

# Praktické příklady využití GIS v hydrologii v ČHMÚ

PETR ŠERCL, RADOVAN TYL, PAVEL KUKLA, MARTIN PECHA

**Klíčová slova:** GIS – hydrologie – rozvodnice – fyzikogeografické charakteristiky – přívalové povodně

## SOUHRN

Technologie geografických informačních systémů (GIS) jsou v úseku hydrologie Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) velmi široce používány. Zpracování geoprostorových dat, jež se v hydrologii používají při analytických úlohách, a rozvoj technologií GIS v posledních dvou dekadách přispěly k rozšíření GIS v praxi ČHMÚ. Využití nástrojů GIS je ukázáno na čtyřech příkladech.

První z nich je zaměřen na vytváření dat GIS. Jedním ze základních podkladů pro analytické práce v hydrologii je polygonová vrstva rozvodnic povodí 4. řádu. Od roku 2018 probíhá aktualizace, respektive nové vytvoření těchto dat, a to na podkladě *Digitálního modelu reliéfu 5. generace* (DMR 5G) a aktualizované liniové vrstvy vodních toků ZABAGED (Základní báze geografických dat), jejíž geometrie a atributy jsou harmonizovány ve spolupráci se správci vodních toků, Zeměměřickým úřadem a Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka (VÚV TGM).

Druhý příklad se týká přípravy vstupních podkladů pro odvození hydrologických charakteristik *M*-denních průtoků, které patří dle ČSN 75 1400. *Hydrologické údaje povrchových vod* mezi základní hydrologické údaje. V příkladu je popsán postup odvození rastrové vrstvy dlouhodobého ročního odtoku za referenční období 1981–2010, kde byl využit regresní vztah mezi průměrnou roční odtokovou výškou, průměrným ročním úhrnem srážek a průměrnou roční velikostí potenciální evapotranspirace v daném období.

Třetí příklad popisuje využití GIS při zpracování hydrologických posudků dle výše uvedené normy ČSN 75 1400, jejichž výsledkem jsou zpravidla *M*-denní či *N*-leté průtoky ve specifikovaném profilu určitého toku. Pro tyto účely byla vyvinuta speciální aplikace, která umožňuje odvodit nejen základní fyzikogeografické charakteristiky povodí z digitálního modelu reliéfu (sklon povodí, délka a sklon údolnice), ale určit i další potřebné charakteristiky, např. podíl určitého druhu využívání území v povodí či průměrné hodnoty dalších prvků v povodí (srážky, čísla odtokové křivky CN atd.).

Čtvrtý příklad se věnuje využití GIS v operativní hydrologické službě, konkrétně ve vývoji tzv. indikátoru přívalových povodní, jenž stanovuje míru rizika vzniku či výskytu přívalové povodně na základě aktuální nasycenosti půdy a radarových odhadů srážek. V jeho rámci jsou zmíněny možnosti skriptovacích a vývojových nástrojů, které GIS nabízí.

## ÚVOD

Vzhledem k tomu, že data poskytovaná ČHMÚ mají svoji prostorovou složku, nelze si v dnešní době pracovní postupy v ČHMÚ bez uplatnění technologie GIS představit. GIS již dávno neslouží „jen“ k tvorbě jednoduchých statických mapových výstupů, ale zejména jako nástroj pro zpracování dat a jejich analýzu.

Od statických map na webových stránkách ČHMÚ a v publikacích, jež pochoitelně zůstávají standardní součástí využití technologie GIS, je trend přecházet na dynamické webové mapy, které mají přidanou hodnotu ve formě např. zobrazování doplňkových informací k mapovým prvkům, vyhledávání podle adres či jiných atributů, nástrojů „zoom“ a případně i dalších nástrojů začleněných do webových mapových aplikací.

Využití technologie GIS v hydrologii ČHMÚ je demonstrováno na čtyřech konkrétních příkladech v samostatných kapitolách. Příklady zahrnují sofistikované pořizování dat ve víceuživatelské databázi, odvozování rastrových dat z bodových pozorování, přípravu dat pro hydrologické modelování a zpracování hydrologických posudků a ukázkou využití skriptovacích nástrojů pro vytváření automaticky spouštěných úloh, které zahrnují proces od načtení dat přes jejich následné zpracování až po publikaci výsledků ve webovém prostředí.

To, že cesta k výše uvedenému byla poměrně trnitá a zdoluhavá, je popsáno v následující kapitole věnované historii.

## HISTORIE VYUŽÍVÁNÍ GIS V HYDROLOGII ČHMÚ

Technologie GIS se v ČHMÚ objevila koncem 1. poloviny 90. let minulého století, a to na základě mezinárodního projektu „*Monitoring and information resources management*“ financovaného U.S. Environmental Protection Agency (dále EPA) v období 1993–1997. V rámci projektu úsek hydrologie ČHMÚ obdržel bezplatně pracovní stanici AV 400 a softwarové licence ArcView a ARC/INFO (platforma UNIX), včetně systémové podpory a možností školení. Pracovníci ČHMÚ měli rovněž příležitost navštívit pracoviště EPA v USA.

V počátečním období, tj. v letech 1993–1995, byl GIS v hydrologii ČHMÚ záležitostí pouze okrajovou, neboť byl soustředěn na jediném pracovišti a nebyla ještě vybudována celoustavní počítačová síť, která by data zpřístupnila více pracovníkům.

Podstatné zlepšení situace nastalo v období 1996–1997, kdy byla dobudována celoustavní počítačová síť a nákup dalších licencí ArcView spolu s nezbytným vylepšením hardware vedlo k rozšíření uživatelů GIS nejen na centrálním pracovišti hydrologie v Praze, ale i na vybraných pobočkách. Tato další pracoviště GIS, která byla v tomto období postupně vybudována, byla již založena na PC-platformě (ArcView, Windows 95 nebo Windows NT). Jak je tedy z výše uvedeného zřejmé, technologie GIS, jež se v hydrologii ČHMÚ využívala od samého počátku, byla technologie firmy ESRI.

Pro práci s GIS jsou samozřejmě nezbytné datové vrstvy, ať již vektorové, nebo rastrové. Ve srovnání s dnešní dobou byla o data využitelná v GIS nouze, zejména o ta podrobná, která by umožňovala sofistikované analýzy.

V roce 1994 za prostředky grantu Ministerstva životního prostředí ČR byly v rámci smlouvy s tehdejší Vojenským topografickým ústavem

(VTOPIÚ)<sup>1</sup> v Dobrušce (dnes Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad Dobruška–VGHMÚř Dobruška) pořízeny datové vrstvy DMÚ200 (vektorová data 1 : 200 000: vodstvo, komunikace, energovody, administrativní členění atd.) a DMR-2 (digitální model reliéfu, rastr 100 × 100 m). Rovněž v rámci smlouvy s VTOPIÚ Dobruška byl získán digitální ekvivalent topografických map (DETM) ve formě TIF-souborů, a sice v měřítkách 1 : 50 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000, 1 : 2 000 000. Získání těchto dat bylo sice významné, ale stupeň jejich rozlišení neumožňoval provádět významnější analýzy.

Proto od roku 1997 započalo pořizování datových vrstev GIS v rámci pracovních kapacit ČHMÚ. Šlo zejména o bodové vrstvy pozorovacích objektů povrchových a podzemních vod a srážkoměrných pozorování. Nejrozsáhlejší práce probíhaly při pořizování polygonové vrstvy rozvodnic základních povodí<sup>2</sup> (měřítko 1 : 25 000, plocha polygonu od 5 km<sup>2</sup>), na které se podílela rovněž pobočková pracoviště ČHMÚ, kdy bylo nutné průběh rozvodnic napřed zakreslit do papírových vojenských topografických map 1 : 25 000 a následně je digitalizovat.

Po zpracování vrstvy rozvodnic bylo již možné provádět podrobnější analýzy a pomocí programovacího jazyku Avenue, který byl součástí ArcView GIS verze 3.x, také vytvářet první aplikace. Jednou z nich byla interpolace bodových měření (srážek) se zpracováním jejich regresní závislosti na nadmořské výšce (využití extenze ArcView Spatial Analyst), a tudíž první vytváření vlastních odvozených rastrových dat, která bylo možné dále analyzovat, např. aplikovat zonální statistiku na ploše povodí.

Základním zlomem bylo získání digitální verze vojenských topografických map s názvem DMÚ25 (digitální model území v měřítku 1 : 25 000) v roce 2001. Tato verze obsahovala vektorové vrstvy polohopisných objektů, ale i výškopis ve formě vrstevnic. S využitím liniové vrstvy vrstevnic bylo možné nejen zpřesnit vrstvu rozvodnic základních povodí, ale na jejím základě též odvodit rastrovou vrstvu nadmořských výšek terénu s rozlišením 25 × 25 m. Tento podrobnější model terénu (DMR) již umožňoval provádět jeho analýzy a zejména odvození fyzikogeografických charakteristik povodí, mezi něž patří průměrný sklon povodí, sklon a délka údolnice a ostatní důležité vstupy pro hydrologické výpočty.

Dalším zásadním milníkem při získávání GIS dat byly výzkumné projekty QD1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“ (2001–2004) a VaV 1D/1/5/05 „Vývoj metod predikce stavů sucha a povodňových situací na základě infiltračních a retenčních vlastností půdního pokryvu ČR“ probíhající v letech 2004–2007. V rámci projektu QD1368 byly ve spolupráci hydrologů a oddělení klimatologie ČHMÚ odvozeny rastrové vrstvy *N*-letých maximálních srážek v délce trvání 1, 2 a 3 dní. Spolupráci s Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy na Zbraslavi (VÚMOP) se podařilo v rámci zmíněných výzkumných projektů získat další velmi důležitá data pro hydrologické modelování, a sice vektorové vrstvy infiltrační schopnosti a retenční vodní kapacity půd (rozlišení 1 × 1 km), z čehož vznikla vrstva tzv. hydrologických skupin půd. V kombinaci s aktualizovanou vektorovou vrstvou využívání území z evropského projektu CORINE (Corine Land Cover) bylo možno odvodit rastrovou vrstvu hodnot CN (Curve Number = číslo odtokové křivky), což je klíčový parametr pro stanovování výšky odtoku ze spadlých srážek [1]. Získáním zmíněných dat byla umožněna plnohodnotná příprava vstupů do hydrologického srážkoodtokového modelování a zpracování hydrologických posudků, čemuž se věnuje samostatná kapitola. SW ArcView GIS 3.x byl na konci první dekády 21. století postupně nahrazován modernějším ArcGIS Desktop.

Od ledna 2013 se stala základními digitálními GIS podklady data ZABAGED, z nichž – nebo spíše nad nimi – byly odvozeny či aktualizovány nové vrstvy DMR a rozvodnic základních povodí. Souběžně s vydáváním aktualizovaných vrstev Corine Land Cover byly rovněž aktualizovány rastrové vrstvy hodnot CN. Rozvodnice nad daty ZABAGED byly využity při přípravě tzv. katastru *M*-denních průtoků.

Aktuálně (listopad 2021) probíhá zpřesňování vrstvy rozvodnic základních povodí, kde jako podklad slouží digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) a verifikovaná vrstva vodstva, tj. linie vodních toků a polygony vodních ploch ze Zeměměřického úřadu.

Při nasazení GIS v ČHMÚ nezůstala stranou ani technologie tzv. webového GIS. Pro publikaci dynamických mapových výstupů pro veřejnost je využíván produkt ArcGIS Online a pro sdílení GIS dat uvnitř ČHMÚ byl pořízen ArcGIS Enterprise, verze Standard.

## SPRÁVA DATOVÉ SADY ROZVODNIC POVODÍ 4. ŘÁDU

Plocha povodí je v ČHMÚ základním a nezbytným podkladem při odvozování standardních i nestandardních hydrologických údajů dle normy ČSN 75 1400. *Hydrologické údaje povrchových vod*. Plocha povodí je ohraničena rozvodnicí, což je pomyslná hranice oddělující dvě sousední povodí, respektive orograficky vymezené území, z něhož odtéká voda do příslušného závěrečného profilu.

První členění vodních toků podle hydrologického pořadí bylo provedeno v rámci zpracování Hydrologických poměrů ČSSR v roce 1965. Zde byly vyčleněny toky s vlastním vyvinutým korytem a plochou povodí větší než 5 km<sup>2</sup> [2]. Hydrologické členění je uvedeno v tabulkovém přehledu publikace a v příložených mapách v měřítku 1 : 200 000 (viz obr. 1). Součástí přehledu základních ploch povodí jsou dále informace o názvu toku, řádu toku, délce toku, tvaru povodí, lesnatosti a také informace, zda se jedná o levostranný, nebo pravostranný přítok. Číslo hydrologického pořadí mělo v té době formát osmi číslic (1-22-33-444), které určovaly příslušnost daného toku k evropskému rozvodí (Labe, Dunaj, Visla, Odra) a dále k podrobnějším dílčím povodím. Tím bylo zároveň definováno dělení hydrologického pořadí vodních toků na jednotlivé řády (tzv. povodí 1. až 4. řádu).



Obr. 1. Mapa rozvodnic v publikaci Hydrologické poměry [2]

Fig. 1. Map of watershed in Hydrologické poměry book [2]

Od té doby proběhly tři velké aktualizace datové sady rozvodnic. Nejprve to byla digitalizace rozvodnic v měřítku 1 : 25 000 z vojenských topografických map současně s rozšířením čísla hydrologického pořadí o jednu číslici na devět pozic (1-22-33-4444). Druhá aktualizace proběhla v letech 2008–2012, kdy byla pro referenční měřítko 1 : 10 000 využita struktura vodních toků DIBAVOD (Digitální báze vodohospodářských dat) a kde bylo zároveň číslo hydrologického pořadí

rozšířeno na současných 14 číslic (1-22-33-4444-5-66-77), což umožnilo strukturovat dělení povodí k profilům hrází vodních děl, mimoúrovňovým křížením a k profilům vodoměrných stanic. Aktualizace probíhala nad rozšířenou sadou povodí 4. řádu, z níž se rozvodnice povodí nižších řádů následně generují podle primárního klíče, což je číslo hydrologického pořadí (ČHP).

Poslední aktualizace datové sady rozvodnic začala po dokončení DMR 5G a zpřesnění vrstvy vodních toků na základě leteckého laserového skenování v Českém úřadu zeměměřicím a katastrálním (ČÚZK) začátkem roku 2018. Pro aktualizaci rozvodnic byla využita platforma ESRI se všemi jejími součástmi a vazbami databáze – desktopová aplikace – server.

Samotná editace/aktualizace rozvodnic probíhá prostřednictvím desktopové aplikace ArcGIS Pro, licence Advanced na odděleních hydrologie poboček ČHMÚ a rovněž na oddělení povrchových vod centrálního pracoviště ČHMÚ. V databázi Oracle s nadstavbou ESRI SDE jsou uložena a prostřednictvím ArcGIS Enterprise sdílána veškerá potřebná podkladová data. Jejich využívání prostřednictvím SDE databáze či ArcGIS Enterprise zajišťuje aktuálnost a jednotnost dat napříč všemi zpracovateli. Odpadá potřeba vrstvy rozvodnic rozdělovat na jednotlivé části s ohledem na územní působnost poboček a po aktualizaci ji zase spojovat dohromady. Editace probíhá nad jednou celistvou vrstvou. Nad datovou sadou rozvodnic v databázi SDE jsou nastavena topologická pravidla zajišťující homogenitu editovaných dat. Zároveň jsou využívány letecké snímky a základní mapa 1 : 10 000 poskytované jako služby ArcGIS Serveru ČÚZK. Pro jednotný postup prací aktualizace datové sady rozvodnic povodí 4. řádu napříč pobočkami byl vytvořen závazný pracovní návod. Veškerá data jsou převedena a používána v souřadnicovém systému WGS 1984 UTM 33N.

Primárním zdrojem pro aktualizaci rozvodnic povodí 4. řádu je digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G) Zeměměřického úřadu (ZÚ) s rozlišením rastru 2 × 2 m. Dalšími nezbytnými podklady jsou informace o strukturálním a geometrickém uspořádání vodních toků. Geometrie vodních toků je přebírána z dat státního mapového díla ZABAGED, struktura páteřních vodních toků je určena také datovou sadou vodních toků ZABAGED s tím, že rozdíl mezi datovou sadou vodních toků CEVT (Centrální evidence vodních toků) využívanou správci vodních toků (státní podniky Povodí, Lesy ČR) a vrstvou vodních toků ze ZABAGED jsou řešeny v rámci Harmonizace páteřních vodních toků v projektu „*ISVS Voda*“. Odsouhlasené změny jsou následně ve zhruba půlročních cyklech zapracovány do datové sady vodních toků ZABAGED.

Nezbytnými podklady jsou další vrstvy ZABAGED, například vodní plochy, propustky nebo bodová vrstva s názvem „Uzlový bod říční sítě“, kde jsou v atributech obsaženy informace o křížení, soutocích, pramenech či pseudouzlech (fiktivních soutocích či křížení) vodních toků. Současně se využívají další datové zdroje poskytované v rámci Harmonizace vodních toků projektu „*ISVS Voda*“, zejména zahraniční vodní toky zprostředkované od ZÚ a datová sada hlavních odvodňovacích zařízení (HOZ) od Státního pozemkového úřadu (SPÚ).

Na území hlavního města Prahy jsou k aktualizaci rozvodnic dále využívána data o dešťové kanalizační síti a přilehlých odvodňovacích plochách Pražské vodohospodářské společnosti (PVS) a data o podrobných vodních tocích, jež spravuje Odbor ochrany prostředí Magistrátu hlavního města Prahy.

Jedním z hlavních a nejdůležitějších podkladů pro tvorbu rozvodnic jsou vrstevnice. Jelikož v současné době nejsou k dispozici pro celé území ČR vrstevnice odvozené z DMR 5G od ČÚZK, jsou rozvodnice aktualizovány nad vrstevnicemi generovanými „on the fly“ se stejnými parametry na všech pobočkách pomocí rastrového nástroje „Contour“ v aplikaci ArcGIS Pro. Jedná se de facto o rastrovou vrstvu, která se překresluje dynamicky podle velikosti měřítka mapy. Základní měřítka pro aktualizaci rozvodnic bylo na základě analýz stanoveno na velikost 1 : 1 000 tak, aby odpovídalo přesnosti digitálního modelu reliéfu a současně vyhovovalo dalšímu zpracování hydrologických údajů. Přesto je při aktualizaci rozvodnic v určitých územích třeba provádět editaci ve větším rozlišení, než je stanovené měřítka.

Druhým nezbytným podkladem pro aktualizaci rozvodnic je stínovaný reliéf dynamicky generovaný stejně jako vrstevnice nad DMR 5G pomocí rastrové analýzy „Hillshade“.

Sada nástrojů hydrologické rastrové analýzy využívá vybraného digitálního modelu reliéfu pro výpočet a stanovení hydrologických prvků povodí – mj. říční sítě a rozvodnic. Některé rovinaté oblasti ČR jsou náročné na určení korektního vedení rozvodnic, proto bylo v oddělení povrchových vod vyvinuto a do ArcGIS Pro zakomponováno rozšíření v podobě nástroje (toolboxu) s názvem HydroDEM. Tento nástroj umožňuje automaticky generovat rozvodnice s využitím rastrových analýz DMR 5G při definování okrajových podmínek (parametry a použité vrstvy). Automaticky generovaná rozvodnice je však odvozena čistě nad digitálním modelem reliéfu a nezohledňuje antropogenní zásahy do vodních toků, jako jsou např. umělé náhony, mimoúrovňová křížení, podzemní úseky či propustky, které odvádějí vodu pod vyvýšenými silnicemi. Proto automaticky generovaná rozvodnice slouží jako pomocný nástroj při samotné aktualizaci vrstvy rozvodnic.

Proces aktualizace datové sady rozvodnic s využitím DMR 5G je financován v rámci institucionální podpory dlouhodobého koncepčního rozvoje a bude pokračovat i v roce 2022. Dokončení aktualizace se předpokládá na konci roku 2022. V následném období očekáváme, že zhruba v ročním cyklu bude probíhat aktualizace datové sady rozvodnic zapracováním změn týkajících se změny struktury vodních toků s dopadem na strukturu rozvodnic.

## PŘÍPRAVA VSTUPNÍCH PODKLADŮ PRO ODVOZENÍ M-DENNÍCH PRŮTOKŮ

M-denní průtoky patří podle ČSN 75 1400. *Hydrologické údaje povrchových vod* mezi základní hydrologické údaje, jež jsou poskytovány pro libovolný profil říční sítě. Jsou vždy stanovovány pro určité referenční období.

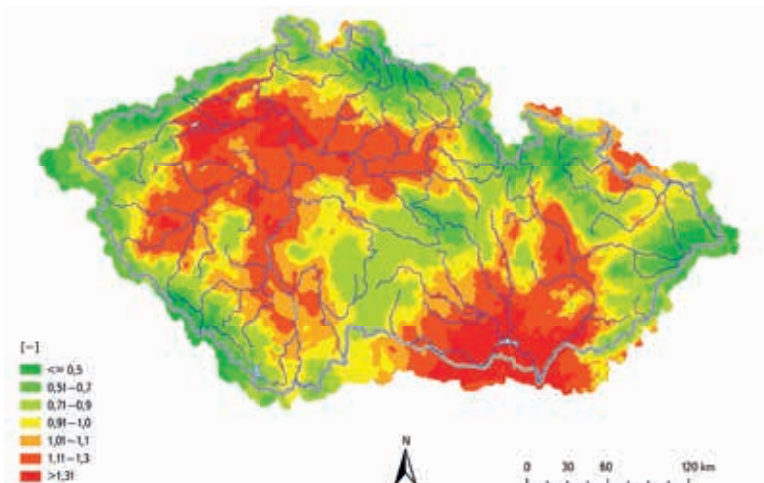
Výpočtům hydrologických charakteristik M-denních průtoků za referenční období 1981–2010 předcházelo odvození několika klimatologických charakteristik. Primárním klimatickým faktorem, který má největší vliv na odtokové poměry, jsou srážky. Dlouhodobá roční výška srážek na povodí je množství vody ze srážek spadlých na povrch daného území za daný časový interval. Je vyjádřena výškou vrstvy vody (v milimetrech) rovnoměrně rozložené po ploše tohoto území.

Dlouhodobá roční výška srážek na povodí patří mezi základní klimatologicko-hydrologické charakteristiky určující dlouhodobou hydrologickou bilanci povodí. Lze ji určit pomocí nástrojů GIS, a to pomocí překryvu polygonové vrstvy rozvodnic přes rastrovou vrstvu srážek, jež byla odvozena z pozorování ve srážkoměrných stanicích.

Odvození rastru dlouhodobých ročních úhrnů srážek s využitím maxima dostupných údajů bylo proto jedním z hlavních cílů zpracování. Metodika odvození průměrných ročních srážkových úhrnů za referenční období ve srážkoměrných stanicích je podrobně popsána v publikaci [3].

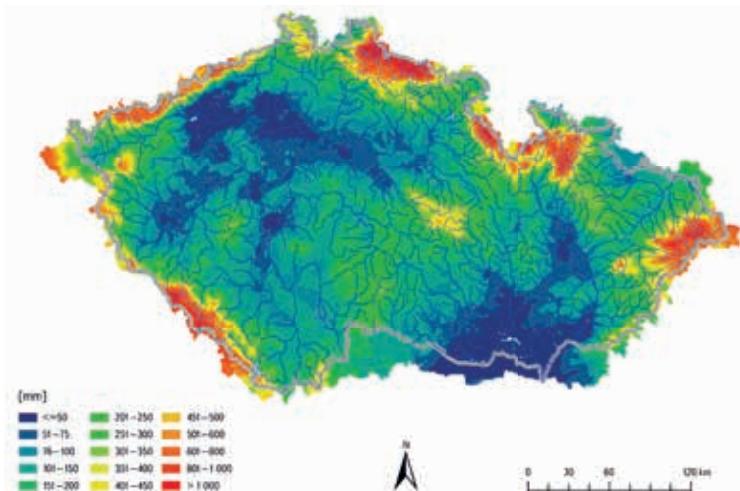
Bodová data dlouhodobých ročních úhrnů byla interpolována do rastrové vrstvy metodou orografické interpolace, která byla vyvinuta v ČHMÚ [4]. Jako podklad byl použit rastr nadmořských výšek terénu v kroku 1 × 1 km shlazený<sup>3</sup> v okolí 3 × 3 km. Mezi přednosti použité metody patří jednoduchost použití a zjišťování regresních vztahů v lokálním (regionálním) měřítku, nevýhodou je odvozování čistě lineárních regresních vztahů, kde velikost srážky závisí pouze na jediné veličině. Použitím shlazeného terénu je však tato nevýhoda částečně eliminována, neboť stanice o stejné nadmořské výšce, ale reprezentující zcela odlišné klimatické poměry, např. Milešovka a Pec pod Sněžkou, se shlazením terénu dostávají do jiných „relativních“ nadmořských výšek vzhledem k průměrnému převýšení vůči svému okolí.





Obr. 2. Index aridity za období 1981–2010

Fig. 2. Aridity index for the period 1981–2010



Obr. 3. Velikost dlouhodobého ročního odtoku za období 1981–2010 odvozená regresními vztahy z dlouhodobého průměrného ročního srážkového úhrnu a dlouhodobé roční potenciální evapotranspirace

Fig. 3. Long-term annual runoff for the period 1981–2010 obtained from regression relationships between long-term mean annual precipitation totals and long-term annual potential evapotranspiration

Velkým přínosem pro odvození rastrové vrstvy dlouhodobé roční výšky srážek bylo využití dat ze zahraničních zdrojů, které pomohlo zpřesnit údaje v příhraničních oblastech, zejména v oblasti Šumavy a Krušných hor, a dále v zahraničních územích, kde leží významná část povodí našich řek (např. Ohře, Dyje).

Kombinací dlouhodobé roční výšky srážek a hodnoty dlouhodobé roční potenciální evapotranspirace lze vypočítat tzv. index aridity (viz obr. 2), což je poměr roční potenciální evapotranspirace a roční srážky. Tento index je základem pro odhad dlouhodobé výšky odtoku na nepozorovaných povodích.

Pro odvození rastru roční potenciální evapotranspirace za období 1981–2010 byla využita data z 234 klimatologických stanic, které měly délku pozorování alespoň osm let. Nejprve byly vypočteny hodnoty měsíční potenciální evapotranspirace a odvozeny roční sumy. Kratší řady byly doplněny metodou lineární regrese pomocí analogonu (stanice s úplnou řadou pozorování) s nejvyšším koeficientem determinace.

Pomocí orografické interpolace [4] byl v prostředí GIS odvozen pro každý rok z období 1981–2010 rastr roční potenciální evapotranspirace a vypočten rastr průměrných hodnot za období 1981–2010.

Metodika odvození dlouhodobého ročního odtoku za období 1981–2010 pomocí regresních vztahů z dlouhodobého průměrného ročního srážkového úhrnu a dlouhodobé roční potenciální evapotranspirace je popsána v publikaci [3]. Při odvození byly využity funkce mapové algebry aplikované na výše zmíněné rastrové vrstvy klimatologických prvků. Výsledná mapa dlouhodobé roční výšky odtoku je zobrazena na obr. 3.

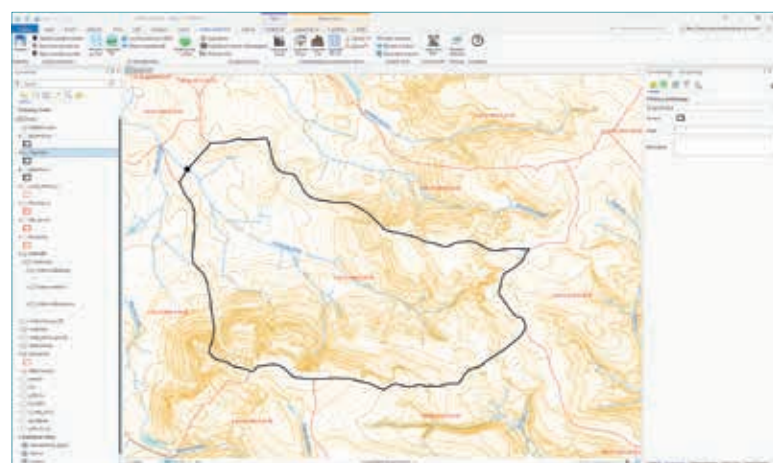
## ZPRACOVÁNÍ HYDROLOGICKÝCH POSUDKŮ

Hydrologickými posudky nazýváme poskytování standardních hydrologických údajů podle ČSN 75 1400. *Hydrologické údaje povrchových vod*. Ke standardním hydrologickým údajům mimo jiné patří kromě časových řad hydrologických veličin pozorovaných ve vodoměrných stanicích již dříve zmíněné *M*-denní průtoky, *N*-leté průtoky a rovněž i průběhy teoretických povodňových vln (TPV) s kulminacním průtokem dané doby opakování. Na rozdíl od časových řad jsou hodnoty *M*-denních a *N*-letých průtoků a průběhy TPV poskytovány pro libovolný profil říční sítě. Tento fakt vedl k nasazení technologie GIS pro odvozování fyzickogeografických charakteristik povodí a dalších veličin, jež slouží jako podklad při stanovení standardních hydrologických údajů v nepozorovaných profilech.

K těmto účelům slouží již třetí generace aplikace, která se postupně nazývala AVPosudek (pro ArcView GIS 3.x), AGPosudek (pro ArcGIS Desktop) a AGPosudek Pro (pro ArcGIS Pro), přičemž funkcionalita jednotlivých verzí aplikací se dle potřeby upravovala a rozvíjela. Další popis bude věnován poslední generaci této aplikace, a sice AGPosudek Pro.

AGPosudek Pro je aplikace ve formě doplňku pro ArcGIS Pro vyvinutého ve VB.NET s využitím ArcGIS Pro SDK for Microsoft.NET. Vytváření doplňků usnadňuje integrace SDK do Microsoft Visual Studio a šablony jednotlivých objektů, z nichž se aplikace skládá (dialogová okna a jiné ovládací prvky). K dispozici je na stránkách <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/sdk/> (ověřeno 5. listopadu 2021), včetně velkého množství příkladů, které jsou však napsány v C#. Pro VB.NET existuje konvertor z C#, dostupný na <https://codeconverter.icsharpcode.net/> (ověřeno 5. listopadu 2021).

Na obr. 4 je znázorněn výřez okna z aplikace ArcGIS Pro s načteným doplňkem AGPosudek Pro. V okně je zobrazena mapa s vrstvou rozvodnic posuzovaného povodí k profilu znázorněnému bodem a dále jsou zobrazeny podrobné rozvodnice základních povodí, vrstevnice ZABAGED a vodní toky ZABAGED. Pás karet s jednotlivými nástroji aplikace je na obr. 5.



Obr. 4. Okno ArcGIS Pro s mapou, která zachycuje posuzované povodí, vrstevnice a vodní toky

Fig. 4. ArcGIS Pro window with map that captures assessed catchment, contours and watercourses



Obr. 5. Pás karet aplikace AGPosudek Pro

Fig. 5. AGPosudek Pro application ribbon bar

Vytvoření plnohodnotné verze aplikace pro ArcGIS Pro bylo možné až ve verzi 2.6, jež umožnila zakreslování uživatelské grafiky (bodů, linií a polygonů) do grafické vrstvy v mapě.

Funkcionalitu AGPosudek Pro lze stručně rozepsat do následujících bodů:

- Uložení vybraného polygonu povodí: Uživatel vybere z vrstvy rozvodnic základních povodí polygon povodí, ve kterém bude zpracovávat posudek, a ten uloží do samostatného souboru shapefile.
- Určení rozvodnice: Na základě souřadnic (zpravidla v S-JTSK) uživatel zakreslí v grafické vrstvě profil na toku ve formě bodu do mapy a v grafické vrstvě zakreslí linii rozvodnice, jež daným bodem prochází. Poté pomocí nástroje „Stanovení rozvodnice“ rozdělí polygon v shapefile vybraného povodí. Část povodí níže po toku (pod profilem) může smazat a dále pracuje jen s polygonem povodí k posuzovanému profilu. Všechny výsledky níže uvedených nástrojů jsou zapisovány do atributové tabulky vrstvy vybraného povodí.
- Výpočet plochy povodí: Dojde k přepočtu plochy polygonu povodí z projekce mapy do plochojevné projekce ETRS89 / LAEA Europe (kód 3035).
- Výpočet fyzikogeografických charakteristik: Nástroj vypočítá průměrný sklon povodí na základě zvolené vrstvy DMR, a pokud je graficky zakreslena linie údolnice, spočítá rovněž její délku a sklon. Nástroj mimo jiné využívá funkci GIS „Slope“.
- Odvození linie údolnice z DMR: Na základě zvolené vrstvy DMR je odvozena linie, která spojuje závěrový profil a hydraulicky nejvzdálenější místo v daném povodí. Nástroj využívá tzv. hydrologické funkce GIS (Flow Direction, Flow Accumulation, Flow Length atd.) a funkci CostPath, viz obr. 6<sup>4</sup>. Vypočítána je zároveň délka a sklon linie údolnice. Výsledky jsou kromě zápisu do atributové tabulky zobrazovány v dialogových oknech, odkud si je uživatel může zkopírovat do libovolného dokumentu.



Obr. 6. Ručně nakreslená (černé šipky) a výpočtem odvozená (zelená čára) linie údolnice

Fig. 6. Hand-drawn (black arrows) and computed-derived (green line) line of the valley

- Výpočet podílu prvku v ploše: Na základě vrstvy Corine Land Cover nástroj vypočítá podíl plochy zvoleného krajinného pokryvu vůči celkové ploše povodí. Nejčastěji se používá pro výpočet podílu plochy lesů. V nástroji je využita funkce GIS „Tabulate Area“.
- Dále je v aplikaci využívána funkce zonální statistiky na základě zvolené rastrové vrstvy, a to např. pro výpočet průměrných hodnot na povodí. Jde o průměrnou dlouhodobou roční výšku srážek, výšku  $N$ -letých maximálních srážek daného trvání, hodnotu CN atd.
- Další funkce aplikace slouží již k odvození konkrétních hydrologických charakteristik, např. hodnot 100letého průtoku pomocí různých metod. K tomuto účelu je využíváno výsledků předchozích nástrojů, které odvozují fyzikogeografické charakteristiky, průměrné hodnoty  $N$ -letých srážek, hodnoty CN, podíl lesnatosti atd.

Aplikace AGPosudek a nově AGPosudek Pro jsou využívány hydrology-posudkáři na pobočkových pracovištích ČHMÚ.

## INDIKÁTOR PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ

Operativní hydrologická služba, zvaná Hlásná a předpovědní povodňová služba (HPPS), vytváří důležité výstupy pro širokou veřejnost. Jsou k dispozici na webových stránkách <https://hydro.chmi.cz/hpps/> (ověřeno 7. listopadu 2021).

Povodňový jev, který je zároveň potenciálně nebezpečný i obtížně predikovatelný, je přívalová povodeň. Nelze přesně stanovit ani dobu ani místo výskytu přívalové povodně, protože jsou obtížně předpověditelné místo a čas výskytu příčinného faktoru, jimiž jsou přívalové srážky. I přes tyto obtíže je možné sledovat a vyhodnocovat v reálném čase určité parametry a jevy, ze kterých se dá posoudit míra rizika vzniku či výskytu přívalové povodně, případně lokálních záplav.

Jedním z těchto jevů je úroveň aktuálního nasycení půdy. Je-li půda více nasycená, pojme méně vody a zároveň se zmenšují její infiltrační schopnosti. V oblastech s vyšším nasycením půdy je proto riziko přívalové povodně v případě výskytu přívalových srážek podstatně vyšší. Pomocí srážkoodtokového modelování lze určit přibližné množství srážek, které, pokud by spadlo za určitou dobu, by potenciálně způsobilo významnější povrchový odtok.

Přívalové srážky jsou jedním z potenciálně nebezpečných doprovodných průvodních jevů u konvektivních bouří. Výskyt konvektivních bouří v čase a prostoru je monitorován pomocí meteorologických radarů. Radar neměří přímo srážky, ale tzv. odrazivost. Na základě vztahu mezi odrazivostí a hodinovou intenzitou srážek lze přibližně odhadnout, jaké množství srážek nad určitým územím spadlo nebo na základě krátkodobé předpovědi, tzv. nowcastingu [5], případně ještě spadne. Pomocí kombinace srážkoměrných pozorování a radarových měření lze odhady srážek významně zpřesnit. S využitím srážkoodtokového modelování je poté možné přibližně určit velikost odtokové odezvy, a tudíž i míru rizika vzniku či výskytu přívalové povodně.

Na výše uvedených skutečnostech je založen vývoj tzv. indikátoru přívalových povodní (FFI), jenž započal v rámci projektu VaV SP/1c4/16/07 „Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení Hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR“ (2007–2011) a byl inspirován systémem „Flash Flood Guidance“ provozovaným Národní povětrnostní službou (NWS) USA [6].



Tab. 1. Matice pro odvození souhrnného rizika přívalové povodně pro ORP podle rizika přívalové povodně a rizika lokálního zatopení

Tab. 1. Matrix for the derivation of the general risk for the municipalities with extended powers (MEP) according to the flash flood risk and the local flooding risk

		Riziko přívalové povodně			
Úroveň rizika		žádné riziko	střední riziko	vysoké riziko	velmi vysoké riziko
Riziko lokálního zatopení	žádné riziko	žádné riziko	střední riziko	střední riziko	vysoké riziko
	střední riziko	střední riziko	střední riziko	střední riziko	vysoké riziko
	vysoké riziko	střední riziko	vysoké riziko	vysoké riziko	vysoké riziko
	velmi vysoké riziko	vysoké riziko	velmi vysoké riziko	velmi vysoké riziko	velmi vysoké riziko

Systém FFI byl do roku 2016 v experimentálním provozu a postupně byl zdokonalován. Výstupy za období 2017–2019 byly podrobně vyhodnoceny a od roku 2020 je FFI součástí předpovědní služby ČHMÚ. Systém je v provozu cca od poloviny dubna do poloviny října, což je období s výskytem konvektivních srážek. Podrobně je popsán v příspěvku [7], v současné době (listopad 2021) byl dokončen překlad tohoto příspěvku do angličtiny, společně s velkou aktualizací jeho obsahu [8].

Vývoj FFI začal na platformě ArcView GIS 3.x v programovacím jazyce Avenue a během roku 2011 byl převeden pod systém ArcGIS Desktop a přeprogramován do Pythonu. Jednotlivé nástroje mohou být spouštěny interaktivně (z GIS prostředí) nebo automaticky s využitím systémového plánovače úloh, a to buď v denním kroku, nebo v definovaném kratším kroku.

Pro konfiguraci běhu procedur jsou k dispozici konfigurační soubory obsahující mnoho parametrů. Je možné zadat cesty ke vstupním datům, adresáře nebo geodatabáze pro ukládání výsledků, interval časového kroku vstupních dat srážek v minutách, délku časového úseku v minutách pro spadlé srážky i pro nowcasting, prahové hodnoty pro stanovení jednotlivých úrovní rizika atd.

V denním kroku jsou základním vstupem tato data:

- Rastr 24hodinových sum srážek jako kombinace radarových měření a srážkoměrných pozorování, tzv. MERGE, viz [9].
- Bodové hodnoty aktuální evapotranspirace, které jsou interpolovány metodou IDW (Inverse Distance Weighing = vážené inverzní vzdálenosti) do rastru.

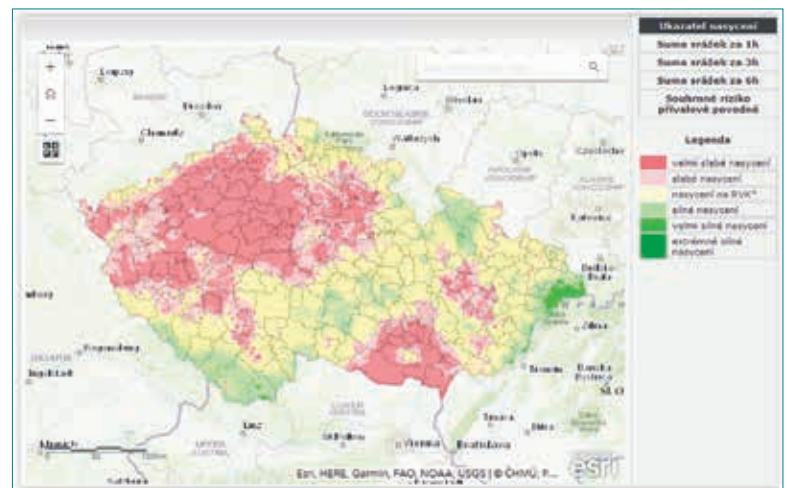
Výstupem procedur v denním kroku je:

- Rastr aktuálních hodnot nasycení půdy reprezentovaných hodnotami CN v rozlišení 1 × 1 km, odvozený z bilance srážek a evapotranspirace. Vztahem aktuálních hodnot CN ke krajním (limitním) hodnotám CN je definován tzv. ukazatel nasycení.
- Polygonová vrstva s úhrny tzv. potenciálně rizikových srážek o době trvání 1, 3 a 6 hodin pro území velikosti 3 × 3 km.

Výpočty v denním kroku jsou spouštěny během dne několikrát, čímž vzniká prostor na někdy nutnou úpravu vstupních dat a přepočítání výstupů.

Hlavním vstupem do procedur, jež jsou spouštěny v kratším kroku (v roce 2021 každých 20 minut), jsou 15minutové sumy radarových odhadů srážek, které jsou adjustovány na základě srážkoměrných pozorování. Do roku 2021 byla odvozována jediná hodnota adjustačního koeficientu pro celé území ČR, od roku 2022 se předpokládá využití plošně proměnlivého adjustačního koeficientu a rovněž využití produktu MERGE v časových intervalech, v nichž bude tento produkt již k dispozici. Úprava způsobu výpočtu adjustačního koeficientu byla řešena v rámci výzkumného projektu V120192021166 „Hydrometeorologická rizika v České republice – změny rizik a zlepšení jejich predikcí“ (2019–2021) a je podrobně popsána v článku [10].

Výpočet rizika vzniku nebo výskytu přívalové povodně je počítán v síti hydrologicky propojených prvků povodí a říčních úseků, v nichž základní podkladovou vrstvou je polygonová vrstva základních povodí, kde jsou pro každé povodí spočítány fyzickogeografické charakteristiky (sklon povodí, sklon a délka údolnice, aktuální hodnota CN atd.). Tyto propojené prvky tvoří hydrologický model, ve kterém je počítána hydrologická odezva na spadlé srážky a rovněž na srážky očekávané, jež jsou predikovány pomocí nowcastingu. Riziko vzniku či výskytu přívalové povodně je počítáno v závěrovém profilu každého povodí.

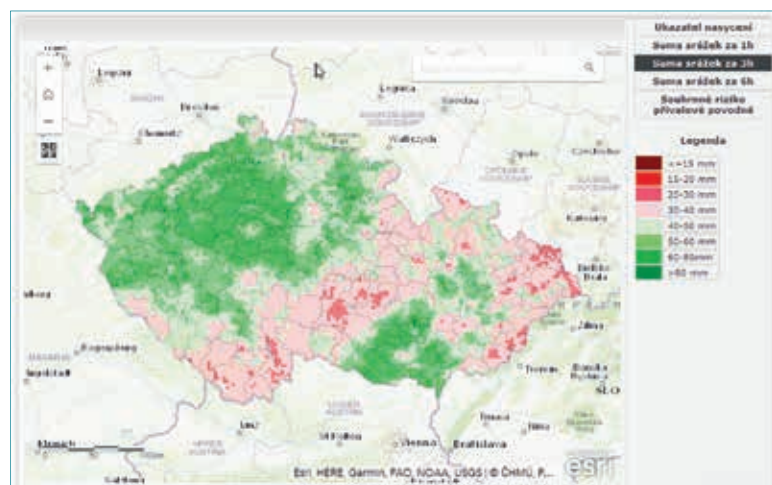


Obr. 7. Ukazatel nasycení platný pro 30. červen 2020 v 6:00 UTC na webových stránkách ČHMÚ, viz legenda v tab. 2

Fig. 7. Soil saturation indicator valid for June 30, 2020 at 6:00 UTC as seen on the CHMI website, see legend in Tab. 2

Tab. 2. Legenda vrstvy ukazatele nasycení  
Tab. 2. Legend of the soil saturation layer

Description
very low saturation
low saturation
saturation at field capacity
strong saturation
very strong saturation
extremely strong saturation



Obr. 8. Mapa potenciálně rizikových srážek o délce trvání 3 hodin platných pro 30. červen 2020 v 6:00 UTC na webových stránkách ČHMÚ

Fig. 8. Map of potential risk rainfall amounts with the duration of 3 hours valid for June 30, 2020 at 6:00 UTC as seen on the CHMI website

V polygonové vrstvě o velikosti polygonu  $3 \times 3$  km je počítáno tzv. riziko lokálního zatopení, a to na základě dvouhodinové sumy již spadlých srážek, případně jednodinové sumy spadlých srážek a jednodinové sumy srážek z nowcastingu. Každý polygon má obdobně jako všechna povodí odvozené fyzickogeografické charakteristiky včetně aktuální hodnoty CN.

Pro riziko přívalové povodně, počítané v hydrologickém modelu propojených povodí a říčních úseků, i pro riziko lokálního zatopení určované pro polygony konstantní velikosti, jsou nastaveny celkem tři prahové hodnoty, jež jsou navázány k teoretické hodnotě specifického 100letého průtoku. Tyto prahové hodnoty je možné v konfiguračních souborech změnit.

Hlavním výsledkem je stanovení rizika přívalové povodně a lokálního zatopení pro obce s rozšířenou působností (ORP), pro které je také určeno tzv. souhrnné riziko přívalové povodně dle tab. 1.

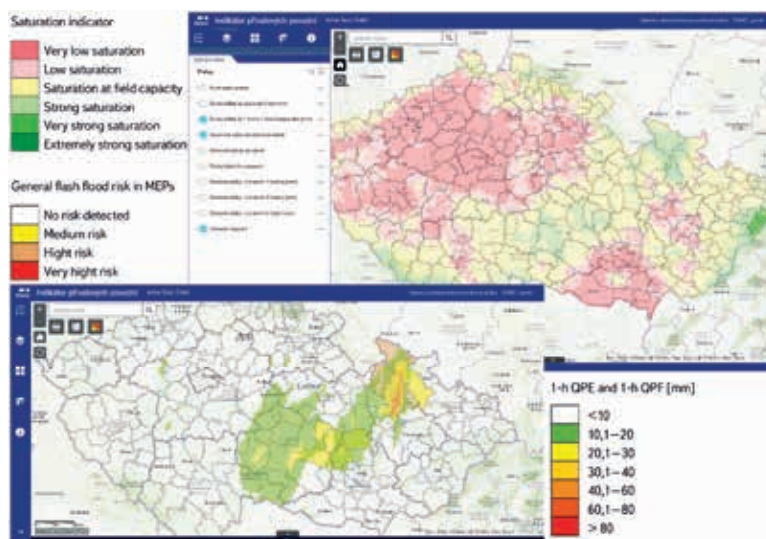
Pro potřeby HPPS je generovaný XML soubor s informací o riziku přívalové povodně nebo lokálního zatopení pro každou ORP a zároveň je tento výstup využíván i v mobilní aplikaci ČHMÚ.

Všechny výstupy jsou rovněž ukládány v ESRI souborových geodatabázích ve formě rastrových a vektorových vrstev, případně tabulek. Vybraná data jsou přenášena do cloudového úložiště na ArcGIS Online a zobrazována ve formě webových map a interaktivních webových aplikací.

Obr. 7 a 8 představují webové mapy, které jsou vloženy do stránek HPPS. Na obr. 7 je zobrazen ukazatel nasycení, na obr. 8 jsou znázorněny úhrny potenciálně rizikových srážek o délce trvání 3 hodin. Obě mapy jsou plně interaktivní.

Na obr. 9 je okno webové mapové aplikace, v níž je možné zobrazit všechny důležité a aktuální výstupy ze systému FFI:

- ukazatel nasycení,
- potenciálně rizikové srážky s trváním 1, 3 a 6 hodin,
- riziko lokálního zatopení pro ORP,
- riziko přívalové povodně pro ORP,
- souhrnné riziko přívalové povodně jako kombinace rizik lokálního zatopení a přívalové povodně (viz výše),
- suma adjustovaných radarových odhadů srážek v polygonech  $3 \times 3$  km za předchozí 2 hodiny, pokud suma byla vyšší než 10 mm nebo tato suma představovala riziko lokálního zatopení,
- suma adjustovaných radarových odhadů srážek v polygonech  $3 \times 3$  km za předchozí 1 hodinu plus za 1 hodinu nowcastingu, pokud suma byla vyšší než 10 mm nebo tato suma představovala riziko lokálního zatopení,



Obr. 9. Výstupy z webové mapové aplikace „Indikátor přívalových povodní“, která běží na platformě ArcGIS Online. Zobrazuje vrstvu ukazatele nasycení (vpravo nahoře), úhrn srážek  $\geq 10$  mm/2 h a aktuální souhrnné riziko přívalové povodně (vlevo dole) pro ORP Fig. 9. The outputs from web map application ‘Flash Flood Indicator’ running on the ArcGIS Online platform. It depicts the soil saturation indicator layer (upper-right), radar precipitation estimates (QPE and QPF)  $\geq 10$  mm/2 h and actual general flash flood risk (bottom left) in MEPs

- riziko přívalové povodně v systému povodí, kde je možné použít filtr pro ta povodí, v nichž by měl být teprve dosažen kulminační průtok.

Aplikace běží v současné době na ArcGIS Online ve dvou verzích. Starší z nich je založena na šabloně Web Application Builder, novější na šabloně Experience Builder, která má pokročilejší možnosti ve vztahu k optimalizaci zobrazení pro různá zařízení (PC, tablety, mobilní telefony).

Indikátor přívalových povodní představuje komplexní systém založený na GIS platformě technologie ESRI. Je tvořen poměrně rozsáhlými skripty v jazyce Python, v nichž je využito mnoha funkcí GIS od interpolací přes mapovou algebru a pokročilých geoprocessingových funkcí (překryvy či průniky vrstev) až po publikaci datových vrstev do webového prostředí. Především je využíváno knihovny „arcpy“, která je licencovaná s produkty ArcGIS Desktop, případně ArcGIS Pro, a knihovny „arccgis“, což je volně dostupná knihovna pro práci s GIS vrstvami publikovanými na webu.

## ZÁVĚR

Tento příspěvek ukazuje na konkrétních příkladech využití technologie GIS při řešení různých úloh v oboru hydrologie v ČHMÚ. Je zřejmé, že GIS již dlouhou dobu neslouží jen k vytváření kartogramů či kartodiagramů, ale jde o komplexní nástroj, který zahrnuje vytváření a správu dat ve víceuživatelských geodatabázích, zpracování a analýzy geoprostorových dat, možnost vytváření uživatelských a na míru šitých aplikací či vytváření skriptů pro řešení složitých úloh.

Ačkoli těžiště práce v GIS pravděpodobně zůstane i v budoucnu v práci s daty v prostředí tzv. těžkého klienta, publikace výsledků se přesouvá od statických map k dynamickým mapám a mapovým aplikacím ve webovém prostředí, jež jsou přístupné z běžného webového prohlížeče. To umožní rozšířit využívání technologií GIS i pro uživatele, kteří běžně s technologií GIS nepracují, a zároveň je to příležitost pro organizace (v tomto případě ČHMÚ) k efektivní publikaci dat a výsledků práce svých zaměstnanců.

## Poznámky

1. Dnes Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad Dobruška (VGHMÚř Dobruška)
2. Myšlena jsou povodí 4. řádu a povodí k dalším důležitým profilům (hráze nádrží, vodoměrné stanice atd.).
3. Byla využita funkce „Aggregate“, pomocí níž byly vypočteny průměrné hodnoty původního rastru 100 × 100 m v rozlišení 1 × 1 km, a následně byla aplikována funkce „Block Statistics“ pro vytvoření rastru průměrných hodnot v okruhu 3 × 3 km při zachování rozlišení rastru 1 × 1 km.
4. Rozdíly mezi automaticky odvozenou údolnicí a údolnicí stanovenou „ručně“ jsou dány jednak rozlišením podkladového DMR, jednak volbou uživatele -hydrologa, jenž při stanovení údolnice zpravidla respektuje skutečný průběh linie vodních toků.

## Literatura

- [1] JANEČEK, M. *Použití metody čísel odtokových křivek CN k navrhování protierozních opatření*. Praha, VÚMOP 1998. s. 1–35.
- [2] Kolektiv pracovníků Hydrologické služby HMÚ. *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky. Díl I. Text*. Josef ZÍTEK (ed.). Praha 1965. 414 s.
- [3] BUDÍK, L., ŠERCL, P., KUKLA, P., LETT, P., PECHA, M. Odvození základních hydrologických údajů za referenční období 1981–2010. In: *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*, 65, 2018, s. 60.
- [4] ŠERCL, P. Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické zprávy*. 2008, 61(2), s. 33–43.
- [5] NOVÁK, P. The Czech Hydrometeorological Institute's Severe Storm Nowcasting System. *Atmospheric Research*. 2007, 83, s. 450–457.
- [6] SWEENEY L. T. *Modernized Areal Flash Flood Guidance*. Office of Hydrology, Silver Spring, Md. NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO 44, Silver Spring, MD, 1992 dostupné z <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/13498>
- [7] ŠERCL, P. Indikátor přívalových povodní. Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách České republiky. In: *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*. 2015, 60, s. 10–28, ISBN 9788087577271.
- [8] ŠERCL, P., PECHA, M., NOVÁK, P., KYZVAROVÁ, H., SVOBODA, V., LEDVINKA, O., DAŇHELKA, J. *Flash Flood Indicator*. Praha, ČHMÚ, předpokládaný rok vydání 2022.
- [9] NOVÁK, P., KYZVAROVÁ, H. Progress in Operational Quantitative Precipitation Estimation in the Czech Republic. In: *Proceedings of 8<sup>th</sup> European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD2014)*, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 1–5 September 2014. Dostupné z: [http://www.pa.op.dlr.de/erad2014/programme/ExtendedAbstracts/067\\_Novak.pdf](http://www.pa.op.dlr.de/erad2014/programme/ExtendedAbstracts/067_Novak.pdf)
- [10] NOVÁK, P., KYZVAROVÁ, H., PECHA, M., ŠERCL, P., SVOBODA, V., LEDVINKA, O. Utilization of Weather Radar Data for the Flash Flood Indicator Application in the Czech Republic. *Remote Sensing*. 2021, 13(16), 3184. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/rs13163184>

## Autoři

**Ing. Petr Šercl, Ph.D.**

✉ [petr.sercl@chmi.cz](mailto:petr.sercl@chmi.cz)

ORCID: 0000-0003-1581-961X

**Ing. Radovan Tyl, Ph.D.**

✉ [radovan.tyl@chmi.cz](mailto:radovan.tyl@chmi.cz)

ORCID: 0000-0002-5270-3248

**RNDr. Pavel Kukla**

✉ [pavel.kukla@chmi.cz](mailto:pavel.kukla@chmi.cz)

**Mgr. Martin Pecha**

✉ [martin.pecha@chmi.cz](mailto:martin.pecha@chmi.cz)

ORCID: 0000-0003-0294-8981

Český hydrometeorologický ústav, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.11.001

## PRACTICAL EXAMPLES OF USE OF GIS IN HYDROLOGY AT THE CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

**ŠERCL, P.; TYL, R.; KUKLA, P.; PECHA, M.**

Czech Hydrometeorological Institute, Prague

**Keywords:** GIS – hydrology – catchment divide – physio-geographical characteristics – flash floods

GIS technology is very widely used in hydrology at CHMI. This is due both to its massive development, particularly in the last two decades, and to the geospatial data used in hydrology for analytical tasks and the results, which are provided to the public. The use of GIS is shown in four examples.

The first example focuses on creating GIS data. One of the basic GIS data for analytical work in hydrology is the polygon layer of the 4<sup>th</sup> order catchment divides. From 2019 onwards, an update or re-creation of these data is taking place, based on DMR 5G and an updated polyline layer of river network, whose geometry and attributes are harmonised in cooperation with Water Board River authorities, national Survey Authority and the T. G. Masaryk Water Research Institute.

The second example concerns the preparation of input data for the derivation of M-day discharges, which are among the basic hydrological data according to ČSN 75 1400. *Hydrological data of surface water*. The example describes the process of deriving a raster layer of long-term annual runoff over the reference period 1981–2010, where the regression relationship between the mean annual runoff height, the mean annual total precipitation and the mean annual size of the potential evapotranspiration in the given period was used.

The third example describes the use of GIS in the processing of design hydrological data according to the above standard ČSN 75 1400, which mainly results in the derivation of M-day discharges or N-year discharges in the specified river profile. For these purposes, a special application has been developed which allows to derive not only the basic physical and geographical characteristics of a catchment from a digital relief model (catchment slope, valley slope length and slope) but also to identify other necessary characteristics, such as the proportion of a certain type of land use in a basin or the average values of other elements in a river basin (rainfall, CN numbers, etc.).

The fourth example deals with the use of GIS in an operational hydrological service, specifically in the development of the so-called flash flood indicator, which determines the level of flash flood risk based on current soil saturation and radar precipitation estimates. In particular, the example mentions the options for scripting and development tools that GIS offers.