



Katedra biotechnických úprav krajiny
Fakulta životního prostředí
Česká zemědělská univerzita v Praze

METODIKA

k výzkumnému projektu MZe ČR NAZV 08-82126
**Zajištění harmonizace krajinotvorné, hydrologické a produkční
funkce agrárních valů a teras pro diverzifikaci aktivit na venkově**

METODIKA ZMÍRNĚNÍ NEGATIVNÍCH DŮSLEDKŮ HYDROLOGICKÝCH EXTRÉMŮ A EROZNÍCH ÚČINKŮ POVRCHOVÉHO ODTOKU AGRÁRNÍMI VALY (Případová studie Verneřice)

Poskytovatel: MZe ČR

Veřejná soutěž: Program výzkumu v agrárním sektoru 2007–2012

Doba řešení: 1. 1. 2008 – 31. 12. 2011

Řešitelé za ČZU: Prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc., Doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.,
Prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc., Ing. Milan Kasl, Ing. Milan Sůva, Ing. Darina Vaššová,
Ing. Michaela Hrabalíková

Prosinec 2011

Dedikace

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu MZe ČR NAZV 08-82126 „Zajištění harmonizace krajinné, hydrologické a produkční funkce agrárních valů a teras pro diverzifikaci aktivit na venkově“, sub-projektu „Zmírnění negativních důsledků hydrologických extrémů a erozních účinků povrchového odtoku agrárními valy“.

Oponenti

Doc. Ing. Václav Kuráž, CSc., Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Ing. Karel Jacko, Ph.D., Sekce Ústřední Pozemkový úřad, Ministerstvo zemědělství ČR

Za obsah publikace odpovídají autoři:

prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc

doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

prof. Ing. Miloslav Janeček, DrSc.

Ing. Milan Kasl

Ing. Milan Sůva

Ing. Darina Vaššová

Ing. Michaela Hrabalíková

Obsah

I. Cíl metodiky	3
II. Vlastní popis metodiky	3
II.1 Úvod	3
II.2 Experimentální území Verneřice 1	4
II.3 Terénní měření infiltrace	6
II.4 Výsledky terénního měření	7
II.5 Přívalové deště	7
II.6 Model KINFIL	8
II.7 Výsledky simulace odtokového procesu	9
II.8 Výsledky simulace parametrů vodní eroze	11
III. Srovnání novosti postupů	14
IV. Popis uplatnění metodiky	15
IV.1 Hydroekologické zásady hospodaření	15
V. Ekonomické aspekty	16
VI. Seznam použité související literatury	16
VII. Seznam vlastních publikací předcházejících metodice	18

Příloha:

Kovář, P., Hrabalíková, M., Štibinger, J., Vaššová, D., 2011: Soubor účelových map k metodice hospodářského využití pozemků s agrárními valy pro vytvoření vhodného vodního režimu a pro snižování účinků povrchového odtoku a erozního nebezpečí. Případová studie Verneřice 1. <http://fzp.czu.cz/vyzkum/maps/kbuk>.

I. Cíl metodiky

Metodika je zaměřena především na zachování agrárních valů, které při větším sklonu pozemků a jejich vrstevnicovém uspořádání mají jednoznačně pozitivní dopad na snížení povrchového odtoku a následný pokles erozního ohrožení pozemků. Agrární valy netvoří jenom o geomorfologickou překážku v trase povrchového odtoku, ale také zvyšují infiltraci a retenci srážkových vod. Právě jejich infiltrační přínos a způsob lučního hospodaření (trvalé travní porosty) na pozemcích mezi valy poskytují nejlepší předpoklady udržitelného rozvoje krajiny s agrárními valy, jako důsledkem kulturně historického využití pozemků. Hydroekologický postup navržené metodiky je evidentním návodem pro dlouhodobé udržení prospěšných valů i v budoucnu. Případová studie Verneřicka je názornou ukázkou aplikace předložené metodiky.

II. Vlastní popis metodiky

II.1 Úvod

Struktura krajiny je jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících biodiverzitu, prostorovou rozmanitost a ekologickou hodnotu krajiny (Langlois et al., 2001). Tyto faktory krajiny se mění v čase a prostoru jak přírodními vlivy, tak i hospodářskou činností jejich uživatelů. V některých příhraničních oblastech České republiky je možno pozorovat v krajině prvky s převládajícím parametrem délky, jejichž původ je antropogenní a sahá až do středověku, do období kolonizace země (Löw, Michal, 2003). Tyto zbytky krajinných prvků jsou historickým dědictvím vývoje osídlování venkovské krajiny a dodnes nesou staročeský název „plužina“. Tyto plužiny jako krajinné prvky nejstarší doby jsou i dokumentovány v původních katastrálních mapách (Molnářová et al., 2008), mají půdorys hřebenového nebo radiálního tvaru, směřujícího z centra osídlení a jsou charakteristické protáhlou podobou písmene „S“. Plužiny dokumentují pozůstatek osídlování a je třeba je odlišit od krajinných prvků extravilánu, zejména agrárních valů, stupňů a teras, které vznikaly později jako důsledek zemědělského hospodaření, otáčení směru orby (souvratí), snosem kamene z polí a luk, nebo ochranou proti erozi (Černý, 1973). Agrární valy jsou vytvořené sběrem kamene a jejich rozměry se pohybují od 0,3 m do 2,0 m výšky a od 2,0 m do cca 7,0 m šířky. Vznikaly později v lokalitách převážně s mírným sklonem, zatímco stupně a terasy v území většího sklonu a tvořily současně i protierozní systém ochrany polí. Všechny tyto historické pozůstatky středověké krajiny však mají důležité krajinnotvorné a stabilizační vlastnosti (Mérot, 1999; Marshal, Moonen, 2002). Bohužel tyto zajímavé a důležité prvky z dnešní krajiny poměrně rychle mizí (Sklenička et al., 2009), jejich estetická, ekologická a stabilizační funkce krajiny se tak navždy vytrácí.

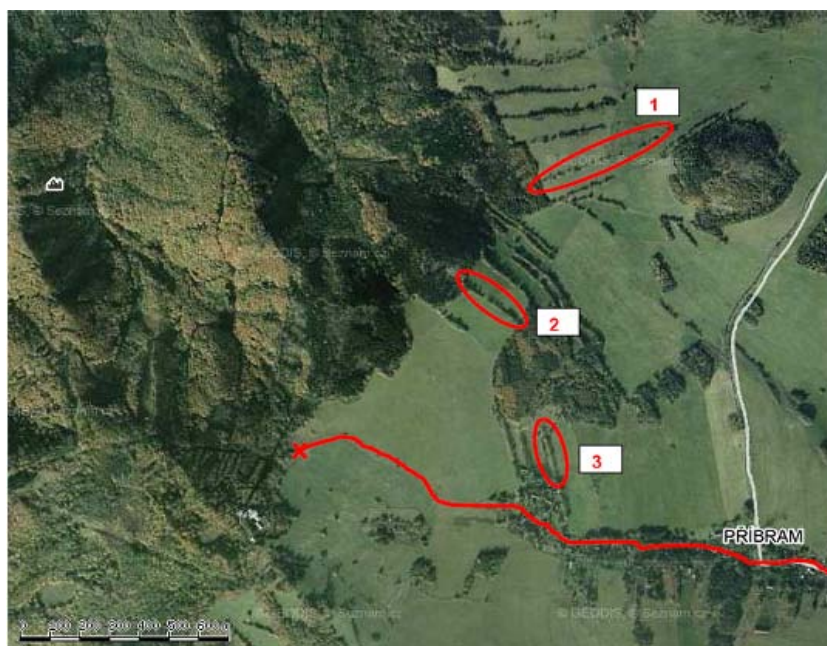
Způsob využití krajiny (land use) je její významnou charakteristikou a značně ovlivňuje hydrologické vlastnosti, zejména retenci a akumulaci vody i retardaci odtoku. V případě agrárních valů, tvořených snosy kamenů a balvanů z vlastních i přilehlých pozemků, se jedná o historické využívání krajiny prováděné majiteli nebo uživateli pozemků na podporu zemědělské činnosti. Jde tedy o přímý antropogenní proces (Machová, Elznicová, 2010), ovlivňující i geomorfologické vlastnosti pozemku. Studie Machové a Elznicové (2010) se zabývá analýzou vývoje agrárních valů od roku 1938, zachycuje historický stav až do současnosti, přičemž bere ohled na sklonitost svahů, na kterých se sledované valy nacházely. Význam valů je popsán v kontextu zastoupení i ostatních krajinných prvků ve studované oblasti. Výskyt těchto agrárních valů je zmíněn i v článku, který vyšel o rok dříve (Machová, Elznicová, 2009). Nejvíce těchto antropogenních krajinných útvarů je zaznamenáno

v Krušnohoří (Adolfov, Fojtovice, Knínice, Libouchec aj.) a severní části Českého středohoří (Oblík, Verneřice aj.).

Na agrárních valech těchto lokalit je bohaté druhové zastoupení stromů, keřů i bylinného patra. Ze stromů a keřů to jsou zejména *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, *Tilia cordata*, *Corylus avellana*, *Prunus avium*, *Prunus spinosa* a *Carpinus betulus*. Z dominantních bylin (celkem cca 60 druhů) jsou převážně zastoupeny *Impatiens parviflora* a *Geranium robertianum* (Machová, Elznicová, 2010).

II.2 Experimentální území Verneřice 1

V lokalitách Verneřicka byla prováděna v minulosti převážně o extenzivní zemědělskou činnost. Pro pěstování plodin a pastvu hospodářských zvířat na méně svažitéch pozemcích může být podélná osa agrárního valu orientována buď vrstevnicově, nebo v různých směrech mezi vrstevnicemi a spádníci. Historicky šlo spíše o tvar pozemků, majetkové vztahy a způsob tehdejšího obdělávání půdy. Na svažitéch pozemcích však je orientace podélné osy valů ve směru vrstevnic velmi důležitá z hlediska hydrologického a protierozního, kdy působí jako bariéra přerušující povrchový ron vody s možností její infiltrace. Různé uspořádání valů je ukázáno na obr. 1 z oblasti Verneřicka, valy označené číslem 1 jsou vrstevnicově uspořádány, č. 2 a 3 spádníci. Obecný příklad reliéfu agrárního valu s třípatrovou vegetací ukazuje obr. 2. Na obr. 3 je znázorněno schéma vrstevnicově orientovaných valů, které mají ochrannou hydrologickou a protierozní funkci na svažitém pozemku. Rozbor této funkce agrárních valů ve smyslu biotechnického opatření je předmětem této metodiky.



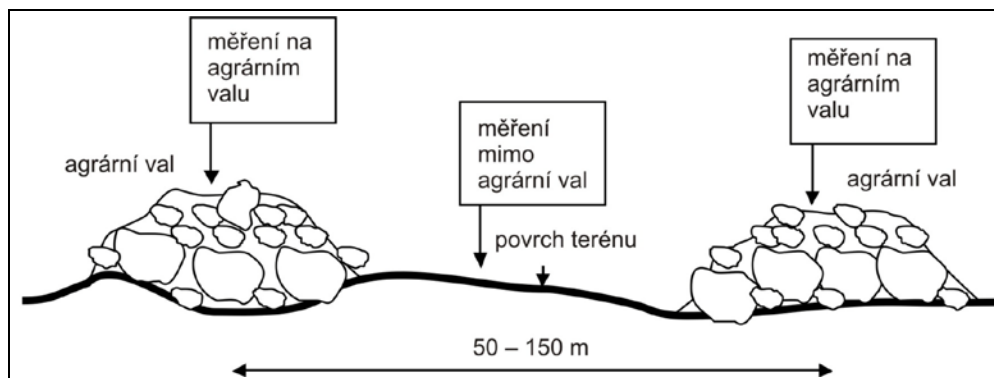
Obr. 1: Oblast Verneřicka s různou orientací agrárních valů

Ochranná hydrologická funkce vrstevnicově orientovaných agrárních valů zmírňuje především negativní dopady vyvolané hydrologickými extrémy přívalových dešťů a jimi způsobeného povrchového odtoku. Dále bylo zjištěno, že tyto valy jsou výrazně propustnější než povrchové půdy ležící mezi valy. Agrární val lze tedy považovat za jistý prvek biotechnického opatření s drenážními a vsakovacími schopnostmi, který může tlumit povrchový odtok a působit jako „infiltrační liniové prostředí“ (Štibinger, 2011). Tento krajinný prvek tedy lze, je-li uspořádán jinak než ve směru povrchového odtoku, považovat za

ochranné opatření a zařadit ho do systému charakteristik ovlivňujících tvorbu povrchového odtoku a transport splavenin, který je ukázán na obr. 4.

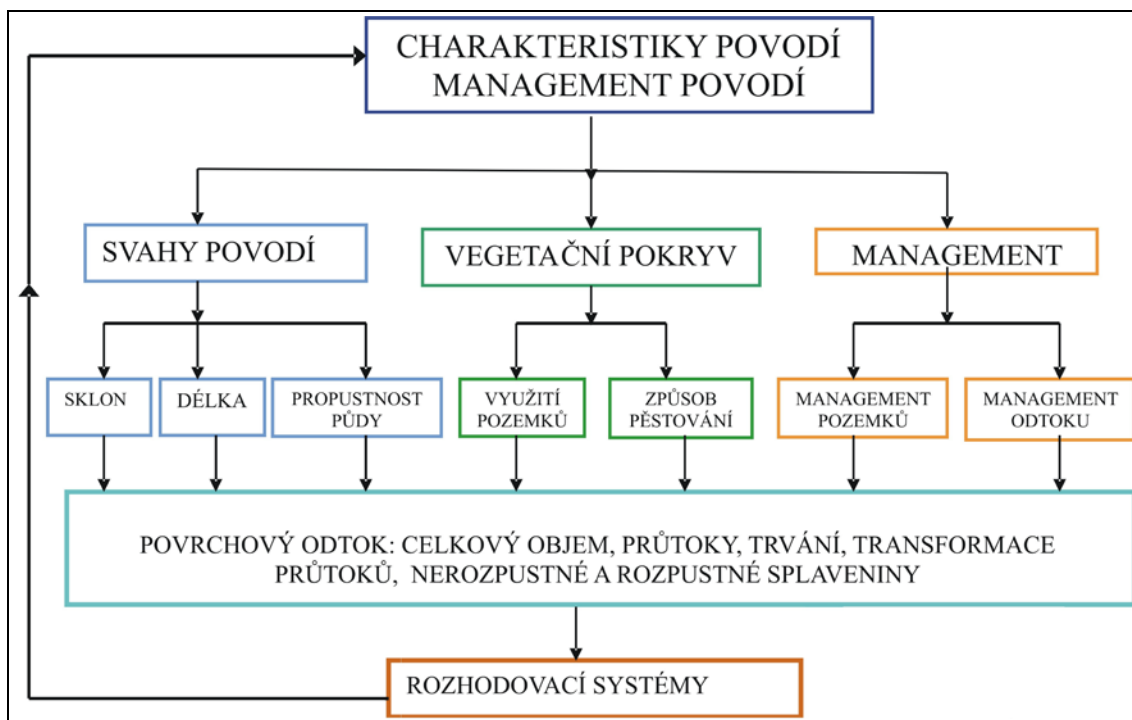


Obr. 2: Typický agrární val vytvořený snosem kamene, tři patra vegetace



Obr. 3: Schéma vrstevnicově uspořádaných valů chránících pozemek proti účinkům povrchového odtoku. Schematicky jsou znázorněny oblasti měření rychlosti infiltrace na valech a mezi nimi na trvalých travních porostech

Z obr. 4 je patrné, že biotechnická opatření realizovaná na svazích povodí (délka a propustnost půdy), využití pozemků (trvalý travní porost) i management povodí (pozemkové úpravy – agrární valy) jsou opatření účinná a měla by zlepšit odtokový režim i z extrémních srážek. To je evidentní již z principiálního pohledu na srážko-odtokový proces. Jde nám však o to, abychom kvantifikovali řešení tohoto procesu a znali odpověď na otázku, do jaké míry můžeme zmírnit povrchové odtoky vrstevnicově založenými agrárními valy.



Obr. 4: Fyzicko-geografické charakteristiky a management povodí, ovlivňující tvorbu povrchového odtoku a transport splavenin

II.3 Terénní měření infiltrace

Měření infiltračních procesů bylo prováděno v povrchových vrstvách půdy v oblastech s agrárními valy v letech 2009–2010 (Kovář, Štibinger, 2009; Štibinger, 2011). Jeho cílem bylo zjistit hodnoty infiltračních a hydrofyzikálních charakteristik na území mezi agrárními valy a na valech. Protože tato měření dosud nebyla zřejmě prováděna (Cílek, 2010), je možné výsledky získané v letech 2009–2010 považovat za ojedinělé (Štibinger, 2011).

Cílem těchto měření bylo vyhodnocení parametrů infiltrační Richardsovy rovnice (Kutílek, Nielsen, 1994) a Philipova řešení nestacionární infiltrace (Philip, 1957). Rovnice vyjadřující kumulativní infiltraci, která byla použita pro regresní stanovení hodnot parametrů, tj. hydraulické vodivosti K_s ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) a sorptivity S ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}$, sorptivita stanovená při polní vodní kapacitě), má tvar:

$$i(t) = S \cdot t^{1/2} + K_s \cdot t \quad (1)$$

Rychlost (intenzitu) infiltrace $v(t)$ lze získat derivací rov. (1) v čase, kdy platí:

$$v(t) = \frac{1}{2} S \cdot t^{-1/2} + K_s \quad (2)$$

Rovnice (1) a (2), které se uplatnily při popisu infiltračních procesů v zájmové lokalitě s agrárními valy, se nazývají zkrácené (zjednodušené) Philipovy infiltrační rovnice (Philip, 1957). Jejich použití bylo mnohokrát ověřeno ve vědecké oblasti i v inženýrské vodohospodářské praxi a je možno říci, že vhodným způsobem aproximují skutečné přírodní infiltrační procesy v nenасыčeném pórovitém prostředí.

Z naměřených hodnot kumulativní infiltrace na jednotlivých vybraných experimentálních plochách v zájmových lokalitách s agrárními valy, byla pomocí rovnice (1) a s uplatněním metody Marquardtových parametrů (Marquardt, 1963) odhadnuta sorptivita S ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}$) a součinitel K_s ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), který je blízký hydraulické vodivosti.

Hledání parametrů (S , K_s) v rovnici (1), kde na její levé straně budou figurovat naměřené hodnoty kumulativní infiltrace $i(t)_n$ (m), představuje úlohu nelineární regrese. Marquardtova metoda, proto vychází ze „spojené“ metody nejstrmějšího poklesu a metody Gauss-Newtonovy.

Do jisté míry bude zřejmě možné považovat agrární val za prvek s drenážními a vsakovacími schopnostmi, jenž zachycuje potenciální povrchový odtok a působí tak jako protierozní, popř. infiltrační liniové ohraničené prostředí. Dále je možné předpokládat, že vytvořené agrární valy budou zřejmě disponovat výrazně vyšší propustností ve smyslu proudění vody v pórovitém prostředí, než povrchové vrstvy pozemků, které leží mimo agrární val. Je to tím, že valy kromě masy kamenů obsahují také organické zbytky rostlin, z větší části již mineralizované.

II.4 Výsledky terénního měření

Výsledky měření kumulativní infiltrace v oblasti Verneřicka na lokalitě 1 (viz obr. 1) prováděných dvouválcovou metodou jsou podrobně uvedeny v literatuře (Štibinger, 2011) a stručně zde v tab. 1.

Tab. 1: Hodnoty hydraulické vodivosti K_s a sorptivity S , Verneřice (lokalita 1)

Měření mimo val	Měření na valu
$K_s = 8,10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$K_s = 3,58 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
$S = 2,16 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1/2}$	$S = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1/2}$
$R = 0,997$	$R = 0,999$

Z analýzy měřených výsledků kumulativní infiltrace vyplývá, že hodnoty hydraulické vodivosti ukazují průměrnou propustnost agrárních valů až cca 4,5krát vyšší ($K_s = 3,58 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) ve srovnání s propustnostmi naměřenými mimo valy ($K_s = 8,10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) lokality č. 1 Verneřicka.

Z naměřených dat kumulativní infiltrace v místě agrárního valu Verneřice 1 a v místě mimo agrární val byl podle rovnice (1) metodou nelineární regrese stanoven parametr S ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}$), představující sorptivitu měřeného prostředí a parametr K_s ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) s rozměrem rychlosti, který je blízký hydraulické vodivosti. Podrobné výsledky terénního infiltračního měření včetně vyhodnocení naměřených dat jsou uvedeny v periodické zprávě (Kovář, Štibinger, 2009) a byly publikovány Štibingerem (2011).

Hodnoty parametrů S ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1/2}$) a K_s ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) spolu s koeficientem korelace R (–) a s výsledky analýzy nelineární regrese byly vyhodnoceny pro oblast na agrárním valu a mimo agrární val. Dále byly podle rovnice (2) vygenerovány hodnoty intenzity infiltrace $v(t)$ pro měřené místo na agrárním valu a pro měřené místo mimo agrární val.

Ze statistického zpracování a vyhodnocení výsledků infiltračních měření zcela jasně a jednoznačně vyplývá, že vybraná metoda pro popis vertikální nestacionární infiltrace v pórovitém nenasyceném prostředí agrárních valů, reprezentovaná v tomto případě Philipovými zkrácenými infiltračními rovnicemi (1) a (2), aproximuje skutečné infiltrační procesy na agrárních valech i mimo agrární val s dostatečnou přesností.

Vysoké hodnoty korelačních koeficientů korelace R ($R > 0,990$) vypovídají o vynikajících predikčních schopnostech vybraného (zvoleného) modelu a jsou uvedeny v tab. 1.

II.5 Přívalové deště

Experimentální lokalita (č. 1 Verneřice) nemá meteorologickou stanici pro měření srážek ani stanici limnigrafickou, protože povodí nemá vyvinutou žádnou hydrografickou síť. Pro určení krátkých přívalových dešťů byla vybrána metoda redukce jednodenních maximálních

úhrnů (Hrádek, Kovář, 1994) nejbližší srážkoměrné stanice, kterou je Ústí n. L. – Kočkov. Tabulka 2 uvádí tyto srážkové úhrny pro dobu opakování $N = 2, 5, 10, 20, 50$ a 100 let.

Tab. 2: Jednodenní maximální srážkové úhrny $P_{1d,N}$ ve stanici Ústí n. L. – Kočkov

Doba opakování N (roky)	2	5	10	20	50	100
Návrhový déšť $P_{1,N}$ (mm)	3,6	41,8	49,0	56,5	65,7	79,2

Z maximálních denních srážkových úhrnů byly vypočteny modelem DES_RAIN redukované srážkové úhrny pro krátké doby trvání deště a různé doby opakování:

$$P_{t,N} = P_{1d,N} \cdot a \cdot t^{1-c} \quad (3)$$

$$i_{t,N} = P_{1d,N} \cdot a \cdot t^{-c} \quad (4)$$

Redukční koeficienty a, c byly odvozeny podle výše uvedené metodiky Hrádka a Kováře (1994). Vypočtené výšky přivalových dešťů ukazuje tab. 3, která je zpracována v závislosti na době jejich trvání a době opakování.

Obdobně v tab. 4, která obsahuje vypočtené intenzity návrhových dešťů krátkých trvání, je uveden seznam potenciálních nejrizikovějších srážkových případů pro malou plochu experimentálního povodí. Tyto rizikové deště krátkého trvání byly vybrány k simulacím srážko-odtokových případů.

Tab. 3: Maximální výška návrhové srážky $P_{t,N}$ (mm) krátkého trvání pro stanici Ústí n. L.

N (roky)	$P_{1d,N}$ (mm)	t (min)						
		10	20	30	60	90	120	300
2	30,6	10,1	12,4	14	16,3	17,6	18,6	22,4
5	41,8	14,7	18,2	20,7	24,8	26,9	28,4	32,8
10	49,0	17,6	22,4	25,7	30,7	33,3	35,2	39,8
20	56,5	21,5	27,4	31,6	38,0	41,1	43,5	47,9
50	65,7	26,3	33,8	39,2	47,5	51,5	54,6	58,5
100	79,2	32,5	42,1	49,1	59,4	64,4	68,1	72,0

Tab. 4: Vypočtené intenzity návrhových dešťů ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$) krátkých trvání pro stanici Ústí n. L.

N (roky)	$P_{1d,N}$ (mm)	t (min)						
		10	20	30	60	90	120	300
2	30,6	1,01	0,62	0,47	0,27	0,2	0,16	0,07
5	41,8	1,47	0,91	0,69	0,41	0,3	0,24	0,11
10	49,0	1,76	1,12	0,86	0,51	0,37	0,29	0,13
20	56,5	2,15	1,37	1,05	0,63	0,46	0,36	0,16
50	65,7	2,63	1,69	1,31	0,79	0,57	0,45	0,19
100	79,2	3,25	2,11	1,64	0,99	0,72	0,57	0,24

II.6 Model KINFIL

Model KINFIL (Kovář, 1992; Kovář et al., 2002) je založen na kombinaci teorie infiltrace a transformace přímého odtoku kinematickou vlnou, který se osvědčil na řadě experimentálních povodí při rekonstrukci historických povodňových případů nebo scénářových situací. Tento model používá fyzikálně-geometrické (fyziografické), hydraulické a klimatické parametry povodí, které se dají určit z mapových a jiných podkladů při absenci přímých pozorování a při zohlednění důsledků antropogenní činnosti v povodí. Model je určen přednostně pro stanovení návrhových průtoků pro různé situace dané činnostmi, jako je změna kultur, odlesnění, urbanizace aj.

Současná verze modelu KINFIL je založena na infiltrační teorii Greena a Ampta se zavedením koncepce výtopy dle Morel-Seytoux (1982):

$$K_s \cdot \left(\frac{z_f + H_f}{z_f} \right) = (\theta_s - \theta_i) \frac{dz_f}{dt} \quad (5)$$

$$S_f = (\theta_s - \theta_i) \cdot H_f \quad (6)$$

$$t_p = \frac{S_f}{r_e \cdot \left(\frac{r_e}{K_s} - 1 \right)} \quad (7)$$

kde K_s je hydraulická vodivost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), z_f hloubka infiltrační fronty (m), θ_s nasycená půdní vlhkost (–), θ_i počáteční půdní vlhkost (–), H_f sací tlak pod infiltrační frontou (m), r_e intenzita deště ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), S_f retenční součinitel sacího tlaku (m), t_p doba výtopy (s) a t čas (s).

Druhým komponentem modelu KINFIL je jeho část simulující postup a transformaci přímého odtoku. Rovnice popisuje neustálý pohyb, aproximovaný kinematickou vlnou (po zanedbání nevýznamných rychlostních členů dynamické St. Venantovy rovnice), po ploše skloněné rovinné desky, která bývá často používána při geometrizaci topografických ploch povodí:

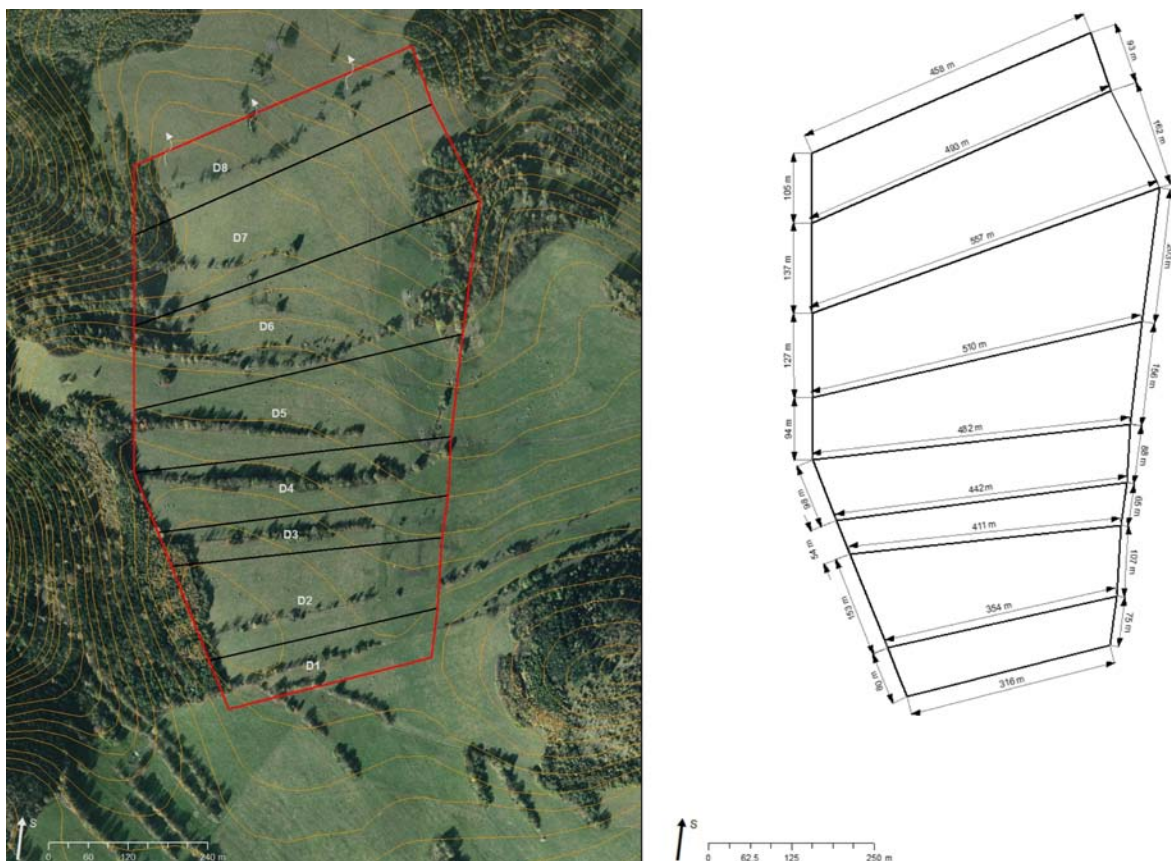
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha \cdot m \cdot h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = r_e(t) \quad (8)$$

kde h , t , x jsou souřadnice hloubky, času a polohy (m, s, m), α , m hydraulické parametry a $r_e(t)$ je intenzita efektivního deště ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Rovnice (8) je převedena do tvaru konečných diferencí a řešena explicitním numerickým schématem Laxe a Wendroffa (1960). Pro praktické řešení je povodí rozděleno na jednotlivá subpovodí do kaskád desek o přibližně obdobných sklonech tak, aby simulace topografických ploch povodí byla dostatečně věrná. Počáteční podmínky řešení Lax-Wendroffova schématu jsou $h(x, 0) = 0$ pro všechna x , horní okrajová podmínka je dána polohou každé rovinné desky v kaskádě, případně horní hranou segmentu.

II.7 Výsledky simulace odtokového procesu

Topografické rozdělení experimentálního povodí Verneřice 1 na dílčí polochy bylo provedeno v GIS ArcInfo. Jako základ byla použita digitální topologicko-vektorová data ZABAGED 1 : 10 000, obsahující polohopis a výškopis. Po převedení do ArcInfo byly vykresleny hranice experimentálního povodí a dílčí povodí DP1–DP8. Svažitosť území je jednotná (8 %). Na obr. 5 je experimentální povodí vykresleno, geometrické a hospodářské údaje obsahuje tab. 5.



Obr. 5: Schematizace odtokové plochy Verneřice 1 s agrárními valy

Obrázek 5 představuje experimentální odtokovou plochu (část povodí) o ploše 40,07 ha, rozdělenou na 8 dílčích ploch (DP) geometrizací celkové odtokové plochy. Jednotlivé dílčí plochy jsou odděleny agrárními valy průměrné šířky 5,0 m. Délky valů jsou různé, ve výpočtu odtoku byly procentuálně vyjádřeny.

Tab. 5: Schematizace povodí Verneřice 1 pro model KINFIL

Dílčí povodí DP	Plocha (ha)	Průměrný sklon (-)	Průměrná šířka (m)	Délka (m)	Využití pozemku		
					Louka (%)	Les (%)	Val (%)
DP1	2,524	0,080	335	70	90,2	3,2	6,6
DP2	4,840	0,080	383	130	91,3	4,8	3,9
DP3	2,419	0,080	426	60	87,5	3,7	8,8
DP4	4,210	0,080	462	93	93,4	0,0	6,6
DP5	5,959	0,080	496	125	96,2	0,0	3,8
DP6	8,167	0,080	534	165	87,1	9,6	3,3
DP7	7,608	0,080	525	150	85,8	12,5	1,7
DP8	4,345	0,080	475	99	91,0	3,5	5,5

Při dalším řešení odtoku z extrémních návrhových dešťů byly respektovány geometrické parametry agrárních valů, jejichž celková délka je $L = 3\,338$ m, šířka od 3,6 do 7,1 m, průměrný rozchod valů činí 94 m a úhel mezi průmětem valů a vrstevnicemi je 7° .

Schematizace povodí je dobře patrná z obr. 5 a její použití je již ověřeno na řadě případů, kdy bylo povodí vybaveno srážkovými a limnigrafickými registry (Kovář et al., 2002; Kovář, Dvořáková, Kubátová, 2006). Určitým problémem je vždy určení Manningovy drsnosti, při simulaci byly použity hodnoty doporučené z literatury (Beven, 2006), pro trvalé travní

porosty $n = 0,100$, les $n = 0,150-0,200$. U agrárních valů jsme odhadli Manningovu drsnost $n = 0,300$. Pro extrémní odtoky z návrhových dešťů při opakování $N = 20-100$ let se domníváme, že tyto drsnosti a turbulence proudění odpovídají skutečnosti. Pro simulaci odtokového procesu bez agrárních valů modelem KINFIL nebylo z důvodu poměrně krátké dráhy odtoku (tj. odtokové délky v tab. 5: 60–165 m) a homogenního sklonu svahu třeba dílčí povodí DP členit do kaskád desek.

Hlavním účelem případové studie bylo porovnání funkce agrárních valů při extrémních srážko-odtokových případech. Byla provedena modelová simulace pro všechny tyto případy doby opakování návrhových dešťů $N = 2$ až 100 let a doby jejich trvání $t_d = 10, 20, 30, 60, 90$ a 120 minut jak pro základní scénář bez agrárních valů, tak i s nimi. Proto bylo vytvořeno v GIS uspořádání dílčích ploch DP reflektující skutečnost, že každá DP má jeden ochranný biotechnický prvek v podobě agrárního valu. Jejich rozměry odpovídají reálné skutečnosti.

Řešení modelem KINFIL bylo použito pro oba scénáře (tj. bez valů i s nimi), řešeny byly infiltrace a hyetogramy efektivních dešťů a jejich transformace do finálních hydrogramů. Bylo zjištěno, že deště s dobou opakování $N = 2, 5$ a 10 let sice vyvolávají při krátké době trvání, skutečné efektivní deště, ale s výškou natolik nízkou, že povrchové odtoky z nich vytvořené jsou nevýznamné. Pro trvání delší než 20 min jsou povrchové odtoky v dobách opakování do 10 let včetně buď nulové, nebo rovněž nevýznamné. Skutečně nebezpečné deště vytvářejí povrchové odtoky až u dešťů s periodicitou $p = 0,05$ až $0,01$ ($N = 20, 50$ a 100 let) u scénářů bez agrárních valů. Ochranný účinek těchto valů je však poměrně robustní. Grafy na obr. 6 ukazují nejnebezpečnější situace, je to zvláště patrné u průtoku ze 100letých návrhových dešťů. Tabulka 6 poskytuje parametry dešťů a kulminace průtoků na ploše povodí Verneřice 1. Průtoky Q_{20} (10'), Q_{50} (10' a 20') a Q_{100} (10', 20' a 30') jsou vyznačeny jako relativně nejnebezpečnější.

II.8 Výsledky simulace parametrů vodní eroze

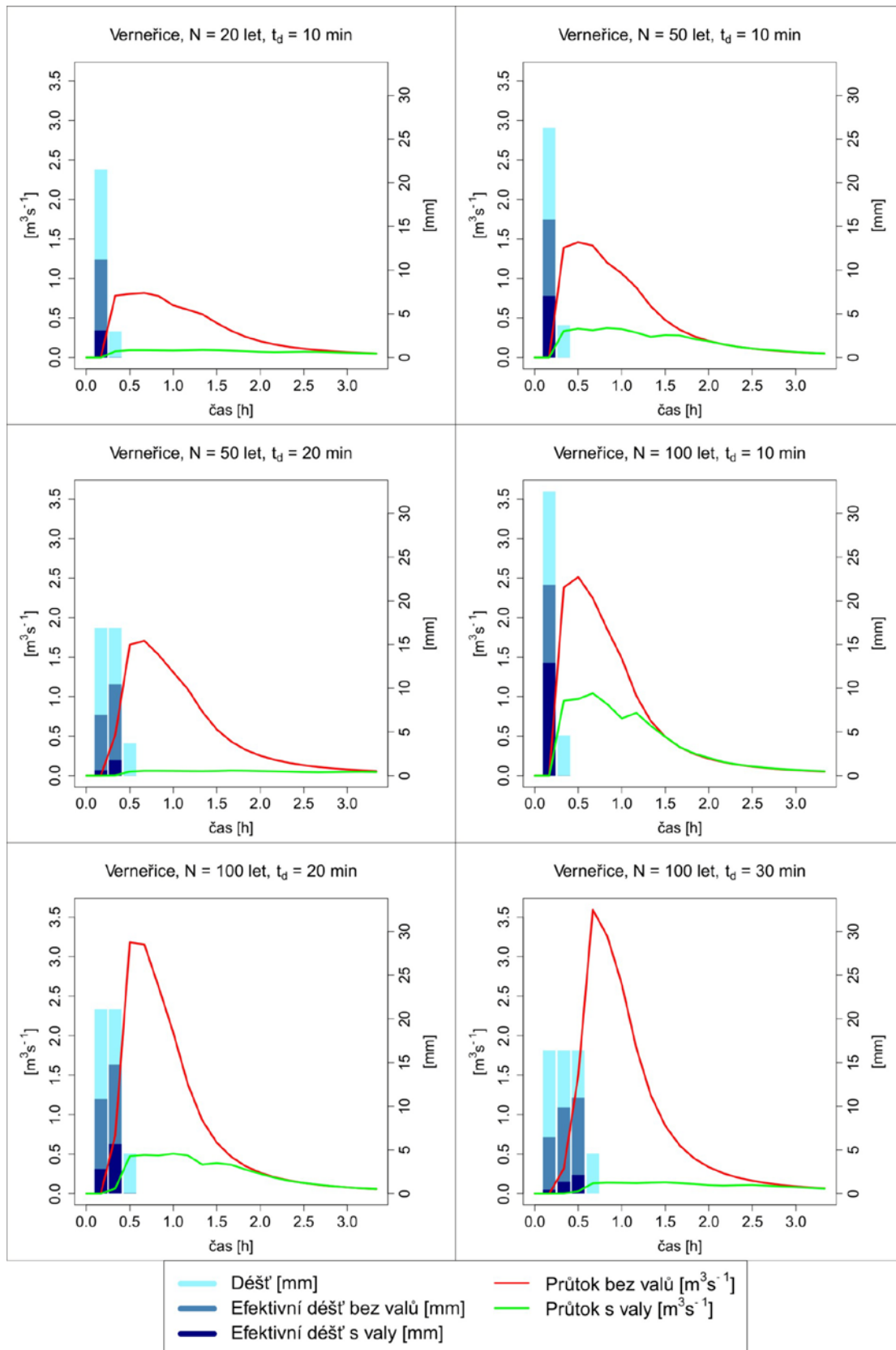
Vznik, průběh a intenzita erozního procesu je ovlivňována působením řady faktorů čistě přírodních, nebo způsobených člověkem. Tyto faktory jsou klimatické, hydrologické, morfologické, geologické a půdní, vegetační i způsob využívání pozemků. Intenzita procesu vodní eroze je výsledkem vztahu mezi erozivitou deště (jeho kinetickou energií) a erodovatelností půdy.

Pro jednoduché stanovení ohroženosti experimentálních pozemků Verneřice1 návrhovými dešti $N = 20, 50$ a 100 let, které se ukázaly být rizikové již v případě simulace povrchového odtoku, byl opět využit adaptovaný model KINFIL. Tabulka 8 poskytuje kulminační hodnoty parametrů vodní eroze na zkoumaném území, kde matematicky simulujeme jak stávající konfiguraci území s valy, tak i toto území s absencí těchto valů, jako překážek kontinuálního povrchového odtoku, a tedy i eroze. Kromě hydraulických proměnných hloubek vodního proudu h a jeho rychlostí v (obě v 2D rozměrech), řešíme ještě rozložení hodnot hydraulického tangenciálního napětí τ_0 (Pa), neboli unášecí sílu vodního proudu, která je dána vztahem:

$$\tau_0 = \rho \cdot g \cdot h \cdot J \quad (9)$$

kde ρ je hustota vody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), g zrychlení tíže ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), h hloubka proudu (m) a J sklon svahu (–).

Protože jde vesměs o pozemky porostlé trvalými travními porosty (TTP), je jejich souvislý drnový porost přirozenou ochranou půdy. Jeho účinnost posuzujeme porovnáváním hydraulického (skutečného) τ_0 s jeho kritickou hodnotou (τ_k), která je dána $\tau_k = 40-60$ Pa dle zapojení drnu (Lal, 2000).



Obr. 6: Porovnání hydrogramů odtokové plochy Verneřice 1 bez agrárních valů a s valy

Tab. 6: Hlavní parametry dešťů a kulminačních průtoků na odtokové ploše Verneřice1 bez agrárních valů a s valy

Návrhový déšť			Efektivní déšť		Kulminace povrch. odtoku	
Doba opakování	Doba trvání	Výška	bez valů	s valy	bez valů	s valy
N (roky)	t_d (min)	R (mm)	RE (mm)	REH (mm)	Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	QH ($m^3 \cdot s^{-1}$)
2	10	10,1	1,26	–	–	–
2	20	12,4	0,33	–	–	–
2	30	14,0	–	–	–	–
2	60	16,3	–	–	–	–
2	120	18,6	–	–	–	–
5	10	14,7	4,93	0,12	0,206	–
5	20	18,2	2,85	–	0,086	–
5	30	20,7	1,60	–	0,032	–
5	60	24,8	0,27	–	–	–
5	120	28,4	–	–	–	–
10	10	17,6	7,54	0,85	0,419	0,011
10	20	22,4	6,52	0,14	0,329	0,001
10	30	25,7	4,77	–	0,192	–
10	60	30,7	1,43	–	–	–
10	120	35,9	–	–	–	–
20	10	21,5	11,24	3,09	0,818	0,096
20	20	27,4	11,20	0,22	0,813	0,001
20	30	31,6	10,11	–	0,681	–
20	60	38,0	5,06	–	0,215	–
20	120	43,5	–	–	–	–
50	10	26,3	15,8	7,05	1,460	0,373
50	20	33,8	17,40	2,37	1,706	0,060
50	30	39,2	12,78	0,12	1,010	0,003
50	60	47,5	12,14	–	0,900	–
50	120	54,6	3,53	–	–	–
100	10	32,5	21,83	12,91	2,514	1,041
100	20	42,1	25,58	8,49	3,182	0,489
100	30	49,1	27,29	3,96	3,595	0,144
100	60	59,4	23,62	0,66	0,496	0,007
100	120	68,1	11,98	–	–	–

Tabulka 7 ukazuje jak pro stávající území s valy, tak i bez valů hodnoty τ_0 spolehlivě nižší, takže pro hospodářské využití pozemků TTP nebezpečí vodní eroze nehrozí. Vždy platí: $\tau_0 < \tau_k$. Toto by však v případě pěstování širokořádkových polních plodin, jak tomu bývalo v minulosti, platit nemuselo. To byl tedy i jeden z logických důvodů pro dřívější výstavbu biotechnického opatření ve formě agrárních valů.

Tab. 7: Kulminační hodnoty parametrů vodní eroze na odtokové ploše Verneřice 1 bez agrárních valů a s valy

Doba opakování	Doba trvání deště	Výška deště	Kulminační hodnoty					
			bez valů			s valy		
			Rychlost proudu	Průtoky vody	Tangenc. napětí	Rychlost proudu	Průtoky vody	Tangenc. napětí
N (roky)	t_d (min)	R (mm)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	τ_0 (Pa)	v (m/s)	Q (m ³ /s)	τ_0 (Pa)
20	10	21,5	0,14	0,818	9,0	0,04	0,096	3,2
50	10	26,3	0,18	1,460	12,7	0,06	0,373	8,4
50	20	33,8	0,19	1,706	13,9	0,03	0,060	2,6
100	10	32,5	0,22	2,514	17,6	0,15	1,041	15,3
100	20	42,1	0,24	3,182	20,2	0,08	0,489	10,0
100	30	49,1	0,26	3,595	21,7	0,05	0,144	4,7

III. Srovnání novosti postupů

Předložená metodika využívá historických útvarů vytvořených snosem kamene z okolních pozemků, tzv. **agrárních valů**, vrstevnicově uspořádaných, které mají velké přednosti v zachycování (retenci) a infiltraci vody z přívalových srážek. V dřívější době, kdy byly na zemědělských pozemcích mezi valy pěstovány plodiny, sloužily tyto valy jako překážky odtoku a zejména jako účinná opatření proti erozi půdy. Jejich infiltrační a retenční kapacita zabraňovala půdnímu smyvu. Tato současná metodika je první metodikou, která přináší analytické výsledky hydrologických a protierozních rozborů a syntetizuje opatření, která jsou při užívání pozemků s valy žádoucí (viz kap. IV.1). Ve smyslu zákona č. 130/2002 Sb. [§ 2, odst. 1, písm. a) a písm. d)] je metodikou novou, která ještě nebyla předtím zpracována.

Na základě předchozího rozboru výsledků terénního měření infiltrace a simulačních výpočtů modelem KINFIL na povodí Verneřice 1 je možno učinit následující závěry.

Agrární valy mají odlišné hydrofyzikální vlastnosti než území trvalých travních porostů mezi nimi, zejména několikanásobně vyšší intenzitu infiltrace. V důsledku příznivých infiltračních vlastností působí jako infiltrační a protierozní biotechnické opatření ke snížení povrchového odtoku. Je rovněž možné předpokládat jejich příznivý vliv na vodní režim i v období sucha.

Simulační výpočty modelem KINFIL prokázaly, že v důsledku příznivých infiltračních vlastností půd na povodí Verneřice 1 jsou výšky povrchových odtoků (efektivní deště) 2-, 5-, a 10letých dešťů zanedbatelné (viz tab. 6). U dešťů s dobou opakování $N = 20, 50$ a 100 let by již tyto deště a průtoky z nich bez ochranného účinku agrárních valů byly nebezpečné, ale valy je svou infiltrační kapacitou a hydraulickou drsností efektivně redukují. U nejnebezpečnějšího Q_{100} (10') je průtok z návrhového deště redukován valy z hodnoty $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tj. cca o 60 %).

Hydraulické proměnné charakterizující proces povrchového odtoku, tj. hloubky proudu, rychlosti a tangenciálního napětí, upozorňují, že u odtoků s dobou opakování vyšší než $N = 10$ let již valy evidentně chrání trvalý travní porost před erozí. Modelové výpočty pro alternativu bez agrárních valů i s nimi, poskytují i výsledky nevymílacích rychlostí a tangenciálních napětí na lučních porostech, v našem případě na ploše Verneřice 1, vždy odolné vůči vodní erozi. Pokud by se tyto pozemky opět změnily na ornou půdu, mohlo by to v důsledku zvýšení tangenciálních napětí ve využití půdy, nekryté trvalým travním porostem a bez dalšího ochranného opatření, přinést problémy s vodní erozí, jak již bylo upozorněno výše.

V současné době vzrůstajících hydrologických extrémů, jakými jsou přivalové srážky, je využívání agrárních valů a parcel s trvalým travním porostem mezi nimi, nepochybně pozitivním trendem, směřujícím k ochraně krajiny a jejího vodního režimu.

IV. Popis uplatnění metodiky

Metodika řeší výsledky rozboru procesu infiltrace srážek terénním měřením a simulace povrchového odtoku modelem KINFIL, jehož hydraulické půdní parametry byly odvozeny na základě tohoto podrobného měření zejména v lokalitě Verneřice 1 (okres Ústí n. L.). Proveden je rovněž rozbor účinků povrchového odtoku z extrémních (návrhových) srážek na protierozní odolnost experimentálního území. V tomto území se vyskytují tzv. agrární valy, vzniklé historickým snosem kamene z dřívějších polí s příznivými drenážními a vsakovacími schopnostmi, které do značné míry snižují povrchový odtok, a tím i vodní erozi půdy, zejména pokud jsou orientovány ve směru vrstevnic. Hydraulické vlastnosti těles agrárních valů mají příznivé infiltrační schopnosti a snižují přirozeně výšku efektivních přivalových dešťů, účastnících se tvorby povrchového odtoku se škodlivými erozními účinky.

Kvantifikace erozního účinku je dána především hodnotami tangenciálního napětí τ_0 (Pa), kdy travní porosty nekvalitně zapojené již přestávají odolávat kritickému tangenciálnímu napětí τ_0 od 15 do 30 Pa, středně zapojené od 30 do 40 Pa a dobře zapojené od 40 do 60 Pa. Jednoleté řádkové plodiny obvykle odolávají kritickému tangenciálnímu napětí od 10 do 15 Pa, z čehož pro širokořádkové plodiny platí nižší hodnota, pro úzkořádkové pak hodnota vyšší (Vrána et al., 1996). Návrat k pěstování těchto plodin mezi agrárními valy by již proto nemělo přicházet v úvahu bez další biotechnické ochrany, nebo zkrácením délky svahu vložení travních pásů či ochranných příkopů na území mezi valy.

IV.1 Hydroekologické zásady hospodaření

Hydroekologické zásady hospodaření vycházejí principiálně ze schématu na obr. 4 „Charakteristiky povodí – Management povodí“. Rámec těchto zásad je dán geomorfologií pozemků, tj. sklonem, délkou a propustností svahů pozemků, jejich využitím (land use), způsobem pěstování plodin a porostů a managementem povodí, případně managementem protipovodňovým a protierozním.

Pro optimální využití území, výběr plodin, jejich rotaci a ochranu pozemků byl v současné době (2009–2011) vypracován pro členské země EU Systém GAEC („Good Agricultural and Ecological Conditions“) dle společných zásad agrární politiky. Tento systém dbá o zajištění podmínek „dobrého“ zemědělského a environmentálního stavu pro zemědělské a lesnické hospodaření ve shodě s ochranou životního prostředí. Podmínky GAEC jsou definovány pro členské státy EU na základě rámce stanoveného v příloze č. III nařízení Rady (ES) č. 73/2009, který obsahuje pět následujících tematických okruhů:

- 1) Eroze půdy (GAEC1 a 2),
- 2) Organické složky půdy (GAEC3 a 4),
- 3) Struktura půdy (GAEC5),
- 4) Minimální úroveň péče (GAEC6, 7, 8 a 9),
- 5) Ochrana vody a hospodaření s ní (GAEC10 a 11).

Pro experimentální území Verneřice 1 je nutno uplatňovat především zásady okruhů 1 (Eroze půdy), 4 (Minimální úroveň péče) a 5 (Ochrana vody a hospodaření s ní). Okruhy vymezené pro protierozní ochranu půdy (GAEC1 a 2) budou vyžadovat pro silně erozně ohrožená území přednostně trvalé travní porosty. Vymezení erozně ohrožených ploch bude uvedeno v evidenci uživatelských vztahů k pozemkům (LPIS), kde si bude moci každý uživatel zkontrolovat, zda se ho tato podmínka týká, či nikoliv.

Pro území s agrárními valy obecně a pro plochu Verneřice 1 specificky bude velice důležité dodržení požadavků pro minimální úroveň péče, zvláště pak podle GAEC6 o krajinných prvcích. Tyto prvky se podílejí na rozhodování o agrobiodiverzitě, mají významnou protierozní funkci, jsou nedílnou součástí krajiny, člení ji a spoluvytvářejí její ráz. Jako krajinný prvek bude v LPIS evidován útvar, který odpovídá definici ustanovené Nařízením vlády ČR č. 335/2009 Sb. o stanovení druhů krajinných prvků (v platném znění), tedy i agrárních valů. Nepovolené kácení dřevinné vegetace agrárního valu je již v současné době posuzováno jako porušení krajinného prvku.

GAEC7 uvádí standard zabránění šíření nežádoucích invazních rostlin na zemědělskou půdu (zvláště pak *netýkavky žláznaté* a *bolševníku velkolepého*). GAEC8 vyžaduje ochranu travních porostů v souvislosti se zachováním poměru stálých pastvin vůči zemědělské půdě. Citace vysvětlení působnosti tohoto standardu je v naprostém souladu s ochranou a údržbou agrárních valů: „*Travní porosty chrání půdu proti erozi, příznivě ovlivňují množství a kvalitu povrchové i podzemní vody, napomáhají zadržování srážek a zpomalení jejich odtoku, akumulují půdní organickou hmotu a mají velký význam v ochraně biodiverzity*“.

Obdobně GAEC9 vyžaduje pravidelnou seč nebo spásání travních porostů tak, aby po 31. říjnu každého roku nedosahovala výše TTP přes 30 cm, což opět potvrzuje nutnost jejich řádné údržby a podporu i jejich mimoprodukční funkce. To vyžaduje i zákon č. 114/1992 Sb. ochraně přírody a krajiny, v platném znění a nařízení vlády č. 79/2007 Sb. o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření. Standard GAEC10 upřesňující podmínky závlah nebude v případě péče o agrární valy aktuální, nicméně GAEC11 o zákazu aplikace hnojení a podmínkách hnojení při zabránění kontaminace podpovrchových vod musí být přísně dodržován v duchu zákona č. 254/2001 Sb. o vodách a nařízení vlády č. 103/2003 Sb. o stanovení zranitelných oblastí.

V. Ekonomické aspekty

Náklady zavedení postupu výpočtu N -letých povodňových průtoků Q_N jsou součástí hydrologických podkladů, žádaných od ČHMÚ, nebo u malých povodí (odtokových ploch) se dají určit ze softwarových příloh projektu DES_RAIN a KINFIL (přístupné na <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software.html>). Údaje od ČHMÚ představují datový soubor, obsahující průměrné dlouhodobé hodnoty ročních srážek, průtoků, plochy povodí a jeho hlavních charakteristik, m -denních průtoků a N -letých průtoků. Tento soubor je třeba jako minimální rozsah údajů pro výpočet N -letých povodňových vln. Cena tohoto souboru je do 5 tisíc Kč.

Software DES_RAIN (návrhové deště) a KINFIL (matematický model povodňových odtoků) je zdarma a je k dispozici na web-stránkách ČZU (viz výše). Tento provozní „náklad“ je výsledkem metodiky a uživatel může ušetřit i mnohonásobek finančních prostředků robustním omezením povodňových a erozních škod. Pokud bude třeba seznámení se s teorií programu, autoři metodiky jsou ochotni pořádat semináře za režijní ceny.

VI. Seznam použité související literatury

Beven, K. J. (2006): *Rainfall-Runoff Modelling. The Primer*. John Wiley & Sons, Chichester, ISBN 13-978-0471-98553-2, 360 s.

Cílek V. (2010): *Krajiny vnitřní a vnější. Druhé doplněné vydání*. Nakl. Dokořán 2010. ISBN 80-7363-042-7, 272 s.

Černý, E. (1973): *Metodika průzkumu zaniklých středověkých osad a plužin na Drahanské vrchovině*. Zprávy čs. společnosti archeologické při Čs. akademii věd XV.

- Hrádek, F., Kovář, P. (1994): Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů. *Vodní hospodářství* 11, s. 49–53.
- Kovář, P. (1992): Možnosti určování návrhových průtoků na malých povodích modelem KINFIL. *Vodohospodářský časopis* 40(2), s. 197–220.
- Kovář, P., Cudlín, P., Heřman, M., Zemek, F., Korytář, M. (2002): Analysis of Flood Events on Small River Catchments using the KINFIL Model. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 50(2), s. 157–171.
- Kovář, P., Dvořáková, Š., Kubátová, E. (2006): Possibilities of the Using the Direct Runoff Model KINFIL for a Road Network Design. *Soil and Water Research* 1(2), s. 49–56.
- Kovář, P., Štibinger, J. (2009): *Terénní experimentální průzkum na vybraných územích s agrárními valy*. Aktivita č. A09/09 (Zpráva za rok 2009, grantu Mze ČR č. QH 82126/2008), ČZU v Praze, FŽP KBÚK ČR.
- Kutílek, M., Nielsen, D. R. (1994): *Soil hydrology. Geo-ecology textbook*. Cremlingen Destedt, Catena Verlag, ISBN 3-923381-26-3, s. 98–102.
- Lal, R. (2000): *Integrated Watershed Management in the Global Ecosystem*. Publ.CRC, ISBN 0-8493-0702-3/00, 395 s.
- Langlois, J. P., Fahrig, L., Merriam, G., Artsob, H. (2001): Landscape structure influences continental distribution of hantavirus in deer mice. *Landscape Ecology* 16, s. 255–266.
- Lax, P. D., Wendroff, B. (1960): Systems of conservation laws. *Commun. Pure Appl Math.* 13(2), s. 217–237.
- Löw, J., Míchal, I. (2003): *Krajinný ráz*. Lesnická práce, Kostelec n. Černými Lesy.
- Machová, I., Elznicová, J. (2009): Identifikace změn rozšíření agrárních valů. Sborník konference MU Brno *Geosférické aspekty středoevropského prostoru*, ISBN 978-80-210-4947-5, s. 13.
- Machová, I., Elznicová, J. (2010): Identifikace změn rozšíření agrárních valů. *Studia Oecologica* 4(4), s. 10.
- Marshall, E. J. P., Moonen, A. C. (2002): Field margins in Northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89, s. 5–21.
- Marquardt, D. W. (1963): An algorithm for least square estimation of nonlinear parameters. *Journal of Society of Industrial Applied Mathematics* 11, s. 431–441.
- Mérot, P. (1999): The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in a temperate climate. *Agronomie* 19, s. 655–669.
- Molnárová, K., Šímová, P., Kotaška, J., Ešnerová, J., Škvárová, Š. (2008): Hedgerow-defined medieval field patterns in the Czech Republic: a case study of the dendrological and dendrochronological structure of hedgerows of varying ages in Northern Moravia. *Journal of Landscape Studies* 1, s. 145–158.
- Morel-Seytoux, H. J. (1982): Analytical results for predictions of variable rainfall infiltration. *Journal of Hydrology* 59, s. 209–230.
- Philip, J. R. (1957): Numerical solution of equations of the diffusion type with diffusivity concentration-dependent. II. *Australian Journals of Physics* 10, s. 29–42.
- Sklenička, P., Molnárová, K., Brabec, E., Kumble, P., Pittnerová, B., Pixová, K., Šálek, M. (2009): Remnants of medieval field patterns in the Czech Republic: Analysis of driving

forces behind their disappearance with special attention to the role of hedgerows. *Agriculture Ecosystems & Environment* 129, s. 465–473.

Štibinger, J. (2011): Infiltrační schopnosti agrárních valů. *Stavební obzor* 2, s. 78-83.

Vrána, K. et al., (1996): *Krajinné inženýrství, TK 13 ČKAIT*, Praha, 198 s.

VII. Seznam vlastních publikací předcházejících metodice

J_{rec} Štibinger, J., 2011: *Infiltrační schopnosti agrárních valů*. *Stavební obzor* 2, s. 78–83.

J_{rec} Kovář, P., Vaššová, D., Hrabalíková, M., 2011: *Snižování povodňových a erozních účinků povrchového odtoku agrárními valy v krajině*. *Stavební obzor* 10, 2011 roč. 20, s. 309–314.

J_{neimp} Kovář, P., Vaššová, D., Hrabalíková, M., 2011: *Mitigation of Surface Runoff and Erosion Impacts on Catchment by Stone Hedgerows*. *Soil and Water Research*, Vol. 6, No. 4, s. 153–164.

N Kovář, P., Štibinger, J., Hrabalíková, M., Vaššová, D., 2011: Soubor účelových map k metodice hospodářského využití pozemků s agrárními valy pro vytváření vhodného vodního režimu a pro snižování povodňového a erozního nebezpečí. <http://fzp.czu.cz/vyzkum/maps.html>.

S Štibinger, J., Kovář, P., Křovák, F., 2011: *Hodnocení variant agrárních valů*. <http://fzp.czu.cz/vyzkum/software>.