

Zvýšení hodnoty faktoru erozní účinnosti deště R ve vztahu k návrhu protierozních opatření

Kateřina Vašinová¹, Jan Váchal², Petra Pártlová³, Radka Váchalová³

¹Povodí Vltavy s. p.

²Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

³Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Abstrakt

Publikace se zabývá zhodnocením intenzity eroze použitím různých variant hodnot faktoru R. V rámci těchto prací byly provedeny hydrologické analýzy v povodí vodního toku Kamenice, byla navržena protierozní opatření ve třech variantách: pro hodnoty faktoru R 20 – 60. Ve studii navrhovaná doplňující protierozní opatření zabezpečují snížení ztráty půdy pod hodnoty limitní ztráty půdy. Počet navržených prvků PEO a jejich výměra v řešeném povodí Kamenice je vyšší o cca 30 %, ve srovnání s uplatňováním hodnoty dosavadního faktoru R 20.

Klíčová slova: povodí, povrchový odtok, eroze půdy, protierozní ochrana, povodeň

Úvod

V současné době dle platné metodiky (Janeček a kol. 2012) je doporučena průměrná hodnota faktoru erozní účinnosti deště (dále jen R faktor) $40 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ (dále jen R 40). Hodnota R faktoru $20 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ (dále jen R 20) doporučovaná v předchozích metodikách byla často předmětem srovnávání s R faktorem v okolních státech (např. SRN – Schwertmann), kde jeho průměrná hodnota dosahovala často až několikanásobku průměrného R faktoru pro území České republiky (Janeček a kol. 2006).

Příčina v minulosti doporučovaných „nízkých“ hodnot R faktoru mj. spočívá:

- ve zpracování výsledků ombrografických záznamů měření v jednotlivých stanicích za kratší časový úsek, kdy údaje R faktoru (Janeček a kol. 2007) zahrnují měření jen cca do roku 1983. Pokud však zahrneme údaje za dalších 25 let, projevují se zde změny dané jednak celkově vyšší intenzitou dešťů a také zvýšenou četností výskytu dešťů vysoké intenzity,

- v poněkud jiné metodologii stanovení R faktoru v minulosti (kdy zřejmě nebyla v plném rozsahu aplikována metodika stanovení R faktoru dle Wischmeiera a Smitha (1978; Janeček a kol. 2006).

Výše uváděné skutečnosti jsou v souladu s výstupy výzkumného úkolu NAZV (Janeček a kol. 2006–2011), který se mj. zabýval stanovením R faktoru ve vybraných meteorologických stanicích.

Vyhodnoceny byly ombrografické záznamy pořízené ve 31 stanicích za období let 1961–2000. Výsledkem výzkumu bylo stanovení průměrného R faktoru na základě analýzy dešťů splňujících daná kritéria (deště, které ve svém úhrnu překračovaly hodnotu $12,5 \text{ mm.h}^{-1}$, deště, jejichž 15minutová intenzita přesahovala 6 mm). Výsledky ukazují, že v případě dodržení prvního, nebo druhého kritéria se hodnota R faktoru pohybovala v rozpětí 42–106 s průměrnou hodnotou $R=66$. V případě, že byla dodržena obě kritéria, se hodnoty R faktoru pohybovaly v rozsahu 25–67 s průměrem $R=45$ (Janeček a kol. 2006).

Vnik erozního procesu

Erozní smyv je neustálený proces, protože intenzita erozní příčinné srážky, která je příčinou eroze půdy, se mění v průběhu přívalové srážky. Charakteristiky srážek se během vegetační doby mění podobně, jako se mění charakteristiky půdního a vegetačního pokryvu. Pokud jsou podmínky pro uvolnění půdních částic limitovány odolností půd a stabilitou půdních agregátů proti jejich destrukci vlivem kinetické energie dešťových kapek či vlivem tečného napětí povrchového odtoku, je množství splavenin určených k následnému transportu menší, než je transportní kapacita povrchového odtoku. Na druhou stranu transportní kapacita povrchového odtoku je rovněž limitována v případě, kdy množství splavenin je větší než jeho transportní kapacita. Jakmile transportní kapacita náhle poklesne, nebo když objem splavenin je větší než transportní kapacita povrchového odtoku, začíná depozice splavenin (Toy a kol. 2002). Depozice splavenin je závislá na transportní kapacitě odtoku, objemu transportovaných splavenin, rychlosti a výšce odtoku a rychlosti dekantace půdních částic. Depozice se objevuje nejčastěji v dolní třetině konkávních svahů, kdy v těchto morfologických polohách vlivem poklesu sklonu terénu, snížení rychlosti a tečného napětí povrchového odtoku množství splavenin převyšuje transportní kapacitu odtoku (Toy a kol. 2002). V této souvislosti je třeba zohlednit také skutečnost, kdy vedle kinetické energie dopadajících dešťových kapek je dalším velmi významným faktorem způsobujícím odnošy půdy také plošný povrchový odtok, zejména soustředěný povrchový odtok, kdy dochází k formování erozních rýh vlivem působení tangenciálního napětí povrchového odtoku kolem hranice vzniklé erozní rýhy. Jak uvádí Sobotková (2012), vznik a následná změna tvaru prohlubováním a rozšiřováním erozní rýhy jsou způsobeny mechanickým rozrušováním stran profilu erozní rýhy, kdy se zvětšuje jejich sklon, nastává kolaps jejich přirozené stability a zborcení stěn do prostoru erozní rýhy, odkud je tento materiál transportován dále soustředěným povrchovým odtokem o malé hloubce až k oblasti depozice.

Fyzikálně podložené modely využívají k popisu erozního procesu fyzikální zákonitosti a to především zákon zachování hmoty a zákon zachování hybnosti. Vyplyvá z nich rovnice kontinuity a rovnice pohybová.

Rovnice kontinuity má pak tvar:

$$\frac{\partial h}{\partial t}(x, t) + \frac{\partial \bar{u}h}{\partial x}(x, t) = r(t) - i(t) \quad (1)$$

- kde: h výška povrchového odtoku (m), která je funkcí polohy a času $h(x, t)$,
 $r(t)$ intenzita srážek vztažených k jednotkové ploše svahu (m.s^{-1}),
 $i(t)$ intenzita vsaku (m.s^{-1}),
 ∂ sklon svahu ($^\circ$),
 $\bar{u}$ průměrná rychlost povrchového odtoku ve směru osy x (m.s^{-1}).

Rovnice hybnosti má pak tvar:

$$h(x, t) * \frac{\partial \bar{u}}{\partial t}(x, t) + h(x, t) * \bar{u}(x, t) * \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}(x, t) = F_1 - F_2 - F_3 - F_4 - F_5 \quad (2)$$

- kde: $\bar{u}$ průměrná rychlost povrchového odtoku (m.s^{-1}),
 ∂ sklon svahu ($^\circ$),
 g tíhové zrychlení (m.s^{-2}),
 τ tangenciální napětí (N.m^{-1}),
 v rychlost dopadajících kapek deště (m.s^{-1}),
 F_1 tíha vody v elementárním úseku,
 F_2 tlaková síla působící na vodu v elementárním úseku ve vzdálenosti $x + dx$,
 F_3 tlaková síla působící na vodu v elementárním úseku ve vzdálenosti x ,
 F_4 třecí síla,
 F_5 síla vyvolaná dopadem dešťových kapek,

Materiál a metodika

Popis řešeného území

Modelování změn R faktoru v kontextu návrhu komplexní ochrany a organizace povodí bylo aplikováno na modelovém povodí Kamenice č. h. p. 1-06-01-138 o rozloze $16,4 \text{ km}^2$, v nadmořské výšce $637 - 870,3 \text{ m n. m.}$, v klimatické oblasti MT3 dle Quitta. Zájmové území bylo rozděleno na 17 dílčích povodí.

Použité metody

Analytická práce spočívala v podrobných GIS analýzách faktorů ovlivňujících erozní a odtokové poměry v řešeném povodí a v modelování míry erozního ohrožení v závislosti na variantních hodnotách R faktoru. Celý systém podkladů, výpočtů, výstupů a analýz erozních a odtokových poměrů byl zpracován na základě digitálního modelu terénu (dále DMT) v prostředí ArcGIS, kde byly využity hydrologické nástroje (Dumbrovský 2009).

Pro identifikaci plošně rozsáhlých území ohrožených ztrátami půdy vlivem vodní eroze je optimální stanovení ztráty půdy pomocí GIS analýz v prostředí ArcGIS. Faktory R, K, C, a P se pomocí vhodných nástrojů ArcGIS převedou na plošné rastrové vrstvy nebo konstanty. Základem výpočtu ztráty půdy v GIS softwarech je stanovení L a S faktorů. Obecně se topografické faktory počítají dohromady jako LS faktor. Pro plošně rozsáhlá území byl pro stanovení LS faktoru použit program USLE 2D (Govers and Van Oost 2000) vyžadující data ve formátu Idrisi, která jsou s využitím programu LS Converter převedena do prostředí ArcGIS. V programu USLE 2D je faktor LS počítán zvlášť pro každý rastrový element. Délka odtokové dráhy je nahrazena zdrojovou plochou (dílním povodím) rastrového elementu.

Pro stanovení LS faktoru byl v práci použit program USLE 2D a byl zvolen algoritmus podle McCool (1987 a 1989), který využívá metodu výpočtu LS faktoru uvedenou v RUSLE, jež je určena pro plošnou erozi se stejným poměrem rýhového i mezirýhového prostoru.

Podle Fostera a Wischmeiera (1974) se výpočet faktoru LS pro nepravidelné svahy provádí na základě vztahu:

$$LS = \sum_{j=1}^N \frac{S_j \lambda_j^{m+1} - S_j \lambda_{j-1}^{m+1}}{(\lambda_j - \lambda_{j-1})(22,13)^m}, \quad (3)$$

kde: S_j S faktor pro j -tý segment [$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$],
 λ_j vzdálenost ze spodní hranice j -tého segmentu k jeho horní hranici [m].

Výhodou této metody je plošné vyjádření LS faktoru na rozdíl od výše uváděných metod výpočtu na základě soustředěného odtoku nebo odtokových linií.

Návrh opatření ochrany a organizace povodí

Na erozně ohrožených pozemcích, tj. takových, kde vypočtený průměrný smyv půdy je vyšší než smyv přípustný, byla pro jednotlivé úrovně erozního smyvu v závislosti na variantních hodnotách R faktoru navržena opatření komplexní ochrany a organizace povodí s cílem ochránit zemědělskou půdu a také zastavěné území obce v povodí Kamenice před nepříznivými účinky povrchového odtoku. Aplikace jednotlivých opatření se pozitivně projevila v rámci změn hodnot L a C faktorů, také ve snížení hodnoty čísel odtokových křivek CN. Tyto změněné hodnoty L a C faktoru, jakož i CN byly použity do výpočtu erozního smyvu, resp. základních charakteristik přímého odtoku po návrhu opatření. Systém integrované ochrany povodí byl navržen v povodí Kamenice jako technologický proces integrující poměry využití území, GIS vrstvy, digitální model terénu a matematické modely výpočtu odtoku. Realizace navržených opatření se příznivě projeví snížením hodnot přímého odtoku, erozního smyvu a transportu splavenin prostřednictvím snížení hodnot CN.

K základním protierozním opatřením se řadí zásahy organizačního charakteru. V rámci řešení bylo navrženo na vybraných plochách vyloučení pěstování

erozně nebezpečných plodin a delimitace kultur formou ochranného zatravnění na orné půdě.

Biotechnická opatření se v povodí Kamenice navrhuji jako základní prvek komplexního systému protierozních opatření, který je nutno vhodně doplnit prvky organizačními a agrotechnickými. Mezi biotechnická liniová protierozní opatření, použitá při návrhu opatření v ploše povodí Kamenice, patří zejména protierozní záchytné průlehy s funkcí odváděcí, které mohou být také aplikovány formou protierozních mezí s navrženým záchytným průlehem.

Návrh komplexní ochrany a organizace povodí pro různé úrovně míry erozního ohrožení se projeví mj. změnou využití území spočívající ve změnách druhů pozemků a ve větší aplikaci půdoochranných technologií. Vyhodnocování těchto pozitivních změn je možno kvantifikovat vedle modelování erozního smyvu s využitím USLE (Universal Soil Loss Equation) také aplikací metody čísel odtokových křivek CN (Chow 1964; Janeček a kol. 2007) prostřednictvím modelů DesQ.

Výsledky a diskuse

Vyhodnocení erozních poměrů při variantních hodnotách R faktoru metodou USLE 2D

Mezi výpočty pro R 20 až R 60 je vidět podstatný nárůst erozního smyvu. Při R 20 na blocích orné půdy převažuje z 85 % první kategorie erozního smyvu (od 1 do 4 t.ha⁻¹.rok⁻¹). Při R 60 již dominuje kategorie druhá v pořadí (od 4 do 10 t.ha⁻¹.rok⁻¹). Při R 20 převažuje zastoupení první skupiny (neohrožené půdy), se zvyšujícím se R faktorem značně přibývá půd středně a výrazně ohrožených. Z hlediska plošného zastoupení (tabulka č. 1) je vidět nárůst ploch se smyvem nad 4 t.ha⁻¹.rok⁻¹. Při variantě R 40 je v řešeném povodí nárůst ploch o 1008,6 ha, což je dvojnásobek ve srovnání s variantou R 20. Nejmenší nárůst nastal při změně R 30 na R 40 (pouze o 151 ha). Naopak největší nárůst nastal při změně R 40 na R 50 (o 1009 ha). Při variantě R 60 je nárůst ploch o 2377,5 ha, což je více než trojnásobek ve srovnání s variantou R 20. Při variantě R 60 je nárůst ploch o 1368,9 ha, což je téměř jeden a půl násobek ve srovnání s variantou R 40.

Tabulka 1: Plošné zastoupení kategorií erozního smyvu v ha

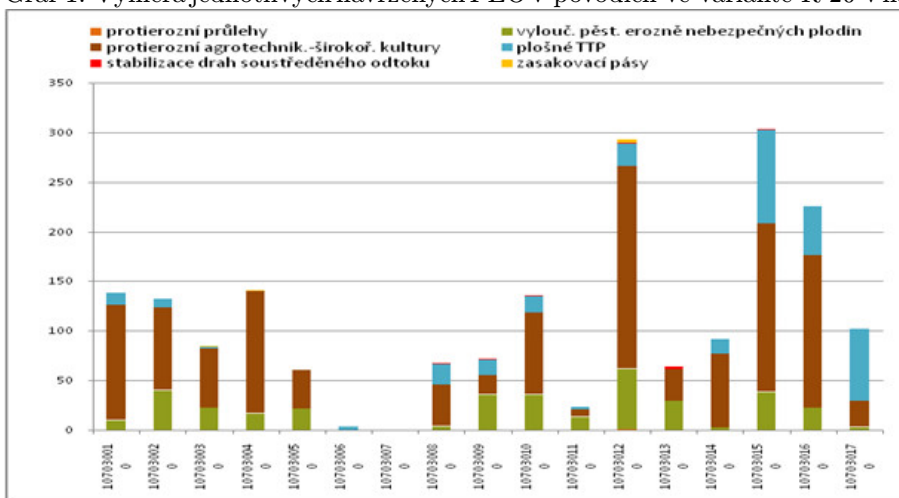
R	do 4,0 t	4,1 – 10,0 t	10,1 – 15,0 t	15,1 – 20,0 t	nad 20,0 t
20	6 340,50	934,5	86,3	25,3	18,5
30	5 480,20	1 545,50	245,2	71,2	60,3
40	5 328,40	1 366,00	428,7	145,2	133,3
50	4 316,40	2 017,40	578,6	248,2	238
60	3 955,90	2 018,50	715,2	327,1	381,3

Vyhodnocení návrhu opatření při variantních hodnotách R faktoru

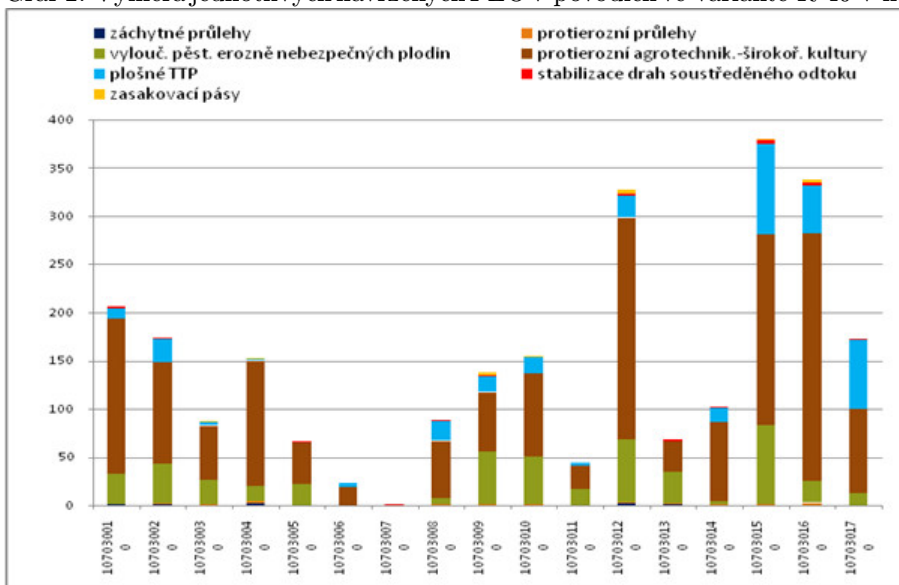
Systém navržených opatření pro R 20 zahrnuje protierozní průlehy v místech s nepřipustnou délkou svahu a tam, kde bylo nutno zajistit související ochranu

zastavěného území obce před nepříznivými účinky povrchového odtoku. Jako navazující opatření byla aplikována agrotechnická opatření a návrh pozemků s vyloučením pěstování širokořádkových plodin (VENP). Na pozemcích vysokých sklonů a na hydromorfních půdách bylo navrženo ochranné zatravnění. Na orné půdě v místě údolnic, u kterých sběrná plocha přesahovala 10 ha, byl proveden návrh stabilizace drah soustředěného odtoku.

Graf 1: Výměra jednotlivých navržených PEO v povodích ve variantě R 20 v ha



Graf 2: Výměra jednotlivých navržených PEO v povodích ve variantě R 40 v ha



Z hlediska velikosti pozemků se jejich průměrná velikost po návrhu protierozních opatření (PEO) snižuje a počet pozemků se tím naopak zvyšuje. Výměra navržených protierozních opatření se ve variantě R 40 zvýší o 30 % oproti variantě R 20. Grafy č. 1 a 2 udávají přehled o plošném zastoupení jednotlivých PEO při variantních hodnotách R faktoru.

Návrhy opatření k eliminaci erozního smyvu v povodí Kamenice pozitivně ovlivňují celý komplex charakteristik povodí, jako jeho organizaci, využití aj., a tím zásadním způsobem ovlivňují základní charakteristiky přímého odtoku a erozní procesy, což je ve shodě s pracemi, které uvádějí Dostál a kol. (1997) nebo Kulhavý a Kovář (2000). Tito autoři ve své práci uvádějí, že změny organizace půdního fondu a využívání krajiny ovlivňují hydrologické a vodohospodářské poměry v rámci dílčích povodí. Hydrologické analýzy v povodí Kamenice potvrdily, že tyto návrhy PEO mají významný vliv na srážko-odtokový proces, přičemž zřetelný projev lze sledovat v relativně krátkém časovém měřítku tak, jak jsou různé zásahy v povodí realizovány. Pozitivní změny v ochraně a organizaci povodí Kamenice v závislosti na variantní úrovni ochranných opatření spočívaly zejména ve snížení procenta zornění v jednotlivých dílčích povodích, ve zmenšení velikosti půdních bloků liniovými prvky protierozní ochrany a ve zvýšení pestrosti druhů pozemků. Uvedené výsledky korespondují s výsledky autorů (např. Kvítek a kol. 1997), kteří určili jako nejdůležitější faktory ovlivňující množství odtékající vody z povodí:

- procento zornění zemědělského půdního fondu v povodí,
- velikost bloků orné půdy a jejich umístění v terénu,
- rozmístění, velikost a diverzitu trvalých kultur (louka, les) v krajině,
- hloubku půdního profilu a jeho zrnitostní složení.

Uvedení autoři výčet faktorů ovlivňujících množství odtékající vody rozšiřují o další skutečnosti, které dále zvyšují povrchový odtok:

- neznalost a nerespektování základních přístupů ve vztahu k retenci vody (zornění půdy ve svahu, na mělkém půdním profilu, nezatravnění drah soustředěného odtoku vody, špatný návrh zatravněvacích opatření),
- hrubé chyby při práci s půdou (vytvoření drah soustředěného odtoku vody kolejemi traktorů na svazích na lesních, lučních a na polních pozemcích),
- podcenění drobné nikdy nekončící práce s vodou na polích, loukách a v lesích, na lesních a polních cestách, absence pravidelné údržby již existujících technických a biologických opatření, končící retencí vody v bezprostřední blízkosti jejího možného soustředěného odtoku.

Tyto jejich závěry jsou ve shodě se závěry analýz příčin zhoršených erozních a odtokových poměrů v modelovém povodí Kamenice.

V rámci komplexní ochrany povodí v závislosti na variantních hodnotách erozního smyvu byl také navrhován celý systém agrotechnických opatření, jehož pozitivní výsledky projevující se snížením erozního smyvu a také snížením

kulminačního průtoku a objemu přímého odtoku je v souladu s prací Soukupa a Hrádka (1999), kteří uvádějí souvislosti mezi pěstovanými plodinami a retenční schopností povodí i způsobem agrotechnického obdělávání půdy. Všechny těmito prostředky lze zlepšovat retenci vody a ovlivňovat tak transformaci povodňové vlny, i když mají každý jinou účinnost i ekonomickou náročnost. Přesto jsou všechny nezastupitelné a je třeba využít všech, a to v zákonitém pořadí – nejdříve biotechnické úpravy a zbytek povodňové ochrany řešit technickými opatřeními. Biotechnická opatření se sice nepodílejí tak významnou měrou na retenci extrémních povodní (zahraniční, ale i naše výzkumy potvrzují max. podíl do 10 %), nicméně i tento malý podíl má své ekonomické a především ekologické a krajinné opodstatnění. Z hlediska retence vody v krajině je jejich význam větší při zadržování veškerých (mimo lokálně extrémních) srážek pro zlepšení jejich podpovrchového a podzemního odtoku.

Výsledky jsou také v souladu s prací Podhrázské (2001), kde autorka zmiňuje, že retenci povodí lze ovlivňovat především v závislosti na intenzitě a způsobech působení na svrchní vrstvy půdy, tzn. na intenzitě a způsobech agrotechnického zpracování. Dále dodává, že vlastnosti půdního prostředí jsou ovlivňovány i typem pěstovaných plodin.

Švihla (1997) píše a uvádí na příkladě, že výsledkem dobře provedených úprav zvyšujících retenci vody v povodí je především zvýšení vyrovnanosti M-denních vod v závěrečném profilu povodí, které se projeví snížením jejich maxima a zvýšením jejich minima. Dalším projevem těchto úprav je snížení kulminace velkých vod z krátkodobých přívalových srážek velké intenzity a krátké doby trvání, což je samozřejmě závislé na plošném rozsahu provedených úprav v povodí.

Podrobně se otázkou opatření zvyšujících zadržení vody v území, včetně jejich doprovodných kladných a záporných účinků, zabývá Marhoun (1997). Ten zdůrazňuje, že problematika zadržování vody v krajině může mít i charakter „ekologizace“, tj. preventivního opatření a nikoliv jen opatření revitalizačního, tj. opravného (dodatečného) antropogenního zásahu.

Závěr

Ve studii navrhovaná doplňující protierozní opatření zabezpečují snížení ztráty půdy pod hodnoty limitní ztráty půdy. Počet navržených prvků PEO a jejich výměra v řešeném povodí Kamenice je vyšší o cca 30 % ve srovnání s uplatňováním hodnoty dosavadního faktoru R 20. Návrh pro PEO R 20 byl doplněn zasakovacími pásy, zvýšil se plošný rozsah ploch s návrhem VENP a nastala nutnost celkového zatravnění některých pozemků v místech, kde docházelo k nadlimitnímu smyvu a jiná opatření zde již nebyla schopna zabránit odnosu půdy. Zvýšení hodnot faktoru R 40 má však na potřebu protierozních opatření ve srovnání s R 40 pouze dílčí vliv.

Pro R 40 již nebyly přidávány záchytné průlehy, neboť jejich návrh pokrýval potřeby ochrany zastavěného území již ve variantě PEO R 20. Také stabilizace drah soustředěného odtoku se navrhuje na základě hodnot přímého odtoku a není ovlivňována hodnotami R faktoru. Počet stabilizovaných drah

soustředěného odtoku se už tedy nezvyšoval, neboť byly identifikovány a stabilizovány ve variantě PEO R 20. Aby se mohla účinnost navržených opatření prakticky projevit v ploše povodí, je však nutno začít s jejich realizací. Agrotechnická a organizační opatření je možno začít realizovat po dohodě s uživateli pozemků v návaznosti na jejich konkrétní osevní rotace. Po dohodě s uživateli pozemků je možno začít realizovat agrotechnická a organizační opatření a také vybrané liniové prvky ochranných opatření, jako jsou v první řadě stabilizace drah soustředěného povrchového odtoku zatravněním (po jarním tání sněhu, či po přivalové srážce je možná jejich identifikace v terénu) a dále zasakovací pásy, které je možno začít realizovat i v místech návrhu budoucích průlehů a protierozních mezí. Následně potom v rámci procesu KPÚ budou tyto liniové prvky zahrnuty do plánu společných zařízení. Realizace technických ochranných opatření lze nejlépe řešit provedením KPÚ v dotčených katastrálních územích, což umožní do prostoru budoucích ochranných prvků vymezit pozemky, které se stanou součástí plánu společných zařízení.

Poděkování

Prezentovaný příspěvek vznikl za podpory grantového projektu NAZV Mze ČR č. QJ1230066.

Reference

- DOSTÁL, T., V. KURÁŽ, J. VÁŠKA a K. VRÁNA, 1997. Využití povodí a jeho vliv na režim povrchového odtoku. In: *Povodně a krajina '97: Sborník posterů*. Brno: ICID–CIID.
- DUMBROVSKÝ, M., 2009. *Geografické informační systémy: studijní opory*. Brno: VÚT.
- FOSTER, G. R. a W. H. WISCHMEIER, 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. *Transactions of ASAE*. **17**(1), 305–309.
- GOVERS, G. a K. VAN OOST, 2000. USLE2D Homepage: Division of Geography of K.U.Leuven. *Geography of K.U. Leuven* [online]. [cit. 2010-09-03]. Dostupné z: <http://geo.kuleuven.be/geography/modelling/erosion/usle2d/index.htm>
- CHOW, V. T., 1964. *Handbook of Applied Hydrology*. New York: Mc Graw – Hill Book Company.
- JANEČEK, M., E. KUBÁTOVÁ a M. TIPPL, 2006. Revised determination of the rainfall-runoff erosivity factor R for application of USLE in the Czech Republic. *Soil & Water Res.* **1**, 65–71.
- JANEČEK, M. a kol., 2007. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. 1. vyd. Praha: VÚMOP. ISBN 978-80-254-0973-2.

- JANEČEK, M. a kol., 2012. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: ČZU.
- KULHAVÝ, Z. a P. KOVÁŘ, 2000. Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Praha: VÚMOP. ISBN 80-239-0154-0.
- KVÍTEK, T., V. MAZÍN a E. FIŠEROVÁ, 1997. Využití půdního fondu ČR ve vztahu k retenci vody v krajině. In: *Povodně a krajina '97: Sborník přednášek*. Brno: ICID-CIID, 3/12–3/16.
- MARHOUN, K., 1997. Úpravy toků a inundačních území a jejich vliv na průběh povodní. In: *Povodně a krajina '97: Sborník přednášek*. Brno: ICID-CIID, 5/46–5/52.
- McCOOL, D. K., G. R. FOSTER, C. K. MUTCHLER a L. D. MEYER, 1989. Revised slope length factor the Universal Soil Loss Equation. *Transaction of the ASAE*. **32**(5), 1571–1576.
- PODHRÁZSKÁ, J., 2001. *Ochrana a organizace povodí vodárenské nádrže Nová Říše*. [Disertační práce] (in MS, dep. knihovna MENDELU v Brně). Brno: MZLU.
- QUITT, E., 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Brno: ČSAV – GEU, Studia geographica. 5 obr., 1. mapa.
- SOBOTKOVÁ, V., 2012. *Volumetrická kvantifikace projevů vodní eroze a jejich vliv na komplex půdních vlastností*. Brno. Disertační práce. VUT FAST.
- SOUKUP, M. a F. HRÁDEK, 1999. *Instrukce pro optimální regulaci povrchového odtoku z povodí*. Praha: VÚMOP.
- SCHWERTMANN, V., W. VOGEL a M. KAINZ, 1987. *Bodenerosion durch Wasser*. Stuttgart: E. Ulmer GmbH Co.
- ŠVIHLA, V., 1997. Možnosti zvýšení retenční schopnosti povodí v rámci řešení komplexních pozemkových úprav. In: *Povodně a krajina '97: Sborník přednášek*. Brno: ICID-CIID, 8/15–8/18.
- TOY, T. J., G. R. FOSTER a K. G. RENARD, 2002. *Soil erosion: processes, prediction, measurement and control*. New York: Wiley. ISBN 0-471-38369-4.
- WISCHMEIER, W. C. a D. D. SMITH, 1978. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning: Agricultural Handbook*. Washington DC: US Department of Agriculture. No. 537.

Increasing Values of the Rainfall Factor R in Relation to the Design of Erosion Control Measures

The object of this paper deals with estimation of erosion rates by variants of R factor values. In the framework this work the hydrological analyses were done in watershed of Kamenice stream, it has been planned to measure soil erosion in three variants for values of R factor equal from 20 to 60. In the proposed study provided additional erosion control measures reduce the loss of soil below the limit values of soil loss. The number of proposed elements of erosion control measures and its area of erosion control measures in watershed Kamenice is higher by about 30%, compared with the current value of the application factor R 20.

Keywords: watershed, runoff, soil erosion, soil erosion control, flood

Kontaktní adresa:

Ing. Kateřina Vašinová, Povodí Vltavy s. p., Holečkova 8, 150 24 Praha 5,
e-mail: kvasinova@seznam.cz

VAŠINOVÁ, K., J. VÁCHAL, P. PÁRTLOVÁ a R. VÁCHALOVÁ. Zvýšení hodnoty faktoru erozní účinnosti deště R ve vztahu k návrhu protierozních opatření. *Littera Scripta*. 2012, 5(2), 305–315. ISSN 1802-503X.
