

# Odvedenie priestorových parametrov pre hydrologický model GODRUM (Geographically Oriented Distributed Runoff Model) v prostredí GIS

Martin Mareta

Esprit s r.o., Pletiariska 2  
96901, Banská Štiavnica, Slovenská republika  
[mareta@esprit-bs.sk](mailto:mareta@esprit-bs.sk), [www.esprit-bs.sk](http://www.esprit-bs.sk)

**Abstrakt.** Zrážkovo-odtokový model GODRUM je fyzikálne opodstatnený distribuovaný model hydrologických procesov v povodí, zohľadňujúci priestorovú heterogenitu vstupných parametrov riadiacich hydrologické procesy. Hlavnou úlohou vyvíjaných modulov v prostredí GIS pre prípravu priestorových parametrov je s prihliadnutím na znalosti zákonitostí priestorovej premenlivosti krajinskej sféry, čo najpresnejšie modelovať priestorové rozloženie parametrov. Moduly sú koncipované ako nadstavba pre GIS aplikáciu ArcGIS Desktop 9.x a pri ich vývoji bola použitá technológia ESRI ArcObjects a programovací jazyk VB.NET vo vývojovom prostredí Visual Studio 2008. Ťažiskom vývoja modulov okrem samotnej technológie ako takej, bol vývoj hydrologicky korektného a čo najpresnejšieho digitálneho modelu reliéfu (DMR) a algoritmov na odvodenie ďalších morfometrických parametrov, ktoré priamo ovplyvňujú odtok z povodia. Hlavný dôraz sa kládol na rešpektovanie reálnej riečnej siete a modelovanie povrchového odtoku rešpektujúceho špecifické geologické pomery a prírodné či antropogénne bariéry v krajine. Dôležitou súčasťou práce bolo aj určenie hydrologických vlastností pôd odvodených z pôdnych pomerov krajiny, využitím rovníc vychádzajúcich z modelu SPAW a rešpektovaním medzinárodnej klasifikácie pôdnej zrnitosti USDA. Okrem týchto, model pracuje aj s parametrami odvodenými z vlastností krajinskej pokrývky, ako je napríklad intercepcia či Manningov koeficient drsnosti, ktorý priamo ovplyvňuje dotokové časy k záverečnému profilu povodia resp. množine subpovodií. Model GODRUM primárne pracuje s rastrovými reprezentáciami vstupných priestorových parametrov, ktoré umožňujú spojitú modelovanie javov a procesov. Táto skutočnosť nám umožnila do veľkej miery používať metódy mapovej algebry ako jazyka určeného na analýzy priestorového modelovania, formou topologického prekrytia.

**Kľúčová slova:** DMR, GIS, GODRUM, hydrologické modelovanie

**Abstract.** Derivation of spatial parameters for hydrological model GODRUM (**G**eographically **O**riented **D**istributed **R**unoff **M**odel) in GIS environment. Rainfall-runoff model GODRUM is physically-based distributed of hydrologic processes in the catchments, that are regard heterogeneity of input parameters influencing hydrologic processes. Dominant task in developing GIS modules for derivation spatial parameters is modeling spatial distribution as correct as possible and respecting regularity of landscape heterogeneity. Modules are conceived as ArcGIS Desktop 9.x extension and we used ESRI ArcObjects technology, and programming language VB.NET integrated in Visual Studio 2008, for their developing. Besides developing GIS technology itself, there was big emphasis on generation hydrologic correct and as the most perfect digital elevation model (DEM) as possible. This was used for subsequent derivation of morfometric parameters, which directly influence runoff from catchments. Respect of real river stream and modeling of surface runoff respecting individual geology bedrock and nature or anthropogenic barriers in the landscape, was the main claim in this type of modeling. Another important part of this task was determination of soil properties derived from soil conditions of landscape structure using equation based in SPAW model and respecting international USDA soil texture classification. Except present, model also works whit parameters derivated from Land Cover properties as e.g. interception or Manning's roughness coefficient, which straightforward affected travel times to basin outlet or to system of subcatchments. Model GODRUM primary works whit raster representation of spatial input parameters, which allow continuous modeling of event or processes. In matter of fact we can mostly use language of map algebra, assigned for spatial modeling analysis, using topological overlap.

**Keywords:** DEM, GIS, GODRUM, hydrological modeling

## 1 Úvod

V poslednom období je možné sledovať v oblasti vedy a teda aj geografie tendenciu štiepenia sa materských disciplín. Na druhej strane však vznikajú medzi vednými disciplínami viaceré integračné zoskupenia rôznej šírky a hĺbky. Prelínanie vedných disciplín umožňuje využitie poznatkov z viacerých

oblastí a tým aj skvalitnenie riešenia danej problematiky. V našom prípade ide o prelínanie dvoch čiastkových disciplín – fyzickej geografie a geoinformatiky (resp. geomatiky) s využitím aj pre iné vedné disciplíny napr. hydrológiu, humánnu geografiu ale aj pre využitie v poľnohospodárskej praxi či integrovanom manažmente povodia a krajiny (v striktnejšom ponímaní je aj samotná fyzická geografia množina viacerých čiastkových geovedných disciplín). Aj keď geomatiku možno chápať rozdielne od geoinformatiky možno ich chápať aj ako synonymum. Ide viac-menej o rozlíšenia dvoch škôl – západnej (geomatika) a východnej (geoinformatika). Celkovo ich však obe môžeme chápať ako vedné disciplíny venujúce sa využívaniu geografických informačných systémov a príbuzným technológiám (DPZ, GPS...) a geoinformatika tak býva označovaná aj ako veda obklopujúca technológiu GIS (Geografické Informačné Systémy) [4]. Práve technológia GIS nám v najvyššej možnej miere umožňuje pracovať s priestorovými dátami (dátami s jednoznačne definovanou polohou v geografickom priestore) a hodnotením ich interakcií s okolím (s okolitým systémom resp. jeho subsystémami). Priestorové analýzy tak tvoria v našom prípade – v prípade hydrologického modelovania podstatnú časť geoinformatiky. Podľa [4] nám tak umožňujú odhaliť skryté štruktúry a zákonitosti v množstve zhromaždených údajov, predpovedať budúci vývoj rozličných časopriestorových fenoménov, tvoriť ich modely, experimentovať s ich vstupnými parametrami a hodnotiť odozvy. Aplikovaním práve takýchto analýz s využitím mapovej algebry, rôznych matematicko-štatistických či geoštatistických postupov sa snažíme odvodiť vstupné priestorové parametre vstupujúce do modelovania zrážkovo-odtokových procesov resp. modelu ako takého.

## 2 Metodika

### 2.1 Modelovanie a modely v hydrológii (smerom k modelu GODRUM)

Vývoj v oblasti modelovania hydrologických resp. zrážkovo-odtokových pomerov naberá v poslednom období na intenzite čo do kvantity tak aj do kvality. Nové koncepcie odzrkadľujúce novonadobudnuté poznatky sa využívajú k tvorbe čoraz komplexnejších fyzikálne opodstatnených modelov. V hydrológii ako takej, sa vyskytuje veľké množstvo modelov zameraných nielen na modelovanie zrážkovo-odtokových procesov, ale aj množstvo modelov zameraných na hydrauliku podzemných či povrchových vôd, chemizmus vôd a nedozreté množstvo ďalších modelov. Rozlišujeme modely orientované na modelovanie povrchových a podzemných vôd, modelovanie prúdenia a transportu či kvality a kvantity. V hydrológii môžeme modely triediť aj podľa toho, ktorú časť hydrologického cyklu simulujú, alebo s akým časovým resp. priestorovým rozlíšením uvažujú. Podobne ich môžeme deliť na modely ktoré pracujú s kontinuálnou simuláciou a modely simulujúce jednu udalosť (napr. privalovú zrážku). Existencia veľkého množstva modelovacích koncepcií viedla k potrebe vytvoreniu systému a deleniu modelov používaných v hydrológii. Na Slovensku je najviac zaužívané delenie, ktoré vo svojej práci uvádza [7].

- Distribuovaný model (Fyzikálne založený)
- Koncepčný model (Semidistribuovaný)
- Systémový model (Empirický)

Model GODRUM patrí do skupiny skupiny modelov zaoberajúcich sa hydrologickou bilanciou v povodí a presnejšie do skupiny modelov založených na báze fyzikálne opodstatneného modelovania (aj keď ponúkajú a využívajú aj empirické hydrologické metódy ako je napr. jednotkový hydrogram). Takýto model odráža diferenciáciu krajinej sféry a teda priamo pracuje s priestorovými údajmi ako vstupnými parametrami. Sofistikované využitie nástrojov integrovaných v GIS, nám umožňuje v dostatočnej možnej miere takéto parametre priamo vytvárať alebo ich odvodzovať z už existujúcich. [1] uvádza že najväčšou prednosťou fyzikálne opodstatnených modelov s priestorovo-rozčlenenými parametrami je v porovnaní s ostatnými typmi hydrologických modelov, schopnosť opísať priestorovú variabilitu antropogénnych vplyvov a zmeny priestorových parametrov pre rôzne spôsoby využívania krajiny človekom. Takéto modely sa najčastejšie využívajú na predpoveď efektov zmien v povodí v dôsledku zmien podmienených činnosťou človeka (napr. zmena vo využívaní pôdneho fondu, urbanizácia, zmena krajinej pokrývky a iné). Významnú úlohou zohrávajú aj pri stanovení odtoku z povodia bez priamych meraní či s krátkymi radmi pozorovaní. V tejto skupine je zaradených viacero modelov, ktoré však majú podobnú štruktúru a následne uvádzame tie ktoré priamo súvisia s danou problematikou. Model GODRUM je geneticky odvodený z modelov WETSPA a FRIER, kde oba využívajú GIS funkcionality na stanovenie a odvodenie vstupných parametrov a teda sú založené na hydroinformatike resp. geoinformatike (obdobne poznáme napr. empirické hydrologické metódy, štatisticky založené metódy,...).

#### Model WETSPA

Model WetSpa (**W**ater and **E**nergy **T**ransfer between **S**oil, **P**lants and **A**tmosphere) [9] je zrážkovo-odtokový fyzikálne orientovaný model s priestorovo rozčlenenými parametrami, alebo gridovo založený distribuovaný hydrologický model, ktorý modeluje prenos vody a energie medzi pôdou, rastlinstvom a atmosférou.

#### Model FRIER

FRIER (Water Distribution (**F**low, **R**outing, **I**UH) Model with **A**ccent to **E**vapotranspiration and **R**adiation Methods) [5] je fyzikálne založený model a simuluje hydrologické procesy vo vertikálnom i horizontálnom smere v každej rastrovej bunke v prostredí GIS, a to zrážky, akumuláciu a topenie snehu, intercepciu, zásobnú kapacitu znižovní, evapotranspiráciu, infiltráciu, interakciu nenasýtenej a nasýtenej zóny, zmeny zásob podzemnej vody, pôdnej vlhkosti, povrchový, podpovrchový a podzemný odtok. Model bol vyvinutý na katedre vodného hospodárstva, stavebnej fakulty, STU v Bratislave

## 2.2 GIS implementácia modelu

Nie všetky hydrologické modely sa dajú integrovať s GIS, našou úlohou je však využiť práve prostredie GIS na čo najpresnejšie stanovenie priestorových parametrov a to s poznaním zákonitostí diferenciácie krajinskej sféry. Vhodnou interpretáciou týchto poznatkov môžeme vo veľkej miere ovplyvniť konečné výstupy z modelu, kedy doteraz práve táto časť modelov bola do určitej miery zanedbávaná a najväčšia časť bola venovaná fyzikálnym zákonitostiam a zostavovaním rovníc prúdenia a podobne. Pri aplikovanom využití GIS-u ako nástroja na modelovanie závisí aj od prístupu a princípov akými k modelovaniu pristupujeme.

Problémovým miestom distribuovaného modelovania je parametrizácia a naplnenie údajmi. Viacerí autori sa zhodujú v názore, že práve kvalita dostupných údajov použitých na odvodenie parametrov hydrologického prostredia je najčastejšie limitujúcim faktorom presnosti modelu a tým aj jeho použiteľnosti pre jednotlivé oblasti hydrológie. V prípade modelu GODRUM sú to práve priestorové parametre a ich správne odvodenie, ktoré by mali viesť k čo najpresnejším výsledkom hydrologického modelovania rešpektujúceho zákonitosti krajinskej sféry. Na rozdiel od svojich predchodcov, ktoré GIS využívajú len na tvorbu a odvodenie priestorových parametrov, model GODRUM využíva aplikáciu GIS ako prostredie pre celý proces modelovania. Podobne ako modely WETSPA alebo FRIER od ktorých je priamo odvodený, využíva prostredie GIS od firmy ESRI, ktoré sú už určitým štandardom na trhu podobne ako aj natívne formáty využívané v týchto prostrediach. Na rozdiel od zmieňovaných modelov však GODRUM využíva oveľa robustnejší nástroj ako je ArcView 3.x a to jeho novšiu modifikáciu ArcGIS 9.x. Využitím technológie ArcObjects a externého vývojového prostredia resp. programovacieho jazyka (v tomto konkrétnom prípade VB.NET) je v podstate toto prostredie možné rozšíriť o ľubovoľné užívateľské rozhranie, ktoré bude priamo integrované do tejto GIS aplikácie.

## 3 Odvodenie priestorových parametrov – modelovanie priestorovej distribúcie parametrov

Výber vstupných parametrov závisí od viacerých determinujúcich faktorov. Medzi najdôležitejšie patria:

- štruktúra modelu, fyzikálna a matematická
- modelovaná mierka, priestorová a obsahová presnosť, veľkosť modelovaného územia
- geografická charakteristika územia, heterogenita vertikálna a horizontálna členitosť
- čiastkové hydrologické procesy ktoré sú modelované
- dostupnosť a kvalita vstupných údajov

Výber parametrov tak musí byť kompromisom medzi komplexnosťou (presnosťou) zrážkovo-odtokového modelu a možnosťami získania dostatočne podrobných a vierohodných podkladových údajov pre odvodenie týchto parametrov. Parametre možno stotožniť s prvkami krajinskej sféry a práve možnosťami a prístupmi modelovania priestorovej diferenciácie prvkov krajinskej sféry, ktoré majú rozhodujúci vplyv na hydrologické procesy v krajine sa budeme ďalej zaoberať

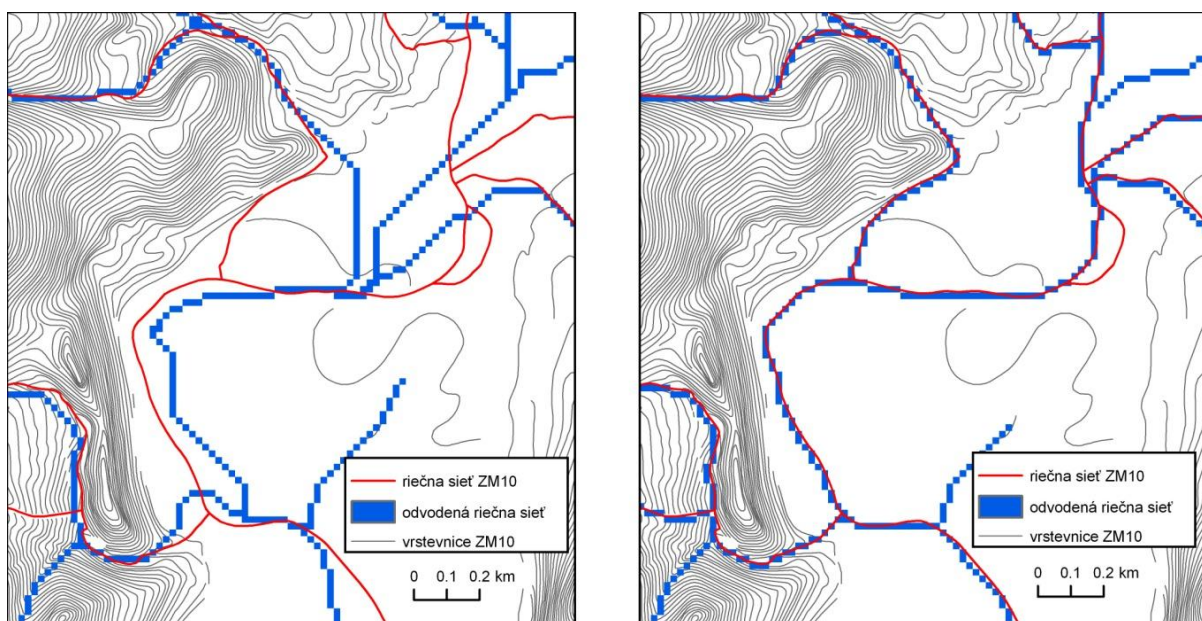
### 3.1 Georeliéf a z neho odvodené parametre

Georeliéf výraznou mierou či už priamo, alebo nepriamo cez ostatné prvky krajiny ovplyvňuje aj hydrologické procesy v povodí. Pri modelovaní hydrologických procesov je preto potrebné zostrojiť čo najpresnejší digitálny model reliéfu (DMR), z ktorého by sa dali postupne vypočítať niektoré morfometrické parametre georeliéfu, ovplyvňujúce vodnú bilanciu v povodí. Pre potreby hydrologického modelovania zrážkovo-odtokových procesov je aj napriek neschopnosti zachytiť niektoré vlastnosti terénu (napr. ostré hrany terénu pri koryte toku) vhodnejšia pravidelná štruktúra gridu, kde vertikálna vodná bilancia sa počíta pre každú jeho bunku. Takáto možnosť v prípade TIN nie je možná a pre potreby zachytenia lomových línií a hrán sa uvažuje skôr so zahustením gridu. Model GODRUM je zameraný na modelovanie zrážkovo-odtokových procesov a preto sa zameriame na tvorbu DMR v gridovej štruktúre, z ktorej budú odvodené aj následné sekundárne parametre. Samozrejmosťou pri uvažovaní akéhokoľvek modelovania, kde DMR zohráva kľúčovú úlohu je dôležitá presnosť a hustota vstupných údajov.

V prípade tvorby DMR je najvhodnejšie použiť fotogrametricky alebo geodeticky zamerané homogénne bodové pole nadmorských výšok. Model GODRUM má v sebe integrovanú geodatabázu vstupných priestorových dát s platnosťou pre celú SR a preto v dôsledku finančných aj technologických možností bol DMR generovaný na základe topografie zo základného mapového diela 1:10 000. Okrem týchto údajov reprezentovaných vektorovou reprezentáciou výškových kôt (bod), vrstevníc (lína), vodných tokov (lína) a vodných plôch (polygón), boli použité aj doplnujúce údaje:

- bodové a líniové hodnoty nadmorských výšok, v miestach kde neboli v mapovom diele mapované (hlavne oblasť skalných zrázov, štítov ..., Vysokých Tatier)
- bodové hodnoty nadmorských výšok posilňujúce „kosteru“ georeliéfu (definujúce nadmorskú výšku skalných hrebeňov, alebo výšku vodného toku, napr. pri výtoku z vodných nádrží, alebo na rovinatých územiach nížin)
- líniové hodnoty nadmorských výšok pre zachytenie nadmorskej výšky významných vodných nádrží
- líniové a bodové hodnoty nadmorských výšok na eliminovanie chýb interpolačnej metódy (hlavne pri ostrom prechode svah – niva)
- línie reprezentujúce fiktívny tok (definovanie výrazných výmoľov, žlabov vo vysokohorskom prostredí)

Na samotný výpočet DMR bola použitá interpolačná metóda Topo To Raster (druh splajnovej metódy) implementovaná v GIS aplikácii ArcGIS 9.x. Táto metóda okrem umožnenia interpolácie z bodových hodnôt umožňuje aj interpoláciu z líniových prvkov a priamo v výpočte zohľadňuje smer prúdenia v definovaných vodných tokoch čím zabezpečí prietoknosť a výsledný DMR je tak hydrologicky regulárny. Hydrologická korektnosť takto vypočítaného modelu georeliéfu sa dosiahne ešte odstránením umelo vzniknutých bezodtokových oblastí prerušujúcich tok, ale aj zadefinovaním exaktnej polohy vodných tokov.



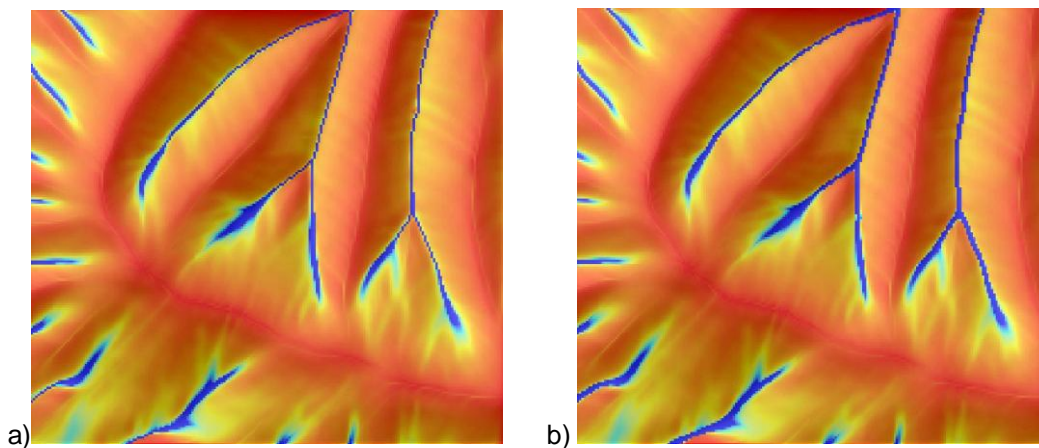
**Obr.1.** Rozdiel medzi DMR generovaného iba na základe topografie a DMR s explicitne definovanou riečnou sieťou [6]



### 3.1.1 Parametre odvodené z georeliéfu

Na priestorovú distribúciu nadmorských výšok sú viazané závislé premenné – morfometrické parametre georeliéfu, ktoré vo veľkej miere determinujú vznik a veľkosť odtoku z povodia. Sklon georeliéfu – je parameter, ktorý je v krajine veľmi dôležitým činiteľom. Podmieňuje vznik a intenzitu väčšiny geomorfologických procesov. Pri výpočte si užívateľ môže určiť, minimálnu hodnotu sklonu v povodí, kde všetky hodnoty sklonu menšie ako táto hodnota sa reklasifikujú práve na túto hodnotu. Prispievajúce plochy vyjadrujú veľkosť plochy z ktorej steká voda tečúca po povrchu počas zrážkovej udalosti do daného bodu na reliéfe. Je to užitočný morfometrický ukazovateľ použiteľný na rýchly odhad veľkosti (masy) povrchového toku vody v danom bode na povrchu [2]. Práve pri generovaní tejto charakteristiky môže užívateľ vo veľkej miere ovplyvniť ďalšie parametre ovplyvňujúce výpočet odtoku. Keďže v GIS aplikácii ArcGIS 9.x je priamo implementovaná iba jedna metóda na výpočet prispievajúcej plochy (SingleFlow metóda D8), bola doprogramovaná metóda, ktorá spája výhody MultipleFlow na svahoch a výhody SingleFlow metódy v sústredenom toku. Ide o spojenie metód Dinf a D8, kde si užívateľ definuje prahovú hodnotu od ktorej sa prispievajúca plocha bere ako sústredený tok a ten sa ďalej počíta metódou D8, keďže metóda Dinf generuje príliš difúzny tok čo znemožňuje generovanie vodného toku a tým aj využitie funkcie na určenie rádu toku vstupujúceho do výpočtu rýchlosti a času odtoku. Samozrejmosťou je možnosť explicitného zadefinovania riečnej siete (pomocou vektorovej reprezentácie vodných tokov), možnosť zadefinovania bariéry a váhového rastra, ktorým sa dajú ovplyvniť výsledné hodnoty napr. pre rôznu geologickú stavbu môžu platiť iné podmienky vzniku sústredeného vodného toku.

Ďalšími odvodenými parametrami sú rastre vodných tokov, ktoré sú preklasifikované do rádo tokov podľa Strahlera, subpovodia generované od užívateľom zadaného rádu toku a rastrové reprezentácie hydrologického rádiusu pre 2, 10 a 100 ročnú vodu (na výpočet rýchlosti odtoku).



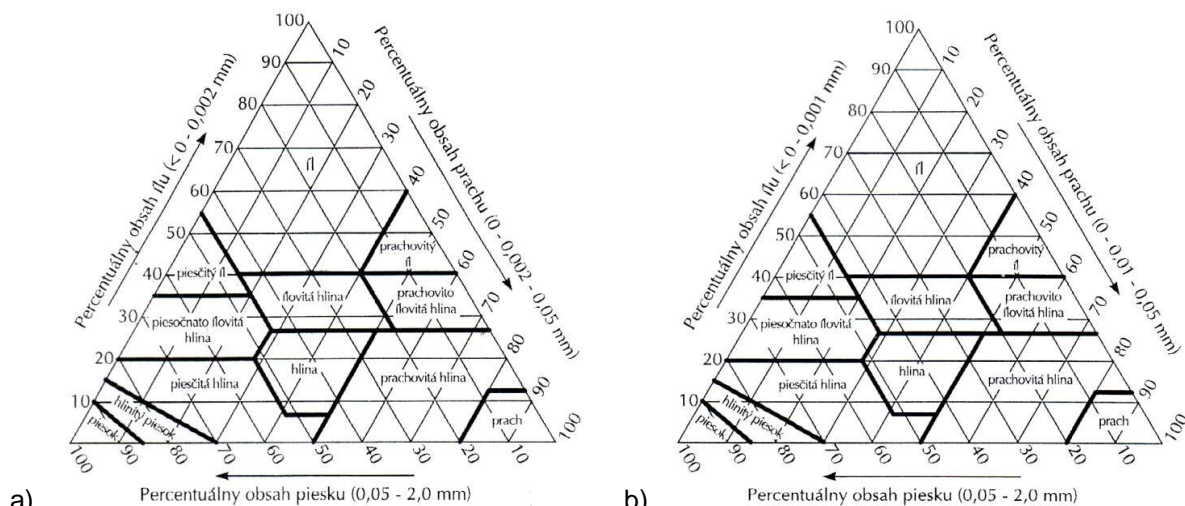
Obr.2. Porovnanie metód na výpočet prispievajúcej plochy a) Dinf/D8 b) Dinf

### 3.2 Pôdne pomery

Pôda ako jeden z najväčších faktorov ovplyvňujúci odtok v povodí sa zvyčajne charakterizuje podľa priestorových subsystémov vo forme druhov a typov resp. subtypov. Zrážkovo odtokové-modely však pracujú aj s jednotlivými fyzikálnymi vlastnosťami pôdy a práve tieto existujúce mapy či pôdne databázy obvykle neobsahujú. V hydrologickej praxi sa hydrofyzikálne vlastnosti pôdy najčastejšie odvodzujú z máp pôdnej zrnitosti, kde sú pôdy kategorizované podľa obsahu pôdnych častíc jednotlivých veľkostných kategórií. Rôzne metódy odvodenia týchto parametrov sú často implementované priamo v zrážkovo-odtokových modeloch. Napríklad v rámci modelu WETSPA sa na základe 12 dielnej USDA (U.S. Department of Agriculture) klasifikácie pôdnych druhov vyčlenenej na základe podielu piesku, prachu a ílu v textúrnom trojuholníku stanovujú nasledovné hydrofyzikálne vlastnosti pôdy:

- koeficient filtrácie v nasýtenej zóne
- pórovitosť
- poľná vodná kapacita
- zvyšková pôdna vlhkosť
- index rozdelenia pórov v pôde podľa ich veľkosti
- bod vädnutia [6]

Model GODRUM pracuje s dvoma možnosťami odvodenia týchto charakteristík. Prvá je kópiu spomenutého s tým rozdielom, že musela byť upravená klasifikácia pôdnej zrnitosti, ktorá je zaužívaná na Slovensku. A to z najviac použíwanej 7 miestnej Novákovej klasifikácie na 12 miestnu klasifikáciu podľa textúrneho trojuholníka ako je publikovaný v [3], treba si však uvedomiť že aj takto upravená klasifikácia pôdnej zrnitosti sa líši od USDA klasifikácie. Z tohto dôvodu sa nám ako vhodnejšie zdá použitie rovníc na výpočet týchto hydrofyzikálnych vlastností pôdy priamo z percentuálneho zastúpenia frakcií prachu, ílu a piesku. Príkladom takýchto vzťahov sú rovnice z modelu SPAW (Soil-Plant-Air-Water) [8], ktoré sme integrovali do modelu GODRUM. Pri použití druhej metódy si je potrebné uvedomiť dôležitosť spôsobu interpolácie resp. extrapolácie údajov z pôdných sond. Popri bežných interpolačných metódach a metódy Thiessonových polygónov sa nám najvhodnejšia zdá extrapolácia zohľadňujúca georeliéf, ktorý je najlepšie zmapovaný a súčasne vo veľkej miere ovplyvňuje spomínané hydrofyzikálne vlastnosti pôd.



**Obr.3.** Rozdiel v trojuholníkových diagramoch pre klasifikáciu textúry pôdy a) USDA b) navrhovaný Slovenskou pedologickou spoločnosťou [3]

### 3.3 Krajinná pokrývka

Krajinnej pokrývky má výrazný vplyv na zrážkovo-odtokové procesy samotné, ako aj na tvorbu scenárov zmeny krajiny. Vegetácia resp. jej zmena alebo neprítomnosť ovplyvňuje či už priamo alebo nepriamo viaceré subprocesy v povodí (napr. evapotranspirácia, intercepcia, akumulácia vlhkosti v pôde a iné). Využitie krajiny najzreteľnejšie vplyva na evapotranspiráciu v hydrologickej bilancii povodia. Rôzne druhy využitia krajiny majú rôznu intenzitu intercepce, evapotranspirácie kvôli rôznemu druhu vegetačného pokryvu, indexu listovej pokrývnosti, hĺbke koreňovej zóny a albedu. Využitie krajiny tiež vplyva na infiltráciu, pretože hlavne nasýtený koeficient filtrácie je ovplyvnený koreňmi rastlín a pômi vytvorenými pôdnou faunou. Drsnosť povrchu ovplyvňuje rýchlosť plošného odtoku. Využitie krajiny vplyva na vlastnosti pôdy. Významný je jej pôdochranný a melioračný vplyv. Dôležitý je vplyv vegetácie na mikroklimu, čím je ovplyvnená energetická bilancia.

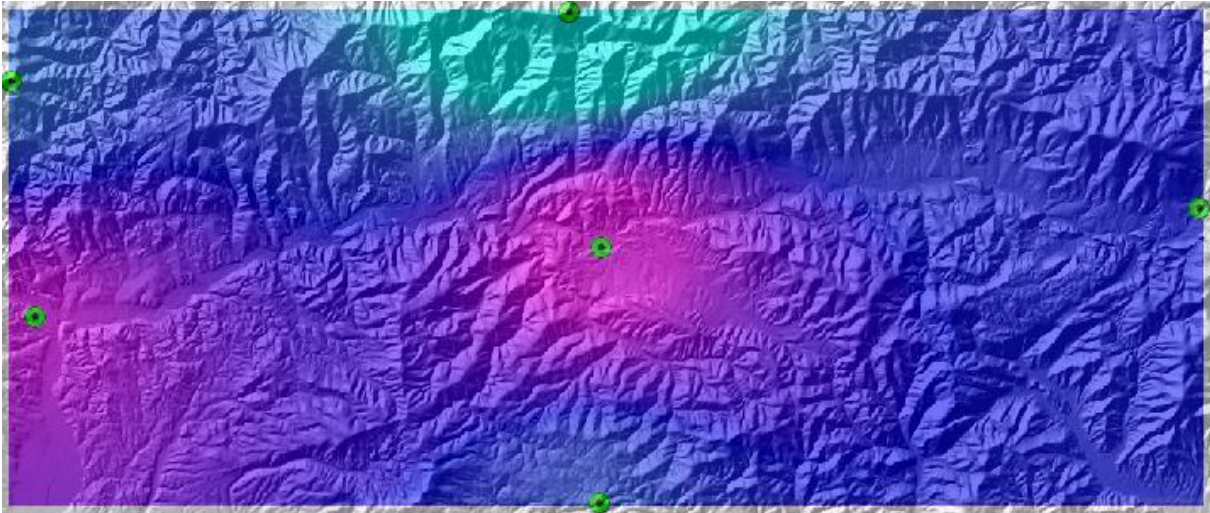
Vplyv využitia zeme na jednotlivé čiastkové procesy sa vyjadruje v modeloch príslušnými parametrami. Medzi najpoužívanéjšie parametre hydrologických modelov odvodzované z krajiny patria Manningov koeficient drsnosti povrchu, index listovej plochy, pokrývnosť pôdy vegetáciou, koreňová hĺbka, intercepčná kapacita atď. Problémom odhadu parametrov je, že sa ťažko merajú v teréne, sú priestorovo a časovo značne variabilné. V podmienkach Slovenska sa používajú iba empirické hodnoty, známe najmä zo zahraničnej literatúry [6]. V modeloch WETSPA a FRIER je krajinná pokrývka kategorizovaná len do 14 kategórií a toto členenie nezodpovedá žiadnemu štandardnému kategorizovaniu. Preto sme pre model GODRUM prezvali kategórie z programu CORINE čím sa nielen rozšírili ale aj prispôsobili určitému štandardu.

### 3.4 Klimatické faktory

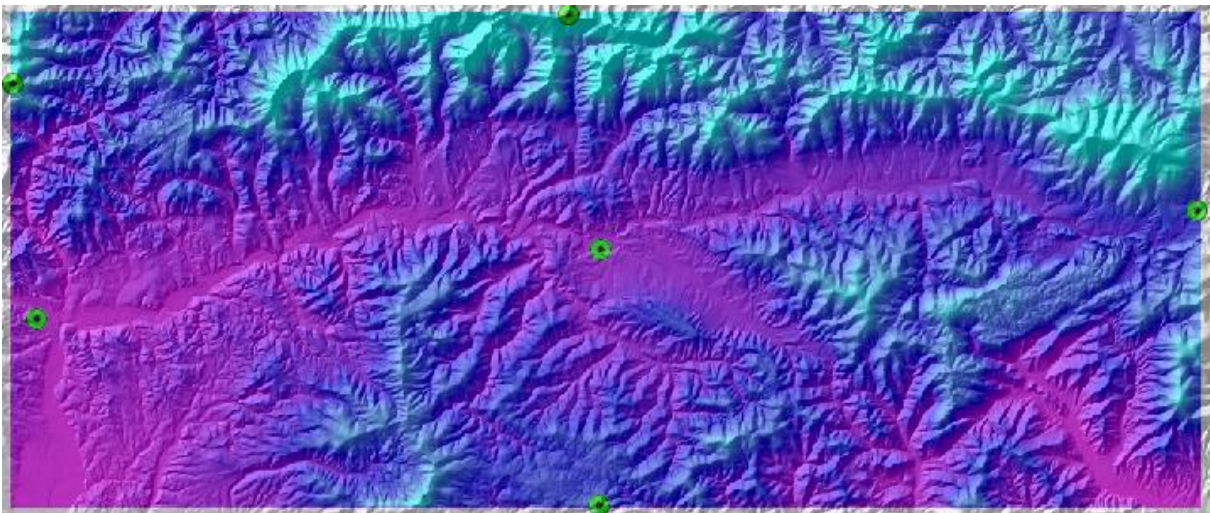
Teplota vzduchu, atmosferické zrážky a evapotranspirácia merané na špecializovaných klimatologických stanicích ovplyvňujú celkový odtok a vodnú bilanciu v povodí. Od týchto parametrov



sa odvádza ďalšie množstvo charakteristík a preto je dôležité ich správne interpolovať / extrapolovať do geografického priestoru. Časové rady pre tieto charakteristiky sú zväčša za dlhodobé merania a interpolujú sa v modeli v zvolenom časovom kroku, čo predstavuje dosť výrazný nápor na technickú a aj časovú stránku modelovania. Z tohto dôvodu je potrebné uvažovať nielen o kvalite ale aj o rýchlosti rozmiestnenia. V modeli GODRUM budú implementované dva rôzne prístupy: IDW interpolácia, kedy samotná interpolácia prebehne v skutočnosti iba raz pre každú stanicu a neskôr sa v jednotlivých časových krokoch tieto hodnoty násobia danou meranou hodnotou na stanici a výsledky sa sčítavajú, naopak metóda vertikálneho gradientu (využitím geograficky váženej regresie GWR) je metóda, ktorá je minimálne pre interpoláciu teplôt vzduchu presnejšia ale časovo náročnejšia. Taktiež si treba uvedomiť že danú vlastnosť teplotného gradientu nemôžeme využiť počas celého roku (napr. v dôsledku inverzií) aspoň nie v príliš krátkom časovom kroku. Tieto dve metódy nahradili metódu Thiessonových polygónov využívanú v modeli WETSPA.



Obr.4. Interpolácia teplôt vzduchu metódou IDW (z uvedených staníc)

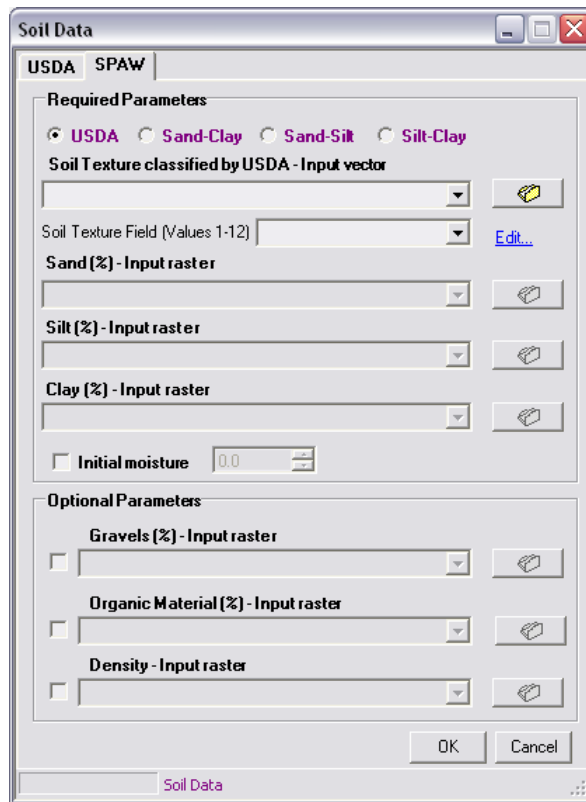


Obr.5. Interpolácia teplôt vzduchu metódou GWR (z uvedených staníc)

## 4 Záver

Odvodenie vstupných priestorových parametrov pre modelovanie zrážkovo-odtokových procesov v hydrologickom modeli GODRUM je len čiastkovou úlohou. Je dôležité si uvedomiť že pred samotnou prácou s dátami je samotný proces prípravy dát, kde treba riešiť viaceré problémy súvisiace s kvalitou, podrobnosťou a dostupnosťou podkladových máp. Ako sme uvádzali model GODRUM pracuje s pravidelnou gridovou mriežkou, preto aj všetky priestorové parametre sú prevedené do rastrovej reprezentácie jednotlivých parametrov. Táto skutočnosť nám dovoľovala v mnohých prípadoch použiť metódy mapovej algebry na výpočet parametra formou topologického prekrytia dvoch a viacerých

rastrov. Niektoré charakteristiky boli naopak odvodené pomocou analýzy susedstva a v prípade výpočtu prispievajúcej plochy bol naprogramovaný komplet celý algoritmus výpočtu. Všetky nástroje na odvodenie priestorových parametrov budú implementované ako samostatná nadstavba (extension) do programu ArcGIS 9.x, ako súčasť komplexného hydrologického modelu GODRUM.



Obr.6. Ukážka dialógového okna na výpočet hydrofyzikálnych vlastností pôd

### PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0378-07. Autor ďakuje agentúre za podporu výskumu.

### Referencie

1. Beven, K.J.: *Rainfall-Runoff Modelling. The Primer*. John Wiley & Sons, Ltd., 2001, Chichester.
2. Cebecauer, T., Hofierka, J., Šúri, M.: *Vplyv kvality údajov na modelovanie povrchového toku vody*. [online], ([b. r.]), Dostupné na internete: <[www.geomodel.sk/sk/vyskum/dmr/model-kvalita\\_dat.pdf](http://www.geomodel.sk/sk/vyskum/dmr/model-kvalita_dat.pdf)>
3. Čurlík, J., Šurina, B.: *Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd*, VÚPOP, 1998, Bratislava
4. Hlásny, T.: *Geografické informačné systémy – Priestorové analýzy*. Zvolen : Zephyros & Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, 2007, ISBN 978-80-8093-0295.
5. Horvát, O.: *Parameterization of Hydrologic Processes in the Runoff Modelling*. Dizertačná práca, odbor Hydrológia a vodné hospodárstvo, Katedra vodného hospodárstva krajiny, september 2007, SvF STU Bratislava.
6. Kočický, D.: *Parametrizácia hydrologických procesov v distribuovanom modelovaní odtoku*./Písomný projekt k dizertačnej skúške/,2008, KVHK Stav.Fak. STU, Bratislava.
7. Kubeš, R.: *Matematické modelovanie zrážkovo-odtokových procesov*./Písomný projekt k dizertačnej skúške/(nepubl.), 2002, KVHK Stav.Fak. STU, Bratislava.
8. Saxton, K.E.; Willey, P.H.: *Agricultural Wetland and Pond Hydrologic Analyses Using the SPAW model*. Proc. Self-Sustaining Solutions for Streams, watersheds and Wetlands Conf., Amer. Soc. Agric. Engr., Sept. 12-15, 2004, St. Paul, MN.
9. Wang, Z.M. - Batelaan, O. - De Smedt, F.: *A Distributed Model for Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa)*,1996, Phys. Chem. Earth, 21