

## VEDECKÉ SPRÁVY

ALOJZ MALÍŠEK\*

## ZHODNOTENIE FAKTORA ERÓZNEJ ÚČINNOSTI PRÍVALOVEJ ZRÁŽKY

Alojz Malíšek: Evaluation of the Erosion Effectiveness Factor of a Downpour. Geogr. čas., 42, 1990, 4; 1 Fig., 1 Table, 10 Refs.

The erosion effectiveness of a downpour is in this work analysed by a derived relation of USA units as a kinetic energy  $E = 916 + 331 \text{ Log } i$  to SI system:  $R = [\sum_{j=1}^n (2.06 + 0,873 \log i') \cdot \Delta h]$  . Imax 30. It is a physical quantity of precipitation division intensity  $i'$  and its increase of precipitation height  $\Delta h$ . At the beginning of precipitation, its part is infiltrated into soil. We consider this precipitation value according to N. Hudson [8] 1,25 or as the case may be according to F. Toman [9] 1,0 cm. The erosion process arises when  $i \geq 2,4 \text{ cm.h}^{-1}$ , or  $i \geq 2,0 \text{ cm.h}^{-1}$ . With combination there were reckoned values of precipitation course of August 3rd, 1984 in Švermovo  $R \in (12,7; 12,6; 9,3; 5,0; 0; 4,8) \text{ MJ.ha}^{-1} \cdot \text{cm.h}^{-1}$ . The results show that all precipitation divisions  $\Delta h$  or as the case may be a total precipitation MZ doesn't participate in creating erosion processes. For intensity of erosion processes it is recommended to analyse part of precipitation division intensity  $i' = \Delta t \cdot \Delta h$  for  $i \geq 2,0 \text{ cm.h}^{-1}$  above 1,0 cm of precipitation line.

Erózia pôdy je mechanický proces, ktorý si vyžaduje energiu. Veľa energie dodávajú padajúce dažďové kvapky, ktoré dosahujú rýchlosť až  $9 \text{ ms}^{-1}$ . Kinetická energia [KE] prívalovej zrážky počas 30 minút môže dosiahnuť hodnotu až  $300 \text{ MJ.ha}^{-1}$ . Dažďové kvapky pri dopade na pôdny povrch rozrušujú jemné časti pôdy a za určitých podmienok pripravujú povrchovo tečúcej vode materiál k premiestňovaniu, alebo k odnášaniam z územia. Väčší úhrn zrážky ako je schopný pôdny povrch spolu s vegetáciou zadržať a vyššia intenzita zrážky ako intenzita vsaku vyvolávajú povrchový odtok, ktorý je základnou podmienkou pre vznik erózneho procesu.

Intenzita a množstvo zrážok za istých podmienok najviac ovplyvňujú zrážkovú eróziu pôdy. Narastaním intenzity zrážky sa zvyšuje jeho kinetická energia a objem povrchovo tečúcej vody. Pre vznik erózných procesov sú vo väčšine prípadov rozhodujúce prívalové zrážky: výskyt, intenzita a zrážkový úhrn.

\* Ing. Alojz Malíšek, Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Rožňavská 23, 823 69 Bratislava.

Prívalové zrážky spôsobujú povrchový odtok, ktorý je zintenzívnený účinkom kinetickej energie dopadu dažďových kvapiek.

Faktor eróznej účinnosti prívalovej zrážky  $R$  vymedzili W. H. Wischmeier — D. D. Smith (1958) ako súčin KE zrážky a jej maximálnej 30-minútovej intenzity. Touto problematikou sa u nás zaoberalo viacero autorov [J. Pretl 1973; F. Toman 1982, 1985; V. Pasák 1982; M. Šabata 1984; T. Hrnčiarová 1986; F. Ale-na 1986; D. Zachar 1983; A. Malíšek 1987; Z. Krajčířová 1988]. Všeobecným výsledkom je stanovenie priemernej ročnej hodnoty faktora  $R$  v jednotlivých mesiacoch a dekádach, zostrojenie izo-erodentov, tzv. izo-erozívnych čiar pre niektoré vybrané územia, pre detailné výpočty ochranného účinku vegetácie a celkovú hodnotu pôdneho zmyvu a posúdenie protieróznych opatrení z hľadiska účinnosti a životnosti.

Vypočítané hodnoty faktora  $R$  podľa jednotlivých autorov a metodiky ÚVTIZ 11/83 [6] vykazujú rozdiely. Energia prívalovej zrážky a hodnota faktora  $R$  sú závislé od zrážkového úhrnu (Hz) a intenzity zrážky (i). Kombináciou týchto dvoch fyzikálnych veličín zrážky sa mení aj hodnota faktora  $R$ , ako ukazuje rozbor zrážkovej čiary prívalovej zrážky na ombrografickej stanici Švermovo z 3. 8. 1984.

## MATERIÁL A METÓDA

Na výpočet straty pôdy sa používa Univerzálny erózný model podľa W. H. Wischmeiera a D. D. Smitha modifikovaný pre podmienky ČSFR metodikou ÚVTIZ 11/83. Priebeh erózných procesov vyjadruje súčin dvoch kvantitatívnych faktorov (zrážkovej erozivity a erodovateľnosti pôdy) a štyroch kvalitatívnych faktorov:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P, \quad (1)$$

kde:  $A$  — strata pôdy v  $t \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$ ,  
 $R$  — faktor eróznej účinnosti prívalovej zrážky,  
 $K$  — faktor erodovateľnosti pôdy,  
 $L$  — faktor dĺžky svahu,  
 $S$  — faktor sklonu svahu,  
 $C$  — faktor ochranného vplyvu vegetácie,  
 $P$  — faktor účinnosti protieróznych opatrení.

Faktor  $R$  je analyzovaný v príspevku.

Faktor  $K$  závisí od fyzikálnych vlastností pôdy: obsahu organických látok, obsahu humusu, ílovitých častíc, prachu, skeletovosti a pod. Podľa bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek a komplexného pôdoznaleckého prieskumu  $K < 0,13 \div 0,57 >$ .

Topografický faktor  $LS$  predstavuje pomer straty pôdy na jednotku plochy riešeného svahu ku strate pôdy na štandardnej zrovnávacej ploche:  $L = 22,13$  m a  $S = 9\%$ .  $L$ -faktor pre dĺžku pozemku 10—1500 m má hodnoty  $L \in < 0,7 \div 8,3 >$ ; pre sklon svahu 2—30 % má hodnoty  $S \in < 0,2 \div 7,3 >$ .

$C$  — faktor ochranného vplyvu vegetácie nadobúda hodnoty  $C \in < 0,005 \div 0,8 >$ ; najnižšie majú trvalé trávne porasty, ďateloviny a najvyššie okopaniny: kukurica, cukrová repa a zemiaky.

Faktor  $P \in < 0,05 \div 1,0 >$  závisí od spôsobu vykonávania agrotechniky: vrstevnicového obrábania pôdy, pásového striedania plodín na svahu; hydrotechnic-

kých opatrení: hrádzkovanja, záchytných priekop, prieloh a technických opatrení: terasovania, pri ktorom dosahuje  $P$  najnižšie hodnoty.

Faktor eróznej účinnosti prívalovej zrážky  $R$  vymedzili W. H. Wischmeier a D. D. Smith ako súčin kinetickej energie  $E$  a jeho max. 30-minútovej intenzity  $I_{30}$ :

$$R = E \cdot I_{\max 30} \quad (2)$$

Kinetickú energiu  $E$  určili vzťahom:

$$E = 916 + 331 \log i, \quad (3)$$

kde  $E$  je kinetická energia dažďa vyjadrená v amerických tonách /stopa/ acre na výšku 1 cílu zrážky v hodinách,

$i$  — intenzita dažďa v cíloch za hodinu.

Energia dažďových kvapiek sa zisťuje výpočtom z hmoty kvapiek a konečnej rýchlosti pádu. Kinetická energia dažďa je súčet kinetických energií jednotlivých kvapiek. W. H. Wischmeier a D. D. Smith odvodili vzťah (3) medzi kinetickou energiou dažďa a jeho intenzitou v tvare logaritmickú regresie [2].

Pre použitie rovnice (3) v našich podmienkach je potrebné previesť transformáciu z USA jednotiek do sústavy SI:

1. Transformovanie intenzity zrážky:

$$i = \frac{\text{inch (palec)}}{\text{hour (hodina)}},$$

$$i = \frac{\text{inch}}{\text{hour}} = 25,4 \text{ mm.h}^{-1} \text{ alebo } 2,54 \text{ cm.h}^{-1}$$

Prevod intenzity na mm, resp. cm bude zavedený symbolom  $im$ , rovnica (3) vynásobená intenzitou  $i$ :

$$E = 916 + 331 \log im \cdot i; \quad (4)$$

$$im \ 1 = 25,4 \text{ mm.h}^{-1};$$

$$331 \log 25,4 = 465;$$

$$916 - 465 = 451;$$

$$im \ 2 = 2,54 \text{ cm.h}^{-1};$$

$$331 \log 2,54 = 134;$$

$$916 - 134 = 782.$$

Rovnica (4) je redukovaná v tvare:

$$E = 451 + 331 \log im \ 1; \quad im \ 1 = \text{mm.h}^{-1}; \quad (5a)$$

$$E = 782 + 331 \log im \ 2; \quad im \ 2 = \text{cm.h}^{-1}. \quad (5b)$$

2. Transformovanie energie  $E$  z amerických foots /tons/ acre/inch: (symbol  $E$  vyjadruje kinetickú energiu zrážky). Prácu vyjadríme najprv v N, ktoré prevedieme na joule:

$$1 \left[ \frac{\text{fts} \cdot \text{tons}}{\text{acre} \cdot \text{inch}} \right] = \left[ \frac{0,3048 \text{ m}}{\text{fts}} \right] \left[ \frac{8,899 \text{ N}}{\text{tons}} \right] \left[ \frac{\text{acre}}{0,4047} \right] \left[ \frac{\text{inch}}{25,4} \right] \left[ \frac{\text{J}}{\text{N.m}} \right]$$

$$\left[ \frac{\text{MJ}}{1,0 \cdot 10^6} \right] = 2,638 \cdot 10^{-4} \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}. \quad (6)$$

Rovnica 5a po redukovní bude mať tvar

$$E = 0,119 + 0,0873 \log im 1, \quad (7)$$

kde  $E$  je energia dažďa v MJ . ha<sup>-1</sup> na 1 mm výšky dažďa.

Hodnotu energie prívalovej zrážky na MJ . ha<sup>-1</sup> na 1 cm výšky zrážky vyjadruje rovnica (8):

$$E = 2,06 + 0,873 \log im 2, \quad (8)$$

Energiu prívalovej zrážky v J . m<sup>-1</sup> na 1 cm výšky zrážky vyjadríme:

$$E = 206 + 87,3 \log im 2, \quad (9)$$

Energiu vyjadrenú v J . m<sup>-2</sup> na 1 mm výšky zrážky vyjadruje rovnica (10) v tvare:

$$E = 119 + 87,3 \log im 1, \quad (10)$$

Celkovú energiu prívalovej zrážky  $E_c$  vyčíslime pomocou rovníc (7, 8, 9, 10) vynásobením celkovým zrážkovým úhrnom  $H_z$  prívalovej zrážky:

$$E_c = (2,06 + 0,873 \log im 1) \cdot Hz, \quad (11)$$

kde  $E_c$  — celková energia prívalovej zrážky vyjadrená v MJ . ha<sup>-1</sup> . cm,

$im$  — intenzita zrážky v cm . h<sup>-1</sup>,

$H_z$  — úhrn prívalovej zrážky v cm.

Celkovú energiu prívalovej zrážky vyjadrenú v J . m<sup>-2</sup> cm vypočítame z rovnice (10)

$$E_c = (119 + 87,3 \log im 1) \cdot Hz. \quad (12)$$

Hodnotu faktora eróznej účinnosti prívalovej zrážky  $R$  vypočítame pomocou rovnice (2); za energiu  $E$  dosadíme rovnicu (11) alebo (12), ktorú vynásobíme maximálnou hodnotou 30-minútovej intenzity prívalovej zrážky:

$$R = (0,06 + 0,873 \log im 2) \cdot Hz \cdot I_{\max} \cdot 30, \quad (13)$$

$$R = (119 + 87,3 \log im 1) \cdot Hz \cdot I_{\max} \cdot 30. \quad (14)$$

Pomocou rovníc (13) a (14) vypočítaný  $R$ -faktor vyjadruje eróznú účinnosť prívalovej zrážky v MJ . ha<sup>-1</sup> . cm . h<sup>-1</sup> — rovnica (13) a MJ . ha . mm . h<sup>-1</sup> rovnica (14).

Na zisťovanie reprezentatívnych údajov faktora  $R$  je potrebné vyhodnotiť každú prívalovú zrážku z ombrografických záznamov dostupných v archíve SHMÚ. Podľa metodiky ÚVTIZ 11/83 zrážky do výšky 12,5 mm oddelené od predchádzajúcich a nasledujúcich 6-hodinovou prestávkou a zrážky, ktorých maximálna intenzita — 24 mm . ha<sup>-1</sup> sa nepočítajú. Ak je čas zrážky menší ako 30 minút,  $I_{\max 30}$  sa rovná 2-násobku úhrnu zrážky  $H_z$ . Zrážky do 12,5 mm sa nepočítajú, lebo výška zrážky sa uvažuje pre vsak do pôdy.

F. Toman [9] vyhodnotil pre zrážkomernú stanicu Telč zrážky s úhrnom  $H_z$  — 10 mm s maximálnou intenzitou nad 20 mm.h<sup>-1</sup>. Podobne ombrografické záznamy vyhodnotili T. Hrnčiarová [3] a Z. Krajčírová [4].

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na vyhodnocovanie zrážkovej čiary prívalovej zrážky zavedieme pomocné symboly a zrážkovú čiaru rozdelíme podľa zmeny intezity na zrážkové oddiely a celkovú energiu zrážkového oddielu vypočítame zo vzťahu:

$$E \cdot c' = (2.06 + 0,873 \log i) \cdot \Delta h, \quad (15)$$

kde  $E \cdot c'$  je celková energia zrážkového oddielu v Mj.ha<sup>-1</sup>.cm,

$i$  — intenzita zrážkového oddielu v cm.h<sup>-1</sup>,

$\Delta h$  — výška zrážkového oddielu v cm.

Analogicky pre energiu  $E$  zavedieme vzťah (16):

$$E = (2.06 + 0,873 \log i). \quad (16)$$

Celkovú energiu prívalovej zrážky vypočítame zo súčtu zrážkových oddielov vzťahom:

$$Ec = \sum_{j=1}^n E \cdot c' = \sum_{j=1}^n (2.06 + 0,873 \log i) \cdot \Delta h. \quad (17)$$

Intenzitné zmeny zrážkového oddielu zodpovedajú prírastku výšky  $h$  za čas  $t$ . Časové hodnoty a výšky zrážkových oddielov odčítame z obrázku: priebeh zrážkovej čiary. Z každého zrážkového oddielu vypočítame jeho intenzitu:

$$i' = \Delta h \cdot \Delta t, \text{ cm.h}^{-1}. \quad (18)$$

Celkovú energiu zrážkového oddielu  $E \cdot c'$  vypočítame z rovnice (15) a celkovú energiu prívalovej zrážky  $Ec$  z rovnice (17). Hodnoty  $R$ -faktora prívalovej zrážky vypočítame z rovnice (17) zavedením hodnoty  $I_{\max 30}$  z rovnice (2):

$$R = \left[ \sum_{j=1}^n (2.06 + 0,873 \log i) \cdot \Delta h \right] \cdot I_{\max 30}, \quad (19)$$

kde:  $\sum_{j=1}^n$  je súčet zrážkových oddielov,

$j$  —  $j$ -ty úsek zrážkového oddielu,

$n$  — počet zrážkových oddielov.

## POSTUP VYHODNOCOVANIA

Intenzita zrážky sa počas jej trvania mení a každý (intenzitný) zrážkový oddiel vykazuje iné hodnoty energie  $E$  a celkovej energie  $E \cdot c$ . Hodnoty  $R$ -fak-

tora prívalovej zrážky na zrážkomernej stanici Švermovo z ombrografického záznamu zrážkovej čiary podľa grafu vyhodnotíme alternatívne:

1. Rozdelením zrážkovej čiary na zrážkové oddiely a pre každý zrážkový oddeľ vypočítame celkovú energiu zrážkového oddielu  $E \cdot c'$  podľa rovnice (15) a celkovú energiu prívalovej zrážky  $Ec$  podľa rovnice (17). Výšku vsaku do pôdy neuvažujeme. Hodnotu  $\{R_1\}$  vypočítame z rovnice (19),  $I_{\max 30}$  vyhodnotíme z celej zrážkovej čiary;

2. Bez rozdelenia zrážkovej čiary na zrážkové oddiely s použitím celkového úhrnu zrážky  $H_z = 2,12$  cm a priemernej intenzity  $i_s = 2,12$  cm.h<sup>-1</sup> a  $I_{\max 30} = 2,54$  cm.h<sup>-1</sup> ( $R_2$ );

3. S rozdelením zrážkovej čiary na zrážkové oddiely a celkovú energiu zrážkového oddielu  $E \cdot c'$  podľa rovnice (15) počítať len pre  $i \geq 2,4$  cm.h<sup>-1</sup> z celej zrážkovej čiary a  $I_{\max 30} = 2,254$  cm.h<sup>-1</sup> z celej zrážkovej čiary ( $R_3$ );

4. Z celej zrážkovej čiary pre celkovú energiu  $Ec$  podľa rovnice (17) treba uvažovať len  $E \cdot c'$ , ktorých intenzita  $i \geq 2,0$  cm.h<sup>-1</sup> a  $I_{\max 30}$  z celej zrážkovej čiary ( $R_4$ );

5. Pre celkovú energiu prívalovej zrážky  $Ec$  podľa rovnice (17) treba uvažovať len intenzity zrážkových oddielov  $i \geq 2,4$  cm.h<sup>-1</sup> nad 1,25 cm zrážkovej čiary a  $I_{\max 30}$  z celej zrážkovej čiary ( $R_5$ );

6. Treba uvažovať len intenzity zrážkových oddielov  $i \geq 2,0$  cm.h<sup>-1</sup> pre celkovú energiu zrážkových oddielov  $Ec$  podľa rovnice (15) a celkovú energiu prívalovej zrážky  $Ec$  podľa rovnice (17) nad 1,0 cm výšky zrážkovej čiary,  $I_{\max 30}$  z celej zrážkovej čiary ( $R_6$ ).

Vyhodnotenie faktorov  $R$  zrážkovej čiary podľa alternatív  $R_1—R_6$  prevedieme podľa postupu vyhodnocovania z grafu a hodnoty vypíšeme do tabuľky.

Zrážkovú čiaru rozdelíme podľa zmeny intenzity na zrážkové oddiely (stĺpec 1 a 2). Pre každý zrážkový oddeľ  $\Delta t$  a  $\Delta h$  (stĺpec 3 a 4) vypočítame intenzity  $i'$  (rovnica (18)) zrážkových oddielov (stĺpec 5). Podľa rovnice (16) vypočítame energiu zrážkového oddielu  $E$  (stĺpec 5). Podľa rovnice (16) vypočítame energiu zrážkového oddielu  $E \cdot c'$  (stĺpec 6) a celkovú energiu zrážkového oddielu  $E \cdot c'$  podľa rovnice (15) (stĺpec 7). Hodnoty faktora eróznej účinnosti zrážkových oddielov  $R_1—R_6$  (stĺpec 8) vyhodnotíme podľa rovnice (13) a (19).

Maximálnu 30-minútovú intenzitu prívalovej zrážky  $\{I_{\max 30}\}$  odčítame z priebehu zrážkovej čiary alebo z tabuľky (stĺpec 3 a 5, súčet po sebe 30 min. a priemerná hodnota  $i$ ) z celej zrážkovej čiary bez uvažovania vsaku výšky zrážky do 1,0 alebo 1,25 cm; je hodnota dvojnásobku 130:

$$I_{\max 30} = 1,27 \cdot 2 = 2,54 \text{ cm.h}^{-1}. \quad (20)$$

## VYHODNOTENIE FAKTOROV $R$

1. Faktor  $R_1$  vyhodnotíme podľa rovnice (19), podmienke vyhovuje  $n = 9$  zrážkových oddielov, +  $I_{\max 30} = 2,54$  cm.h<sup>-1</sup>

$$R_1 = \left[ \sum_1^9 (2,06 + 0,873 \log i) \cdot \Delta h \right] \cdot I_{\max 30}$$

$$= 5,0 \cdot 2,54 = 12,7 \text{ MJ.ha}^{-1} \cdot \text{cm.h}^{-1};$$

Tab. 1. Výpočet faktora  $R$  eróznej účinnosti prívalovej zrážky

Zrážka		Zrážkový oddiel		Intenzita	Energia	Celková energia	Hodnoty					
čas $t$	Výška $h$	$t$	$h$	$i'$	$E$	$E'/c$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
{h/min}	{mm}	{min.}	{cm}	{cm.h <sup>-1</sup> }	{MJ.ha <sup>-1</sup> }	{MJ.ha <sup>-1</sup> .cm}	{MJ.ha <sup>-1</sup> .cm.h <sup>-1</sup> }					
1	2	3	4	5	6	7	8					
17:13	1,8											
23	7,0	10	0,52	3,12	2,49	1,29						
29	9,0	6	0,2	2,0	2,32	0,46						
36	11,8	7	0,28	2,4	2,39	0,67						
38	12,8	2	0,1	3,0	2,48	0,25						
43	14,5	5	0,17	2,0	2,32	0,39						
50	17,0	7	0,25	2,14	2,35	0,59						
18:05	21,0	15	0,4	1,6	2,24	0,90						
10	22,5	5	0,15	1,8	2,28	0,34						
13	23,0	3	0,05	1,0	2,06	0,10	12,7	12,6	5,0	9,3	0	4,8
		$\Sigma 60^\circ$	$\Sigma 2,12$	$i_s = 2,12$	$\Sigma 20,9$	$\Sigma 5,0$						



2. Faktor  $R_2$  vyhodnotíme pomocou rovnice [13]; namiesto hodnoty  $im$  2 dosadíme z tabuľky (stĺpec 5)  $is = 2,12 \text{ cm.h}^{-1}$  a  $I_{\max 30}$  z rovnice [20]:

$$\begin{aligned} R_2 &= [(2.06 + 0,873 \log . 2,12) \cdot 2,12] \cdot 2,54 \\ &= 4,97 \cdot 2,54 = 12,6 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}; \end{aligned}$$

3. Faktor  $R_3$  vyhodnotíme podľa rovnice [19], podmienke vyhovujú 2 zrážkové oddiely:  $n = 2$ ,  $I_{\max 30} = 2,54 \text{ cm.h}^{-1}$

$$\begin{aligned} R_3 &= \left[ \sum_1^2 (2.06 + 0,873 \log i) \cdot \Delta h \right] \cdot I_{\max 30} \\ &= 1,96 \cdot 2,54 = 5,0 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}; \end{aligned}$$

4. Faktor  $R_4$  vyhodnotíme z rovnice [19], podmienke vyhovuje  $n = 6$  zrážkových oddielov,  $I_{\max 30}$  z rovnice [20]:

$$\begin{aligned} R_4 &= \left[ \sum_1^6 (2.06 + 0,873 \log i) \cdot \Delta h \right] \cdot I_{\max 30} \\ &= 3,65 \cdot 2,54 = 9,3 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}; \end{aligned}$$

5. Faktor  $R_5$ : po odčítaní výšky vsaku zrážkovej čiary do pôdy 12,5 mm sa zrážkový oddiel, ktorý spĺňa podmienku  $i \geq 2,4 \text{ cm.h}^{-1}$  na zrážkovej čiare nenachádza:

$$R_5 = 0;$$

6. Faktor  $R_6$  vyhodnotíme z rovnice [19] a  $I_{\max 30}$  z rovnice [20] po odčítaní 10 mm zo zrážkovej čiary pre vsak do pôdy a zrážkový oddiel  $i \geq 2,0 \text{ cm.h}^{-1}$ , podmienke vyhovuje počet zrážkových oddielov  $n = 4$ :

$$\begin{aligned} R_6 &= \left[ \sum_1^4 (2.06 + 0,873 \log i) \cdot \Delta h \right] \cdot I_{\max 30} \\ &= 1,9 \cdot 2,54 = 4,8 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}. \end{aligned}$$

Z rozboru zrážkovej čiary vyplýva, že na výsledné hodnoty faktora  $R$  má vplyv fyzikálna veličina zrážky, teda intenzita zrážkového oddielu  $i'$  a prírastok výšky zrážkového oddielu  $h$ , za časové obdobie  $\Delta t$ ;  $i' = \Delta t \cdot \Delta h$ . Kombináciou fyzikálnej veličiny dažďa  $i'$ , vsaku zrážky do pôdy a celkového zrážkového úhrnu  $H_z$  vznikajú rôzne hodnoty faktora  $R$  (tab. 1) napr.  $i' = 3,12 \text{ cm.h}^{-1}$  a výška zrážkového oddielu  $\Delta h = 0,52 \text{ cm}$   $E \cdot c' = 1,29$  a hodnota faktora  $R = 3,28 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$ . Pri intenzite  $i' = 1,0 \text{ cm.h}^{-1}$  a  $\Delta h = 0,05 \text{ cm}$   $E \cdot c' = 0,10$  a  $R = 0,25 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$ .

Časť privalovej zrážky, ktorá sa podieľa na vytváraní erózneho procesu, nazývame aktívnou zrážkou. Kombináciou veľkosti vsaku do pôdy 1,25, resp. 1,0 cm, alebo bez uvažovania vsaku do pôdy a zmenou zrážkového oddielu intenzity  $i' = \Delta t \cdot \Delta h$  pri podmienke  $i \geq 2,4 \text{ cm.h}^{-1}$ , resp.  $i \geq 2,0 \text{ cm.h}^{-1}$ , kedy vzniká povrchový odtok, boli vypočítané hodnoty  $R_1$  až  $R_6$ ;  $R \in < 12,7; 9,3; 12,6; 5,0; 0; 4,8 > \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$ . Priemerná hodnota  $\bar{R} = 7,4$ ; nestranný rozptyl



$N_{(x)} = \pm 12,4$  a smerodajná odchýlka  $\delta x = \pm 4,6$ . Výsledky dokazujú, že všetky zrážkové oddiely  $\Delta h$ , resp. celá zrážka  $H_z$  sa nepodieľa na vytváraní povrchového odtoku a erózných procesoch. Závisí od mnohých činiteľov: pôdnych, agrotechnických, dynamiky terénu a pod. Rozhodujúci činiteľ je pôdny — nasiakavosť do pôdy a vegetačný — aká hodnota zo zrážkovej čiary vsiakne do pôdy, a ktorú zachytí vegetačný kryt. Pri uvažovaní faktora  $R_3$  je zrážka neerozívna, nevyvolá povrchový odtok a pri faktore  $R_1$  a  $R_2$  jeho hodnoty dosahujú 12,7 MJ.ha.cm.h<sup>-1</sup> a predstavuje vysokoerozívnu zrážku.

Pri vyhodnocovaní faktora sa vyskytujú objektívne a subjektívne chyby. Objektívne chyby vznikajú pri nedostatočnej starostlivosti o ombrograf: pri prudkých zrážkach sa zasekne zariadenie na zakreslenie zrážkovej čiary, alebo ho nevráti do počiatočnej polohy na kreslenie od nuly, nedostatok atramentu a pod. Tieto chyby veľmi ovplyvňujú výsledné hodnoty za ombrografickú stanicu. Subjektívne chyby vznikajú pri odčítaní: záznamy sú na štandardnom registračnom papieri v merítku vodorovnej osi času 1 h = 20 mm a zvislej osi zrážky 1 mm = 5 mm. Hrúbka zapísanej čiary sa pohybuje v rozmedzí od 0,6 do 1,1 mm. Pri presnosti odčítania zrážkového oddielu na minúty a desatiny milimetra hrúbka čiary ovplyvňuje presnú hodnotu intenzitného oddielu  $i$ .

Problematikou stanovenia hodnoty faktora  $R$  pre podmienky ČSFR sa zaoberalo viacero autorov, ktorých výsledky sú závislé od spôsobu vyhodnocovania:

— D. Zachar (1970) pre hercýnsko-karpatskú sústavu odporúča hodnotu  $\bar{R} \in < 30 + 60 > [10]$ ;

— J. Pretl (1973) zostrojil mapu izo-erozívnych čiar priemernej ročnej hodnoty pre severné Čechy:  $\bar{R} \in < 30 + 75 > [7]$ ;

— F. Toman (1982) vyjadril zmenu faktora eróznej účinnosti prívalového dažďa mapou izolínií pre južnú Moravu  $\bar{R} \in < 16 + 36 > [9]$ ;

— V. Pasák, M. Janeček a M. Šabata (1983) pre ČR odporúčajú hodnoty  $\bar{R} \in < 16 + 30 >$ , priemernú hodnotu pre Stredné Čechy  $R = 20 [6]$ ;

— F. Alena (1968) pre územie SR odporúča rozdeliť hodnoty  $R$  podľa krajov: Západoslovenský 30, Stredoslovenský 32, Východoslovenský 34 [1];

— T. Hrnčiarová (1986) zostrojila izolínie pre Východoslovenskú nížinu:  $\bar{R} \in < 15 + 21 > [3]$ ;

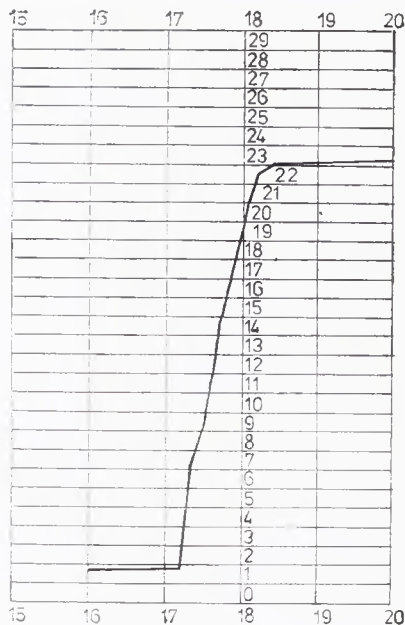
— A. Malíšek (1987) pre návrh protierózných opatrení s periodicitou výskytu  $p = 0,1$  podľa výskytu priemerných ročných zrážok pre podmienky SR:  $\bar{R} \in < 49 + 117 > [5]$ ;

— Z. Krajčířová (1988) zostrojila izoerodenty pre Podunajskú nížinu  $R \in < 6 + 34 > [4]$ .

## ZÁVER

Faktor eróznej účinnosti prívalovej zrážky  $R$  závisí od fyzikálnych veličín intenzity a celkového úhrnu  $H_z$ . Pre potreby praxe treba vyčísliť hodnotu aktívnej zrážky len z tej charakteristiky zrážkovej čiary, ktorá vyvoláva povrchový odtok a erózne procesy. Počas prívalovej zrážky sa všetky zrážkové oddiely intenzity  $i'$ , resp. celá prívalová zrážka nepodieľa na vytváraní erózných procesov. Výskyt prívalových zrážok s približne rovnakými charakteristikami v

Graf. 1. Priebeh zrážky na ombrografickej stanici Švermovo dňa 3. 8. 1984.



určitých pôdno-klimatických podmienkach nadobúda rôzne hodnoty faktora  $R$  a jeho zavedenie do rovnice [1] spochybňuje výpočet veľkosti straty pôdy, a tým aj návrh protieróznych opatrení. Z rozboru zrážkovej čiary vyplýva, že interakcia  $E \times I$  (energia  $\times$  intenzita) vykazuje dobrú zhodu pre faktor eróznej účinnosti privalovej zrážky.

Jedným z rozhodujúcich činiteľov na určenie faktora  $R$  je veľkosť zrážky z celkového úhrnu, ktorá vsiakne do pôdy a stanovenie len toho zrážkového oddielu, ktorý sa podieľa na vytváraní povrchového odtoku. Zavedením jeho hodnoty do rovnice [19] treba postupovať takto:

1. Vyhodnotiť všetky dostupné ombrografické záznamy zo 198 ombrografických staníc v SR s počtom sledovania minimálne 15 rokov.

2. Varianty faktora  $R$  ( $R_1$  až  $R_6$ ) vypočítať v programe grafického odčítania zrážkovej čiary z OMG pásov, zaznamenať rok, mesiac a dekádu výskytu. Spôsob je rýchly a spoľahlivý, vylučuje subjektívne chyby pri odčítaní.

3. Podľa sústavy bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek zistiť výšku zrážky vsaku do pôdy. Problematiku odporúčam zjednodušiť; nebrať do úvahy sklonové pomery.

4. Pre každé katastrálne územie vyčíslíť hodnotu faktora  $R$  lineárnou interpoláciou najbližšie položenaj OMG stanice. Pre praktické použitie zhotovíť mapu ozolníí pre Slovensko.

5. Pre návrh protieróznych opatrení v podmienkach Slovenska odporúčam vyhodnocovať faktor  $R$  eróznej účinnosti privalovej zrážky podľa postupu  $R_6$  a jeho relatívne hodnoty používať, pokiaľ nebude spresnený podľa uvedených podmienok.

1. ALENA, F.: Stanovenie straty pôdy eróznym splachom pre navrhovanie protieróznych opatrení na poľnohospodárskej pôde. ČSVTS, Bratislava, ŠMS 1986. — 2. HOLÝ, M.: Protierózná ochrana pôdy, Praha 1978. — 3. HRNČIAROVÁ, T.: Hodnotenie poľnohospodárskych plodín z hľadiska ochrany pôdy pred procesmi vodnej erózie. Zborník: Vývoj a perspektívy pozemkových úprav, Košice 1986. — 4. KRAJČÍROVÁ, Z. PÁLESCH, J.: Faktor erózneho účinnosti prívalového dažďa na vybranom území Zsl. kraja. Zborník úloh a meliorácií v súčasnom poľnohospodárstve, Vysoké Tatry 1988. — 5. MALÍŠEK, A.: Odhad veľkosti pôdných strát v podmienkach SSR. Úroda 9/1987. — 6. PASÁK, V., JANĚČEK, M.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Met. zav. výsl. výsk. do praxe, 1983, č. 11. — 7. PETL, J.: Návrh nového způsobu prognózy velikosti půdního smyvu v podmínkách ČSR {kandidátska disertace}. Praha 1973, ČVUT. — 8. ŠABATA, M.: Postup při výpočtu míry ohrožení pozemků erozí za přívalových dešťů. Záv. správa, Praha, VUM 1978. — 9. TOMAN, F.: Sezonálna výskytu erózne nebezpečných dešťů. Meliorace, Sborník ÚVTIZ 1/88. — 10. ZACHAR, D.: Lesnícke meliorácie. SNTL 1983.

Алойз Малишек

## ОЦЕНКА ФАКТОРА ЭРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛИВНЯ

Для возникновения эрозионного процесса основное значение имеет э́щая энергия капель воды падающих на почву; она является причиной разрушения почвенных агрегатов, в результате чего высвобождаются почвенные частицы, перемещаемые вследствие разбрызгивания на расстояние даже 2,5 м, а также причиной увеличения турбулентности поверхностного стока. Ливни (ливневые осадки) состоят из капель величиной  $d$  (0,4 — 5,0 мм), которые достигают скорости даже  $9 \text{ м.с}^{-1}$  при падении на поверхность почвы. На  $1 \text{ м}^2$  в течение 1 секунды в среднем выпадает  $10^6 \times (0,9 - 4,14)$  капель, которые в течение 30 минут создают энергию даже 300 МДж.

Фактор эрозионного воздействия ливня  $R$  выразили В. Х. Вишмайер и Д. Д. Смес как произведение кинетической энергии ливня и его максимальной 30-минутной интенсивности:  $R = E \times I_{\text{max},30}$ , причем кинетическую энергию определили формулой  $E = 916 + 331 \log i$ , выраженную в американских тоннах (фут/акр) на высоту 1 дюйм ливня в часах. Путем трансформирования интенсивности ливня (дюйм/час) и энергии  $E$  из американских единиц (футов/тонн/акр/дюйм) до единиц СИ получены формулы 11 и 12 для общей энергии ливня  $E_c$  в  $\text{МДж.га}^{-1}.\text{см}$  и  $\text{Дж.м}^{-2}.\text{см}$ . Для оценивания ливневой кривой введены вспомогательные символы: распределение ливневой кривой в зависимости от изменения интенсивности на ливневые интервалы и общая энергия ливневого интервала  $E_c$  вычислялась по формуле 15:  $E_c = (2,06 + 0,873 \log i') \cdot \Delta h$ , причем  $i' = \Delta t \cdot \Delta h$  ливневых интервалов (изменение прироста высоты  $\Delta h$  за период времени  $\Delta t$ ). Величина  $R$ -фактора ливня вычислена по формуле 17 введением значения  $I_{\text{max},30}$  из формулы 2, или же из формулы 20:  $R = \sum_{j=1}^n (2,06 + 0,873 \log i') \cdot \Delta h_j \cdot I_{\text{max},30}$ , где  $\sum_{j=1}^n$  — сумма ливневых интервалов,  $j$  —  $j$ -тый отдел ливневого интервала и  $n$  — число ливневых интервалов изменения интенсивности  $i'$  ливневой кривой.

В результате комбинации физикальной величины дождя  $i'$ , просачивания осадков в почву и общей суммы осадков  $H_z$ , возникают разные величины  $R$ -фактора. Из анализа ливневой кривой следует, что интенсивность ливневого интервала  $i'$  и прирост его высоты  $\Delta h$  (таблица 1) наиболее влияют на значения  $R$ -фактора:

при  $i' = 3,12 \text{ см.ч}^{-1}$  и  $\Delta h = 0,52 \text{ см}$ ,  $E'c = 1,29$  и значение  $R = 3,28 \text{ МД.га}^{-1}.\text{см.ч}^{-1}$ . При интенсивности  $i' = 1,0 \text{ см.ч}^{-1}$  и  $\Delta h = 0,05$ ,  $E'c = 0,10$  и  $R = 0,25 \text{ МД.га}^{-1}.\text{см.ч}^{-1}$ .

В начале ливня часть осадков впитывается в почву и заполнит почвенные микро-впадины и остаток суммы осадков при определенной интенсивности ливневого интервала образует поверхностный сток. Эта часть ливня, которая участвует в образовании эрозионного процесса, называется активным ливнем. В результате комбинирования величины впитывания осадков в почву: 1,25 см и 1,0 см; или же без учета впитывания в почву и в результате изменения ливневого интервала интенсивности  $i' = \Delta t.\Delta h$  при условии  $i' \geq 2,4 \text{ см.ч}^{-1}$ , или же  $i' \geq 2,0 \text{ см.ч}^{-1}$ , когда образуется поверхностный сток, альтернативно определены величины  $R \in (12,7; 12,6; 5,0; 9,3; 0; 4,8) \text{ МД.га}^{-1}.\text{см.ч}^{-1}$ . Средняя величина  $\bar{R} = 7,4$ ; рассеяние  $N(x) = \pm 12,4$  и стандартное отклонение  $\sigma x = \pm 4,6$ .

Одним из решающих факторов для определения относительной величины  $R$ -фактора является количество осадков, которое впитывается в почву из их общей суммы  $Nz$  и определение интенсивности ливневого интервала  $i'$ , участвующего в протекании эрозионных процессов. Результаты доказывают, что не все ливневые интервалы  $\Delta h$ , или же не все осадки  $Nz$  участвуют в создании поверхностного стока и в эрозионных процессах. Рекомендуется сделать анализ части ливневого интервала для  $i' \geq 2,0 \text{ см.ч}^{-1}$  свыше 1,0 см ливневой кривой.

График 1. Ход ливня на омбрографической станции Швермово 03.08.1984 г.

Табл. 1. Вычисление фактора  $R$  эрозионного воздействия ливня.

Перевод: Л. П р а в д о в а

Alojz Malíšek

## EVALUATION OF THE EROSION EFFECTIVENESS FACTOR OF A DOWNPOUR

The basic importance for creating erosion process has a total energy of water drops falling on a soil. It is a reason for breaking soil aggregates. Consequently the soil particles are released and transferred by splashing out to the distance up to 2,5 m and turbulence of surface runoff is intensified. Downpours contain drops in size  $d$  (0,4 + 5,0 mm). They reach speed up to  $9 \text{ m.s}^{-1}$  with fall on soil surface. On the average there fall, on  $1 \text{ m}^2$  in 1 second 10% (0,9 + 4,14) drops, which create in 30 minutes energy up to 300 MJ.

Erosion effectiveness factor of a downpour  $R$  was defined by W. H. Wischmeier and D. D. Smith as a product of kinetic energy of downpour and its maximum 30 minutes intensity:  $R = E \times \text{Imax.30}$ . The kinetic energy was characterized with relation:  $E = 916 + 331 \text{ Log } i$  expressed in American tons (foot/acre) to high of 1 inch of precipitation in hours. By transforming precipitation intensity (inch/hour) and energy  $E$  from American units (foots/tons/acre/inch) to SI units there were derived equations 11 and 12 for a total energy of downpour  $Ec$  in  $\text{МД.га}^{-1}.\text{см}$  and  $\text{J.m}^{-2}.\text{см}$ . For evaluation of precipitation line there were used auxiliary symbols: break up of precipitation line according to intensity to precipitation divisions and a total energy of precipitation division  $Ec'$  reckoned from relation 15:  $Ec' = (2,06 + 0,873 \text{ Log } i') \cdot \Delta h$ ,  $i' = \Delta t.\Delta h$  of precipitation divisions (change of height increase  $\Delta h$  in time period  $\Delta t$ ). A value of

R-factor of a downpour reckoned from equation 17 by introducing a value  $I_{\max} 30$  from equation 2 or as the case may be from equation 20:  $R = \left[ \sum_{j=1}^n (2.06 + 0.873 \log i') \cdot \Delta h \right] \cdot I_{\max} 30$ , where  $\sum_{j=1}^n$  is a total of precipitation divisions,  $j = j$ -part of precipitation division and  $n =$  number of precipitation divisions of intensity change  $i'$  of a precipitation line.

Various values of R-factor result from combination of physical rain quantity  $i'$ , precipitation infiltration into soil and from a total precipitation  $H_z$ . The analysis of precipitation line results in the following. The precipitation division intensity  $i'$  and its increase of height  $\Delta h$  (Table 1) influence most the values of R-factor: with  $i' = 3.12 \text{ cm.h}^{-1}$  and  $\Delta h = 0.52 \text{ cm}$ ,  $Ec' = 1.19$  and value  $R = 3.28 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$ . With intensity  $i' = 1.0 \text{ cm.h}^{-1}$  and  $\Delta h = 0.05 \text{ cm}$ ,  $Ec' = 0.10$  and  $R = 0.25 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$ .

At the beginning of precipitation a part infiltrates into soil and fill in soil micro-depressions. The rest of a total precipitation, with a certain intensity of precipitation division, creates a surface runoff. We call this precipitation part, which participates in creating erosion process, an active precipitation. There were alternatively determined values  $R \in (12.7; 12.6; 5.0; 9.3; 0; 4.8) \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$  with combination of rate of precipitation infiltration into soil: 1.25 cm and 1.0 cm; or as the case may be without thinking an infiltration into soil and with a change of precipitation division of intensity  $i' = \Delta t \cdot \Delta h$  with condition  $i' \geq 2.4 \text{ cm.h}^{-1}$  or as the case may be with condition  $i' \geq 2.0 \text{ cm.h}^{-1}$  when a surface runoff creates. Average value  $\bar{R} = 7.4$ ; impartial dispersion  $N(x) = \pm 12.4$  and standard deviation  $\sigma x = \pm 4.6$ .

One of the decisive factors for determination a relative value of R-factor is a rate of precipitation which infiltrates into soil from a total precipitation  $H_z$  as well as setting out a precipitation division intensity  $i'$  which participates in creating erosion processes. The results proved that all precipitation divisions  $\Delta h$ , or as the case may be a whole precipitation  $H_z$ , doesn't participate in creating surface runoff and erosion processes. It is recommended to analyse a part of precipitation division for  $i' \geq 2.0 \text{ cm.h}^{-1}$  above 1.0 cm of precipitation line.

Graph 1. Precipitation curve on ombrographical station Švermovo of August 3rd, 1984.

Table 1. Reckoning the erosion effectiveness R factor of a downpour.

Translated by J. S ý k o r o v á