

# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



Diplomová práce

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mates** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **424335**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení stavebnictví**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Projektový management a inženýring**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Rozbor možností využití UAV ve výstavbových projektech**

Název diplomové práce anglicky:

**Analysis of possible use of UAV in constructin projects**

Pokyny pro vypracování:

- Úvod, vysvětlení problému, stanovení cílů, teoretický popis řešení práce.
- Teoretický úvod do problematiky UAV obecně a v kontextu stavebnictví (historie, legislativa, technické vlastnosti).
- Vymezení řešené problematiky v praktické části.
- Možnosti využití UAV ve výstavbových projektech (popis, vysvětlení, příklady).
- Vyhodnocení ekonomického hlediska využití technologie.
- Závěr, vyhodnocení cílů, diskuze (nedostatky práce, možnosti jejího rozšíření).

Seznam doporučené literatury:

Karas, J., Richý, T.: Drony (2016). Computer Press. 978-80-251-4680-4.  
Hohenlohe, S.: Drony (2016). Alpres. 978-80-7543-234-6.  
D'Alessandro, F.: Drones in construction sites (2015). CreateSpace Independent Publishing Platform. 978-1516926022

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Petr Matějka, Ph.D., katedra ekonomiky a řízení stavebnictví FSv**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **04.10.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **06.01.2019**

Platnost zadání diplomové práce:

Ing. Petr Matějka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

5.10.2018  
Datum převzetí zadání

[Podpis]  
Podpis studenta



Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení Ing. Petra Matějky, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

Michal Mates

podpis

Touto cestou bych rád poděkoval především mým rodičům a prarodičům za bezmeznou podporu v rámci celého studia. Dále také dvěma ženám – spolužačce Kamile Kuntové a přítelkyni Nikol Menclové, které obě lvím dílem přispěli k úspěšnému dokončení mého studia.

Velké poděkování patří také Ing. Petru Matějkovi, Ph.D. za odborné vedení tvorby této práce, jeho cenné rady a připomínky.

ROZBOR MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ UAV VE  
VÝSTAVBOVÝCH PROJEKTECH

ANALYSIS OF POSSIBLE USE OF UAV IN  
CONSTRUCTION PROJECTS

## **Anotace**

Cílem této práce je přinést stručný, ale komplexní pohled na možnosti využití současné technologie UAV ve výstavbových projektech. V první části práce se autor stručně věnuje historii, dále rozdělení jednotlivých kategorií bezpilotních letadel a také popisu technologie, kterou může model nést. Dále je část práce věnována legislativnímu prostředí v České republice a požadavkům k získání licence pro vykonávání leteckých prací. V praktické části je pak na konkrétních projektech ukázáno možné využití dat pořízených bezpilotními letouny. V závěru je zjednodušeně vyčíslena finanční náročnost pořízení dronu do stavebního podniku a dále také ukázkové ceny konkrétních úkolů.

### **Klíčová slova:**

*UAV, dron, stavebnictví, fotogrammetrie, termokamera*

### **Abstract:**

Main goal of this thesis is to bring brief but complex view on possibilities of present technology UAV in construction business. First part is about history, then distribution individual categories of unmanned aircrafts and also description of technology that can be carried onboard. Next part is about legislation in Czech republic and requirements for obtaining license for flight jobs. In practical part, there are shown possible uses of data captured with unmanned aerial vehicles. At the end of the thesis author quantify financial difficulty of acquisition a drone to construction company and also prices of specific jobs.

### **Keywords:**

*UAV, drone, construction, photogrammetry, termovision*

# OBSAH

|  |    |
|--|----|
| 1. Úvod .....  | 4  |
| 2. Historie .....                                    | 6  |
| 3. Legislativní prostředí .....                      | 7  |
| 3.1. Doplněk X .....                                 | 9  |
| 3.1.1. Základní definice .....                       | 9  |
| 3.1.2. Bezpečnost, dohled pilota a odpovědnost ..... | 10 |
| 3.1.3. Omezení ve vzdušném prostoru .....            | 11 |
| 4. Rozdělení dronů .....                             | 13 |
| 4.1. Rozdělení dle typu využití .....                | 13 |
| 4.2. Rozdělení dle konstrukčního řešení .....        | 17 |
| 4.3. Dělení podle nesené technologie .....           | 20 |
| 4.3.1. Standartní RGB kamera .....                   | 20 |
| 4.3.2. Kamera s optickým zoomem .....                | 21 |
| 4.3.3. Termokamera .....                             | 21 |
| 4.3.4. Laserový skener .....                         | 22 |
| 5. Získání povolení k leteckým činnostem .....       | 24 |
| 5.1. Průběh řízení pro získání PkL .....             | 25 |
| 5.1.1. Podání žádosti .....                          | 25 |
| 5.1.2. Přezkoušení .....                             | 26 |
| 5.2. Průběhu řízení pro získání povolení k LP .....  | 28 |
| 6. Využití UAV ve výstavbových projektech .....      | 29 |
| 6.1. Letecké fotografie .....                        | 29 |
| 6.2. Inspekce .....                                  | 31 |
| 6.3. Termokamera .....                               | 33 |
| 6.4. Software/mapování .....                         | 38 |



|  |    |
|--|----|
| 6.4.1. Přesnost.....   | 39 |
| 7. Ukázkové projekty.....  | 41 |
| 7.1. Bývalá koželužna Hradec Králové.....                                  | 41 |
| 7.1.1. Ortofotomapa.....   | 41 |
| 7.1.2. Mračno bodů.....  | 42 |
| 7.1.3. Trojúhelníková síť .....  | 43 |
| 7.2. Průmyslový areál .....  | 44 |
| Let č. 1: Aktuální stav při převzetí staveniště před započítím prací ..... | 44 |
| Let č. 2: Ocelová konstrukce určená k demontáži .....                      | 45 |
| Let č. 3: Dokončené výkopy pro dešťovou kanalizaci.....                    | 45 |
| Let č. 4: Položené potrubí kanalizace a vodovodní přípojky .....           | 46 |
| Let č. 5: Výkopy pro základové konstrukce přístavby.....                   | 48 |
| Let č. 6: Svislé konstrukce přístavby – 1 podlaží.....                     | 48 |
| Let č. 8: Svislé konstrukce přístavby včetně stropní desky .....           | 51 |
| Let č. 9: Ocelová konstrukce pro VZT jednotky na střeše.....               | 53 |
| Ukázkový projekt č. 3.....   | 54 |
| 8. Ekonomické hledisko využití UAV.....                                    | 55 |
| 8.1. Varianta 1.....   | 55 |
| 8.2. Varianta 2.....   | 56 |
| 9. Závěr.....  | 58 |
| Zdroje .....   | 60 |
| Legislativní předpisy .....  | 60 |
| Knižní a internetové zdroje.....   | 60 |
| Seznam obrázků.....  | 64 |
| Seznam tabulek.....  | 65 |
| Zdroje obrázků.....  | 66 |

## SEZNAM ZKRATEK

|       |   |
|-------|---|
| BIM   | Informační modelování budov   |
| ČR    | Česká republika   |
| UAV   | Bezpilotní letoun (z angl. Unmanned Aerial Vehicle)                           |
| UA    | Bezpilotní letoun (z angl. Unmanned Aircraft)                                 |
| ÚCL   | Úřad pro civilní letectví   |
| VLOS  | Let v dohledu pilota (z angl. Visual Line Of Sight)                           |
| FPV   | Pohled z první osoby (z angl. First Person View)                              |
| RGB   | Viditelné spektrum (z angl. Red Green Blue)                                   |
| ESC   | Elektronický regulátor otáček (z angl. Electronic Speed Controller)           |
| VTOL  | Zařízení s kolmým vzletem a přistáním (z angl. Vertical Take-Off and Landing) |
| LP    | Letecké práce   |
| PkL   | Povolení k létání   |
| MTOM  | Maximální vzletová hmotnost (z angl. Maximum Take – Off Mass)                 |
| RC    | Dálkově ovládané (z angl. Radio Controlled)                                   |
| GPS   | Globální polohový systém  |
| LČPVP | Letecké činnosti pro vlastní potřebu  |

# 1. ÚVOD

Zatímco ve většině průmyslových odvětví je automatizace a využívání technologií patrné na první pohled, stavebnictví jako by stálo lehce stranou. Projekce a plánování stavebních projektů sice už probíhají výhradně v digitální podobě, ale zde využití technologií víceméně končí a na stavbách jsou stále skupiny dělníků, kteří postupují dle desítky let stejných principů a postupů. Jedním z důvodů v posledních letech byla také často zmiňovaná krize ve stavebnictví, kdy měli podniky spíše starosti o vlastní existenci než o zavádění nových technologií. Dle mnoha různých aspektů se však zdá, že stavební krize minulých let už je nenávratně pryč a 9 z 10 ředitelů českých stavebních firem očekává v příštích letech růst oboru stavebnictví. (1) S touto skutečností je spjat jak dostatek finančních prostředků v oboru, tak naopak nedostatek manuálních pracovníků – a jelikož sehnat dostatek lidí na práci na stavbách je nejspíše neřešitelným problémem, je dle mého správným krokem zvýšit stupeň automatizace a využití dostupných technologií, čímž je možné začít využívat lidskou práci maximálně efektivně.

Česká republika stojí na prahu digitalizace stavebnictví v rámci průmyslové revoluce, slovo BIM potkává stavaře na každém kroku, jedni už vidí dělníky s tablety, druzí o tom nechtějí ani slyšet. (2) Pro všechny však platí, že každý stavební podnik se snaží udělat maximum pro snížení nákladů, urychlení projektu či zvýšení bezpečnosti vlastních prací. A právě zde vidím obrovský potenciál bezpilotních letadel, které jsou v současné době jednou z mála možností přenesení skutečného stavu stavebního projektu zpět do určité digitální formy – a hlavně jsou schopny toto provést rychle a efektivně. Současná technologie již dostatečně pokročila a je dostatečně výkonná pro nástup do reálné praxe. Teď přichází na řadu jen ukázat stavebním firmám, že tyto technologie tady již jsou a je možné je začít využívat.

V zahraničí se využívání dronů pro tyto účely zjevně daří – dle výroční zprávy společnosti DroneDeploy, která je jednou z předních firem působících v tomto oboru, je stavebnictví nejrychleji se rozvíjející oblastí využívání dronů, který v roce 2018 zaznamenal nárůst o 239 % oproti roku předešlému. (3)

První část této práce je věnována legislativnímu prostředí v České republice, včetně historického vývoje vznikající legislativy i současných předpisů pro provoz bezpilotních

letounů. V následující kapitole jsou popsány jednotlivé druhy bezpilotních letadel včetně popisu, pro jaké účely je daný typ nejvíce vhodný. Jsou zde taky popsány jednotlivé technologie, které může dron nést. Dále je popsán postup získání licence pro vykonávání leteckých prací na území České republiky od Úřadu pro civilní letectví. V dalších částech už je na konkrétních příkladech popsáno využití jednotlivých technologií, které už je možné v současné době využít při realizaci. Závěrem je stručně vyčísleno ekonomické hledisko využití dronů ve výstavbovém projektu.

Hlavním přínosem je tato práce pro osoby (ať již fyzické, nebo právnické), které chtějí nějakou z technologií tohoto oboru využít pro účely své osobní, či svého podnikání. Práce přináší přehled a doporučení jak pro pořízení bezpilotního letounu, tak pro získání potřebných povolení v rámci legislativy České republiky a dále i pro samotné pořizování dat. Zároveň má na konkrétních případech přiblížit, jaké výstupy je možné s využitím dronů získat.

V celé práci jsou záměrně opomenuty veškerá zařízení určené pro armádní účely a celá práce je brána v kontextu zařízení použitelných ve stavebnictví. Nedílnou součástí této práce jsou data pořízená bezpilotními letouny ve formě mračen bodů.

## 2. HISTORIE

Vůbec první zmínky o UAV pochází z doby před více než 100 lety. Jedna z prvních informací o „dronech“, jak se dnes masově UAV přezdívá, se datuje již do období konce první světové války, konkrétně do roku 1918. V tomto roce vznikl na požadavek armády Spojených států amerických stroj pod pozdějším názvem „Kettering bug“. Jednalo se o vůbec první nepilotovaný stroj schopný samostatného letu. Jeho vývoj měl na starost vynálezce a obchodník Charles F. Kettering, přičemž na samotném vývoji se podílel i mladší z bratrů Wrightových, kteří jsou všeobecně považováni za průkopníky letectví jako takového. Jejich továrna měla zároveň zajistit i pozdější masovou produkci pro potřeby války proti Německu. (4)

Jednalo se, zjednodušeně řečeno, o „okřídlené torpédo, které poháněl klasický spalovací motor Ford o výkonu 40 koní. Maximální udávaný dolet 120 km při maximální rychlosti 80 km/h. Největší nevýhodou tohoto stroje byla skutečnost, že letoun nebylo možné v průběhu letu již nijak ovládat. Před vzletem mechanici na základě vzdálenosti od cíle, síly a směru větru nastavili pevný počet otáček, po jejichž uběhnutí se motor vypnul a stroj s výbušninou se zřítil k zemi. Vzhledem k příchodu konce války a také z obavy, že by motor mohl selhat nad spojeneckými jednotkami, nebyl „Kettering Bug“ nikdy v boji použit a před nepřáteli zůstal tento projekt utajen až do začátku 2. světové války. (5)

*Obrázek 1: Kettering Bug, historicky první „dron“*



### 3. LEGISLATIVNÍ PROSTŘEDÍ

Provoz bezpilotních letounů je dle mého názoru jedním z mnoha typických případů, kdy soukromý sektor a reálné použití těchto prostředků v praxi je o krok dále než příslušné legislativní předpisy k jejich provozu. V současné době se provoz dronů řídí leteckým předpisem L2, pro bezpilotní letouny se jedná konkrétně o Doplněk X (viz. dále)

Pokud budeme brát jako dron jakékoli bezpilotní letadlo, pamatovala na něj již Chicagská úmluva sjednaná 7. prosince 1944, mezi jejíž signatáře patřilo i tehdejší Československo. Dle čl. 8 tohoto dokumentu měl být let „*letadla řízeného bez pilota*“ nad územím smluvního státu podmíněn vždy zvláštním zmocněním“. Obdobně je tomu u českého zákona o civilním letectví, který podmiňuje let letadla bez pilota nad územím České republiky zvláštním povolením (§ 52 zákona o civilním letectví). Oba zmíněné předpisy však vznikly v dobách, kdy bezpilotními letadly disponovaly pouze armády některých států a přijít do styku s takovým strojem bylo pro běžného smrtelníka takřka nemožné. Technologický pokrok posledních (desítek) let však umožnil výrazné zjednodušení a zmenšení těchto strojů a jejich pohyb přesunul z tisícimetrových výšek a milionových nákladů na dosah ruky téměř každému, kdo o to má zájem. (6)

Samotné letectví je velmi dynamickým oborem a mění se společně s vývojem technologických možností a se změnami ve společnosti. Obdobná situace té dnešní nastala po roce 1989, kdy uvolnění společenských poměrů a snazší přístup k zahraničním technologiím umožnil masivní rozmach rekreačního létání, které v té době také nemělo jasně dané předpisy a zákonné normy. Dnes je však již provoz ultralehkých letadel běžnou součástí leteckého provozu. Podobný průběh lze očekávat i v oblasti bezpilotních letadel, i když samozřejmě s určitými odlišnostmi. Jedním z hlavních technických a psychologických aspektů, který zvyšuje rizika bezpečnosti z neregulovaného pohybu dronů ve vzdušném prostoru je právě absence pilota na palubě stroje. Tím, že pilot stojí pevně nohama na zemi, necítí takovou odpovědnost za život vlastní i ostatních, nebere v potaz škody, které mohou nesprávným způsobem užívání vzniknout a v neposlední řadě nemá také zdaleka takový přehled o situaci kolem pilotovaného stroje. S touto skutečností je potřeba zmínit i fakt, že narozdíl od „velkého letectví“, kdy letiště byla zpravidla budována na okrajích měst, aby případné nehody neměly bezprostřední dopad na životy a majetek, komerční využití dronů je směřováno především do

míst opačných, kde jsou tato rizika největší – do zastavěných oblastí, do blízkosti průmyslových objektů a za hranici vizuálního kontaktu se strojem (7, str. 227-228)

Základním dokumentem pro veškeré civilní letectví na našem území je zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví. V úvodu, pod bodem 2) § 2 - Základní pojmy, je letadlo definováno jako „zařízení schopné vyvozovat síly nesoucí jej v atmosféře z reakcí vzduchu, které nejsou reakcemi vůči zemskému povrchu. Pro účely tohoto zákona se nepovažuje za letadlo model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 25 kg“ (§ 2, 49/1997 Sb.), což může zdánlivě působit tak, že tento předpis se dronů nijak netýká – tudíž ani nijak neomezuje jejich provoz a spousta lidí se dle tohoto tvrzení také řídila. Pravdou však je, že provoz modelů letadel podléhal občanskému zákoníku, ze kterého plynuly i dané odpovědnosti pilota.

V roce 2008 bylo prvním pokusem o určitou regulaci bezpilotních letadel „Bezpečnostní opatření Ministerstva dopravy“, které vycházelo z nařízení Evropského parlamentu – ovšem s drobnými, ale zásadními změnami. Plán zavedení tohoto nařízení však vyvolal značné námítky z řad modelářů, kterým nakonec ministerstvo dalo za pravdu a nařízení zrušilo ještě dříve, než vešlo v platnost. (8, 9)

Druhým pokusem o regulaci tohoto odvětví a zároveň stále aktuálním předpisem pro provoz bezpilotních letounů v České republice se stal Doplněk X k leteckému předpisu L2, který vešel v platnost 1. března 2012. Tento doplněk začal vznikat takřka ve stejnou dobu, kdy bylo odmítnuto výše zmíněné bezpečnostní opatření. Již od počátku vznikal s přispěním z řad odborníků na dané téma a bylo zahrnuto i veřejné připomínkové řízení a kdokoliv se mohl ke vznikajícímu předpisu vyjádřit, což zajisté přispělo k úspěšnému vydání uceleného dokumentu, který dává leteckému provozu bezpilotních letadel potřebný řád. (9, 10 a 11, str. 73 - 75)

## 3.1. Doplněk X

Jak už je zmíněno výše, tento doplněk je v současné době jediným komplexním předpisem o používání bezpilotních prostředků a stanovuje závazná pravidla pro provoz všech bezpilotních letadel nebo modelů. Především zde byl zaveden (mimo jiných) pojem „bepilotní letadlo“ pro jehož provoz tento předpis zavedl podmínky přibližující se zvyklostem v klasické civilním letectví a zároveň striktně oddělil modelářské aktivity od komerčního využívání dálně ovládaných strojů. V České republice má veškeré letecké předpisy na starost Úřad pro civilní letectví (spadající pod Ministerstvo dopravy), který zároveň dohlíží na jejich dodržování. Závěrem je potřeba dodat, že pojmy bepilotní letadlo, bepilotní prostředek UAV, popř. UA, a i nově z angličtiny přejatý pojem dron, jsou víceméně synonyma a pro jejich provoz platí v Doplnku X stejná definice jako pro bepilotní letadlo, které tento dokument nově zavádí. (7, str. 227 – 229 a 11, str. 74 - 77)

Doplněk X má jen několik málo stránek, ale i přesto koluje jak mezi laickou veřejností, tak i mezi amatérskými piloty, spoustu mýtů a legend o létání s drony. V následující části se pokusím v krátkosti nastínit nejdůležitější body a zásady pro používání bepilotních letadel. Celé znění je dostupné na stránkách Řízení leteckého provozu České republiky.

### 3.1.1. Základní definice

Níže je uvedeno základní názvosloví užívané v Doplnku X Leteckého předpisu L2, které zároveň vymezuje i povinnosti a odpovědnosti jednotlivých zařízení.

#### **Bezpilotní letadlo (UA)**

Letadlo (tj. i veškeré druhy multikoptér apod.) „určené k provozu bez pilota na palubě. V mezinárodním kontextu se jedná a nadřazenou kategorii dálně řízených letadel, zde jsou tím myšlena všechna bepilotní letadla kromě modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg.“ (Doplněk X, odst. 1)



## **Bezpilotní systém (UAS)**

*„Systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více.“ (Doplněk X, odst. 1)*

## **Model letadla**

*„Letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používáno pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které, v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu.“ (Doplněk X, odst. 1)*

## **Autonomní letadlo**

*„Bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu. Autonomní bezpilotní letadlo nesmí být provozováno ve společném vzdušném prostoru.“ (Doplněk X, odst. 1)*

### **3.1.2. Bezpečnost, dohled pilota a odpovědnost**

Bezpečnost je primárně řešena pod bodem 3.1, kde je dáno, že *„let bezpilotního letadla smí být prováděn jen takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí.“* Dále je jedním ze základních parametrů celého povolení létání od ÚCL pravidlo, že bezpilotní letou musí být po celou dobu v přímém dohledu pilota (bez dalších zařízení, dalekohledů apod.) tak, aby byl pilot schopen sledovat a vyhodnocovat průběh letu překážky a okolní letový provoz. Tomuto provozu se říká VLOS (z angl. Visual Line Of Sight). Kompletně jsou také zakázány lety v noci. (Doplněk X, odst. 3 a 4)

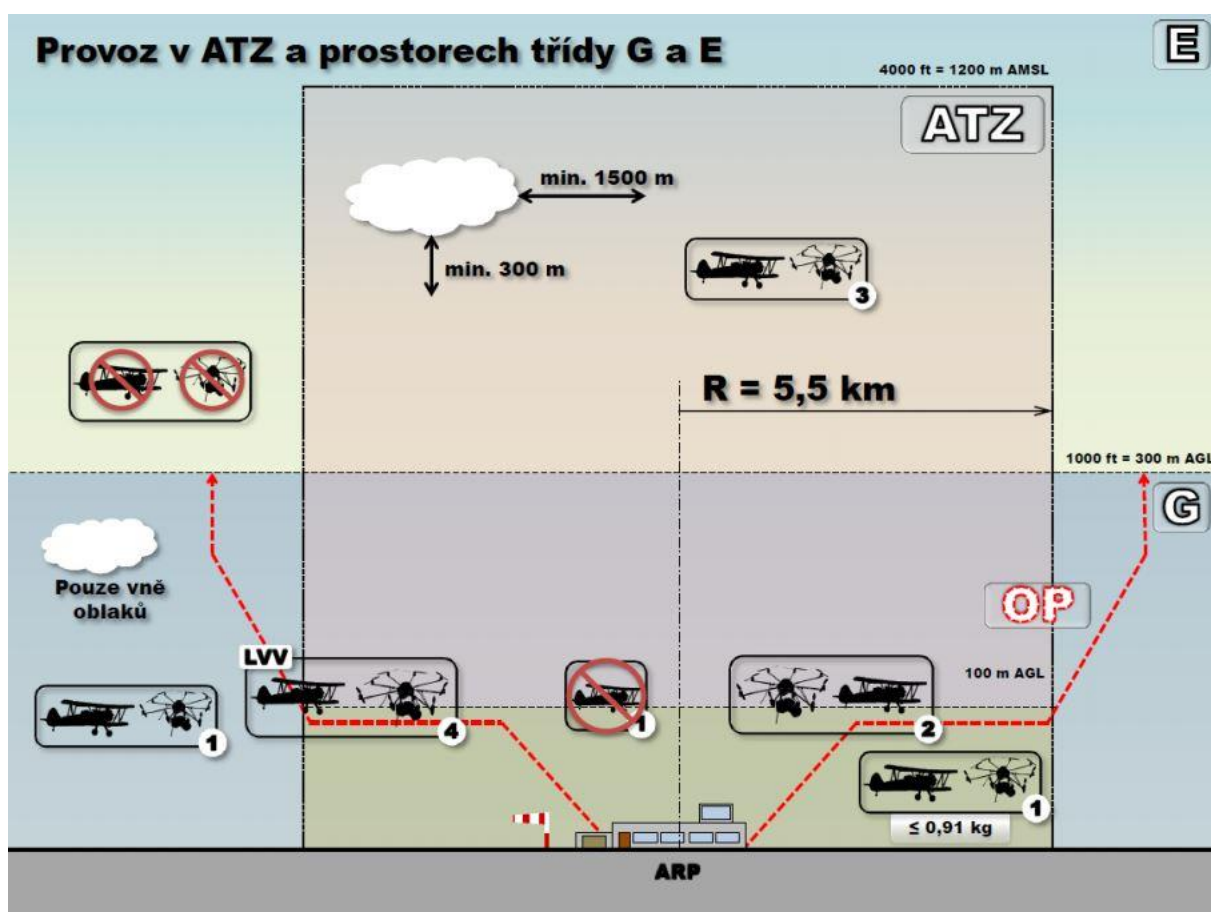
Samozřejmým aspektem, který dále předpis řeší, je odpovědnost pilota (či osoby která bezpilotní letoun vypustila do vzdušného prostoru) za provedení bezpečného letu včetně předletové přípravy a kontroly. Pilot je zároveň povinen vést letecký deník či podobný, ekvivalentní dokument. (Doplněk X, odst. 5)

### 3.1.3. Omezení ve vzdušném prostoru

I když to tak na první pohled nemusí vypadat, vzdušný prostor je relativně frekventovaný a každou chvíli je možné na obloze zahlédnout nějaké letadlo, vrtulník, či paraglidistu. Z toho důvodu je také potřeba dodržovat alespoň základní pravidla létání. Vychází se z rozdělení vzdušného prostoru ČR a podmínky jsou podobné jako u pilotovaného letectví. Let bezpilotních letadel je v zásadě bez dalších požadavků umožněn jen ve vzdušném prostoru třídy G, který sahá od země až do výšky 300 m nad zemí, avšak s výjimkou okolí letišť, kde jsou pravidla složitější - viz. obrázek 2. Dále je zakázáno létat do 5,5 km od vztažného bodu řízeného okrsku letiště, dočasně vymezeného prostoru pro přelet vojenských letadel či do prostorů jinak zakázaných, omezených či nebezpečných.

Před každým letem je pilot povinen zkontrolovat pravidla a omezení vzdušného prostoru v místě letu v aplikaci Řízení letové provozu nazvanou AisView (<http://aisview.rlp.cz/>), kde jsou všechny informace v aktuální podobě bezplatně k dispozici.

Obrázek 2: Omezení ve vzdušném prostoru dle Doplnku X



Dále jsou stanoveny váhové kategorie letadel podle maximální vzletové hmotnosti. Tyto kategorie jsou v rozmezí od 0 do 0,91 kg, dále pak od 0,91 kg do 7 kg, od 7 kg do 20 kg a nakonec všechny modely s hmotností nad 20 kg. V tabulce 1 jsou uvedeny požadavky dle ÚCL na provoz bezpilotních letadel a zároveň minimální vzdálenosti pohybu strojů od osob, staveb či osídleného prostoru. (Tab. 1, řádek 7)

Tabulka 1: Požadavky ÚCL pro provoz bezpilotních letadel a modelů letadel

| ř. | maximální vzletová hmotnost   | ≤ 0,91 kg               |                                       | > 0,91 kg a < 7 kg      |                                       | 7 – 25 kg   |                                       | > 25 kg                            |                                       | bepilotní letadlo provozované mimo dohled pilota |
|----|---|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|
|    |   | rekre- ačně spor- tovní | výdělečné, experimen- tální, výzkumné | rekre- ačně spor- tovní | výdělečné, experimen- tální, výzkumné | rekre- ačně spor- tovní                           | výdělečné, experimen- tální, výzkumné | rekre- ačně spor- tovní            | výdělečné, experimen- tální, výzkumné |  |
| -  | účel použití požadavek  |                         |                                       |                         |                                       |   |                                       |                                    |                                       |  |
| 1  | evidence letadla  | ne                      | ano                                   | ne                      | ano                                   | ne  | ano                                   | ano                                | ano                                   | ano  |
| 2  | evidence pilota   | ne                      | ano                                   | ne                      | ano                                   | ne  | ano                                   | ano                                | ano                                   | ano  |
| 3  | praktický a teoretický test pilota  | ne                      | ano                                   | ne                      | ano                                   | ne  | ano                                   | ano                                | ano                                   | ano  |
| 4  | povolení k létání   | ne                      | ano                                   | ne                      | ano                                   | ne  | ano                                   | ano                                | ano                                   | ano  |
| 5  | povolení k provádění LP a LČPVP   | nelze                   | ano                                   | nelze                   | ano                                   | nelze   | ano                                   | nelze                              | ano                                   | nelze  |
| 6  | označení UA: ID štítek / ID štítek + pozn. značka                           | ne / ne                 | ano / ano                             | ano / ne                | ano / ano                             | ano / ne  | ano / ano                             | ano / ne                           | ano / ano                             | ano / ano  |
| 7  | min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor | bez- pečná              | bezpečná                              | bez- pečná              | bezpečná                              | bezpečná, ale minimálně 50/100/150                | bezpečná, ale minimálně 50/100/150    | bezpečná, ale minimálně 50/100/150 | bezpečná, ale minimálně 50/100/150    | bezpečná, ale minimálně 50/100/150               |
| 8  | pojištění: běžný provoz / LVV (mil. Kč)                                     | ne / 0,25               | dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>     | ne / 1                  | dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>     | ne / 3 od 20 kg dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup> | dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>     | dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>  | dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>     | dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>                |
| 9  | dozor   | ne                      | ne                                    | ne                      | ne                                    | ne  | ne                                    | ano                                | ano                                   | ne   |
| 10 | „failsafe“ systém   | ne                      | ano                                   | ano                     | ano                                   | ano   | ano                                   | ano                                | ano                                   | ano  |
| 11 | provozní příručka UAS   | ne                      | ano                                   | ne                      | ano                                   | ne  | ano                                   | ne                                 | ano                                   | ne   |
| 12 | hlášení událostí  | ne                      | ano                                   | ne                      | ano                                   | ne  | ano                                   | ano                                | ano                                   | ano  |

## 4. ROZDĚLENÍ DRONŮ

Drony mohou být děleny dle nepřeberného množství aspektů, mezi které může patřit například cena, velikost, vybavení, účel využití, počet rotorů, výdrž, schopnosti letu, nesené zařízení a mnoho dalších. V následující podkapitole jsou popsána 3 dělení, která jsou stěžejní pro výběr při plánovaném využití ve výstavbových projektech. Prvním, a tím vůbec nejzákladnějším, je rozdělení dle plánovaného typu využití a ze které i nepřímo vyplývá, ve které cenové relaci se tato zařízení pohybují. Dále pak podle konstrukčního řešení, a nakonec dle technologie, kterou daný stroj vynese do vzduchu.

### 4.1. Rozdělení dle typu využití

V poslední době zažívá trh s drony opravdový rozmach a je možné vybírat z tisíců různých zařízení různých tvarů, velikostí a v cenovém rozpětí od pár stovek až po miliony korun. Výběr záleží v první řadě na plánovaném použití. Modelář, který má létání jako koníčka si zřejmě nepořídí letecký systém za statisíce korun, stejně jako si specializovaná geodetická firma nekoupí do svého vybavení levnou „hračku“ za pár korun. Cena je v tomto případě nejvíce ovlivněna kvalitou, druhem a počtem použitých součástek a dále také softwarem pro ovládání zařízení, který je schopen kromě základních letových příkazů provádět i velmi složité operace jak v rámci samotného letu, tak i při obstarávání a zpracování potřebných dat. (12)

Obrázek 3: Rozdělení dronů dle typu využití



## Hračky/Toy drony

Drony spadající do této skupiny jsou určené pro amatéry či hobby piloty a slouží hlavně začátečníkům, kteří chtějí do světa bezpilotních letadel proniknout. Ceny startují již na několika stovkách korun, kde se jedná se zpravidla o méně kvalitní drony s nízkou výdrží. Na trhu se však objevují i zařízení kolem 10 000 Kč, které už mají kvalitnější součástky a pod tělem zavěšenou kameru, která značné skupině hobby pilotů postačí. Jejich ovládání je o něco složitější, protože z důvodů nízké ceny často nemají GPS modul nebo jiný pomocný systém, který by pilotovi při letu pomáhal udržet směr či výšku letu.

## FPV/Závodní drony

Drony, které jsou typické menšími rozměry, a především svou mrštností, jsou ideální pro závodní využití, jelikož mohou snadno dosahovat rychlostí přes 100 km/h. Nejčastěji jsou vybaveny kamerou umožňující přenos videa do FPV brýlí (z angl. First Person View), které dávají pocit, jako by člověk seděl v kokpitu stroje. Drony v této kategorii se pohybují od 6 000 Kč do cca 20 000 Kč a každý pilot si většinou dron sestavuje sám. Závodění s drony je jedním z nejrychleji rostoucích sportů, ve kterém se konají závody po celém světě, včetně světového poháru. (13)

*Obrázek 4: Set závodního dronu, RC vysílače a FPV brýlí*



## Spotřebitelské drony s kamerou

Tato kategorie navazuje na kategorii dražších toy dronů. Jedná se o zařízení, jejichž cena začíná na 10 000 Kč, disponují již kvalitnější kamerou, větší výdrží baterie a standardně umožňují připojení mobilního zařízení či tabletu, se kterým je poté možné dron nastavit či ovládat pomocí příslušné aplikace. Tyto drony jsou nejčastěji využívány zkušenějšími hobby piloty při pořizování fotografií a videa, ale díky pokročilejším technologiím už je lze v omezené míře použít pro experimentální či komerční činnosti.

## Poloprofesionální drony s kamerou

Zařízení v této kategorii cílí především na amatéry s vyššími nároky popř. na (polo)profesionální fotografy nebo režiséry. Drony v této kategorii se pohybují přibližně od 50 000 Kč do 150 000 Kč a nabízí fotoaparáty schopné zachytit fotografie a videa ve vysokém rozlišení, které se již dají použít komerčně, především pro marketingové účely. Zároveň jsou mnohem sofistikovanější a díky kvalitnějším materiálům a robustnější konstrukci i stabilnější při letu v méně příznivých povětrnostních podmínkách.

*Obrázek 5: Profesionální drony pro natáčení filmových záběrů*



## Komerční a výzkumné drony

Stroje primárně určené pro nesení jiného zařízení, než je standardní RGB kamera. Jedná se zpravidla o drony přímo sestavované k nesení termokamer, multispektrálních kamer, různých senzorů, skenerů, popř. velkých filmových kamer. Tyto drony mají obvykle více než jen 4 rotory a mnohem složitější konstrukci. Jejich cena se pohybuje ve stovkách tisících korun

a jsou využívány profesionály pro komerční účely například v průmyslu, zemědělství či výzkumu.

*Obrázek 6: Drony pro komerční využití (vlevo s rozprašovačem na hnojiva a nádobou, vpravo s laserovým skenerem)*



### **Drony s křídlem a kolmým vzletem a přistáním**

Tato skupina bude popsána podrobněji dále v kapitole 4.2. Ve zkratce se jedná především o drony pro mapování velkých území

Zde je však potřeba zmínit, že do dronů tohoto konstrukčního typu je vkládána velká budoucnost především v oblasti přepravy zboží. Nemalé prostředky investují do tohoto druhu přepravy přední světové společnosti jako jsou například Amazon pod značkou PrimeAir nebo německá DHL a jejich Parcelcopter. V současné době je v této oblasti největší překážkou legislativa. (14)

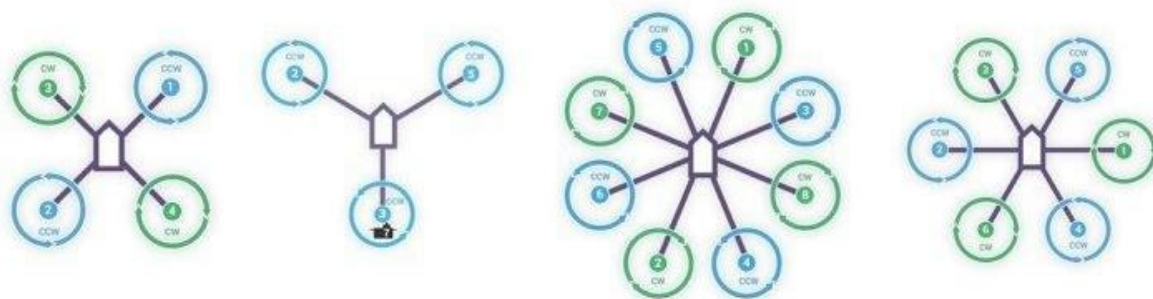
*Obrázek 7: Vlevo křídlo pro mapování velkých ploch a vpravo předpokládaná podoba prvního VTOL dronu od společnosti DJI*



## 4.2. Rozdělení dle konstrukčního řešení

Přestože pro většinu laické veřejnosti je synonymem pro slovo dron čtyřvrtulový stroj s tělem ve tvaru X, dělení je v reálu o dost komplikovanější a výše zmíněný druh je jen jednou z variant (z mnoha důvodů tou nejběžnější), kterou je možné na obloze spatřit. Existuje ale celá řada konstrukčních řešení, kdy drony mohou mít pouze jeden rotor, rotorů hned dvanáct a nebo také žádný. Zde je stěžejní si určit, k čemu bude zařízení sloužit, na základě čehož zvolit konkrétní konstrukční řešení. Obecně lze říci, že čím méně rotorů koptéra má, tím je mrštnější, a naopak více rotorů zajišťuje větší stabilitu při letu. (15)

Obrázek 8: Schéma možností uložení rotorů s naznačením směru otáčení vrtulí



### Jednorotorové drony

Stroje s jedním rotorem nejsou u bezpilotních letadel příliš rozšířené (na rozdíl od pilotovaných, kde klasické vrtulníky tvoří jednu ze základních skupin letadel s pilotem na palubě). I tyto zařízení však nacházejí své uplatnění, a to především díky možnosti pohonu benzinovým motorem, který je schopen výrazně delší doby letu a dále také umožňuje unést větší zátěž. Z důvodu horší stability, složitějšímu ovládní a vyšší ceně je však ve většině případů vhodnější použít jiný druh zařízení. (16)

Obrázek 9: Jednorotorový dron pro postřik hnojiv, vlevo pilot pro měřítko velikosti





## Vícerotorové drony

Tato kategorie je ze všech zdaleka nejrozšířenější a spadají do ní všechny dvou-, tří-, čtyř-, šesti-, osmi- atd.. rotorové stroje. Zpravidla platí, že trikoptéry mají motory uloženy na pomyslných vrcholech rovnostranného trojúhelníku, kvadrokoptéry na těle ve tvaru X a stroje s větším počtem pak mají organizovány rotory do tvaru kruhu. Největší výhodou strojů s šesti a více rotory je možnost letu i při případném výpadku jednoho (u některých typů dokonce i více) rotorů, což značně přispívá k bezpečnosti osob a majetku a zároveň přidává bezpečnostní prvek, díky kterému je možné získat povolení k letu i v místech, kde to zákon standardně neumožňuje. Drony nemají žádné kormidlo či směrové klapky, které by udávaly směr letu – pohyb je umožněn pouze na základě změny otáček jednotlivých vrtulí a souvisejícím náklonem stroje určeným směrem. (15)

Jednou z hlavních vlastností, která zajistila dronům takovou popularitu je jejich snadná ovladatelnost, jelikož ovládání je tak jednoduché, že kdokoli si může takový stroj pořídit a být schopen s ním téměř ihned létat. Samotná konstrukce koptér je oproti benzinovým a jiným strojům velice jednoduchá, což zaručuje cenovou dostupnost těchto zařízení. Mezi základní komponenty patří samotné tělo, které dále nese motory s vrtulemi, každý motor má svůj vlastní elektronický regulátor otáček (angl. ESC) napojený na rozvodovou desku, přijímač signálu, a nakonec zpravidla největší a nejtěžší součást, baterii. (17) V současné době jsou baterie největším problémem pro masivnější využití dronů. S dnešními bateriemi drony průměrně dosahují letového času okolo 20 minut, což je pro velkou část využití nedostatečné. Řešením by bylo osadit baterie s větší kapacitou, které však budou mít větší hmotnost a tím pádem sníží letový čas – čímž se opět problém vrátí na začátek a dostaneme se do kruhu, ze které se lze dostat jedině vyvinutím nové technologie pohonu či baterií, které budou mít při stejné kapacitě výrazně nižší hmotnost. (15, 16)

Samostatnou kategorií by mohly být koptéry s koaxiálním uložením rotorů, kdy jsou na každém ramenu osazeny 2 vrtule, popř. je možné je osadit i vertikálně nad sebou. To umožňuje jednak osazení větších vrtulí a z důvodu nižšího počtu ramen má celá konstrukce nižší hmotnost, což umožňuje delší dobu letu. Nevýhodou je nižší účinnost právě kvůli osazení vrtulí nad sebou. (18)

## **Drony s křídlem**

Zařízení spadající do této kategorie se konstrukčně podobají klasickým letadlům, kdy místo vrtulí mají jedno nebo více křídel a k letu efektivně využívají vztlak vzduchu. Oproti vrtulovým koptérám mají výrazně delší dobu letu, jelikož potřebují energii pouze pro pohyb dopředu a ve vzduchu je udrží již výše zmíněný vztlak. Z tohoto důvodu jsou ideální pro delší lety, popř. mapování velkého území. Při kombinaci s pohonem na benzínový, popř. solární pohon, jsou schopny letů trvajících několik hodin. Bezesporu největší nevýhodou křídel je nemožnost vznášet se na stejném místě, což jejich využití v praxi velmi omezuje pouze na specifické činnosti. Mezi další nevýhody pak patří složitější ovladatelnost, nutný prostor pro vzlet a přistání a v neposlední řadě také vyšší cena. (16, 19)

## **Hybridní drony**

Nezřídka se objevují i snahy výrobců o kombinaci různých konstrukčních systémů s cílem z každého výše zmíněného převzít pouze pozitiva, tj. například vyvinout takový stroj, který bude využívat při letu vztlaku vzduchu, čímž bude šetřit energii z baterií, ale zároveň bude schopný kolmého startu a přistání. Takové drony se spadají do skupiny VTOL (z angl. Vertical Take-Off and Landing). Ilustrativním případem může být například vyvíjený hybridní dron společnosti Amazon (viz. kapitola 4.1), který je schopný obou zmíněných vlastností a společnost si od něho slibuje budoucnost doručování zásilek koncovým zákazníkům. (20) Mezi dalšími zajímavými plány stojí za zmínku například drony, které jsou schopny letu i pohybu pod vodou, popř. kombinovat let s pohybem po zemi pomocí kol nebo pásů. (21)

## 4.3. Dělení podle nesené technologie

Úvodem k tomuto dělení je potřeba říci, že jsou záměrně vybrány pouze technologie, které je možné využít ve stavebních projektech a díky kterým je možné získat data, s nimiž lze dále pracovat s konkrétním cílem. Některé z nich lze využít jak pro stavební, tak i jiná odvětví, i přesto tato jiná odvětví budou záměrně opomenuta.

### 4.3.1. Standartní RGB kamera

Zařízení, které je na tělo dronu připevněno v naprosté většinu případů, je standartní kamera pro zaznamenání obrazu či videa. Ať už se jedná o primitivní kamerky schopné zachytit fotografii ve velmi nízkém rozlišení, či pokročilé filmové kamery schopné zachytit video ve vysokém rozlišení a perfektní kvalitě. V obou případech mají společné to, že dokážou zachytit cílený objekt z pohledu, který do té doby nebyl příliš všední. Na základě klasických fotografií a videa, které mohou posloužit pro soukromé či marketingové účely, je možné díky specializovaným softwarům dále využít tyto výstupy jako podklady pro další zpracování specializovaným softwarem.

Jedním z nejužitečnějších využití ve výstavbových projektech je právě fotogrammetrie. I když je tato technika známa již desítky let, a byla už i v letectví hojně využívána společně s klasickými letadly pro vytváření map a dálkový průzkum země, teprve rozvoj UAV jí dodal dodatečnou přesnost pro další širší využití. Výstupem je nejčastěji mapa, výkres, měření nebo 3D model reálného objektu nebo scény, ve kterých je možno dosáhnout přesnosti až 1 cm na pixel, což v praxi znamená, že na takto vytvořených modelech a mapách je možné měřit délky či objemy s přesností, které se dají srovnat s manuálním měřením pomocí metru. Oproti klasickému měření metrem nám však dává možnost měřit i místa, která by šla pomocí metru změřit jen těžko – tj. např. skrz objekty, nepravidelné objemy (násypy zeminy, výkopy, nepřístupné střechy aj.). Tato technologie je dále popsána v kapitole 6.3. Dále se fotografie mohou použít k sledování postupu prací nebo jako důkaz při případných soudních sporech. (7, str. 51 – 55 a 22)

### 4.3.2. Kamera s optickým zoomem

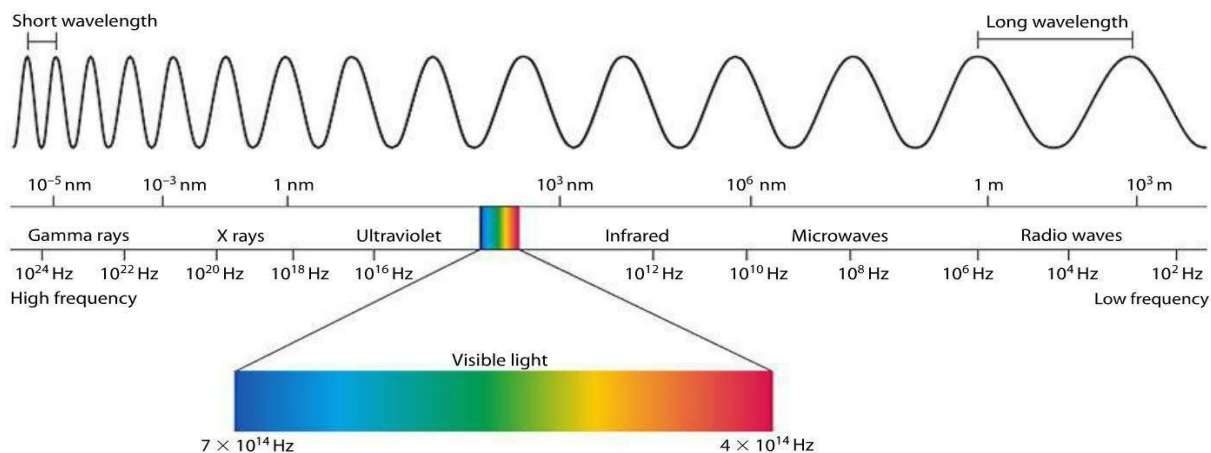
Jedná se o kameru umožňující optický i digitální zoom. Tyto kamery jsou nejčastěji využívány při letecké inspekci budov či jiných průmyslových objektů, jelikož umožňují získat obrazová data míst, na které je nemožné, nebezpečné nebo příliš nákladné se fyzicky dostat. Díky možnosti mnohonásobného přiblížení poskytují detailní pohled na požadované místo při zachování bezpečné vzdálenosti dronu od technického vybavení či obslužného personálu. Tyto kamery jsou nejčastěji kombinovány se stabilizátorem, který zajistí dostatečnou ostrost obrazu díky eliminaci všech otřesů, vibrací a dalších nepříznivých jevů ať už od samotného dronu či jiných okolních vlivů. (23)

### 4.3.3. Termokamera

Po standartní RGB kameře jsou s největší pravděpodobností další nejčastěji využívanou technologií termovizní systémy. Jednou z největších oblastí využití této technologie je inspekce objektů, ať už pro bydlení, průmyslových či technologických. Pomocí termovize lze relativně snadno odhalit problémová místa, ať už je to únik tepla či zatečen vody pod svrchní plášť. Tato místa mají v pohledu termovizním systémem odlišné charakteristiky oproti zbytku plochy či jiným podobným detailům a relativně jasně odhalí místa, ve kterých vznikl nějaký problém. S kombinací se zkušenostmi z provádění staveb pak lze relativně snadno odhalit možný problém a navrhnout řešení. (7, str. 56 – 58)

Termovizní kamery fungují na principu zobrazení tepelného záření, které všechny objekty samy vyzařují. Jedná se o naprosto pasivní zobrazovací přístroje, které nepotřebují žádné osvětlení objektů, ani zbytkové světlo, nebo různé přísvity. Termovizní přístroje zobrazují tepelné rozdíly objektů. Každé těleso s teplotou vyšší než absolutní nula (a to jsou všechna prozatím známá tělesa), vydává infračervené záření, které je lidským okem neviditelné. Čím je teplota vyšší, tím je vlnová délka vydávaného záření kratší. Zatímco čip klasické kamery zachycuje elektromagnetické záření v takzvaném viditelném světle (400 - 750 nm), čip termokamery snímá elektromagnetické záření s delšími vlnovými délkami (760 nm - 1 mm). Ty odpovídají takzvanému infračervenému záření. A právě v této části spektra vyzařuje i tepelné záření. Čip termokamery tak zaznamenává dopadající infračervené záření, a protože každá teplota má o trochu jinou vlnovou délku, dokáže graficky vykreslit plochy s různou teplotou povrchu. (24 a 25)

Obrázek 10: Elektromagnetické spektrum



V současné době se začínají využívat především kombinace RGB kamery s termokamerou, čímž je možné získat najednou jasnou představu o místě díky standartním fotkám a zároveň odhalit místa, která se určitým způsobem odlišují (i přesto, že na standartních fotkách můžou vypadat totožně). Praktické příklady k této technologii jsou ukázány a vysvětleny v kapitole 6.3. (26)

#### 4.3.4. Laserový skener

S rozvojem technologií se do vzduchu pomalu dostávají i laserové skenery, které pracují na principu měření doby odrazivosti laserového paprsku. V tomto případě je výsledek podobný výstupu z fotogrammetrie, kterým je mračno bodů, ale obě metody mají svá specifika. Při správném použití lze pomocí laserových skenerů získat řádově vyšší přesnost (1-3 cm), ale výsledné body neponesou informaci o barvě bodu a výsledkem je pouze jednobarevné mračno bodů, což může být v určitých případech nedostatečné. (22)

Největší nevýhodou využití této technologie je bezesporu cena pořízení, kdy se i nejlevnější laserové skenery pohybují za hranicí milionu korun a s kvalitním dronem a softwarem se cena vyšplhá i na desetkrát vyšší částku. (22, str. 57 a 11)

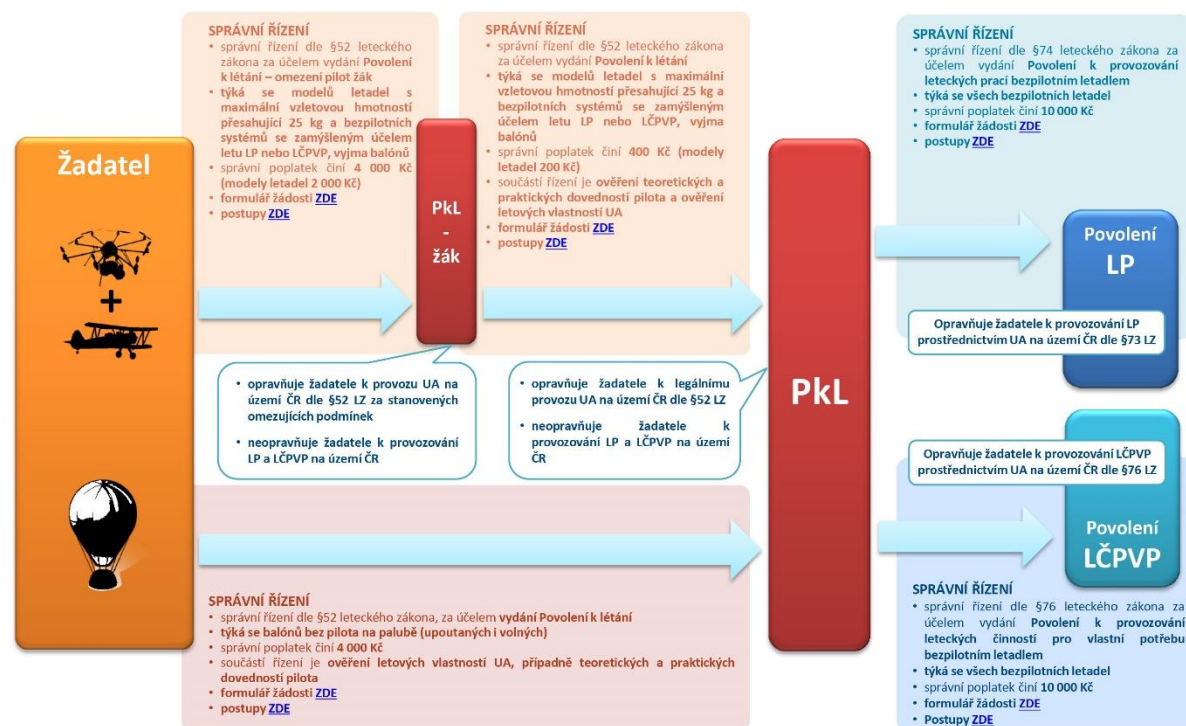
Laserové skenery jsou vhodné především do interiérů, do míst s hustou vegetací (přes kterou dron s kamerou není schopen „vidět“), popř. na hodně členité objekty a dále pak například na mapování dlouhých a drobných objektů, jako jsou například kabely a dráty elektrického vedení. (27)

## 5. ZÍSKÁNÍ POVOLENÍ K LETECKÝM ČINNOSTEM

Piloti, kteří chtějí využívat dron i k jiným činnostem, než jsou rekreačně – sportovní aktivity, musí dle § 52 zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví ve znění pozdějších předpisů – dále jen „letecký zákon“, získat povolení k létání letadla bez pilota na palubě popř. i povolení k provozování leteckých prací nebo leteckých činností pro vlastní potřebu (to v případě, že chtějí s letadlem vykonávat jakoukoliv podnikatelskou činnost)

Získání povolení, které umožní vykonávat s bezpilotním letounem výdělečnou činnost má, dvě fáze. Tou první je získání PvL (tj. Povolení k létání) a po jeho získání lze dále požádat o povolení k LP (leteckým pracím) popř. leteckých činností pro vlastní potřebu. Při souvisejícím správním řízení je zároveň stroji přidělena poznávací značka ve tvaru OK-X + pořadové číslo evidence. (10, 11, str. 27 – 77 a 28)

Obrázek 11: Procesní schéma vydávání povolení k leteckým činnostem vykonávaných bezpilotními letadly



### Legenda:

LZ = Zákon č. 49/1997 Sb. o civilním letectví v platném znění (Letecký zákon)  
 LP = letecké práce provozované UA  
 LČPVP = letecké činnosti pro vlastní potřebu provozované UA

UA = bezpilotní letadlo  
 PkL = Povolení k létání UA



= balóny bez pilota na palubě



= letadla bez pilota na palubě (vyjma balónů)

## 5.1. Průběh řízení pro získání PkL

### 5.1.1. Podání žádosti

Celý proces začíná stažením formuláře „Žádost o evidenci pilota, letadla bez pilota a povolení k létání“ z webového portálu Úřadu pro civilní letectví (dále jen ÚCL), kde jsou zároveň k dispozici pokyny pro správné vyplnění. Do této žádosti se vyplňují informace o provozovateli, pilotovi i samotném letadlu. Zároveň je k žádosti nutné připojit řadu příloh, mezi které patří například potvrzení o uzavřeném pojištění odpovědnosti za škody způsobené provozem letadel, barevná fotografie dronu či kompletní provozní příručka. Pojištění lze sjednat pouze s imatrikulačním štítkem stroje, který však stroj zatím nemá. (7, str.239-241 a 29)

Po odeslání žádosti na adresu ÚCL zahájí úřad správní řízení, o jehož průběhu budou všichni účastníci informováni. Dále úřad řízení přeruší z důvodu zjištěných nedostatků v žádosti (chybějící pojištění dronu a všechny přílohy) a vyzve žadatele k jejich doplnění. Při této příležitosti ÚCL letadlu předběžně značku přidělí. Po vyřízení pojištění se shromáždí všechny přílohy k žádosti, kterými jsou:

- barevná fotografie UA
- blokové schéma zapojení palubní elektroinstalace s popisem jednotlivých částí.
- provozní příručka – Část B
- kopie osvědčení o uzavřeném pojištění odpovědnosti z provozu UA
- postupy zajišťující bezpečnost UAS (ochrana před protiprávními činy)
- doklady o vlastnictví UAS. (29)

Pokud chce žadatel následně získat i povolení k leteckým pracím, je vhodné vypracovat kompletní provozní příručku (nikoli jen část B, která je požadována k získání PkL)

Následuje vyhodnocení dodaných dokumentů ze strany ÚCL a v případě, že shledá všechny dokumenty úplné a správné, přeruší opět správní řízení a vyzve k úhradě správního poplatku ve výši 4000 Kč. Po zaplacení vydání ÚCL rozhodnutí o vydání Povolení k létání letadla bez pilota s omezeními „pilot - žák“ a následně po jeho nabytí právní moci vydání samotného Povolení k létání letadla bez pilota se stejnými omezeními. Následuje podání žádosti



o změnu Povolení k létání (žádosti o odstranění tzv. „žákovských“ omezení), které umožní pilotům získat potřebné pilotní dovednosti pro následnou praktickou zkoušku. V této chvíli je omezena výška letu, vzdálenost, na kterou může pilot letadlo ovládat a také jsou zvětšeny minimální bezpečné vzdálenosti. (7, str.239-241 a 29)

### 5.1.2. Přezkoušení

V okamžiku, kdy je pilot připraven složit teoretickou i praktickou zkoušku před komisí z ÚCL, zašle pilot žádost o změnu evidence pilota a PkL – odstranění žákovských omezení. Po domluvě vhodného termínu a místa setkání k vykonání zkoušky probíhá samotná zkouška následovně:

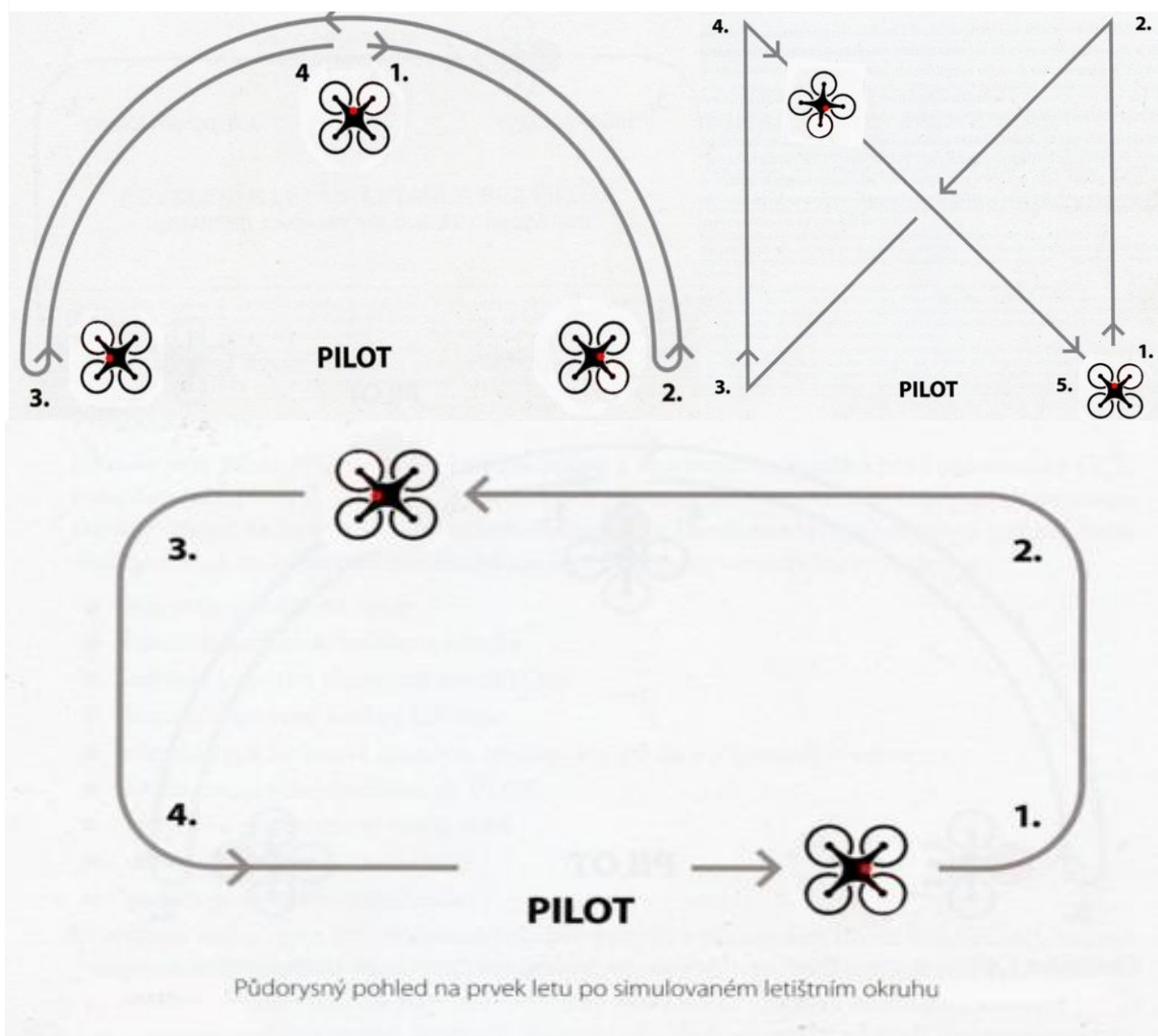
- kontrola totožnosti
- kontrola technického stavu letadla
- ověření letových vlastností při MTOM (maximální vzletová hmotnost z angl. Maximum Take – Off Mass)
- kontrola správné funkce fail – safe
- ukázka typické letové činnosti
- let do maximální vzdálenosti VLOS (maximální dohledná vzdálenost z angl. Visual Line of Sight)
- praktické přezkoušení
- složení teoretického testu
- podpis protokolů o přezkoušení.

Kontrola správné funkce režimu fail – safe se provádí vypnutím RC vysílače, kdy musí letadlo ihned začít bezpečně klesat, popř. se vrátit na místo vzletu a bezpečně přistát. Praktické přezkoušení sestává z několika letových prvků, mezi které patří:

- *vzlet, vis na místě v režimu stabilizace s GPS po dobu 10 sekund a následné přistání*
- *vzlet, let po půlkružnici v režimu stabilizace s GPS s ocasem letadla orientovaným k pilotovi v průběhu celého letu*
- *let po trajektorii ve tvaru písmene M v režimu stabilizace s GPS s ocasem orientovaným ve stejném zeměpisném směru*

- let po trajektorii ve tvaru písmene M v režimu bez stabilizace s GPS (režim Atti) s ocasem orientovaným ve stejném zeměpisném směru
- let po simulovaném letištním okruhu s orientací letadla po směru letu. (7, str. 243 – 244 a 29)

Obrázek 12: Letové figury při přezkoušení u ÚCL



## 5.2. Průběhu řízení pro získání povolení k LP

Po získání povolení k létání letadla bez pilota je dalším krokem potřebným pro vykonávání leteckých prací komerčně, tj. za nějakou úplatu, získání povolení k vykonávání leteckých prací bezpilotním letadlem nebo leteckých činností pro vlastní potřebu. K obdobné žádosti, jako u povolení k létání bez pilota na palubě, je opět nutné připojit několik příloh:

- *doklady o existenci podnikatelského subjektu žadatele*
- *doklady o odborné praxi, popř. čestné prohlášení*
- *doklady o dosaženém vzdělání*
- *doklady a rozsah zmocnění*
- *výpis z rejstříku trestů všech uvedených osob*
- *podnikatelský plán*
- *prohlášení o finanční způsobilosti žadatele*
- *letadlový park*
- *přehled dálkově řídicích pilotů*
- *provozní příručku. (7, str. 246)*

Pokud žadatel předloží všechny předepsané dokumenty, je toto správní řízení spíše formálního charakteru, kde je nejpracnější částí bezesporu vypracování provozní příručky UAS pro letecké práce. Provozní příručka je v této fázi stěžejní dokument, ve kterém je popsáno mnoho oblastí provozu bezpilotního letadla, především v oblasti organizace, bezpečnosti, rozdělení odpovědnosti atp...

V okamžiku, kdy jsou všechny přílohy kompletní, přeruší úřad správní řízení a vyzve žadatele o úhradu správního poplatku ve výši 10 000 Kč. Po úhradě ÚCL vydá povolení společně s provozní specifikací, kde jsou specifikovány jak povolení druhu leteckých prací, tak i kompletní letadlový park a pravidla letu. V případě žádosti o povolení k LČpVP je postup velmi obdobný, pouze je možné vynechat některé části provozní příručky.

Od roku 2012, kdy vešel Doplněk X v platnost, do roku 2016 bylo vydáno pouze něco málo přes 200 povolení k létání bezpilotním modelům. S vývojem technologií, objevováním nových možností využití dronů v různých oblastech a také díky snižujícím se nákladům na pořízení se předpokládá nárůst v počtu vydávaných povolení. (7, str. 147-148)

## 6. VYUŽITÍ UAV VE VÝSTAVBOVÝCH PROJEKTECH

### 6.1. Letecké fotografie

Letecké fotografie jsou nejjednodušším výstupem, který je možné ve výstavbových projektech využít. Fotografie z výšky jsou vhodné především pro zobrazování velkých staveb nebo celků, které lze těžko zachytit ze země. V oblasti architektury jsou velmi vhodné například k zobrazení kontextu budovy s jejím okolím. Tyto fotografie velice dobře přibližují pohled na stavbu či plánované projekty především pro investory, kteří nemají s výstavbou přílišné zkušenosti a nedovedou si plánovaný výsledek představit jen podle projektové dokumentace. Fotografie pořízené ve vzduchu jsou zároveň samy o sobě pro lidi atraktivní, jelikož pohled z ptáčích perspektivy je stále ještě unikátní a přináší příjemné zpestření při jakékoli prezentaci.

Rozvoj výpočetní techniky také přinesl zažitou praxi v tom, že se již většina projektů v prvotních fázích projektování neobejde bez vizualizací či modelů objektů jen pomocí hmot, které dají objednateli – na rozdíl od komplexních stavařských půdorysů a řezů – jasnou představu o tom, jak bude finální dílo vypadat při vynaložení relativně malého množství práce, v porovnání s kompletní projektovou dokumentací. Modely vytvořené pomocí počítače je možné zasadit do kontextu reálného prostředí, což je v tomto oboru dalším stupněm, který značně usnadní komunikaci mezi projektantem a objednatelem a zjednoduší pochopení požadavků jednotlivých subjektů, které pomůžou ke zdárnému konci a spokojenosti obou stran.

Příkladem využití fotografií z bezpilotního letounu může být výstavba nejvyššího čistě bytového domu v České republice – pražského V Toweru. V tomto případě byl ještě před započítáním stavebních prací použit dron pro nasnímkování z různých výšek a tyto fotografie následně sloužily pro prezentaci výhledů z budoucích bytů, což se zásadně promítlo do ceny za metr čtvereční dané bytové jednotky. (30)

*Obrázek 13: Vizualizace, kde byl použit snímek z dronu pro zobrazení výhledu z konkrétního bytu na Pražský hrad, což se následně promítlo do ceny*



## 6.2. Inspekce

Využití dronů pro letecký monitoring a různé inspekce pomalu, ale jistě roste. Využití najde v místech, kde dosud probíhal letecký monitoring pouze z pilotovaných strojů, pomocí horolezců nebo z výškových plošin či lešení. Jedná se především o inspekci výškových budov, nepřístupných či těžko přístupných střech a jiných částí objektů, komínů, mostů, větrných elektráren atd. Ve všech těchto případech je prohlídka pomocí dronu výrazně levnější, mnohokrát rychlejší a v neposlední řadě neúměrně bezpečnější. Jedná se vůbec o nejbezpečnější způsob inspekce a důvod je patrný – ať se jedná o sebevětší výšku, osoba zajišťující monitoring stojí po celou dobu pevně na zemi. S rozvojem technologií jsou dnes drony schopny pořídit snímky ve velmi vysokém rozlišení a díky objektivům lze tyto snímky pořídit i z bezpečné vzdálenosti stroje od objektu.

*Obrázek 14: Snímek poškozené střechy, na kterou nelze z důvodu bezpečnosti fyzicky vylézt*



Na obr. 14 je jeden z objektů bývalé koželužny v Hradci Králové - poslední, který „unikl“ demolici. V roce 2016 byla většina budov zdemolována s tím, že industriální cihlový komín a malá hala zůstanou zachovány a stanou se kontrastní součástí nové moderní zástavby. V témže roce byla na zmíněné malé hale rozebrána šestimetrová věžička s hodinami, která byla uložena do depozitu kvůli ochraně s plánem repase a zpětného osazení po rekonstrukci malé haly. Na snímku výše je detailní pohled na otvor ve střeše po odstranění věžičky.

Na obr. 15 níže je pak komín výše zmíněného areálu. Zchátralý komín, který měří na výšku více než 30 metrů je v takovém stavu, že není z důvodu bezpečnosti možné vylézt po stupadlech k tomu určených. Pomocí dronu s kamerou je možné detailně zaznamenat stav konstrukce za zlomek ceny ostatních možností inspekce a zároveň s minimálním rizikem úrazu.

*Obrázek 15: Zchátralý komín areálu bývalé koželužny v HK*



### 6.3. Termokamera

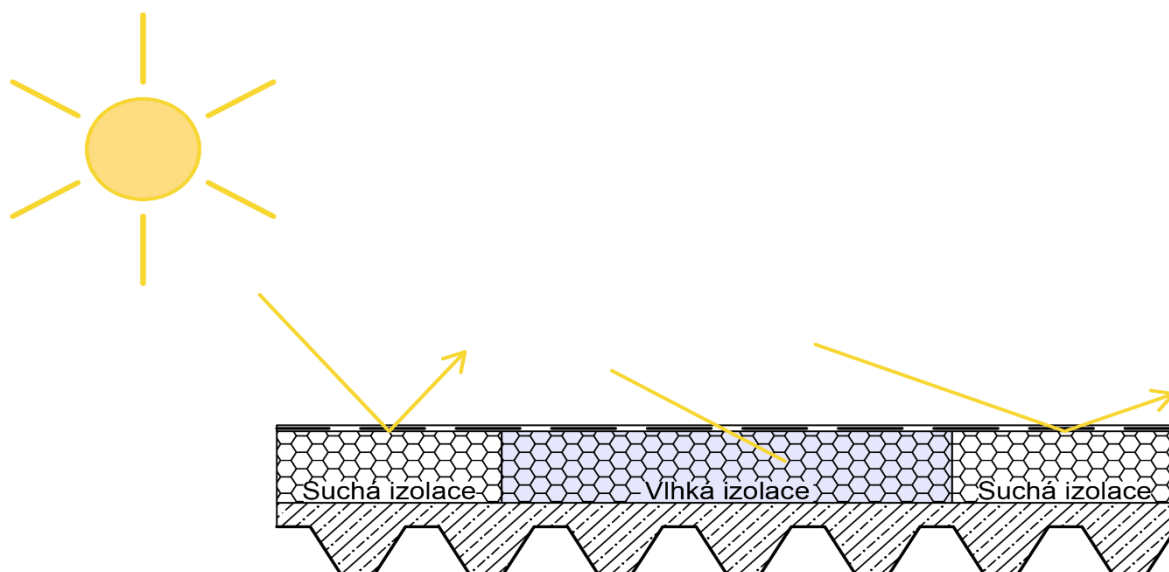
Drony vybavené termovizní neboli infračervenou kamerou jsou již v současné době využívány v relativně velkém měřítku. Tato technologie totiž již došla do fáze, kdy je možné jasně prezentovat získaná data a poskytnout konkrétní výsledek. Celá myšlenka spočívá v odhalení míst objektu, která mají odlišné vlastnosti oproti okolnímu prostředí, a to ještě dříve, než se problém vyskytne způsobem, který je viditelný pouhým okem.

První oblastí využívání kamer umožňující termovizi je inspekce úniků tepla z objektu, ať už ze staršího domu či novostavby, za účelem odhalení nedostatků v ploše tepelné izolace, odhalení tepelných mostů, které mohly vzniknout nesprávným provedením detailu či nesprávným navržením určitého detailu už ve fázi projektování, nebo dalších poruchách v konstrukci budovy, které nelze odhalit běžnou kontrolou.

Druhou oblastí, která se začíná rozšiřovat a začíná ji vyhledávat čím dál více správců nemovitostí je inspekce zatékání do objektu. Odhalit problematické místo pomocí termokamery je možné z toho důvodu, že stavební materiál nasáklý vodou má v termografickém snímku viditelně odlišné vlastnosti oproti okolním plochám, které mají sice stejnou skladbu, ale voda do nich nepronikla. Zjednodušeně lze říci, že suchá izolace se rychleji ohřeje a zároveň rychleji vychladne. (viz. obr. 16) Při snímání ve správnou dobu lze tak snadno odhalit místa, kde se izolace ještě nestihla ohřát, popř. ještě nevychladla – tzn. že toto snímání je v letních měsících nejlepší provádět po východu slunce, kdy se vlhká izolace ještě nestihla nahřát a na termosnímku se jeví jako chladné místo, popř. těsně po západu slunce, kde je naopak vlhká izolace stále ještě vyhřátá od slunce a na termosnímku se jeví jako teplejší místo oproti okolí. Druhou variantou, kterou lze aplikovat především v zimních měsících, kdy není během dne příliš slunce, je zároveň možné využít tepelné vodivosti vlhké izolace, která přenáší teplo z interiéru do skladby. Toto místo se na termosnímku jeví jako teplejší oproti okolnímu prostředí, kde tepelná izolace pracuje správně.



Obrázek 16: Schéma, jakým způsobem lze odhalit vlhkost ve skladbě střechy v letních měsících

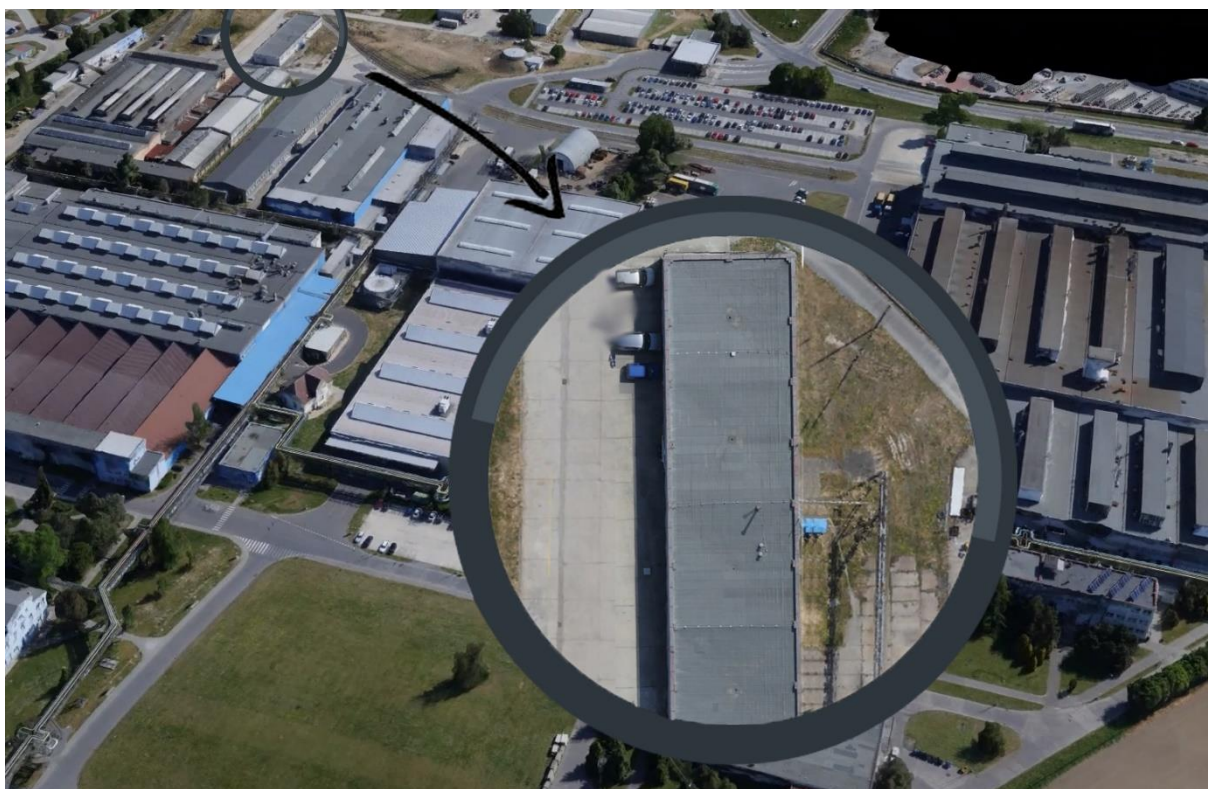


Na obr. 17 na další straně je zobrazen šikmý pohled na celý areál vytvořený z kolmých a šikmých fotografií metodou fotogrammetrie. Pro tento konkrétní model byl využit program Pix4D. Ve zvětšeném detailu je výřez ze stejného modelu, pouze však z menší vzdálenosti a kolmým pohled směrem dolů. Z tohoto snímku vypadají všechna místa střechy stejně a není možné pozorovat jakékoliv anomálie.

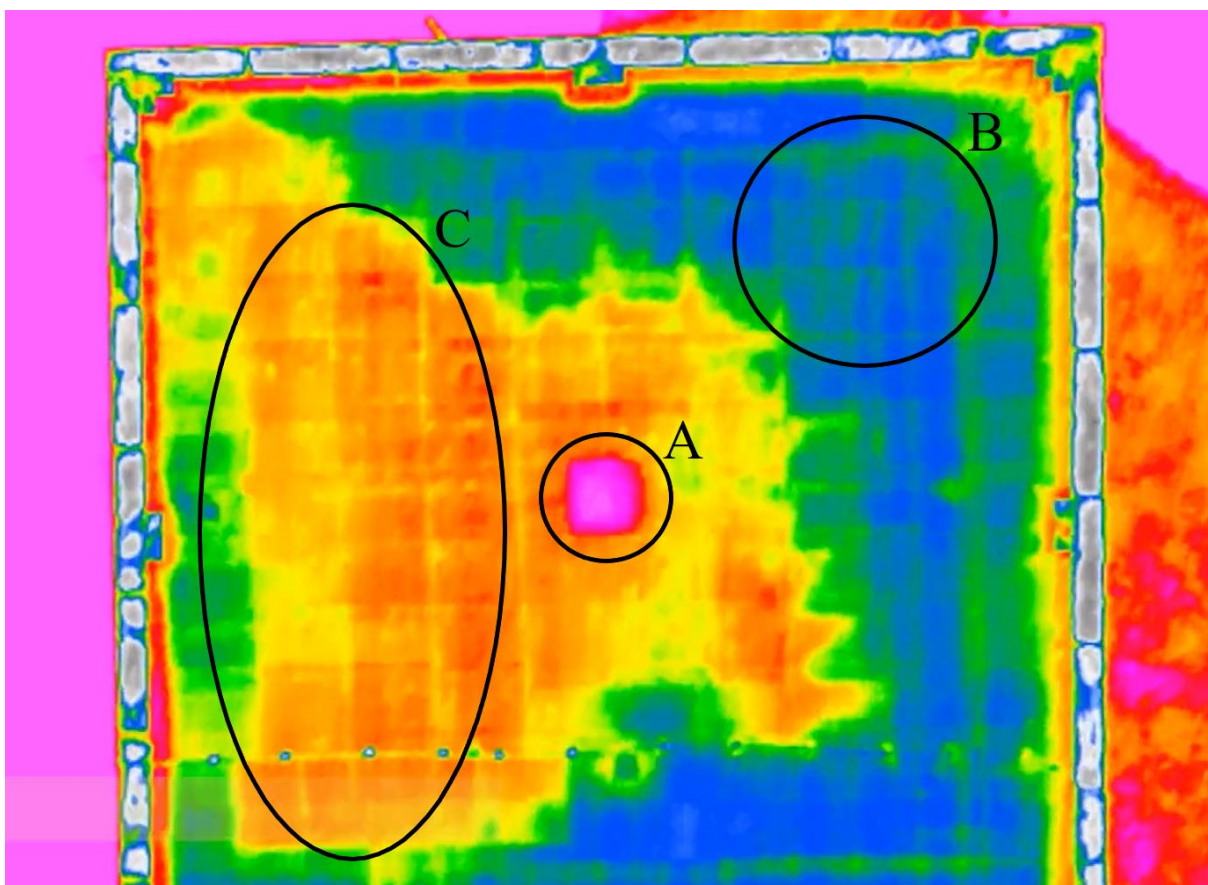
Na obr. 18 je snímek pořízený pomocí termokamery. Na tomto snímku již je patrné, že skladba střechy nevykazuje v celé zobrazené ploše stejné vlastnosti a je potřeba jí věnovat větší pozornost.

V místě A je z klasické RGB fotky patrné místo střešní vpusti. Na termosnímku se toto místo jeví jako výrazně teplejší vůči okolí, což může značit v zásadě 2 věci. V tomto místě je tepelný most a teplo z interiéru proniká kolem vpusti ven. Druhou možností je velmi nasáklá tepelná izolace, která je v místě nahřátá od slunce. Možná je samozřejmě i kombinace těchto dvou jevů. V místě B je část střechy, která vykazuje vlastnosti očekávané od funkční střešní skladby. Je patrné pouze lehké prokreslení spár izolačních desek. V místě C je jasně vidět problémové místo způsobené zatečením vody, nejspíše špatným provedením hydroizolace v místě vpusti, kudy vody pronikla do skladby střešního pláště a pod hydroizolační vrstvou nasáká stále více do vrstvy tepelné izolace. Na této části střechy termosnímek jasně ukázal na místa, kterým je potřeba věnovat větší pozornost při inspekci a závčas odstranit vzniklé vady.

Obrázek 17: 3D model areálu a zvětšený detail na řešenou budovu A



Obrázek 18: Termovizní snímek řešené budovy A

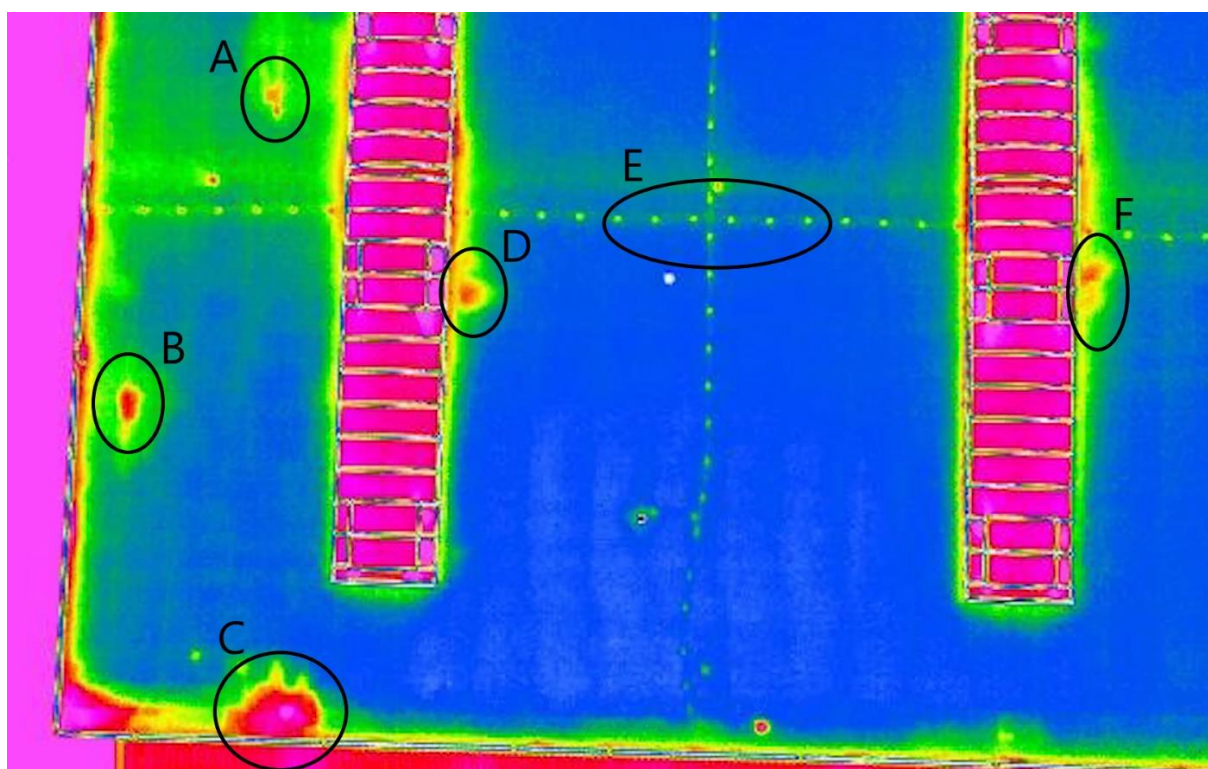


Na obr. 19 níže je pohled na stejný 3D model jako v předešlém případě, pouze však výřez na jinou budovu. Zde je možné na termosnímku (obr. 20) pozorovat několik míst s odlišnými vlastnostmi, které však ještě nemusí znamenat nějakou vadu. Již pouze podle klasické RGB fotky a termosnímku stejné oblasti lze s velkou pravděpodobností říci, že v místech A, B a C je závada na střešním plášti, kde z důvodu jeho poškození voda proniká až do vrstev tepelné izolace a je potřeba tyto místa detailněji zkontrolovat. Body D a F na zmíněném termosnímku sice vykazují stejné vlastnosti jako již zmíněné body A, B a C, ale v tomto případě je patrné, že se o vady nejedná. Z klasického RGB snímku je vidět, že v těchto místech byly otevřené světlíky a teplejší místa jsou pouze teplý vzduch z interiéru, který uniká otevřeným oknem ven z budovy. Podobný případ je i místo označené písmenem E, kdy pravidelné rozestupy a stejná velikost bodů naznačují, že se nejspíše nejedná o vadu. Při fyzické prohlídce místa či detailnějšímu pohledu na RGB snímek je snadné odhalit, že se jedná o plastové podložky zemnicího drátu.

*Obrázek 19: 3D model řešené části budovy B – výrobní hala*



Obrázek 20: Termovizní snímek řešení části budovy B



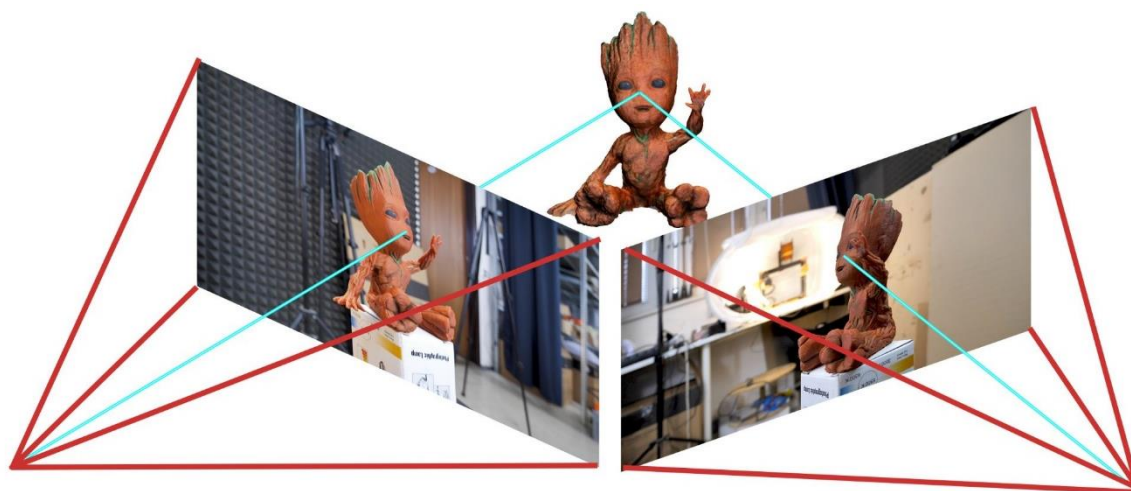
Závěrem je nutné říci, že tato technologie sice přináší novou a velmi účinnou možnost inspekce objektů, ale nelze ji bez rozmyšlení použít vždy a všude. Existují objekty, kde je tato metoda velmi vhodná, ale najdou se i takové, kde termokameru použít nelze. První podmínkou je provádět inspekci při přívných klimatických podmínkách – v případě, že v den letu nesvítilo dostatek slunce, snímky se správně nevykreslí a nebude možné odhalit všechna problematická místa. Zároveň nelze tento způsob využít po dešti či když je rosa, jelikož voda na střeše může výsledky znehodnotit. Klimatické podmínky ještě lze naplánovat, existují ale i střechy, kde tuto technologii nelze použít nikdy. V případě že je střecha pokryta odraznými materiály (jako je např. aluminiový nátěr), popř. zelené střechy pokryté vegetací či kameny, nelze inspekci provést touto metodou, jelikož vrstva nad samotným pláštěm brání získání termografických dat. (31)

## 6.4. Software/mapování

Prvotním krokem, který je nezbytný ke zpracování pořízených snímků, je určitý software, který dokáže z klasických fotek, popř. dalších dat, které mohou fotky nést o svém pořízení ve formě metadat, vytvořit takový výstup, který umožní poskytnout data, díky kterým je následně možné snížit náklady na určité operace, zkrátit čas, či omezit rizika v rámci výstavby. Možnost jasné, přesné a aktuální informace v průběhu projektu může být při nutnosti rychlého rozhodování klíčová.

V případě využití UAV jsou při modelování budov či území tímto krokem nejčastěji metody z oboru blízké letecké fotogrammetrie. Fotogrammetrie je měřická metoda, která se zabývá rekonstrukcí tvarů, velikostí a polohy předmětů ve 3D prostoru s využitím 2D fotografických snímků. (32) Princip spočívá v nasnímání určitého objektu z různých úhlů tak, aby se na několika fotografiích objevilo stejné místo. Specializovaný software poté dokáže na základě informace o poloze a úhlu kamery dopočítat polohu bodu v prostoru a přiřadit mu trojrozměrné souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (viz. obrázek 21). Tato operace je opakována statisíckrát až milionkrát, čímž vznikne mračno bodů. Díky této metodě je možné fotky dále přetransformovat do podoby mapy či modelu v reálném měřítku a reálném čase, což jsou důvody, proč je do této technologie vkládána velká budoucnost a přední světové stavební společnosti vkládají do výzkumu využívání dronů ve stavebních projektech své finance.

Obrázek 21: Princip určení bodu ve 3D pomocí fotogrammetrie



Mezi základní výstupy patří ortofotomapa, mračno bodů (angl. point cloud) a trojúhelníková síť (angl. Triangle Mesh). Tyto jednotlivé výstupy jsou podrobněji popsány dále v kapitole 7, vždy včetně konkrétního příkladu využití.

### 6.4.1. Přesnost

Přesnost takto vytvořených modelů je jedním z nejdiskutovanějších témat při myšlence využití dronů pro tyto účely. Jedním z hlavních parametrů, co se přesnosti týče, je ve fotogrammetrii tzv. „Ground Sample Distance“, často označována jako GSD, česky lze přeložit jako pozemní vzdálenost vzorků. Jedná se o lineární vzdálenost mezi středy jednotlivých pixelů na zemi. V praxi se zjednodušeně jedná o velikost pixelu, ze které je výsledný model či mapa poskládána. (32, 33)

Konečná hodnota GSD závisí na mnoha faktorech, mezi které patří především:

- Rozlišení pořízeného snímku
- Ohnisková vzdálenost objektivu kamery
- Úhly
- Výška letu
- Překrytí snímků

Z výše napsaného vyplývá, že čím menší hodnota GSD, tím by měl být model kvalitnější. Což však může a nemusí být pravda – záleží na plánovaném využití. Drony jsou vybaveny přijímačem GPS a výškovým barometrem, který umožní fotogrammetrickému softwaru určit polohu pořízení fotografie a správně spojit jednotlivé fotografie a vygenerovat mračno bodů. Tento přijímač už ale není tolik přesný, co se týče polohy dronu vůči zemskému povrchu, a proto je dále potřeba rozlišovat relativní a absolutní přesnost.

**Relativní přesnost** je řešena na úrovni jednotlivého modelu či mapy bez ohledu na zasazení na správné místo na zemi. Jedná se o přesnost vzdálenosti dvou konkrétních bodů (např. délka konkrétní zdi). Relativní přesnost modelu se přibližně rovná 1x –3x hodnoty GSD.

**Absolutní přesnost** udává možnou chybu v rámci umístění projektu oproti umístění do souřadnicového systému. Jedná se o vzdálenost konkrétního bodu v projektu oproti stejnému bodu ve skutečnosti.

Relativní přesnost lze jednoduše zvýšit použitím pevných pozemních značek (angl. GCP tj. Ground Control Point), a dále použít techniku, kdy se na několika (minimálně třech) snímcích manuálně vyznačí konkrétní bod. Software pak teprve na základě manuálně vytvořených bodů vytvoří zbývající body, které už mají jasně dané měřítko i orientaci. Tato metoda se velmi často využívá při tvorbě modelů z několika samostatných letů, kdy například barometr nepřesně určí počáteční výšku a snímky z jednotlivých letů jsou pak vůči sobě špatně polohově řešeny. Absolutní přesnost lze zvýšit stejnou metodou v případě, že pozemní značky mají známé GPS souřadnice (například od geodeta).

Další možností zvýšení přesnosti je využití dronů, které disponují systémem RTK (z angl. Real Time Kinematic), což je určení přesné polohy zařízení pomocí kinematické metody řešené v reálném čase, která je využívána u standartních geodetických přístrojů. Zařízení disponující modulem RTK jsou však výrazně dražší a na trhu zatím nepříliš rozšířené.

V ukázkovém projektu 2, který bude podrobně rozepsán dále, je empiricky ověřena přesnost modelu porovnáním naměřené délky pomocí softwaru z 3D modelu oproti naměření klasickým metrem přímo na staveništi.

## 7. UKÁZKOVÉ PROJEKTY

### 7.1. Bývalá koželužna Hradec Králové

Prvním snímaným územím byl objekt bývalé koželužny v Hradci Králové. Cílem bylo nasnímat konkrétní území v co možná nejlepší kvalitě s vysokou přesností. Celkem byly uskutečněny 3 lety, které byly následně spojeny do jednoho modelu.

První let byl proveden pomocí automatického letového plánu ve tvaru šachovnice z výšky cca 35 metrů. Tato výška byla zvolena z důvodu bezpečnosti s ohledem na výšku komínu, aby let probíhal nad nejvyšším místě v území. Během druhého letu byl samostatně nasnímán komín. Během tohoto letu stroj kroužil kolem komínu po kružnici s konstantním poloměrem a během postupného klesání byl každé 3 vteřiny zachycen snímek. Poslední let byl v manuálním režimu s automatickým pořizováním fotografií po 2 metrech ve dvou výškových úrovních.

Celkem bylo pořízeno 547 snímků. Z důvodu chybně načtené výšky z barometru, kterým je dron vybaven, bylo nutné manuálně určit kontrolní pozemní body (v tomto případě jich bylo 6) a model následně optimalizovat. Vytvořený model má výslednou hodnotu GSD 1,03 cm a tudíž lze při měření očekávat přesnost v rámci cca 2 cm. Přesnost by bylo možné ještě zvýšit v případě použití pozemních značek – v tomto případě byly jako kontrolní body použity roh střechy, kontrastní kámen apod., čímž nebylo docíleno maximální přesnosti, které by šlo z pořízených snímků dosáhnout v případě využití služeb geodeta. I přesto je tato přesnost pro plánované účely bohatě dostačující.

#### 7.1.1. Ortofotomapa

Jedná se o kolmý snímek poskládaný z jednotlivých pohledů. Tento podklad se nejčastěji používá pro přesné zobrazení aktuálního stavu v souřadnicové síti a díky vysoké přesnosti je tento podklad velmi vhodný i k propojení s dalšími informačními zdroji. Jelikož je možné jednotlivé mapy velmi přesně georeferencovat, je možné jednotlivé vrstvy přes sebe navzájem překrývat. Na obr. 23 níže je pro příklad použita katastrální mapa promítnutá na aktuální ortofotomapu. Největší výhodou je zde bezesporu aktuálnost a podrobnost.



Obrázek 22: Ortofotomapa s vloženou katastrální mapou



### 7.1.2. Mračno bodů

Mračno bodů je v případě mapování vůbec tím nejdůležitějším výstupem, ze kterého se získávají data a slouží také jako podklad pro další využití. Pomocí mračna bodů jsou generovány trojúhelníkové sítě, digitální modely povrchů, vrstevnice atd.. . Model ukázkového projektu 1 obsahuje téměř 40 milionů jednotlivých bodů.

S rozvojem informačního modelování budov získá mračno bodů ještě další nedocenitelnou funkci. Jak už bylo zmíněno v úvodu, jedná se v současnosti o jednu z mála možností, jak přenést aktuální stav určitého území do digitální podoby – a to relativně snadno.

V případě 3D modelování bude možné překrýt aktuální a plánovaný stav a tím zjistit případné kolize v projektu ještě před započítáním samotných prací.

Při dostatečném přiblížení je možné vidět jednotlivé body, ze kterých je mračno bodů složeno. (obr. 23) Dále pak pro porovnání výřez trojúhelníkové sítě stejného místa. (obr. 24)

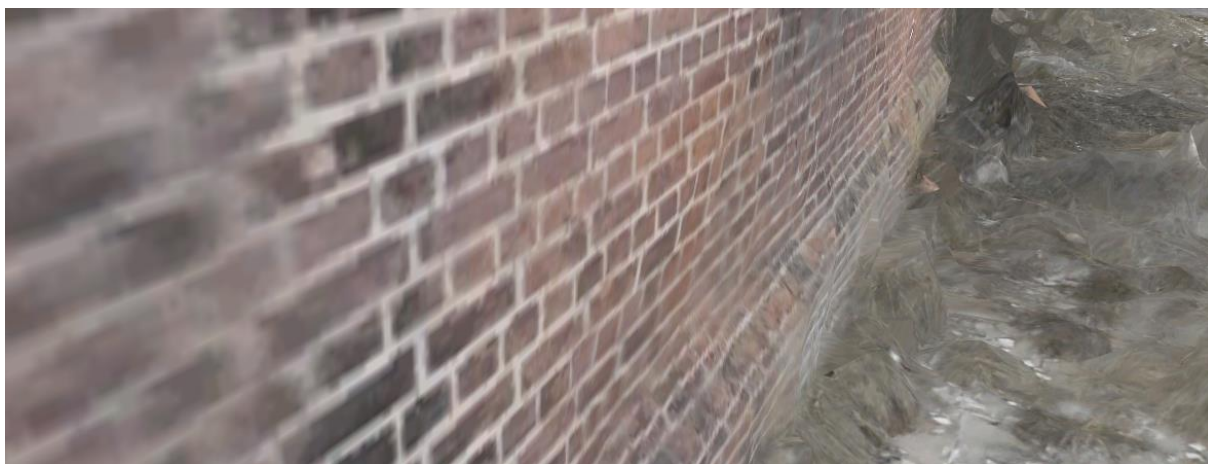
*Obrázek 23: Jednotlivé body v mračnu*



### **7.1.3. Trojúhelníková síť**

Mračno bodů lze dále využít pro rekonstrukci povrchu. Ta probíhá nejčastěji propojením 3 sousedících bodů, čímž vznikne plocha a opakováním tohoto procesu pak povrchu modelovaného objektu. Tímto procesem vzniknou uzavřené plochy. Takto zrekonstruovaný model lze použít především pro marketingové účely, kdy je možné vytvořit různé vizualizace a animace např. kombinací aktuálního a plánovaného stavu. Vytvoření povrchu dále umožňuje výpočet objemů těles, což je jedním z hlavních bodů plánovaného využití nejen ve stavebnictví.

*Obrázek 24: Trojúhelníková síť sestavená z mračna bodů*



## 7.2. Průmyslový areál

Následující podklady vznikly pravidelným snímáním v rámci rekonstrukce a přístavby průmyslové haly. Celkem bylo provedeno 9 letů v časovém úseku červen – prosinec roku 2018. Pro nasnímání byl použit dron DJI Phantom 4 Pro. Během každého letu bylo nasnímáno cca 300 – 500 fotografií v automatickém režimu kamery, která je součástí výše zmíněného dronu, včetně zapsání metadat o poloze dronu a vlastnostech kamery. Snímky z každého letu byly následně zpracovány v programu Pix4D, kde jednotlivé výstupy budou popsány dále. Níže je seznam zmíněných 9 letů včetně stručných informací o primárním cíli letu a zpracování v softwaru. U každého letu je prezentován jeden či dva z možných výstupů, které lze získat z každého modelu a závisí pouze na praktičnosti použití v daném případě a dané fázi výstavby.

### **Let č. 1: Aktuální stav při převzetí staveniště před započítím prací**

Cílem tohoto letu bylo zaznamenat převzaté staveniště před započítím prací. Jednak z důvodu koordinace na staveništi a dále z důvodu doložení reálného původního stavu při dokončení díla a navrácení plochy zpět majiteli.

*Obrázek 25: Ortofotomapa staveniště*



## Let č. 2: Ocelová konstrukce určená k demontáži

Cílem tohoto letu bylo zaznamenání původní ocelové konstrukce s komínem, která byla určena k demontáži a likvidaci. Tato data mohou být použita jednak pro archivaci skutečného stavu a dále pro měření rozměrů jednotlivých segmentů.

Z důvodu špatně nastaveného úhlu kamery, který byl příliš malý od horizontální roviny, má výsledný model velké množství šumu a nereálných bodů, jelikož program vypočítal i body na obloze. Po očištění však lze výstup bez problémů použít a tím určitým způsobem softwarově odstranit chyby vzniklé při snímání. Na obr. 26 níže je pro porovnání zobrazen stav modelu před a po očištění od špatně určených bodů.

*Obrázek 26: Vlevo neočištěný a vpravo očištěný model*

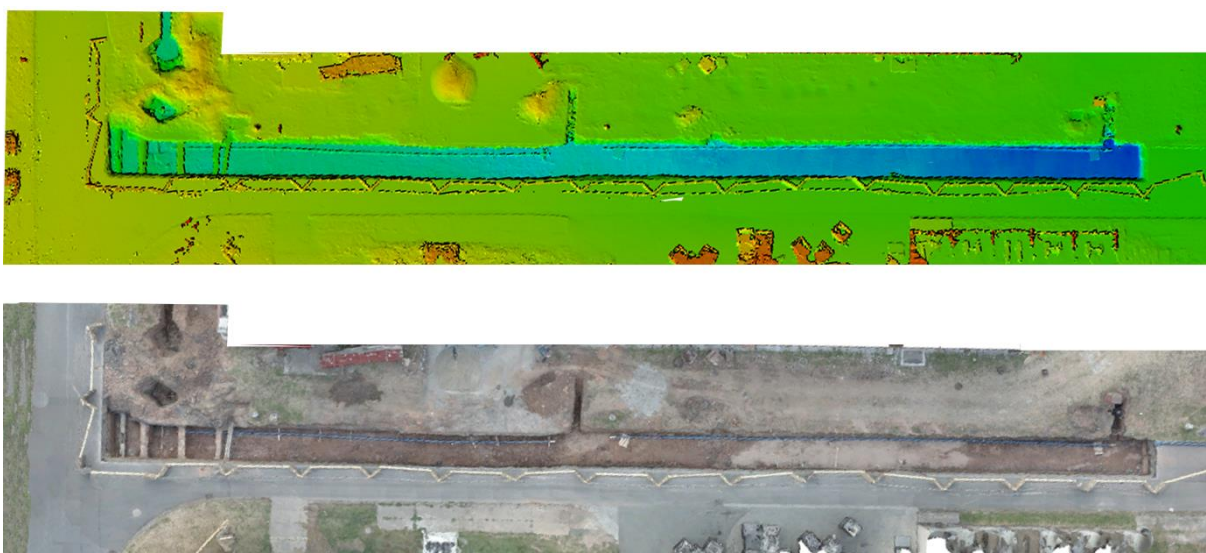


## Let č. 3: Dokončené výkopy pro dešťovou kanalizaci

Cílem tohoto letu bylo zaznamenání výkopu pro dešťovou kanalizaci, kontrola rozměrů, spádů a zkušební odečet objemů. Model byl dále použit pro kontrolu při sestavování soupisu provedených prací dle skutečnosti. Dále také došlo k vytvoření ortofotomapy pro zaznamenání polohy a stavu výkopu pro případně pozdější potřeby.

Na obr. 27 níže je vygenerovaný digitální model terénu s barevnou škálou vyznačující výšku. Z horního snímku je na první pohled patrné spádování výkopu, které dešťová kanalizace vyžaduje. Na spodním snímku je pro porovnání výřez ortofotomapy ze stejného modelu zobrazený ve standardním barevném spektru.

*Obrázek 27: Nahoře model terénu s barevným spektrem určujícím výšky, dole ortofoto*



#### **Let č. 4: Položené potrubí kanalizace a vodovodní přípojky**

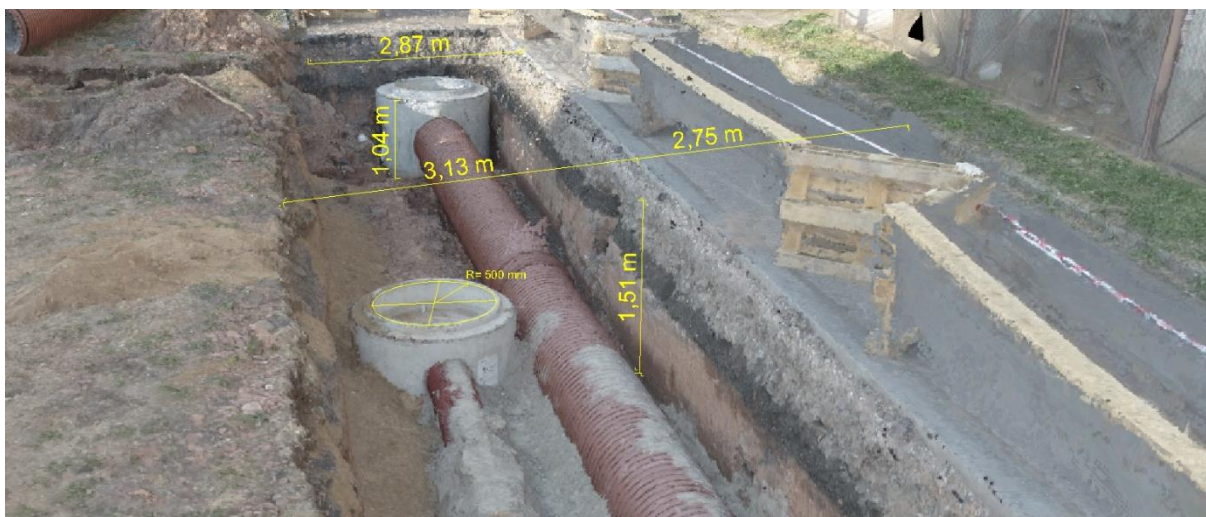
Cílem tohoto letu bylo především zaznamenání položených inženýrských sítí pro možnost určení jejich přesné polohy po zakrytí. Na obr. 28 je pohled na model z tohoto letu.

*Obrázek 28: Výřez 3D modelu řešeného území*



Na obr. 29 a 30 níže jsou odměřeny délky a následně tyto délky okótovány jak v 3D modelu, tak v kolmém pohledu. Zobrazeny jsou pouze náhodné vzdálenosti, odměřit lze ale jakýkoliv rozměr v území, které je nasnímáno.

Obrázek 29: Odměřené délky v 3D modelu



Obrázek 30: Odměřené délky v kolmém pohledu na model

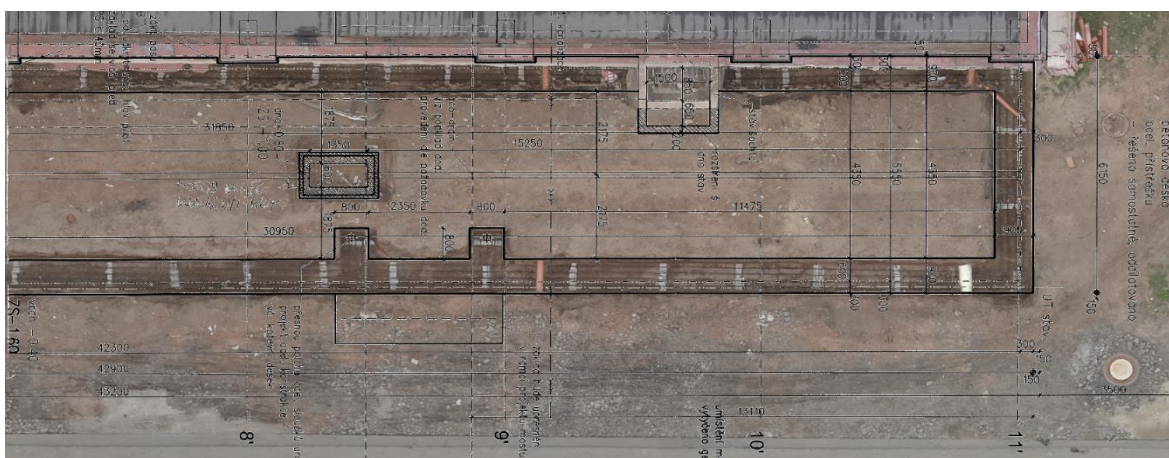


Velkým přínosem může být generovaný model či ortofotomapa i pro investora/majitele, jelikož díky ní může kdykoliv v budoucnu přesně určit polohy již zakrytých konstrukcí – viz. obr. níže. V tomto případě je možné kdykoliv zpětně určit polohy i výšky položených potrubí, což všichni účastníci stavebního projektu ocení především v případě rekonstrukcí či dalších navazujících prací, kdy je potřeba provádět další práce v blízkosti tohoto vedení.

## Let č. 5: Výkopy pro základové konstrukce přístavby včetně vyvázané výztuže. Dále pak postup prací na střeše, kde probíhala montáž světlíků

Cílem tohoto letu bylo ověřit polohu výkopu oproti projektové dokumentaci. Na obr. 31 níže je ortofotomapa pořízená pomocí dronu a na tento podklad je přidán půdorys zemních prací. Zde se jedná o velmi jednoduchý tvar, v případě rozsáhlejších výkopů však možné včas odhalit případné nesrovnalosti. V kombinaci s modelem terénu, který byl prezentován u letu č. 3, je možné kontrolovat i případné spády a hloubky jednotlivých jam.

Obrázek 31: Ortofotomapa překrytá výkresem zemních prací

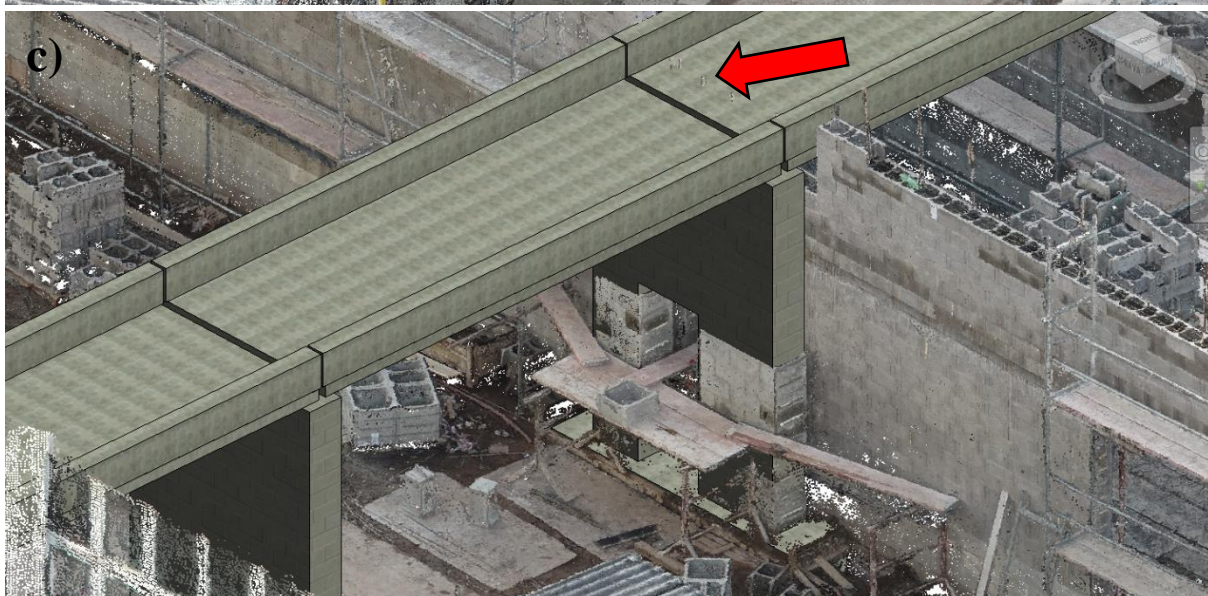
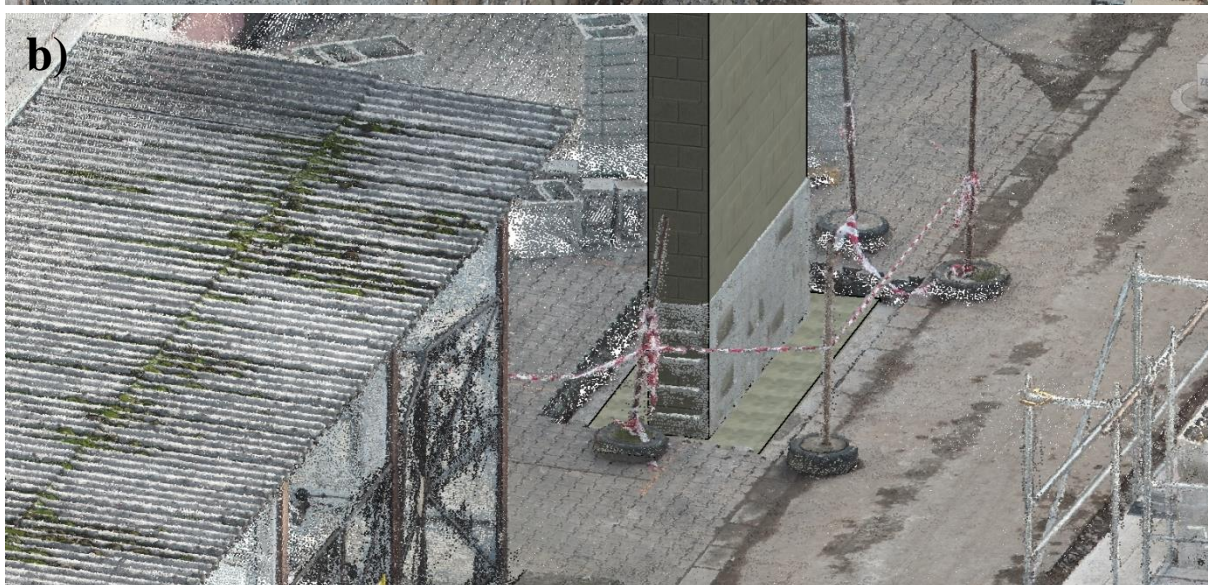


## Let č. 6: Svislé konstrukce přístavby – 1 podlaží

Během tohoto letu byl zaznamenán postup prací na stavbě. Vytvořené mračno bodů bylo naimportováno do programu Revit 2018, kde byly přidány plánované prefabrikované mostovky a pilíře k nim. (viz. obr. 32 – a). Na prostředním snímku b) je viditelné, že pilíře mostovek již mají ve skutečnosti založené první 3 řádky a vymodelovaný pilíř na ně přesně lícuje. Na obrázku 32 c) se tento scénář opakuje i u druhého pilíře. Navíc je viditelné (na miniatuře velmi špatně, zvýrazněno červenou šipkou), že v tomto místě dochází ke kolizi s již vyvázanou výztuží a je nutné toto místo před osazením mostovky upravit. V místě, kde mostovka vchází do budovy je viditelná správně vynechaná mezera ve zdivu.

V tomto případě se jedná o drobnosti, ale v reálu se dá tato technologie využít v libovolně velkém projektu, kde je možné takto kontrolovat jakékoliv konstrukce. Nedocenitelnou pomůckou se toto může stát v případě rekonstrukcí či projektů, které budou určitým způsobem navazovat na již stávající konstrukce a bude možné jasně odhalit návaznosti či kolize.

Obrázek 32: Snímky z prostředí programu Revit 2018





## Let č. 7: Svislé konstrukce přístavby včetně osazené prefa mostní konstrukce

V rámci tohoto letu byla nasnímána realizovaná přístavba včetně nově osazené prefabrikované mostní konstrukce a zároveň prostor zařízení staveniště a deponií. Hlavním cílem bylo ověřit možnost snímání hladkého povrchu, jakým je prefabrikovaný beton a dále pak spočítat objem materiálu na deponii.

Na obrázku 33 je pohled na mračno bodů v místě prefabrikované mostovky. I přes velmi hladký povrch je mračno bodů nasnímáno velice dobře a tato metoda lze velmi dobře použít i pro konstrukce z prefabrikovaného betonu.

*Obrázek 33: Mračno bodů v místě prefabrikované mostovky*

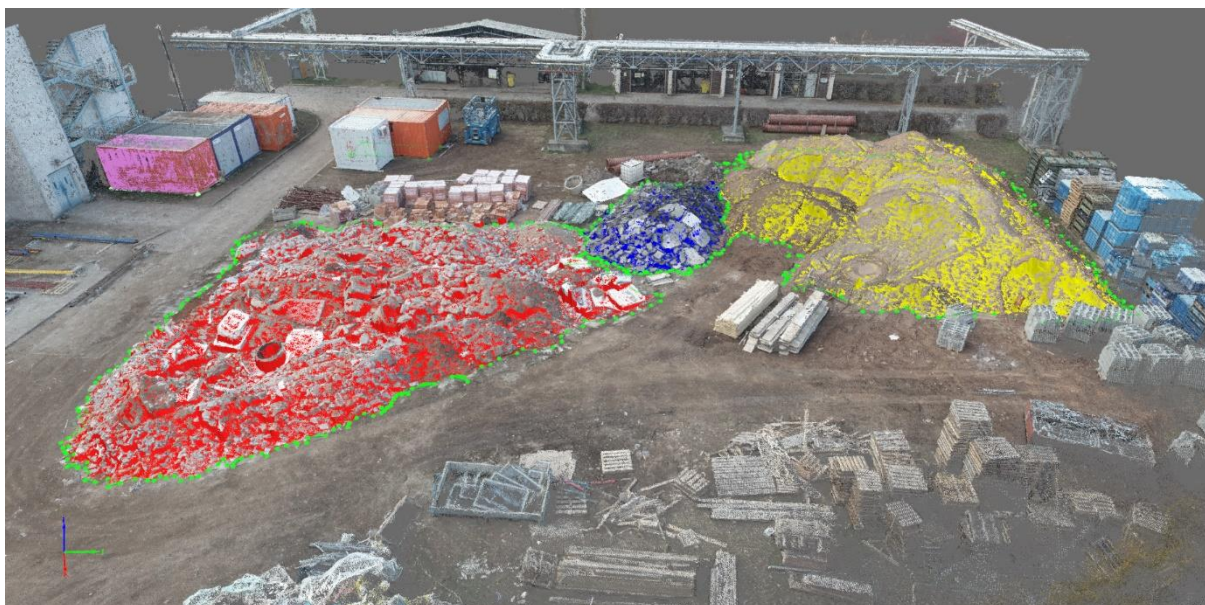


Dalším cílem bylo odměření navezeného výkopku na deponii. Měření objemů probíhá vyznačením půdorysné plochy, kde je následně automaticky vyhledán nejvyšší bod v každém místě této plochy, čím vznikne uzavřené těleso, kterému lze dopočítat objem. Objemy jsou patrné z tabulky níže. Jelikož tyto výměry nelze nijak odměřit, byla zkušebně stejným způsobem vybrána stavební buňka (obr. 34, vlevo vzadu), jejíž rozměry jsou známy a lze tedy dopočítat její objem. Výsledná chyba v případě stavební buňky vyšla menší než 1 %. Na obrázku 34 je zobrazeno prostředí softwaru, ve kterém výpočet probíhá, včetně graficky vyznačených jednotlivých měřených objemů.

Tabulka 2: Objemy materiálů a empirické ověření přesnosti

| <u>Název</u>          | <u>Naměřený objem</u> | <u>Skutečný objem</u> | <u>Chyba v %</u> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| <b>Zemina (žlutá)</b> | 479 m <sup>3</sup>    | -                     | -                |
| <b>Asfalt (modrá)</b> | 51,2 m <sup>3</sup>   | -                     | -                |
| <b>Suť (červená)</b>  | 278,5 m <sup>3</sup>  | -                     | -                |
| <b>Buňka (růžová)</b> | 41,01 m <sup>3</sup>  | 41,35 m <sup>3</sup>  | 0,8 %            |

Obrázek 34: Graficky znázorněné měřené objemy



## Let č. 8: Svislé konstrukce přístavby včetně stropní desky

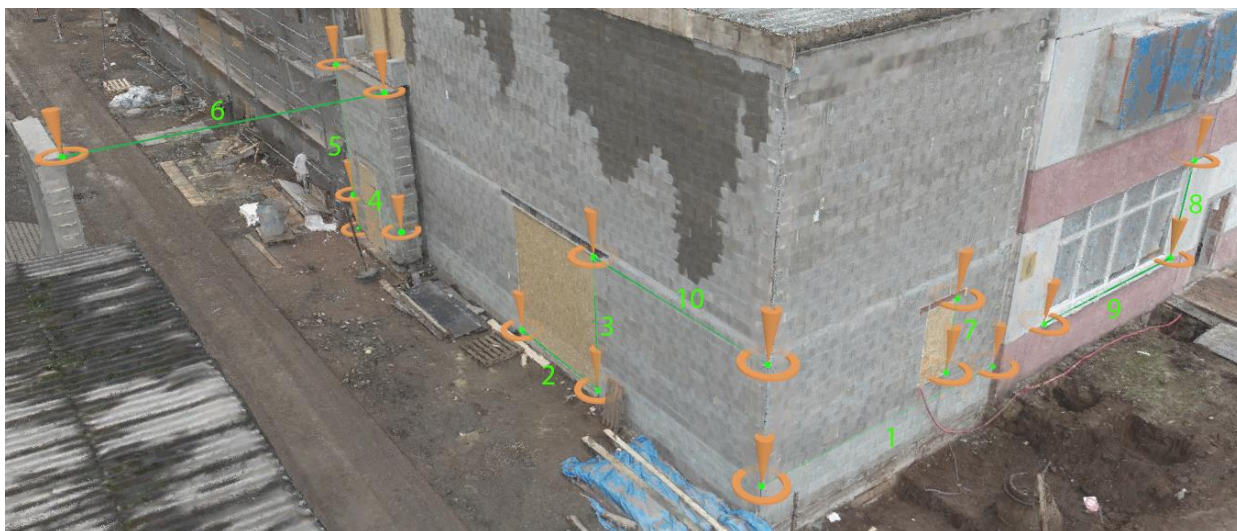
V rámci tohoto letu byla zaznamenána položená výztuž stropní konstrukce pro možnou pozdější kontrolu.

Dále byla v rámci letu empiricky odzkoušena relativní přesnost modelu. (viz. kapitola 6.4.1) Model z tohoto letu je vypočítaný z 326 snímků a mračno obsahuje 33,3 milionu bodů. Hodnota GSD tohoto modelu je 0,9 cm/pixel. Tento model je vygenerovaný přímo z fotek a nemá žádné pozemní kontrolní body. Celkem bylo naměřeno 10 délek přímo v modelu (viz. obr. 35) a následně byly stejné délky naměřeny na staveništi klasickým metrem. Jednotlivé hodnoty jsou patrné z tabulky 3 níže.

Tabulka 3: Porovnání přesnosti naměřených délek

| Č. | Název                    | Rozměr z modelu | Skutečný rozměr | Chyba |
|----|--------------------------|-----------------|-----------------|-------|
| 1  | Šířka přístavby          | 6,20 m          | 6,20 m          | 0 cm  |
| 2  | Vrata 1 – šířka          | 3,04 m          | 3,04 m          | 0 cm  |
| 3  | Vrata 1 – výška          | 2,99 m          | 3,00 m          | 1 cm  |
| 4  | Pilíř 1 – šířka          | 3,02 m          | 3,00 m          | 2 cm  |
| 5  | Pilíř 1 – výška          | 4,66 m          | 4,65 m          | 1 cm  |
| 6  | Vzdálenost pilířů        | 6,89 m          | 6,88 m          | 1 cm  |
| 7  | Okno 1 – výška           | 1,57 m          | 1,57 m          | 0 cm  |
| 8  | Okno 2 -výška            | 2,36 m          | 2,38 m          | 2 cm  |
| 9  | Okno 2 – šířka           | 4,79 m          | 4,79 m          | 0 cm  |
| 10 | Vzdálenost roh – vrata 1 | 4,82 m          | 4,80 m          | 2 cm  |

Obrázek 35: Graficky znázorněné pozice rozměrů v modelu



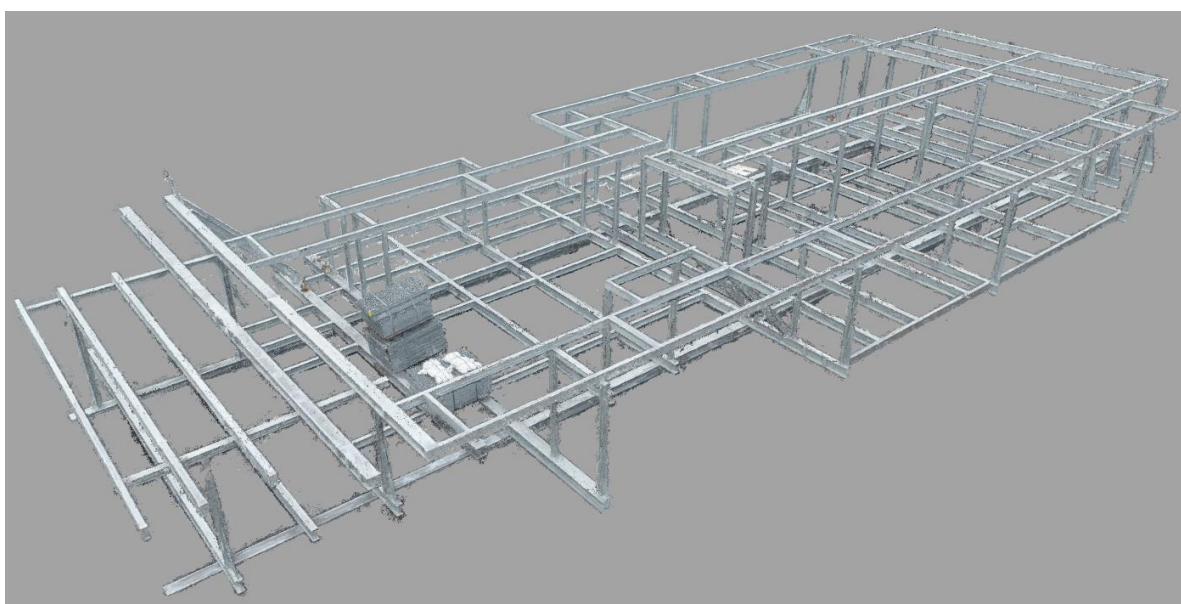
Z porovnání měřených délek v tabulce 3 je patrné, že v takto sestaveném modelu je možné měřit rozměry s přesností cca  $\pm 2$ cm. Tato hodnota odpovídá i výpočtu podle GSD, jelikož většina těchto modelů má tuto hodnotu lehce pod 1 cm.

## Let č. 9: Ocelová konstrukce pro VZT jednotky na střeše

V tomto letu bylo cílem ověřit možnost nasnímání a vymodelování složité a členité konstrukce pro osazení jednotek VZT po zkušenostech s příhradovou konstrukcí ve druhém letu.

Na obr. 36 je mračno bodů ocelové konstrukce pro vzduchotechnické jednotky na střeše přístavby. Je vidět lehký šum v těsné blízkosti jednotlivých profilů, ale jinak je celá konstrukce velmi pěkně vykreslena ze všech stran a dá se s ní případně dále pracovat.

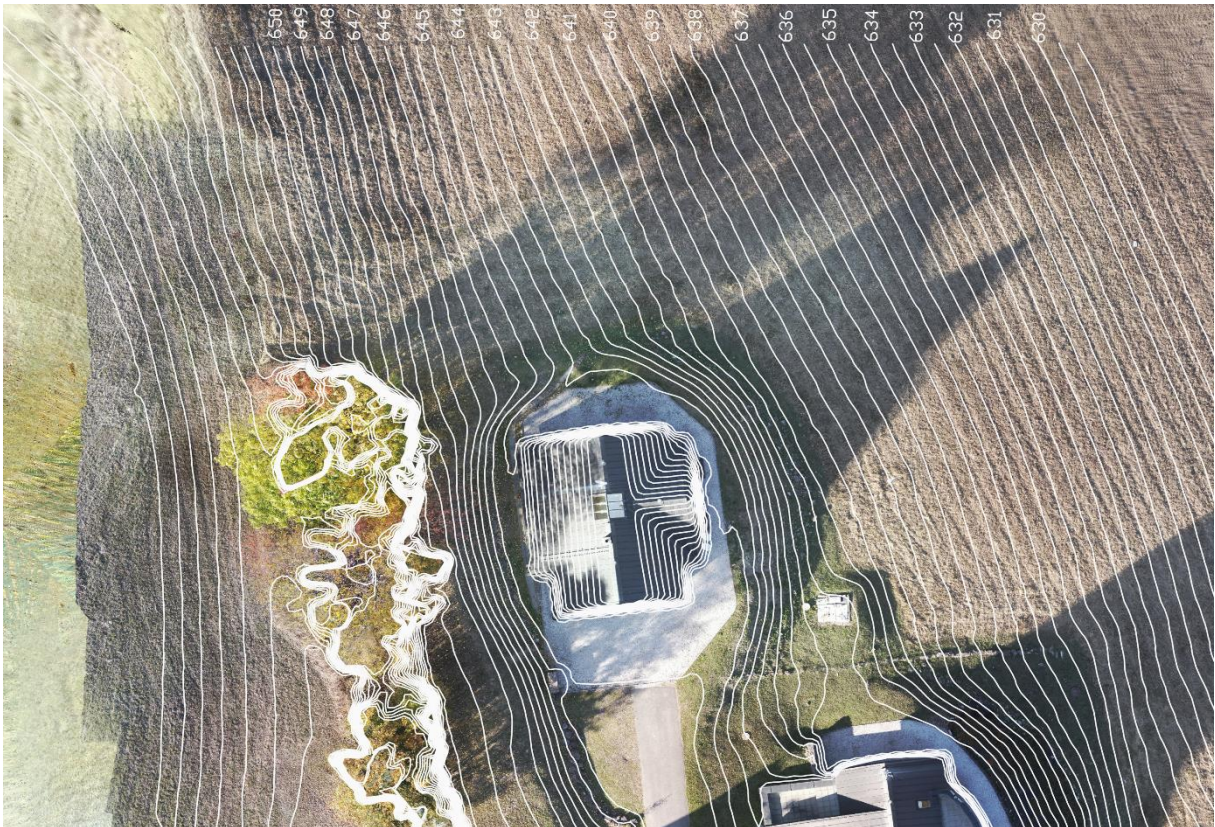
*Obrázek 36: Nasnímaná příhradová konstrukce*



### Ukázkový projekt č. 3

Poslední ukázkou využití bezpilotních letadel je nasnímaná horská chata ve stráni. Mimo všech výstupů zmíněných dříve je možné vygenerovat také soubor s vrstevnicemi

V tomto případě je největší výhodou oproti standartním geodetickým metodám počet bodů, ze kterých je vrstevnice vykreslena. Na snímku níže jsou vrstevnice po 50 cm, přičemž každá vrstevnice je spojnici 100 různých bodů se stejnou výškou. Tyto veličiny lze před exportem libovolně nastavit. Tímto se získá velmi přesný výškopis dále použitelný při plánování či modelování skutečného terénu ve fázi tvorby projektové dokumentace. Tato metoda je ideální při snímání otevřeného prostranství bez porostu, ale v kombinaci se speciálními senzory či softwarem lze i vegetaci „eliminovat“ a vytvořit kvalitní výškopis v zarostlém terénu.



## 8. EKONOMICKÉ HLEDISKO VYUŽITÍ UAV

Cílem této části práce není určit výhodnost jedné nebo druhé z variant či výběr, co je nejlepší. Jde pouze o nástin výše finančních prostředků, které by bylo v současné době nutné vynaložit na využití možností bezpilotních letadel při realizaci výstavbového projektu. Jako varianty jsou níže popsány 2 scénáře. Prvním je finanční náročnost na pořízení dronu do společnosti včetně vyřízení všech potřebných legislativních úkonů. Druhou variantou je poptávka konkrétních služeb u firem, které se provozem bezpilotních letadel profesionálně zabývají.

### 8.1. Varianta 1

První variantou je pořízení dronu se standartní RGB kamerou, vyřízení licence a obstarání materiálů vlastními silami v rámci podniku. Předpokládá se pouze využití specializované společnosti zajišťující vyřízení povolení včetně obstarání a vyplnění potřebných dokumentů k získání povolení k leteckým pracím. Dle zkušenosti lze říci, že tento krok se ve většině případů časově a ve výsledku i finančně vyplatí. Příprava, zaškolení i následná obsluha a zpracování pořízených dat je uvažována v rámci pracovní náplně některého ze stávajících zaměstnanců, a tudíž náklady na ně nejsou uvažovány. Orientační náklady níže jsou vyčísleny pro první rok od zavedení do podniku. Veškeré částky jsou určeny průměrnou cenou položky na aktuálním trhu či dle platného ceníku.

#### Orientační náklady:

|  |                  |
|--|------------------|
| Správní poplatek za povolení k létání              | 4 000 Kč         |
| Správní poplatek za odstranění omezení pilot – žák | 400 Kč           |
| Teoretická příprava ke zkoušce z Doplníku X        | 3 000 Kč         |
| Vypracování provozní příručky                      | 8 000 Kč         |
| Vyřízení potřebných dokumentů                      | 3 000 Kč         |
| Pojištění modelu letadla                           | 9 000 Kč         |
| Správní poplatek za povolení k leteckým pracím     | 10 000 Kč        |
| Dron DJI Phantom 4                                 | 20 000 Kč        |
| Software pro zpracování snímků                     | 30 000 Kč        |
| <b>Celkem</b>                                      | <b>62 400 Kč</b> |

Tyto náklady jsou určeny jako průměrné a orientační v případě, že firma chce technologii UAV zavést v dohledném horizontu a proto si najme společnost, která už má s vyřizováním povolení zkušenosti. V tomto případě lze povolení získat za 3-6 měsíců. V opačném případě, kdy by si vše vyřizovala sama, lze povolení získat za 6–12 měsíců. Pokud by si podnik vše vyřizoval sám, je možné tyto náklady ještě výrazně snížit. V tomto případě se tedy nabízí otázka, co by v konečném součtu vyšlo výhodněji.

Nejnákladnější položkou v případě pořízení je software pro zpracování dat. Takové programy nejsou nutné vždy, jelikož pro marketingové účely či inspekci objektu stačí pouze klasické fotografie a není nutné je dále zpracovávat. Zároveň je možné využít i software, který je k dispozici zdarma. Bezplatný software sice zdaleka nedosahuje takových kvalit oproti placeným konkurenčním produktům, ale pro určité procesy je dostatečný a lze díky němu získat požadované výsledky.

## 8.2. Varianta 2

V rámci druhé varianty byly poptány 3 společnosti zajišťující služby pomocí bezpilotních letadel s dotazem na zajištění konkrétních služeb.

### 1) Klasické fotografie

První požadovanou službou bylo pořízení standartních fotografií z průběhu stavby. První společnost požaduje 8 000 Kč za letovou hodinu s tím, že v ceně je 5 fotografií. Každá další letová hodina je za příplatek 3 500 Kč a každý další snímek za 300 Kč. Druhý dodavatel požaduje za letovou hodinu stejnou částku s tím, že fotografie jsou již v ceně.

### 2) Inspekce

Druhým požadavkem byly detailní fotografie, které můžou posloužit k inspekci těžko přístupných míst. V tomto případě přišla odpověď, že pro tuto službu jsou potřeba detailnější informace, ideálně s obhlídkou konkrétního místa a může se pohybovat od deseti až po stovky tisíc. Druhý dodavatel zaslal odpověď v podobném smyslu.

### 3) 3D model

Poslední požadovanou službou bylo sestavení georeferencovaného 3D modelu staveniště, ve kterém lze měřit rozměry, plochy a objemy. Z tohoto modelu lze zároveň exportovat všechny výstupy, které již byly popsány na ukázkových projektech v kapitole 6. První dodavatel za takto sestavený model požaduje 55 000 Kč. Druhý dodavatel požaduje za obdobnou práci 40 000 Kč.

Třetí dodavatel odpověděl, že nebude zpracovávat cenovou nabídku a o zakázku nemá zájem.

Vyhodnocení ekonomického hlediska a určení, která z variant je pro zavedení do podniku výhodnější by zcela jistě mohlo být samostatným tématem pro další práci. Při vyhodnocování je největším problémem finančně ohodnotit přínos jednotlivých výstupů, jelikož to většinou nejsou služby, který by přímo generovaly výnosy a které lze jednoduše zahrnout do konečné ekonomiky projektu. Jedná se spíše o jakýsi podpůrný nástroj, který v první řadě šetří čas a dále pomáhá odhalovat místa, kde by mohla vzniknout odchylka od plánovaného průběhu realizace a na takto vzniklou situaci včas zareagovat. Jakékoliv vyčíslení bude tedy spíše odhadem a jak již bylo řečeno v úvodu, drony jsou ve stavebnictví v první řadě nástrojem, jak využít maximálně efektivně lidskou práci a ne s nimi přímo generovat zisk.



## 9. ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo přinést ucelený pohled na možné využití bezpilotních letadel ve výstavbových projektech včetně současného stavu legislativního prostředí a povinností s tím spojených. Tato část práce byla splněna a po přečtení práce by měl každý mít dostatek informací, aby si udělat o tomto odvětví jasný přehled.

Teoretická část této práce čtenáři přiblížila jak jednotlivé druhy bezpilotních letadel co se konstrukce týče, tak i možnosti, co je možné pomocí dronu vynést do vzduchu. Zároveň by měl mít jasnou představu o legislativním prostředí v České republice včetně průběhu a požadavků získání licence k provozování bezpilotních strojů na našem území. V praktické části čtenář získal povědomí možnostech využití dronů v praxi včetně přehledu různých výstupů na konkrétních případech.

Využití dronů, především v kombinaci se softwary pro fotogrammetrii, má bezesporu velký potenciál v oblasti velkých výstavbových projektů či výstavby infrastruktury, kde je možné velmi rychle poskytnout konkrétní a přesná data. Využití je každopádně teprve v začátcích a teprve s postupem časem se objeví možné nedokonalosti či problémy. Obecně lze také říci, že využití dron v rámci realizace se vyplatí spíše u větších projektů. U stavby rodinných domů a dalších menších projektů pro něj nevidím velkým význam mimo velmi specifických aplikací. V případě staveniště ve větší vzdálenosti od kanceláře může být však vytvořený model nedocenitelným pomocníkem v rámci úspory času, jelikož rozdíl mezi hodinou cesty autem nebo pár kliknutími v modelu se velmi rychle projeví. Zároveň však drony začínají nacházet uplatnění na hranici mezi stavebnictvím a geodézií, kde je možné získat velmi přesné výsledky za zlomek času a nákladů oproti standartním metodám.

Jednou z velkých překážek je v současné době legislativa, která úzce souvisí s bezpečností. Bezpečnost je samozřejmě velmi důležitá, ale zákony jsou nyní nastaveny s tendencí, že je snaha zakázat pohyb bezpilotních letadel všude, kde je to jen trochu možné (z důvody ochrany soukromí, v národních parcích, v blízkosti kulturních památek apod.) V tomto směru očekávám ještě velký vývoj, jelikož velká část letů je dnes prováděna za hranicí legislativního rámce a to i v případě, kdy je 100% bezpečná.

V průběhu práce se mi nepovedlo navázat spolupráci s geodetem, který by určil prostorové souřadnice kontrolních pozemních bodů pomocí GPS stanice, které by mohly (ale také nemusely) zvýšit přesnost jednotlivých nasnímaných modelů. Zároveň nebylo v průběhu práce možné ověřit skutečné kubatury nasnímaných skládek materiálů. Porovnání s objemem stavební buňky je i pro empirické stanové přesnosti v tomto případě nedostatečné. Jelikož je tento typ využití jedním z nejvíce proklamovaných v souvislosti s využitím dronů ve stavebnictví, bylo by vhodné relativní i absolutní přesnosti ověřit standartními geodetickými metodami.

# ZDROJE

## Legislativní předpisy

49/1997 Sb. *Zákon o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů*

*Letecký předpis L 2 – Pravidla létání.* [cit. 2018-10-28] Dostupné z

<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>

*Doplněk X k Leteckému předpisu L 2.* [cit. 2018-10-30] Dostupné z

<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>

## Knižní a internetové zdroje

1. ČTK. Stavbaři jedou na plný výkon, kvůli nedostatku lidí má každý osmý projekt zpoždění: 26. 11. 2018. Aktuálně.cz [online]. Praha: Economia, 2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/stavebnictvi-pristi-rok-vzroste-o-2-6-procenta-odhaduji-stav/r~3b2e7cccf17b11e8a7f60cc47ab5f122/?redirected=1545762048>
2. FIBINGER, Jan Ing. arch. , CSc. Stavebnictví 4.0: Ing. arch. , CSc. Tzb info: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov [online]. Praha: -, 2017, 14.5.2017 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/15752-stavebnictvi-4-0?fbclid=IwAR3CYvp4LIYHg9zvqmb6sh2M2YcNBO-g-0trJoHqerALsthTdUfw9sP0ymY>
3. Commercial Drone Industry Trends. DroneDeploy blog [online]. -: -, 2018, 30.5.2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: [https://blog.dronedeploy.com/2018-commercial-drone-industry-trends-70b83e0a2e6f?fbclid=IwAR3Tuvd\\_2dtEpo1IZaFdIuZj80bGz7MIZh\\_GysUyEHEvByM8NkqfSVz\\_UJM](https://blog.dronedeploy.com/2018-commercial-drone-industry-trends-70b83e0a2e6f?fbclid=IwAR3Tuvd_2dtEpo1IZaFdIuZj80bGz7MIZh_GysUyEHEvByM8NkqfSVz_UJM)
4. Kettering Aerial Torpedo “Bug”. National Museum of the US Air Force [online]. Daytona, USA: -, -, 7.4.2015 [cit. 2018-10-28]. Dostupné z: <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/198095/kettering-aerial-torpedo-bug/>
5. MILLER, Ron. The First Drones: Used in World War I. Gizmodo [online]. -: -, -, 12.6.2013 [cit. 2018-10-28]. Dostupné z: <https://io9.gizmodo.com/the-first-drones-used-in-world-war-i-453365075>

6. GROŠPIC, Pavel Mgr. Právní aspekty provozu dronů v ČR I. DroneWeb: Informační portál o světě bezpilotních prostředků [online]. -: -, 2018, 15.12.2017 [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/193-pravni-aspekty-provozu-dronu-v-cr>
7. KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
8. PROKOP, Dan. Ministerstvo odložilo absurdně přísný zákon proti modelářům. IDnes.cz [online]. Praha: Mafra, 2008, 12.6.2008 [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: [https://zpravy.idnes.cz/ministerstvo-odlozilo-absurdne-prisny-zakon-proti-modelarum-pbg-/domaci.aspx?c=A080612\\_174133\\_domaci\\_dp](https://zpravy.idnes.cz/ministerstvo-odlozilo-absurdne-prisny-zakon-proti-modelarum-pbg-/domaci.aspx?c=A080612_174133_domaci_dp)
9. Bezpečnostní opatření Ministerstva dopravy. AeroWeb [online]. -: -, 2008, 26.5.2008 [cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/clanky/1221-bezpecnostni-opatreni-ministerstva-dopravy-c-2>
10. Letadla bez pilota na palubě. Úřad pro civilní letectví [online]. Praha: -, 2011 [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube>
11. KARAS, Jakub. 222 tipů a triků pro drony. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4874-7.
12. CRAIGI. 2016 Overview of the Civilian Drone Market. DroneFlyers [online]. -: WordPress, 2018, 11.1.2016 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.droneflyers.com/2016-overview-of-the-civilian-drone-market/>
13. Killian Rousseau, 14, from France, Wins 2018 FAI Drone Racing World Cup. UASvision [online]. -: -, 2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.uasvision.com/2018/10/25/killian-rousseau-14-from-france-wins-2018-fai-drone-racing-world-cup/>
14. DESJARDINS, Jeff. Amazon and UPS are betting big on drone delivery. Business Insider [online]. New York: -, 2018, 11.3.2018 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/amazon-and-ups-are-betting-big-on-drone-delivery-2018-3>
15. MIŠÁK, Petr. Kvadrokoptéra nebo octokoptéra?: Proč je počet vrtulí důležitý a kdy je na škodu?. Droni [online]. Praha: -, 2015, 20.7.2015 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.droni.cz/kvadrokoptera-octocoptera-dron/>
16. CHAPMAN, Andrew. Types of Drones:: Multi-Rotor vs Fixed-Wing vs Single Rotor vs Hybrid VTOL. Australian UAV [online]. -: -, 2018 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>

17. WANG, David. Quadcopter Parts: What are they and what do they do?. Quadcopter Academy [online]. -: -, -, 24.2.2015 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <http://www.quadcopteracademy.com/quadcopter-parts-what-are-they-and-what-do-they-do/>
18. Coaxial Y frame Hexacopter and X frame. Multicopters are fun [online]. -: -, 2018 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://multicoptersarefun.com/HexAndOctocopters.html>
19. Choosing the Right Mapping Drone for Your Business: Part I: Multi-Rotor vs. Fixed Wing Aircraft. DroneDeploy blog [online]. USA: -, 2018, 16.6.2017 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://blog.dronedeploy.com/choosing-the-right-mapping-drone-for-your-business-part-i-multi-rotor-vs-fixed-wing-aircraft-6ec2d02eff48>
20. WHITWAM, Ryan. Amazon reveals how Prime Air drone delivery will work, still doesn't know how much it will cost. ExtremeTech [online]. -: -, 2018, 20.1.2016 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/extreme/221517-amazon-reveals-how-prime-air-drone-delivery-will-work-still-doesnt-know-how-much-it-will-cost>
21. HODGKINS, Kelly. Best underwater drones. Digital Trends [online]. -: -, 2018, 21.7.2018 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/best-underwater-drones/>
22. BUCKOWZSKI, Aleks. Drone LiDAR or Photogrammetry?: Everything you need to know. GEOawesomeness [online]. -: -, 2018, 6.1.2018 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <http://geoawesomeness.com/drone-lidar-or-photogrammetry-everything-your-need-to-know/>
23. Zenmuse Z30. DJI: Enterprise [online]. -: -, 2018 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.dji.com/zenmuse-z30>
24. NÝVLT, Václav a Jan KUŽNÍK. Termokamera vidí pod šaty, ale ne přes sklo. IDnes.cz [online]. Praha: Mafra, -, 22.7.2015 [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: [https://technet.idnes.cz/staromak-termokamera-slow-tv-djs-/veda.aspx?c=A150720\\_122143\\_vojenstvi\\_kuz](https://technet.idnes.cz/staromak-termokamera-slow-tv-djs-/veda.aspx?c=A150720_122143_vojenstvi_kuz)
25. Jak funguje termovize?. NaPosed.cz [online]. -: PumaKnives, 2017 [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <https://www.naposed.cz/cs/content/33-jak-funguje-termovize>
26. FLIR. Zenmuse XT2. Wwww.flir.eu [online]. -: -, 2018 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.flir.eu/products/zenmuse-xt2/>
27. HIGGINS, Sean. Drone LiDAR vs Photogrammetry: A Technical Guide. Spar3D [online]. -: -, 2018, 31.8.2016 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <https://www.spar3d.com/news/lidar/drone-lidar-vs-photogrammetry-technical-guide/>

28. Chci provozovat bezpilotní letadlo / systém: Jak mohu postupovat?. Úřad pro civilní letectví [online]. Praha: -, 2018 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/budu-chtit-provozovat-bezpilotni-letadlo-jak-postupovat>
29. PÁNEK, Radim Daniel. Letecké práce: Část druhá-zkoušky. Medium [online]. -: -, -, 14.1.2018 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://medium.com/@RDPanek/leteck%C3%A9-pr%C3%A1ce-%C4%8D%C3%A1st-druh%C3%A1-zkou%C5%A1ky-124db3b23dad>
30. MKK. Čím výš, tím draž. Pražský V Tower bude nejvyšší bytový dům v Česku. ČT24 [online]. Praha: Česká televize, 2018 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2448568-cim-vys-tim-draz-prazsky-v-tower-bude-nejvyssi-bytovy-dum-v-cesku>
31. LNĚNIČKA, Petr. Inspekce plochých střech a zatékání pomocí dat z bezpilotních letadel. Prezentace DronFEST 2018. Plzeň, 2018.
32. Factors Affecting Accuracy in Photogrammetry. PhotoModeler [online]. -: PhotoModeler technologies, 2018 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: [https://www.photomodeler.com/kb/factors\\_affecting\\_accuracy\\_in\\_photogramm/](https://www.photomodeler.com/kb/factors_affecting_accuracy_in_photogramm/)
33. Ground Sample Distance. Terminologická komise ČÚZK [online]. Praha: VÚGTK, 2018 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/7144\\_ground-sample-distance](https://www.vugtk.cz/slovník/7144_ground-sample-distance)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1: Kettering Bug, historicky první „dron“ .....                                  | 6  |
| Obrázek 2: Omezení ve vzdušném prostoru dle Doplnku X.....                               | 11 |
| Obrázek 3: Rozdělení dronů dle typu využití.....   | 13 |
| Obrázek 4: Set závodního dronu, RC vysílače a FPV brýlí .....                            | 14 |
| Obrázek 5: Profesionální drony pro natáčení filmových záběrů .....                       | 15 |
| Obrázek 6: Drony pro komerční využití.....   | 16 |
| Obrázek 7: Vlevo křídlo pro mapování velkých ploch a vpravo prvního VTOL.....            | 16 |
| Obrázek 8: Schéma možností uložení rotorů s naznačením směru otáčení vrtulí.....         | 17 |
| Obrázek 9: Jednorotorový dron pro postřik hnojiv, vlevo pilot pro měřítko velikosti..... | 17 |
| Obrázek 10: Elektromagnetické spektrum .....   | 22 |
| Obrázek 11: Procesní schéma vydávání povolení k leteckým činnostem.....                  | 24 |
| Obrázek 12: Letové figury při přezkoušení u ÚCL.....                                     | 27 |
| Obrázek 13: Vizualizace, kde byl použit snímek z dronu pro zobrazení výhledu .....       | 30 |
| Obrázek 14: Snímek poškozené střechy, na kterou nelze z důvodu bezpečnosti vylézt.....   | 31 |
| Obrázek 15: Zchátralý komín areálu bývalé koželužny v HK .....                           | 32 |
| Obrázek 16: Schéma, jakým způsobem lze odhalit vlhkost ve skladbě střechy.....           | 34 |
| Obrázek 17: 3D model areálu a zvětšený detail na řešenou budovu A .....                  | 35 |
| Obrázek 18: Termovizní snímek řešené budovy A .....                                      | 35 |
| Obrázek 19: 3D model řešené části budovy B – výrobní hala .....                          | 36 |
| Obrázek 20: Termovizní snímek řešení části budovy B.....                                 | 37 |
| Obrázek 21: Princip určení bodu ve 3D pomocí fotogrammetrie .....                        | 38 |
| Obrázek 22: Ortofotomapa s vloženou katastrální mapou .....                              | 42 |
| Obrázek 23: Jednotlivé body v mračnu .....   | 43 |
| Obrázek 24: Trojúhelníková síť sestavená z mračna bodů.....                              | 43 |
| Obrázek 25: Ortofotomapa staveniště .....  | 44 |
| Obrázek 26: Vlevo neočištěný a vpravo očištěný model .....                               | 45 |
| Obrázek 27: Nahoře model terénu s barevným spektrem určujícím výšky, dole ortofoto ..... | 46 |
| Obrázek 28: Výřez 3D modelu řešeného území.....  | 46 |
| Obrázek 29: Odměřené délky v 3D modelu .....   | 47 |
| Obrázek 30: Odměřené délky v kolmém pohledu na model .....                               | 47 |
| Obrázek 31: Ortofotomapa překrytá výkresem zemních prací.....                            | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 32: Snímky z prostředí programu Revit 2018.....       | 49 |
| Obrázek 33: Mračno bodů v místě prefabrikované mostovky ..... | 50 |
| Obrázek 34: Graficky znázorněné měřené objemy .....           | 51 |
| Obrázek 35: Graficky znázorněné pozice rozměrů v modelu ..... | 52 |
| Obrázek 36: Nasnímaná příhradová konstrukce.....              | 53 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1: Požadavky ÚCL pro provoz bezpilotních letadel a modelů letadel ..... | 12 |
| Tabulka 2: Objemy materiálů a empirické ověření přesnosti.....                  | 51 |
| Tabulka 3: Porovnání přesnosti naměřených délek.....                            | 52 |



## ZDROJE OBRÁZKŮ

- Obr. 1. PRIDE, David. Kettering Bug. In: *The Nomad* [online]. USA: -, 2015 [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: [http://www.davidpride.com/Air\\_WP/WP7\\_022.htm](http://www.davidpride.com/Air_WP/WP7_022.htm)
- Obr. 2. Doplněk X, strana 5, obrázek 2
- Obr. 3. Drone Types [online]. -, 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: [https://i1.wp.com/www.droneflyers.com/wp-content/uploads/2016/01/Drone\\_types.jpg](https://i1.wp.com/www.droneflyers.com/wp-content/uploads/2016/01/Drone_types.jpg)
- Obr. 4. Eachine Wizard TS 130 [online]. -: BangGood, 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: [https://www.banggood.com/Eachine-Wizard-TS130-FPV-Racing-Drone-PNP-Omnibus-F4-OSD-20A-Dshot600-40CH-Smart-Audio-200mW-VTX-p-1356738.html?cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/Eachine-Wizard-TS130-FPV-Racing-Drone-PNP-Omnibus-F4-OSD-20A-Dshot600-40CH-Smart-Audio-200mW-VTX-p-1356738.html?cur_warehouse=CN)
- Obr. 5. Tayzu X8 [online]. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://palmbeachdrone.com/wp-content/uploads/2015/08/Tayzu-x8.png>
- Obr. 6. Agras MG S1 [online]. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://www.surveygear.com.au/wp-content/uploads/agras-mg-1s.png>
- Obr. 7. eBee Shadow 1 [online]. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.blueskiesdronerental.com/wp-content/uploads/2017/08/ebeeshadow-1.png>
- Obr. 8. MIŠÁK, Petr. Kvadrokoptéra nebo octocoptéra?: Proč je počet vrtulí důležitý a kdy je na škodu?. *Droni* [online]. Praha: -, 2015, 20.7.2015 [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.droni.cz/kvadrokoptera-octocoptera-dron/>
- Obr. 9. Why China's Drones Are Taking Off [online]. Bloomberg, 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2017-04-26/why-china-s-drones-are-taking-off>
- Obr. 10. Electromagnetic spectrum [online]. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://i1.wp.com/www.miniphysics.com/wp-content/uploads/2011/07/electromagneticspectrum.jpg?ssl=1>
- Obr. 11. Procesní schéma vydávání povolení [online]. ÚCL, 2016 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: [http://www.caa.cz/file/7030\\_6\\_1/](http://www.caa.cz/file/7030_6_1/)
- Obr. 12. Deník uchazeče o licenci: 3 [online]. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/175-licence-legislative-zkousky>
- Obr. 13. Mrakodrap bohatých otevírá. Být Jágrovi sousedem vyjde na desítky milionů [online]. Praha: iDnes.cz, 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://ekonomika.idnes.cz/v->

[tower-praha-developer-luxus-bydleni-dxn-ekonomika.aspx?c=A180212\\_382362\\_ekonomika\\_rts](#)

Obr. 14-16 Vlastní

Obr. 17-20 Siemens Mohelnice Mapping & Roof Inspection [online]. Vertical Images, 2017 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://vimeo.com/171613101>

Obr. 21 ZUZA, Mikolas. PHOTOGRAMMETRY – 3D SCANNING WITH JUST YOUR PHONE/CAMERA. Prusa Printers [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://www.prusaprinters.org/photogrammetry-3d-scanning-just-phone-camera/>

Obr. 22-36 Vlastní