

# SMODERP - uživatelská příručka

Kavka

8. září 2017

# Obsah

<b>Obsah</b>	<b>i</b>
Seznam zkratek . . . . .	ii
Seznam obrázků . . . . .	iv
Seznam tabulek . . . . .	iv
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Metody</b>	<b>2</b>
1.1 Použité vztahy a jejich odvození . . . . .	2
1.1.1 Plošný povrchový odtok . . . . .	2
1.1.2 Soustředěný odtok v rýhách . . . . .	6
1.1.3 Odtok hydrografickou sítí . . . . .	8
1.2 SMODERP 2D - postup výpočtu . . . . .	8
1.2.1 Vstupy do modelu . . . . .	8
1.2.2 Tok programu . . . . .	14
1.2.3 Výstupy z modelu . . . . .	18
<b>2 Výsledky</b>	<b>23</b>
2.1 Porovnání metod 1D a 2D . . . . .	23
<b>3 Seznam použitých zdrojů</b>	<b>29</b>

## Seznam zkratek

$a$	parametr MKWA
$A$	průtočná plocha [ $m^2$ ]
$b$	parametr MKWA
$b_{rill}$	šířka rýhy [ $m$ ]
$CFL$	Courant-Friedrich-Lewy podmínka
$D8$	jednosměrný odtokový algoritmus
$\Delta t$	časový krok [ $s$ ]
$\Delta t_{max}$	maximální časový krok [ $s$ ]
$\Delta t_{mult}$	multiplikátor časový krok $[-]$
$\Delta x$	prostorový krok [ $m$ ]
$\frac{dS}{dt}$	změna zásoby [ $m^3/s$ ]
$ES$	efektivní srážka [ $m^3/s$ ]
$es$	intenzita srážky [ $m/s$ ]
$h^{crit}$	kritická hloubka [ $m$ ]
$h^{rill}$	hloubka rýhy [ $m$ ]
$h^{sur}$	výška hladiny na povrchu [ $m$ ]
$k$	nasycená hydraulická vodivost [ $ms^{-1}$ ]
$Inf$	infiltrované množství [ $m^3/s$ ]
$inf$	intenzita infiltrace [ $m/s$ ]
$I_{tot}$	celkový přítok za čas [ $m^3/s$ ]
$I$	sklon [@@@jj procenta nebo stupne]
$K$	součinitel šířky (pro plošný odtok $K = 1$ )
$K_i$	nasycená hydraulická vodivost v buňce $i$ [ $m/s$ ]
$I_{LAI}$	poměrná plocha listová
$l_{rill}$	délka rýhy [ $m$ ]
$mfda$	vícesměrný odtokový algoritmus
$n$	mannigův součinitel drsnosti
$PS$	potenciální srážka [ $m$ ]
$O_{tot}$	odtokové množství za čas [ $m^3/s$ ]
$O^{in}$	objem přítoku ze sousední buňky za čas [ $m^3/s$ ]
$o^{in}$	výška vtoku za čas [ $m/s$ ]

$o_{rill}^{in}$  výška vtoku v rýze za čas  $[m/s]$   
 $O^{out}$  objem odtoku z buňky za čas  $[m^3/s]$   
 $o^{out}$  výška odtoku z buňky za čas  $[m/s]$   
 $o_{rill}^{out}$  výška odtoku v rýze za čas  $[m/s]$   
 $O$  omočený obvod  $[m]$   
 $I_{POT}$  potencionální intercepce  
 $q_{rill}$  průtok v rýhách  $[m^3/s]$   
 $q_{sur}$  specifický plošný průtok  $[m^2/s]$   
 $R_{rill}$  hydraulický poloměr v rýze  $[m]$   
 $\rho$  tíhové zrychlení @@@jj není to hustota? zrychlení má jiné jednotky  $[ms^{-1}]$   
 $rill_{ratio}$  parametr tvaru rýhy  $[-]$   
 $ratio$  celočíselný faktor dělicí časový krok při výpočtu rýhového odtoku  
 $S_i$  sorptivita půdy  $[m\sqrt{s}]$   
 $\tau$  tečné napětí  $[Pa]$   
 $V_{out}$  objem objem odtelkého  $[m^3]$   
 $V_{crit}$  objem vody do kritické hladiny  $[m^3]$   
 $v_{rill}$  rychlost proudění - rýhový odtok  $[m/s]$   
 $V_{rill}$  objem vody v rýze v daném elementu  $[m^3]$   
 $v_{sur}$  rychlost proudění - plošný odtok  $[m/s]$   
 $V_{tot}$  celkový objem vody v elementu  $[m^3]$   
 $X$  parametr MKWA  
 $Y$  parametr MKWA  
 $g$  gravitační zrychlení  $[m/s^2]$   
 $P$  plocha buňky  $[m^3]$

## Seznam obrázků

1	Tvar rýny a výška vodní hladiny při plnění rýny či ustálení proudění (napravo), tvar rýny při jejím prázdnění (nalevo) . . . . .	7
2	digitálního modelu terénu povodí Býkovice . . . . .	10
3	Ukázka vektorové vrstvy, atributové tabulky a polem v atributové tabulce (pudni_druh) s identifikátorem půdního typu na vyznačeném území (HP). . .	10

4	Ukázka vektorové vrstvy, atributové tabulky a polem v atributové tabulce (LandUse) s identifikátorem typu vegetace na vyznačeném území (TP - travní porost). . . . .	11
5	Ukázka srážkových dat. V intervalu 0 - 10 minut je úhrn 3 mm, v intervalu 10 - 60 minut je úhrn 40 mm a v intervalu 60 - 70 úhrn 0 mm . . . . .	12
6	Ukázka tabulky s charakteristikami půd a vegetace. Význam veličin v jednotlivých sloupcích je popsán v tabulce 1. . . . .	13
7	soubory a adresa modelu SMODERP . . . . .	16
8	Časový krok řízen rychlostí plošného odtoku. $CFL$ rychle stoupne k 1 a začne zkracovat časový krok (horní graf). Pár minut později $CFL_{rill}$ stoupne nad 0.5, $ratio$ stoupne na 2 (dolní graf) tím začne lokálně dělit časový krok při výpočtu rýhového odtoku. $ratio$ na spodním grafu stoupne maximální na 4 a neovlivní tedy celkový časový krok (na horním grafu). Na obou grafech je vidět jak se po 25 minutě (kdy v modelu skončila srážková událost) dálka časového kroku i $ratio$ vrátí na původní hodnoty. . . . .	19
9	Časový krok řízen rychlostí rýhového odtoku. $CFL$ plošného odtoku nepřekročí během výpočtu hodnotu cca 0.35 (na horním grafu), proto nemá žádný vliv na velikost časového kroku. $CFL_{rill}$ rychle vystoupí 9 krát nad kritickou hodnotu 0.5 (spodní graf, prvních 10 minut výpočtu). To způsobí nárůst $ratio$ na 9 což je maximální povolené dělení lokálního časového kroku při výpočtu rýhového odtoku. Při dalším překročení hodnot 0.3 (cca 12 minuta na dolním grafu) dojde ke zmenšení celkového časového kroku na 90 % původní hodnoty (horní graf). Na obou grafech je vidět jak se po 20 minutě (kdy v modelu skončila srážková událost) dálka časového kroku i $ratio$ vrátí na původní hodnoty. . . . .	20
10	Flow chart toku programu . . . . .	24
11	Profiles and runoff concentration - Horany . . . . .	25
12	Hydrographs 1D and 2D Smoderp - Horany study area . . . . .	26
13	Profiles and runoff concentration - Bykovicky catchment . . . . .	27
14	Hydrographs 1D and 2D Smoderp - Bykovicky catchment . . . . .	27

## Seznam tabulek

1	Přehled experimentů použitých pro kalibraci odtokových parametrů . . . .	14
2	Kritéria změny časového kroku vycházející z plošného odtoku . . . . .	18
3	Kritéria změny faktoru $ratio$ při dělení časového kroku při výpočtu rýhového odtoku . . . . .	18

## Úvod

Dostává se Vám do ruky uživatelský manuál k modelu SMODERP2D, celým názvem Simulační Model Povrchového Odtoku a Erozního Procesu lze využít pro hydrologicko-erozní procesy na jednotlivých pozemcích nebo na malých povodích. Výstupy z modelu jsou primárně určeny pro stanovení odtokových poměrů v ploše povodí a pro stanovení případných opatření pro snížení odtoku z povodí a pro snížení erozního ohrožení zemědělské půdy. Model neslouží jen pro navrhování konkrétních prvků na jednotlivých pozemcích, ale lze jej využít i při navrhování komplikovanějších soustav sběrných a odváděcích prvků. Dále je možné tento model využít i pro navrhování suchých nádrží a poldrů, především na úrovni studií a variantního řešení. Jeho využití předpokládají jak současné metodiky, tak i technické normy a doporučené standardy. Z hlediska kategorizace modelu se jedná o fyzikálně založený plně distribuovaný dvourozměrný model sloužící pro simulace konkrétních epizod. Nově zavedené prostorové řešení, které nahradilo dřívější profilovou verzi modelu. Z hlediska vstupních dat a vnitřních procesů se jedná o složitější variantu řešení. Nic méně benefity prostorového řešení převažují. Dostupnost vstupních dat v podrobném rozlišení se zlepšuje stejně tak jako se zvyšuje výpočetní kapacita počítačů. Vývoj modelu je podporován z veřejných prostředků a podílejí se na něm studenti a zaměstnanci Katedry hydrolemiorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze. Manuál je rozdělen na dvě základní části. V první části jsou uvedeny výpočtové vztahy a popis jednotlivých zvolených procesů. V druhá část je pak věnována vstupním datům a výstupům. Případné aktualizace modelu, vzorová data, ukázky využití a další informace jsou pak průběžně poskytovány na stránkách modelu (<http://storm.fsv.cvut.cz/cinnost-katedry/volne-stazitelne-vysledky/smoderp/?lang=cz>).

# 1 Metody

V této kapitole jsou popsány jednotlivé výpočetní vztahy, které jsou v modelu využity. Dále tato část manuálu obsahuje stručný popis základních částí zdrojového kódu.

## 1.1 Použité vztahy a jejich odvození

V modelu jsou použity zjednodušené vztahy pro výpočet celkové bilance v jednotlivých výpočetních elementech a výpočet jednotlivých složek odtoku:

- infiltrace do půdy  $Inf$
- efektivní srážka  $ES$
- odtoklé množství  $O_{tot}$

Proudění povrchové vody a množství odtoku je rozděleno na tři principiálně odlišné procesy:

- plošný odtok
- soustředěný odtok v rýhách
- výpočet odtoku v hydrografické síti

Základní odvození vztahů povrchových procesů v modelu SMODERP vychází z rovnice kontinuity a rovnice pohybové na základě kinematického principu s využitím experimentálních měření. V celém řešeném prostoru je po jednotlivých elementech v každém časovém kroku provedena bilance zásoby a následně vypočteno odtoklé množství za daný časový krok. V ploše povodí jsou směry odtoků resp. přítoků dány funkcí směru odtoku. v místě vodních toků je pak veškerý tok směřován dále vodním tokem.

### 1.1.1 Plošný povrchový odtok

Základním vztahem řešení v elementu je bilance plošného odtoku.

$$\frac{dS}{dt} = I_{tot} - O_{tot}, \quad (1)$$

kde  $\frac{dS}{dt}$  je změna zásoby [ $m^3/s$ ],  
 $I_{tot}$  je celkový přítok za čas [ $m^3/s$ ],  
 $O_{tot}$  je odtokové množství za čas [ $m^3/s$ ].

Podle složek povrchového odtoku lze  $I_{tot}$  a  $O_{tot}$  rovnici 1 rozepsat takto podle složek povrchového odtoku použitých v modelu SMODERP

$$I_{tot} = ES + O^{in},$$

$$O_{tot} = Inf + O^{out},$$

kde  $O^{in}$  je objem přítoku ze sousední buňky za čas  $[m^3/s]$ ,  
 $O^{out}$  je objem odtoku z buňky za čas  $[m^3/s]$ ,  
 $ES$  je efektivní srážka  $[m^3/s]$ ,  
 $Inf$  je infiltrované množství  $[m^3/s]$ .

Bilanční rovnici pro každou buňku  $i$  v čase  $t$  lze rozepsat jako

$$\frac{dS}{dt} = ES_{i,t} + \sum_j^m O_{j,t-1}^{in} - Inf_{i,t} - O_{i,t-1}^{out}, \quad (2)$$

kde  $m$  jsou buňky, odkud vtéká voda do buňky  $i$ .

Toto  $m$  se liší podle použitého odtokového algoritmu jednosměrného *D8* nebo vícesměrného *mfa* (*multi-flow direction algorithm*). Objem srážky  $ES$  a infiltrované množství  $Inf$  lze určit přímo při výpočtu časového kroku  $t$ . Přitéklé a odteklé množství vody  $O^{in}$  a  $O^{out}$  z časového kroku  $t - 1$  (což odpovídá explicitnímu řešení časové derivace).

Při samotném řešení se v modelu SMODERP operuje s veličinami ve výškových jednotkách. Pokud celou rovnici 2 podělíme velikostí buňky  $P$  a vyjádříme časovou derivaci jako diferenci ( $\frac{dh_{i,t}^{sur}}{dt} \approx \frac{h_{i,t}^{sur} - h_{i,t-1}^{sur}}{\Delta t}$ ), vypadá rovnice 2 následovně:

$$h_{i,t}^{sur} = h_{i,t-1}^{sur} + \Delta t \left( es_{i,t} + \sum_j^m o_{j,t-1}^{in} - inf_{i,t} - o_{i,t-1}^{out} \right), \quad (3)$$

kde  $h^{sur}$  je výška hladiny na povrchu  $[m]$ ,  
 $es$  je intenzita srážky  $[m/s]$ ,  
 $inf$  je intenzita infiltrace  $[m/s]$ ,  
 $o^{in}$  je výška vtoku za čas  $[m/s]$ ,  
 $o^{out}$  je výška odtoku z buňky za čas  $[m/s]$ .

V následujícím textu jsou popsány jednotlivé členy za pravé straně rovnice 3.

### **Efektivní srážka $es$**

Srážka je příčinou celého erozního procesu. Vzhledem k tomu, že se jedná o epizodní model je srážka zadávána v podobě konkrétní nebo návrhové srážky, která začíná s prvním časovým krokem výpočtu. Model počítá s vlivem intercepce, tedy že určitá část srážky bude zachycena rostlinami díky potenciální intercepci  $I_{POT}$ . Míra zachycení v každém výpočtovém čase je definována pomocí poměrné plochy listové  $I_{LAI}$  například ?.

Označme množství srážky který dopadá na povrch půdy i plodiny během  $\Delta t$  potenciální srážkou  $PS$ . Část  $PS$ , která zůstane v časovém kroku na rostlinách se dá vyjádřit



jako násobek srážky  $PS$  a  $I_{LAI}$ ,

$$PS I_{LAI}$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že množství které propadne povrchem listů je

$$PS(1 - I_{LAI}).$$

V modelu je rovněž zahrnuta intercepční kapacita  $I_{POT}$ , která se plní na začátku běhu modelu. Výsledná intenzita efektivní srážky v čase  $t$  je par určena jako

$$es_t = MAX(0; \sum_{\bar{t}=t_{init}}^t (PS_{\bar{t}}(1 - I_{LAI})) - I_{POT})/\Delta t,$$

kde  $PS$  je potenciální srážka  $[m]$ ,  
 $I_{LAI}$  je poměrná plocha listová,  
 $I_{POT}$  je potencionální intercepce a  
 $\sum_{\bar{t}=t_{init}}^t$  vyjadřuje množství srážky které propadlo  
 povrchem listů plodiny od počátečního času  $t_{init}$  do času  $t$ .

### Intenzita infiltrace $inf$

V modelu je použita infiltrace podle Philipa (?) v následujícím tvaru (pro příslušnou buňku  $i$ ):

$$inf = \frac{1}{2} S_i t^{-1/2} + K_i. \quad (4)$$

kde  $inf$  je intenzita infiltrace  $[m/s]$ ,  
 $S_i$  je sorptivita půdy  $[m\sqrt{s}]$  a  
 $K_i$  je nasycená hydraulická vodivost v buňce  $i$   $[m/s]$ .

Philipova rovnice byla zvolena především z důvodu relativně malého počtu nutných vstupních parametrů. tato zjednodušená rovnice má dva hlavní členy nasycenou hydraulickou vodivost  $K$  a sorbtivitu  $S_i$ . Autoři modelu si byli vědomi omezení použití Philipovy rovnice vyplývající z podmínek, za kterých byla odvozena. Možné odchylky způsobené volbou této rovnice odpovídají odchylkám v heterogenitě půdy a kvalitě ostatních vstupů, na jejichž základě model pracuje. Čas  $t$  ve vztahu 4 je čas od začátku srážky, který by měl být v epizodním modelu totožný s počátečním časem výpočtu. Tato nezbytná podmínka by měla být brána v potaz při přípravě vstupních dat.

### Plošný odtok $o^{in}, o^{out}$

Rovnice plošného odtoku vychází z kinematického přístupu k řešení pohybové rovnice,

$$q_{sur} = ah^{sur}b,$$

kde  $q_{sur}$  je specifický plošný průtok [ $m^2/s$ ],  
 $a$  je parametr MKWA ( $a = XI^Y$ ) a  
 $b$  je parametr MKWA.

Parametry  $a$  a  $b$  respektive  $X$  a  $Y$  jsou odvozeny na základě měření, viz kapitola ??.  
Z vyhodnocení vyplývá, že parametr  $b$  je závislý pouze na půdním druhu. Parametr  $a$  je závislý nejen na půdním druhu, ale také na sklonu svahu. Odteklá resp. přítelká výška je pak dopočítána jako

$$o^{out}(resp. o^{in}) = \frac{\Delta x}{P} q_{sur}$$

kde  $\Delta x$  je prostorový krok [ $m$ ] a  
 $P$  je plocha buňky [ $m^3$ ].

**ověřit sklon v%**

## Odvozené veličiny

Z vypočteného průtoku, velikosti řešeného elementu a délky časového lze dopočítat objem odtoku

$$V_{out} = \Delta t q_{sur},$$

kde  $V_{out}$  je objem objem odtelkého [ $m^3$ ].

Pro posouzení erozní ohroženosti a pro výpočet vzniku rýh je v každém elementu vypočítávána rychlost a tečné napětí. Za předpokladu, že se jedná a proudění vody o malé hloubce, lze rychlost proudění odvodit ze specifického průtoku a výšky hladiny:

$$v_{sur} = \frac{q_{sur}}{h^{sur}}, \quad (5)$$

kde  $v_{sur}$  je rychlost proudění - plošný odtok [ $m/s$ ].

Tečné napětí dále využívané v modelu pak uvažuje výpočet tak, jak jej uvádí například (?)

$$\tau = \rho g h^{sur} IK, \quad (6)$$

kde  $\tau$  je tečné napětí [ $Pa$ ],  
 $\rho$  je tíhové zrychlení @@@jj není to hustota? zrychlení má jiné jednotky [ $ms^{-1}$ ],  
 $g$  je gravitační zrychlení [ $m/s^2$ ],  
 $I$  je sklon [@@@jj procenta nebo stupně] a  
 $K$  je součinitel šířky (pro plošný odtok  $K = 1$ ).

Vypočítaná rychlost a tečné napětí jsou v případě posuzování erozní ohroženosti porovnávány s limitními hodnotami krajních nevymílajících rychlostí a tečných napětí pro jednotlivé půdní druhy v závislosti na druhu vegetace (?) a jsou uvedeny v tabulce ??. V literatuře se setkáme i s odlišnými hodnotami. Například M. A. Velikanov stanovil krajní nevymílající rychlost pro půdy  $0,24 m/s$  (?), což je hodnota nižší, než kterou stanovila E. Dýrová.

### 1.1.2 Soustředěný odtok v rýhách

Výpočet soustředěného odtoku v rýhách implementovaný do modelu SMODERP vychází z několika předpokladů:

1. Zavedení stejných zjednodušujících předpokladů výpočtu proudění obdobně jako v případě výpočtu plošného odtoku, přesto že se nejedná o výpočet proudění o zanedbatelně malé hloubce. Předpokladem je, že se v jednotlivých elementech v relativně malých časových krocích jedná o rovnoměrné ustálené proudění. Při rovnoměrném proudění se předpokládá sklon dna  $I$  rovný sklonu hladiny vody v rýze a shodná drsnost v celé délce elementu. Průtok v rýze je vyjádřen použitím Chézyho rovnice v mannigově tvaru:

$$q_{rill} = v_{rill}A = A \frac{1}{n} R_{rill}^{2/3} I^{1/2}, \quad (7)$$

kde  $q_{rill}$  je průtok v rýhách [ $m^3/s$ ],  
 $v_{rill}$  je rychlost proudění - rýhový odtok [ $m/s$ ],  
 $A$  je průtočná plocha [ $m^2$ ],  
 $n$  je mannigův součinitel drsnosti a  
 $R_{rill}$  je hydraulický poloměr v rýze [ $m$ ].

2. Soustředěný odtok vniká v elementech, kde dojde k překročení kritické hladiny  $h^{crit}$ , která je spočtena pro každý element na základě hodnot kritického tečného napětí 6 nebo rychlostí 5. Objem vzniklé rýhy odpovídá nadkritickému množství vody  $V_{rill}$ .

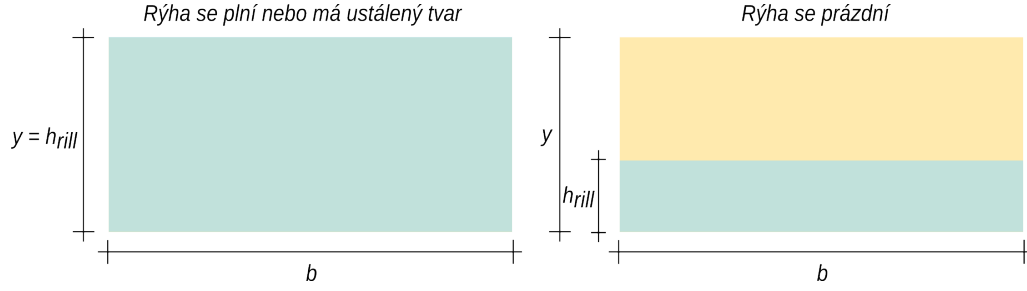
$$V_{rill} = V_{tot} - V_{crit} = MAX(0; h^{sur} - h^{crit})P$$

kde  $V_{rill}$  je objem vody v rýze v daném elementu [ $m^3$ ],  
 $V_{tot}$  je celkový objem vody v elementu [ $m^3$ ],  
 $V_{crit}$  je objem vody do kritické hladiny [ $m^3$ ] a  
 $h^{crit}$  je kritická hloubka [ $m$ ].

3. Další z důležitých zjednodušení je tvar příčného profilu rýhy, který je v modelu reprezentován obdélníkem, s pevným poměrem stran  $rill_{ratio}$ =výška/šířka rýhy. Velikost rýhy se zvětšuje pokud je nadkritické množství  $V_{rill}$  větší než objem samotné rýhy. Pak se výška rýhy rovná výšce vodní hladiny v rýze (vlevo na obrázku 1). Pokud začne být nadkritické množství  $V_{rill}$  menší než je velikost rýhy, začne se rýha prázdnit, velikost rýhy však zůstává konstantní (vpravo na obrázku 1). Hydraulický poloměr rýhy lze určit podle následujícího vztahu

$$R_{rill} = \frac{A}{O} = \frac{h^{rill} b_{rill}}{b_{rill} + 2h^{rill}} = \frac{b_{rill}^2 rill_{ratio}}{b_{rill}(rill_{ratio} + 2)}$$

kde  $b_{rill}$  je šířka rýhy [ $m$ ],  
 $O$  je omočený obvod [ $m$ ] a  
 $rill_{ratio}$  je parametr tvaru rýhy [-].



**Obrázek 1:** Tvar rýny a výška vodní hladiny při plnění rýny či ustálení proudění (napravo), tvar rýny při jejím prázdnění (nalevo)

### Celková bilance

Pokud dojde k vzniku rýh, přičtou se do celkové bilance 3 další dva členy vyjadřující přítok a odtok v rýhách. Rovnice 3 vypadá následovně

$$h_{i,t}^{sur} = h_{i,t-1}^{sur} + \Delta t \left( es_{i,t} + \sum_j^m o_{j,t-1}^{in} - inf_{i,t} - o_{i,t-1}^{out} + \sum_k^n o_{rillk,t-1}^{in} - o_{rilli,t-1}^{out} \right), \quad (8)$$

kde  $o_{rill}^{in}$  je výška vtoku v rýze za čas  $[m/s]$  a  
 $o_{rill}^{out}$  je výška odtoku v rýze za čas  $[m/s]$ .

$n$  jsou buňky, odkud vtéká voda z rýh do buňky  $i$ .

$n$  může být prázdná množina pokud není překročena kritická výška nebo no může rovnat  $m$  z rovnice 3 pokud je použit odtokový algoritmus  $D8$  a na všech sousedních buňkách buňky  $i$  je překročena kritická výška hladiny.

### Rýhový odtok $o_{rill}^{in}$ , $o_{rill}^{out}$

Výška odtoku (resp. vtoku) z rýhy do dané výpočetní buňky je vypočtena za základě Chézyho rovnice 7 takto:

$$o_{rill}^{in}(\text{resp. } o_{rill}^{out}) = \frac{q_{rill}}{b_{rill}l_{rill}}$$

kde  $l_{rill}$  je délka rýhy  $[m]$ .

### Poznámka nebo to dát do diskuse k článku

- Výsledný tvar blíží Maningově rovnici

$$Q = \frac{A}{1} n R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (9)$$

- Přesněji pro tvar této rovnice pro plošný odtok, kdy se předpokládá proudění vody o malé hloubce a tvar koryta je nahrazen jeho šířkou. Rovnice má pak tvar:

$$Q = \frac{1}{n} h^{2/3} S^{1/2} \quad (10)$$

- Že může být jiná rce infiltrace.
- tvar rýhy - výzkum funkce?
- jen jedna přímá rýha

### 1.1.3 Odtok hydrografickou sítí

**tohle není vůbec napsané**

Příkopy mohou vytvořit prostor, kam bude voda soustředěna a kde nebude páchat škody. Voda je příkopy odvedena do sítě stávajících vodních toků. Současný model pracuje s plošným povrchovým a rýhovým odtokem, ale rutina pro odtok v rámci hydrografické sítě chybí. Tato část tvoří nedílnou součást odtokového procesu. Cílem mé diplomové práce proto je rozšíření modelu o rutinu odtoku v hydrografické síti a hydraulickým výpočtem v rámci této sítě.

## 1.2 SMODERP 2D - postup výpočtu

Současná verze modelu SMODERP je napsána v programovacím jazyce Python. V rámci kódu jsou od sebe oddělena část přípravy dat a samotné zpracování. Příprava dat využívá v současné době nástroje z knihoven ArcGIS proto byl zvolen jako programovací jazyk Python, který je pro prostředí ArcGIS nativním programovacím jazykem. Proces samotného výpočtu již využívá pouze standardní knihovny Python, jako je knihovna **numpy**, nebo **math**, atp. Pro přehlednost je text rozdělen do třech částí, vstupní data 1.2.1, tok programu 1.2.2 a výstupy 1.2.3

### 1.2.1 Vstupy do modelu

**Nutno dodělat**

- upravit podle aktuálního stavu
- upravit a zjednotit tuto kapitolu
- propojit s tabulkama co jsou jinde v textu
- vložit sem tabulky parametrů výpočtu pokud nejsou jinde

Vstupní data modelu jsou ve třech formátech: rastrová, vektorová a textová. Do modelu vstupují informace o topografii řešeného území, informace o typech půd a vegetaci,

informace o srážce atd. jako základní vektorová data je zvolen formát shapefile. tento vektorový formát byl vytvořen firmou ESRI. Shapefile popisuje prvky jako body, linie nebo polygony. Každý prvek má obvykle nějaký atribut, který ho popisuje jako v tomto případě jméno, či typ půdy. V následujícím text jsou popsány náležitosti vstupních dat.

Model pracuje s následujícími vstupy (*rozlišit nutné a doporučené vstupní hodnoty*)

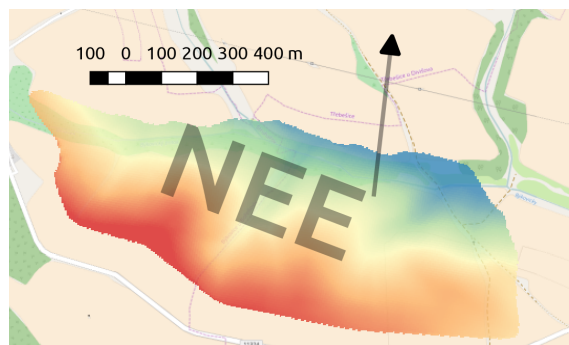
- digitální model terénu
- shapefile půd
- shapefile využití území
- srážkový soubor
- časový krok výpočtu a celková doba simulace
- výstupní adresář
- bodová vrstva pro generování hydrogramů
- výstupní adresář
- typ výpočtu
- volba výcesměrného odtoku
- tabulka půd a vegetace a kód pro připojení
- shapefile hydrografické sítě
- tabulka vodních toků a kód pro připojení
- volitelné formy výstupů

## **Digitální model terénu**

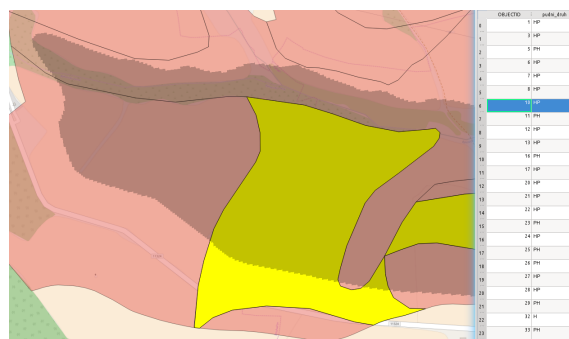
Rastr digitálního modelu terénu nebo také DMT, či anglicky DTM (Digital Terrain Model) je souvislý povrch území obvykle znázorňující morfologii určité části Země. DMT rastr je složen z jednotlivých buněk. Nejčastější formou jsou buňky čtvercové, ale mohou mít i jiný tvar. Velikost buněk se liší v závislosti na velikosti zobrazovaného území. Pro účely modelu SMODERP 2D by minimální velikost buněk měla být 3 metry a výše. Optimum je však 5 metrů a více. Důležitá je i celková rozloha rastru, tedy počet buněk. Model byl testován na rastrech o velikosti od několika málo tisíc buněk. DMT jednoho z testovacích, povodí Nučice, obsahuje přes 125 tisíc buněk. Příklad DMT je ukázán na obrázku 2.

## **Shapefile půd**

V České republice se standardně používá na zemědělské půdě rozdělení půd podle zrnitosti dle Novákovy klasifikace. Půda je rozdělena podle obsahu tzv. jílových částic na půdy ?:



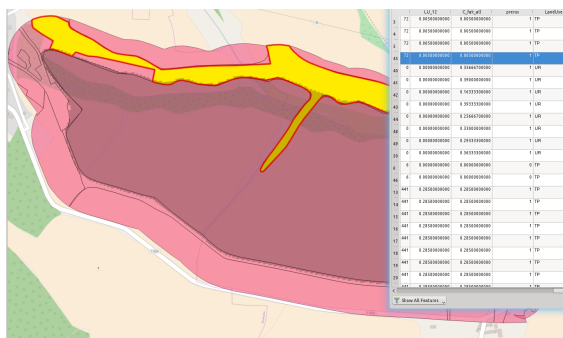
**Obrázek 2:** digitálního modelu terénu povodí Býkovice



**Obrázek 3:** Ukázka vektorové vrstvy, atributové tabulky a pole v atributové tabulce (pudni\_druh) s identifikátorem půdního typu na vyznačeném území (HP).

- písčité
- hlinitopísčité
- písčitohlinité
- hlinité
- jílovitohlinité
- jílovité
- jíl

Na lesních půdách je naopak využíván popis kategorií podle klasifikace USDA. Vstupní shapefile popisuje prostorové rozložení jednotlivých půdních typů na řešeném území. Pro určení charakteristik je nutné aby obsahoval atributové pole udávající identifikátor daného půdního typu. Identifikátor odkazuje na půdní charakteristiky, které jsou definované v dalších vstupech (popsáno níže). Shapefile popisující půdu je zobrazen na obrázku 3.



**Obrázek 4:** Ukázka vektorové vrstvy, atributové tabulky a polem v atributové tabulce (LandUse) s identifikátorem typu vegetace na vyznačeném území (TP - travní porost).

## Shapefile využití území

Obdobně jako u půdních dat je vstupem vektorový shapefile popisující využití území. Mezi základní typy pro které byl model testován patří:

- atropogení a zpevněné plochy
- holá půda bez vegetace
- les
- sad
- travní porosty
- zemědělské plodiny širokořádkové
- zemědělské plodiny úzkořádkové

*Širokořádkové plodiny jsou například brambory, kukuřice, řepa, sója a slunečnice. Úzkořádkové plodiny jsou obiloviny nebo řepka.* Shapefile popisující vegetaci je zobrazen na obrázku 4. Obdobně jako u půd v předchozí sekci je třeba atributovou tabulku tohoto shapefile doplnit o identifikátor daného typu vegetace. Tento identifikátor odkazuje na charakteristiky daného vegetačního povrchu definované v dalším vstupech (popsáno níže).

## Srážkový soubor

Dalším vstupem je textový soubor obsahující srážková data. Srážky se zadávají jako textový soubor se dvěma sloupci. V levém je časový interval v minutách v pravém **ku-mulativní úhrn** za daný časový interval v **milimetrech**. Například hodnoty na obrázku 5 ukazují, že za prvních 10 minut běhu modelu naprší na každou buňku rastru 3 mm, v období 10 - 60 minut 40 mm a od 60. minuty je srážka 0 mm.



#	cas [minuty]	uhrn [mm]
	10	3
	60	43
	70	43

**Obrázek 5:** Ukázka srážkových dat. V intervalu 0 - 10 minut je úhrn 3 mm, v intervalu 10 - 60 minut je úhrn 40 mm a v intervalu 60 - 70 úhrn 0 mm

### Časový krok modelu (s) a celková doba simulace(min

Časový krok modelu označený jako  $\Delta t$  je hodnota v minutách, která udává velikost počátečního časového kroku. tento zadaný kro je maximální hodnout. během výpočtu je časový krok dynamicky zkracován podle Courantovy podmínky.. Velikost časového kroku tedy závisí na rychlosti děje a na velikosti prostorového kroku (velikosti buňky DMT).

Délka běhu modelu je hodnota v minutách určující čas, do kterého se model po jednotlivých časových krocích dostane a skončí. Doporučená volba délky běhu modelu by měla být delší než zadávaná srážka.

### shapefile bodů pro generování hydrogramů

Jedná se o bodovou vrstvu. V těchto bodech se budou uživatelé ukládat časové řady počítaných veličin. Tento volitelný vstupní parametr je podrobněji popsán ve výstupech 1.2.3.

### Výstupní adresář

Výstupní adresář je složka, do které se uloží veškeré výsledné rastry a výstupní textové soubory. Na začátku běhu programu se obsah tohoto adresáře celý vymaže, proto se doporučuje vždy provést kontrolu. V žádném případě nenastavujete jako výstupní adresář pracovní plochu, či jiný adresář, kde byste mohli mít uložena důležitá data!

### Rýhový odtok

Tento volitelný parametr po zaškrtnutí umožní výpočet soustředěného odtoku. Soustředěný odtok je popsán v sekci 1.1.2.

soilveg	k	s	n	pi	ppl	alfa	b	x	y	tau	v
HPTP	0.000016666	0.000193649	0.03	0.0	0.0	1	1.8415	9.049555	0.49375936	10.66	0.245
PPSR	0.000018666	0.000229797	0.035	0.16	0.13	1	1.8415	9.049555	0.49375936	10.66	0.245
PPUR	0.000021	0.000243998	0.04	0.3	0.2	1	1.8415	9.049555	0.49375936	10.66	0.245
PPTT	0.000023333	0.000271109	0.1	1	0.4	1	1.8415	9.049555	0.49375936	15	0.6
HPUH	0.000003666	0.000077459	0.03	0.0	0.0	1	1.748	8.8251715	0.4902104	10.66	0.245
HPSR	0.000004166	0.000015491	0.035	0.16	0.13	1	1.748	8.8251715	0.4902104	10.66	0.245
HPUR	0.000004833	0.000016783	0.04	0.3	0.2	1	1.748	8.8251715	0.4902104	10.66	0.245
HPTT	0.000005	0.00002582	0.1	1	0.4	1	1.748	8.8251715	0.4902104	18.5	0.7

**Obrázek 6:** Ukázka tabulky s charakteristikami půd a vegetace. Význam veličin v jednotlivých sloupcích je popsán v tabulce 1.

## Vícesměrný odtok

Parametr volby vícesměrného odtoku je volitelný. Více o tomto typu odtoku je v části ??

## Tabulka parametrů půdy a vegetace

Tento vstup je tabulka, na kterou se odkazují identifikátory půdního typu a typu vegetačního pokryvu v atributových tabulkách polygonových vrstev s prostorovým rozložením půd a vegetace. Tato tabulka může být do modelu vložena jako textový soubor. Na obrázku 6 je ukázán příklad takové tabulky. V prvním sloupci jsou složeny identifikátory (id) typu půd a typu vegetace. Na prvním řádku je ukázka odpovídající id půdního typu z obrázku 3 HP a id typu využití území z obrázku 4 TP, které jsou v tabulce na obrázku 6 spojeny na HPTP. Tímto způsobem je program schopen propojit prostorové uspořádání půd a typu vegetace s příslušnými charakteristikami. Spojení identifikátorů z atributových tabulkách polygonových vrstev provádí program automaticky. Uživatel musí pouze zaručit aby se identifikátory v nastavené v atributových tabulkách polygonových vrstev schodovali s identifikátory v tabulce půdních charakteristik a charakteristik vegetace.

Hlavičky druhého až posledního sloupce jsou povinné. Jejich význam je popsán v tabulce 1. Názvy v druhém až posledním sloupečku musí být zadány malými písmeny.

Meze jednotlivých parametrů jsou podrobněji popsány v kapitole XXX. Součástí manuálu jsou i vzorové tabulky.

## Hydrografická síť

Hydrografickou sítí jsou myšleny nejen vodní toky, ale do modelu je možné zadávat i prvky dočasné hydrografické sítě jako jsou příkopy, průlehy, cesty s příkopy atp. Výpočet v modelu probíhá po zvolených úsecích pomocí Manningovi rovnice pro výpočet průtoku. Prostorové umístění jednotlivých prvků je formou shapefile (**Vrstva toků - Stream feature**). Jednotlivé vektory reprezentují úsek se stejnými charakteristikami. Tvar úseku, drsnost, základní průtok jsou pak zadávány pomocí externí tabulky kde jsou uvedeny charakteristiky pro jednotlivé typy úseků (**Tabulka vodních toků - Stream table**). Pro propojení prostorové informace s charakteristikami úseků je třeba mít v atributové tabulce shodný kód jako ve vrstvě vodních toků (**Kód vodních toků - Steam table**).

**Tabulka 1:** Přehled experimentů použitých pro kalibraci odtokových parametrů

Hlavička v tabulce	Význam
k	nasycená hydraulická vodivost [ $ms^{-1}$ ]
s	sorptivita půdy [ $m\sqrt{s}$ ]
n	mannigův součinitel drsnosti
pi	potencionální intercepce
ppl	poměrná plocha listová
alpha	...
b	parametr MKWA
x	parametr MKWA
y	parametr MKWA
tau	tečné napětí [ $Pa$ ]
v	...

code).

### 1.2.2 Tok programu

Samitný program je rozdělen do několika podadresářů a souborů. Adresářová struktura s popisem nejdůležitějších adresářů a souborů je ukázána na obrátku 7. Klíčové soubory jsou `data_preparation.py`, kde je proveden *preprocessing* vstupních dat a jejich převedení do datových struktur modelu. Dalším důležitým souborem je soubor `runoff.py` a `time_step.py` kde, jde se řeší postup jednotlivými časovými kroky výpočtu. Soubory v adresáři `main_classes/` obsahují definici datových struktur jednotlivých řešených dějů a skládají dohromady metody k řešení jednotlivých dějů modelu. Tuto metody jsou pak definované v adresáři `processes/`.

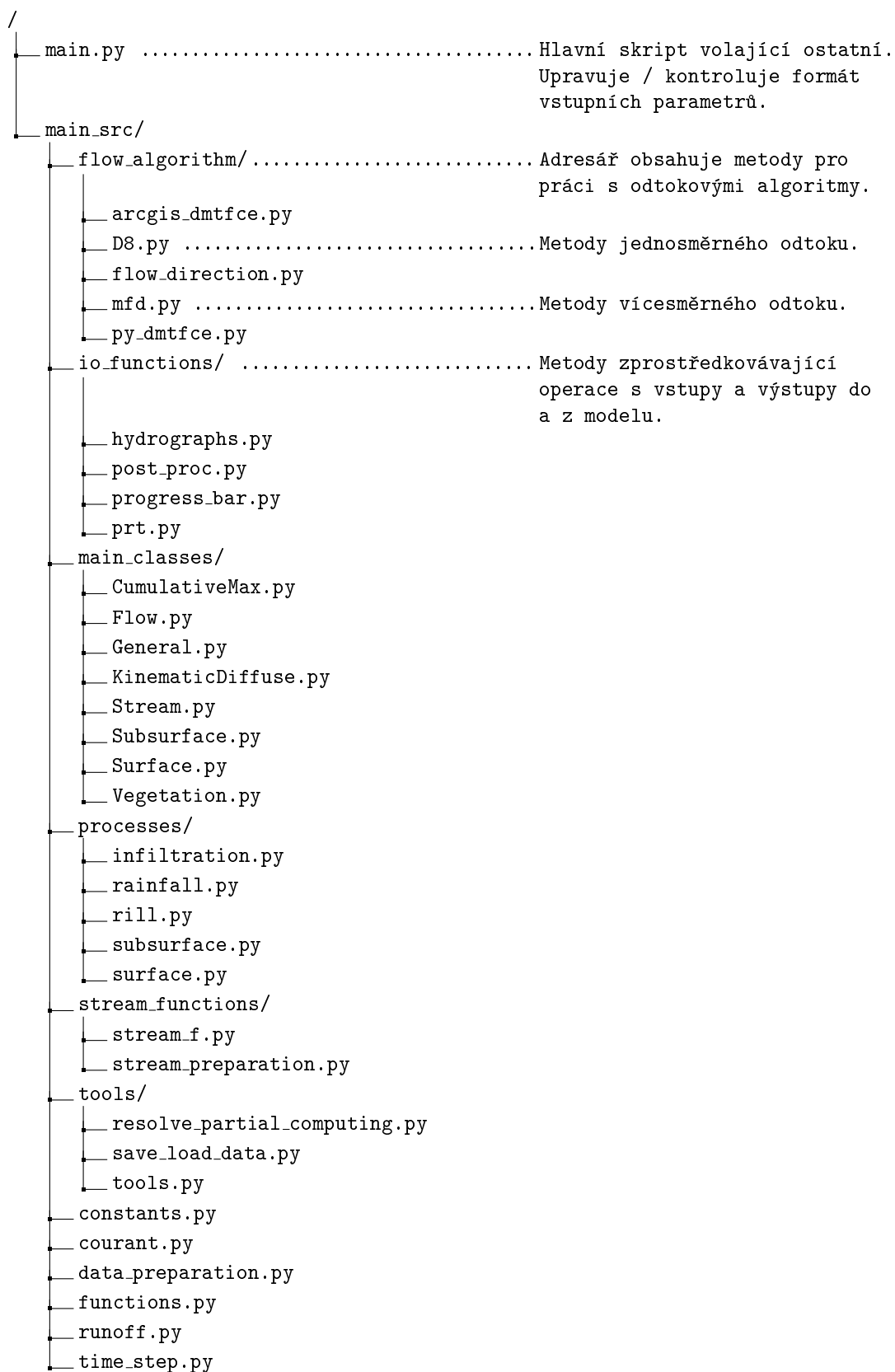
Program SMODERP je napsaný v jazyce Python. Python je často používaný GIS softwarý jako skriptovací jazyk a jsou pro ně k dispozici knihovny pro efektivní práci s geodaty<sup>1</sup>. Programy či skripty napsané pomocí Python jsou spustitelné v prostředí daných GIS softwarů. Současná verze modelu SMODERP používá Python 2.7.\*, který je kompatibilní s ArcGIS 10.x.

Na obrázku 10 je zjednodušený diagram toku programu. Program řeší v každém časovém kroku rovnici 3. Pokud je překročena kritická výška a půda se začne vymílat, začne se do celkového odtoku započítávat i rýhový odtok. Bilanční rovnice je rozšířena (rovnice 8). Pokud je řešená buňka tok, načítá se celkový přítok  $\sum_j^m o_{j,t-1}^{in}$  (případně  $\sum_k^n o_{rillk,t-1}^{in}$ ) v rovnici 3 (8) do daného úseku toku, kde se odtok řeší pomocí Chezyho rovnice.

Pokud v daném časovém kroku překročí rychlost v jakékoli buňce Courantovo kritérium dojde ke zmenšení časového kroku a výpočet se v daném kroku opakuje. Pokud je Courantovo kritérium nízké, je možné časový krok zvýšit. To odpovídá kontrole a aktu-

<sup>1</sup>knihovna `arcpy` pro ArcGIS či knihovny `grass.script` pro GRASS GIS

alizaci časového kroku v diagramu na obrázku 10. Po dosažení konečného času dojde k uložení výsledných hodnot a ukončení programu.



Obrázek 7: soubory a adresa modelu SMODERP

## Programovací jazyk Python

Python je objektivě orientovaný programovací jazyk, který se může využít v mnoha oblastech vývoje softwaru. Nabízí významnou podporu k integraci s ostatními jazyky a nástroji a přichází s mnoha standardními knihovnami. Jeho použití je velice široké od programů na zpracování multimedií až po zpracování textů. Python není závislý na platformě, na které běží. Zajímavým rozšířením jazyka Python je NumPy. Je to balíček užívaný pro vědecké výpočty. Umožňuje podporu velkých, multi-dimenzionálních polí a matic, spolu s velkou knihovnou matematických funkcí pro práci s těmito poli. Pomocí tohoto balíčku bylo v programu operováno s naprostou většinou polí a matic. V současnosti (Prosinec 2013) je nejnovější verze jazyka 3.3.3. Poslední verze vývojové větve 2.x Pythonu vyšla v roce 2010 a byla to verze 2.7. Nyní všechna vylepšení jazyka už jsou dělána pro vývojovou větev 3.x. K tvorbě programu byla zvolena verze 2.6.5, která je kompatibilní s programem ArcGIS 10.0.

## CFL podmínka - řešení nestability výpočtu

V předchozím verzích programu SMODERP nebyla ošetřena podmínka stability výpočtu, která vychází z explicitního řešení časové derivace. Při větších rychlostech toku či nevhodně zvolené délce časového kroku došlo k situaci, kdy z buňky oteklo více vody než v ní bylo. Situace byla nazvána přetečení. Program se ukončil a uložil se poslední úspěšný časový krok.

V současné verzi programu SMODERP 2D je tento problém vyřešen Courant-Friedrich-Lewy (*CFL*) podmínkou. Splnění této podmínky zajišťuje konvergenci explicitního řešení pokud je platí, že  $CFL < 1.0$ . Z obecné rovnice CFL podmínky byla odvozena a upravena podmínka pro účely modelu SMODERP 2D na následující tvar:

$$CFL = \frac{1}{0.5601} \frac{v \Delta t}{\Delta x} \quad (11)$$

kde  $CFL$  je Courant-Friedrich-Lewy podmínka,  
 $v$  je rychlost plošného či rýhového toku,  
 $\Delta t$  je časový krok [s] a  
 $\Delta x$  je prostorový krok [m].

Po dopočítání časového kroku je uložena nejvyšší hodnota  $CFL$  zjištěná z **plošného odtoku** pomocí vztahu 11. Poté se porovná s kritickou hodnotou a podle pravidel znázorněných v tabulce 2 se změní (nebo nezmění) délka časového kroku  $\Delta t$ . Pokud dojde ke změně  $\Delta t$  opakuje se výpočet v daném časovém. Do dalšího času se výpočet posune, až když je zaručena stabilita výpočtu.

Proudění v **rýhách** je zpravidla řádově rychlejší než plošný odtok. Pokud bychom v tomto případě uplatňovali stejný princip jako u plošného odtoku, časový krok by byl musel být velmi malý čímž by se prodlužoval strojový čas výpočtu. K odtoku v rýhách většinou nedochází na celém území, ale pouze v poměrně malém počtu buněk (v poměru k celé ploše

**Tabulka 2:** Kritéria změny časového kroku vycházející z plošného odtoku

nové	$CFL < 0.75 \vee 1.0 < CFL$	$0.75 \geq CFL \geq 1.0 \vee CFL = 0.0^*$
$\Delta t$	$= MIN(\frac{0.5601\Delta x}{v}; \Delta t_{max})$	$= \text{původní } \Delta t$

**Tabulka 3:** Kritéria změny faktoru *ratio* při dělení časového kroku při výpočtu rýhového odtoku

nové	$CFL_{rill} < 0.3$	$0.5 < CFL_{rill}$	$0.3 \geq CFL_{rill} \geq 0.5$ $\vee CFL_{rill} = 0.0$
<i>ratio</i>	$= MAX(ratio - 1; 1)$	$= MIN(ratio + 1; 10)$ pro <i>ratio</i> = 10	$= \text{původní } ratio$
$\Delta t_{mult}$	$= MIN((1/0.9)\Delta t_{mult}; 1)$	$= 0.9\Delta t_{mult}$	$= \text{původní } \Delta t_{mult}$
$\Delta t$		$= \Delta t\Delta t_{mult}$	

výpočetní oblasti). Proto se při výpočtu rýhového odtoku přistoupilo k lokálnímu krácení časového kroku pouze v buňkách, kde k rýhovému odtoku skutečně dojde. Časový krok v rýhách je dělen celočíselně faktorem označeným jako *ratio*. CFL číslo se proto ukládá zvlášť u plošného a zvlášť u rýhového odtoku. Ke změně časového kroku plošného odtoku dojde pokud *ratio* > 10. Časový krok plošného odtoku je pak násoben multiplikátorem  $\Delta t_{mult}$ , který se po každém překročení maximální *CFL* zmenší na 90 % své dosavadní hodnoty. Pokud je *CFL* příznivé multiplikátor  $\Delta t_{mult}$  se postupně zvětšuje vždy o 10 % na hodnoty 1. Pravidla pro změna faktoru *ratio* a multiplikátoru  $\Delta t_{mult}$  jsou shrnuty 3.

Obrázek 8 a 9 ukazují chování časového kroku v případě, že je řízen plošným obrázek 8 nebo rýhovým odtokem obrázek 9.

### 1.2.3 Výstupy z modelu

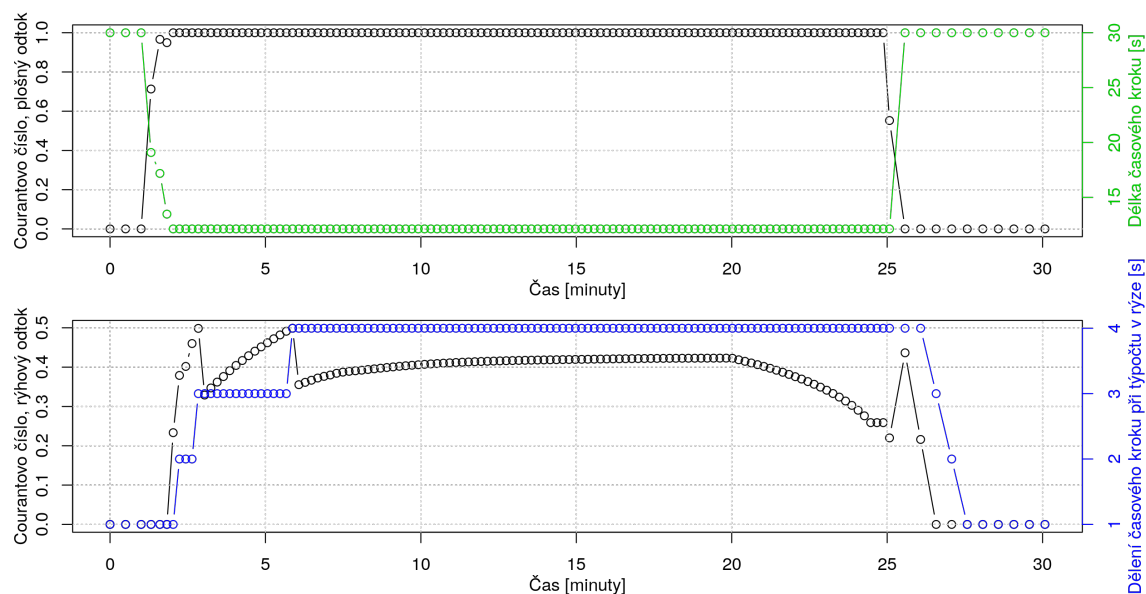
#### Zde dodelat

- popsat výstupy mimo temp
- popsat co jsou v temp
- popsat výstupy v určitých krocích

Po úspěšném ukončení modelu je do výstupního adresáře uloženo několik souborů. Každý z těchto souborů obsahuje hodnoty pro každou buňku rastru. Buňky, na kterých neprobíhal výpočet neobsahují žádné hodnoty, tedy NoData. Základní výstupy jsou uvedeny přímo ve zvoleném výstupním adresáři. Mimo hlavní výstupy jsou volitelně ukládány i dočasné výstupy sloužící pro případnou kontrolu. V podadresáři **temp** jsou dočasné soubory výpočtu v ploše a v podadresáři **temp<sub>apjsoudoasnsouboryvodnchtok</sub>**. Dočasným výsledkům bude věn

tenhle seznam doplnit popisem o co tam jde a v jakých je to jednotkách

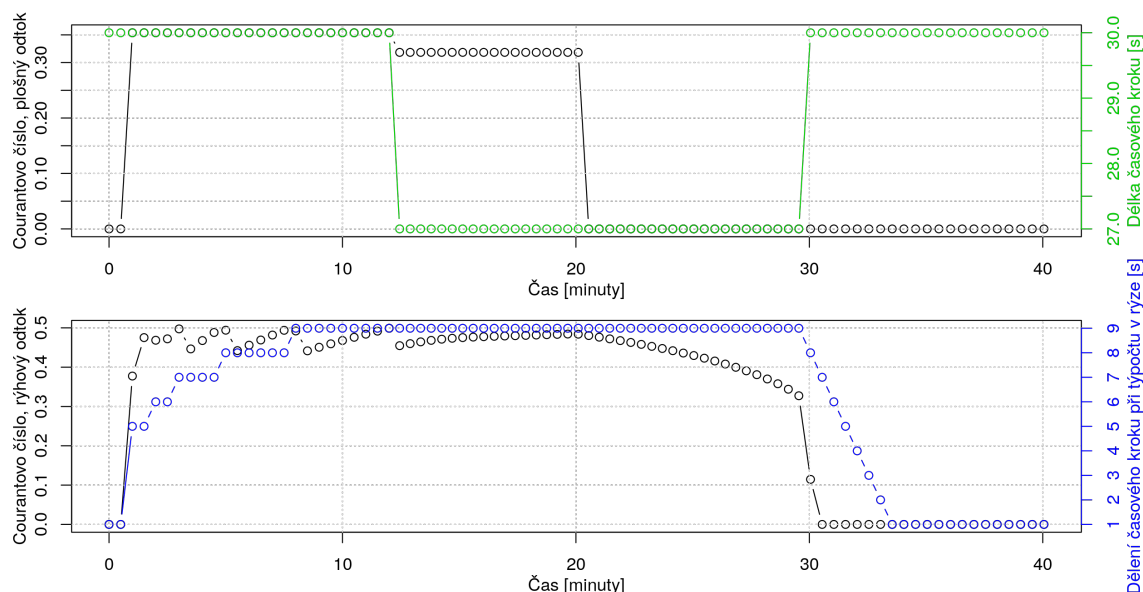
- **VRestEndRillL3.asc**



**Obrázek 8:** Časový krok řízen rychlostí plošného odtoku.  $CFL$  rychle stoupne k 1 a začne zkracovat časový krok (horní graf). Pár minut později  $CFL_{rill}$  stoupne nad 0.5,  $ratio$  stoupne na 2 (dolní graf) tím začne lokálně dělit časový krok při výpočtu rýhového odtoku.  $ratio$  na spodním grafu stoupne maximální na 4 a neovlivní tedy celkový časový krok (na horním grafu). Na obou grafech je vidět jak se po 25 minutě (kdy v modelu skončila srážková událost) délka časového kroku i  $ratio$  vrátí na původní hodnoty.

- TotalBil.asc
- toky.asc
- SurRet.asc
- stream.shp
- ShearStress.asc
- body hydrogamů (\*.dat) - průběh veličin pro jednotlivé body zadané v kapitole XXXX
- MaxWaterRillL.asc
- MaxWateL.asc
- MaxVelocity.asc
- MaxQRillL3t<sub>1</sub>.ascMaxQL3t<sub>1</sub>.asc
- HCrit.asc
- FinalState.asc
- CumVRestL3.asc





**Obrázek 9:** Časový krok řízen rychlostí rýhového odtoku.  $CFL$  plošného odtoku nepřekročí během výpočtu hodnotu cca 0.35 (na horním grafu), proto nemá žádný vliv na velikost časového kroku.  $CFL_{rill}$  rychle vystoupí 9 krát nad kritickou hodnotu 0.5 (spodní graf, prvních 10 minut výpočtu). To způsobí nárůst *ratio* na 9 což je maximální povolené dělení lokálního časového kroku při výpočtu rýhového odtoku. Při dalším překročení hodnot 0.3 (cca 12 minuta na dolním grafu) dojde ke zmenšení celkového časového kroku na 90 % původní hodnoty (horní graf). Na obou grafech je vidět jak se po 20 minutě (kdy v modelu skončila srážková událost) délka časového kroku i *ratio* vrátí na původní hodnoty.

- CumVOutRillL3.asc
- CumVOutL3.asc
- CumVInL3.asc
- AreaRill.asc

toto je origoš z DP

Ne vždy se vytvoří všechny tyto výstupní soubory. Záleží na zvolených vstupních parametrech. Pokud uživatel nezadá žádnou bodovou vrstvu, nevytvoří se poslední textový soubor. V případě, že uživatel nezvolí možnost soustředěného odtoku, nevytvoří se rastry a shapefile související s tímto typem odtoku. Rastr soustředění odtoku se nevytvoří při nezvolení vícesměrného odtoku. Ostatní soubory se vytvoří pokaždé.

z diplomky

Výstupy se ukládají do adresáře nazvaného output. Cestu k němu si volí uživatel v rámci vstupních dat (viz kap. 2.3.1). Model prochází stále vývojem a dotýká se to i výstupních souborů. Princip ale zůstává stejný a jedná se spíše o úpravy zdrojového kódu zajišťující lepší přehlednost a práci s kódem pro

budoucí úpravy. Např. práce s vícerozměrnými maticemi a převedení všech výpočtů do základních (SI) jednotek. Výsledkem modelu jsou soubory (.shp, .rst, .txt, .dbf), které reprezentují parametry (Zajíček J., 2014): hladina Výstupem jsou hodnoty maximální výšky hladiny pro každou buňku. Jedná se tedy o rastrovou vrstvu vytvořenou porovnáváním hodnot výšek hladiny v každém časovém kroku. Uložena je nejvyšší hodnota. Výška hladiny v jednotlivých krocích je získána pomocí bilance přítoků a odtoků do buňky. průtok Výstupem jsou hodnoty maximálního průtoku pro každou buňku. Obdobně jako u hladiny jsou porovnávány hodnoty v jednotlivých krocích a uložena maximální hodnota. Hodnoty průtoku v jednotlivých časových krocích jsou vypočteny pomocí metody kinematické vlny (teorie viz kap. 1.5.2). infiltrace Výstupem infiltrace jsou hodnoty v každé buňce, které jsou během doby běhu modelu postupně načítány až do vyčerpání infiltrační kapacity. zbytkový objem Zbytkovým objemem se rozumí objem, který v dané buňce v časovém kroku zůstal. V případě odtoku veškeré vody z rastru je rastr nulový. Matematicky je objem vyjádřen jako rozdíl celkového objemu v buňce (zbytkový objem z předchozího kroku a přítoky) a povrchového a soustředěného odtoku. odtok Výstup týkající se odtoku slouží pro konečnou bilanci (kontrolu) a testování. Jedná se o celkové množství, které z buňky odteklo za celou dobu běhu modelu. rychlost Rastr rychlostí je výstupem sloužící k určení erozní ohroženosti. Porovnávány jsou hodnoty skutečných rychlostí s limitními nevymílacími rychlostmi (viz tab. č. 3 ). napětí.

Obdobou je rastr tečného napětí. Slouží k určení míst potencionálně nebezpečných. Hodnoty limitních hodnot tečného napětí jsou uvedeny ve stejné tabulce jako rychlosti průtok v rýze (viz tab. č. 3 ).

Průtok v rýze je rastrová vrstva znázorňující maximální průtok v rýze při soustředěném odtoku. Výstup je vytvořen jen při volbě typu výpočtu s uvažováním rýhového odtoku. Rýha vznikne pouze v buňkách, kde výška hladiny překročí hladinu kritickou. rychlost v rýze Rastr obsahuje hodnoty maximální rychlosti v buňkách, kde je rýha vytvořena. Výpočet v rýhách probíhá odlišně oproti povrchovému odtoku. Jedná se o větší rychlosti, a proto na těchto buňkách probíhá výpočet za běžný časový krok 3x. V jiném případě by hrozilo, že výpočet nebude konvergovat. souhrn

Final evalution.txt je textový soubor, který obsahuje souhrn zadaných vstupů a čas běhu modelu a bilanci vody. hydrogram Point hydrographs.txt je textový soubor s hodnotami výšky hladiny, průtoku, napětí, rychlostí v bodech zadaných vstupní bodovou vrstvou. Soubor slouží k tvorbě hydrogramů v těchto bodech. Automaticky je k vrstvě přidán bod, ve kterém je hodnota flow accumulation nejvyšší. Výstupem v současnosti je i řada dalších vrstev, které slouží ale spíše k tvorbě a testování modelu a pro samotného uživatele nejsou potřebné.

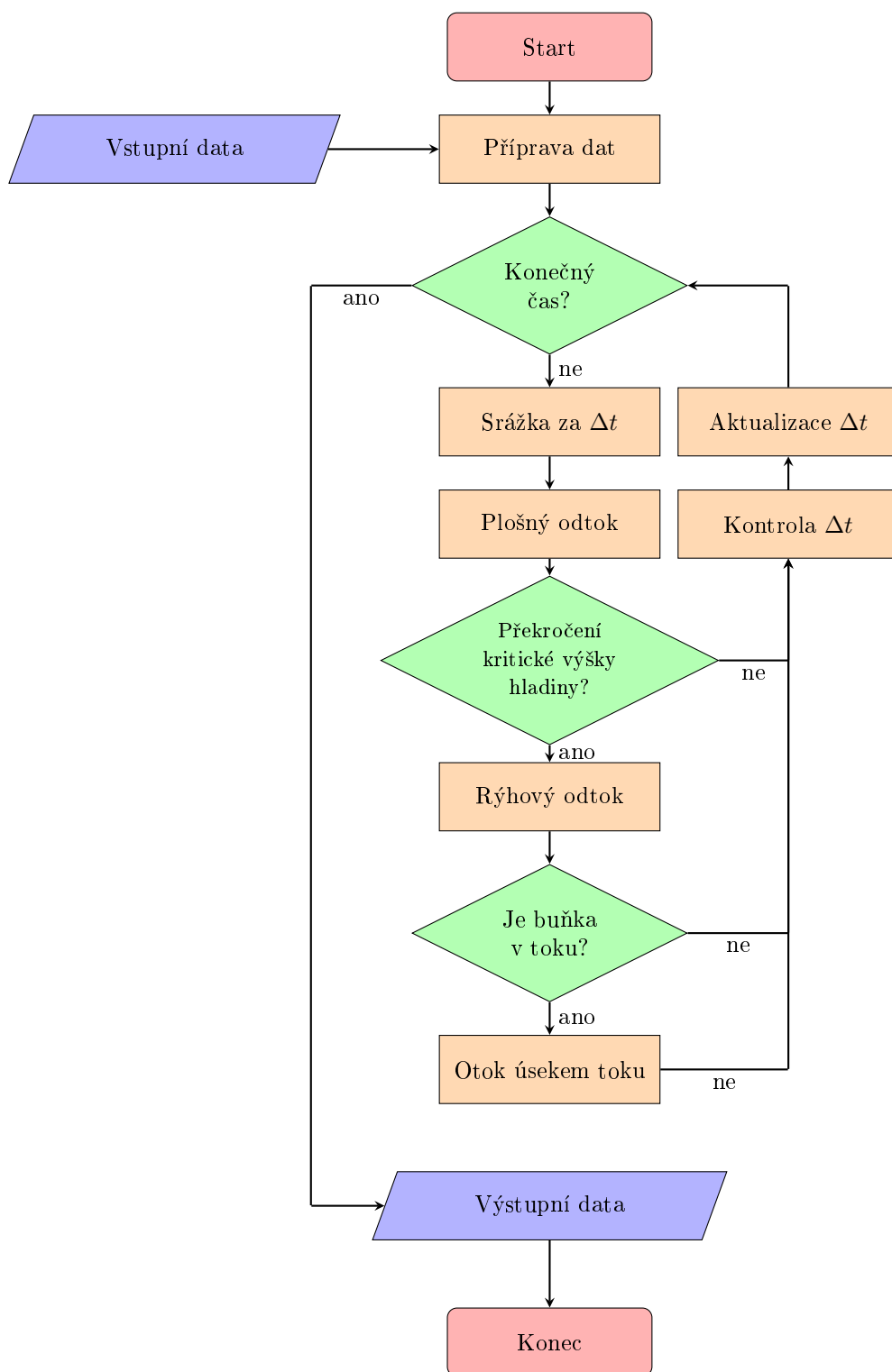
## Hydrogramy

## 2 Výsledky

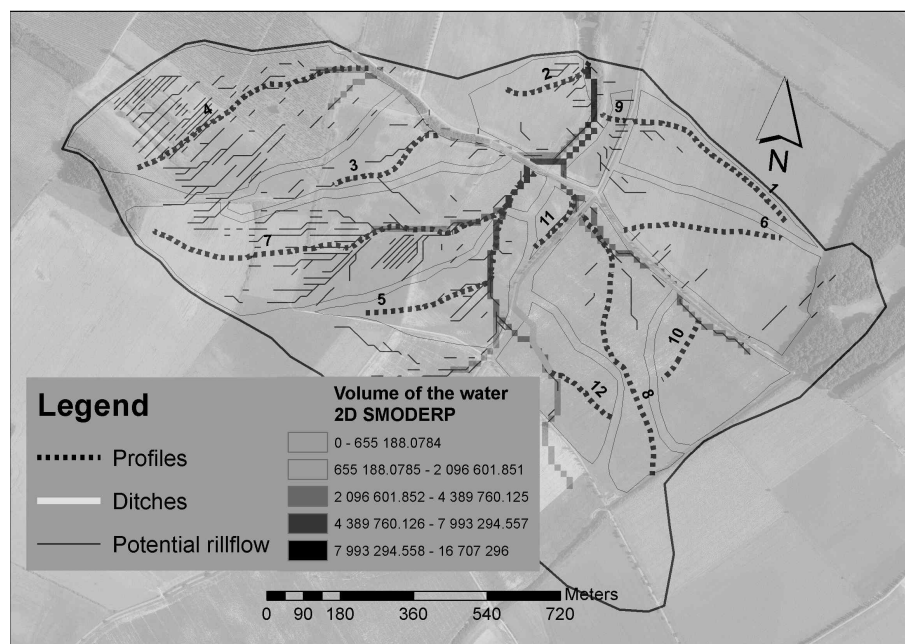
Úvodní část je věnována historickému pozadí a vývoji modelu SMODERP. Odvození parametrů o kterých se hovoří v kapitole ?? jsou podrobně popsány v kapitole ?. Použité fyzikální vztahy jsou popsány v kapitole 1.1. SOučasná verze modelu z hlediska zpracování vstupních dat, výpočtu a uváděných výstupů je pak v kapitole 1.2.

### 2.1 Porovnání metod 1D a 2D

1D and 2D approaches which are subject to comparison were designated by a hydrograph and runoff volume in the breach profile. The respective comparison was carried out on two locations in the Czech Republic (Hořanský stream and Býkovický catchment). A system of erosion control measures was implemented in this area. The size of the given area being subject to this research is  $1.5 \text{ km}^2$ . For 1D model are the individual agricultural plots were distinguished by 12 different profiles.

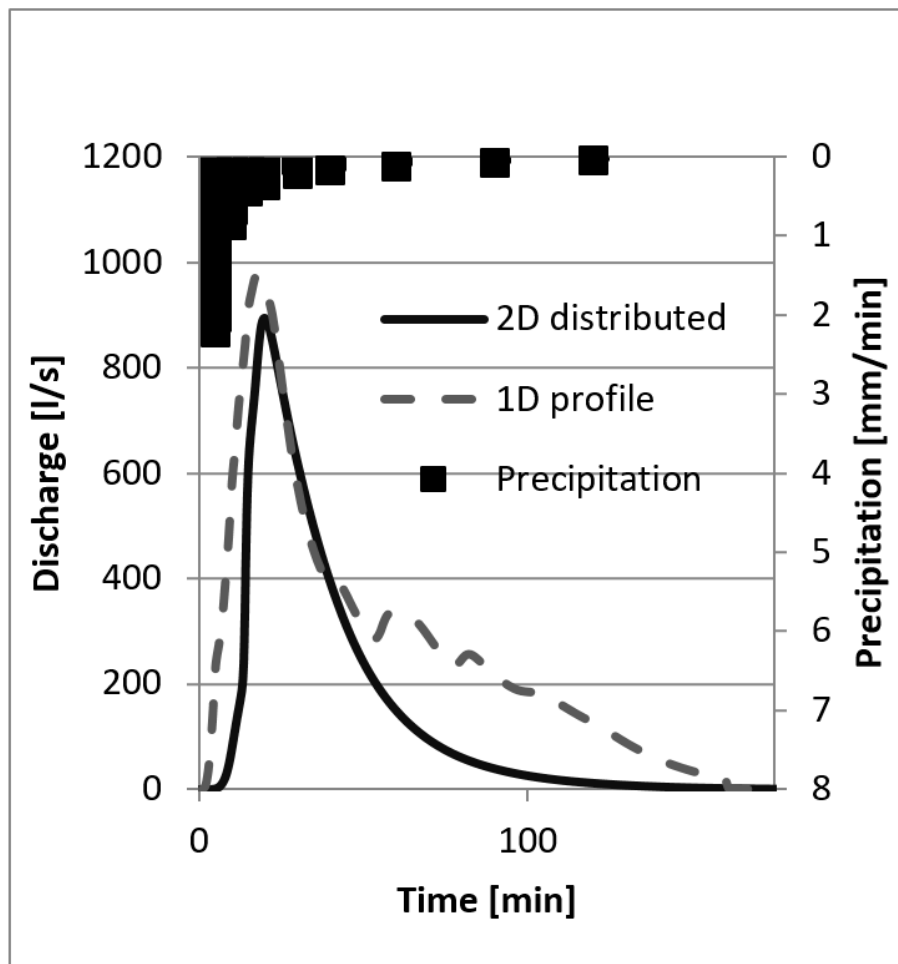


Obrázek 10: Flow chart toku programu



Obrázek 11: Profiles and runoff concentration - Horany

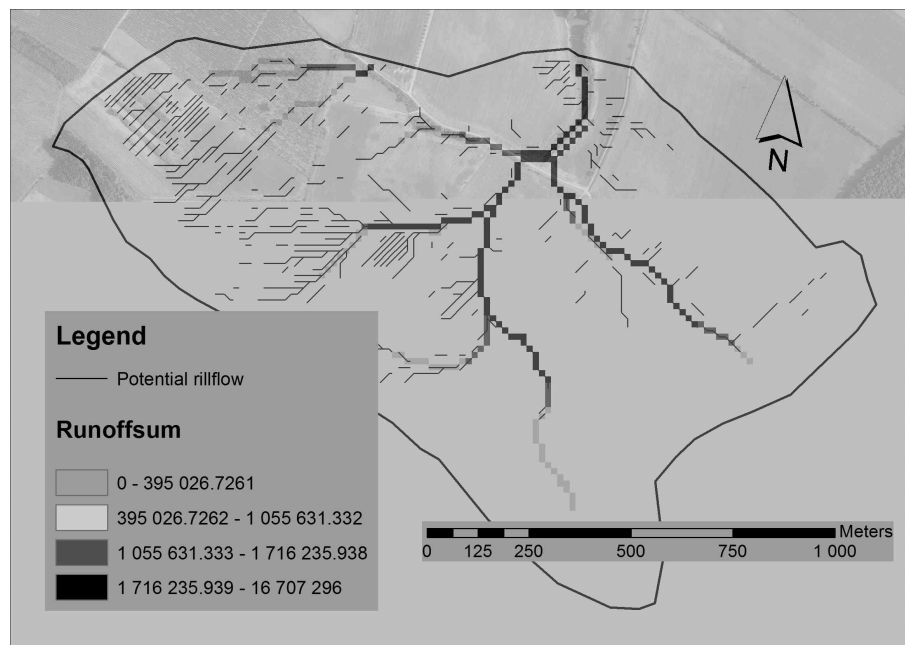
ghg



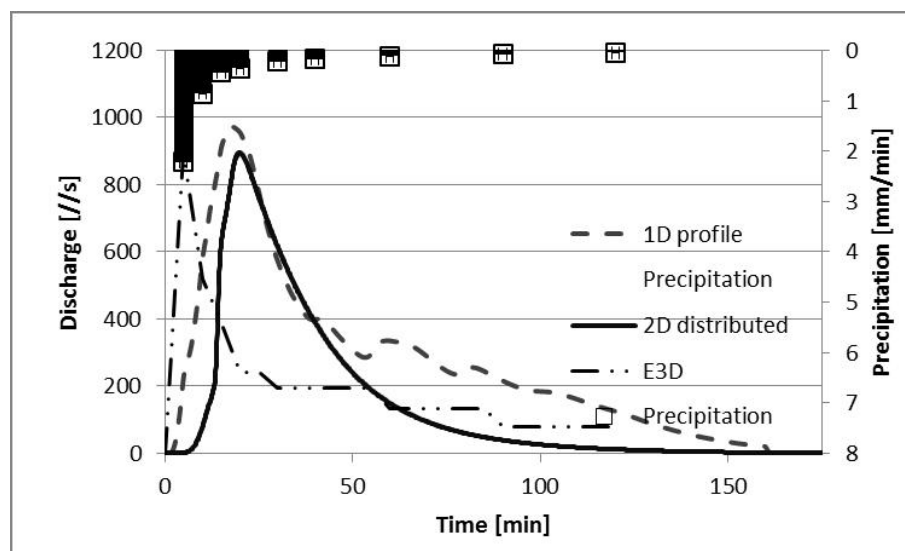
Graf 12: Hydrographs 1D and 2D Smorderp - Horany study area

The second location is formed by the independent agricultural plot situated in the Býkovický potok basin (Benešov u Prahy) with a morphologically distinctive lane of concentration runoff. Experimental measurements of erosion processes were carried out on the given plot for a considerable period of time. It is thus possible to compare the final results for the appropriate model with measured values. Six characteristic profiles were created on the given plot (size of ten acres). This number exceeds considerably the amount of profiles which were necessary for the description of the given small area. The number of profiles was appointed in order to make comparisons between 1D and 2D approaches, as well as from the reasons explaining the influence of a large number of profiles on the final characteristics. Standardized field erosion plots were installed and situated on a farmer plot in the surveyed area for monitoring the overland flow and sediment transport. The resulting cooperation

between the 1D and 2D approaches was executed during the real rainstorm with measured surface runoff.



Obrázek 13: Profiles and runoff concentration - Bykovický catchment



Graf 14: Hydrographs 1D and 2D Smoderp - Bykovický catchment

The results based on hydrograph measurements taken from individual profiles in both locations were progressively added to the breach profile (outlet). In order to compare the discharge process, the values of surface level, discharge and a cell of the breach profile were extracted in the 2D model version for



testing. The implementation of this process is enabled in the development environment of the particular model.

### **3 Seznam použitých zdrojů**