

Provozní nasazení bezpilotního systému BRUS na povrchovém lomu ČSA

Ing. Vlastimil Moni, Ph.D.¹, Ing. Roman Bauer², doc. Ing. Dana Vrublová, Ph.D.³

¹Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; moni@vuhu.cz,

²SEVEN Group, Most

³VŠB-Technická univerzita Ostrava

Přijato: 12. 5. 2021, recenzováno: 12. a 13. 5. 2021

Abstrakt

V rámci trendu poslední doby jsou i při těžbě hnědého uhlí porovnávány a ekonomicky vyhodnocovány konkrétní způsoby povrchové těžby hnědého uhlí a překryvných skryvkových hmot, jejich přeprava, ukládání a skladování. V této souvislosti je kladen nemalý důraz těžebních společností nejen na snížení ekologických dopadů těžby, ale i na celkovou efektivitu těžebního provozu, jejíž bilanci je možné zlepšit zvýšením provozní spolehlivosti jednotlivých konstrukčních částí technologických celků a snížením provozních nákladů. Úkolem předmětného článku je ve stručnosti představit čtenáři zapojení nejmodernějších systémů do procesu technické diagnostiky a údržby realizované v provozních podmínkách povrchového lomu Československé armády (dále jen ČSA). Konkrétně se v tomto případě jedná o bezpilotní prostředek (zvaný BRUS – Bepilotní Rotorový Univerzální Systém, někdy také DRON), který pořídila společnost SEVEN Group.

Operational deployment of the BRUS unmanned system at the ČSA surface quarry

As part of the recent trend, even in the mining of brown coal, specific methods of surface mining of brown coal and overburden, their transport, storage and warehousing are compared and economically evaluated. In this context, considerable emphasis is placed on mining companies not only on reducing the environmental impact of mining, but also on the overall efficiency of mining operations, the balance of which can be improved by increasing the operational reliability of individual components of technological units and reducing operating costs. The aim of this article is to briefly introduce the reader to the involvement of state-of-the-art systems in the process of technical diagnostics and maintenance carried out in the operating conditions of the surface quarry of the Czechoslovak Army (CSA). In this case, this specifically involves an unmanned vehicle (called BRUS – Unmanned Rotor Universal System, sometimes also DRON), acquired by the SEVEN Group.

Betrieblicher Einsatz des unbemannten Systems BRUS auf dem Tagebau ČSA

In letzter Zeit geht der Trend auch im Braunkohlebergbau zum Vergleichen und wirtschaftlichem Bewerten der konkreten Braunkohleabbauverfahren, sowie der Überschneidung von Abraummassen, ihrer Transporte, Aufbewahrung und Lagerung. In diesem Zusammenhang legen die Kohlegesellschaften einen nicht unbedeutenden Nachdruck auf die Minderung der Einwirkungen des Abbaus auf die Umwelt, aber auch auf die Gesamteffektivität des Bergbaubetriebs, wobei ihre Bilanz durch Erhöhung der Betriebszuverlässigkeit von einzelnen Bauteilen der technologischen Einheiten und durch Minderung der Betriebskosten verbessert werden kann. Die Aufgabe des vorgelegten Artikels ist dem Leser in der Kürze die Einschaltung der modernsten Systeme in den Prozess technischer Diagnostik und Instandhaltung darzustellen, wobei diese unter Betriebsbedingungen des Tagebaus Tschechoslowakischer Armee (weiter nur ČSA) durchgeführt werden. In diesem Fall handelt es sich konkret um ein unbemanntes Mittel (BRUS = Bepilotní Rotorový Univerzální Systém, manchmal auch DRON), den die Gesellschaft SEVEN Group beschafft hat.

Klíčová slova: technická diagnostika, dron, pásový dopravník, provozní spolehlivost, životnost, termodiagnostika, teplota, dobývací stroj.

Keywords: technical diagnostics, drone, belt conveyor, operational reliability, service life, thermodiagnosics, temperature, mining machine

1 Úvod do problematiky

V současné době je těžbě hnědého uhlí, a to nejen v České republice, věnována velká pozornost. Tato pozornost je spíše v negativním slova smyslu, a to zejména pokud hovoříme o dopadu těžby hnědého uhlí na okolní krajinu, blízké obce a člověka. Zejména v poslední době jsou ekonomicky vyhodnocovány jednotlivé způsoby povrchové těžby hnědého uhlí a použité technologie pro těžbu, transport a ukládání těžené suroviny i skryvkových nadložních hmot. Těžební společnosti kladou nemalý důraz nejen na snížení ekologických dopadů

těžby na okolí, ale i na zvýšení provozní spolehlivosti jednotlivých konstrukčních částí technologických celků a snížení provozních nákladů v rámci realizované údržby. Hlavním důvodem pořízení systému BRUS (pozemní vrtulník - hexakoptera – OK-X028C) bylo především monitorování aktuálního technického stavu dálkové pásové dopravy (DPD) a jeho jednotlivých částí (technický stav válečků a bubnů, opotřebení dopravních pásů, znečištění středních dílů atd.) [1,2], monitoring záparů a následných ložisek (samovznícením) v hnědouhelných pilířích i v otevřených částech již rekultivovaných ploch vnitřních výsypek [3], monitoring kabelových tras, pro



Obr. 1: Bezpilotní rotorový univerzální systém BRUS. Foto: archiv autorů

kontrolu hranic dobývacího prostoru a činnosti dodavatelských firem. Při realizaci tohoto projektu tak byl systém BRUS osazen jak optickou, tak i termo kamerou. Přidáním tohoto zařízení se výrazně rozšířila možnost využití bezpilotního prostředku pro zjišťování zvýšených provozních teplot válečků na DPD, kabelových tras a spojů, a hlavně také zjišťování tepelných anomálií na povrchu starých důlních děl, které se na lomu ČSA vyskytují, a jako důležitý bezpečnostní monitoring při zmáhání záparů a hořících starých důlních děl.

2 Parametry bezpilotního prostředku BRUS

Bezpilotní rotorový univerzální systém (BRUS) patří do rodiny tzv. MINI UAS. Sestává z vlastního bezpilotního prostředku s kolmým startem, jehož konstrukce je tvořena centrální částí elipsoidního tvaru, z níž vystupují tři ramena nosných rotorů, svírající vzájemný úhel 120°. Na vnějším konci ramen je instalována vždy dvojice motorů s protiběžnými vrtulemi.

V centrální části bezpilotního prostředku je montována kompletní avionika nutná pro zabezpečení letu (tj. autopilot, výkonová elektronická jednotka komunikující s regulátory napájení motorů, magnetometr a přijímač GPS), palubní akumulátor, záznamové zařízení pro záznam obrazové informace z optoelektronických čidel, rádiový vysílač obrazu a padákový systém včetně jeho elektronického řídicího systému. V popředí centrální části je prostor pro instalaci optoelektronických čidel (jinými slovy kamerového systému). Kamerový systém je možné i rozšířit pro speciální účely a domontovat i do tzv. podvěsu, tedy pod spodní část centrální části BRUSu.

Pohon zajišťuje šestice motorů s vrtulemi o průměru 28", umístěnými po dvojicích v každém ze tří ramen. Motor je vlastní konstrukce zakázkové výroby, navržený pro efektivní využití právě v podmínkách bezpilotní multikoptéry. Součástí motorového bloku je také regulátor otáček motoru, který je vsazen přímo do statorové části. Toto konstrukční uspořádání

minimalizuje délku vedení spínaného silového napájení do jednotlivých fází motoru, a tím eliminuje rušení vznikající na přívodech mezi regulátorem a motorem na minimum. Motory mají tyto základní parametry:

- typ motoru: elektrický bezkartáčový stejnosměrný motor (BLDC),
- výkon motoru: cca 300 W,
- napájecí napětí: max. 35 V,
- řízení motoru: bez senzorové pokročilé řízení s přesným měřením proudu,
- možnost zpětné vazby od regulátoru o stavu motorů.

BRUS je primárně určen pro provádění vzdušného monitoringu optoelektronickými čidly. Lze jej však využít jako nosič jiného uživatelského vybavení do maximální přípustné vzletové hmotnosti. Byl vyvinut s cílem poskytnout uživateli robustní nosič uživatelského vybavení, schopný provozu v náročných terénních i klimatických podmínkách s možností letu ve dne i v noci. Instalace průzkumných čidel v trupu (základní varianta) zabezpečuje jejich ochranu při letu za nepříznivých meteorologických podmínek a současně skýtá ochranu při přistání do neupravených přistávacích ploch.

Vzhledem k účelu použití se operační výška letu pohybuje v rozmezí od 50 m do 100 m nad terénem. Použitý rádiový přenosový systém umožňuje dolet do 10 km od místa vzletu při zachování rádiové dohlednosti. Pokud je bezpilotní prostředek převeden do automatického letu po předem naprogramované trase, plní úkol i při výpadku spojení. Nasnímaný obraz je po celou dobu letu ukládán do paměti záznamového zařízení na palubě a uživatel o něj nepřichází ani při plnění úkolu s výpadkem spojení. Jeho projekci je možné uskutečnit ze záznamu po přistání.

Řídicí systém je tvořen z bloku senzorů, řídicí jednotky, rádiového bezdrátového přenosového systému, výkonové jednotky a záchranného systému. Dále obsahuje rozhraní pro říze-

ní speciálního palubního vybavení. Senzory poskytují informace pro řešení stabilizace, navigace a řízení režimu letu. Základem jsou senzory tlaku, úhlových rychlostí, zrychlení, magnetického pole, polohy na zemském geoidu, elektrického napětí a proudu.

Řídicí jednotka zahrnuje procesorovou jednotku s perifériemi, úložiště dat a programové vybavení. Jednotka zpracovává signály ze senzorů a požadavky obsluhy přenášené rádiovým bezdrátovým přenosovým systémem z pozemního terminálu, současně řeší úlohu stabilizace, navigace i řízení režimu letu, analyzuje provozní stav a vyhodnocuje poruchové stavy. Dále tato jednotka generuje signály pro výkonovou jednotku a řízení speciálního palubního vybavení a v neposlední řadě archivuje údaje pro následné zpracování.

Rádiový bezdrátový přenosový systém slouží také k bezdrátové komunikaci mezi prostředkem a pozemním terminálem. Celý tento systém je tvořen jednotkou pro přenos dat řízení i jednotkou pro přenos širokopásmových dat ze speciálního palubního vybavení a přenáší data mezi pozemním terminálem i palubní řídicí jednotkou, současně i přenáší ve vzestupném směru požadavky obsluhy a v sestupném směru přenáší stavová data létající platformy a širokopásmová data ze speciálního palubního vybavení.

Výkonová jednotka zahrnuje procesorovou jednotku s perifériemi a programové vybavení. Tato jednotka zpracovává signály z řídicí jednotky a generuje řídicí signály pro záchranný systém a regulátory motorů.

Záchranný systém je dvoufázový. První fáze, která se spustí při ztrátě řídicího signálu nebo při nízké hladině napájení, navede BRUS do předem nastavené bezpečné výšky letu a bez zásahu operátora navede prostředek do místa startu, kde následně bezpečně přistane. Druhá fáze, která je spuštěna nebezpečným náklonem prostředku nebo nulovým napětím akumulátorů, vypne motory a iniciuje vystřelení záchranného padáku. Po vystřelení padáku je z nouzového zdroje napětí spuštěna akustická signalizace.

Uživatelské vybavení může tvořit variantně. Vybavení v naší společnosti je:

Barevná digitální kamera SONY se zoomem

- snímání obrazu: CCD
- transfokátor: 10x zoom (měnitelný z řídicího stanoviště)
- rozlišení: PAL
- výstup obrazu: kompozitní

Termokamera

- typ: FLIR Tau 2
- ohnisková vzdálenost: 35 mm
- rozlišení: 640x480 px
- výstup obrazu: kompozitní

Na palubě jsou současně dvě kamery s možností jejich přepínání za letu.

Pilot operátor může BRUS řídit v tzv. poloautomatickém módu, kdy vydává pokyny vlevo, vpravo, vpřed, vzad, nahoru a dolů (stabilizaci zajišťuje autopilot), anebo v automatickém režimu, v němž trasu předem naplánuje.



Obr. 2: Barevná digitální kamera Sony se zoomem. Foto: VTU



Obr. 3: Termokamera; Foto: VTU

3 Správa letového provozu

Program uživatel vytvoří navolením průletových bodů přímo v mapě, ve které si bude moci zobrazit také vrstvy mapy se „zakázanými oblastmi“ a dynamickými body (velkostroje, pásové dopravníky, pohyblivé překážky, které jsou osazeny GPS jednotkou) a přizpůsobit tak dráhu letu.

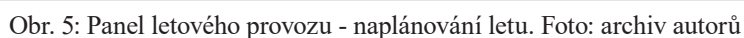
Vytvořený letový plán se zobrazí v kalendáři v příslušném datu a čase ve formě „nalepovacího štítku“ na základní obrazovce modulu Správa letového provozu. Letový program sestavuje uživatel s právy na administraci letového plánu.

Systém „nalepovacích štítků“ byl navržen pro snadnější orientaci v plánovaných letech, kdy je uživatel přetáhne do kalendáře do daného dne a v dialogovém okně upřesní naplánovaný čas.

Pro pohodlnější vytváření a administraci letových programů je lze uložit jako šablonu, kterou lze dále upravovat/naplánovat. Po uložení šablony programu se v levé části základní obrazovky zobrazí vytvořený program ve formě „lepícího štítku“ s názvem a popisem.

Průletový bod

Průletové body tvoří trasu letounu. Parametry se vztahují vždy k bodu nebo k dráze mezi dvěma body. GPS souřadnice polohy BRUSu při letu se nastaví automaticky dle polohy bodu umístěného uživatelem v mapě. Výška letu (počet metrů nad terénem) mezi dvěma body s rozdílnou výškou se automaticky dopočítá lineární aproximací.



Rychlost letu

Rychlost letu (kilometry za hodinu) - je stanovena vždy hodnota rychlosti k následujícímu bodu. Natočení letounu (podél radiální osy letounu) - hodnotu lze nastavit ručně natočením symbolu šipky nad bodem přímo v mapě. Je možné i zvolit působ průletu (letmý průlet, zastavení nad bodem).

Překážky a zakázané oblasti v dráze letu

Překážky jsou statické - nemění svou polohu (včetně zakázaných oblastí) a dynamické - mění svou polohu (např. velkostroje). Statické překážky/Zakázané oblasti - nemění svou polohu a lze je uživatelsky definovat v systému Protank Dynamics, který je v rámci celé společnosti používán pro sledování pohybu a výkonů strojů i vozidel pomocí polygonů. Pohyblivé překážky - velkostroje, kterým je třeba se při letu vyhnout, mají osazení GPS jednotkou, jsou zobrazovány ve formě dynamických polygonů.

Dynamický polygon je určen středem (GPS jednotkou) a poloměrem (minimální bezpečný poloměr obletu). Dynamické polygony mění polohu na mapě na základě polohy GPS jednotky. Dynamické i ostatní polygony se zobrazují přímo v mapě pomocí vrstvy.

Dynamické body a polygony si může uživatel zobrazit v mapě při plánování letu formou vrstvy mapy.

Data o aktuálních zakázaných oblastech, překážkách a dynamických bodech jsou automaticky přenášena ze systému Protank Dynamics na FTP úložiště, ze kterého se přenáší do PO tak, aby byly v PO aktuální data před každým startem.

Dráha letu

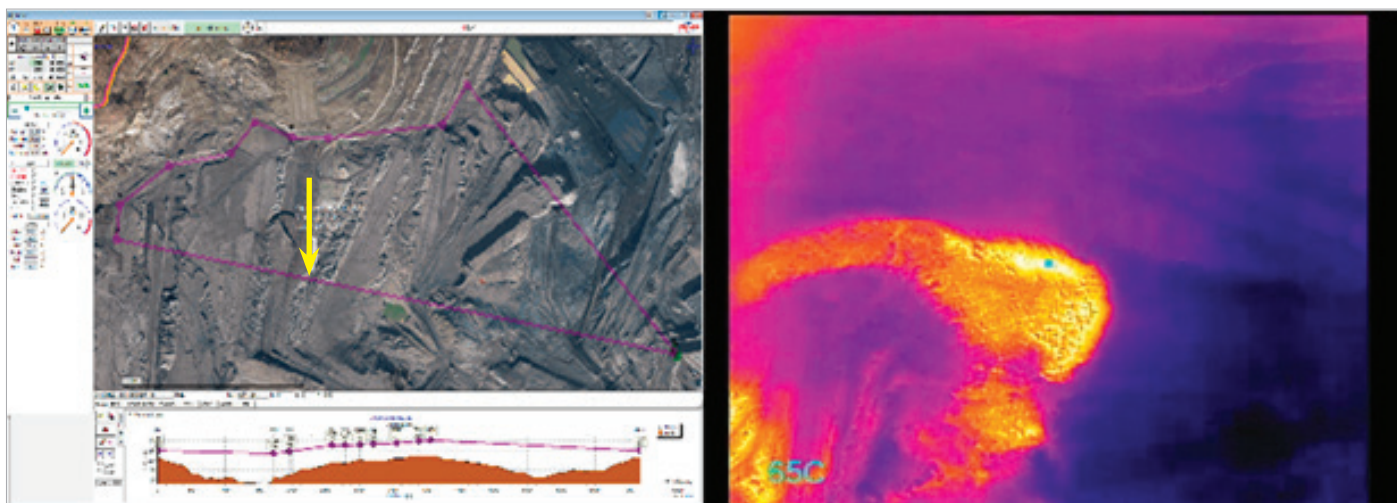
Dráha letu bude různá v závislosti na režimu letu:

- automatickém - letová dráha je dána nejkratší cestou mezi průletovými body (resp. body zájmu),
- poloautomatickém - řízení přebírá pilot operátor (obsluha letounu), zatímco probíhá automatická stabilizace letounu.

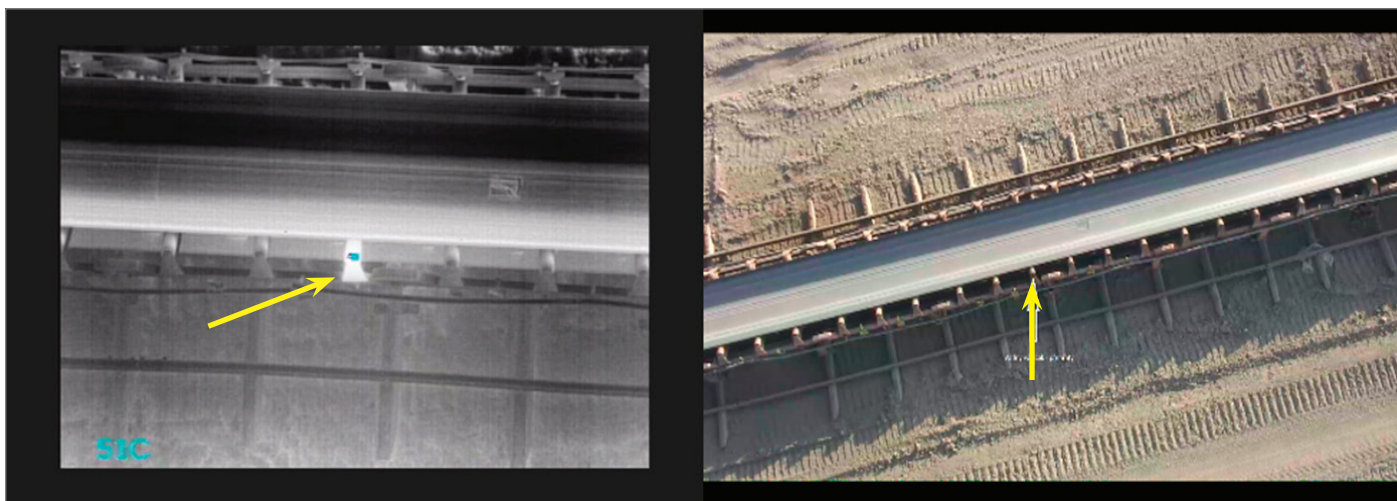
Prohlížení a vyhodnocení probíhajícího a realizovaného letového programu

V průběhu letu nebo po jeho realizaci probíhá vyhodnocení přidáním poznámek/událostí, které se vztahují k určitému času letu. Po kliknutí na realizovaný nebo probíhající letový program v kalendáři se zobrazí dialogové okno, kde je:

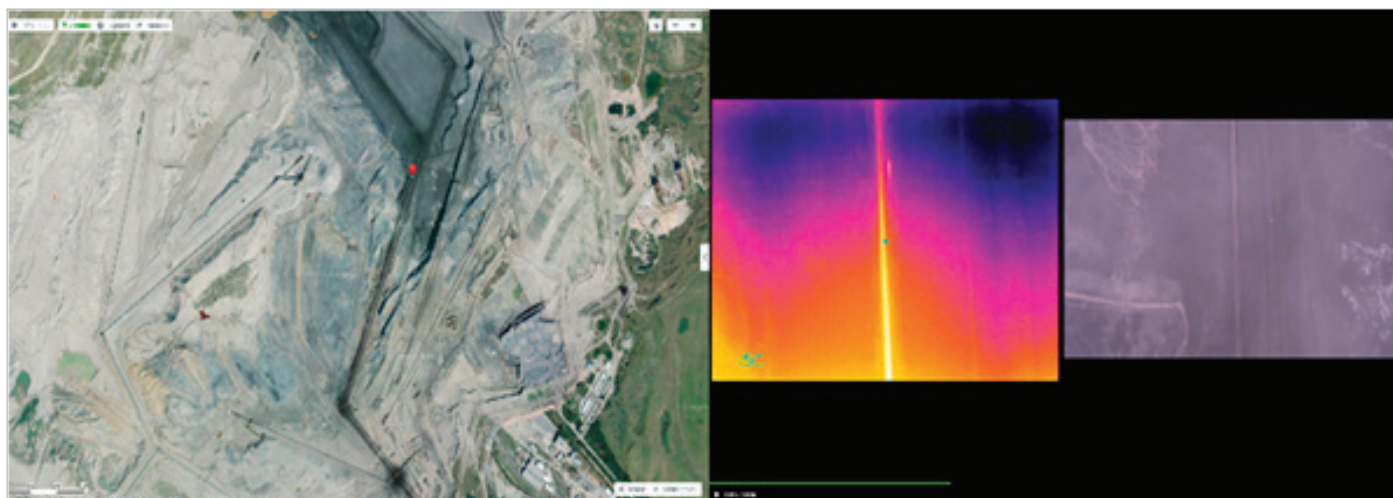
- mapa s trajektorií letu a průletovými body s možností zobrazení vrstev,



Obr. 6: Vyhledávání záparů a následná kontrola likvidace požárů. Foto: archiv autorů



Obr. 7: Kontrola DPD - povrchová teplota válečků. Foto: archiv autorů



Obr. 8: Kontrola kabelových tras. Foto: archiv autorů



Obr. 9: Kontrola dodavatelských firem. Foto: archiv autorů

- okno pro prohlížení videozáznamu z obou kamer, mezi nimiž lze přepínat nebo sledovat záznam z obou kamer,
- možnost přidat poznámku, vyhodnocení k určitému času letu,
- parametry letu (název programu, autor, čas vzletu/přistání, popis, autor, archivace videa).

Ukládání videozáznamů a jejich archivace

Videozáznamy se komprimují, provádí se synchronizace v reálném čase, ukládají a archivují na samostatné úložiště (PC). Záznamy letů (programů), které nejsou určeny k archivaci, se automaticky smažou za tři měsíce od realizace letu.

4 Možnost monitoringu

V následujících odstavcích jsou přehledně představeny konkrétní možnosti využití univerzálního systému BRUS v praxi v provozních podmínkách povrchového lomu ČSA.

Zkušební provoz systému BRUS jednoznačně prokázal, že je možné tímto způsobem úspěšně zaznamenávat a predikovat vývoj procesů spontánní oxidace a termoakumulace uhelné hmoty na vnitřních výsypkách, stařinách a uhelných pilířích v rámci stanoveného dobývacího prostoru hnědouhelného lomu [4].

Pomocí systému BRUS je možné sledovat aktuální technický stav související s hodnotami povrchové teploty rotujících částí válečků a bubnů pásového dopravníku a jednoznačně identifikovat ty závadné části, které vykazují nějakou tepelnou anomálii značící poruchu předmětné části DPD [5,6] - viz obrázek č. 7.

Závady elektrických zařízení se projevují zvýšením teploty. Při měření termokamerou se tato zvýšení povrchové teploty projevují světlejším (tmavším) tónem barevného obrazu na stínítku obrazovky. Tato tepelná anomálie měřené části představuje zvýšený přechodový odpor či pokles izolačního odporu [7].

V neposlední řadě je systém využíván pro kontrolu hranic dobývacího prostoru hnědouhelného lomu a kontrolu dodavatelských firem pohybujících se v areálu lomu ČSA.

5 Závěr

Celý projekt je koncipován tak, aby si vybraní uživatelé společnosti mohli sami definovat a naplánovat účel i parametry trasy letu. Operátor trasy s parametry překontroluje z hlediska bezpečného průletu, osadí BRUS akumulátorem a prakticky může jen vizuálně let kontrolovat. Manuální zásah operátora

je možný kdykoliv během letu, letoun se po té okamžitě vrátí k nastavenému plánu. Poznámky k letu může napsat jak uživatel, tak i operátor, a jsou synchronizovány k reálnému času záznamu.

Data o nálezech jsou zasílána s polohou objednateli letu.

V případě nenadálých a kritických situací (ztráta signálu, nedostatečné napětí v akumulátorech, silný náklon letounu) se BRUS okamžitě přepne do nouzového režimu a bez možnosti zásahu operátora vystoupá do předem nastavené bezpečné výšky letu a nejkratší možnou trasou se vrátí na místo startu, kde sám bezpečně přistane.

Bezpilotní prostředek zvaný BRUS, který pořídila společnost SEVEN Group, tak tvoří součást nejmodernějších přístupů k realizaci technické diagnostiky v reálném provozu lomu ČSA a přispívá tak ke zvýšení bezpečnosti a výkonnosti celého provozu těžební technologie.

Literatura

- [1] HELEBRANT, F., MONI, V., HUDECZEK, M., URBAN, P.: Technická diagnostika a spolehlivost – V. Termografie. VŠB – TU Ostrava 2008, 1. vydání, 69 s., ISBN 978-80-248-1942-6.
- [2] HELEBRANT, F., MONI, V., KLOUDA, P., VALENTOVÁ, H., NEDBAL, J., NEUBERT, M.: Diagnostika pásových dopravníků. In Národní fórum údržby 2010, 10. ročník, ŽU v Žilině 2010, s. 133-143, ISBN 978-80-554-0195-9.
- [3] MONI, V., CHYTKA, L., SCHMIDT, P.: Research of prediction possibility of infusion occurrence and following self-ignition of brown coal fuel. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2011, Conference Centre Flamengo Grand Albena, Bulharsko, s. 893-898, ISSN 1314-2704.
- [4] MONI, V., SCHMIDT, P.: Solution of brown coal heap self-ignition prediction issue in TAČR TA01020351 project. In International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2012, Conference Centre Flamengo Grand Albena, Bulharsko, s. 813-818, Volume 1, ISSN 1314-2704.
- [5] MONI, V., HELEBRANT, F.: The utilisation of non-contact temperature measurements in technical diagnostics of belt conveyors. In Scientific Journals Maritime University of Szczecin 2011/27(99) z.1, pp. 112-117, ISSN 1733-8670.
- [6] MONI, V., HELEBRANT, F.: Využití bezkontaktního měření teplot v technické diagnostice pásových dopravníků. In Zpravodaj Hnědé uhlí 3/2010, VÚHU, a.s. Most 2010, s. 3-7, ISSN 1213-1660.
- [7] HELEBRANT, F., MONI, V., KLOUDA, P., VALENTOVÁ, H., KUDELOVÁ, I.: The harmonization and optimization of diagnostic methods for belt conveyor. Systemy Wspomagania w Inzynierii Produkcji - Blansko/Wieden, ISSN 2299-0461.