

# Identifikace plošného zemědělského znečištění s využitím termografického snímkování

ŠTĚPÁN MARVAL, TOMÁŠ HEJDUK, ANTONÍN ZAJÍČEK, TOMÁŠ VYBÍRAL,  
RADEK ROUB, MARKÉTA KAPLICKÁ

**Klíčová slova:** jakost vody — teplota vody — zdroj znečištění — stavba odvodnění — drenážní výúst

## SOUHRN

Sledování jakosti vody v České republice (ČR) nemá tak dlouhou tradici jako sledování jejího množství, a to i přesto, že pro společnost, průmysl i zemědělství je kvalita vodních zdrojů strategická. Pro šíření znečištění ze zemědělské činnosti je významný podpovrchový odtok. S podpovrchovým (drenážním) odtokem je spojováno především vyplavování dusičnanů, pesticidů a dalších ve vodě rozpustných látek (fosforečnany) aplikovaných na zemědělskou půdu. Stavby zemědělského odvodnění byly v minulosti budovány za účelem podpory a rozvoje zemědělství. Jejich tradice v ČR sahají do konce 19. století, nejintenzivněji však byly realizovány v období do 2. světové války, později pak v letech 1960–1990. Odvodňovací stavby na zemědělských pozemcích byly navrhovány jako jednoúčelové k odvádění přebytku vody z pozemku. Se zvyšujícím se výskytem hydrologických extrémů (zejména sucha, ale i přívalových dešťů) je jejich funkce v některých obdobích kontraproduktivní. Proto jsou v současné době přijímána opatření na drenážních systémech či v jejich návaznosti, která mohou zmírnit a eliminovat dopady obou hydrologických extrémů. Pro návrhy opatření, která stávající jednoúčelovou funkci odvodňovacích systémů rozšíří či jejich negativní efekty minimalizují (drenážní biofiltry, umělé mokřady a tůně na drenážních výústích, regulační drenáže), je však nutná znalost umístění dílčích prvků plošného odvodnění, především drenážních výústí. Informaci o umístění drenážní výusti lze získat dohledáním, naskenováním a následnou orto-rektifikací podrobných situací staveb zemědělského odvodnění. Tento postup však není možné aplikovat vždy, protože v období majetkových transformací v devadesátých letech 20. století byla značná část podkladů ztracena nebo zničena. Z těchto důvodů bylo testováno termografické snímkování jako nová metoda pro identifikaci drenážních výústí. Předpokladem pro její užití je skutečnost, že teplota drenážní vody a teplota vody v povrchovém toku jsou odlišné, zejména v létě a v zimě. Termografickým snímkováním po délce vodního toku lze identifikovat oblasti s náhlou změnou teploty, která identifikují místa přítoku vody do vodního toku. Na základě získaných výsledků lze tvrdit, že termografie představuje užitečnou metodu k identifikaci drenážních výústí.

## ÚVOD

Plocha provedených odvodnění dosahuje na celém světě podle dostupných zdrojů více než 200 milionů hektarů zemědělské půdy [1]. V České republice bylo odvodněno celkem 1 016 500 ha, což představuje více než 25 % zemědělské půdy [2]. Drenážní systémy jsou v ČR obvykle koncipovány jako kombinace podrobného odvodňovacího zařízení (POZ), nejčastěji v podobě plošné

podpovrchové trubkové drenáže (záchytné, sběrné a svodné drény), která je zaústěna do povrchových nebo zatrubněných hlavních odvodňovacích zařízení (HOZ) nebo přímo do drobných vodních toků (DVT). Odtok z drenážních systémů představuje zároveň v podmínkách České republiky jeden z hlavních zdrojů podpovrchového plošného znečištění vod. Drenážním odtokem dochází zejména k vyplavování dusičnanů, některých pesticidů a jejich metabolitů i dalších látek rozpustných ve vodě. Množství látek vyplavované z půdy drenážními systémy je přímo úměrné k velikosti a dynamice odtoku vody [3].

Drenážní systémy obecně urychlují odtok z povodí. Dynamika koncentrací většiny látek je v drenážních vodách velmi proměnlivá. Drenážní vody mohou mít pro jednotlivé složky odtoku značnou časovou variabilitu ve vazbě na průběh počasí, půdní a hydrogeologické podmínky povodí, nasycenost půdního profilu, dobu a intenzitu aplikace hnojiv, biochemické reakce v půdním prostředí, způsob využití území a jeho morfologii. Klíčový je tedy původ vody a cesty jejího odtoku do odvodňovacího systému [4–6].

Zabránit zhoršování stavu povrchových i podzemních vod a zlepšení jejich jakostního i kvantitativního stavu je cílem Rámcové směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Plánování v oblasti vod je rozděleno do tří šestiletých období. Plošné zemědělské zdroje znečištění vod však v rámci předchozích dvou plánovacích období v oblasti vod nebyly analyzovány ani hodnoceny. Problematika hodnocení stavu vodních útvarů z hlediska vlivu plošných zemědělských zdrojů znečištění zůstala v procesu plánování v oblasti vod dosud téměř neřešena [7]. Třetí plánovací období probíhá od počátku roku 2016 do roku 2021 a realizace opatření třetího plánovacího období bude probíhat v letech 2022 až 2027. Pro efektivní návrhy opatření, které bude možné promítnout do třetího plánovacího období, musí být proto charakteristický multifunkční přínos. Navržená opatření musí nejen zajistit funkčnost staveb odvodnění zamokřených zemědělských pozemků, ale zároveň také vytvářet zásoby vody pro letní období a tím snižovat rizika i dopady výskytu sucha agronomického, případně hydrologického [8]. Navržená opatření rovněž kromě aspektů optimalizace vodního režimu zemědělských pozemků, tj. eliminace hydrologických extrémů, musí přispět ke zlepšení samotné jakosti drenážních vod. Opatření musí být zaměřena především na snížení odnosu živin a dalších polutantů z povodí prostřednictvím zemědělského odvodnění [9–11].

Kvalita provedených návrhů opatření vychází z detailní znalosti řešeného území, jehož důležitou součástí je znalost umístění dílčích prvků plošného odvodnění, především drenážních výústí.

Odtok z drenáže se soustřeďuje prostřednictvím svodných drénů k drenážním výústím. V drenážních soustavách v ČR se běžně vyskytují drenážní výusti v místech vyústění svodných drénů do odpadových příkopů, kanálů či

vodních toků [1]. Historicky znamenala realizace zvýšeného počtu drenážních výustí rovněž zvýšení stavebních nákladů. Z tohoto důvodu bylo drenážních výustí realizováno co nejméně, a sice zpravidla jedna pro každou drenážní skupinu [1]. Mezi požadavky na konstrukční řešení drenážních výustí patří zajištění volného odtoku drenážní vody, odpovídající nákladovost, trvanlivost a jasné označení. Právě jasná identifikace v terénu s ohledem na stáří realizovaných staveb odvodnění představuje zásadní problém pro návrhy opatření na drenážních systémech a samotných drenážních výustích. Dochované projektové dokumentace jednotlivých staveb zemědělského odvodnění vyžadují navazující pokročilé zpracování pro přibližnou lokalizaci drenážní výusti (navazujících prvků odvodnění). Jedná se především o nutné skenování dochovaných situací staveb odvodnění, jejich následnou rektifikaci a navazující digitalizaci. Výše popsané činnosti však často nevedou k úspěšné identifikaci drenážní výusti v terénu (realizace stavby často nebyla prováděna v souladu s projektovou dokumentací či drenážní výust' byla poškozena). Část situací staveb zemědělského odvodnění také není dochována. V tomto případě se nabízí jako jedna z možných metod identifikace drenážních výustí za pomoci termografického snímkování.

V současné době je v termografii aktuální zejména dílčí disciplína v podobě termografické diagnostiky, která měří charakteristiku vyzařování tepla za účelem zjištění výskytu poruchy, znečištění nebo nemoci. Jedná se o typ infračerveného zobrazování, které detekuje intenzitu tepelného záření v rozsahu elektromagnetického spektra pro vytvoření obrazu – termogramu [12]. Nástroje a poznatky z oboru termografie lze využít jako alternativní přístup pro identifikaci drenážních výustí.

V zahraničí se již podobný výzkum uskutečnil, byl však zaměřen primárně na identifikaci potenciálních zdrojů znečištění. Příkladnými studiemi jsou např. [13–15], kde se autoři věnovali možnostem aplikace nových metod pro odhalování a vyhodnocování kontaminace pobřežních vod s využitím leteckých platform termografie, řady pokročilých termovizních kamer a nového detekčního softwaru.

Hydrografická síť (vodní toky vč. hlavních odvodňovacích zařízení) je považována za hlavní proměnnou, která ovlivňuje rozmanitost (hydrologickou, biologickou či produkční – zemědělskou složku) v samotném vodním toku, ale i v celé navazující ploše povodí. V současnosti je jen málo známo o tepelné heterogenitě včetně jejich účincích na jakostní ukazatele vody či vodní biotu. Dynamikou a vlivem tepelného znečištění na vodní ekosystém se pomocí technik dálkového průzkumu Země příkladně zabýval ve své studii autor Tonolla a kol. [16]. Složení, uspořádání a stupeň hydrologické propojenosti těchto biotopů určuje stabilitu vodního prostředí a ekosystémové procesy [17, 18].

V oboru vodního hospodářství lze s využitím metod termografického snímkování diagnostikovat místa ve vodních tocích či nádržích se zvýšenou teplotou, která mohou mít negativní dopad na ekologickou stabilitu lokality [19], případně kompletně modelovat teplotní režim vodních toků [20]. Na základě rozdílné teploty mezi povrchovou a podpovrchovou vodou je také možná identifikace vyvěrajících pramenů vody [21]. Pramenné vývěry jsou potenciálně zaměnitelné za drenážní výusti a pro stanovení jakosti daného vývěru je zapotřebí laboratorní ověření, jelikož nutně nepodléhá plošnému zemědělskému znečištění. Právě navazující oblastí využití termografie, tedy identifikací teplotních rozdílů mezi vodními toky (nádržemi) a drenážními vodami, se detailně zabývá představovaný výzkum. Cílem tohoto příspěvku je prezentovat dosažené poznatky z využití termografické metody pro identifikaci míst vtoku drenážních vod do recipientu (drenážních výustí) a zároveň představit zjištěné nesoulady mezi dochovanými situačními výkresy projektových dokumentací vybraných staveb zemědělského odvodnění a reálným stavem zjištěným z výsledků termografického snímkování.

## METODIKA

V rámci představeného výzkumu bylo využito pozemní termografické měření. Pomocí termovizní kamery byly snímkovány oblasti předpokládaných drenážních výustí do vodních toků, hlavních odvodňovacích zařízení či malých vodních nádrží. Na základě rozdílů v teplotě vody byly identifikovány konkrétní polohy drenážních výustí. Konkrétní lokalizace drenážní výusti byla zaměřena a posléze porovnána s podklady z projektových dokumentací odvodňovací stavby.

Základní myšlenka, která stojí za tímto výzkumem, je rozšířit možnosti využití termografického snímkování od detekce tepelného znečištění k detekci znečištění vod v obecném slova smyslu. Pro úspěšné využití termografie k detekci vstupu znečištění do povrchových vod musí být zároveň splněny dva předpoklady. Prvním předpokladem je, že teplota vody podpovrchového odtoku (drenážního) odtoku se bude lišit od teploty vody odtoku povrchového. Druhým předpokladem je, že se liší koncentrace látek v drenážním a povrchovém odtoku. Vzhledem ke skutečnosti, že teplota drenážní vody vykazuje menší rozdíly mezi letním a zimním obdobím a na změnu teploty vzduchu reaguje se zpožděním oproti povrchovému odtoku [22] a zároveň koncentrace pro drenážní odtok charakteristických polutantů bývají v drenážních vodách vyšší než v povrchovém odtoku [6, 9], termografické snímkování by mohlo umožnit identifikaci vtoku drenážních vod i znečištění drenážním odtokem vnášené. Dále by využití termografického snímkování mohlo poskytnout jednoduchou vizualizaci a popis jeho prostorového rozložení a přispět tak ke snazšímu určení příčin znečištění, respektive lokalizovat místa pro návrh vhodných opatření.

## Přístrojové vybavení

V rámci pozemního termografického měření bylo testováno využití termografických kamer FLUKE – TiS20 (obr. 1) a FLIR řady E6 (obr. 2).

### TERMOGRAFICKÁ KAMERA FLUKE – TiS20 SE VYZNAČUJE NÁSLEDUJÍCÍ ZÁKLADNÍ SPECIFIKACÍ



- rozlišení 120 × 90 pixelu,
- obnovovací frekvence 9 Hz,
- rozsah měření teploty -20 °C až +350 °C (-4 °F až 662 °F),
- prostorové rozlišení (IFOV) 5,2 mRad,
- zorné pole 35,7° × 26,8°,
- rozměry (V × Š × D): 26,7 × 10,1 × 14,5 cm,
- hmotnost 720 g.

Obr. 1. Termografická kamera FLUKE – TiS20

Fig. 1. FLUKE – TiS20 Thermal Imaging Camera

Jedná se o základní termokameru pro měření rozložení teplot. Samotné získání dat probíhá zaměřením na snímávaný objekt a stisknutím „spouště“ pro pořízení termogramu. Kamera je vybavena funkcí prolínání IR-Fusion® – kdy jsou do samotného termogramu prolunuty hrany získané z optického snímku, což napomáhá snazší orientaci v pořízeném termogramu a identifikaci klíčových detailů. Termokamera disponuje displejem LCD 3,5" 320 × 240, přičemž je doplněna o digitální fotoaparát s rozlišením 5 Mpx.

## TERMOGRAFICKÁ KAMERA FLIR E6 SE VYZNAČUJE NÁSLEDUJÍCÍ ZÁKLADNÍ SPECIFIKACÍ



- rozlišení 160 × 120 pixelu,
- obnovovací frekvence 9 Hz,
- rozsah měření teploty -20 °C až +250 °C (-4 °F až 482 °F),
- prostorové rozlišení (IFOV) 5,2 mRad,
- zorné pole 45° × 34°,
- rozměry (V × Š × D): 24,4 × 9,5 × 14 cm,
- hmotnost 575 g.

Obr. 2. Termografická kamera FLIR E6  
Fig. 2. FLIR E6 Thermal Imaging Camera

Termokamery FLIR řady Ex, tj. konkrétně termokamery FLIR E4, FLIR E5, FLIR E6, jsou určeny pro všeobecné použití ve stavebnictví i průmyslu. Jsou vhodné i pro termografickou analýzu povrchových vod a identifikaci drenážních výústí. Všechny termokamery této řady jsou plně kompatibilní se softwarem FLIR TOOLS a FLIR TOOLS+ s možností analýzy jednotlivých snímků. Součástí kamery je vestavěný digitální fotoaparát, který umožňuje pořízení fotografie zároveň s termogramem. Největší rozdíl mezi testovanými kamerami je, že termokamera FLIR E6 disponuje funkcí detekce hran snímaného objektu (IR-Fusion®).

## Pilotní lokality a termografické kampaně

Výzkum zaměřený na využití termografického snímání pro potřeby identifikace drenážních výústí probíhal v letech 2018–2019. Jednalo se o jednu měřickou kampaň zaměřenou obecně na identifikaci bodových zdrojů znečištění a o další dvě měřické kampaně pozemního termografického snímání, které byly speciálně zaměřené na identifikaci drenážních výústí. Dané kampaně probíhaly v termínech 17. 12. 2018 (lokality Rokytka a Kunratického potoka) a 15. 1. 2019 (lokality Dolského potoka v povodí Žejbra). Z důvodu špatného stavu projektové dokumentace a rozvíjející se zástavbě (zejména na hydrologicky souvisejícím území Prahy) bylo v rámci dvou kampaní provedeno ověření daného přístupu celkem na pěti vybraných lokalitách (pěti vybraných stavbách zemědělského odvodnění). Vzhledem k výše uvedeným předpokladům pro efektivní využití termografického snímání za účelem identifikace drenážních výústí byly kampaně provedeny v zimním období, kdy je z dlouhodobých měření teplot drenážní vody patrné, že se její teplota v zimním období pohybuje okolo 5 °C [22, 23]. Pro vyhodnocení termografických snímků drenážních výústí byla zvolena barevná paleta s názvem rainbow HC, jež je prezentována na obr. 3. Barevná stupnice rainbow HC byla zvolena především z důvodu vysoké citlivosti na změnu teploty.

Nejvyšší teploty jsou vždy prezentovány bílou barvou, nejnižší teploty barvou černou. Jednotlivé termogramy jsou vyhodnoceny automaticky, tedy nebyly sjednoceny na stejnou teplotní škálu. Z tohoto důvodu se u každého termogramu teploty liší, ačkoli mohou vypadat podobně.

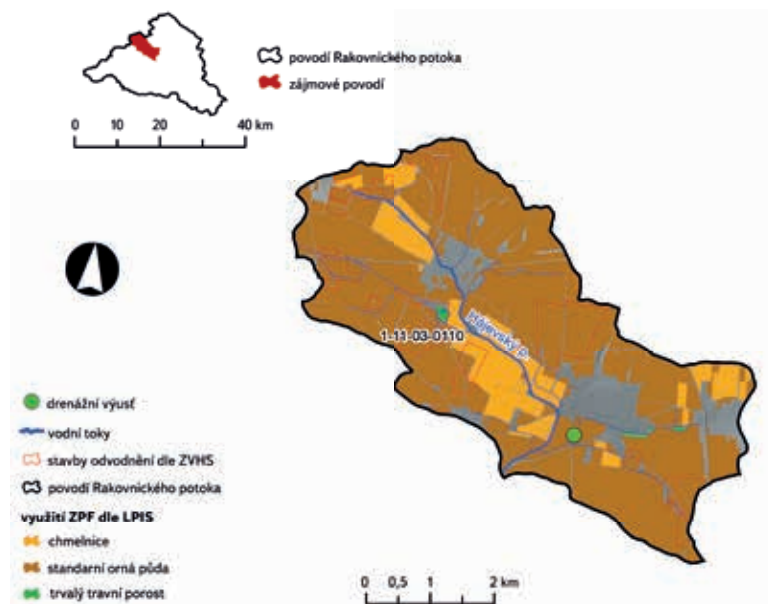


Obr. 3. Barevná škála rainbow HC  
Fig. 3. Rainbow HC Thermal Palette

## Povodí Rakovnického potoka

V povodí Rakovnického potoka proběhlo dne 13. 12. 2018 termografické snímání, které bylo vázáno primárně na identifikaci bodových zdrojů znečištění, především na bodové zdroje znečištění evidované v databázi správců Povodí (Povodí Vltavy, státní podnik) – objekty vypouštění. Hlavní poznatky z termografické kampaně byly prezentovány v článku Marvala a kol. [24]. V rámci této kampaně byla identifikována v povodí Hájevského potoka (obr. 4) v lokalitě Kněževes, kromě definovaného objektu vypouštění (čistírna odpadních vod), rovněž drenážní výúst. Daná drenážní výúst (obr. 5) nebyla na první pohled patrná a její identifikace a lokalizace proběhla pouze díky využití termografické kamery. Povodí Hájevského potoka (22,8 km<sup>2</sup>) se nachází na severozápadním okraji Středočeského kraje. Jedná se o intenzivně zemědělsky využívané povodí, přičemž standardní orná půda zabírá 70,6 % území a chmelnice se rozléhají na 12,8 % plochy povodí. Odvodněná plocha se podle vrstvy bývalé Zemědělské vodohospodářské správy (ZVHS) rozléhá na cca 2,5 km<sup>2</sup>, což činí 11,0 % celkové plochy povodí. Nalezená drenážní výúst byla identifikována náhodně, aniž by předem bylo zřejmé, že se na daném území drenážní stavba nachází. Vrstva odvodnění podle bývalé ZVHS takovouto stavbu nereflakuje, což je zřejmé z obr. 4. Stejně tak není zachován prováděcí výkres stavby odvodnění ve spisové a archivní dokumentaci bývalých pracovišť ZVHS, která se nachází ve spisovně Povodí Vltavy, s. p., na vodním díle Orlík.

Získaný poznatek vyvolal potřebu navazujících měřických kampaní, které již byly primárně zaměřeny na možnou identifikaci drenážních výúst pomocí termografického snímání. S přihlédnutím k nejistotě dosažených poznatků a možnostem využití termokamery v oboru vodního hospodářství byla první kampaň provedena zapůjčenou termokamerou FLUKE – TiS20. V návaznosti na nově získané poznatky v první termografické kampani byl pro druhou a třetí kampaň zajištěn obdobný model termokamery (FLIR E6).



Obr. 4. Pilotní lokalita – povodí Hájevského potoka  
Fig. 4. The pilot location – the Hájevský stream catchment

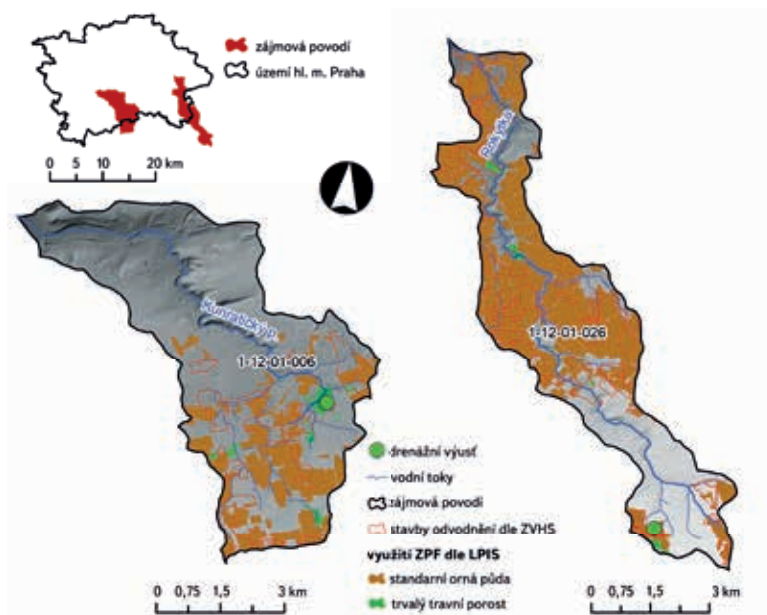


Obr. 5. Identifikovaná drenážní výúst (DVI) v povodí Hájevského potoka  
Fig. 5. The identified drainage outlet in the Hájevský stream catchment

## Povodí Kunratického potoka a Rokytky

Pro ověření možnosti identifikace drenážních výústí termografickou kamerou byly na základě dostupnosti podkladů ke stavbám odvodnění (data odvodnění – ZVHS, projektové dokumentace a situace staveb zemědělského odvodnění) vybrány další lokality, kde byly provedeny částečné termografické kampaně. Mimo povodí Hájevského potoka byly částečně monitorovány další lokality plošného zemědělského odvodnění na vybraných povodích IV. řádu. Jednou z nich byla povodí v hydrologicky souvisejícím území Prahy. Konkrétně se jednalo o povodí Kunratického potoka (ČHP 1-12-01-006) a horní povodí Rokytky k Běchovicím (ČHP 1-12-01-026).

Pro hydrologicky související území Prahy, tj. území, ze kterého přitéká povrchová voda na území Prahy (vyjma povodí Vltavy a Berounky), jsou v současnosti digitalizována data o plošném zemědělském odvodnění. Tato aktivita probíhá v rámci projektu s názvem „Nástroje pro efektivní a bezpečné hospodaření se srážkovou vodou na území Prahy – RainPRAGUE“ podpořeným Operačním programem – Praha pól růstu. Na podkladě poskytnutých prováděcích situačních výkresů staveb zemědělského odvodnění od spisovny Povodí Vltavy, s. p., pro hydrologicky související území Prahy byly vytipovány drenážní výústí pro navazující ověření v terénu. Na předem určených místech poté probíhalo ověření možnosti identifikace drenážních výústí pomocí termografického snímkování. Bližší specifikace pilotních lokalit v okolí hl. m. Prahy je uvedena na obr. 6.

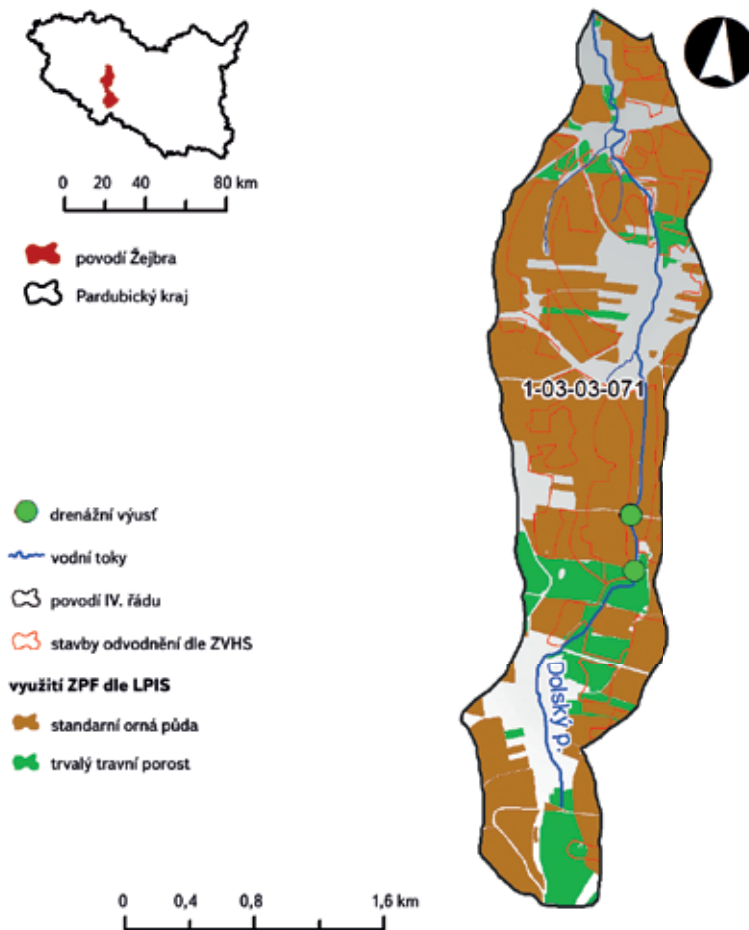


Obr. 6. Pilotní lokality – povodí Kunratického potoka a horní část povodí vodního toku Rokytky

Fig. 6. The pilot location – the Kunratický stream catchment and the upper part of the Rokytky catchment

## Povodí Žejbro

Třetí lokalitou pro ověření možnosti identifikace drenážních výústí byla vybrána dvě povodí IV. řádu v povodí vodního toku Žejbra. Jedná se o dlouhodobě sledovanou lokalitu Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd, v. v. i., (VÚMOP) pro řešení problematiky plošného zemědělského odvodnění. Na této lokalitě má VÚMOP zajištěné a ortorektifikované prováděcí výkresy staveb zemědělského odvodnění, na jejichž základě byly v minulosti identifikované drenážní výústí. V rámci provedené termografické kampaně byly tyto výústí využité pro ověření jejich identifikace pomocí termografického snímkování. Lokality v povodí vodního toku Žejbro jsou blíže specifikovány na obr. 7.



Obr. 7. Pilotní lokality – povodí Dolského potoka

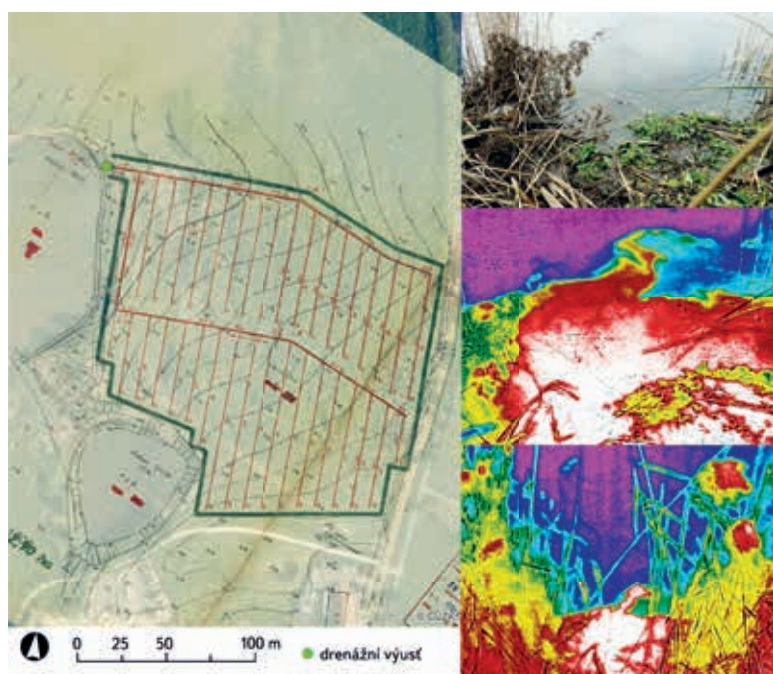
Fig. 7. The pilot location – the Hájevský stream catchment

## VÝSLEDKY

Dosažené výsledky jsou prezentovány formou rektifikovaného situačního výkresu stavby odvodnění v kombinaci s pořízenými termogramy doplněné o RGB snímky. Teploty vody a její rozdíly v jednotlivých měřených lokalitách v místech drenážních výústí a nad přítokem drenážní vody jsou prezentovány prostřednictvím *tabulky 1*, kde jsou uvedeny konkrétní teploty zajištěné prostřednictvím ručního referenčního měření.

Tabulka 1. Teplota na měřených drenážních výústích a recipientu (přítok/nad přítokem)  
Table 1. Temperatures of the drainage outlet and the recipient

Povodí	ČHP povodí	Datum	Označení	Recipient	Teplota recipientu [°C]	Teplota přítoku [°C]	Rozdíl teplot [°C]
Hájevského potoka	1-11-03-0110	12/13/2018	DV1	HOZ	3,1	7,6	4,5
Kunratického potoka	1-12-01-006	12/17/2018	DV2	rybník Jordán (Nový Šeberov)	0,0	5,7	5,7
Rokytky	1-12-01-026	12/17/2018	DV3	HOZ	7,0	3,1	3,9
Dolského potoka	1-03-03-071	1/15/2019	DV4	Dolský potok	2,0	6,3	4,3
Dolského potoka	1-03-03-072	1/15/2019	DV5	Dolský potok	1,5	6,3	4,8
Dolského potoka	1-03-03-072	1/15/2019	DV6	Dolský potok	1,5	7,6	6,1

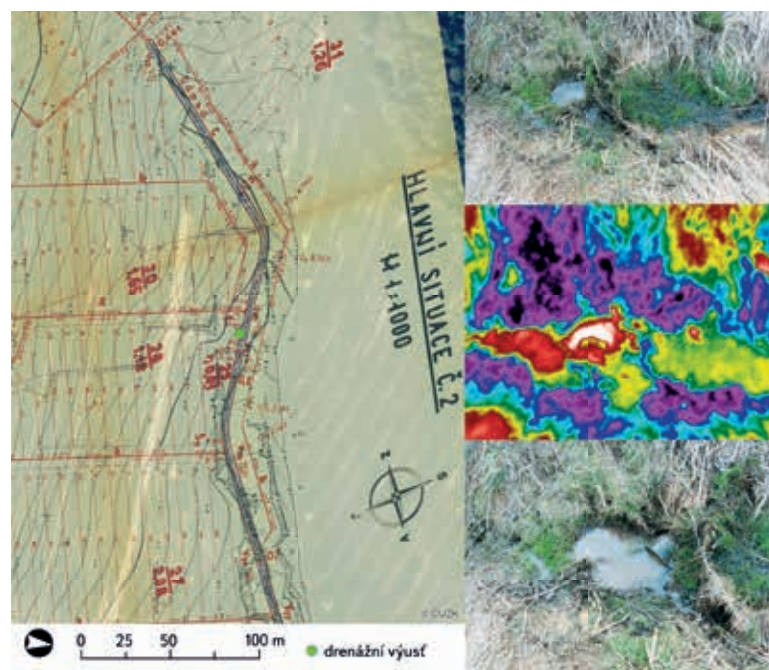


Obr. 8. Rektifikovaná stavba odvodnění, termogramy teplotního rozložení v místě drenážní výústě a recipientu (rybník Nový Šeberov) a fotodokumentace – povodí Kunratického potoka

Fig. 8. The rectified drainage system, thermograms showing temperature distribution at the drainage outlet and recipient (Nový Šeberov pond) and photo documentation – the Kunratický stream catchment

Na obr. 8 je prezentována identifikovaná drenážní výúst (DV2) v pilotní lokalitě Kunratického potoka. Termogramy demonstrují teplotní rozložení vody v místě drenážní výústě a vodní hladiny rybníku Nový Šeberov. Vodní hladina byla pokryta slabou vrstvou ledu a drenážní voda dosahovala teploty 5,7 °C. Za pomoci vysokého teplotního rozdílu a vodnosti stavby odvodnění bylo možné danou výúst identifikovat. Daná stavba odvodnění (obr. 8) má rozlohu 2,8 ha a celý drenážní odtok je soustředěn do jediné identifikované drenážní výústí. Přestože byla stavba odvodnění vybudována již v roce 1977, je stále funkční. To se pravděpodobně v blízké budoucnosti změní vzhledem k faktu, že je plocha stavby zemědělského odvodnění aktuálně z 60 % zalesněná. Lze předpokládat, že kořenový systém, v současnosti mladého lesa, v brzké budoucnosti funkci drenážní stavby významně omezí. První náznaky lokálního zamokření, které vzniká v místech porušení drénů, jsou již patrné ze satelitních snímků.

V případě pozvolného vtoku vody o vyšší teplotě (drenážní vody) do stojaté vody, jak je prezentováno na obr. 8, dochází k relativně pomalému šíření tepla prouděním neboli konvekcí. Jedná se o jev, kdy dochází ke vzájemnému pohybu jednotlivých částí, které mají odlišnou teplotu a tedy různou hustotu vnitřní energie, tím se přenáší teplo, prostřednictvím čehož se drenážní voda postupně ochlazuje. V zemské atmosféře obvykle hustota kapalin nebo plynů klesá s narůstající teplotou. V gravitačním poli tedy ohřáté vrstvy kapaliny nebo plynu stoupají, zatímco ty chladnější klesají ke dnu. Fakt, že šíření tepla po vodní hladině není ovlivněno turbulentním prouděním, zvyšuje účinnost možné identifikace drenážní výústí s využitím termografického snímkování. To je dáno velikostí oblasti s vodou o vyšší teplotě, což souvisí s prodlouženou dobou, po kterou drenážní voda zůstává na hladině, a proti vtoku do vodního toku není ovlivněna turbulentním prouděním. To však podmiňuje vodnost drenážní výústí, kdy se zvětšujícím se průtokem roste i tepelně znečištěná plocha.

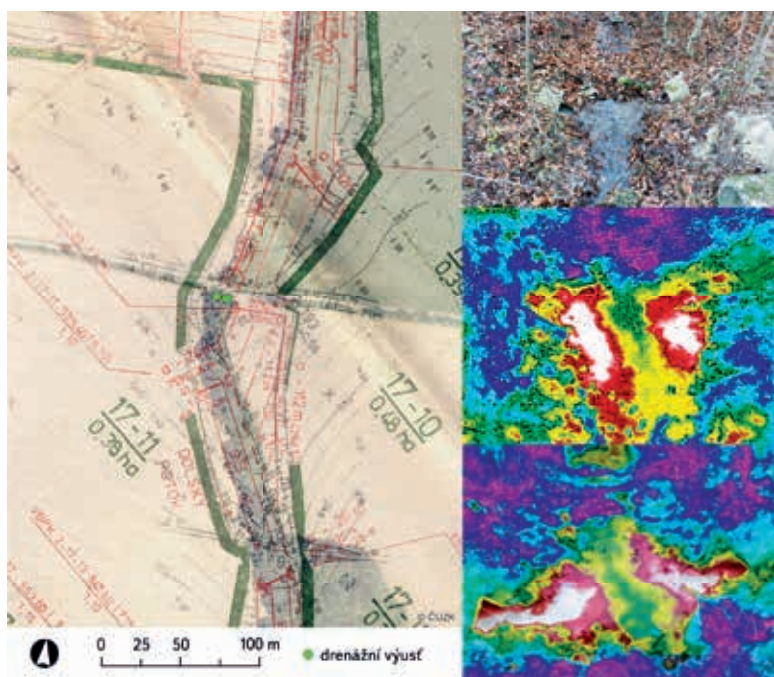


Obr. 9. Rektifikovaná stavba odvodnění, termogram drenážní výústí a fotodokumentace před a po provedené identifikaci v povodí Rokytky

Fig. 9. The rectified drainage structure, a thermogram of the drainage outlet and photo documentation from before and after the identification in the Rokytky catchment

Další drenážní výúst (DV3) identifikovaná pomocí termografického snímkování se nachází v povodí vodního toku Rokytky. V době termografické kampaně byla vodnost hlavního odvodňovacího zařízení (HOZ) minimální, přesto byla podniknuta rekognoskace celé lokality. Identifikovaná výúst se nachází cca 13 m od předpokládané polohy podle rektifikovaného prováděcího výkresu, viz obr. 9. Při pochůzce podél HOZ byla detekována teplá oblast, viz termogram na obr. 9. Stav před a po identifikaci je možné porovnat v přiložené fotodokumentaci. Na první pohled drenážní výúst není patrná a až po odkrytí cca 5 cm silné vrstvy pokryvu bylo možné výúst spatřit. Průtok drenážní výusti byl velmi nízký, avšak pro identifikaci pomocí termografického snímkování dostatečný i vzhledem k promrzlému okolí výusti. Identifikovaná drenážní výúst odvádí vodu z plochy 1,9 ha.

V dokumentaci bývalé ZVHS je uvedeno, že stavba odvodnění byla budována v roce 1970, je však pravděpodobné, že došlo k její částečné obnově vzhledem k materiálu, ze kterého je drenážní výúst vyrobená (tvrzený plast). Podle prováděcího výkresu stavby zemědělského odvodnění jsou zaústěny do HOZ další čtyři svodné drény, ovšem při terénní rekognoskaci se podařilo identifikovat pouze jedinou výúst na této lokalitě. To bylo zapříčiněno z důvodu nízké vodnosti nebo nefunkčnosti dalších částí odvodňovací stavby.



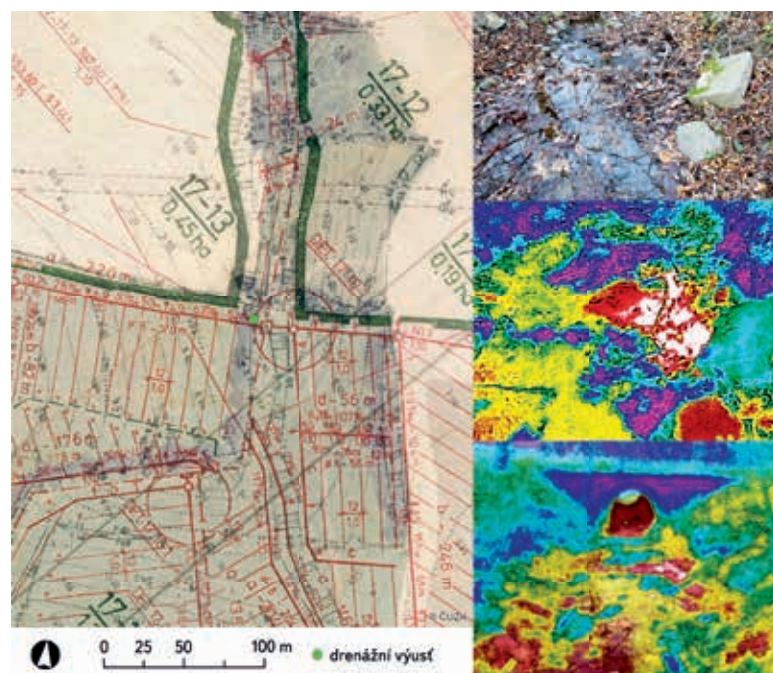
Obr. 10. Rektifikovaná stavba odvodnění, termogramy drenážních výústí a fotodokumentace v povodí Dolského potoka

Fig. 10. The rectified drainage structure, thermograms of the drainage outlets and photo documentation from the Dolský stream catchment

Na obr. 10 jsou prezentovány dvě drenážní výusti (DV4 a DV5), identifikované termografickým snímkováním v povodí Žejbro. Na rektifikovaném situačním výkresu jsou zakreslené výusti na obou stranách Dolského potoka. Na pravém břehu se reálná poloha výusti liší proti prováděcímu výkresu přibližně o 8 m a na levém břehu je rozdíl 50 m. Reálné polohy výústí jsou oproti prováděcí dokumentaci posunuty severním směrem. Dále byly ze situačního výkresu odečteny plochy, odkud daná výúst odvádí vodu. Na pravém břehu se jedná o plochu cca 0,48 ha, na levém 0,38 ha. Vzhledem k minimálním atmosférickým srážkám před provedením termografické kampaně byla funkčnost plošného zemědělského odvodnění z malých rozloh překvapující a je pravděpodobné, že situační výkres plošného zemědělského odvodnění neodpovídá skutečnosti a identifikované výusti reálně odvádějí vodu z rozsáhlejších odvodňovaných

ploch. V pravé části obr. 10 je uvedena fotografie drenážních výústí, termogram zachycující tepelné šíření proti proudu Dolského potoka a kombinace fotografie s částečně zprůhledněným termogramem tepelného šíření po proudu Dolského potoka. Teplotní rozdíl drenážních vod a recipientu dosahoval 4,8 °C, respektive 6,1 °C. Splněními podmínkami (vodnost drenážních výústí a vysoký teplotní rozdíl) byla opětovně potvrzena využitelnost termografického snímkování za účelem identifikace drenážních výústí, tedy potenciálního znečištění povrchových vod ze zemědělského pozemku.

V daném povodí byla identifikována také třetí výúst (DV6). Jedná se o výúst, která se nachází přibližně o 350 m výše proti proudu Dolského potoka od DV4 a DV5. Předmětná drenážní výúst odvádí vodu z plochy 6,16 ha, přičemž její vodnost byla srovnatelná s předešlými dvěma výústěmi v povodí Dolského potoka, u kterých je sběrná plocha podle dostupné dokumentace cca dvanáctkrát menší. Mimo této identifikované výusti by se v blízkém okolí podle dokumentace mělo nacházet dalších pět drenážních výústí, avšak jejich skutečnou polohu nebylo možné ověřit využitím termografického snímkování z důvodu nulového průtoku v průběhu prováděné kampaně.



Obr. 11. Rektifikovaná stavba odvodnění, termogramy drenážních výústí a fotodokumentace v povodí Dolského potoka

Fig. 11. The rectified drainage structure, thermograms of the drainage outlets and photo documentation from the Dolský stream catchment

## DISKUSE

Podpovrchové zdroje znečištění jsou v podmínkách ČR zastoupeny zejména plošným zemědělským odvodněním, které způsobuje mj. zvýšené vyplavování rozpuštěných látek (dusičnany a některé pesticidy). Vnos všech těchto polutantů do vod úzce souvisí s dynamikou počasí (zvyšující se nepravidelnost srážek, dlouhá období sucha, přívalové srážky) a nízkou retencí vody v povodí [25]. Pro návrhy přírodně blízkých a technických opatření na zemědělské půdě (stavbách zemědělského odvodnění), které přispějí k eliminaci podpovrchových zdrojů znečištění, je nutná znalost prostorového rozmístění jednotlivých prvků staveb odvodnění. Pro návrh konkrétního opatření na zemědělském pozemku je proto znalost umístění odvodňovací stavby v terénu rozhodující. Odvodnění zemědělské půdy bylo provedeno z 98 % plošnou, tj. systematickou trubkovou

drenáží. Přes značnou snahu archivovat a v dobrém stavu uchovávat projektové dokumentace ke stavbám odvodnění, je nutné konstatovat, že evidence provedených staveb odvodnění (zejména podpovrchových) není kompletní [26].

Chybějící datové podklady (či dochované s určitou mírou nepřesnosti) je proto nutné zrevidovat, aby bylo možné pracovat s podklady, které odpovídají samotné realizaci stavby plošného zemědělského odvodnění v terénu. V současnosti neexistuje ucelený celostátní informační systém o realizovaných stavbách odvodnění. Jediným dostupným podkladem v digitální podobě je volně dostupná geoinformační vrstva odvodněných ploch ve vektorovém formátu shapefile (.shp). Uvedený datový podklad představuje historicky pořízený datový zdroj bývalé Zemědělské vodohospodářské správy, který vznikl digitalizací původních analogových map s plochami realizovaných staveb zemědělského odvodnění [26]. Geometrický i atributový rozsah dat této informační vrstvy je však nekompletní a často i lokalizačně nepřesný, přičemž informace o realizovaných výústích drenážních systémů prakticky zcela chybí.

Alternativou pro určení základního identifikačního prvku přítomnosti stavby odvodnění v samotném terénu, v podobě drenážní výusti, se tak nabízí prezentovaný způsob identifikace pomocí využití nástrojů termografického snímkování.

Prezentované dílčí výsledky shrnují závěry získané z prvotních dvou kampaní termografického snímkování zaměřeného na identifikaci drenážních výústí. Provedené kampaně byly uskutečněny jako referenční měřicí akce prostřednictvím ruční termokamery FLUKE – TiS20/FLIR E6. Daný způsob potvrdil potenciál vědního oboru termografie k identifikaci konkrétní polohy drenážní výusti v terénu.

Pro úspěšnou identifikaci drenážních výústí pomocí termografie musí být splněny následující předpoklady:

- vodnost přítoku (drenážní výusti) a recipientu (vodní tok, hlavní odvodňovací zařízení, vodní nádrž),
- teplotní rozdíl minimálně 3 °C.

Proto se jako ideální období pro provedení daných kampaní jeví začátek zimy, kdy recipient není zamrzlý, avšak jeho teploty klesají k 0 °C a drenážní voda si drží teplotu přibližně v rozmezí 4–8 °C [22, 23]. Další podmínkou úspěšné identifikace drenážních výústí je vodnost jak přítoku, tak i recipientu. S tím je v posledních letech v podmínkách ČR poměrně značný problém. Především tato podmínka omezuje daný přístup aplikovat v širokém měřítku. Dalším problémem je samotný stav staveb zemědělského odvodnění, kdy poměrně velké procento pravděpodobně není funkční.

Širší aplikovatelnost termografického snímkování pro identifikaci drenážních výústí je možné spatřovat především ve využití leteckého termografického snímkování. Letecká termografie má bezesporu značný potenciál. V současné době tato technologie zažívá nebývalý rozvoj a je možné tedy očekávat nové cesty vývoje leteckých termovizních kamer a jejich rozlišení i s ohledem na vývoj bezpilotních letounů a možnosti družicového snímkování. Letecké řešení sběru dat má výraznou výhodu při vyhledávání teplotních změn v místech, kde není jisté, že se tyto jevy vyskytují. To je umožněno především rychlým získáváním dat na velké ploše a širokým úhlem záběru (žádná hluchá místa, kde by mohly být neznámé teplotní změny) [12].

Naopak využití pozemního řešení sběru dat, ať už dynamickým, či statickým způsobem přináší výraznou flexibilitu a operativnost. Limitujícím faktorem plošného sběru dat pozemním měřením je však jeho časová náročnost. Proto se do budoucna jako ideální řešení jeví kombinace obou těchto řešení v podobě rychlého plošného sběru dat s využitím leteckého řešení, zpřesněný o data následného doměření pozemní metodou v konkrétních vybraných lokalitách.

## ZÁVĚR

Sběr termografických dat je jedním z řady nových způsobů získávání dat o vodních ekosystémech (identifikace znečištění či právě drenážních výústí). Samotné termografické snímkování pozemní i letecké je dynamicky se rozvíjející obor, který v oblasti vodního hospodářství nabízí efektivní nástroj pro preventivní diagnostiku z pohledu identifikace zdroje znečištění vod [12, 24]. Tepelné znečištění ze stacionárních zdrojů podél vodních toků a ploch je samo o sobě závažným problémem s významnými ekologickými důsledky pro místní ekosystémy. Identifikace zdrojů tepelného znečištění a kvantifikace jejich vlivu je tak důležitým prvním krokem pro ochranu těchto ekosystémů. Zároveň je určení místa vtoku teplotně odlišné vody prvotním indikátorem pro lokalizaci potenciálního zdroje znečištění z pohledu zvýšených koncentrací vnášených polutantů.

V příspěvku byla pozornost soustředěna na samotnou identifikaci teplotně odlišného vodního zdroje vstupujícího do hlavního vodního toku (hlavního odvodňovacího zařízení) v podobě přítoku z drenážních výústí. Současně běžně dostupné datové podklady neumožňují konkrétní určení místa drenážních výústí. Toto se stává limitujícím faktorem při návrzích opatření směřujících k omezení podpovrchových zdrojů znečištění.

Způsob identifikace drenážních výústí pomocí termografického měření prokázal dobré možnosti uplatnění. Jeho širší využití je vázáno především na leteckou termografii, zejména na autonomní bezpilotní letouny. Předem nadefinované trajektorie letu nad hlavními odvodňovacími zařízeními/vodními toky v povodích s plošným podpovrchovým odvodněním v kombinaci s kontinuálním sběrem termografických dat předurčuje danou metodu k širokému uplatnění v komerční i státní sféře.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR, projektu číslo TH02030396 „Využití letecké termografie jako nového přístupu pro identifikaci znečištění vod z bodových a nebodových zdrojů“ a za podpory Evropské unie v rámci Operačního programu Praha – pól růstu ČR, číslo projektu CZ.071.02/0.0/0.0/17\_049/0000842, „Nástroje pro efektivní a bezpečné hospodaření se srážkovou vodou na území Prahy – RainPRAGUE“.

## Literatura

- [1] JÚVA, K. Odvodňování půdy. Praha, 1957, 526 s.
- [2] KULHAVÝ, Z., DOLEŽAL, F., FUČÍK, P., KULHAVÝ, F., KVÍTEK, T., MUZIKÁŘ, R., SOUKUP, M., and ŠVIHLA, V. Management of agricultural drainage systems in the Czech Republic. *Irrigation and Drainage, USA*, 2007, 56, p. 141–149. ISSN 1531-0353.
- [3] NOVÁK, P., FUČÍK, P., KULHAVÝ, Z. a kol. *Příprava listů opatření typu A lokalit plošného zemědělského znečištění pro plány dílčích povodí. Metodický návod – identifikace kritických bodů a kategorizace lokalit ohrožených znečištěním z povrchových a podpovrchových plošných zemědělských zdrojů pro celé území České republiky v podrobnosti sloužící k tvorbě listů opatření typu A. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v. v. i., 2016, 69 s.*
- [4] ZAJÍČEK, A., KAPLICKÁ, M., FUČÍK, P., PETERKOVÁ, J., DUFFKOVÁ, R. a MAXOVÁ, J. Vyhodnocení podílů srážko-odtokových epizod na celkovém odnosu dusíku a fosforu z odvodněné zemědělské půdy. *Vodní hospodářství*, 2017, č. 10, roč. 67, s. 1–6. ISSN 1211-0760.
- [5] ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M. a MAXOVÁ, J. Vyplavování pesticidních látek zemědělskou drenáží. *Rostlinolékař*, 2017, 4, s. 24–28. ISSN 1211-3565.
- [6] ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., KAPLICKÁ, M., LIŠKA, M., MAXOVÁ, J., and DOBIÁŠ, J. Pesticide leaching by agricultural drainage in sloping, mid-textured soil conditions – the role of runoff components. *Water Science and Technology*, 2018, 77 (7–8), p. 1879–1890. ISSN 0273-1223. DOI: 10.2166/wst.2018.068.
- [7] KVÍTEK, T. a KRÁTKÝ, M. Listy opatření typu A v Plánech dílčích povodí Vltavy – opatření ke zlepšení retence a kumulace vody v krajině společně s ochranou jakosti povrchových a podzemních vod. In: *Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds): Hospodaření s vodou v krajině. Třeboň 21.–22. 6. 2018. ISBN 978-80-87361-83-2.*

- [8] KULHAVÝ, Z., ČMELÍK, M., ŠTIBINGER, J. a ŠRIPKO, J. *Rekonstrukce staveb odvodnění s uplatněním principu regulace drenážního odtoku*. Certifikovaná metodika, 2015. ISBN 978-80-87361-47-4
- [9] FUČÍK, P., BYSTRICKÝ, V., DOLEŽAL, F., LECHNER, P., KVÍTEK, T., VÁCHAL, J. a ŽLÁBEK, P. Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků. *Metodika*, 2010. VÚMOP, v. v. i., 90 s. ISBN 978-80-87361-00-9.
- [10] DUFFKOVÁ, R., ZAJÍČEK, A. a FUČÍK, P. Vyplavení dusíku a fosforu z malých zemědělských odvodňovacích povodí s aplikací různých hnojiv. *Vodní Hospodářství*, 2014, č. 12, s. 1–5. ISSN 1211-0760.
- [11] DOLEŽAL, F. and KVÍTEK, T. The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peninsulars of Central European highlands with regard to water quality generation processes. *Phys. Chem. Earth.*, 2004, 29, p. 775–785. DOI:10.1016/j.pce.2004.05.005.
- [12] MARVAL, Š., HEJDUK, T., ROUB, R., VYBÍRAL, T., KAPLICKÁ, M. a BUREŠ, L. Využití letecké termografie jako nového přístupu pro identifikaci znečištění vod z bodových a nebodových zdrojů. *Vodní hospodářství*, 2018, č. 9, roč. 68, s. 8–13. ISSN 1211-0760.
- [13] LEGA, M. and NAPOLI, R.M.A. Aerial infrared thermography in the surface waters contamination monitoring. *Desalination and Water Treatment*, 2010, 23, 1–3, p. 141–151.
- [14] LEGA, M., KOSMATKA, J., FERRARA, C., RUSSO, F., NAPOLI, R.M.A., and PERSECHINO, G. Using Advanced Aerial Platforms and Infrared Thermography to Track Environmental Contamination. *Environmental Forensics*, 2012, 13, 4, p. 332–338.
- [15] LEGA, M., FERRARA, C., PERSECHINO, G., and BISHOP, P. *Remote sensing in environmental police investigations: aerial platforms and an innovative application of thermography to detect several illegal activities*. Springer International Publishing Switzerland, 2014.
- [16] TONOLLA, D., WOLTER, C., RUHTZ, T., and TOCKNER, K. Linking fish assemblages and spatiotemporal thermal heterogeneity in a river-floodplain landscape using high-resolution airborne thermal infrared remote sensing and in-situ measurements. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 125, p. 134–146.
- [17] TOCKNER, K. and STANFORD, J.A. Riverine floodplains: Present state and future trends. *Environmental Conservation*, 2002, 29, p. 308–330.
- [18] WARD, J.V. Riverine landscapes: Biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation*, 1998, 83, p. 269–278.
- [19] ŠIMKO, M. a CHUPÁČ, M. *Aplikačné možnosti termovízie v praxi*. FCC Public 2006, [online: cit. 16-02-2017]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/aplikacne-moznosti-termovizie-v-praxi--13327>
- [20] STEEL, E.A., BEECHIE, T.J., TORGERSEN, CH.E., and FULLERTON, A.H. Envisioning, Quantifying, and Managing Thermal Regimes on River Networks. *BioScience* [online], 2017, Vol. 67, No. 6, p. 506–522 [cit. 2018-10-22]. DOI: 10.1093/biosci/bix047. ISSN 0006-3568. Dostupné z: <https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.1093/biosci/bix047>
- [21] SCHUETY, T. and WEILER, M. Quantification of localized groundwater inflow into streams using ground-based infrared thermography. *Geophysical research letters*, 2011, Vol. 38.
- [22] ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T., KAPLICKÁ, M., DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., BYSTRICKÝ, V., and ŽLÁBEK, P. Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes. *Hydrological Processes*, 2011, No. 20, Vol. 25, p. 3204–3215. DOI: 10.1002/hyp.8039.
- [23] ZAJÍČEK, A., ŠANDA, M., TACHECÍ, P. a KVÍTEK, T. Doba zdržení vody v systému půda- hornina. In: *Kvítek, T. (ed.) a kol. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Povodí Vltavy*, s. p., 2017, 1. vydání, s. 272, ISBN 978-80-270-2488-9.
- [24] MARVAL, Š., HEJDUK, T., ZAJÍČEK, A., VYBÍRAL, T., FUČÍK, P., ROUB, R. a KAPLICKÁ, M. Využití termografie jako nového přístupu pro identifikaci znečištění vod z bodových zdrojů – pozemní termografické snímkování. *Vodní hospodářství*, 2019, č. 6, roč. 69, s. 8–13. ISSN 1211-0760.
- [25] FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., KAPLICKÁ, M., DUFFKOVÁ, R., PETERKOVÁ, J., MAXOVÁ, J., and TAKÁČOVÁ, Š. Incorporating rainfall-runoff events into nitrate-nitrogen and phosphorus load assessments for small tile-drained catchments. *Water*, 2017, No. 9, p. 712. DOI: 10.3390/w9090712.
- [26] TLAPÁKOVÁ, L., ČMELÍK, M., ŽALOUDÍK, J. a KARAS, J. *Metodika identifikace drenážních systémů a stanovení jejich funkčnosti*. Pardubice: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i., 2016. ISBN 978-80-87361-58-0.

## Autoři

**Ing. Štěpán Marval<sup>1,2</sup>**

✉ [marval.stepan@vumop.cz](mailto:marval.stepan@vumop.cz)

**Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D.<sup>2</sup>**

✉ [hejduk.tomas@vumop.cz](mailto:hejduk.tomas@vumop.cz)

**Mgr. Antonín Zajíček, Ph.D.<sup>2</sup>**

✉ [zajicek.antonin@vumop.cz](mailto:zajicek.antonin@vumop.cz)

**Ing. Tomáš Vybíral, Ph.D.<sup>3</sup>**

✉ [tomas.vybiral@georeal.cz](mailto:tomas.vybiral@georeal.cz)

**Ing. Radek Roub, Ph.D.<sup>1</sup>**

✉ [roub@fzp.czu.cz](mailto:roub@fzp.czu.cz)

**Mgr. Markéta Kaplická<sup>2</sup>**

✉ [kaplicka.marketa@vumop.cz](mailto:kaplicka.marketa@vumop.cz)

<sup>1</sup>Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita v Praze

<sup>2</sup>Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.

<sup>3</sup>GEOREAL spol. s r. o.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2020.03.004



## IDENTIFICATION OF NON-POINT AGRICULTURAL POLLUTION USING THERMOGRAPHIC IMAGING

**MARVAL, S.<sup>1,2</sup>; HEJDUK, T.<sup>2</sup>; ZAJICEK, A.<sup>2</sup>;  
VYBIRAL, T.<sup>3</sup>; ROUB, R.<sup>1</sup>; KAPLICKA, M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences Prague

<sup>2</sup>Research Institute of Land Reclamation and Soil Protection, p.r.i.

<sup>3</sup>GEOREAL spol. s r. o.

**Keywords:** water quality – water temperature –  
sources of pollution – agricultural drainage – drainage outlet

Water quality monitoring has a much shorter history in the Czech Republic (CR) than water quantity monitoring. Yet the quality of water resources is crucial for society, industry and agriculture. One of the most significant sources of water pollution is non-point agricultural pollution, transported mainly by agricultural drainage. Drainage runoff contributes to stream and river pollution especially with nitrates, pesticides and their metabolites, and potentially with other water-soluble (phosphate) compounds applied to agricultural land.

Agricultural drainage systems were built in the past to support and develop agriculture. Their tradition in the Czech Republic dates back to the end of the 19<sup>th</sup> century, but most drainage systems were built in the period between 1960 and 1990. Drainage systems were usually built as systematic tile drainage with conducting drains discharged into main drainage facilities as single-purpose constructions for draining surplus water from the land. Recently, the negative effects of land drainage (eg. shrinking periods of time when water remains in the drained area, lowering the ground water table, and polluting shallow subsurface water with nitrates and pesticides) have been also considered, especially during periods of drought or rainstorms linked to climate change.

In order to design proper measures for the mitigation of such negative effects of drainage systems (e.g. drainage biofilters, constructed wetlands, regulation drainage systems, pools placed on outlets), precise knowledge about the location of tiles and outlets is required. One way to get this knowledge is to find, scan and ortho-rectify detailed construction plans. The issue with this approach is that many of these plans were lost during the huge economic and proprietorial changes (end of the socialist period) in the 90s. That's why surface thermography was tested as a new method for the identification of drainage outlets. It was assumed that drainage water and stream water would have different temperatures, especially during the winter season (drainage water is warmer than stream water) and in the summer (drainage water is colder than stream water). Monitoring water temperatures along the stream course allows for the identification of places with changed water temperature, which usually represent the drainage outlets location. Based on the results presented in this paper, it can be concluded that thermography is a useful method for identifying the locations of drainage outlets.