

SMODERP - twenty years old development

Kavka

15. prosince 2017

Obsah

Seznam zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Úvod

Water erosion is one of the most widespread forms of soil degradation. Reducing the erosion is one of many challenges worldwide and Europe (?) or (?). In particular, sediment transport from arable land into surface waters (streams, rivers, reservoirs) is one of the major problems of water management. Measuring and consequence modeling of the surface process are a necessary tool for the protection of the soil.

Two major surface processes influenced erosion (i) sheet flow with sheet erosion and (ii) rill processes. Sheet flow energy is less than kinetic energy of the raindrops in sheet erosion (?). Rate of erosion are influenced by vegetation cover that reduced impact of the rain energy. In the other hand rill erosion is generated by a concentrated flow and this process are more closely to stream processes ??.

It is difficult to describe annual rate of soil erosion in the watershed over spatial and time scales. Long-term measurements and sufficient data base needed in order to investigate the response of erosion rates. Only abnormally high rainfall or an extreme event can produce main part of soil damage. Spatial scale of measuring are crucial as well. Many studies that focused to scaling (temporal and spatial) are published. For example ? deal with comparison of runoff and soil loss across the scales. In other studies ??? the effect of the scales to erosion is evident.

In a few available studies, the sediment yield from a hill slope or a catchment is likely to be less than the total sediment mobilised within it and estimated from plots ?. Due to sedimentation, only a relatively small proportion of the detached and transported soil material reaches the catchment outlet ?. Additional measurements and observations in different spatial scales in one place is still required.

Long therm field measuring have uncertainty in feather. Rainfall simulation is one of the way that make possible to measured in controlled condition. Rainfall simulation experiments are widely used as a standard method to study various flow and transport processes induced by rainfall. They have been used on different slopes, scales, soils and vegetation cover ??, etc. Surface runoff rate and sediment yield are standard variables observed in experiments oriented on soil erosion research with use of rainfall simulators. The review of simulators used across Europe provides (Iserloh, 2013). Due to the nature of the device the small simulators with watered area around 1 m² are more frequent. Larger simulators can be found as well, as described for example in ?, ?, ?, (?).

Long-therm measuring and rainfall simulations are essential for a consequent mathematical modeling. Computer based physical models can be used for erosion prediction over a wide range of conditions. To ensure model validity, simulation results must be compared with field measurements. Models can only work when they are applied to conditions. Due A desirable model should satisfy the requirements of universal acceptability; reliability; robustness in nature; ease in use with a minimum of data; and ability to take account of changes in land use, climate and conservation practices.

Many models was created and are constantly improved over the last twenty years. The specific conditions of formation, calibration and use of each models can't lead to

universally valid model. General review article about models are in ?. These fifty selected models essentially reflects the wide range of models including classification according they characterization.

Mathematical modeling is very important for describing erosion processes and for soil conservation. Generally, there are two types of models of soil erosion and surface runoff: (i) empirical models often USLE (?) or RUSLE (?) based and (ii) physically based models. Parameterisation of the emperical models based on measurements often at standardised field plots in accordance with the estimation of USLE factors or on datasets from rainfall simulators (?). Physically based models have for their goal to create a mathematical description of process. Hydrological and hydraulical equations for water balance and moving are base of approach. The models principally describe the processes of precipitation, infiltration, evapotranspiration, surface runoff, influence of vegetation. Loading, transportation and sedimentation processes are in interconnection with surface water processes. Interconnections of precipitation, runoff, infiltration and soil erosion have become very important topics. A wide group of the models can be represented by WEPP (?), KINEROS (?), EROSION 2D/3D (?) and model SMODERP that is object of this this article.

1 Materiál a metody

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 ?? . SOučasná verze modelu z hlediska zpracování vstupních dat, výpočtu a uváděných výstupů je pak v kapitole ?? .

1.1 SMODERP - historický vývoj

1.1.0.1 Profilové verze - SMODERP 1D

Vývoj modelu je možné rozdělit do dvou základní etap. V též první se jednalo o vývoj jednorozměrného modelu, tzv. profilové verze. V druhé pak o rozvoj prostorového řešení (2D).

1986 - 1996

První měření vedoucí ke odvození modelu bylo provedeno na sklopém hydraulickém žlabu (?). Na základě těchto měření byl stanoven vztah pro výpočet průtoku na základě výšky hladiny. První verze modelu byla vyvinuta v roce 1989. Zahrnovala v sobě procesy ovlivňující povrchový odtok a erozi. V zásadě to byly dva oddělené submodely (i) submodel pro výpočet přípustné délky a (ii) submodel pro výpočet odtokových charakteristik. Model pracoval v charakteristických profilech zadávaných formou vodorovné vzdálenosti v konstantní odlehlosti vrstevnic. Počet takto definovaných úseků byl omezen na deset. Časový krok modelu byl fixní 0,2 minuty.

Fyzikální popis prodění vody byl postaven na modifikované kinematické rovnici pro plošný odtok **MKWA!** ve tvaru:

$$q = a \cdot h^b$$

Z měření bylo odvozeno že parametr a je funkci sklonu zatímco parametr b je pouze funkci půdního typu. Parametry byly odvozeny pouze pro tři půdní druhy, což odpovídalo tehdejší taxonomii půd.

2001 - 2006

Tato verze byla aktualizována v roce 2001 pod označením verze 2.20. Především šlo o vylepšení uživatelského rozhraní. V roce 2001 byla také vytvořena zkušební verze 3.55, ve které byl zahrnut kromě simulace erozní ohroženosti i výpočet odtokových charakteristik. Tato verze byla v roce 2003 aktualizována zcela funkční verzí 4.01. Poslední verzí, která přímo vychází a navazuje na předchozí verze, má označení 5.1 a vznikla v roce 2010. Z výpočtu byl kvůli nedostatku dat pro verifikaci vyřazen výpočet ztráty půdy. Vedle základních odtokových charakteristik jsou uváděny také další charakteristiky (maximální výška hladiny,

rychlosť proudenia a doba kulminácie). Táto verzia je prechodom medzi navazujúce verzie. Ve verzích 2.20 až 5.1 nebylo nijak zasahováno do výpočetných procesů v modelu.

2010 - 2012

Nová verzia modelu SMODERP s označením 10.01, bola naprogramovaná v programovacím jazyku Visual FoxPro. Model verzie 10.01 je také fyzikálne založený epizodný jednorozmerný model. Nejedná sa o model čiastočne dĺžky, ale o model plne distribuovaný. Dále sú do modelu zahrnutý rekalibrované odtokové parametry. V modelu sú zachovány dříve ověřené fyzikální vztahy. Do verze 10.01 byly zahrnutý následující změny:

- upuštění od výpočtu ztráty půdy,
- nově určené odtokové parametry pro jednotlivé kategorie půdních druhů podle Nováka ?,
- v modelu je možné zadávat libovolně dlouhé na vrstevnicích nezávislé části svahu,
- model bude pracovat v jednotlivých elementech, jejich velikost bude dána zvoleným charakterem řešeného profilu. Jedná se o zásadní přechod mezi semidistribuovaným a distribuovaným přístupem,
- určení přerušení svahu.

1.1.0.2 Prostorové řešení - SMODERP 2D

Od roku 2012 je vyvíjeno prostorové řešení výpočtu povrchového odtoku. V návaznosti na rozvoj **GIS!** software a výpočetní techniky vůbec je dalším logickým krokem vytvořit prostorově distribuovaný model. Myšlenku tohoto dalšího rozvoje modelu stanovil ?. Základními úlohami a otázkami v řešení modelu bylo:

- je možné zjednodušující předpoklady zahrnuté do výpočtu profilové metody aplikovat do prostorově deleného modelu,
- pro výpočet v jednotlivých buňkách rastru je třeba do dvourozmerného modelu zahrnout algoritmus odtoku resp. přítoku mezi jednotlivými buňkami rastru,
- do modelu zavést dynamický výpočtový krok a zajistit numerickou stabilitu výpočtu,
- zavedení výpočtu soustředěného odtoku v rýhách, které profilová metoda nijak nezohledňovala,
- ověřit dostupnost vstupních dat pro prostorové řešení a zajistit jejich zpracování do 2D verze.

Zvolené řešení bylo postavené na platformě ESRI GIS. Která používá jako svůj nativní skriptovací jazyk Python. Knihovny ESRI ArcGIS jsou využívány na zpracování vstupních dat a pro finalizaci geoprostorých výstupů. Vstupní data o vegetaci, půdě, DMT a srážce jsou převedeny do rastrové reprezentace v pravidelné mřížce odpovídající DMT. Po zpracování vstupních dat a jejich převedení na rastrovou reprezentaci jsou převedeny do matic a vlastní výpočet již běží nezávisle na palatformě ArCGIS. Dynamický časový krok a zároveň zajistění stability výpočtu bylo ve výpočtu vyřešeno pomocí **cour!** (**cour!**). Prostorová mřížka výpočtu je neměnná, výpočetní časový krok **dT!** se v modelu mění úměrně vypočtené rychlosti. Vzájemné vazby mezi buňkami byly nejprve řešeny pomocí AcgGIS nativního výpočtu jednosměrného odtoku. Později byla do modelu implementována metoda vícesměrného odtoku. Soustředěný odtok v rýhách byl do modelu zaveden jako oddělený podporces, který je spouštěn v buňkách, kde dojde k překročení kritického proudění vody a dochází tak k vymílání půdních částic.

do diskuse dát

- jiné platformy
- jádra

Detailněji je postup výpočtu 2D verze modelu uveden v kapitole ??.

1.2 Experimentální měření

Experimentální měření a z něj vycházející vztahy pro výpočet plošného odtoku je možné rozdělit do tří etap. První je odvození základních parametrů na sklopém hydraulickém žlabu, které bylo prováděno simulací již vzniklého odtoku. Druhou fází pak měření laboratorním dešťovém simulátoru. A ověření výsledků pak bylo provedeno na datech z terénních měření a z experimentálních ploch a nebo pomocí polního dešťového simulátoru.

1.2.1 Měření na sklopém hydraulickém žlabu

Původní ovození odtokových parametrů MKWA byly stanoveny na základě vyhodnocení měření průtoků a výšek hladin na sklopém žlabu. Měření byla prováděna v Brně v roce 1984 ?. Systém spočíval v měření výšky hladiny proudící vody ve žlabu s různými druhy půd, které byly naneseny v tenké vrstvě na jeho dno a to při různých průtocích a sklonech. Díky tenké vrstvě půdy bylo možné uvažovat povrch bez vlivu infiltrace. Takto bylo provedeno měření na hladkém povrchu (plexisklo) a na třech typech půd (lehké, střední a těžké). Cílem měření bylo stanovit parametry vztahu mezi průtokem a výškou hladiny pro plošný povrchový odtok. Tyto parametry byly určeny na čtyřech površích. Povrchem byla:

- lehká půda (částice jemného písku do velikosti 0,01 mm),

- středně těžká půda (vzorek odebrán ve Velkých Žernosekách),
- těžká půda (jílovité částice - spraš),
- plexisklo (referenční povrch bez vzorku půdy).

Středně těžká půda, která byla odebrána z experimentálních ploch ve Velkých Žernosekách, obsahuje průměrně 22 % zrn první kategorie, lze ji zatřídit jako hlinitopísčitou půdu. Půdy těžká a lehká byly vytvořeny uměle a obsahovaly pouze zrna dané kategorie. Průměrně lze těžké půdy zařadit podle Novákovy klasifikace jako jílovité půdy s průměrným obsahem jílnatých částic 75 %. Lehkou půdu pak lze podle Novákovy klasifikace zatřídit jako písčitou s uvažovaným množstvím zrn první kategorie 10. Prvním krokem při posuzování funkčnosti modelu bylo nejprve zopakováno a ověřeno vyhodnocení výsledků měření na sklopém hydraulickém žlabu ?. Vyhodnocení jednotlivých měření uvádí tabulka (viz Tabulka 10). Hlavním důvodem bylo ověřování ověření použitých jednotek. Původní statistické vyhodnocení bylo provedeno v jiných jednotkách, než ve byl napsán zdrojový kód.

Tabulka 1: Original and corrected parameters for MKWA based on hydraulic trough

	Půdní druh	b	X	Y
Písčitá	původní	1.8415	24.11	0.4869
	zpřesněné	1.8614	25.47	0.4913
Hlinitá	původní	1.748	28.64	0.541
	zpřesněné	1.7362	29.46	0.5519
Jílovitá	původní	1.5847	45.62	0.5614
	zpřesněné	1.5847	47.52	0.5614
Plexisklo	původní	1.6038	51.11	0.5471
	zpřesněné	1.5928	49.81	0.5431

Ze srovnání vyplývá, že rozdíly hodnot jsou relativně malé. Tyto rozdíly jsou pravděpodobně způsobeny výpočtovými možnostmi nebo nutným zaokrouhlením. Pro další vývoj byly použity zpřesněné hodnoty. Výsledky na hladkém povrchu je možné považovat za limitní a pro běžné půdy nepřekročitelné. Při porovnání mezi hladkým povrchem a jílem je patrné, že rozdíl není nijak významný, což je dáno velikostí jílových zrn.

1.2.2 Laboratorní dešťový simulátor

Laboratorní dešťový simulátor (LabDS) byl konstruován od roku 1999 do roku 2002 a od té doby bylo provedeno přes dvěstěpadesát experimentů zemědělské půdy vystavený extrémním srážkovým událostem. Jedná se o tryskový dešťový simulátor typu *Norton Ladder Rainfall Simulator* ? s kyvnými tryskami VeeJet s pádovou výškou kapky 2,43 m a průměrem kapky 2,3 mm. Zařízení umožňuje pro každou simulaci nastavit odlišné podmínky simulace, které se mohou lišit podélním sklonem půdního povrchu v rozmezí 0°–8°, intenzitou simulovaného deště v rozmezí 20–60 mm/hod. Plocha půdního vzorku

je 4 x 0,9 m a hloubky 15 cm, přičemž dalších 5 cm tvoří spodní drenážní vrstva písku oddělená speciální mřížkou proti vyplavování sedimentu do spodního horizontu. Půdní vzorek je standartě proseta přes síta s velikostí ok 20x20 mm, aby došlo k odstranění rostlinných zbytků a větších frakcí. Po naplnění erozního kontejneru se půdní vzorek před začátkem simulací ponechává v klidu po dobu cca 4-6 týdnů, aby došlo k rovnoměrné konsolidaci celého vzorku.

Tabulka 2: Přehled měření na laboratorním dešťovém simulátoru 2002 - 2016

	název / lokalita	rok	počet exp.	půdní druh
1	Horoměřice	2002/4	25	jílovitohlinitá
2	Třebsín I	2004/6	22	písčitohlinitá
3	Neustupov	2006/7	14	hlinitopísčitá
4	Klapý	2007/8	25	jílovitohlinitá
5	Třebsín II	2008/9	28	písčitohlinitá
6	Třebešice I	2009/10	27	hlinito-písčitá
7	Třebešice II	2010/11	36	písčito-hlinitá
8	Nučice	2011/12	35	hlinitá
9	Všetaty I	2012/13	24	hlinitá
10	Všetaty II	2013/14	17	hlinitá
11	Třebešice III	2014/15	22	písčito-hlinitá
12	Nové Strašecí	2015/16	20	hlinitá

Při simulacích trvajících nejčastěji 60 minut se sleduje a zaznamenává průběh a rychlosť povrchového odtoku, ze kterého se následně získává i průběh půdního smyvu, respektive celková ztráty půdy. Dalšími veličinami, které se zaznamenávají, jsou vlhkost půdního vzorku na začátku a konci simulace a kontrolní intenzita simulovaného deště po skončení měření [1]. Z hlediska objemu testovaných půdních vzorků se jedná o kvádr velikosti 4 x 0,9 m a hloubky 15 cm, přičemž dalších 5 cm tvoří spodní drenážní vrstva písku. Před naplněním kontejneru je půda navíc proseta přes síta s velikostí ok 20 x 20 mm, aby došlo k odstranění rostlinných zbytků a větších frakcí kameniva. Po naplnění erozního kontejneru se půdní vzorek před začátkem simulací ponechává v klidu po dobu cca 4-6 týdnů, aby došlo k rovnoměrné konsolidaci celého vzorku.

První kalibrace a následná validace odtokových parametrů byla provedena na výsledcích jednotlivých měření na laboratorním dešťovém simulátoru z let 2002 až 2008 (?). Pro vlastní kalibraci a optimalizaci odtokových parametrů byl vytvořen model *Smodern-pMSExcel* a primárně byl určen pro jeden úsek svahu s konstantním sklonem a pro srážku s konstantní intenzitou.

Samotná kalibrace odtokových parametrů na základně naměřených hodnot probíhá ve dvou krocích. Nejprve byly určeny krajní hodnoty nasycené hydraulické vodivosti pro danou půdu vycházející z pedologického průzkumu. K témtu hodnotám byly přiřazeny hodnoty sorptivity. V těchto mezích jsou hledány hodnoty K a S tak, aby mezi měřenými a vypočtenými hodnotami byla maximální shoda. K nalezení optimálního řešení je používána metoda metody nejmenších čtverců. V dalším kroku je podobným způsobem pomocí

lineární regrese metodou vyhodnocen i povrchový odtok. Měněnými parametry v tomto kroku řešitele jsou parametry rovnice **MKWA!**.

Výše popsaný postup byl aplikován na reprezentativní výběr měření z jednotlivých sad měření na různých půdách. Počet měření jednotlivých sad a počet z nich vybraných měření uvádí následující tabulka.

Tabulka 3: Přehled experimentů použitých pro kalibraci odtokových parametrů

Půdní druh	Lokalita	Propustnost	Obsah zrn první kategorie	Počet měření	Počet měření použitých pro kalibraci
Jílovitohlinitá	Horoměřice	velmi nepropustná	54	25	9
Písčitohlinitá	Třebsín I	propustná	29	21	9
Hlinitopísčitá	Neustupov	málo propustná	17	15	8
Jílovitohlinitá	Klapý	velmi nepropustná	54	16	6
Písčitohlinitá	Třebsín II	propustná	29	30	8

U parametrů b, X bylo dostačující použití lineární regrese. Proložení složitější křivky nepřineslo výrazně těsnější vztah porovnáním hodnoty koeficientu determinace (R^2). Pro parametr b se R^2 rovná 0,87, pro parametr X se rovná 0,93. Pro parametr Y byl zvolen mocninný trend regresní křivky výsledným $R^2 = 0,83$.

Tabulka 4: Recalibrated parameters (?)

soil type	Runoff parameters		
	b	X	Y
sand	1.8165	23.3	0.4981
loamy sand	1.7925	26.03	0.5202
sandy loam	1.7685	28.75	0.5308
loam	1.7385	32.16	0.5394
clay loam	1.7025	36.26	0.5467
clayey	1.6665	40.35	0.5521
clay	1.6185	45.8	0.5578

V rámci zpětného porovnání s dřívějšími verzemi bylo provedeno porovnání celkových výsledků pro čtyři verze modelu IV. I/11 – 96, 4.01, 5.01, 10.01 na svahu o délce 120 m se sklonem 6%. U varianty modelu 10.01 byl upraven výpočet nejprve tak, aby se délka elementu rovnala délce celého svahu a výpočet probíhal stejně jako v předchozích verzích na svahu nerozděleném na elementy. Pak byl svah spočten pro variantu jednoduchý svah (délka elementu 10 m) a pro variantu nássep (délka elementu 1 m).

Prostorová varianta modelu s podporou GIS aplikací začala být vyvíjena již v roce 2012 a jejím vývoji se pokračuje do teď. Nic méně, první problém, který se ukázal být zásadní byly nestandardní jednotky použité při kalibraci parametrů **b!**, **X!**, **Y!** rovnice **MKWA!**. Tyto nelineární a statisticky odvozené parametry nebylo možné jednoduše použít a bylo nutné přepočítat všechny vstupní hodnoty na jednotky SI a zopakovat kalibrační postup. Parametr **b!** zůstal po kalibraci zachován původní na rozdíl od parametrů **X!**, **Y!**. Nová

Tabulka 5: Porovnání výstupů verzí modelu 1996 až 2010

Id.	Celk. objem [m ³]	Max průtok [lsm ⁻¹ m ⁻¹]	Max. výška hladiny [mm]	Max rychlosť [ms ⁻¹]
IV. I/11 – 96 120_1	2.3	0.569	11.9	0.235
IV. I/11 – 96 120_6	2.4	0.648	13.1	0.249
4.01 120_1	2.3	0.44	N/A	N/A
4.01 120_6	2.32	0.51	N/A	N/A
5.01 120_1	2.2	1.6494	8.83	0.19
5.01 120_6	2.29	2.2636	10.6	0.21
10.01 120_1	2.06	2.04	10.24	0.199
10.01 char 1	2.315	3.1	13.05	0.239
10.01 char 3	2.347	3.42	13.77	0.248

kalibrace byla provedena na rozšířeném setu dat z dešťového simulátoru až do roku 2011. A pro verifikaci byla prvně využita data z terénních simulací pomocí dešťového simulátoru (?). Parametry odpovídající jednotkám SI jsou uvedeny v tabulce ??.

Tabulka 6: Recalibrated parameters to SI (?)

soil type	Runoff parameters		
	b	X	Y
sand	1.8165	8.8133	0.3661
loamy sand	1.7925	9.2043	0.4622
sandy loam	1.7685	9.5953	0.5150
loamy	1.7385	10.0841	0.5613
clay loam	1.7025	10.6706	0.6028
clayey	1.6665	11.2571	0.6358
clay	1.6185	12.0391	0.6717

Tyto parametry byly využity při stavbě prostorového řešení modelu Smoderp2D.

1.3 Pužité vztahy a jejich odvození

V modelu jsou použity zjednodušené vztahy pro základní bilance a výpočet jednotlivých složek odtoku: infiltrovaného množství **Inf!**, efektivní srážky **ES!** a odteklého množství **Otot!**. Proudění povrchové vody je rozděleno na výpočet plošného odtoku, soustředěného plošného odtoku v rýhách a výpočet v hydrografické síti - vodních tocích.

2 Bilanční rovnice

Základním vztahem řešení je bilance celkového zásoby v elementu.

$$\mathbf{dS!} = \mathbf{Itot!} - \mathbf{Ot!}, \quad (1)$$

kde $\mathbf{dS!}$ je $\mathbf{dS!}$,
 $\mathbf{Itot!}$ je $\mathbf{Itot!}$,
 $\mathbf{Otot!}$ je $\mathbf{Otot!}$.

Podle složek povrchového odtoku lze $\mathbf{Itot!}$ a $\mathbf{Otot!}$ v rovnici (??) rozepsat podle složek povrchového odtoku použitých v modelu Smoderp2D

$$\begin{aligned}\mathbf{Itot!} &= \mathbf{ES!} + \mathbf{Oin!}, \\ \mathbf{Otot!} &= \mathbf{Inf!} + \mathbf{Oout!},\end{aligned}$$

kde $\mathbf{Oin!}$ je $\mathbf{Oin!}$,
 $\mathbf{Oout!}$ je $\mathbf{Oout!}$,
 $\mathbf{ES!}$ je $\mathbf{ES!}$,
 $\mathbf{Inf!}$ je $\mathbf{Inf!}$.

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

$$\frac{dS}{dt} = \mathbf{ES!}_{i,t-1} + \sum_j^m \mathbf{Oin!}_{j,t-1} - \mathbf{Inf!}_{i,t-1} - \mathbf{Oout!}_{i,t-1}, \quad (2)$$

kde m jsou buňky, z nichž vtéká voda do buňky i .

Toto m se liší podle použitého odtokového algoritmu jednosměrného **D8!** nebo více-směrného **mfda!** (*multi-flow direction algorithm*) (@@@ citace). Model Smoderp2D řeší časový krok explicitně, veličiny v čase $t - 1$ na pravé straně rovnice (??) jsou při řešení času t známé.

Při samotném řešení se v modelu Smoderp2D operuje s veličinami ve výškových jednotkách (m) a intenzitách (m/s). Pokud celou rovnici (??) vydělíme velikostí buňky **bunka!** a vyjádříme časovou derivaci jako diferenci ($\frac{d\mathbf{hsur!}_{i,t}}{dt} \approx \frac{\mathbf{hsur!}_{i,t} - \mathbf{hsur!}_{i,t-1}}{\mathbf{dT!}}$), vypadá rovnice (??) následovně:

$$\mathbf{hsur!}_{i,t} = \mathbf{hsur!}_{i,t-1} + \mathbf{dT!} \left(\mathbf{es!}_{i,t-1} + \sum_j^m \mathbf{oin!}_{j,t-1} - \mathbf{inf!}_{i,t-1} - \mathbf{oout!}_{i,t-1} \right), \quad (3)$$

kde $\mathbf{hsur!}$ je $\mathbf{hsur!}$,
 $\mathbf{es!}$ je $\mathbf{es!}$,
 $\mathbf{inf!}$ je $\mathbf{inf!}$,
 $\mathbf{oin!}$ je $\mathbf{oin!}$,
 $\mathbf{oout!}$ je $\mathbf{oout!}$.

V následujícím textu jsou popsány jednotlivé členy za pravé straně rovnice (??).

2.1 Efektivní srážka es!

(@@@ intercepční kapacita / potenciální intercepce)

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 intercepcí, tedy že určitá část srážky bude zachycena rostlinami díky jejich potenciální intercepcí **PotI!**. Míra zachycení v každém výpočtovém čase je definována pomocí poměrné plochy listové **Lai!** například (@@@ citace).

Označme množství srážky který dopadá na povrch půdy i plodiny během **dT!** potenciální srážkou **PS!**. Část **PS!**, která zůstane v časovém kroku na rostlinách se dá vyjádřit jako násobek srážky **PS!** a **Lai!**,

$$\mathbf{PS!} I_{LAI}$$

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

$$\mathbf{PS!}(1 - I_{LAI}).$$

V modelu je rovněž zahrnuta intercepční kapacita **PotI!**, která během začátku srážky naplňuje. Výsledná intenzita efektivní srážky v čase t je par určena jako

(@@@ toto je taky blbost udelam to s s kdyz a velkou levou zavorkou)

$$\mathbf{es!}_t = MAX(0; \sum_{\bar{t}=t_{init}}^t (\mathbf{PS!}_{\bar{t}}(1 - I_{LAI})) - \mathbf{PotI!}) / \mathbf{dT!},$$

kde **PS!** je **PS!**,
Lai! je **Lai!**,
PotI! je **PotI!** a
 $\sum_{\bar{t}=t_{init}}^t$ vyjadřuje množství srážky, které propadlo povrchem listů plodiny od počátečního času t_{init} do času t .

2.2 Intenzita infiltrace **inf!**

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

$$\mathbf{inf!}_i = \frac{1}{2} \mathbf{Sorb!} t^{-1/2} + \mathbf{Ki!}. \quad (4)$$

kde **inf!** je **inf!**,
Sorb! je **Sorb!** a
Ki! je **Ki!**.

Philipova infiltraci rovnice byla zvolena především z důvodu relativně malého počtu vstupních parametrů. Tato zjednodušená rovnice má dva členy nasycenou hydraulickou vodivost **K!** a sorptivitu **Sorb!**. 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 ?? 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.

3 Povrchový odtok oin!, oout!

Povrchový odtok je v modelu rozdělen do dvou složek a to **plošný povrchový odtok** a **soustředěný odtok v rýhách**. Z hlediska výše uvedené rovnice (??) se odtok, resp. přítok skládá z těchto dvou složek. Vznik soustředěného odtoku je podmíněn překročením limitní rychlosti, resp. limitního tečného napětí (viz. kapitola ??).

3.1 Plošný povrchový odtok

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

$$q_{\text{sur!}} = a! h_{\text{sur!}}^{b!},$$

kde **$q_{\text{sur!}}$** je **$q_{\text{sur!}}$** ,
 $a!$ je **$a!$** ($a = X! I! Y!$) a
 $b!$ je **$b!$** .

Parametry **$a!$** a **$b!$** respektive **$X!$** a **$Y!$** jsou odvozeny na základě měření, jejich hodnoty pro různé půdní typy jsou ukázány v tabulce ?? v příloze ???. 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 I . Odteklá resp. přiteklá výška je pak dopočítána jako

$$o_{\text{out!}} (\text{resp. } o_{\text{in!}}) = \frac{dX!}{bunka!} q_{\text{sur!}}$$

kde **$dX!$** je **$dX!$** a
 $bunka!$ je **$bunka!$** .
ověřit sklon v%

3.1.1 Odvozené veličiny

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

$$V_{\text{out!}} = dT! effVrst! q_{\text{sur!}},$$

kde **$V_{\text{out!}}$** je **$V_{\text{out!}}$** a **$V_{\text{out!}}$** je **$V_{\text{out!}}$** . Efektivní vrstevnice **$effVrst!$** je nejdelší vzdálenost přes buňku rastru rovnoběžnou s vrstevnicí. Směr odtoku je na tuto vrstevnici kolmý, jedná se tedy o průměr průtočné plochy mezi buňkami ve směru toku.

Pro posouzení erozního ohrožení a pro určení vzniku rýhy je v každé buňce vypočítávána rychlosť proudění a tečné napětí. Za předpokladu, že se jedná o proudění vody o malé hloubce, lze rychlosť proudění odvodit ze specifického průtoku a výšky hladiny:

$$\mathbf{vsur!} = \frac{\mathbf{qsur!}}{\mathbf{hsur!}}, \quad (5)$$

kde $\mathbf{vsur!}$ je $\mathbf{vsur!}$.

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

$$\mathbf{tausur!} = \mathbf{ro!g!hsur!I!K!}, \quad (6)$$

kde $\mathbf{tausur!}$ je $\mathbf{tausur!}$,

$\mathbf{ro!}$ je $\mathbf{ro!}$,

$\mathbf{g!}$ je $\mathbf{g!}$,

$\mathbf{I!}$ je $\mathbf{I!}$ a

$\mathbf{K!}$ je $\mathbf{K!}$.

Vypočítaná rychlosť a tečné napětí jsou hlavními kritérii pro vznik soustředěného odtoku v rýhách. Vzniku rýhy je také považován za limitní z hlediska erozní ohroženosti. Umístění prvků protierozní ochrany by mělo být vedeno tak aby nedocházelo ke vzniku rýhy. Limitní hodnoty krajních nevymílajících rychlosť a tečných napětí pro jednotlivé půdní druhy v závislosti na druhu vegetace jsou převzaty z předchozích verzí modelu (?) a jsou uvedeny v tabulce ???. V literatuře se setkáme i s odlišnými hodnotami. Například M. A. Velikanov stanovil krajní nevymílající rychlosť pro půdy 0.24 m/s (?), což je hodnota nižší, než kterou stanovila E. Dýrová.

3.2 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 povrchového odtoku, přestože se nejdá 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 $\mathbf{I!}$ rovný sklonu hladiny vody v rýze a shodná drsnost v celé délce elementu. Průtok v rýze je tedy vyjádřen použitím Chézyho rovnice v Mannigově tvaru:

$$\mathbf{qrill!} = \mathbf{vrill!A!} = \mathbf{A!} \frac{1}{\mathbf{n!}} \mathbf{Rrill!}^{2/3} \mathbf{I!}^{1/2}, \quad (7)$$

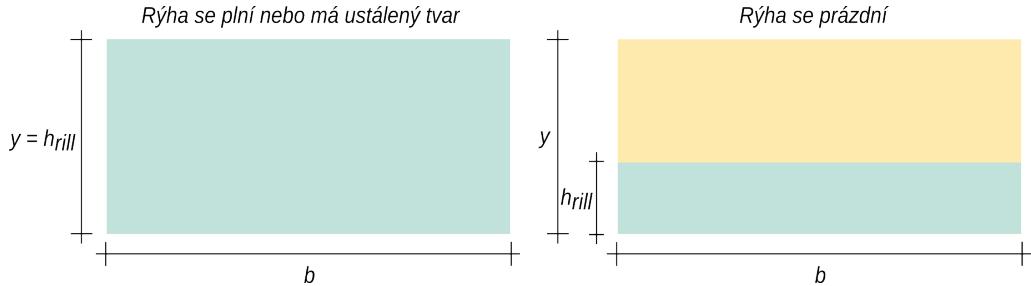
kde $\mathbf{qrill!}$ je $\mathbf{qrill!}$,

$\mathbf{vrill!}$ je $\mathbf{vrill!}$,

$\mathbf{A!}$ je $\mathbf{A!}$,

$\mathbf{n!}$ je $\mathbf{n!}$ a

$\mathbf{Rrill!}$ je $\mathbf{Rrill!}$.



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

2. Soustředěný odtok vzniká v elementech, kde dojde k překročení kritické hladiny **hcrit!** (viz. ??), která je spočtena pro každý element na základě hodnot kritického tečného napětí ?? nebo rychlosti ??.
3. Objem vzniklé rýhy odpovídá nadkritickému objemu vody **Vrill!**, který vychází ze vztahu:

$$\mathbf{Vrill!} = \mathbf{Vtot!} - \mathbf{Vcrit!} = MAX(0; \mathbf{hsur!} - \mathbf{hcrit!}) \mathbf{bunka!}$$

kde **Vrill!** je **Vrill!**,
Vtot! je **Vtot!**,
Vcrit! je **Vcrit!** a
hcrit! je **hcrit!**.

4. Další z důležitých zjednodušení je tvar příčného profilu rýhy, který je v modelu reprezentován obdélníkem, s pevným poměrem stran **rratio!**=výška/sířka rýhy. Velikost rýhy se zvětšuje pokud je nadkritické množství **Vrill!** větší než objem samotné rýhy, tak aby byl splněn předpoklad v předchozím bodě. Pak se výška rýhy rovná výšce vodní hladiny v rýze (vlevo na obrázku ??). Pokud začne být nadkritické množství **Vrill!** menší než je objem rýhy a dochází k prázdnění, velikost rýhy zůstává konstantní (vpravo na obrázku ??) a dochází pouze k poklesu hladiny. Hydraulický polomér rýhy, která se zvětšuje nebo je konstantní, lze určit podle následujícího vztahu:

$$\mathbf{Rrill!} = \frac{\mathbf{A!}}{\mathbf{O!}} = \frac{\mathbf{hrill!} \mathbf{brill!}}{\mathbf{brill!} + 2\mathbf{hrill!}} = \frac{\mathbf{brill!}^2 \mathbf{rratio!}}{\mathbf{brill!}(\mathbf{rratio!} + 2)}$$

kde **brill!** je **brill!**,
O! je **O!** a
rratio! je **rratio!**.

Hydraulický polomér rýhy, kde hladina oproti výšce rýhy klesá, se určuje pouze jako

$$\mathbf{Rrill!} = \frac{\mathbf{A!}}{\mathbf{O!}} = \frac{\mathbf{hrill!} \mathbf{brill!}}{\mathbf{brill!} + 2\mathbf{hrill!}}.$$

rratio! tedy určuje tvar rýhy pouze při jejím zvětšování.

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

$$\mathbf{oinrill!} (\text{resp. } \mathbf{ooutrill!}) = \frac{\mathbf{qrill!}}{\mathbf{brill!} \mathbf{lrlill!}}$$

kde $\mathbf{lrlill!}$ je $\mathbf{lrlill!}$.

3.3 Celková bilance

Pokud dojde k vzniku rýh, rovnici celkové bilance ?? je možné rozepsat členy vyjadřující přítok a odtok odděleně pro **plošný povrchový** a **soustředěný** odtok v Rovnici ?? vypadá následovně

$$\mathbf{hsur!}_{i,t} = \mathbf{hsur!}_{i,t-1} + \mathbf{dT!} \left(\mathbf{es!}_{i,t-1} + \sum_j^m \mathbf{oin!}_{j,t-1} - \mathbf{inf!}_{i,t-1} - \mathbf{oout!}_{i,t-1} + \sum_k^n \mathbf{oinrill!}_{k,t-1} - \mathbf{ooutrill!}_{i,t-1} \right) \quad (8)$$

kde $\mathbf{oinrill!}$ je $\mathbf{oinrill!}$ a
 $\mathbf{ooutrill!}$ je $\mathbf{ooutrill!}$.

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

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

3.4 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 šírkou. 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

4 Odtok hydrografickou sítí

SMODERP2D je zamýšlen také jako nástroj pro navrhování opatření v ploše povodí. Cílem je simulovat a navrhovat odtoky i v dočasné hydrografické síti, která je tvořena přirozeným nebo častěji umělým přerušením přirozené odtokové dráhy. Nejčastěji se jedná o příkopy a průlehy které mají odváděcí a často erozní funkci. Všechny prvky (síť vodních toků, příkopy, průlehy, atp.) jsou zadávány v rámci jednoho shapefile. Každý jednotlivý úsek je zadán jako konkrétní linie (feature). Výpočetně model pracuje v rastrové síti, ale v případě, že se na dané buňce rastru vyskytuje úsek hydrografické sítě, je voda dále odváděna tímto úsekem ve směru jeho sklonu bez ohledu na směr plošného či soustředěného odtoku.

Proudění v těchto otevřených korytech je řešeno Mannigovou rovnicí ve tvaru:

$$qstream! = A! \frac{1}{n!} Rstream!^{2/3} I!^{1/2}, \quad (11)$$

kde **qstream!** je **qstream!**,
vstream! je **vstream!**,
A! je **A!**,
n! je **n!** a
Rstream! je **Rstream!**.

Pro vlastní výpočet je třeba zadat typ a příčný profil daného prvku. Délka úseku a sklonu jsou převzaty z liniové vrstvy a z digitálního modelu terénu. Protože je model určen pro malá povodí jsou v modelu předpokládány pouze základní tvary příčných profilů (trojúhelník, obdélník, lichoběžník, parabola). Zadávání tvaru příčného profilu není součástí atributové tabulky shapefile, ale pro ulehčení jsou parametry zadávány v samostatná tabulce. V případě, že jsou některé charakteristiky shodné, je tak možné jim přiřadit shodné atributy z tabulky. V rámci zjednodušení výpočtu jsou zadávány profily parametricky. Zjednodušený výpočetně model neuvažuje rozlivy z koryta zpět do buněk odtoku. Jednotlivé prvky narůstají podle zvolených parametrů, tak aby veškerá voda zůstala v korytě. Přehled parametrů je uveden v tabulce ??

Tabulka 7: Příklad tabulky s parametry jednotlivých úseků hydrografické sítě

cislo	smoderp	tvar	b	m	drsnost	Q365	pozn
0	0	1	0.3	1.0	0.03	0.0	default
1	obdelnik1	0	0.2	0.0	0.035	0.0	
2	lichobeznik1	1	0.2	2.0	0.035	0.0	
3	trojuhelnik1	2	0	2.0	0.03	0.0	
4	parabola1	3	0.7	0.0	0.03	0.0	

kde **bhs!** je **bhs!**,
 m! je **m!**,
 n! je **n!**,
 Q365! je **Q365!** a
 Rstream! je **Rstream!**.

Tímto způsobem jsou zadány tvary prvků, které se v řešené lokalitě vyskytují. **sem dát obrázek těch profilů**

doplnit text jak probíhá vlastní výpočet - tzn jak na sebe navazují jednotlivé úseky . a dát semka asi i nějaké obrázky, jak to funguje. Je to v nějaké DP tuším (to najdu PK)

4.1 SMODERP 2D - postup výpočtu

Jak již bylo uvedeno v kapitole ?? současná verze modelu SMODERP je napsána v programovacím jazyce Python. Jsou od sebe oddělena část přípravy dat a samotné zpracování. Příprava dat využívá v současné době nástroje z knihoven ArcGIS. 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 ??, tok programu ?? a výstupy ??

4.1.1 Vstupy do modelu

Nutno dodělat

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

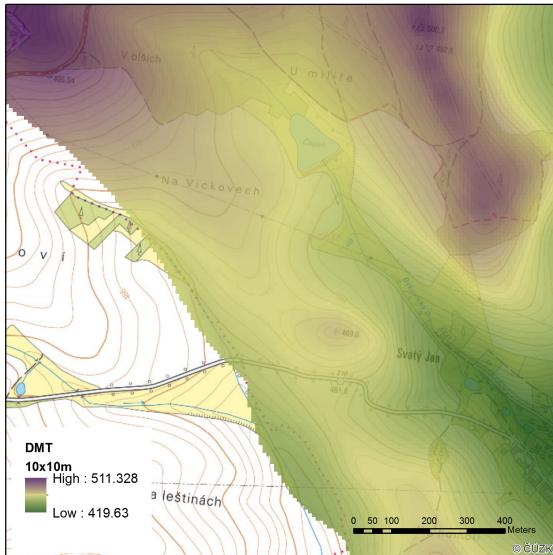
Vstupní data modelu jsou ve třech formátech: rastrovém, vektorovém a textovém. Do modelu vstupují informace o topografii řešeného území, informace o typech půd a vegetaci, informace o srázce atd. Základní formát vektorových dat formát shapefile. Tento vektorový formát byl vytvořen firmou ESRI, ale je zpracovatelný i jinými GIS softwary. Parametry modelu jsou uloženy v atributové tabulce pod specifickým názvem pole. V následujícím textu jsou popsány náležitosti vstupních dat. Přehled vstupů do modelu je ukázán v tabulce ??

4.2 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

Tabulka 8: Tabulka s přehledem vstupních dat modelu

Název	Typ dat	Povinný / volitelný	Popis	Více v kapitole
digitální model terénu	raster	Povinný	Tento vstavou se řídí i prostorová diskretizace	??
prostorové rozložení půd	vektor - polygony	Povinný	Atributová tabulka vstavy identifikátor typu půdy	??
prostorové rozložení typu vegetace	vektor- polygony	Povinný	Atributová tabulka vstavy identifikátor typu vegetace	?? a ??
srážková data krok	.txt soubor	Povinný	Kumulativně zadana srážka	??
maximální časový krok	časový reálné číslo	Povinný	Model mění délku časového podle odkových podmínek; doporučuje se 30 - 60 sekund	??
výstupní adresář	text	Povinný	Adresář k uložení výsledků (při zácku výpočtu se adresář vyčistí)	??
bodové výstupy hydrogramů	vektor - body	Volitelný	Body, kde se vypíší výsledky.	??
typ výpočtu	text	Povinný	Uživatel má na výběr: pouze plošní odtok, plošný i rýhový odtok, plošný rýhový odtok i odtok hydrografickou sítí	??
volba výcesměrného odtoku	logická proměnná	Povinný	Výchozí je jednosměrný odtok. Uživatel může zvolit vícesměrný odtok.	??
parametry půdy a vegetace	tabulka	Povinný	Tabulka parametrů půdy a vegetace. Názvy sloupců mají definované označení. Hodnoty se spojí s vektorovými vrstvami.	??
hydrografická síť	vektor - linie	Volitelný	Prostorové rozložení hydrografické sítě. Atributová tabulka obsahu identifikátor jednotlivých linií hydrografické sítě.	??
parametry hydrografické sítě	tabulka	Volitelný	Tabulka parametrů jednotlivých úseků hydrografické sítě	??
volba arcgis výstupu	logická proměnná	Povinný	Výchozí formát výstupních rastrů — je proprietární formát ERSI. Uživatel může zvolit textový formát ASCII.	—



Obrázek 2: Výřez digitálního modelu terénu povodí Býkovice

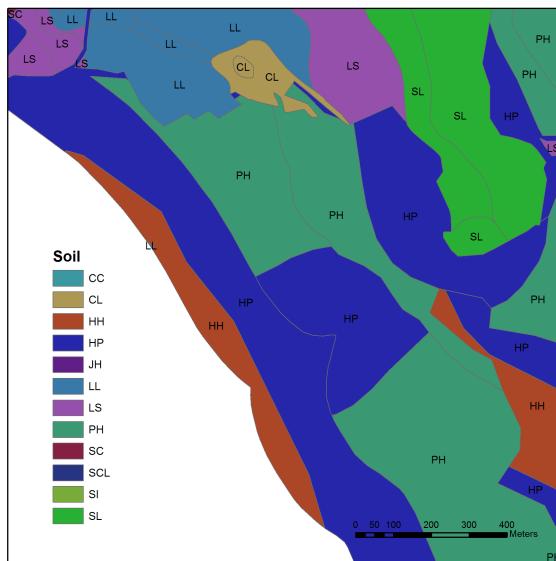
složen z jednotlivých buněk. Nejčastější formou jsou buňky čtvercové, ale mohou mít i jiný tvar. Velikost buněk se liší v závislosti na velikosti zobrazovaného území. Pro účely modelu SMODERP 2D by minimální velikost buněk měla být 3 metry a výše. Optimum je však 5 metrů a více. Důležitá je i celková 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 dalšího testovacího povodí Býkovice je ukázán na obrázku ??.

4.3 Shapefile půd

Datové zdroje fyzikálních vlastností jsou v rámci České Republiky roztríštěné. Model SMODERP 2D pracuje s jednou vstupní vrstvou půd. Příprava této vrstvy z dostupných dat je otázkou preprocessingu. V zásadě jsou tři základní dostupné datové zdroje půdních vlastností. Odděleně na zemědělské a lesní půdě nebo bezešvá vrstva půd KPP odpovídající měřítku 1:200000.

V České Republice se na zemědělské půdě standardně využívá rozdělení podle Novákoví klasifikace. Půda je rozdělena podle obsahu tzv. jílových částic na půdy ? (@@@jj v bib/bib.bib zadna polozka s oznamenim kavka není...):

- písčité
- hlinitopísčité
- písčitohlinité
- hlinité
- jílovitohlinité



Obrázek 3: výřez půdní mapy s vyznačenými půdními druhy

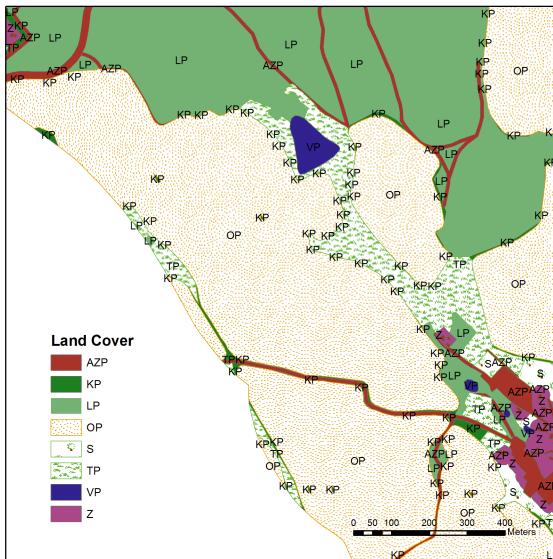
- jílovité
- jíl

Na lesních půdách je v České Republice standardně využíván popis kategorií podle klasifikace USDA. Obrázek ?? ukazuje výřez připravené vrstvy po spojení z různých datových zdrojů. Pro určení charakteristik je nutné aby obsahoval atributové pole udávající identifikátor půdního typu. Identifikátor odkazuje na půdní charakteristiky, které jsou definované v dalších vstupech (popsáno v sekci ??).

4.4 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



Obrázek 4: Ukázka vektorové vrstvy využití území - Land Cover

Širokorádkové plodiny jsou například brambory, kukurice, řepa, sója a slunečnice. Úzkořádkové plodiny jsou obiloviny nebo řepka. Shapefile popisující typ vegetace je na obrázku ???. Obdobně jako u půd v předchozí sekci je třeba atributovou tabulkou tohoto shapefilu doplnit o identifikátor daného typu vegetace. Tento identifikátor odkazuje na charakteristiky daného vegetačního povrchu definované v dalším vstupech (popsáno v sekci ???).

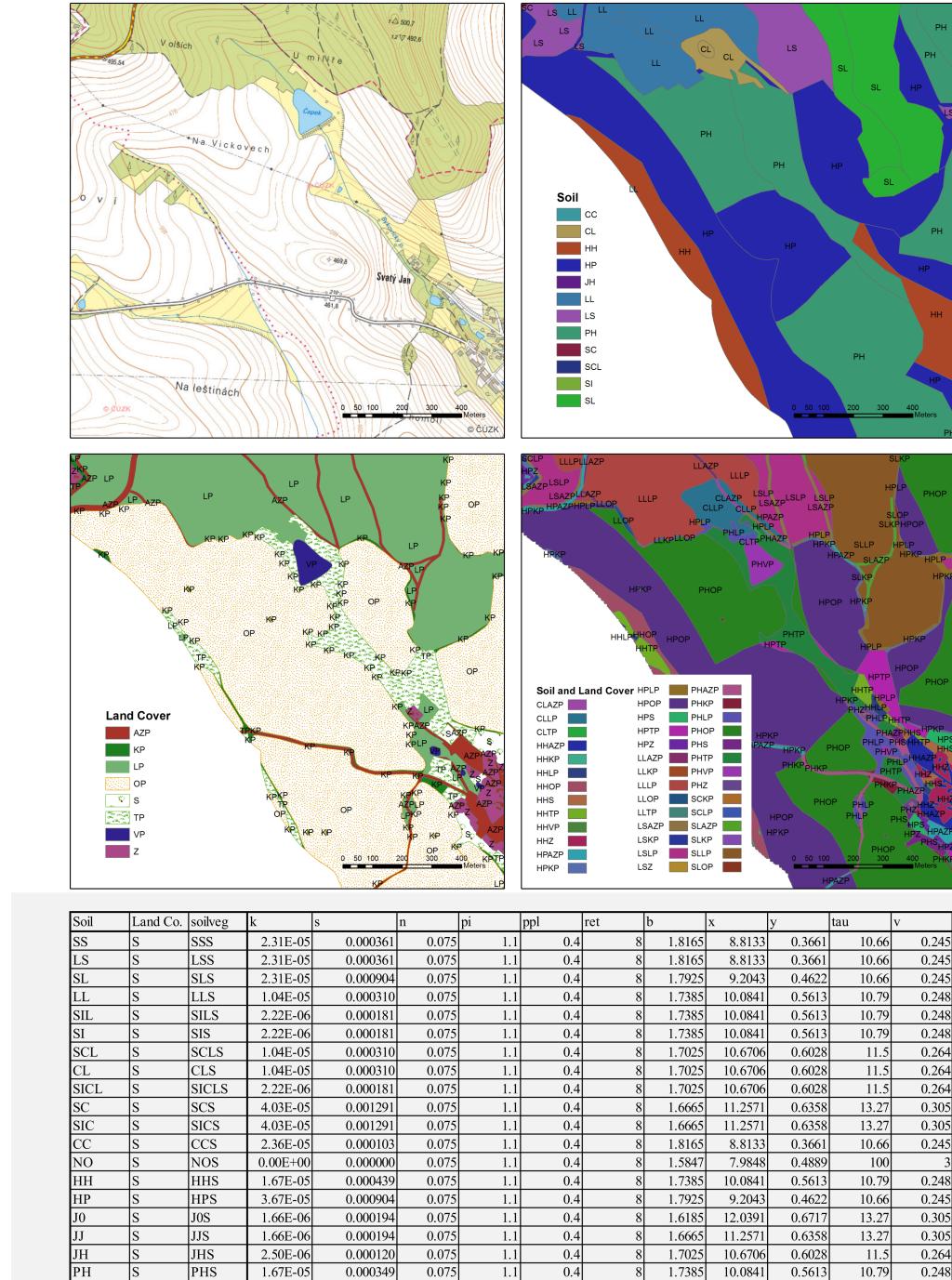
4.5 Tabulka parametrů půdy a vegetace

Tento vstup je tabulka, na kterou se odkazují identifikátory půdního typu a typu vegetačního pokryvu v atributových tabulkách polygonových vrstev. Tato tabulka může být do modelu vložena jako textový soubor. Na obrázku ?? je ukázán příklad takové tabulky. V prvních dvou sloupcích jsou složené identifikátory (id) typu půd (Soil) a typu vegetace (Land Co.). Spojením těchto dvou id jsou označeny parametry pro danou kombinaci typu půdy a vegetačního pokryvu (třetí sloupec v tabulce na obrázku ?? s označením soilveg). Význam jednotlivých veličin je popsán v tabulce ???. Při přípravě dat je nutné dodržet označení parametrů.

Na obrázku ?? jsou i ukázky jednotlivých vektorových vrstev před a po protnutí (intersect).

nebo co toto ty obrázky mám i zvlášť, @@@jj dal bych je zvlášť, dá se napsat popisek ke každému zvlášť i jeden společný (obr 5a, 5b, 5c....)

Mezi jednotlivých parametrů jsou podrobněji popsány v kapitole XXX. Součástí manuálu jsou i vzorové tabulky (do prilohy).



Obrázek 5: Princip propojení vektorových vrstev s tabulkou obsahující parametry typu půd a vegetace. Vlevo nahoré: mapa daného území; Vpravo nahoré: rozložení typu půdy; Vlevo uprostřed: rozložení typu vegetačního pokryvu; Vpravo uprostřed: protnutí obou předchozích vrstev; Dole: tabulka s parametry

4.6 Srážkový soubor

Dalším vstupem je textový soubor obsahující srážková data. Srážky se zadávají jako textový soubor se dvěma sloupcí. V levém je časový interval v minutách v pravém **kumula-**

Tabulka 9: Přehled parametrů charakterizujících půdní typ a typ vegetačního pokryvu

Hlavička v tabulce	Popis
k	HyVod!
s	Sorb!
n	n!
pi	PotI!
ppl	Lai!
ret	ret!
b	b!
x	X!
y	Y!
tau	tausur!
v	vsur!

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

Obrázek 6: 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

tivní úhrn za daný časový interval v **milimetrech**. Například hodnoty na obrázku ?? ukazují, že za prvních 10 minut běhu modelu například hodnota na každou buňku rastru 3 mm, v období 10 - 60 minut 40 mm a od 60. minuty je srážka 0 mm.

4.7 Časový krok modelu a celková doba simulace

Časový krok modelu označený **dT!** je hodnota v sekundách. Jako vstupní parametr se zadává maximální časový krok. Tento časový krok je rovněž počáteční časový krok. Časový krok je v průběhu výpočtu upravován podle Courantovy podmínky, tak aby bylo zachována numerická stabilita explicitního řešení. Velikost časového kroku závisí na rychlosti povrchového odtoku a na velikosti prostorového kroku (velikosti buňky DMT). Maximální časový krok záleží na požadovaném detailu výstupních dat zejména při dotoku srážkové epizody, kdy jsou již rychlosti proudění nižší a kde by v tom příkladě Courantova kritérium povolovalo příliš velký časový krok. Zvolené řešení změn časového kroku je detailněji popsáno v kapitole ??.

Délka běhu modelu je hodnota v minutách určující čas, do kterého se model po jednotlivých časových krocích dostane a skončí. Volba délky běhu modelu by měla dostatečně dlouhá, tak aby odtekla veškerá voda z řešeného území, především při zjišťování celkového

objemu odtoku.

4.8 Shapefile bodů pro generování hydrogramů

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

4.9 Výstupní adresář

Výstupní adresář je složka, do které se uloží veškeré výsledné rastry a výstupní textové soubory. Na začátku běhu programu se obsah tohoto adresář 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!

4.10 Rýhový odtok

Tento volitelný parametr po zaškrnutí umožní výpočet soustředěného odtoku. Soustředěný odtok je popsán v sekci ??.

4.11 Vícesměrný odtok

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

4.12 Hydrografická síť

Hydrografickou sítí jsou myšleny nejen vodní toky, ale i prvky dočasné hydrografické sítě jako jsou příkopy, průlehy, cesty s příkopy a pod. Výpočet v modelu probíhá po jednotlivých 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 code**).

4.12.1 Tok programu

Samotný program je rozdělen do několika podadresářů a souborů. Adresářová struktura s popisem nejdůležitějších adresářů a souborů je ukázána na obrázku ???. Klíčový soubory je `data_preparation.py`, kde je proveden *preprocessing* vstupních dat. Dalšími důležitými souborem jsou soubory `runoff.py` a `time_step.py` zde je samotné řešení modelu. Soubory

v adresáři `main_clasess/` obsahují definici datových struktur jednotlivých řešených dějů a skládají dohromady metody k řešení jednotlivých dějů modelu. Tato metody jsou pak definované v adresáři `processes/`.

Program SMODERP je napsaný v jazyce Python. Python je často používaný GIS softwary jako skriptovací jazyk a jsou pro ně k dispozici knihovny pro efektivní práci s geodatami¹. Programy či skripty napsané pomocí Python jsou spustitelné v prostředí daných GIS softwarů. Současná verze modelu SMODERP používá Python 2.7.X, který je kompatibilní s ArcGIS 10.X.

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

Pokud v daném časovém kroku překročí rychlosť 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 aktualizaci časového kroku v diagramu na obrázku ???. Po dosažení konečného času dojde k uložení výsledných hodnot a ukončení programu.

¹knihovna arcpy pro ArcGIS či knihovny grass.script pro GRASS GIS

```

/
├── main.py ..... Hlavní skript volající ostatní.
    Upravuje / kontroluje formát
    vstupních parametrů.
└── main_src/
    ├── flow_algorithm/ ..... Adresář obsahuje metody pro
        práci s odtokovými algoritmy.
        ├── arcgis_dmtfce.py
        ├── D8.py ..... Metody jednosměrného odtoku.
        ├── flow_direction.py
        ├── mfd.py ..... Metody vícesměrného odtoku.
        └── py_dmtfce.py
    ├── io_functions/ ..... Metody zprostředkovávající
        operace s vstupy a výstupy do
        a z modelu.
        ├── hydrographs.py
        ├── post_proc.py
        ├── progress_bar.py
        └── prt.py
    ├── main_classes/
        ├── CumulativeMax.py
        ├── Flow.py
        ├── General.py
        ├── KinematicDiffuse.py
        ├── Stream.py
        ├── Subsurface.py
        ├── Surface.py
        └── Vegetation.py
    ├── processes/
        ├── infiltration.py
        ├── rainfall.py
        ├── rill.py
        ├── subsurface.py
        └── surface.py
    ├── stream_functions/
        ├── stream_f.py
        └── stream_preparation.py
    ├── tools/
        ├── resolve_partial_computing.py
        ├── save_load_data.py
        └── tools.py
    ├── constants.py
    ├── courant.py
    ├── data_preparation.py
    ├── functions.py
    ├── runoff.py
    └── time_step.py

```

Obrázek 7: soubory a adresa modelu SMODERP

4.13 Programovací jazyk Python

Python je objektově 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-dimenziornálních 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.

4.14 CFL podmínka - řešení nestability výpočtu

V předchozím verzích programu SMODERP nebyla ošetřena podmínka stability výpočtu, která vychází z explicitního řešení časově derivace. Při větších rychlostech toku či nevhodně zvolené délce časového kroku došlo k situaci, kdy z buňky odteklo 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 $\text{CFL!} < 1.0$. Z obecné rovnice CFL podmínky byla odvozena a upravena podmínka pro účely modelu SMODERP 2D na následující tvar:

$$\text{CFL!} = \frac{1}{0.5601} \frac{v \text{dT!}}{\text{dX!}} \quad (12)$$

kde **CFL!** je **CFL!**,

v je rychlosť plošného či rýhového toku,

dT! je dT! a

dX! je dX! .

Po dopočítání časového kroku je uložena nejvyšší hodnota **CFL!** zjištěná z **plošného odtoku** pomocí vztahu ???. Poté se porovná s kritickou hodnotou a podle pravidel znázorněných v tabulce ?? se změní (nebo nezmění) délka časového kroku **dT!**. Pokud dojde ke změně **dT!** 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 výpočetní oblasti). Proto se při výpočtu rýhového odtoku přistoupilo k lokálnímu krácení

Tabulka 10: Kritéria změny časového kroku vycházející z plošného odtoku

nové	$\mathbf{CFL!} < 0.75 \vee 1.0 < \mathbf{CFL!} \quad 0.75 \geq \mathbf{CFL!} \geq 1.0 \vee \mathbf{CFL!} = 0.0^*$
$\mathbf{dT!}$	$= MIN(\frac{0.5601\mathbf{dX!}}{v}; \mathbf{dTmax!})$

Tabulka 11: Kritéria změny faktoru **ratio!** při dělení časového kroku při výpočtu rýhového odtoku

nové	$\mathbf{CFL!}_{rill} < 0.3$	$0.5 < \mathbf{CFL!}_{rill}$	$0.3 \geq \mathbf{CFL!}_{rill} \geq 0.5$ $\vee \mathbf{CFL!}_{rill} = 0.0$
ratio!	$= MAX(\mathbf{ratio!} - 1; 1)$	$= MIN(\mathbf{ratio!} + 1; 10)$ pro $\mathbf{ratio!} = 10$	$=$ původní ratio!
$\mathbf{dTmult!}$	$= MIN((1/0.9)\mathbf{dTmult!}; 1)$	$= 0.9\mathbf{dTmult!}$ $= \mathbf{dT!}\mathbf{dTmult!}$	$=$ původní dTmult!

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 $\mathbf{ratio!} > 10$. Časový krok plošného odtoku je pak násoben multiplikátorem **dTmult!**, který se po každém překročení maximální **CFL!** zmenší na 90 % své dosavadní hodnoty. Pokud je **CFL!** příznivé multiplikátor **dTmult!** se postupně zvětšuje vždy o 10 % na hodnoty 1. Pravidla pro změnu faktoru **ratio!** a multiplikátoru **dTmult!** jsou shrnutý ??.

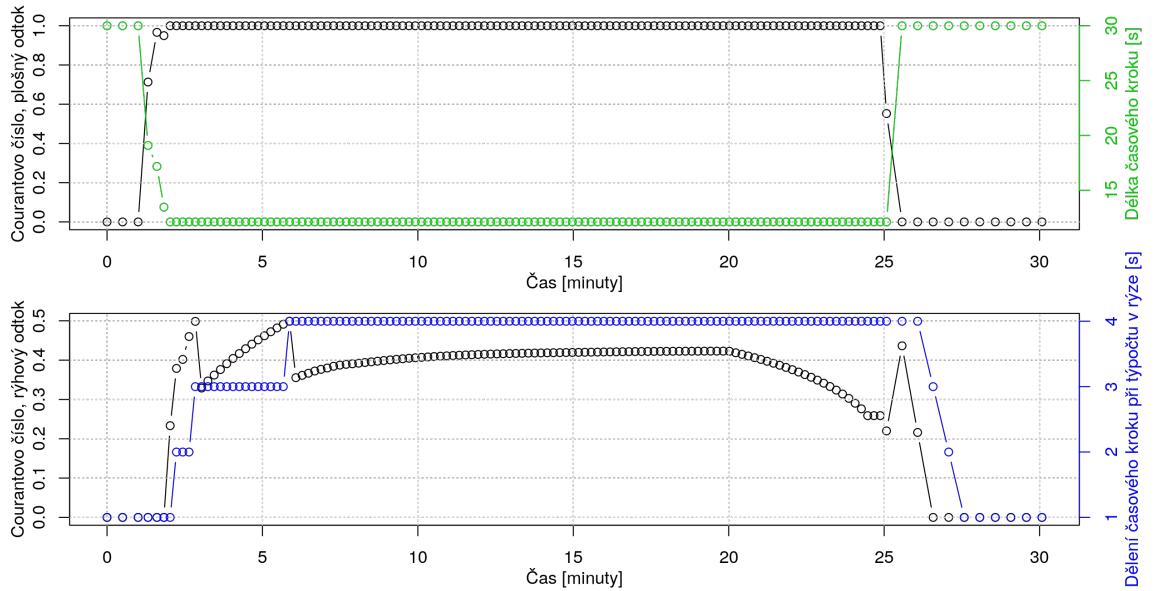
Obrázek ?? a ?? ukazují chování časového kroku v případě, že je řízen plošným obrázek ?? nebo rýhovým odtokem obrázek ??.

4.14.1 Výstupy z modelu

Zde dodelat

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

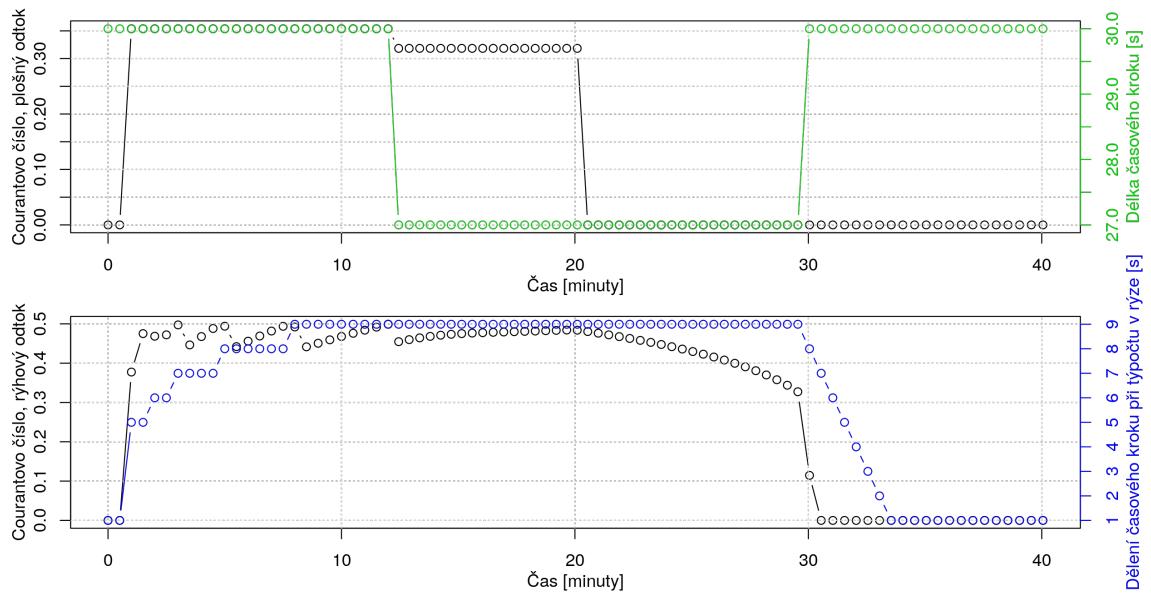
Výstupy modelu jsou uloženy do složky zadané mezi vstupními parametry (obsah složky je při spuštění programu vymazán!). Kumulativní nebo maximální hodnoty na celém řešeném území jsou na konci výpočtu uloženy v rastrovém formátu (viz. kapitola ??). Volitelné výstupy hydrogramů v bodech ve formě časových řad jsou uloženy do textových souborů s příponou dat (viz. kapitola ??). Pokud model počítá i úseku hydrografické sítě, jsou kumulativní nebo maximální hodnoty veličin jednotlivých úseků vypsáný v tabulce v textovém formátu (viz. kapitola ??), prostorové rozložení jednotlivých úseků je uloženo jako jeden s rastrů (viz. kapitola ??). Jednotlivé výstupy jsou dále popsány podrobněji.



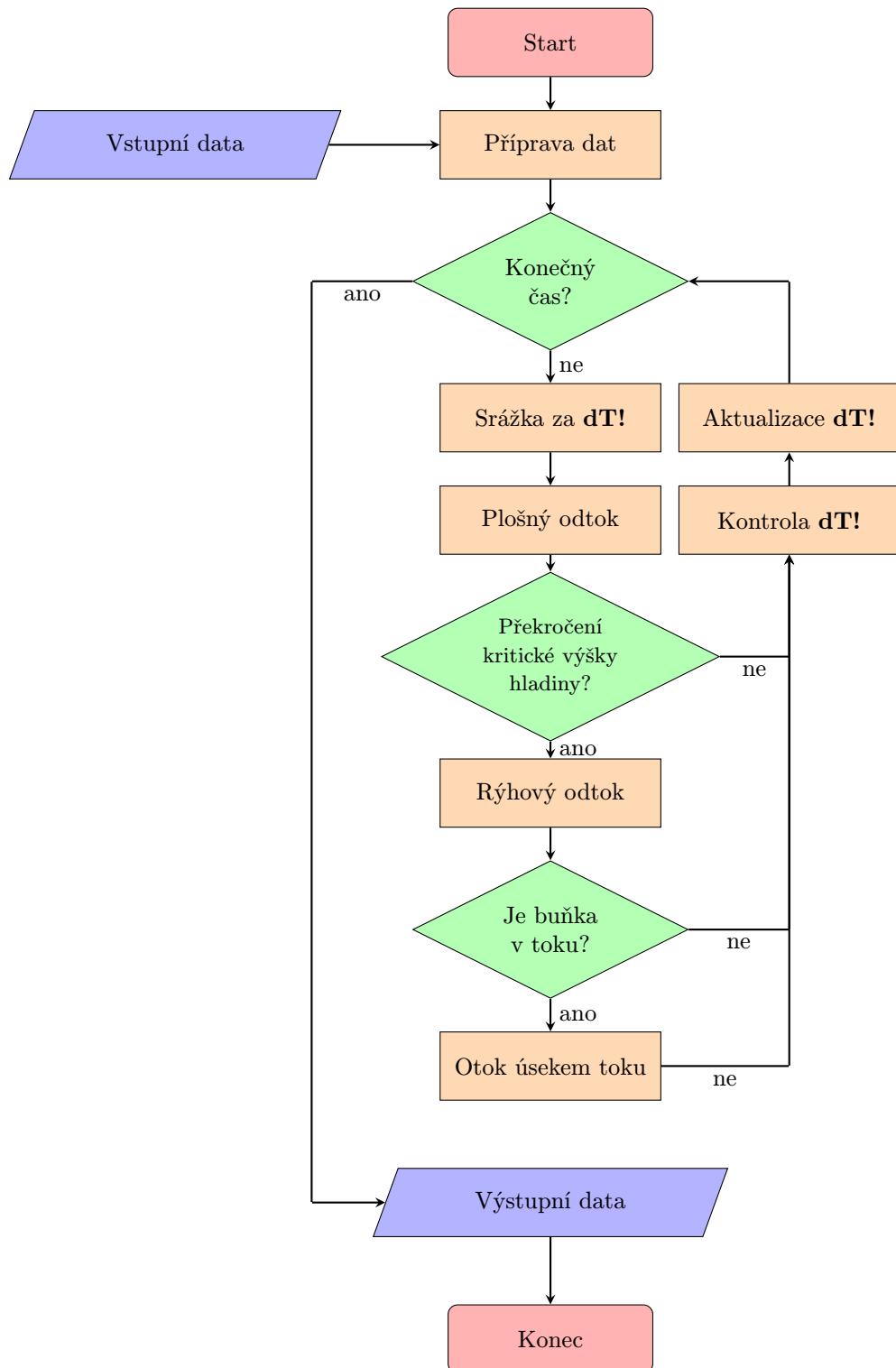
Obrázek 8: Časový krok řízen rychlostí plošného odtoku. **CFL!** rychle stoupne k 1 a začne zkracovat časový krok (horní graf). Pár minut později **CFL_{rill}!** stoupne nad 0,5, **ratio!** stoupne na 2 (dolní graf) tím začne lokálně dělit časový krok při výpočtu rýhového odtoku. **ratio!** na spodním 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.

4.15 Rastrové výstupy

V rastrech jsou uloženy vybrané veličiny na celém řešeném území. Jako rastrový formát lze zvolit proprietární ESRI formát nebo textový formát ASII. Přehled rastrových výstupních souborů je shrnut v tabulce ???. Pokud jsou v modelu řešeny i úseky hydrografické sítě jsou buňky rastru ležící na úseku uloženy s hodnotou NoData (výjimku tvoří 2 rastry popisující vlastnosti úseků, viz tabulka ???).



Obrázek 9: Časový krok řízen rychlosí rýhového odtoku. **CFL!** plošného odtoku nepřekročí během výpočtu hodnotu cca 0.35 (na horním grafu), proto nemá žárný 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 hodnoty 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.



Obrázek 10: Flow chart toku programu

Tabulka 12: Přehled rastrových výstupů

Název souboru (ESRI nebo .acs)	Jednotka	Popis
cInfiltrationM	m	Kumulativní infiltrace
cRainfallM	m	Kumulativní srážka (bez intercepcí a povrchové retence)
cVolInM3	m^3	Kumulativní objem přítoků do buňky (plošný + rýhový)
cSheetVolOutM3	m^3	Kumulativní objem odtoku z buňky
cRillVolOutM3	m^3	Kumulativní objem odtoku z buňky rýhou
cVolRestM3	m^3	Kumulativní zbytek po odtoku odtoku z buňky
mSurfaceFlowM3_S	$m^3 - s^{-1}$	Maximální celkový v buňce
mVelocityM_S	ms^{-1}	Maximální rychlosť proudenia v buňce (plošného či soustredeného odtoku)
mReachFlowM3_S	NA	doplnením
mShearStressPa	Pa	tečné napätie
reachFID	NA	Buňky mimo tok mají NODATA hodnotu nebo id daného úseku toku.
massBalance	m	Bilance všech vstupů a výstupu z a do buňky

4.16 Hydrogramy

Pokud jsou do vstupů zadány body pro výpis hydrogramů, vypíší se do testových souborů s příponou `.dat`. Vypsáne veličiny jsou závislé na typu odtokového procesu resp. typu výpočtu. Popis veličin při povrchovém resp. povrchovému i soustředěném odtoku (typ výpočtu `only sheet runoff` resp. `rill and sheet runoff`, viz kapitola ??) je shrnut v tabulce ???. Pokud je v buňce úsek hydrografické sítě, vypisují se pouze hodnoty celého úseku. Názvy a význam veličin popisující úsek toku je popsán v tabulce ???. Model v současné verzi uvažuje, že pokud je v buňce úsek toku, zabírá úsek celou buňku, přestože jeho šířka menší než je šířka samotné buňky.

Tabulka 13: Popis veličin v `.dat` souborech

Název sloupce	Jednotka	Popis
time[s]	s	Čas výpočetního kroku
deltaTime[s]	s	Aktuální délka časového kroku
rainfall[m]	m	Srážková výška v aktuálním časovém kroku
totalWaterLevel[m]	m	Celková výška hladiny
surfaceFlow[m ³ /s]	$m^3 s^{-1}$	Celkový průtok (plošný + soustředěný)
surfaceVolRunoff[m ³]	m	Celkový odteklý objem (plošný + soustředěný)

*výška hladiny u soustředěného odtoku není výška skutečné výšky hladiny v rýze, ale v nadkritická výška hladiny vztažená na celou plochu výpočetní buňky

Tabulka 14: Popis veličin v `.dat` souborech

Název sloupce	Jednotka	Popis
time[s]	s	Čas výpočetního kroku
deltaTime[s]	s	Aktuální délka časového kroku
rainfall[m]	m	Srážková výška v aktuálním časovém kroku
reachWaterLevel[m]	m	Výška hladiny plošného odtoku
reachFlow[m ³ /s]	$m^3 s^{-1}$	Průtok plošného odtoku
reachVolRunoff[m ³]	m ³	Odteklý objem plošného odtoku

4.17 Tabulka hodnot úseků

V této tabulce uložené v textovém formátu jsou zapsány maximálních a kumulativních hodnot jednotlivých úseků. Hodnoty tabulce lze následně přiřadit podle identifikační hodnoty v prvním sloupci k jejich geografické reprezentaci v libovolném GIS softwaru. Názvy sloupců tabulky a jejich popis je stručně proveden v tabulce ???

Tabulka 15: Popis veličin tabulky úseků hydrografické sítě

Název sloupce	Jednotka	Popis
FID	—	Identifikátor přiřazeného úseku (<i>feature id</i>)
cVolM3	m^3	Kumulativní objem odtoku
mFlowM3_S	$m^3 s^{-1}$	Maximální průtok
mFlowTimeS	s	Čas dosažení maximálního průtoku
mWatLM	m	Maximální výška hladiny v úseku
restVolM3	m^3	Objem v úseku po skončení výpočtu
toFID	—	FID úseku do které daný úsek odtéká (hodnota -9999 vyjadřuje situaci, kdy úsek kříží hranici řešeného a odtéká tedy mimo toto území)

4.18 State - typ průtoku na buňce

Jak bylo popsáno no v kapitole ?? v modelu je možné řešit několik typů povrchového odtoku: plošný odtok, soustředěný odtoku a odtok hydrografickou sítí. Topografie hydrografické sítě je definována uživatelem. Vznik soustředěného odtoku je podmíněn překročením kritické výšky (popsáno v kapitole ??). V programu jsou typy odtoku rozlišeny celočíselným identifikátorem označeným State, kde pokud State

- = 0 dochází v buňce pouze k plošnému odtoku pokud
- = 1 dochází v buňce k plošnému i soustředěnému odtoku nebo pokud
- = 2 @@@ plošný odtoku a rýha jen odtéká
je to v teto verzi? Je to zajímavé pro uživatele?
- >= 1000 je v buňce úsek hydrografické sítě.

Identifikátor hydrografické sítě nemusí začínat číslem 1000 a nemusí být vzestupný (cestupný) u navazujících úseků. Tento identifikátor je v modelu definován jako 1000 + fid, je tedy definován uživatelem nebo přiřazen použitým GIS softwarem.

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

- VRestEndRillL3.asc
- 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
- CumVRestL3.asc
- 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 infiltracní 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. rychlosť Rastr rychlosťí je výstupem sloužící k určení erozní ohroženosti. Porovnávány jsou hodnoty skutečných rychlosťí s limitními nevymílacími rychlosťmi (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. rychlosť v rýze Rastr obsahuje hodnoty maximální rychlosťi v buňkách, kde je rýha vytvořena. Výpočet v rýhách probíhá odlišně oproti povrchovému odtoku. Jedná se o větší rychlosťi, a proto na těchto buňkách probíhá výpočet za běžný časový krok 3x. V jiném případě by hrozilo, že výpočet nebude konvergovat. souhrn

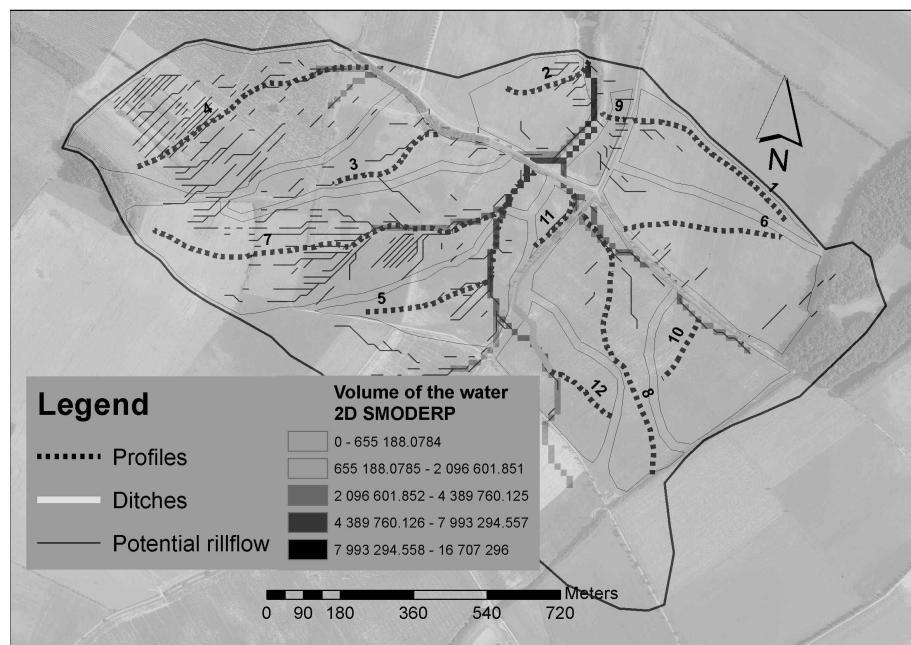
Final evalution.txt je textový soubor, který obsahuje souhrn zadaných vstupů a čas běhu modelu a bilanci vody. hydrogram Point hydrographs.txt je textový soubor s hodnotami výšky hladiny, průtoku, napětí, rychlosťi v bodech zadaných vstupní bodovou vrstvou. Soubor slouží k tvorbě hydrogramů v těchto 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.

5 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 ???. SOučasná verze modelu z hlediska zpracování vstupních dat, výpočtu a uváděných výstupů je pak v kapitole ??.

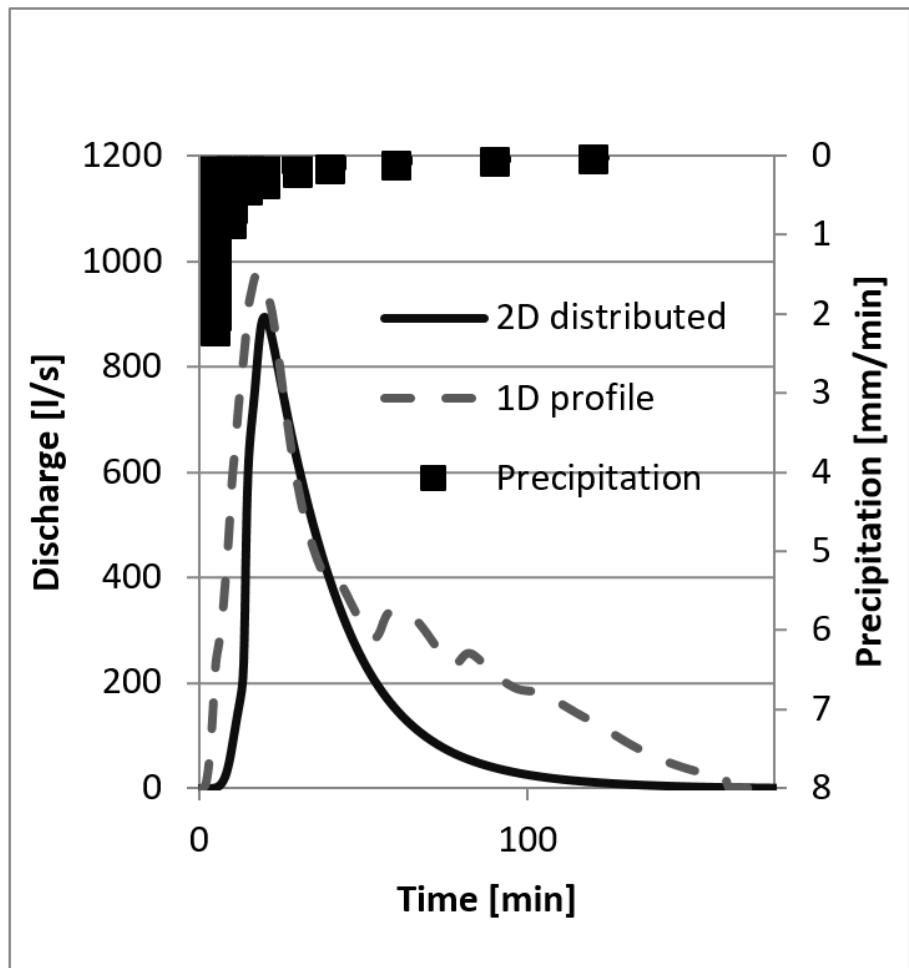
1 Porovnání metod 1D a 2D

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 km^2 . For 1D model are the individual agricultural plots were distinguished by 12 different profiles.



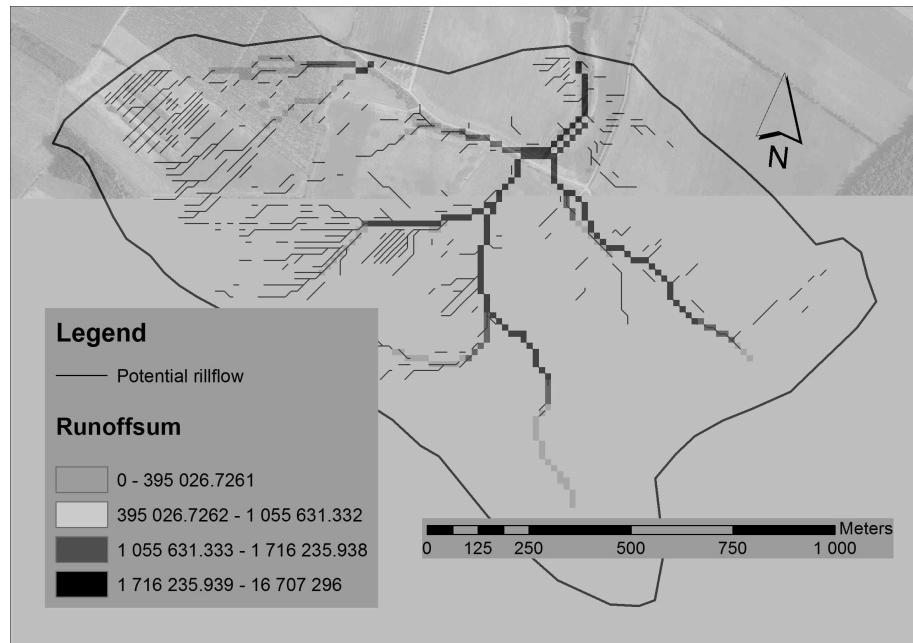
Obrázek 11: Profiles and runoff concentration - Horany

ghg

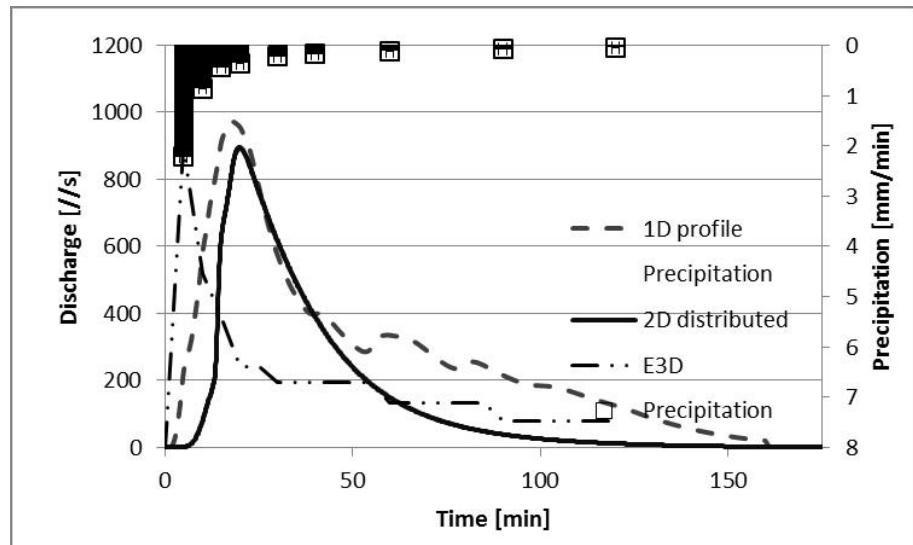


Graf 12: Hydrographs 1D and 2D Smoerdp - Horany study area

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 - Bykovicky catchment



Graf 14: Hydrographs 1D and 2D Smoerop - Bykovicky 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.