

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

Drevárska fakulta

Katedra protipožiarnej ochrany

**SPRÁVA O VÝSTUPOCH Z KONTINUÁLNEHO
MONITORINGU PROSTREDIA
S VYUŽITÍM IoT MONITOROVACÍCH
JEDNOTIEK**

Projekt 09I01-03-V04-00088

Vývoj, testovanie, demonštrácia a validácia konceptuálnych metodologických a technologických riešení zvyšujúcich odolnosť porastov napadnutých lykožrútom smrekovým

Pracovný balík NV3 – Obstaranie a inštalácia IoT monitorovacích jednotiek, ich demonštrácia, testovanie a validácia

Zvolen, 2026

Správa hodnotí výstupy kontinuálneho monitoringu prostredia s využitím IoT monitorovacích jednotiek v experimentálnom území Vydrovskej doliny. Zameriava sa na sprevádzkovanie monitorovacieho systému, funkčnosť dátového toku, ukladanie a zobrazovanie údajov, prevádzkovú validáciu a pripravenosť systému na dlhodobé používanie.

Podrobná technická charakteristika zariadení, ich počty, rozsahy merania, presnosť, napájanie a komunikačné parametre sú uvedené v samostatnej prílohe „Technická špecifikácia a súpis prvkov IoT monitorovacieho systému“. Táto správa uvedené údaje neopakuje a pracuje iba s funkčnými skupinami zariadení a výsledkami ich nasadenia.

Vzhľadom na neskoršie dodanie a sprevádzkovanie monitorovacích jednotiek je dostupný časový rad krátky. Správa preto neuvádza dlhodobé štatistické trendy, ale dokumentuje prevádzkovú funkčnosť systému a vytvorenie východiskovej dátovej bázy pre pokračujúci monitoring.

1. Úvod

Kontinuálny monitoring lesného prostredia umožňuje sledovať zmeny mikroklimatických, pôdných a požiarnych podmienok bez potreby trvalej prítomnosti obsluhy. V kalamitou postihnutom území je významný najmä pri hodnotení sucha, vodného režimu, stability porastov a požiarneho rizika.

IoT systém vytvorený v rámci projektu prepája terénne meracie jednotky, komunikačnú infraštruktúru, databázové prostredie a webový Dashboard. Správa sa sústreďuje na výsledky prevádzky tohto systému, nie na opakovanie jeho technickej špecifikácie.

2. Cieľ a rozsah správy

Cieľom je zdokumentovať dosiahnuté výstupy kontinuálneho monitoringu a posúdiť funkčnosť systému od získania merania až po jeho zobrazenie používateľovi.

Správa hodnotí najmä:

- sprevádzkovanie terénnych monitorovacích jednotiek;
- funkčnosť prenosu údajov do databázového prostredia;
- ukladanie údajov s časovou značkou a identifikáciou zdroja;
- zobrazovanie údajov vo webovom Dashboarde;
- kontinuitu, úplnosť a logickú konzistentnosť dátového toku;
- obmedzenia hodnoteného obdobia a podmienky ďalšieho monitoringu.

3. Funkčný rozsah monitorovacieho systému

Monitorovací systém zahŕňa meteorologické, pôdne a environmentálne požiarne merania. Jednotlivé funkčné skupiny poskytujú vzájomne sa dopĺňajúce informácie o stave atmosféry, pôdného profilu a výskyte aerosólových alebo plynných zmien.

Funkčná skupina	Sledovaná oblasť	Význam pre projekt
Meteorologické merania	Teplotné, vlhkostné, zrážkové a veterné podmienky.	Charakterizácia mikroklímy, vysychania a podmienok ovplyvňujúcich požiarne riziko.
Pôdne merania	Vlhkostný stav pôdy vo viacerých hĺbkach a doplnkové pôdne parametre.	Posúdenie vodného režimu a odozvy pôdy na zrážky a suchu.
Environmentálne požiarne merania	Aerosólové, plynové a teplotné zmeny.	Identifikácia neštandardných udalostí a podpora hodnotenia požiarneho rizika.
Komunikačná a databázová vrstva	Prenos, uloženie a správa údajov.	Zabezpečenie kontinuálneho dátového toku a tvorby časových radov.
Webový Dashboard	Vizualizácia a používateľský prístup.	Priebežná kontrola dostupnosti a priebehu údajov.

4. Dátový tok a správa údajov

Namerané údaje sa z terénnych zariadení prenášajú prostredníctvom bezdrôtovej komunikačnej siete do centrálného prostredia. Po prijatí sú priradené ku konkrétnemu zariadeniu, označené časovou značkou a uložené do databázy. Následne sú sprístupnené vo webovom Dashboarde dostupnom na adrese <http://wildfires.sk:8888/>.

Etap	Kontrolovaný výstup
Meranie	Vznik hodnoty priradenej ku konkrétnemu senzoru.
Prenos	Doručenie dátovej správy do centrálného systému.
Uloženie	Zápis hodnoty, času a identifikátora zariadenia do databázy.
Vizualizácia	Zobrazenie aktuálnych alebo historických hodnôt v Dashboarde.
Používateľská kontrola	Overenie dostupnosti, kontinuity a logickej správnosti údajov.

5. Webový dashboard

Dashboard predstavuje používateľskú vrstvu systému. Umožňuje kontrolovať, či jednotlivé monitorovacie body odosielajú údaje, sledovať časový priebeh vybraných veličín a identifikovať prerušenia alebo neštandardné hodnoty.

V tejto správe sa Dashboard hodnotí z hľadiska jeho funkcie pri sprístupňovaní výsledkov monitoringu. Technické parametre aplikačnej platformy a komunikačných prvkov sú predmetom samostatnej technickej prílohy.

Funkcia Dashboardu	Spôsob využitia
Zobrazenie aktuálnych údajov	Rýchla kontrola stavu monitorovaného prostredia a dostupnosti zariadení.
Zobrazenie časového priebehu	Posúdenie zmien veličín a identifikácia výpadkov.

Funkcia Dashboardu	Spôsob využitia
Rozlíšenie monitorovacích bodov	Priradenie údajov ku konkrétnemu zariadeniu alebo lokalite.
Prevádzková kontrola	Overenie, či údaje prešli celým dátovým tokom.
Podklad pre export a analýzu	Príprava údajov na následné štatistické a odborné vyhodnotenie.

6. Metodika testovania a prevádzkovej validácie

Prevádzková validácia overuje, či monitorovací systém plní zamýšľanú funkciu. Nejde o metrologickú kalibráciu ani nezávislé potvrdenie deklarovanej presnosti senzorov. Takéto posúdenie by vyžadovalo referenčné prístroje a samostatný kalibračný postup.

V rámci prevádzkovej validácie sa overovalo:

- rozpoznanie a dostupnosť monitorovacích zariadení v systéme;
- prijímanie údajov z jednotlivých funkčných skupín senzorov;
- správnosť chronologického radenia záznamov;
- ukladanie údajov do databázy;
- zobrazovanie údajov v Dashboarde;
- prítomnosť chýbajúcich alebo duplicitných záznamov;
- logická primeranosť priebehu hodnôt;
- obnovenie dátového toku po dočasnom prerušení.

7. Kritériá hodnotenia kvality dát

Kritérium	Spôsob posúdenia	Význam
Dostupnosť	Prítomnosť aktuálnych záznamov.	Potvrďuje komunikáciu zariadenia so systémom.
Kontinuita	Porovnanie očakávaných a skutočných časových odstupov.	Odhaľuje výpadky prenosu alebo napájania.
Úplnosť	Podiel prijatých záznamov k očakávanému počtu.	Vyjadruje prevádzkovú spoľahlivosť.
Časová správnosť	Kontrola poradia a časových značiek.	Odhaľuje nesynchronizované alebo oneskorené údaje.
Logická konzistentnosť	Porovnanie vývoja súvisiacich veličín.	Podporuje identifikáciu chybných alebo nepravdepodobných hodnôt.
Stabilita vizualizácie	Kontrola dostupnosti grafov a údajov.	Overuje použiteľnosť systému pre odborného používateľa.

8. Dosiahnuté výstupy monitoringu

Výstupom projektu je sprevádzkovaný systém, ktorý umožňuje automatizovaný zber, prenos, ukladanie a zobrazovanie údajov z lesného prostredia. V hodnotenom období bola overená funkčnosť základného dátového toku a vytvorená počiatočná databáza údajov.

Dosiahnutý výstup	Význam
Sprevádzkované monitorovacie body	Začatie automatizovaného zberu údajov v experimentálnom území.
Funkčný dátový prenos	Prepojenie terénnych zariadení s centrálnym systémom.
Databázové ukladanie	Tvorba časovo označených záznamov pre ďalšie spracovanie.
Verejne dostupný dashboard	Sprístupnenie a vizualizácia výsledkov monitoringu.
Prevádzková validácia	Overenie funkčnosti systému od merania po zobrazenie.
Východisková dátová база	Základ pre dlhodobé sledovanie a následné štatistické vyhodnotenie.

9. Odborné zhodnotenie dostupných výstupov

Dostupné údaje potvrdzujú, že vytvorená infraštruktúra je pripravená na paralelné sledovanie atmosférických, pôdných a environmentálnych požiarnych parametrov. Takéto prepojenie vytvára predpoklad na hodnotenie vzťahov medzi zrážkami, vlhkosťou pôdy, teplotou, relatívnou vlhkosťou vzduchu, vetrom a výskytom aerosólových alebo plynných zmien.

Krátky časový rad však neumožňuje spoľahlivo posúdiť sezónne trendy, extrémne hodnoty ani dlhodobé zmeny. Z tohto dôvodu sa údaje interpretujú ako skúšobný a východiskový súbor, nie ako úplná klimatologická alebo environmentálna analýza.

Najväčším prínosom hodnoteného obdobia je overenie prevádzkovej použiteľnosti systému a vytvorenie podmienok na pokračovanie monitoringu po ukončení projektu.

10. Obmedzenia hodnoteného obdobia

Obmedzenie	Dôsledok	Prijatý alebo navrhovaný postup
Neskoršie sprevádzkovanie systému	Krátke obdobie zberu údajov.	Pokračovanie monitoringu po ukončení projektu.
Krátky časový rad	Nemožnosť sezónneho a medziročného porovnania.	Ročné vyhodnotenie po získaní dostatočného súboru údajov.
Možné komunikačné výpadky	Dočasne chýbajúce záznamy.	Kontrola dátového toku a optimalizácia komunikačného pokrytia.
Prevádzkové podmienky v teréne	Vplyv napájania, počasia a mechanického poškodenia.	Pravidelné terénne kontroly a údržba.
Bez referenčnej kalibrácie	Nie je možné deklarovať nezávisle overenú presnosť.	Budúce porovnávacie merania s referenčnými prístrojmi.

11. Využitie výsledkov

Údaje sú využiteľné pri sledovaní mikroklimatických a pôdnovlhkostných podmienok, identifikácii období sucha, podpore hodnotenia požiarného rizika a posudzovaní účinnosti prírode blízkyh riešení.

Prepojenie IoT údajov s bezpilotným leteckým mapovaním umožní kombinovať časové zmeny meraných veličín s priestorovými zmenami vegetácie a terénu. Výsledky možno využívať vo výskume, vo výučbe a pri rozhodovaní správcu územia.

12. Ďalší monitorovací režim

Činnosť	Odporúčaná frekvencia
Kontrola dashboardu a dátového toku	priebežne, súhrnne najmenej raz týždenne
Terénna kontrola zariadení	najmenej raz mesačne a po významnej udalosti
Export údajov	najmenej raz mesačne
Kontrola úplnosti a výpadkov	mesačne
Zálohovanie údajov	automatizovane a periodicky
Porovnávacie terénne meranie	sezónne
UAV mapovanie	v šesťmesačných intervaloch
Súhrnné štatistické vyhodnotenie	raz ročne

13. Navrhované ukazovatele následného vyhodnotenia

Ukazovateľ	Spôsob vyjadrenia	Účel
Úplnosť údajov	% prijatých záznamov	Hodnotenie spoľahlivosti dátového toku.
Dĺžka výpadkov	hodiny alebo dni	Prevádzková dostupnosť systému.
Denné a mesačné charakteristiky	minimum, maximum, priemer a úhrn	Opis časového vývoja veličín.
Odozva pôdnej vlhkosti na zrážku	čas a zmena hodnoty	Hodnotenie infiltrácie a retencie.
Trvanie suchých období	počet dní pod zvoleným prahom	Identifikácia stresových podmienok.
Výskyt neštandardných aerosólových epizód	počet a trvanie udalostí	Podpora environmentálneho a požiarného hodnotenia.
Vzťahy medzi veličinami	korelačné alebo regresné ukazovatele	Odborná interpretácia dátových väzieb.

14. Záver

V rámci projektu bol sprevádzkovaný integrovaný systém kontinuálneho monitoringu lesného prostredia. Prevádzkovou validáciou bola overená funkčnosť prenosu, databázového ukladania a zobrazovania údajov vo webovom Dashboarde.

Správa sa zámerne nezaobrá podrobnou technickou špecifikáciou zariadení, pretože tá je predmetom samostatnej prílohy. Dokumentuje výsledky nasadenia, kvalitu dátového toku, prevádzkové obmedzenia a pripravenosť systému na ďalšie používanie.

Kontinuálny zber údajov bude pokračovať aj po ukončení projektu. Po vytvorení dostatočne dlhého časového radu bude možné vykonať podrobné štatistické vyhodnotenie, porovnať monitorovacie lokality a posúdiť účinnosť implementovaných prírode blízkych riešení.