

# Automatické vymezení povodí na území Česka v ArcGIS Pro

VÍT ŠTOVÍČEK

**Klíčová slova:** automatická delineace – povodí – rozvodnice – GIS – ArcHydro

## SOUHRN

Manuální vymezení povodí dle rozvodnic je tradičně prováděno analýzou topografické mapy a vrstevnic. S využitím digitálních modelů reliéfu probíhá delineace povodí a říční sítě automaticky, čímž se snižuje časová náročnost spjatá s manuálním vymezením. V tomto článku je představen samotný proces automatické delineace a nabízené modely v rámci balíčku nástrojů Arc Hydro Tools Pro, vytvořeného společností ESRI pro software ArcGIS Pro. Automatická delineace pomocí různých metod byla implementována na vybraná povodí v Česku lišící se rozlohou a nadmořskou výškou. Jako podklad sloužily digitální modely reliéfu s různým rozlišením, od velikosti buňky 2 × 2 m po 50 × 50 m. Takto vytvořená povodí byla následně porovnána s aktuální vrstvou rozvodnic 4. řádu, platnou k roku 2019. Výsledky automatické delineace u všech povodí, s výjimkou povodí v nížinách, ukazují na vysokou míru přesnosti. Automatickou delineaci lze uplatnit nejenom jako vstup do hydrologických modelů, ale i k navazujícím analýzám povodí, např. pomocí dalších nástrojů v ArcGIS Pro.

## ÚVOD

Vymezení povodí je základem pro hydrologické modelování a analýzy. Tradičně je prováděno analýzou topografické mapy a vrstevnic, což je často zdoluhavý a náročný proces. S využitím digitálního modelu reliéfu (dále jen DMR), jenž reprezentuje reliéf zemského povrchu, lze provést celý proces automaticky, čímž se výrazně snižuje jeho časová náročnost. Techniky pro automatické vymezení povodí jsou dostupné již od poloviny 80. let a byly použity v několika geoinformačních systémech (GIS) a dalších aplikacích. Vývoj těchto technik, stejně jako vznik nových DMR s vyšším rozlišením, tvoří základ pro přesnou a rychlou analýzu. Dalším důležitým faktorem je vývoj počítačové techniky, který umožňuje výkonnější a komplexní operace, jež mají být provedeny lokálně a dostatečně rychle. S tím se postupně zvětšuje poptávka po automatizovaných systémech, u nichž jsou kladeny nároky na přesné a rychle dostupné výsledky [1–3].

ArcHydro je datový model – sada nástrojů a postupů, které byly vyvinuty v průběhu let a jež podporují specifické GIS implementace v oblasti vodních zdrojů. Od roku 2002 se rozšířil o více než 300 nových nástrojů z původních 30 a je hojně využíván v mnoha různých projektech celou škálou uživatelů od státních institucí přes soukromé firmy nebo školy až po běžného uživatele se zájmem o vodní zdroje [4].

Tento článek slouží jako představení procesu automatické delineace, kterou lze provést pomocí nástrojů v balíčku Arc Hydro Tools Pro, vytvořeného společností ESRI pro software ArcGIS Pro. Samotná automatická delineace byla poté

pomocí různých metod implementována na vybraná povodí v Česku lišící se rozlohou a nadmořskou výškou, aby se ověřila její přesnost a nedostatky v různém typu reliéfu.

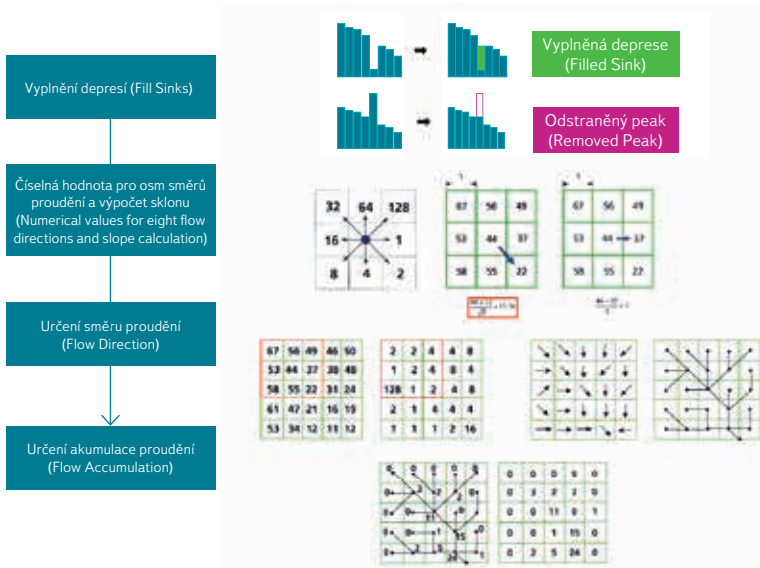
## METODIKA

Základem ArcHydro je sada nástrojů (dále jen toolset) Hydrology, jenž je uložen v balíčku nástrojů (dále jen toolbox) Spatial analyst. Rozšíření o nové nástroje a vylepšení těch stávajících přinesl nový toolbox Arc Hydro Tools. Pro přechod na ArcGIS Pro vznikl dosud nejnovější toolbox Arc Hydro Tools Pro, který byl využit pro účely tohoto článku.

Základní proces delineace a vytvoření říční sítě pomocí toolsetu Terrain Preprocessing je částečně ilustrován na *obr. 1* a může být shrnut v několika bodech [6]:

1. Zarovnání DMR (funkce Level DEM) – přiřadí buňkám vstupního DMR stejnou hodnotu jako hodnoty v polygonech vložené vrstvy vodních útvarů.
2. Úprava DMR (DEM Reconditioning) – přetvoří reliéf „vypálením“ liniové vrstvy vodních toků pomocí metody AGREE [7], kdy je okolí vodního toku sníženo o zadané hodnoty. Tím se vytvoří zřetelnější příčný profil, který nemusí být zcela jasný u vstupního DMR z důvodu nedostatku dat o nadmořské výšce v okolí vodních toků.
3. Vyplnění depresí (Fill Sinks) – upravuje nerovnosti terénu zvýšením či snížením hodnoty buňky v závislosti na okolních buňkách tak, aby vygenerovaná říční síť byla kontinuální.
4. Určení směru proudění (Flow Direction) – pro každou buňku určí směr proudění podle největšího rozdílu hodnot (největší sklon) mezi sousedními buňkami a vytvoří rastr (metoda D8). Dále lze vybrat metody D-Infinity nebo Multiple Flow Direction.
5. Určení akumulace proudění (Flow Accumulation) – na základě rastru Flow Direction sečte počet buněk, z nichž přitéká voda do dané buňky, a tuto výslednou hodnotu jí přiřadí. Následně ze všech hodnot vytvoří rastr.

6. Vygenerování říční sítě (Stream Definition) – na základě Flow Accumulation a uživatelem zvolené prahové hodnoty (počet buněk, respektive minimální velikost povodí) vygeneruje říční síť. Všem buňkám nad prahovou hodnotou je následně přiřazena hodnota 1, pod hodnotou prázdná hodnota „Null“. Menší prahová hodnota vede k vytvoření hustší říční sítě a většímu počtu dílčích povodí.
7. Segmentace říční sítě (Stream Segmentation) – rozdělí vodní toky do jednotlivých úseků (k soutoku dvou vodních toků nebo mezi jednotlivými soutoky) a přiřadí jim jedinečný identifikátor. Všechny buňky v daném úseku tak lze jednoznačně rozeznat od jiných určitým kódem „Grid Code“.
8. Delineace povodí (Catchment Grid Delineation) – každé buňce přiřadí hodnotu shodující se s povodím, k němuž náleží. Tato hodnota je shodná s hodnotou jednotlivých úseků toku. Výsledný rastr se poté převede na polygonovou vrstvu pomocí funkce Catchment Polygon Processing.
9. Převod rastru říční sítě (Drainage line Processing) – převede vygenerovaný rastr říční sítě z kroku 6 do liniové vrstvy.

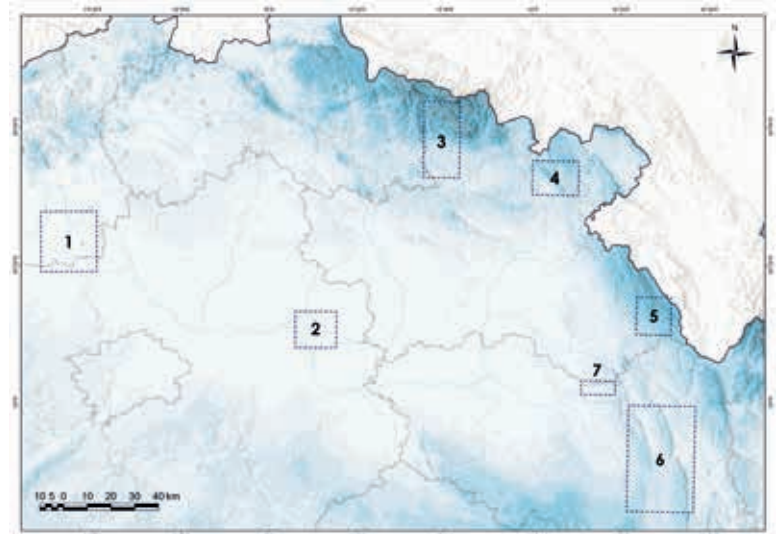


Obr. 1. Proces automatické delineaace povodí [5]  
Fig. 1. Automatic watershed delineation process [5]

Body 1 a 2 vyžadují vstupní polygonovou (vodní plochy), respektive liniovou (vodní toky) vrstvu, díky kterým se v následujících krocích popsané funkce mohou lišit, celý proces však funguje i bez nich.

K urychlení celého procesu lze využít toolset Terrain Preprocessing Workflows [8], který obsahuje několik modelů, z nichž si uživatel vybírá na základě dostupných vstupních dat a typu říční sítě v daném reliéfu. Vstupní data se dělí do čtyř kategorií:

1. Uživatel má k dispozici pouze DMR bez vrstvy vodních toků a bez vymezených depresí,
2. DMR pouze s vymezenými depresiemi,
3. DMR s vrstvou vodních toků i s vymezenými depresiemi,
4. DMR pouze s vymezenými vodními toky.



Obr. 2. Mapa vybraných povodí: 1 – Čepel, 2 – Blatnice, 3 – Malé Labe, 4 – Jívka, 5 – Říčka, 6 – Třebovka, 7 – Sokořský potok (Zdroj: DIBAVOD, ArcČR 500 a DMR 5G)

Fig. 2. Map of selected watersheds: 1 – Čepel, 2 – Blatnice, 3 – Malé Labe, 4 – Jívka, 5 – Říčka, 6 – Třebovka, 7 – Sokořský potok (Source: DIBAVOD, ArcČR 500 and DMR 5G)

Typ říční sítě se poté dělí na tři kategorie: stromovitá (dendritická), asymetrická nebo kombinace obou.

K vytvoření rozvodnic pomocí automatické delineaace bylo vybráno šest povodí lišících se svou rozlohou a nadmořskou výškou a pro porovnání automatické delineaace nad DMR s různým rozlišením a skutečné vrstvy rozvodnic povodí Sokořského potoka (obr. 2). Konkrétně šlo o dvojici povodí, rozlohou vždy menší a větší, nacházející se v nížinách (Blatnice, Čepel), pahorkatinách (Jívka, Třebovka) a horách (Říčka, Malé Labe). Nejprve byly vytvořeny okolo všech povodí polygony (určitý rozsah, okno, z angl. „extent“, shodující se s obr. 2), v nichž byla provedena samotná delineaace. Pro ni byl pro všechna povodí použit jako podklad pouze DMR 5G. Jako první model byl zvolen typ pro stromovitou říční síť s DMR bez vrstvy vodních toků či vymezených depresí a následně druhý model s vrstvou vodních toků, jež byla vypálena do modelu reliéfu. Vrstva vodních toků byla použita z digitální báze DIBAVOD [9]. Pro znázornění odchylky mezi skutečnými a vygenerovanými rozvodnicemi byly vygenerovány polygony mezi těmito dvěma vrstvami. Podle velikosti jejich ploch se nakonec hodnotila přesnost celé delineaace. Aktuální vrstva rozvodnic je ke stažení na stránkách: <http://voda.chmi.cz/opv/stahnout.html>.

Pro porovnání automatické delineaace nad DMR s různým rozlišením a skutečné vrstvy rozvodnic v povodí Sokořského potoka bylo dohromady využito čtyř modelů reliéfu – DMR 5G, DMR 4G, DMÚ 25, dostupných ze stránek ČÚZK (<https://geoportal.cuzk.cz>) a ArcČR 500 dostupného ze stránek Arcdata Praha (<https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-4-0>) s velikostí pixelu 2, 10, 25 a 50 m. Jako model byl opět zvolen typ pro stromovitou říční síť s DMR bez vrstvy vodních toků či vymezených depresí.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

Prvním hodnoceným aspektem byl vliv rozlišení DMR na automatickou delineaaci povodí. Jako testovací území bylo vybráno povodí Sokořského potoka s rozlohou 17,1 km<sup>2</sup>, průměrným sklonem 3,72 % a průměrnou nadmořskou výškou 361 m n. m. Z výsledných hodnot v tab. 1 je zřejmé, že se snižujícím se rozlišením DMR klesá i přesnost samotné delineaace. Zatímco při využití DMR 4G je odchylka od skutečné rozvodnice větší než 4 %, u rozlišení 25 × 25 m je více než dvojnásobná a u nejnižšího rozlišení 50 × 50 m dosahuje již 12,8 %.

Tab. 1. Výsledky automatické delineaace v povodí Skořenického potoka

Tab. 1. Results of the automatic delineation in the Skořenický potok watershed

Rozlišení DMR [m]	Rozdíl ploch [km <sup>2</sup> ]	Odchylka [%]*
DEM resolution [m]	Area difference [km <sup>2</sup> ]	Deviation [%]*
2 × 2	0,87	5,11
10 × 10	0,95	5,55
25 × 25	1,82	10,66
50 × 50	2,19	12,79

\*Poměr rozdílů ploch ku celkové ploše povodí

\*Ratio of area difference to total watershed area

Potvrzuje se tak, že přesná delineaace povodí závisí z velké části na kvalitě výchozího DMR, přesněji pak na jeho rozlišení [10–12]. Detailnější pohled na rozdíl mezi vygenerovanými rozvodnicemi nabízí obr. 3. Z něho je patrné, že při užití DMR s nižším rozlišením vznikají jakési „zuby“ dané velikostí pixelu, což zabraňuje detailní a přesné delineaaci.

Celková odchylka je však u tak malého povodí u všech typů DMR poměrně výrazná. V tomto případě je to zapříčiněno malou oblastí v západní části povodí s nízkým sklonem a komplikovanou říční sítí. Při automatické delineaaci nedošlo k vygenerování části vodního toku, a rozvodnice tak byla vedena jiným směrem. Především takovéto chybě se dá pomoci vypálením skutečných vodních toků do samotného reliéfu. Pokud bychom pro ilustraci použili terén s vypálenými toky u povodí Skořenického potoka, dostali bychom celkovou odchylku u DMR 5G mírně větší než 4 %.

Výsledky delineaace pro šest vybraných povodí znázorňuje tab. 2. Nejmenšího rozdílů bylo dosaženo u rozlohou největšího povodí Třebovky, kde odchylka (bez vypálených toků) činila pouhých 0,89 %. Nepatrně více měla obě horská povodí Říčka a Malé Labe, s odchylkami 1,34 a 1,85 %, další pahorkatinné

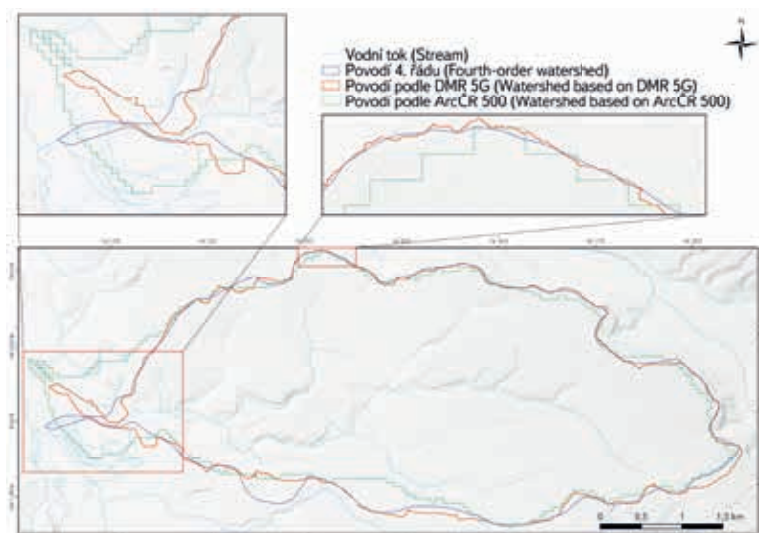
Tab. 2. Výsledky automatické delineaace v jednotlivých povodích

Tab. 2. Results of automatic delineation in the individual watersheds

Název povodí Name of watershed	Průměrná nadmořská výška [m n. m.] Average altitude [m a. s. l.]	Průměrný sklon [%] Average slope [%]	Rozloha [km <sup>2</sup> ] Area [km <sup>2</sup> ]	Rozdíl ploch [km <sup>2</sup> ] Area difference [km <sup>2</sup> ]		Odchylka [%]* Deviation [%]*	
				Model bez vypálených vodních toků Model without burnt streams	Model s vypálenými vodními toky Model with burnt streams	Model bez vypálených vodních toků Model without burnt streams	Model s vypálenými vodními toky Model with burnt streams
Říčka	740,35	10,76	33,52	0,45	0,45	1,34	1,34
Malé Labe	689,51	12,17	73,36	1,36	1,21	1,85	1,65
Blatnice	193,32	1,47	33,55	2,53	1,32	7,55	3,95
Čepel	226,88	2,72	98,97	9,04	10,83	9,13	10,94
Jívka	555,5	11,82	27,96	0,66	0,62	2,35	2,20
Třebovka	476,18	6,14	195,85	1,74	1,73	0,89	0,88

\*Poměr rozdílů ploch ku celkové ploše povodí

\*Ratio of area difference to total watershed area

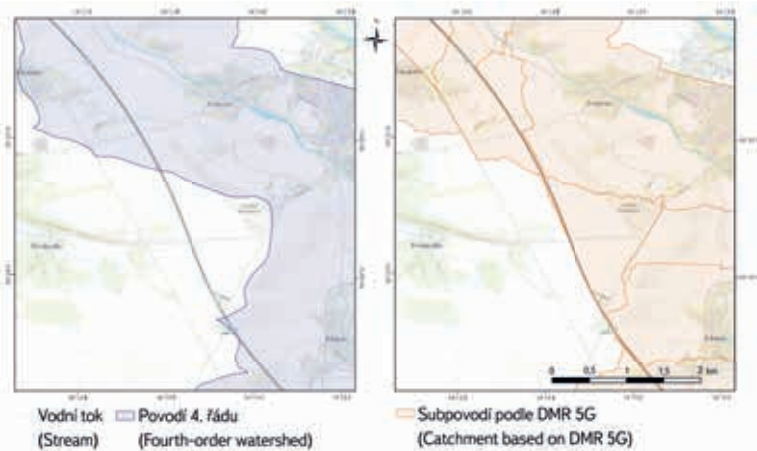


Obr. 3. Vygenerovaná povodí Skořenického potoka při využití různých digitálních modelů reliéfu

Fig. 3. Delineated watersheds of Skořenický potok using different digital elevation models

povodí Jívka mělo stále malou odchylku 2,35 %. Nejméně přesně byla vygenerována nížinná povodí. U povodí Blatnice dosahovala odchylka 7,55 % a u většího povodí Čepel vysokých 9,13 %.

Terén s vypálenou vrstvou vodních toků snížil odchylku u všech povodí kromě Čepel, kde naopak došlo k nárůstu o téměř 2 %. Vysoké odchylky u povodí Čepel, stejně jako u jiných nížinných povodí, mohou být zapříčiněny tím, že danou oblastí prochází liniový prvek (především dálnice a železniční tratě), který výrazně zasahuje do jinak rovinného terénu. Pokud je pak nadmořská výška daného prvku výrazněji pod nebo nad úrovní okolního terénu, může ji model vyhodnotit jako rozvodnici, případně jako samotný vodní tok, který tím zásadně mění průběh povodí, jako je tomu u povodí Čepel (obr. 4).



Obr. 4. Vliv dálnice na automatickou delineaaci povodí a subpovodí Čepel (Podkladová mapa: Esri World Topographic Map)

Fig. 4. Impact of a motorway on the automatic delineation of the Čepel watershed and catchments (Source map: Esri World Topographic Map)

Literatura [13] mimo jiné uvádí, že prvky jako umělé vodní toky, nízké hráze či velká jezera mohou tvořit významné deprese v terénu, jež mají vliv na přesnost výsledků, a to především v nížinných oblastech, říčních nivách. To má za následek vygenerování nereálné říční sítě, což je navíc limitováno rozlišením použitého DMR. K odstranění depresí se využívá funkce Fill Sinks, ovšem je otázkou, do jaké míry daný reliéf vyhladit. Na jednu stranu je určité vyhlazení potřeba, neboť se tím odstraní nepřesnosti vstupního DMR a lze tak dosáhnout realističtějšího povrchu se zachováním topografických charakteristik, na stranu druhou příliš velké vyhlazení může změnit či odstranit skutečné (přírodní) deprese, důležité pro přesný popis reliéfu. Správné vyhlazení DMR tak v tomto případě vede přes dobře zvolenou prahovou hodnotu pro snížení či zvýšení depresí. Ovšem jediná zvolená hodnota nemůže ve výsledku odpovídat celému zkoumanému území, a proto je potřeba brát v úvahu záměr a rozsah celé studie [14, 15].

Ačkoli u ostatních povodí došlo vypálením vodních toků do terénu ke snížení odchylky, jednalo se ve všech případech pouze o nepatrnou změnu v řádech desetin, či dokonce setin procent, s výjimkou povodí Blatnice, kde došlo ke zpřesnění o 3,6 %. Výsledky tak mohou napovídat, že vypálení vodních toků do terénu postrádá u některých povodí smysl, ovšem při detailnějším zkoumání výsledných rozvodnic vychází najevo, že zpřesnění se projevuje především v jednotlivých subpovodích (angl. catchments), nikoli v celém vybraném povodí (angl. watershed). Vypálení vodních toků v tomto případě nemá vliv na výslednou přesnost, nicméně mohlo by ovlivnit následné analýzy povodí, respektive subpovodí. Použití vrstev vodních toků tak může výrazně zvýšit přesnost při vymežování povodí, především v rovinných nížinných oblastech [16, 17].

Mezi další zpřesňující faktory lze zařadit využití vrstvy vodních ploch, čímž se zajistí propojení říční sítě s jezery, pobřežními lagunami nebo estuáry [18]. Pro tyto účely lze například použít volně dostupnou vrstvu SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Water Body Dataset od USGS s rozlišením 30 × 30 m (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Metody pro automatickou delineaaci v bezdotokových oblastech při použití SRTM DEM (Digital Elevation Model) představuje např. Liu [10].

V neposlední řadě může hrát roli nastavení prahové hodnoty pro vygenerování říční sítě. V modelech využitých pro tuto studii je tato hodnota defaultní (automaticky vyhodnocena modelem na základě DMR). Zvolením nižší hodnoty, čímž se zahustí říční síť, však může dojít ke zpřesnění delineaace [19].

Ačkoli je v celém článku porovnávána „přesnost“ vymezení povodí, nelze brát vrstvu skutečných rozvodnic jako podklad prostý jakýchkoli chyb. Jde o vrstvu, která je pravidelně aktualizována, avšak obsahuje velké množství ploch, kde vedení rozvodnic není zcela jednoznačné. Automatická delineaace

naopak přesně respektuje daný reliéf a pro každý pixel jasně určí směr proudění. Na druhou stranu nedokáže správně vyhodnotit určitá specifika, jako jsou vodní toky vedené pod povrchem či uměle vybudované kanály, jež se berou v potaz při manuální tvorbě rozvodnic. Výsledky je tak potřeba brát s určitou rezervou a nahlížet na ně jako na možnosti využití nástrojů ArcHydro Pro v nejnovějším zobrazení reliéfu Česka. Do budoucna by bylo vhodné udělat analýzu většího počtu povodí s různou rozlohou, na jinak členitém reliéfu a zjistit, jaké prahové hodnoty (pro vyplnění/úpravu depresí či hustotu říční sítě) by ve výsledku nejlépe popsaly daný terén a daly tak základ pro co neefektivnější automatickou delineaaci. Zároveň je potřeba věnovat větší pozornost povodím v nížinách, v oblastech s rovným terénem, kde podle provedených studií dochází k největším odchylkám od skutečných rozvodnic. K vyhodnocení přesnosti delineaace by následně bylo vhodné použít více hodnotících kritérií založených na tvarových či délkových charakteristikách rozvodnic. Pro ilustraci lze uvést délky rozvodnic v povodí Skořenického potoka (obr. 3). Délka skutečné rozvodnice zde činí 21,2 km, vygenerované podle DMR s rozlišením 25 × 25 m necelých 27 km a s rozlišením 2 × 2 m téměř 31 km, což na první pohled neodpovídá mapě ani výsledným odchylkám. Díky vysokému rozlišení u DMR 5G totiž na vygenerované rozvodnici vzniká mnoho malých „zubů“, které zvyšují její celkovou délku. Pokud bychom chtěli hodnotit dle tohoto kritéria, museli bychom nejdříve zvolit co nejhodnější míru generalizace rozvodnice. Kdybychom např. tuto rozvodnici vyhladili dle funkce Smooth Line s tolerancí 100 m, byla by její výsledná délka 22,1 km, tedy jen o necelý kilometr více než délka skutečné rozvodnice.

## VYUŽITÍ

Automatickou delineaaci povodí lze uplatnit především jako vstup do hydrologických modelů, např. SWAT, HBV, HEC-GeoHMS či ILWIS. Vytvořené studie se zaměřují spíše na porovnání různých metod a postupů při delineaaci než na rozdíly v přesnosti mezi modely, tudíž nelze jednoznačně říci, který model je vhodnější. Obecně se však jejich závěry shodují s výstupy této studie, a to zejména v tom, že největší rozdíly při delineaaci se tvoří v oblastech nížin s rovným terénem (případně příbřežních oblastech) a přesnost delineaace vysoce záleží na rozlišení vstupního DMR [20, 16, 17]. Využití ve větším měřítku lze nalézt například v Panevropské databázi řek a povodí [18], která obsahuje data o říční síti, jezerech a hranicích povodí v celé Evropě. Ta jsou vytvořena na základě DMR s rozlišením 100 m, čímž vznikají podmínky pro modelování ve středním a malém měřítku. Jako další vstupní data pro delineaaci povodí a vygenerování říční sítě sloužila výšková data SRTM, odvozená vrstva pobřežní linie a vybrané přírodní deprese. V nezbytných případech, ve velmi rovném terénu, kdy nebylo možné jednoznačně určit průběh vodního toku podle DMR, byla využita referenční síť vodních toků. Síť vodních toků a na ni navazující povodí byla generována dle klasické metody D8 pro určení směru proudění a algoritmu dle Soilla a Gratina [21] pro určení akumulace proudění. Pro řešení problémů proudění toků v rovinatém terénu byly použity tři nové algoritmy [22] a část terénu ve směru proudění u umělých depresí byla vyříznuta, namísto aby byla samotná deprese vyplněna, čímž se zamezilo dalšímu rozšíření rovinatého terénu. Na podobné nebo další metody a algoritmy pro optimální odstranění depresí se zaměřují studie [23, 24], jež by zároveň mohly být návodem, jak zpřesnit delineaaci, a daly by se aplikovat na území vybraná v této studii.

V ČHMÚ momentálně probíhá aktualizace rozvodnic nad DMR 5G. Editace probíhá manuálně v aplikaci ArcGIS Pro s vrstvou vodních toků ZABAGED a s využitím automaticky generovaných vrstevnic a vrstevnic odvozených a poskytnutých z ČÚZK [25]. Zároveň mohou editoři využít toolbox HydroDEM, podle něhož se vygenerují rozvodnice automaticky. Automatická delineaace se tak v tomto případě využívá především jako pomocný nástroj, a to zejména v rovinných oblastech nížin, kde není vedení rozvodnic tak jasné jako u povodí s větším sklonem.



## ZÁVĚR

V tomto článku byla představena možnost automatické delineaace povodí a říční sítě pomocí nástrojů v balíčku Arc Hydro Tool Pro v prostředí ArcGIS Pro. Byl popsán samotný proces automatické delineaace a v rámci zhodnocení její funkčnosti a přesnosti byla aplikována na vybraná povodí v České republice. Nejpresněji byla vygenerována povodí v horských a pahorkatinných oblastech (odchylna velikosti povodí od skutečných rozvodnic do max. 2,4 %), nejméně pak v oblasti nížin. Výsledky korespondují s dosavadními výsledky dalších studií, u nichž k největším odchylkám dochází také v nížinných oblastech s rovným terénem. Dále byla potvrzena i snižující se přesnost delineaace s nižším rozlišením vstupního DMR. Byly diskutovány možné způsoby úprav DMR a změny v postupu vygenerování rozvodnic za účelem zpřesnění delineaace. V rámci dalšího výzkumu bylo navrženo aplikovat automatickou delineaaci na větší počet povodí se zaměřením na nížinné oblasti. Výslednou přesnost by mohla ovlivnit zejména úprava DMR – jak vstupní vrstvou vodních ploch, tak i různými možnostmi úpravy depresí. Automatickou delineaaci pomocí nástrojů v balíčku Arc Hydro Tool Pro společně s DMR o dostatečně vysokém rozlišení pro daný účel studie tak lze doporučit jako výkonný a dostatečně přesný nástroj.

## Literatura

- [1] DJOKIC, D., YE, Z. DEM Preprocessing for Efficient Watershed Delineation [on-line]. In: *Proceedings of the 19th Esri Users Conference, San Diego, CA, 1999*. Dostupné z: <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap676/p676.htm>
- [2] GARBRECHT, J., MARTZ L. W. Digital Elevation Model Issues in Water Resources Modeling [on-line]. In: *Proceedings of the 19th Esri Users Conference, San Diego, CA, 1999*. Dostupné z: <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap866/p866.htm>
- [3] MERWADE, V. *Terrain Processing Using ArcHydro/GeoHMS* [on-line]. School of Civil Engineering, Purdue University, 2019. Dostupné z: [https://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/terrain\\_processing.pdf](https://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/terrain_processing.pdf)
- [4] DJOKIC, D. Arc Hydro in ArcGIS Pro: The Next Generation of Tools for Water Resources, In: *Esri Federal GIS Conference Proceedings*, Washington D. C. 2020. Dostupné z: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/events/conferences/2020/federal-gis/archydro-in-arcgis-pro-the-next-generation-of-tools-for-water-resources.pdf>
- [5] MAIDMENT, D. R. *Arc Hydro: GIS for Water Resources*. Redlands, Calif.: ASRI Press, 2002. ISBN 1589480341.
- [6] *ESRI. Arc Hydro Tools v2.0 – Tutorial* [on-line]. 2011, s. 184. Dostupné z: <http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Tutorial>
- [7] FERDI, H. *AGREE – DEM Surface Reconditioning System* [on-line]. 1997. Dostupné z: <https://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/GISHYDRO/ferdi/research/agree/agree.html>
- [8] *ESRI. Arc Hydro: Overview of Terrain Preprocessing Workflows* [on-line]. 2019, s. 18. Dostupné z: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/en-us/media/whitepaper/archydro-overviewofterrainprocesssingworkflows.pdf>
- [9] *DIBAVOD – Digitální báze vodohospodářských dat* [on-line]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>
- [10] LIU, K., SONG, CH., KE, L., JIANG, L., MA, R. Automatic Watershed Delineation in the Tibetan Endorheic Basin. A Lake-Oriented Approach Based on Digital Elevation Models. *Geomorphology* [on-line]. 2020, č. 358. ISSN 0169555X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.geomorph.2020.107127
- [11] WILSON, J. P. Digital Terrain Modeling. *Geomorphology* [on-line]. 2012, 137(1), s. 107–121. ISSN 0169555X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.geomorph.2011.03.012
- [12] ALCARAZ, S. A., SANNIER, CH. C. T., VITORINO, A., DANIEL, O. Comparison of Methodologies for Automatic Generation of Limits and Drainage Networks for Hydrographic Basins. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [on-line]. 2009, 13(4), s. 369–375. ISSN 1415-4366. Dostupné z: doi: 10.1590/S1415-43662009000400001
- [13] LI, L., YANG, J., WU, J. A Method of Watershed Delineation for Flat Terrain Using Sentinel-2A Imagery and DEM: A Case Study of the Taihu Basin. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [on-line]. 2019, 8(12). ISSN 2220-9964. Dostupné z: doi: 10.3390/ijgi8120528
- [14] LI, S., MACMILLAN, R. A., LOBB, D. A., MCCONKEY, B. G., MOULIN, A., FRASER, W. R. Lidar DEM Error Analyses and Topographic Depression Identification in a Hummocky Landscape in the Prairie Region of Canada. *Geomorphology* [on-line]. 2011, 129(3–4), s. 263–275. ISSN 0169555X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.geomorph.2011.02.020
- [15] GRIMALDI, S., NARDI, F., Di BENEDETTO, F., ISTANBULLUOGLU, E., BRAS, R. L. A Physically-Based Method for Removing Pits in Digital Elevation Models. *Advances in Water Resources* [on-line]. 2007, 30(10), s. 2151–2158. ISSN 03091708. Dostupné z: doi: 10.1016/j.advwatres.2006.11.016

[16] RAY, L. K. Limitation of Automatic Watershed Delineation Tools in Coastal Region. *Annals of GIS* [on-line]. 2018, 24(4), s. 261–274. ISSN 1947-5683. Dostupné z: doi: 10.1080/19475683.2018.1526212

[17] BAKER, M. E., WELLER, D. E., JORDAN, T. E. Comparison of Automated Watershed Delineations: Effects on Land Cover Areas, Percentages, and Relationships to Nutrient Discharge. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2006, 72, s. 159–168.

[18] VOGT, J., SOILLE, P., DE JAGER, A., RIMAVICIUTE, E., MEHL, W., FOISNEAU, S., BODIS, K., DUSART, J., PARACCHINI, M., HAASTRUP, P., BAMP, C. A *Pan-European River and Catchment Database*. EUR 22920 EN. Luxembourg (Luxembourg): OPOCE, 2007. JRC40291

[19] LI, Z. Watershed Modeling Using Arc Hydro Based on DEMs: A Case Study in Jackpine Watershed. *Environmental Systems Research* [on-line]. 2014, 3(1). ISSN 2193-2697. Dostupné z: doi: 10.1186/2193-2697-3-11

[20] BALASUBRAMANI, K., SARAVANABAVAN, V., KANNADSAN, K. A *Comparison of Approaches for Automated Watershed Delineation: A Case Study of NagalAr Watershed*. [on-line]. 2012. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/267601581\\_A\\_Comparison\\_of\\_Approaches\\_for\\_Automated\\_Watershed\\_Delineation\\_A\\_Case\\_study\\_of\\_NagalAr\\_Watershed](https://www.researchgate.net/publication/267601581_A_Comparison_of_Approaches_for_Automated_Watershed_Delineation_A_Case_study_of_NagalAr_Watershed)

[21] SOILLE, P., GRATIN, C. An Efficient Algorithm for Drainage Network Extraction on DEMs. *Journal of Visual Communication and Image Representation*. 1994, 5, s. 181–189.

[22] SOILLE, P. *Morphological Image Analysis*. 2<sup>nd</sup> Edition. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2003.

[23] WANG, Y., QIN, CH., ZHU, A. Review on Algorithms of Dealing with Depressions in Grid DEM. *Annals of GIS* [on-line]. 2019, 25(2), s. 83–97. ISSN 1947-5683. Dostupné z: doi: 10.1080/19475683.2019.1604571

[24] JACKSON, S. *Designing an Optimal Pit Removal Tool for Digital Elevation Models* [on-line]. 2012, s. 11. Dostupné z: <https://www.caee.utexas.edu/prof/maidment/giswr2012/TermPaper/Jackson.pdf>

[25] MATULOVÁ, J., TYL, R. *Aktualizace rozvodnic ČR nad digitálním modelem reliéfu 5G* [on-line]. Dostupné z: <https://storymaps.arcgis.com/stories>

## Autor

**Bc. Vít Šťovíček**

✉ [vit.stovicek@chmi.cz](mailto:vit.stovicek@chmi.cz)

ORCID: 0000-0002-4997-8056

Český hydrometeorologický ústav, Oddělení hydrofondu a bilancí, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.11.002

---

## AUTOMATIC WATERSHED DELINEATION IN CZECH REPUBLIC USING ARCGIS PRO

ŠTOVÍČEK, V.

Czech Hydrometeorological Institute, Hydrology Database  
and Water Budget Department, Prague

**Keywords:** automatic delineation – watershed –  
watershed divide – GIS – ArcHydro

Manual watershed delineation by watershed divides is traditionally performed by analysis of topographic maps and contour lines. With the availability of digital elevation models, watershed and stream delineation is performed automatically, which reduces the time spent on manual delineation. In this study, we introduce the process of automatic delineation and available models within the toolbox Arc Hydro Tool Pro, created by ESRI for ArcGIS Pro software. Automatic delineation was implemented by different methods on selected watersheds in Czech Republic, varying in area and altitude. Digital elevation models with different resolutions, from pixel size of  $2 \times 2$  m to  $50 \times 50$  m, were used as the input layer. Next, these delineated watersheds were compared with the current layer of fourth-order watershed divides, valid to 2019. Results of automatic delineation in each watershed, except those in lowlands, show a high overall accuracy. Automatic delineation can be applied not only as the input to hydrological models but also to consequent watershed analysis, for example, with the use of other tools in ArcGIS Pro.

