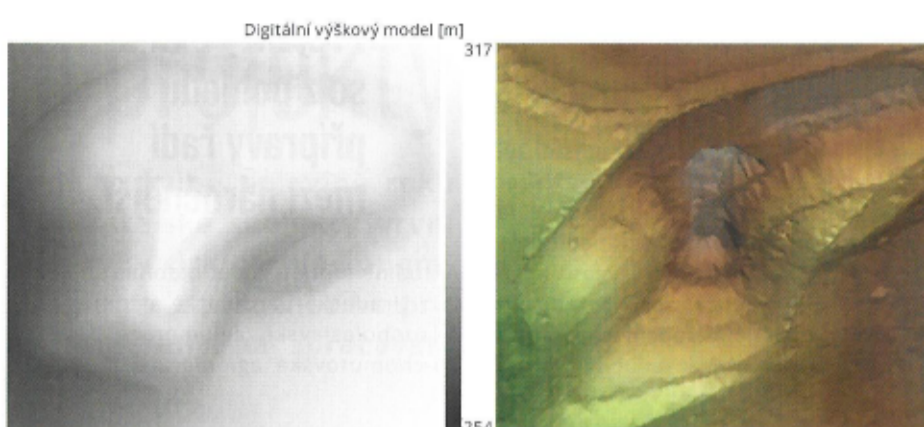


Monitoring skládek komunálního odpadu pomocí moderních metod dálkového snímkování

V České republice je, podle aktuálních údajů, na skládkách ukládáno více komunálního odpadu, než kolik je ho u nás recyklováno. Evropa vyzývá členské státy ke snížení množství odpadu ukládaného na skládky tuhého komunálního odpadu (TKO) ze 45 % na 10 % v roce 2035, vzhledem k aktuální situaci. Na řešení máme více než 10 let, ale i poté určité množství skládek v provozu zůstane. Rovněž se zvýší počet skládek rekultivovaných.



Obrázek 1: Skládky TKO z leteckých dat, zleva barevný snímek (RGB ortofoto), výškový model terénu a 3D model povrchu

Monitoring stavu provozních i rekultivovaných skládek komunálního odpadu je důležitým a naléhavým úkolem, zejména ve vztahu k ovlivnění přírodního prostředí a všem důsledkům z toho vyplývajícím. Proto zahrnuje sledování a hodnocení vlivu skládky na půdu, vodu a ovzduší. Skládky přijímají komunální odpad obvykle několik desítek let, během nichž jsou sledované parametry periodicky hodnoceny.

Po uzavření skládky a ukončení rekultivace následuje další období povinného monitoringu, které je v EU stanoveno na dobu 40 let. K zásadním činnostem monitoringu skládek komunálního odpadu patří zjišťování objemu odpadu, včasná identifikace anomálií povrchové teploty na aktivní ploše skládky, kontrola typu odpadu a kontrola emisí skládkových plynů. Tyto činnosti systémů pozemního monitorování skládky jsou náročné jak časově, tak nákladově. Využití pokročilých metod leteckého a bezpilotního snímkování může přispět k zefektivnění monitorovací činnosti a nabízí nové postupy při monitoringu provozu aktivních a rekultivovaných skládek odpadů v širších územních souvislostech. Ty v rámci běžného terénního průzkumu nebyly

”**Skládky odpadu mohou vykazovat výrazné zvýšení povrchové teploty v důsledku různých faktorů, jako je rozklad odpadních materiálů a interakce s okolním prostředím.**

možné, případně byly časově, personálně a ekonomicky náročné.

Vědci z Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., (CzechGlobe) v současnosti pracují na projektu aplikovaného výzkumu TA ČR, jehož cíle se vztahují k využití pokročilých metod leteckého a bezpilotního

ho snímkování pro sledování provozních a uzavřených (rekultivovaných) skládek TKO. CzechGlobe provozuje Leteckou laboratoř zobrazujících systémů (FLIS – Flying Laboratory of Imaging Systems) a bezpilotní systém složený z několika nosičů (<https://olc.czechglobe.cz/>). Data z těchto systémů budou použita k hodnocení stavu skládek ve zmíněném projektu.

Detekce povrchových změn skládky TKO

Sledování povrchových změn skládky TKO je nezbytné pro udržitelné plánování v procesu řízení skládek. Letecký laserový skener (LIDAR) je účinný přístroj pro zjišťování orografie, výšky a tvaru různých objektů. Vysoká přesnost a relativně snadná interpretace lidarových dat z něj činí výkonný nástroj pro mapování vertikální struktury skládky. Princip leteckého laserového skenování spočívá v měření vzdálenosti, kterou urazí světelný (laserový) paprsek mezi zdrojem záření (skener umístěný např. na palubě letadla nebo dronu) a zemským povrchem. Vzdálenost je určena časem mezi vysláním paprsku a jeho zpětným přijetím po odrazu od terénu a od jiných

10 ODPADOVÉ FÓRUM LISTOPAD 2023

objektů na zemském povrchu. Současně je v okamžiku vyslání laserového pulsu pomocí navigačních systémů letadla měřena přesná poloha skeneru, rychlost a směr letu. Kombinací záznamu všech informací získáme souřadnice bodu [x, y, z] na zemském povrchu s vysokou přesností. Tento princip umožňuje popsat podrobnou prostorovou (3D) strukturu skládky (obr. 1). Opakovaná měření skládky leteckým laserovým skenerem umožňují detekovat změny 3D struktury skládky v čase a odhadovat změny objemu.

Detekce teplotních anomálií skládky TKO

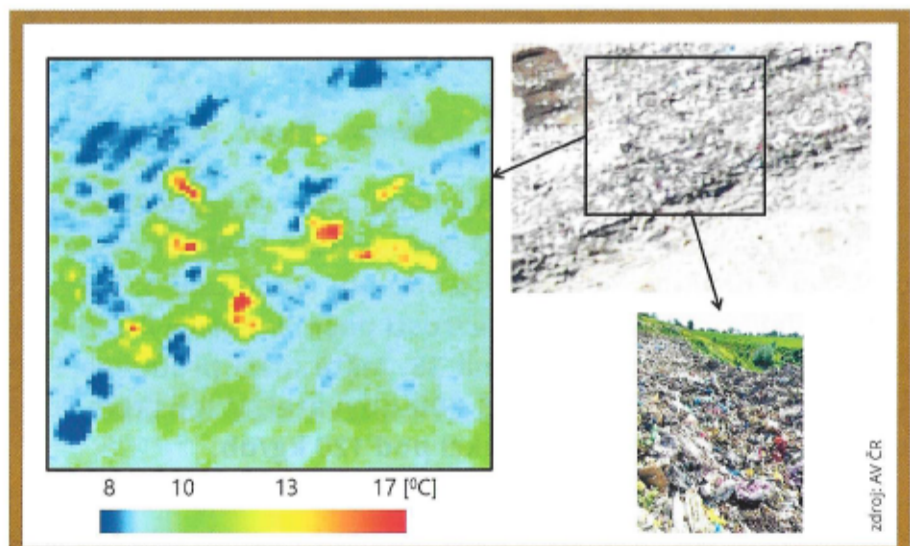
Skládky odpadu mohou vykazovat výrazné zvýšení povrchové teploty v důsledku různých faktorů, jako je rozklad odpadních materiálů a interakce s okolním prostředím. Sledování kontrastů povrchové teploty na skládkách může pomoci identifikovat oblasti aktivního rozkladu odpadů a potenciální „hotspots“ produkce a emisí metanu a dalších plynů. Povrchová teplota skládky může být indikátorem, podle kterého můžeme potenciálně usuzovat na průběh tvorby metanu a zkoumat vztah mezi povrchovou teplotou skládky a uvolňováním metanu na povrch.

Metan je hořlavý plyn. Včasná detekce oblastí se zvýšenou povrchovou teplotou na skládce může rovněž pomoci předejít vzniku požáru. Pro teplotní mapování skládky lze využít letecká nebo dronová data nasnímaná v termální infračervené oblasti elektromagnetického záření (cca 8–12 μm). Na základě těchto dat lze určit teplotu povrchů a indikovat tepelné rozdíly na povrchu různých částí skládky a v jejím okolí (obr. 2).

Mapování vegetace na skládce

Skládky vytvářejí velmi specifické prostředí, což se následně odráží i v druhovém složení vegetace. Sledování zarůstání provozní a uzavřené skládky a stavu vegetace na povrchu skládek a v jejich okolí přináší nové informace, které lze využít jako indikátor stavu ekosystému. Mapování typů a struktury vegetace umožňuje například analýzu hustoty porostu, zjišťování, zda nedochází k erozi půdy navenčené na skládku, a analýzu přítomnosti druhů neofytů a invazivních druhů, které mohou být indikátorem environmentálního rizika.

Hyperspektrální dálkový průzkum je metoda, která sbírá data ve velkém množství úzkých spektrálních pásem. To umožňuje detailní analýzu druhového složení vegetace, jejího fenologického stavu,



Obrázek 2: Termální data pořízená z dronu před východem slunce při teplotě vzduchu 8 °C (prostorové rozlišení termálních dat je 20 cm/pix)

popř. některých biochemických vlastností. Zpracování dat z hyperspektrálních senzorů však vyžaduje specializovaný software a odborníky na analýzu a interpretaci takto získaných informací.

Závěr

V současnosti jsou drony, skenery a data jimi pořízená cenově dostupné téměř pro každého provozovatele skládky nebo organizaci zabývající se monitorovací službou. Vyhodnocení dat vyžaduje specialistu. Je také možné objednat pořízení leteckých dat, která mohou pokrýt území několika skládek najednou. S nárůstem počtu monitorovaných objektů (s rozvojem oblasti leteckého snímkování) však bude metoda leteckého snímkování nejlépejší. Použití dronu je časově a finančně efektivnější v případě snímkování např. jednoho objektu.

Prostorové a časové rozlišení leteckých dat a dat z dronu umožňuje charakterizaci aktivní uvnitř různých sektorů skládky a v jejím okolí. Monitoring přispívá k na-

plnění směrnice Evropského parlamentu a Rady (o odpadech), kde je uvedeno, že členské státy přijmou nezbytná opatření, aby zajistily, že se odpady využívají nebo odstraňují bez ohrožení lidského zdraví a bez poškození životního prostředí. Praktické použití moderních metod dálkového snímkování a navrhovaných postupů zvýší bezpečnost skládkování snížením rizika ohrožení vod, ovzduší, půdy a bioty v prostoru a blízkosti skládky.

Poděkování

Uvedený výzkum je finančně podpořen agenturou TA ČR v rámci projektu „Nové metody hodnocení objemu a povrchu aktivních a rekultivovaných skládek“ (č. SS06020164) a Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci programu CzeCOS (č. LM2023048). Autoři článku děkují starostům a místostarostům obcí Klobouky u Brna, Osová Bítýška, Šlapanice a Strážnice za spolupráci v oblasti monitoringu skládek TKO a za povolení k přístupu do objektů. ○