

Vliv změny faktoru erozní účinnosti deště na ekonomické hodnocení ochranných opatření v povodí

Kateřina Vašinová¹, Miroslav Dumbrovský¹, Jana Podhrázká²,
Jana Uhrová¹, František Pavlík¹

¹Vysoké učení technické v Brně

²Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy v Brně

Abstrakt

Práce se zabývá zhodnocením intenzity eroze použitím různých variant hodnot faktoru R. V rámci těchto prací byly provedeny hydrologické analýzy v povodí říčky Kamenice, po výběru jednoho subpovodí byla navržena protierozní opatření ve dvou variantách: pro hodnoty faktoru R 20–40. Pro všechny varianty byla provedena ekonomická analýza nákladů na ochranná protierozní opatření a jejich porovnání s náklady na eliminaci následků nepříznivých účinků povrchového odtoku při stávajícím stavu bez provedených opatření v povodí Kamenice.

Klíčová slova: R faktor, povrchový odtok, eroze půdy, povodí, využití území, protierozní opatření

Úvod

Příspěvek se zabývá vyhodnocením vlivu změny hodnoty R faktoru jak z hlediska kvantifikace erozního smyvu, tak ve vztahu k potřebě návrhu ochranných opatření v povodí. K analýzám byla použita univerzální rovnice USLE v modifikaci programu USLE 2D v prostředí ArcGIS. V modelovém povodí Kamenice byl pro jednotlivé varianty hodnot R faktoru navržen systém ochranných opatření. Při návrhu těchto opatření bylo využito digitálního modelu terénu (DMT), jak pro trasování liniových prvků, tak i pro umístění prvků v ploše povodí. Byla navržena opatření organizační, (zejména ochranné zatravnění a vyloučení pěstování erozně nebezpečných plodin (VENP), a technická (průlehy, zasakovací pásy, stabilizace drah soustředěného odtoku). V souvislosti se změnou využití krajiny po návrhu jednotlivých variant ochranných opatření v povodí byl následně porovnáván objem erozního smyvu před a po navržených opatřeních a byly také modelovány základní charakteristiky přímého odtoku. Součástí práce byla i ekonomická analýza nákladů na ochranná protierozní

opatření a jejich porovnání s náklady na eliminaci následků nepříznivých účinků povrchového odtoku při stávajícím stavu bez provedených opatření v povodí Kamenice.

Stanovení faktoru erozní účinnosti deště (R)

Dle základních metodik (Wischmeier, Smith 1978; Janeček et al. 2007) se R faktor stanovuje na základě následujících vztahů:

$$R = \frac{E \cdot i_{30}}{100} \quad (1)$$

kde R faktor erozní účinnosti deště [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$],
 E celková kinetická energie deště [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$],
 i_{30} max. 30minutová intenzita deště [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$].

Celková kinetická energie deště E je:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \quad (2)$$

kde E_i kinetická energie i -tého úseku deště [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$],
 N počet úseků deště.

$$E_i = (206 + 87 \log i_{si}) \cdot H si, \quad (3)$$

kde i_{si} intenzita deště i -tého úseku [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$],
 $H si$ úhrn deště v i -tém úseku [cm].

Deště o vydatnosti do 12,5 mm, oddělené od předchozích a následných dešťů šestihodinovou či delší přestávkou, a deště, pokud jejich maximální intenzita nepřekročí 6 mm za 15 minut, se nepočítají (Wischmeier, Smith 1978; Janeček et al. 2007) a předpokládá se, že při nich nedochází k odtoku vody po povrchu pozemku.

Hodnoty faktoru R jednotlivých dešťů lze buď třídít podle četnosti jejich výskytu, nebo sčítat a průměrovat pro stanovení průměrné roční (měsíční) hodnoty faktoru R . V současné době dle platné metodiky (Janeček et al. 2007) je doporučena průměrná hodnota R faktoru = 20. Tato hodnota byla často předmětem srovnávání s R faktorem v okolních státech (např. SRN – Schwertmann, Vogel, Kainz 1987), kde jeho průměrná hodnota dosahovala často až několika-násobku průměrného R faktoru pro území České republiky (Janeček, Kubátová, Tipl 2006). Také prováděná měření erozního smyvu na modelových lokalitách s přesně kvantifikovanými jednotlivými faktory dlouhodobě vykazovala hodnoty vysoce (často řádově) převyšující výsledky získané výpočtem s využitím univerzální rovnice (při dosažení stávajících hodnot R faktoru), jakož i jiných modelů (RUSLE, WEPP, SMODERP, SWAT, aj.). Tyto skutečnosti nutí odbornou veřejnost k zamyšlení, zda stávající hodnoty R faktoru jsou z hlediska výpočtu korektní.

Je možno konstatovat, že příčina „nízkých“ hodnot R faktoru mj. spočívá:

- ve zpracování výsledků ombrografických záznamů měření v jednotlivých stanicích za kratší časový úsek, kdy údaje R faktoru zahrnují měření jen cca do roku 1990. Pokud však zahrneme údaje za další následující řadu 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 (Wischmeier, Smith 1978; Janeček, Kubátová, Tipl 2006).

Výše uváděné skutečnosti jsou v souladu s výstupy výzkumného úkolu NAZV (Janeček, Kubátová, Tipl 2006), který se mj. zabýval stanovením R faktoru ve vybraných meteorologických stanicích. Vyhodnoceny byly ombrografické záznamy pořízené v těchto 13 stanicích za období let 1961–2000. Byly hodnoceny deště, které ve svém úhrnu překračovaly hodnotu $12,5 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (první kritérium), jakož i deště, jejichž 15minutová intenzita přesahovala 6 mm (druhé kritérium). Výsledkem výzkumu bylo stanovení průměrného R faktoru na základě analýzy dešťů splňujících jen první kritérium a také byla stanovena průměrná hodnota R faktoru u dešťů, které splňovaly obě kritéria. Hodnocena a stanovována byla také maxima R faktoru v jednotlivých hodnocených letech. Výsledky ukazují, že v případě dodržení prvního nebo druhého kritéria se hodnota R faktoru pohybovala v rozpětí od 42 do 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, Kubátová, Tipl 2006).

Materiál a metody

Modelování změn R faktoru v kontextu návrhu komplexní ochrany a organizace povodí je aplikováno na modelovém povodí vodního toku Kamenice, jehož základní charakteristiky jsou zde popsány.

Klimatické podmínky

Řešené území leží v nadmořské výšce 637–870,3 m n. m., v klimatické oblasti MT3 dle Quitta (1971). Klima mírně teplého okrsku MT3 je charakterizováno krátkým létem (20–30 letních dnů), mírným až mírně chladným (průměrná červencová teplota 16–17 °C), suchým až mírně suchým (úhrn srážek ve vegetačním období 350–450 mm). Mírné jaro i podzim (duben i říjen 6 až 7°C). Zima je normálně dlouhá (40–50 ledových dnů, 130–160 mrazových dnů), mírná až mírně chladná (leden -3 až -4 °C), suchá až mírně suchá (suma srážek mimo vegetační období 250 až 300 mm). Sněhová pokrývka trvá normálně až krátce (60–100 dní).

Hydrologické poměry

Povodí vodního toku Kamenice patří do povodí horní Vltavy, je také dílčím povodím Nežárky. Převážná část vodního toku je neupravená, vede zatravněnou nivou se stromovou a keřovou zelení. Tato niva se většinou nesklízí, vzhledem k vysoké hladině podzemní vody. Travní porost tvoří většinou mokřadní byliny a dřeviny. Základní hydrologické rozdělení řešeného povodí s jeho levostrannými a pravostrannými přítoky je specifikováno v tab. č. 1.

Tabulka 1: Dílčí povodí Kamenice

| Číslo hyd. pořadí | Název |
|-------------------|---|
| 107030010 | Kamenice po soutok s Drahoňovským potokem |
| 107030100 | Včelnička od soutoku s Bohdalínským potokem po soutok s Kamenicí |
| 107030150 | Kamenice od soutoku s Bohdalínským potokem po soutok s Rosičkou |
| 107030160 | Rosička |
| 107030060 | Včelnička po soutok s Huťským potokem |
| 197030140 | Krupčinský potok |
| 107030170 | Kamenice od soutoku s Rosičkou po soutok s Nežárkou |
| 107030080 | Včelnička od soutoku s Huťským potokem po soutok s Bohdalínským potokem |
| 107030070 | Huťský potok |
| 107030050 | Kamenice od soutoku s Prachovským potokem po soutok s Včelíčkou |
| 107030110 | Vodenský potok |
| 107030130 | Kamenice od soutoku Vodenského potoka po soutok s Krupčinským potokem |
| 107030040 | Drachovský potok |
| 107030020 | Drahoňoský potok |
| 107030030 | Kamenice od soutoku s Drahoňovským pot. po soutok s Prachovským potokem |
| 107030090 | Bohdalínský potok |
| 107030120 | Lhotský potok |

Zdroj: *Hydrologické poměry ČSSR (Zitek 1967)*

Geomorfologické a geologické poměry

Zájmové území náleží podle geomorfologického členění do provincie Česká Vysočina, subprovincie Šumavská soustava, oblasti Šumavská hornatina, celku Šumavské podhůří, podcelku Českokrumlovská vrchovina, okrsku Rožmberská vrchovina. Nejvyšším vrcholem povodí je Žibřidovský vrch 870,3 m n. m. v nejsevernější části povodí.

Skalní podklad tvoří zhruba v hranicích Šumavského podhůří odděleného zlomovým pásmem od Kaplické brázdy biotiticko – muskovitické svorové ruly a svory moldanubika s vložkami kvarcitů a kvarcitických rul. Podklad zbylé části území je tvořen převážně vyvělinami moldanubického plutonu, především biotitickým granodioritem a křemenným dioritem. K nejrozšířenějším typům migmatitu náleží porfyrický granodiorit weinsberského typu a dále biotitický a křemenný diorit (zčásti porfyrický) freistadtského typu. Čtvrtohorní pokryv tvoří v bezprostředním okolí vodních toků delubiofluviální, převážně písčito-hlinité až hlinitopísčité sedimenty, v jejich širším okolí pak nacházíme deluviální a soliflukční sedimenty (Svoboda a kol. 1964).

Pedologické poměry

Pedologické poměry byly identifikovány s využitím BPEJ dle hlavní půdní jednotky (HPJ).

V řešeném povodí se nacházejí následující HPJ:

- HPJ 34** – kambizemě dystrické z lehčích magmatických a metamorfovaných hornin
- HPJ 36** – kryptopodzoly modální a podzoly modální z lehčích různých hornin
- HPJ 37** – rankery modální a kambické až kambizemě rankerové z bazálních a mělkých hlavních souvrství různých hornin poskytujících lehké zvětralinu
- HPJ 40** – kambizemě, rendziny, pararendziny a rankery, z různých substrátů – lehčích a středně těžkých v silně svažitých územích
- HPJ 50** – kambizemě oglejené až pseudogleje modální z magmatických a metamorfovaných hornin, v různém stupni skeletovitě
- HPJ 67** – gleje modální z různých substrátů, v rovinných podmínkách
- HPJ 68** – gleje modální včetně zrašelinělých až gleje histické úzkých depresí a svahů
- HPJ 71** – gleje fluvické s fluvizeměmi glejovými z nivních sedimentů v přiterasových částech úzkých niv
- HPJ 72** – gleje fluvické včetně zrašelinělých a gleje fluvické centrálních částí niv
- HPJ 73** – katény kambizemí oglejených, pseudoglejů až glejů
- HPJ 75** – katény dolních částí svahů

Použité metody

Rozbor erozních poměrů v povodí Kamenice

Ztráta půdy na konkrétním pozemku se při použití USLE (Universal Soil Loss Equation) odvozuje ze ztráty půdy na tzv. jednotkovém pozemku, jehož parametry byly přesně definovány a odvozeny z rozměrů standardních elementárních výzkumných odtokových ploch: délka pozemku 22,13 m, sklon 4°, povrch pozemku udržován mechanickou kultivací ve směru sklonu svahu jako úhor po dobu minimálně dvou let. Pro jednotkový pozemek jsou faktory L, S, C, a P rovny 1,0.

Erozní smyv v řešeném území jako základní podklad pro návrh opatření byl stanoven na základě DMT metodou USLE 2D s využitím LS algoritmu dle Mc Coola Manual Usle 2D (Govers, Van Oost 2000). Výstupy jsou zobrazeny v části popisující dosažené výsledky a v přílohách.

Vstupní data

Pro výpočet erozní ohroženosti měla velikost buňky USLE 2D hodnotu 5*5 m.

Data pro metodu USLE 2D:

- Rastrová data (grid)
 - DMT (digitální model terénu).
- Vektorová data
 - hranice povodí (vektor – polygon),
 - bloky LPIS (vektor – polygon),
 - vodní toky, nádrže, rybníky (vektor – polygon),
 - lesy (vektor – polygon),
 - zastavěné území (vektor – polygon),
 - silnice, železnice (vektor – polygon).

Erozní smyv v povodí v jednotlivých hodnocených obdobích, jakož i pro jednotlivé scénáře využití povodí po návrhu ochranných opatření byl stanoven na základě DMT s využitím GIS a programu USLE 2D s využitím LS algoritmu dle Mc Coola (1989).

Program USLE 2D pro výpočet LS-faktoru vyžaduje jako vstupní data DMT (digitální model terénu) a tzv. „grid parcel“. Grid parcel převodem z uvedených dat rozčleňuje území na dílčí plochy vkládáním bariér – hranic mezi dílčími plochami, které působí jako překážky pro plošný povrchový odtok a dochází zde k přerušení odtoku. Tím se snižuje délka odtokové dráhy a faktor L délky svahu. V programu USLE 2D je faktor LS počítán zvlášť pro každý rastrový element. Délka odtokové dráhy je nahrazena zdrojovou plochou rastrového elementu (Uhrová et al. 2009).

Z metod výpočtu byl použit „Routing Algorithm: flux decomposition“ (umožňuje větvení odtokové dráhy) a „LS Algorithm: Mc Cool“ (standardní metoda výpočtu LS-faktoru v RUSLE).

Výsledky

V povodí Kamenice byla na erozně ohrožených pozemcích navržena protierozní opatření. Tyto návrhy byly provedeny na základě výpočtů erozního ohrožení při dvou variantních hodnotách R faktoru (20 a 40).

Cílem variantně navržených opatření komplexní ochrany a organizace povodí bylo ochránit zemědělskou půdu a také zastavěné území obce před nepříznivými účinky povrchového odtoku. Působení opatření spočívá ve snížení objemu povrchového odtoku, kulminačního průtoku. Jedná se o následující složky hydrologické bilance:

- zvýšení infiltrace,
- převod povrchového odtoku na podzemní,
- zvýšení možnosti povrchové akumulace.

Při návrhu plošných organizačních opatření (VENP – vyloučení pěstování erozně nebezpečných plodin) dojde k příznivému ovlivnění hodnot C faktoru a dále místnímu snížení čísla odtokových křivek CN, což vede ke snížení objemu povrchového odtoku a omezení erozního smyvu. VENP je nejjednodušším opatřením, a přesto při jeho použití dojde k posílení důležitosti role vegetačního pokryvu. Ten působí proti erozi několika směry:

- chrání půdu před přímým dopadem kapek,
- podporuje vsak dešťové vody do půdy,
- svými kořeny zvyšuje soudržnost půdy, která se tak stává odolnější vůči účinkům stékající vody.

Při řešení protierozní ochrany v povodí nejsou samostatně použita organizační opatření schopna ve většině případů podstatně omezit povrchový odtok a zajistit tak protipovodňovou ochranu zastavěného území povodí Kamenice. Proto bylo v rámci návrhu nezbytné rozdělit svažitě, plošně rozsáhlé pozemky s neúměrnou délkou svahu protierozními opatřeními. Tím bylo dosaženo snížení hodnot faktorů L. Mezi takovými liniová protierozní opatření, použitá při návrhu v povodí Kamenice, patří protierozní záchytné průlehy, které byly v několika případech doplněny o výše ležící travnatý zasakovací pás. V nejvíce erozně ohrožených místech bylo navrženo plošné zatravnění. Dále byla navržena stabilizace drah soustředěného odtoku, a to na zemědělské půdě v bodech údolnice se sběrnou plochou rovnou nebo větší než 10 ha.

Následující tabulky ukazují výměru navržených opatření a dále jejich vliv na úbytek eroze v povodí. V přílohách jsou uvedeny výsledky výpočtů kulmináčnických průtoků provedených před a po opatřeních při všech zadaných variantách R faktoru.

Po navržení protierozních opatření v povodí Kamenice bylo provedeno porovnání finančních prostředků vynaložených na tato opatření s náklady na odstranění škod a snížení produkce z orné půdy v případě bez navržených opatření. Tyto analýzy byly opět provedeny ve dvou variantách R faktoru.

Tabulka 2: Sumarizace protierozních opatření v povodí Kamenice při $R = 20$

| Opatření | Plocha [ha] | Délka [m] | Náklady provozní | | | |
|----------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------|---------|
| | | | Jednotkové | Celkové | Každoroční | |
| 141 | ZPRU | 5,7 | 2850 | 800 Kč/m/50 let | 2 280 000 | 45 600 |
| 171 | TTP | 336,9 | | 10000 Kč/ha/10 let | 3 369 000 | 336 900 |
| 172 | SDSO | 5,4 | | 10000 Kč/ha/10 let | 54 000 | 5 400 |
| 173 | ZPAS | 4,0 | | 10000 Kč/ha/10 let | 40 000 | 4 000 |
| 161 | VENP | 358,0 | | 1500 Kč/ha | 537 000 | 268 500 |

Σ **6 280 000** **660 400**

Zdroj: vlastní

Tabulka 3: Sumarizace protierozních opatření v povodí Kamenice při $R = 40$

| Opatření | Plocha [ha] | Délka [m] | Náklady provozní | | | |
|----------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------|---------|
| | | | Jednotkové | Celkové | Každoroční | |
| 141 | ZPRU | 10,6 | 5300 | 800 Kč/m/50 let | 4 240 000 | 84 800 |
| 171 | TTP | 354,3 | | 10000 Kč/ha/10 let | 3 543 000 | 354 300 |
| 172 | SDSO | 20,8 | | 10000 Kč/ha/10 let | 208 000 | 20 800 |
| 173 | ZPAS | 12,8 | | 10000 Kč/ha/10 let | 128 000 | 12 800 |
| 161 | VENP | 477,5 | | 1500 Kč/ha | 716 250 | 358 125 |

Σ **8 835 250** **830 825**

Zdroj: vlastní

Vysvětlivky zkratk: ZPRU – záchytné průlehy, TTP – travní porosty, SDSO – stabilizace drah soustředěného povrchového odtoku, ZPAS – zasakovací pás, VENP – vyloučení erozně nebezpečných plodin

Náklady na odnos půdy

Následující tabulky ukazují objemy odnosu půdy v jednotlivých subpovodích Kamenice ve stavech před i po provedených opatřeních a pro různé R faktory.

Tabulka 4: Objem splavenin (sedimentu) před opatřeními pro variantu $R = 20$

| c | CN [-] | Σ eroze [t/rok] | Objem eroze [m ³ /rok] | Objem odnosu [m ³ /rok] | Náklady [Kč/rok] | Plocha ha | Plocha km ² |
|----|-----------|---------------------------|---|--|---------------------|--------------|---------------------------|
| 1 | 76,4 | 1 183 | 739,375 | 177,45 | 70980 | 1277 | 12,77 |
| 2 | 70,9 | 939 | 586,875 | 140,85 | 56340 | 1276 | 12,76 |
| 3 | 71,0 | 451 | 281,875 | 67,65 | 27060 | 707 | 7,07 |
| 4 | 72,8 | 760 | 475 | 128,25 | 51300 | 625 | 6,25 |
| 5 | 75,4 | 383 | 239,375 | 64,63125 | 25852,5 | 282 | 2,82 |
| 6 | 66,5 | 94 | 58,75 | 15,8625 | 6345 | 670 | 6,7 |
| 7 | 63,9 | 84 | 52,5 | 14,175 | 5670 | 657 | 6,57 |
| 8 | 76,5 | 406 | 253,75 | 68,5125 | 27405 | 308 | 3,08 |
| 9 | 70,8 | 603 | 376,875 | 90,45 | 36180 | 1240 | 12,4 |
| 10 | 77,1 | 1 079 | 674,375 | 182,08125 | 72832,5 | 533 | 5,33 |
| 11 | 71,9 | 250 | 156,25 | 42,1875 | 16875 | 335 | 3,35 |
| 12 | 76,7 | 2 116 | 1322,5 | 317,4 | 126960 | 1643 | 16,43 |
| 13 | 72,2 | 645 | 403,125 | 96,75 | 38700 | 802 | 8,02 |
| 14 | 73,3 | 814 | 508,75 | 122,1 | 48840 | 861 | 8,61 |
| 15 | 80,1 | 2 081 | 1300,625 | 312,15 | 124860 | 1812 | 18,12 |
| 16 | 76,0 | 1 662 | 1038,75 | 249,3 | 99720 | 1365 | 13,65 |
| 17 | 76,7 | 896 | 560 | 134,4 | 53760 | 1996 | 19,96 |

14 446 9 028,75 2 224,2 889 680

Zdroj: vlastní

Tabulka 5: Objem splavenin (sedimentu) po opatřeních pro variantu $R = 20$

| c | CN [-] | \sum eroze [t/rok] | Objem eroze [m ³ /rok] | Objem odnosu [m ³ /rok] | Náklady [Kč/rok] |
|----|--------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|
| 1 | 74,3 | 729 | 455,625 | 109,35 | 43 740,0 |
| 2 | 67,6 | 536 | 335 | 80,4 | 32 160,0 |
| 3 | 66,2 | 146 | 91,25 | 21,9 | 8 760,0 |
| 4 | 71,4 | 418 | 261,25 | 70,5375 | 28 215,0 |
| 5 | 75,1 | 157 | 98,125 | 26,49375 | 10 597,5 |
| 6 | 64,1 | 45 | 28,125 | 7,59375 | 3 037,5 |
| 7 | 60,7 | 58 | 36,25 | 9,7875 | 3 915,0 |
| 8 | 74,2 | 229 | 143,125 | 38,64375 | 15 457,5 |
| 9 | 67,0 | 475 | 296,875 | 71,25 | 28 500,0 |
| 10 | 74,5 | 516 | 322,5 | 87,075 | 34 830,0 |
| 11 | 69,0 | 166 | 103,75 | 28,0125 | 11 205,0 |
| 12 | 73,3 | 1 142 | 713,75 | 171,3 | 68 520,0 |
| 13 | 69,3 | 375 | 234,375 | 56,25 | 22 500,0 |
| 14 | 69,0 | 427 | 266,875 | 64,05 | 25 620,0 |
| 15 | 76,9 | 1 238 | 773,75 | 185,7 | 74 280,0 |
| 16 | 73,3 | 923 | 576,875 | 138,45 | 55 380,0 |
| 17 | 71,1 | 556 | 347,5 | 83,4 | 33 360,0 |
| | | 8 136 | 5 085 | 1 250,19375 | 500 078 |

Zdroj: vlastní

Tabulka 6: Objem splavenin před opatřeními pro variantu $R = 40$

| c | CN [-] | \sum eroze [t/rok] | Objem eroze [m ³ /rok] | Objem odnosu [m ³ /rok] | Náklady [Kč/rok] |
|----|--------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|
| 1 | 76,4 | 2 366 | 1478,75 | 354,9 | 141 960,0 |
| 2 | 70,9 | 1 877 | 1173,125 | 281,55 | 112 620,0 |
| 3 | 71,0 | 903 | 564,375 | 135,45 | 54 180,0 |
| 4 | 72,8 | 1 520 | 950 | 256,5 | 102 600,0 |
| 5 | 75,4 | 767 | 479,375 | 129,43125 | 51 772,5 |
| 6 | 66,5 | 188 | 117,5 | 31,725 | 12 690,0 |
| 7 | 63,9 | 168 | 105 | 28,35 | 11 340,0 |
| 8 | 76,5 | 811 | 506,875 | 136,85625 | 54 742,5 |
| 9 | 70,8 | 1 206 | 753,75 | 180,9 | 72 360,0 |
| 10 | 77,1 | 2 157 | 1348,125 | 363,99375 | 145 597,5 |
| 11 | 71,9 | 500 | 312,5 | 84,375 | 33 750,0 |
| 12 | 76,7 | 4 232 | 2645 | 634,8 | 253 920,0 |
| 13 | 72,2 | 1 290 | 806,25 | 193,5 | 77 400,0 |
| 14 | 73,3 | 1 628 | 1017,5 | 244,2 | 97 680,0 |
| 15 | 80,1 | 4 161 | 2600,625 | 624,15 | 249 660,0 |
| 16 | 76,0 | 3 323 | 2076,875 | 498,45 | 199 380,0 |
| 17 | 76,7 | 1 791 | 1119,375 | 268,65 | 107 460,0 |
| | | 28 888 | 18 055 | 4 447,78125 | 1 779 113 |

Zdroj: vlastní

Tabulka 7: Objem splavenin (sedimentu) po opatřeních pro variantu $R = 40$

| c | CN [-] | \sum eroze [t/rok] | Objem eroze [m ³ /rok] | Objem odnosu [m ³ /rok] | Náklady [Kč/rok] |
|----|-----------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 1 | 72,9 | 1 695 | 1059,375 | 254,25 | 101 700,0 |
| 2 | 66,3 | 1 087 | 679,375 | 163,05 | 65 220,0 |
| 3 | 65,1 | 463 | 289,375 | 69,45 | 27 780,0 |
| 4 | 70,3 | 925 | 578,125 | 156,09375 | 62 437,5 |
| 5 | 73,9 | 377 | 235,625 | 63,61875 | 25 447,5 |
| 6 | 63,9 | 127 | 79,375 | 21,43125 | 8 572,5 |
| 7 | 59,7 | 155 | 96,875 | 26,15625 | 10 462,5 |
| 8 | 72,8 | 428 | 267,5 | 72,225 | 28 890,0 |
| 9 | 65,7 | 832 | 520 | 124,8 | 49 920,0 |
| 10 | 73,2 | 989 | 618,125 | 166,89375 | 66 757,5 |
| 11 | 67,6 | 223 | 139,375 | 37,63125 | 15 052,5 |
| 12 | 72,1 | 2 218 | 1386,25 | 332,7 | 133 080,0 |
| 13 | 70,2 | 709 | 443,125 | 106,35 | 42 540,0 |
| 14 | 67,9 | 927 | 579,375 | 139,05 | 55 620,0 |
| 15 | 75,6 | 2 511 | 1569,375 | 376,65 | 150 660,0 |
| 16 | 73,6 | 1 566 | 978,75 | 234,9 | 93 960,0 |
| 17 | 69,9 | 966 | 603,75 | 144,9 | 57 960,0 |
| | | 16 198 | 10 123,75 | 2 490,15 | 996 060 |

Zdroj: vlastní

Snížení produkce

Škody snížením produkční schopnosti půdy vlivem erozní činnosti jsou v literatuře často popisovány. Jsou uváděny až 50% hodnoty snížení produkční schopnosti v případě silně erodovaných půd. V této práci byla snížená produkční schopnosti půd vyčíslena po předchozím zařazení půdy podle stupňů erozní ohroženosti (SEOP), jak uvádí následující tabulka 8. U středně ohrožených půd (SEOP 2) se předpokládá snížení o 10 %, u SEOP 3 o 20 % a u SEOP 4 o 30 %. Vychází se z průměrné hodnoty hrubé zemědělské produkce na 1 ha – 10 000 Kč.

Tabulka 8: Kategorie SEOP

| SEOP | Název stupně | Násobek překročení přípustného smyvu | | |
|------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| | | Mělké půdy (t/ha/rok) | Středně hluboké půdy (t/ha/rok) | Hluboké půdy (t/ha/rok) |
| 1 | Neohrožená | 1 | 4 | 10 |
| 2 | Středně ohrožená | 1,1–2 | 4,1–8 | 10,1–20 |
| 3 | Výrazně ohrožená | 2,1–3 | 8,1–12 | 20,1–30 |
| 4 | Velmi výrazně ohrožená | 3 | 12 | 30 |

Pozn.: hodnota přípustného smyvu na většině pozemků je $4 \cdot t^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$

Zdroj: vlastní

Tabulka 9: Náklady vlivem snížení produkce pro variantu $R = 20$

| Omezení produkce R20 | | Plocha [ha] | Procentuální omezení produkce [%] | Ztráty [Kč.ha ⁻¹ .rok ⁻¹] |
|----------------------|---|----------------|--------------------------------------|---|
| SEOP | 1 | 6342 | 0 | 0 |
| | 2 | 936 | 10 | 936 000 |
| | 3 | 87 | 20 | 174 000 |
| | 4 | 47 | 30 | 141 000 |
| Σ | | | | 1 251 000 |

Zdroj: vlastní

 Tabulka 10: Náklady vlivem snížení produkce pro variantu $R = 40$

| Omezení produkce R40 | | Plocha [ha] | Procentuální omezení produkce [%] | Ztráty [Kč.ha ⁻¹ .rok ⁻¹] |
|----------------------|---|----------------|--------------------------------------|---|
| SEOP | 1 | 5480 | 0 | 0 |
| | 2 | 1547 | 10 | 1 547 000 |
| | 3 | 245 | 20 | 490 000 |
| | 4 | 135 | 30 | 405 500 |
| Σ | | | | 2 442 500 |

Zdroj: vlastní

Nákladová kalkulace

Následující tabulky prezentují celkovou kalkulaci nákladů bez opatření a při jejich variantním provedení.

 Tabulka 11: Kalkulace nákladů pro variantu $R = 20$

| R 20 | Před OP [Kč/rok] | Po OP [Kč/rok] |
|---------------------------------|---------------------|-------------------|
| Vytěžení sedimentu | 889 680 | 500 078 |
| Stabilizace drah soustř. odtoku | 1 064 985 | 0 |
| Ztráty z omezení produkce | 1 251 000 | 0 |
| Náklady na protierozní opatření | 0 | 660 400 |
| Σ | 3 205 665 | 1 160 478 |

Zdroj: vlastní

 Tabulka 12: Kalkulace nákladů pro variantu $R = 40$

| R 20 | Před OP [Kč/rok] | Po OP [Kč/rok] |
|---------------------------------|---------------------|-------------------|
| Vytěžení sedimentu | 1 779 113 | 996 060 |
| Stabilizace drah soustř. odtoku | 1 064 985 | 0 |
| Ztráty z omezení produkce | 2 442 500 | 0 |
| Náklady na protierozní opatření | 0 | 830 825 |
| Σ | 5 286 598 | 1 826 885 |

Zdroj: vlastní

Cílem ekonomických analýz bylo porovnání cen nákladů vynaložených na zřízení a údržbu opatření s náklady vzniklými při odstraňování škod při stávajícím stavu povodí (bez opatření). V systému navržených opatření pro $R = 20$ byly navrženy protierozní průlehy v místech s nepřijatelnou délkou svahu, na méně ohrožených plochách postačil návrh VENP. Na orné půdě v místě údolnic, kde sběrná plocha přesahovala 10 ha, byl proveden návrh stabilizace drah soustředěného odtoku. V tabulce 2 a 3 jsou uvedeny ceny opatření. Ceny celkové vyjadřují náklady, jež budou potřeba vynaložit po celou dobu životnosti opatření, náklady každoroční vznikly podělením celkových cen dobou životnosti opatření. Oproti návrhům pro $R = 20$ byly přidány zasakovací pásy, nastala nutnost celkového zatravnění některých pozemků v místech, kde docházelo k nadlimitnímu smyvu a jiná opatření zde již nebyla schopna zabránit odnosu půdy. Znovu následovalo vyčíslení nákladů a porovnání smyvu před a po opatřeních. Náklady na vytěžení sedimentu byly spočítány vynásobením objemu odnosu jednotkovou cenou 400 Kč/m³. Je vidět, že náklady na vytěžení sedimentu jsou přibližně dvojnásobné v případě bez opatření než při jejich aplikaci. Celkové kalkulace nákladů jsou prezentovány bez opatření a při jejich provedení. Je vidět, že při $R = 20$ je provedení opatření dražší variantou, ovšem se stoupajícím R faktorem dochází k navýšení nákladů na vytěžení sedimentu a ztrát z omezení produkce, přičemž na druhé straně ceny opatření zůstávají téměř stejné. Jak již bylo uvedeno výše, hodnota R faktoru v zájmovém území se bude s velkou pravděpodobností pohybovat okolo čísla 40, kde již náklady na opatření jsou levnější než ztráty. Je ovšem možné náklady na opatření v povodí snížit o položku VENP, která zahrnuje vícenásobné (ztráty) zemědělského subjektu, pokud ten nevládní technologie pro zpracování kukuřice nebo jiné širokořádkové plodiny (např. sklízecí mechanismy). Takovému zemědělci vlivem navržení VENP na orné půdě nevznikne škoda, proto je možné tuto položku z kalkulace vypustit. Jak bylo zjištěno, v zájmovém území se nenachází společnosti zabývající se zemědělskou výrobou, které by využívaly technologie spojené s pěstováním širokořádkových plodin.

Závěr

Vlivem změn R faktoru, jehož příčiny byly popsány výše, dojde ke zvýšení erozního smyvu projevující se zvýšením rozsahu pozemků, kde erozní smyv překračuje přípustnou hodnotu smyvu. Na to je nutné reagovat odpovídající protierozní ochranou. Pro jednotlivé dosažené hodnoty erozního smyvu byl navržen systém organizačních a biotechnických protierozních opatření na dílčím povodí Kamenice pro tři zadané varianty R faktoru. Opatření budou chránit území před nepříznivými účinky přívalových dešťů. Změny se pozitivně projeví na zemědělské půdě, tedy zmírněním nepříznivých dopadů přívalových srážek „on-site“. Jde o omezení škod na vegetačním pokryvu a omezení ztrát půdy, které způsobují degradaci produkční schopnosti. Po návrhu ochranných opatření dojde ke snížení hodnot čísel odtokových křivek CN, což pozitivně ovlivní základní charakteristiky přímého odtoku a zvýší se tak retenční schopnost území. Návrhem protierozních průlehy dojde k přerušování délky svahu, což povede ke

zmenšení objemu erozního smyvu. Kromě ochranných a vodohospodářských efektů mají tato opatření také krajinně ekologický význam. Omezení dotace smyvu do toků se projeví ve zvýšení čistoty vody, což je spojené se zvýšením ekologické stability ve vodním toku. Rovněž navržené liniové prvky protierozní ochrany působí pozitivně z hlediska ekologické stability krajiny. Dalším příznivým dopadem bude omezení škod na majetku v zastavěném území obce, ke kterému dochází vlivem přívalových srážek. Podstatné jsou i tak zvané sekundární efekty, jež odnos půdy způsobuje, a to její ukládání v říční síti a v nádržích. Ty způsobují eutrofizaci ve stojatých vodách a celkové zhoršení kvality vody s následným společenským dopadem (např. omezení rekreační funkce vodních děl). Navržený systém opatření zajistí bezpečné odvedení vody v krajině, eliminaci nepříznivých účinků povrchového odtoku, zvýšení retence krajiny a omezení škod na pozemcích, kde vlivem navržených opatření dojde ke snížení vyplavování látek z půdního profilu. V rámci této práce byla provedena i ekonomická analýza, která jasně ukázala, že náklady na opatření budou nižší než náklady na odstranění škod (sanaci a těžbu sedimentu z vodních toků, omezení zemědělské produkce) po přívalové srážce při stávajícím stavu území bez opatření.

Poděkování

Článek vznikl za podpory řešení projektu NAZV QH 92298.

Reference

- GOVERS, G. a K. VAN OOST, 2000. *Usle2D* [software]. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven [přístup 12. dubna 2009]. Dostupné z: <http://geo.kuleuven.be/geography/modelling/erosion/usle2d/index.htm>
- JANEČEK, M. et al., 2007. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika. Praha: VÚMOP ISBN 978-80-254-0973-2.
- 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 Research*. 1(2), 65–71. ISSN 1801-5395.
- MCCOOL, D. K. et al., 1989. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASABE*. 32(5). ISSN 1571-1576.
- QUITT, E., 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Brno: Geografický ústav ČSAV. Studia geographica.
- SCHWERTMANN, V., W. VOGEL a M. KAINZ, 1987. *Bodenerosion durch Wasser*. Stuttgart: E. Ulmer
- SVOBODA, J. et al., 1964. *Regionální geologie ČSSR. díl I. Český masív*. Praha: Ústřední ústav geologický: Nakladatelství Československé akademie věd.

UHROVÁ, J., F. PAVLÍK a V. HOŠKOVÁ, 2009. Návrh protierozního opatření v ploše povodí v programu ARC GIS. In *Juniorstav 2009*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, str. 251–257. ISBN 978-80-214-3810-1.

WISCHMEIER, W. C. a D. D. SMITH, 1978. *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Agricultural. Handbook*. Washington, DC: Science and Education Administration, U.S. Dept. of Agriculture.

ZÍTEK, J. (red.), 1967. *Hydrologické poměry ČSSR*. Praha: Hydrometeorologický ústav.

Effect of changes of the R factor on economic assessment of comprehensive conservation measures in the basin

The object of this paper deal with estimation of erosion rates by variants of R factor values. In the framework those work the hydrological analysis were done in watershed of Kamenice stream, after it was choice one of subcatchment area, where has been designed soil erosion control measures in two variants: for values of R factor ranged from 20 to 40. To all these construction variant cases was elaborate economic cost-benefit analysis expended on system erosion control measures with costs, which come up at removing damages at current state without soil erosion control.

Keywords: rainfull factor, runoff, soil erosion, watershed, land use, soil conservation measures

Kontaktní adresa:

doc. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc., Ústav vodního hospodářství krajiny, Fakulta stavební, Vysoké učení technické, Žižkova 17, 602 00 Brno, e-mail: dumbrovsky.m@fce.vutbr.cz

Ing. Jana Podhrázská, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Lidická 25/27, 602 00 Brno, e-mail: podhrazska@vumopbrno.cz

VAŠINOVÁ, K. et al. Vliv změny faktoru erozní účinnosti deště na ekonomické hodnocení ochranných opatření v povodí. *Littera Scripta*. 2011, 4(2), 257–270. ISSN 1802-503X.
