

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VYUŽITÍ GEOGRAFICKÝCH
INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ A ÚZEMNĚ
PLÁNOVACÍ DOKUMENTACE PŘI
MODELOVÁNÍ POVODŇOVÉHO RIZIKA

Lenka Pavlíčková, Pavel Novák, Radek Roub, Tomáš Hejduk

Klíčová slova

územně plánovací dokumentace – GIS – mapa povodňové ohroženosti – mapa povodňového rizika – MIKE 21

Souhrn

Povinnost analyzovat a mapovat povodňová rizika ukládá členským státům směrnice Evropského parlamentu 2007/60/ES (povodňová směrnice). Směrnice obsahuje harmonogram s pevně stanovenými termíny pro zvládání povodňových událostí. Zvládáním povodňových událostí se z hlediska směrnice rozumí analyzovat pravděpodobnost výskytu povodně a možné nepříznivé účinky na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, které souvisejí s povodní prostřednictvím map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Určujícím podkladem pro tvorbu map povodňového nebezpečí a povodňových rizik je územně plánovací dokumentace. Příspěvek seznamuje se zpracováním map povodňové ohroženosti a povodňových rizik na podkladě informací z územně plánovací dokumentace. Vyhотовené mapy ohroženosti a rizika byly v rámci zpracování koncipovány tak, aby byly použitelné nejen z hlediska samotné ochrany před povodněmi, ve fázi přípravné neboli preventivní protipovodňové ochrany, kdy slouží k předvídání rozsahu povodňových situací, eliminují jejich potenciál a pomáhají je organizačně zvládat, ale rovněž byly zpracovány tak, aby mohly být využitelné při samotném rozhodování o funkčním využití území z hlediska vymezení nových zastavitelných ploch, a to jak z hlediska různých potenciálních povodňových scénářů, tak i různých variant funkčního využití.

1 Úvod

Přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a způsobuje škody na majetku, je definováno pojmem povodeň.

Zvládání povodňových rizik se soustředí na zmírnění možných nepříznivých účinků povodní na lidské zdraví, životní prostředí, kulturní dědictví a hospodářskou činnost, a to především prostřednictvím snížení pravděpodobnosti samotného zaplavení. Vhodný nástroj pro zmírnění možných nepříznivých účinků povodní představuje územně plánovací dokumentace.

Republikové priority územního plánování pro zajištění udržitelného rozvoje území vymezuje Politika územního rozvoje České republiky. Z hlediska povodňové problematiky jde o vytváření podmínek pro preventivní ochranu území a obyvatelstva před potenciálními riziky a přírodními katastrofami v území (záplavy, sesuvy půdy, eroze atd.) s cílem minimalizovat rozsah případných škod. Především se jedná o samotné vymezení vhodných ploch potřebných pro umístování staveb z hlediska minimalizace povodňového ohrožení a stanovení územní ochrany ploch určených k řízeným rozlívům povodní. Vytvářet podmínky pro zvýšení přirozené retence srážkových vod v území s ohledem na strukturu osídlení a kulturní krajinu jako alternativy k umělé akumulaci vod (Brouwer and Van Ek, 2004; Werrity, 2005).

V minulosti vznikala velká část sídel v údolních nivách podél vodních toků, ovšem byla zde respektována území, která byla z důvodu povodňového nebezpečí klasifikována jako prostor nevhodný pro osídlení (Štenclová a Vepřek, 2002). Vlivem rozvoje urbanizačních procesů v 19. století však roste tlak na

zastavení i těchto území. Tento tlak na zástavbu území i v bezprostředním okolí vodního toku byl zpomalen v důsledku zkušeností z posledních let – povodně 1997 na Moravě, povodně 2002 a 2006 v Čechách, přívalové povodně na Novojičínsku a Jesenícku 2009 či přívalové povodně v severních Čechách 2010. Přesto za poslední desítky let došlo k takovému nárůstu zastavěných ploch v těsné blízkosti břehové hrany vodního toku a v prostoru inundace, že se také rapidně zvýšil počet obcí s reálným rizikem povodní, ačkoliv tato města a obce nebyla v minulosti povodněmi ohrožována.

Proto se nyní přistupuje k realizaci takových opatření, která mají chránit před negativními účinky povodní (Dráb a Říha, 2008). Mezi taková opatření spadají i přístupy vedoucí k samotnému předcházení nebo snížení nežádoucích důsledků povodně prováděné především systematickou prevencí, zvyšováním retenční schopnosti povodí a ovlivňováním průběhu povodní. Důsledkem povodňového nebezpečí jsou povodňové rozlivy i další dynamické změny podmínek v inundačních územích, které jsou výrazem stochastického charakteru tohoto extrémního hydrologického jevu.

Způsob navrhování protipovodňových opatření (PPO) dosud vycházel z velmi zjednodušeného přístupu tzv. návrhové povodně, jejíž pravděpodobnost překročení je dána normativem v závislosti na charakteru chráněného území. Vychází se např. z TNV 75 2103 (Úpravy řek) a TNV 75 2102 (Úpravy potoků). Podle těchto dokumentů je doporučena návrhová míra ochrany území před povodněmi dobou opakování návrhového průtoku úpravy. Uvedený postup tak diferencuje různou míru rizika v různých typech zájmového území velmi schematizovaně (Fošumpaur, 2005).

Protipovodňová opatření doposud probíhala především formou technických opatření, bez ohledu na současné zlepšení hydromorfologického stavu vod podle požadavků Rámcové směrnice o vodách a bez ohledu na přirozenou transformaci povodňových průtoků v nivách vodních toků (Šindlar, 2007). Tento tradiční inženýrský přístup k řešení problematiky je v posledních letech podrobován kritické analýze a řadou autorů zpochybňován (např. Plate, 2002; Brown and Damery, 2002), a do popředí se tak dostávají přírodně blízká opatření řešící komplexně celé povodí.

Zvyšování retence vody v krajině je možné prostřednictvím správně navržených protierozních a protipovodňových opatření (Prudký, 2003). Tato opatření se v praxi nejčastěji navrhuje jako společné opatření komplexních pozemkových úprav (Podrázský a Remeš, 2005). Správně navržená a dimenzovaná protierozní opatření mají multifunkční účinek. Nejen omezují smyv půdy, ale zpomalují povrchový odtok a zvyšují retenci vody v krajině (Podrázský a Remeš, 2005).

Efektivní formu zadržování vody v krajině představují mokřadní biotopy, prameniště, rašelinisté, tůně, litorály rybníků, říční nivy, podmačené smrčiny, louky, meze, zasakovací pásy apod., přičemž Gallayová a Gallay (2006) uvádějí, že např. zapojený travní porost má průměrně o 10 % vyšší pórovitost než orná půda a má lepší půdní strukturu, což umožňuje plynulý vsak srážek. Svým působením se podílejí na tlumení průtokových extrémů a transformaci povodňové vlny.

Společné studie urbanistů a vodoehospodářů prováděné v poslední době jednoznačně prokazují skutečnost, že kromě vlivů hydrologických, klimatických nebo ekologických může povodňové ohrožení významně ovlivnit zejména právě způsob urbanizace.

Významný transformační účinek retenční schopnosti krajiny na průchod povodňových vln urbanizovaným prostředím tak nejenže eliminuje rozsah samotné povodně, ale zároveň definuje v krajině území nevhodná pro další výstavbu. Jako vhodný nástroj pro posouzení přijatelnosti vymezení dalších zastavitelných ploch v území tak mohou být využity modifikované mapy povodňové ohroženosti a povodňových rizik.

Mapy povodňového nebezpečí a mapy povodňových rizik znázorňují možné nepříznivé následky související s různými povodňovými scénáři. Představují účinný nástroj, který bude k dispozici pro zajištění informovanosti, jakož i pro stanovení priorit a přijímání dalších technických, finančních a politických rozhodnutí týkajících se zvládání povodňových rizik (Směrnice, 2007).

Podle směrnice by měly mapy povodňového nebezpečí zahrnout zeměpisné oblasti, které by mohly být zaplaveny podle těchto scénářů:

- povodně s nízkou pravděpodobností výskytu nebo extrémní povodňové scénáře,
 - povodně se středně vysokou pravděpodobností výskytu (pravděpodobná doba opakování ≥ 100 let),
 - popřípadě povodně s vysokou pravděpodobností výskytu.
- Mapy povodňového nebezpečí v České republice (ČR) budou v souladu se směrnici zpracovávány pro povodňové scénáře Q_{500r} , Q_{100r} a Q_{20r} , přičemž u každého scénáře se uvedou tyto prvky:

- rozsah povodně,
- hloubka vody nebo popř. výška vodní hladiny,
- popřípadě rychlost proudu nebo odpovídající průtok vody.

Mapy povodňového nebezpečí jsou podkladem pro zpracování map povodňových rizik, na nichž se vyznačí potenciální nepříznivé následky spojené s povodněmi podle scénářů a vyjádřené podle:

- orientačního počtu potenciálně zasažených obyvatel,
- druhu hospodářské činnosti potenciálně postižené oblasti,
- zařízení, která mohou v případě zaplavení způsobit havarijní znečištění, a potenciálně zasažených chráněných oblastí,
- dalších informací, které členský stát považuje za užitečné.

2 Materiál – vstupní data pro vyjádření povodňového nebezpečí

2.1 Data pro tvorbu geometrie vodního toku

Data pro tvorbu výpočetní geometrie jsou z hlediska kvality získaných výsledků z hydrodynamických modelů jedním z nejdůležitějších podkladů. Použitý způsob získání výškopisných dat je určující i pro samotnou volbu hydrodynamického modelu.

Modely, kterým pro výpočet postačí příčné profily koryta a přilehlé inundace a jsou tudíž z hlediska požadavků na výškopisné vyjádření vodního toku a jeho okolí méně náročné, jsou jednorozměrné (1D) modely. V případě dvourozměrných (2D) modelů se pro výpočet již vyžaduje detailní digitální model reliéfu (DMR), který přesně vystihuje morfologii sledovaného území. Na základě požadavků vstupních dat 1D a 2D modelů se odvíjí i finanční náročnost na pořízení těchto dat, a tím i na zpracování navazujících rizikových analýz.

Pro zpracování hydraulických výpočtů pomocí numerických modelů jsou používány tři základní způsoby pořízení těchto dat, mezi která patří geodetické zaměření příčných profilů (koryto + inundace), letecké laserové skenování (LLS) a fotogrammetrie. Z hlediska tvorby finální výpočetní geometrie, která vstupuje do modelu, je nutné vstupní data pořízená z LLS a fotogrammetrie vhodně kombinovat s daty z geodetického zaměření.

Pro tvorbu modelu bylo využito dat z leteckého laserového skenování v kombinaci s geodetickým zaměřením příčných profilů koryta, čímž bylo docíleno adekvátního DMR, který je nutný pro vstup do 2D modelu. Výsledky, které jsou výpočtem ze 2D modelu získány, slouží následně jako vstupní data v podobě rastru hloubek a rastru rychlostí pro kvantifikaci povodňového nebezpečí a intenzity povodně, které jsou opět vstupními daty do navazujících rizikových analýz. V případě použití 1D modelu by nebyla s požadovanou přesností získána odpovídající vstupní data pro další analýzy.

2.1.1 Data LLS

Letecké laserové skenování představuje relativně mladou technologii umožňující sběr digitálního modelu reliéfu a modelu terénu, přesto nachází své uplatnění v mnoha praktických disciplínách. V oboru urbanismu jsou získaná data využívána při tvorbě trojrozměrných (3D) modelů měst v oblasti technické infrastruktury, a to především pro modely elektrických soustav a generování jejich ochranných pásem, modely dálnic, letišť a železnic. Z hlediska uplatnění v hydrodynamických modelech lze data využít při stanovení záplavových území, vyhotovení rastrů hloubek a při použití 2D modelů i pro zpracování rastru rychlostí, které jsou nutné jako vstupní podklad pro analýzu a mapování povodňových rizik.

Metoda LLS umožňuje obecně získávání velkého objemu dat v krátkém časovém intervalu (Dolanský, 2004). Ve spojení s poměrně vysokým stupněm automatizace jejich zpracování při vytváření digitálního modelu terénu a povrchu představuje jednu z nejefektivnějších metod pro získávání prostorových dat (Brázdil, 2009).

Pro analýzu byla využita data z probíhajícího výškopisného mapování ČR, které se uskutečňuje pod záštitou tří státních subjektů, kterými jsou Český úřad zeměměřický a katastrální, Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo obrany. Samotná metoda LLS je založena na principu odrazu laserových paprsků, které interpretují obraz měřených objektů jako mračno bodů (Brázdil, 2009). Přínosem této metody je rychlost měření, dosahovaná přesnost a množství měřených dat a informací. Nový výškopis ČR dosahuje hustoty bodů větší než 1 bod/m² a úplné střední chyby výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,30 m v zalesněném terénu (Brázdil, 2009; Dušánek, 2010), což poskytuje velmi kvalitní podklad pro uplatnění v hydrodynamických modelech.

2.1.2 Data z geodetického zaměření

Pro zpřesnění DMR z dat LLS bylo využito geodeticky zaměřených příčných profilů koryt vodních toků v řešeném území. Data ze zaměření příčných profilů koryt vodních toků byla poskytnuta státním podnikem Povodí Labe. Interval

vzdáleností zaměřených profilů koryt se pohyboval v rozmezí 80–250 m, což pro další operace poskytovalo adekvátní podklad, přičemž interval 80 m byl použit v intravilánech dotčených obcí a vyšší interval meziprofilových vzdáleností byl použit do míst mimo intravilán.

2.2 Hydrologická data

Pro zpracování map povodňové ohroženosti a map povodňových rizik byla hydrologická data získána z listů hlásných profilů Českého hydrometeorologického ústavu. Pro posouzení ohroženosti a rizik v území při povodňových událostech bylo použito stanovených N-letých průtoků vody pro tři povodňové epizody Q_{20r} , Q_{50} a Q_{100r} . Z hlediska komplexního posouzení byly ještě základní scénáře doplněny o epizody, které odpovídaly vyšší N-letosti simulovaných průtoků. Data pro sestavení modelů byla získána ze čtyř stanic s hydrologickým sledováním, nacházejících se přímo na vodních tocích (tabulka 1).

Na analýzu mapující povodňovou ohroženost a rizika v potenciálně nově zastavitelných plochách bylo využito modelových scénářů s konkrétními průtoky. Dané průtoky byly voleny tak, aby představovaly hraniční průtok pro jednotlivé třídy povodňové ohroženosti (povodňového rizika) pro variantně volené funkční využití území.

Tabulka 1. Základní scénáře simulace
Table 1. Základní scénáře simulace

Stanice	Vodní tok	Q_{20r}	Q_{50}	Q_{100r}
		[m ³ /s]		
Černná nad Orlicí	Tichá Orlice	163	206	242
Týniště nad Orlicí	Orlice	–	447	516
Kostelec nad Orlicí	Divoká Orlice	177	233	282
Hradec Králové	Orlice	382	471	542

2.3 Územně plánovací dokumentace

Územně plánovací dokumentace (ÚPD) je souborem předepsaných textových a zejména grafických dokumentů, které regulují a navrhují výstavbu ve vymezeném území. Územně plánovací dokumentace má závaznou a směrnou část. Závazná část ÚPD má podobu právní normy a každá jednotlivá územně plánovací dokumentace má tuto právní normu vypracovanou a schválenou samostatně.

Materiály ÚPD představují jeden ze základních nástrojů územního plánování, který je možné členit do několika oddílů (zásady územního rozvoje, územní plán, regulační plán), z nichž je pro analýzu a mapování povodňových rizik nejdůležitější územní plán. Bližší specifikace je uvedena v prováděcích vyhláškách ke stavebnímu zákonu, především ve vyhlášce č. 500/2006 Sb. a vyhlášce č. 501/2006 Sb.

Z hlediska komplexního vyjádření bude mít pozitivní dopad na tvorbu map povodňového ohrožení a povodňových rizik Minimální standard pro digitální zpracování územních plánů v GIS (geografické informační systémy) v prostředí nového stavebního zákona. Sjednocením digitální podoby jevů představujících „urbanistickou přidanou hodnotu“ územního plánu (tj. ploch s rozdílným způsobem využití, zastavitelných ploch a ploch přestavby, územních rezerv, zastavěného území, veřejně prospěšných staveb a opatření, asanačních úprav, územních systémů ekologické stability – ÚSES) se získají standardně zpracované vrstvy těchto jevů v GIS pro potřeby dalšího využití (např. pro spojení dat z různých obcí do souvislého prostoru, geografické analýzy, soustisky s jevy z jiných oborů, využití v územně analytických podkladech – ÚAP aj.). Pro činnost orgánů územního plánování je nutné získat od projektantů územních plánů standardně zpracovaná digitální data potřebná k zajištění jednotné digitální prezentace závazné podoby grafické části územních plánů obcí (Poláčková aj., 2007).

V současné době je možné získat grafickou část územních plánů (regulačních plánů, územních studií) ve třech možných podobách:

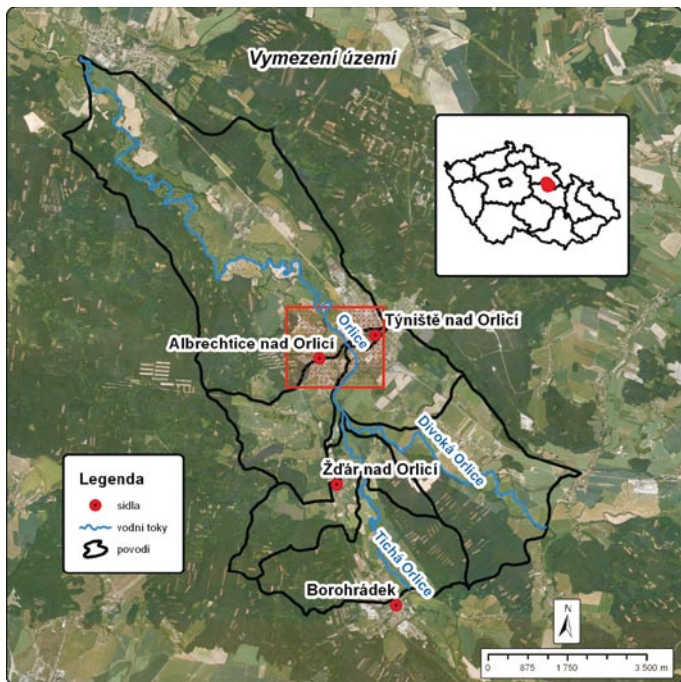
- vektorová data – představují nejvhodnější podobu pro zpracování využití území,
- rastrová data – naskenovaný hlavní výkres, u kterého je třeba zajistit georeferencování (pokud již není provedeno) a následně pak obsah hlavního výkresu digitalizací převést na vektorovou reprezentaci,
- papírová příloha ÚPD – zde je nutné papírovou přílohu ÚPD naskenovat, georeferencovat a vektorizovat.

Aktuální znění § 188 stavebního zákona uvádí, že lze ÚPD sídelního útvaru nebo zóny, územní plán obce či regulační plán, schválené před 1. lednem 2007, do 31. prosince 2015 podle tohoto zákona upravit, v rozsahu provedené úpravy projednat a vydat, jinak pozbývají platnosti. S ohledem na danou skutečnost je tak do budoucna možné počítat, že ÚPD bude zpracovávána v nejpříjemnější podobě pro tvorbu map povodňových rizik, tj. ve vektoru.

3 Materiál – software pro stanovení povodňové ohroženosti, popis zájmového území

3.1 MIKE 21

Použitý software představuje komplexní dvourozměrný matematický model pro simulace proudění vody s volnou hladinou a souvisejících jevů, jako je



Obr. 1. Vymezení území
Fig. 1. Vymezení území

pohyb splavenin, kvalita vody, eutrofizace, šíření znečištění, cyklus těžkých kovů, včetně např. účinků větru a vlnění.

3.2 ArcGIS

ArcGIS je integrovaný, škálovatelný a otevřený GIS, jehož výkonné nástroje pro editaci, analýzu a modelování spolu s bohatými možnostmi datových modelů a správy dat z něj činí nekomplexnější GIS software na současném světovém trhu (Čejp a Duchan, 2008).

Pro posouzení relevantnosti uváděných úvah bylo rovněž využito především dvou specifických nadstaveb *Spatial analyst* a *3D Analyst*. Jedná se o nadstavby, které nabízejí širokou škálu nástrojů pro prostorové modelování a analýzu. Umožňují provádět kombinované analýzy vektor–rastr, respektive nabízejí pokročilé GIS nástroje pro trojrozměrné modelování, viditelnost a modelování terénu (Rapant, 2002).

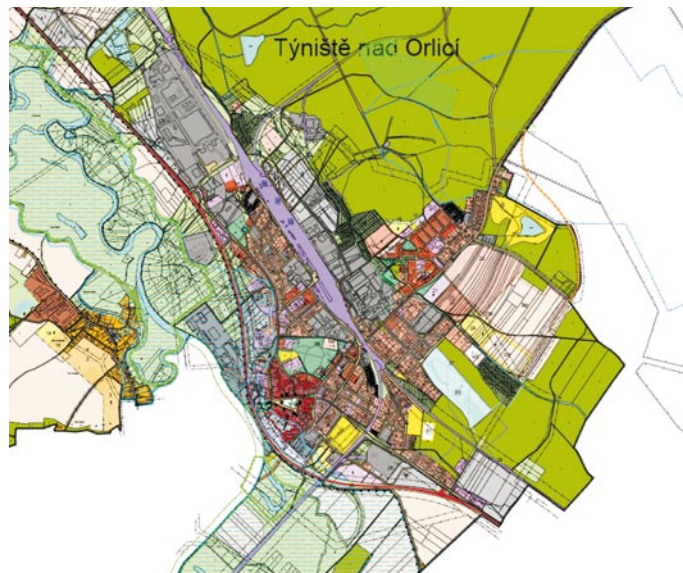
3.3 Popis zájmové oblasti

Pro posouzení vhodnosti územně plánovací dokumentace jako podkladu pro analýzu a mapování povodňových rizik a zároveň pro posouzení relevantnosti úvahy o vymezení nových zastavitelných ploch na podkladě map povodňové ohroženosti a povodňových rizik byla vybrána oblast, kde již byla zpracována data z LLS pro tvorbu 2D hydrodynamického modelu, a zároveň vodní tok, na kterém leží povodně ohrožená obec, kde je již k dispozici digitální podoba územního plánu. Na základě daných podmínek bylo vybráno území západně od Hradce Králové, které je vymezeno obcemi Třebechovice pod Orebem, Borohrádek a Čestice (obr. 1).

Největší pozornost byla soustředěna na intravilán obce Týniště nad Orlicí (obr. 2), který byl vybrán záměrně z hlediska možnosti simulací různých modelových scénářů. Byly tak modelovány nad rámec N-letých povodňových událostí i další variantní povodňové události, vycházející ze souběhu kulminačních průtoků Divoké a Tiché Orlice.

4 Metodika

Metodika zpracování vycházela v prvním případě, kdy se jednalo o posouzení využitelnosti informací z územně plánovací dokumentace jako podkladu pro analýzu a mapování povodňových rizik, z již standardně užívaných metodik (Drbal aj., 2009). Způsob a formu zpracování předběžného vyhodnocení povodňových rizik rovněž upravuje vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládnutí povodňových rizik, která zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a která se do procesu přípravy rovněž promítla. Ve druhém případě byla posuzována možnost využití map povodňového rizika jako vhodného podkladu pro rozhodování o samotném funkčním využití území, a to především při vymezení nových zastavitelných ploch. V daném případě byly stanoveny scénáře pro různé způsoby využití území nad rámec vycházející z ÚPD. Přednastavené scénáře vycházely z jednotlivých kategorií funkčního využití území, které byly pro potřeby vyjádření jeho zranitelnosti definovány podle Drbala aj., 2009 (tabulka 2). Na základě takto připravených scénářů vyjadřujících zranitelnost území došlo průnikem informací o povodňovém ohrožení ke stanovení povodňového rizika, které definovalo povodňové riziko pro jednotlivé kategorie podle ÚPD.



Obr. 2. Územní plán Týniště nad Orlicí – hlavní výkres
Fig. 2. Územní plán Týniště nad Orlicí - hlavní výkres

Tabulka 2. Kategorizace využití území pro potřeby vyjádření jeho zranitelnosti (Drbal aj., 2009)

Table 2. Kategorizace využití území pro potřeby vyjádření jeho zranitelnosti (Drbal aj., 2009)

Kategorie podle ÚPD	Kategorie zranitelnosti území	Kód kategorie
Bydlení v bytových domech	Bydlení	BY
Bydlení v rodinných domech		
Venkovské bydlení		
Plochy bydlení a služeb	Smíšené plochy	SM
Školství		
Zdravotnictví a sociální péče	Občanská vybavenost	OV
Kulturní objekty – památkově chráněné		
Veřejná správa		
Obchod a služby		
Ostatní občanská vybavenost		
Technická vybavenost		
Energetika	Technická vybavenost	TV
Vodní hospodářství		
Garáže	Dopravní infrastruktura	DO
Železniční plochy		
Parkovací domy		
Významné komunikace		
Průmyslová výroba	Výrobní plochy a sklady	VY
Smíšené plochy výroby a služeb		
Zemědělská výroba		
Rekreace a sport	Sport a hromadná rekreace	RS
Vodní plochy	Vodní plochy	VP
Veřejná zeleň, zahrádky, zahrádkářské kolonie	Zeleň	ZE

V současnosti v zahraničí nastolený trend v ochraně před povodněmi, kdy je patrná snaha omezovat ekonomické aktivity v záplavových územích namísto snah chránit tato území před povodněmi za každou cenu, byl prezentován variantou s kategorií zranitelnosti území *lesy a zeleň*. Tento trend označovaný jako „dát vodě prostor“ nemá zatím v české legislativě podporu a většina prostředků je dosud věnována obnově v záplavových územích. Prvním krokem při prosazování tohoto trendu je blíže definovat tzv. území pro řízené rozlivy a následně v těchto lokalitách omezovat obytnou a výrobní funkci. V oblastech, kde dochází k zaplavení, je žádoucí zároveň nepřipustit obnovu stavby těch objektů, které by povodně zničily.

Tento postup obecně předpokládá zachování zemědělských pozemků v záplavových územích s cílem posílit jímací schopnost půdy pro vodu, zejména zamezit silnému zhutňování a erozi půdy, vytvářet síť zemědělských komunikací s přihlédnutím k ekologickým požadavkům, např. obhospodařovat svahy zemědělských ploch po vrstevnici. Při výstavbě záplavových poldrů upřednostňovat jejich využití jako luk a pastvin, resp. obnovit lužní lesy tam, kde je to vhodné.

Ve vazbě na tyto skutečnosti nebyla řešena pouze otázka samotného vlivu kategorizace zranitelnosti území, ale rovněž její vliv na transformační účinek v inundaci vodního toku. Předkládaný přístup tedy tvoří pouze jediná komponenta, která má stanovit riziko pro různé kategorie definovaných funkčních

plach, ale je snahou také dokreslit vliv takto navržených funkčních ploch na transformační účinek, který širší inundace vodních toků nabízí.

Dané přístupy se opírají o Koncepci řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodních blízkých opatření (dále jen koncepce) schválenou usnesením vlády ČR ze dne 10. listopadu 2010 č. 799. Cílem koncepce je s ohledem na udržitelný rozvoj společnosti a zájmy ochrany přírody a krajiny vyhodnotit a zvládat povodňová rizika v souladu se směrnicí 2007/60/ES a v souladu s cíli směrnice 2000/60/ES.

Samotné rozšíření použitelnosti map povodňového nebezpečí a povodňových rizik, užitých jako podkladu pro vymezení nových zastavitelných ploch, počítá s bližší specifikací mapy povodňového ohrožení, která je připravena pomocí matice rizika (Říha aj., 2005). Daný přístup rozdělení zájmového území podle míry povodňového ohrožení nenahrazuje funkci aktivní zóny (vymezené podle vyhlášky MŽP č. 236/2002 Sb.) jakožto platného legislativního nástroje pro regulaci funkčního využití záplavového území podle zákona č. 254/2001 Sb. V současnosti je vymezení aktivní zóny záplavového území rozhodujícím a podmiňujícím faktorem pro rozhodnutí o možném funkčním využití území z hlediska zabezpečení jeho dostatečné průtočnosti.

Využití tzv. metody matice rizika je jedním z nejjednodušších postupů pro hodnocení potenciálního ohrožení a rizika v záplavových územích. Variantně jsou získány výsledky popisující vliv kategorizace zranitelnosti území v procesu zpracování map povodňového nebezpečí a povodňových rizik v plochách, kde je zamýšlena nová zástavba. Pro zpracovatele územních plánů, regulačních plánů či územních studií poskytují vhodný nástroj pro posouzení možného způsobu využití území ve vztahu k povodňovým rizikům.

Povodňové riziko se stanovuje průnikem informací o povodňovém ohrožení a zranitelnosti území. Pro jednotlivé kategorie zranitelnosti území je stanovena míra přijatelného rizika. Mapy povodňového rizika pak zobrazují plochy jednotlivých kategorií využití území, u kterých je překročena míra přijatelného rizika. Uvnitř každé takové plochy jsou vyznačeny dosažené hodnoty ohrožení v barevné stupnici. Takto identifikovaná území představují exponované plochy při povodňovém nebezpečí odpovídající jejich vysoké zranitelnosti.

Pro získání relevantních výsledků jsou rozhodující vstupní data, proto byla velká pozornost věnována především tvorbě geometrických dat, resp. vstupnímu DMR a následnému získání vstupních dat, přičemž přípravu vstupních dat v podobě rastru hloubek a rastru rychlostí je možné rozdělit do tří základních úrovní:

- příprava geometrických dat – DMR (preprocessing),
- simulace vybraných scénářů (processing),
- vizualizace získaných výsledků, tj. kompletace vstupních dat (rastrů hloubek a rychlostí) pro následné stanovení povodňového nebezpečí (postprocessing).

Pro získání výstupů v požadované kvalitě bylo zapotřebí zvolit schematizaci systému proudnic tak, aby byla postižena jak hlavní korytová část, tak také všechny proudnice v záplavovém území, tj. uliční síť a systém terénních depresí, které definují průtokové poměry při povodňových situacích (Špatka, 2005).

Po přípravě vstupních dat v podobě rastru hloubek a rychlostí byla provedena kvantifikace nebezpečí pro jednotlivé scénáře a proveden výpočet intenzity povodně. Následně již bylo postupováno podle metodiky na vyhotovení map povodňového nebezpečí a povodňových rizik (Drbal aj., 2009) a v případě posouzení využitelnosti map povodňových rizik pro rozhodovací činnost v procesu územního plánování podle výše uvedeného metodického postupu týkajícího se přípravy vstupních scénářů kategorií zranitelnosti pro potřeby vymezení nových zastavitelných ploch.

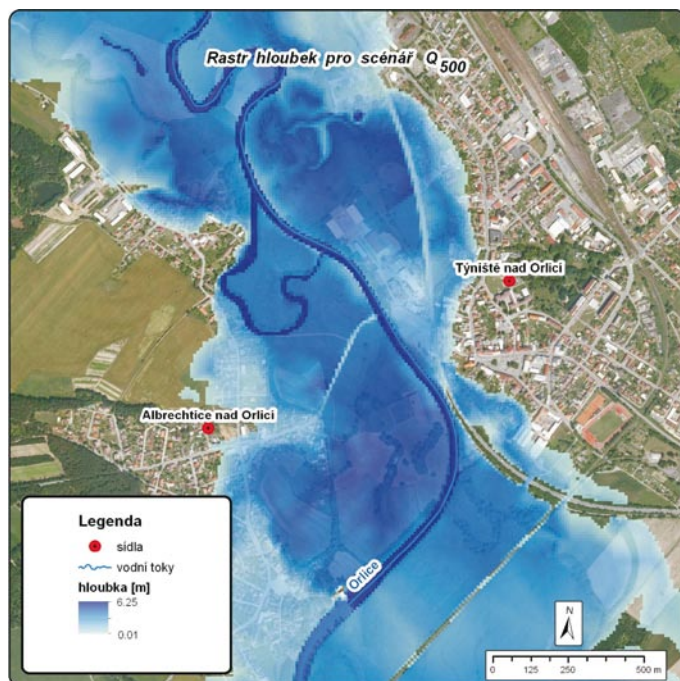
5 Výsledky a diskuse

Stanovení povodňového rizika bylo docíleno pro dva zvolené přístupy lišící se přednastavenými scénáři o funkčním využití území, definovaném na základě účelu, pro který bylo povodňové riziko zjišťováno. V procesu přípravy vstupních vrstev – map povodňové ohroženosti – se potvrdil pozitivní přínos dat z tvorby nového výškopisného mapování metodou LLS. Tato data poskytují v kombinaci s geodetickým zaměřením koryta požadované výškopisné informace pro stanovení záplavových území a generování vstupních podkladů (rastr hloubek, rastr rychlostí), které budou uplatněny při analýze a mapování povodňových rizik (Roub aj., 2012).

Získané dílčí výsledky z 2D hydrodynamického modelu v podobě vstupních dat pro analýzu v záplavovém území, kterými jsou rastr hloubek a rastr rychlostí, zachycují i lokální deprese a identifikují potenciální místa pro vtok povodňové vlny do intravilánu obce, čímž zaručují získání relevantních výsledků i v navazujících analýzách (obr. 3).

Pro získání základních hydraulických parametrů proudění v záplavovém území (hloubka, rychlost proudění) v řešeném intravilánu obce a přilehlého okolí se rovněž velice pozitivně osvědčilo využití zvoleného 2D numerického modelu.

Při provádění analýz v záplavovém území (obr. 4), které se týkaly posouzení možnosti pro vymezení nových zastavitelných ploch, byly získány výsledky, jež zcela jasně definovaly plochy vhodné pro novou výstavbu a plochy nevhodné pro další územní rozvoj. Zároveň však byly získány výsledky, kde nebylo zcela možné klasifikovat plochy z hlediska vhodnosti další urbanizace či ponechání



Obr. 3. Ukázka vstupních dat – rastr hloubek
Fig. 3. Ukázka vstupních dat – rastr hloubek



Obr. 4. Záplavové území na podkladě katastrální mapy
Fig. 4. Záplavové území na podkladě katastrální mapy

těchto ploch mimo další rozvoj. V těchto případech bude ještě nutné provést stanovení hraničních hodnot pro jasnou definici území, které je, či není vhodné zahrnout do zastavitelných ploch.

Povodňové riziko je obecně definováno nejčastěji mírou pravděpodobnosti výskytu nežádoucího hydrologického jevu – nežádoucí povodně. Vzniká za předpokladu, nastanou-li současně tři hlavní, vzájemně se ovlivňující skutečnosti, jejichž intenzita určuje jeho rozsah (Havlík a Salaj, 2008). Jde o povodňové nebezpečí, zranitelnost a expozici (obr. 5). Ve vazbě na objektivní posouzení další urbanizace území je proto nutné nalézt tzv. přijatelné riziko, neboli míru rizika, kterou je připraven přijmout každý (jednotlivec, společnost), kdo může být ohrožen povodňovou událostí.

Langhammer (2007) uvádí, že pro snížení rizika souvisejícího s daným přírodním procesem je nutné snížit alespoň jednu ze stran pomyslného trojúhelníka představujícího oblast rizika. Složka ohrožení je z hlediska povodní ve vazbě na svou stochastickou povahu jev neovlivnitelný. Druhá složka je představována expozicí prostředí vzhledem k povodňovému ohrožení. V daném případě se jedná o majetek a přírodní prostředí, které je vystavené povodni. Přestože je

snížení této složky velice obtížné, a to i ve vazbě na stále rostoucí hodnotu majetku – at' movitého či nemovitého charakteru – je právě daná komponenta přístupu vhodná pro její snížení. Vhodným nástrojem pro toto snížení mohou být jak ekonomické nástroje jako například výše pojistného či daní, tak především nástroje charakteru územního plánování, jež mohou definovat podmínky pro funkční využití území v lokalitách, které jsou z hlediska potenciálního ohrožení nevhodné. Zranitelnost jako třetí složka modelu rizika je chápána jako stav prostředí, které je vystaveno povodňovému ohrožení, ovlivňující velikost rizika.



Obř. 5. Složky povodňového rizika
Fig. 5. Složky povodňového rizika

Jak je uvedeno ve stavebním zákoně (§ 19 odst. 1 písm. g), je jedním z úkolů územního plánování vytvářet v území podmínky pro snížení nebezpečí přírodních katastrof a pro odstraňování jejich důsledků, a to přírodě blízkým způsobem. S ohledem na danou skutečnost je nutné hledat strategii urbanistického rozvoje měst a obcí, jež bude tento bod reflektovat.

Popisovaný přístup předpokládá vyhotovení map povodňového rizika nejen podle scénářů povodňových událostí, ale rovněž ve scénářích pro jednotlivé funkční plochy využití území. Získána je tak představa o povodňovém riziku pro různé scénáře zastavění území, tj. pro alternované funkční využití v nově uvažovaných zastavitelných plochách. Zároveň je nutné kalkulovat s druhotným dopadem případného zastavění území, a to s omezením transformačního účinku území, které je plánováno zahrnout do zastavitelných ploch.

6 Závěr

V současnosti se nacházíme v době, kdy dochází k markantnímu rozvoji informačních technologií. Trendy tohoto rozvoje se logicky promítají i do problematiky týkající se povodní. Především jde o rozvoj informačních technologií na bázi GIS, které dnes představují neoddělitelnou součást preventivní ochrany před povodněmi.

Povodně obecně představují extrémní projevy srážko-odtokového procesu, které jsou nedílnou součástí přírodního prostředí a krajiny, na jejímž spoluvytváření se významným způsobem podílí (Langhammer, 2007).

Problematika ochrany před živelnými pohromami se dostává v důsledku událostí z posledních let stále více do popředí. V souvislosti s tím nabývá na významu i územní plánování jako vhodný nástroj pro omezení stavební činnosti v záplavovém území, který nebyl v minulosti mnohdy respektován. Tato skutečnost se rovněž stala impulzem ke změnám v legislativě i v přístupech při zpracování nových územních plánů.

Stanovení povodňového rizika na podkladě ÚPD je nyní již nedílnou součástí systémové přípravy v ochraně před povodněmi vedoucí k eliminaci dopadů povodňových situací. Aplikovaný přístup vyhotovení map povodňové ohroženosti prokázal své opodstatnění. Vzhledem k dosaženým výsledkům je nutné rovněž konstatovat, že ÚPD je vhodným podkladem pro rizikovou analýzu, která poskytuje vhodný nástroj jak pro vymezení stupně povodňového rizika v již zastavěném území, tak i pro vymezení nově zastavitelných ploch.

Při zpracování nové ÚPD je proto nezbytné usilovat o vytvoření prostorové rovnováhy mezi hospodářským rozvojem a urbanizací území na jedné straně a potřebami využít tohoto území ke zpomalení odtoku a akumulaci vody na straně druhé. Veškerá opatření na ochranu před povodněmi musí sledovat dopad na životní prostředí (Strategie, 2000).

Strategický dokument pro plánování v oblasti vod představuje Plán hlavních povodí České republiky, který vychází ze směrnice 2000/60/ES a jehož závazná část byla vyhlášena nařízením vlády č. 262/2007 Sb. Materiál definuje rámcové cíle v ochraně před povodněmi, včetně dílčích cílů pro snížení ohrožení obyvatel nebezpečnými účinky povodní a omezení ohrožení majetku, kulturních a historických hodnot při prioritním uplatňování principu prevence.

Další výzkum bude proto nutné zaměřit na provedení srovnávacích analýz map povodňových rizik s přístupem vycházejícím ze stanovení aktivních zón záplavových území. Bude nutné nalézt odpovědi na otázky týkající se především definování mezních hodnot s ještě přípustným využitím území pro konkrétní funkční plochy a zároveň definovat podmínky, za kterých je vhodné inundační prostory zařazovat do zastavitelných ploch na úkor retenčního potenciálu, který tato území nabízí.

Poděkování

Příspěvek vznikl na základě poskytnutých dat z leteckého laserového skenování, která pro výzkumné účely zajistil Zeměměřický úřad, Zeměměřický odbor Pardubice a dat z geodetického zaměření, která zapůjčil státní podnik Povodí Labe se sídlem v Hradci Králové. Výsledky publikované v tomto článku vznikly za podpory Technologické agentury ČR, projektu TA02020139, výzkumného záměru MZe 0002704902 a s podporou Interní grantové agentury Fakulty životního prostředí (projekt IGA, registrační číslo: 42200/1312/3154).

Literatura

- Brázdil, K. (2009) Projekt tvorby nového výskopisu území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*, roč. 55 (97), č. 7, s. 145–151.
- Brázdil, K. aj. (2010) Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace. Zeměměřický úřad, Vojský geografický a hydrometeorologický úřad, říjen 2010.
- Brouwer, R. and Van Ek, R. (2004) Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood protection measures in the Netherlands. *Ecological Economics*, 50, 1–21.
- Brown, J.D. and Damer, S.L. (2002) Managing flood risk in the UK: towards an integration of social and technical perspectives. *Transactions / Institute of British Geographers*, 27, 412–426.
- Čejp, J. a Duchan, D. (2008) Využití ArcGIS 9.x pro řešení úloh 2D proudění vody o malé hloubce. Juniorstav, Vodní hospodářství a vodní stavby.
- Dolanský, T. (2004) Lidary a letecké laserové skenování. *Acta Universitatis Purkynianae*, 99, *Studia geoinformatica*, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. ISBN 80-7044-575-0.
- Drbal, K. aj. (2009). Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. Ministerstvo životního prostředí.
- Dráb, A. a Říha, J. (2008) Riziková analýza záplavových území v procesu územního plánování – aplikace na území města Brna. *Urbanismus a územní rozvoj*, roč. XI, č. 2. ISSN 1212-0855.
- Dušánek, P. (2010) Projekt tvorby nového výskopisu území České republiky. In: Workshop, září 2010.
- Fořumpaur, P. (2005) Optimalizace protipovodňové ochrany. In: Workshop VZ „Udržitelná výstavba“.
- Havlik, A. a Salaj, M. (2008) Analýza a mapování povodňových rizik.
- Gallayová, Z. a Gallay, I. (2006) Príspevok k poznaniu infiltračnej schopnosti rôzne využívaných TTP BR Poľana. In: *Sborník z mezinárodní mezioborové konference Venkovská krajina*, 12.–14. 5. 2006, Slavičín u Hoštětína. ZO ČSOP Veronica, Brno. ISBN 80-239-7166-2, s. 44–47.
- Koncepce řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodě blízkých opatření (2010). Praha, schválena usnesením vlády České republiky ze dne 10. listopadu 2010, č. 799.
- Langhammer, J. (ed.) (2007) Povodně a změny v krajině. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze a MŽP ČR.
- Nařízení vlády č. 262/2007 Sb., o vyhlášení závazné části Plánu hlavních povodí České republiky.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října 2007 o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik (povodňová směrnice).
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.
- Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky (2000). Praha.
- Šindlar, s.r.o. (2007) Koncepce přírodě blízkých protipovodňových opatření s vazbou na revitalizaci hydromorfologického stavu vod. MŽP.
- Štenclová, Š. a Vepřek, K. (2002) Územní plánování a povodně. *Urbanismus a územní rozvoj*, roč. V, č. 5. ISSN 1212-0855.
- Špatka, J. aj. (2005) Metodika stanovení aktivní zóny záplavového území. Praha.
- Plán hlavních povodí České republiky schválený usnesením vlády České republiky ze dne 23. května 2007 č. 562.
- Plate, E. (2002) Flood risk and flood management. *J. of Hydrology*, 267, 2–11.
- Podrázský, V. a Remes, J. (2005) Retenční schopnost lesních ekosystémů. Dostupné z: <http://lespace.silverium.cz/content/view/147/52/>
- Poláčková, V., Poláček, J. a Beneš, J. (2007) Minimální standard pro digitální zpracování územních plánů v GIS. Krajský úřad Středočeského kraje, odbor územního a stavebního řízení.
- Politika územního rozvoje ČR 2008, schválena usnesením vlády č. 929 ze dne 20. 7. 2009.
- Pručky, J. (2003) Analýza přirozené retence vody v povodí řeky Opavy při povodni v červenci 1997. *Acta Hydrologica Slovaca*, roč. 4, č. 2, s. 248–254.
- Rapant, P. (2002) Úvod do geografických informačních systémů. Ostrava: Vysoká škola báňská–Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut ekonomiky a systémů řízení, oddělení GIS, 110 s.
- Roub, R., Hejduk, T. a Novák, P. (2012) Využití dat z tvorby nového výskopisu území České republiky metodou leteckého laserového skenování při analýze a mapování povodňových rizik. *Geodetický a kartografický obzor*, č. 1, roč. 58/100, s. 1–5. ISSN 0016-7096.
- Vyhláška MŽP č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území.
- Vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládání povodňových rizik.
- Vyhláška č. 500/2006 Sb., o územně analytických podkladech, územně plánovací dokumentaci a způsobu evidence územně plánovací činnosti Ministerstva pro místní rozvoj ze dne 10. listopadu 2006.
- Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, ve znění pozdějších předpisů.
- Werritty, A. (2005) Sustainable flood management: oxymoron or new paradigm? *Area*, 38, 16–23.
- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění zákona č. 150/2010 Sb.

**Ing. Lenka Pavlíčková¹⁾, RNDr. Pavel Novák^{2),3)},
Ing. Radek Roub, Ph.D.¹⁾, Ing. Tomáš Hejduk^{1),3)}
hejduk.tomas@vumop.cz**

**¹⁾ Česká zemědělská univerzita v Praze, FŽP,
katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování**

**²⁾ Česká zemědělská univerzita v Praze, FŽP,
katedra biotechnických úprav krajiny**

**³⁾ Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Příspěvek prošel lektorským řízením.**

Keywords

territorial planning documentation – GIS – flood hazard map – map of flood risk – MIKE 21

The obligation to analyze and map flood risks is required from the Member States by the European Parliament Directive 2007/60/EC (Flood Directive). The Directive contains a schedule with fixed dates for managing the flood events. Flood events (risks) management in terms of the Directive means to analyze the likelihood of flooding and potential adverse

effects on human health, the environment, cultural heritage and economic activity caused by flooding by developing flood hazard maps and maps of flood risk. The basis for the creation of these maps is a territorial planning documentation. The presented work introduces processing of the maps of flood vulnerability and flood risk on the basis of information obtained from the territorial planning documentation. Developed vulnerability and risk maps were processed to be applicable not only for flood protection in the preparatory, i.e. preventive stage (when they are used to predict the extent of flood situations, to eliminate their potential and help to manage them) but they were also aimed to be useful for deciding about land use in terms of defining new areas suitable for building on them from the view of different potential flood scenarios and different variants of functional use.

RELEVANTNOST VYUŽITÍ DENNÍCH DAT O TEPLITĚ A SRÁŽKÁCH PRO TESTOVÁNÍ DOPADU KLIMATICKÝCH FAKTORŮ NA SPOTŘEBU PITNÉ VODY DOMÁCNOSTMI

Vítězslav Malý, Lenka Slavíková, Michael Rost, Lubomír Petružela, Ondřej Vojáček, Jan Kavan

Klíčová slova

spotřeba pitné vody – srážky – teplota – sucho

Souhrn

Článek se zabývá otázkou, do jaké míry ovlivňují klimatické faktory krátkodobou poptávku po pitné vodě ve dvou vybraných oblastech České republiky (Hrádek, Strašice). Analýza je založena na denních hydrometeorologických a odběrových datech v období 2004–2009. V rámci hodnocení byly použity dvě dílčí statistické analýzy – metodologie CART a dekompozice časové řady založené na váhové regresi. Bez ohledu na výsledky jednotlivých analýz vyvolává šetření několik metodologických otázek, jež se týkají užití denních dat a rozsahu analýzy na těchto datech založené.

Úvod

Spotřeba pitné vody domácnostmi¹ je proměnnou s významným vlivem na celkové využívání vodních zdrojů. Poptávka po pitné vodě je ovlivněna mnoha proměnnými od klimatických, přírodních, technických až po faktory socioekonomické. Studie zkoumající vliv klimatických faktorů na spotřebu domácností jsou spíše ojedinělé (např. Renwick a Green, 2000; Hewitt a Hanemann, 1995; Nieswiadomy a Molina, 1989).

Cílem článku je představit výsledky výzkumu, v rámci kterého došlo k testování vlivu klimatických podmínek na celkovou spotřebu pitné vody domácnostmi, a diskutovat některé metodologické problémy související s postupy založenými na denní struktuře dat. Analýza se zaměřila na objasnění vlivu úrovně teploty a srážek na odběry vody z veřejných zdrojů ve vytipované lokalitě ČR během celého roku, s důrazem na období „teplých měsíců“ (květen až září). K provedení analýzy bylo využito denních dat o odběru vody z veřejného vodovodu za jednotlivá spotřebiště a dále pak denních hydrometeorologických dat o úrovni průměrné denní teploty ovzduší a denním úhrnu srážek. Sledovaným obdobím byly kvůli dostupnosti dat roky 2004–2009. V rámci hodnocení a konstrukce modelu spotřeby vody domácností bylo využito neparаметrické klasifikace regresních stromů metodologie CART, analýzy sezonní složky spotřeby vody pro objasnění sezonnosti a analýzy suchých období s cílem odhalit vliv sucha na krátkodobou spotřebu vody.

Charakteristika zájmového území a zdroje dat

Výběr území byl významně ovlivněn ochotou provozovatele vodovodu a kanalizací poskytnout data o spotřebě vody v požadovaném územním a časovém rozlišení. Výzkum byl realizován ve dvou lokalitách – obci Hrádek a obci Strašice. Demografické charakteristiky obou obcí shrnuje příložená tabulka 1.

Oblasti leží v těsné blízkosti vojenského újezdu Brdy, jež významně ovlivňuje přírodní (zejména hydrologické) podmínky obou obcí. Brdské pohoří představuje pro obce zásobárnu kvalitní a čisté vody. Dostatečné množství

¹ Jelikož je fakticky nemožné plně oddělit denní spotřebu domácností od spotřeby malých a středních podniků a od spotřeby veřejného sektoru, je tento termín zkrácen. Jedná se o spotřebu daného zájmového území, od které byla odečtena pouze spotřeba velkých podniků, jež byla v evidenci VaK evidována odděleně.

podzemní a povrchové vody v obou lokalitách umožňuje domácnostem využívat nejen vodu z vodovodního řadu, ale i z individuálních studní, což se děje zejména v obci Strašice.

V rámci výzkumu bylo pro potřeby ekonometrického testování závislosti spotřeby vody na teplotě a srážkách využito struktury dat uvedené v tabulce 2. Data jsou uvedena vždy za celé spotřebiště, tj. za všechny podniky a domácnosti v dané lokalitě za období 2004–2009.

Odběry vody z vodojemu Janov (pro oblast Hrádek) a z úpravny vody Strašice (pro oblast Strašice) je evidován v podobě denních dat (v m³). Pro potřeby analýzy jsou tato data klíčová, i když je bylo zapotřebí dále očistit. Z těchto dat se odvozuje denní odběr vody pro domácnosti, malé a střední podniky a veřejné instituce. Jedná se o vodu dodanou z vodojemu nebo přímo z úpravny do příslušného spotřebiště. Tento údaj se v rámci získaných dat pro obě spotřebiště nazývá voda vyrobená (VV) a zahrnuje v sobě vodu fakturovanou (VF) u jednotlivých odběratelů, ztráty ve vodovodní síti (Zt) a vodu využitou pro úpravnu vody (Vúp). Voda vyrobená se tedy skládá podle vzorce

$$VV = VF + Zt + Vúp.$$

Rozdělení odběru vody do oblasti Hrádek a Strašice znázorňuje obr. 1², z něhož je patrné, že odběr vody z vodojemu Janov byl takřka dvakrát vyšší než odběr vody z úpravny vody Strašice. Tento rozdíl byl dán odběrem vody pro podnik Železářny Hrádek, a.s., jež odebíral v průměru 24 % vody z celé denní spotřeby, a také většími ztrátami ve vodovodním řadu, které dosahovaly ve sledovaném období pro město Hrádek až 61 %. U obce Strašice to bylo maximálně 49 %.

Z výsledků provedených popisných charakteristik vyplývá, že 50 % hodnot odběru vody pro lokalitu Hrádek se pohybuje v intervalu 264,4 až 361 m³ za den a 170,6 až 229,9 m³ za den pro obec Strašice. Odběry vody v obou oblastech jsou přitom pevně ohraničeny minimálními odběry, tj. v oblasti minimálních odběrů je menší variabilita, kdežto maximální odběry v rámci rozdělení spotřeby mají variabilitu větší. To svědčí o tom, že obě spotřebiště odebírají pro svou potřebu relativně pevně stanovené minimální množství vody, které posléze roste v závislosti na faktorech ovlivňujících denní potřebu.

Klimatická data byla získána od Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ). Data o denních úhrnech srážek byla změřena ve srážkoměrné stanici Holoubkov, denní průměrná teplota byla naměřena v klimatologické stanici Plzeň-Bolevec pro období od roku 2002 do roku 2004 a v klimatologické stanici Plzeň-Mikulka pro období 2005 až 2009. Tato meteorologická stanice je blíže zájmovému území, nicméně zahájila provoz až v roce 2005, proto musela být data z jejího měření doplněna o data ze vzdálenější stanice Plzeň-Bolevec. Srážkoměrná stanice Holoubkov se nachází 5 km od zájmových oblastí, Plzeň-Bolevec a Plzeň-Mikulka ve vzdálenosti cca 25 km.

² Rozdělení bylo provedeno prostřednictvím kernelovského odhadu hustoty pravděpodobnosti s využitím gaussovského jádra a dále prostřednictvím Box-Whiskersova diagramu. Numerické vyhodnocení bylo provedeno prostřednictvím základních popisných charakteristik spolu s odhady vybraných kvantilů.

Tabulka 1. Demografické ukazatele

Table 1. Demographic indicators

Charakteristiky	Hrádek	Strašice
Počet obyvatel	3 003	2 436
Počet č. p.	514	606
bytové domy	6 %	4 %
rodinné domy	76 %	66 %
sezonní nemovitosti (chaty)	18 %	30 %
Průměrná spotřeba vody z vodovodu	106 l/osoba/den	83 l/osoba/den
Počet obyv. přípoj. na vodovodní síť v %	96 %	91 %
Nadmořská výška	440 m	498 m
Průměrný roční úhrn srážek (1961–1990)	501–600 mm	601–700 mm
Počet velkých podniků	1	1*

* V rámci Strašic jsou jako velký odběratel evidována bývalá vojenská kasárna, ve kterých v současnosti působí několik firem. Ty dohromady tvoří jeden celkový odběr za kasárna.

Zdroj: Český statistický úřad (2010), Pšeničková (2006), VOSS, a.s., údaje z rozhovorů

Práce s daty a analýza

Získaný datový soubor informací o odběrových charakteristikách zájmových území byl nejprve očištěn, jelikož data o odběru vody z vodojemu Janov (oblast Hrádek) a úpravny vody Strašice byla evidována pro celé spotřebiště bez zohlednění úrovně ztrát a dalších zkrslujících faktorů. Hydro-meteorologická data nebylo zapotřebí upravovat. Úprava hrubých dat o odběru vody vycházela z rovnice určující spotřebu domácností a malých a středních podniků ($VV = VF + Zt + VF_{vp} + Hv$)³. Denní odběry vody z vodojemu a úpravny vody byly nejprve očištěny o ztráty ve vodovodní síti, které byly vypočítány z měsíčních údajů o ztrátách za každé čtvrtletí v zájmových oblastech, tedy separátne pro oblast Hrádek i Strašice. Ztráty ve vodovodní síti Hrádek se pohybovaly v rozmezí od 52 do 61 %, pro síť Strašice pak 33–49 %. Posléze byly od těchto dat odečteny denní evidované úniky vody během havárií a odběry velkých podniků (Železářny Hrádek, a.s., a areál bývalých vojenských kasáren).

Analýza odběru vody v závislosti na úrovni teploty a srážek byla provedena nezávisle pro obě zájmové oblasti Hrádek a Strašice tak, aby bylo možné obě území vzájemně porovnat. Vzhledem k porušení normality v distribuci sledovaných veličin (spotřeba, srážky, teplota)⁴ bylo pro další konstrukci modelu spotřeby pitné vody v území použito neparametrické metody metodologie CART. S ohledem na charakter vysvětlované proměnné, tj. spotřeba – odběr vody, bylo využito metody regresních stromů (Breiman aj., 1984). Pro analýzu sezonní složky spotřeby vody v obou územích byla navíc provedena analýza časové řady měsíčních úhrnů. Dekompozice byla provedena prostřednictvím sezonní a trendové dekompoziční procedury, založené na lokálně vážené regresi. Časová řada byla rozložena na tři složky – trend, sezonní složku a reziduální složku (Cleveland aj., 1990). Statistické propočty byly doplněny srovnávací analýzou v rámci 13 identifikovaných suchých období.

Výsledky analýzy

Statistické vyhodnocení dat pomocí metodologie CART bylo zpracováno zvláště pro obě oblasti. V rámci prvního modelu byla zahrnuta celoroční data, v rámci druhého modelu byla analýza omezena na období teplých měsíců květen–září. Ve všech případech však výsledky prokázaly velmi nízkou variabilitu odběrů vody v závislosti na teplotě a srážkách (predikční schopnost modelů se pohybovala od 0,3 do 10,3 %). Spotřeba pitné vody domácnostmi je proto významněji ovlivněna jinými než sledovanými faktory. Při odvozování regresních stromů se prakticky neuplatnila proměnná srážky, ale pouze teplota vzduchu a „roční období“. Z predikčního modelu lze tedy usuzovat, že odběr vody je na základě analyzovaných dat spíše závislý na teplotě než na srážkách, a to jen velmi málo.

Z dekompozice časových řad vyplynulo sezonní kolísání odběru vody kolem trendu, který má spíše neklesající tendenci – od května do konce července dochází k periodickému nárůstu odběru vody. Měsíce září, říjen a listopad jsou z hlediska odběru podprůměrné.

Vzhledem k nízkým predikčním schopnostem modelů byla další pozornost zaměřena na identifikaci období sucha v letech 2004–2009. K určování sucha a jeho intenzity je v meteorologii využíváno celé řady indexů (Palmerův index, Thornthwaitův index srážkové efektivity, Mungerův index a podobně). Pro účely analýzy vztahu odběru vody na suché období během letních měsíců se v práci vycházelo z Blumenstockova indexu (1942), který sucho definuje jako bezsrážkovou periodu, jež je ukončena úhrnem srážek 2,54 mm nebo více v posledních 48 hodinách (Heim, 2002). K určení suchého období bylo taktéž využito metody, kterou používají ve své práci Potop a Turkott (2007). Ti považují za bezsrážkovou taková období, v nichž nebyly minimálně deset po sobě jdoucích dní naměřeny žádné srážky, popř. byly srážky velmi malé (do 1 mm) a celkový úhrn srážek nepřekročil max. 5 mm během pěti po sobě jdoucích dnů (Potop a Turkott, 2007). Při hodnocení vlivu teploty bylo využito průměrných normálních měsíčních teplot. Za teplotně nadnormální období, přispívající k větší intenzitě sucha, byla považována ta období, kdy průměrná denní teplota byla po dobu minimálně pěti dnů vyšší než dlouhodobý měsíční průměr.

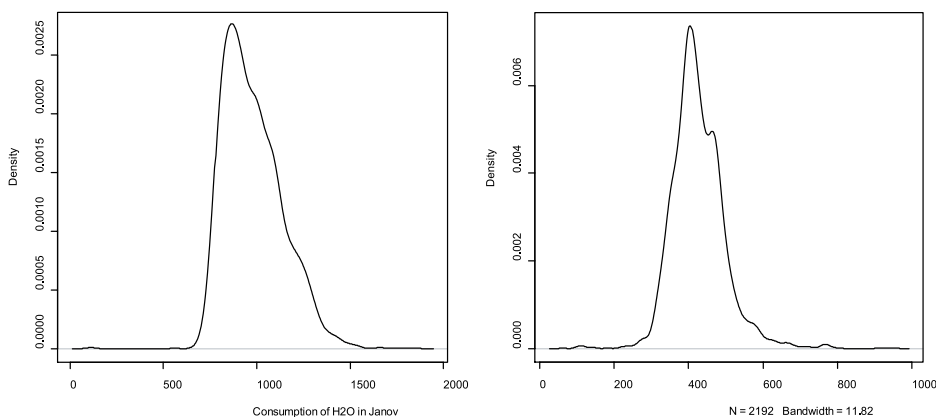
³ VV = voda vyrobená, VF = voda fakturovaná, VF_{vp} = voda fakturovaná velkým podnikům, Zt = ztráty ve vodovodní síti, Hv = havárie.

⁴ Ověřeno prostřednictvím Shapirova-Wilkova testu.

Tabulka 2. Získaná data
Table 2. Processed data

Data			
denní	měsíční	čtvrtletní	roční
odběr vody z vodojemu Janov	fakturovaná voda	ztráty ve vodovodní síti	roční souhrny za celé spotřebiště
odběr vody z úpravny vody Strašice	odběr vody pro úpravnu	nefakturovaná voda, fakturovaná voda	roční ztráty ve vodovodní síti
havárie vody	odběr vody pro velké podniky	voda určená k realizaci	
	voda k realizaci a nefakturovaná voda		
	souhrnný odtok z vodojemů		

Zdroj: Vlastní srovnání na základě údajů VOSS Sokolov, s.r.o.



Obř. 1. Rozdělení spotřeby pro Janov (oblast Hrádek) a Strašice

Fig. 1. Distribution of drinking water consumption in Janov village (region Hradec) and Strasic

Pro případ analýzy jsme tedy za suchá období považovali časové periody, kdy:

- průměrné srážky během časové periody nepřesáhly 1 mm na den a nedošlo k jednorázovému srážkovému úhrnu vyššímu než 6 mm,
- bezsrážkové období trvalo minimálně deset po sobě jdoucích dnů,
- průměrná teplota ve sledované časové periodě byla vyšší než dlouhodobý průměr za daný měsíc.

Tímto způsobem bylo ve zkoumaných zájmových oblastech v letech 2004–2009 identifikováno celkem 13 suchých období. Spotřeba pitné vody domácnostmi se v těchto obdobích zvýšila, a to v průměru o 9,0 % během celého suchého období a o 14,3 % ke konci období⁵. Výraznější nárůst byl patrný v obci Hrádek (10,7 %) než ve Strašicích (7,4 %), a sice v důsledku nižší míry využívání studní jako doplňkového zdroje vody.

Relevantnost použitých dat

Provedená analýza denních dat nezaznamenala přímý vztah mezi sledovanými klimatickými faktory a spotřebou pitné vody domácnostmi. Na základě metodologie CART se sice zjistilo, že odběr vody závisí na teplotě ovzduší (s růstem teploty roste spotřeba vody), ovšem jen ve velmi malé míře. Proměnná srážky se v rámci statistické analýzy prakticky neuplatnila. Druhým zjištěním je fakt, že predikční schopnost modelu byla velmi nízká až mizivá, z čehož lze usoudit, že klimatické faktory spíše nemají vliv na spotřebu vody domácností. Analýza suchých období prokázala rostoucí trend ve spotřebě vody domácností v suchých obdobích, i když tento trend nebyl absolutní, a s rostoucí intenzitou sucha a jeho délkou roste i úroveň spotřeby vody domácností.

Na druhé straně je nutné konstatovat, že analýza denní úrovně dat o spotřebě vody představuje ojedinělý pokus o podchycení sledovaných závislostí. Kvůli obtížné dostupnosti denních dat nebylo v řadě existujících hloubkových evropských studií možné provést takto detailní testování (viz např. Schleich a Hillenbrand, 2008). Práce s daty (zejména nutnost jejich očištění o průmyslové podniky, ztráty ve vodovodní síti, havárie atd.) zároveň ukázala metodická úskalí zvoleného postupu.

V plném rozsahu se projevilo propojení odběrů pitné vody z vodovodního řádu a individuálního zásobení pomocí studní (byť jako doplňkového zdroje). Úroveň tohoto zásobení (objem, rozsah) bylo obtížné určit a po rozhovoru se zástupci obou zájmových oblastí odhadujeme objem v rozmezí od 5 m³ do 12 m³ za celé spotřebiště (přibližně 2–5 %). Z rozhovorů s obyvateli zájmových

⁵ V rámci hodnocení vlivu suchých období je nutné počítat s určitým „reakčním obdobím“ na výskyt sucha. Proto bylo považováno za vhodné analyzovat i poslední 1/3 dní ze suchého období.

oblastí vyplývá, že většina dotazovaných (8 z 11) využívá pro svoji potřebu v teplejších obdobích i zdroje podzemní vody.

Otázkou tedy zůstává, zda zvolené klimatické proměnné jsou skutečně nevýznamné nebo zda byly výsledky analýzy natolik ovlivněny jinými zkreslujícími proměnnými (charakter území, individuální studně, metoda očištění dat apod.), že nebyl prokázán přímý vztah mezi klimatickými faktory a spotřebou vody domácností.

Literatura

- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R., and Stone, C. (1984) Classification and Regression Trees. Chapman & Hall.
- Cleveland, R.B., Cleveland, W.S., McRae, J.E., and Terpenning, I. (1990) STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *J. of Official Statistics*, 6, p. 7–73.
- ČSÚ. Vybrané statistické údaje – okres Rokycany. (2010) Dostupné z: http://www.gov.cz/wps/portal/_s.155/696?kam=okres&kod=CZ0326, citace [23. 9. 2010].
- Heim, R.R. (2002) A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorology Society*, vol. 83, no. 8, p. 1167–1179.
- Hewitt, J.A. and Hanemann, W.M. (1995) A Discrete/Continuous Choice Approach to Residential Water Demand under Block Rate Pricing. *Land Economics*, 7, p. 173–192.
- Nieswiadomy, M.L. and Molina, D.J. (1989) Comparing residential water demand estimates under decreasing and increasing block rates. *Land Economics*, 65 (3), p. 280–289.
- Potop, V. a Türkott, L. (2007) Hodnocení sucha a suchých období v agrometeorologickém roce 2005/2006 v České republice. Praha.
- Pšeničková, P. (2006) Porovnání klimatické regionalizace ČR Karpelové a Končeka. Praha: ČZU.
- Renwick, M.E. and Green, C. (2000) Do Residential Water Demand Side Management Policies Measure Up? An Analysis of Eight California Water Agencies. *Journal of Environmental Economics and Management*, p. 37–55.
- Rožnovský, J. a Litschmann, T. (ed.) (2004) Sb. ze semináře Extrémy počasí a podnebí, Hodnocení sucha roku 2003 na území ČR, Brno, 11. března 2004. Brno: Česká bioklimatická společnost v nakladatelství ČHMÚ, 42 s. ISBN 80-86690-12-1.
- Schleich, J. and Hillenbrand, T. (2008) Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological Economics*, vol. 68 (Dec., 2008), p. 1756–1769.

Ing. Vítězslav Malý, Ing. Lenka Slavíková, Ph.D.,
Ing. Ondřej Vojáček, Ph.D.
Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku
při NF VŠE v Praze
Maly@ieep.cz, slavikova@ieep.cz, vojacek@ieep.cz

Mgr. Jan Kavan, Ph.D.
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlova v Praze
KavanJan@seznam.cz
Ing. Michael Rost, Ph.D.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích,
rost@ef.jcu.cz
Ing. Lubomír Petružela, CSc.
VÚV TGM, v.v.i.
petruzela@vuv.cz
Příspěvek prošel lektorským řízením.

The use of daily data to investigate impact of rainfalls and temperature on drinking water consumption (Malý, V.; Slavíková, L.; Rost, M.; Petružela, L.; Vojáček, O.; Kavan, J.)

Keywords

drinking water consumption – rainfalls – temperature – drought

The paper tests impact of rainfalls and temperature on short-term drinking water consumption at two selected case sites in the Czech Republic. Analysis is based on daily data and brings preliminary results developed with the use of the CART methodology. Main focus, however, is on the usefulness of such detailed analysis and methodological challenges regarding the adjustment of daily data sets on water consumption.

SLEDOVÁNÍ TRANSPORTU HLINÍKU, ŽELEZA A MANGANU V KONTAMINOVANÉ PŮDĚ PO APLIKACI FYTOREMEDIÁČNÍHO OPATŘENÍ

Lukáš Trakal

Klíčová slova

kolonový experiment – fytoremediace – rizikový prvek – výměnný obsah – vrba (Salix × smithiana)

Souhrn

Pro zhodnocení fytoremedičního potenciálu vrby (*Salix × smithiana*, Willd.) a transportu Al, Fe a Mn půdním profilem byl proveden kolonový experiment. Byly realizovány dvě varianty (varianta kontrola – kolona se zemínou a varianta vegetace – kolona se zemínou a vsazeným vrbovým roubem), každá v pěti opakováních. Byly stanoveny základní půdní charakteristiky, tzv. „(bio)dostupné“ obsahy sledovaných rizikových prvků, jejich celkové obsahy v biomase a vyluhovatelnost z půdy v závislosti na čase. Výsledky této studie poukazují na signifikantní snížení mobility Al, Fe a Mn v půdním profilu v přítomnosti experimentálních vrb (*Salix × smithiana*). Dále je z výsledků patrná intenzivní akumulace Mn v nadzemních částech (hlavně listech). Akumulace Al a Fe je omezena převážně na kořeny. Výsledky této studie indikují synergické chování Al a Fe (tvar průběhu koncentrace Al a Fe ve vyluhu).

1 Úvod

Na kontaminaci půd se podílí celá řada anorganických i organických látek, jejichž zdrojem může být jak antropogenní činnost, tak i přirozené procesy. Mezi často sledované půdní kontaminanty patří rizikové prvky. Termínem rizikový prvek (dále jen RP) je obecně myšlen prvek (většinou kov), který se stává rizikovým po překročení určitých koncentrací v půdním prostředí. Rizikové prvky se tedy mohou významným způsobem podílet i na kontaminaci zemědělských půd, což patří mezi často diskutované ekologické problémy dnešní doby. Pokud se tyto RP dostanou do půdy, přetrvávají v ní tisíce let a je velmi obtížné eliminovat jejich negativní účinky na rostliny, na úrodnost půdy a následně i na člověka (Alloway, 1990). V konečném důsledku může vlivem jejich transportu v půdě dojít ke kontaminaci podzemních nebo povrchových vod.

Oproti nejčastěji sledovaným RP, jako jsou Cd nebo Pb, které způsobují kontaminaci půd již v poměrně nízkých koncentracích (Cd = 1,4 mg/kg sušiny; Pb = 9,3 mg/kg sušiny; Metodický pokyn MŽP, 2011), patří mezi RP

i tzv. potenciálně rizikové prvky (např. Zn, Al, Fe nebo Mn), které se stávají rizikovými až po překročení určitých limitních koncentrací. V případě Al je tato mezní koncentrace pro ohrožení kvality podzemní vody vymýváním ze zeminy (55 000 mg/kg sušiny), pro Fe je (640 mg/kg sušiny) a pro Mn (57 mg/kg sušiny; Metodický pokyn MŽP, 2011). V České republice je v porovnání s dalšími zeměmi kontaminace RP obecně poměrně nízká, existují však oblasti, kde obsahy RP v zemědělsky obhospodařovaných půdách překračují povolené limity. Mezi takto postižená území patří i oblast Příbramska, kde se v minulosti na kontaminaci půd podílela intenzivní těžba nerostných surovin a jejich následné zpracování nebo opakovaný únik odpadních vod z odkališť při protřžení jejich hrází v průběhu povodní. Konkrétně se v této oblasti celkové obsahy Al blíží jeho limitní koncentraci a obsahy Fe a Mn jsou překročeny až 25krát. Je tedy patrné, že i tyto tři prvky patří v oblasti Příbramska mezi rizikové.

Takto kontaminované půdy je třeba určitým způsobem sanovat (remediovat), aby došlo ke snížení negativního dopadu na životní prostředí. Jako jedno z aplikovatelných remedičních opatření šetrných k životnímu prostředí lze uvést i použití rychle rostoucích dřevin (dále jen RRD) v takto postižených oblastech (Vyslouzilová a kol., 2003; Baum a kol., 2006; Huynh a kol., 2008; Zimmer aj., 2009). S použitím RRD je tedy možné omezit negativní účinek RP na životní prostředí, konkrétně snížit mobilní frakci RP v půdě. Na toto téma bylo již v minulosti publikováno velké množství prací, kdy bylo pomocí laboratorních experimentů zkoumáno množství dostupné frakce (Novozamsky aj., 1993; Száková aj., 2000; Filgueiras aj., 2002; Chung aj., 2005), nebo sledování akumulace RP v rostlinách s použitím nádobových experimentů (Tlustoš aj., 2007; Száková aj., 2009). Z těchto důvodů byl realizován kolonový experiment, kterým bylo možné experimentálně lépe kontrolovat dané podmínky (zálivku, množství odtékající půdní vody atd.). Hlavním cílem této práce bylo popsat transport Al, Fe a Mn v půdě po aplikaci vrby (*Salix × smithiana*, Willd.) jako vhodného fytoremedičního opatření.

2 Materiál a metody

2.1 Kolonový experiment

Experiment koncipovaný pro sledování transportu RP byl založen pomocí kolon umístěných ve skleníku. Jedná se o válcové nádoby (20 × 35 cm; obr. 1) s perforovaným dnem, které byly naplněny vždy 10 kg kontaminované zeminy (varianta kontrola – K). Do nasypané kontaminované zeminy byly následně vsazovány 25 cm dlouhé řízky vrby (varianta vegetace – V). Každá varianta byla realizována v pěti opakováních.

Zálivka byla řešena instalací Mariottových lahví ke každé koloně (Hillel, 1998), kdy byl zajištěn konstantní přítok 1,5 l deionizované vody každé tři dny po celou dobu dvou následujících vegetačních sezon. Vyteká půdní voda byla zachytávána do instalovaných PE lahví a průběžně analyzována. Ve středu válce každé kolony byl také instalován rhizon, tedy zařízení na odběr půdní vody (vodorozpuštěné frakce Al, Fe a Mn; obr. 1).

Tabulka 1. Základní charakteristiky studované kontaminované půdy
Table 1. Basic characteristics of studied contaminated soil

pH		CEC (mmol/kg)	TOC (%)	DOC (g/kg)	Celkový obsah (g/kg)		
H ₂ O	CaCl ₂				Al	Fe	Mn
6,75	6,38	57,4	2,75	1,05	4,71 ± 0,28	16,0 ± 0,9	1,34 ± 0,17
Obsah hlavních kationtů a aniontů (mg/kg)							
Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	(NO ₃) ⁻	(PO ₄) ³⁻	(SO ₄) ²⁻
2718	118	171	8,23	29,8	299	14,5	107

2.2 Půda

Půda byla vzorkována v oblasti Příbramska, tj. regionu dlouhodobě zatíženém těžbou a zpracováním rud. Studovaná půda byla klasifikována jako kambizem glejová. Půdní vzorky byly odebrány z orníční vrstvy (0–25 cm), usušeny do konstantní hmotnosti, síťovány na jemnozemi (< 2 mm) a homogenizovány. U vzorků byly stanoveny základní půdní charakteristiky a obsahy RP (tabulka 1).

Půdní pH bylo měřeno v extraktu s deionizovanou vodou a 0,01M roztokem CaCl₂ v poměru 1 : 1,25 (w/v). U půdních vzorků byla stanovena kationtová výměnná kapacita (KVK) v roztoku 0,1M BaCl₂ v poměru 1 : 50 (w/v). Hlavní anionty, jako jsou F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, Br⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻ a NO₂⁻, byly stanoveny pomocí iontové chromatografie ICS 90 (Dionex, USA). Dostupné formy hlavních kationtů, jako jsou Ca²⁺, K⁺ a Mg²⁺ získané pomocí půdní extrakce Mehlich III (Zbiral, 2000), byly stanoveny s použitím plamenového atomového absorpčního spektrometru (F-AAS, Varian 280FS, Austrálie). Obsah rozpuštěného organického uhlíku (DOC) byl po získání vyluhu s použitím 0,01M CaCl₂ (Houba aj., 1986) stanoven kolorimetrickou metodou s použitím přístroje (Skalar⁺⁺ Sys., Holandsko). Obsah celkového organického uhlíku v půdě (TOC) byl stanoven tzv. mokrou oxidací s K₂Cr₂O₇ s měřením absorbance při 590 nm (Sims a Haby, 1971). Celkový obsah Al, Fe a Mn v půdě byl stanoven v mineralizátech metodou optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES Varian VistaPro, Austrálie). Na konci experimentu byly stanoveny výměnné obsahy těchto RP pomocí extrakcí v: (i) 0,01M KNO₃ (desorbované množství daných RP); (ii) 0,01M CaCl₂ a (iii) 0,11M CH₃COOH, všechny v poměru 1 : 20 (w/v). Výsledný supernatant byl následně analyzován pomocí ICP-OES k získání výměnných obsahů Al, Fe a Mn.

2.3 Rostlina

Klon vrby (*S. × smithiana*, Willd.) byl zvolen pro fytoremediační experiment. Tento klon byl vybrán vzhledem ke své vysoké akumulaci RP (Vyslouzilová aj., 2003). Po první vegetační sezoně experimentu byla sklizena pouze nadzemní biomasa, zatímco koncem druhé vegetační sezony byly sklizeny kromě nadzemní biomasy i kořeny. U nadzemní biomasy byly odděleny listy od stonků a kořeny byly důkladně omyty deionizovanou vodou. Takto připravená biomasa byla usušena (60 °C) a homogenizována.

Rostlinný materiál byl rozložen suchou cestou s využitím oxidačních plynů (O₂ + O₃ + NO_x) v mineralizátoru Apion (Tessek, CZ). Obsahy RP v extraktech byly stanoveny pomocí ICP-OES.

2.4 Statistika

Výsledná data byla zpracována pomocí analýzy rozptylu jednoduchého třídění k prokázání signifikantních efektů jednotlivých opatření a vlivu samotné RRD. Analýzy byly provedeny v programu Statistica v 7.0 pro Windows (Statsoft Inc. Tulsa OK, USA). Porovnání variant bylo realizováno pomocí jednofaktorové analýzy (ANOVA) s následným Tukeyho testem (p < 0,05).

Tabulka 2. Výměnné obsahy Al, Fe a Mn v půdě pro varianty Ka V; zobrazená data vyjadřují aritmetický průměr ± směrodatná odchylka (n = 5); data se stejným symbolem pro každou z variant jsou statisticky identická

Table 2. Exchangeable Al, Fe and Mn content in the soil for V and K variants; data shown are means ± standard deviation (n = 5); data with the same symbol for each variant are statistically equal

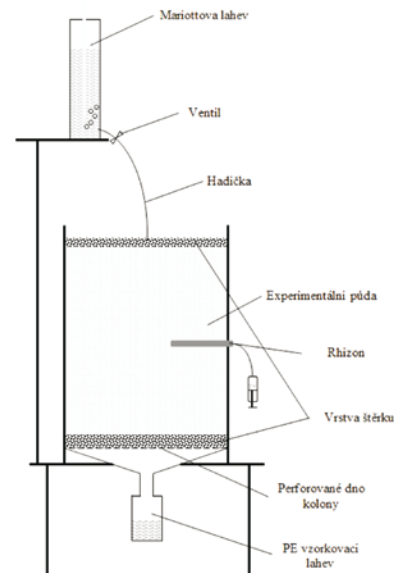
	Vodorozpuštěný obsah* (μg/kg)	Výměnný obsah (mg/kg)		
		0,01 M KNO ₃ **	0,01 M CaCl ₂ ***	0,11 M CH ₃ COOH
Al	481 ± 94 ^a	99,3 ± 3,3 ^a	21,7 ± 3,8 ^a	75,2 ± 10,1 ^a
K Fe	269 ± 83 ^a	31,2 ± 0,9 ^a	7,69 ± 1,58 ^a	17,4 ± 4,0 ^a
Mn	3,38 ± 1,06 ^a	3,33 ± 0,16 ^a	13,1 ± 0,33 ^b	136 ± 3 ^a
Al	51,3 ± 19 ^b	68,0 ± 4,5 ^b	13,1 ± 3,4 ^b	48,8 ± 3,0 ^b
V Fe	29,8 ± 11 ^b	20,0 ± 1,2 ^b	4,38 ± 1,14 ^b	6,86 ± 0,89 ^b
Mn	0,59 ± 0,13 ^b	4,77 ± 0,11 ^b	23,2 ± 0,2 ^a	116 ± 2 ^b

*stanoven pomocí vzorkovacích rhizonů

**odpovídá desorbovanému množství sledovaných RP z půdy

***nejlépe reprezentuje tzv. „(bio)dostupný“ obsah sledovaných RP

^{a, b} Pokud jsou indexy pro každou z variant od sebe odlišné, jde o statisticky významné rozdíly (na hladině významnosti; p < 0,05).



Obr. 1. Schéma kolonového experimentu
Fig. 1. Scheme of the column experiment

3. Výsledky a diskuse

3.1 (Bio)dostupnost Al, Fe a Mn

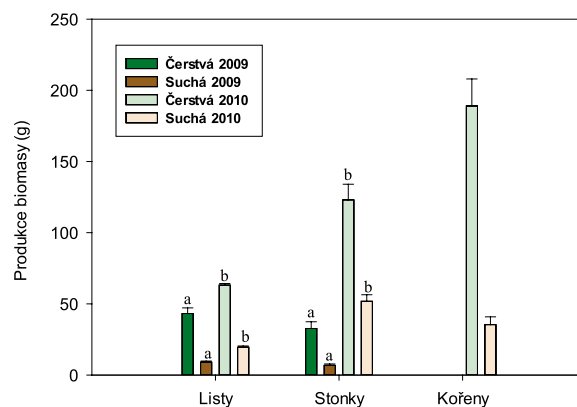
Výměnná frakce sledovaných RP, simulující potenciálně dostupný podíl, byla definována podle jejich obsahu v extraktech KNO₃, CaCl₂ a CH₃COOH (tabulka 2). Z těchto výsledků vyplývá, že přítomnost RRD (varianta K) na konci experimentu významně snížila výměnný obsah sledovaných RP oproti variantě kontrolní, a to ve všech případech. Tento fakt lze vysvětlit (i) produkcí kořenových exudátů v průběhu obou vegetačních sezón, které způsobily kontinuální mobilizaci silněji vázaných RP do „vodorozpuštěné“ frakce (Dakora a Phillips, 2002), a (ii) příjmem těchto RP do rostlin (diskutováno níže). Dále je z výsledků patrné, že pouze malá část Fe je tzv. „(bio)dostupná“, což je pravděpodobně způsobeno vysrážením převážně Fe³⁺ ve formě (hydro)oxidů železa (Adriano, 2001).

Účinnost použitých extrakčních činidel byla rozdílná. Nejnižší výměnné obsahy byly docíleny pomocí 0,01M CaCl₂, který je považován za nejlépe reprezentující tzv. „(bio)dostupnou“ frakci. Nejvyšší účinnost extrakce Al a Fe byla zaznamenána pomocí 0,01M KNO₃, pravděpodobně v důsledku jejich iontové výměny za K⁺ (Drábek aj., 2005). V případě Mn byla extrakce pomocí 0,01M KNO₃ omezena. Neúčinnějším extrakčním činidlem byl v případě Mn roztok 0,11M CH₃COOH. Tento fakt může souviset s vyšší citlivostí Mn na změnu hodnoty pH, která byla nejnižší právě u 0,11M CH₃COOH (pH = 4,80; Rauret aj., 1999).

3.2 Příjem Al, Fe a Mn a produkce biomasy

Produkce nadzemní biomasy byla signifikantně vyšší po druhé vegetační sezoně v porovnání s předchozí sezonou (obr. 2). Tento fakt je s největší pravděpodobností způsoben (i) lepším prokořeněním a částečným vyčerpáním přístupných obsahů RP z půdní kolony (a to nejen Al, Fe a Mn) v průběhu prvního roku experimentu (Trakal aj., 2011).

Celkové obsahy Al a Fe v nadzemní biomase vybraných klonů (*Salix × smithiana*, Willd.) byly dvojnásobně vyšší v listech v porovnání s obsahy ve stoncích během sklizně po první vegetační sezoně (tabulka 3). V průběhu druhé vegetační sezony byly celkové obsahy Al a Fe v nadzemní biomase podobné



Obr. 2. Množství biomasy v daných částech vrby pro obě vegetační sezony; zobrazená data vyjadřují aritmetický průměr ± směrodatná odchylka (n = 5); data se stejným symbolem pro oba vegetační roky jsou statisticky identická; porovnání pouze listy a stonky; množství kořenů bylo stanoveno pouze na konci dvouletého kolonového experimentu

Fig. 2. Biomass quantity in the willow parts for both vegetation periods; data shown are means ± standard deviation (n = 5); data with the same symbol for each vegetation period are statistically equal; compared are only leaves and stems; roots quantity was determined only at the end of two-year experiment

Tabulka 3. Celkové obsahy sledovaných prvků v daných částech vrb pro obě vegetační sezony; zobrazená data vyjadřují aritmetický průměr ± směrodatná odchylka (n = 5); data se stejným symbolem pro každou z variant jsou statisticky identická

Table 3. Total elements content in the willow parts for both vegetation periods; data shown are means ± standard deviation (n = 5); data with the same symbol for each variant are statistically equal

		Celkový obsah prvku v biomase (mg/kg)		
		Al	Fe	Mn
2009	Listy	12,3 ± 7,2 ^a	44,3 ± 8,4 ^b	243 ± 83 ^b
	Stonek	6,62 ± 3,07 ^a	14,4 ± 1,5 ^b	28,3 ± 4,7 ^b
2010	Listy	19,0 ± 9,8 ^a	36,4 ± 9,4 ^a	101 ± 33 ^a
	Stonek	6,80 ± 1,54 ^a	11,5 ± 1,3 ^a	21,7 ± 3,5 ^a
	Kořeny*	1259 ± 201	602 ± 61	155 ± 12

*Analýzy kořenů byly prováděny pouze na konci dvouletého experimentu.

^{a, b} Pokud jsou indexy pro každou část rostlin v daném roce od sebe odlišné, jde o statisticky významné rozdíly (na hladině významnosti; p < 0,05).

jako v roce předešlém. Tento fakt je způsoben podobným obsahem těchto RP v mobilní vodorozpuštěné frakci v obou vegetačních sezónách (viz níže). Akumulace Al a Fe v kořenech oproti nadzemní biomase experimentálních vrb byla na konci dvouletého kolonového experimentu 100násobně vyšší v případě Al a 13násobně vyšší v případě akumulace Fe. Akumulace Mn je převážně soustředěna v listech, kdy pouze necelých 40 % z celkově přijatého Mn bylo soustředěno v kořenech, jak poukazuje i práce Piczaka aj. (2003). Příjem Mn v průběhu druhé vegetační sezony byl však snížen na 1/3 oproti sezóně předešlé, což je nejspíše zapříčiněno vyčerpáním tzv. „(bio)dostupného množství“ Mn v průběhu první vegetační sezony (viz níže).

3.3 Půdní výluh Al, Fe a Mn

Přítomnost RRD měla v konečném důsledku pozitivní vliv i na snížení transportu sledovaných RP (obr. 3). Konkrétně z průběhu výluhu v obou vegetačních sezónách vyplývá, že došlo k postupnému snižování koncentrací Mn v půdním výluhu, a to jako výsledek kontinuálního příjmu tohoto prvku použitými vrbami (tabulka 3). Mangan může být rostlinami efektivně akumulován v důsledku svého esenciálního charakteru (Shar aj., 2002). V případě Al oscilovala jeho koncentrace kolem hodnoty 5 mg/l, a to v průběhu obou vegetačních sezon. Tvar průběhu koncentrace Al ve výluhu nejspíše reflektuje intenzitu příjmu Al rostlinou (RRD) v daném týdnu. Tvar průběhu koncentrace Fe ve výluhu je identický průběhu Al s tím rozdílem, že průměrná hodnota koncentrace pro obě vegetační sezony je 2,5 mg/l. Tato skutečnost obecně jen potvrzuje synergické chování Al a Fe, na což poukazuje práce Cervini-Silvy a Sposito (2002).

4. Závěr

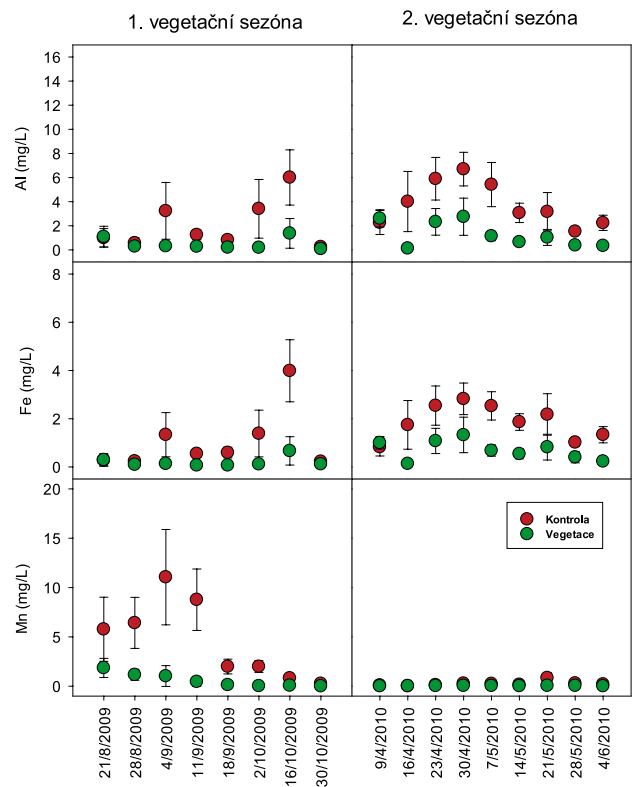
Výsledky této studie prokázaly významné snížení mobility Al, Fe a Mn v půdním profilu v přítomnosti experimentálních vrb (*Salix × smithiana*). Dále je z výsledků patrná intenzivní akumulace Mn v nadzemních částech (hlavně listech). Akumulace Al a Fe je omezena převážně na kořeny. Výsledky také indikují synergické chování Al a Fe.

Poděkování

Experiment byl financován z Norských fondů (projekt č. CZ0092), z výzkumného záměru Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy (č. MSM6046070901) a z Grantové agentury České republiky (projekt č. GAČR P503/11/0840). Autor také děkuje jmenovitě doc. Ing. Jiříně Szákové, CSc., Ing. Ondřeji Drábkoví, Ph.D., a RNDr. Václavu Tejneckému, Ph.D., za analytické zpracování půdních a rostlinných vzorků.

Literatura

Alloway, B.J. (1990) Heavy Metals in Soil. Glasgow and London: Blackie and Son, 339 p.
 Adriano, D.C. (2001) Trace Elements in the Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of the Metals (2nd ed.). New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo: Springer-Verlag, 867 p.
 Baum, C., Hryniewicz, K., Leinweber, P., and Meissner, R. (2006) Heavy-metal mobilization and uptake by mycorrhizal and nonmycorrhizal willows (*Salix × dasycloas*). *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 169: 516–522.
 Cervini-Silva, J. and Sposito, G. (2002) Steady-State Dissolution Kinetics of Aluminum-Goethite in the Presence of Desferrioxamine-B and Oxalate Ligands. *Environ. Sci. Technol.*, 36: 337–342.
 Dakora, F.D. and Phillips, D.A. (2002) Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant Soil*, 245: 35–47.
 Drábek, O., Mládková, L., Borůvka, L., Száková, J., Nikodem, A., and Němeček, K. (2005) Comparison of water-soluble and exchangeable forms of Al in acid forest soils. *J. Inorg. Biochem.*, 99: 1788–1795.
 Filgueiras, A.V., Lavilla, I., and Bendicho, C. (2002) Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. *J. Environ. Monit.*, 4: 823–857.
 Hillel, D. (1998) Environmental soil physics. San Diego, CA: Academic Press.



Obr. 3. Půdní výluh v průběhu obou vegetačních sezon; zobrazená data vyjadřují aritmetický průměr ± směrodatná odchylka (n = 5)

Fig. 3. Soil leachate during both vegetation periods; data shown are means ± standard deviation (n = 5)

Houba, V.J.G., Novozamsky, I., Huybregts, A.W.M., and van der Lee, J.J. (1986) Comparison of soil extractions by 0.01M CaCl₂ by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant Soil*, 96: 433–437.
 Huynh, T.T., Laidlaw, W.S., Singh, B., Gregory, D., and Baker, A.J.M. (2008) Effects of phytoextraction on heavy metal concentrations and pH of pore-water of biosolids determined using an in situ sampling technique. *Environ. Pollut.*, 156: 874–882.
 Chung, E., Lee, J.S., Chon, H.T., and Sager, M. (2005) Environmental contamination and bioaccessibility of arsenic and metals around the Dongjeong Au-Ag-Cu mine, Korea. *Geochem.-Explor. Environ. Anal.*, 5: 67–74.
 Metodický pokyn MŽP Indikátory znečištění (2011). http://www.mzp.cz/cz/metodiky_ekologicke_zateze
 Novozamsky, I., Lexmond, T.M., and Houba, V.J.G. (1993) A single extraction procedure of soil for evaluation of uptake of some heavy metals by plants. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 51: 47–58.
 Piczak, K., Lesniewicz, A., and Zymicki, W. (2003) Metal Concentrations in Deciduous Tree Leaves from Urban Areas in Poland. *Environ. Monit. Assess.*, 86: 273–287.
 Rauret, G., López-Sánchez, J.F., Sahuquillo, A., Rubio, R., Davidson, C., Ure, A., et al. (1999) Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of the new sediment and soil reference materials. *J. Environ. Monit.*, 1: 57–61.
 Shar, G.Q., Kazi, T.G., Jakhri, M.A., Sahito, S.R., and Memon, M.A. (2002) Determination of Seven Heavy Metals, Cadmium, Cobalt, Chromium, Nickel, Lead, Copper and Manganese in Wheat flour Samples by Flame Atomic Absorption Spectrometry. *J. Chem. Soc. Pak.*, 24: 265–268.
 Száková, J., Tlustoš, P., Balík, J., Pavlíková, D., and Balíková, M. (2000) Efficiency of extractants to release As, Cd and Zn from main soil compartments. *Analisis*, 28: 808–812.
 Száková, J., Tlustoš, P., Goessler, W., Frková, Z., and Najmanová, J. (2009) Mobility of arsenic and its compounds in soil and soil solution: The effect of soil pretreatment and extraction methods. *J. Hazard Mater.*, 172: 1244–1251.
 Tlustoš, P., Száková, J., Vyslouzilová, M., Pavlíková, D., Weger, J., and Javorská, H. (2007) Variation in the uptake of Arsenic, Cadmium, Lead, and Zinc by different species of willows *Salix* spp. grown in contaminated soils. *Central Eur. J. Biol.*, 2: 254–275.
 Trakal, L., Neuberg, M., Tlustoš, P., Száková, J., Tejnecký, V., and Drábek, O. (2011) Dolomite limestone application as a chemical immobilization of metal contaminated soil. *Plant Soil Environ.*, 57: 173–179.
 Vyslouzilová, M., Tlustoš, P., Száková, J., and Pavlíková, D. (2003) As, Cd, Pb and Zn uptake by different *Salix* spp. grown at soils enriched by high loads of these elements. *Plant Soil Environ.*, 49: 191–196.
 Zbíral, J. (2000) Determination of phosphorus in calcareous soils by Mehlich 3, Mehlich 2, CAL, and Egner extractants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 31: 3037–3048.
 Zimmer, D., Baum, C., Leinweber, P., Hryniewicz, K., and Meissner, R. (2009) Associated bacteria increase the phytoextraction of cadmium and zinc from a metalcontaminated soil by mycorrhizal willows. *Int. J. Phytoremediat.*, 11: 200–213.

Monitoring of Al, Fe and Mn transport in contaminated soil after phytoremediation (Trkal, L.)

Keywords

column experiment – phytoremediation – risk elements – exchangeable content – willow (*Salix × smithiana*)

NOVÉ POZNATKY Z KALIBRACE ATYPICKÝCH MĚŘIDEL A VLIVU TEPLoty VODY PŘI KALIBRACI V ČESKÉ KALIBRAČNÍ STANICI VODOMĚRNÝCH VRTULÍ

Daniel Mattas, Libuše Ramešová

Ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v.v.i., je v činnosti Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí (ČKSVV). Kalibrace vodoměrných vrtulí se zde provádí od roku 1930 nepřetržitě dodnes. Stanice je jedinou a unikátním akreditovaným pracovištěm v celé České republice. ČKSVV se svým vybavením (otevřená přímá nádrž o rozměrech 250 x 2,5 m s hloubkou vody 1,8 m; kalibrační vozík s pracovním rozsahem rychlostí pojezdu 0–10 m.s⁻¹) řadí na jedno z předních míst v Evropě.

Několik stručných informací o vzniku a zařízení této kalibrační stanice:

V roce 1930 byl ve Státním výzkumném ústavu hydrotechnickém v Praze-Podbabě (předchůdce Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i.) uveden do provozu velký víceúčelový pokusný žlab napájený říční vodou z plavebního kanálu Troja-Podbaba. Celková délka velkého pokusného žlabu sestávajícího z vtokových objektů, vyrovnávací trati, vlastního pokusného žlabu, měrné nádrže a zaústění odpadu ze žlabu do Vltavy pod plavebními komorami v Podbabě dosahuje cca 250 m.



Obr. 1. Průhled do kalibračního žlabu s kalibračním vozíkem
Fig. 1. View of calibration tank with the trolley



Obr. 2. Elektromagnetické měřidlo připravené ke kalibraci
Fig. 2. Electromagnetic flow meter prepared for calibration

A column experiment situated under greenhouse conditions was implemented in order to assess willow efficiency in the soil for phytoremediation and to evaluate the transport of Al, Fe and Mn through the soil profile. Two scenarios were compared: soil column without vegetation and with planted willows (each in five replicates). Basic soil characteristics, “(bio)available” content of monitored risk elements and total risk element content in the willow tissues were determined. Additionally, a soil leachate was monitored over a period of time. The main findings of this study showed significant decrease of Al, Fe and Mn transport through the soil profile in the presence of willow (*Salix × smithiana*). Additionally, Mn was accumulated predominantly into the willow leaves. Al and Fe were accumulated mainly in the roots. Furthermore, results showed synergic behaviour of Al and Fe in the soil (leaching process was equal for these two elements).

Pro kalibraci vodoměrných vrtulí se používá úsek (obr. 1) oddělený od ostatních částí žlabu stavidlovými uzávěry vzdálenými od sebe 182,6 m. Žlab má svislé stěny, jeho dno je ve spádu 0,4 ‰. Hloubka žlabu je na konci 2,130 m (u stavidla na konci žlabu) a na začátku 2,057 m (u regulačního stavidla). Hloubky vody jsou pak o 0,30 m menší než hloubky žlabu, to znamená, že na konci žlabu je hloubka vody 1,830 m a na začátku žlabu 1,757 m. Šířka žlabu je 2,500 m a je stejná po celé délce 182,6 m. Jedná se tedy o přímou otevřenou nádrž o objemu vody 818,7 m³.

Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí je akreditovanou kalibrační laboratoří, která svým zákazníkům poskytuje služby spočívající v kalibraci vodoměrných vrtulí a dalších přístrojů měřících bodovou rychlost proudění (zejména elektromagnetických měřidel), které lze kalibrovat v souladu s normou ČSN ISO 3455 Měření průtoků v otevřených korytech – Kalibrace vodoměrných vrtulí s rotačním prvkem v přímých otevřených nádržích.

V této souvislosti bychom chtěli upozornit, že její nejnovější verze z roku 2007 oproti verzi národní, založené na původním znění z roku 1976, již jmenovitě uvádí i kalibraci měřidel elektromagnetických.

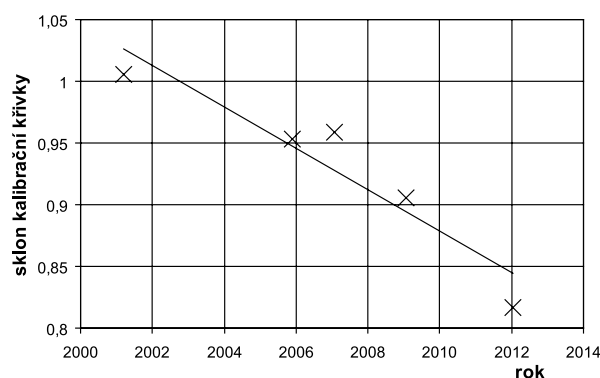
U kalibrace elektromagnetických měřidel (příklad měřidla viz obr. 2) bychom se chtěli zastavit. Tyto přístroje jsou v poslední době stále oblíbenější – je to vcelku pochopitelné, protože ve srovnání s klasickou vrtulí mají řadu výhod. Nemají pohyblivé části, takže je s nimi možno měřit i ve vodách nesoucích větší množství rozměrnějších nečistot (např. ve stokách) nebo mezi vodní vegetací, dovoluji i měření rychlostí natolik nízkých, že standardní vrtule je již není schopna registrovat, jejich údržba je ve srovnání s vrtulí jednodušší a méně náročná a v neposlední řadě displej měřidla udává přímo měřenou rychlost, bez nutnosti jejího výpočtu z kalibrační rovnice. Na druhou stranu je jejich kalibrace náročnější než kalibrace klasických vrtulí, protože – s ohledem na nutnost odečítání měřených rychlostí přímo z displeje měřidla – je nelze kalibrovat v automatickém režimu, ale je nutná ruční obsluha kalibračního vozíku.

Několik málo majitelů těchto měřidel je nechává kalibrovat pravidelně. Zde je zajímavé, že u některých přístrojů se poměrně výrazně projevuje pravděpodobně vliv stárnutí; např. u jednoho z nich došlo za 11 let ke změně sklonu kalibrační křivky z hodnoty 1,0058 na hodnotu 0,8164 (obr. 3), tedy velmi podstatně. Podobně další měřidlo bylo již při první kalibraci v ČKSVV dosti vychýlené. Na obr. 4 uvádíme pro ilustraci jeho kalibrační graf – je zřejmé, že chyba dosahuje hodnoty téměř 8 %. Nutno však poznamenat, že nevíme, jak dlouho před kalibrací bylo toto měřidlo vyrobeno či užíváno.

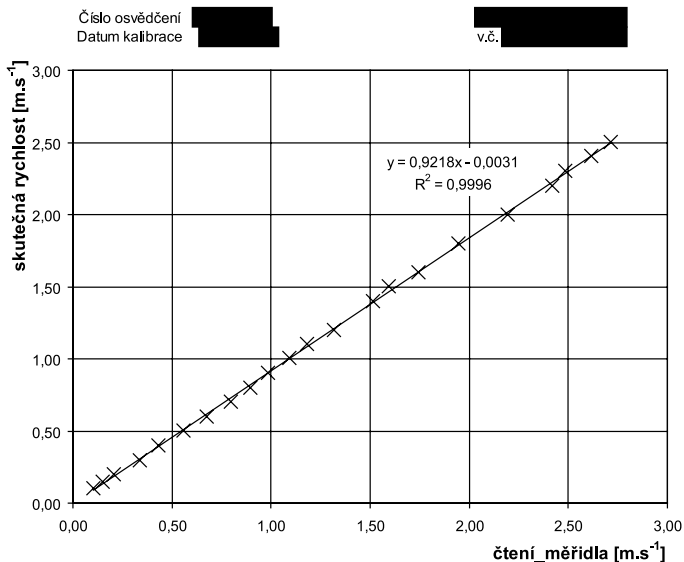
Z těchto empirických poznatků i přes to, že jsou doposud značně kusé, či spíše ojedinělé, jednoznačně vyplývá, že i indukční (elektromagnetická) měřidla je nutné, má-li být měření správné, pravidelně kalibrovat a nelze se spoléhat na to, že vyhodnocovací jednotka přístroje pracuje správně a beze změny i v delším časovém úseku.

V současné době se zabýváme – kromě rutinních činností – též problematikou vlivu teploty na výsledky kalibrace. ČKSVV má totiž mezi ostatními kalibračními laboratořemi tohoto druhu značně specifické postavení. Kalibrační nádrž (ve skutečnosti velký hydraulický žlab o šířce 2,5 m a hloubce vody 1,8 m využitelné délky 152,5 m) je napájena vodou z Vltavy, takže teplota vody během roku kolísá v poměrně širokých mezích, ca od 1 do 22 °C. V rámci literární rešerše jsme našli jedinou práci, která se tímto problémem zabývá, ale z našeho

Změna sklonu kalibrační křivky v čase



Obr. 3. Změna sklonu kalibrační křivky elektromagnetického měřidla v čase
Fig. 3. Time change of slope of the calibration relation of an electromagnetic flow meter



Obr. 4. Kalibrační graf elektromagnetického měřidla s vychýlenými údaji
Fig. 4. Calibration graph of electromagnetic flow meter with biased reading

pohledu má značné slabiny. Proto jsme z archivu ČKSVV vybrali více vrtulí – zatím pouze typu Ott C-2 – které byly v posledních letech kalibrovány s různými propelery za různých teplot (s každým propelerem nejméně třikrát) a u nichž je předpoklad řádné údržby.

Výběrem následně prošlo osm vrtulí s propelery typu 1, 2, 3, 5 a 6 (pro propeler typu 4 nebyl dostatek dat), přičemž ale ne všechny vrtule byly kalibrovány se všemi propelery. Počet kalibrací je pro propeler 1 celkem 59, pro propeler 2 celkem 83, pro propeler 3 celkem 61, pro propeler 5 celkem 60 a pro propeler 6 celkem 54. Tyto počty měření by již měly dovolit poměrně spolehlivé statistické zpracování výsledků.

Z předběžných výsledků zatím vyplývá, že vliv teploty se skutečně projevuje, přičemž ale pro každý typ propeleru je jeho velikost poněkud jiná. Současně se ukazuje, že (s jedinou výjimkou, jejíž příčinu zatím nejsme schopni objasnit) je u všech propelerů téhož typu vliv teploty prakticky totožný (obr. 5).

Kromě těchto v zásadě jen kvalitativních poznatků se snažíme též o kvantifikaci vlivu teploty pro jednotlivé typy propelerů. Zatím největším problémem bylo nalezení vhodného empirického modelu. Po řadě pokusů se ukázalo, že závislost rychlosti v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] na teplotě t [$^{\circ}\text{C}$] při daných specifických otáčkách vrtule n [s^{-1}] poměrně nejlépe vystihuje velmi jednoduchý model

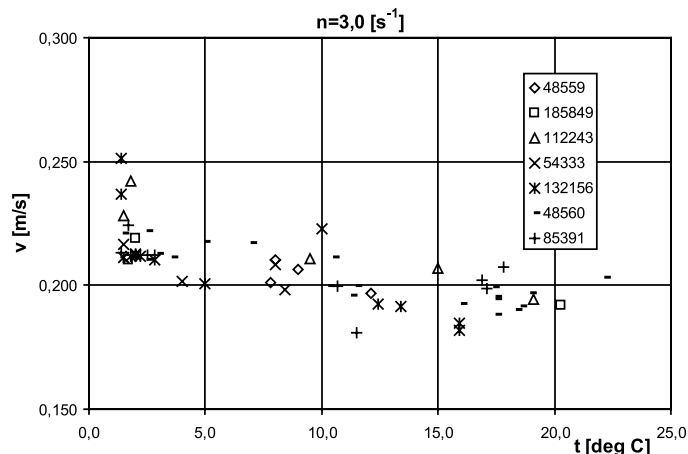
$$v = a + \frac{b}{t}$$

kde a a b jsou regresní konstanty (obr. 6). Jsme si vědomi toho, že tento model je z fyzikálního hlediska pochybný – pro teploty blízké 0 rostou hodnoty rychlosti nade všechny meze. Přesto ale pro teploty větší než 1°C dává reálné hodnoty a poměrně dobře vystihuje průběh dat, přičemž je zatím ve všech případech statisticky významný (což neplatilo o složitějších víceparametrických modelech).

Z dosavadních výsledků se zdá, že vliv teploty je prakticky zanedbatelný při teplotách větších než $5-7^{\circ}\text{C}$, při teplotách nižších asi bude postačovat jeho vliv zohlednit ve výpočtu nejistoty průtoku (podle ČSN ISO 748) uvažováním poněkud vyšší nejistoty kalibračních konstant (tabulka E.5 přílohy ČSN ISO 748).

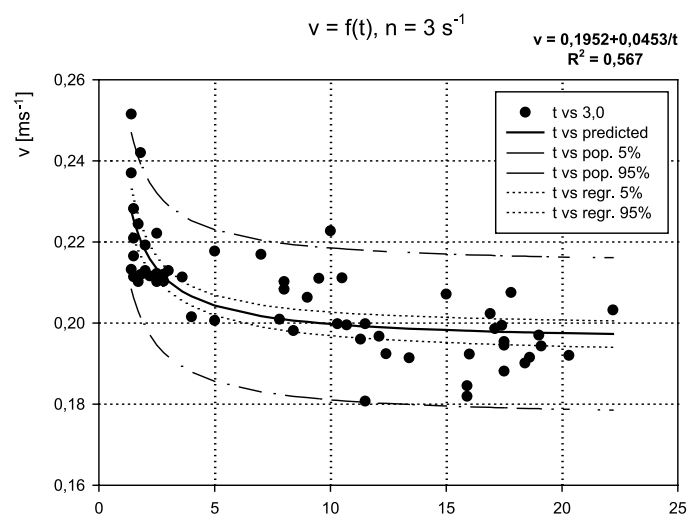
Výsledky budeme po dokončení všech prací publikovat v některém odborném časopise.

Ing. Daniel Mattas, CSc., Ing. Libuše Ramešová
VÚV TGM, v.v.i., Praha
Daniel_Mattas@vuv.cz, Libuše_Ramešová@vuv.cz



Obr. 5. Vztah $v = f(t)$ při specifických otáčkách vrtule $n = 3 \text{ s}^{-1}$ pro všechny vybrané vrtule s propelerem typu 1

Fig. 5. Relation $v = f(t)$ at rotational frequency $n = 3 \text{ s}^{-1}$ for all chosen current meters with impeller of type 1



Obr. 6. Statistické zpracování dat regresní analýzou – propeler typu 1
Fig. 6. Statistical evaluation of data by regression analysis – impeller of type 1

New findings in calibration of current meters and influence of water temperature during calibration in the Czech Calibration Station for Current Meters (Mattas, D.; Ramešová, L.)

Czech Calibration Station for Current Meters is operating in T. G. Masaryk Water Research Institute in Prague since 1930. It obtained the national accreditation and by its technical equipment it ranks among the best current-meters calibration laboratories in Europe. During calibration of electromagnetic current meters, new important findings were made. Another interesting topic is a research of an influence of water temperature on the result of the calibration.

VTEI VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Water Management Technical and Economical Information

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti
vodního hospodářství

Redakční rada: RNDr. D. Baudišová, Ph.D., Ing. Š. Blažková, DrSc.,
Ing. P. Bouška, Ph.D., prof. Ing. A. Grünwald, CSc., doc. Ing. A. Havlík, CSc.,
prof. Ing. P. Pitter, DrSc., prof. RNDr. A. Sládečková, CSc.,
prof. Ing. J. Zezulák, DrSc.

Ročník 54

ISSN 0322 - 8916
MK ČR 6365

VÚV
TGM

Výzkumný ústav vodohospodářský
T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30
160 00 Praha 6
IČO 00020711

Kontakt: Mgr. S. Garciova
tel.: 220 197 282, e-mail: garciova@vuv.cz