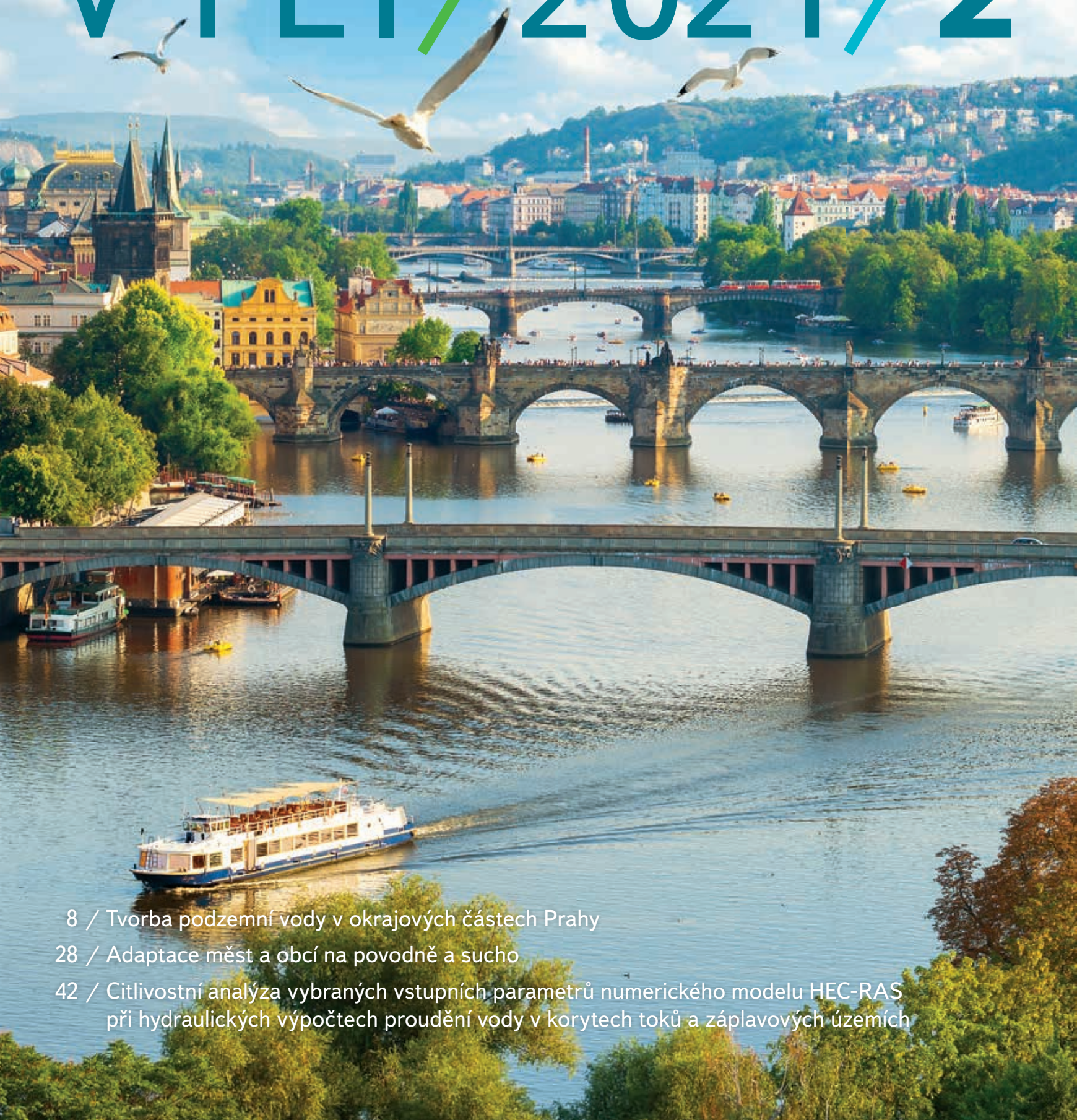


VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2021 / 2



- 8 / Tvorba podzemní vody v okrajových částech Prahy
- 28 / Adaptace měst a obcí na povodně a sucho
- 42 / Citlivostní analýza vybraných vstupních parametrů numerického modelu HEC-RAS při hydraulických výpočtech proudění vody v korytech toků a záplavových územích



Obsah



3 Úvod

4 Projekt CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_040/0000380 „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy“

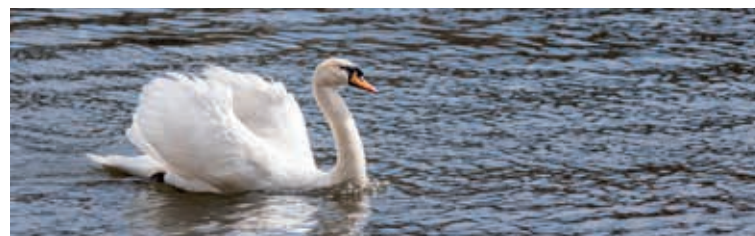
Anna Hrabánková, Josef Vojtěch Datel, Tomáš Hrdinka

34 Predikční model jakosti vody v okolí Prahy

Adam Vízina, Irina Georgieová, Eva Juranová, Jan Hlom

42 Citlivostní analýza vybraných vstupních parametrů numerického modelu HEC-RAS při hydraulických výpočtech proudění vody v korytech toků a záplavových územích

David Duchan, Stanislav Kotaška, Šimon Pospíšilík, Aleš Dráb



8 Tvorba podzemní vody v okrajových částech Prahy

Josef Vojtěch Datel, Anna Hrabánková, Luděk Strouhal

16 Historický a očekávaný vývoj srážkoodtokových charakteristik na okraji Prahy

Luděk Strouhal, Petra Šuhájková, Ondřej Masák

49 Autoři

50 Vývoj citovanosti časopisu VTEI

Libor Ansorge

28 Adaptace měst a obcí na povodně a sucho

Pavel Balvín, Veronika Táboříková, Jiří Procházka, Jan Hlom,
Ludmila Šnejdová

52 Před sty lety se narodila režisérka Olga Růžičková

Arnošt Kult



Vážení čtenáři,

přichází jaro a my bychom si teď správně měli povídat o hydrologickém stavu naší země, o vodě, suchu nebo odpadech, ale stále slyšíme lockdown, testování, očkovací centra a počet hospitalizovaných. Možná jste si také uvědomili, že klimatická změna a její dopady přestaly být hlavním tématem novin a málokdo si ještě vzpomene na důvod, proč nás Greta Thunbergová chtěla vlastně burcovat. Někdo si už ani nevybaví její celé jméno. Jedním z důvodů je určitě i to, že minulý rok byl u nás po šesti letech sucha konečně relativně normálním. Ke konci roku sice ještě zůstaly suché některé oblasti na severu Čech, kde se roční deficit podzemních vod dosud nestačil vyrovnat, ale zima, kdy bylo naštěstí dost sněhu, i tento nedostatek stačila dohnat, a dokonce dává dobrý výhled i do stávajícího roku. Ačkoliv jsme si sněhu nemohli užít tolik, jak bychom si přáli, na druhou stranu zůstaly sjezdovky prázdné, takže náš výzkum dopadů umělého zasněžování získal srovnávací data.

Dnešní číslo je z velké části věnováno projektu OP Praha – pól růstu zadavatele hl. m. Praha a jednomu z jeho čtyř hlavních témat „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy“. Další téma „Čistá voda – zdravé město“ jste mohli zaznamenat v dřívějších číslech VTEI, např. 2/2020 s populárním článkem „Komunální odpadní voda jako diagnostické médium hlavního města Prahy“. Třetí téma „Rekreační potenciál vody v Praze“ zase zaznělo v několika dílech sobotního televizního pořadu „Z metropole“ a se stavem pražských

potoků jste se mohli seznámit ve VTEI 3/2019 nebo v časopise „Šestka“. Poslední hlavní téma „Odpady a předcházení jejich vzniku“ jste pak mohli zachytit v čísle VTEI 6/2019. V každém případě je výzkum vodního režimu a odpadů – ať již ve městě, nebo v jeho okolí – klíčový pro každé město, jež chce svým obyvatelům dlouhodobě poskytovat komfortní podmínky pro bydlení a život, případně vodu využít k hospodářským nebo podnikatelským účelům. Informace, které nyní dostáváte do rukou, mohou být vhodnou inspirací, jaké podklady lze pro řízení moderních měst využít.

Jsem přesvědčen, že při čtení tohoto čísla určitě zapomenete na epidemiologickou situaci a představíte si, co všechno by šlo – či snad bude možné – v létě dělat. Anebo ještě lépe – co půjde v létě prozkoumat.



Ing. Tomáš Urban
ředitel VÚV TGM, v. v. i.

Projekt CZ.07.1.02/0.0/0.0/16_040/0000380 „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy“

ANNA HRABÁNKOVÁ, JOSEF VOJTĚCH DATEL, TOMÁŠ HRDINKA

Rádi bychom vás seznámili se základními údaji o projektu, který byl řešen v období 2018–2020 v rámci operačního programu Praha – pól růstu. Za tímto textem jsou pak uvedeny články zabývající se již specifickými tématy, jež byla v rámci projektu řešena.

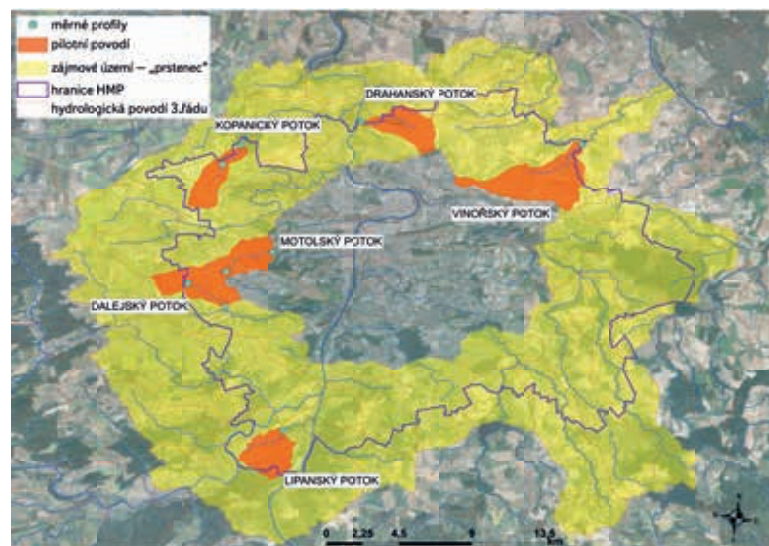
S územním rozvojem hlavního města Prahy dochází ke změnám přírodních podmínek na jejím území. S tím, jak jsou postupně zastavovány dosud volné plochy či zemědělská půda, nastávají změny v hydrologických poměrech jednotlivých toků i podzemních vod. Dochází ke zmenšování přirozených infiltračních ploch, k jinému režimu zasakování vlivem umělých zasakovacích opatření a k řízeným i neřízeným změnám odtokových poměrů. Lze rozlišit dvě situace, které mohou nastat. V převážně zastavěných částech hlavního města jsou hydrogeologické poměry podzemních vod významně ovlivněny odkanalizováním území, a proto zde významnou roli hraje odtok povrchových vod. V méně zastavěných oblastech při vnějších okrajích hlavního města jsou víceméně zachovány původní přírodní odtokové poměry a významnou roli tu hraje nejen povrchový odtok, ale i infiltrace do podzemních vod a podzemní odtok.

Projekt si kladl za cíl posoudit dlouhodobý vliv postupující urbanizace na vodní režim v okrajových částech Prahy, a to v úzké vazbě na probíhající klimatické změny a jejich očekávané dopady v budoucnu. Cílem projektu bylo posoudit účinnost stávajících navržených a již realizovaných adaptačních opatření, případně navržení dalších doplňujících opatření, zavést poloprovoz systému umožňujícího hodnocení okamžitých srážkoodtokových poměrů na malých tocích a vytvoření užitného vzoru – typového projektu takového opatření. Těžiště prací bylo směřováno na území povodí horních částí místních malých toků přítékajících z území Středočeského kraje nebo pramenících v okrajových, málo urbanizovaných částech území Prahy, které často nebyly v centru pozornosti doposud provedených prací, průzkumů a studií vodních poměrů. Projekt zahrnoval také stanovení dlouhodobého časového vývoje a trendů ve změnách hydrologických poměrů (ve formě aplikace hydrologického bilančního modelu a podrobných analýz časových řad hydrologicko-klimatologických parametrů – srážky, teploty, výpar, infiltrace, povrchový a podzemní odtok) a dále i analýzu charakteru a výskytu specifických hydrologických extrémů (sucho, bleskové povodně), která doplňuje a kompletuje informace, jež jsou dostupné ve Studii odtokových poměrů (mapy rozlivu – záplavová území). Zjištěné změny, trendy a časový vývoj hydrologických charakteristik byly vyhodnoceny jednak z pohledu dopadů změn klimatu, jednak z pohledu změn v charakteru a míře zástavby periferních částí Prahy. Problematika byla řešena komplexně, jak z hlediska množství vod, tak i jejich kvality.

Na základě hlavního cíle projektu byl jako zájmové území vymezen prstenec zahrnující území okrajových částí Prahy podél hranic Prahy se Středočeským krajem. Prstenec (obr. 1) byl vytvořen s využitím hranic hydrologických povodí 4. řádu (případně jejich částí), je tedy dobře definován z hlediska odtokových poměrů. Hranice zájmového území jsou stanoveny tak, aby neobsahovaly historická zastavěná území vnitřní Prahy a naopak zahrnovaly území vnější Prahy, kde v posledních desítkách let dochází k největším změnám ve využití krajiny, a s tím souvisejícím změnám odtokových poměrů.

Z hlediska směrů odtoku převažuje na většině zájmového území přítok do Prahy ze Středočeského kraje. Na severovýchodě je ale situace opačná, místní toky odtékají z Prahy do Středočeského kraje (např. Vínovský potok, Mratínský potok), podobně i Kopaninský potok na severozápadě.

Protože jedním z cílů projektu bylo definování přeshraničních vlivů na vodní poměry (hranice Praha – Středočeský kraj), je plocha tzv. prstence vymezena i na relevantní plochy Středočeského kraje. Původní představa byla, že odborné a mapové podklady, které jsou k dispozici pro území Prahy, budou v obdobné formě k dispozici i z území Středočeského kraje. Bohužel se ukázalo, že dostupnost různých podkladů z mimopražských území je mnohem horší, řada informací



Obr. 1. Vymezení zájmového území projektu, tzv. prstenec vnější Prahy (žlutě). Oranžově jsou zvýrazněna vybraná pilotní povodí.

vůbec neexistuje (např. podobné inženýrskogeologické mapy, krajský územní plán, mapy zastavěnosti území apod.). Naštěstí se to netýkalo všech podkladů, např. topografické mapy z různých dob, mapy využití krajiny CORINE, mapy hydroklimatických dat, vodohospodářské mapy aj. byly dostupné pro celé vymezené území. Přesto však byla hlavní pozornost v průběhu řešení projektu – v souladu se zadáním – soustředěna na území uvnitř hranic hlavního města Prahy.

Na základě analýzy přírodních poměrů, zástavby a charakteru území bylo vybráno celkem šest pilotních povodí, jejichž území bylo zpracováno v detailním pohledu tak, aby výsledky zjištěných změn odtokových poměrů vlivem změn využití území (a také očekávaných dopadů klimatických změn) dobře odrážely různý charakter jednotlivých částí území celého prstence. Pro zjištění postupu zástavby a změny využití území byly analyzovány a vzájemně porovnány mapy z let 1860, 1927, 1953, 2003 a 2015. Nižší uvádíme stručnou charakteristiku pilotních území s ukázkou některých map.

KOPANINSKÝ POTOK

Povodí Kopaninského potoka reprezentuje vodní poměry na severozápadě Prahy ovlivněné denudačními zbytky křídových sedimentů (relativně vyšší základní odtok); povodí je silně poznamenáno existencí letiště. Kopaninský potok pramení v dnešní ploše letiště u ulice K letišti, teče generálně na severovýchod přes obec Přední Kopanina a vlévá se již mimo hranice HMP do Únětického potoka u Kopanského mlýna. Průtok je ovlivněn antropogenními zásahy do odtokových poměrů v oblasti letiště, do potoka jsou svedeny splachové vody z výpadekové komunikace Lipská (extrémní průtoky v době přívalových srážek), pod obcí Přední Kopanina jsou do potoka zaústěny předčistěné odpadní vody v místní ČOV, dále po proudu je chatová oblast, kde lze důvodně předpokládat zaústění různě vyčištěných odpadních vod do toku, stejně jako nepodchycené divoké odběry vody pro účely závlivy zahrádek. Na Kopaninském potoce byly instalovány dva vodoměrné profily, jeden monitorující horní část povodí s primárním vlivem letiště a výpadekové komunikace, druhý profil byl pak situován pod obcí Přední Kopanina a jeho úkolem bylo sledovat změny vlivem zástavby této obce. Na obou profilech byly sledovány ve stanovených intervalech průtoky a kvalita vody.

Podstatná změna zástavby v tomto území nastala zhruba v 30. a 40. letech 20. století v souvislosti s výstavbou letiště a ve druhé polovině 20. století zastavěnost kontinuálně postupně rostla (rozvoj letiště, komunikací, obecní zástavba). V posledních 15 letech je situace víceméně ustálená, bez větších změn.



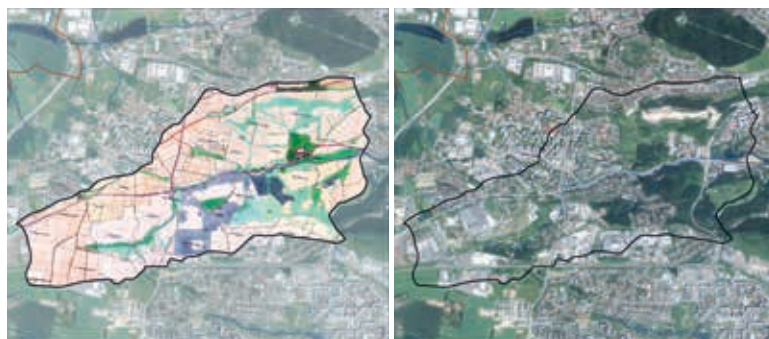
Obr. 2. Kopaninský potok – situace 1860 (vlevo)

Obr. 3. Kopaninský potok – 2003 (vpravo)

MOTOLSKÝ POTOK

Povodí Motolského potoka reprezentuje poměry západní části Prahy ovlivněné denudačními zbytky křídových sedimentů (relativně vyšší základní odtok), povodí je velmi silně antropogenně pozměněno v uplynulých 100 letech mohutnou výstavbou, včetně posledních let (bytová zástavba, rozvoj služeb, obchodní a průmyslová centra apod.).

Potok pramení na úpatí velmi dobře propustných cenomanských pískovců, ve kterých se dobře akumulují srážkové vody, nedaleko stanice metra Zličín. Údolí prameně oblasti Motolského potoka doznalo v posledních letech mnoha úprav. Nad severním svahem údolí, kde byly postaveny objekty Tatrov Zličín, byly změněny odtokové poměry povrchových vod. Severní svah údolí byl upraven přísypem zeminy. Jižní svah údolí prameně oblasti Motolského potoka je vymezen skalním útvarem výchozů křídových hornin. Území je zarostlé hájem uměle vysázených topolů, jež mají v současnosti charakter lužního lesa. Podél skalní stěny jsou jezírka s mokřadní vegetací, dotované prameny na rozhraní perucko-rokycanských a bělohorských vrstev.



Obr. 4. Motolský potok 1860 (vlevo)

Obr. 5. Motolský potok 2015 (vpravo)

Motolský potok se vlévá do Vltavy u Palackého mostu v říčním km 54,42. Z celkové délky 9 939 m připadá na dolní, celistvě zakrytý úsek 4 251 m a horní, částečně zakrytý úsek 5 688 m.

Jako pilotní povodí byla zvolena horní část povodí Motolského potoka, kterou je možné charakterizovat významnými změnami využití území v posledních desetiletích. Jde o část povodí s uzavíracím profilem v Zahradníčkově ulici pod třemi motolskými rybníky. Dalšími nádržemi na toku jsou Pivovarský a Mlýnský rybník, suchá nádrž Tatra Zličín a několik drobnějších akumulací. Na toku byly zvoleny a zkonstruovány dva vodoměrné profily: jeden na horním toku v prameně oblasti nad suchou nádrží Tatra Zličín (za účelem monitorování prameně oblasti silně ovlivněné výstavbou velkoplošných průmyslových, skladových a obchodních objektů) a druhý v místě uzavíracího profilu pod motolskými rybníky (ovlivněný městskou zástavbou klasičtějšího charakteru v oblasti Řep a Motol). Na obou profilech se sledovaly ve stanovených intervalech průtoky a kvalita vody.

Současný stav zástavby nejlépe odráží ortofotomapa z roku 2015, viz obr. 5. Je z ní patrná masivní průmyslová výstavba v horní a jižní části povodí z posledních 30 let, sídlištní zástavba ze 70. let v severní střední části (sídlíště Řepy) a ve východní části (areál nemocnice Motol) a doposud převažující volné plochy v dolní části pilotního povodí. Nejstarší dostupná mapa z roku 1860 dokumentuje, že tehdy existovala pouze osada Motol a několik jednotlivých stavení. V 19. století tak mělo území povodí Motolského potoka jednoznačně přírodně-zemědělský charakter se zanedbatelným antropogenním ovlivněním.

DALEJSKÝ POTOK

Povodí Dalejského potoka je charakterizováno významnými zájmy ochrany přírody (Prokopské údolí, geologický charakter utvářen svrchnopaleozoickými vápenci), v horních částech povodí však od 60. let probíhala masivní výstavba (velká sídliště Jihozápadního Města), která pokračuje až dodnes. Navíc významná část horního povodí se nachází mimo hranice Prahy, je zde tedy možné dobře zkoumat přeshraniční vlivy na území metropole.

Dalejský potok pramení v jižní části obce Chrášťany, za hranicemi HMP. Na území HMP vtéká za retenční nádrží Třebonice. Potok teče generelně východním směrem do Prokopského údolí (chráněné území přírody). Do Vltavy se potok vlévá u Zlíchova pod Barrandovským mostem

Mimo hranice Prahy spadají do povodí obce Ořech, Zbuzany a Jinočany. Z městských částí jsou součástí povodí Holyně, Jinočnice, Stodůlky, hranice povodí se dotýkají Slivence a Barrandova.

V povodí je vybudováno několik retenčních nádrží, jež slouží k zachycení velkých vod a k transformaci a zploštění povodňových průtoků (N1 Stodůlky, nádrž Nepomucký a nádrž Asuán na Prokopském potoce, nádrž Třebonice na Dalejském potoce k zachycení vod z dálnice, nádrž Ořech na Ořešském potoce).

Jako pilotní povodí byla zvolena horní část povodí Dalejského potoka do soutoku s Jinočanským potokem v Řeporyjích. Tato část povodí byla vyhodnocena jako území s největšími potenciálními změnami využití území v posledních desítkách let. Na Dalejském potoce byly situovány dva vodoměrné profily pro doplňující hydrometrická měření a vzorkování vod – jeden nad obcí Třebonice v místě vtoku vod na území HMP a jeden na okraji obce Řeporyje, který měl za úkol monitorovat vliv území s pokračující masivní zástavbou (Zličín a Stodůlky). Na obou profilech se sledovaly ve stanovených intervalech průtoky a kvalita vody.



Obr. 6. Dalejský potok 1860 (vlevo)

Obr. 7. Dalejský potok 2015 (vpravo)

Pilotní povodí Dalejského potoka se velmi pomalu a postupně vyvíjelo až do druhé poloviny 20. století a zásadní změny nastaly až v poslední čtvrtině 20. století (stavba sídlišť, výstavba výpadových komunikací, průmyslová a obchodní zástavba na přelomu století). A neméně intenzivní výstavbu lze zde očekávat i do blízké budoucnosti. Současnou situaci zobrazuje ortofoto mapa z roku 2015 na obr. 7. Ta nám ukazuje, že vymezená horní část povodí Dalejského potoka zahrnuje mimo Prahu obec Chrášťany, v rámci Prahy část Řeporyjí a okrajové části sídliště Stodůlky. Do území také částečně zasahuje průmyslová a obchodní zóna na Zličíně na severu území. Východní a severovýchodní část území obsahuje velké rozvojové plochy určené pro další bytovou a jinou výstavbu, šlo tedy o povodí, jež bylo možné využít pro simulaci očekávaných změn odtokových poměrů v důsledku pokračující masivní zástavby. Na obr. 6 je zobrazena situace území z roku 1860, z mapy jsou vidět jen historická centra osad Chrášťany, Třebonice, Chabry a Řeporyje, celé povodí má přírodně-zemědělský charakter.

LIPANSKÝ POTOK

Reprezentuje odtokové poměry soutokového území Vltavy a Berounky v jižní části Prahy. Geologicky jde o prostředí kvartérních fluvialních štěrkopískových náplavů. Jde o území s relativně malými dopady zástavby na využití krajiny, případné změny odtokových poměrů (po eliminaci vlivů velkých toků) tak bude možné interpretovat jako dopady klimatických změn. Významnou aktivitou v posledních letech je velké golfové hřiště, což se může projevit na kvalitě vody. Lipanský potok pramení u ulice Za Hrází západně od Lipenců a protéká směrem na severovýchod podél obce Lipence, skrze velké golfové hřiště a podél Zbraslavi, kde se vlévá do mrtvého ramene Berounky Krňov. Potok protéká mokřinatým územím s vysokou hladinou podzemní vody charakteru lužních lesů, v úseku golfového hřiště je terén upraven. Na toku je několik drobných bezejmenných vodních nádrží. Tok je bez velkého spádu, meandrující, odvodňující rovinaté území soutokové oblasti Vltavy a Berounky. Pilotní území bylo zvoleno z důvodu specifických geologických poměrů odlišných od ostatních pilotních povodí (fluvialní štěrkopískové náplavy), dalším specifickým je vliv golfového hřiště na odtokové poměry. Na Lipanském potoce byl instalován jeden vodoměrný profil při ulici K Radotínu, na výtoku potoka z golfového hřiště, aby bylo možné přímo sledovat možný vliv této aktivity na odtokové poměry a kvalitu vody. Na profilu se sledovaly ve stanovených intervalech průtoky a kvalita vody.



Obr. 8. Lipanský potok 1860 (vlevo)

Obr. 9. Lipanský potok 2015 (vpravo)

Změny zástavby v daném území nejsou významné. Celkově lze tedy uzavřít, že pilotní povodí Lipanského potoka se velmi pomalu a postupně vyvíjelo až do druhé poloviny 20. století a určité změny nastaly až v poslední čtvrtině 20. století. Rozvoj výstavby lze zde očekávat do blízké budoucnosti.

DRAHANSKÝ POTOK

Povodí Dražanského potoka na severu Prahy bylo vybráno s ohledem na doposud zachovaný převažující volný a přírodní charakter území (pole, lesy, louky) a relativně malou zastavěnost, v níž převažuje rozvolněná zástavba, hlavně rekreační objekty. Geologicky je území tvořeno břidlicemi, prachovci, křemenci a drobnými paleozoického stáří, s denudačními zbytky křídových pískovců.

Dražanský potok pramení v obci Dolní Chabry (cca 305 m n. m.), v požární nádrží v horní části obce, odkud teče generelně k západu a rychle klesá do údolí Vltavy. Potok je pravostranným přítokem Vltavy. Podélný profil toku je poměrně strmý, sklon je 3,3 %. Mělké údolí toku na horním toku v obci Dolní Chabry navazuje v západní části na úzkou a strmou Dražanskou roklí. Ta končí po 1,5 km zaústěním do Vltavy ve 170 m n. m. Na horním toku je několik menších nádrží, včetně retenční nádrže a výpusti předčištěné odpadní vody z místní ČOV. Na Dražanském potoce byl instalován jeden vodoměrný profil, blízko ústí potoka do Vltavy. Na profilu se sledují ve stanovených intervalech průtoky a kvalita vody.



Obr. 10. Drahanský potok 1860 (vlevo)

Obr. 11. Drahanský potok 2015 (vpravo)

Povodí Drahanského potoka můžeme charakterizovat jako území s nejmenšími změnami zástavby za hodnocené období 1860–2015. Považujeme ho tedy za referenční území pro hodnocení projevů klimatické změny, očištěné od urbánních vlivů.

Celkově lze shrnout, že území povodí Drahanského potoka neprošlo žádnou zásadní změnou za posledních 160 let, jen se pomalu a postupně mírně zvyšovala zastavěnost území, jež ovšem nikdy nepřekročila míru, která by se mohla významněji projevit v omezení infiltrace srážkových vod. Podle dostupných informací ani do blízké budoucnosti není plánována žádná masivní výstavba v daném území.

VINOŘSKÝ POTOK

Ukazuje odtokové poměry ve východní části Prahy, specifickým je jeho odtok z Prahy do Středočeského kraje (přítok Labe). Základní odtok je determinován zvětšujícím se množstvím denudačních zbytků křídových pískovců. Povodí je poznamenáno významnou zástavbou v různých historických obdobích (letišť Kbely), včetně mohutného dnešního rozvoje (katastry Kbel, Satalic, Vinoře), zajímavostí je zde i golfové hřiště.

Vinořský potok vyvěrá pramenem Barborka ve Kbelích (výtok z nádrže u Žacléřské ulice) a teče severovýchodním směrem z Kbel do Vinoře, kde po soutoku s Ctěnickým potokem pokračuje již mimo hranice HMP a pokračuje do Brandýsa nad Labem, kde se vlévá do Labe. Jako modelové pilotní povodí byla zvolena horní část potoka do profilu k soutoku s Ctěnickým potokem, který je zároveň profilem na hranici HMP, kde potok opouští Prahu a teče do Středočeského kraje. Pilotní povodí tak zahrnuje část celého povodí Vinořského potoka, jež spadá na území HMP.

Na toku je v pilotním povodí několik menších vodních nádrží (Barborka, Biologický rybník, U Kamenného stolu, rybník u Živanické ulice, Malá Obůrka, Velká Obůrka, Cukrovarský rybník), pod Kbely je do potoka zaústěna předčištěná odpadní voda z místní ČOV, k jejímuž dočištění slouží ještě retenční nádrž Biologický rybník. V pilotním území byl zvolen jeden vodoměrný profil blízko opuštění potoka území HMP, za výtokem z Cukrovarského rybníku ve Vinoři. Profil byl vhodně zvolen tak, aby odrážel veškeré změny a dopady, které nastanou v části povodí Vinořského potoka, spadající na území HMP. Na profilu se sledovaly ve stanovených intervalech průtoky a kvalita vody.

Specifickým fenoménem daného povodí je existence letiště Kbely, z jehož plochy se voda odvodňuje na severovýchod, právě do Vinořského potoka. Dalším specifickým je velké golfové hřiště mezi Kbely a Vinoří. Současný stav můžeme charakterizovat jako výskyt klasické rozptýlené okrajové městské zástavby v částech Kbely, Satalice, Vinoř. V části zástavby Vinoře podél potoka převažují průmyslové a dílenské areály. Ostatní pozemky v povodí Vinořského potoka jsou vesměs zemědělsky využívány, jižně od Vinoře je zalesněné území přírodní rezervace Vinořský park. Nejstarší dostupná situace z roku 1860 ukazuje



Obr. 12. Vnořský potok 1860 (vlevo)

Obr. 13. Vnořský potok 2015 (vpravo)

jen zárodky osad Kbely a Satalice, jedinou větší obcí v území je Vinoř. Celkově lze shrnout, že povodí Vnořského potoka prošlo velkou změnou ve 20. a 30. letech 20. století v souvislosti s výstavbou letiště Kbely. To jistě podnítilo i další zástavbu a rozšiřování blízkých obcí, hlavně Kbely. Dalším významným bodem bylo období 60. a 70. let, kdy vznikla blízká velká sídliště Střížkov a Prosek. V posledním období se postupně rozšiřuje výstavba kolem hlavních center (Kbely, Satalice, Vinoř), nejde však o náhlý, spíše postupný a pomalý vývoj. Do posledních desetiletí se také datuje vznik golfového hřiště mezi Kbely a Vinoří.

Závěrem lze konstatovat, že vybraná pilotní povodí reprezentují různé přírodní a geologické poměry i různý způsob a dynamiku využití krajiny v průběhu let, a byla tak dobrým základem pro následné zobecnění získaných dat. Projekt má několik hlavních výsledků – impaktové články, publikace, výukový modul, mapovou aplikaci a další. Pro zájemce jsou výsledky dostupné na heis.vuv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni. V tomto čísle pak za tímto textem následují ještě čtyři odborné články, které detailně přibližují problematiku, jež byla v rámci projektu také řešena.

Autoři

Ing. Anna Hrabánková

✉ anna.hrabankova@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-1631-0700

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.

✉ josef.datel@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-1451-0135

RNDr. Tomáš Hrdinka, Ph.D.

✉ tomas.hrdinka@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-5577-794X

DOI: 10.46555/VTEI.2021.01.002

Tvorba podzemní vody v okrajových částech Prahy

JOSEF VOJTĚCH DATEL, ANNA HRABÁNKOVÁ, LUDĚK STROUHAL

Klíčová slova: podzemní voda – infiltrace – Praha – urbanizace

SOUHRN

Podzemní voda je nedílnou součástí hydrosféry a hydrologického cyklu ve zdravé krajině, která je schopna lépe odolávat hydrologickým extrémům, jako jsou povodně nebo dlouhodobé sucho. Hlavním zdrojem podzemní vody jsou srážky. V urbanizovaných oblastech je řada překážek pro infiltraci srážek – městská a průmyslová zástavba a také zvětšující se plochy s nepropustným povrchem. Cílem článku je upozornit na důležitost podzemní vody i v městské krajině a na možná opatření k podpoře infiltrace srážek.

Výzkum proběhl v několika pilotních povodích vnější Prahy, kde dochází k intenzivnímu rozšiřování zástavby, což je doprovázeno nižší infiltrací srážek ve srovnání s volnou krajinou. Na základě hodnocení pedologických, geologických a hydrogeologických poměrů byla vypracována metodika hodnocení vhodnosti území k infiltraci. Na jejím základě vznikly dva druhy map: mapa infiltračního potenciálu hodnotící především propustnost půdního a horninového prostředí a dále mapa infiltrační kapacity, navíc zdůrazňující velikost volného zásobního objemu pro vsakovanou vodu. Mapy jsou k dispozici pro prohlížení v mapové aplikaci na stránkách projektu heis.vuvv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni.

Pracovat s těmito mapami je vhodné v kombinaci s aktuální mapou zástavby nebo mapou komplexního využití krajiny, a to za účelem volby optimálního opatření k podpoře infiltrace srážek do podzemních vod v dané oblasti. Tato opatření zahrnují ochranu ploch se zvýšenou vhodností pro infiltraci srážek před zástavbou, omezování odvodu srážek dešťovou kanalizací, diferencovanou podporu vsakování srážkových vod (např. ze střech) podle infiltrační vhodnosti různých ploch apod.

ÚVOD

Podzemní voda je nedílnou součástí hydrosféry i celého životního prostředí. Je velmi důležitým zdrojem kvalitní pitné vody a závisí na ní i cenné vodní a na vodu vázané ekosystémy. Množství a kvalita podzemní vody je v současné době ovlivňována změnami klimatických poměrů a různými zásahy člověka do přírodních podmínek území. Jedním ze znaků zdravé krajiny je i dobře fungující hydrologický cyklus a s ním spojená odolnost vůči různým klimatickým extrémům (období sucha, povodně). Schopnost krajiny k infiltraci významné části srážek do podzemních vod snižuje rizika a dopady povodňových situací a dostatek podzemní vody v krajině významně pomáhá překlenout období sucha.

Urbanizovaná území – ať už ve formě městské, nebo průmyslové zástavby – se vesměs vyznačují negativními dopady na celý hydrologický cyklus a zvláště na množství a kvalitu podzemní vody. Budovy a zpevněné plochy omezují vsak srážek pod povrch terénu, podzemní stavby a inženýrské sítě uměle odvodňují

území a snižují hladinu podzemní vody, v urbanizovaném území je množství potenciálních zdrojů znečištění, jež mají dopad na kvalitu a čistotu povrchových i podzemních vod [1].

Postupně se zlepšující péče o povrchové vody ve městě (různé projekty revitalizace a renaturace toků a nádrží, omezování úniků znečišťujících látek) přirozeně přispívají i ke zlepšování stavu podzemních vod. Vedle toho je však třeba věnovat pozornost některým speciálním aspektům, typickým jen pro péči o podzemní vody, jako jsou např. zvýšená podpora infiltrace srážek ve vhodných místech, kde se vyskytují propustné horniny, nebo péče o prameny a studánky.

Cílem článku je – na základě výzkumu realizovaného v oblasti vnější Prahy, kde dochází k intenzivní zástavbě dosud volných ploch – upozornit na tyto aspekty výskytu a tvorby podzemní vody ve městech a podpořit procesy, které i v zastavěné krajině mohou přispět k lepší funkčnosti hydrologického cyklu a omezení negativních dopadů spojených s hydrologickými extrémami.

Výskyt podzemní vody a její tvorba ve formě infiltrace srážek závisí ve významné míře na vyskytujících se horninách v dané oblasti (vedle půdních poměrů, srážek, dalších klimatických parametrů a antropogenního využití území). Znalosti geologických poměrů jsou proto předpokladem hodnocení vhodnosti krajiny k infiltraci.

GEOLOGICKÉ POMĚRY VNĚJŠÍ PRAHY

Geologický vývoj v oblasti hlavního města Prahy probíhá téměř tři čtvrtě miliardy let – od starohor až po současnost – a tomu odpovídá i velká pestrost horninového podloží. Území leží ve střední části Českého masivu a spadá do středočeské oblasti (bohémikum). Nejstarší geologický podklad území Prahy tvoří horniny svrchního proterozoika a paleozoika (ordovik). Litologicky jde o tmavé břidlice s polohami drob, slepenců a silicitů, v ordovických břidlicích se vyskytují i polohy křemenců a pískovců. Mladší paleozoikum je zastoupeno silurem a devonem. Od jihozápadu přes Radotín a Slivenec až do Hlubočep a Prokopského údolí zasahují silurské a devonské vápence (v nichž najdeme i vrstvy břidlic), jež se dostávají až na pravý břeh Vltavy v Podolí a Braníku. Horniny jsou tektonicky postiženy (vrásnění, zlomy, přesmyky) a protunty četnými tělesy vulkanitů. [2]

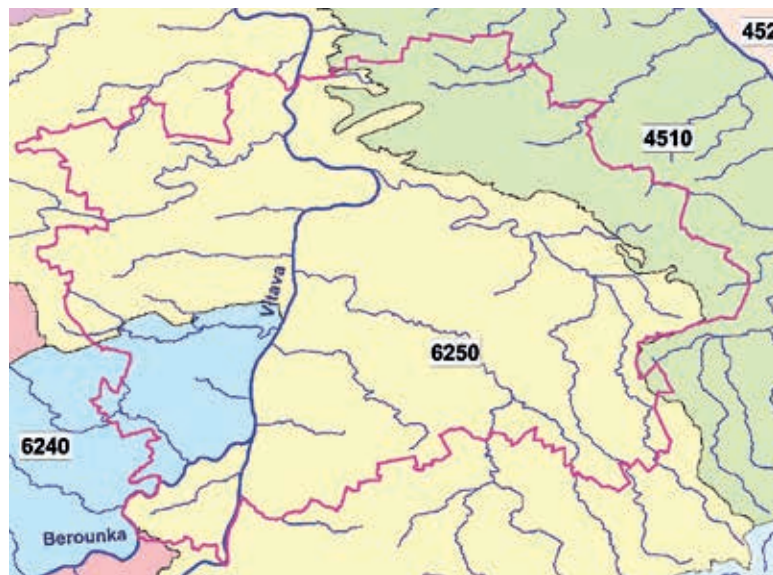
Tento starý podklad je částečně překryt pokryvnými útvary svrchní křídy, terciéru a kvartéru. Od severu do Prahy zasahuje okraj české křídové pánve. Dnešní rozšíření svrchnokřídových sedimentů na území Prahy je výsledkem terciérní a kvartérní denudace (eroze a odnosu dřív usazených hornin). Proto se v Praze zachovaly jen nejstarší svrchnokřídové horniny pískovce cenomanu a v jejich nadloží převažující slínovce (opuky) spodního a středního turonu. Najdeme je na plošinách tvořících nejvyšší místa Prahy (Letňany, Prosek, Bílá hora, Vidoule, Petřín aj.).

Sedimenty mladšího terciéru jsou místy zastoupeny říčními sedimenty (písky, štěrky, jíly). Odkazují na zcela jinou říční síť, než máme dnes. Najdeme je vysoko nad dnešními údolními, např. u Bílé hory nebo pod Ládvím. Kvartér, tedy nejmladší geologické období, je zastoupen sedimenty většinou říčního (fluviálního) původu, které vytvářejí štěrkopískové výplně údolí kolem řek. Ve vyšších částech území jsou zachovány ve formě denudačních zbytků vyšších (starších) teras, které jsou dokladem intenzivního zahlubování toků během kvartéru, kdy vznikla dnešní krajina se zahloubenými údolními vodními toků (určující drenážní bázi je údolí Vltavy) a vyvýšenými plošinami, jež tvoří důležitou část území vnější Prahy. Nejvýznamnější říční uloženiny souvisejí s největšími toky na území Prahy (Vltava, Berounka), mocnost sedimentů údolní terasy činí až 10–12 m. Fluviální sedimenty kolem menších toků mají menší mocnost, jsou špatně vytříbené a obsahují více jílovité složky. Činností větru místy vznikly i polohy spraší, najdeme je hlavně v západní části Prahy. Velký lokální význam mohou mít v Praze i antropogenní uloženiny (navážky, skládky), které souvisejí s intenzivním využíváním území člověkem. [3]

Nejméně propustné jsou svrchnoproterozoické a paleozoické břidlice, ty jsou pro podzemní vodu propustné jen po málo četných puklinách. Jde o prostředí nepříznivé pro infiltraci srážek a povrchové vody. Relativně více puklin vhodných pro proudění podzemní vody najdeme v ordovických pískovcích a křemencích, které tvoří v převládajících břidlicích různé velké polohy. V místech svého výskytu tak vytvářejí trochu příznivější prostředí pro infiltraci. V paleozoických vápencích se vyskytuje puklinově-krasová propustnost; protékající voda vápenec rozpouští, horniny jsou dobře krasově propustné. Jde o příznivé prostředí z hlediska infiltrace. Svrchnokřídové pískovce mají velkou průlinovost až průlinově-puklinovou pórovitost a velmi dobrou propustnost, jsou prostředím velmi vhodným pro infiltraci. V jejich nadloží se vyskytují turoské slínovce a s ohledem na vysokou míru rozvolnění a zvětrání bývají při povrchu silně rozpukané, jejich infiltrační potenciál proto také bývá dost dobrý. Štěrkopískové sedimenty fluviálního původu (vytvářející údolní i vyšší terasy) jsou obvykle velmi dobře průlinově propustné horniny, jež vytvářejí velmi vhodné prostředí pro infiltraci. Jejich propustnost se liší podle zrnitostního složení a podílu jílových částic, která je vyšší u malých toků. Lokálně je infiltrace do štěrkopískových sedimentů ztížena méně propustnými vrstvami při povrchu – náplavové hlíny, sprašové vrstvy apod. Při technických řešeních k podpoře infiltrace je důležité vsakovací prvky umísťovat do hloubky až pod tyto méně propustné polohy. [4] [5]

Podle hydrogeologických poměrů se vymezují oblasti s podobným charakterem výskytu a proudění podzemní vody. ČR byla rozdělena do 152 oblastí, jež se nazývají hydrogeologické rajony [4]. Používají se pro výpočty hydrogeologické bilance a velikosti zdrojů podzemní vody. Na území Prahy zasahují celkem tři hydrogeologické rajony (obr. 1), přičemž podzemní voda v povrchových útvarech (fluviální náplavy Vltavy, Berounky a dalších toků) je brána jako součást těchto hydrogeologických rajonů, i když tato říční voda má částečně samostatný režim. Hydrogeologický rajon 6250 s názvem „Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy“ zahrnuje většinu plochy Prahy s málo propustnými břidlicemi a má nejmenší přírodní zdroje podzemní vody (cca 0,5 l/s/km² [5]). Na severovýchod zasahuje rajon 4510 „Křída severně od Prahy“ s pískovci a slínovci okraje české křídové pánve (přírodní zdroje ve výši kolem 1 l/s/km² [5]). Na jihozápadě je pak rajon 6240 „Svrchní silur a devon Barrandienu“ s vápenci, jenž má největší přírodní zdroje podzemní vody v Praze (2–3 l/s/km² [5]).

Zástavba a velká plocha nepropustných povrchů v městském prostředí významně omezují tvorbu přírodních zdrojů podzemní vody; podle intenzity urbanizace se výše uvedené hodnoty přírodních zdrojů dále zmenšují, např. ve vnitřní Praze na méně než polovinu uváděných hodnot, platných pro volnou krajinu. Bylo by velmi přínosné, kdyby se v oblasti vnější Prahy podařilo přijmout taková opatření k podpoře infiltrace, aby se přírodní zdroje v území s intenzivně pokračující urbanizací udržely blízko svých původních hodnot.



Obr. 1. Hydrogeologické rajony zasahující na území Prahy. Hranice Prahy je zobrazena červenou linií [6]

Fig. 1. Hydrogeological zones in the territory of Prague. The border of Prague is shown by a red line [6]

Pro infiltraci jsou nejvhodnějším prostředím vápenec, pískovce a štěrkopísky kolem vodních toků, naopak nejméně vhodným prostředím jsou svrchnoproterozoické a paleozoické břidlice. Vysoká infiltrační schopnost vápenců je doprovázena jejich vysokou zranitelností vůči znečištění. Kontaminant společně s infiltrující vodou může velmi rychle proniknout do podzemí, umělá podpora infiltrace zde proto musí brát v úvahu i tato zvýšená rizika. [1] [7]

INFILTRAČNÍ VLASTNOSTI PŮD

Pro infiltraci srážek je důležitá i funkce půdního pokryvu, tedy do jaké míry pomáhá, nebo naopak znesnadňuje infiltraci srážek do podzemní vody. K hodnocení půd byla použita klasifikace tzv. hydrologických skupin půd [8]. Půdy podle svých hydrologických vlastností rozděluje do čtyř skupin A, B, C, D na základě minimální rychlosti infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém syčení. Infiltrační schopností půd je schopnost povrchu půdy pohlcovat vodu. Z hlediska vhodnosti pro infiltraci platí, že čím vyšší je infiltrační schopnost půdy, tím vyšší je infiltrace srážek do podzemní vody. Je to hodnocení odlišné od zemědělského hodnocení půd, protože v půdách s nejvyšší infiltrační schopností hrozí nebezpečí rychlého vysoušení půd a také nežádoucího transportu živin do hlubšího podloží a do podzemních vod.

Infiltrační schopnost půd je syntetický parametr, který je v čase proměnný, jelikož na něj působí řada vlivů – klimatické poměry (srážky, teplota), fyzikální vlastnosti půd (zrnitost, struktura, pórovitost, složení), vodní poměry půd (vlhkost, hydraulická vodivost, vysoká hladina podzemní vody) a dále oživení půdy související s využitím území (rostlinný pokryv, hloubka a charakter kořenového systému, výskyt půdních živočichů aj.). Hydrologické skupiny půd charakterizují půdu s ohledem na dobu hodnocení a použité měřítka.

Skupina A zahrnuje půdy s vysokou rychlostí infiltrace (>0,20 mm/min) – hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písčité půdy na pískovcích, píscích a štěrcích. Do skupiny B patří půdy se střední rychlostí infiltrace (0,10 až 0,20 mm/min) – půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité. Skupina C obsahuje půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,05 až 0,10 mm/min) – půdy jílovitohlinité a půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu.

A skupina D zahrnuje půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (<0,05 mm/min) – jílovité půdy a jíly, zamokřené půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody či mělké půdy s nepropustným podložím těsně při povrchu. [8] [9]

Z hlediska vhodnosti k infiltraci jsou nejvhodnější hydrologické skupiny půd A a B, skupina C je méně vhodná a skupina D vymezuje území nevhodné pro infiltraci z povrchu.

METODICKÝ PŘÍSTUP K HODNOCENÍ VHODNOSTI URBANIZOVANÉHO ÚZEMÍ K INFILTRACI

Při definování parametrů, jež jsou určující pro hodnocení vhodnosti území k infiltraci, bylo zjištěno, že jsou velmi podobné parametrům používaným pro stanovení zranitelnosti podzemních vod z hlediska průniku znečištění z povrchu do podzemní vody. Jejich význam je však třeba většinou chápat inverzně – území označené jako nejvíce zranitelné je zároveň velmi vhodné pro infiltraci a naopak, území málo zranitelné je obvykle i nevhodné k infiltraci vody pod povrch území. Úspěšně tedy bylo možné navázat na provedené výzkumy týkající se zranitelnosti podzemních vod vůči znečištění. Specifickým souhrnným parametrem v urbanizovaném prostředí je pak informace o intenzitě a charakteru zástavby, jak je uvedeno dále.

Je třeba také upozornit na skutečnost, že jak zranitelnost, tak vhodnost k infiltraci se hodnotí v rámci zájmového území v relativních kategoriích. To je dáno účelem těchto hodnocení – definovat ty oblasti, kde je vhodnost – a tím i efektivnost opatření k podpoře infiltrace – relativně největší a kde je naopak nejmenší; a podobně je to i se zranitelností. Tyto informace lze pak účinně používat v řízeném využívání území, v omezování nepropustných ploch v zónách s vysokou infiltrací, ve větší podpoře zasakovacích prvků v oblastech s lepšími infiltračními parametry, v optimálním umístění environmentálně rizikových provozů, ve směřování zástavby do území s menšími dopady na hydrologický cyklus krajiny atd. Mapy zranitelnosti podzemních vod i mapy vhodnosti plochy k infiltraci tak území rozdělují do několika tříd, které jsou syntetickým pohledem při započtení relevantních hodnocených parametrů.

VYUŽITÍ METOD HODNOCENÍ ZRANITELNOSTI PODZEMNÍ VODY

Pojem zranitelnosti podzemních vod se poprvé objevuje již u Margata [10], jenž v rámci konstrukce map ochrany podzemní vody vymezil tzv. zranitelná území, kde kontaminace snadno pronikne z povrchu do podzemní vody. V jeho pojetí zranitelnost podzemních vod úzce souvisí s existencí přirozených ochranných vrstev mezi povrchem území a hladinou podzemní vody. Přirozená ochrana kolektorů podzemních vod je tak tvořena nadložními horninovými a půdními vrstvami (krycí ochranné vrstvy) a jejich vlastnostmi. Podle charakteru těchto vrstev, které určují, jak snadno a jak rychle kontaminující látka z povrchu pronikne do podzemní vody, se hodnotí riziko zranitelnosti podzemní vody. Teoretické aspekty tohoto přístupu byly dále rozpracovány v průběhu 70. a 80. let v řadě publikací; zásadní shrnutí obsahuje jednak manuál US National Research Council [11] a pak práce Vrby a Zaporozce [12], jež shrnuje výsledky práce Komise pro ochranu podzemních vod Mezinárodní asociace hydrogeologů (IAH), především různé příklady z praxe, a také obsahuje doporučenou legendu pro mapy zranitelnosti podzemních vod.

Při hodnocení zranitelnosti hraje významnou roli měřítko zpracování a měřítko dostupných podkladů. Zatímco detailní hodnocení zranitelnosti na malé ploše předpokládá znalost preferenčních cest průsaku a proudění (půdní edafon, pukliny, propustné vrstvy a horizonty apod.), při regionálním

hodnocení jsou důležité zprůměrované hodnoty hydraulických parametrů a litologických popisů a záleží na odborné erudici zpracovatelů mapy zranitelnosti, do jaké míry považují za potřebné se věnovat i identifikaci heterogenit různého původu, měřítka a významu, a jejich zahrnutí do výstupů.

Nejrozšířenější metodu ve světě, používanou k hodnocení zranitelnosti podzemních vod, vyvinul pro US EPA Aller et al. [13] [14], který definoval sedm hlavních parametrů zranitelnosti podzemních vod:

- D hloubka hladiny podzemní vody (depth to water)
- R dotace podzemní vody ze srážek (recharge)
- A charakter saturované zóny (aquifer media)
- S charakter půdního pokryvu (soil media)
- T morfologie terénu (topography)
- I charakter nesaturované zóny (impact of vadose zone)
- C hydraulická vodivost (conductivity)

Jejich význam se hodnotí ve škále od 1 do 10, kdy 10 znamená nejvyšší zranitelnost. Každý parametr má navíc svoji váhu v hodnotách od 1 do 5.

Během let se vytvořila v různých zemích řada modifikací modelu DRASTIC, nastavení parametrů a volba jejich váhy se může lišit v závislosti na místních podmínkách (různé hydrogeologické, klimatické, litologické a pedologické poměry). V České republice byla tímto přístupem v roce 2012 vytvořena syntetická mapa zranitelnosti podzemních vod ČR v měřítku 1 : 50 000 [15]. Je také vhodné uvést, že aplikace modelu DRASTIC převažuje do měřítek 1 : 50 000 a menších, pro detailní hodnocení menších území je většinou třeba větší modifikace a úpravy celého systému (významnější dopad heterogenit všeho druhu).

Vrba a Zaporozec [12] upozorňují na zpracovatelskou složitost celého systému a navrhli ho zjednodušit definováním čtyř hlavních atributů ovlivňujících zranitelnost podzemních vod. Jsou jimi půda, nesaturovaná zóna, saturovaná zóna a dotace kolektorů; za vedlejší atributy označují topografii (morfologie terénu), podloží kolektorů a interakci podzemní a povrchové vody.

VHODNOST ZASTAVĚNÉHO ÚZEMÍ K INFILTRACI

V ČR poprvé aplikoval metodický přístup z map zranitelnosti na vhodnost území k infiltraci Hrkal [16], jenž v roce 2010 zpracoval celé území ČR, ale jen ve velmi přehledném měřítku 1 : 500 000 a bez zřetele k urbanizaci území.

Metodické přístupy používané pro hodnocení zranitelnosti podzemních vod byly experimentálně ověřeny na šesti povodích v oblasti vnější Prahy, které byly součástí výzkumného projektu Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy, řešeného v rámci Operačního programu Praha – pól růstu ČR. Jde o povodí následujících drobných pražských toků:

- Kopaninský potok
- horní povodí Motolského potoka (po Motolské rybníky)
- Dalejský potok
- Lipanský potok
- Drahanský potok
- Vinořský potok

Povodí byla zvolena tak, aby reprezentovala různá přírodní prostředí oblasti vnější Prahy i odlišný charakter a intenzitu zástavby, aby bylo možné získané zkušenosti a postupy metodicky aplikovat na celé její území. K posouzení jednotlivých parametrů z modelu DRASTIC bylo využito následujících dostupných podkladů:

- inženýrskogeologické mapy Prahy v měřítku 1 : 5 000 (horninové poměry, hloubka hladiny podzemní vody) [17]
- klimatické a bilanční údaje ČHMÚ (dotace podzemní vody ze srážek)

- geologické mapy 1 : 50 000 GeoČR50 [18] a vrstva Charakter horninového prostředí syntetické mapy zranitelnosti [15] (charakter saturované a nesaturované zóny)
- hydrologické skupiny půd (charakter půdního pokryvu) [9]
- topografická mapa [19] (morfologie terénu)
- vrstva transmisivity hornin syntetické mapy zranitelnosti [15] (propustnost hornin)

Vzhledem k tomu, že část map byla k dispozici jen v rastrové formě (inženýrskogeologická mapa, hydrogeologická mapa), jejich využití bylo omezené. Jelikož se jako nezbytné ukázaly informace o hloubce hladiny podzemní vody, tento údaj byl v ploše pilotních území zdigitalizován a doplněn o poznatky z terénní rekognoskace území.

Z analýzy použitelnosti metodiky DRASTIC (s ohledem na doporučený přístup podle návrhu [12]) pro hodnocení infiltračního potenciálu v území vnější Prahy vyplynuly následující závěry a doporučení:

1. Znalost hloubky hladiny podzemní vody je zásadní, protože (společně s pórovitostí hornin) určuje velikost zásobního prostoru pro infiltrovanou vodu. Tento parametr je nezbytné v zájmovém území znát s přesností vyplývající z měřítka zpracování. Pro parametr platí úměra: čím hlouběji se nachází hladina podzemní vody, tím vyšší vhodnost území k infiltraci. Je většinou postačující vycházet z průměrné hloubky hladiny podzemní vody pod povrchem území. V některých územích s velkým rozkyvem hladiny (netýká se pilotních území vnější Prahy) podzemní vody (obvykle na rozvodnicích v územích s velkým sezonním kolísáním srážek) je však užitečná i znalost maximální úrovně hladiny, protože ta v určitých obdobích může významně snižovat objem zásobního prostoru. V rámci hodnocení pilotních povodí byl parametr hloubka hladiny zahrnut ve formě tří intervalů průměrných hloubek: 0–2 m pod povrchem, 2–6 m a více než 6 m pod povrchem.
2. Variabilitnost srážek je důležitý parametr pro hodnocení infiltrace ve velkých územích s variabilní morfologií a nadmořskou výškou, protože množství srážek (potažmo efektivních srážek, tzn. srážek po odečtení výparu) primárně určuje velikost infiltrace do podzemní vody. V oblasti vnější Prahy je však tento parametr monotónní bez významnějších plošných změn, což souvisí s podobnou morfologií (pozůstatek ploché paroviny rozčleněné údolními vodními toků) i podobnou nadmořskou výškou relativně nevelkého území. Pro hodnocení relativních změn v infiltračním potenciálu proto tento parametr nebyl dále zvažován.
3. Charakter saturované a nesaturované zóny se v jednotlivých pilotních povodích prakticky shodoval, tyto dva parametry jsme proto sloučili do jednoho. Z charakteru vyskytujících se hornin navíc vyplývá i jejich propustnost, proto byl tento parametr rovněž zahrnut do jedné vrstvy charakteru horninového prostředí. Vrstva charakteru horninového prostředí zahrnující tyto údaje rozděluje území do pěti kategorií podle potenciálu k infiltraci [15]. Nejlépe propustné horniny mají vysoký potenciál k infiltraci (pískovce, štěrkopisky) a naopak horniny typu břidlic a jílovců mají tento potenciál nízký.
4. Pro infiltraci přímo z povrchu území má důležitý význam charakter půdního pokryvu. Jeho význam klesá v případech, že nehodnotíme přirozenou infiltraci z povrchu, ale infiltrační potenciál podpořený technickými zasakovacími prvky (např. zasakování srážkových vod ze střech), jež se většinou nacházejí v určité hloubce několika metrů pod terénem, vesměs tedy pod půdním pokryvem. Ukázala se dobrá použitelnost nově definovaných hydrologických skupin půd, které je dělí do čtyř základních skupin A, B, C a D [8] [9]. Skupina A zahrnuje nejpropustnější půdy a má největší infiltrační

potenciál, naopak skupina D znamená málo propustné půdy, jež znamenají překážku pro významnější infiltraci. Nejpropustnější půdy písčitého charakteru jsou svázané s podložím pískovců a štěrkopísků, naopak málo propustné půdy se vyskytují na skalním podkladu břidlic, slínovců nebo vápenců.

5. Morfologie terénu je parametr, který má velký význam při hodnocení velkých území s dostatečnou tvarovou i výškovou diverzifikací, jež se odráží na variabilitě srážek a rychlosti povrchového odtoku. Krajina vnější Prahy má podobný charakter terénu a nachází se v podobné nadmořské výšce (180–390 m n. m.) [19]. Tento parametr proto nebyl k dalšímu hodnocení infiltračního potenciálu území využit.

Pro hodnocení vhodnosti území vnější Prahy k infiltraci tak byly využity tři okruhy dat:

- Charakter horninového prostředí s rozdělením hornin do pěti skupin podle infiltračního potenciálu. Syntetická data sestavená na základě digitální geologické mapy GeoČR [18] zahrnují litologickou charakteristiku hornin saturované a nesaturované zóny (včetně zvětralinového pláště a kvartérního pokryvu), typ zvodnění a velikost propustnosti, v přesnosti zobrazení 1 : 50 000 [15].
- Hydrologické skupiny půd zahrnují rozdělení půd do čtyř skupin podle infiltračního potenciálu v poslední dostupné verzi, zpracované podle metodiky VÚMOP [9]. Údaje jsou k dispozici v měřítku 1 : 5 000.
- Hloubka hladiny podzemní vody, rozdělená do tří intervalů (0–2 m, 2–6 m a více než 6 m), odkazující (spolu s pórovitostí hornin) na volný zásobní objem pro infiltrovanou vodu. Data byla převzata z inženýrskogeologické mapy Prahy na portálu IPR Praha [17]. Údaje jsou k dispozici v měřítku 1 : 5 000. Inženýrskogeologické mapy Prahy byly zpracovávány většinou v 80. letech 20. století. Pokles hladin podzemní vody, k němuž dochází v posledním období vlivem klimatických změn, se na území Prahy může projevovat především na vyvýšeninách, kde je hladina mnohem hlouběji než zde uvažovaných 6 m, a naopak mělké hladiny jsou opřené o místní vodní toky, jejich větší změny proto nenastaly. Pokud někde lokálně došlo k mírným poklesům hladiny podzemní vody oproti využitým podkladům, je to pod mezí přesnosti dosažených syntetických výstupů.

Tyto tři skupiny údajů byly v prostředí ArcGIS vhodně zkombinovány za vytvoření dvou syntetických map posuzujících různé aspekty vhodnosti území pro infiltraci:

- mapa infiltračního potenciálu půdního a horninového prostředí, kombinující první dvě vrstvy
- mapa infiltrační kapacity území, zdůrazňující i informace o volném zásobním objemu pro infiltrovanou vodu

MAPA INFILTRAČNÍHO POTENCIÁLU

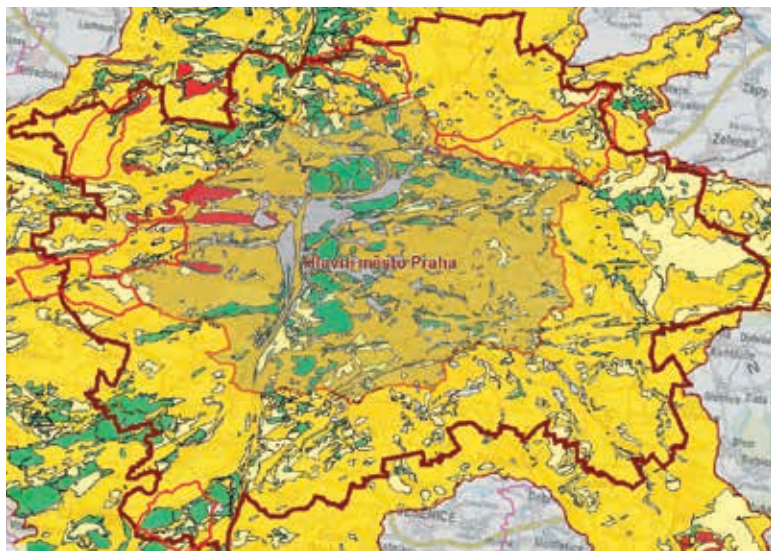
Infiltrační potenciál znamená vhodnost půdního a horninového prostředí pro infiltraci srážkových a povrchových vod. Jde o syntetický výstup založený na kombinaci vrstev charakteru horninového prostředí a hydrologických skupin půd. Hodnocení je v zásadě založeno hlavně na propustnosti půdních a horninových vrstev, ale zahrnuje i další aspekty vycházející ze zastoupených půdních a horninových typů (pórovitost, typ zvodnění, vlhkost půd aj.).

Mapa je zobrazitelná pro celé území vnější Prahy (obr. 2) a její přesnost odpovídá měřítku regionálního zpracování 1 : 50 000. Výsledný infiltrační potenciál je zobrazen ve čtyřech třídách:

- vysoký infiltrační potenciál (zelená barva)
- zvýšený infiltrační potenciál (žlutá barva)
- nízký infiltrační potenciál (okrová barva)
- zanedbatelný infiltrační potenciál (červená barva)

Z mapy na obr. 2 vyplývá, že většina území vnější Prahy má spíše nízký infiltrační potenciál a hodnoty vysokého a zvýšeného potenciálu se vyskytují jen na omezených plochách (zelené a žluté barvy). O to větší pozornost je třeba věnovat jejich ochraně a důrazu na podporu vsakování srážek právě v nich.

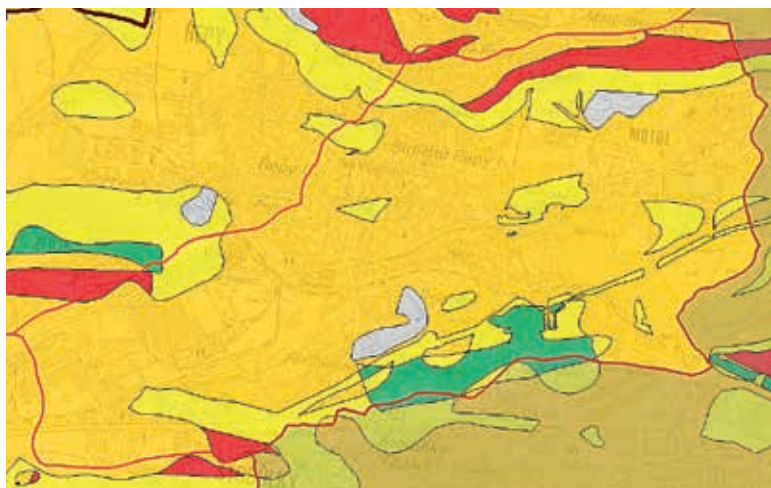
Mapa umožňuje celkové hodnocení území a je využitelná např. pro širší územní plánování, např. v katastrálních územích. Pro hodnocení menších území, např. rozvojových ploch nebo jednotlivých pozemků, je třeba situaci upřesnit s využitím zdrojových vrstev a terénní rekognoskace.



Obr. 2. Přehledná mapa infiltračního potenciálu na území prstence vnější Prahy [20]. Hranice Prahy zobrazena tmavočerveně, plochy pilotních povodí červeně. Tmavá oblast uprostřed ohraničená okrovou linií znázorňuje území, jež nebylo předmětem výzkumu (vnitřní Praha).

Fig. 2. An overview map of infiltration potential in the territory of outer Prague [20]. The border of Prague is shown in dark red, the areas of the pilot catchments in red lines.

Na obr. 3 je uveden detail infiltračního potenciálu v povodí Motolského potoka. I z něho je vidět, že na většině území převažuje prostředí s nízkým infiltračním potenciálem a jen několik ploch odkazuje na zvýšené a vysoké hodnoty (žluté a zelené barvy). Podpora infiltrace, výstavba vsakovacích prvků a územní ochrana by proto měla směřovat především do těchto částí povodí, protože účinnost přijatých opatření bude zde největší.



Obr. 3. Mapa infiltračního potenciálu povodí Motolského potoka [20]
Fig. 3. Map of the infiltration potential of the Motol stream catchment [20]

MAPA INFILTRAČNÍ KAPACITY

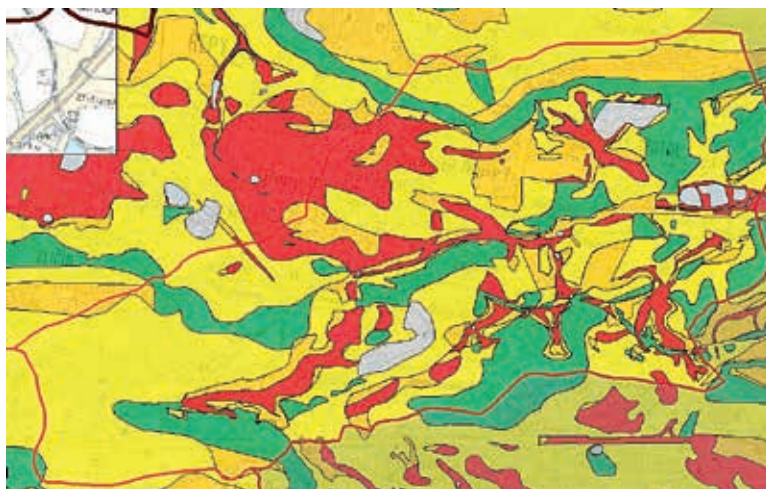
Zavedený parametr infiltrační kapacita znamená syntetické hodnocení území zdůrazňující – vedle infiltračního potenciálu – hloubku hladiny podzemní vody, která odkazuje na volný zásobní prostor pro infiltrovanou vodu. Mapa tedy kombinuje všechny tři skupiny údajů, a to v poměru 1 : 1 : 2 ve prospěch parametru hloubky hladiny podzemní vody. Existence volného zásobního objemu je totiž zásadním předpokladem úspěšnosti intenzifikace zasakování srážkových vod v území.

Mapa infiltrační kapacity byla zpracována pouze v plochách šesti pilotních povodí. Její rozšíření na celou plochu vnější Prahy je závislé na postupu časově náročné digitalizace údajů o hladině podzemní vody, jež jsou zatím k dispozici na většině území jen v rastrové formě (inženýrskogeologické mapy Prahy na portálu IPR Praha [17]). Vzhledem k významu tohoto parametru však doporučujeme v brzké době realizaci těchto prací, které by měly zahrnovat nejen digitalizaci rastrových map, ale i jejich aktualizaci ve formě terénního ověření na dostupných bodech a případnou úpravu původních hydroizohyps.

Výsledná infiltrační kapacita území je zobrazena ve čtyřech třídách:

- vysoká infiltrační kapacita (zelená barva)
- zvýšená infiltrační kapacita (žlutá barva)
- nízká infiltrační kapacita (okrová barva)
- zanedbatelná infiltrační kapacita (červená barva)

Obr. 4 ukazuje detail s hodnotami infiltrační kapacity v povodí Motolského potoka. Pokud tuto mapu porovnáme s mapou infiltračního potenciálu na obr. 3, vidíme, že po stránce infiltrační kapacity je situace mnohem příznivější; v povodí převažují žluté a zelené barvy, tzn. zvýšená až vysoká infiltrační kapacita. Z rozdílných hodnocení území obou map vyplývá, že volný zásobní prostor pro vsakovanou vodu v povodí Motolského potoka je významný, propustnost hornin umožňující dobrý vsak srážek však není optimální. Opatření pro podporu vsaku je zde žádoucí dodržovat, ale za zvýšené pozornosti správnému umístění vsakovacích prvků a jejich optimální konstrukci.



Obr. 4. Mapa infiltrační kapacity povodí Motolského potoka [20]
Fig. 4. Map of the infiltration capacity of the Motol stream catchment [20]

Infiltrační kapacitu území lze orientačně odhadnout i v dalších oblastech vnější Prahy, kde je k dispozici mapa infiltračního potenciálu. Pokud existují z území zájmu informace o hloubce hladiny podzemní vody (např. z rastrových inženýrskogeologických map, z měření místní studny, z průzkumného vrtu apod.), infiltrační kapacita může být posunuta nahoru i dolů o jednu třídu oproti infiltračnímu potenciálu. Např. pokud budeme mít dvě území se zvýšeným infiltračním potenciálem (žlutá barva), ale v jednom území bude hladina

ve 2 m pod terénem a ve druhém území v 8 m pod terénem, první území bude mít nízkou infiltrační kapacitu (oranžová barva), zatímco druhé území bude mít vysokou infiltrační kapacitu (zelená barva).

VLIV ZÁSTAVBY A VYUŽITÍ ÚZEMÍ

Reálná infiltrace srážek do podzemních vod je však ovlivňována nejen přírodními podmínkami, ale i charakterem využívání území. Mapy infiltračního potenciálu a infiltrační kapacity je proto vhodné kombinovat s mapou využití území (např. ZABAGED, CORINE [19] [21]). Zatavněné oblasti (louky, pastviny, zahrady, parky), případně další části volné krajiny tvoří ideální plochy umožňující maximální možnou infiltraci. Na druhé straně jsou území s hustou zástavbou s velkými budovami, sklady, nepropustnými povrchy významných dopravních staveb, parkovišť apod., kde je infiltrace snižena na minimum. A mezi těmito krajními variantami využití krajiny jsou ostatní způsoby jejího využívání, jež jsou více či méně šetrné pro udržení potenciálu území k infiltraci – rozptýlená či kompaktní zástavba se zahradami, extenzivní zemědělské a průmyslové areály různé velikosti, plochy navážek a skládek aj.

PODPORA INFILTRACE SRÁŽKOVÝCH VOD

Možnost podpory infiltrace a pozitivního ovlivnění tvorby podzemní vody se týká především doposud volných ploch krajiny, kterých však na území vnější Prahy rychle ubývá vlivem intenzivní výstavby obytných budov, průmyslových areálů, dopravních staveb apod. Realizovatelná opatření se rozpadají do několika skupin:

- Zajistit ochranu území s vysokým a zvýšeným infiltračním potenciálem a infiltrační kapacitou před zbytečnou zástavbou, nešetrnou k ochraně hydrologického cyklu.
- Pokud bude v těchto územích nutná jakoukoliv výstavbu realizovat, zachovat v maximální možné míře plochy k infiltraci srážkových vod.
- Trvat v těchto územích na důsledném zasakování srážkových vod ze střech a zabránit zbytečnému odtoku srážkových vod kanalizací a drenážemi mimo území.
- Potřebnou zástavbu směřovat spíše do území s nízkým a zanedbatelným infiltračním potenciálem.
- Netrvat na zasakování srážkových vod v nevhodném území s nízkým nebo zanedbatelným infiltračním potenciálem či infiltrační kapacitou. A naopak se pokusit kreativně posunout místo vsakování do blízkého území s vhodnějšími infiltračními parametry, pokud je to možné.

ZÁVĚR

Předložený článek upozorňuje na problematiku omezené tvorby podzemní vody v urbanizovaných územích. Negativní dopady klimatických změn jsou tam navíc zhoršovány i omezováním infiltrace srážek v důsledku antropogenní činnosti (zástavba území, nepropustné plochy aj.). Na základě výzkumu realizovaného v území vnější Prahy, kde dochází k intenzivní zástavbě dosud volné krajiny, vznikla metodika hodnocení vhodnosti území k infiltraci srážek do podzemních vod. Pro detailní posouzení hydrologických a hydrogeologických poměrů bylo využito šest pilotních povodí (Kopaninský potok, horní část Motolského potoka, Dalejský potok, Lipanský potok, Vínofský potok a Dražanský potok).

Východiskem prací byla metodika hodnocení zranitelnosti podzemní vody, známá jako metoda DRASTIC [12] [13] [14], která je celosvětově rozšířená v množství různých aplikací hodnotících podzemní vody, jejich ochranu a zranitelnost. V obou případech jde totiž o hodnocení velmi podobných parametrů půdního a horninového prostředí.

Po zhodnocení všech dostupných podkladů byly pro území vnější Prahy využity tři okruhy dat: charakter horninového prostředí nesaturované a saturované zóny, hydrologické skupiny půd a hloubka hladiny podzemní vody. První dvě skupiny dat byly k dispozici v digitální formě v celé ploše území vnější Prahy, hloubka hladiny byla ale k dispozici jen v rastrové formě. V ploše pilotních povodí a jejich blízkém okolí byly proto údaje o hladině podzemní vody zdigitalizovány, nebylo však v silách tohoto projektu zajistit digitalizaci v celé ploše vnější Prahy. Kombinací těchto údajů vznikly dvě syntetické mapy: mapa infiltračního potenciálu půdního a horninového prostředí, kombinující první dvě vrstvy, a mapa infiltrační kapacity území, zdůrazňující – na základě hloubky hladiny – i informace o volném zásobním objemu pro infiltrovanou vodu [20].

Mapa infiltračního potenciálu je dostupná pro celé území vnější Prahy, mapa infiltrační kapacity bylo možné zpracovat jen pro plochy pilotních povodí, kde se podařilo zdigitalizovat údaje o hloubce hladiny. Přesnost map odpovídá měřítku regionálního zpracování 1 : 50 000. Kombinací těchto map a map zástavby, případně využití území (např. ZABAGED nebo CORINE [19] [21]), je možné provést komplexní hodnocení krajiny z hlediska infiltrace srážek a zvolit v ní optimální opatření k podpoře infiltrace.

Z možných dalších činností na pokračování projektu doporučujeme vytrvat v časově náročné práci na digitalizaci rastrových map hloubky hladiny podzemní vody v ploše prstence vnější Prahy, jež by měla zahrnovat i komplectaci těchto dat na celém území hlavního města a rovněž jejich aktualizaci ve formě terénního ověření na dostupných bodech (studny, vrty) z důvodu postupného zastarávání původního podkladu – inženýrskogeologických map Prahy.

Metodiku lze dobře použít i v jiných urbanizovaných oblastech ČR. Vrstva charakteru horninového prostředí i hydrologických skupin půd je k dispozici v celé ploše ČR a jejich kombinací lze vytvořit mapu infiltračního potenciálu jakéhokoliv území. Podobně celoplošně jsou dostupné i různé mapy využití území ([19] [21]). Explicitní informace o hloubce hladiny podzemní vody ke konstrukci mapy infiltračního potenciálu sice mnohdy k dispozici nejsou, avšak tyto údaje lze pro většinu území ČR zjistit na základě hydrogeologické a vrtné prozkoumanosti (archiv ČGS – Geofond), případně je možné je aspoň odhadnout na základě odborného hydrogeologického posouzení.

Vytvořené mapy jsou veřejně přístupné v prohlížeči mapové aplikace projektu Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy, řešeného v rámci Operačního programu Praha – pól růstu ČR na webových stránkách heis.vuv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni [20].

Na toto téma vznikla i populárně naučná publikace *Podzemní voda ve městě* [1], jež je dostupná ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v v. i., v tištěné formě i v elektronické podobě ve formátu PDF na webových stránkách projektu [20], a to včetně anglické verze [22]. Je součástí třídílné série, jež obsahuje tyto tituly: *Město a voda*, *Podzemní voda ve městě* a *Adaptace města na povodně a sucho* (i zbývající dvě publikace jsou k dispozici v české a anglické verzi ve formátu PDF na stránkách projektu [20]). K rozšíření znalostí o podzemní vodě vznikl rovněž výukový portál pro žáky, studenty i širokou neobornou veřejnost, který lze nalézt také na výše uvedených webových stránkách [20].

Závěrem ještě upozorňujeme, že danou problematikou se zabývají i některé jiné projekty, např. na platformě inženýrskogeologických map postupně začíná vznikat vsakovací mapa Prahy, primárně jako podklad pro hospodaření s dešťovými vodami [23].

Poděkování

Tento článek byl připraven v rámci projektu „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy“, č. CZ.071.02/0.0/0.0/16-040/0000380, financovaného z Operačního programu Praha – pól růstu ČR, a projektu „Řízená dotace podzemních vod jako nástroj k omezení dopadů sucha v ČR“, č. SS01010208, podpořeného Technologickou agenturou ČR.

Literatura

- [1] DATEL, J. V. *Podzemní voda ve městě*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2020, 44 s. ISBN 978-80-87402-86-3.
- [2] CHLUPÁČ, I. *Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí*. Praha: Academia, 1999, 280 s. ISBN 80-200-0680-X.
- [3] NĚMEC, J., LOŽEK, V. et al. *Chráněná území ČR 2 Praha*. Praha: Consult a AOPK ČR, 1997, 156 s. ISBN 80-902132-1-9.
- [4] OLMER, M. et al. *Hydrogeologická rajonizace České republiky*. Sborník geologických věd. Hydrogeologie, Inženýrská geologie, 23. Praha: ČGS, 2006, 32 s. ISBN 80-7075-660-8.
- [5] KRÁSNÝ, J. et al. *Odtok podzemní vody na území Československa*. Praha: ČHMÚ, 1982, 52 s.
- [6] ©Hydroekologický informační systém HEIS. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2020. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/>
- [7] KRÁSNÝ, J. et al. *Podzemní vody České republiky: Regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*. Praha: Česká geologická služba, 2012, 1144 s. ISBN 978-80-7075-797-0.
- [8] ©USDA NRSC. *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology, chapter 7*. Washington, DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2009. Dostupné z: <https://directives.sc.gov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=22526.wba>.
- [9] VOPRAVIL, J. et al. *Mapové vymezení infiltračních schopností a propustnosti zemědělských a nezemědělských půd ČR s celorepublikovou územní kategorizací*. Praha: VÚMOP, 2018. Osvědčení č. 8/14130-MZe-2018
- [10] MARGAT, J. *Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution (Groundwater vulnerability to contamination)*. Bases de la cartographie. (Doc.) Orléans. France: BRGM, 1968, SGL 198 HYD
- [11] US National Research Council. *Ground water vulnerability assessment: contamination potential under conditions of uncertainty*. – Committee on Techniques for Assessing Ground Water Vulnerability. Water Science and Technology Board. USA, 1993.
- [12] VRBA, J., ZAPOROZEC, A. EDS. *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. International Contributions to Hydrogeology, vol. 18. Hannover, Germany: Heise, 1994, 131 s.
- [13] ALLER, L. et al. *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential using Hydrogeologic Settings*. Environmental Research Laboratory. Ada, Oklahoma: US EPA, 1985, 641 s. EPA 600/2-85-018
- [14] ALLER, L. et al. *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential using Hydrogeologic Settings*. Ada, Oklahoma: US EPA, 1987, 641 s. EPA 600/2-87-035
- [15] NOVÁK, P., SLAVÍK, J. et al. (2012): *Syntetická mapa zranitelnosti podzemních vod*. Praha a Brno: VÚMOP, v. v. i. a GEOtest, a.s., 2012, 44 s. ISBN 978-80-87361-19-1.
- [16] HRKAL, Z. et al. *Metodika hodnocení území České republiky z hlediska vhodnosti pro řízenou dotaci podzemních vod vodami povrchovými a možností umělé infiltrace vyčištěných odpadních vod a aplikace této metodiky na území ČR*. MS. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2010, 387 s.
- [17] © IPR Praha. *Mapový portál – Inženýrsko-geologické mapy Prahy 1 : 5 000*. Dostupné z: http://app.iprapraha.cz/apl/app/ig_mapy/. Praha: Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy a ČÚZK, 2020
- [18] © ČGS. *Mapový portál – Soubor geologických map GeoČR 1 : 50 000*. Podklady z období 1985–2000. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>. Praha: Česká geologická služba, 2020
- [19] © ČÚZK. *Geoportál ČÚZK – ZABAGED a státní mapa ČR*. <https://geoportal.cuzk.cz/>. Praha: ČÚZK, 2020
- [20] © HRABÁNKOVÁ, A. et al. „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy“. [Stránky projektu OP Praha-pól růstu] Dostupné z: heis.vuv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2020
- [21] © EUROPEAN UNION. *Copernicus Land Monitoring Service 2018, CORINE*. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/>. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency (EEA), 2020
- [22] DATEL, J. V. *Groundwater in the City*. Praha: T. G. Masaryk Water Research Institute, public research institution, 2020, 44 s. ISBN 978-80-87402-87-0.
- [23] © JKENVÍ. *Vsakovací mapy na území hlavního města Prahy 1 : 5 000*. Praha: JKENVÍ, 2020. Dostupné z: <https://www.jkenvi.cz>.

Autoři

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.

✉ josef.datel@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-1451-0135

Ing. Anna Hrabánková

✉ anna.hrabankova@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-1631-0700

Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.

✉ ludek.strouhal@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-3979-4894

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.01.006

GROUNDWATER FORMATION IN URBAN AREAS REGARDING PERIPHERAL PARTS OF PRAGUE

DATEL, J. V.; HRABANKOVA, A.; STROUHAL, L.

T. G. Masaryk Water Research Institute, p. r. i.

Keywords: groundwater – infiltration – Prague – urbanization

Groundwater is an integral part of the hydrosphere and hydrological cycle in a healthy landscape, which is better able to withstand hydrological extremes such as floods or prolonged drought. The main source of groundwater is precipitation. There are a number of barriers for infiltration in urban areas – urban and industrial buildings, as well as increasing areas with impermeable surfaces. The aim of the paper is to draw attention to the importance of groundwater in the urban landscape and to possible measures to support the infiltration of precipitation.

The research took place in the territory of outer Prague, where there is an intensive expansion of the built-up area, which is accompanied by a lower infiltration of precipitation, compared to the open landscape. Based on the evaluation of pedological, geological and hydrogeological conditions of the area, a methodology for evaluating the suitability of the area for infiltration was developed. Based on it, two types of maps were created: an infiltration potential map evaluating primarily the permeability of the soil and rock environment, and an infiltration capacity map, in addition emphasizing the size of the free storage volume for infiltrated water. Maps are available for viewing in the map application on the project website heis.vuv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni.

It is advisable to work with these maps in combination with the current development map or the map of complex land use, in order to choose the optimal measure to support the infiltration in each area. These measures include protection of areas with increased suitability for infiltration before construction, reduction of water drainage by rain sewers, differentiated support of rainwater infiltration (e.g. from roofs) according to the infiltration suitability of different areas, etc.



Historický a očekávaný vývoj srážkoodtokových charakteristik na okraji Prahy

LUDEK STROUHAL, PETRA ŠUHÁJKOVÁ, ONDŘEJ MASÁK

Klíčová slova: povodňové odtoky – dopady urbanizace – historický vývoj – změny klimatu – srážkoodtokový model

SOUHRN

Tento příspěvek prezentuje studii vývoje srážkoodtokových charakteristik v šesti povodích na okraji Prahy od roku 1920 s výhledem do roku 2050. Kvůli neexistujícímu dlouhodobému monitoringu bylo hodnocení provedeno prostřednictvím srážkoodtokového modelování v prostředí HEC-HMS. Klíčovým vstupem pro hydrologické modely povodí byly mapy půdního pokryvu. Ty byly pro každý z pěti hodnocených historických horizontů vytvořeny částečnou digitalizací, analýzou a kompilací několika dostupných historických mapových podkladů. Navrženy byly i dva budoucí scénáře očekávaného vývoje. Oproti očekávání nebyl na pilotních povodích zjištěn monotónní nárůst čísel odtokových křivek (CN) v průběhu hodnocené období. Modelované historické odtoky vykazovaly nejednoznačný vývoj s rostoucím, ale i klesajícím charakterem. Jako klíčový faktor s jednoznačným vývojem byl identifikován podíl nepropustných ploch, zejména jeho část přímo napojená na hydrografickou síť. Jejich podíl není v současnosti možné stanovit zejména kvůli chybějícím detailním mapovým podkladům. Analýza kulminačních průtoků poukázala na značné nejistoty plynoucí z variability časového rozdělení intenzit vydatných srážek. Zjištěný rozsah kulminací je srovnatelný se signálem změny srážkových úhrnů vlivem klimatické změny. Vliv budoucího vývoje urbanizace byl ve studii prokázán zejména v povodích s dosud nevyčerpaným potenciálem pro další zástavbu, predikované kulminační odtoky oproti současnosti vždy rostou, avšak ne na všech povodích přesahují predikce zjištěná historická maxima. Rozdíly mezi budoucími scénáři vývoje slábnou s rostoucí extremitou příčinných srážek. Model Vnořského potoka poukázal i na možnost kompenzovat dopad klimatických změn vhodným využitím a managementem volné krajiny. Zjištěný vývoj kulminačních odtoků je specifický pro každé pilotní povodí a nelze jej zobecnit a jednoznačně přenést do dalších povodí, což zdůrazňuje potřebu dalšího detailního mapování a individuálního přístupu při hodnocení daného povodí.

ÚVOD

Při osvojování původně přírodní krajiny člověkem – urbanizaci – docházelo od počátku ke konfliktům lidských sídel s extrémními hydrologickými projevy, jako jsou povodně. Dnes se jeví jako samozřejmé, že jsou stavby umísťovány s ohledem na možné rozlivy významných vodních toků. Ty jsou již dlouhou dobu monitorovány, jejich hydrologický režim je statisticky popsán a pravidelně aktualizován a prvky protipovodňové ochrany navrženy s ohledem na zvolenou pravděpodobnost výskytu vypočtené úrovně hladiny. Na drobných vodních tocích je však situace složitější – zpravidla zde neprobíhá trvalý monitoring hydrologického režimu, návrhové stavy či průtoky je tedy nutné odvozovat nepřímou. V posledních desetiletích navíc sídlá ukrajují stále větší část volné

krajiny a hydrologické charakteristiky povodí drobných vodních toků se dramaticky mění. Tyto změny spolu s probíhající proměnou klimatických podmínek přitahují více pozornosti obyvatelstva i státní správy k extrémním hydrologickým jevům i na těchto malých tocích.

Posouzení historického a budoucího vývoje odtokového režimu v malých okrajových povodích kolem hlavního města Prahy bylo jedním z úkolů projektu „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy“, řešeného v rámci Operačního programu Praha – pól růstu ČR. Projekt se záměrně vyhýbal zcela zastavěné vnitřní části Prahy a jejím nejvýraznějšímu vodnímu prvku – řece Vltavě. Místo toho obrátil pozornost na 57 povodí IV. řádu zasahujících okraj území hlavního města Prahy (HMP), kde lze v příštích desetiletích očekávat další rozvoj zástavby. V detailním měřítku pak bylo hodnoceno šest pilotních povodí: Motolského, Dalejského, Kopaninského, Lipanského, Drahanského a Vnořského potoka. Tento příspěvek prezentuje metodiku a dosažené výsledky analýzy extrémních odtokových charakteristik na zmíněných šesti pilotních povodích. Hodnocen byl historický vývoj urbanizace a její dopad na extrémní odtoky od roku 1920 po současnost a výhled vývoje do roku 2050.

METODIKA

Hydrologický režim drobných vodních toků je zřídka kontinuálně monitorován, což je bohužel i případ toků na území HMP. Systematicky jsou sledovány pouze průtoky na tocích Botiče a Rokytky, jejichž povodí je mezi povodími IV. řádu na území HMP největší a v mnoha ohledech se od ostatních liší. Pro odvození povodňových charakteristik v zájmových povodích tak není možné využít přímé statistické vyhodnocení ani metodu analogonu. Jediným nástrojem tak zůstává hydrologické modelování. Standardní postup této metody tvoří:

- volba konceptuálního modelu tvorby odtoku
- sestavení modelu ve vhodném výpočetním nástroji
- kalibrace a validace modelu na pozorovaných událostech (pokud jsou dostupné, v opačném případě volba vhodné sady parametrů)
- definice zátěžových stavů / výpočetních scénářů
- posouzení nejistot

Již od počátku bylo zřejmé, že plánované hodnocení bude vyžadovat výpočty podle většího počtu scénářů, podkladová data budou zejména u historických scénářů hrubá a orientační a dosáhnout optimální kalibrace modelů bude obtížné. Tyto předpoklady implikovaly potřebu dostatečně robustního modelu, který by umožnil rychlé výpočty a zohlednění všech požadovaných proměnných bez zanášení výpočtů dodatečnými nejistotami, např. s ohledem na velké množství vstupních parametrů nebo vnitřních proměnných. Zvolena proto



Obr. 1. Prstenec povodí IV. řádu na obvodu HMP a 6 pilotních povodí
Fig. 1. A belt of IV. order catchments on the outskirts of Prague and 6 study catchments

byla kombinace jednoduchých konceptuálních modelů: pro výpočet efektivní srážky zavedená metoda SCS-CN [1] v kombinaci s jednotkovým hydrogramem [2] v jednoparametrické variantě dle SCS [3]. Výpočty byly prováděny ve volně dostupném hydrologickém softwaru HEC-HMS [4].

Zvolená metoda SCS-CN vyžaduje jako základní vstupní informace o zátěžové srážce (povinně úhrn, volitelně i průběh intenzit), hydrologických vlastnostech půd a charakteru půdního pokryvu. Klíčovými a zásadně omezujícími vstupem byly pro celou studii informace o půdním pokryvu a jejich dostupnost pro historická období. Takové datové podklady existují pouze v roztroušené, nekompletní a převážně rastrové podobě, což znamenalo nutnost ruční digitalizace vybraných mapových podkladů. Provést ji u všech 57 povodí IV. řádu na obvodu HMP bylo mimo možnosti projektu, proto se tato studie soustředila jen na šest pilotních povodí, respektive jejich části vymezené měrnými profily zřízenými řešitelským týmem. Na obr. 1 jsou zobrazena povodí IV. řádu na území HMP a zvýrazněna pilotní povodí Motolského, Dalejského, Kopaninského, Lipanského, Dražanského a Vínorského potoka. Specifika těchto povodí budou uvedena v části věnované verifikaci modelů, které předchází popis odvození vstupů a struktury modelu.

MAPY PŮDNÍHO POKRYVU PRO OBDOBÍ 1920–2050

Pro korektní hydrologické posouzení postupu urbanizace bylo nutné sestavit sadu konzistentních vektorových map vycházejících z kvalitativně rovnocenných podkladů. Jako jediný vektorizovaný podklad o historickém vývoji vnějšího osídlení Prahy byly využity unikátní vrstvy *Vývoj zástavby v Praze* zpracované na IPR a dostupné prostřednictvím WMS na www.geoportalpraha.cz. Veřejně je prezentován pouze souhrnný rozsah zástavby v časových horizontech 1840, 1880, 1920, 1950, 1970, 1990 a 2010, jak ukazuje obr. 2. Originální datové vrstvy však obsahují i atributy o struktuře zástavby čítající přes 20 urbanistických kategorií, jako je např. *Rostlá zástavba venkovského typu*, *Kompaktní monobloky* nebo *Drobná rozptýlená zástavba*.



Obr. 2. Historický vývoj města v horní části povodí Motolského potoka dle IPR
Fig. 2. Historic extents of built-up area in the upper part of Motolský creek catchment, according to IPR

Jakkoli se jedná o velmi cenný datový zdroj, jeho využití pro odvození hydrologických charakteristik komplikovalo několik nedostatků spojených buď s nedokonalostí jeho zpracování, nebo samotnou povahou jeho účelu:

- *Nekonzistentní topologie napříč časovými horizonty.* Jednotlivé polygony zachycující v sousedních časových horizontech totožný stavební objekt či komplex nemají totožné hranice, což komplikuje posouzení časového vývoje kategorizace dané urbanistické jednotky. Při přípravě a čištění finálních vrstev tak byly posuzovány pouze plošně významné překryvy či nedokryvy o velikosti v řádu stovek metrů čtverečních.
- *Nekonzistentní kategorizace napříč časovými horizonty.* Po zanedbání nevýznamných topologických nepřesností byla prováděna kontrola změn kategorizace polygonů zástavby. Pro hodnocení byly využity historické letecké snímky a ortofotomapy dostupné rovněž na pražském geoportálu. V řadě případů se jednalo o skutečně zaniklé nebo transformované objekty (vodní plochy, zastaralé provozy...). Nežádka však byly nalezeny i náhodné odchylky v kategorizaci v jednom z časových období, způsobené buď nejasnou metodikou, nebo odlišným subjektivním hodnocením daného zpracovatele při digitalizaci nad historickými mapami. Např. ve vrstvě pro rok 1920 byla součástí polygonů Rostlé venkovské zástavby i humna či sad, zatímco od roku 1950 už byly tyto polygony omezeny pouze na obytná a hospodářská stavení a nejbližší přilehlé zahrady. Tyto nekonzistence byly kvůli své značné variabilitě korigovány manuálně a individuálně jedním zpracovatelem.
- *Omezené pokrytí extravilánu a pilotních povodí.* Jak lze usoudit z obr. 2, mapy vývoje města zahrnují jenom zastavěné území. Při detailním pohledu však nalezneme několik kategorií kulturní krajiny, jako jsou Komponované plochy veřejné zeleně nebo Komponované vyhrazené zahrady, jejichž zastoupení v mapových vrstvách je značně kvantitativně i kvalitativně proměnlivé. V souhrnu mapy pokrývají jen menší plochu hodnocených území od 3,3 % v roce 1880 po 36 % v roce 2012, celý vývoj ukazuje první hodnota uvedená v tab. 1. Z hodnot v závorce lze získat představu o rozsahu zastavěného území v řešených povodích, čísla vznikla po odečtení krajinných kategorií. Po zběžné konfrontaci těchto kategorií s historickými leteckými snímky bylo rozhodnuto o jejich vyloučení z podkladových vrstev kvůli značným rozdílům v charakteru pokryvu uvnitř každé z kategorií. Zbytek plošného rozsahu mapových vrstev – extravilán a části povodí za hranicemi HMP, kam mapy Vývoje města nedosahují – byl následně ručně digitalizován nad leteckými snímky pro období 1950–2012. Pro dotvoření mapy pokryvu k roku 1920 byly využity nejstarší letecké snímky (z roku 1936), Výškopisný plán HMP a okolí z roku 1920 a Císařské otisky map stabilního katastru. Mapa pokryvu z tohoto období je zatížena ještě vyšší mírou nejistot než ostatní časové horizonty, zejména kvůli obtížnému rozlišení orné půdy od pastviny či ladem ležící půdy. Časový horizont 1880 byl pro nedostatek podkladů o pokryvu z hodnocení zcela vyřazen.

Tab. 1. Pokrytí pilotních povodí mapami Vývoje města, resp. rozsah zastavěného území (hodnoty v závorce)

Tab. 1. Percentage of study catchments captured by City development maps. Extent of built-up area in brackets

Referenční rok	1880	1920	1950	1970	1990	2012
Pokrytí pilotních povodí (%)	3,3 (2,6)	6,1 (5,4)	20 (16)	30 (26)	39 (34)	36 (36)

- Příliš vysoký počet kategorií zástavby. Pro hydrologické hodnocení území je přes dvacet urbanistických kategorií nadbytečný počet. Již bylo zmíněno vyřazení celkem tří kategorií kulturní krajiny. Díky poloze pilotních povodí na okraji HMP byly i některé kategorie zástavby obsaženy jen okrajově. Ty, jež neměly v některém z časových horizontů celkovou rozlohu alespoň 10 ha, byly na základě podobnosti (charakteru staveb a odhadu podílu nepropustných ploch) překlasifikovány na jednu z četnějších kategorií, případně při malé velikosti rozloženy na elementární kategorie Budova a Travní porost.

Pro posouzení dopadu budoucího vývoje města byly vytvořeny dvě mapy odhadovaného půdního pokryvu:

- Mapa pokryvu pro normální vývoj území (scénář N). Zastavěno bude 100 % území v současnosti označeného v územních plánech jako *zastavitelné*. Pro kategorizaci zástavby byly v těchto územích vytvořeny nové třídy vycházející z aktuálně platného Plánu využití ploch a funkčního využití území (PVP-FVÚ).
- Mapa pokryvu pro agresivní vývoj území (scénář A). Uvažováno bylo prolomení hranic zastavitelného území do vzdálenosti 250 m od existující zástavby ze scénáře N, kategorizace těchto ploch proběhla na základě územních souvislostí – např. úzké pásy mezi frekventovanými komunikacemi byly uvažovány jako zatravněné, plochy vhodné pro zástavbu přejaly kategorii od sousedních ploch.

HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY TŘÍD PŮDNÍHO POKRYVU

Pro zmapování vývoje půdního pokryvu od roku 1920 a jeho extrapolaci k období 2050 bylo nutné definovat hydrologické charakteristiky každé ze zastoupených tříd, případně zohlednit jejich proměnlivost v čase. Určováno bylo číslo odtokové křivky CN2 pro průměrné vláhové podmínky (dále jen CN) a procentuální podíl nepropustných ploch (dále značeno IMP). Obě charakteristiky byly získány prostorovou analýzou detailní digitální mapy půdního pokryvu odvozené ze ZABAGED (k roku 2016) a dalších zdrojů, která byla vytvořena speciálně pro účely tohoto projektu. Volba tvorby vlastního mapového podkladu byla dána neexistencí dostatečně podrobné polohopisné mapy s takovými kategoriemi, které by bylo možné jednoduše kvantifikovat z hlediska hydrologického chování. Na obr. 3 je ilustrován příklad, kdy i nejpřesnější vektorový polohopisný podklad ZABAGED selhává v korektním zachycení rozsahu nepropustných povrchů a zelených ploch. To je dáno přílišnou obecností některých kategorií (Ostatní plochy v sídlech, Orná půda a ostatní neurčené plochy...), případně chybějící atributovou informací o skutečné šířce liniových objektů (ulice, silnice). Pro vytvoření základního bežešvého podkladu z objektů ZABAGED byl využit volně dostupný nástroj pro ArcGIS, který vypracoval Devátý [5]. Protože byl nástroj primárně určen pro hydrologicky-erozní klasifikaci extravilánu, bylo nutné v intravilánu provést následně poloautomatické zpřesnění nad leteckým snímkem – např. začlenění šířky ulic a komunikací z datových vrstev IPR, řezání a klasifikace plošně významných polygonů na křížení silničních okruhů, sídlištních parkovišť aj.



Obr. 3. Příklad nepřesného zachycení nepropustných povrchů v Základní mapě dle ZABAGED (ČÚZK)

Fig. 3. Illustration of badly captured impervious areas in so called Basic map derived from ZABAGED

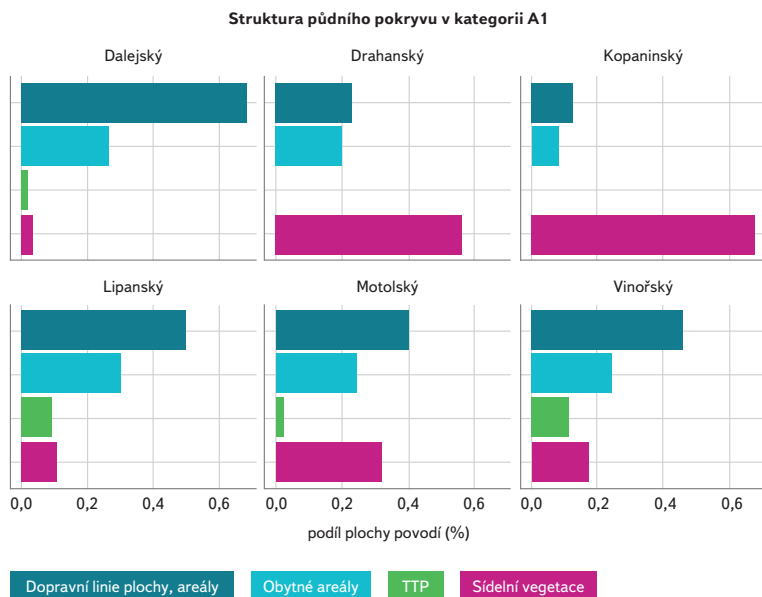
Po zpřesnění polohopisu byla zjednodušena klasifikace převedením minoritních nebo nejasných kategorií (zemědělské areály, vodo hospodářské stavby aj.) na charakterem nejbližší četnější třídu, případně rozložením polygonů na elementární objekty (budova, travní porost, komunikace aj.). Výsledná detailní mapa půdního pokryvu (DMPP) čítá devět kategorií, které již lze velmi dobře charakterizovat z hlediska hydrologického chování a je možné dobře identifikovat jejich ekvivalent v originální tabulce CN hodnot (v závorce uvedeno, kde by to mohlo být nejednoznačné):

- *Lesy; Nelesní stromová a křovištní vegetace (Křoviny s travním podrostem)*
- *Sídelní vegetace (Sídelní zeleň – travnaté plochy, parky, golfová hřiště, hřbitovy aj.)*
- *Vodní plochy a toky*
- *Odkrytá půda (Nově urbanizované plochy)*
- *Trvalé travní porosty (Sídelní zeleň, dobré hydrolog. podmínky)*
- *Orná půda (Úhor)*
- *Obytné areály – Budovy (Nepropustné plochy)*
- *Dopravní linie a plochy (kombinace Komunikace nebezpečná a Komunikace dlážděná s obrubníky, proměnlivý podíl dle časového horizontu)*

Podíl jednotlivých tříd byl analyzován po protnutí s vrstvou urbanistických kategorií map půdního pokryvu z předchozí části řešení. Analyzováno bylo zastoupení zvláště pro každé pilotní povodí, neboť některé urbanistické kategorie byly shledány jako nestejnorodé napříč povodími, respektive městskými částmi. Příklad takových rozdílů ilustruje graf na obr. 4, patrný je zejména rozdíl v zastoupení *Dopravních linií a ploch* a *Sídelní vegetace* v urbanistické kategorii *A1 – kompaktní areály* ve třech pilotních povodích, v nichž se daná urbanistická kategorie nachází.

Řešením popsanych nehomogenit bylo rozdělení čtyř problematických urbanistických kategorií na dvě podkategorie a přiřazení specifických podílů tříd půdního pokryvu. Konkrétně se jedná o třídy: *O2 – Otevřená sdružená zástavba*; *V2 – Volné monobloky*; *A1 – Areály kompaktní* a *DR – Drobná rozptýlená zástavba*. Speciálním případem byla třída *A2 – rozvolněné areály*, která se ukázala jako vysoce variabilní i v rámci jednoho povodí/městské části. Všechny polygony této třídy s relativně vysokým plošným zastoupením (10 % v roce 2012) byly individuálně zařazeny do jedné z podtříd podle podílu nepropustných ploch na základě expertního odhadu nad leteckým snímkem. Všechny ostatní kategorie byly uvažovány za shodně strukturované napříč všemi pilotními povodími.

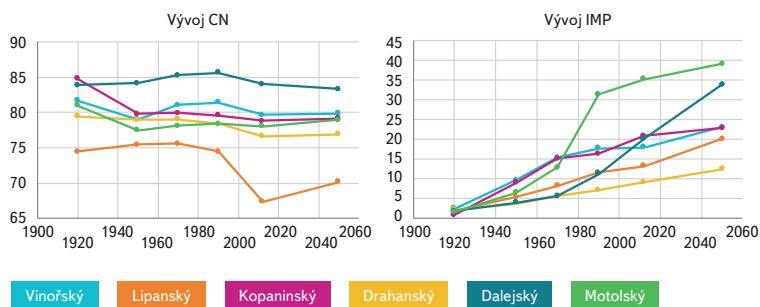
Posledním krokem pro stanovení hydrologických charakteristik území bylo mapování hodnot IMP a CN na kategorie DMPP a následně urbanistické kategorie Mapy půdního pokryvu. Pro stanovení CN byly kategorie DMPP ztotožněny



Obr. 4. Zastoupení detailních tříd půdního pokryvu v rámci urbanistické kategorie A1 (areály kompaktní) v pilotních povodích

Fig. 4. Detailed land cover classes percentages within the A1 urban category (compact facilities) by study catchments

s nejbližší kategorií land-use dle originální metodiky [1]. V případě komunikací a sídelní vegetace byla navíc uvažována proměnlivost v čase. Pro rok 1920 bylo uvažováno 80 % komunikací nezpevněných, tento podíl se postupně snižoval až na 10 % v letech 1990 a 2012. Rovněž sídelní vegetace v rámci urbanistické kategorie V1 – volná sídelní zástavba byla uvažována jako časově proměnná, neboť se jedná většinou o nové sídelní celky budované od 70. let 20. století, kde došlo k postupnému rozvoji travnatých i parkových úprav. Příslušné hodnoty IMP a CN byly přiřazeny k třídám DMPP a následně určeny jejich průměry na základě podílů tříd v rámci každé urbanistické kategorie. Tyto hodnoty pak byly přiřazeny polygonům Map půdního pokryvu individuálně pro roky 1920–2012 a se zohledněním specifik jednotlivých povodí.



Obr. 5. Vývoj průměrných hodnot CN (vlevo) a procentuálního podílu nepropustných ploch IMP (vpravo) v pilotních povodích

Fig. 5. Historical and projected values of CN (left) and total impervious areas percentage (right) in the study catchments

Analogický postup byl použit pro mapování hodnot CN a IMP na předpokládané nové sídelní celky v rámci budoucích scénářů půdního pokryvu pro rok 2050. Z vektorových vrstev byly následně odvozeny rastrové mapy nepropustných ploch a po kombinaci s vrstvou hydrologických skupin půd (popsáno v další sekci) mapy detailního rozložení CN. Vývoj průměrných hodnot CN a IMP pro jednotlivá povodí ukazují grafy na obr. 5. Poměrně překvapující je fakt, že změny hodnot CN nejsou dle očekávání monotónně rostoucí, naopak

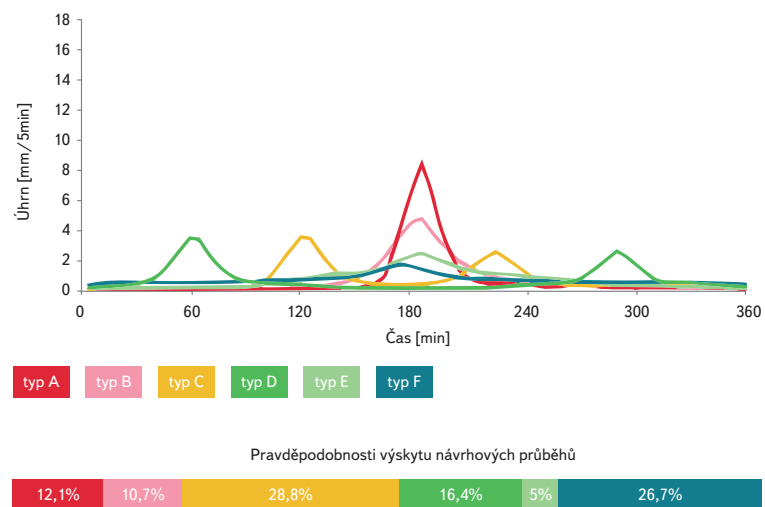
na každém povodí lze nalézt alespoň v části křivky trend klesající. To je způsobeno skutečností, že v řešeném území postupovala suburbanizace v naprosté většině na úkor orné půdy. V této studii nebyla k dispozici historická agronomická data, a proto byl na orné půdě jednotně uvažován úhor, pro nějž není CN příznivější (nižší) než pro některé typy vzniklé zástavby – např. rodinné domky se zahradami. Pokles v CN lze na některých povodích pozorovat dokonce i pro odhadovaný horizont roku 2050, což by bez započtení přímo napojených nepropustných ploch do modelu vedlo k poklesu simulovaných odtoků a pozitivnímu hodnocení vlivu urbanizace na hydrologický režim povodí, tedy ke zjevně chybnému závěru. Zohlednění podílu IMP je tedy nezbytné. Graf na obr. 5 vpravo ukazuje na rozdíl od CN již jednoznačný nárůst podílu nepropustných ploch ve všech pilotních povodích.

HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY PŮD

Aplikace metody SCS-CN vyžaduje informace o tzv. hydrologické skupině půdy (HSP) [6]. Jedná se o kvalitativní charakteristiku popisující infiltrační schopnost půdy a dostupný retenční prostor, půdy přitom rozřazuje do čtyř tříd A–D. V České republice přetrvává problém dvojrolejnosti metod stanovení HSP na zemědělské a lesní půdě. Zemědělské půdy jsou v tomto směru více probádané, HSP se tradičně určuje na základě převodníku [7] z hlavní půdní jednotky (HPJ), části kódu BPEJ. Stanovit HSP na lesních půdách se u nás poprvé pokusila metodika Janderkové [8] ve spolupráci s pracemi Macků [9] na základě převodníků a map Lesních typů. Tento počín se snad z důvodu slabé dokumentace a nedostatků metodiky prakticky nedostal do povědomí odborné veřejnosti, a v nejmladší publikované mapě HSP [10] je tak pro lesní půdy použito pouze orientační hodnocení na základě půdotvorného substrátu (nepublikováno). Oba přístupy na lesní půdě i hodnocení zemědělských půd, jakkoli do určité míry stojí na měřených hydrologických rozbořích, neberou žádným způsobem v potaz časové měřítko – tedy dlouhodobé změny hydrologického chování půd např. v důsledku intenzivního hospodaření. Ačkoli je tato problematika v poslední době předmětem diskuzí, není autorům příspěvku známa publikace dokumentující takový vývoj, který by bylo možné vzít do úvahy při definování historických či budoucích scénářů pro hydrologické hodnocení odtoků z povodí. Proto byly v této studii uvažovány půdní charakteristiky v pilotních povodích jako neměnné. Kategorie HSP byly převzaty z [10] kvůli výhodě 100% pokrytí řešeného území a aktuálnějšími informacemi pro zemědělskou půdu oproti aktuálně platnému, avšak zastaralému převodníku z HPJ [7].

NÁVRHOVÉ SRÁŽKY

Zatímco na velkých vodních tocích jsou obvyklou příčinou povodní regionální déletrvající vydatné deště, v případě malých povodí to jsou zpravidla srážky přívalové, trvající desítky minut až jednotky hodin. Kromě celkového úhrnu přívalové srážky významně ovlivňuje odtokovou odezvu i časový průběh intenzit. Čím vyšší je intenzita, tím vyšší je pravděpodobnost tvorby povrchového odtoku i na propustných půdách. Tento princip, jak známo, metoda SCS-CN zohlednit neumí, při výpočtu objemu odtoku generuje vždy stejné hodnoty nezávisle na průběhu vstupní srážky. Při výpočtu průběhu povodňové vlny (a z něj stanovení kulminačního průtoku) např. při spojení CN metody s metodou jednotkového hydrogramu je však zohlednění průběhu srážkových intenzit nezbytné. Připomeňme na tomto místě častou chybu v hydrologické praxi, již je použitím tzv. grafické metody, která je obsažena např. v aktuální protierozní metodice [7]. Tato metoda stanovení kulminačního průtoku byla odvozena za předpokladu konkrétního syntetického průběhu intenzit návrhové srážky – tzv. návrhového hyetogramu – platného pro část území USA. Na našem území nebyla verifikována, a nelze ji tedy doporučit. První analýzy průběhů intenzit



Obr. 6. Návrhové hyetogramy a pravděpodobnost jejich výskytu v povodí Dalejského potoka pro dobu opakování 50 let dle projektu Rain (rain.fsv.cvut.cz)
Fig. 6. Design hyetographs with their occurrence frequency in the Dalejsky creek catchment for the rainfall of 50 years return period according to the Rain project (rain.fsv.cvut.cz)

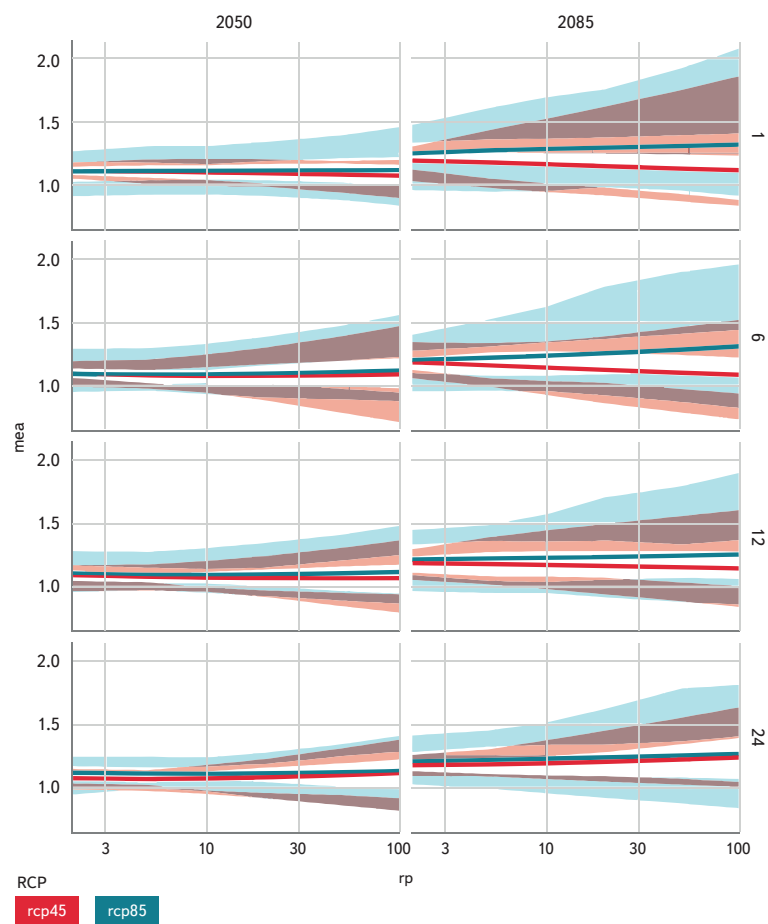
subdenních srážek na území ČR publikovala Kulasová [11] v roce 2012, k dispozici dává (ač pouze graficky, bez tabelovaných hodnot) tři varianty převládajících subdenních hyetogramů v hodinovém kroku. Novější a detailnější alternativu, která byla využita v této studii, popisuje nová metodika pro odvození návrhových srážek na území ČR [12], jež definuje šest typických hyetogramů šestihodinových srážek (obr. 6) a na přidruženém serveru rain.fsv.cvut.cz poskytuje on-line nástroje pro jejich odvození v libovolném místě ČR. Kromě odhadu návrhového úhrnu zde lze získat detailní průběh pětiminutových intenzit a relativní četnost výskytu jednotlivých průběhů pro danou dobu opakování. Šestihodinové trvání návrhové srážky bylo zvoleno s ohledem právě na malá povodí a maximální délky přívalových srážek. Odhady úhrnů s dobou opakování 5–100 let na pilotních povodích dle zmíněného serveru shrnuje tab. 2, detaily jejich odvození lze nalézt tamtéž.

Obdobně jako u průtoků vyžadují i statistické údaje o srážkách dlouhou řadu měření. Když pomíneme průkopnickou práci Trupla, který zpracoval relativně krátké řady analogických ombrometrických měření na 98 stanicích [13], není známa žádná práce aktualizující charakteristiky subdenní srážky na nyní mnohem delších řadách staničních měření. Detailní prostorové odhady srážek pro

Tab. 2. Návrhové úhrny šestihodinových srážek v pilotních povodích dle serveru rain.fsv.cvut.cz

Tab. 2. Design rainfall totals of 6 hours duration for the study catchments according to rain.fsv.cvut.cz

Návrhový úhrn (mm)	Doba opakování (roky)				
Povodí	5	10	20	50	100
Dalejský	31.5	36.4	41.2	47.7	52.6
Drahanský	32.2	37.5	42.7	49.7	55.3
Kopaninský	30.3	34.8	39.3	45.1	49.6
Lipanský	34.2	39.9	45.6	53.3	59.2
Motolský	31.1	36	40.9	47.4	52.4
Vinořský	32.7	38.1	43.6	51	56.8



Obr. 7. Predikované relativní změny (mea, osa y) v intenzitách srážek dle doby opakování (rp, osa x) a délky trvání v hodinách (v řádcích) pro dva budoucí horizonty (ve sloupcích) a dva klimatické scénáře RCP

Fig. 7. Prediction of relative changes in rainfall intensities (mea, x-axis) by the return period (rp, x-axis) and time duration in hours (in rows) for two future reference years (in columns) and two RCP scenarios

libovolné místo na území ČR jsou dostupné až v posledních dvaceti letech díky meteorologickým radarům. To je zatím příliš krátká řada pro analýzu změn srážkových charakteristik, proto byly v této studii použity konstantní hodnoty úhrnů a shodné zastoupení průběhů intenzit ve všech historických scénářích 1920–2012. Pro jednotlivé doby opakování byly na každém povodí zvoleny všechny návrhové hyetogramy, jejichž pravděpodobnost výskytu je vyšší než 15 %.

První pokusy o projekci budoucích změn charakteristik subdenních srážek na základě klimatických scénářů již existují. Dle výsledků studie [14] se rozptyl předpovídaných změn podle jednotlivých modelů zvyšuje s délkou předpovědního horizontu, což je patrné na obr. 7. Jak ukazují křivky v levém sloupci, pro rok 2050 jsou střední změny intenzit srážek očekávány poměrně konstantní pro všechny doby opakování a délky trvání a nezávislé na scénáři vývoje koncentrací skleníkových plynů RCP. Variabilita předpovědí však roste s rostoucí dobou opakování, jak ukazují obalové křivky 1. a 3. kvantilu na obr. 7, což je třeba vzít v úvahu jako významný zdroj nejistoty i pro srážkoodtokové modelování. V této studii jsme pro zachování rozumného počtu výpočetních scénářů uvažovali pouze průměrnou predikovanou změnu ve srážkových intenzitách, která činí +10 % pro kteroukoli délku trvání. Tento konstantní charakter umožňuje snadnou modifikaci návrhových hyetogramů prostým přenásobením úhrnu v každém časovém kroku konstantou 1,1.

STAVBA SRÁŽKOOTOKOVÝCH MODELŮ PILOTNÍCH POVODÍ A VÝPOČETNÍ SCÉNÁŘE

V prostředí HEC-HMS bylo sestaveno celkem 48 modelů, pro každé z šesti pilotních povodí celkem osm kombinací časového horizontu a scénáře půdního pokryvu. Každé povodí bylo členěno nejméně na tři až šest subpovodí, s výjimkou Motolského potoka, kde bylo kvůli extrémní složitosti a antropogenním změnám hydrografické sítě definováno 11 subpovodí. Jejich hranice byly i v rámci jednoho pilotního povodí mírně proměnlivé v čase podle identifikovaných změn v hydrografické síti (úpravy vodních toků, zaklenuť, stavba suché nádrže) nebo změn ve směrování povrchového odtoku v důsledku stavby významných liniových staveb. Pro každé subpovodí byly z map půdního pokryvu určeny podíly IMP a kombinací těchto map s HSP spočteny průměrné hodnoty CN. Tyto dva parametry determinují v modelu srážkovou ztrátu, tedy v důsledku objem přímého odtoku. Dle metodiky [15] byla z morfologických charakteristik povodí a CN určena odhadovaná doba zpoždění TLAG (viz vztah 15-4a metodiky), jakožto parametr jednotkového hydrogramu, určující spolu s průběhem efektivní srážky rozložení odtoku v čase = průběh odtokového hydrogramu. Potřebné morfologické charakteristiky (průměrný sklon povodí a maximální délka odtokové dráhy) byly odvozeny pro každé subpovodí v prostředí ArcGIS pomocí nástrojů z toolboxu ArcHydro. Pro výpočet postupu a transformace vlny v korytě byla zvolena metoda Muskingum-Cunge, vyžadující tvar a hydraulické charakteristiky koryta. Tyto parametry byly zadány v několika typizovaných sadách podle charakteru koryta odhadovaného z leteckých snímků, fotografií či osobního terénního průzkumu. V případě Motolského potoka byly zaměřeny objekty suché nádrže Tatra Zličín a definovány charakteristické čáry nádrže pro výpočet transformace odtokových vln. Malé vodní nádrže na všech povodích byly zanedbány. Pro výpočet byly v každém z 48 modelů použity následující meteorologické scénáře.

Kromě základní sady výpočetních scénářů uvedených v tab. 3 byly pro stávající stav půdního pokryvu definovány scénáře na základě pozorovaných intenzivních srážek v roce 2018 pro verifikaci modelů. Pouze pro rok 2018 bylo možné zakoupit od ČHMÚ adjustovaná radarová srážková data v prostorovém rozlišení 1 km² a časovém kroku 10 minut z období od dubna do konce října. Vybráno bylo celkem pět intenzivních epizod, které různou měrou zasáhly jednotlivá pilotní povodí. Podle výsledků verifikace popsaných v následující sekci pak byly upraveny všechny modely a spočteny základní sady scénářů, jejichž výsledky budou diskutovány následně.

VERIFIKACE MODELŮ NA POZOROVANÝCH UDÁLOSTECH

Metoda SCS-CN byla původně odvozena pro malá zemědělská povodí. Teprve později byly vyvinuty postupy pro aplikaci v zastavěných územích, přičemž klíčový problém spočívá ve stanovení tzv. napojených nepropustných ploch. Jedná se o nepropustné plochy přímo odvodňované do hydrografické sítě nebo kanalizačního systému. Jejich podíl se do nástroje HEC-HMS zadává explicitně pro každé subpovodí, při výpočtu pak objem odtoku z této části povodí není redukován metodou SCS-CN a vstupuje do odtokové rutiny celý. Hodnoty napojených nepropustných ploch v praxi nelze zcela exaktně určit, proto byly pro všechny pozorované srážky vypočteny dva krajní scénáře. Ve standardním scénáři (v grafech na obr. 8–11 značeno jako *sim.stand*) byly jako podíly napojených nepropustných ploch převzaty kompletní podíly IMP odvozené při odvozování Map půdního pokryvu. Druhý, redukováný scénář (v grafech na obr. 8–11 značeno jako *sim.red*), uvažuje nulový podíl těchto napojených nepropustných ploch. Redukovaný scénář NEZNAMENÁ, že se v povodí nenachází žádné nepropustné plochy, neboť jejich podíl je již zohledněn v hodnotách CN, pouze představuje takovou konfiguraci území, ve kterém je veškerý odtok z nepropustných ploch vyústěn na propustné povrchy, nikoli přímo do vodního toku nebo kanalizace. Při zcela exaktním postupu by podíl IMP neměl být zahrnut při výpočtu čísla CN pro zbytek území (propustné a nenapojené nepropustné plochy). Vzhledem ke komplikovanému několikastupňovému určení CN v této studii nebylo provázání těchto dvou parametrů zohledněno, postup podle standardního scénáře by zjevně nadhodnotil objem odtoku.

Verifikace modelů byla provedena prostým kvalitativním porovnáním modelovaných a pozorovaných průtoků. Monitoring hladin (průtoků) byl zřízen na začátku roku 2018 v profilech identifikovaných jako vhodných během terénního průzkumu, na třech z šesti povodí pak byly pozorovány profily dva. Bohužel monitoring hladin byl zřízen se zaměřením na nízké průtoky kvůli kvantifikaci bilance povodí, čemuž odpovídal i způsob měření. Zpravidla byly profily osazeny malými měrnými přelivy, často pak v relativně přírodním – a tedy nízkokapacitním – úseku koryta. Na Drahanském a Dalejském potoce tak lze použít pozorované průtoky pouze k detekci, zda a kdy povodí zareagovalo na příčinou srážku, případně srovnávat odezvu standardního a redukováného modelu. Modelovaný a pozorovaný objem a kulminaci však zde porovnat v žádném případě nelze. Na Lipanském potoce se projevil dopad řady extrémně suchých let, jejichž důsledkem bylo jeho vyschnutí. Pozorování na tomto toku bylo ještě v průběhu roku 2018 zrušeno. Monitoring srážek na pilotních povodích zřízen nebyl, pro verifikaci modelů byly proto použity adjustované radarové snímky srážek v časovém kroku 10 minut, které byly k dispozici od roku 2002 až 2018 pro období od dubna do října díky projektům QJ1520265 a QK1910029. V modelu byly použity z radarů odvozené průměry pro každé subpovodí v detailním 10minutovém kroku.

Tab. 3. Přehled skupin výpočetních scénářů pro každé modelové povodí
Tab. 3. Overview of computational scenarios groups for each study catchment

Scénáře pro časový horizont	Model půdního pokryvu	Úhrn 6h srážky	Rozložení intenzit
1920, 1950, 1970, 1990, 2012	Dle Map půdního pokryvu (MPP) 1920–2012	Dle současných odhadů PN6h	Návrhové hyetogramy dle současného podílu výskytu nad 15 %
2050-0	Nulový vývoj, shodné s MPP 2012		
2050-N	MPP 2050, normální vývoj	Současné odhady PN6h navýšené o 10 % dle klimatických projekcí	Identické průběhy jako výše, intenzity navýšeny o 10 % dle klimatických projekcí
2050-A	MPP 2050, agresivní vývoj		

Komplikací pro řádnou verifikaci byl krátký průnik období pozorování s obdobím dostupných úhrnů z adjustovaných radarových snímků. Od půli června 2018 (zřízení monitoringu průtoků) do konce října 2018 (konec období dostupných radarových dešťových dat) bylo zaznamenáno jen pět intenzivnějších událostí a jejich doba opakování v porovnání s šestihodinovými úhrny nepřekročila úroveň pěti let. U takto nízkých úhrnů je známa poměrně nízká spolehlivost metody SCS-CN [1] a na urbanizovaném povodí se ještě může významně projevit vliv stokové sítě. Kvůli relativně nízké kapacitě (obvykle je schopna pojmout objem zhruba dvouleté návrhové srážky) zadrží jen omezený podíl odtoku, a její vliv tak s rostoucí dobou opakování příčné srážky rychle klesá. V neposlední řadě se pak některé z pozorovaných událostí skládaly z více dílčích epizod rozdělených v extrémním případě až do tří dnů, takže jejich užití k verifikaci modelu bez komponenty obnovující retenční kapacitu povodí již není korektní. V tomto příspěvku není prostor pro uvedení plného rozsahu verifikace modelů, prezentován bude výběr modelovaných událostí ilustrující specifika některých povodí a jejich odezvy.

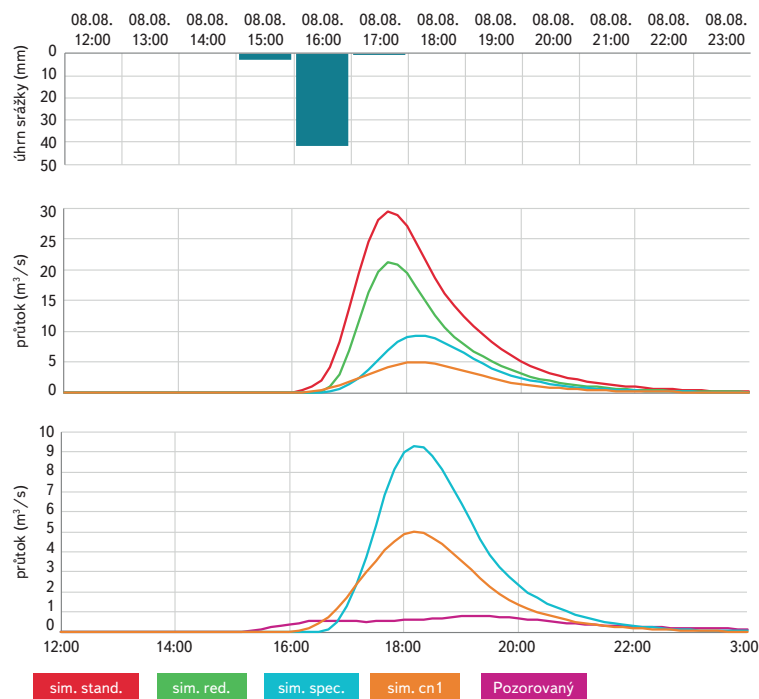
VINOŘSKÝ POTOK

Na Vnořském potoce byla 8. 8. 2018 zaznamenána vůbec nejvydatnější a nejintenzivnější srážka ze všech šesti pozorovaných povodí. Celkový úhrn činil 45 mm, což odpovídá šestihodinové srážce s dobou opakování 20 let, a byl téměř celý koncentrován do jedné hodiny. Modelovaná odezva však zdaleka neodpovídala pozorovaným průtokům standardního ani redukovaného modelu, jak ukazuje obr. 8. Dolní část povodí Vnořského potoka je spíše přírodního charakteru s kaskádou malých vodních nádrží. Ty by mohly vysvětlovat plošší charakter pozorované odtokové vlny oproti modelované, avšak nikoli její dramaticky nižší objem. Horní část povodí je prakticky rovinatá, což vede k velmi nejistému vymezení rozvodnice a značné povrchové retenci. Plochu povodí mohou snadno významně ovlivnit liniové prvky jako silniční komunikace. Podrobný terénní průzkum nebyl v tomto povodí prováděn, proto byl dodatečně modelován teoretický scénář (*sim.spec.*), v němž byla snížena hodnota CN o 5 bodů a zanedbána nejvýše ležící plochá část povodí. Ani v tomto případě se však modelovaná a pozorovaná odezva (viz obr. 8 vpravo dole) nepodobají. Jelikož rok 2018 byl velmi suchý, byly ve specifickém scénáři navíc nahrazeny hodnoty CN pro průměrné vláhové podmínky hodnotami odpovídajícími suchým počátečním podmínkám. Přepočítání bylo provedeno pro každé subpovodí zvlášť podle vztahu uvedeném v metodice [12]. Průměrná hodnota CN1 pro celé povodí ve výši 64,5 dobře odpovídala aktuální denní hodnotě 68 dle indikátoru přívalových povodní modelovaném v celorepublikovém měřítku na ČHMÚ (zdroj: osobní komunikace). Jakkoli je simulovaný odtok (na obr. 8 značeno jako *sim.cn1*) nejbližší pozorovanému, objem ani kulminace odtoku ani v tomto krajním scénáři nesouhlasí.

Simulace druhé významné srážkoodtokové události z 11.–12. 6. 2018 s úhrnem 37 mm (odpovídá N = 10 let) vykazovala podobně špatnou shodu. Ověření modelu tohoto povodí je nutné považovat za neúspěšné a následně modelování historických a budoucích scénářů spíše za určitou formu citlivostní analýzy. Pro získání věrohodných předpovědí by bylo nutné identifikovat příčiny odchylky modelu od pozorované reality.

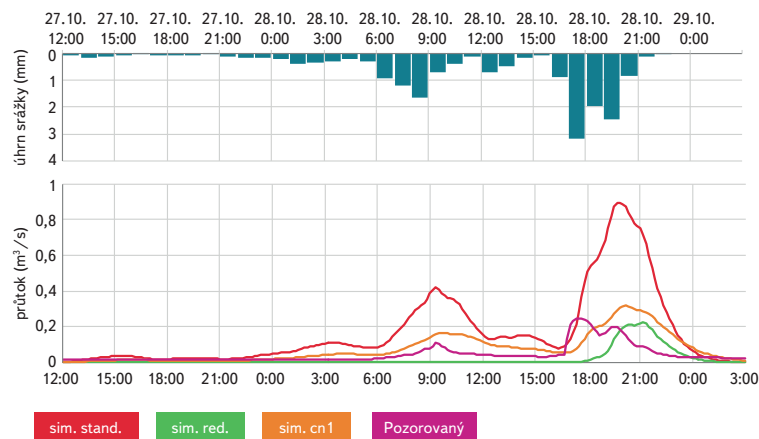
KOPANINSKÝ POTOK

Na povodí Kopaninského potoka byla nejintenzivnější srážkoodtoková událost zaznamenána ve dnech 27.–28. 9. 2018 s celkovým úhrnem 19 mm. Jedná se o poměrně nízký úhrn pod hranici doby opakování dva roky, hodinové úhrny v horní části obr. 9 ukazují, že po většinu doby byla intenzita srážky velmi nízká, takže lze očekávat tvorbu odtoku spíše z nepropustných a později i ze saturovaných částí povodí.



Obr. 8. Srážkoodtoková událost na Vnořském potoce z 8. 8. 2018. Pozorované hodinové srážkové úhrny (nahore), simulované odtoky ve čtyřech scénářích (uprostřed) a detailní srovnání specifického a „suchého“ scénáře s pozorovaným odtokem (dole)

Fig. 8. Rainfall-runoff event in Vnořský creek catchment on 8. 8. 2018. Hourly rainfall amounts (top), modelled discharges from four scenarios (middle) and observed discharge with two specifically reduced models output in detail (bottom)



Obr. 9. Srážkoodtoková událost na Kopaninském potoce z 27.–28. 9. 2018. Nahore pozorované hodinové srážkové úhrny, dole pozorovaný (fialové) a modelované odtoky ve standardním (červeně), redukovaném (zeleně) a „suchém“ scénáři (oranžově)

Fig. 9. Rainfall-runoff event in Kopaninský creek catchment on 27.–28. 09. 2018. Hourly rainfall totals in the top panel, at the bottom observed discharge (violet) compared to modelled discharges from standard (red), reduced (green) and “dry” scenario (orange)

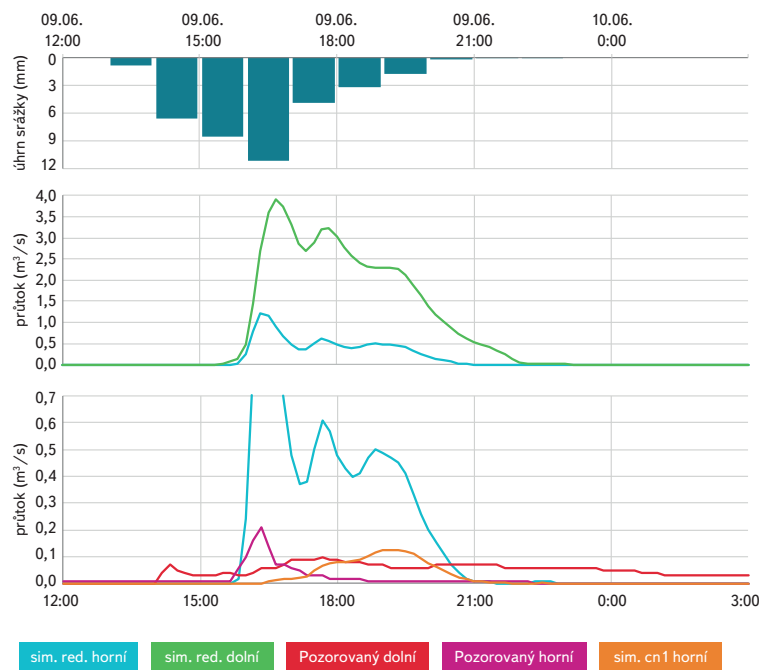
Výsledky modelů tuto hypotézu celkem dobře potvrzují, v redukovaném scénáři (obr. 9 dole) bez přímo napojených nepropustných ploch je odtok generován až v závěrečné části události po vyčerpání počáteční ztráty a v reakci na intenzivnější závěr srážkové události. Ve standardním modelu vede započtení celého podílu nepropustných ploch jako přímo napojených k nadhodnocení objemu odtoku (viz scénář *sim. stand* na obr. 9). Další testovaný scénář bez napojených nepropustných ploch a s využitím hodnot CN pro suché počáteční

podmínky (podle *hamr.chmi.cz* panovalo v daném období v povodí „mírné sucho“) dle očekávání nevygeneroval odtok žádný. Tento efekt a odlišné časování kulminací má zřejmě na svědomí fakt, že pozorovaný odtok byl pravděpodobně generován pouze na zpevněných plochách. Kvůli struktuře modelu byl však pro transformaci veškerého odtoku použit jednotkový hydrogram, jehož parametry odpovídají spíše „pomalejším“ průměrným charakteristikám celého povodí. Blíže realitě by bylo modelování složky odtoku z nepropustných ploch s pomocí samostatně definovaného povodí s rychlejší odezvou. Na závěr byl vyhodnocen modifikovaný „suchý“ scénář, do něhož byly zadány poloviční podíly nepropustných ploch. Výsledná odtoková odezva (scénář *sim.cn1* na obr. 9) je svým charakterem zatím nejbližší pozorované odtokové vlně.

Pozitivním rysem verifikace modelu Kopaninského potoka oproti Vinořskému na této i dalších pozorovaných událostech je řádově bližší objem i kulminace odtoku. Zda je celkově model tohoto povodí schopnější přesnějších predikcí, nelze jednoznačně říci, pro přesnější kalibraci modelu by byla nutná další pozorování extrémnějších srážkoodtokových událostí až už s ohledem na celkový úhrn, nebo průměrnou srážkovou intenzitu, případně méně příznivé počáteční podmínky.

MOTOLSKÝ POTOK

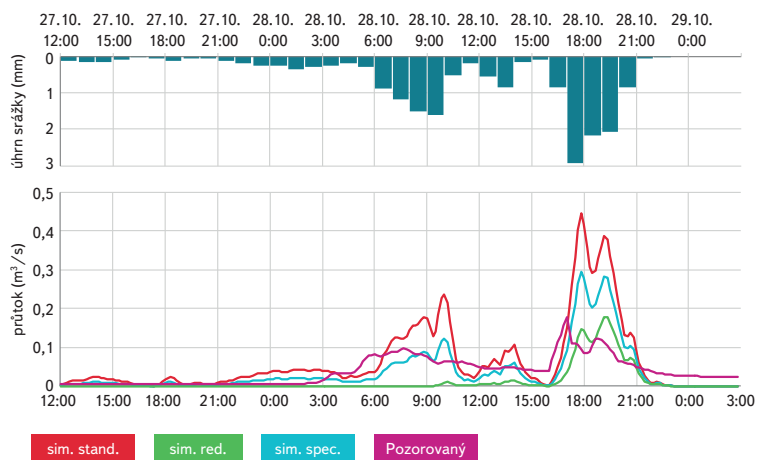
Verifikace modelu Motolského potoka je nejnáročnější ze všech pilotních povodí, neboť se jedná o povodí těžce antropogenezované. Většina povodí je zastavěna, s výjimkou několika prvních a posledních stovek metrů je tok Motolského potoka zaklenutý a nemalé sídelní celky jsou opatřeny dešťovou kanalizací s několika retenčními prvky (DUN). Model povodí se skládal z 11 dílčích povodí s velmi komplikovanými hranicemi, přesto se zřejmě nepodařilo hydrologickou strukturu systému postihnout dostatečně. Nejvýznamnější srážkové události v roce 2018 zasáhly Motolský potok dvakrát krátce po sobě ve dnech 9. a 12. června. Obě srážkové události byly koncentrovány jen do několika hodin a měly úhrn kolem 40 mm, což odpovídá zhruba době opakování 10 let. Při druhé srážce jeden z měrných profilů neměřil, přesto lze říci, že ani jedna z těchto intenzivních událostí nevedla k odtokům predikovaným modelem. Zvláštní je i skutečnost, že odezva na druhou z událostí byla nižší, přestože povodí bylo v té době více nasycené. Ani vyšší pozorovaná odezva na první událost nedosahuje svým objemem ani kulminací modelovaných hodnot, jak je patrné z obr. 10. Vyšší kulminace byla zaznamenána na horním profilu, který se sice nacházel nad suchou nádrží Tatra Zličín, ale jeho povodí bylo jen asi třetinové oproti dolnímu profilu, kde byly proto očekávány průtoky větší. Zatímco povodňová vlna na horním profilu má velmi rychlý nástup a pokles, což odpovídá hydraulicky hladkému – zastavěnému – povodí bez výrazných retenčních prvků, vlna na dolním profilu jasně ukazuje efekt dešťové kanalizace, kdy ještě několik hodin po konci srážky dochází ke konstantnímu zvýšenému odtoku, jak se postupně prázdnily retenční nádrže. Celkově nízký objem odtoku však existence této infrastruktury vysvětlit nedokáže, jedinou hypotézou kromě chybného měření je tak odlišná skutečná plocha povodí nebo vliv suchých počátečních podmínek. Horní část povodí zahrnují velmi ploché areály brownfieldu Tatro Zličín a komerční zóny ve Stodůlkách. První z nich je jen částečně zastavěný a může disponovat značnou povrchovou retencí, zatímco u druhého areálu není vyloučené částečné svedení odtoků do sousedního povodí. Bez detailního průzkumu odtokových poměrů v těchto oblastech lze těžko odhadnout skutečnou plochu povodí, modelován byl proto jediný dodatečný scénář *sim.cn1*, v němž podobně jako v případě Vinořského potoka byly použity hodnoty CN odpovídající suchým počátečním podmínkám. Na rozdíl od Vinořského potoka se v tomto případě modelovaný objem odtoku dobře blíží pozorovanému, což potvrzuje hypotézu o vlivu suchých počátečních podmínek. Výrazný rozdíl je však v charakteru odtokové odezvy, což ukazuje pravděpodobně na dominantní podíl odtoku ze zpevněných ploch, který je rychlejší než odtok modelovaný jednotkovým hydrogramem odvozeným spíše pro průměrné charakteristiky povodí.



Obr. 10. Pozorovaná srážka (nahore), simulované odtoky z redukovaných scénářů na obou profilech (uprostřed) a detail srovnání měřených průtoků a dvou simulací z horního profilu (dole) během události z 9. 6. na Motolském potoce
Fig. 10. Hourly rainfall amounts (top), modelled discharges from reduced scenarios in the two monitored profiles (middle) and detailed comparison of two simulated runoff responses in the upstream gage compared to observed runoff in both gages (bottom) during the rainfall-runoff event on 9. 6. in Motolsky creek catchment

Paradoxem pozorování na Motolském potoce je, že nejvyšší zaznamenaný průtok byl registrován na dolním profilu v odezvě na cca dvouhodinovou srážku ze dne 8. 8. s úhrnem necelých 6 mm. Odtoková odezva byla prudká svým nástupem i poklesem. Horní profil nezaznamenal v daném termínu žádnou aktivitu, lze tedy předpokládat, že se jednalo o odtok z odlehčení dešťové kanalizace v areálu nemocnice Motol a přilehlých komunikací, na níž nebyly dohledány žádné retenční prvky. Model tuto srážku reprodukoval překvapivě lépe, když dosáhl asi polovičních hodnot objemu a kulminace odtoku.

Relativně slušně si model Motolského potoka vedl i v případě srážkové epizody z 28.–29. října 2018 s úhrnem 20 mm (doba opakování méně než dva roky). Modelované průtoky na horním profilu (obr. 11) svým charakterem slušně vystihují pozorování, přičemž kulminaci odtoku lépe vystihuje redukovaný model bez napojených nepropustných ploch, objem odtoku pak souhlasí lépe u modelu s jejich polovičním podílem (scénář *sim.spec*; pozor, odlišný od specifického scénáře na Vinořském potoce). Standardní model jednoznačně nadhodnocuje obě povodňové charakteristiky. Dřívější pozorované vrcholy odtoku oproti modelu lze připsat již diskutovanému tvaru jednotkového hydrogramu. V modelu nelze jednoduše aplikovat jednotkový hydrogram s různými parametry pro zpevněné a nezpevněné části povodí, obě složky odtoku jsou proto transformovány stejně „rychle“. Použitá parametrizace hydrogramu odpovídá spíše průměrným charakteristikám povodí, což vede k podhodnocení rychlosti reakce nepropustných ploch. Na dolním profilu byla shoda modelu a pozorování slabší (není zobrazeno). Rozdíly v objemu a kulminaci byly sice obdobné, ale charakterem byla pozorovaná odezva mnohem pomalejší a poukázala na vliv retenčních prvků, ať už existujících DUN, nebo kaskády tří bočních Motolských rybníků.

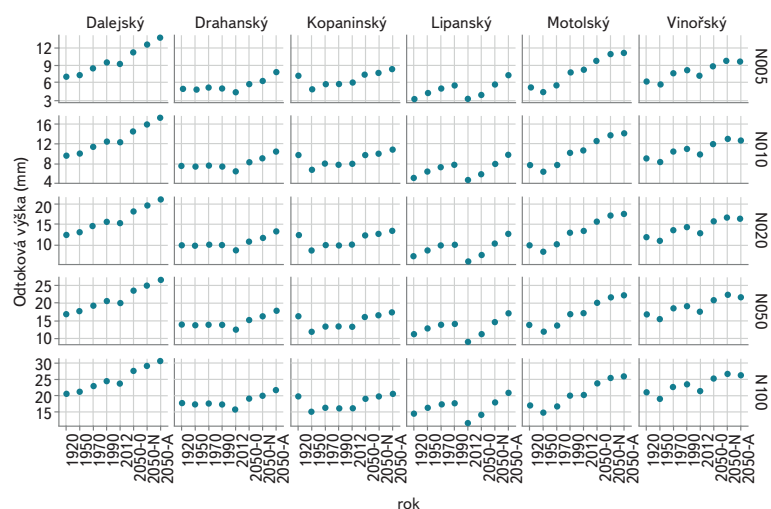


Obr. 11. Pozorovaná srážková událost (nahore) a srovnání měřených a modelovaných odtoků na horním měrném profilu Motolského potoka během události z 28.–29. 10. Fig. 11. Hourly rainfall amounts (top) and observed discharge in the upstream gage compared to modelled discharges during the rainfall-runoff event on 28.–29. 10. in the Motolský creek catchment

VÝSLEDKY A DISKUZE

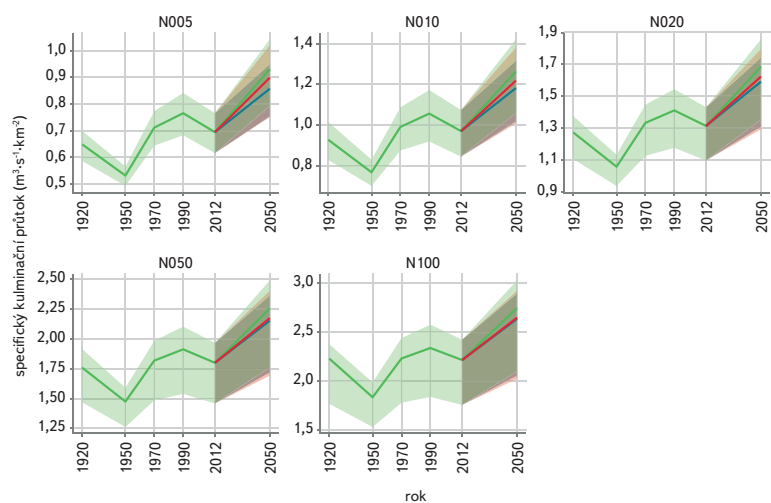
Po zvážení poznatků z verifikace modelů na pozorovaných událostech ve třech pilotních povodích a s cílem nezanášet do modelování další nejistoty bylo všech 48 modelů jednotně modifikováno tak, že podíl napojených nepropustných ploch byl snížen na polovinu celkového zastoupení IMP. Přesnější a individuální nastavení modelů by vyžadovalo více pozorovaných srážko-odtokových událostí, i tak by byla kalibrace parametru IMP platná jen pro současný časový horizont a pro historické a budoucí scénáře by musel být použit odhad.

Pro výpočet všech scénářů byly extrahovány odtokové hydrogramy v závěrovém profilu a vyčísleny odtokové výšky a specifické kulminační odtoky. Na obr. 12 jsou vykresleny odtokové výšky pro všechny uvažované doby opakování a časové horizonty. Pro každý časový horizont je znázorněn pouze jeden bod, neboť všechny scénáře lišící se jenom průběhem srážky generují stejné objemy odtoku, což je známý nedostatek metody SCS-CN. Ze všech povodí je k vysokým objemům odtoku nejvíce náchylný Dalejský potok, což je důsledek nejvyšších hodnot CN. Následuje Motolský potok, kde k vysokým hodnotám CN přispívá i nejvyšší podíl (napojených) nepropustných ploch. Vysoké hodnoty na Vinořském potoce je třeba brát s opatrností vzhledem k neúspěšné verifikaci jeho modelu na pozorovaných událostech. Nižší odtoky lze očekávat na povodích Dražanského, Kopaninského a Lipanského potoka. Na všech povodích je patrný očekávaný budoucí nárůst oproti současnosti už u nulového scénáře 2050-0, který uvažuje pouze změnu v klimatických charakteristikách a nikoli plošný rozvoj sídel. Zhruba dvojnásobný nárůst, který způsobuje pouhá změna srážkových úhrnů a intenzit, je patrný u budoucího scénáře normálního vývoje 2050-N. Agresivní scénář 2050-A pak změnu téměř ztrojnásobí, snad s výjimkou Vinořského potoka, kde model překvapivě předvídá spíše pokles oproti normálnímu scénáři. To je pravděpodobně anomálie způsobená specifickou predikcí nově urbanizovaných ploch. Na původně hydrologicky nepříznivém úhuru na orné půdě (z hlediska hodnot CN) byl uvažován vznik relativně hydrologicky příznivé zástavby a vyšší množství izolační zeleně podél významných komunikací. To naznačuje možnost kompenzace pokračující urbanizace vhodnou strukturou rozvíjeného území, přesnější výsledky by však bylo nutné získat detailnějším modelováním a pečlivou tvorbou mapových scénářů. Nevýrazný rozdíl agresivního a normálního scénáře je dále predikován na Motolském potoce, neboť jeho povodí je již nyní silně urbanizované a potenciál pro další rozvoj je zde velmi omezený.



Obr. 12. Vývoj odtokové výšky na pilotních povodích dle doby opakování a časového horizontu Fig. 12. Modelled runoff volumes in the study catchments by year and return period

Grafy na obr. 13 až 16 ukazují příklady predikované změny ve specifických kulminačních odtocích na jednotlivých povodích. Kompletní výsledky pro všech šest pilotních povodí lze nalézt na zmíněném mapovém portálu. Středová čára vyjadřuje průměr specifických kulminací, vypočtený je ze všech uvažovaných časových průběhů intenzit a vážený jejich zastoupením v současnosti. Pruhy kolem průměru pak znázorňují rozsah mezi minimální a maximální simulovanou hodnotou ze všech uvažovaných průběhů, celkově jde tedy o variabilitu způsobenou rozdílným průběhem srážkových intenzit. Z grafů je patrné, že tato variabilita je značná a absolutní velikost srovnatelná se změnami predikovanými v důsledku pokračující urbanizace povodí. To ukazuje na důležitost dalšího výzkumu průběhů intenzivních srážek a jejich změn v důsledku změn klimatu.

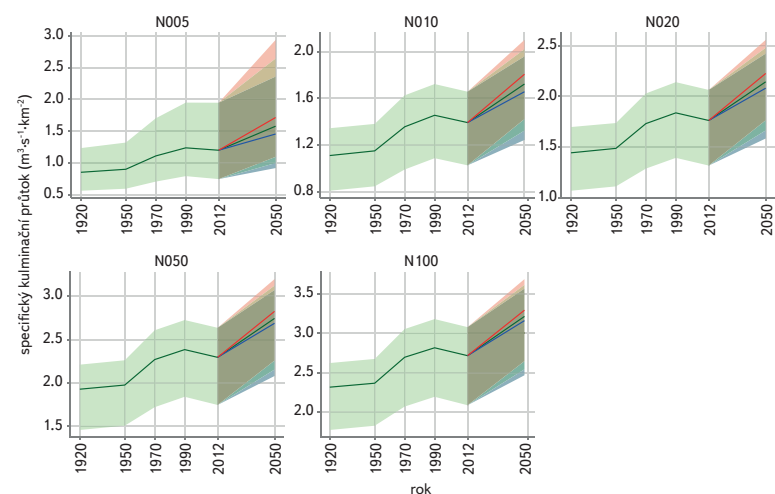


Obr. 13. Vývoj specifických kulminačních odtoků na povodí Vinořského potoka dle doby opakování a časového horizontu. Zeleně historický a normální budoucí vývoj, modře nulový scénář, červeně agresivní scénář Fig. 13. Area-specific peak flows in the Vinořský stream catchment by year and return period. Historical periods and normal future scenario in green, zero-development scenario in blue, extreme scenario in red

Zelený pruh na grafech specifických odtoků vyjadřuje historický a normální budoucí vývoj (scénář 2050-N), modrý reprezentuje nulový budoucí vývoj – tedy změny vyvolané pouze změnou klimatických charakteristik – a červený pruh agresivní scénář rozvoje sídel. Na všech povodích je dle očekávání predikován nárůst ve všech scénářích, přičemž rozdíly mezi budoucími scénáři vývoje sídel klesají s rostoucí dobou opakování srážky. To ukazuje na známý dominantní vliv srážek a slábnoucí schopnost krajiny – urbanizované stejně jako přírodní – zadržet při stejných počátečních podmínkách extrémní úhrny.

Toto jsou však patrně jediné společné rysy pro všechna pilotní povodí, jinak mají na nich modelované specifické kulminace velmi různorodý charakter. Podobně jako u objemu odtoku, paradoxní rozdíly v dopadech budoucích scénářů jsou modelovány na Vinořském potoce (obr. 13), kde agresivní scénář generuje nižší kulminace než scénář normálního vývoje, s rostoucí dobou opakování se dokonce blíží scénáři nulovému. Jak již bylo diskutováno u objemu odtoku, jedná se zřejmě o důsledek specifické podoby mapy budoucího půdního pokryvu. Nepatrné rozdíly mezi budoucími scénáři byly zjištěny v povodí Motolského potoka, kde je prostor pro další růst města již velmi omezený. Vyšší, přesto stále poměrně malé rozdíly predikují různé scénáře vývoje na Dalejském potoce (obr. 14), kde se dočasný pokles kulminací mezi lety 1990–2012 navrácí zpět k rostoucímu trendu a jednoznačně dosahuje historicky nejvyšších hodnot. Oproti tomu na Lipanském potoce pouze agresivní scénář pro rok 2050 přesahuje historické maximum roku 1990 (obr. 15), kdy se v povodí nacházely rozlehlé plochy povrchové těžby, orné půdy a staveniště dopravních komunikací, které byly v následujících letech rekultivovány na travnaté a křovinaté plochy. Prostor pro další zástavbu je na tomto povodí značný, a proto jsou i rozdíly mezi budoucími scénáři významné. Zatímco na Lipanském potoce je pokles specifických kulminací mezi lety 1990 a 2012 dán reálnou pozitivní změnou půdního pokryvu, pokles na Motolském potoce mezi roky 1970 a 1990 (obr. 16) je způsoben cílevědomým zásahem člověka do odtokových poměrů – stavbou suché nádrže Tatra Zličín, jejíž efekt v závěrovém profilu vykompenzoval jinak silnou urbanizaci povodí.

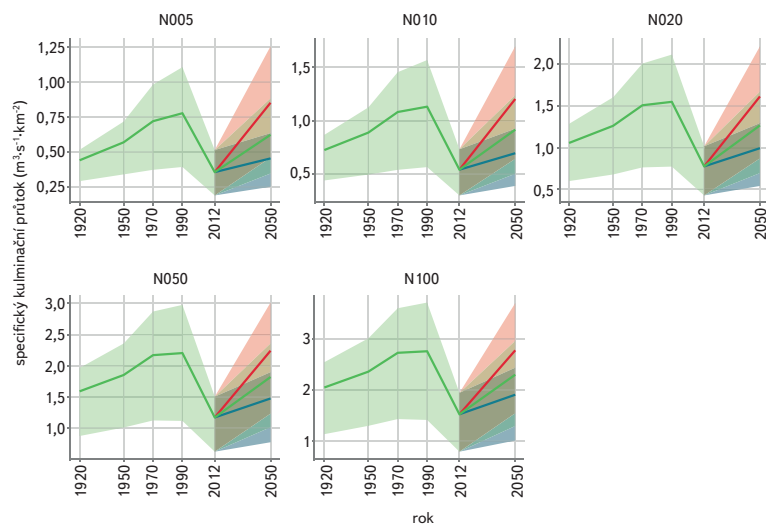
Na některých povodích – např. na Vinořském potoce (obr. 13) – je patrný pokles specifických kulminací (a rovněž objemů odtoku) mezi historickými časovými horizonty 1920–1950. Ten lze připsat možným chybám při náročném



Obr. 14. Vývoj specifických kulminačních odtoků na povodí Dalejského potoka dle doby opakování a časového horizontu. Zeleně historický a normální budoucí vývoj, modře nulový scénář, červeně agresivní scénář

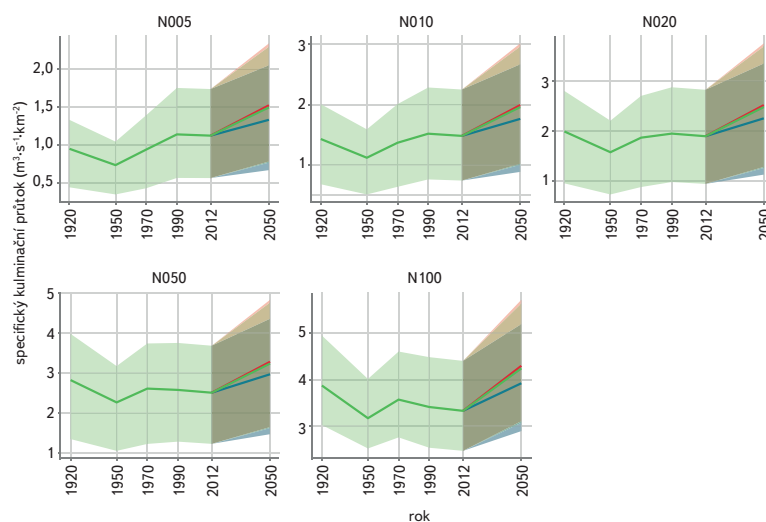
Fig. 14. Area-specific peak flows in the Dalejsky stream catchment by year and return period. Historical periods and normal future scenario in green, zero-development scenario in blue, extreme scenario in red

určení půdního pokryvu pro rok 1920, pro nějž nebyly k dispozici letecké historické snímky a typ pokryvu byl stanoven na základě kvalitativně odlišných a nejasně interpretovatelných podkladů.



Obr. 15. Vývoj specifických kulminačních odtoků na povodí Lipanského potoka dle doby opakování a časového horizontu. Zeleně historický a normální budoucí vývoj, modře nulový scénář, červeně agresivní scénář

Fig. 15. Area-specific peak flows in the Lipansky stream catchment by year and return period. Historical periods and normal future scenario in green, zero-development scenario in blue, extreme scenario in red



Obr. 16. Vývoj specifických kulminačních odtoků na povodí Motolského potoka dle doby opakování a časového horizontu. Zeleně historický a normální budoucí vývoj, modře nulový scénář, červeně agresivní scénář

Fig. 16. Area-specific peak flows in the Motolsky stream catchment by year and return period. Historical periods and normal future scenario in green, zero-development scenario in blue, extreme scenario in red

ZÁVĚR

Hodnocení a predikce charakteristik povodňových odtoků na malém urbanizovaném povodí je náročný úkol zejména kvůli absenci přímého měření, a tím nemožnosti kalibrovat srážkoodtokové modely. Jak ukázala prezentovaná studie, jednotky let víceúčelového měření (obzvláště v nevyhovujících proflech

či konfiguraci měrného objektu pro vysoké vodní stavy) nejsou dostatečné. V případě existujícího měření je komplikací pro stavbu věrohodného modelu potřeba poměrně detailních vstupů, které jsou ne vždy plně k dispozici. Detailní srážková data lze dnes s vysokým časovým i prostorovým rozlišením získat ze srážkových radarů. Pozorované zasažení pilotních povodí v této studii a jejich dílčích částí srážkovými událostmi ze stejných termínů s rozdílnými úhrny a intenzitami zdůrazňuje potřebu považovat tento postup dnes již za nutný standard. Informace o hydrotechnické infrastruktuře jsou roztržštěné a jejich shromažďování zdlouhavé. Naštěstí pro studium událostí s dobou opakování nad pět let by zanedbání většiny z nich nemělo vést k významným odchylkám, suché nádrže však zohledněny být musejí. Největší výzvou v této studii byla kvantifikace nepropustných ploch. Potřebné detailní mapové podklady s tímto účelem neexistují, přitom zastoupení nepropustných ploch a zejména určení jejich recipientu – tedy zda jsou přímo napojené na odvodňovací síť, či nikoli – se pro hydrologické modelování ukazuje jako naprosto klíčový vstup. Jejich zmapování a klasifikace by byl velmi přínosný počín obecních a státních institucí. Pro hodnocení budoucího vývoje je pak nutné, aby byly dostupné územní plány, pokud možno publikované ve standardizované podobě pro celé území ČR. V této studii bylo nezbytné individuálně kombinovat kvalitativně odlišné podklady HMP a Středočeského kraje, což bylo možné jen díky malému územnímu rozsahu šesti pilotních povodí (z větší části na území jen HMP), v případě analýzy celého obvodu Prahy by takový postup nebyl možný.

V rámci prezentované studie byly vytvořeny vektorové vrstvy historického a projektovaného půdního pokryvu, dostupné jsou ve specializované mapové aplikaci. K těmto vrstvám byly odvozeny hydrologické charakteristiky CN a podíl nepropustných ploch. Kvůli nedostatkům monitoringu (zejména jeho délce) nemohla být provedena kvalitní kalibrace sestavených modelů, proto byly modely jen kvalitativně posouzeny. Lipanský potok vlivem dlouhé suché periody zcela vyschl, měřené průtoky pro verifikaci modelu zde nebyly k dispozici. Model Vínoského potoka se ukázal jako vysoce nadhodnocující pozorované objemy i kulminace odtoků. Dva modely nebyly verifikovány vůbec pro nespolehlivost měření vysokých průtoků a zbylé poukázaly na klíčovou roli tzv. napojených nepropustných ploch. Pro nedostatek přesnějších vstupů byl uvažován pro všechny scénáře a všechna povodí shodný podíl 50 % všech nepropustných ploch jako přímo napojených.

Simulované objemy odtoku vykazují očekávaný rostoucí trend a odpovídají stupni urbanizace povodí. Výsledky nezobrazují nejistoty dané průběhem intenzit příčinné srážky, což plyne z výběru zjednodušené, avšak robustní metody SCS-CN. Specifické kulminační průtoky mají odlišný charakter vývoje prakticky na každém povodí. Shodným rysem je vysoká variabilita daná možnými průběhy srážkových intenzit. Ty byly uvažovány v průběhu let jako neměnné, což podle predikcí dopadů změn klimatu zřejmě neodpovídá realitě a poukazuje na potřebu dalšího výzkumu v této oblasti. Signál změny klimatu – v této studii uvažovaný v jediné variantě navýšením úhrnů všech dob opakování a intenzit v každém bodě návrhového hyetogramu o 10 % – je na vývoji specifických kulminačních průtoků jasně patrný a v absolutních hodnotách srovnatelný s dopady normální uvažované urbanizace. Agresivní scénář vývoje města překoná dopady změny srážkových charakteristik v průměru dvojnásobně. Na modelu Vínoského potoka byl však naznačen i potenciál opačného vývoje, tedy kompenzace klimatické změny uzpůsobením využívání volné krajiny. Rozdíly mezi dopady budoucích scénářů vývoje klesají s rostoucí dobou opakování, což jasně poukazuje na omezení schopnosti přírodě blízkých opatření ovlivňovat povodňové odtoky pouze do dob opakování kolem 20 let, vyšší stupeň ochrany je nutné podpořit vhodnými technickými a organizačními opatřeními.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory projektu „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy“, č. CZ.071.02/0.0/0.0/16-040/0000380, financovaného z Operačního programu Praha – pól růstu ČR.

Literatura

- [1] SCS, *Tech. Rep. 55: Urban hydrology for small watersheds*, 1986
- [2] SHERMAN, L., *Stream Flow from Rainfall by the Unit Graph Method*. Engineering News Record, No. 108, 1932, str. 501–505
- [3] USDA NRSC, *National Engineering Handbook, chapter 16. Part 630 Hydrology*, 2007
- [4] SCHARFFENBERG, W., *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual* [on-line], Davis: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2018. Dostupné z: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.3.pdf
- [5] DEVÁTÝ, J., *Klasifikace území pro erozní modely pomocí GIS a veřejně dostupných datových zdrojů: disertační práce*, Disertace (PhD.), vedoucí práce Tomáš Dostál, Praha: České vysoké učení technické v Praze – Fakulta stavební, Katedra hydromeliiorací a krajinného inženýrství, 2018
- [6] USDA NRSC, *National Engineering Handbook, chapter 7. Part 630 Hydrology*, 2009
- [7] JANEČEK, M., *Ochrana zemědělské půdy před erozí – Metodika*, Praha: Česká zemědělská univerzita Praha, 2012. ISSN 978-80-87415-42-9
- [8] JANDERKOVÁ, J. a kol., *Systém komplexního hodnocení půd 2020*. Brno: AOPK ČR, 2000
- [9] MACKŮ, J., *Problematika stanovení hydrologických skupin půd v lesích*. In: *Krajinné inženýrství 2012*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2012, str. 15–22. ISBN 978-80-87384-03-9
- [10] VOPRAVIL, J., KHEL, T., HEŘMANOVSKÁ, D., HOLUBÍK, O., HUISLOVÁ, *Mapové vymezení infiltračních schopností a propustností zemědělských a nezemědělských půd ČR s celorepublikovou územní kategorizací*, VÚMOP, v. v. i., 2018, Osvědčení č. 8/14130-MZe-2018
- [11] KULASOVÁ, B., ŠERCL, P. a BOHÁČ, M., *Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní*, 2004
- [12] KAVKA, P., STROUHAL, L., WEYSKRABOVÁ, L., LANDA, M. a MÜLLER, M., *Návrhové krátkodobé srážky pro vodohospodářské stavby v krajině* [on-line], 2019, 27(2), 11–16. Dostupné z: <http://www.cmkpu.cz/archiv-casopisu-pezemkove-upravy/>
- [13] TRUPL, J., *Intenzity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy*. Praha: VÚV Praha, 1958
- [14] HANEL, M. a kol., *Studie klimatických charakteristik pro účely dimenzování prvků PSZ a posouzení projektových dokumentací pro realizaci vodohospodářských staveb. ČÁST A: Projekce klimatických charakteristik pro účely dimenzování prvků PSZ*. B.m.: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019
- [15] USDA NRSC. *National Engineering Handbook, chapter 15. Part 630 Hydrology*, 2010

Autoři

Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.¹

✉ ludek.strouhal@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-3979-4894

Mgr. Petra Šuhájková¹

✉ petra.suhajkova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-7379-3246

Mgr. Ondřej Masák²

✉ masak@poh.cz

¹ VÚV TGM, v. v. i.

² Povodí Ohře, s.p.

Príspevok prešiel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.01.004

HISTORY AND FUTURE DEVELOPMENT OF RAINFALL-RUNOFF CHARACTERISTICS ON THE OUTSKIRTS OF PRAGUE

STROUHAL, L.¹; SUHAJKOVA, P.¹; MASAK, O.²

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, p. r. i.

²Ohře River Basin, state enterprise

Keywords: flood discharge – urbanisation impacts – historical development – climate change – rainfall-runoff modelling

The article presents a rainfall-runoff study of six catchments on the outskirts of city Prague from 1920 up to today, with a perspective to 2050. Due to a non-existing long-term monitoring the study was achieved by rainfall-runoff modelling using HEC-HMS. The key model inputs were accurate land-cover maps. These were created for each of 5 past periods by partial digitizing, analysis and combination of several historical maps and datasets. Two future land-cover scenarios were proposed. In contrast to the expectations a non-monotonic course of CN values was discovered, meaning an ambiguous development in runoff volume throughout the assessed history period. In contrast a definite trend in impervious area expansion and their impact was identified. In particular the extent of so called connected impervious areas was found to be the key factor. Unfortunately this parameter is still hard to quantify in the urban areas due to a lack of data detailed enough on this particular aspect of land cover. The analysis of peak flows showed considerable uncertainty due to temporal patterns of rainfall intensity. The range of simulated peaks is comparable with the rainfall volumes increase caused by the expected climate change. The impact of expected continued urbanisation was pronounced especially in the catchments with enough land available for development. Predicted peak flows were found to increase in the future scenarios in all cases, however not always they reached their historical maximum. Differences in future scenarios are tend to decrease with higher return periods. The Vinorsky creak model suggested a potential of climate change (increase in rainfall amounts) compensation by suitable land-cover and land-use management. The overall development of peak flows throughout the history and projected future was found to be specific for each catchment, therefore it is hard to generalize and transfer to another locality. This suggests the necessity to establish a detailed mapping of urban land covers and water structures and individual approach when assessing particular catchment.



Obr. 1. Zatravnění meziřadí vinohradu [2] (Foto: VÚV TGM, v. v. i.)
Fig. 1. Grassing between the vineyards [2] (Foto: VÚV TGM, v. v. i.)

Adaptace měst a obcí na povodně a sucho

PAVEL BALVÍN, VERONIKA TÁBOŘÍKOVÁ, JIŘÍ PROCHÁZKA, JAN HLOM, LUDMILA ŠNEJDOVÁ

Klíčová slova: adaptace – povodně – sucho – vnější prstenec města – kategorizace opatření

SOUHRN

Realizace komplexních adaptačních opatření je v posledních letech významným trendem ve všech velkých městech a obcích Evropy. Potřeba přizpůsobení se změně klimatu, vyznačující se střídáním krátkých a intenzivních povodňových epizod [1] a dlouhých období sucha, donutila představitele měst a obcí k přehodnocení dosavadního přístupu k implementaci adaptačních opatření do územně plánovací dokumentace. Adaptační opatření lze rozdělit do několika kategorií. Některá opatření mají pro danou kategorii specifický charakter, jiná se mohou v rámci kategorií vzájemně prolínat. Významným celoevropským trendem ve větších sídelních celcích je tvorba tzv. katalogů opatření. Tyto katalogy vznikají s cílem adaptovat městskou architekturu na změnu klimatu. Přebývá v nich jednoznačná snaha vodu z města nejen odvést, ale také ji zadržovat. V mnoha evropských městech je používání katalogů opatření povinné pro činnost městských architektů [2].

ÚVOD

Již více než dvacet let jsme vystaveni střídání hydrologických extrémů ve formě povodní a sucha. Povodně se vyskytují jak v podobě fluvialní, která postihuje velké oblasti, tak i v podobě pluvialní, kdy jsou zasaženy malé sídelní celky povrchovým odtokem z povodí. Nedávná suchá perioda zasáhla celou Českou republiku a měla významný dopad na zemědělství a vodní hospodářství. Současnost a blízká budoucnost vyžadují tvorbu komplexních opatření, a to jak ve smyslu prevence proti povodním, tak i ve smyslu snížení dopadů sucha. Cílem článku je seznámit čtenáře s komplexním trendem vývoje adaptačních opatření měst a obcí, především v jejich vnějším prstenci.

ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ JAKO OCHRANA A PREVENCE

Adaptační opatření představují v souvislosti se zmírněním dopadů změny klimatu soubor preventivních a ochranných nástrojů. V současné době jsou preferována taková opatření, jež nejen chrání před účinky povodňových událostí, ale působí i v období sucha. Důležitým preventivním opatřením je rovněž komunikace s veřejností, protože jedině s její pomocí je možné upozornit na provázanost opatření a prosadit komplexní řešení.

Při realizaci jednotlivých opatření je třeba mít na paměti, že žádné technické ani přírodě blízké opatření neposkytuje z pohledu hydrologického extrému stoprocentní ochranu. Vždy se může vyskytnout větší povodeň nebo sucho, než na které bylo opatření původně navrženo. Míra navržené ochrany je proto vždy úměrná svému účelu, cílové skupině a ekonomickým nákladům spojeným s její realizací.

Adaptační opatření představují soubor technických či přírodě blízkých prvků nebo lidských činností, jež lze realizovat v rámci prevence před výskytem nepříznivých dopadů hydrologických extrémů.

Opatření lze rozdělit do několika základních skupin:

- opatření na zemědělské půdě
- opatření na lesní půdě
- opatření na vodních tocích
- opatření v urbanizovaných oblastech
- opatření z hlediska technického zabezpečení budov
- opatření v rámci územního plánování
- opatření ve formě varovných systémů a poskytování informací obyvatelstvu

Tento soubor opatření je ve své komplexnosti vhodný nejen pro malé obce, ale i pro velké sídelní celky, kde se vzájemně prolínají zemědělské, lesní a zastavěné oblasti.

OPATŘENÍ NA ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ

Opatření na zemědělské půdě mají za úkol převážně zpomalit a snížit povrchový odtok a snížit erozi půdy. Do určité míry mohou působit i jako určitá prevence proti dopadům sucha tím, že zadržují vodu a zvyšují vlhkost půdy. Česká republika patří vzhledem ke své nedávné historii spojené s družstevním způsobem obhospodařování k zemím s největšími půdními bloky. Důsledkem tohoto způsobu obhospodařování jsou velké délky svahů, urychlení povrchového odtoku a následný vznik zrychlené vodní eroze, případně intenzivní eroze větrná. Spolu se zvýšenou chemizací zemědělství vedou ke snižování kvality půdy, což se kromě snižování produkční schopnosti projevuje i sníženou schopností zadržovat a vsakovat vodu. Výsledným efektem není pouze ochrana vlastní půdy před erozí, ale zároveň i ochrana zastavěných oblastí pod exponovanými svahy nebo pozemky s nevhodně zvoleným způsobem hospodaření [3].

Významná opatření na zemědělské půdě se dělí na:

- organizační:
 - velikost a tvar pozemku
 - zatravnění nebo zalesnění – delimitace půdy
 - setba plodin v pásech
- agrotechnická:
 - vhodné střídání plodin, užití krycích plodin
 - přímá setba, mulčování, kultivace půdy po vrstevnici
 - infiltrační a záchytné pásy (obr. 1)
 - zachování stávajících luk a pastvin

- technická:
 - terasování, meze
 - stabilizace drah soustředěného odtoku (obr. 2)
 - průlehy, příkopy, zadržovací hrázky
 - vsakovací studny



Obr. 2. Gabionová přehrážka v dráze soustředěného povrchového odtoku [2]

Fig. 2. Gabion barrage in the path of concentrated surface runoff [2], (Foto: VÚV TGM, v. v. i.)

OPATŘENÍ NA LESNÍ PŮDĚ

Zalesněné pozemky významně přispívají ke snížení dopadů hydrologických extrémů v podobě přívalových srážek a sucha. Dokážou částečně zadržet přívalový déšť a rovněž i časově rozložit odtok z území. V rámci zalesněných území lze realizovat řadu opatření, jež mohou zvýšit účinky zalesněných území z hlediska odtoku v případě výskytu přívalových srážek.

U zalesněných pozemků se většinou jedná o tzv. přírodě blízká protipovodňová opatření, která jsou doprovázena i technickými opatřeními. V rámci realizace přírodě blízkých opatření je důležité si uvědomit omezenost jejich účinků [4], [5].

Mezi významná opatření na lesní půdě patří:

- obnova přirozených smíšených lesů
- pravidelná údržba a zmlazování lesů
- omezení rizika poškození lesní půdy v průběhu těžby
- rychlé zalesnění poškozených pozemků postižených přírodními událostmi
- revitalizace lesních cest a jejich pravidelná údržba
- obnova mokřadů
- podpora přirozené sukcese
- hrzení bystřin a sanace erozních rýh

OPATŘENÍ NA VODNÍCH TOCÍCH

Vodní toky hrají zásadní roli při bezpečném odvedení povodňových průtoků a zároveň představují důležitý krajinnotvorný prvek, jenž může výrazně přispět k zadržení vody v krajině. V urbanizovaných oblastech převažuje charakter kanalizovaných toků, jejichž cílem bývalo co nejrychleji odvést povodňový průtok ze zasažené oblasti. Nicméně v posledních letech převažuje silný trend s cílem revitalizovat kanalizované toky i v zastavěných územích, a to takovým způsobem, aby nebyly ohroženy životy, zdraví a majetek obyvatel. Nižší uvedená opatření mohou významně přispět k nalezení kompromisu mezi protipovodňovou ochranou a požadavky na ekologický charakter toku.

Mezi významná adaptační opatření na vodních tocích patří:

- mapování povodňových rizik (mapy rozlivů, mapy hloubek)
- vyhodnocení povodňových škod
- zpomalení odtoku v určitých částech povodí
- obnovení přirozených záplavových území (obr. 3)
- výstavba suchých nádrží
- výstavba malých vodních nádrží
- zajištění dostatečné průtočné kapacity mostů a propustků a jejich ochrana proti ucpání splávím
- pravidelná údržba koryt s cílem zajištění požadované kapacity pro převedení povodňových průtoků



Obr. 3. Revitalizace Rokytky meandrováním se zachováním inundačního území

(Foto: VÚV TGM, v. v. i.)

Fig. 3. Revitalization of Rokytky by meandering with preservation of the inundation area

(Foto: VÚV TGM, v. v. i.)

OPATŘENÍ V URBANIZOVANÝCH OBLASTECH

Zastavěná území s velkou hustotou zpevněných ploch představují v současnosti velké riziko z hlediska zhoršení odtokových poměrů. Jejich vlivem dochází ke zkrácení doby dotoku, minimální infiltraci a následně zahlcení odvodňovacích systémů. Důsledkem pak mohou být lokální záplavy a škody na majetku obyvatel i infrastrukturu měst a obcí. Cílem níže uvedených opatření je zpomalit odtok ze zpevněných ploch, zachytit a infiltrovat co největší objem vody. Některá z uvedených opatření snižují dopady v případě výskytu přívalových srážek a zároveň umožňují využití zachycené vody v delším časovém horizontu.

- zpomalení a snížení objemu odtoku ze zpevněných ploch (parkovišť, střech, silnic – propustná dlažba nebo její zdrsnění) a zvýšení vsaku dešťových vod
- využití zpevněných ploch coby dočasných retenčních prostor

- dostatečně kapacitní odvodňovací systém dešťové kanalizace
- zpětné klapky na odvodňovacích systémech
- dočasné zadržení vody v podzemních nádržích s možností jejich pozdějšího využití
- infiltrace a zpomalení odtoku ze zatravněných ploch (infiltrační pásy, průlehy, příkopy atd.)
- suché nádrže nebo využití terénních depresí k zadržení odtoku (obr. 4)
- v rámci nové výstavby – vhodné prostorové situování nemovitostí s cílem vyhnout se drahám soustředěného/zvýšeného odtoku
- omezení výstavby v rizikových oblastech
- zelené střechy – snížení povrchového odtoku, snížení teploty v horkých dnech
- zelené stěny – obdoba zelených střech, ale ve vertikálním směru



Obr. 4. Suché nádrže pro zachycení odtoku ze zpevněných ploch a následné infiltrace do půdního profilu. Lokalita Kyje (vlevo), Vinoř (vpravo), (Foto: VÚV TGM, v. v. i.)

Fig. 4. Polders for capturing runoff from paved areas and subsequent infiltration into the soil profile (Foto: VÚV TGM, v. v. i.)

Ne vždy je možné učinit taková opatření, aby dotčená infrastruktura nebyla zasažena soustředěným povrchovým odtokem, a dochází k jejímu dočasnému zaplavení. Z těchto důvodů se nabízí na takto exponovaných objektech provést preventivní technická opatření, jež zajistí co možná nejmenší poškození objektu.

Technické zajištění budov:

- mobilní protipovodňové hrzení
- izolace podzemních částí budov
- zvýšená poloha a ochrana světlíků a vchodů do sklepů a jejich protipovodňová ochrana
- zvýšená úroveň přízemí (obr. 5)
- utěsnění prostupů potrubí
- technické řešení odtoku vody z budovy v případě zatopení

OPATŘENÍ V URBANIZOVANÝCH OBLASTECH V RÁMCI ÚZEMNĚ PLÁNOVACÍ DOKUMENTACE A KONCEPCE ROZVOJE

Implementace adaptačních opatření již v rámci plánů územního rozvoje měst a obcí představuje jeden z nejdůležitějších preventivních nástrojů pro ochranu životů, zdraví a majetku obyvatelstva.

Vlastní implementace konkrétních adaptačních opatření do územně plánovací dokumentace je závislá na typu dokumentace, jež je v rámci územního rozvoje pořízena.

Územně plánovací dokumentace je dokumentací, která – je-li pořízena – představuje závazné koncepční požadavky a podmínky pro rozhodování v území. V podmínkách České republiky existuje několik druhů územně plánovací dokumentace. Podle rozsahu řešeného území ji dělíme do tří druhů – zásady územního rozvoje, územní plán a regulační plán –, od nichž se odvíjí i měřítko dokumentace, a tedy její výsledná podrobnost.



Obr. 5. Navýšené přízemí budov v rámci nové výstavby v záplavovém území Litovického potoka (Foto: VÚV TGM, v. v. i.)

Fig. 5. Elevated ground floor of buildings as part of new construction in the floodplain of Litovický potok (Foto: VÚV TGM, v. v. i.)

Při výběru adaptačních opatření, která lze zahrnout do územně plánovací dokumentace (ÚPD), je uvažováno s rozdělením na dvě kategorie:

- územní plán (ÚP)
- regulační plán (RP; zahrnuje i variantu územního plánu s prvky regulačního plánu)

Územní plán stanovuje v rozsahu území obce komplexní koncepci jejího rozvoje včetně ochrany, projevující se zejména navrženými plochami, koridory, případně trasami a stanovením podmínek pro způsoby jejich využití. Regulační plán, vzhledem k jeho zaměření na menší část obce, navrhuje konkrétní umístění a podoby staveb a detailní podmínky.

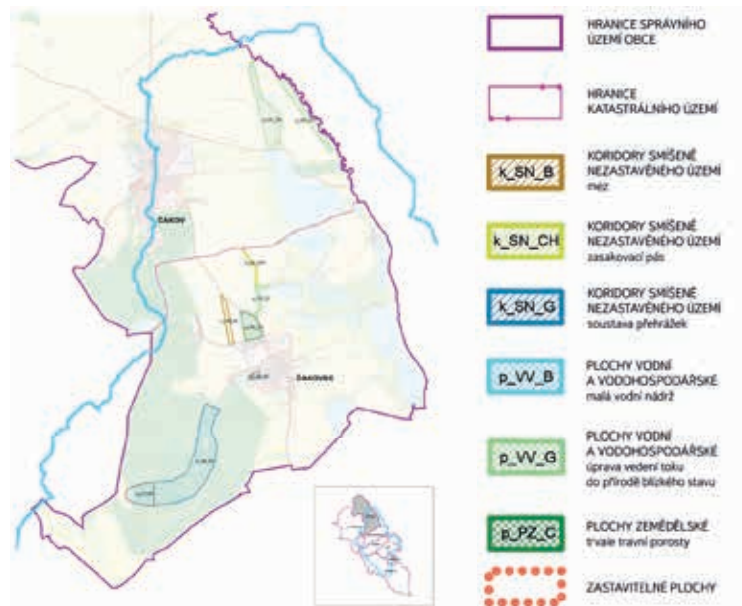
Hlavním kritériem pro zapracování navrženého adaptačního opatření do těchto dokumentů je podrobnost návrhu. Ta určuje, zda je promítnutelné pouze do územního plánu, nebo zda je možné jeho řešení i podrobnějším způsobem v rámci regulačního plánu.

Vzhledem k tomu, že regulační plán řeší umístění a uspořádání staveb, jejich napojení na infrastrukturu a další podmínky jen do určitého detailu, vyskytují se i taková opatření, která již svou podrobností překračují měřítko regulačního plánu. V takovém případě by tato opatření musela být předmětem územního a stavebního řízení. V některých případech je také výsledkem začlenění pouze do regulačního plánu, neboť v územním plánu by představovala příliš velkou podrobnost.

Pokud se jedná o podrobnost návrhu adaptačních opatření, v případě ÚP jde o určitý návrh koncepce, jenž se pak následně v RP nechá rozvinout do větší podrobnosti.

Obecná adaptační opatření v rámci koncepce plánování rozvoje měst a obcí:

- nastavení koncepce rozvoje s ohledem na povodňové rizika včetně povodní z přívalových srážek
- vymezení zastavitelných ploch v územních plánech s ohledem na povodňové riziko
- uplatňování požadavků plynoucích z existence povodňového rizika v rámci povolovacího procesu
- vymezení ploch vhodných pro vsakování nebo kontrolované odvedení vod v územně plánovací dokumentaci
- eliminace vlivu staveb v oblastech s povodňovým rizikem
- identifikace a mapování rizikových oblastí



Obr. 6. Příklad implementace opatření do regulačního plánu obce Čakov (Zdroj: VÚV TGM, v. v. i.)

Fig. 6. Example of implementation of measures into the regulatory plan of the municipality of Čakov (Source: VÚV TGM, v. v. i.)

- identifikace a implementace vhodných opatření na úrovni obcí i soukromých subjektů
- zahrnutí území ohrožených přívalovými srážkami do územního plánování
- efektivní nakládání s místy určenými pro retenci vody v rámci povodí

OPATŘENÍ VE FORMĚ LOKÁLNÍCH VAROVNÝCH SYSTÉMŮ A POSKYTOVÁNÍ INFORMACÍ OBYVATELSTVU

Lokální varovné systémy (LVS) jsou systémy sloužící k varování obyvatelstva před hrozícím nebezpečím. Toto nebezpečí mohou představovat i povodně z přívalových srážek. Systémy pracují na principu včasné výstrahy, kdy hrozící nebezpečí je zachyceno příslušným opatřením (srážkoměr, vodoměrný profil) a tato informace je předána odpovědným osobám či osobě, které ji vyhodnotí a následně provedou nezbytné úkony.

Nejběžnějším prostředkem pro zachycení informací o povodňovém nebezpečí je srážkoměrná stanice nebo přímo v korytě toku vodoměrný profil. Tvorba LVS je nejčastěji ovlivněna těmito parametry:

- geografické a hydrologické charakteristiky zájmového území
- výskyt typů povodní v zájmovém území
- kritická místa v ochraně před povodněmi
- existence stávajících hlásných profilů ČHMÚ a podniků Povodí
- blízkost již provozovaných LVS v zájmové lokalitě
- zkušenosti místních obyvatel

Ve vybraných místech jsou situovány on-line měřicí systémy (srážkoměr, hladinoměr), jež zaznamenávají sledované parametry a v případě překročení limitní hodnoty odešlou alarmové informace na přijímací stanoviště. Měřicí technika kromě limitních stavů většinou průběžně měří sledovaný parametr (poloha hladiny), a to v pravidelných časových intervalech.

ZÁVĚR

Kategorizace a tvorba katalogů [2] adaptačních opatření představuje současný trend řešení adaptace měst a obcí na povodně a sucho. V řadě měst a obcí vznikají studie proveditelnosti s cílem navrhnout opatření pro snížení povodňových rizik a zároveň zadržet co nejvíce vody pro její pozdější využití. Stejně tak v zemědělsky obhospodařované krajině se hledá kompromis mezi realizací přírodně blízkých a technických opatření. V současné době již byla realizována řada výzkumů s cílem posoudit a kvantifikovat účinnost jednotlivých opatření [3], [4], [5]. Kromě studií v pilotních oblastech již existuje i řada webových aplikací a nástrojů zabývajících se problematikou sucha, např. www.suchovkrajine.cz. Zde je možné dohledat katalog opatření, pilotní studie, plán pro zvládnutí sucha, metodiku a mapové podklady. Z hlediska povodní je možné použít výstupy projektu Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice (www.vodavkrajine.cz).

Zkušenosti z hlediska sucha a povodní lze čerpat i z mezinárodních projektů. Jako příklad lze uvést projekt Rainman, který byl financován z prostředků programu Interreg Central Europe. Projekt prezentuje výsledky a zkušenosti šesti středoevropských zemí s přístupem ke snížení dopadů povodní z přívalových srážek ve formě katalogu opatření, legislativních podkladů a z pilotních oblastí (www.rainman-toolbox.eu). Významnou součástí projektu představuje i soubor opatření realizovatelných již v rámci územně plánovací dokumentace.

Územně plánovací dokumentace představuje významný nástroj pro implementaci jednotlivých opatření ještě před vlastní projektovou přípravou. Ačkoli realizace takovýchto opatření není časově závazná, jasně definuje budoucí využití daného území. Vzhledem k tomu, že je územní plán veřejně projednáván, představuje takto schválená dokumentace formu celospolečenské dohody.

Poděkování

Článek byl vypracován v rámci projektu „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim ve vnější části Prahy“ (CZ.071.02 / 0.0 / 0.0 / 16_040 / 0000380) financovaného z operačního programu Praha – pól růstu České republiky.

Literatura

[1] ROŽNOVSKÝ, J., CHUCHMA, F., FIALA, R. a KOHUT, M. Vláhová bilance – ukazatel vody v krajině. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2018, roč. 60, č. 3, s. 12–17. ISSN 0322-8916.

[2] DZURÁKOVÁ, M., ŠTĚPÁNKOVÁ, P. a LEVITUS, V. Katalog přírodně blízkých opatření pro zadržení vody v krajině a jeho uplatnění ve webové mapové aplikaci pro veřejnost. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2018, roč. 60, č. 5, s. 6–11. ISSN 0322-8916.

[3] KRÁSA, J., TEJKL, A. a STAŠEK, J. Určení rozsahu půdy nechráněné vegetací v období přívalových srážek za účelem posouzení erozního rizika. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2019, roč. 61, č. 2, s. 39–45. ISSN 0322-8916.

[4] VIZINA, A., STROUHAL, L., DZURÁKOVÁ, M., MORAVEC, V. a MELIŠOVÁ, E. Studie hodnocení účinku přírodně blízkých opatření v povodí Olešné u Pelhřimova pomocí modelů BILAN, HEC-HMS a HYPE. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2018, roč. 60, č. 5, s. 12–20. ISSN 0322-8916.

[5] OSIČKOVÁ, K. a UHROVÁ, J. Posouzení efektivity navržených opatření v ploše povodí hydrologickým modelem. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2018, roč. 60, č. 3, s. 4–10. ISSN 0322-8916.

Autoři

Ing. Pavel Balvín¹

✉ pavel.balvin@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-7892-7584

Bc. Veronika Táboříková¹

✉ veronika.taborikova@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-5909-4476

Ing. Jiří Procházka, Ph.D.¹

✉ jiri.prochazka@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-3444-2347

Ing. Jan Hlom¹

✉ jan.hlom@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-1365-3604

Ing. arch. Ludmila Šnejdová²

✉ snejdova@kraj-jihocesky.cz

¹Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

²Krajský úřad Jihočeského kraje

Príspevek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.01.003

ADAPTATION OF TOWNS AND MUNICIPALITIES TO FLOODS AND DROUGHT

BALVIN, P.¹; TABORIKOVA, V.¹; PROCHAZKA, J.¹; HLOM, J.¹; SNEJDROVA, L.²

¹TGM Water Research Institute, p. r. i.

²South Bohemia Regional Authority

Keywords: adaptation – floods – drought – outer ring of the city – categorization of measures

The implementation of comprehensive adaptation measures has been a significant trend in recent years in all major cities in Europe. The need to adapt to climate change, characterized by alternating short floods (mostly from torrential rainfall) and long periods of drought, has forced cities and municipalities to reconsider the current approach to the implementation of adaptation measures in spatial planning documentation. For this reason, adaptation measures are divided into several categories, where some measures are universal for a given category and others may overlap within categories. A significant pan-European trend in larger settlements is the creation of so-called catalogues of measures. These catalogues are created with the aim of adapting urban architecture to climate change, where we try not only to drain water from the city, but also to retain it in order to improve the living conditions of the population. In many European cities, the use of catalogues of measures is mandatory for the work of urban architects.



Predikční model jakosti vody v okolí Prahy

ADAM VIZINA, IRINA GEORGIEOVÁ, EVA JURANOVÁ, JAN HLOM

Klíčová slova: jakost – hydrologie – průtoky – kvalita – predikce – Praha

SOUHRN

V poslední době se velmi diskutuje – a to nejen mezi odbornou veřejností – o dopadech změny klimatu na vodní režim v přírodní krajině. Řešení OP Praha – pól růstu se zaměřilo i na krajinu kulturní v bezprostřední blízkosti města Prahy, kde probíhal monitoring klimatologických veličin, průtoků a kvality vody na osmi pilotních lokalitách (povodích), jenž započal v dubnu 2018 a končil v květnu 2020. Analýza chemického složení vody pražských potoků byla prováděna Zkušební laboratoří technologií a složek životního prostředí VÚV TGM, v. v. i. Ovlivnění dlouhodobého odtokového režimu bylo simulováno prostřednictvím modelu BILAN, který je na VÚV TGM, v. v. i., dlouhodobě vyvíjen.

Vybrané ukazatele byly vyhodnoceny a staly se podkladem pro simulační model jakosti vody v závislosti na srážkoodtokových charakteristikách se zohledněním sezonnosti. Koncentrace byly odvozeny na základě regresních vztahů mezi aktuálním průtokem a koncentrací zvolené kvalitativní veličiny. Vznikl tak simulační model, jenž je volně k dispozici v mapové aplikaci na stránkách projektu heis.vuv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni. Výsledky monitoringu jsou pak dostupné v rámci interaktivní prohlížečky nebo na geoportálu vzniklém v rámci řešení (popis je v článku Strouhal a kol. tohoto čísla).

ÚVOD

Změna klimatu a stav krajiny mají významný vliv na vodní režim nejen v České republice, ale všude na Zemi. Poslední roky ukázaly, jak velká je setrvačnost celého přírodního systému a koloběhu vody a jaké dopady mohou mít změny nejen na vodní hospodářství. Na posun počátku vegetačního období, výrazné zvýšení teplot a nerovnoměrnou distribuci srážkových úhrnů upozorňuje odborná veřejnost již více než 20 let. Je velmi pravděpodobné, že výskyt extrémních hydrologických jevů (hydrologické sucho – nedostatek vody, povodně) s sebou přinesou také změny kvalitativní. Pro odhad těchto změn byl vyvinut jednoduchý robustní model, navazující na model hydrologické bilance BILAN, který je nenáročný na vstupní data (srážkové úhrny a teploty vzduchu). Výhodou tohoto modelu je nejen predikce aktuálních odtoků a koncentrací na osm týdnů dopředu, ale také možnost simulace dopadů klimatické změny dle jednotlivých výstupů z globálních/regionálních cirkulačních modelů.

POZOROVANÁ DATA A ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Sledování chemického složení povrchové vody pražských potoků prováděla Zkušební laboratoř technologií a složek životního prostředí VÚV TGM, v. v. i. Monitoring byl započat v dubnu 2018 a ukončen v květnu 2020, trval tedy více než dva roky. Odběry byly realizovány na devíti vybraných profilech, jež jsou zobrazeny na obr. 1 (oranžové polygony se závěrným profilem) a nacházejí se

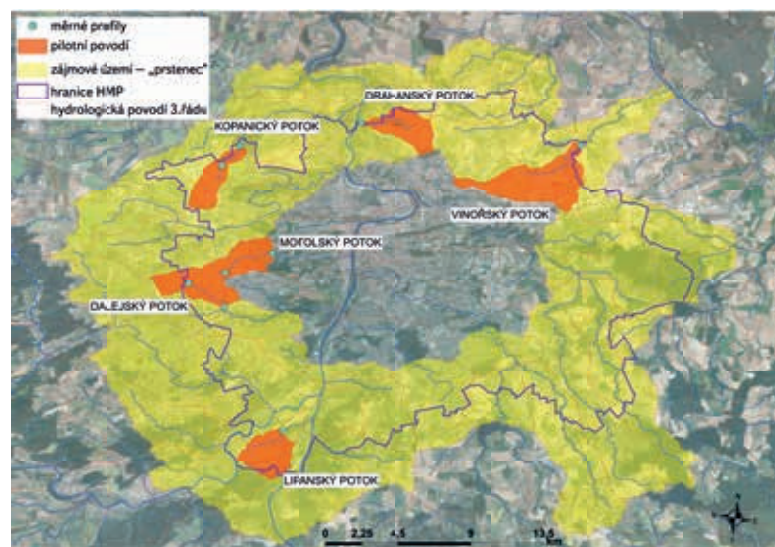
v územním prstenci zahrnujícím území okrajových částí Prahy podél hranic hlavního města se Středočeským krajem. Prstenec byl vytvořen s využitím hranic povodí 4. řádu (případně jejich částí), je tedy dobře hydrologicky definován z hlediska odtokových poměrů. Hranice zájmového území jsou stanoveny tak, aby neobsahovaly historická zastavěná území vnitřní Prahy, ale naopak zahrnovaly území vnější Prahy, kde v posledních desítkách let dochází k největším změnám ve využití krajiny a s tím souvisejícím změnám odtokových poměrů. Na základě analýzy bylo vybráno celkem šest pilotních povodí tak, aby výsledky zjištěných změn odtokových poměrů vlivem změn využití území byly dobře generalizovatelné na celé zájmové území prstence. Jedná se o:

- A. **Kopaninský potok** – povodí reprezentuje vodní poměry na severozápadě Prahy ovlivněné denudačními zbytky křídových sedimentů (vyšší základní odtok), povodí je poznamenáno existencí letiště.
- B. **Motolský potok** – povodí reprezentuje poměry západní části Prahy ovlivněné denudačními zbytky křídových sedimentů, povodí je silně antropogenně pozměněno v posledních 100 letech mohutnou výstavbou.
- C. **Dalejský potok** – povodí je charakterizováno významnými zájmy ochrany přírody (Prokopské údolí, geologický charakter utvářen svrchnopaleozoickými vápenci), v horních částech povodí ale od 60. let probíhala masivní výstavba.
- D. **Lipanský potok** – reprezentuje odtokové poměry soutokového území Vltavy a Berounky v jižní části Prahy. Geologicky jde o prostředí kvartérních fluvialních štěrkopískových náplavů. Jde o území s relativně malými dopady zástavby na využití krajiny.
- E. **Drahanský potok** – povodí bylo vybráno s ohledem na doposud zachovaný převažující volný a přírodní charakter území (pole, lesy, louky) a relativně malou zastavěnost.
- F. **Vinořský potok** – ukazuje odtokové poměry ve východní části Prahy, specifikem je jeho odtok z Prahy do Středočeského kraje (přítok Labe). Povodí je poznamenáno významnou zástavbou v různých historických obdobích (letiště Kbely), včetně mohutného dnešního rozvoje (katastry Kbel, Satalic, Vinoře), zajímavostí je zde i golfové hřiště.

Bodové vzorky v pilotních lokalitách byly odebírány dvakrát měsíčně. V některých profilech nebylo možné realizovat monitoring v plném rozsahu z technických důvodů – stavebních úprav koryta toku nebo nedostatku vody v období sucha (např. profil Lipanský potok).

Při odběru vzorků byly v terénu stanoveny základní fyzikálně-chemické ukazatele: teplota vody (T), teplota vzduchu (Tvz), pH, elektrická vodivost (κ) (viz obr. 2). V laboratoři pak byly v odebraných vzorcích stanovovány tyto ukazatele:

hydrogenuhličitanu (HCO_3^-), kyselinová neutralizační kapacita (KNK4,5), biochemická spotřeba kyslíku (BSK5), chemická spotřeba kyslíku dichromanem (CHSKCr), chloridy (Cl^-), sírany (SO_4^{2-}), amonné ionty (NH_4^+), amoniakální dusík (N-NH_4^+), dusičnany (NO_3^-), dusičnanový dusík (N-NO_3^-), nerozpuštěné látky (NL), celkový fosfor (Pcelk.), sodík (Na), draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg), železo (Fe) a mangan (Mn). Všechny postupy použité pro analýzy i odběry povrchové vody vycházejí z platných norem a jsou akreditovány u Českého institutu pro akreditaci a posouzeny střediskem posuzování laboratoří ASLAB.



Obr. 1. Profily odběru povrchových vod z pražských potoků pro sledování kvality a kvantitativy vody

Fig. 1. Location for water abstractions for qualitative and quantitative water monitoring



Obr. 2. Terénní měření elektrické vodivosti a pH

Fig. 2. On site monitoring of electrical conductivity and pH

Na pilotních lokalitách byly vybudovány měrné stanice pro měření průtoků (obr. 1). Zároveň byla postavena srážkoměrná stanice v povodí Lipanského potoka. Většina stanic je osazena dálkovým přenosem, který každý den odesílá pomocí GSM signálu naměřená data (výšku hladiny, teploty, případně srážkové úhrny).

Ukázka pozorování průtoků je na obr. 3. Jde o dolní profil Motolského potoka pod Motolskými rybníky. Průtok je měřen nepřímo pomocí pozorování hladiny tlakoměrnou sondou před měrnými půlkruhovými přelivy umístěnými v korytě toku. Vlastní přelivy jsou ukotveny v polyetylenové desce umístěné do koryta prostřednictvím úhelníků a vrutů. Těsnění přelivu je zajištěno pomocí geotextilie na přelivu i před ním. Motolský potok následně pokračuje jeden kilometr po povrchu a poté je zatrubněný pod povrchem až do jeho ústí do Vltavy.



Obr. 3. Umístění dolního měrného profilu na Motolském potoce

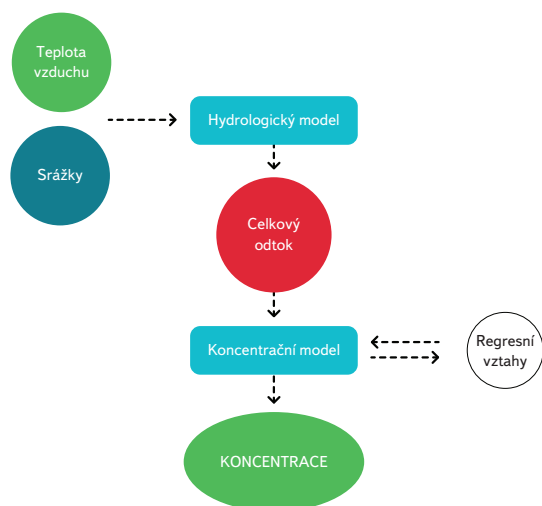
Fig. 3. Location of discharge measurement profile at Motol's creek

SIMULAČNÍ MODEL

Simulační model je založen na propojení modelu hydrologické bilance Bilan a koncentračního modelu pro jednotlivé látky a pozorované profily a lokality. Jeho cílem je podat obraz o vývoji koncentrací látek uvedených v tab. 1 v Praze a okolí na základě modelování průtoků modelem Bilan s následným odvozením koncentrací pro jednotlivé látky. Postup prací je následující:

1. kalibrace modelu hydrologické bilance Bilan (nebyl v rámci projektu vyvíjen) na pozorovaných časových řadách (odtok, teplota vzduchu a srážkové úhrny), získání kalibračních parametrů modelu pro jednotlivá povodí

2. odvození regresních vztahů mezi koncentrací dílčích látek a průtokem
3. implementace těchto vztahů do koncentračního modelu
4. tvorba webového rozhraní



Obr. 4. Schéma simulačního modelu

Fig. 4. Scheme of simulating model

Pro zvolené profily jsou odvozena hydrologická povodí, pro něž jsou modelovány veličiny hydrologické bilance a následně jsou v těchto profilech odvozeny průtoky na základě dostupných klimatických dat.

Tab. 1. Přehled pozorovaných a hodnocených látek

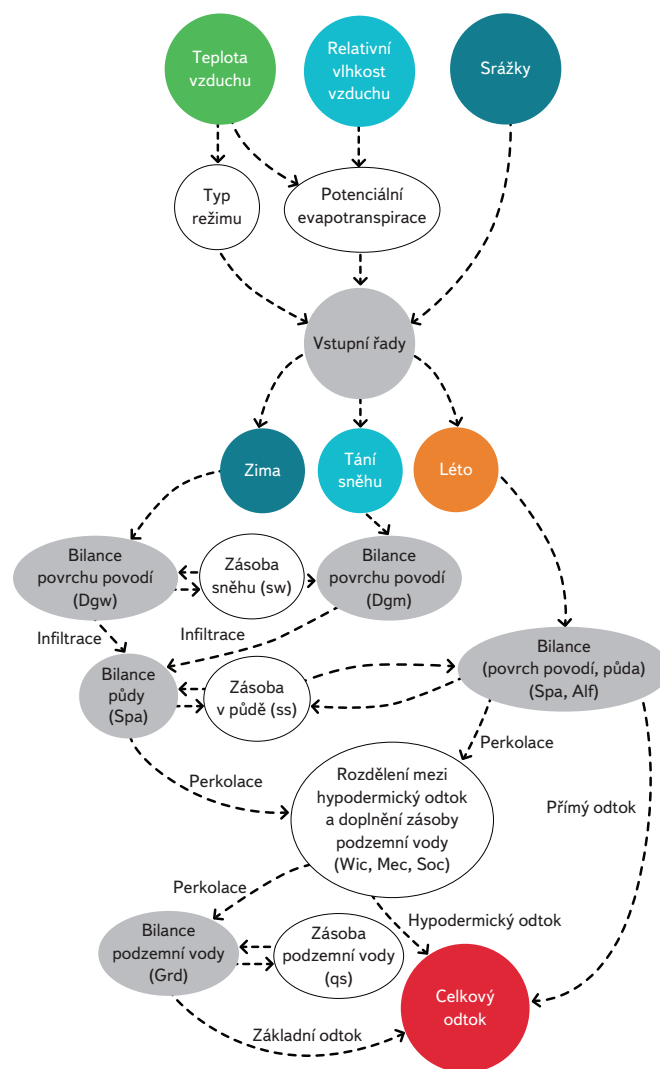
Tab. 1. Overview of observed and evaluated substances

Veličina	Jednotka	Veličina	Jednotka
Elektrická konduktivita	S/cm		
Hydrogenuhličitany	mg/l	Nerozpuštěné látky	mg/l
KNK 4.5	mmol/l	Teplota (vody)	°C
Biochemická spotřeba kyslíku	mg/l	Teplota (vzduchu)	°C
Chemická spotřeba kyslíku dichromanem	mg/l	Celkový fosfor	mg/l
Chloridy	mg/l	Sodík	mg/l
Sírany	mg/l	Draslík	mg/l
Amonné ionty	mg/l	Vápník	mg/l
Dusičnany	mg/l	Hořčík	mg/l
Amoniakální dusík	mg/l	Železo	mg/l
Dusičnanový dusík	mg/l	Mangan	mg/l

MODEL BILAN

Model Bilan [1], [2] simuluje pro dané povodí složky hydrologické bilance. Struktura modelu je dána vztahy, které popisují základní principy hydrologické bilance na povrchu, v půdní zóně, jež je ovlivněna vegetačním pokryvem, a v zóně podzemní vody. Pro stanovení energetické bilance, která má na složky hydrologické bilance významný vliv, slouží teplota vzduchu. Časové rozlišení modelu pro varovný simulační systém je jeden týden.

Vstupními daty pro výpočet hydrologické bilance jsou řady srážek na povodí a teploty vzduchu. Ke kalibraci parametrů modelu jsou pozorovány řady odtoku a dlouhodobé charakteristiky odtoku, jako je průměrný průtok a dolní průtokové kvantily. Model simuluje časové řady týdenní potenciální evapotranspirace, územního výparu, infiltrace do půdy a dotace podzemní vody z půdy do podzemních vod. Všechny tyto hydrologické veličiny se vztahují k celému povodí. Celkový odtok se skládá ze tří součástí, jimiž jsou přímý, hypodermický a základní odtok. Model má osm volných parametrů a k jejich kalibraci na pozorovaných povodích používá optimalizační algoritmus. Schéma modelu Bilan je znázorněno na obr. 5 a podrobnější informace lze nalézt na webu <https://bilan.vuv.cz>.



Obr. 5. Schéma modelu Bilan

Fig. 5. Scheme of Bilan model

KONCENTRAČNÍ MODEL

Koncentrační model je založen na základní směšovací rovnici:

$$c = \frac{m}{V} = \frac{m}{Q} \quad (1)$$

kde c je koncentrace,
 m hmotnost,
 V objem,
 Q průtok.

Pomocí závislosti koncentrace c a průtoku Q v každém hodnotícím profilu jsou odvozeny vztahy pro jednotlivé látky pomocí regresních modelů I. až III. řádu. Odvozené vztahy pro jednotlivé profily a látky byly doplněny do koncentračního modelu. Na základě těchto vztahů je možné simulovat koncentrace látek, jež byly v projektu analyzovány. Pro lepší reprezentativnost by byl vhodný delší monitoring na všech lokalitách, tak aby byly k dispozici i epizodní situace, například období zvýšených průtoků. Cílem bylo vytvoření nástroje, který dokáže na základě předpovědi počasí upozornit na případný problém v daném povodí.

PREDIKCE A WEBOVÁ PROHLÍŽEČKA

Pomocí odvozených parametrů hydrologického modelu Bilan je možné simulovat průtoky v týdenním kroku po zadání teplot vzduchu a srážkových úhrnů na osm týdnů dopředu. Hodnoty klimatických veličin mohou být zadány pro vybrané povodí (profil):

- ručně: vyplní se na základě odborného odhadu nebo aktuálních predikcí,
- automaticky: do modelu jsou automaticky doplněny průměrné hodnoty pro jednotlivé týdny ve výhledu osmi týdnů pro zvolené období.

Po simulaci průtoků modelem Bilan jsou odvozeny predikované koncentrace jednotlivých látek na základě zjištěných regresních vztahů (koncentrační model). Následně je vyhodnoceno, zda koncentrace přesahují mez detekovatelnosti, či na tuto hranici nedosahují.

Výsledky samotného varovného systému jsou prezentovány pomocí webové aplikace. Ta je tvořena v programovacím jazyce R prostřednictvím balíčku umožňujícího tvorbu interaktivních webových aplikací Shiny. Kód je koncipován jako R Markdown dokument s výstupním formátem flexdashboard, což je balíček sloužící k integraci aplikace do jednotného zobrazení (tzv. dashboardu). Interaktivní prvky aplikace jsou tvořeny balíčky, zprostředkávajícími integraci open source JavaScript knihoven do R. Konkrétně se jedná o leaflet pro tvorbu map, dygraphs pro tvorbu grafů časových řad a rhandson-table pro interaktivní tabulkové výstupy. Pro manipulaci s daty na pozadí aplikace je použit balíček dplyr a pro práci s daty balíček lubridate, oba jsou součástí prostředí tidyverse – souboru open source balíčků, navržených se společným API, filozofií, základní gramatikou a strukturou dat. K modelování odtoku byl využit model hydrologické bilance reprezentovaný balíčkem bilan. K odhadu samotného modelu a tvorbě predikcí byly použity nástroje ze základního balíčku stats. Nízký počet balíčků, a tedy dependencies aplikace, umožňuje její snadnější udržitelnost a provoz. V aktuálním stavu je aplikace určena pro R verze 3.6.1 (2019-07-05). Verze jednotlivých balíčků jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Seznam R balíčků použitých v aplikaci

Tab. 2. List of used R-packages

Název	Verze	Popis
shiny	1.5.0	Web Application Framework for R
flexdashboard	0.5.2	R Markdown Format for Flexible Dashboards
leaflet	2.0.3	Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library
dygraphs	1.1.1.6	Interface to 'Dygraphs' Interactive Time Series Charting Library
rhandson-table	0.3.7	Interface to the 'Handsontable.js' Library
dplyr	1.0.2	A Grammar of Data Manipulation
lubridate	1.7.9	Make Dealing with Dates a Little Easier
bilan	2018-11-29	Bilan water balance model



Obr. 6. Základní rozdělení aplikace (v okně 3 jsou zobrazeny pozorované hodnoty pH)
 Fig. 6. Application window (window 3 showing values of pH)

Na obr. 6 je zobrazeno základní okno aplikace, jež je rozděleno do čtyř částí:

1. Mapové okno, zobrazující lokalizaci jednotlivých profilů/povodí, které je interaktivní. Po kliknutí na daný profil/povodí se v ostatních oknech aplikace zobrazí výsledky pro zvolený profil/povodí.
2. Okno zobrazující pozorované hodnoty koncentrací pro zvolenou látku a profil/povodí.
3. Okno, jež umožňuje výběr látky, profilu/povodí a zadání výhledových hodnot teplot vzduchu a srážkových úhrnů nebo volbu datumu, pro které má být provedena predikce. Zobrazovací komponenta je interaktivní a po přiblížení myši zobrazí hodnoty.
4. Okno zobrazující predikované hodnoty koncentrací pro zvolenou látku a profil/povodí.

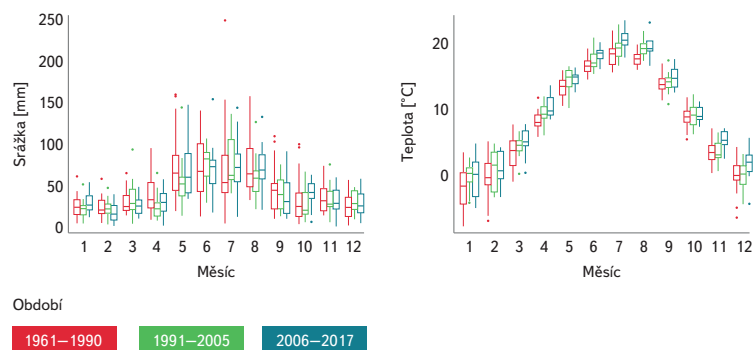
Samotné zobrazení výsledů v aplikaci je přípustné i bez přihlášení se do ní. V rámci aplikace je k dispozici manuál, jenž obsahuje metodický popis a informace o jednotlivých modelovaných lokalitách a povodích.

Pomocí rolovacího menu lze pro dílčí oblast vybrat jednotlivý profil/povodí. Tuto volbu lze také provést v mapovém okně, které disponuje standardní funkcionalitou. Po zvolení profilu/povodí a vybrané látky se v pravém horním rohu zobrazí pozorované hodnoty koncentrací. Limitní hodnoty (mez detekovatelnosti) jsou v okně zobrazeny pomocí číselného údaje.

V rámci aplikace lze provádět predikce koncentrací zvolené látky na osm týdnů dopředu. Je možné použít dlouhodobé průměry teplot vzduchu a srážkových úhrnů. V takovém případě se vyplní tabulka dlouhodobými průměry za období 1981–2010 teplot vzduchu (T) a srážkových úhrnů (P). Poté se automaticky vypočtou průtoky/odtoky (R) a následně koncentrace pro danou látku. Hodnoty koncentrací se objeví v tabulce v číselné formě ve sloupci cons. Hodnoty 1–8 označují 1. až 8. týden od zvoleného data. Průběh predikovaných hodnot se dále zobrazí v grafu Predikce a profily/povodí se obarví červenou, či modrou barvou. Červená značí, že se hodnoty pohybují nad hranicí detekovatelnosti, modrá, že jsou pod touto limitní hodnotou. Další možností je zadat teploty vzduchu a srážkových úhrnů do tabulky ručně, např. na základě hydro-meteorologické předpovědi.

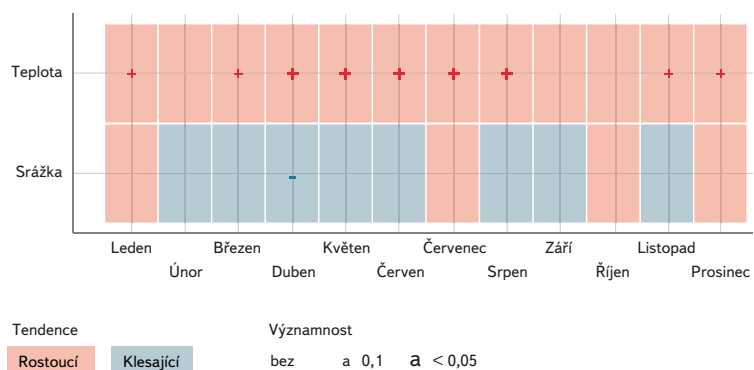
VÝSLEDKY A DISKUZE

Na plochu povodí byla na základě reálné měřených dat vypočítána modelová data za období 1961–2017 v denním kroku pro srážky a teploty. Obr. 7 ukazuje základní statistické porovnání tří po sobě následujících období v agregovaných měsíčních hodnotách, z nichž je patrný postup klimatických změn, a to především u teplot vzduchu. Klimatologické veličiny byly na povodí vyhodnoceny pro tři časová období (1961–1990, 1991–2005 a 2006–2017) a jsou znázorněny



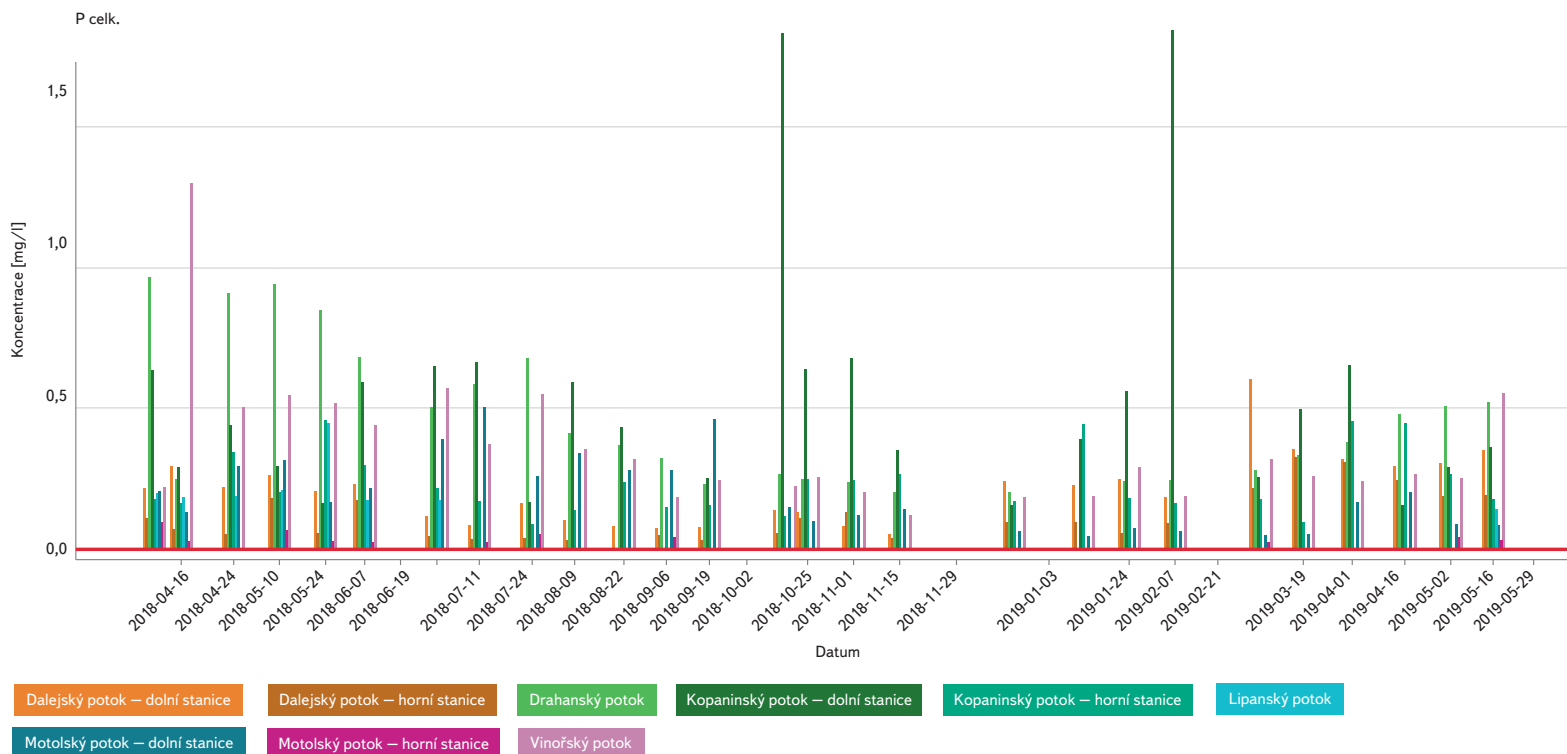
Obr. 7. Motolský potok – srážky a teploty vzduchu

Fig. 7. Motols creek – precipitation and air temperature



Obr. 8. Motolský potok – hodnocení významnosti trendů změn srážek a teplot v jednotlivých měsících

Fig. 8. Motols creek – evaluation of the significance of trends in changes in precipitation and temperature



Obr. 9. Koncentrace fosforu pro jednotlivá povodí

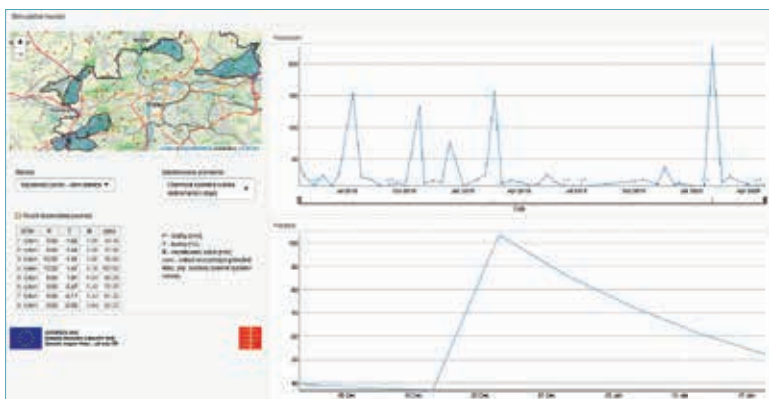
Fig. 9. Phosphorus concentrations for individual river basins

formou boxplotů na obr. 7 a 8. Jednotlivá období jsou od sebe barevně odlišena. Na obr. 7 lze vidět, že z pohledu průměrných měsíčních úhrnů bylo prostřední hodnocené období 1991–2005 srážkově spíše nadprůměrné a současný stav se přiblížil zpět podmínkám v prvním období 1961–1990.

Statistická signifikantnost trendu měsíčních srážkových úhrnů a teplot vzduchu za celé období 1961–2019 byla posouzena Mann-Kendalovým testem. Výsledky jsou zobrazeny na obr. 8. Lze pozorovat statisticky významný nárůst teploty s vysokou hladinou významnosti především v měsících na počátku vegetačního období, kdy naopak srážkové úhrny mají spíše klesající, ač statisticky málo významnou tendenci.

Na obr. 9 jsou jako příklad zobrazeny pozorované koncentrace fosforu pro jednotlivá povodí. Lze pozorovat významný rozdíl mezi jednotlivými povodími.

Na obr. 10 je znázorněna predikce pro osm týdnů, pokud by následovaly průměrné hydroklimatické podmínky. Zobrazen je profil/povodí Kopaninský potok – dolní stanice (zvýrazněn i v mapovém podkladu) a látka Diclofenac. V rámci predikce lze pozorovat, že se koncentrace na počátku pohybují těsně nad mezí detekovatelnosti, následně pod tuto hranici klesnou a na konci období se opět nad tuto hranici dostanou. Hodnoty se pro zvolený profil/povodí pohybují nad zvolenou mezí, v mapové komponentě je však zřejmé, že v jiných povodích tomu tak nemusí být.



Obr. 10. Výsledky predikce pro zvolenou látku (chemická spotřeba kyslíku dichromanem v mg/l) a povodí Kopaninského potoka

Fig. 10. Prediction results for the selected substance (chemical oxygen demand with dichromate mg/l) and the Kopaninský stream basin

Pro podrobnější prezentaci pozorovaných (monitorovaných) hodnot koncentrací látek, průtoků, teploty vody a konduktivity byla vzhledem k velkému množství dat vytvořena interaktivní prohlížečka v prostředí R Shiny. Funkcionalita prohlížečky je založena na aplikaci simulačního modelu, která vznikla v rámci řešení projektu. Po přihlášení do prohlížečky lze zvolit, zda chceme zobrazit výsledky pro oblast.

Následně je možné vybrat jednu z látek, jež byly vyhodnoceny. V samotné prohlížečce je možné vybrat najednou až 10 látek (průtoky, teplota vody, konduktivita) tak, aby je bylo možné mezi sebou porovnávat či například vizuálně hodnotit závislost koncentrace na průtoku. Grafické výstupy lze exportovat ve formátu *.png.

ZÁVĚR

Pro oblast okolí Prahy byl vytvořen simulační model, jenž predikuje odtokové výšky (průtoky) a koncentrace vybraných látek na osm týdnů dopředu na základě (i) ručně zadaných hodnot teplot vzduchu a srážkových úhrnů nebo (ii) pomocí dlouhodobých průměrů klimatických veličin. Koncentrace jsou modelovány na základě kombinace předpovědi průtoků pomocí hydrologického modelu Bilan a koncentračního modelu. Pro jednotlivé látky a průtoky byly odvozeny regresní vztahy I. až III. řádu. Na základě těchto vztahů jsou poté dané koncentrace odhadnuty. Pro lepší vystižení závislosti by bylo vhodné v daných lokalitách látky dále monitorovat a následně tyto regresní vztahy upravit tak, aby byly zachyceny různé hydrologické situace a k nim odpovídající koncentrace jednotlivých látek. Do budoucna by bylo vhodné model upravit pro výpočet v denním časovém kroku. Model je uveden na stránkách projektu heis.vuv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni.

Poděkování

Tento článek byl připraven v rámci projektu „Analýza adaptačních opatření ke zmírnění dopadů změny klimatu a urbanizace na vodní režim v oblasti vnější Prahy“, č. CZ.071.02/0.0/0.0/16-040/0000380, financovaného z Operačního programu Praha – pól růstu ČR.

Literatura

- [1] Vizina, A., Horáček, S., Hanel, M. Nové možnosti modelu Bilan. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2015, 57(4–5), 7–10
- [2] Melišová, E.; Vizina, A.; Staponites, L. R.; Hanel, M. The Role of Hydrological Signatures in Calibration of Conceptual Hydrological Model. *Water* 2020, 12, 3401

Autoři

Ing. Adam Vizina, Ph.D.^{1,2}

✉ adam.vizina@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-4683-9624

Ing. Irina Georgieová^{1,2}

✉ irina.georgieova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5760-6471

Ing. Eva Juranová¹

✉ eva.juranova@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-9021-7307

Ing. Jan Hlom¹

✉ jan.hlom@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-1365-3604

¹ Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce

² Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.01.005

PREDICTION MODEL OF WATER QUALITY AROUND PRAGUE

VIZINA, A.^{1,2}; GEORGIEVOVA, I.^{1,2}; JURANOVA, E.¹; HLOM, J.¹

¹T. G. Masaryk Water Research Institute, p. r. i.

²Czech University of Life Sciences Prague

Keywords: water quality – hydrology – discharges – prediction – Prague

Recently, the impacts of climate change on the water regime in the natural conditions have been much discussed topic – not only among the scientific community. The project was focused on the cultural landscape in the immediate vicinity of the city of Prague, where climatological variables, flows and water quality were monitored at eight pilot sites (river basins), which began in April 2018 and ended in May 2020. The water quality of the Prague streams were evaluated at the Testing Laboratory for Environmental Technology and Components TGM WRI, p. r. i. The long-term runoff regime was simulated by the BILAN model. Selected indicators were evaluated and formed the basis for a simulation model of water quality based on precipitation and runoff characteristics. Concentrations were derived based on regression relationships between the current discharges and the concentration of the selected chemical variable. This created a simulation model, which is available for exploration via a map application on the project website heis.vuv.cz/projekty/praha-adaptacniopatreni. The results from the monitoring are available within the interactive application or on the project geoportal.



Citlivostní analýza vybraných vstupních parametrů numerického modelu HEC-RAS při hydraulických výpočtech proudění vody v korytech toků a záplavových územích

DAVID DUCHAN, STANISLAV KOTAŠKA, ŠIMON POSPÍŠILÍK, ALEŠ DRÁB

Klíčová slova: citlivostní analýza – hydraulický výpočet – 2D numerický model – HEC-RAS – turbulentní model – záplavové území

SOUHRN

Hydraulické výpočty proudění vody v korytech vodních toků a záplavových územích se v současné inženýrské praxi provádějí primárně s použitím 1D, 2D a spřažených 1D/2D numerických modelů. Matematický model je v případě zmiňované 2D schematizace obvykle založen na tzv. rovnicích proudění v mělkém proudu (shallow water equations), přičemž k matematickému popisu turbulentního proudění se zde využívají tzv. turbulentní modely s různým pojetím modelování turbulence. V našich podmínkách je pro účely hydraulických výpočtů poměrně rozšířené programové vybavení HEC-RAS, které využívá turbulentního modelu založeného na Boussinesqově aproximaci. Cílem příspěvku je prezentace postupů a závěrů citlivostní analýzy, jež zohledňuje vliv vstupních parametrů uvedeného turbulentního modelu na výsledky hydraulických výpočtů v případě použití 2D, respektive spřaženého 1D/2D modelu. Součástí analýzy je rovněž ověření možného ovlivnění výsledků změnami dalších parametrů výpočtu, mezi které patří např. zavedení zjednodušeného řešení rovnic proudění v mělkém proudu aproximací difuzní vlnou nebo způsob prostorové diskretizace řešené náhradní oblasti. K ověřovacím výpočtům byl vybrán jednak fiktivní úsek prizmatického koryta lichoběžníkového průřezu a dále reálný úsek koryta toku Svatka na území města Brna v délce cca 2,6 km. Účelem předkládaného příspěvku je především poskytnout potenciálním uživatelům 2D numerických modelů, založených na rovnicích mělkého proudu, základní představu o nejistotách ve výsledcích hydraulických výpočtů, vyplývajících z volby vybraných vstupních parametrů.

ÚVOD

Pro účely hydraulických výpočtů proudění vody v korytech toků a záplavových územích se v současnosti v inženýrské praxi využívají primárně 1D, 2D a spřažené 1D/2D numerické modely. Uvedený typ hydraulických výpočtů zpravidla představuje časově – a tedy i finančně – náročnou proceduru, která je zatížena řadou nejistot. Jako jeden z podstatných zdrojů nejistot lze označit volbu vhodného hydrodynamického modelu k provedení hydraulických výpočtů a s tím související způsob schematizace řešené oblasti. Volba dimenze modelu spolu s dalšími vstupními parametry může mít podstatný vliv na výsledky výpočtů. Zatímco 2D modely vycházejí z předpokladu dvourozměrného (2D) proudění

vody na celé řešené náhradní oblasti, spřažené 1D/2D modely uvažují v dílčích částech řešené oblasti s jednorozměrným (1D) přístupem [2–9]. Obvyklá je schematizace samotného vodního toku v rozsahu břehových hran pomocí 1D modelu a přilehlého záplavového území 2D modelem. Hlavním přínosem použití spřažených 1D/2D modelů je zejména snadnější hydraulické řešení objektů v zájmové oblasti (např. mosty, propustky, jezy) a dále menší nároky na podklady zachycující morfologii koryta řešených vodních toků. V případě 1D modelu lze koryto toku schematizovat soustavou příčných řezů, zatímco pro 2D model je nezbytné zajistit kompletní digitální model reliéfu koryta toku. Nevýhodou použití spřažených 1D/2D modelů oproti 2D modelům mohou být např. přijatá zjednodušení hydraulických jevů v místech propojení mezi 1D a 2D oblastmi a možná větší časová náročnost prováděných výpočtů. Obecně je problematika srovnání 1D, 2D a 1D/2D hydrodynamických modelů věnována řada publikací, viz např. [10–17].

Zmiňované 2D numerické modely jsou obvykle založeny na matematickém modelu zahrnujícím tzv. rovnice proudění v mělkém proudu (shallow water equations) [18], jež v různé míře umožňují rovněž zohlednění turbulence. K matematickému popisu turbulentního proudění se využívají tzv. turbulentní modely s různým pojetím modelování turbulence [1]. V našich podmínkách je pro účely hydraulických výpočtů poměrně rozšířené programové vybavení HEC-RAS, které v rámci 2D schematizace využívá turbulentního modelu založeného na Boussinesqově aproximaci [18]. Jeho podstatou je zavedení tzv. turbulentní viskozity. Pro její výpočet je však nezbytná specifikace bezrozměrného koeficientu, jenž je závislý na charakteru proudění a může nabývat hodnot v poměrně širokém rozpětí [18–20].

Cílem příspěvku je prezentace výsledků citlivostní analýzy zohledňující vliv uvedeného vstupního parametru turbulentního modelu na výsledky hydraulických výpočtů v případě použití 2D schematizace, respektive při použití

Tab. 1. Hodnoty bezrozměrného koeficientu D pro výpočet turbulentní viskozity dle [18]
Tab. 1. Values of eddy viscosity transverse mixing coefficient D [18]

D	Geometrie koryta, druh povrchu
0,11 až 0,26	Rovné koryto, hladký povrch
0,3 až 0,77	Mírné meandry, střední nerovnosti povrchu
2,0 až 5,0	Výrazné meandry, hrubý povrch

spřaženého 1D/2D modelu. Součástí analýz je rovněž ověření možného ovlivnění výsledků změnami dalších parametrů výpočtu, mezi něž patří např. zavedení zjednodušeného řešení rovnic proudění v mělkém proudu aproximací difuzní vlnou nebo způsob prostorové diskretizace řešené náhradní oblasti. K ověřovacím výpočtům byl vybrán jednak fiktivní úsek prizmatického koryta lichoběžníkového průřezu a dále reálný úsek koryta toku Svratka na území města Brna v délce cca 2,6 km. Předkládaný příspěvek si neklade za cíl detailní teoretický rozbor daného problému. Jeho účelem je především poskytnout uživatelům 2D numerických modelů, založených na rovnicích mělkého proudu, základní představu o nejistotách ve výsledcích hydraulických výpočtů vyplývajících z volby vybraných vstupních parametrů.

METODA CITLIVOSTNÍ ANALÝZY

Citlivostní analýza vlivu bezrozměrného koeficientu pro výpočet turbulentní viskozity na výsledky hydraulických výpočtů proudění vody v korytech toků a záplavových územích spočívá v realizaci a následné analýze řady variantních výpočtů s použitím 2D, respektive spřaženého 1D/2D numerického modelu. Pro tyto účely bylo zvoleno poměrně rozšířené programové vybavení HEC-RAS, které je založeno na matematickém modelu dvourozměrného (2D) proudění kapaliny o malé hloubce s volnou hladinou, tj. na tzv. rovnicích proudění v mělkém proudu (FM). Matematický model dále umožňuje výpočty s použitím zjednodušené formy rovnic mělkého proudu bez použití turbulentního modelu, označované jako aproximace difuzní vlnou (DW). Pro srovnání byl rovněž využit matematický model s jednorozměrnou (1D) schematizací. Podrobný teoretický popis zmiňovaných matematických modelů lze nalézt např. v literatuře [18]. Konkrétní uživatelské nastavení parametrů v programu HEC-RAS lze provést s použitím příručky [22] (viz klíčová slova „Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient“, „Full Momentum Equation“ a „Diffusion Wave“).

Jednotlivé řešené varianty se v rámci citlivostní analýzy lišily použitím různých hodnot bezrozměrného koeficientu D , nezbytného pro výpočet turbulentní viskozity, která je podstatou turbulentního modelu využívajícího Boussinesqovu aproximaci. Sledovanou veličinou byla ve všech případech vypočtená úroveň hladiny v ose řešených koryt toků. Zmiňovanou turbulentní (tzv. „eddy“) viskozitu ν_t vstupující do řešení rovnic proudění v mělkém proudu (FM), lze vyjádřit vztahem [18]:

$$\nu_t = Dh_* \quad (1)$$

kde D je bezrozměrný koeficient pro výpočet turbulentní viskozity a u_* smyková rychlost definovaná jako:

$$u_* = \sqrt{gRS} = \frac{\sqrt{g}}{C} |V| = \frac{n\sqrt{g}}{R^{2/3}} |V| \quad (2)$$

kde R je hydraulický poloměr, g tíhové zrychlení, S sklon čáry energie, C Chézyho rychlostní součinitel, $|V|$ střední svislicová rychlost a n Manningův drsnostní součinitel. Pro hydraulické výpočty v programu HEC-RAS udává Brunner [18] orientační rozsahy hodnot bezrozměrného koeficientu D pro výpočet turbulentní viskozity uvedené v tab. 1.

Citlivostní analýza byla provedena na dvou typech modelů, které jsou v dalším textu označeny písmeny A, B. Model A byl koncipován s ohledem na eliminaci dalších možných vlivů na výsledky výpočtů (nerovnoměrnost rychlostního pole, náhlé kontrakce při změnách tvaru příčných profilů apod.). Z tohoto důvodu bylo pro citlivostní analýzu zvoleno prizmatické koryto

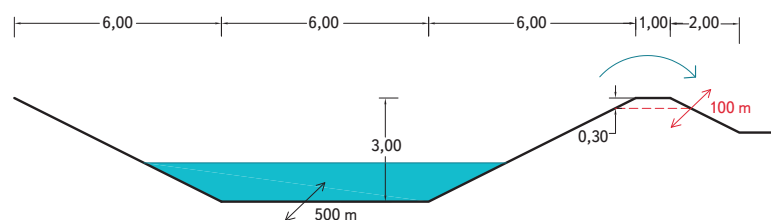
lichoběžníkového průřezu, jehož hlavní parametry jsou patrné z obr. 1 a tab. 2. Pro účely simulace odlehčování části průtoku do inundačního území bylo do modelu A začleněno rovněž pravobřežní lokální snížení břehové hrany o 0,3 m v délce 100 m, nacházející se uprostřed délky řešeného úseku koryta (viz obr. 1 a 6). Za takto vytvořenou přelivnou hranou byl zaveden předpoklad volného odtoku vody.

Tab. 2. Model A – základní parametry koryta

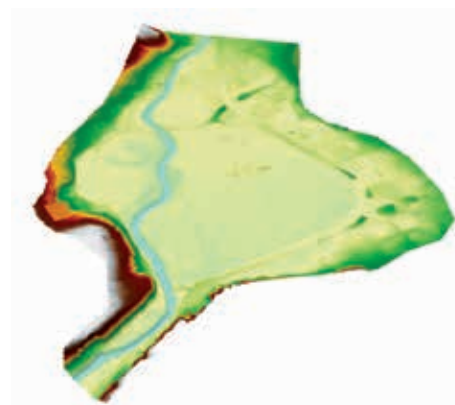
Tab. 2. Model A – river reach basic parameters

Parametr, jednotky	Hodnota
Podélný sklon dna koryta i [-]	0,002
Délka koryta L [m]	500
Drsnostní součinitel dle Manninga n [-]	0,035
Průtok Q [m ³ /s]	17,96
Dolní okrajová podmínka – hloubka vody h_u [m]	1,5 m (viz varianty A.1, A.2, A.3), 2,94 m (viz varianta A.4)

Pro výše popsany model A byla následně provedena citlivostní analýza spočívající ve variantních výpočtech A.1 až A.4. Nastavení jednotlivých variant (viz tab. 3) bylo voleno tak, aby byl vždy jeden z testovaných vstupních parametrů modelu zadán jako konstantní a druhý s proměnlivými hodnotami (viz sloupce výpočetní síť a koeficient turbulence D v tab. 3). Zároveň ve všech řešených variantách proběhlo ověření vlivu použitého matematického modelu (viz sloupec model). Výsledky 1D modelu byly určeny pouze k orientačnímu srovnání s 2D modely a nebyly předmětem citlivostní analýzy. Zvolená velikost elementů



Obr. 1. Model A – příčný profil koryta toku (přeliv je ve funkci pouze u varianty A.4 dle tab. 3)
Fig. 1. Model A – river reach cross section (the overflow is functional only for variant A.4 according to tab. 3)



Obr. 2. Situace modelu řeky Svratky v úseku km 50,2 až km 52,8

Fig. 2. Situation of the Svratka river model in the section of km 50.2 to km 52.8

Tab. 3. Model A – základní parametry řešených variant výpočtů
 Tab. 3. Model A – basic parameters of solved calculation variants

Varianta	Model	Výpočetní síť	Koeficient turbulence D pro model 2D (FM)	Poznámka
A.1	1D, 2D (DW), 2D (FM)	Ortogonalní ve variantách s různou velikostí elementů (18 m; 6 m; 1 m; 0,5 m; 0,25 m)	0	-
A.2	1D, 2D (DW), 2D (FM)	Ortogonalní s konstantní velikostí elementů 1 m	Ve variantách s různými hodnotami $D = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,7$	-
A.3	1D, 2D (FM)	Ortogonalní ve variantách s různou velikostí elementů (18 m; 6 m; 3 m; 1 m; 0,5 m)	0,3	-
A.4	1D, 2D (DW), 2D (FM)	Ortogonalní s konstantní velikostí elementů 1 m	Ve variantách s různými hodnotami $D = 0; 0,3$	S pravobřežním přelivem

Tab. 4. Součinitelé drsnosti povrchu n dle Manninga pro model B
 Tab. 4. Manning roughness coefficients n for model B

Druh povrchu	Součinitel drsnosti n dle Manninga
Dno vodního toku	0,035
Břehy koryta s porostem	0,045
Budovy	1
Zpevněné plochy (cesty zpevněné, parkoviště, silnice)	0,025
Les	0,12
Zahrady, louky	0,1

výpočetní síť odpovídala rozměrům koryta v příčném profilu dle obr. 1. Rozměr elementů 18 m postihoval celou šířku koryta, rozměr 6 m odpovídal dělení profilu na svahy a dno, rozměry elementů 1 m, 0,5 m a 0,25 m sloužily k ověření vlivu jemnějšího dělení oblasti.

Model B zachycuje reálný úsek vodního toku Svratky (viz obr. 2) cca mezi km 50,2 (jez Kamenný mlýn) až km 52,8 (jez Komín). Pro řešenou lokalitu byl připraven digitální model terénu sestavený na základě dat z digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G) [21] a ze sonarového zaměření dna koryta toku Svratka. Dále bylo provedeno dílčí geodetické zaměření vybraných terénních hran metodou GPS – RTK (např. břehové hrany, zemní tělesa komunikací apod.). Rozložení drsností povrchu v zájmovém území bylo stanoveno odborným odhadem na základě místních šetření a mapových podkladů ZABAGED [21]. Konkrétní použité hodnoty součinitelů drsností n dle Manninga jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 5. Model B – základní parametry řešených variant výpočtů
 Tab. 5. Model B – basic parameters of solved calculation variants

Varianta	Model	Výpočetní síť	Koeficient turbulence D pro model 2D (FM)	Kulminační průtok
B.1	1D, 2D (DW), 2D (FM)	Hexagonální s proměnlivou velikostí elementů	Ve variantách s různými hodnotami $D = 0; 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00$	$Q_5 = 115 \text{ m}^3/\text{s}$
B.2	1D, 2D (DW), 2D (FM)	Hexagonální s proměnlivou velikostí elementů	Ve variantách s různými hodnotami $D = 0; 0,3$	$Q_{20} = 185 \text{ m}^3/\text{s}$

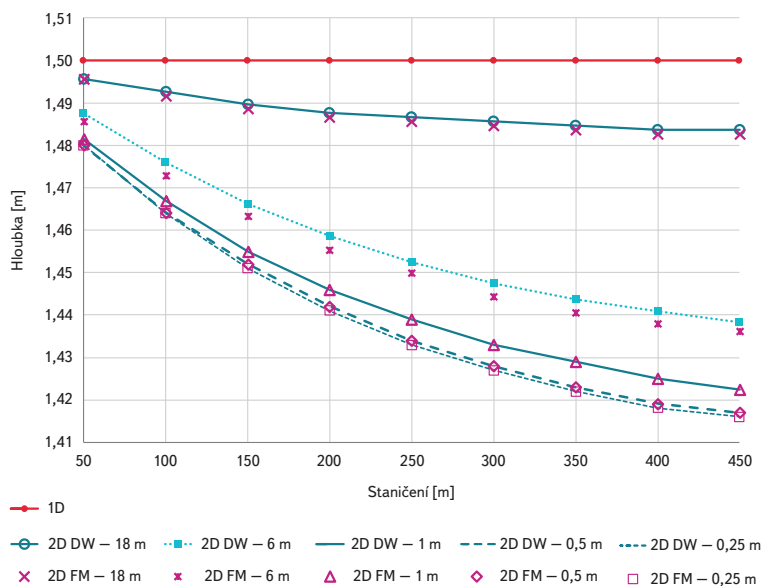
Samotné sestavení modelu v programu HEC-RAS proběhlo s použitím aplikace RAS Mapper. Do modelu proudění byl připojen digitální model terénu a vrstva drsností povrchu. Pro zadanou oblast modelu proudění byly doplněny významné linie (břehové linie, terénní zlomy, příčné objekty v korytě). Výpočetní síť řešené náhradní oblasti byla tvořena elementy ve tvaru hexagonu s rozměry cca $8 \times 8 \text{ m}$ a s lokálním zjemněním v okolí významných linií. Hexagonální elementy umožňují, oproti čtvercovým elementům použitým v případě modelu A, snadnější tvorbu výpočtových sítí s nepravidelnými hranicemi náhradních oblastí, popř. s požadavky lokální změny velikostí elementů. Výpočetní síť sestávala z celkového počtu 80 200 elementů. Dolní okrajová podmínka byla zadána měrnou křivkou jezu Kamenný mlýn ve staničení km 50,2, horní okrajová podmínka byla zadána hodnotou průtoku (viz tab. 5). Vytvořený 2D model byl následně upraven dle jednotlivých řešených variant výpočtu (viz tab. 5), tj. byly zadávány různé hodnoty bezrozměrného koeficientu D pro výpočet turbulentní viskozity, použita aproximace difuzní vlnou apod.

Za účelem srovnání výsledků výpočtů byl vytvořen rovněž 1D numerický model koryta toku Svratka v zájmovém úseku tak, aby s maximální mírou respektoval parametry 2D modelu. V případě 1D modelu byla provedena schematizace geometrie koryta toku zadáním osy a příčných řezů ve vzdálenostech 10 m.

Citlivostní analýza byla provedena nad výsledky výpočtů ve variantách B.1 a B.2 s parametry uvedenými v tab. 5. Ve variantě B.1 byla zvolena hodnota kulminačního průtoku Q_5 , který přibližně odpovídal kapacitě řešeného úseku koryta. Při průtoku Q_{20} , použitým ve variantě B.2, již docházelo v malém rozsahu k rozlívům do přilehlého území. Takto vzniklá inundační území však nebyla průtočná a případné změny průtoku podél zájmového úseku toku lze považovat za zanedbatelné.

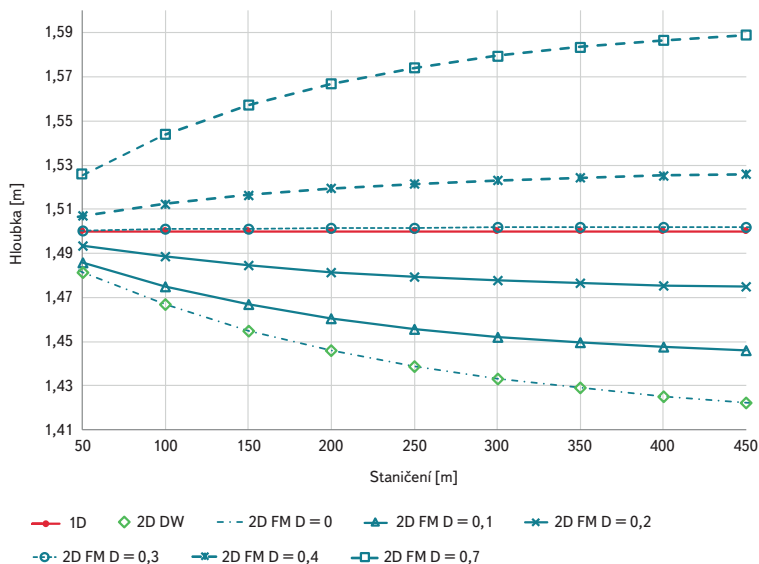
VÝSLEDKY CITLIVOSTNÍ ANALÝZY

Výsledky řešených variant A.1 až A.4 pro model A, prizmatického lichoběžníkového koryta, jsou patrné z obr. 3 až 6. V případě citlivostní analýzy vlivu prostorové diskretizace bez zohlednění turbulence (viz varianta A.1 na obr. 3) je patrné, že za předpokladu shodné velikosti elementů výpočetní sítě jsou rozdíly mezi modely 2D (FM) a 2D (DW) minimální. V porovnání s 1D modelem narůstají rozdíly ve vypočtených hloubkách vody se zmenšující se velikostí výpočetných elementů. Jako hraniční je možné označit rozměr elementu cca 1 m, od kterého má již další zjemňování výpočetní sítě nepatrný vliv.



Obr. 3. Varianta A.1 – výsledky citlivostní analýzy vlivu prostorové diskretizace bez zohlednění turbulence (model 2D DW nebo 2D FM s $D = 0$)

Fig. 3. Variant A.1 – results of sensitivity analysis of the influence of spatial discretization without taking into account turbulence (model 2D DW or 2D FM with $D = 0$)

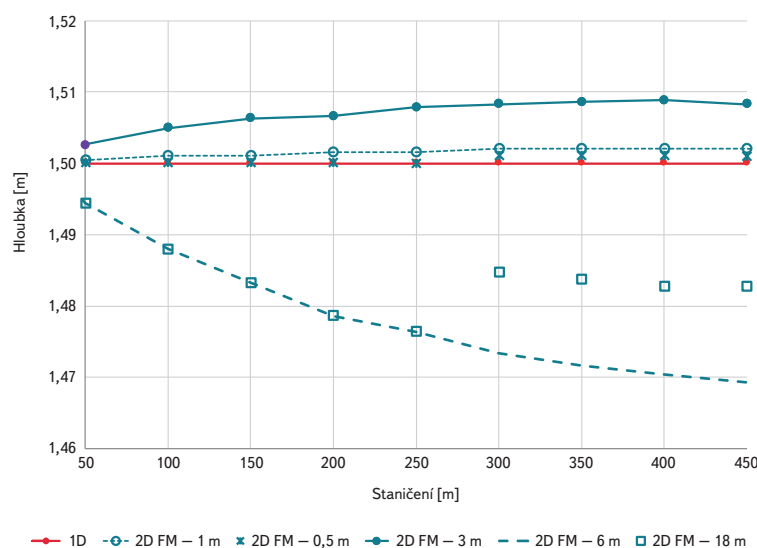


Obr. 4. Varianta A.2 – výsledky citlivostní analýzy vlivu parametrů turbulentního modelu (konstantní velikost elementů 1 m)

Fig. 4. Variant A.2 – results of sensitivity analysis of the influence of turbulence model parameters (constant size of elements 1 m)

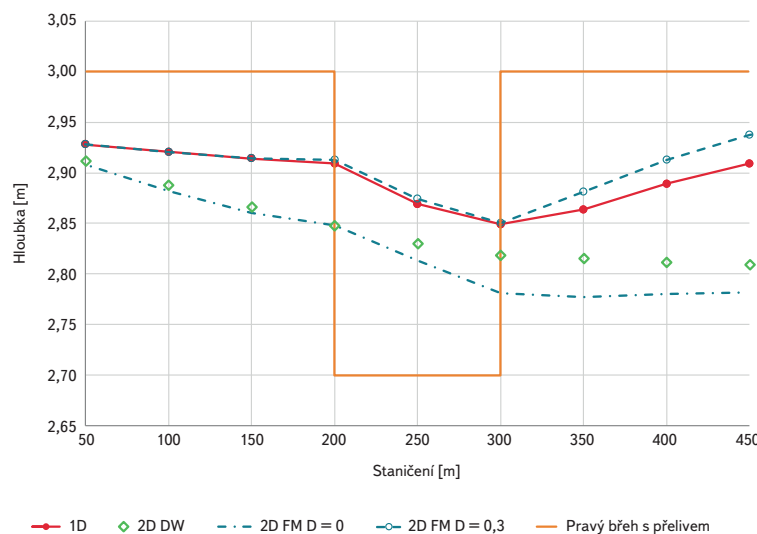
Z výsledků citlivostní analýzy vlivu parametru turbulence při konstantních rozměrech výpočetové sítě s velikostí elementu 1 m (viz varianta A.2 na obr. 4) je patrné, že výsledkům 1D modelu se nejvíce blíží hloubky vody vypočtené pomocí modelu 2D (FM) s koeficientem $D = 0,30$. Zjištěná hodnota $D = 0,30$ je na hranici doporučeného rozpětí hodnot dle tab. 1 pro zvolený typ přímého prizmatického koryta. Z obr. 4 je rovněž jasně patrný logický trend zvyšování úrovně hladiny, resp. hloubek vody v souvislosti s nárůstem hodnoty koeficientu D . Dolní obálku zjištěných hloubek vody naopak představují výsledky modelů 2D (FM) s $D = 0$ a 2D (DW), tj. bez zohlednění vlivu turbulence.

Citlivostní analýza zvolené prostorové diskretizace při uvažování konstantního koeficientu $D = 0,30$ (viz varianta A.3 na obr. 5) prokázala, že zvolená velikost elementů výpočetní sítě má při konstantní hodnotě koeficient $D = 0,30$



Obr. 5. Varianta A.3 – výsledky citlivostní analýzy vlivu volby prostorové diskretizace při konstantních parametrech turbulentního modelu ($D = 0,3$)

Fig. 5. Variant A.3 – results of sensitivity analysis of the influence of the choice of spatial discretization at constant parameters of the turbulence model ($D = 0,3$)



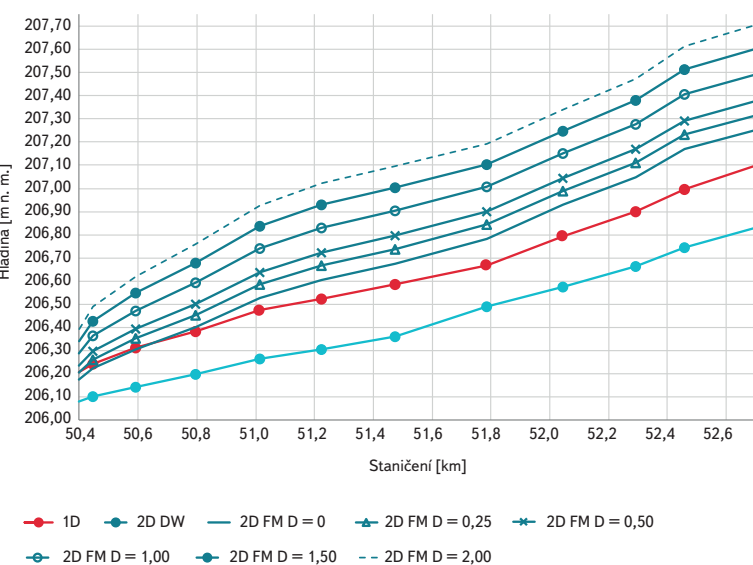
Obr. 6. Varianta A.4 – výsledky citlivostní analýzy vlivu parametrů turbulentního modelu při bočním odlehčení průtoků z koryta (konstantní velikost elementů 1 m)

Fig. 6. Variant A.4 – results of sensitivity analysis of the influence of turbulence model parameters during lateral overflow from the river reach (constant size of elements 1 m)

vliv na vypočtené úrovně hladin. Odchyly v tomto případě narůstají se zvětšující se velikostí elementu. Jako hraniční lze, obdobně jako ve variantě A.1, označit velikost elementu cca 1 m.

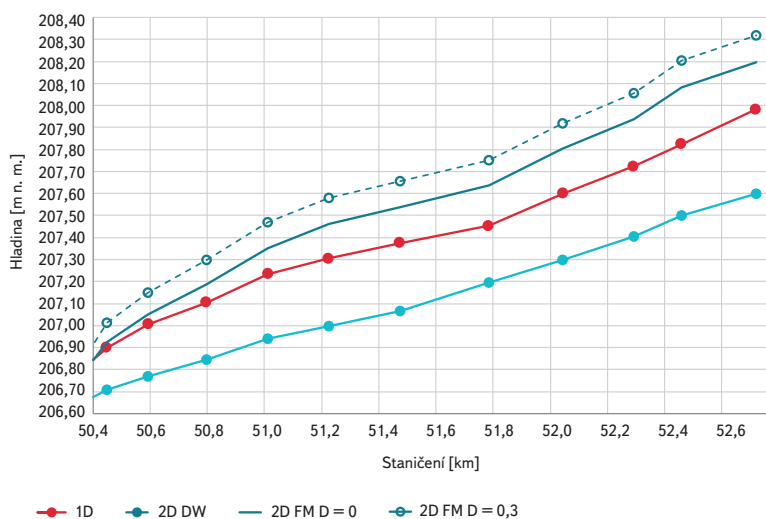
Výsledky ve variantě A.4 na obr. 6 s pravobřežním odlehčením průtoku potvrzují skutečnosti zjištěné v předchozích variantách A.1 až A.3. Oproti variantám bez odlehčení je zde patrné ovlivnění úrovní hladin v úseku nad přelivem.

Výsledky ve variantách B.1 a B.2, provedené na reálném úseku koryta, v zásadě potvrzují základní skutečnosti zjištěné ve variantách A.1 až A.4 pro fiktivní prizmatické koryto. Z obr. 7 a 8 je patrný nezanedbatelný vliv bezrozměrného koeficientu D na úroveň hladiny při výpočtech s použitím modelu 2D (FM), tj. nárůst úrovně hladiny v souvislosti se zvyšováním hodnoty koeficientu D . Při vzájemném srovnání výsledků 2D (FM) a 1D modelu jsou oproti prizmatickému korytu (viz model A) patrné výrazně vyšší úrovně vypočtených hladin, a to i v případě



Obr. 7. Varianta B.1 – výsledky citlivostní analýzy vlivu bezrozměrného koeficientu D na úroveň hladiny při průtoku Q_5

Fig. 7. Variant B.1 – results of sensitivity analysis of the influence of dimensionless coefficient D on the water level at discharge Q_5



Obr. 8. Varianta B.2 – výsledky citlivostní analýzy vlivu bezrozměrného koeficientu D na úroveň hladiny při průtoku Q_{20}

Fig. 8. Variant B.2 – results of sensitivity analysis of the influence of dimensionless coefficient D on the water level at discharge Q_{20}

doporučeného rozmezí hodnot koeficientu D dle tab. 1. Výsledky modelu 2D (DW) vykazují naopak úrovně hladin podstatně nižší, než je tomu u 1D modelu. U modelu B se ve srovnání s prizmatickým korytem v modelu A dále neprokázala shoda ve výsledcích výpočtů pomocí modelů 2D (FM) s $D=0$ a 2D (DW), tj. bez uvažování vlivu turbulence.

ZÁVĚR A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Zohlednění vlivu turbulence při hydraulických výpočtech s použitím 2D, resp. spřažených 1D/2D numerických modelů s sebou většinou přináší zvýšenou časovou náročnost výpočtů, a to jak z hlediska podstatného prodloužení výpočetního času, tak po stránce vyšších nároků na kalibraci modelu. Provedenou citlivostní analýzou byla na modelových případech ověřena závislost vypočtených úrovní hladin na bezrozměrném koeficientu D pro výpočet turbulentní viskozity a související prostorové diskretizaci řešené náhradní oblasti. S ohledem na rozsah provedených analýz a celkovou teoretickou náročnost řešené problematiky lze předkládaný příspěvek chápat jako úvod do daného tématu. Dosažené výsledky poskytují potenciálním uživatelům orientační představu o míře nejistot vyplývajících z případného zohlednění, resp. zanedbání vlivu turbulence. Za stavu, kdy jsou v praxi obvykle značně omezené zdroje odpovídajících kalibračních údajů, představuje naznačený postup citlivostní analýzy vhodný způsob pro získání základní představy o míře nejistot, kterou jsou zatíženy výsledky výpočtů. Zjištěné skutečnosti rovněž nabízejí možnosti dalšího podrobnějšího výzkumu v dané oblasti. V této souvislosti lze zmínit např. otázku nejistot souvisejících s hydraulickým řešením oblastí, kde dochází k vybřežování vody z koryta toku do přilehlého záplavového území, resp. k jejímu zpětnému nátoku např. v důsledku přelévání ochranných hrází nebo překročení kapacity koryta.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu FAST-S-20-6305 „Nejistoty v hydraulickém posouzení transformačního účinku údolní nivy s použitím 2D a spřažených 1D/2D numerických modelů“.

Literatura

- [1] RODI, W. Turbulence models and their application in hydraulics: A state-of-the-art review. International Association for Hydraulic Research. CRC Press, Delft, 1993. ISBN 9789054101505.
- [2] FAN, YUYAN & AO, TIANQI & YU, HAIJUN & HUANG, GUORU & LI, XIAODONG. A Coupled 1D/2D Hydrodynamic Model for Urban Flood Inundation. *Advances in Meteorology*, 2017. 1–12. 10.1155/2017/2819308.
- [3] LIU, QIANG & QIN, YI & ZHANG, YANG & LI, Ziwen. A coupled 1D/2D hydrodynamic model for flood simulation in flood detention basin. *Natural Hazards*, 2015. 75. 10.1007/s11069-014-1373-3.
- [4] PATEL, DHARUVESH & RAMIREZ, JORGE & SRIVASTAVA, PRASHANT & BRAY, MICHAELA & HAN, Dawei. Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modelling – A case application of the new HEC-RAS 5. *Natural Hazards*, 2017. 10.1007/s11069-017-2956-6.
- [5] PRIEUR, N. CH. Development of a 1D/2D coupled hydrodynamic model for the Øyeren Delta in southern Norway. Master Thesis in Geosciences. Department of Geosciences, University of Oslo, 2011. Blindern, Norway.
- [6] VOJINOVIC, ZORAN & TUTULIC, D. On the use of 1D and coupled 1D/2D modelling approaches for assessment of flood damage in urban areas. *Urban Water Journal*, 2009. 6. 183–199. 10.1080/15730620802566877.
- [7] PASQUIER, ULYSSE & HE, YI & HOOTON, SIMON & GOULDEN, MARISA & HISCOCK, KEVIN. An integrated 1D/2D hydraulic modelling approach to assess the sensitivity of a coastal region to compound flooding hazard under climate change. *Natural Hazards*, 2018. 10.1007/s11069-018-3462-1.
- [8] SIMON, C. A. One and two-dimensional coupling modeling approaches for flood simulations. Ph.D. Thesis. Swanson School of Engineering, University of Pittsburgh, 2019.
- [9] DASALLAS, LEA & YEONSU, KIM & HYUNUK, An. Case Study of HEC-RAS 1D/2D Coupling Simulation: 2002 Baeksan Flood Event in Korea. *Water*, 2019. 11. 2048. 10.3390/w11102048.

[10] GAETANO CRISPINO, CORRADO GISONNI & MICHELE IERVOLINO. Flood hazard assessment: comparison of 1D and 2D hydraulic models, *International Journal of River Basin Management*, 2015. 13:2, 153–166, DOI: 10.1080/15715124.2014.928304.

[11] ANTHI-EIRINI K. VOZINAKI, GIASEMI G. MORIANOU, DIMITRIOS D. ALEXAKIS & IOANNIS K. Tsanis. Comparing 1D and combined 1D/2D hydraulic simulations using high-resolution topographic data: a case study of the Koiliaris basin, Greece, *Hydrological Sciences Journal*, 2017. 62:4, 642–656, DOI: 10.1080/02626667.2016.1255746.

[12] RABIH GHOSTINE, JOSE VAZQUEZ, ABDELALI TERFOUS, ROBERT MOSE & ABDELLAH GHENAIM. Comparative study of 1D and 2D flow simulations at open-channel junctions, *Journal of Hydraulic Research*, 2012. 50:2, 164–170, DOI: 10.1080/00221686.2012.661563.

[13] RABIH GHOSTINE, IBRAHIM HOTEIT, JOSE VAZQUEZ, ABDELALI TERFOUS, ABDELLAH GHENAIM & ROBERT MOSE. Comparison between a coupled 1D/2D model and a fully 2D model for supercritical flow simulation in crossroads, *Journal of Hydraulic Research*, 2015. 53:2, 274–281, DOI:10.1080/00221686.2014.974081.

[14] TAYEFI, V. & LANE, STUART & HARDY, R. & Yu, Dapeng. A Comparison of One- and Two-Dimensional Approaches to Modeling Flood Inundation Over Complex Upland Floodplains. *Hydrological Processes*, 2007. 21. 10.1002/hyp.6523.

[15] LEE, Seungsoo & an, Hyunuk. Evaluating the Effect of Grid Size and Type in Integrated 1D/2D Coupled Urban Inundation Modeling on the Interacting Discharge between the Surface and Sewerage System. *Journal of Flood Risk Management*, 2019. 12. e12537. 10.1111/jfr3.12537.

[16] DASGUPTA, A. Reduction of uncertainties in a 1D/2D coupled hydrodynamic model using remote sensing data. Thesis. Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente, Netherlands, 2015.

[17] ALEXANDER Betsholtz, Beatrice Nordlöf. Potentials and limitations of 1D, 2D and coupled 1D/2D flood modelling in HEC-RAS. Master thesis. Division of Water Resources Engineering, Department of Building & Environmental Technology, Lund University. Lund, Sweden, 2017.

[18] BRUNNER, G. W. HEC-RAS River Analysis system: Hydraulic Reference Manual. Version 5.0, Davis, California, 2016, 538 p.

[19] BRUNNER, G. W. HEC-RAS River Analysis system: Modeler Application Guidance for Steady vs. Unsteady, and 1D vs 2D vs 3D Hydraulic Modeling, TD-41, Davis, California, 2020, 114 p.

[20] BRUNNER, G. W. HEC-RAS River Analysis system: Verification and Validation tests, RD-52., Davis, California, 2018, 154 p.

[21] Geoportál ČÚZK [on-line]. Český úřad zeměměřický a katastrální: Státní správa zeměměřictví a katastru, 2010, [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://geoportál.cuzk.cz>

[22] BRUNNER, G. W. HEC-RAS River Analysis system: User's Manual. Version 5.0, Davis, California, 2018, 960 p.

SENSITIVITY ANALYSIS OF SELECTED INPUT PARAMETERS OF THE NUMERICAL MODEL HEC-RAS IN AND FLOODPLAIN FLOW CALCULATIONS

DUCHAN, D.; KOTASKA, S.; POSPISILIK, S.; DRAB, A.

Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering

Keywords: sensitivity analysis – hydraulic calculation – 2D numerical model – HEC-RAS – turbulence model – floodplain

In current engineering practice, hydraulic calculations of water flow in open channels and floodplains are performed primarily using 1D, 2D and coupled 1D/2D numerical models. In the case of the mentioned 2D schematization, the mathematical model is usually based on the so-called shallow water equations. In this context, the turbulence models with different concepts of turbulence modeling are used to mathematically describe turbulent flow. At present, the HEC-RAS software, which uses a turbulence model based on the Boussinesq approximation, is relatively widespread for the purposes of hydraulic calculations. The aim of the paper is to present the results of sensitivity analysis taking into account the influence of the input parameters of the turbulence model on the results of hydraulic calculations in the case of using 2D schematization or in the use of coupled 1D/2D model. The analyzes also include verification of the possible influence of the results by changes in other parameters of the calculation, which include, for example, the use of diffusion wave approximation or the method of spatial discretization of the solved region. For verification calculations, a fictitious reach with a trapezoidal cross-section was selected, as well as a real section of the Svatka river in the city of Brno in the length of approximately 2.6 km. The purpose of this paper is to provide a basic idea of the uncertainties arising from the choice of selected input parameters for potential users of 2D numerical models.

Autoři

Ing. David Duchan, Ph.D.

✉ duchan.d@vutbr.cz

ORCID: 0000-0003-1303-8385

Ing. Stanislav Kotaška

✉ kotaska.s@fce.vutbr.cz

ORCID: 0000-0001-8907-9648

Ing. Šimon Pospíšilík

✉ pospisilik.s@fce.vutbr.cz

ORCID: 0000-0001-5636-3634

Doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

✉ drab.a@fce.vutbr.cz

ORCID: 0000-0002-6874-4132

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2021.01.001



Autoři VTEI

Ing. Pavel Balvín

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ pavel.balvin@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Pavel Balvín je vedoucí Oddělení hydrauliky ve VÚV TGM, v. v. i., v němž pracuje již od roku 1997. V roce 1997 ukončil studium na ČVUT, Fakultě stavební, obor Vodní stavby a vodní hospodářství. Zabývá se problematikou hydrauliky otevřených koryt, fyzikálním a matematickým modelováním. Od roku 2010 se zabývá problematikou minimálních zůstatkových průtoků a s tím spojeným nařízením vlády České republiky. Koordinuje a řeší mezinárodní projekty s povodňovou tematikou, např. projekt „Rainman“, který se věnuje prevenci před povodněmi z přívalových srážek. Řeší a vede projekty podporované TA ČR, jako např. „Potenciál využití suchých nádrží v rámci hospodaření s vodou v krajině“ nebo „Řešení rybníků a malých vodních nádrží z hlediska možnosti dodržování MZP a bezpečnosti při povodních“.

RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ josef.datel@vuv.cz
www.vuv.cz



Od roku 2010 výzkumný pracovník odboru hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie VÚV TGM, v. v. i., v letech 1996–2010 odborný asistent oddělení hydrogeologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a 1988–1996 hydrogeolog ve firmě Vodní zdroje Praha. Vystudoval hydrogeologii a inženýrskou geologii na Přírodovědecké fakultě UK, doktorské studium získal v oboru hydrogeologie. Celoživotně se zabývá problematikou regionálního výzkumu podzemních vod, metodikou hydrogeologického výzkumu, ochranou vod a managementem vodních zdrojů. V poslední době se věnoval projektům „Zajištění jakosti pitné vody při zásobování obyvatelstva z místních vodních zdrojů“ a „Matematický model proudění podzemní vody a transportu látek v lokalitách elektráren Temelín a Dukovany“, podílel se na projektech „Rebalance zásob podzemních vod“ a „Sucho“ pro MŽP. V současné době se v rámci projektu TA ČR zabývá problematikou umělé infiltrace a řízení dotace podzemních vod a je i jedním z klíčových pracovníků nového výzkumného centra Voda.

Ing. David Duchan, Ph.D.

VUT v Brně

✉ duchan.d@vutbr.cz
www.vutbr.cz



Zaměstnancem Vysokého učení technického v Brně na Fakultě stavební od roku 2006. V roce 2011 ukončil doktorský obor Vodní hospodářství a vodní stavby na VUT v Brně, Fakultě stavební. Podílí se na řešení projektů zaměřených např. na tvorbu map povodňového ohrožení a rizik, na optimalizaci hrázových systémů, na působení účinků podzemních vod. Dlouhodobě se věnuje hydrodynamickému modelování.

Ing. Anna Hrabánková

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ anna.hrabankova@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Anna Hrabánková je zaměstnankyní VÚV TGM, v. v. i., od roku 1985. V roce 2008 se stala vedoucí oddělení Ochrana podzemních vod a od roku 2010 vedoucí odboru hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie. Ing. Hrabánková vystudovala obor vodní stavby a vodní hospodářství na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Celou svoji profesní kariéru se zabývá problémy souvisejícími s množstvím a kvalitou podzemní vody. Od roku 1998 se věnuje problematice implementace nitrátové směrnice č. 91/676/EHS, především vymezení a revizím zranitelných oblastí dusičnany ze zemědělské činnosti a s tím související problematice monitoringu jakosti vod. Od roku 2009 je členkou nitrátového výboru Evropské komise. Je řešitelkou několika projektů a autorkou řady publikací. V poslední době byla hlavní řešitelkou projektů OP Praha – pól růstu zabývajících se problematikou jakosti pitné vody pro hlavní město Praha (Voda pro Prahu) a také vlivem pokračující urbanizace a klimatických změn na vodní režim v oblasti vnější Prahy. V současné době je jedním z klíčových pracovníků výzkumného centra Voda.

Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ ludek.strouhal@vuv.cz
www.vuv.cz



Ing. Luděk Strouhal, Ph.D., vystudoval magisterský a doktorský program Inženýrství životního prostředí na Fakultě stavební ČVUT v Praze, doktorskou práci obhájil v roce 2017. V rámci doktorského studia působil šest měsíců na švýcarské Univerzitě Curych. Od roku 2017 je zaměstnancem oddělení hydrologie ve VÚV TGM, v. v. i. Na ČVUT působí nadále jako vědecký pracovník a spoluřešitel řady projektů a jako externí vyučující. Specializuje se na modelování hydrologie a erozních jevů v malém povodí a experimentální činnost. Vede projekt „Fyzikální a hydrogeologické vlastnosti půd ČR“ a podílí se na řešení projektů „Předchozí nasycenost a návrhové srážkové intenzity jako faktory odtokové odezvy na malých povodích“, „PERUN“, „Vyhodnocení rizika a návrh opatření pro prevenci vzniku a šíření přírodních požárů v bezprostředním okolí povrchových zdrojů pitné vody včetně zohlednění důsledků změny klimatu“ a dalších.

Ing. Adam Vizina, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ adam.vizina@vuv.cz
www.vuv.cz



Zaměstnancem oddělení hydrologie ve VÚV TGM, v. v. i., od roku 2007. V roce 2014 ukončil doktorský studijní program Environmentální modelování na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Zabývá se hodnocením hydrologické bilance pro současné a výhledové podmínky, hodnocením hydrologických extrémů a hydrologickým modelováním. Je hlavním řešitelem několika výzkumných i soukromých projektů.

Vývoj citovanosti časopisu VTEI

Časopis Vodohospodářské technicko-ekonomické informace (VTEI) vychází již 63 let. Zároveň je to pět let od ukončení spolupráce s časopisem Vodní hospodářství a začátku vydávání časopisu VTEI v současné modernizované podobě. V úvodním slovu k číslu 4–5/2015, jež bylo prvním číslem vydaným v této nové podobě, psal Mark Rieder o tom, že každá změna představuje riziko. Je tedy vhodné se podívat, jestli se podařilo časopisu VTEI v jeho nové podobě uspět, či nikoli. K ověření, zda časopis VTEI zaznamenal požadovaný progres, bylo použito nástrojů bibliometrie. Bibliometrie se zabývá studiem kvantitativních aspektů produkce, rozšiřování a užití zaznamenaných informací [1]. Jedním z ukazatelů, který vypovídá o úspěšnosti odborného článku, je jeho citovanost v jiných odborných časopisech [2], proto byla zpracována citační analýza článků vydaných v časopise VTEI.

Metodika 17+ [3] v rámci bibliometrické analýzy používá dvě nejznámější citační databáze, a to Scopus a Web of Science. Pro výběr citovaných článků v časopise VTEI byly použity fráze „VTEI“, „Wat* manag* tech* and econ* info*“ a „vodohosp* technicko*“ pro vyhledávání v poli „Reference“ (databáze Scopus), resp. v poli „Cited Work“ (databáze Web of Science).

V případě fráze „VTEI“ a databáze Scopus bylo třeba ručně odfiltrovat několik záznamů, jež obsahovaly frázi „VTEI“ v názvu citovaného díla. V případě citační databáze Web of Science byly prohledávány všechny dostupné databáze.

V databázi Scopus bylo k 1. 1. 2021 nalezeno celkem 99 citací článků vydaných v časopise VTEI v období 1976 až 2020. V databázi Web of Science bylo nalezeno 75 citací článků vydaných v období 1968 až 2020. Pro další analýzu

byly použity údaje z databáze Scopus a výsledky této analýzy souhrnně ukazují *tab. 1*. Údaj „Počet citujících článků“ uvádí, v kolika člancích indexovaných v databázi Scopus byly v daném roce citovány články publikované v časopise VTEI, a údaj „Počet citací – citující články“ zase uvádí, kolik článků vydaných v časopise VTEI bylo v daném roce citováno (v jednom citujícím článku může být citováno i více článků z VTEI). Údaj „Průměrné stáří citace“ vyjadřuje průměrný rozdíl mezi letopočtem vydání citujícího a citovaného článku v příslušném roce, kdy k citování došlo. Údaj „Počet citovaných článků“ uvádí, kolik článků vydaných v daném roce v časopise VTEI bylo citováno v člancích indexovaných v databázi Scopus, a údaj „Počet citací – citované články“ říká, kolik získaly články publikované v daném roce v časopise VTEI celkem citací v člancích indexovaných v databázi Scopus.

Obr. 1 zobrazuje histogram doby od vydání článku v časopise VTEI po jeho citování v odborném časopise indexovaném v databázi Scopus. Dvě třetiny citovaných článků je citováno do čtyř let od jejich vydání a do sedmi let je citováno celých 90 % citovaných článků.

Nejčastěji citovaným článkem je s šesti citacemi článek autorů Viziny, Horáčka a Hanela o nových možnostech modelu Bilan z roku 2015 [4].

Databáze Scopus pokrývá více časopisů, proto není překvapením, že obsahuje více citací článků ve VTEI než databáze Web of Science. Potěšující je trend v citovanosti článků publikovaných ve VTEI. Před rokem 2009 dochází k namátkovému citování článků publikovaných ve VTEI, zatímco od tohoto roku je citován článek publikovaný ve VTEI každý rok, přičemž lze pozorovat stoupající

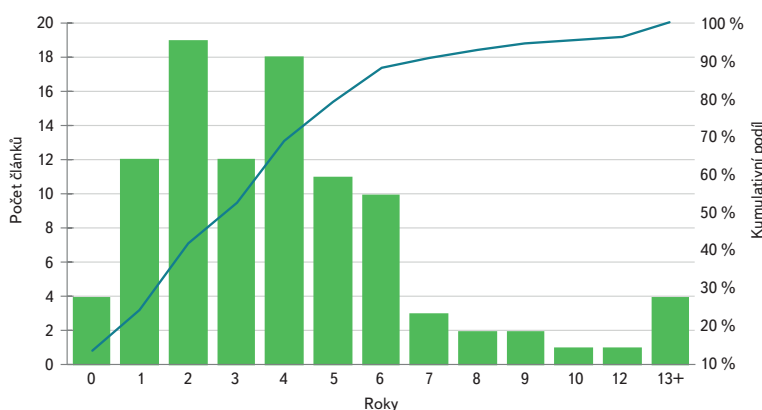
Tab. 1. Výsledky citační analýzy dle údajů evidovaných v databázi Scopus

Rok	Počet citujících článků	Počet citací – citující články	Průměrné stáří citace	Počet citovaných článků	Počet citací – citované články
2020	13	22	2,7	2	2
2019	11	16	5,1	2	4
2018	3	5	4,0	6	7
2017	7	7	3,1	5	5
2016	7	7	4,3	7	7
2015	4	4	4,3	7	15
2014	7	7	3	1	1
2013	4	5	4,2	5	6
2012	7	10	2,5	3	4
2011	1	2	2,0	8	9
2010	1	1	2,0	7	11
2009	2	4	31,5	4	9
2008	0	0	0	2	2
2007	0	0	0	3	3
2006	0	0	0	1	1
<2006	6	9	–	9	13

četnost citovanosti v posledních dvou letech. Méně potěšující se může zdát počet citovaných článků k počtu publikovaných článků. V časopise VTEI je v uplynulých pěti letech publikováno každý rok mezi 25 a 45 recenzovanými články. Pro hodnocení výsledků citační analýzy je třeba mít na paměti tyto skutečnosti:

1. Angličtina je v současnosti dominantním jazykem vědeckých publikací [5], a proto obě zmiňované databáze pokrývají zejména anglicky psané publikace.
2. Publikace v mateřském jazyce jsou mimo zemi původu čteny a citovány méně než v angličtině [6].
3. Časopis VTEI není primárně orientován na světovou akademickou obec, nýbrž na českou odbornou veřejnost a vědeckou komunitu.

Při uvědomění si těchto skutečností není podíl citovaných článků na úrovni 15 až 25 % vydaných článků v letech 2015 až 2018 špatný výsledek. Pro potenciální zahrnutí časopisu VTEI do databáze Scopus by se hodilo tento podíl ještě zvýšit.



Obr. 1. Doba mezi vydáním článku v časopise VTEI a jeho citováním v časopise indexovaném v databázi Scopus

Jedním z dalších ukazatelů, který vyjadřuje kvalitu časopisu, je impakt faktor, a to i přes to, že je mnohdy kritizován [7]. Impakt faktor se počítá jako poměr článků za dvouletí citovaných v následujícím roce po tomto dvouletí vůči vydaným článkům v příslušném dvouletí [8]. Podobně se počítá pětiletý impakt faktor [8]. Impakt faktor dnes počítá skoro každá indexační agentura, ale ve vědecké komunitě je uznávaný impakt faktor počítaný z dat Web of Science. V roce 2020 byly ve Web of Science citovány čtyři články publikované ve VTEI v letech 2018 a 2019, zároveň bylo publikováno v tomto období 57 recenzovaných článků, tj. impakt faktor časopisu VTEI by byl 0,070. V roce 2019 by impakt faktor časopisu VTEI byl jen 0,014, v roce 2018 0,012, v roce 2017 pak 0,036. Pětiletý impakt faktor časopisu VTEI v roce 2020 by byl 0,070 (11 citací / 158 recenzovaných článků).

Příspěvek shrnuje výsledky analýzy citovanosti článků publikovaných v časopise VTEI na záznamech databáze Scopus. Je patrný nárůst citovanosti publikovaných článků, což svědčí o zvyšující se zajímavosti časopisu VTEI jako zdroje odborných a vědeckých informací. Celkově lze shrnout, že analýza citovanosti prokázala úspěšnou transformaci časopisu VTEI do moderního odborného časopisu, jenž přináší zajímavé příspěvky nejen pro odbornou praxi, ale i pro vědeckou komunitu.

Literatura

- [1] VAVŘÍKOVÁ, L. *Úvod do scientometrie* [on-line]. Praha: Ústav informačních studií a knihovnictví, FF UK v Praze. 2008. Dostupné z: https://sites.ff.cuni.cz/uisk/wp-content/uploads/sites/62/2016/01/9%C3%A9Avod-do-scientometrie_Vav%C5%99%C3%ADkov%C3%A1.pdf. 00000
- [2] DRÁBEK, P. *Scientometrie v praxi. Akademický bulletin* [on-line]. 1998, roč. 8, č. 2. ISSN 1210-9525. Dostupné z: <http://abicko.avcr.cz/archiv/1998/2/obsah/scientometrie-v-praxi.html>
- [3] RVVI. *Metodika hodnocení výzkumných organizací a hodnocení programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací* [on-line]. Č. j.: 21805/2016-OMP. Praha: Úřad vlády ČR. 2017. Dostupné z: <https://www.vyzkum.cz/FrontClanek.aspx?idsekcce=799796>
- [4] VIZINA, A., S. HORÁČEK a M. HANEL. *Nové možnosti modelu Bilan. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [on-line]. 2015, roč. 57, č. 4–5, s. 7–10. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <http://www.vtei.cz/2015/08/nove-moznosti-modelu-bilan/>
- [5] TARDY, C. The role of English in scientific communication: lingua franca or Tyrannosaurus rex? *Journal of English for Academic Purposes* [on-line]. 2004, roč. 3, č. 3, s. 247–269 [vid. 4. leden 2021]. ISSN 1475-1585. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jeap.2003.10.001](https://doi.org/10.1016/j.jeap.2003.10.001)
- [6] MOSKALEVA, O. a M. AKOEV. Non-English language publications in Citation Indexes – quantity and quality. In: *Proceedings of the 17th conference of the International society for scientometrics and informetrics - ISSI2019* [on-line]. Roma: Edizioni Efesto, 2019, s. 35–46. ISBN 978-88-338-1118-5. Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/1907.06499>
- [7] ŠPÁLA, M. *Impakt faktor – Dobrý sluha, ale špatný pán. Ikaros* [on-line]. 2006, roč. 10, č. 4. ISSN 1212-5075. Dostupné z: <https://ikaros.cz/impakt-faktor-%E2%80%93-dobry-sluha-ale-spatny-pan>
- [8] CLARIVATE. *The Clarivate Analytics Impact Factor. Web of Science Group* [on-line]. [vid. 7. leden 2021]. Dostupné z: <https://clarivate.com/webofsciencengroup/essays/impact-factor/>

Autor

Ing. Libor Ansorge, Ph.D.
ORCID: 0000-0003-3963-8290

Před sty lety se narodila režisérka Olga Růžičková

V letošním roce by se dožila režisérka a scenáristka Olga Růžičková¹ (rozená Sixtová)² sta let. Narodila se 10. února 1921 ve Velimi³ a zemřela poměrně nedávno, 18. října 2019, v Praze-Spořilově v důsledku vážné nemoci. Čtenář tohoto příspěvku se hned v úvodu oprávněně zeptá: „Jak souvisí filmová tvorba s činnostmi Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka?“ Musíme se nejprve vrátit do „dávne“ historie. V roce 1954 Výzkumný ústav vodohospodářský totiž započal produkovat krátké a středometrážní černobílé i barevné zvukové filmy ve formátu 35 mm a 16 mm. Šlo o snímky vědecké, dokumentární, propagační, instruktážní a zpravodajské, které informovaly odbornou i širokou veřejnost o problémech vodního hospodářství a o výzkumné činnosti ústavu. V období 1954–1960 bylo v ústavu vyprodukováno pět filmů⁴, v období 1961–1970 pak dalších 22 filmů. Jednalo se výhradně o snímky režisérky Olgy Růžičkové, jež v letech 1952–1970 rovněž zastávala funkci vedoucí vědecké knihovny Výzkumného ústavu vodohospodářského v Praze a která následně odešla v roce 1970 ke Krátkému filmu Praha (viz níže).

Filmy ústavu mj. úspěšně zastupovaly náš stát na zahraničních filmových festivalech, sympoziích a konferencích. Mezinárodní ceny získaly filmy: *Odpadní vody z jatek a masného průmyslu a Čištění odpadních vod z výroby kyseliny citronové*⁵. Za zcela výjimečné lze označit tři filmové snímky režisérky Olgy Růžičkové, které zařadil Karel Čáslavský do tematické minisérie *Vltava v obrazech* (viz níže). Velkým úspěchem Výzkumného ústavu vodohospodářského – především pracovníků Studia vodohospodářských filmů – byla spolupráce při natáčení seriálu *Voda, jak ji neznáme*. Filmové populárně-vědecké dokumenty, zhlédnuté velkým počtem diváků v roce 1972 na druhém programu Československé televize, pojednávaly o přínosech a rozvoji vnitrozemských vodních cest a plavby v Československu, včetně průplavu Dunaj–Odra–Labe. Uvedený osmidílný seriál byl natočen Československou televizí ve spolupráci s Výzkumným ústavem vodohospodářským v Praze⁶. Třetí díl pak byl přímo vyroben v ústavu – získal čestné uznání v kategorii „B“ (filmy instruktážní, naučné a školní) na přehlídce technických, vědeckých a naučných filmů TECHFILM (viz níže).

Režisérka Olga Růžičková se narodila ve Velimi v domě č. 55⁷ (kde mj. přespal jednu noc z 23. na 24. června 1901 Tomáš Garrigue Masaryk), který stojí přímo na návsi. Zde prožila své dětství i počátky studia – stala se též místní knihovnicí. Pak přešla do městské knihovny v Chomutově, kde strávila dva roky⁸. Vystudovala Pedagogickou fakultu Univerzity Karlovy a režírovala na FAMU v Praze (studium zde započala až ve svých 35 letech v roce 1956). V letech 1949–1951 se podílela na výzkumu veřejného mínění v Lidovýchovném ústavu T. G. Masaryka. V padesátých letech minulého století byla vystěhovávána s matkou a bratrem z rodového hospodářství, matka byla odsouzena do vězení a ona v roce 1951 byla jako „nespolehlivá“ poslána „do výroby“ – našťáště do Výzkumného ústavu vodohospodářského, který jí umožnil filmové vzdělání⁹ a založení studia vodohospodářských filmů. V období 1952–1970 v tomto ústavu pracovala jednak ve funkci vedoucí vědecké knihovny, jednak jako filmová režisérka. Velmi úzce spolupracovala na mezinárodní úrovni s Association on Water Pollution Research.

Nejprve se podrobněji zmíníme o filmu *Kronika Slapské přehrady* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 35 minut, námět, scénář a režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, střih: Jaromír Janáček, odborný poradce: Ing. František Štěpánek, kresby: Ing. arch. Josef Hlaváč, produkce: Hana Skokanová a Jarmila Podhorská, černobílý, komentář čte: Bohumil Sobotka¹⁰, vyrobil: Výzkumný ústav vodohospodářský 1956–1960¹¹ na základě starších filmových záznamů)¹². Ukazuje „jiný pohled“ na stavbu Slapské přehrad, jež se začala stavět už v roce 1949. Diváci měli možnost se s tímto filmem seznámit v rámci dokumentárního cyklu České televize *Hledání ztraceného času* (460 dílů), do něhož byla začleněna



poměrně rozsáhlá samostatná část (tzv. tematická minisérie) *Vltava v obrazech*¹³. Celý cyklus moderoval (již bohužel 2. ledna 2013 v Praze zesnulý) Karel Čáslavský¹⁴. Film *Bílá přehrada* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 30 minut, 836 m, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. Josef Hořejší, černobílý, zvukový) vypravuje o stavbě Klíčavské přehrad a úpravy vody, která dodává vodu pro Kladno. Film zaznamenává tvorbu modelu, podle něhož se přezkoumával a upravoval původní projekt, a následně zachycuje všechny etapy výstavby přehrad a úpravy vody. Dokument *Pitná voda ze Želivky* (šíře: 35 mm, délka filmu: 490 m, černobílý) zachycuje dlouhodobý výzkum aplikace pokud možno co nejvíce hospodárné úpravy pitné vody ze Želivky pro Prahu.

Poměrně přesnou představu o pracovištích, jež se věnovala problematice odpadních vod a jejich vlivu na jakost vody v tocích a užívání odebraných povrchových vod v průmyslových podnicích v rámci Výzkumného ústavu vodohospodářského, podává film *Vteřiny ze zdravotně vodohospodářského výzkumu* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 20 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, Milan Duda, střih: J. Janáček, technický poradce: Dr. Ing. Jaroslav Bulíček, umělecký poradce: prof. Jan Kučera, produkce: J. Podhorská, zpravodajský dokument, černobílý)¹⁵, který je ve své podstatě točenou formou žurnálu. V krátkých a ucelených částech je dokumentován přehled výzkumu z oboru tzv. zdravotní techniky za rok 1958. Film *Kanalizační čistírny* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 25 minut, režie a scénář: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. Jaroslav Kozel, CSc., a Ing. Miloslav Růžička, střih: Jaromír Janáček, hudba: Miloš Vacek, produkce: Hana Skokanová, dokument, barevný)¹⁶ byl snímkem ryze instruktážním – určeným především pro potřeby školení obsluhovateli čistíren odpadních vod. Tento zajímavý odborný dokument zhlédlo v červnu 1962 celkem 3 995 diváků a byl též 76krát ve stejném měsíci promítán¹⁷. Film *Radioisotopy měří sniž* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 20 minut, 420 m, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. Jaroslav Martinec, CSc., a Ing. Věkoslav Sotorník, CSc., česká a anglická verze, dokument, černobílý)¹⁸ pojednává o tom, že přehradní nádrže potřebují pro optimální manipulaci správnou znalost prognózy jarních odtoků ze sněhu. Nová metoda za použití radioizotopu kobaltu měla zlepšit přesnost získávaných údajů o sněhových zásobách v daném povodí.

Činnost Výzkumného ústavu vodohospodářského v oblasti hydrotechniky a hydrauliky velmi stručně, a přitom výstižně zachytil film *Vteřiny z hydraulického výzkumu* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 45 minut, režie: Olga Růžičková,



kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: prof. Dr. Ing. Pavel Novák, DrSc., česká a anglická verze, odborný a zpravodajský dokument, černobílý, 1961–1962)¹⁹, který souhrnně informoval o tehdejších nových výzkumech. Film *Fenoly* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 11 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. V. Kresta a Ing. V. Velek, dokument, černobílý) popisuje tehdejší úsilí v boji proti extrémnímu znečištění vodních toků fenolovými odpadními vodami. Názorně dokumentuje, jak tyto vody vznikají a jaké jsou dostupné metody jejich čištění. Velmi zajímavý a na svou dobu odvážný film *Mrtvé řeky* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 12 minut, 320 m, režie: Olga Růžičková, kamera: J. Bojanovský, technický poradce: Dr. Ing. Jaroslav Bulíček, propagační dokument, černobílý) poukázal na tehdejší znečištění vodních toků na Teplicku – především řeky Bíliny. Tento dokument zhlédlo v červnu 1962 celkem 1 644 diváků a byl 35krát ve stejném měsíci promítán. Právě na Teplicku se tehdy zcela zjevně prokázalo, jak zhubně působí odpadní vody na čistotu povrchové vody ve vodních tocích. Tento filmový snímek mj. rovněž vyzýval, aby továrny, doly a města čistily odpadní vody a nevypouštěly je do potoků a řek, jež se odpadními vodami znečišťovaly²⁰.

Dále vznikl v roce 1962 film *Voda na Karlovarsku* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 17 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Dr. Ing. Jaroslav Bulíček, barevný), který se zabýval problematikou komplexního vodního hospodářství v Karlovarském kraji v letech 1959–1960. Film pojednává o tehdejší zásobování vodou určenou nejen obyvatelstvu, ale i rostoucímu průmyslu. Poukazoval též na nebezpečí odpadních vod, které továrny i města vypouštěly bez čištění, a tak znehodnocovaly vodní toky. Kraj se v té době snažil vzniklou situaci řešit výstavbou komunálních i průmyslových čistíren odpadních vod. S ohledem na rostoucí spotřebu vody rovněž v té době vyvstala nezbytnost výstavby nových přehradních nádrží. Tento film zhlédlo v červnu 1962 celkem 8 000 diváků a byl 63krát promítán. Filmem pojednávajícím o v té době závažné problematice byly *Fenolové odpadní vody* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 35 minut, 600 m, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. V. Kresta, dokument, barevný, 1962). Uvedené odpadní vody byly v 50. a 60. letech minulého století jedním z nejzávažnějších typů znečištění. Ve filmu jsou popsány hlavní možné zdroje fenolových odpadních vod a metody, jak z nich fenoly získávat a jak následně tyto znečištěné vody čistit. Mimořádně významný a v mezinárodních i domácích soutěžích oceňovaný film *Čištění odpadních vod z výroby kyseliny citronové* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 11 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: RNDr. Jiří Häusler, CSc., 1962) osvětluje v té době zcela novou metodu čištění odpadních vod vysoce zatížených extrémním obsahem organických látek.

Film *Dávkovací čerpadla ve vodárenství* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 8 minut, 210 m, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, odborný poradce: Ing. J. Turek a K. Brunhofer, technický dokument, česká verze, černobílý) názorně předvedl již vyhovující vlastnosti nového dávkovacího čerpadla vyrobeného Závodem na úpravu vody, které mělo regulaci v klidu i za chodu a bylo vyrobeno z antikoročních hmot, takže se mohlo používat na dávkování chemikálií ve vodárenství, v chemickém a potravinářském průmyslu. Za čistě instruktážní lze označit film *Steklého universální spojka* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 23 minut, 600 m, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, odborný poradce: K. Steklý a Ing. B. Dlouhý, instruktážní, česká verze, barevný). Šlo o film pro instalatéry, který seznamoval s novou stavebnicovou spojkou z plastických hmot. Učil je spojovat trubky všech materiálů a profilů a napojovat je na armatury spojkami, s nimiž se snaže pracovalo. Film *Provozdušovač ERBO* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 9 minut, 250 m, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, odborný poradce: Ing. V. Erben, česká a anglická verze, černobílý) pojednává o provzdušňování vody – důležitém technologickém postupu při úpravě podzemních vod obsahujících kyslíčník uhličitý, železo a mangan. Nový systém ERBO umožňoval použití jak horizontální, tak vertikální konstrukce a vyžadoval minimální obestavěný prostor – též pracoval s malým přetlakem vody a se stálou, velmi vysokou účinností odkyselení. Svou funkci mohl podle okolností plnit i bez ventilátoru. Měl přednost v tom, že nebyl citlivý na vysrážené železo a na přetížení. Nepotřeboval obsluhu a mohl se používat v různých průmyslových odvětvích.



V roce 1965 byl natočen film *Mladé jezero* (šíře: 35 mm, doba projekce: 11 minut, 310 m, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, odborný poradce: Ing. M. Novák, CSc., populárně-vědecký, česká a anglická verze – česká se pravděpodobně nedochovala, barevný), který vypráví o tom, co se děje za přehradní hrází v nově napuštěné vodní nádrži. Popisuje, jak akumulovaná voda působí na rozsáhlou zatopenou oblast Lipenské přehradní nádrže a na nově vzniklé břehy, jak se mění chemismus vody i jak během delšího sledovaného období dochází k jejímu biologickému oživení, než se „mladé jezero“ plně organicky začlení do okolní krajiny. Tento snímek byl Karlem Čáslavským rovněž zařazen do *Vltavy v obrazech* (viz výše), a to do jejího pátého dílu (spolu s filmovými týdeníky, které průběžně zachycovaly postup prací na Lipenské přehradě: *Panorama 3* – 1958, *Československý filmový týdeník* – 1953, *Týden ve filmu* – 1960, *Po řece Vltavě* – 1995)²¹.



V roce 1967 vyrobilo filmové oddělení Výzkumného ústavu vodohospodářského nový film *Vodní dílo Orlík*. Tento dokument se skládá z celkem pěti samostatných částí. První část nese název *Projekt*. Věnuje se účelu výstavby Vltavské kaskády, jež měla sloužit jako špičková a havarijní energetická soustava; dokument v této části popisuje všechny přípravné práce a průzkum před začátkem stavby. Druhá část nese název *Hydraulika* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 26 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Dr. Ing. Ladislav Lískovec, černobílý). Je v ní zachycen hydraulický výzkum pro vodní dílo Orlík se všemi alternativními úpravami objektu, které byly pro dílo uvažovány. Film má tyto kapitoly: *Převádění vody stavenišťem, Přepad, Spodní výpusti a vývar, Vývar pod turbínami a uzavírání hráze*. Třetí část byla nazvána *Stavba* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 29 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, techničtí poradci: Ing. J. Keil a Ing. J. Lepka, černobílý), divák se v něm seznámil s tím, jak se Vodní dílo Orlík začalo na podzim roku 1954 stavět. Film poté sleduje celou výstavbu přehrady a uvádí všechna její důležitá stavební data. Tato část byla plně odvysílána Českou televizí v rámci dokumentárního cyklu *Hledání ztraceného času* (460 dílů) – v samostatné, tzv. tematické minisérii nazvané *Vltava v obrazech*, a to jako 30. díl pod názvem *Vodní dílo Orlík*. Čtvrtá část nese název *Beton* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 10 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Dr. Ing. M. Jirsák, DrSc., černobílý). Pro popisované vodní dílo byl základním stavebním materiálem především beton. Ve filmu je zachycena doprava kamenná, skládky kamenná, cementu a popílku, zařízení skládek, automatické navazování materiálu do míchaček, zkoušky betonu a jeho složení a doprava vyrobeného betonu na stavbu přehrady kabelovými jeřáby. V poslední části, *Turbíny* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 30 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. Z. Urban, černobílý), je podrobně zdokumentováno, jak byly vyrobeny Kaplanovy turbíny pro spád sedmdesát a půl

metru, což byl v té době světový unikát. V této samostatné části celého pěti-dílného dokumentárního a reportážního filmu je následně zachycena doprava spirál na stavbu, jejich vsazování, usazování všech součástí turbíny a generátoru, garanční zkoušky a spouštění turbíny do provozu. Ve filmu jsou uvedeny všechny důležité technické údaje o turbíně a elektrárně.

Film *Umělá infiltrace* (1968) názorným způsobem popisuje hydraulický výpočet umělé infiltrace z otevřených vsakovacích nádrží. Zachycuje obecně platnou metodu, které bylo použito při návrhu umělé infiltrace pro zásobování hlavního města Prahy vodou. Film *Fluoridace pitné vody* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 11 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, 1969) dokumentuje tehdejší lékařský výzkum a výsledky, jichž dosáhl při fluoridaci vody u dvou kontrolovaných měst (Tábor a Plzeň). Šlo o přidávání fluoru do pitné vody a výzkum jeho chování v lidském i zvířecím těle a kladných účincích proti zubnímu kazu. Tomuto filmu byla udělena putovní cena Ministerstva lesního a vodního hospodářství za výrazný příspěvek k popularizaci a řešení důležitého problému v oboru stomatology. Film *Řasy – technologie výroby* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 13 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, techničtí poradci: Ing. F. Ditttr a Dr. B. Prokeš) ukazuje postup výroby řas na velké výrobní ploše československého kultivátoru. Podrobně se zde ukazují jednotlivá zařízení, způsob kultivace a sušení biomasy. Film *Řasy v Bulharsku* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 11 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. F. Ditttr, 1968) pojednává o pokusech s pěstováním řas na československém kultivačním zařízení a v podmínkách jižní Evropy. Pod titulem *Dvouproudé, dvouvrstvé filtry – DDF* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 15 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. J. Krejčík, CSc.) se Olga Růžičková věnovala principu, funkci a zkouškám zrnitého filtračního lože protékajícího znečištěnou vodou shora i zdola, s odběrem filtrátu z nítra lože. Ve filmu je zároveň předvedeno použití tohoto filtru, určeného k průmyslové aplikaci, na úpravu chladicí vody. Film *Provozdušňování údolních nádrží* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 16 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Dr. L. Fiala, CSc.) se zabývá nepříznivým vlivem řady přírodních faktorů na vodu v údolních nádržích. Provozdušňování se v té době zvažovalo jako možná a slibná metoda pro zlepšení její jakosti; v dokumentu jsou shrnuty praktické výsledky a závěry založené na pokusech a jejich zhodnocení. Tento snímek rovněž získal mimořádné ocenění na přehlídce technických, vědeckých a naučných filmů TECHFILM (viz níže).



Dokumentárně cenným (i s ohledem na tehdejší nelehkou politickou situaci) byl film *Dopis z Prahy* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 16 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. Augustin Nejedlý, CSc., 1969). Je to filmová reportáž o průběhu IV. mezinárodní konference o výzkumu



znečištění vod, která se uskutečnila v Praze v dubnu 1969. Tato konference se měla původně konat v září 1968 (ze závažných politických důvodů – 21. srpen 1968 – ale musela být přeložena až na začátek roku 1969). Instruktažní film *Odpadní vody z výroby dřevovláknitých desek* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 15 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. Augustin Nejedlý, CSc., 1969) pojednává o vzniku odpadních vod a způsobu jejich čištění při výrobě dřevovláknitých desek ve v té době poměrně moderně vyprojektované čistírně odpadních vod národního podniku Solo Sušice. Snímek rovněž zaznamenává různé tehdejší pokusné způsoby zpracování a použití kalu z této čistírny. Film *Odpadní vody z jatek a masného průmyslu* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 30 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. A. Rubín) popisuje postup výroby na jatkách a v masném průmyslu v 60. letech minulého století. Všímá si vzniku

odpadních vod i možností, jak jejich množství redukovat. Jsou zachyceny různé tehdejší čistírny odpadních vod z masného průmyslu (mechanické i biologické části) a hodnoceny dosavadní obvyklé způsoby jejich čištění. Tento dokument získal při VI. přehlídce TECHFILM 68 hlavní cenu v kategorii filmů naučných a instrukčních (viz níže). Dokument *Vodné dielo Nosice* (šíře: 35 mm a 16 mm, doba projekce: 18 minut, režie: Olga Růžičková, kamera: Jaromír Vondrák, technický poradce: Ing. J. Procházka) je věnován průběhu výstavby jednotlivých objektů Nosické přehrady a jejich zařízení. Nosická přehrada se následně stala velmi významnou součástí Vážské kaskády.

Ve dnech 14.–19. října 1968 se konala v Pardubicích VI. přehlídka technických, vědeckých a naučných filmů TECHFILM 68. Co do počtu přihlášených filmů od našich výrobců i ze zahraničí to byla dosud největší, do soutěže bylo přijato 124 filmů, z toho 51 ze zahraniční produkce. Porota se rozhodla udělit šest hlavních cen a šest čestných uznání. Odborné filmy z produkce filmového studia Výzkumného ústavu vodohospodářského tu dosáhly mimořádného úspěchu, získaly dvě hlavní ceny a jedno čestné uznání. Hlavní cenu v kategorii filmů naučných a instrukčních obdržel snímek *Odpadní vody z jatek a masného průmyslu*, hlavní cenu v kategorii filmů dokumentárních a reportážních získal film *Vodní dílo Orlík – turbíny* a čestné uznání v kategorii filmů vědeckých a výzkumných získal odborný filmový dokument *Umělá infiltrace*. Režisérkou všech tří oceněných filmů byla Olga Růžičková. Na přehlídce technických, vědeckých a naučných filmů TECHFILM 71 bylo o problematice vodního hospodářství promítáno 10 filmů z ČSSR, Maďarska, Bulharska a USA. Porota udělila cenu MLVH ČSR filmu *Provzdušňování údolních nádrží* a cenu MLVH SSR maďarskému filmu *Čištění odpadních vod v hutnictví*. Porota dále udělila filmu *Voda, jak ji neznáme – 3. díl*, který byl vyroben ve Výzkumném ústavu vodohospodářském pro Československou televizi, čestné uznání v kategorii B (filmy instrukční, naučné a školní).

V roce 1970 Olga Růžičková svůj pracovní poměr v našem ústavu ukončila, v letech 1970–1988 se stala velmi úspěšnou režisérkou Krátkého filmu Praha. S ústavem i nadále spolupracovala – např. na filmu *Ledové procesy v tocích na počátku mrazivého období* (16 mm, 247 m, 23 minut, barevný, 1984). Za svůj život natočila celkem 122 dokumentárních a populárně-vědeckých filmů zabývajících se vodním hospodářstvím a životním prostředím. Též ji lze označit za první režisérku českých filmů o ekologii – měla rovněž velkou zásluhu na každoročním pořádání festivalu EKOFILM²². Obdržela celkem 39 cen z filmových festivalů doma i v zahraničí²³.

Poznámky

1. Dle telefonického sdělení významného historika PhDr. Mgr. Radovana Lovčího (narozen 11. 4. 1977 v Plzni, žil v Praze, Plzni a Plasích, kde má trvalé bydliště, a je absolventem Gymnázia Plasy a studia historie na Filozofické fakultě Univerzity Karlovy) jeho prateta režisérka Olga Růžičková ke konci svého života pobývala v domově důchodců v Praze-Spořilově.
2. Jejím bratrem byl donedávna žijící (zemřel v únoru 2019) Štěpán Sixta, autor románu *Zlatý dolar*, který vyšel v roce 2018 (<http://literarky.cz/blogy/ivo-fencel/27224-jenom-zasti-snovy-roman-tpana-sixty>). Štěpán Sixta se narodil 18. 8. 1925 ve Velimí, obecnou školu navštěvoval tamtéž, gymnázium v Kolíně a Ostravě. Poté absolvoval Vysokou školu zemědělskou v Praze a ve Freiburgu (Německo). Většinu profesní dráhy pracoval ve Výzkumném ústavu rostlinné genetiky v Praze. Je též autorem publikace *O rostlinné genetice a vlivy prostředí* (<https://prostor-ad.cz/pruvodce/praha/sporilov/vedci/sixta.htm>). Autor žil se svou sestrou Olgou Růžičkovou v Praze-Spořilově.

-
3. V důvěrném hovoru se zpěvákem Jářou Součkem se režisérka Olga Růžičková svěřila, že jejím snem bylo natočit film o Masarykově návštěvě Velimi. To by si však vyžádalo zapojení řady lidí, časově náročné by to bylo i pro režiséru. Znamenalo by to sesbírat dobové fotografie, zvláště z okruhu rodiny Sixtových, Sokola i církve, staré pohlednice Velimi, dopisy aktérů, projít zápisy kronik a soudobých novin – zvláště těch, které vydával Sixtův předek –, ptát se pamětníků a uspořádat informace již dříve shromážděné. K tomu se Olga Růžičková již bohužel nedostala (*Velimské noviny*, 145, únor 2006 /<http://www.velim.cz/>).
-
4. Jiroušek, J., *40 let Výzkumného ústavu vodohospodářského*, 1960, s. 14.
-
5. *Padesát let Výzkumného ústavu vodohospodářského Praha*, 1970, s. 42.
-
6. Váša, J., *Výzkumný ústav vodohospodářský v Praze po padesáti letech činnosti*, 1973, s. 90. Režisérkou všech osmi dílů byla v roce 1971 – již jako zaměstnankyně Krátkého filmu Praha – rovněž výše zmíněná prom. rež. Olga Růžičková.
-
7. Dne 23. června 1901 pronesl Tomáš Garrigue Masaryk (1850–1937), PhDr., univerzitní profesor, první prezident Československa, v hostinci č. 15 ve Velimi projev na téma *Naše politická situace*. Navštívil superintendenta Szalatnaye na evangelické faře, poobědval a přespal u Bedřicha Sixty v č. 55, kterému napsal i dva dopisy, a to 6. července a 1. srpna 1901. Odpolední kávou byl pohoštěn v rodině Jindřicha Sixty v č. 58. Jeho jméno nese velimská škola (<http://www.velim.cz/informace-o-obci/historie/osobnostiktere-navstivily-velim/>).
-
8. *Velimské noviny*, 145, únor 2006. Dostupné z: <http://www.velim.cz>
-
9. V tom byla podporována i svým manželem Jiřím Růžičkou (sdělení historika PhDr. Mgr. Radovana Lovčího – viz též výše). Jejím profesorem byl mj. Otakar Vávra (1911–2011), jejími spolužáky pak Zdeněk Podskalský (1923–1993) a Věra Chytilová (1929–2014).
-
10. Dostupné z: <https://www.csfd.cz/film/137637-kronika-slapske-prehrady/komentare/>
-
11. https://cs.wikipedia.org/wiki/Vltava_v_obrazech uvádí rok 1956, <https://www.csfd.cz/film/137637-kronika-slapske-prehrady/komentare/> pak naopak rok 1954.
-
12. Zřejmě z dokumentu nazvaného rovněž *Kronika slapské přehrady* s kratší dobou projekce (pouze 23 minut), který byl vyroben již v roce 1954. Dostupné z: <https://www.csfd.cz/film/137637-kronika-slapske-prehrady/komentare/> a také <https://www.youtube.com/watch?v=JFAimBJyebI>
-
13. Soubor filmových dokumentů má celkem 86 dílů (26 hodin vysílacího času) a systematicky postupuje od pramene řeky až k jejímu soutoku s Labem v Mělníku.
-
14. Karel Čáslavský se narodil 28. ledna 1937 v Lipnici nad Sázavou a zemřel 2. ledna 2013 v Praze – byl nejen významným českým filmovým archivářem, historikem, publicistou a moderátorem, ale i odborně specializovaným pracovníkem Národního filmového archivu. Převážně se věnoval problematice zpravodajského filmu do roku 1945.
-
15. Dostupný z: <https://www.youtube.com/watch?v=fed7YTEFvIU&t=10s>
-
16. Dostupný z: <https://www.youtube.com/watch?v=RNmUbkIm7QQ&t=620s>
-
17. Skokanová, H., Měsíc ve filmu. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 1962, č. 4, s. 76. Filmy, *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 1960, č. 3, s. 50. *Seznam filmů vodohospodářského studia*, 1968.
-
18. Pravděpodobně byl vyroben v roce 1961.
-
19. Film informuje o činnosti ústavu v období 1961–1962. Dostupný z: <https://www.youtube.com/watch?v=3DZN0GECIRI&t=558s>
-
20. Dostupné z: <https://www.csfd.cz/film/234674-mrtve-reky/komentare/>
-
21. Film (pouze anglická verze) je veřejně dostupný z: <https://www.youtube.com/watch?v=7vVYFMS8Yso>
-
22. EKOFILM je nejstarší mezinárodní filmový festival s tematikou životního prostředí v Evropě. Jeho kořeny spadají až do roku 1974, kdy vznikl odtržením od festivalu TECHFILM. Od roku 1991 je jeho hlavním pořadatelem Ministerstvo životního prostředí. Velkou zásluhu na jeho pořádání měla též režisérka Olga Růžičková.
-
23. *Kdo je kdo: osobnosti české současnosti*. Praha: 2002, s. 562. Další podrobnosti o Olze Růžičkové v publikaci KULT, A. a kol., *Sto let činnosti Výzkumného ústavu vodohospodářského od jeho založení v roce 1919: historie v datech*, Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2020, s. 405. ISBN 978-80-87402-74-0.

Autor

Arnošt Kult

VTEI/2021/2

Od roku 1959

**VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE
WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION**

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství. Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

Ročník 63



VTEI.cz

Vydává: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka,
veřejná výzkumná instituce, Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6

Redakční rada:

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.,
Mgr. Róbert Chriateľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D., Ing. Jiří Kučera, Ing. Milan Moravec, Ph.D.,
Ing. Jana Poórová, Ph.D., Mgr. Hana Sezimová, Ph.D., Dr. Ing. Antonín Tůma,
Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

Vědecká rada:

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.,
prof. Ing. Radka Kodešová, CSc., RNDr. Petr Kubala, Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.,
Ing. Michael Trnka, CSc., Dr. rer. nat. Slavomír Vosika

Šéfredaktor:

Ing. Josef Nistler
T: +420 220 197 384
E: josef.nistler@vuv.cz

Kontakt na redakci:

E: info@vtei.cz

Autoři fotografií tohoto čísla:

Archiv VÚV, foto na obálce: Shutterstock.com

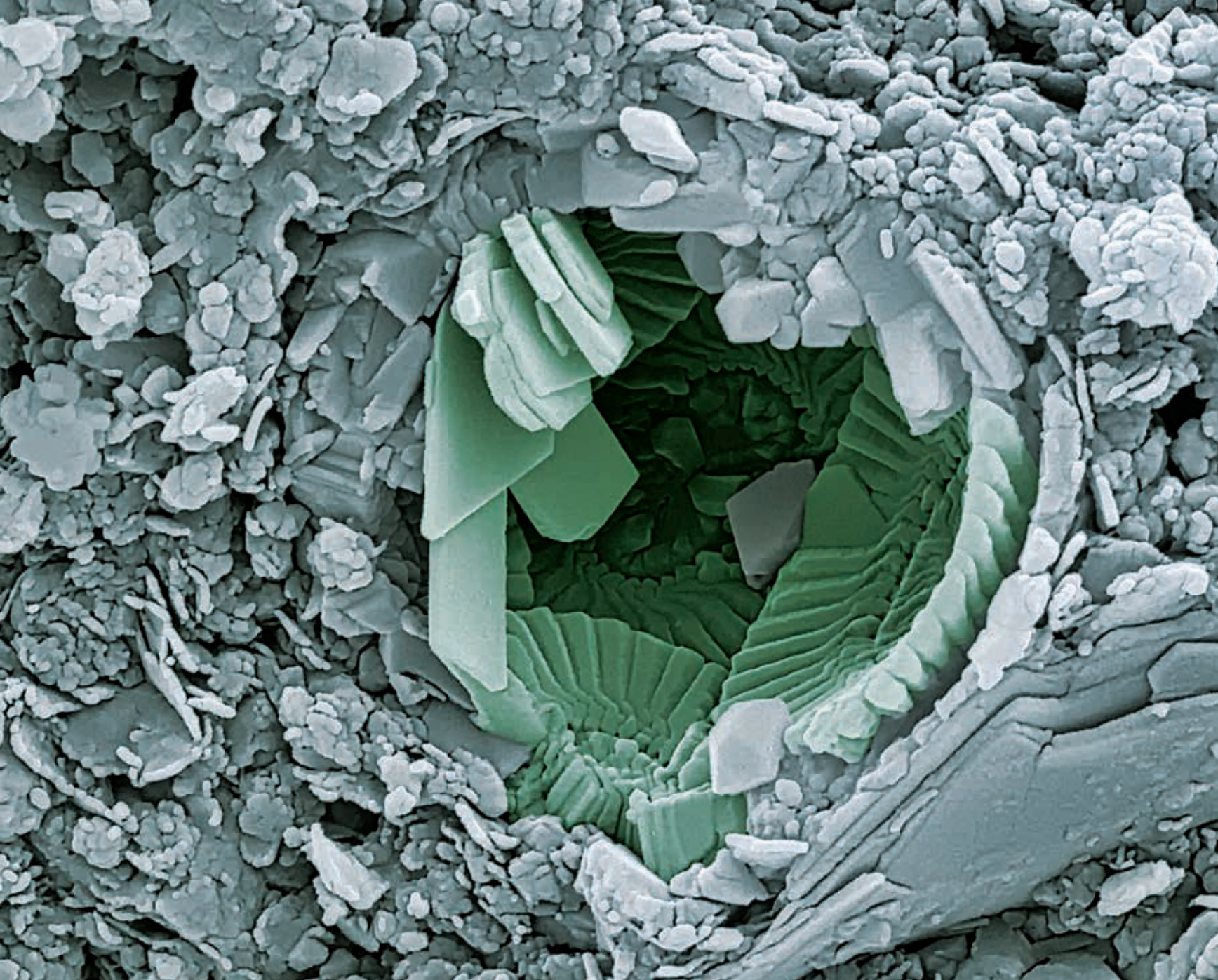
Grafická úprava, sazba, tisk:

ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 1500 ks

Příští číslo časopisu vyjde v červnu.
Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na www.vtei.cz.

**ISSN 0322-8916
ISSN 1805-6555 (on-line)
MK ČR E 6365**



VYTRVALÁ MODELKA

Kokolitky, drobné oceánské řasy, hrají velmi podstatnou roli ve světové rovnováze několika životně důležitých prvků. Ta na snímku zemřela patrně ve svrchní křídě, tedy v éře dinosaurů. Seditovala a stala se součástí tzv. opuky, kterou můžete najít na konečné tramvaji pražské linky 22. Zde setrvala až do roku 1364, kdy zemřel Arnošt z Pardubic, první arcibiskup pražský. Na jeho hrob (tumbu) byla potřeba právě ona bělohorská opuka, a tak se patrně nejen naše kokolitka stala jeho součástí. Ležela v hrobě mnoho dalších století, až do roku 2009, kdy vznikl tento snímek. *Text a fotografii dodal Petr Jan Juračka, www.petr.juracka.eu.*

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T.G. MASARYKA

veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz