

Využití dronů v památkové péči na příkladu praxe Národního památkového ústavu: současné trendy a výhledy do budoucna

Drone Utilization in Heritage Protection on the Example of the National Heritage Institute's Practice: Current Trends and Future Prospects

Pavel Macků – Filip Prekop – Josef Masaryk

Abstrakt: Článek shrnuje dosavadní zkušenosti s využíváním drobné letecké techniky s podvěšenou kamerou (dron) v prostředí památkově chráněných území, chráněných budov a jejich správy, kulturní krajiny a všech typů výzkumů a dokumentace v prostředí památkové péče z hlediska Národního památkového ústavu. Vyhodnocuje realizované letecké práce a metody získání dat, rozebírá jejich využitelnost a přínos a nastiňuje budoucí vývoj v oboru, který se bude v této oblasti hlouběji specializovat.

Klíčová slova: bezpilotní dálkové řízený systém; UAS; UAV; RPAS; dron; letecké práce; Národní památkový ústav

Recenzovaný odborný článek vznikl v rámci výzkumného cíle Vědecké zhodnocení nových metod a technologií poznání a dokumentace památkového fondu – tvorba koncepčního koordinovaného systému využívání pokročilých dokumentačních technologií UAS financovaného z institucionální podpory Ministerstva kultury na dlouhodobý koncepční rozvoj (DKRVO).

Abstract: This article summarizes the current experience with the use of small aerial technology with a suspended camera (drone) in the environment of protected areas, protected buildings and their management, cultural landscape and all types of research and documentation in the environment of the National Heritage Institute's conservation approach. It evaluates the aerial work and data acquisition methods that have been undertaken, discusses their applicability and benefits, and outlines future developments in the field that will further specialise in this field.

Keywords: remotely piloted aircraft system; UAS; UAV; RPAS; drone; aerial work; National Heritage Institute

Peer-reviewed article was written within the research objective Scientific evaluation of new methods and technologies of knowledge and documentation of the heritage fund – creation of a conceptual coordinated system of use of advanced documentation technologies of the UAS and was funded by the institutional support of the Ministry of Culture for long-term conceptual development (DKRVO).

Úvod

Možnost operativního využití drobné letecké techniky v podobě bezpilotních dálkově řízených systémů osazených kamerou (pod obecně užívanými zkratkami UAS, UAV, RPAS),¹ dále jen dronů, se v uplynulých letech stala běžnou součástí dokumentace a revize nejen kulturních památek, ale i kulturní krajiny, archeologických výzkumů i dálkového průzkumu obecně. Vedle dalších vědecko-výzkumných organizací tento potenciál rozpoznal i Národní památkový ústav, jenž začal zavádět drony do své praxe od roku 2017. Zájem o využívání letecké techniky vzešel z požadavků praxe pracovníků, kteří potřebovali zvýšit operativu v oblasti dokumentace a monitoringu památkového fondu ve

1 Unmanned Aircraft System (UAS), Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). Pojem UAV označuje bezpilotně řízené letadlo, pojem UAS a RPAS pak celý dálkově řízený bezpilotní systém včetně vysílače a případného doplňujícího zařízení. Termíny jsou však často používány jako synonyma bez ustálených pravidel.

správě jejich pracovišť, a to jak u územních odborných pracovišť, tak územních památkových správ. S rozvojem a dostupností letecké techniky byly drony pořízeny následně i na další pracoviště, často v souvislosti s vědecko-výzkumnými projekty a specificky vydefinovanou oblastí využití. Praxe prvních let ukázala, že dron je zcela univerzální nástroj, využitelný prakticky ve všech oblastech potřeb památkové péče. Současně s obsáhlými legislativními změnami, zaváděnými od roku 2020, však vyvstala potřeba řešit drony v rámci Národního památkového ústavu (NPÚ) jednotně a koncepčně, což vedlo ke vzniku výzkumného cíle, jehož je tento článek výsledkem. V rámci řešeného projektu tedy byly vyhodnoceny dosavadní letecké práce s drony v NPÚ, sjednoceny provozní postupy a vytvořeny koncepční materiály pro plně profesionální leteckou činnost, které budou zavedeny do praxe.

Drony v České republice a Evropské unii v časech legislativních změn

Využití dronů reguluje národní i nadnárodní legislativa spojená se značnou administrativou, která se snaží chránit především bezpečnost osob, zvířat i movitého a nemovitého majetku, dále zvláště chráněná území (vodní pásma, komunikace, kulturní památky aj.), ale i soukromí dalších nezúčastněných osob leteckého provozu. Situaci pilotům dronů komplikuje především postupné zavádění nových nadnárodních pravidel, reagujících na *Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/945 ze dne 12. března 2019 o bezpilotních systémech a provozovatelích bezpilotních systémů ze třetích zemí*.² V reakci na toto nařízení bylo území celé České republiky od 31. 12. 2020 vyhlášeno jako omezený letecký prostor LKR 10.³ Ten nahradil dříve platný *Doplněk X* (součást Leteckého předpisu L2) věnující se přímo bezpilotním systémům.⁴ Všechny hlavní změny provozu dronů by měly být zavedeny do konce roku 2023, přesto se dají očekávat další dílčí úpravy pravidel létání i v následujících letech.⁵ Složitost administrativy ovšem není nepřekonatelná a letecká data spojená s rychlostí jejich zisku jsou v mnoha ohledech nenahraditelná.

Pilot dronu v České republice musí být vždy i s dronem registrován a absolvovat online výcvik u Úřadu pro civilní letectví pro vybranou leteckou kategorii, které jsou tři.⁶ Nejmeně regulovanou oblastí, vyhledávanou především hobby piloty, je kategorie „Open“. V ní není potřeba získat povolení příslušných úřadů pro let, ovšem je nutné dodržovat všechna platná nařízení. Dělí se na podkategorie podle váhy dronu a plánované letecké činnosti na „A1, A2 a A3“. Zjednodušeně řečeno lze konstatovat, že pilot v těchto podkategoriích nesmí létat především v hustě zastavěných oblastech (městech, obcích), nad osobami neúčastnými letecké činnosti, shromážděním lidí a v dalších ochranných pásmech. Každá podkategorie pak reguluje minimální vzdálenosti dle typu dronu odlišně.

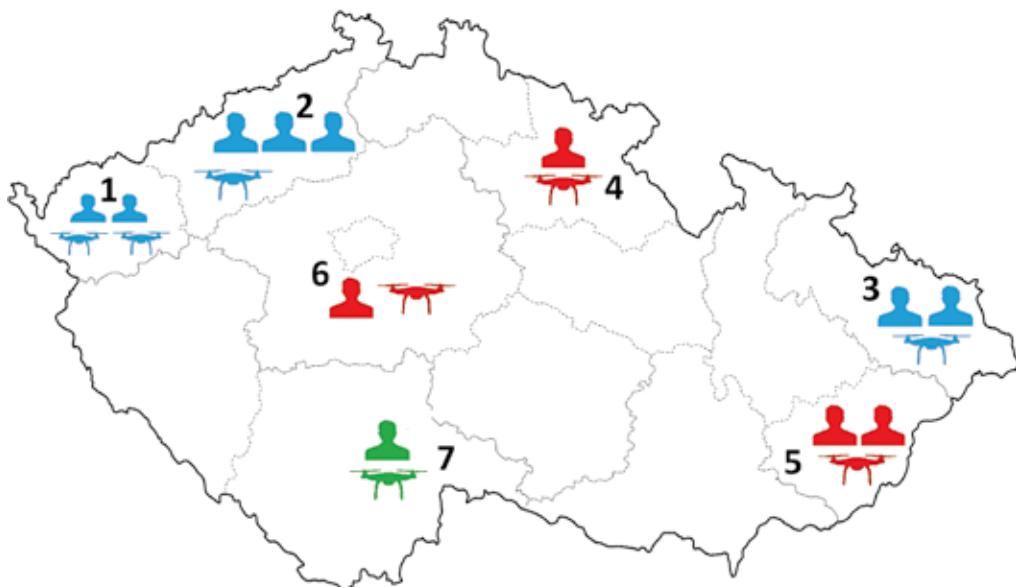
2 Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/945 ze dne 12. března 2019 o bezpilotních systémech a provozovatelích bezpilotních systémů ze třetích zemí, dostupné online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32019R0945> [06. 04. 2023].

3 LKR 10 – UAS, Opatření obecné povahy, Veřejná vyhláška, dostupné online: <https://www.caa.cz/20201230162623731/> [06. 04. 2023]. LKR + číslo označuje dočasný či trvalý specifický omezený vzdušný prostor, chránící určitou oblast či stavbu (např. vojenské prostory v době cvičení). Po jejich vyhlášení se zde může létat jen za splnění určitých podmínek, specifických pro každé jednotlivé LKR, a koordinaci s jejich zřizovatelem. Největší regulací LKR 10 – UAS je, že povoluje létat ve vzdušném prostoru „G“ do výšky pouze 120 m AGL, ačkoli je v České republice tento prostor vymezený od povrchu země do výšky 1 000 stop AGL (330 m). Prostor se nachází v rozsahu celého státu, mimo jinak omezené vzdušné prostory (např. prostory letišť). AGL je zkratka pro Above Ground Level, tedy výška nad pochozím terénem.

4 Základním tuzemským nařízením byl před zavedením nadnárodní legislativy Letecký předpis L2, Doplněk X, Pravidla létání v platném znění: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf> [06. 04. 2023]. Další tuzemské letecké předpisy jsou dostupné na webu Řízení letového provozu ČR: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm> [06. 04. 2023].

5 Povinnosti pilota dronu před zavedením nadnárodní legislativy jsou popsány např. v MACKŮ, Pavel, Využívání bezpilotních dálkově řízených systémů v archeologii a památkové péči v prostorech měst a obcí – správné legislativní postupy, *Studia Archaeologica Brunensia*, 2021, roč. 26, č. 2, s. 115–128.

6 Výjimku tvoří pouze drony – hračky bez integrovaných či podvěšených kamer. Informace k online výcviku dostupné online: <https://dron.caa.cz/> [19. 06. 2023].



Obr. 1. Stavy pilotů a dronů v NPÚ: modře ÚOP, červeně ÚPS, zeleně GnŘ; 1 – ÚOP v Lokti, 2 – ÚOP v Ústí nad Labem, 3 – ÚOP v Ostravě (pracoviště Opava), 4 – ÚPS na Sychrově (státní zámek Opočno), 5 – ÚPS v Kroměříži (státní hrad Buchlov), 6 – ÚPS v Ústí nad Labem, dříve označení ÚPS v Praze (státní hrad Karlštejn), 7 – GnŘ (dislokované pracoviště Jindřichův Hradec), grafika: Pavel Macků, 2023

Pro piloty, kteří potřebují létat v zastavěných a dalších specifických oblastech, je zřízena kategorie „Specific“. Spadají sem i lety nad kulturními památkami, kdy pilot musí mít schválené Oprávnění k provozu (OkP) od Úřadu pro civilní letectví a splnit veškeré podmínky vlastníka či provozovatele chráněného objektu.⁷ Vždy platí základní pravidlo, že bezpečnost je na prvním místě a za každý let včetně přípravy zodpovídá pilot dronu.

Aktuální stav dronů a pilotů v NPÚ

S nárůstem počtu dronů a s tím spojenou reží bylo potřeba začít o dronech v Národním památkovém ústavu uvažovat koncepčně.⁸ Národní památkový ústav se stal registrací u Úřadu pro civilní letectví (ÚCL) v roce 2021 provozovatelem dronů, přičemž v tu dobu

7 Létání s dronem nad památkami ve správě státu, potažmo Národního památkového ústavu, je ošetřeno samostatnou vnitřní směrnicí č. IX/2021/NPÚ, jejíž potřebu vyvolalo živelné létání hobby pilotů z řad veřejnosti nad těmito památkami, a to včetně jejich návštěvníků. Jejím cílem je mít formalizovaný postup pro zájemce o dokumentaci památek mimo zaměstnanecký poměr v NPÚ a minimalizaci škod, které by z daného letu mohly vzniknout. Ačkoli směrnice samotná nelegální lety vyřešit nemůže, jde o vstřícné gesto vůči veřejnosti, jak získat povolení létat nad památkami bezpečně a legálně. Pilot musí získat povolení nejen od kastelána objektu, ale zároveň i od Úřadu pro civilní letectví (ÚCL). Vzhledem k měnící se legislativě bude dokument v roce 2024 aktualizován, neboť let nad kulturní památkou spadá dle nové legislativy do kategorie Specific pro drony těžší 250 g. Pilot tedy musí být držitelem leteckého oprávnění v podkategorii A2 a zažádat si o Oprávnění k provozu (OkP) u Úřadu civilního letectví, který mu ho po zaplacení správního poplatku a případně i určení dalších podmínek provozu vydá. Teprve po prokázání takového oprávnění může kastelán pilotovi let nad památkově chráněným objektem povolit, případně pro něj určit další podmínky. Let nad pozemky v kategorii OPEN A1/A3 probíhá pro zájemce dle pravidel dané kategorie. Drony s váhou pod 250 g mohou za dodržování určitých podmínek nad památkami létat bez povolení od května roku 2024.

8 Mezi hlavní reží patří výcvik pilotů, pořízení a pojištění strojů a správní poplatky vůči Úřadu pro civilní letectví. K navazujícím nákladům patří nákup doplňkových zařízení, servis, proškolení apod. Jiným důvodem je i to, že NPÚ má jednotné IČO pro všechna pracoviště a veškerá agenda ohledně dronů směřuje zvenčí do centrální spisové služby. V minulých letech bylo bez systémového řešení složité jednotlivé spisy přiřadit konkrétním pracovištím, natož pilotům. Centralizované a koncepční nastavení systému tak podobným kuriózním situacím bude předcházet. Legislativa rozlišuje provozovatele a pilota dronu. To, že pod jedním provozovatelem může být dronů i pilotů mnoho, navíc po celé ČR na různých pracovištích, není zohledněno.

měl již několik aktivních pilotů, operujících především pro potřeby své praxe či potřeb pracoviště. K počátku roku 2023 bylo v NPÚ využíváno osm dronů obsluhovaných dvanácti piloty. Drony využívají konkrétně územní odborné pracoviště (ÚOP) v Lokti, Ústí nad Labem, Ostravě, dále pak územní památková správa (ÚPS) na Sychrově, v Kroměříži, Praze a nově generální ředitelství v Praze, kam byl dron i pilot převeden z telčského ÚOP (obr. 1). Jde o komerčně dostupné bezpilotní systémy od firmy DJI, přičemž nejrozšířenějším je řada Phantom 4. Výhodou těchto strojů je snadná údržba a servis, dostupnost náhradního a rozšiřujícího vybavení a intuitivní řízení. Jednotná značka používaných strojů navíc zaručuje, že přeškolování mezi jednotlivými drony a typy je velmi rychlé. Jde o první generaci dronů v NPÚ, starých v průměru 5 let. Vzhledem ke stárí i technologickému vývoji, kdy některé starší typy již nemohou získat technickou podporu, budou v nejbližších letech nahrazovány novějšími typy. Piloti NPÚ létají v otevřené kategorii (Open, podkategorie A1–A3, A2) a od roku 2023 mají licenci i na specifickou leteckou kategorii (Specific), která se postupně bude rozšiřovat.⁹ Certifikovaná letecká kategorie (Certified) pro letecký převoz materiálu i osob není zatím v České republice uznána, nicméně prozatím není ani v NPÚ potřebná.

V roce 2023 vznikla v NPÚ pozice leteckého metodika, spadajícího pod generální ředitelství. Mimo samotné lety na všech typech památkově chráněných objektů, archeologických a stavebněhistorických průzkumech v celé ČR a jejich zpracování bude tato pozice poskytovat i metodickou pomoc ostatním pilotům v NPÚ. Metodik povede agendu dronů včetně centrálního informačního úložiště s leteckou tematikou, bude konzultovat jednotlivé lety s ostatními piloty a informovat je o novinkách v oboru. Též bude zajišťovat letecké práce pracovištěm bez dronu.

Účely dosavadního využívání dronů v NPÚ

Dosavadní využívání dronů odráželo v minulých letech především jejich rozmístění či absenci v jednotlivých krajích ČR.¹⁰ Jednotlivá pracoviště si ovšem v případě potřeby vypomáhala, proto proběhlo množství letů i v jinak dronem neobsazených územích. Nasazení dronů nebylo nijak centrálně koordinované, a přesto jej lze považovat za úspěšné.

Z povahy použití lze rozdělit jejich užívání na dva základní okruhy, které odráží i vnitřní členění NPÚ. Je to oblast památek ve správě NPÚ (územní památkové správy) a oblast průzkumů a dokumentace v oblasti památkové péče (územní odborná pracoviště). Agenda obou těchto sfér činností se značně liší.

Z hlediska územních památkových správ byla potřeba dronů spatřována především v rovině revizní a dokumentační. Vedle revizí střech, okapových svodů, říms či komínů (Sychrov, Hrubý Rohozec, Bezděz, Lipnice, Praha-Invalidovna, Karlštejn, Bouzov, Buchlov aj.), byly zdokumentovány zámecké parky (např. Kynžvart, Veltrusy, Lysice, Milotice). Drony byly využívány i pro kontrolu provedených prací při obnovách památkových objektů, zjišťování rozsahu havárií, ale i analýzu prostorových vztahů či jako podklad pro krizové řízení, požární ochranu a bezpečnost a ochranu zdraví při práci.

Územní odborná pracoviště využívala drony, vzhledem k šíři své činnosti kromě výše psaného, i k dokumentaci a monitoringu kulturních památek mimo správu NPÚ a v plošně chráněných územích a celcích (městská památková zóna a rezervace Telč, krajinná památková zóna Náměštsko aj.). Dále jako podklad pro dokumentaci k vytvoření návrhu na prohlášení za kulturní památku či jako podklad pro jednotlivá jednání s investory a majiteli kulturních památek. Častým podnětem pro pořízení dronu byla oblast archeologie, kde je dron využíván nejen při záchranných archeologických výzkumech, ale i při monitoringu a prospekci archeologických lokalit v otevřené krajině. Drony se osvědčily i jako

9 Letecká kategorie SPECIFIC, dostupné online: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/specificka-kategorie-specific/> [03. 05. 2023].

10 Kapitola vychází ze sběru dat provedeného v roce 2022. Za poskytnutí informací a postřehy děkujeme především Mgr. et Bc. Lucii Bidlasové (ÚPS na Sychrově), Ing. Lukáši Kunstovi (ÚPS v Ústí nad Labem, dříve označení ÚPS v Praze), Ing. Rostislavu Joškovi (ÚPS v Kroměříži), Mgr. Františku Chupíkoví, Ph.D. (ÚOP v Olomouci), Ing. Nelly Komendové a Ing. Lence Křesadlové, Ph.D. (ÚOP v Kroměříži), Ing. Jiřímu Baskému (ÚOP v Josefově) a PhDr. Zdeňku Váchovi (ÚOP v Brně).

nástroj monitoringu a predikce šíření kůrovcové kalamity, která sama o sobě ohrožením archeologických lokalit většinou není, následná těžba napadených stromů ovšem ano.¹¹

Drony byly napříč pracovišti využívány pro sběr podkladů ke stavebněhistorickým a operativním průzkumům (např. hrad Křídlo, tvrz Kurovice, hřbitov Střílky, hrad Veveří) a také pro účely publikační a osvětové činnosti.

Lety v interiérech památkově chráněných budov

Drony našly uplatnění i jako operativní nástroj snímání interiérů budov, byť jejich využití v tomto prostoru bylo v době psaní této práce teprve na počátku. Lety v interiérech neprobíhají podle letecké legislativy ČR, neboť není narušen žádný letecký prostor, čímž jsou administrativně výrazně zjednodušeny. Běžné drony ovšem nezachytí v budově signál GPS a je nutné s nimi létat velmi opatrně a měl by je v památkově chráněných budovách provádět pouze zkušený pilot, aby nedošlo k poškození konstrukcí, mobiliáře či náleзовých situací. Bez GPS signálu létá komerční typ dronu v běžném automatickém režimu „Opti“ díky přednastavenému softwarovému omezení jen do výše několika metrů od pochozího povrchu, což většinou nedostačuje pro dokumentaci výše položených zájmových objektů a ploch. Je tedy nutné přepnout stroj do režimu „Atti“, kde není udržování pozice zajišťováno automaticky. Tento plně manuální režim nedovoluje dron „zavěsit“ na určeném místě.¹² Prakticky ihned po dolétnutí na zvolené místo se dron začne samovolně pohybovat vlivem turbulencí do strany. Vzduch proudící přes rotující vrtule totiž vytváří v okolí dronu vzdušné víry, které se odráží od okolních překážek a dron se tak vychyluje ze zvolené pozice. Navíc je potřeba počítat s vířením prachu, kterému při nižších či blízkých průletech nad zemí a jinými zaprášenými místy nelze většinou předejít. Je-li to možné, je vhodné taková místa prachu pokud možno zbavit, nebo alespoň zakrýt hodnotný inventář či omítky foliemi. Pilot tedy musí mít přednastaveny parametry kamery a kromě focení musí neustále kontrolovat dron, případně ho vrátet do požadované pozice. Obzvláště složité je to v případě natáčení videosekvencí s delší stopáží, kde musí pilot dokonale zvládat řízení ve všech osách a navíc korigovat rovinu letu. Řešením může být použití dronu s FPV brýlemi.¹³ Do brýlí se přenáší obraz z kamery v přímém přenosu a pilot tak rovnou vidí snímání záběr. Tyto brýle jsou ovšem pro použití v běžném provozu exteriérů zakázané, neboť dron nemůže být pilotem kontrolován v přímém dohledu (tzv. VLOS), nemá-li speciální povolení od ÚCL (BVLOS). Řešením může být i pilotův pomocník, tzv. „spotter“, který dron neustále sleduje a kontroluje možná omezení nebo nebezpečí, která pilot s nasazenými brýlemi nemůže vidět. V interiéru jsou použitelné bez omezení, ale vizuální kontrolu by měly pilotovi přesto zajišťovat další osoby. Kvůli pohybu dronu je v interiérech komplikované focení i HDR snímků, není ovšem nemožné.¹⁴ Současné komerční bezpilotní systémy profesionálních řad skýtají také možnost rozdělení funkcí mezi více pilotů a operátorů. Jeden dron ovládá, druhý pořizuje záběry nebo provádí další činnosti, jako například monitoring či měření. V průběhu letu si mohou funkce podle potřeby i vyměňovat.

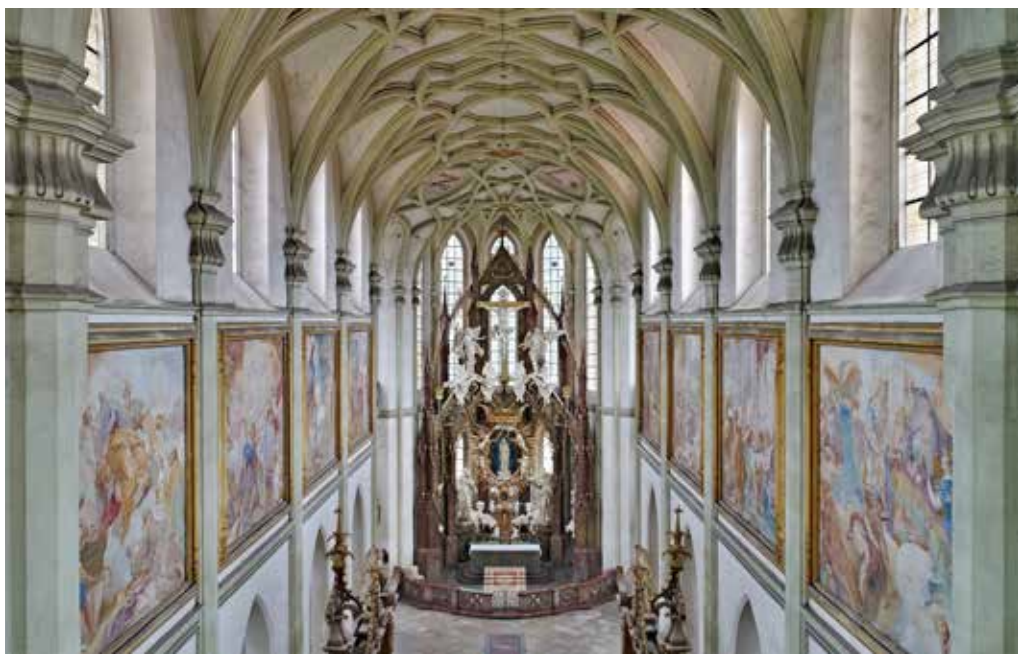
Do videí určených především pro public relations je vhodné záměrně využít tzv. „pohybovou neostrost“. K tomu se využívají ND filtry nasazené na kameru v kombinaci

11 MACKŮ, Pavel, Využití dronů v archeologii a památkové péči jako nástroj monitoringu a dokumentace kůrovcové kalamity na příkladu Kraje Vysočina, *Zprávy památkové péče*, 2022, roč. 82, č. 3, s. 455–463.

12 Drony bývají osazeny i dalšími typy čidel zajišťujících bezpečnost jejich provozu v prostředí s překážkami, např. tzv. IMU (Inertial Measurement Unit – Inerciální měřicí jednotka). Ty zajišťují propočty zrychlení, rotace a orientace dronu. Také se dají využít další senzory typu SLAM (simultaneous localization and mapping – simultánní lokalizace a mapování) s využitím dat z 3D LiDARu, dále vizuální SLAM metodu, která využívá data z RGB kamer a IMU, aj. Jejich využití v době psaní tohoto článku nebylo v NPÚ vyzkoušeno prakticky.

13 FPV – „First Person View“ – z pohledu první osoby. Tyto brýle se nejčastěji používají s FPV drony. Jde o rychlé a obratné drony, využívané například pro snímání sportovních událostí či závody s drony. Pro kvalitní záznam letu na ně bývají osazovány outdoorové kamery.

14 HDR – „High Dynamic Range“ – vysoký dynamický rozsah. Fotografie je vytvořena složením tří a více snímků s různou expozicí. Jejich spojením dosáhneme vysokého kontrastu snímku s lepším vyvážením tmavých a světlých míst. Fotografie musí být ovšem pořízeny ze stejného místa tak, aby se skládaly obraz fotografie přesně překrýval.



Obr. 2. Dokumentace interiérů kostela Nanebevzetí Panny Marie, sv. Wolfganga a sv. Benedikta v areálu kláštera Kladruhy, foto: Pavel Macků, 2023

s jejím správným nastavením snímání (clona, ISO, expoziční čas).¹⁵ Pohybová neostrost je jednoduše řečeno zjemnění obrazu, který divák snáze pozoruje a je mu příjemnější než sledovat video složené z jednotlivě velmi ostrých snímků. Videá složená z jednotlivých ostrých snímků jsou naopak vhodná pro dokumentaci, neboť vykreslují obraz čistý, a to i při zastavování videa.

Problematické z hlediska snímání interiérů dronem je i protisvětlo z okenních otvorů, pronikající do budov. Na finálních snímcích se tvoří ostrý kontrast světla a stínu, který je potřeba korigovat nastavením fotoaparátu na dronu a následným zpracováním fotografie v grafických programech. Pro přisvětlování tmavých oblastí se dají osadit specializované svítilny, upínané na tělo dronu.

Komerčně prodávané drony jsou osazeny gimblovými kamerami, které ale nedokáží snímat prostor nad strojem, tedy stropy interiérů (některé dokáží snímat prostor nad strojem pouze v ostrém úhlu, nikoli kolmo). Na některé stroje je ovšem možné zavěsit dodatečné kamery zachycující pohled vzhůru (outdoorové kamery, dálkově ovládané DSLR aj.), jednodušší je ale stále využít klasickou fotografii ze stativu umístěného na zemi. I přes všechny uvedené komplikace a omezení je tedy dron vysoce operativním nástrojem, jak dokumentovat interiéry památkových budov. S dalším vývojem se dá očekávat, že mnohá dnešní omezení, budou brzy minulostí. (obr. 2)

Drony jsou stále častěji využívány i při řešení vědecko-výzkumných projektů a z nich plynoucích výstupů.¹⁶ V tomto ohledu byl progresivním projekt „Dron & monument“,

¹⁵ ND filtr ztmavuje fotografovanou či natáčenou oblast, čímž snižuje míru dopadajícího světla na čip kamery a je tedy možné protahovat expoziční čas snímání zájmového objektu.

¹⁶ Např. Archeologie z nebe. Analýza a prezentace fondů dálkového průzkumu na Moravě a ve Slezsku. NAKI II (SMK02018DG002), za NPÚ zastoupeno generální ředitelství, ÚOP v Ostravě a ÚOP v Telči: GOJDA, Martin – BÍŠKOVÁ Jarmila a kolektiv, *Archeologie z nebe. Katalog k výstavě*, Brno – Praha 2022; GOJDA, Martin – NOVÁK, David – KUNA, Martin – VAVŘÍN, Pavel – BÍŠKOVÁ, Jarmila, *Metodika zpracování a evidence dat leteckého průzkumu v archeologii*, Praha 2022; výsledky jsou dostupné online: <https://starfos.tacr.cz/cs/search/svayaaco52yq/> [05. 05. 2023]; dále Paměť krajiny moravských a slezských Sudet v ohrožení. NAKI II (SMK02020DG003), za NPÚ zastoupeno ÚOP v Ostravě: výsledky projektu jsou dostupné online: https://starfos.tacr.cz/cs/project/DG20P02OVV008?query_code=4pcqaaciwudq#project-results [05. 05. 2023].

jehož cílem bylo vytvořit autonomní bezpilotní systém, schopný dokumentovat památky v interiéru i exteriéru podle předem vydefinovaných potřeb a parametrů.¹⁷ Vzhledem k možnému asistivnímu vzletu více dronů najednou je možné využívat kromě hlavního dronu s kamerou i další stroje, které snímanou plochu nasvěcují. Též je možné zájmový objekt v interiéru nasnímat z předem definovaných pozic před, během i po jeho obnově či restaurování na základě předem vytvořeného 3D scanu.¹⁸

Porovnání možností dronů a letadel

Potenciál kolmého a šikmého pohledu ze vzduchu na kulturní krajinu a její prvky v podobě historicky hodnotných staveb a areálů byl rozpoznán již před vynálezem letadla těžšího vzduchu. První „průzkumy“ probíhaly v montgolfiérách a první fotografie pak v horkovzdušných balonech s osádkou i bez či ze země ovládaných krabicovitých „draků“. Lety se ovšem nedaly výrazněji plánovat a byly především výsledkem rozmarů povětrnosti. Objev letadla těžšího vzduchu s možností řídit let tak znamenal obrovský pokrok, oblast dokumentace nevyjímaje. Druhá revoluce leteckého snímkování přišla s rozvojem družicového snímkování a především s uvolňováním a zveřejňováním dat od 90. let 20. století.¹⁹ Tyto metody dokumentace jsou vhodné především pro snímání širších souvislostí, proto nástup dronu můžeme považovat za třetí revoluci, která má možnost zachycovat oproti předchozím metodám i dílčí celky a detaily. Revoluční je také v operativnosti a ekonomické dostupnosti, a tedy i masovém šíření.

Největší výhodou využití klasického letadla pro dokumentaci památkového fondu je jeho přepravní rychlost, kdy se během jednoho letu dá zdokumentovat množství lokalit. Ideální je využití hornoplošných letadel, kde křídlo umístěné nad fotografem nezaclání ve výhledu. Fotograf pak při přiletu na lokalitu musí vyklopit okénko, které vztlak odtlačí vzhůru pod křídlo, kde zůstane zafixováno díky obtékání křídla vzduchem. Následně pilot nalétne z požadované pozice nad lokalitu a nakloní letadlo směrem k fotografované oblasti. Fotograf se vytočí dozadu a fotí směrem vzad mezi křídlem a ocasními plochami letounu. Tím je zajištěna maximalizace ostroty obrazu, která se při focení směrem s pohybem letounu nedá většinou udržet. Také musí dávat pozor, aby objektiv, především při zoomování obrazu, zůstal celý v kabině letounu, jinak proudící vzduch obtékající bajonet obraz opět rozmaže. Tato poloha je pro fotografa nepříjemná a sledování fotografovaných

- 17 Projekt Bezpečné snímání historických objektů bezpilotními helikoptéry – asistivní technologie, metodika. NAKI II (DG18P02OVV069). Web projektu dostupný online: <https://www.dronument.cz/projekt> [09. 05. 2023]. Hlavním řešitelem bylo České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická a NPÚ ÚOP v Olomouci.
- 18 Zmiňovaná problematika je diskutována v jednom z výstupů projektu Dron & monument v PETRÁČEK, Pavel – KRÁTKÝ, Vít – BACA, Tomas – PETRLIK, Matej – SASKA, Martin, New Era in Cultural Heritage Preservation, Cooperative Aerial Aeronomy for Fast Digitalization of Difficult-to-Access Interiors of Historical Monuments, in: *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 31, no. 2, 2024, s. 8–25; dále k tématu např. ČADILOVÁ, Michaela – ŠKOBRTAL, Milan – KRÁTKÝ, Vít – PETRÁČEK, Pavel – VÍTEK, Tomáš – DAVIDOVÁ, Kamila, Průzkum umělecko-historicky hodnotných interiérů za pomoci autonomního letu bezpilotní helikoptéry, *Památkový postup*, Olomouc 2021, s. 4–18.; KRÁTKÝ, Vít – PETRÁČEK, Pavel – NASCIMENTO, Tiago – ČADILOVÁ, Michaela – ŠKOBRTAL, Milan – STOUDEK, Pavel – SASKA, Martin, Safe Documentation of Historical Monuments by an Autonomous Unmanned Aerial Vehicle, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 10, no. 11, 2021, s. 1–16; PRITZL, Václav – VRBA, Matouš – ŠTĚPÁN, Petr – SASKA, Martin, Cooperative Navigation and Guidance of a Micro-Scale Aerial Vehicle by an Accompanying UAV using 3D LiDAR Relative Localization, *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2022, nestr., dostupné online: https://www.dronument.cz/sites/default/files/uploaded/ICUAS22_Pritzl.pdf [09. 05. 2023].
- 19 K prvním průkopníkům dálkového průzkumu země patřili archeologové. Nejranější dějiny a vývoj tohoto oboru je shrnut například v DEUEL, Leo, *Objevy z ptačí perspektivy*, Praha 1979, s. 20–27; výrazně obsáhleji v GOJDA, Martin, Letecká archeologie a dálkový průzkum, in: *Nedestruktivní archeologie*, KUNA, Martin a kol., Praha 2004, s. 54–75; vývoj v Čechách je shrnut v GOJDA, Martin, *Letecká archeologie v Čechách*, Praha 1997, s. 5–8; Morava a Slezsko je shrnuto v ČIŽMÁŘ, Ivan – KNECHTOVÁ, Alena, Vývoj letecké archeologie na Moravě a v Českém Slezsku – shrnutí a perspektivy, *Studia Archaeologica Brunensia*, 2021, roč. 26, č. 2, s. 29–56; nejnověji se problematikou zabývá GOJDA, Martin – BIŠKOVÁ, Jarmila a kolektiv, *Archeologie z nebe. Katalog k výstavě*, Brno – Praha 2022, s. 29–44.

objektů za sebou přes hledáček vede dříve či později k nevolnosti fotografa.²⁰ Ideální je používat nastavitelný polarizační filtr.²¹

Letoun je v památkové péči vhodný především pro snímání větších úseků kulturní krajiny, historických jader měst či krajinných dominant (hrady, kostely, kláštery a jejich areály). Možné je samozřejmě focení i jednotlivých prvků či budov, ovšem k tomu je potřeba využívat zoom objektivu, kde se s mírou přiblížení zvyšuje riziko neostrosti snímku. Letoun také nesmí z hlediska legislativy sestoupat níže než 150 metrů nad otevřenou krajinou a 300 metrů nad zastavěnou oblastí. Výhodou je naopak prakticky neomezené fotografování čehokoli, co nenaruší zakázané letové zóny či soukromí třetích osob. Letoun je také ideální pro monitorovací a rekognoskační lety, kde oproti dronům dokáže zdokumentovat mnohem větší území během krátké doby.

Drony naopak mohou v běžném letovém prostoru operovat do výšky maximálně 120 m AGL,²² což jim dovoluje přibližovat se výrazněji blíže ke snímanému objektu. Jejich dosah je ovšem mnohem vyšší a po vyřízení jednorázových povolení mohou vystoupat i do výšek jako letouny. Na rozdíl od nich se navíc dá dron zavěsit v prostoru, případně je možné ho přesouvat podle potřeby i v blízkosti zájmového objektu a focení je tedy prováděno s větším rozmyslem a klidem, čímž se dá dosáhnout lepších výsledků, včetně kolmých snímků. Fotit lze také širokouhlé či panoramatické snímky, které z letounu nejsou ve srovnatelné kvalitě možné. Využití dronu v omezených leteckých prostorech je oproti pronájmu letounu výrazně levnější, ačkoli je s ním spojena zvýšená administrativa. Není-li potřeba provádět průzkum rozsáhlého území, je dron ideální volbou.

Kategorie užívaných výstupů dokumentace

Z povahy věci lze obrazovou dokumentaci pořízenou bezpilotními letovými prostředky zpracovávat a členit do obdobných kategorií jako snímky z pozemních fotoaparátů. Snadná variabilita pořizování dokumentace sledovaných objektů ve třetím, svíselém rozměru ji jen zásadně rozšiřuje a některé poněkud akcentuje. Neotřelost úhlu záběru vyvolává jistou obecnou atraktivitu již u prostých snímků, které žádnou přidanou kvalitativní hodnotu ani mít nemusejí. Je tak nutné dbát i na tento krátkodobý, ale jinak samoučelný efekt, který bychom měli při seriózní odborné práci vědomě potlačovat.

Prosté snímky z ptačí perspektivy

Prosté snímky z ptačí perspektivy pochopitelně patří k neběžnějším a nejdostupnějším výstupům. Přesto by se jejich pořizování mělo řídit standardními pravidly správné fotografie, co se týče světelnosti, ostrosti či kompozice. Především autor by si měl být vědom účelu snímkování, co je objektem a na jaké účely bude výsledná dokumentace použita. Vše by mělo být promyšlené před samotným zahájením letu. Zvláštní rozvaha by měla být věnovaná především denní době a postavení Slunce vůči dokumentovanému objektu, tak aby se vyvarovalo focení v protisvětle či na rozhraní ostrých stínů. Moderní technika stále více kompenzuje negativní faktory, které ale vždy vedou ke snížení rozlišení snímku či snížení jeho barevné věrohodnosti.

Oproti většině fotoaparátů umožňují drony částečně kompenzovat běžnou chybu, a to absenci jednoznačných geolokačních prvků na snímku. Všechny námi užívané drony mají jednotku GPS, ze které jsou informace o poloze stroje, tedy místa kamery, automaticky zaznamenávány do metadat každého snímku. Přesto tato informace je pouze digitální a v okamžiku neodborného digitálního převodu snímku nebo tisku do analogu se nenávratně ztrácí. Snímky či série snímků každé dokumentační akce by tak měly kromě detailního snímkování obsahovat i snímek širšího okolí, který by alespoň částečně fixoval předmět snímkování ve svém bezprostředním okolí a jeho orientaci vůči světovým stranám.

20 Z vlastní zkušenosti se dají odlétat maximálně tři hodiny v kuse, přičemž od druhé hodiny se vlivem únavy kvalita fotografií snižuje. Ideální fotolet pro autora je okolo 1,5 hodiny.

21 Pro krajinářskou a leteckou fotografii je vhodné využívat polarizační filtry (PL, CPL), které dokáží odfiltrovat odlesky ploch, například okna či vodní hladinu. Zároveň zvyšují dynamiku snímané krajiny a oblohy.

22 AGL – Above Ground Level – výška odvozená od pochozího terénu v místě, nad nímž se dron pohybuje.



Obr. 3. Státní hrad a zámek Český Krumlov, fotogrammetrické zobrazení jižní fasády

Typickým výstupem jsou také snímky kolmé k povrchu země pod daným dronem. Zde je nutné kromě výše zmíněného brát v potaz, že takto prostý snímek je přirozeně prostorově deformovaný, stejně jako jakýkoliv jiný snímek z jednoboké optické soustavy.²³ Míra zkreslení se liší u každého přístroje a v určitých okamžicích ji lze zanedbat, přesto je rovněž nutné vědět, že rozměry a tvary v rámci snímku nejsou doslova věrohodné a nelze je jednoduše zpět odvozovat.

Fotogrammetrie

Využití tohoto dokumentačního postupu je vhodné zejména pro snímkování souvislých, převážně dvourozměrných ploch. Fotogrammetrii rozdělujeme do několika typů. V případě, kdy se dokumentují svislé plochy a snímkování je možné provést i ze země, označujeme ji za pozemní fotogrammetrii. Zde máme na mysli především fasádní a střešní pláště, kdy výstupem je detailní snímek celé plochy fasády (či jiné plochy) v rovnoběžné rovině se známým měřítkem a referenčními body. Výhodné je rovněž pořizovat fotogrammetrické plány půdorysných pohledů, například v případě archeologických odkryvů. Právě v takovém případě hovoříme o letecké fotogrammetrii. Drony se využívají v obou kategoriích.

Zásadní specifikum je, že každý pořízený snímek (z dronu) je nutné transformovat tak, aby došlo: a) k odstranění (potlačení) přirozených deformací optické soustavy kamery a b) k „natažení“ snímku do potřebné roviny rovnoběžné s hlavní rovinou snímání plochy či území.²⁴ Přestože se tvorba fotoplánů opět odehrává v prostředí několika programů, nelze si vystačit pouze s pořízeným snímkem, ale je nutné rovněž zadat skutečné vzdálenosti určených referenčních bodů dané roviny a ty ztotožnit na (dronem) pořízeném snímku. Kontrolní měření je možné provést ručně či vhodným geodetickým přístrojem.

Pro pasportizaci fasád je v dnešní době velmi vhodné využívat snímkování s využitím dronu, nicméně postprocessing umožňuje kombinovat snímky zhotovené letecky i z pozemní kamery (např. fotoaparátu). Obecně lze výhody spatřovat zejména v možnosti

23 Jedná se o tzv. soudkovitost nebo poduškovitost. K termínu například dostupné online zde: https://digiarena.zive.cz/odvalte-ty-sudy-rusi-fotografii_4 [14. 06. 2023].

24 K termínu fotogrammetrie např. BŮHM, Jozef, *Fotogrammetrie, učební texty*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geodézie a důlního měřičství, 2002, dostupné online: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/content/galerie-souboru/skripta/Fotogrammetrie.pdf> [14. 06. 2023].

provedení fotogrammetrie v místech, plochách a prostorách, které jsou hůře až špatně přístupné či vyžadují organizačně a finančně náročné řešení (např. postavení lešení, plošina apod.) a jsou využívány pro zaměření a podklady pro zpracování projektové dokumentace obnovy fasádních plášťů, střešních rovin, mostních konstrukcí atd. (obr. 3). V případě, že se fotogrammetrie zaměřuje na půdorysné zobrazení, je opět vhodné dokumentovanou situaci opatřit vřícovacími či jinak jasně definovatelnými body, které poslouží pro měřičské propojení s dalšími geodeticky určitelnými dokumentacemi.

Výstupy (v měřítku, bez deformací a optických vad skládaného obrazu) jsou pořizovány s využitím dronu v rozlišení min. 2 mm/pixel. To znamená, že elementární obrazová jednotka – pixel obrazového záznamu zaujímá 4 mm² dokumentovaného objektu nebo plochy. Tohoto výstupu je dosaženo snímáním v nativním rozlišení fotoaparátu, nikoliv následnou softwarovou interpolací. Vždy je vyžadováno 2D zobrazení s důrazem na vysokou ostrost snímku v kvalitě SLR a předání digitálně v plném rozlišení ve formátu bez komprese (TIFF, BMP, RAW apod.). V rámci postprocessingu ve specializovaném softwaru dojde nejprve z mračna snímků k vyrenderování 3D modelu objektu, respektive fasády a následně provedení řezu, jehož výsledkem je fotogrammetrický snímek fasády. Výsledek fotogrammetrie umožní zdokumentovat velmi podrobně aktuální stav fasády (střechy, nádvoří apod.) a ten se může stát podkladem pro projektanta k návrhu obnovy či vytváří trvalou dokumentační stopu (stav před a po opravě). Přináší detailní představu o případných poruchách bez nutnosti průzkumu z lešení, rovněž může rovnou sloužit jako grafický podklad pro zakreslení návrhu obnovy, aniž by bylo nutné fasádu na výkres nejprve vynášet. Tím lze dosáhnout výrazné časové i finanční úspory.

Úskalím fotogrammetrie i přes správné provedení základního snímání zůstávají prvky snímkané plochy, které jsou výrazně mimo snímanou rovinu (v řádu jednotek decimetrů), dále zakřivení snímané plochy (polygonální či obloukové členění objektu) a reflexní plochy (typicky skleněné výplně otvorů). Dále je třeba počítat s výstupy v podobě rastrů bezztrátové komprese o objemu až 1,5 GB na jeden soubor (!). S takovým



Obr. 4. 3D model státního hradu Landštejn, autor: Strix Chomutov a.s., 2016



Obr. 5. Státní hrad a zámek Český Krumlov, pasport svahů a skalních útvarů nad Rybářskou ulicí, autor: Strix Chomutov a.s., 2018

souborem si některé kancelářské počítače, zvláště notebooky, neporadí, tedy ani je neotevrou, natož aby s ním zvládly pracovat. Řešením je proto pořizovat nejlépe 3 balíčky dat, totiž zdrojové fotografie pro případnou kontrolu nejistých oblastí, snímky fasád v plném rozlišení v bezztrátové kompresi pro následné profesionální použití (hlavní výstup), zmenšené snímky fasád (cca 30 % originálu) ve ztrátové kompresi JPEG (70–80 %) pro běžnou práci technika NPÚ či památkáře.

Trojrozměrná dokumentace

Drony výrazně akcentují možnost z pořízených snímků rekonstruovat trojrozměrný model sledovaného objektu nebo situace, který je dále možné interaktivně přiblížit divákovi nebo s ním dále analyticky pracovat. Matematický princip vychází z odvození tvaru objektu opakovaně snímaného z různých úhlů. Metoda je známa pod označením „structure from motion“ (SfM) a užívá ji dnes řada komerčních i volně šiřitelných softwarů. Výstupem je mozaika snímků ve vysokém rozlišení (až 0,1 mm/pix) ve výkresové podobě, umožňující provedení podrobné analýzy stavu jednotlivých plášťů objektu s možností přesné lokalizace případných defektů či vad. Samozřejmostí je možnost výstupu ve formátu PDF a provádění měření délek a ploch.²⁵ Možnost nabízí řada softwarů, ať komerčních či volně šiřitelných, které se vzájemně liší svým uživatelským prostředím a šířkou palety možných výstupů, jež lze dále importovat do dalších softwarů a aplikací pracujících s trojrozměrnými objekty.

Vytváření trojdimenzionálních virtuálních modelů objektů pomocí dronů je vhodné pro vizualizaci vybraného objektu ve vysokém rozlišení (cm/pix) jako podklad pro projektanta ve formě jednotlivých řezů a výškových modelů fasádních plášťů (výchozí materiál pro výše uvedenou fotogrammetrii), (obr. 4). Dále pro výpočty

25 K metodě „structure from motion“ např. PAVELKA, Karel a kol., *Ověřená technologie využití RPAS (UAV) v památkové péči*, Praha 2015, s. 7–10, dostupné online: <https://docplayer.cz/14657338-Overena-technologie-vyuziti-rpas-uav-v-pamatkove-peci.html> [11. 05. 2023]; MICHELETTI, Natan – CHANDLER, Jim H. – LANE, Stuart N., *Structure from Motion (SfM) Photogrammetry*, in: *Geomorphological Techniques*, CLARKE, L. E. – NIELD Joanna M. (edd.), London 2015, s. 3–6; ULLMAN, Shimon, *The interpretation of structure from motion*, *Proceedings of the Royal Society of London*, 1979, volume 203, issue 1153, s. 405–426, dostupné online: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/6298/AIM-476.pdf;jsessionid=CB5CFE6A184E6114A41DE79CCD2E0334?sequence=2> [22. 07. 2024].

objemů a kubatur s řádově vyšší přesností oproti konvenčním metodám měření délek a ploch. Využit se dá i pro vytvoření fotorealistické struktury dotčených ploch, pasportizaci svahů a skalních útvarů (značení vrstevnic a kót) (obr. 5), vytváření ortofoto map s územní návazností (obr. 6), ale i pro inventarizaci stromů určených ke kácení. Fotomosaiky jsou vytvářeny pomocí šikmých a kolmých snímků vybraných plášťů (fasád, stropů, apod.) ve viditelném spektru daného objektu, které by nebylo možné s ohledem na velikost či přístupnost objektu zachytit v celé ploše na jednom snímku v požadované kvalitě.

Videotvorba

Oblíbeným výstupem snímání jsou videosekvence. Je možné je rovněž používat jako samostatné dokumentační prvky či je kombinovat a editovat do větších audiovizuálních celků. Videozáznam je dnes považován za běžnou dokumentační metodu, doplňující klasickou fotografii. I v krátkém záznamu je totiž v dostatečném rozlišení zachyceno množství detailů a vztahů mezi nimi, ze statických fotografií často nečitelných. Zatímco samostatná krátká videa, pořízená v jediném záběru, jsou běžným, leč ilustrativním výstupem, vícezáběrové sekvence vyžadují zručnost v ovládání specifických softwarů a jsou rovněž časově náročné. Jejich využitelnost nachází uplatnění i v popularizaci a jsou cenným nástrojem v oblasti vztahu k veřejnosti.

Speciální snímkování

Speciálním snímkováním chápeme pořizování dokumentace mimo okem pozorovatelné vlnové délky světla či jiné fyzikální vlastnosti sledované scény. Patří sem tzv. multispektrální nebo také hyperspektrální snímkování. To umožňuje sledování množství vyzařovaného nebo odraženého elektromagnetického záření zájmového objektu či plochy (zemským povrchem, exteriéry či interiéry budov).²⁶ Proměnlivé charakteristiky plodin mohou být rovněž nepřímými indikátory podpovrchových konstrukcí archeologizovaných objektů.²⁷ Do této oblasti spadá i užití termovizních kamer, jež lze využívat pro lokalizaci tepelných anomálií ve sledované scéně. Jejich interpretace je různá. Využívá se především v oblasti vyhodnocování tepelných ztrát budov, ale také právě k podtrhnutí rozdílu vyzařovaného tepla různých konstrukcí, jež mohou odhalit různé stavební fáze či opět odhalit skryté části památek.

Za speciální snímkování je považováno využití dronu jako nosiče laserového scanneru, kterým je vytvářen trojrozměrný model mračna bodů sledovaného území ve volitelné podrobnosti, tzv. LiDAR.²⁸ Používá se k pořizování měřičských dat v podobě mračna bodů, které odpovídají místu odražení vysílaného laserového paprsku od překážky. Používá se k tvorbě podrobného výškopisného plánu reliéfu krajiny nebo také ke snímkování exteriérů i interiéru budov a jinak prostorově složitě konstruovaných

26 Jedná se např. o jednu z volitelných výbav řady dronu DJI MAVIC 3 Multispectral, který je určený především pro vyhodnocování zemědělských plodin a optimalizaci jejich pěstování, <https://www.itrevue.cz/dji-mavic-3m-je-novy-multispektralni-dron-pro-zemedelstvi-a-ochranu-prirody/> [14. 06. 2023]. Specializované kamery na dronech řeší např. URIBE AGUDO, Paula – ANGÁS PAJAS, Jorge et al., The Potential of Drones and Sensors to Enhance Detection of Archaeological Cropmarks: A Comparative Study Between Multi-Spectral and Thermal Imagery, *Drones* 2018, roč. 2, č. 3, s. 29, dostupné online: <https://www.mdpi.com/2504-446X/2/3/29> [19. 06. 2023]; SURAN, Nurul Asyikin – SHAFRI Helmi et al., UAV-Based Hyperspectral data analysis for urban area mapping, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2019, vol. XLII-4/W16, s. 621–626, dostupné online: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-4-W16/621/2019/> [19. 06. 2023].

27 KUNA, Martin et al., *Nedestruktivní archeologie. Teorie, metody a cíle. Non-destructive archaeology. Theory, methods and goals*, Praha 2004, s. 75–76.

28 LiDAR – Light Detection And Ranging. K pojmu např. dostupné online zde: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lidar> [14. 06. 2023]. GOJDA, Martin – JOHN, Jan et al., *Archeologie a letecké laserové skenování krajiny. Archaeology and airborne laser scanning of the landscape*, Plzeň 2013, s. 8–9, 18–19; KYPTA, Jan, *Letecký průzkum*, in: *Zkoumání historických staveb*, RAZÍM, Vladislav – MACEK, Petr (edd.), Praha 2011, s. 90–92; SOKOL, Petr et al., *Metodika terénní prostorové identifikace, dokumentace a popisu nemovitých archeologických památek*, Praha 2017, s. 91–92.

objektů. Hlavní výhodou je, že měření lze provádět nezávisle na světelných podmínkách. Tato oblast dokumentace bude v Národním památkovém ústavu testována až s novou generací dronů.

Využitelnost dronů z hlediska správy objektů územních památkových správ NPÚ

V oblasti správy a prezentace památkových objektů ve správě NPÚ (investiční a inženýrská činnost, tzv. facility management) lze praktickou zkušenost sledovat především v oblasti kontrolního či revizního snímkování a oblasti reklamní nebo prezentační.

Kontrolní a revizní snímkování

Průmyslová inspekce ve viditelném spektru za využití dronu s umístěnou RGB kamerou s vysokým rozlišením je nástrojem pro kontrolu, která pomáhá správcům a vlastníkům objektů s odhalením možných poškození či jiných vad jednotlivých konstrukcí a prvků fasádních plášťů, kominů, střešních prvků, vikýřů, hromosvodů, balkonů ad. v reálném čase s ohledem na bezpečnost realizátora inspekce (obr. 7). Využití inspekce v termovizním spektru je dostupným a operativním nástrojem pro odhalení možných tepelných mostů a jiných tepelných anomálií (zatékání, tepelné úniky apod.) jednotlivých částí objektů a jejich konstrukčních prvků.

Reklamní a prezentační činnost

V podmínkách NPÚ jsou využívány drony jako nástroj pro vytváření atraktivní formy prezentace a reklamního materiálu zcela novým inovativním způsobem, který ve spojení zejména se sociálními médii a online marketingem (krátká videa, online kampaně) zvyšují povědomí o daném objektu, zviditelňují činnost NPÚ a oslovují další segment návštěvníků. Díky schopnosti pořizovat záběry z ptáčích perspektiv poskytují úhel pohledu, který není běžně dostupný z pohledu návštěvníka a přináší ojedinělou perspektivu objektu zasazeného do okolní kulturní krajiny. Tato forma prezentace je vizuálně zajímavá, poutavá a umožňuje získat přehled o velikosti, poloze a okolním prostředí daného



Obr. 6. Státní hrad Landštejn, ortofoto mapa územních návazností objektu, 2016



Obr. 7. Státní hrad Lipnice, revizní dokumentace stavu šindelových střech, foto: Pavel Macků, 2020

památkového objektu, včetně vytváření panoramatických záběrů, živých přenosů a videí z místa konání (např. pozvánky na historické trhy, slavnosti, koncerty, divadla). Takové snímky a videa lze pořídit téměř vždy při všech typech leteckých prací, kdy většinou stačí nabrat výšku a odlétnout dále od snímaného objektu, je-li to v rámci bezpečnosti možné (např. vila Stiassny, Důl Michal, hrad Lipnice).

V poslední době je patrný zájem o využití dronů a jejich výstupů pro virtuální realitu (VR) a rozšířenou realitu (AR), která umožní návštěvníkovi procházet objekt virtuálně a vidět detaily, jež běžně nemohou z různých důvodů spatřit (např. osoby se zdravotním hendikepem), a tím získat požadovaný kulturní zážitek.

Využitelnost dronů v oblasti památkové péče

Paleta objektů kulturní hodnoty v oblasti památkové péče, pro které je dron vhodným dokumentačním nástrojem, je násobně širší než v případě územních odborných správ. Nejvíce jej využijí oddělení specialistů a evidence, která mají na starosti získávání dokumentace rozmanitých památek pro archivaci jejich proměn a odbornou podporu odborných vyjádření. Jedná se o jednotlivé historické budovy, objekty i celé lokality a dokumentaci kulturního rázu určité oblasti území ČR. Dále se v případě specialistů jedná o nutnost pořídit dokumentaci sledované situace, která je přístupná pouze v určitý, neopakovatelný okamžik, například v průběhu stavebních prací nebo ve fázi archeologického výzkumu.

Případové studie z ÚOP v Lokti²⁹

V případě loketského územního odborného pracoviště určovala oblast nasazení UAV především skutečnost, že jediným oprávněným pilotem zde byl až do roku 2023 archeolog. Nasazení stroje se tak vázalo hlavně na archeologické situace probíhajících archeologických výzkumů a na právě monitorované archeologické památky. V počátku

²⁹ Loketské pracoviště kromě zkušeností s pilotáží dronů získaná data dlouhodobě zpracovává a vyhodnocuje. Cílem této kapitoly je ukázat především aktuálně praktikované metody práce s daty z dronů v památkové péči a příklady z praxe dalších pracovišť by tak byly částečně repetitivní. Některé výsledky ÚOP v Telči byly publikovány dříve, viz pozn. 5 a 10.



Obr. 8. Výškový pohled z ohrazeného sídliště ze starší doby železné, na vrchu Čerťák (u obce Sovolusky) k západu, na horizontu je patrný vrch Vladař, pravěké nadregionální mocenské centrum, foto: Filip Prekop, 2018

užívání UAV odpovídal charakter užívání dronů pravidlům dnešní legislativní kategorie A1–A3, tedy mimo zastavěná území, bez jakéhokoliv potenciálního vlivu na nezapojené osoby. Oblast prvního nasazení byla při řešení tématu pravěké halštatské krajiny úpatí Doupovských hor, kde se v letech 2014 až 2018 podařilo objevit hned několik dosud neznámých výšinných ohrazených sídlišť zemědělského pravěku.³⁰ Díky nasazení UAV se pořizovaly hlavně dálkové pohledy, které jasně vystihovaly pohledovou vazbu mezi zkoumanými lokalitami (obr. 8). Postupně se prokázal přínos použití dronu i na archeologických akcích v rámci areálů ve správě NPÚ. Fotografické snímkování z ptáčích perspektiv poskytl jedinečnou dokumentaci zkoumaných nálezových situací během výzkumů parkánů severní hradby státního hradu a zámku Bečov nad Teplou. Celkové pohledy na výkopové práce v obtížném prudkém terénu byly jiným způsobem nezachytitelné (obr. 9). Velmi operativní se ukázalo nasazení UAV rovněž při potřebě pořízení rychlé celkové dokumentace nenadálé situace. Nosným příkladem je zachycení celkového rozsahu kůrovcové kalamity předhradí zříceniny hradu Kynžvart, která se dále stala předmětem revizního archeologického výzkumu vzniklých vývrátů a byla využita rovněž v publikaci.³¹

Vlastní kapitolou je využití dronu při tvorbě trojrozměrných modelů metodou *structure from motion*, kterou loketské pracoviště dlouhodobě aplikuje. Užitečnost nasazení této metody na loketském pracovišti lze názorně demonstrovat při zachycení havarijního

30 PREKOP, Filip – KRIŠTUF, Petr – PEKSA, Vojtěch – EIGNER, Jan – KOČÁR, Petr, Nové doklady osídlení výšinných poloh na Karlovarsku – polykulturní lokality Orlík a Šibeniční vrchu u obce Valeč v Čechách, *Archeologie západních Čech*, 2017, roč. 12, s. 41–67; PREKOP, Filip – KRIŠTUF, Petr – PEKSA, Vojtěch, Výšinný ohrazený areál na Kružínském vrchu, k. ú. Skytaly, *Archeologie západních Čech*, 2018, č. 2, roč. 9, s. 16–26; PREKOP, Filip – CRKAL, Jiří – ČERNÝ, David – KRIŠTUF, Petr – PEKSA, Vojtěch, Nová zjištění průzkumu zakázané krajiny Doupovských hor – zaniklé středověké vesnice, *Archaeologia historica* 46, č. 1, Brno 2021, s. 27–55.

31 PREKOP, Filip, Vznik a zánik hradu Kynžvartu ve světle prvního archeologického výzkumu, *Metternichové & Kynžvartsko v době Albrechta z Valdštejna, sborník příspěvků online kolokvia 28. 11. 2020, zámek Kynžvart 2020*, s. 53–70.



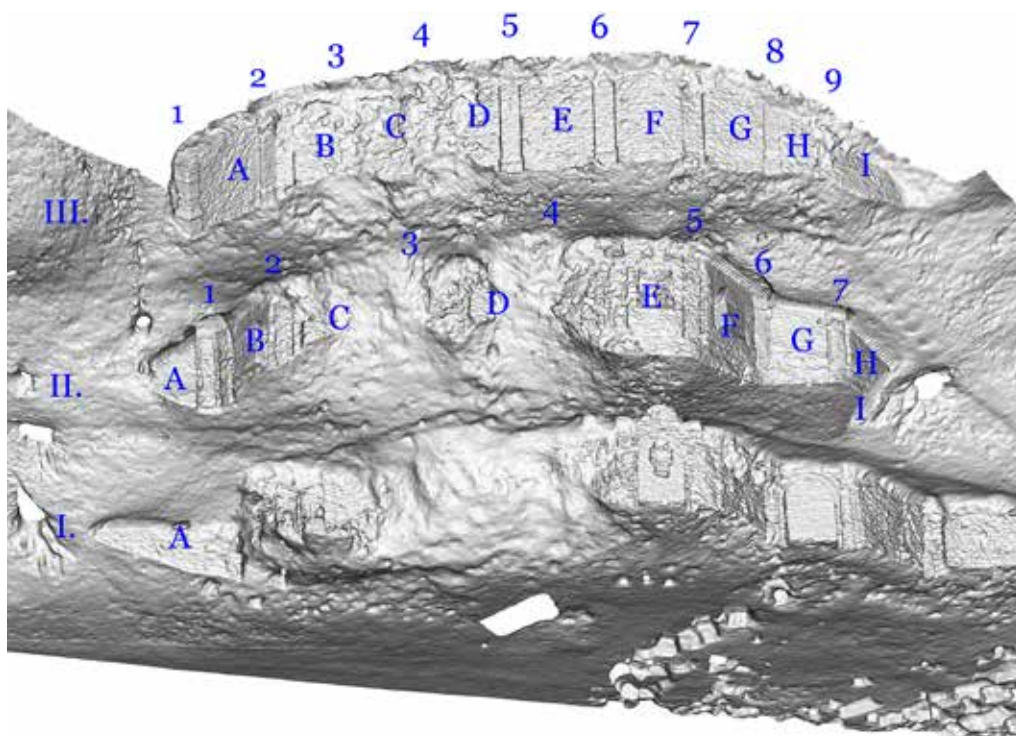
Obr. 9. Výškový pohled na severovýchodní nároží parkánů státního hradu a zámku Bečov nad Teplou v průběhu záchranného archeologického výzkumu, foto: Filip Prekop, 2018



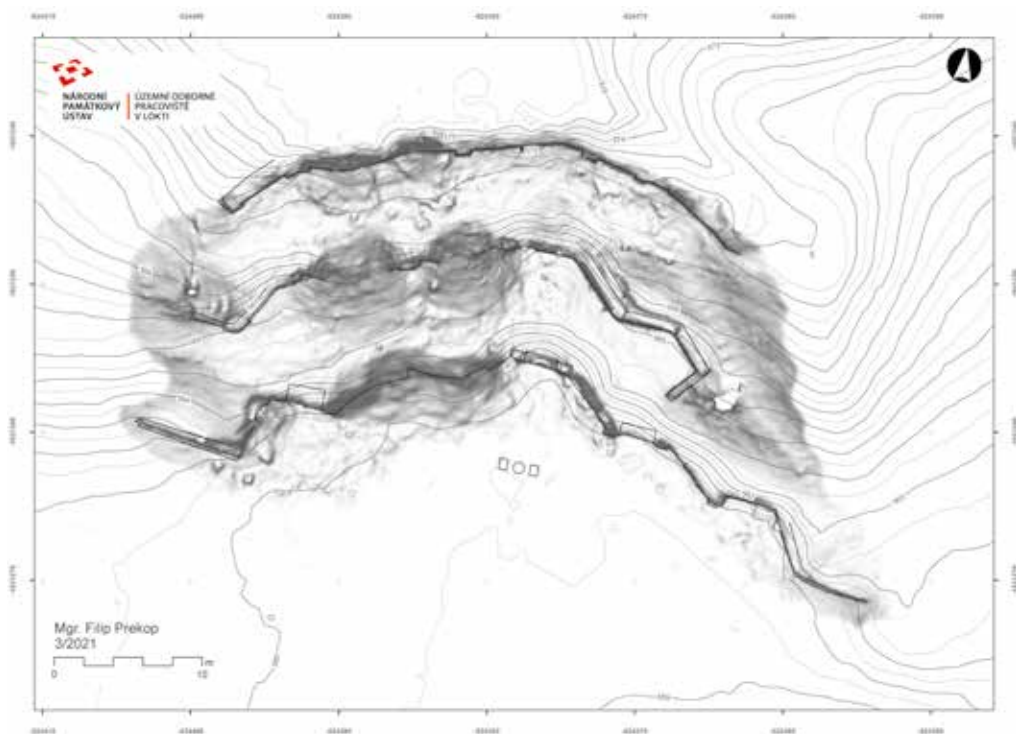
Obr. 10. Výškový pohled na theatron parku státního zámku Valeč v Čechách v průběhu jeho rekonstrukce, foto: Filip Prekop, 2021

stavu barokního loveckého záměčku v Mořicově. Kromě sady fotografií a geodetického zaměření zdíva bylo možné vytvořit výstižný model, jenž je dostupný široké veřejnosti na internetové platformě Sketchfab.³² Podobným případem byla i vstupní a průběžná dokumentace obnovy theatronu v areálu státního zámku Valeč. Zde bylo možné jen díky UAV pořídit celkovou dokumentaci prostorově členité a zároveň částečně zřícené barokně-renesanční stavby (obr. 10). Modelem bylo možné získat výstižné axonometrické zobrazení bez stínící vegetace (obr. 11). Model byl rovněž výstižným doplněním půdorysného geodetického zaměření stavby a jejího okolí (obr. 12).

³² Sketchfab: Mořicov, lovecký záměček_2021 (3D model), dostupné online: <https://sketchfab.com/3d-models/moricov-lovecky-zamecek-2021-e0950c9cf7eb4e2a9de91b8c84a06bb7> [07. 06. 2023].



Obr. 11. Digitální model theatronu zámeckého parku ve Valči v Čechách před zahájením rekonstrukčních prací, autor: Filip Prekop, 2021



Obr. 12. Půdorysný záznam theatronu ve Valči, pro který bylo využito snímků dronu MINI 2, autor: Filip Prekop, 2021



Obr. 13. Dálkově řízené bezpilotní systémy ve výbavě ÚOP v Lokti a jejich vizuální porovnání, foto: Filip Prekop, 2023

Porovnání drobné letecké techniky pro účely dokumentace v památkové péči

Loketské územní odborné pracoviště má jedinečnou možnost porovnávat dva různé typy UAV. Od roku 2018 disponuje strojem DJI Phantom 4 PRO+. Počátkem roku 2022 došlo právě z důvodu porovnání různých UAV k pořízení významně menšího a cenově dostupného stroje DJI MINI 2. Zásadním rozdílem mezi oběma přístroji jsou především celkové rozměry a hmotnost (obr. 13). Ostatní parametry strojů jsou v běžném provozu srovnatelné, DJI MINI 2 však obsahuje menší snímač s méně světelným objektivem (tab. 1).³³ Nezanedbatelnou výhodou MINI 2 je skutečnost, že součástí balení tvoří také dvojice náhradních baterií stroje. Tím je k dispozici trojnásobně delší čas letu než u předchozího modelu, kde se náhradní baterie musely kupovat zvlášť.

V době pořízení DJI Phantom byla směrodatným ukazatelem charakteristika palubní kamery, aby přinášela stejnou nebo lepší obrazovou dokumentaci než tradiční, „pozemní“ fotoaparáty. Hlavním důvodem byla nutnost garantování obrazové dokumentace srovnatelné kvality pro její další využití ve všech oficiálních výstupech archeologické práce. Menší dostupné stroje disponovaly výrazně horšími kamerami. Praxe ukázala, že právě váha a rozměry nasazení stroje poněkud omezovaly.

Nový stroj DJI Mavic MINI 2 v podstatě nahradil starší DJI Phantom 4 PRO+. Není to ani tak z důvodu stárí optických přístrojů jako právě pro lepší operativnost nasazení výrazně drobnějšího stroje. Malá váha a kompaktnost umožňuje jeho začlenění do standardní výbavy archeologické dokumentační brašny. Tím pádem není nutné další zvláštní zavazadlo, což zlepšuje logistiku techniky. Kvalita dokumentace je zcela srovnatelná. Hlavním výstupem MINI 2 jsou trojrozměrné modely, potažmo vícesnímkové ortofo-toplány z modelů vycházející. Ty se vždy skládají z více zdrojových snímků. V případě potřeby lze tak operativně měnit počet snímků i vzdálenost snímání od sledovaného objektu tak, aby byla získána požadovaná podrobnost.

³³ Dron tedy nedosahuje hloubky ostroty jako druhý porovnávaný stroj, především ve světelně zhoršených podmínkách, kde se projeví více šumu ve snímku.

Charakteristika/DJI typ	DJI Phantom 4 PRO+	DJI MINI 2
Ovládání:	Ovladač	Ovladač
Doba provozu:	29 minut	31 minut
Typ:	Kvadroptéra	Kvadroptéra
Max. rozlišení fotografií:	20 Mpx	12 Mpx
Max. rozlišení videa:	4K (4096 × 2160)	Ultra HD (3840 × 2160)
Funkce:	GPS, detekce překážek, stabilizace obrazu, otáčecí kamera, ovládání gesty	Autostart, online přenos, autopřistání, stabilizace obrazu, autonomní let
Maximální rychlost:	72 km/h	57,6 km/h
Dosah přenosu:	7 km	10 km
Slot na paměťovou kartu:	Ano	Ano
Max. velikost paměťové karty:	128 GB	256 GB
Baterie součástí balení:	Pro dron i ovladač	Pro dron i ovladač
Počet baterií modelu:	1 ks	3 ks
Šířka:	290 mm	289 mm
Výška:	180 mm	56 mm
Hloubka:	290 mm	245 mm
Hmotnost:	1375 g	249 g
Aplikace:	DJI GO 4	DJI Fly
Podporované:	Android, iOS	Android, iOS

Tab. 1. Porovnání charakteristik přístrojů firmy DJI Phantom PRO+ a DJI Mavic MINI 2, sestavil Filip Prekop, zdroj: DJI SHOP, <https://www.djishop.cz> [28. 07. 2023]

Příklad nasazení dronu MINI 2 zde uvádíme ve dvou případech. Prvním byla průběžná dokumentace obnovy theatronu ve Valči, kde jsme mohli vidět porovnání snímků obou přístrojů, u kterých nepozorujeme žádné optické vady. Využití MINI 2 se osvědčilo především při dokumentaci sondy v lesním prostředí, kulturní památky Slovanské hradiště Liščí vrch, Velichov (ÚSKP 32990/4-1118). V tomto případě bylo nutné létat pod korunami stromů v bezprostřední blízkosti exkavované situace (obr. 14). Představu si lze vytvořit jak z celkového axonometrického snímku, tak z kolmého půdorysného zobrazení. Právě druhé jmenované vychází z vícesnímkového fotografování a následné rekonstrukce kolmého, fotogrammetrického pohledu (obr. 15).

Od roku 2023 se podařilo řadu pilotů rozšířit a počítá se tak s širším nasazením UAV i v oblasti působnosti oddělení evidence, ÚOP v Lokti.

Přínosy užití dronů v NPÚ

Jak přibližuje náš text, je využití dronů v agendě NPÚ široké a lze je účelně nasadit jak v oblasti terénní památkové péče, tak v oblasti územně odborných správ objektů. Rovněž jsme představili, že pořízená dokumentace má přínosy již v podobě prostých snímků z ptáčích perspektivy pro dokumentaci těžko či nákladně dostupných partií různých typů památkových objektů. Získaná data navíc mohou být rovněž zdrojem obrazových dat pro pokročilé dvourozměrné i trojrozměrné měřičské výstupy.

Přes nastíněnou obtížnou legislativu a související náklady provozu dronů lze s jistotou konstatovat, že dosavadní užití dronů v NPÚ se vyplácí. Úhly záběrů, které nyní můžeme získávat dokumentací památek, jsou jiným způsobem neproveditelné či extrémně technicky a finančně náročné (lešení, vysokozdvizné plošiny apod.). Rovněž náklady na provoz dronů v NPÚ jsou paušální (ceny pojištění, licence pilotů) a je tedy tím efektivnější, čím více se drony v NPÚ budou používat. Rovněž objednávání jednotlivých letů drony od komerčních společností se ukazuje v relativně krátkém časovém úseku jako neúměrně nákladné, kdy běžné ceny několika jednotek vzletů odpovídají cenám pořízení uvedených bezpilotních letových prostředků.

Nezanedbatelný aspekt při posuzování role dronů v NPÚ je zvýšení bezpečnosti odborných pracovníků NPÚ při jejich každodenní práci. Cenné a sledované části památek se často nacházejí v nestabilních a exponovaných polohách, které přímo ohrožují své okolí. Širší nasazení dronů v NPÚ může omezit nebezpečná pokušení odborníků vystavovat se riziku ohrožení zdraví při získávání jedinečné dokumentace hroutících se památek.



Obr. 14. Výškový pohled na sondu 2, kulturní památky hradiště Liščí vrch, obec Velichov, okr. Karlovy Vary v průběhu exkavace, foto: Filip Prekop, 2022



Obr. 15. Fotogrammetrický plán sondy kulturní památky hradiště Liščí vrch, obec Velichov, okr. Karlovy Vary v průběhu dokumentace jeho porušení, autor: Filip Prekop, 2022

Cíle a výhledy do dalších let

Piloti NPÚ létají od roku 2017 s drony, které lze označit jako první generaci. Jejich životnost nelze predikovat, nicméně s technologickým vývojem i požadavky evropské legislativy budou muset být postupně nahrazovány za technologicky pokročilejší varianty. Vedle komerčních dronů menších rozměrů pro jednotlivá pracoviště, které zvládnou většinu základních požadavků na dokumentaci, bude nutné pořídit i specializované stroje s RTK modulem a dalšími rozšiřujícími sadami (termo kamera, lidar apod.) tak, aby byla pokryta široká škála požadavků operativní i dlouhodobé dokumentace, monitoringu a revizí v oboru památkové péče.³⁴ Tyto pokročilé technologie budou využívány leteckým metodikem NPÚ s celostátní působností. S tím souvisí i pořízení a proškolenost v oblasti speciálních softwarů ke zpracování získaných dat v jednotlivých tematických oblastech. Kromě programů souvisejících se zpracováním vektorových, geodetických a fotogrammetrických snímků, ortofotomap, či lidarových dat jsou dnes dostupné např. i softwary využívané v lesnictví. Tyto programy dokáží vyhodnotit zdravotní stav jednotlivých druhů především vzrostlých dřevin. Aktuálně jsou využívány v tomto ohledu především ortofoto snímky z veřejně dostupných zdrojů, kde ovšem nelze ovlivňovat roční dobu a světelné podmínky pro jejich pořízení. Operativnější data je možné opět získat dronem, lze je pak využít i k dokumentaci a pasportizaci, popřípadě sledovat kompozice památek zahradního umění. Oblasti, kde lze využít sběr dat z letecké techniky, je tak bezpočet a využitelné jsou prakticky ve všech útvarech památkové péče.

Národní památkový ústav tak v příštích letech přejde z období testování a začleňování dronů do běžné praxe do období letecké profesionalizace s kompletním zajištěním veškerých leteckých potřeb v moderní památkové péči.

Summary

Operational use of small-scale aerial technology in the form of remotely piloted camera-equipped systems (also known as UAS, UAV, RPAS), hereinafter referred to as drones, has, in recent years, become a common component for the documentation and review of not only cultural monuments, but also cultural landscapes, archaeological excavations and remote surveying in general. This potential has also been recognised by the National Heritage Institute, which began to introduce drones into its practice in 2017, alongside other scientific research organisations. The interest in the use of aerial technology arose from the demands of professionals who needed to increase the operative capacity in the field of documentation and monitoring of the heritage fund under the management of their departments, both at the territorial expert departments and the territorial heritage administrations. With the development and availability of aerial technology, drones were subsequently acquired for other departments, often in connection with scientific research projects and a specifically defined field of use. The practice of the first years showed that the drone is a completely versatile tool, usable in virtually all areas of heritage protection requirements. However, the extensive legislative changes introduced from 2020 generated the need to address drones within the National

Heritage Institute in a unified and conceptual manner, which led to the research objective of which this article is the result.

Utilization of drones in the agenda of the National Heritage Institute has found a wide application and can be effectively deployed both in the field of field conservation as well as in the field of territorial expert administration of historical or listed and protected buildings. The acquired documentation already showed benefits in the form of simple bird's-eye view images for the documentation of difficult or costly to access parts of various types of heritage sites, but the acquired data can also be a source of image data for advanced two-dimensional and three-dimensional measurement outputs (photogrammetry, orthophoto, 2D and 3D models). Other specialised surveys in the form of thermal imaging or LiDAR imaging, both indoors and outdoors and in cultural landscapes, cannot be overlooked.

From the territorial heritage administrations' perspective, the need for utilizing drones was seen primarily in terms of revision and documentation. In addition to revisions of roofs, gutters, cornices or chimneys (Sychrov, Hrubý Rohozec, Bezděz, Lipnice, Prague-Invalidovna, Karlštejn, Bouzov, Buchlov, etc.), castle parks (e.g. Kynžvart, Veltrusy, Lysice, Milotice) were documented.

³⁴ RTK (*Real Time Kinematics*) modul je speciální přijímač instalovaný do dronu s vysoce precizní satelitní navigací, zaměřující letoun s přesností na centimetry, na rozdíl od přijímačů komerčních typů s přesností na desítky centimetrů až metry. K přesnějšímu zaměření slouží přídavná pozemní stanice, která zasílá dronu korekce pozice.

Drones have also been used to inspect works carried out during the restoration of heritage sites to determine the extent of damages, as well analysis of spatial links or as a basis for crisis management, fire protection and occupational health and safety.

In addition to the above, considering the wide range of their activities, the territorial expert offices also used drones for documentation and monitoring of cultural monuments outside the administration of the National Heritage Institute and in protected areas and units (the Telč urban conservation zone and reserve, the Náměšť landscape conservation zone, etc.). Furthermore, data utilizing drones have been used as a basis for documentation for the creation of a proposal for the declaration of a cultural monument or as a basis for individual negotiations with investors and owners of cultural monuments. A frequent impetus for the acquisition of the drone was the field of archaeology, where the drone is used not only for rescue archaeological excavations, but also for monitoring and prospecting of archaeological sites in the open countryside. Drones have also proven to be a useful tool for monitoring and predicting the spread of bark beetle calamity, which usually is not a threat to archaeological sites in itself, but the subsequent harvesting of infested trees is.

The drones were utilized across the departments to collect data for building-historical and operational surveys (e.g. Křídlo Castle, Kurovice Fortress, Strlíky Cemetery, Veverí Castle) as well as for publication and educational purposes, where, in addition to aerial photographs, video recordings are also increasingly used. An important aspect in assessing the role of drones in the National Heritage Institute's activities is to increase the safety of their employees during their daily on-site work. Valuable and monitored parts of monuments are often located in unstable and exposed positions that directly threaten their surroundings. Wider deployment of drones in the National Heritage Institute's profession can reduce the dangerous temptation for experts to put themselves at risk of health hazards when acquiring unique documentation of monuments in poor condition.

The article further discusses the different types of drone documentation and their basic principles, compares the possibilities of drones in comparison with conventional aircraft, the possibilities of indoor flights and describes some case studies from the Loket site. It also briefly discusses aviation legislation related to drones and its changes in the past years and future prospects.

Prameny a literatura

- ČADILOVÁ, Michaela – ŠKOBRTAL, Milan – KRÁTKÝ, Vít – PETRÁČEK, Pavel – VÍTEK, Tomáš – DAVIDOVÁ, Kamila, Průzkum umělecko-historicky hodnotných interiérů za pomoci autonomního letu bezpilotní helikoptéry, *Památkový postup*, Olomouc 2021, s. 4–18.
- ČIŽMĚŘ, Ivan – KNECHTOVÁ, Alena, Vývoj letecké archeologie na Moravě a v Českém Slezsku – shrnutí a perspektivy, *Studia Archaeologica Brunensia*, 2021, roč. 26, č. 2, s. 29–56.
- DEUEL, Leo, *Objevy z ptačí perspektivy*, Praha 1979, s. 20–27.
- GOJDA, Martin, Letecká archeologie a dálkový průzkum, in: *Nedestruktivní archeologie*, KUNA, Martin a kol., Praha 2004, s. 54–75.
- GOJDA, Martin, *Letecká archeologie v Čechách*, Praha 1997, s. 5–8.
- GOJDA, Martin – BÍŠKOVÁ, Jarmila a kolektiv, *Archeologie z nebe. Katalog k výstavě*, Brno – Praha 2022.
- GOJDA, Martin – NOVÁK, David – KUNA, Martin – VAVŘÍN, Pavel – BÍŠKOVÁ, Jarmila, *Metodika zpracování a evidence dat leteckého průzkumu v archeologii*, Praha 2022.
- GOJDA, Martin – JOHN, Jan a kol., *Archeologie a letecké laserové skenování krajiny. Archeology and airborne laser scanning of the landscape*, Plzeň 2013, s. 8–9, 18–19.
- KRÁTKÝ, Vít – PETRÁČEK, Pavel – NASCIMENTO, Tiago – ČADILOVÁ, Michaela – ŠKOBRTAL, Milan – STOUDEK, Pavel – SASKA, Martin, Safe Documentation of Historical Monuments by an Autonomous Unmanned Aerial Vehicle, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 10, no. 11, 2021, s. 1–16.
- KYPTA, Jan, Letecký průzkum, in: *Zkoumání historických staveb*, RAZÍM, Vladislav – MACEK, Petr (edd.), Praha 2011, s. 90–92.
- KUNA, Martin a kol., *Nedestruktivní archeologie. Teorie, metody a cíle. Non-destructive archaeology. Theory, methods and goals*, Praha 2004, s. 75–76.
- MACKŮ, Pavel, Využití dronů v archeologii a památkové péči jako nástroj monitoringu a dokumentace kůrovcové kalamity na příklad Kraje Vysočina, *Zprávy památkové péče*, 2022, roč. 82, č. 3, s. 455–463.
- MACKŮ, Pavel, Využívání bezpilotních dálkově řízených systémů v archeologii a památkové péči v prostorech měst a obcí – správné legislativní postupy, *Studia Archaeologica Brunensia*, 2021, roč. 26, č. 2, s. 115–128.
- MICHELETTI, Natan – CHANDLER, Jim H. – LANE, Stuart N., Structure from Motion (SfM) Photogrammetry, in: *Geomorphological Techniques*, CLARKE, L. E. – NIELD Joanna M. (edd.), London 2015, s. 3–6.

- PAVELKA, Karel a kol., *Ověřená technologie využití RPAS (UAV) v památkové péči*, Praha 2015, s. 7–10, dostupné online: <https://docplayer.cz/14657338-Overena-technologie-vyuziti-rpas-uav-v-pamatkove-peci.html> [11. 05. 2023].
- PETRACEK, Pavel – KRATKY, Vít – BACA, Tomas – PETRLIK, Matej – SASKA, Martin, New Era in Cultural Heritage Preservation, Cooperative Aerial Aeronomy for Fast Digitalization of Difficult-to-Access Interiors of Historical Monuments, in: *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 31, no. 2, 2024, s. 8–25.
- PREKOP, Filip, Vznik a zánik hradu Kynžvartu ve světle prvního archeologického výzkumu, *Metternichové & Kynžvartsko v době Albrechta z Valdštejna, sborník příspěvků online kolokvia* 28. 11. 2020, zámek Kynžvart 2020, s. 53–70.
- PREKOP, Filip – CRKAL, Jiří – ČERNÝ, David – KRIŠTUF, Petr – PEKSA, Vojtěch, Nová zjištění průzkumu zakázané krajiny Doupovských hor – zaniklé středověké vesnice, *Archaeologia historica* 46, č. 1, Brno 2021, s. 27–55.
- PREKOP, Filip – KRIŠTUF, Petr – PEKSA, Vojtěch, Výšinný ohrazený areál na Kružinském vrchu, k. ú. Skytaly, *Archeologie západních Čech*, 2018, č. 2, roč. 9, s. 16–26.
- PREKOP, Filip – KRIŠTUF, Petr – PEKSA, Vojtěch – EIGNER, Jan – KOČÁR, Petr, Nové doklady osídlení výšinných poloh na Karlovarsku – polykulturní lokality Orlík a Šibeníční vrchu u obce Valeč v Čechách, *Archeologie západních Čech*, 2017, roč. 12, s. 41–67.
- SOKOL, Petr a kol., *Metodika terénní prostorové identifikace, dokumentace a popisu nemovitých archeologických památek*, Praha 2017, s. 91–92.

Internetové zdroje

- Bezpečné snímání historických objektů bezpilotními helikoptéry – asistivní technologie, metodika, dostupné online: <https://www.dronument.cz/projekt> [09. 05. 2023].
- BÖHM, Jozef, *Fotogrammetrie, učební texty*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geodézie a důlního měřičství, 2002, dostupné online: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/content/galerie-souboru/skripta/Fotogrammetrie.pdf> [14. 06. 2023].
- Letecká kategorie SPECIFIC, dostupné online: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/specificka-kategorie-specific/> [03. 05. 2023].
- Letecký předpis L2, Doplněk X, Pravidla létání v platném znění, dostupné online: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf> [06. 04. 2023].
- LiDAR – Light Detection And Raging, dostupné online např.: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Lidar> [14. 06. 2023].
- LKR 10 – UAS, Opatření obecné povahy, Veřejná vyhláška, dostupné online: <https://www.caa.cz/20201230162623731/> [06. 04. 2023].
- Multispektrální (hyperspektrální) snímání, DJI MAVIC 3 Multispectral, dostupné online: <https://www.itrevue.cz/dji-mavic-3m-je-novy-multispektralni-dron-pro-zemedelstvi-a-ochranu-prirody/> [14. 06. 2023].
- Nářízení komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/945 ze dne 12. března 2019 o bezpilotních systémech a provozovatelích bezpilotních systémů ze třetích zemí, dostupné online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32019R0945> [06. 04. 2023].
- Paměť krajiny moravských a slezských Sudet v ohrožení, dostupné online: https://starfos.tacr.cz/cs/project/DG20P02OVV008?query_code=4pcqaaciwudq#project-results [05. 05. 2023].
- PRITZL, Václav – VRBA, Matouš – ŠTĚPÁN, Petr – SASKA, Martin, Cooperative Navigation and Guidance of a Micro-Scale Aerial Vehicle by an Accompanying UAV using 3D LiDAR Relative Localization, *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2022, nestr., dostupné online: https://www.dronument.cz/sites/default/files/uploaded/ICUAS22_Pritzl.pdf [09. 05. 2023].
- Sketchfab: Mořičov, lovecký zámek 2021 (3D model), dostupné online: <https://sketchfab.com/3dmodels/moricov-lovecky-zamecek-2021-e0950c9cf7eb4e2a9de91b8c84a06bb7> [07. 06. 2023].
- SURAN, Nurul Asyikin – SHAFRI Helmi a kol., UAV-Based Hyperspectral data analysis for urban area mapping, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2019, vol. XLII-4/W16, s. 621–626, dostupné online: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-4-W16/621/2019/> [19. 06. 2023].
- Řízení letového provozu ČR, dostupné online: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm> [06. 04. 2023].
- URIBE AGUDO, Paula – ANGÁS PAJAS, Jorge a kol., The Potential of Drones and Sensors to Enhance Detection of Archaeological Cropmarks: A Comparative Study Between Multi-Spectral and Thermal Imagery, *Drones* 2018, roč. 2, č. 3, s. 29, dostupné online: <https://www.mdpi.com/2504-446X/2/3/29> [19. 06. 2023].

ULLMAN, Shimon, The interpretation of structure from motion, *Proceedings of the Royal Society of London*, 1979, volume 203, issue 1153, s. 405–426, dostupné online: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/6298/>

AIM-476.pdf;jsessionid=CB5CFE6A184E6114A41DE79CCD2E0334?sequence=2 [22. 07. 2024].

Mgr. Pavel Macků, Ph.D. (nar. 1985)

Národní památkový ústav, generální ředitelství

macku.pavel@npu.cz

ORCID ID: 0000-0002-4544-4997

Vystudoval středověkou archeologii a navazující archeologii na Slezské univerzitě v Opavě (2009) a doktorské studium na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích (2024). Od roku 2010 pracuje v Národním památkovém ústavu jako archeolog a později i ředitel na územním odborném pracovišti v Telči, od roku 2023 pak na generálním ředitelství jako specialista pro letecké průzkumy a dokumentaci. Odborně se zaměřuje na vrcholně středověkou hmotnou kulturu a každodennost 13. – počátku 15. století a militária.

Mgr. Filip Prekop (nar. 1982)

Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště v Lokti

prekop.filip@npu.cz

ORCID ID: 0000-0002-0954-3488

Vystudoval bakalářský a navazující magisterský obor archeologie na Západočeské univerzitě v Plzni (2009). Akademický rok 2006/2007 strávil v rámci programu Erasmus na Katedře archeologie a antické historie univerzity v Uppsale. Na studiích se zabýval použitím matematických metod v archeologii, mladší a pozdní dobou bronzovou oblasti Chebské pánve a limitami radiokarbonového datování. Od roku 2009 dodnes pracuje jako archeolog územního odborného pracoviště památkového ústavu v Lokti. Zaměřuje se na poznávání archeologických památek regionu, především výšinných ohrazených sídlišť pravěkého až raně středověkého stáří a hmotné kultury panských sídel vrcholného středověku. Svou odbornou činností se snaží také poukazovat na kulturně historickou hodnotu zaniklých sídel po roce 1945.

Ing. Josef Masaryk (nar. 1980)

Národní památkový ústav, územní památková správa v Českých Budějovicích

masaryk.josef@npu.cz

V roce 2013 dokončil studium na České zemědělské univerzitě v Praze, fakultě Provozně ekonomické. Od roku 1999 pracoval pro Státní památkový ústav České Budějovice postupně jako referent, vedoucí investičního oddělení a vedoucí odboru. Od 1. 5. 2024 byl jmenován náměstkem ředitele územní památkové správy v Českých Budějovicích. Profesně se zaměřuje na oblast udržitelného rozvoje a finančního zajištění obnovy a rozvoje památkových objektů.