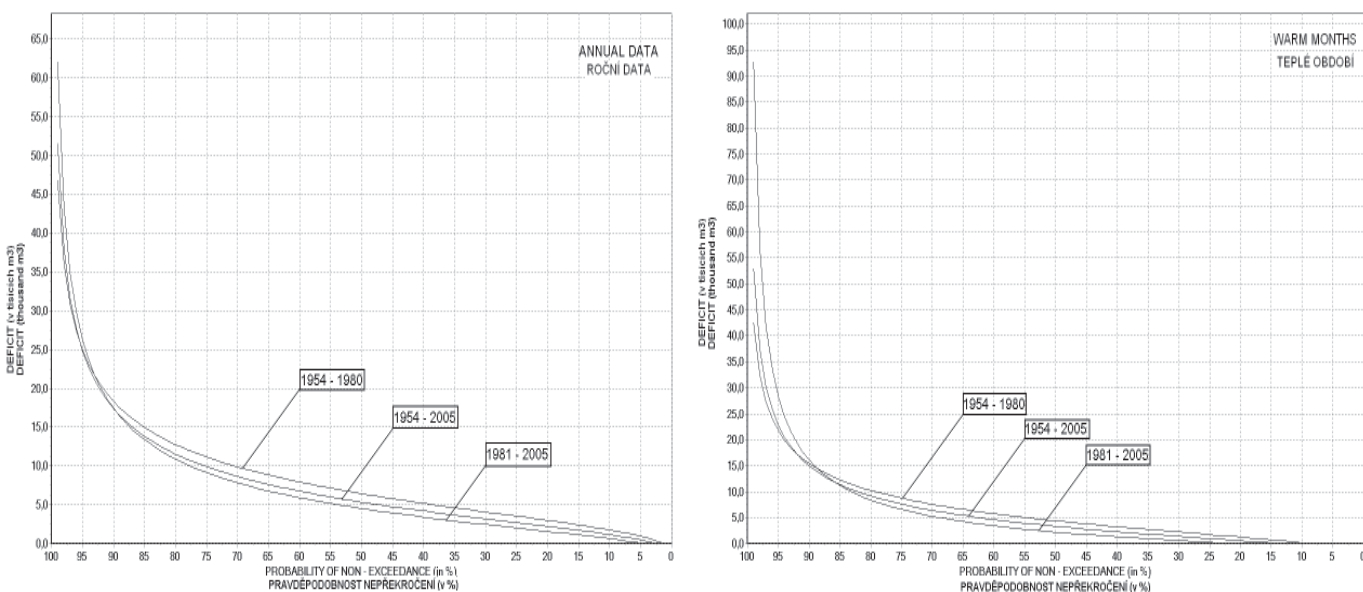
## POZNATKY Z HODNOCENÍ NEJMENŠÍCH PRŮTOKŮ

Data naměřená ve dvou beskydských experimentálních povodích v letech 1954 - 2005 mohou posloužit spíše k stochastickému než k deterministickému využití. Nejmenší průtoky vyhodnocené statistickým modelem Lowfestim ukazují, že matematická formulace tvořící bázi toho modelu je exaktnější než naměřená a uložená data z obou povodí. Měrné žlaby nezaručují, že se jimi poda-



Obr. 5.

Pravděpodobnost rozdělení maximálního deficitu podle průměrného denního průtoku v l/s (vlevo) a ve dnech (vpravo) na povodí Červík  
Distribution probability of the maximum deficit volume in daily mean discharge (left) in litre/second and in days (right) at the Červík watershed



Obr. 6.

Pravděpodobnost rozdělení sucha ve třech obdobích celoročně (vlevo) a v teplé části roku (vpravo) v tisících m<sup>3</sup> na povodí Malá Ráztoka  
Distribution probability of maximum drought events in three seasons; annually (left) and warm months (right) at the Malá Ráztoka watershed

ři zachytit a změřit celkové nejmenší odtoky (průtoky) z povodí v suchých obdobích, přesto však výsledky rozborů mají neformálně informativní význam. Charakterizují nejen vybraná minima ve srážkově-odtokovém režimu, ale dávají přehled retenčních možností v povodích, evapotranspirace, vlhkostí lesních půd i odtoku podzemní vody z podloží. Interní vztahy jejich systémových parametrů jsou obtížně měřitelné, přesto však lze dát lesnímu provozu alespoň některé informace plynoucí z toho lesnicko-hydrologického výzkumu.

V povodí CE bylo naměřeno 3. a 4. 12. 1959  $q_{\min} = 0,0065 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$  a v MR 27. - 29. 10. a 1. - 8. 11. 1959  $q_{\min} = 0,0092 \text{ m}^3/\text{s.km}^2$ , ale ani v tyto dny na podzim nebyl tak nízký odtok pro vegetaci kritickým. Je však pravděpodobné, že v příštích letech mohou být taková minima častější.

Lesní půdy obsahují ve vegetačních obdobích dostatečnou vlhkost. Porostní obnovy jejich zásobu průkazně neovlivnily. Usuzujeme, že minima by se mohla změnit komplexním působením prvků prostředí v poněkud delších obdobích. Jiné podmínky však platí

Tab. 1.

Případy sucha v letech 1953 až 2005 s hraničním průtokem 8,0 l/s v teplém období roku na povodí Červík  
Drought events in years 1953 to 2005 with border discharge 8,0 l/s in warm period at the Červík watershed

Deficit (tis.m <sup>3</sup> )/ Deficit (thous. m <sup>3</sup> )	Prům. deficit (m <sup>3</sup> )/ Av. deficit (m <sup>3</sup> )	Min. průtok (l/s)/ Min. runoff (l/s)	Prům. průt. (l/s)/ Av. runoff (l/s)	Dny/ Days	Od From	Do/ To
11 905,92	290,4	3,0	5,0	41	21. 8. 1954	30. 9. 1954
5 235,84	327,2	4,2	4,2	16	10. 10. 1954	25. 10. 1954
388,8	43,2	7,5	7,5	9	4. 9. 1955	12. 9. 1955
1 555,2	259,2	4,5	5,0	6	22. 9. 1955	27. 9. 1955
3 974,4	165,6	4,5	6,4	24	1. 10. 1955	24. 10. 1955
6 367,68	124,9	4,5	7,0	51	25. 5. 1957	14. 7. 1957
1 460,16	97,3	5,4	7,5	15	9. 8. 1957	23. 8. 1957
2 626,56	114,2	5,4	6,8	23	25. 9. 1960	17. 10. 1960
14 722,56	334,6	2,7	4,1	44	4. 9. 1961	17. 10. 1961
6 251,04	446,5	2,0	2,8	14	22. 10. 1961	4. 11. 1961
40 396,32	434,4	1,6	3,1	93	30. 7. 1962	30. 10. 1962
10 808,64	270,2	2,3	5,1	40	12. 7. 1963	20. 8. 1963
1 386,72	277,3	3,4	4,8	5	24. 8. 1963	28. 8. 1963
6 678,72	267,2	2,7	5,5	25	26. 5. 1964	19. 6. 1964
3 343,68	196,7	3,1	6,0	17	5. 9. 1964	21. 9. 1964
6 048	336,0	2,2	4,1	18	25. 9. 1964	12. 10. 1964
9 434,88	248,3	2,6	5,9	38	27. 8. 1965	3. 10. 1965
4 726,08	196,9	4,8	5,7	24	7. 10. 1965	30. 10. 1965
9 046,08	258,5	3,0	5,0	35	21. 9. 1966	25. 10. 1966
4 423,68	201,1	3,5	5,7	22	19. 8. 1967	9. 9. 1967
1 166,4	145,8	5,3	6,3	8	25. 9. 1967	2. 10. 1967
898,56	112,3	6,0	6,7	8	9. 7. 1968	16. 7. 1968
1 710,72	142,6	5,1	6,6	12	8. 6. 1969	19. 6. 1969
1 684,8	153,2	5,1	6,2	11	1. 8. 1969	11. 8. 1969
17 219,52	291,9	3,0	4,7	59	16. 9. 1969	13. 11. 1969
345,6	38,4	6,4	7,8	9	6. 7. 1970	14. 7. 1970
345,6	57,6	7,1	7,3	6	24. 9. 1970	29. 9. 1970
1 270,08	90,7	5,1	7,6	14	26. 5. 1971	8. 6. 1971
570,24	95,0	5,7	7,1	6	26. 7. 1971	31. 7. 1971
760,32	84,5	6,4	7,0	9	24. 10. 1971	1. 11. 1971
9 495,36	179,2	3,5	6,0	53	1. 6. 1973	23. 7. 1973
11 586,24	321,8	2,5	4,3	36	21. 8. 1973	25. 9. 1973

5 270,4	310,0	3,5	4,4	17	3. 10. 1973 - 19. 10. 1973
1460,16	112,3	5,7	7,3	13	24. 10. 1973 - 5. 11. 1973
4 924,8	223,9	3,5	5,4	22	3. 9. 1974 - 24. 9. 1974
6 687,36	304,0	2,5	4,5	22	16. 9. 1975 - 7. 10. 1975
5 313,6	143,6	3,5	6,8	37	1. 7. 1976 - 6. 8. 1976
5 045,76	219,4	3,5	5,5	23	25. 8. 1976 - 16. 9. 1976
1 442,88	144,3	5,7	6,3	10	9. 10. 1979 - 18. 10. 1979
328,32	65,7	7,1	7,2	5	17. 9. 1982 - 21. 9. 1982
20 848,32	336,3	2,0	4,3	62	10. 8. 1983 - 10. 10. 1983
1 944	77,8	5,7	7,1	25	19. 9. 1985 - 13. 10. 1985
440,64	55,1	7,1	7,4	8	25. 10. 1985 - 1. 11. 1985
285,12	47,5	7,1	7,5	6	1. 7. 1986 - 6. 7. 1986
959,04	159,8	4,0	6,2	6	12. 7. 1986 - 17. 7. 1986
604,8	75,6	6,4	7,4	8	28. 7. 1986 - 4. 8. 1986
388,8	77,8	6,4	7,1	5	15. 10. 1986 - 19. 10. 1986
4 648,32	211,3	4,0	5,7	22	1. 8. 1988 - 22. 8. 1988
9 443,52	192,7	4,0	6,2	49	20. 7. 1990 - 6. 9. 1990
1 261,44	126,1	5,7	6,5	10	2. 9. 1991 - 11. 9. 1991
1 529,28	102,0	5,7	6,8	15	3. 10. 1991 - 17. 10. 1991
2 496,96	249,7	4,6	5,1	10	21. 10. 1991 - 30. 10. 1991
734,4	66,8	5,7	7,2	11	4. 7. 1992 - 14. 7. 1992
19 068,48	423,7	1,6	3,1	45	21. 7. 1992 - 3. 9. 1992
1 866,24	311,0	3,5	4,4	6	8. 9. 1992 - 13. 9. 1992
8 795,52	293,2	4,0	4,6	30	17. 9. 1992 - 16. 10. 1992
717,12	51,2	5,7	7,9	14	3. 6. 1993 - 16. 6. 1993
2 263,68	119,1	5,1	6,8	19	12. 8. 1993 - 30. 8. 1993
846,72	121,0	5,7	6,6	7	19. 9. 1993 - 25. 9. 1993
7 076,16	160,8	3,5	6,5	44	12. 7. 1994 - 24. 8. 1994
734,4	66,8	6,4	7,2	11	22. 10. 1995 - 1. 11. 1995
2 808	104,0	5,1	7,0	26	5. 10. 2000 - 31. 10. 2000
12 597,12	247,0	2,9	5,5	51	8. 6. 2003 - 28. 7. 2003
24 433,92	381,8	1,6	3,6	64	2. 8. 2003 - 4. 10. 2003
7 197,12	257,0	3,3	5,1	28	15. 7. 2004 - 11. 8. 2004
14 834,88	390,4	2,2	3,5	38	15. 8. 2004 - 21. 9. 2004
2 721,6	209,4	4,3	5,7	13	25. 9. 2004 - 7. 10. 2004

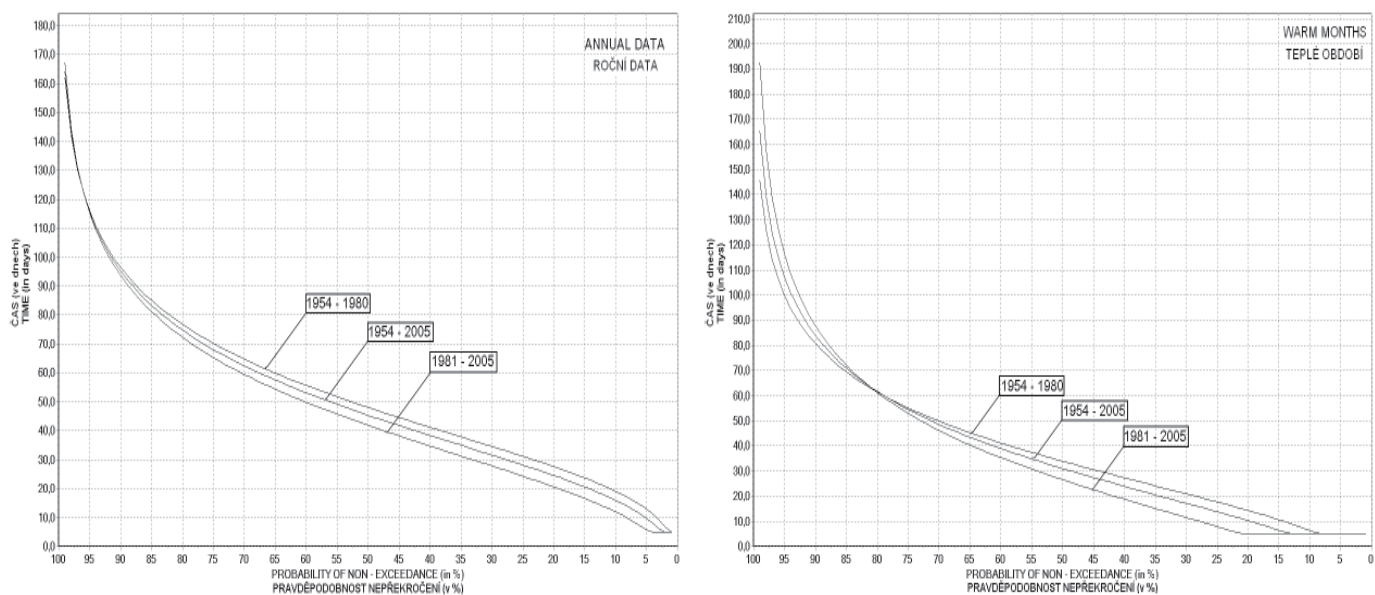
**Tab. 2.**

Případy sucha v letech 1953 až 2005 s hraničním průtokem 18,0 l/s v teplém období roku na povodí Malá Ráztoka  
Drought events in years 1953 to 2005 with border discharge 18,0 l/s in warm period at the Malá Ráztoka watershed

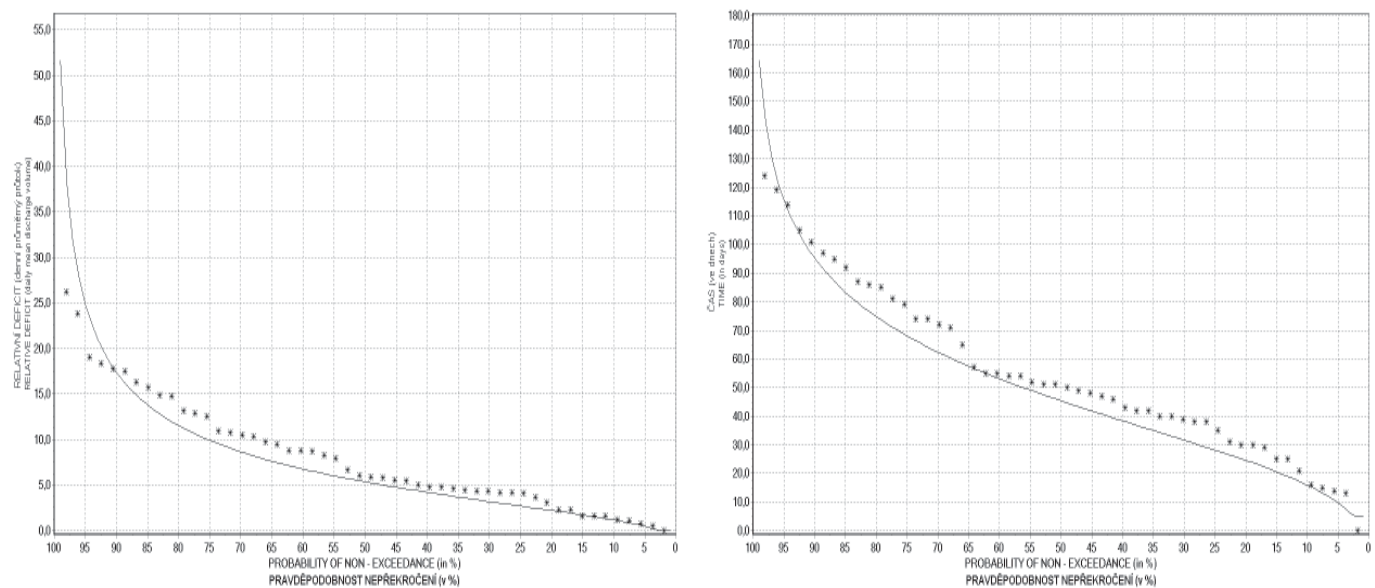
Deficit (tis. m <sup>3</sup> )/ Deficit (thous. m <sup>3</sup> )	Prům. deficit (m <sup>3</sup> )/ Av. deficit (m <sup>3</sup> )	Min. průtok (l/s)/ Min. runoff (l/s)	Prům. průt. (l/s)/ Av. runoff (l/s)	Dny/ Days	Od From	Do/ To/
9 0936	900,36	2,7	7,58	100	2. 8. 1954 - 10. 11. 1954	
5 581,44	429,34	9	13,03	13	1. 9. 1955 - 13. 9. 1955	
26 101,44	686,88	6	10,05	38	17. 9. 1955 - 24. 10. 1955	
10 324,8	645,3	9	10,53	16	5. 6. 1956 - 20. 6. 1956	
7 274,88	427,93	9,8	14,22	22	6. 8. 1956 - 22. 8. 1956	
5 175,36	575,04	9,8	11,34	9	5. 9. 1956 - 13. 9. 1956	
10 324,8	573,6	9	11,36	18	18. 9. 1956 - 5. 10. 1956	
16 822,08	623,04	8,1	10,79	28	19. 6. 1957 - 15. 7. 1957	
9 944,64	523,4	8,1	11,94	19	9. 8. 1957 - 27. 8. 1957	
15 526,08	470,49	9	12,55	33	26. 5. 1958 - 27. 6. 1958	
7 050,24	440,64	9,8	13,57	16	22. 7. 1958 - 6. 8. 1958	
8 061,12	383,86	9	13,56	21	5. 9. 1958 - 25. 9. 1958	
134 723,52	1 132,13	1,9	4,9	119	30. 8. 1959 - 26. 12. 1959	
4 415,04	441,5	10,5	12,89	10	29. 6. 1960 - 8. 7. 1960	
30 412,8	868,94	4,9	7,94	35	16. 9. 1960 - 20. 10. 1960	
3 240	462,86	10,5	12,64	7	16. 8. 1961 - 22. 8. 1961	
80 784	1 137,8	1,9	4,83	71	28. 8. 1961 - 6. 11. 1961	
10 238,4	602,26	6,8	11,03	17	2. 7. 1962 - 18. 7. 1962	
94 651,2	975,79	2,75	6,71	97	27. 7. 1962 - 31. 10. 1962	
37 640,16	648,97	4,25	10,75	58	3. 7. 1963 - 29. 8. 1963	
3 542,4	295,2	10,5	14,67	12	22. 9. 1963 - 3. 10. 1963	
10 566,72	503,18	8,1	12,28	21	31. 5. 1964 - 20. 6. 1964	
8 605,44	430,27	9	13,29	20	24. 7. 1964 - 12. 8. 1964	
31 302,72	727,97	6,8	9,57	43	31. 8. 1964 - 12. 10. 1964	
6 073,92	433,85	10,5	12,98	14	5. 9. 1965 - 18. 9. 1965	
22 680	472,5	9,8	12,53	48	4. 10. 1965 - 20. 11. 1965	
56 272,32	760,44	3,7	9,2	74	11. 9. 1966 - 23. 11. 1966	
1 969,92	218,88	10,5	15,47	9	1. 7. 1967 - 9. 7. 1967	
2 280,96	325,85	13,3	14,23	7	29. 7. 1967 - 4. 8. 1967	
21 651,84	618,62	8,1	10,84	35	9. 8. 1967 - 12. 9. 1967	
19 535,04	454,3	9	12,87	43	24. 9. 1967 - 5. 11. 1967	
3 991,68	332,64	11,6	14,15	12	6. 7. 1968 - 17. 7. 1968	
5 719,68	285,98	12,4	15,07	20	31. 5. 1969 - 19. 6. 1969	
12 044,16	523,66	9	11,94	24	26. 7. 1969 - 17. 8. 1969	
55 512	730,42	2,2	9,71	75	11. 9. 1969 - 25. 11. 1969	
2 540,16	423,36	10,5	13,1	6	25. 6. 1970 - 30. 6. 1970	
3 032,64	252,72	12,4	15,16	12	5. 7. 1970 - 16. 7. 1970	
3 913,92	489,24	6,8	12,34	8	31. 7. 1970 - 7. 8. 1970	
14 005,44	666,93	6,8	10,28	21	11. 9. 1970 - 1. 10. 1970	
1 347,84	149,76	15,5	16,27	9	15. 10. 1970 - 23. 10. 1970	
54 008,64	981,98	2,75	6,63	55	16. 7. 1971 - 8. 9. 1971	
15 016,32	600,65	9	11,05	25	24. 9. 1971 - 18. 10. 1971	
1 874,88	312,48	12,4	14,38	6	27. 10. 1971 - 1. 11. 1971	
4 199,04	599,86	7,4	11,06	7	4. 9. 1972 - 10. 9. 1972	
3 170,88	396,36	11,6	13,41	8	15. 9. 1972 - 22. 9. 1972	
7 240,32	402,24	10,5	13,34	18	6. 10. 1972 - 23. 10. 1972	
11 819,52	358,17	10,5	13,85	33	22. 5. 1973 - 23. 6. 1973	
12 009,6	522,16	8,1	11,96	23	4. 7. 1973 - 26. 7. 1973	



47 057,76	1 001,23	2,2	6,41	47	11. 8. 1973 - 26. 9. 1973
28 235,52	656,64	6	10,48	43	1. 10. 1973 - 12. 11. 1973
34 309,44	672,73	6,8	10,21	51	5. 8. 1974 - 24. 9. 1974
3 568,32	396,48	10,5	13,41	9	18. 8. 1975 - 26. 8. 1975
21 712,32	804,16	6	8,69	27	17. 9. 1975 - 13. 10. 1975
48 962,88	906,72	2,8	7,51	54	14. 6. 1976 - 6. 8. 1976
25 738,56	779,96	5,5	8,97	33	15. 8. 1976 - 16. 9. 1976
4 553,28	350,25	13,3	13,95	13	2. 10. 1976 - 14. 10. 1976
5 944,32	371,52	10,5	13,7	16	5. 6. 1977 - 20. 6. 1977
1 969,92	328,32	10,5	14,2	6	3. 9. 1977 - 8. 9. 1977
1 918,08	319,68	11,6	14,3	6	6. 10. 1977 - 11. 10. 1977
6 013,44	375,84	11,6	13,65	16	17. 10. 1977 - 1. 11. 1977
8 493,12	369,27	10,5	14,12	23	26. 7. 1978 - 17. 8. 1978
1 365,12	124,1	15,5	16,75	11	3. 6. 1979 - 13. 6. 1979
4 717,44	428,86	10,5	13,04	11	7. 10. 1979 - 17. 10. 1979
6 272,64	522,72	9,8	11,95	12	3. 6. 1981 - 14. 6. 1981
12 2778,72	990,15	3,7	6,54	124	26. 7. 1983 - 26. 11. 1983
76 010,4	883,84	3,7	7,78	86	8. 9. 1985 - 2. 12. 1985
9 987,84	453,99	9	12,75	22	30. 9. 1986 - 21. 10. 1986
1 218,24	101,52	15,5	16,99	12	13. 9. 1987 - 24. 9. 1987
4 164,48	260,28	11,6	15,05	17	22. 8. 1990 - 6. 9. 1990
734,4	81,6	14,3	17,66	9	8. 9. 1991 - 16. 9. 1991
8 406,72	254,75	10,5	15,25	33	2. 10. 1991 - 3. 11. 1991
76 675,68	861,52	4	8,25	89	24. 7. 1992 - 20. 10. 1992
31 026,24	633,19	6	10,73	48	18. 5. 1993 - 5. 7. 1993
8 372,16	418,61	9	13,16	20	12. 8. 1993 - 31. 8. 1993
1 555,2	194,4	13,3	15,75	8	18. 9. 1993 - 25. 9. 1993
28 373,76	746,68	5,5	9,36	38	18. 7. 1994 - 24. 8. 1994
725,76	120,96	15,5	16,6	6	9. 9. 1994 - 14. 9. 1994
21 176,64	683,12	6	10,09	31	28. 7. 1995 - 27. 8. 1995
9 633,6	437,89	10,5	12,93	22	19. 10. 1995 - 9. 11. 1995
1 028,16	146,88	15,5	16,3	7	15. 10. 1996 - 21. 10. 1996
1 684,8	336,96	10,5	14,1	5	12. 6. 1997 - 16. 6. 1997
23 984,64	888,32	4,9	7,72	27	3. 8. 1997 - 29. 8. 1997
44 608,32	756,07	6	9,25	59	15. 9. 1997 - 12. 11. 1997
50 181,12	946,81	2,2	7,17	53	22. 7. 1998 - 12. 9. 1998
14 351,04	623,96	7,4	10,78	23	24. 5. 1999 - 15. 6. 1999
3 447,36	574,56	7,4	11,35	6	2. 7. 1999 - 7. 7. 1999
66 286,08	828,58	4,25	8,46	81	22. 7. 1999 - 9. 10. 1999
6 272,64	392,04	9,8	13,46	16	23. 10. 1999 - 7. 11. 1999
23 906,88	555,97	6	11,69	43	2. 6. 2000 - 14. 7. 2000
64 592,64	797,44	4,9	8,77	81	15. 8. 2000 - 3. 11. 2000
1 702,08	243,15	12,4	15,19	7	26. 8. 2001 - 1. 9. 2001
4 587,84	208,54	13,3	15,63	22	17. 10. 2001 - 7. 11. 2001
31 777,92	690,82	6,8	10	46	2. 6. 2003 - 17. 7. 2003
2 125,44	303,63	11,6	14,49	7	22. 7. 2003 - 28. 7. 2003
44 746,56	828,64	4,9	8,41	54	12. 8. 2003 - 4. 10. 2003
3 490,56	249,33	12,4	15,11	14	19. 10. 2003 - 1. 11. 2003
91 238,4	800,34	3,7	8,74	114	9. 7. 2004 - 30. 10. 2004
2 013,12	251,64	13,3	15,5	7	9. 9. 2005 - 16. 9. 2005



**Obr. 7.** Pravděpodobnost rozdělení sucha ve třech obdobích celoročně (vlevo) a v teplé části roku (vpravo) ve dnech na povodí Malá Ráztoka  
Distribution probability of maximum drought events in days annually (left) and warm months (right) at the Malá Ráztoka watershed



**Obr. 8.** Pravděpodobnost rozdělení maximálního deficitu podle průměrného denního průtoků v l/s (vlevo) a ve dnech (vpravo) na povodí Malá Ráztoka  
Distribution probability of the maximum deficit volume in daily mean discharge (left) in litre/second and in days (right) at the Malá Ráztoka watershed

pro udržování vodárensky potřebných zásob v povodích více závislejších na srážkových úhrnech. Proto musí být postaveny a udržovány potřebné vodní nádrže.

Z četností a trvání minimálních průtoků plyne, že jsou častějšími a déle trvají než průtokové (povodňové) vlny, ale zkoumanému území ekologicky i společensky méně škodí. Více jich bývá v chladném ročním období, přesto výrazněji snižují zemědělskou než lesní produkci.

**Poznámka:**

Příspěvek byl vypracován při řešení výzkumného úkolu NAZV č. QF 3013 „Vývoj hydrického působení lesů malých horských povodí“ v rámci programu výzkumu a vývoje MZe ČR.

## LITERATURA

- BÍBA, M., JAŘABÁČ, M., VÍCHA, Z. Minimální odtoky z beskydských experimentálních povodí v letech 1954 - 2003. Sborník Beskydy, 17, 2004, s. 23-28.
- BÍBA, M., JAŘABÁČ, M., OCEÁNSKÁ, Z., VÍCHA, Z. Minimální odtoky z beskydských experimentálních povodí. Zprávy lesn. výzkumu, 2005, roč. 49, č. 1, s. 229-237.
- CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M., WINKLER, I. Minimální odtoky z beskydských lesnatých povodí. Sborník Beskydy, 13, 2000, s. 43-46.
- JAKUBOWSKI, W. Rozkłady prawdopodobieństwa niżówek maksymalnych. [Distributions of low flow maximums.] AR Wrocław, Przegląd geofizyczny, 2005, č. 3/4, s. 229-248.
- JAKUBOWSKI, W., RADCZUK, L. Nizowka 2003 software [w:] In Tallaksen, L.M., van Lanen, H. A. J. (eds.): Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Development in Water Science, 48. Amsterdam: Elsevier, 2004.
- OZGA-ZIELIŃSKA, M., BRZEZIŃSKI, J. Hydrologia stosowana. Warszawa: PWN, 1997.
- TALLAKSEN, L. M.: Streamflow drought frequency analysis. In Vogt, J. V., Somma, F. (eds.): Drought and drought mitigation in Europe. The Netherlands, Kulwer Acad. Publ. 2000, s. 103-117.
- TALLAKSEN, L. M., MADSEN, H., CLAUSEN, B. On the definition and modeling of streamflow drought duration and deficit volume. Hydrol. Sci. J., 1997, vol. 42, no. 1, s. 15-33.
- TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. J. (eds.) Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science, 48. Amsterdam: Elsevier, 2004.
- VÁLEK, Z.: Lesní porosty jako vodohospodářský a protierozní činitel. Praha: SZN, 1977. 203 s.
- ZELENHASIĆ, E., SALVAI, A. A method of streamflow drought analysis. Water Resour. Res., 1987, vol. 23, no. 1, s. 156-168.

## PROBABILITIES OF MINIMAL DISCHARGES FROM TWO EXPERIMENTAL WATERSHEDS IN THE BESKYDY MTS. EVALUATED BY THE HYDROLOGICAL MODEL LOWFESTIM

### SUMMARY

The continuous 50-year measurement of individual items in run-off relationship were carried out on two experimental watersheds within the Moravskoslezské Beskydy Mts. Up to now the assessment of results was focused mainly on runoff in periods rich in precipitation and on occurrence of flood culminations. In this contribution precipitation and runoff minima are evaluated. Drought is evaluated by means of statistical model Lowfestim (JAKUBOWSKI 2005) that is used for defining of probability of repetition and drought duration, insufficiency in water runoffs and for evaluation of forests influence on runoff process. The lowest outflows assessed by statistical model Lowfestim show that mathematical formulation, as the base of this model, is more exact than measured and filed data from both watersheds. The results characterize not only the chosen minima in precipitation-runoff regime but also inform in general on retention possibilities in watersheds, on evapotranspiration, on moisture of forest soils and runoff of underground water from parent rock. Moisture of forest soils is sufficient during vegetation season in this area. Stand regenerations on these watersheds provided till now have not markedly influenced supply of soil moisture.

Recenzováno

### ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. MILAN BÍBA, CSc., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.  
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika  
tel.: 257 892 207; e-mail: biba@vulhm.cz