



UAV SYSTÉMY V PROCESU SBÍRÁNÍ ÚDAJŮ PRO VYUŽITÍ VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ

UAV SYSTEMS IN THE PROCESS OF COLLECTING DATA FOR USE IN WATER MANAGEMENT

Tomáš Michálek

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Michaela Červeňanská

Katedra hydrotechniky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Vazovova 5
812 43 Bratislava 1
michaela.cervenanska@stuba.sk

Abstract

Once every few years there is a necessity to measure the transverse profiles of watercourses within the water management of the Slovak Republic. These are particularly important for the creation of 3D models of watercourses, which are subsequently used to delineate floodplains or as a means of simulating the maximum possible water flow through a given watercourse. However, the current method of data collection for creating these 3D models is very lengthy and inefficient. Thus, this research is concerned with the design of a new method of data collection for the creation of 3D models, specifically using an unmanned aerial system (UAS) consisting of an unmanned aerial vehicle (UAV) and a laser surface scanning technology (LiDAR) device. The objective was to create a 3D model of the cross-sectional profile of the selected drainage channel on Rye Island using the proposed UAS, to compare the measured data using an alternative method of measuring the channel bed by technology currently in use (GNSS receiver) and finally to compare the measured data with archival data. Although the proposed UAS measurements showed unquestionable qualities in terms of frequency and speed of data collection, the values measured by the UAS were often inaccurate and did not correspond to reality, mainly due to the high water pollution in one of the monitored areas. For this reason, the proposed method of data collection is particularly suitable for measuring watercourses with a minimum amount of clean water. Unfortunately, there are not many of these watercourses in Slovakia, so this method is not suitable for frequent use in the conditions of water management in the Slovak Republic.

Keywords

UAS, UAV, LiDAR, Watercourse, Transverse profile

1. Úvod

Letectví je velmi dynamickým oborem. Aktivně se rozvíjí a přináší s sebou mnoho pokrokových nástrojů, které by v minulosti byly takřka nemyslitelné. Největším rozvojem za poslední dobu bezpochybně prošly tzv. bezpilotní létající zařízení, často známé pod anglickou zkratkou UAV. Tato zařízení čím dál častěji nacházejí své uplatnění zejména v oboru leteckých prací, kde nahrazují několikanásobně dražší člověkem pilotované letouny, případně vrtulníky. Samozřejmě se UAV nehodí na všechny druhy těchto leteckých prací. V současnosti tak nelze přímo nahradit člověkem pilotované vrtulníky velkým autonomním zařízením, které by samostatně mohlo přenášet mnohatunové náklady, například sloupy k lanovkám v lyžařských areálech. Existuje ovšem poměrně početná množina úkolů, kde si dosud navrhnuté a vyrobené UAV s danými úkoly poradí mnohdy daleko lépe a ekonomičtěji, než pilotovaná letadla.

Jednou z oblastí, kde lze v současnosti UAV pozorovat, je letecká fotogrammetrie. Tento obor se zabývá bezkontaktním sběrem dat o zemském povrchu. Tato data mohou mít několik forem, například to mohou být fotky o velkém rozlišení používané na internetových mapách. Druhou možností je sběr dat zařízeními, která jsou schopna zaznamenat početnou skupinu geodetických bodů, ze kterých je následně s pomocí příslušného softwaru vygenerován přesný 3D model terénu.

Obor, ve kterém se prvky letecké fotogrammetrie částečně využívají, je vodní hospodářství. Zde se ovšem téměř vždy jedná o pouhé fotografování zemského povrchu a následné porovnávání s archivními fotkami. Tento výzkum se ovšem zabývá novým způsobem využití UAS ve vodním hospodářství na území Slovenské republiky, konkrétně měřením a vytvořením příčného profilu vodního kanálu.

Tyto příčné profily je nutné měřit jednou za několik let. Důvodem je dynamický charakter proudění vody související s faktem, že tvar koryta vodního toku je s časem proměnný v závislosti na množství protékající vody, případně související s usazováním sedimentů na dně vodního toku. Jedinou technologií, která se v podmínkách Slovenské republiky dosud pro sběr potřebných dat, je měření GNSS přijímačem. Protože se ovšem jedná o časově velmi náročný a zdoluhavý proces, vznikl nápad odzkoušení nového typu sběru stejných dat za pomoci bezpilotního leteckého systému, sestávajícího se z UAV a systému s technologií LiDAR.

Tento výzkum se tedy zabývá primárně pokusem spočívajícím v naměření potřebných dat pro vytvoření příčného profilu vodního kanálu nově navrhovaným UAS, samotným vytvořením 3D modelu tohoto příčného profilu, vzájemným porovnáním naměřených údajů za pomoci sekundárního měření koryta potoku s GNSS přijímačem a nakonec porovnáním nově naměřených údajů s archivními údaji.

2. Současný stav řešení problematiky

Bezpilotní letecké systémy nacházejí velmi široké uplatnění v celé řadě oborů. Jejich vysoká efektivita v porovnání s nízkými provozními náklady z nich dělá velmi moderní a účinné řešení pro plnění daných úkolů napříč různými odvětvími. Jedním z těchto odvětví by mohlo být také vodní hospodářství, kde se dosud tyto systémy podle dostupných materiálů příliš nevyužívají. Jediným současným způsobem využití UAS ve vodním hospodářství je skenování povrchu vodních toků. Tento výzkum se ovšem zaměřuje na další možný způsob využití UAS ve vodním hospodářství – konkrétně se jedná o zaznamenávání a měření příčných profilů vodních toků.

V rámci vodních toků a kanálů na území Slovenské republiky vzniká nutnost jednou za několik let měřit tzv. příčné profily těchto toků. Hlavní důvody, proč tato měření provádíme, jsou ty související s dynamickým charakterem proudění vody. Jak totiž víme, voda není statická a plyne určitým směrem. Spolu s sebou přenáší různé typy sedimentů, jako například písek, kámen či biologický materiál. Tyto sedimenty mají výrazný vliv na tvarování i profil těchto kanálů ať už z hlediska určitého obrušování břehů vodních toků, nebo z hlediska usazování těchto sedimentů na dně kanálu a s tím související změnou průtokové kapacity daného vodního toku. Největší vliv na tvarování koryta toku má potom povodeň, po níž by se všechny významnější toky měly vždy přeměřit, aby bylo jasné, ve kterých místech je nutné tvar koryta upravit. Povodeň totiž způsobuje jednak vymletí části koryta, ale také existují místa, kde se usadí velké množství materiálu unášeného povodňovou vlnou, což může způsobit velké problémy například pro vodní dopravu (Novák, 2017).

Právě z důvodů změn ve tvarech nebo kapacitách vodních toků je nutné provádět měření jejich příčných profilů. Následně hodnoty, které při měření těchto profilů naměříme, vkládáme do počítačových programů, ve kterých vytváříme 3D model samotných příčných profilů. Následně tyto modely využíváme jako podklad pro tvorbu záplavových modelů, které slouží k vytyčení záplavové oblasti, nebo jako podklad k modelům určujícím maximální kapacitu tekoucí vody daného vodního toku. S tímto modelem pak můžeme u regulovatelných vodních toků pracovat a pouštět buď méně, nebo více vody v závislosti na konkrétní a aktuální potřebě a tím například i ovlivnit možnosti záplavy v dané oblasti (Novák, 2017).

Při současném měření se využívá zejména tzv. GNSS (Global Navigation Satellite System) přijímačů. Jedná se o zařízení, které se skládá z měřicí tyče (přibližně 2 metry vysoká), samotného přijímače GNSS signálu umístěného na horní straně tyče a ovládacího zařízení, nazývaného také jako IMU jednotka nebo záznamník. Zařízení slouží k rychlému a velmi přesnému určení polohy. Využívají se zejména v geodézii právě pro určení polohy. Podle daného typu zařízení přijímají signál hned z několika světových globálních satelitních systémů, jmenovat můžeme systémy GPS, GLONASS nebo Galileo. Novější systémy pak pracují i s moderními SBAS systémy typu EGNOS nebo WAAS (GEOPEN, n.d.). Praktické měření tímto systémem probíhá ve formě zaznamenání jednotlivých souřadnic na obou březích vodního toku. Následně se měří souřadnice přímo ve vodě – tedy v bodech na obou stranách dna vodního toku a přímo uprostřed toku.

Toto měření se provádí přibližně každých 100 metrů vodního toku. Je tedy zřejmé, že měření toků delších než 20 kilometrů není je otázka několika hodin, ale několika dnů (Holý, 1989).

Hlavním problémem těchto měření je samozřejmě hloubka vody, která často nedovoluje měřiči vůbec do vody vzlézt. Nicméně u menších toků, kde nemusí být nutně velké množství vody, je taktéž problémem nános písků a dalšího znečištění na dně vodního toku, neboť měřič se při pohybu noří do zmiňovaného nánosů a má tak velmi limitovanou schopnost pohybu. Problémem je taktéž samotný přístup do vody, kdy u některých toků můžeme vidět velmi strmý tvar koryta, po němž je pohyb do vody velmi těžký, nebezpečný a ne zřídka prakticky neproveditelný (Holý, 1989).

2.1. Bezpilotní letecký systém – UAS

Pod pojmem bezpilotní letecký systém si můžeme představit bezpilotní létající zařízení (UAV), které s sebou nese nějaký druhý jiného zařízení, který se aktivně využívá při leteckých pracích. Může se jednat o UAV spojené s kamerou, radarem nebo také například zařízením pro chemický postřik polí. UAS mají velmi široké spektrum využití jak v civilním sektoru (zemědělství, geografie, filmářský průmysl ...), tak i v tom vojenském (průzkum, bezpečnostní a útočné úkoly) (Karas & Tichý, 2016).

2.2. Technologie LiDAR

Jedná se o technologii optického senzoru, která vydává intenzivní, zaostřené paprsky pulzní laserové energie a měří čas potřebný k detekci odrazů senzorem. Tyto informace se následně využívají k výpočtu rozsahů nebo vzdáleností k objektům. Na podobném principu funguje známější technologie radar, nicméně zde je namísto rádiových vln využíváno pulsů laserového světla. Systém LiDAR vypočítává časovou délku od vyslání paprsků po jejich návrat zpět do laserového skeneru díky jejich odrazu od snímaného povrchu. Výslednou vzdálenost je potom schopen systém vypočítat pomocí rychlosti světla (Mensuro, 2021; Farnell, n.d.; TOPGIS, n.d.)

Systém LiDAR je aktivním systémem, protože eliminuje světelné impulsy a detekuje odražené světlo. Většina systémů pracuje v blízké infračervené oblasti (např. 1064 nm) elektromagnetického spektra. Některé senzory ale umí pracovat i v zeleném pásmu s cílem hlubšího proniknutí pod vodu a detekování prvků na dně. Dosah vysílaných světelných paprsků se nejčastěji pohybuje kolem 100 metrů, silnější zařízení jsou schopny dosáhnout až 200 metrů. Využívá se ultrafialové, viditelné nebo blízké infračervené světlo (Mensuro, 2021; Farnell, n.d.)

2.3. Systém UAV + LiDAR ve vodním hospodářství

V rámci vodního hospodářství sledujeme a zkoumáme různé vlastnosti vodních toků. Často se jedná například o výzkum morfologického vývoje vodního toku v čase porovnáním aktuálního stavu vodního toku s historickými podklady. Případně zkoumáme vliv vodní eroze na prostředí kolem vodního toku. Prostředků pro tento výzkum je hned několik. Jednou z nejčastějších výzkumných metod je právě využití systému LiDAR s využitím nosného UAV, případně jiného létajícího prostředku. Efektivitu UAS ve vodním hospodářství potvrzuje celá řada mezinárodních výzkumů. Příkladem může být italský výzkum z

roku 2007, který potvrzuje, že LiDAR v rámci UAS může sloužit jako náhrada tradičních technik terénního průzkumu při monitorování topografie koryt vodních toků (Cavalli et al., 2007). K podobným výsledkům dospěly i výzkumy v Kanadě (Tamminga et al., 2014) nebo ve Francii (Lallias-Tacon et al., 2016).

Speciální kategorií je potom obor batymetrie, který se zabývá měřením hloubky pod vodní hladinou. Specifickým oborem je potom letecké batymetrické laserové skenování povrchu. Při této metodě zkoumání se využívá tzv. duálního LiDARu.

3. Metodika práce a metody zkoumání

Cílem je vytvořit 3D model vybraného vodního toku, respektive odvodňovacího kanálu na Žitném ostrově, za pomoci UAS složeného z UAV a systému LiDAR, porovnání naměřených údajů za pomoci druhého měření koryta potoku s GNSS přijímačem a nakonec porovnání naměřených údajů s archivními údaji

Pro potřeby tohoto výzkumu byl jako vhodný vodní tok určen kanál Vojka-Kračany. Ten se nachází v geomorfologickém celku Podunajská rovina a slouží zejména jako zdroj vody pro tzv. Žitný ostrov – největší říční ostrov v Evropě a významnou zásobárnu podzemních vod. Oblast Žitného ostrova je taktéž jednou z nejúrodnějších na Slovensku. Kanál Vojka – Kračany má svůj začátek při průsakovém kanálu přírodního Dunajského kanálu ve výšce 118 metrů nad mořem. Celková délka tohoto kanálu je přibližně 19 kilometrů. Končí ústím do dalšího kanálu Gabčíkovo – Topoľníky ve výšce 112 metrů nad mořem (Oma.sk, n.d.).

Pro samotné měření byly určeny první přibližně 4 kilometry délky vybraného vodního toku. Měřený úsek začíná téměř na začátku kanálu Vojka – Kračany, tedy poblíž průsakového kanálu vodního díla Gabčíkovo. Následně končí několik desítek metrů za silnicí mezi obcemi Horný Bar a Holice. Již z principu fungování systému LiDAR bylo pro výzkumné měření nutné vybrat období, kdy bude v našem kanálu co nejméně vody pro zajištění co nejlepších naměřených výsledků. Měření proběhlo 16.02.2024 v brzkých ranních hodinách.

Z hlediska průběhu samotného měření byla definována přesná oblast měření, po které se dron pohyboval za pomoci manuálního řízení a při trvalém vizuálním kontaktu s operátorem s maximální vzdáleností do 150 metrů od něj. Cílem bylo prolétnout celou vytyčenou oblast dvěma směry kvůli tomu, abychom zajistili co nejlepší a nejkvalitnější přísun naměřených geodetických bodů.

V rámci ověření přesnosti měření navrhovaného UAS proběhlo současně také měření pomocí technologie, která se v současnosti pro tyto úkoly výhradně využívá, tedy GNSS přijímače. V případě tohoto výzkumu jsme se rozhodli vykonat celkem 4 měření tímto zařízením. Všechna tato měření probíhala ve startovacích oblastech (místech vzletu UAS). Konkrétně v každé oblasti proběhla 2 měření, celkem tedy 4 měření GNSS přijímačem. Ty sloužily k následnému vytvoření 4 příčných profilů a k porovnání hodnot s těmi naměřenými UAS.

Po naměření hodnot geografických bodů je nutné tyto body dále zpracovat a vyhodnotit. K tomu slouží zejména specializované počítačové programy. V případě tohoto výzkumu byl využit program QGIS verze 3.34.

Při zpracování hodnot naměřených systémem LiDAR byly tyto údaje přetaženy do počítače, kde proběhlo vytřídění a odstranění nevyžádaných naměřených bodů (stromy, vystouplá vegetace a podobně). Následně bylo naměřené mračno bodů nahráno do systému QGIS, kde bylo vykresleno na mapovém podkladu. Námi použitý software je také schopen vyobrazit nahrané mračno bodů v 3D pohledu.

Pro další využití naměřených hodnot je nutné proměnit mračno bodů v souvislou plochu. Toho docílíme využitím interpolačních metod. Jednou z těchto metod je triangulace, označovaná také jako lineární kombinace.

Výsledkem práce programu je potom digitální model terénu, kdy v každém bodě tohoto terénu můžeme vyčíst přesnou nadmořskou výšku daného bodu. Následně byly do programu importovány souřadnice bodů naměřených za pomoci GNSS přijímače pro vykreslení a znázornění rozdílů přesnosti obou typů měření. Tyto body byly ve finále spojeny a byl tak vytvořen příčný řez vodního kanálu.

Posledním bodem výzkumu je vzájemné porovnání obou metod měření, tedy jednak za pomoci navrhovaného UAS, tak za pomoci GNSS přijímače a následné porovnání s archivními údaji z předchozího měření z roku 2021.

4. Návrh využití efektivních UAS vzhledem na zkoumané území

Pro výběr vhodného bezpilotního systému je nutné zohlednit několik faktorů. Mezi hlavní faktory řadíme zejména nosnost nosného UAV, letovou výdrž, maximální dolet a další podobné letové vlastnosti. V případě systému LiDAR je potom nutné zohlednit samotnou hmotnost skeneru a jeho vlastnosti z pohledu kvality snímání terénu.

Pro potřeby tohoto výzkumu byl využit bezpilotní letecký systém sestávající se z nosného bezpilotního leteckého zařízení a skeneru s technologií LiDAR.

Jako nosné UAV byl využit dron společnosti Dji, konkrétně model Matrice 300 RTK patřící Žilinské univerzitě. Jedná se o profesionální létající zařízení, které díky svým výkonům zvládá plnit celou škálu úkolů.

Jako měřicí zařízení byl využit skener zvaný Lidaretto. Ten ke snímání povrchu využívá technologii LiDAR. Jedná se o multiplatformní zařízení – lze tedy využít nejen na UAV, ale také na automobilech, případně při manuálních geodetických pracích. Jako lidarový senzor je využit Hesai XT32M2X, který má 32 kanálů a dosah až 300 metrů. Přesnost měření je potom udávána jako ± 1 centimetr. S hmotností 1,2 kilogramu se potom jedná o poměrně lehké zařízení, které tak může být usazeno i na méně výkonnějších UAV (GEOTECH, n.d.; Zeměměřič, n.d.).

Z pohledu bezpilotních létajících zařízení také existuje celá řada výrobců profesionálních nosných zařízení, která se liší zejména v letových a užitných vlastnostech. Od firmy Dji existuje celá řada dalších alternativních UAV, například model Matrice 350 s vylepšeným systémem napájení a dobíjení baterií dronu při zachování stejných letových a užitných vlastností jako již nenabízený model Matrice 300 (DJI, n.d.).

Alternativním skenerem pak může být produkt Navigator společnosti Yellowscan. Jedná se o tzv. batymetrický LiDAR, tedy

zařízení, které je přímo určeno pro zaznamenání profilu dna koryta vodního toku nebo kanálu. Díky svojí pokrokové technologii je navržen tak, že paprsky laseru by při vysoké frekvenci měly projít skrz vodní hladinu a nasnímat tak přesný tvar vodního koryta. To až do hloubky 120 metrů s přesností přibližně 3 centimetry. Drobným problémem ovšem může být hmotnost zařízení 3,7 kilogramu (bez baterie), protože bychom byli nuceni využít některé z výkonnějších UAV (Yellowscan, n.d.).

5. Výsledky měření

Zásadním ukazatelem pro určení přesnosti navrhovaného nového způsobu sběru dat je porovnání jeho přesnosti se současnou metodou. Toho bylo docíleno porovnáním hodnot v jednotlivých příčných profilech, vytyčených měření GNSS přijímače, spolu s hodnotami naměřenými UAS ve stejném místě.

V první startovací oblasti byly pro měření příčného profilu technologií LiDAR problematické podmínky. Zejména se jednalo o relativně velké množství znečištěné vody, která byla navíc prorostlá vegetací. Zejména z těchto důvodů byly hodnoty naměřené UAS a GNSS přijímače velmi odlišné, neboť paprsek systému LiDAR vegetaci ani velkým množstvím znečištěné vody neprostoupí a není tak schopen přesně nasnímat dno vodního kanálu. V této oblasti byly naměřeny a porovnány celkem 2 příčné profily. Výškový rozdíl hodnot mezi oběma měřeními se pohyboval přibližně kolem 0,6 metru. Z tohoto vyplývá, že měření za daných podmínek nelze měření UAS považovat za přesné.

Podmínky v druhé startovací oblasti byly velmi odlišné. V daném místě bylo relativně malé množství čisté vody, což znamenalo daleko přesnější měření systémem LiDAR. Ačkoliv byly naměřené hodnoty daleko přesnější, než v první startovací oblasti, byly i zde patrné drobné odchylky mezi oběma druhy měření. I v této oblasti byly vytyčeny a porovnány celkem 2 příčné profily. Výškový rozdíl hodnot mezi oběma metodami měření byl přibližně do 20 centimetrů. Měření UAS v této oblasti tedy můžeme považovat za relativně přesné.

Celkové vyhodnocení efektivity UAS je nutno rozdělit do několika kritérií. Z pohledu kvantitativního poskytlo měření tímto nově navrhovaným způsobem daleko větší množství vstupních dat, než tomu bylo při měření GNSS přijímačem. Z časového hlediska se taktéž jedná o velmi efektivní návrh, neboť měření celé délky vyhrazeného vodního toku zabralo přibližně 55 minut v případě UAS oproti teoretickým až 10 hodinám měření stejné délky v případě GNSS přijímače.

Velkou nevýhodou kromě vyšších pořizovacích nákladů a požadavků na obslužný personál je samotná kvalita naměřených dat UAS. Ta se v tomto výzkumu ukázala jako nedostatečná a tak je navrhovaný způsob sběru dat pro tvorbu příčných profilů v podmínkách Slovenské republiky téměř nepoužitelný, neboť většina vodních toků v této lokalitě nedisponuje čistou vodou o malé hloubce, která by umožňovala přesné zaznamenání hodnot.

6. Závěr

Tento výzkum se zabýval návrhem nové metody sběru dat pro použití ve vodním hospodářství, konkrétně pro tvorbu 3D

modelů vodních kanálů s následným modelováním příčných profilů.

Návrhová část výzkumu se týkala návržení vhodného bezpilotního leteckého systému (UAS), který by byl schopen zaznamenat dostatečný počet bodů pro následné modelování příčných profilů. Zvolena tak byla metoda nosiče v podobě bezpilotního leteckého prostředku (UAV) Dji Matrice 300 RTK, který nesl laserový skener (LiDAR) Lidaretto.

Pro měření v terénu byla vybrána lokace prvních přibližně 4 kilometrů odvodňovacího kanálu Vojka – Kračany, který má svůj počátek v průsakovém kanálu vodního díla Gabčíkovo. Po několika odkladech kvůli nepříznivému počasí bylo nakonec měření provedeno dne 16.02.2024 v brzkých ranních hodinách. Měření UAS proběhlo úspěšně a všechna potřebná data byla zaznamenána. Paralelně potom probíhalo měření souřadnic na příčných profilech pomocí GNSS přijímače. Všechna naměřená data byla následně zpracována a opravena tak, aby vykazovala co nejmenší narušení například vzrostlou vysokou zelení poblíž vodního kanálu.

Dalším krokem byla implementace naměřených hodnot do geodetického softwaru QGIS. V tomto programu proběhlo zaznamenání 2D pohledu na naměřené mračno bodů s možným přechodem do 3D modelu. Následovalo vytvoření digitálního modelu terénu a nahrání bodů měřených GNSS přijímačem. Posledním krokem v tomto programu bylo provedení příčných řezů v oblastech, kde byly měřeny příčné řezy technologií GNSS přijímače. Následovalo extrahování naměřených bodů do tabulky.

Na tento krok bylo nutné navázat vytvořením srovnávacích grafů v programu Microsoft Excel. Zde byly do jednotlivých souřadnicových grafů nahrány jak souřadnice měřené GNSS přijímačem, tak souřadnice měřené UAS. Ve finále bylo provedeno porovnání přesnosti a případné shody obou metod v jednotlivých příčných řezech a porovnání provedeného měření s archivními záznamy z roku 2021.

V posledním bodě výzkumu pak následovalo celkové vyhodnocení efektivity a smysluplnosti prezentovaného návrhu. Po stránce časové náročnosti je nově prezentovaný návrh velmi perspektivní, neboť nabízí zaznamenání stejného úseku v podstatně kratším čase (rozdíl až 9 hodin). Z pohledu kvantitativního se nový návrh taktéž osvědčil, neboť nabídl značně vyšší množství naměřených hodnot, ze kterých se lépe provádí samotné modelování vodních toků.

Zásadním problémem je ovšem technologická limitace zkušeneho návrhu. Technologie LiDAR je totiž velmi limitována z pohledu kvality a množství vody ve vodním toku, stejně tak jako z pohledu nejrůznější vodní vegetace rostoucí přímo ve vodě, případně na břehu. Na základě dosažených dat můžeme tvrdit, že platí následovně: čím větší množství vody a čím je voda více znečištěná, tím jsou získané výsledky méně přesné a více zkrácené. Dalším problémem pak mohou být vyšší pořizovací náklady UAS technologie nebo vyšší požadavky na obslužný personál.

Tento nový systém sběru dat tedy může najít své uplatnění i v podmínkách vodního hospodářství Slovenské republiky. Je ovšem důležité zdůraznit, že abychom docílili přesných výsledků, je nutné skenovat touto novou technologií převážně toky, kde

se nachází minimální množství čisté vody, případně místa, kde žádná voda není.

V tomto výzkumu bylo předmětem zkoumání zařízení s klasickou jednoduchou technologií LiDAR. Ta ovšem není primárně určena na prostupnost vodní hladinou. Pro tyto potřeby existuje několik zařízení, nazývané batymetrické LiDARy, které mohou zaznamenat daleko přesnější údaje, ovšem při ještě několikanásobně vyšších výdajích. Pokud ovšem tato technologie jednoho dne zlevní a stane se dostupnější, může se její využití v podmínkách Slovenské republiky stát předmětem dalších několika výzkumů.

Reference

- Cavalli, M., Tatoli, L & Dalla Fontana, G. 2007. The effectiveness of airborne LiDAR data in the recognition of channel-bed morphology. *Catena*, vol. 73, s. 249-260.
- DJI. (n.d.). Matrice 350 RTK. Online. Dostupné na: <https://enterprise.dji.com/matrice-350-rtk>
- Farnell. (n.d.). Úvod do technologie LiDAR. Online. Dostupné na: <https://cz.farnell.com/introduction-to-lidar-technology>.
- GEOPEN. (n.d.). Geodetické GPS, GNSS. Online. Dostupné na: <https://geopen.cz/725-geodeticke-gps-gnss>
- GEOTECH. (n.d.). Lidaretto. Online. Dostupné na: <https://www.lidaretto.com/lidaretto-with-hesai/>
- Holý, M. 1989. *Odvodňovací stavby: celostátní vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty*. 2. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 472 s. ISBN 80-03-00023-8.
- Karas, J. & Tichý, T. 2016. *Drony*. První vydání. Brno: Computer Press, 2016. 264 s. ISBN 978-80-251-4680-4.
- Lallias-Tacon, S., Liébault, F. & Piégay, H. 2016. Use of airborne LiDAR and historical aerial photos for characterising the history of braided river floodplain morphology and vegetation responses. *Catena*, vol. 149, Part 3, s. 742–759.
- Mensuro. 2021. Co je LiDAR a jak funguje. Online. Dostupné na: <https://www.geosken.cz/co-je-lidar-a-jak-funguje/>
- Novák, P. 2017. *Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů: certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací*. Praha: VÚMOP, 2017. 62 s. ISBN 978-80-87361-81-8.
- Oma.sk. (n.d.). Kanál Vojka – Kračany. Online. Dostupné na: <https://voda.oma.sk/kanal-vojka-kracany>
- Tamminga, A., Hugenholtz, Ch., Eaton, B. & Lapointe, M. 2014. Hyperspatial Remote Sensing of Channel Reach Morphology and Hydraulic Fish Habitat Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV): A First Assessment in the Context of River Research and Management. *River research and Applications*, vol. 31, Issue 3, s. 379-391.

TOPGIS. (n.d.). Technika. Online. Dostupné na: <https://www.topgis.cz/onas/technika/>

Yellowscan. (n.d.). Navigator. Online. Dostupné na: <https://www.yellowscan.com/products/navigator-bathymetric-lidar/>

Zeměměřič. (n.d.). Univerzální skener Lidaretto s novým senzorem Hesai XT32M2X má dosah až 300 metrů. Online. Dostupné na: <https://www.zememeric.cz/skener-lidaretto-hesai-xt32m2x/>