

ALTERNATÍVNY INDIKATÍVNY ZÁPLAVOVÝ MODEL

Martin KOLI¹

¹ Department of Physical Geography and Geoecology, Faculty of Natural Sciences, Comenius University in Bratislava, Mlynská dolina B1, 842 15, Bratislava 4, Slovakia
koli.prifuk@outlook.com

Abstrakt

Alternatívny indikatívny záplavový model je nástroj vo forme niekoľkých modelov zostavených pomocou ModelBuildera umiestnených do ArcToolboxu. Cieľom bolo vytvoriť jednoduchý, pohotový nástroj, ktorý by pomocou relatívnych výšok nad vodným tokom generoval indikatívne rozsahy záplavy pri požadovaní minimálnych vstupov, takmer okamžite, pri uvedení si a akceptovaní nedostatkov! Na vygenerovanie hladiny nástroju stačí riečna sieť, DTM alebo DMR, hodnota hĺbky vody a bod, centroid analyzovanej oblasti. Možnosti a limity použitia boli odvodené z porovnávania výstupov s existujúcimi 1D a 2D modelmi od SVP, š.p. a DHI SLOVAKIA, s r. o. na Kysuci, Hornáde, Toryse a Sekčove. Prezentované sú výsledky z Hornádu.

Abstract

Alternative indicative inundation model is tool composed from some models from ModelBuilder in ArcToolbox. It was meant to create simple, swift tool. It would generate indicative inundation extents using relative elevation above river network. Minimum inputs would be required. User must remember and accept limits of algorithm. Required inputs are minimal: water depth, stream network, DTM or DEM and point centroid of analysis area. Various spatial situations are compared with existing 1D and 2D hydraulic models provided by SVP, š.p. and DHI SLOVAKIA, s r. o. on Kysuca river, Hornád river, Torysa river and Sekčov river. Hornád river analysis results are presented. This article informs about possibilities and limits of tool using.

Klíčová slova: AIZM, ArcGIS ModelBuilder, ArcToolbox, Priechne profily, Indikatívna vodná hladina

Keywords: AIZM, ArcGIS ModelBuilder, ArcToolbox, Cross-sections, Indicative water surface

1. ÚVOD

Hydraulické matematické modelovanie je najpresnejším postupom mapovania inundačného územia a jedným z legislatívne uznaných. Avšak aj dostupné nástroje majú rôznu presnosť. S mierou presnosti rastú aj požiadavky na presnosť podkladových údajov, výpočtový výkon hardvéru či čas potrebný na celý proces modelovania. 1-dimenzionálne hydraulické modely sú postavené na modelovaní kvázi lineárnych úsekov medzi priečnymi profilmi. Najvyššie nároky sú tu kladné na presnosť povrchu zachyteného na úsečke alebo krivke priečného profilu. 2-dimenzionálne hydraulické modely používajú nepravidelnú trojuholníkovú/štvoruholníkovú výpočtovú sieť. Podmienkou je adekvátne presný digitálny terénny model. Výpočty prebiehajú pre každý prvok takejto siete, čo výpočet spresňuje, ale zároveň spomaľuje. Kompromisom je použitie tzv. 1,5D modelov, ktoré zväčša prúdenie vody v koryte počítajú 1-dimenzionálnym modelom a pri požiadavke na vyššiu presnosť v určitom území 2-dimenzionálnym. Všetky tri spôsoby navyše vyžadujú k výpočtom údaje o drsnosti povrchu a nemalá námaha je nutná pre kalibráciu modelov.

Cieľom nášho príspevku je predstaviť jednoduchý nástroj postavený na technológii ESRI ArcGIS ModelBuilder. Za cieľ sme si stanovili vytvoriť pohotový nástroj pracujúci priamo v prostredí ArcMap-u, ktorý by pri minimálnych požiadavkách na čas a dáta generoval polygóny záplavy ľubovoľného územia. Uvedomujúc si nedostatky takéhoto riešenia, naším cieľom nie je vyvinúť nástroj nahradzujúci hydraulické modelovanie, ale vypracovať jednoduchý nástroj, ktorý profesionálom pomôže získať základnú predstavu o objektoch nachádzajúcich sa nad či pod hladinou potenciálnej záplavy. Pôvodným zámerom bolo vytvoriť nástroj pracujúci nad rastrom DMR a generujúci záplavové územia v strednej až malej mierke. Nástroj však musel pracovať tak s rastrovou, ako aj TIN-ovou reprezentáciou povrchu.

Vďaka poskytnutiu výstupov z modelovania od DHI SLOVAKIA s.r.o. a Slovenského vodohospodárskeho podniku, š.p. sme sa pokúsili stanoviť limity modelu. Pri tomto porovnaní by sme radi dosiahli zhodu aspoň 70% –75%.

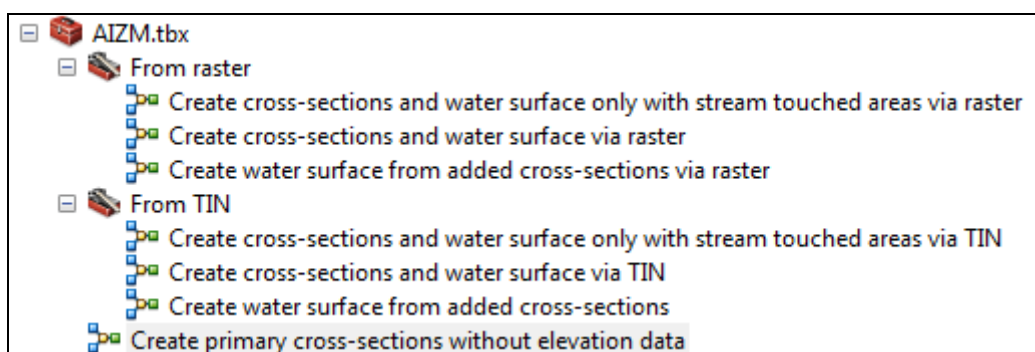
2. TECHNOLOGIA NÁSTROJA

AIZM (Alternatívny indikatívny záplavový model) je balík nástrojov ArcGIS ArcToolbox-u vytvorených v prostredí ArcGIS ModelBuildera. Použitá bola verzia ArcGIS for Desktop Advanced 10.1 s extenziami Spatial Analyst a 3D Analyst. Ako pracovný počítač slúžil notebook Lenovo ThinkPad Edge 11" s procesorom Intel® Core™ i3 U380 @ 1,33GHz s integrovanou grafickou kartou Intel® HD Graphics 3000. Konfigurácia má 4GB RAM, 320GB disk s 5400 otáčkami. Inštalovaný je Windows 7 Professional SP1.

2.1 Zostavenie nástroja v ModelBuilder-i

ArcGIS ModelBuilder je modul, pomocou ktorého sa v ArcGIS-e automatizujú pracovné postupy, čím sa práca urýchľuje a zjednodušuje. Užívateľ pracuje v jednoduchom grafickom prostredí. Podstata vývoja modelov spočíva v postavení vývojového diagramu z dostupných ArcObject-ov. Oproti ModelBuilder-u v ArcGIS-e 9.x boli pridané nové objekty cyklov, napríklad podmienky For či While, aj možnosti automatizovaných výberov Row Selection či Feature Selection a iné, ktoré sme využili. To prináša uľahčenie práce užívateľom a posunulo to modul výrazne dopredu.

Samotný toolbox AIZM pozostáva z dvoch toolsetov (viď obr. 1), jeden pre prácu nad TIN-om (From TIN toolset), druhý nad rastrom (From raster toolset), a nástroja na generovanie priečných profilov (Create primary cross-sections without elevation data). Bol koncipovaný pre minimum vstupov. Pre všetky nástroje obsiahnuté v toolboxe sú potrebné zadať len bod, reprezentujúci štvorcový polygón, v rámci ktorého má prebehnúť výpočet; líniovú vrstvu riečnej siete; digitálny model reliéfu alebo digitálny terénny model a tabuľku s hodnotami hĺbky vody. Niektoré nástroje majú aj pomocné parametre, ktoré opíšeme pri konkrétnych nástrojoch. Vzhľadom na dávkové zadávanie výpočtu pomocou tabuľky hĺbok sme pre výstupy zvolili zadanie cesty koreňového adresára, do ktorého budú ukladané.

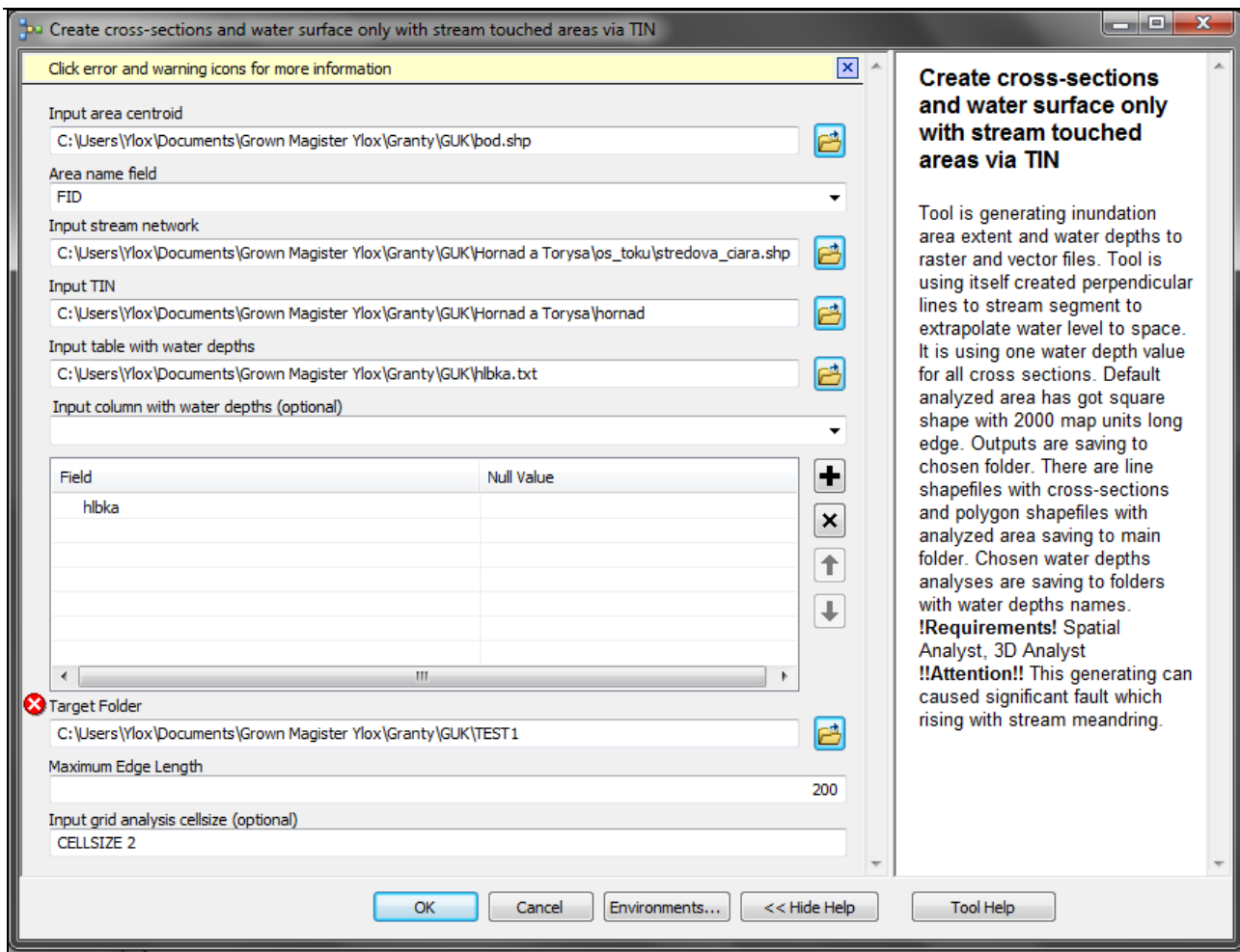


Obr. 1 ArcToolbox Alternatívneho indikatívneho záplavového modelu

Toolbox zatiaľ vo verzii pre ArcGIS10.1 je voľne na stiahnutie na adrese <http://www.fns.uniba.sk/index.php?id=4573>. Pre bližšie informácie nás kontaktujte na vyššie uvedenej e-mailovej adrese. Na toolboxe stále pracujeme. Aktuálny toolbox sa môže mierne líšiť. Momentálne nepociťujeme potrebu nástroj verziovať.

2.2 Nástroj na tvorbu priečných profilov

Tento model je lineárnym algoritmom, ktorý generuje priečne profily na základe hraníc Thiessenových polygónov. Hranice Thiessenových polygónov sú kolmé na segmenty riečnej siete a sú vytvárané medzi vertexami začiatku a konca segmentu. Vybrané sú len tie línie, ktoré sa pretínajú riečnu sieť. Ako vstupy slúžia bod lokality a riečna sieť. Defaultne sú línie riečnej siete zahustené vertexami na maximálnu vzdialenosť 20m, aby sme pokryli čo najpresnejšie aj meandrovité časti. Výstupom je vrstva línií kolmých na vodný tok.



Obr. 2 Zadávacie okno jedného z nástrojov v ArcToolboxe AIZM

2.3 Nástroje na tvorbu polygónov inundačného územia

Princíp delineačie inundačného územia je veľmi jednoduchý. V prvej fáze sa atribútová tabuľka už vytvorených priečných profilov naplní údajmi o nadmorskej výške priesečníka profilu s riečnou sieťou. Potom sa pomocou tabuľky s požadovanými hĺbkami vody vypočítajú hodnoty nadmorskej výšky indikatívnej hladiny vody pre každý profil.

Pri práci nad TIN-om sú priečne profily použité ako breakline-y. Vytvorený TIN potom aproximuje indikatívnu hladinu. Keďže sa priečne profily môžu na jednom z koncov línie veľmi vzdiaľovať, použili sme možnosť limitovať dĺžku strán trojuholníkov TIN-u defaultne na 200 mapových jednotiek. Parameter je uvádzaný ako voliteľný. Pri práci nad rastrom sú priečne profily intrapolované do hladiny tiež rastrom. Veľkosť bunky výpočtu je tiež uvádzaná ako pomocný voliteľný parameter a je prednastavená na 2 mapové jednotky.

Od takto vzniknutých hladín vody je odrátaný povrch krajiny na určenie územia nad a pod vodnou hladinou. Samozrejme, že TIN je najskôr konvertovaný na raster. Nástroj potom samostatne vytvorí výstupy len pre polygóny dotýkajúce riečnej siete a samostatne pre všetky polygóny v rámci analytického štvorca. Výstupy sú umiestňované do vybraného koreňového adresára. Pre každý analytický bod je v ňom vytvorený adresár podľa názvu lokality. Pred názvom lokality je pridané písmeno „r-“ pre výsledky spracované nad rastrom a „t-“ pre výsledky nad TIN-om. V adresári každej lokality pri úspešnom ukončení výpočtového procesu nachádzajú shapefile-y s priečnymi profilmi a polygónom s analyzovanou oblasťou a adresáre hĺbok s jednotlivými výstupmi. Výstupy tvoria klasifikované rastre hĺbok s polmetrovým intervalom a ich polygónové konverzie. Výstupy sú samostatne pre všetky polygóny a samostatne pre polygóny dotýkajúce sa riečnej siete.

3. VERIFIKÁCIA VÝSTUPOV

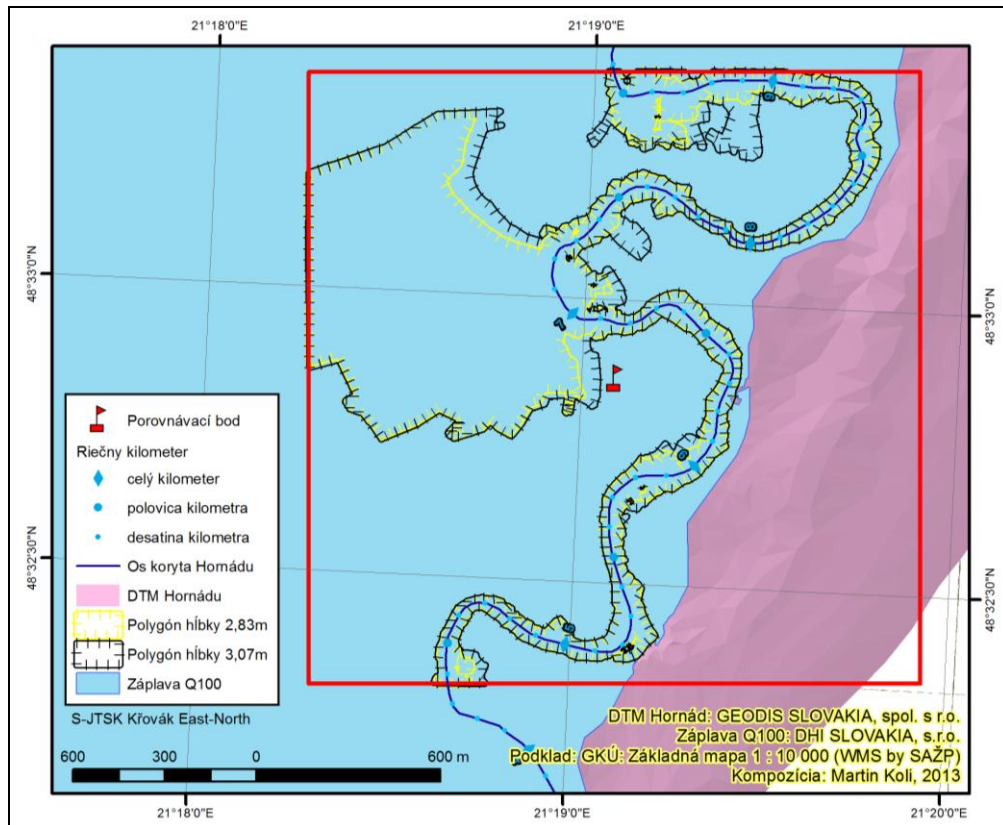
AIZM nie je hydraulickým modelom a preto očakávame isté nedostatky v presnosti v porovnaní s referenčnými hydraulickými modelmi. Pre účely verifikácie presnosti nám boli zapožičané výstupy s hydraulických modelov spracovaných v softvéri MIKE 11 a MIKE 21 FM na úsekoch tokov Kysuca, Hornád, Torysa a Sekčov. Vzhľadom na obmedzené licenčné povolenia publikovania prezentujeme iba Hornád. Vybrali sme rôzne situácie, na základe ktorých sme náš nástroj testovali. Keďže pozdĺžny profil osi prirodzeného koryta v DTM reprezentácii môže mať výrazne inú tendenciu zmeny nadmorských výšok ako bezkorytové DMR, takéto overovanie je tvrdým záťažovým testom. Pri overovaní sme použili dve hladiny, jednu stanovenú ako priemer hĺbok pod vertexami osi toku vzdialenými najviac 10 metrov od seba a druhú, ôsmy decil týchto hodnôt. Všeobecne sa potvrdilo, že s vyššou pravdepodobnosťou výskytu povodne (nižšie Q_n) sa logicky rozsahy čoraz viac zhodujú, až k takmer 100% zhode, pretože voda sa drží viac-menej v koryte toku. V príspevku preto prezentujeme 6 porovnávacích lokalít z Hornádu. Testovaným bol toolset pre TIN.

3.1 Hornád

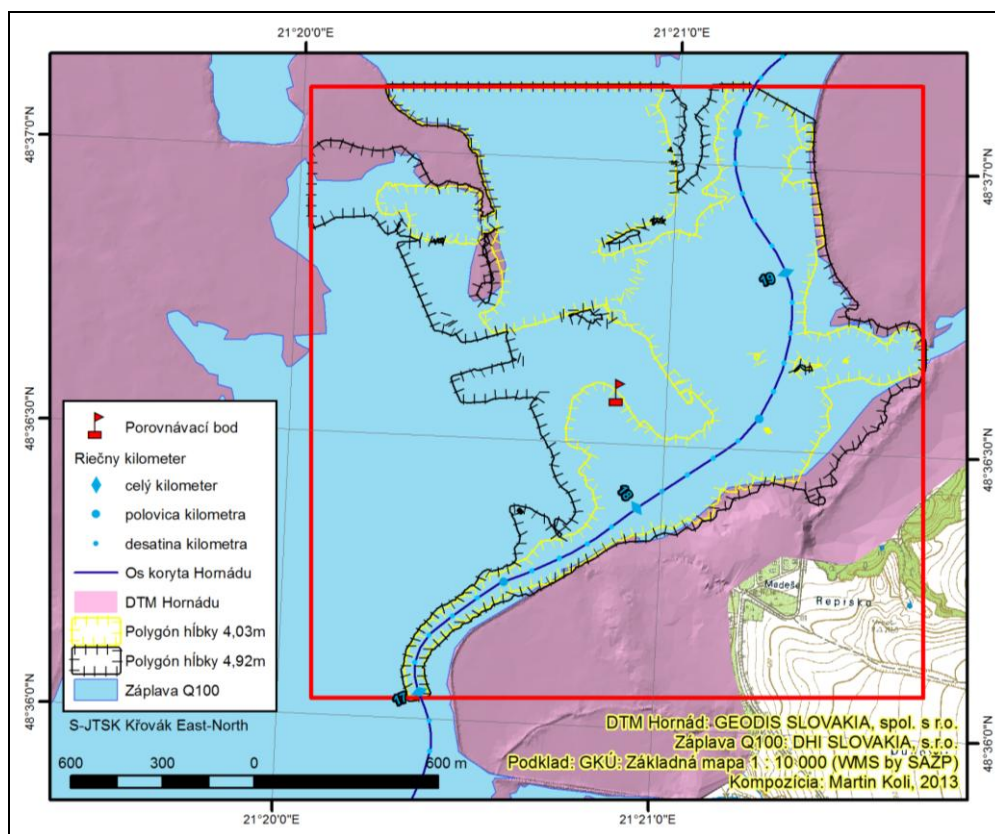
Prvou lokalitou na Hornáde je úsek približne v rkm 4,9 až 9,6 (obr. 3) podľa osi toku použitej pri modelovaní. Ako uvádzame v tabuľke v tomto úseku bola dosiahnutá zhoda rozsahu len 49,1% – 53,4% (Pri všetkých lokalitách bola hodnota zhody priemernej hĺbky nižšia ako pri 8. decile, preto sú prvé podiely zhody uvádzané za priemery. Zároveň sú porovnania uvádzané za polygóny inundácie, ktoré sa dotýkajú osi toku v kartografickom priestore). Dôvodom je komplikovaná hydraulická situácia na nive meandrujúceho toku, s výrazne diferencovaným mikroreliefom v koryta aj inundačného územia. Druhý porovnávací úsek sa nachádza na rkm 17,0 – 19,7 (obr. 4), na sútoku Hornádu s ľavostranným prítokom Olšava (nemodelovaný). Výsledná zhoda tu bola 61,1% – 72,9%, čo už je na hranici nášho kritéria úspešnosti. Na rkm 31,1 – 33,5 na juhu Košíc je lokalita, na ktorej porovnanie sme použili všetky polygóny inundácie. Dosiahli sme zhody 63,4% – 67,4%. Podľa výsledkov z hydraulického modelovania sa paralelne vedľa toku nachádza niekoľko ďalších inundácií, ktoré nie sú spojené s tokom na tomto úseku (obr. 5). Severne nad mestom Košice v rkm 40 – 42,5 nachádzajú polygóny so zhodou 89,9% – 92,1% (obr. 6). Na tomto úseku vytvára Hornád kaňon so strmými svahmi a náš model logicky veľmi pekne kopíruje namodelovanú záplavu. Na rkm 51,3 – 53,9 sa Hornád rozlieva v relatívne úzkom priestore s niekoľkými zónami s neefektívnym odtokom (obr. 7). Náš model tu dosahuje zhodu 82,8% – 83,9%. Posledný porovnávaný úsek na Hornáde sa nachádza v rkm 59,1 – 61,4 po prúde pod vodnou stavbou Ružín (obr. 8). Vytvárajú sa dve výraznejšie vzdutia. Pri prvom, vyššie po toku, sú hranice nášho modelu ešte relatívne zhodné, pri druhom však už výška hladiny je vyššia ako nami použitá. Napriek tomu je zhoda na úseku 81,1% – 87,3%.

4. PRÁCA S NÁSTROJOM

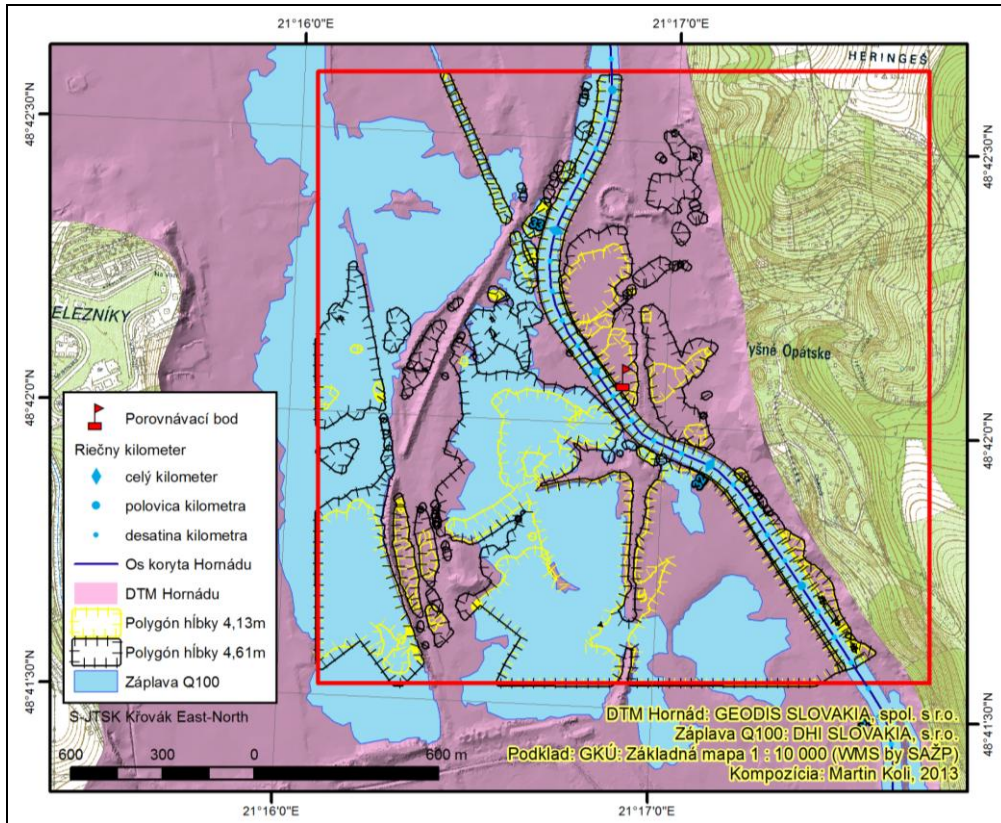
Nástroj AIZM je spustiteľný z ArcToolboxu naprieč celým ArcGIS-om. Dôležité je, aby užívateľov Windows mal nastavenú desatinnú bodku. Za najvhodnejšie použitie považujeme spustenie priamo v ArcMap-e. Najprv si vytvoríme bodovú vrstvu centroidov analyzovaných oblastí. Z vytvorených bodov odporúčame označiť len jeden bod a k nemu prislúchajúci vodný tok, pre ktorý spustíme analýzu. V prípade sútokových oblastí odporúčame každý tok analyzovať samostatne a výsledok porovnať. Za cieľovú skupinu používateľov považujeme hlavne vodohospodárov alebo iných odborníkov s dostatočným vzdelaním a skúsenosťami, aby vedeli správne interpretovať výstupy nástroja AIZM. Nástroj by mohol byť výraznou pomôckou pre povodňových úsekových technikov, ktorí poznajú svoje územie, by mohli interpretovať výstupy k ich najlepšiemu využitiu.



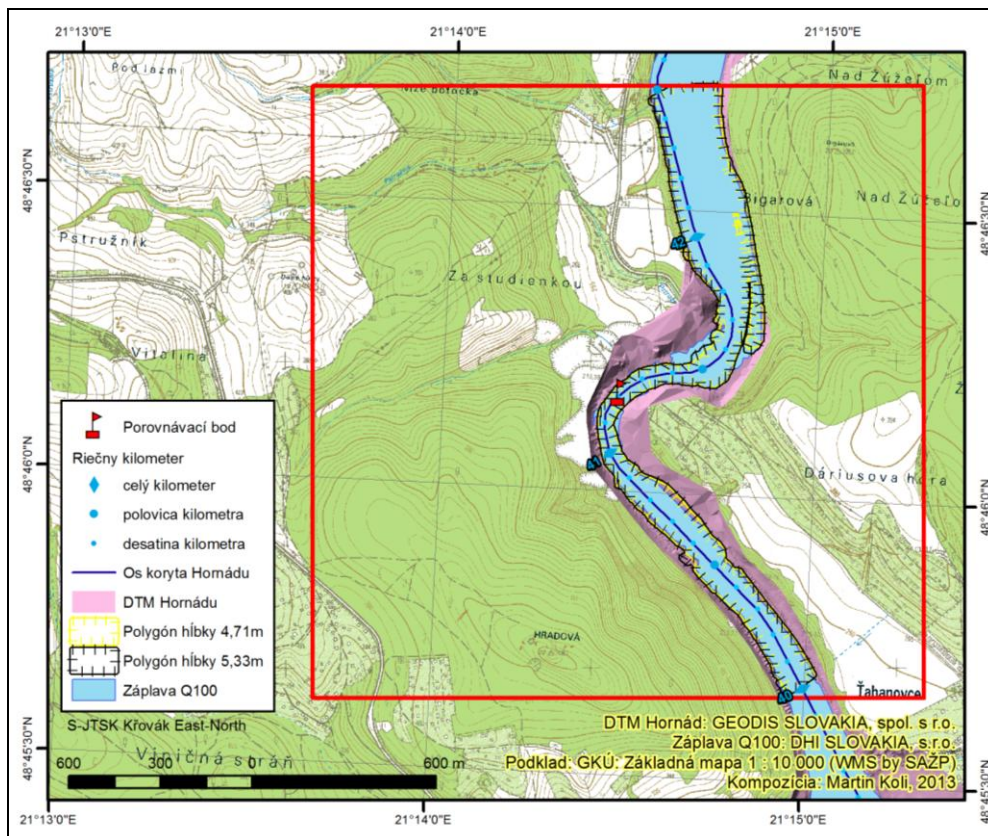
Obr. 3 Úsek Hornádu medzi rkm 4,9 až 9,6 - porovnanie AIZM a hydrodynamického modelu



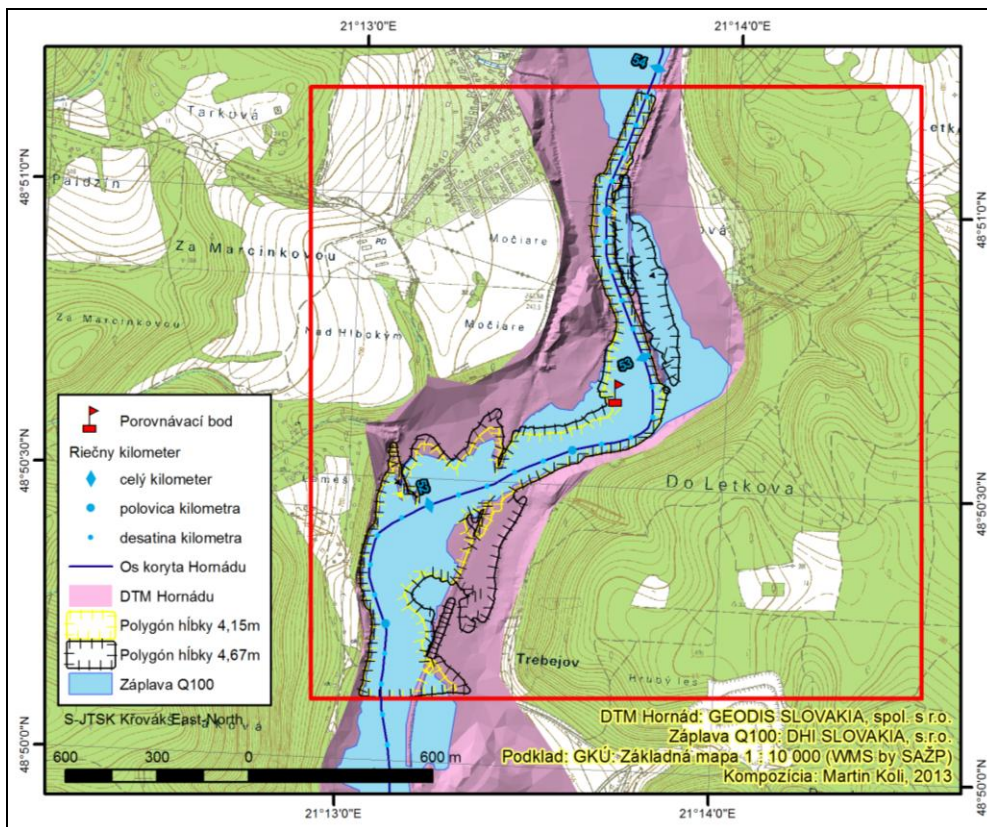
Obr. 4 Úsek Hornádu medzi rkm 17,0 až 19,7 - porovnanie AIZM a hydrodynamického modelu



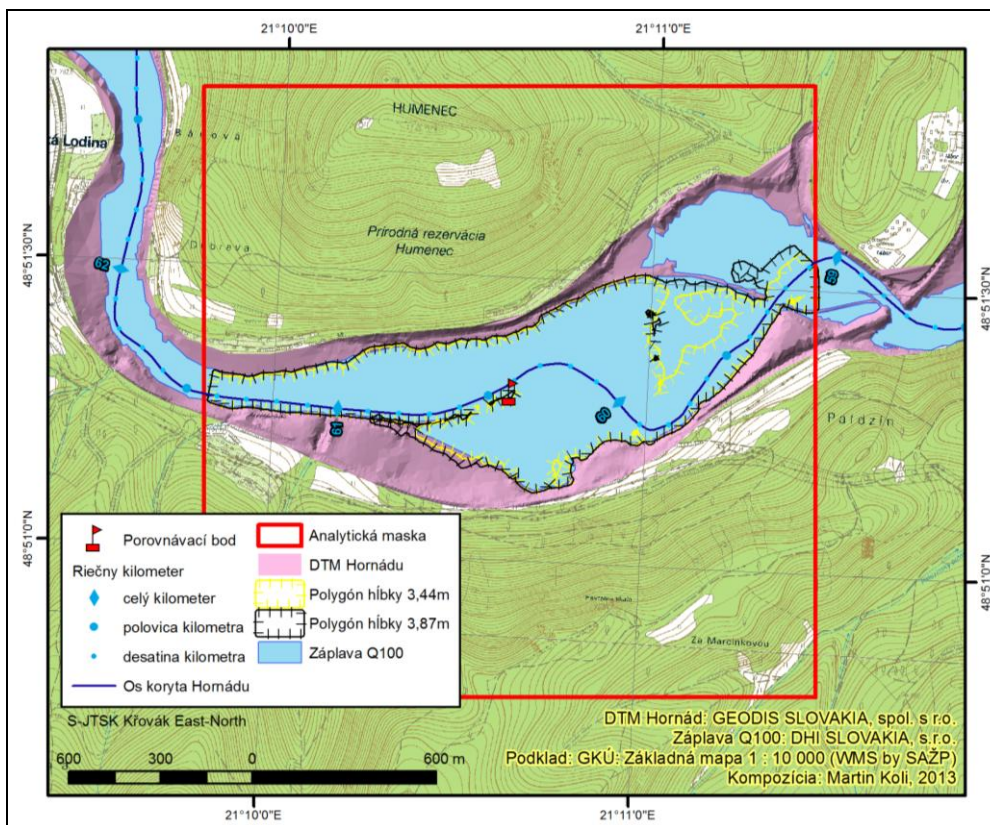
Obr. 5 Úsek Hornádu medzi rkm 31,1 až 33,5 - porovnanie AIZM a hydrodynamického modelu



Obr. 6 Úsek Hornádu medzi rkm 40,0 až 42,5 - porovnanie AIZM a hydrodynamického modelu



Obr. 7 Úsek Hornádu medzi rkm 51,3 až 53,9 - porovnanie AIZM a hydrodynamického modelu



Obr. 8 Úsek Hornádu medzi rkm 59,1 až 61,4 - porovnanie AIZM a hydrodynamického modelu

4.1 Výhody

AIZM šetrí hlavne čas potrebný na spracovanie vstupných dát. Pre zostavenie 1D hydraulického modelu sú potrebné kvalitné DTM so zapracovaným korytom, osi korýt, sady N-ročných prietokov, merné krivky prietokov pre kalibráciu. DTM alebo DMR sú nevyhnutné aj pre AIZM, rovnako ako osi korýt. Informácie o N-ročných prietokoch a merné krivky, sú výhodné aj pri zadávaní hĺbok do nášho modelu. Tieto dáta však spracovateľ hydrodynamického modelu zväčša dostane hotové. Jednou z najnáročnejších úprav vstupných dát je zapracovanie koryta do DTM, aj keď existujú nápomocné nástroje (Merwade 2011). Súčasťou 1D modelov na rozdiel od AIZM sú však aj prvky, ktoré vyžadujú zvýšenú pozornosť a čas, čím je *AIZM menej náročný na množstvo a typy vstupných dát*. Pri 1D modelovaní je nevyhnutné manuálne vytvorenie priečných profilov s rešpektovaním rôznych prekážok ovplyvňujúcich prúdenie vody či stanovenie koeficientov drsnosti tak pre koryto, ako aj pre rôzne typy krajinej pokrývky v inundačnom území. AIZM umožňuje aj *vloženie manuálne vytvorených priečných profilov*. Pre čo najpresnejšie výstupy 1D modelovania je nevyhnutná aj kalibrácia, ktorá v komplikovaných územiach môže byť výrazne zdĺhavá.

Podľa testovaní je na používanej počítačovej konfigurácii *priemerná doba spracovania jedného výpočtu pre jednu hĺbku a oblasť cca. do 30 sekúnd*, čo robí z AIZM *pohotovú nástroj*. Pri dávkovom zadaní hĺbok sa čas skraca, keďže niekedy počítaču trvá až 10 sekúnd, kým načíta do pamäte všetky vstupné dáta. Ako bolo vyššie popísané, *relatívne presne model indikuje oblasti záplavy v dolinných priestoroch*, kde vodný tok príliš laterálne nemigruje. Jednoduchý *algoritmus* postavený v ModelBuilder-i umožňuje *ľahkú modifikáciu*. Jednou z najväčších výhod je *nasadenie nástroja do ArcGIS for Server takmer bez úprav*.

4.2 Nevýhody

Model *nezoohľadňuje hydrauliku* v žiadnom kroku, s čím súvisí aj presnosť výstupov. Pracuje s *rovnakou hĺbkou na celom analyzovanom úseku*. Vygenerované *priečne profily* sa hlavne *pri meandrujúcom toku stretávajú* a nástroj tak generuje relevantné hladiny len pre koryto a jeho blízke okolie. Nástroj *nemá možnosť kalibrácie*.

4.3 Možné vylepšenia do budúcnosti

Logickým postupom po vygenerovaní rozsahov či hĺbok nástrojom AIZM je *určenie objektom postihnutých potenciálnou záplavou*. Aj tých niekoľko krokov by bolo možných implementovať to toolboxu. Vzhľadom na rozmanitosť, presnosť a dostupnosť (napr. Základná mapa 1:10 000 vs. Corine Land Cover vs. ZB GIS) rôznych takýchto podkladov je však vývoj nástroja veľmi náročný a bol by asi špecifický len pre daný typ dát.

Veľkou výzvou však je spracovanie nástroja na *automatické generovanie lomených kriviek podobných profilom pri 1D modelovaní*, ktoré by najmä na meandrujúcich úsekoch tokov *mohli výrazne zlepšiť výsledky* AIZM.

5. DISKUSIA A ZÁVER

Už pri počiatočnom vývoji sme sa stretávali s odmietaním koncepcie najmä pre presnosť. Tá nám je samozrejme jasná, no aj tak vidíme priestor, minimálne na Slovensku, pre jeho dočasné používanie. Hydrológia rozlišuje dva typy určovania inundačného územia, statické a dynamické. Pod statickým – klasickým mapovaním rozumejme vytvorenie série mapových výstupov s vyznačením rozsahmi alebo záplavovými čiarami pre rôzne N-ročné prietoky, resp. aj hladiny (USGS 2012a). Dynamické – real-time – on-line mapovanie je spojené s určením inundačného územia pre konkrétnu prietokovú vlnu v reálnom čase (USGS 2012b) a užívateľ ho má možnosť sledovať napríklad na webovom portáli. Takéto mapovanie je napojené na predpovedné modely. Kombináciou modelov meteorologických a zrážkovo-odtokových sa získavajú prietoky pre reálne zrážkové udalosti. Tieto sú najčastejšie rátané v priečných profiloch 1D hydraulickými modelmi. Informácie sú vynášané do priestoru a vznikajú inundačné mapy aj s niekoľko hodinovým, pri rozsiahlym povodiach až s niekoľko dňovým predstihom. Výrazne sa predlžuje čas na zabránenie ohrozenia ľudských životov či poškodenia majetku. Takéto modely sú veľmi komplexnými a zložitými systémami. Ako príklad môžeme uviesť americký Advanced Hydrologic Prediction Service –

AHPS (Aschwanden 2009) dostupný na odkaze <http://water.weather.gov/ahps/>. Tieto riešenia sú veľmi náročné na prípravu dát, postavenie a kalibráciu modelov, softvér a hardver (NWS ?????). Spoločnosť väčšinou siaha po vytváraní statických modelov. Mapy klasických modelov sa však časom stávajú neaktuálne a je nevyhnutné ich aktualizovať. Krajina podlieha zmenám a projektované N-ročné prietoky sa stávajú neplatnými. Dynamické modely môžu okamžite pracovať so zmenenými vstupnými dátami. Nazdávame sa, že kým pre územnosprávne rozhodnutia vždy budeme používať statické modely, informatizáciou spoločnosti a rastom výpočtového výkonu počítačov pri varovných systémoch budeme logicky nútený používať dynamické modely.

Slovensko vyvíja svoj predpovedný a varovný systém pre povodne s názvom POVAPSYS. Súčasťou systému je sieť vyše 260 automatických vodomerných staníc, vyše 1200 vodočetných lát a asi 250 zameraných priečných profilov (Hazlinger, Lešková ?????). Keďže 250 profilov len ťažko pokryje celé územie. Tu práve vidíme aspoň dočasný priestor pre užívanie predstaveného nástroja, kým nepríde na rozsiahle prepojenie na hydrodynamické modely. Generované hladiny s rešpektom na nepresnosti môžu poskytnúť prehľad o objektoch potenciálne ohrozených záplavou. Pre nástroj je možné dopracovať nadstavby, ktoré aj vďaka nasadeniu na ArcGIS servery môžu vodohospodárom zasielať e-maily s mapou, prípadne zoznamom zatopených objektoch. Vďaka mobilným aplikáciám, napr. ArcGIS for Mobile môže povodňový technik priamo v teréne na smartphone-e generovať mapy na požiadanie s vlastnými hladinami.

Alternatívny indikatívny záplavový model alebo AIZM je balík nástrojov postavených v ArcGIS ModelBuilder-i ako ArcToolbox. AIZM bol vytvorený ako pohotová utilita na pomocné vykreslenie potenciálne zaplaveného územia. Vyžaduje minimálne vstupy, bod pre stred analyzovanej oblasti, línie riečnej siete, vrstvu modelu nadmorských výšok a zadanie hĺbky vody. Nástroj sám vygeneruje sieť priečných profilov na základe, ktorých vykreslí indikatívny polygón záplavy. Ráta nad rastrom aj nad TIN-om. Pri testovaní sme zistili priemernú zhodu určenia inundačného územia s porovnaním s hydraulickými modelmi asi 74%. *AIZM je len pomocným nástrojom, nenahradzuje hydraulické modelovanie, nedosahuje jeho presnosť a nie je ho možné použiť ako legislatívne platný nástroj.* V septembri 2011 Slovenský vodohospodársky podnik, š.p. a YMS, a.s. prezentovali na záverečnej konferencii poľsko-slovenského projektu: „Vytvorenie informačného systému PLUSK pre spoločné slovensko-poľské hraničné vody v zmysle požiadaviek Rámcovej smernice o vode a Protipovodňovej smernice,“ podobný nástroj vykresľujúci vodorovné povrchy aproximujúce vodnú hladinu v rámci modulu PLUSK ich Technického informačného systému (Sipina 2011). Nazdávame sa, že aj náš AIZM je nástrojom vhodným pre nasadenie on-line modelovacieho nástroja. Je rýchly, nenáročný na vstupy a generuje výstupy, ktoré sa zmestia aj do e-mailu.

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste chceme vyjadriť poďakovanie Univerzite Komenského v Bratislave a agentúre VEGA, ktoré poskytli nenávratné finančné prostriedky na spracovanie tohto projektu formou Grantu Univerzity Komenského UK/6/2012 a VEGA 1/1155/12.

LITERATÚRA

Ackerman, T. C. (2012) HEC-GeoRAS – GIS Tools for Support of HEC-RAS Using ArcGIS® 10 – User's Manual. US Army Corps of Engineers – Institute for Water Resources – Hydrologic Engineering Center, Davis – CA – USA, 242s.

Aschwanden, C.; Cepero, K.; Reed, S. (2009) Inundation Mapping Using Steady and Unsteady Hydraulic Models and GIS /prezentácia na konferencii/. ESRI Federal User Conference, Washington, D.C., USA, 18. – 20. Február 2009, ESRI, 25s.

Danish Hydrologic Institute [DHI] (2011) MIKE 11: A modelling system for Rivers and Channels: User Guide. 542 s.

Hazlinger, M.; Lešková, D. (????) POVAPSYS – protipovodňový varovný systém SHMÚ. URL: www.ta3.sk/gfu/download/hazlinger.pdf Citované 2.12.2012

Merwade, V., Cook, A.,; Coonrod, J. (2011) GIS techniques for creating river terrain model for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. Environmental Modelling & Software: Elsevier, Canberra – AUS. 23/10-11, s. 1300-1311

National Weather Service [NWS], Office of Hydrologic Development (????) Real-Time (Dynamic) Inundation Mapping Evaluation (R-Time) Team Report. URL: http://www.nws.noaa.gov/oh/rfcdev/docs/Final_Document_inundation_mapping_011508rev.doc Citované: 2.12.2012

Sipina, S. (2011) Systém na generovanie indikatívnych povodňových máp na požiadanie. Záverečná konferencia projektu PLUSK, Podbanské, SK, 27.sep.2011, 30 s.

United States Geological Survey [USGS] (2012a), U.S. Geological Survey Flood Inundation Mapping Science – Static flood-inundation map libraries, URL: http://water.usgs.gov/osw/flood_inundation/focus-staticmap.html citované 2.12.2012

United States Geological Survey [USGS] (2012b), U.S. Geological Survey Flood Inundation Mapping Science – Real-time dynamic flood inundation mapping, URL: http://water.usgs.gov/osw/flood_inundation/focus-rtmap.html citované 2.12.2012