

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta životního prostředí**

Katedra biotechnických úprav krajiny



**HYDROLOGICKÁ STUDIE ZMÍRNĚNÍ DŮSLEDKŮ POVRCHOVÉHO ODTOKU A  
EROZE AGRÁRNÍMI VALY**

Diplomová práce

---

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Kovář, DrSc.

Odborný konzultant: doc. Ing. Jakub Štibinger, CSc.

Autor práce: Ing. Markéta Štancíková

Praha, 2014

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra biotechnických úprav krajiny

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Štancíková Markéta

Voda v krajině

Název práce

**Hydrologická studie zmírnění důsledků povrchového odtoku a eroze agrárními valy**

Anglický název

**Hydrological study on surface runoff and erosion mitigation by stone hedgerows**

---

### Cíle práce

Cílem práce je kvantifikovat efekt prospěšnosti zachování historických 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.

### Metodika

Na základě zadání vypracuje diplomantka studii, která prokáže míru snížení povrchového odtoku po svahu, kde byly v minulosti založeny historické agrární valy, vytvořené snosem kamene z přilehlých polí. Nejde jen o geomorfologickou překážku v trase povrchového odtoku, ale také o zvýšenou infiltraci a retenci srážkových vod. Cílem této metodiky je infiltrační měření na valech i mimo ně, implementace odtokového modelu KINFIL s výslednými hydrogramy vyvolanými návrhovými dešti (model DES\_RAIN) a závěrečné porovnání protipovodňové a protierozní účinnosti a agrárních valů. Studie bude vypracována na dílčím povodí katastru Verneřice, návrhové deště budou použity pro stanici Teplice nebo Ústí n. L.

### Harmonogram zpracování

06/2014 - 08/2014 Studium dostupné literatury a vypracování rešerše

08/2013 - 10/2014 Sběr a zpracování dat

10/2014 - 11/2014 Implementace modelů KINFIL a DES\_RAIN

11/2014 - 12/2014 Zpracování výstupů a grafická interpretace

12/2014 Zhodnocení výsledků a závěr

## **Rozsah textové části**

Minimální rozsah textu 40 stran A4, dále tabulky, grafy a fotografie, seznam použité literatury.

## **Klíčová slova**

Návrhové deště, infiltrace srážek, kinematická vlna, agrární valy, protipovodňové a protierozní opatření

---

## **Doporučené zdroje informací**

Beven, K.J. (2006): Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. John Wiley & sons, Chichester.

Cílek, V. (2010): Krajiny vnitřní a vnější. Druhé doplněné vydání. Nakladatelství Dokořán, Praha.

Kovář, P. et al. (2002): Analysis of Flood Events on Small River Catchments using the KINFIL Model. Journal of Hydrology and Hydrmechanics SAV Bratislava. 2/2002, s. 157-171.

Machová, I. et Elznicová, J. (2010): Identifikace změn rozšíření agrárních valů. Studia Oecologica. 4/2010, s. 10.

Molnárová, K. et al. (2008): Hedgerow-defined medieval field patterns in the Czech Republic: a case study of the dendrological and dendrochronological structure od hedgerows of varying ages in Northern Moravia. Journal of landscape Studies. 1/2008, s. 145-158.

Sklenička, P. et al. (2009): Remnants of medieval field patterns in the Czech Republic: Anylysis of driving forces behind their disappearance with special attention to role of hedgerows. Agriculture Ecosystems & Environment. 129-2009, s. 465-473.

Štibinger, J. (2011): Infiltrační schopnosti agrárních valů. Stavební obzor. 20/2011, s. 78-83.

---

## **Vedoucí práce**

Kovář Pavel, prof. Ing., DrSc.

## **Konzultant práce**

doc. Ing. Jakub Štibinger. CSc.

---

Elektronicky schváleno dne 16.6.2014

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 16.6.2014

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan fakulty

---

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením prof. Ing. Pavla Kováře, DrSc. Veškeré použité literární, elektronické a internetové zdroje jsem uvedla v seznamu použité literatury a řádně je v textu citovala.

Markéta Štancíková

V Praze, 5.12.2014

.....

#### Poděkování:

Ráda bych tímto poděkovala prof. Ing. Pavlu Kovářovi, DrSc. za vedení práce, rady, které mi poskytl, čas, který mi věnoval, a veškerou pomoc. Dále děkuji všem členům Katedry biotechnických úprav krajiny FŽP ČZU, především doc. Ing. Jakubu Štibingerovi, CSc., jejichž práce pro mě byla velikým přínosem.

---

## ABSTRAKT:

Diplomová práce se věnuje problematice tzv. „agrárních valů“ z hlediska jejich protipovodňové a protierozní funkce v krajině. Problematika agrárních valů byla nastíněna v rozsáhlé rešerši, která se věnuje jednak historickému pozadí vzniku agrárních valů, jejich skladbě a původní funkci. Dále je v rešerši uveden krátký popis využití numerického modelování pro účely popisu srážko-odtokových procesů v krajině. Ověření a vyhodnocení funkce agrárních valů bylo provedeno pomocí numerického modelu KINFIL. Za tímto účelem byla zvolena jedna modelová lokalita, tato lokalita byla popsána, geometricky a hydrologicky vyhodnocena a následně na ní byl aplikován model KINFIL. Výsledky modelu byly následně tabelárně a graficky vyhodnoceny. Výsledky práce byly poté vyhodnoceny v kapitolách Výsledky, Diskuse a Závěr.

## KLÍČOVÁ SLOVA:

Návrhové deště, infiltrace srážek, kinematická vlna, agrární valy, protipovodňové a protierozní opatření

## ABSTRACT:

This thesis deals with so-called "stone hedgerows" in terms of flood and erosion mitigation function in the landscape. The issue of stone hedgerows was described in the research which focuses the historical background of the agrarian walls, its composition and original function. The research contains short description of the use of numerical modeling for the describing the rainfall-runoff processes in the landscape. Verification and evaluation functions of stone hedgerows were made by using a numerical model KINFIL. For this purpose was chosen one location, this location was described geometrically and hydrologically and the model KINFIL was applied there. The model results were tabulated and graphically evaluated. The results were then evaluated in chapters Results, Discussion and Conclusion.

## KEYWORDS:

Design of rain, infiltration of precipitation, kinematic wave, stone hedgerows, flood and erosion control

## Obsah

A. TEORETICKÁ ČÁST .....	7
1. ÚVOD .....	8
1.1 Cíle práce .....	9
1.2 Metodika .....	10
2. AGRÁRNÍ VALY .....	11
2.1 Historické pozadí vzniku agrárních valů .....	11
2.2 Funkce v krajině .....	12
3. MODELOVÁNÍ HYDROLOGICKÝCH PROCESŮ .....	14
3.1 Nejčastěji využívané srážko-odtokové modely .....	14
3.2 Kinfil .....	16
3.3 Metoda čísel odtokových křivek .....	19
4. MĚŘENÍ INFILTRACE .....	21
4.1 DVOUVÁLCOVÁ METODA .....	21
4.2 Metodika měření infiltrace dvouvalcovou metodou .....	23
4.3 Teorie nenasycené nestacionární infiltrace .....	23
5. ŘEŠENÉ ÚZEMÍ .....	29
5.1 Klimatické poměry .....	29
5.2 Geologické poměry .....	30
5.3 Pedologické poměry .....	31
5.4 Geomorfologické členění .....	31
5.5 Biogeografické členění .....	32
5.6 Přírodní podmínky .....	32
5.7 Hydrologické a vodohospodářské poměry .....	32
B. VÝPOČETNÍ ČÁST .....	34
6. VSTUPNÍ DATA .....	35
6.1 Geometrizace lokality .....	35
6.2 Infiltrační a půdní charakteristiky .....	35
6.3 Návrhové srážky .....	36
6.4 Manningova drsnost .....	37
7. VÝPOČTY MODELEM KINFIL .....	38
7.1 Výpočty odtokové výšky modelem INFIL .....	38
7.2 Výpočty návrhových průtoků modelem KINFIL .....	39
8. VÝSLEDKY .....	41
9. DISKUSE .....	42
10. ZÁVĚR .....	43



## A. TEORETICKÁ ČÁST



---

## 1. ÚVOD

Dnešní doba se nese ve znamení klimatických extrémů. Často slyšíme o přírodních katastrofách po celém světě a ani Česku se tento fenomén nevyhýbá. Na našem území nejčastěji pozorujeme extrémní deště, které mívají čím dál častěji za následek povodně. Povodňový kolotoč v podstatě započal v roce 1997, kdy zasáhla devastující povodeň Moravu. V roce 2002 se povodeň opakovala tentokrát v Čechách a drtivě zasáhla Prahu. V roce 2010 následovaly bleskové povodně v severních Čechách a naposledy v roce 2013 povodně ve Středních Čechách.

Současně se dnes klade velký důraz na ochranu přírody a krajiny a obnovu krajinného rázu. V horských oblastech České republiky nalezneme pozůstatky činnosti našich předků, které utvářely charakteristický ráz krajiny. Tyto prvky krajiny tvořily například terasy či agrární valy. A přestože původně takovéto prvky krajiny neměly charakter protipovodňového a protierozního opatření, dnes můžeme zpětně práci našich předků využít a poučit se z ní.

---

## 1.1 Cíle práce

Cílem práce je popsat funkce a agrárních valů z kvantitativního i kvalitativního hlediska, charakterizovat problematiku agrárních valů, jejich historický a současný význam. Nabídnout možnosti modelování hydrologických systémů a pomocí jednoho z možných numerických modelů vytvořit simulaci odtoku a vyhodnotit velikost přímého odtoku v situaci bez agrárních valů a s agrárními valy.

---

## 1.2 Metodika

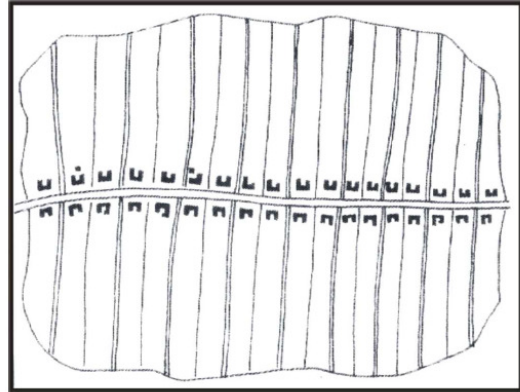
V první etapě vypracování studie proběhne sumarizace teoretických poznatků o vzniku, funkci a využití agrárních valů od doby jejich vzniku po současnost. Dalším krokem bude popis možností numerických simulací srážko-odtokových procesů včetně popisu běžného postupu měření infiltrace a využití metody CN křivek k popisu hydrologických procesů. K aplikaci modelu KINFIL bude vybrána jedna z modelových lokalit, která bude podrobně popsána.

Praktická výpočetní část studie bude založena na přípravě vstupních dat. Mezi tato data patří návrhové deště, půdní charakteristiky lokality atp. Poté bude provedena simulace modelem KINFIL ve dvou krocích: výpočet infiltrace a transformace odtoku. Výsledky modelu budou graficky a tabelárně zpracovány.

## 2. AGRÁRNÍ VALY

### 2.1 Historické pozadí vzniku agrárních valů

Agrární valy jsou jednoduché podélné stavby, vzniklé snosem kamene z polí, které se na území České republiky vyskytují především v příhraničních oblastech. Ve svažitém terénu sloužily jako protierozní terasa, v rovinné krajině jako meze, určující většinou hranice pozemků. Jejich historie sahá až do pozdního středověku, kdy byly kolonizovány podhorské oblasti (Kovář et al., 2011a; Molnárová, 2008). Osídlování těchto území probíhalo na přelomu 12. a 13. století a je typické odlesňováním krajiny. Člověk začal pronikat do neobydlených oblastí, kde si



vytvářel vhodnější podmínky k životu. Což znamená, že se zvětšovaly plochy zemědělsky

**Obrázek 2.1: Plužina typická pro období osídlování podhorských oblastí v pozdním středověku (zdroj: Molnárová, 2008a)**

obdělávané půdy na úkor lesních pozemků. V té době fungovalo uspořádání osad a obcí známé pod názvem lesní lánové vsi, jež se vyznačovaly pásovou plužinou. Plužiny byly typickým obrázkem podhorské krajiny až do 40. let 20. století (obr. 2.1). Po roce 1968 probíhalo rozsáhlé scelování pozemků, které nadobro změnilo ráz krajiny a dodnes zůstaly zachovány pouze fragmenty tohoto typického uspořádání (Elznicová et Machová, 2011).

Pozvolná přeměna krajiny vlivem antropogenní činnosti se netýká pouze vzniku agrárních valů. V krajině můžeme pozorovat i další prvky, patří mezi ně např. terasy a stupně, které mají stejný původ jako agrární valy; vznikly tzv. antropogenními geomorfologickými procesy. Postup snosu kamene se nazývá agradace a jedná se o přímý antropogenní geomorfologický proces (Riezner, 2007).

Obecně lze agrární valy rozpoznat podle převládání parametru délky, běžně se vyskytují na lokalitách s mírným sklonem. Nejčastěji se objevují valy s rozměry od 0,3 m do 2,0 výšky a 2,0 - 7,0 m šířky. Původně měly tyto valy ohraničovat jednotlivá pole, nebo tvořily ohrady pro chov dobytka. Protierozní ochrana byla pouze dalším efektem vzniku valů na svažitých pozemcích. Tomu nasvědčuje i to, že valy nevznikaly pouze ve směru

vrstevnic, ale i kolmo na vrstevnice, kdy je ochrana proti vodní erozi prakticky nulová (Kovář et al., 2011a).

Na území České republiky můžeme nalézt dva typy agrárních valů. Jedná se o volně vršený val s oblým profilem, nebo o agrární val rovnaný (Obr. 2.2 a 2.3). V řešeném území Verneřic se setkáme častěji s prvním typem, druhý typ je charakteristický např. pro oblast Jesenicka (Riezner, 2007).

Hojně se vyskytující valy tvořily v krajině jakousi síť a staly se neodmyslitelnou součástí krajiny a charakteristickým krajinným prvkem. Tyto sítě zůstaly dodnes v některých oblastech republiky zachovány i přesto, že pozemky ztratily původní funkci a jsou nejčastěji nahrazeny trvalými travními porosty (Elznicová et Machová, 2011).



**Obrázek 2.2:** Volně vršený val na Verneřicku (zdroj: fzp.ujep.cz, 2013)



**Obrázek 2.3:** Rovnaný agrární val na Jesenicku (zdroj: Riezner, 2007)

## 2.2 Funkce v krajině

Vzhled a význam agrárních valů, stejně jako podobných krajinných prvků, závisí nejen na způsobu využití půdy, ale i na antropogenních podmínkách a původu.

V oblastech, kde se vyskytovalo velké množství agrárních valů, formovaly tyto prvky



**Obrázek 2.4:** Pohled na jižní svah vrchu Oblík - České středohoří (zdroj: fzp.ujep.cz, 2013)

prostředí tak výrazně, až nadobro pozměnily jeho původní vzhled a staly se charakteristickým rysem krajiny (Molnárová, 2008a). Typický ráz krajiny ovlivněný agrárními valy prezentuje Obr. 2.4. Funkce agrárních valů v krajině má bezpočet podob. Od původně zamýšleného ohraničení pozemků, přes využití při chovu hospodářských zvířat, produkci dřeva či protierozní ochranu až po funkci zvyšování biodiverzity a estetických hodnot území (Molárová, 2008a).

### 2.2.1 Protipovodňová a protierozní funkce

Z hydrologického hlediska mají agrární valy značnou stabilizační funkci ve směru povrchového odtoku. Z technického hlediska lze valy chápat jako typ biotechnického opatření. Valy mají přímo ideální vsakovací a drenážní vlastnosti pro snižování eroze a omezení povodňových dopadů povrchového odtoku. Pro jejich správnou funkci je podmíněna orientace valu po vrstevnici. Valy, které byly vršeny po spádnicí, plnily sice funkci hraniční, ale protierozní význam je minimální. Protipovodňová a protierozní funkce vhodně orientovaných valů je neoddiskutovatelná, otázkou však zůstává, jak velkou efektivitu mají agrární valy v omezování zmíněných procesů (Kovář et al., 2011a; 2011b). Odpovědí by měla být aplikace modelu KINFIL na vzorové lokalitě Verneřice.

### 2.2.2 Ekologická funkce

Struktura krajiny je určující faktor pro míru biodiverzity a rozmanitosti druhů. Agrární valy svou existencí podporují přirozený vývoj krajiny v čase a prostoru. Zmírňují též dopad zemědělské činnosti na ekosystémy a rostlinná i živočišná společenstva (Kovář et al., 2011b; Machová et Elznicová, 2010).

Z typické flory najdeme v oblasti Krušných hor a Českého středohoří v okolí agrárních valů nejčastěji Jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), mezi další běžné druhy stromů a keřů patří: Javor klen (*Acer pseudoplatanus*), Lípa srdčitá (*Tilia cordata*), Javor babyka (*Acer campestre*) a Habr obecný (*Carpinus betulus*). Z bylin najdeme nejčastěji Netýkavku málokvětou (*Impatiens parviflora*) a Kakost smrdutý (*Geranium robertianum*) (Machová et Elznicová, 2010).



### 3. MODELOVÁNÍ HYDROLOGICKÝCH PROCESŮ

Modelování hydrologických procesů v tak rozsáhlé míře, jak je známe dnes, je sice otázkou posledních desetiletí, ovšem jejich historie je mnohem delší. Základní kámen matematického modelování byl položen již kolem roku 1850, kdy byla popsána racionální metoda. Roku 1932 následovala teorie jednotkového hydrogramu a vývoj gradoval s rozvojem počítačových technologií v 80. letech minulého století (Beven, 1989).

Model srážko-odtokového procesu je obecně kvantitativní vztah mezi vstupem a výstupem do a ze systému, resp. vztah mezi vstupními a výstupními daty. Systém, v jehož rámci simulace probíhá, je souhrn fyzikálních procesů, které působí na vstupní veličiny a svým vlivem je transformují na veličiny výstupní (Jeníček, 2005).

#### 3.1 Nejčastěji využívané srážko-odtokové modely

V důsledku rozvoje matematického modelování vzniklo, či vzniká, nepřehledné množství modelů, jejichž využití se od sebe navzájem liší. Jednotlivé modely jsou často vyvíjeny pro určitou oblast působení, konkrétní přírodní podmínky a využití. Často mají rozdílné nároky na vstupní data právě v závislosti na své specializaci (Bedient, Huber et Vieux, 2008). Obecně ale můžeme uvést základní vstupní data pro modely srážko-odtokových procesů: hydrografická data, geologie a hydrogeologie, vegetační pokryv, půdní charakteristiky a hydrologické a klimatické údaje. Nejčastěji využívané srážko-odtokové modely jsou uvedeny v následujících kapitolách.

##### 3.1.1 MIKE SHE

V roce 1977 byl vyvinut tzv. Système Hydrologique Européen (zkráceně SHE), na němž se podílelo konsorcium tří evropských organizací. Jedná se o Institute of Hydrology ve Spojeném Království, SOGREAH ve Francii a Danish Hydraulic Institute v Dánsku (dnes DHI). Systém SHE vychází ze schématu pro modelování hydrologického cyklu, jehož zakladatelem byl M. Abbott (1967) a jeho pokračovateli byli Freeze a Harlan v roce 1969. Vychází z něj model dánské společnosti DHI nazvaný MIKE SHE. Jeho základy byly položeny v 80. letech 20. století a nadále dochází k jeho rozvoji (Graham et Butts, 2005).



Model MIKE SHE je koncepční distribuovaný či semi-distribuovaný srážko-odtokový model. Má široké pole využití při simulaci podzemních vod i povrchových vod, dokáže integrovat širokou škálu hydrologických procesů tak, jak to svede jen málokterý nástroj (Refsgaard et Storm, 1994; Graham et Butts, 2005).

### 3.1.2 HEC HMS

HEC-HMS, Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Model System, je vývojovým softwarem US Army Corps of Engineers. Jedná se o základní srážko-odtokový model, který navazuje na vůbec jeden z prvních modelů HEC-1, který se začal vyvíjet v 60. letech minulého století (Schaffenberg et Fleming, 2010).

Jedná se o celistvý lumped model, který je vhodný k simulaci srážkových a odtokových procesů. Je sestaven tak, aby jeho využití bylo univerzální, a to jak z hlediska geografických podmínek, tak i nároků a požadavků na oblast využití (od velkých povodí, přes povodňové simulace, až po využití v městském prostředí) (Schaffenberg et Fleming, 2010).

Jeníček (2005) zařazuje mezi hlavní komponenty modelu:

- Komponenta pro výpočet odtoku
- Komponenta přímého odtoku
- Komponenta podzemního odtoku
- Komponenta korytového odtoku

### 3.1.3 SACRAMENTO

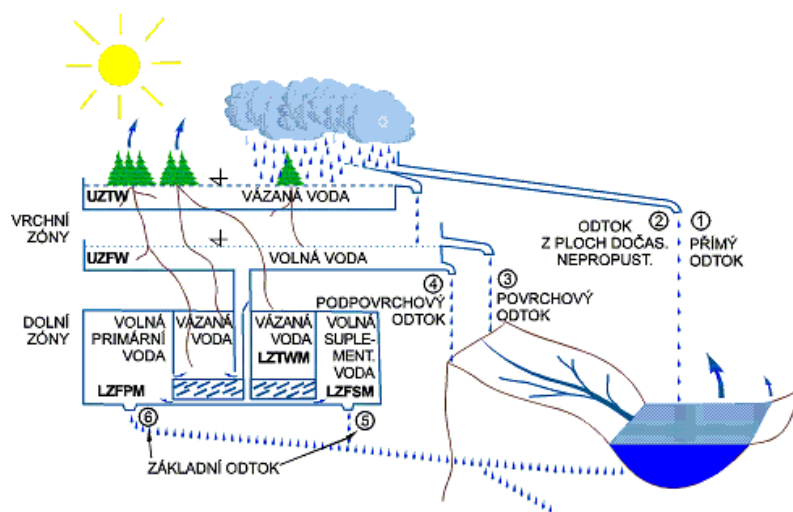
Sacramento, čili Sacramento-Soil Moisture Accounting (SAC-SMA), je srážko-odtokový model, který byl vyvíjen národní meteorologickou službou NWS (National Weather Service) ve Spojených státech od 70. let minulého století (Jeníček, 2005).

V České republice využívá tento model ČHMÚ v rámci předpovědního systému Aqualog (Zezulák, 1985) využívaného k operativním predikcím na povodích Labe a Vltavy (ČHMÚ, 2013).

Hlavní komponenty modelu jsou:

- Evapotranspirace
- Kapilárně vázaná voda
- Volná voda
- Povrchový odtok
- Horizontální odtok
- Vertikální odtok

Model se dělí na dvě zóny, spodní a horní. Obě obsahují volnou i vázanou vodu, a pokud se obě zóny naplní, nastává povrchový odtok (Smith et al, 2000).



Obrázek 3.1: Schéma systému Aqualog, jehož základem je model Sacramento (zdroj: www.chmi.cz, 2014)

### 3.1.4 KINFIL

Jedná se o srážko-odtokový model kinematické vlny. Vzhledem k tomu, že jde o nástroj, jímž bude simulována praktická část, je mu věnována celá následující kapitola.

## 3.2 Kinfil

Tento srážko-odtokový model se využívá pro rekonstrukci srážko-odtokových procesů v zemědělsky využívaných oblastech. Model má výraznou přesnost při implementaci např. na odlesněných plochách (Mardookhpour, 2012). Je spolehlivý při simulování historických povodňových událostí a modelaci povrchového odtoku

způsobujícího erozní procesy (Kovář, 2011). KINFIL je komplexní model využívající korespondenci transformace kinematické vlny fyziografickými parametry a shodu mezi CN metodou a vlastnostmi prostředí.

Základem modelu je určení dvou parametrů: hydraulická vodivost  $K_s$  a sorptivita  $S_f$ . Na malých povodích se parametry určují měřením, na velkých plochách se využívá metoda CN křivek (Curve Number Method), která nahrazuje fyzikální základ infiltrace empirickým, ale racionálním přístupem (Mardookhpour, 2012). Vazba mezi CN hodnotami a parametry prostředí, byla odvozena korelací těchto parametrů s navrženými srážkami. Indexové hodnoty CN se shodují s hodnotami půdních veličin, tedy  $CN=f(K_s, S_f)$ . Infiltrační část modelu je založena na Morel-Seytouxových rovnicích, jejich základem je koncept Green-Ampta. Morel-Seytouxovy rovnice zavádí koncepci výtopy a rozlišují se dle členění na konstantní a variabilní srážky (Kovář, 2011; Mardookhpour, 2012). Někteří autoři ovšem vyjadřují názor, že je diskutabilní, zda je Green-Amptova aproximace adekvátní pro infiltrační procesy na zalesněných horských lokalitách. Je důležité zmínit, že infiltrační část má dva parametry ( $K$  a  $S$ ) striktně závislé na hodnotách CN, které se nemění během kalibrace. Nicméně, každá oblast má vlastní hodnoty CN, které charakterizují srážkové podmínky. Obecně tedy můžeme model KINFIL popsat tak, že využívá Green-Amptovu aproximaci s metodou NRCS CN (Natural Resources Conservation Service Curve Number) založenou na Morel-Seytouxově přístupu. (Kovář, 2011; Mardookhpour, 2012):

$$K_s \left( \frac{z_f + H_f}{z_f} \right) = (\theta_s - \theta_i) \frac{dz_f}{dt} \quad (3.1)$$

$$S_f = (\theta_s - \theta_i) \cdot H_f \quad (3.2)$$

$$t_p = \frac{S_f}{i \cdot \left( \frac{i}{K_s} - 1 \right)} \quad (3.3)$$

Kde  $K_s$  je nasycená hydraulická vodivost (m/s),  $z_f$  hloubka infiltrační fronty (m),  $\theta_s$  nasycená hydraulická půdní vlhkost (-),  $\theta_i$  počáteční půdní vlhkost (-),  $H_f$  sací tlak pod infiltrační frontou (m),  $i$  intenzita deště (m/s),  $S_f$  retenční součinitel sacího tlaku (m),  $t_p$  doba výtopy (s),  $t$  čas (s) (Kovář, 2011).

Druhou základní komponentou modelu je simulace odtokového procesu, jinými slovy propagace a transformace přímého odtoku. Tento proces navazuje na aproximaci

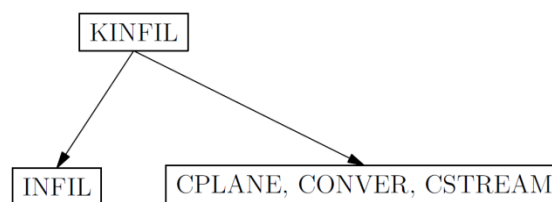
kinematické vlny (St. Venantovy rovnice). Rovnice představuje kinematickou vlnu popsanou neustálým prouděním na ploše s rozdílnými topografickými charakteristikami.

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i_e(t) \dots + \left( \frac{\alpha y^m}{L-x} \right) \quad (3.4)$$

Zde  $q$  je průtok na jednotkovou šíři svahu ( $m^2/s$ ),  $i_e(t)$  intenzita efektivního deště ( $m/s$ ),  $\alpha$  a  $m$  hydraulické parametry,  $L$  poloměr konvergentního segmentu ( $m$ ),  $t$  čas ( $s$ ) a  $x$  souřadnice polohy ( $m$ )

Řešením je pak parciální diferenciální rovnice, která popisuje neustálý pohyb. Ta je pro numerické řešení převedena na implementovanou explicitní Lax-Wendorfovu metodu konečných diferencí (Kovář, 2011; Mardookhpour, 2012; Morel-Seytoux, 1982).

Struktura modelu odpovídá následujícímu schématu:



První část modelu INFIL je infiltrační submodel, který řeší infiltrační proces dle výše popsané teorie Green-Ampta. Součástí tohoto řešení je rovněž výše zmíněné získání ekvivalence  $CN=f(K_s, S_f)$ . INFIL ve své struktuře obsahuje nástroje: PONTI výpočet doby výtopy, CONST infiltrace z deště o konstantní intenzitě, PPFIND infiltrace z deště o proměnlivé intenzitě, TABLE přiřazení parametrů dle  $CN=f(K_s, S_f)$ .

Druhou část tvoří transformační submodel KIN, který je vytváří řešení přímého odtoku. Ve schématu uvedené součásti řeší simulaci odtoku a to tak, že CPLANE řeší odtok po geometrizované kaskádě desek, CONVER po segmentech, CSTREAM říční úseky (Kovář, 2011).

### 3.3 Metoda čísel odtokových křivek

Jak je zmíněno v kapitole 3.2, model KINFIL je otevřen ve směru vztahů parametrů  $K_s$  a  $S_f$  metodě čísel odtokových křivek (CN).

Metoda čísel odtokových křivek, neboli CN-Curve Number Method, byla odvozena v USA a využívána Službou na ochranu půdy (Soil Conservation Service). Poprvé byla publikována v roce 1972 (Janeček, 2012). Dodnes se využívá pro jednoduché stanovení přímého odtoku a kulminačního průtoku z přívalového deště z povodí do 10 km<sup>2</sup>. Můžeme ji vnímat jako jednoduchý srážko-odtokový model, který není náročný na vstupní data a je primárně určen k popisu zemědělsky využívaných ploch (MŽP, 2010).

Principem výpočtu je separace přímého a základního odtoku. Přímý odtok se skládá z odtoku povrchového a hypodermického, neboli podpovrchového. Základní odtok představuje tu část srážky, která se infiltuje a vstupuje do zásob podzemní vody (ČSN 75 0110, 2010).

Základními vstupními daty do modelu je srážkový úhrn s určitým časovým rozdělením a předpokladem rovnoměrného prostorového rozdělení v povodí (Podhrázká, 2003). Objem srážek se pomocí CN křivek transformuje na objem odtoku. Hodnoty CN vstupující do tohoto vztahu jsou závislé na hydrologických charakteristikách půdy, vegetačním krytu, výskytu a velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové retenci (Janeček, 2012).

Vztahy mezi odtokem a hodnotami CN křivek jsou následující (Janeček et Kovář, 2010):

$$H_o = \frac{(H_s - 0,2 A)^2}{(H_s + 0,8 A)}, \text{ kde} \quad (3.5)$$

$H_o$  ... přímý odtok (mm),

$H_s$  ... úhrn návrhového deště (mm),

$A$  ... potenciální retence (mm).

Potenciální retence se vyjadřuje pomocí čísel odtokových křivek:

$$A = 25,4 * \frac{1\,000}{CN-10}. \quad (3.6)$$

---

Objem přímé odtoku  $O_{ph}$  ( $m^3$ ) je poté vypočten jako:

$$O_{ph} = 1\,000 * P_p * H_o, \text{ kde} \quad (3.7)$$

$$P_p \dots \text{plocha povodí (km}^2\text{)}. \quad (3.8)$$

Čísla odtokových křivek se určují dle hydrologických vlastností půd rozdělených do 4 skupin (A, B, C, D), vlhkosti půdy, nebo využití půdy (MŽP, 2008).

## 4. MĚŘENÍ INFILTRACE

Kutílek (1978) popisuje infiltraci srážek tak, že srážka, která dopadne na povrch je následně rozdělena na dvě části. Jedna část infiltruje, tj. doplňuje zásobu půdní vody a druhá část odtéká povrchovým odtokem. Část srážky, která infiltruje, rozšiřuje zásobu půdní vody tak, že protéká půdním profilem a poté horninovým prostředím. Následně proniká do rezervoárů podzemních vod, načež se její podíl stává součástí vodních toků.

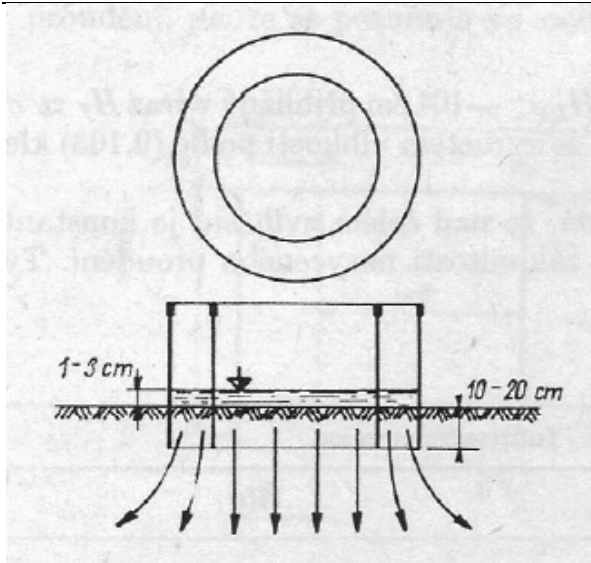
Mezi základní metody měření infiltrace patří měření pomocí výtopových infiltrometrů, k nimž patří i dvouválcový infiltrometr popisovaný níže. Další metody jsou založeny na použití přetlakových infiltrometrů, hood infiltrometrů či tenzních infiltrometrů. Tyto metody mají společné to, že jsou využívány k měření hydraulické vodivosti.

### 4.1 DVOUVÁLCOVÁ METODA

K měření charakteristik půdního prostředí bylo využito tzv. dvouválcové metody, při které je použit dvouválcový infiltrometr. Jedná se o výtopovou metodu, která je založena na měření vody vsakující se do půdy mezi dvěma soustřednými válci. Ve vnitřním válci se sleduje množství zasáknuté vody v závislosti na čase (Kameníčková, 2008; Kameníčková, 2009).

Dvouválcový infiltrometr obsahuje dvojici válců, zatloukací kříž, gumové kladivo, měřicí tyčinku s plovákem a stopky. Skladby infiltroměrných sad se samozřejmě u různých výrobců liší. Vnější průměry válců mohou být specifikovány podle druhu půdy. Někteří autoři uvádějí vnitřní průměry pro půdy písčité 50-60 cm, hlinité 80-100 cm a těžké více než 100 cm. Běžná výška válců se pohybuje okolo 25 cm. Vnější válec slouží k tomu, aby se eliminoval únik vody z vnitřního válce tak, jak je naznačeno na obr. 4.1. Jinými slovy zajišťuje svislost proudnic ve vnitřním válci (Kameníčková, 2008; Kameníčková, 2009; Štibinger et al., 1998).





Obr. 4.1: Schéma dvouválcové metody (zdroj: Kutílek, 1978)

Před aplikací válců na lokalitě, je třeba upravit povrch půdy, např. sestřiháním porostu apod. Oba válce (vnější i vnitřní) se umístí soustředně na povrch půdy a pomocí kladiva nebo podobného nástroje se zatlučou do půdy. Autoři uvádějí hloubku zatlučení válců od 5 cm až do 20 cm. Je nutno se ubezpečit, že v prostoru zatlučení se v půdě nenachází žádné překážky, jako jsou kameny či větve. Dále je vhodné dávat pozor na možné poškození kořenového systému nedaleko se nacházejících rostlin, stromů a keřů. Je také možné narazit na chodby zvířat (krtka obecného či hraboše polního), které by zatlučením válců mohly být zničeny, ale zároveň by ovlivnily výsledky měření. Během zatlučení je vhodné se ujišťovat, že jsou válce do půdy vpravovány vodorovně, např. pomocí libely (Kameníčková, 2009; Štibinger et al., 1998).

Pro ideální výsledek experimentu se kromě základních válců instalují do bezprostřední blízkosti (2-10m) ještě dva páry pozorovacích infiltrometrů (Kameníčková, 2009; Štibinger et al., 1998).

Z hlediska hladkého průběhu je nutno zajistit dostatečné množství vody, které bude během experimentu spotřebováno. Ideální je zajistit nádrž s vodou, nebo experiment provádět v blízkosti vodního zdroje (Kameníčková, 2009; Štibinger et al., 1998).

Během měření infiltrometrem je vhodné se řídit základními zásadami (Bát'ková et al., 2012; Štibinger et al., 1998):

- Hladina vody ve válcích by se měla pohybovat do 5 cm. Při větším vodním sloupci je možné ovlivnění výsledku tlakem vody.

- Do válců musí být neustále doplňována voda, neměly by nikdy být bez vody.
- Povrch půdy by se měl chránit před poškozením způsobeným dolíváním vody do válců (např. folií, pískovou vrstvou či litím vody přes překážku).

## 4.2 Metodika měření infiltrace dvouválcovou metodou

Prvním krokem měření je naplnění válců vodou. Nejprve se naplňuje vnější válec a posléze válec vnitřní. Do obou se nalije zhruba 5 až 10 cm vody. Počáteční stav hladiny se zaznamená do připravené tabulky. Klademe důraz na to, aby byla úroveň hladiny stejná v obou válcích. Pokud by byla úroveň hladiny ve vnějším válci vyšší, snížila by se míra infiltrace ve válci středním. Byla-li by úroveň hladiny ve vnějším válci naopak nižší, míra infiltrace by se zvýšila v důsledku bočního vsaku vody (Báťková et al., 2012; Štibinger et al., 1998).

Vodu ve válcích stále doplňujeme, a to až do té doby, než je dosaženo konstantní hodnoty míry infiltrace, případně se tato hodnota blíží hodnotě konstantní. Za konstantní považujeme hodnotu, kdy je změna rychlosti infiltrace 10% a méně. Zpravidla trvá tento experiment dvě hodiny. V extrémních případech může měření míry infiltrace trvat i několik dní. V těchto případech je třeba zajistit ochranu válců a tím měřeného experimentu. Válce se v takovéto situaci zakrývají, aby nedošlo k výparu a vyschnutí prostoru vně válců (Báťková et al., 2012; Štibinger et al., 1998).

Dvouválcová metoda má matematicko-fyzikální základ, který vychází z Richardsovy rovnice a z Philipova řešení nestacionární infiltrace (Kovář et al., 2008).

## 4.3 Teorie nenasyčené nestacionární infiltrace

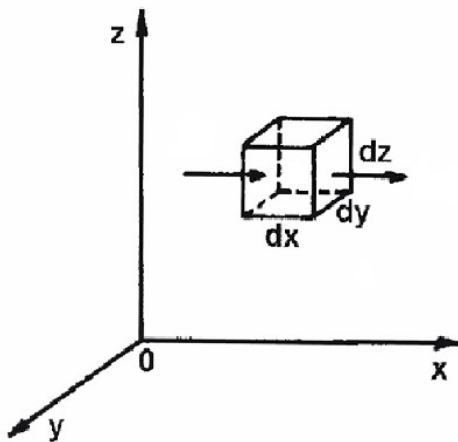
Pro řešení úlohy, která analyzuje a popisuje proudění vody v pórovitém prostředí, používáme dvou základních rovnic. Kromě rychlostní rovnice popisující rychlost proudící vody v pórovitém prostředí, je to i rovnice kontinuity, tedy rovnici o zachování hmoty.

Zákon o zachování hmoty říká, že rozdíl mezi množstvím vody vtékající do sledovaného prostoru pórovitého prostředí a množstvím vody z tohoto prostoru vyteklým, je roven změně množství vody v tomto prostoru v čase  $dt$ . Tato skutečnost, včetně popisu

aplikace modelu KINFIL, je podrobněji popsána v následujících kapitolách (Kutílek et Nielsen, 1994; Kovář et al., 2008).

#### 4.3.1 Matematicko-fyzikální základ řešeného problému

Proudění vody v nenasyceném prostředí vnímáme jako proudění nestlačitelné kapaliny v homogenním izotropním prostředí bez volné hladiny. Vymežeme si v kartézském souřadnicovém systému  $(x, y, z)$  kvádr o velikosti podstavy  $X$  a  $Y$  a výšce  $Z$ . Strana  $X$  je přitom rovnoběžná s osou  $x$  kartézského souřadnicového systému (obr. 4.2) (Kutílek et Nielsen, 1994).



Obr. 4.2: Proudění kapaliny v kartézském souřadnicovém systému (zdroj: <http://www.fjfi.cvut.cz>, 2004 )

Rychlost proudění je v nenasyceném homogenním izotropním prostředí definována jako  $v(x)$ , přičemž se jedná o proudění v ose  $x$ . Množství vody na vtoku do prostoru kvádru ve směru osy  $x$  v čase  $Dt$  je poté definováno jako:

$$vtok = v(x) \cdot Y \cdot Z \cdot Dt \quad (4.1)$$

a množství vody na výtoku ve směru osy  $x$  za čas  $Dt$  jako:

$$výtok = \left[ v(x) + \frac{dv(x)}{dx} \cdot X \right] \cdot Y \cdot Z \cdot Dt, \quad (4.2)$$

kde

$$výtok = \left[ v(x) + \frac{dv(x)}{dx} \cdot X \right] \cdot Y \cdot Z \cdot Dt \quad (4.3)$$

znázorňuje nárůst rychlosti  $v(x)$  pomocí diferenciálu. Zde  $t$  [T] reprezentuje čas a parametr  $\nu$  [M/T] reprezentuje rychlost (resp. intenzitu infiltrace). Symbol  $T$  přitom zastupuje časovou jednotku a symbol  $M$  jednotku délky (2008; Kutílek et Nielsen, 1994).

Rozdíl mezi vtokem a výtokem, tedy změna množství vody, se shoduje se změnou vlhkosti  $W$  [-] v čase  $Dt$  v daném kvádru a je vyjádřen rovnicí:

$$vtok - výtok = \frac{dW}{dt} X.Y.Z.Dt. \quad (4.4)$$

Z předchozích třech rovnic můžeme dosazením a následnou úpravou odvodit rovnici:

$$-\frac{dv(x)}{dx} = \frac{dW}{dt}, \quad (4.5)$$

kteřá reprezentuje **rovnici kontinuity** v podmínkách nenasyčeného proudění ve směru osy  $x$ . Obdobně lze odvodit rovnici pro nenasyčené proudění také ve směrech os  $y$  a  $z$  ve výše definovaném kartézském souřadnicovém systému:

$$-\left[ \frac{dv(x)}{dx} + \frac{dv(y)}{dy} + \frac{dv(z)}{dz} \right] = \frac{dW}{dt}. \quad (4.6)$$

Uvažujeme-li platnost **Darcy-Buckinghamova zákona**, vyjádří se v nenasyčeném pórovitém prostředí rychlost  $v(x)$  ve směru osy  $x$  jako gradient potenciálu  $G = (dG/dx)$ . Platí tedy:

$$v(x) = -k(N).grad.G = -k(N). \frac{dG}{dx}. \quad (4.7)$$

Gradient potenciálu  $G$  [M] můžeme zjednodušeně vyjádřit jako  $G = z + N$ , kde je symbol  $M$  opět vyjádřením jednotky délky, konkrétně vyjádřením geodetické výšky, a  $N$  [M] představuje sací (negativní) tlak,  $k(N)$  [M/T] reprezentuje nenasyčenou hydraulickou vodivost závislou na sacím tlaku a vlhkosti (Buckingham, 1907; Kutílek et Nielsen, 1994).

### 4.3.2 Richardsovy rovnice

Philipovo odvození vychází z řešení Richardsovy rovnice. Jedná se o parciální diferenciální parabolickou rovnici popisující nestacionární proudění v nenasyčeném porézním prostředí disponující Dirichletovou okrajovou podmínkou. Dosazením Darcy-Buckinghamova zákona do rovnice kontinuity získáme základní **Richardovu rovnici** ve tvaru (Štibinger, 2011):

$$\frac{d[k(N).(dG/dx)]}{dx} = \frac{dW}{dt}. \quad (4.8)$$

Analogicky lze odvodit Richardsovu rovnici pro osy y a z:

$$\frac{d[k(N).(dG/dx)]}{dx} + \frac{d[k(N).(dG/dy)]}{dy} + \frac{d[k(N).(dG/dz)]}{dz} = \frac{dW}{dt}, \quad (4.9)$$

pomocí operátoru nabla  $\nabla$  zjednodušeně (Rektorys, 1995):

$$\nabla[k(N)\nabla G] = \frac{dW}{dt}. \quad (4.10)$$

Jednorozměrné nenasyčené proudění ve směru osy x, resp. y, lze popsat (za předpokladu platnosti vztahu  $G = z + N$ , a tedy:  $(dG/dx) = (dN/dx)$ ) rovnicí:

$$\frac{d[k(N).(dN/dx)]}{dx} = \frac{dW}{dt}. \quad (4.11)$$

Ovšem pro proudění ve směru osy z, je nutné do rovnice zahrnout ještě prvek  $(dk(N)/dz)$ , proto:

$$\frac{d[k(N).(dN/dz)]}{dz} + \frac{dk(N)}{dz} = \frac{dW}{dt}. \quad (4.12)$$

Pro popis proudění ve všech osách můžeme použít vztah:

$$\frac{d[k(N).(dN/dx)]}{dx} + \frac{d[k(N).(dN/dy)]}{dy} + \frac{d[k(N).(dN/dz)]}{dz} + \frac{dk(N)}{dz} = \frac{dW}{dt}, \quad (4.13)$$

resp.

$$\nabla \cdot [k(N) \nabla N] + \frac{dk(N)}{dz} = \frac{dW}{dt} \quad (4.14)$$

Rovnice uvedené v této kapitole nesou název **Richardsovy rovnice** podle autora, který je jako první odvodil. Richardovu rovnici (4.12) lze také vyjádřit v tzv. **kapacitním tvaru**:

$$\frac{d[k(N) \cdot (dN / dz)]}{dz} + \frac{dk(N)}{dz} = C_w(N) \frac{dN}{dt} \quad (4.15)$$

Tento tvar vychází z předpokladu, že vlhkost  $W$  závisí na sacím tlaku  $N$ , proto lze  $dW/dt$  vyjádřit jako  $dW/dt = (dW/dN \cdot (dN/dt))$ . Poté můžeme využít ukazatele specifické, nebo-li-diferenční, vodní kapacity  $C_w(N)$  kdy  $C_w(N) = dW/dN$ . Cílem těchto úprav je snížit počet proměných pro snazší analytické a numerické řešení Richardových rovnic (Richards, 1931).

### 4.3.3 Philipovo řešení

Philipovo řešení proudění ve směru osy  $z$ , resp. řešení vertikální infiltrace, je založeno na pertubační metodě a vychází z Richardsovy rovnice typu (4.12). Tato rovnice (4.12) se transformuje do difuzního tvaru, zanedbá se vliv gravitace ( $z = 0 \rightarrow G = H$ ) a dále se rovnice řeší Boltzmanovou transformací. Výsledkem je kumulativní infiltrace  $i(t)$  [M] v čase  $t$  [T]. Vzorec

$$i(t) = \sum_n C_n \cdot t^{n/2} + k(W_i) \cdot t \quad (4.16)$$

reprezentuje vyjádření kumulativní infiltrace pomocí časové řady.  $C_n$  jsou  $n$ -té členy nekonečné řady,  $k(W_i)$  je nenasycená hydraulická vodivost, která odpovídá počáteční vlhkosti  $W_i$  [-] (Kutílek 1975; Philip, 1969; Philip, 1957).

První člen řady  $C_1$  představuje schopnost půdy absorbovat vodu bez působení gravitace a následující členy časové řady  $C_2, C_3, \dots, C_n$  reprezentují vliv gravitace na nestacionární vertikální infiltraci. Substituujeme-li  $n = 2$ , přejde rovnice (4.16) do

dvouparametrického tvaru a kumulativní infiltraci můžeme vyjádřit jako (Kutílek 1978, Kutílek a Nielsen 1994):

$$i(t) = C_1 \cdot t^{1/2} + C_2 \cdot t. \quad (4.17)$$

Zde  $C_1$  představuje sorptivitu půdy a parametr  $C_2$  vliv gravitace. Rovnice (4.17) bývá často vyjádřena pomocí dvou parametrů, sorptivity  $S$  [ $M \cdot \sqrt{T}$ ] a součinitele dlouhodobé infiltrace  $A$  [ $M/T$ ], následovně:

$$i(t) = S \cdot t^{1/2} + A \cdot t. \quad (4.18)$$

Parametr  $A$  zde charakterizuje působení gravitace a odpovídá hodnotě nasycené hydraulické vodivosti  $K$  [ $M/T$ ]. Následně můžeme z této rovnice získat hodnotu pro intenzitu infiltrace  $v(i)$  [ $M/T$ ]. Protože derivujeme-li rovnici (4.18), potom

$$v(t) = (1/2) \cdot S \cdot t^{-1/2} + A. \quad (4.19)$$

Rovnice (4.18) a (4.19), které byly využity při popisu infiltrace na lokalitách s agrárními valy, se nazývají **Philipovy infiltrační rovnice**. Jedná se o jeden z nejpřesnějších aproximačních nástrojů pro popis infiltračních procesů v nenasyčeném pórovitém prostředí (Philip, 1957; Philip, 1969).

Z hodnot kumulativní infiltrace, které byly naměřeny na zájmových lokalitách s agrárními valy, byla na základě rovnice (4.18) a pomocí tzv. Marquardtových parametrů odvozena sorptivita  $S$  a parametr  $A$ , který se blíží hodnotě nasycené hydraulické vodivosti. Tato úloha představuje problém nelineární regrese a Marquardtova metoda vychází z metody nejstrmějšího poklesu a Gauss-Newtonovy metody. Marquardtova metoda je založena na podobnosti výše zmíněných metod, formuluje sestavu náhradních lineárních rovnic z Gauss-Newtonovy metody (Marquardt, 1963; Štibinger, 2011).

Měřena byla data na agrárním valu a mimo val, podle rovnice (4.18) byl odvozen parametr  $S$  a parametr  $A$ , který odpovídá nasycené hydraulické vodivosti. Dále byly dle rovnice (3.19) určeny hodnoty intenzity infiltrace  $v(t)$  (Marquardt, 1963; Štibinger, 2011).

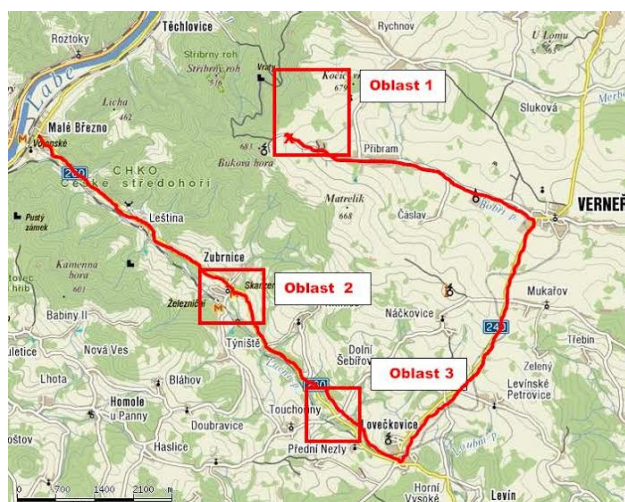


## 5. ŘEŠENÉ ÚZEMÍ

Česká zemědělská univerzita v rámci výzkumného projektu *NAZV 08-82126 Harmonizace agrárních valů a teras (2008-2011)* studuje tři lokality v Ústeckém kraji. Jedná se o lokality „Libouchec“ a „Adolfov“, které se nacházejí v Krušných horách a lokalitu „Verneřice“ nacházející se v Českém středohoří. Praktická část této studie je zaměřena na poslední zmíněnou lokalitu, tj. „Verneřice“.

Území Verneřicka je typická bohatým výskytem agrárních valů. Lokalita je ze severu ohraničena řekou Ploučnicí, východně se nacházejí obce Blankartice a Verneřice. Jižní hranici tvoří obce Lovečkovice, Zubrnice a směrem k Labi Malé Březno, kde Labe plní funkci západní přirozené hranice území. Na studované lokalitě najdeme tři zkoumané oblasti. Z nich se výpočty a simulace zaměřují na oblast 1 (obr. 5.1).

Lokalita se vyznačuje poměrně výraznou proměnlivostí nadmořských výšek. Nejnižší polohy se pohybují okolo 350 m n. m., nejvyšší poté dosahují více než 680 m n. m. (Buková Hora).



Obr. 5.1: Přehledná situace lokality Verneřice (zdroj: ČZU v Praze, 2011)

### 5.1 Klimatické poměry

Dle Quitta (1971) náleží lokalita do mírně teplé oblasti MT – mírně teplá. Výše položené části území do oblasti MT7, nižší polohy MT10 a MT9. Pro tuto oblast je typické normálně dlouhé až dlouhé léto, mírné až teplé, mírně suché. Přechodné období je krátké s mírným až mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem. Krátká až mírně dlouhá zima je

mírně teplá, suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Charakteristiky mírně teplé oblasti jsou v Tab. 5.1.

Tab. 5.1: Klimatické charakteristiky lokality (zdroj: www.chmi.cz)

Počet letních dnů	30-50
Počet mrazových dní	110-130
Počet ledových dní	40
Počet dní se sněhovou pokrývkou	60-80
Počet dní jasných	150
Počet dní zatažených	40-50

V oblasti se nachází několik meteorologických stanic. Zde jsou uvedeny hodnoty ze stanice Ústí nad Labem. Dlouhodobý teplotní průměr z let 1961 – 1990 je uveden v Tab. 5.2 a průměrný úhrn srážek demonstruje Tab. 5.3. Další uvedenou charakteristikou jsou dlouhodobé průměrné sumy slunečního svitu (Tab. 5.4.).

Tab. 5.2: Průměrné teploty vzduchu (°C) (zdroj: www.chmi.cz)

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
T	-2,4	-0,9	2,8	7,5	12,4	15,8	17,2	16,6	12,9	8,1	2,9	-0,6	7,7

Tab. 5.3: Průměrný úhrn srážek (mm) (zdroj: www.chmi.cz)

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
	42	36	38	44	61	68	68	70	50	39	47	49	612

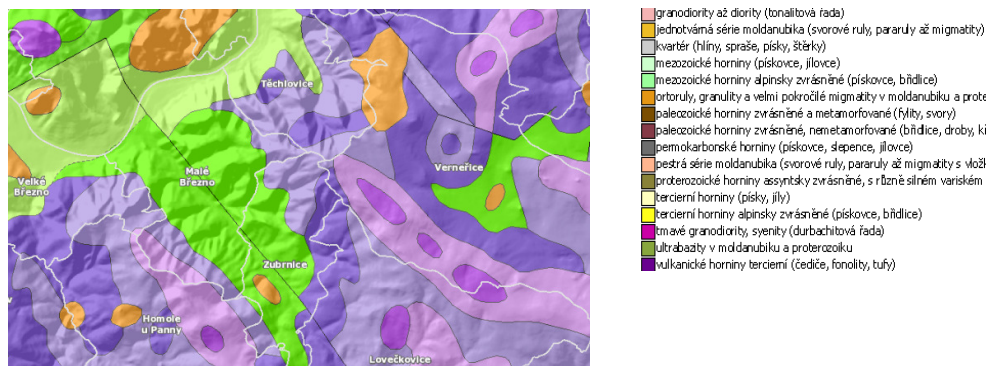
Tab. 5.4: Průměrná suma slunečního svitu (hod) (zdroj: www.chmi.cz)

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
	22	40	93	126	179	159	163	181	118	71	28	17	1197

## 5.2 Geologické poměry

Geologické poměry jsou zde reprezentovány Verneřickým středohořím, které je součástí Českého středohoří a představuje tak nejrozsáhlejší neovulkanickou oblast v Čechách. Jak vyplývá z mapy (Obr 5.2), lokalita Verneřice je z geologického hlediska

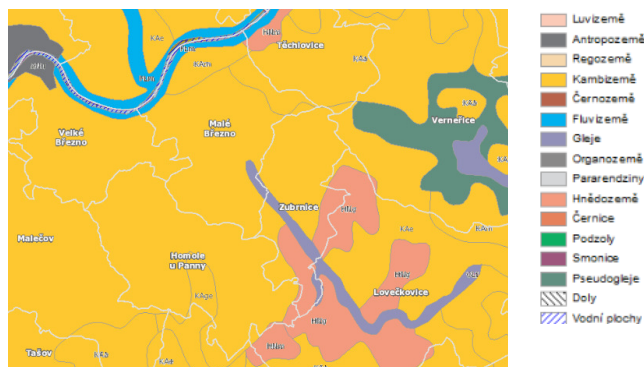
poměrně rozmanitá. Nalezneme zde převážně povrchové a podpovrchové výlevy čedičových hornin, dále tefrity, znělce, trachybazalty, trachyty a tufy či tufity.



Obr. 5.2: Geologická mapa 1:100 000 (zdroj: geoportal.gov.cz, 2014)

### 5.3 Pedologické poměry

Z pedologického hlediska se na území střetává několik půdních typů. Z nich převažují kambizemě, které lokálně na severozápadě u koryta Labe přechází v hnědozemě. Východně v okolí obce Verneřice nalezneme pseudogleje a gleje. Jižní hranici mezi obcemi Lovečkovice a Zubrnice tvoří gleje a v jejich okolí hnědozeměmi (Obr. 5.3).



Obr. 5.3: Mapa půdních typů 1:100 000 (zdroj: geoportal.gov.cz, 2014)

### 5.4 Geomorfologické členění

Lokalita leží v Hercynském systému, provincii Česká vysočina, subprovincii Krušnohorská soustava. Oblast se nazývá Podkrušnohorská, celek České středohoří, podcelek Verneřické středohoří, okrsek Litoměřické středohoří.

## 5.5 Biogeografické členění

Verneřicko patří do Hercynské biogeografické proveniencie a kontinentální biogeografické oblasti.

Fytogeografická oblast odpovídá Mezofytiku, okres 45a, obvod Českomoravské Mezofytikum, které zabírá největší část území ČR. Je charakterizováno středoevropskou květenou a opadavými listnatými lesy a představuje přechod mezi teplomilnými a chladnomilnými rostlinnými druhy.

## 5.6 Přírodní podmínky

Lokalita se nachází na území velkoplošného chráněného území CHKO České středohoří. Dále se zde nachází několik maloplošných chráněných území. Můžeme jmenovat například PR Kamenná hůra na severu, PR Vrabinec a PP Nebočanský luh severně poblíž koryta Labe. Na jihu najdeme národní přírodní rezervaci Sedlo a několik dalších PP se nachází v okolí obce Velké Březno.

Z hlediska přirozené vegetace převládají v oblasti luhy a olšiny s dubo – habrovými háji, dále bučiny a doubravy.

## 5.7 Hydrologické a vodohospodářské poměry

Oblast Verneřicka náleží do povodí Ohře a dolního Labe. V blízkém okolí se nachází několik vodních toků a malých vodních nádrží.



**Obr. 5.4: Příslušnost zájmové oblasti do povodí Ohře a Dolního Labe (zdroj: <http://www.poh.cz>, 2014)**

---

Přímo řešenou Oblastí 1 protéká Rychnovský potok (severní hranice lokality), který pramení v nadmořské výšce zhruba 570 m v obci Rychnov. Teče severozápadním směrem přes obce Rytířov a Přední Lhota, kde se vlévá do Labe. Celková délka toku je 5,5 km.

---

## B. VÝPOČETNÍ ČÁST



## 6. VSTUPNÍ DATA

### 6.1 Geometrizační lokality

Pro geometrický popis lokality byl použit program AutoCAD. Zde byl na základě ortofotomapy a katastrální mapy vytvořen plán řešeného území. Území bylo ohraničeno do podoby nepravidelného šestiúhelníku (obr. 6.1). Plocha lokality odpovídá 401 000 m<sup>2</sup> a průměrný sklon se rovná 8%. Na vymezeném území se nachází 8 agrárních valů s délkou přibližně 180 až 440 m, jejich šířka se pohybuje mezi 3 až 7 metry. Celková délka agrárních valů byla stanovena na 3 338 m.



Obrázek 6.1: Geometrizační řešené lokality (zdroj: autor, 2014)

### 6.2 Infiltrační a půdní charakteristiky

V rámci projektu MZe ČR NAZV 08-82126 „Zajištění harmonizace krajinnotvorné, hydrologické a produkční funkce agrárních valů a teras pro diverzifikaci aktivit na venkově“ proběhlo v roce 2009 terénní měření na lokalitě Verneřice (Štibinger, 2011). Konkrétně se jednalo o měření infiltračních procesů pomocí dvouvalcové metody, jejíž princip je popsán v kapitole 4. Výsledky těchto měření udávají hodnoty kumulativní infiltrace  $i(t)$  (m) a rychlosti infiltrace  $v(t)$  (m/s), z nichž byly následně na základě Richardsovy rovnice a Philipova řešení nestacionární infiltrace odvozeny parametry hydraulická vodivost  $K_s$  (m/s)



a sorptivity  $S$  ( $m\sqrt{s}$ ). V rámci metodiky a cíle projektu bylo provedeno měření vždy na území mimo agrární valy a přímo na agrárních valech.

Výsledky terénních měření, respektive odvozené hodnoty hydraulické vodivosti a sorptivity jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tabulka 6.1: půdní charakteristiky oblasti 1**

Měření v místě agrárního valu		Měření mimo agrární val	
$K_s$ (m/s)	$8,10 * 10^{-6}$	$K_s$ (m/s)	$3,58 * 10^{-5}$
$S$ ( $m\sqrt{s}$ )	$2,16 * 10^{-4}$	$S$ ( $m\sqrt{s}$ )	$2,38 * 10^{-4}$

Naměřené výsledky a jejich transformace na hodnoty  $K_s$  a  $S$  prokazují vysokou infiltrační schopnost agrárních valů. Z tabulky výše vyplývá, že struktura agrárního valu prokazuje zhruba 4x vyšší propustnost než struktura horninového prostředí mimo valy.

### 6.3 Návrhové srážky

K popisu a simulaci přívalové deště byla využita data z meteorologické stanice Ústí nad Labem – Kočkov. Z denních srážkových úhrnů byly pomocí modelu Des\_Rain vypočteny srážkové úhrny – návrhové deště  $P$  (mm) pro následující parametry:

- Trvání srážky (min): 10, 20, 30, 60, 90, 120
- Doba opakování (roky): 2, 5, 10, 20, 50, 100
- Délka časového kroku (min): 10

**Tabulka 6.2: Návrhové srážky (mm)**

doba trvání srážky $t$ (min)	10	20	30	60	90	120
$N = 2$ roky	10,1	12,4	14,0	16,2	17,6	18,6
$N = 5$ let	14,7	18,2	20,7	24,8	26,9	28,4
$N = 10$ let	17,6	22,4	25,7	30,7	33,3	35,2
$N = 20$ let	21,5	27,4	31,6	38,0	41,1	43,5
$N = 50$ let	26,3	33,8	39,2	47,5	51,5	54,6
$N = 100$ let	29,9	38,8	45,2	54,7	59,3	62,7

---

## 6.4 Manningova drsnost

Manningova drsnost se obecně při aplikaci hydrologických a hydraulických modelů určuje v závislosti na využití území. Na lokalitě Verneřice nalezneme až z 90% trvalý travní porost (TTP), zhruba 6% území tvoří agrární val a 4% les. Dle Bevena (2006) byly určeny hodnoty Manningova  $n$  0,1 pro TTP, 0,15 pro les a 0,3 pro agrární val.

## 7. VÝPOČTY MODELEM KINFIL

### 7.1 Výpočty odtokové výšky modelem INFIL

Výpočet infiltrační části modelu byl proveden zvlášť pro situaci bez agrárních valů a zvlášť pro situaci s agrárními valy. Dále byl výpočet proveden pro 6 různých dob opakování a 10 až 120 minut trvání srážky (viz kapitola 6.3), to odpovídá 36 výpočtům pro situaci bez valů a 36 pro situaci s valy.

V prvním kroku byly připraveny vstupní soubory pro model INFIL. Jako příklad vstupního datového souboru jsou uvedeny parametry pro výpočet odtokové výšky pro situaci bez valů, dobu opakování  $N=2$  roky a trvání srážky  $Dt=10$  min:

```
VERNERICE 1(bez valu), NAVRH.DEST,N= 2 roky, Dt=10 min
0 0 0 0 (SUBP T1, 2, 3, 4)
0 (Q0)
12.0 23.0 10.1 0.167 70.0 (KT, SO, P, TD, CN)
0.401 870.0 8.0 0.0 (AREA, L, Y, RETEN)
1 20 0.167 (N, JJ, DELT)
10.1 (RAIN (I) )
1
```

Na příkladu výše vidíme jako parametry **Q0** (počáteční průtok v  $m^3/s$ ), **KT** (koef. nasycené hydraulické vodivosti v mm/hod), **SO** (koeficient sorptivity v  $m\sqrt{s}$ ), **P** (celková výška srážky v mm), **TD** (doba trvání deště v hod), **CN** (číslo odtokové křivky), **N** (počet pořadnic deště), **JJ** (počet pořadnic hydrogramu), **DELT** (délka časového kroku v hod), **RAIN (I)** (výška deště v časových krocích).

Analogicky byla připravena data také pro trvání srážky 20, 30, 60 a 120 min a dobu opakování 5, 10, 20, 50 a 100 let.

Výstupem z model INFIL je potom velikost odtoku v závislosti na čase trvání deště. Model vypočte na základě vstupních údajů velikost efektivního deště RE (mm) pro výpočet bez valů a REH (mm) pro výpočet s valy. Příkladem výstupu z infiltračního modelu může být soubor pro situaci bez valů, dobu opakování  $N=2$  roky a trvání deště  $DT=10$  min:

OUTPUT OF SUBROUTINE CONST, CONSTANT RAINFALL  
BY INFILTRATION APPROACH

PONDING TIME TP= .090 HR

T(HR)	W(MM)	DELW(MM)	IR(MM/HR)	R(MM/HR)	RE(MM/HR)	RER(MM/HR)
.090	5.456	5.456				
.167	9.519	4.063	52.911	10.100	1.264	1.264
.334	.000	.000	.000	.000	.000	.000

V případě, kdy model vypočítá, že se všechny srážky infiltrují, nedochází k produkci odtoku. K této situaci dochází pochopitelně častěji v případě výpočtu infiltrace s valy, kvůli jejich výrazným infiltračním schopnostem.

## 7.2 Výpočty návrhových průtoků modelem KINFIL

Jako vstupní data pro model KINFIL zadáváme: sklon svahu, délku svahu (m), šířku svahu (m), překážku na svahu ( $\approx 0,0$ ), Manningovu drsnost, hydraulickou turbulenci ( $\approx 0,6$ ), typ proudění ( $\approx 1,67$ ). Vstupní data mají následující strukturu:

VERNER1, bez valu, N=5 let, Td=10 min

```

1
3
0.08  354.0  400.0  0.0  0.10  0.6  1.67
0.08  270.0  520.0  0.0  0.10  0.6  1.67
0.08  234.0  507.0  0.0  0.10  0.6  1.67
600.0  12000.0
2
0.0  4.9
1

```

Ve stejném smyslu se připraví data pro všechna opakování a trvání deště (pro situace s valem i bez valu), přirozeně s výjimkou těch, u kterých IMFIL vypočetl nulový odtok.

Výsledkem výpočtu modelem KINFIL je poté časová řada průtoků, např.:

NAME OF CATCHMENT: VERNER1, bez valu, N=5 let, Td=10 min

\*\*\*\*\*

DESCRIPTION OF PLANES:

-----

SLOPES(-)	LENGTHS(M)	WIDTHS(M)	MAN.ROUGHNESS	M-FLOWTYPE
.080	354.000	400.000	.1000	1.6700
.080	270.000	520.000	.1000	1.6700
.080	234.000	507.000	.1000	1.6700

-----

THE OVERLAND FLOW HYDROGRAPH:

ORDIN.NO.      TIME(HOURS)      DISCHARGE Q (M3/S)

1	.333	.197
2	.500	.200
3	.667	.201
4	.833	.206
5	1.000	.205
6	1.167	.201
7	1.333	.188
8	1.500	.169
9	1.667	.155
10	1.833	.152
11	2.000	.149
12	2.167	.135
13	2.333	.118
14	2.500	.102
15	2.667	.088
16	2.833	.076
17	3.000	.065
18	3.167	.057
19	3.333	.049

THE MASS BALANCE CHECK:

-----

TOTAL INFLOW DEPTH:      4.90 MM  
TOTAL OUTFLOW DEPTH:      4.74 MM

## 8. VÝSLEDKY

Výsledky simulace odtoku modelem KINFIL byly zpracovány tabulkovým softwarem Microsoft Office Excel. Vypočtené časové řady byly uloženy do logické tabulky a byly graficky vyhodnoceny. Na základě výpočtů infiltrace a následné transformace odtoku bylo vyhodnoceno 12 časových řad. Výpočty pro zbývající parametry (doba opakování a trvání deště) zaznamenaly nulový výsledek, co se týče produkovaného odtoku.

Vyhodnoceny byly časové řady pro následující parametry:

N=5 let, Td=10 min

N=10 let, Td=10 min, Td=20 min,

N=20 let, Td=10 min, Td=20 min, Td=30 min

N=50 let, Td= 20 min, Td=30 min

N=100 let, Td=10 min, Td=20 min, Td=30 min, Td=60 min

V případě výpočtů odtoku o N=5 let a N=10 let, můžeme konstatovat, že velikost odtoku je zde zanedbatelná. U výpočtů o N=20, 50 a 100 let dokazují výpočty výrazně vysokou hodnotu velikosti odtoku, tyto hodnoty lze už popisovat jako nebezpečné, ovšem přítomnost agrárních valů podstatně redukuje. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v příloze 2 a 3.

---

## 9. DISKUSE

Simulace odtokového procesu na Lokalitě Verneřice vyhodnotila funkci agrárních valů jako velice účinné opatření ke snížení velikosti přímého odtoku. Zvýšená infiltrační schopnost valů vyplynula již z experimentálních měření na lokalitách a jak je jasně patrné z grafické interpretace výsledků výpočtu, agrární valy snižují velikost přímého odtoku velice výrazně.

Především v případě návrhových dešťů o  $N=100$  let dokazuje přítomnost agrárních valů velice výrazný rozdíl ve velikosti přímého odtoku, kdy přítomnost agrárních valů snižuje velikost odtoku až o 60%.



---

## 10. ZÁVĚR

Na základě simulací modelem KINFIL na několika lokalitách s agrárními valy byl definitivně prokázán pozitivní efekt na srážko-odtokový proces v těchto oblastech. Výsledkem několikaletého snažení v rámci projektu MZe ČR NAZV 08-82126 „Zajištění harmonizace krajiny, hydrologické a produkční funkce agrárních valů a teras pro diverzifikaci aktivit na venkově“ je fakt, že agrární valy mohou být využity jako jedno z vysoce funkčních biotechnických protipovodňových a protierozních opatření a že návrat k historickému uspořádání krajiny by mohlo být v rizikových oblastech ekologickou a zároveň ekonomickou variantou ochrany před klimatickými extrémami.

## SEZNAM ZDROJŮ:

(literární, elektronické, internetové)

BÁŤKOVÁ, K., MATULA, S. et MICHÁLKOVÁ, M. (2012): **Multimediální učebnice hydropedologických terénních měření. Nasycená hydraulická vodivost – dvouválcový infiltrometr.** Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Online: <http://hydropedologie.agrobiologie.cz/index.html>.

BEDIENT, P. B., HUBER, W. C. et VIEUX, B. E. (2008): **Hydrology and Floodplain Analysis.** Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River.

BEVEN, K. (1989): **Changing ideas in hydrology – The case of physically-based models.** Journal of Hydrology, 105/1989, s. 157-172.

BEVEN, K. (2006): **Rainfall-Runoff Modelling. The Primer.** John Wiley & Sons, Chichester.

BUCKINGHAM, E. (1907). **Studies on the movement of soil moisture.** Bull. 38. US Dept. of Agriculture Bureau of Soils, Washington, D.C., USA.

ČSN 75 0110 (2010): **Vodní hospodářství - Terminologie hydrologie a hydrogeologie.**

GRAHAM, D. N. et BUTTS, M. B. (2005): **Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE.** In Watershed Models, Eds. V.P. Singh & D.K. Frevert. S. 245-272.

JENÍČEK, M. (2005): **Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích.** In Langhammer, J. (ed.): Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. PŘF UK, Praha. S. 112-126.

JANEČEK, M. (2012): **Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika.** Powerprint, Praha, 113 s.

KAMENČÍKOVÁ, I. (2008): **Posouzení infiltrační schopnosti půdy v závislosti na způsobu zpracování půdy.** In: 70 roků SvF STU Zborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference. Slovenská technická univerzita, Bratislava.

KAMENČÍKOVÁ, I. (2009): **Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou v k. ú. Horní Meziříčko.** In: XII. Mezinárodní vědecká konference. CERM, Brno.

KOVÁŘ, P., CUDLÍN, P., HERMAN, M., ZEMEK, F. et KORYTÁŘ, M. (2002): **Analysis of Flood Events on Small River Catchments Using the KINFIL Model.** Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2/2002, s. 157-171.

KOVÁŘ, P., ŠTIBINGER, J. et KASL, M. (2008): **Terénní experimentální průzkum agrárního valu. Teoretické podklady.** Zajištění harmonizace krajiny, hydrologické a produkční funkce agrárních valů a teras pro diverzifikaci aktivit na venkově. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha.

KOVÁŘ, P., VAŠŠOVÁ, D., et HRABALÍKOVÁ, M. (2011a): **Snižování povodňových a erozních účinků povrchového odtoku agrárními valy v krajině.** Stavební obzor. 10/2011, s. 291 – 296.

KOVÁŘ, P., VAŠŠOVÁ, D. et HRABALÍKOVÁ, M. (2011b): **Mitigation of Surface Runoff and Erosion Impact on Catchment by Stone Hedgerows.** Soil and Water Research. 4/2011, s. 5 – 16.

KOVÁŘ, P. et VAŠŠOVÁ, D. (2011): **Model KINFIL manuál.** Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra biotechnických úprav krajiny. Praha.

KUTÍLEK, M. (1978): **Vodohospodářská pedologie.** Praha, SNTL/ALFA.

KUTILEK, M. et NIELSEN, D. R. (1994): **Soil Hydrology.** Catena Verlag, Cremlingen.

MACHOVÁ, I. et ELZNICOVÁ, J. (2010): **Identification of hedgerows changes.** Studia Oecologica. 4/10.

MACHOVÁ, I. et ELZNICOVÁ, J. (2011): **Změny agrárních valů a teras ve verneřickém středohoří a jejich monitorování s využitím nástrojů GIS.** Výzkumný projekt MZe ČR QH 82126 „Zajištění harmonizace krajinnotvorné, hydrologické a produkční funkce valů a teras pro diverzifikaci aktivit na venkově“. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí n. L., Česká zemědělská univerzita v Praze. Online: [http://fzp.ujep.cz/projekty/qh82126/V001/Machova\\_Elznicova\\_2011.pdf](http://fzp.ujep.cz/projekty/qh82126/V001/Machova_Elznicova_2011.pdf)

MARDOOKHPOUR, A. (2012): **Utilizing the KINFIL model for investigation of deforestation on the runoff-peak (Case study: Sepidround catchment).** International Journal of Forest, Soil and Erosion. 2/2013, s. 18-23.

MARQUARDT, D. W. (1963): **An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters.** SIAM Journal on Applied Mathematics 11/2, s. 431–441.

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (2008): **Metodika ministerstva životního prostředí k navrhování protipovodňových opatření v ploše povodí, které současně řeší obnovu vodního režimu a snižování vodní eroze.** Online: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pracovni\\_postupy\\_podklady/\\$FILE/OOV-Pracovni\\_postup\\_k\\_Metodice\\_OOV-20101122.zip](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pracovni_postupy_podklady/$FILE/OOV-Pracovni_postup_k_Metodice_OOV-20101122.zip)

MOLNÁROVÁ, K. (2008a): **Hedgerow-defined medieval field patterns in the Czech Republic and their conservation – a literature review.** Journal of Landscape Studies. 1/2008, s. 27 – 47.

MOREL-SEYTOUX, H. J. (1982): **Analytical results for prediction of variable rainfall infiltration.** Journal of Hydrology. 59/1982. S. 209-230.

PHILIP, J. E. (1957): **The Theory of Infiltration: 1. The Infiltration Equation and its Solution.** Soil Science 83, s. 345-357.

PHILIP, J. E. (1969): **Theory of Infiltration.** Advances of Hydro-sciences 5, s. 216 – 296.

REFSGAARD, J. C. et STORM, B. (1995): **MIKE SHE**. In: Singh, V. P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resource Publications, CO, USA.

REKTORYS, K. (1995): **Přehled užité matematiky I. a II.** Prometheus, Praha.

RICHARDS, L.A. (1931). **Capillary conduction of liquids through porous mediums**. Physics 1/5, s. 318–333.

RIEZNER, J. (2007) [cit. 23.7.2013]: **Agrární formy reliéfu a jejich vegetace v kulturní krajině Jesenicka, Disertační práce**. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Jaroslav Vašátko. Online: [http://is.muni.cz/th/9957/prif\\_d/](http://is.muni.cz/th/9957/prif_d/)

SCHARFFENBERG, W. A. et FLEMING, M. J. (2010) [cit. 23.7.2013]: **Hydrologic Modeling system HEC-HMS User's Manual**. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. Online: [http://www.hec.usace.army.mil/software/hechms/documentation/HEC-HMS\\_Users\\_Manual\\_3.5.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hechms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_3.5.pdf)

SMITH, M. B., KOREN, V. I., WELLS, E. et ZHANG, Z. (2000): **Evaluation of the Advantages of Continuous SAC-SMA Model Over an Ebnay API Model**. In: 15th Conference on Hydrology, Long Beach, CA.

ŠTIBINGER, J. (2011): **Infiltrační schopnosti agrárních valů**. Stavební obzor 2011/3, s. 78-83.

ŠTIBINGER, J., JIČÍNSKÝ, K. et HORÁČEK, V. (1998): Metodické pokyny pro stanovení koeficientu filtrace dvouvalcovou metodou. Univerzita Jana Evangelisty Turkyň v Ústí nad Labem, Praha.

ZEZULÁK, J. (1985): **Hydrologické metody modelování systémů pro potřeby operativní hydrologie**. České vysoké učení technické v Praze, Praha.

## SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha 1: Návrhové deště

Příloha 2: Tabelární vyhodnocení výpočtů modelem KINFIL

Příloha 3: Grafické vyhodnocení výpočtů modelem KINFIL

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M														
1	PŘÍLOHA 1: Návrhové deště																										
2																											
3																											
4	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Stanice</th> <th>Ústí nad Labem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N = 2 roky</td> <td>30,6</td> </tr> <tr> <td>N = 5 let</td> <td>41,8</td> </tr> <tr> <td>N = 10 let</td> <td>49,0</td> </tr> <tr> <td>N = 20 let</td> <td>56,5</td> </tr> <tr> <td>N = 50 let</td> <td>65,7</td> </tr> <tr> <td>N = 100 let</td> <td>72,9</td> </tr> </tbody> </table>		Stanice	Ústí nad Labem	N = 2 roky	30,6	N = 5 let	41,8	N = 10 let	49,0	N = 20 let	56,5	N = 50 let	65,7	N = 100 let	72,9											
Stanice	Ústí nad Labem																										
N = 2 roky	30,6																										
N = 5 let	41,8																										
N = 10 let	49,0																										
N = 20 let	56,5																										
N = 50 let	65,7																										
N = 100 let	72,9																										
5																											
6																											
7																											
8																											
9																											
10																											
11																											
12																											
13	Srážkové úhrny $H_{t,N}$																										
14	doba trvání srážky $t$ (min)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110															
15	N = 2 roky	10,11	12,44	14,04	15,00	15,67	16,25	16,75	17,19	17,60	17,97	18,31															
16	N = 5 let	14,66	18,20	20,66	22,91	23,94	24,82	25,58	26,26	26,88	27,44	27,96															
17	N = 10 let	17,64	22,38	25,73	28,38	29,65	30,74	31,68	32,53	33,29	33,99	34,63															
18	N = 20 let	21,48	27,41	31,61	35,06	36,63	37,97	39,14	40,19	41,13	41,99	42,79															
19	N = 50 let	26,31	33,81	39,16	43,89	45,86	47,54	49,01	50,31	51,49	52,57	53,57															
20	N = 100 let	29,91	38,78	45,15	50,51	52,78	54,71	56,40	57,90	59,26	60,50	61,65															
21	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230															
22	18,64	18,94	19,23	19,49	19,74	19,98	20,21	20,43	20,64	20,84	21,03	21,22															
23	28,44	28,80	29,13	29,45	29,74	30,02	30,29	30,54	30,79	31,02	31,25	31,46															
24	35,20	35,57	35,93	36,26	36,57	36,87	37,15	37,42	37,67	37,92	38,15	38,38															
25	43,45	43,82	44,17	44,49	44,80	45,09	45,36	45,62	45,87	46,11	46,34	46,56															
26	54,57	54,90	55,20	55,49	55,76	56,01	56,25	56,48	56,70	56,91	57,11	57,30															
27	62,67	62,98	63,27	63,53	63,78	64,02	64,24	64,46	64,66	64,85	65,04	65,21															
28																											



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
29													
30													
31													
32	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
33	21,40	21,58	21,75	21,91	22,07	22,22	22,37	22,52	22,66	22,80	22,94	23,07	23,20
34	31,67	31,87	32,07	32,25	32,44	32,61	32,78	32,95	33,11	33,27	33,43	33,58	33,72
35	38,60	38,81	39,01	39,21	39,40	39,58	39,76	39,93	40,10	40,27	40,43	40,58	40,74
36	46,77	46,97	47,16	47,35	47,54	47,71	47,89	48,05	48,21	48,37	48,53	48,67	48,82
37	57,48	57,66	57,83	57,99	58,15	58,30	58,45	58,59	58,73	58,87	59,00	59,13	59,25
38	65,38	65,54	65,70	65,85	66,00	66,14	66,28	66,41	66,54	66,66	66,79	66,90	67,02
39	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490
40	23,33	23,45	23,57	23,69	23,81	23,92	24,04	24,15	24,25	24,36	24,46	24,57	24,67
41	33,87	34,01	34,15	34,28	34,41	34,54	34,67	34,79	34,91	35,03	35,15	35,26	35,38
42	40,88	41,03	41,17	41,31	41,45	41,58	41,71	41,84	41,96	42,08	42,21	42,32	42,44
43	48,96	49,10	49,24	49,37	49,50	49,62	49,75	49,87	49,99	50,11	50,22	50,33	50,44
44	59,38	59,49	59,61	59,72	59,83	59,94	60,05	60,15	60,25	60,35	60,45	60,55	60,64
45	67,13	67,24	67,35	67,45	67,55	67,65	67,75	67,84	67,94	68,03	68,12	68,21	68,29
46	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600		
47	24,77	24,87	24,96	25,06	25,15	25,24	25,33	25,42	25,51	25,60	25,68		
48	35,49	35,60	35,70	35,81	35,91	36,01	36,12	36,21	36,31	36,41	36,50		
49	42,55	42,67	42,78	42,89	42,99	43,10	43,20	43,30	43,40	43,50	43,60		
50	50,55	50,66	50,76	50,86	50,96	51,06	51,16	51,26	51,35	51,44	51,54		
51	60,73	60,82	60,91	61,00	61,08	61,17	61,25	61,33	61,41	61,49	61,57		
52	68,38	68,46	68,54	68,62	68,70	68,77	68,85	68,92	69,00	69,07	69,14		

PŘÍLOHA 2: Tabeleární vyhodnocení výpočtů modelem KINFIL

Doba opakování	Doba trvání	Výška	odtok bez valů	odtok s valy
N (roky)	t (min)	R (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
2	10	10,1		
2	20	12,4		
2	30	14,0		
2	60	16,3		
2	120	18,6		
5	10	14,7	0,206	
5	20	18,2	0,086	
5	30	20,7	0,032	
5	60	24,8		
5	120	28,4		
10	10	17,6	0,419	0,011
10	20	22,4	0,329	0,001
10	30	25,7	0,192	
10	60	30,7		
10	120	35,9		
20	10	21,5	0,818	0,096
20	20	27,4	0,813	0,001
20	30	31,6	0,681	
20	60	38,0	0,215	
20	120	43,5		
50	10	26,3	1,460	0,373
50	20	33,8	1,706	0,060
50	30	39,2	1,010	0,003
50	60	47,5	0,900	
50	120	54,6		
100	10	32,5	2,514	1,041
100	20	42,1	3,182	0,489
100	30	49,1	3,595	0,144
100	60	59,4	0,496	0,007
100	120	68,1		

PŘÍLOHA 3: Grafické vyhodnocení výpočtů modelem KINFIL

