

Technická univerzita v Košiciach  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

## **Zvyšovanie bezpečnosti integrácie dronov do leteckého priestoru**

Bakalárska práca

## **Fotodokumentácia realizácie plánovacieho a varovného systému pre pilotov dronov**

Príloha

Vedúci bakalárskej práce:  
doc. Ing. Peter Papcun, PhD.

Autor:  
Štefan Kando

Košice 2024

## Obsah

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Získavanie dát z letovej prevádzky</b>	<b>1</b>
1.1 Prvý prototyp . . . . .	1
1.2 Stavba statického prijímača . . . . .	3
1.2.1 Prvá iterácia . . . . .	3
1.2.2 Druhá iterácia . . . . .	7
<b>2 Získavanie dát o polohe dronu</b>	<b>9</b>
<b>3 Stavba hlavného servera</b>	<b>10</b>
<b>4 Ďalšie statické prijímače pripojené do siete</b>	<b>11</b>
<b>5 Využitie aplikácie v praxi</b>	<b>12</b>
5.1 Prijímanie signálov ADS-B v teréne . . . . .	12
5.2 Využitie našej aplikácie so zmiešanou realitou . . . . .	14

## Zoznam obrázkov

1 – 1	Prvé úspešné spustenie Raspberry Pi 4B, 4GB, s operačným systémom Raspbian (31.10.2023) . . . . .	1
1 – 2	Prvý testovací hardvér na prijímanie ADS-B (31.10.2023) . . . . .	2
1 – 3	Prvé prijaté a vizualizované dátá cez webovú aplikáciu SkyAware (identifikačné dátá sú vycenzurované) (1.11.2023) . . . . .	2
1 – 4	Graf smeru prijímania ADS-B dát (je na ňom vidno, na ktorú svetovú stranu je okno orientované) (2.11.2023) . . . . .	3
1 – 5	Testovanie antény Vinnant COL1090/5-SU ADS-B (5.12.2023) . . .	3
1 – 6	Testovanie antény Sirio GPA 108-136 MHz (5.12.2023) . . . . .	4
1 – 7	Vnútorné zapojenie statického prijímača (9.12.2023) . . . . .	4
1 – 8	Zapojenie statického prijímača v podkroví (9.12.2023) . . . . .	5
1 – 9	Inštalácia statického prijímača (9.12.2023) . . . . .	5
1 – 10	Sledovanie pristávajúcего lietadla, prvý test prijímania letiskovej frekvencie cez OpenWebRX waterfall (sledovanie ADS-B porovnané s FlightRadar24.com) (10.12.2023) . . . . .	6
1 – 11	Graf smeru prijímania ADS-B dát (zo západnej strany tienené kopčami, graf bol vygenerovaný počas konfliktu na Ukrajine, počas ktorého nad ním lietadlá s ADS-B nelietali) (10.12.2023) . . . . .	6
1 – 12	Druhá iterácia statického prijímača - inštalácia predspracovania - zaznačené zmeny oproti prvej iterácii (19.12.2023) . . . . .	7
1 – 13	Vylepšenie statického prijímača (19.12.2023) . . . . .	8
1 – 14	Záber prijímača z 4.5.2024 . . . . .	8
2 – 1	Prototyp “screen scrapingu” pomocou zdieľania obrazu telefónu s počítačom a použitím knižnice OpenCV pre Python (23.1.2024) . .	9
2 – 2	Prvé úspešné spustenie DJI SDK (25.3.2024) . . . . .	9
3 – 1	Prvá a druhá verzia hlavného servera (založeného na Raspberry Pi 5 8GB) (19.4.2024) . . . . .	10

3 – 2	Vylepšené úložisko druhej verzie s použitím NVMe SSD (Nonvolatile Memory express Solid-State Drive) a NVMe base (19.4.2024) . . . . .	10
4 – 1	Prvý prijímač podobný prototypu, nainštalovaný nastálo a pripojený do siete prijímačov cez hlavný server (25.4.2024) . . . . .	11
4 – 2	Druhý prijímač pripojený na sieť, na rovnakom princípe ako prvý, uložený na rovnakom mieste ako prototyp (10.5.2024) . . . . .	11
4 – 3	Vplyv ďalších prijímačov na počet zachytených lietadiel sietou prijímačov . . . . .	12
5 – 1	Prijímanie ADS-B pomocou mobilného telefónu (4.5.2024) . . . . .	12
5 – 2	Prijímanie ADS-B pomocou notebooku s operačným systémom Windows (4.5.2024) . . . . .	13
5 – 3	Prijímanie ADS-B pomocou prenosného Raspberry Pi s využitím našej aplikácie (4.5.2024) . . . . .	13
5 – 4	Nastavovanie našej aplikácie v prostredí zmiešanej reality (snímok obrazovky z Meta Quest 3) (4.5.2024) . . . . .	14
5 – 5	Použitie našej aplikácie pri lietaní s dronom v zmiešanej realite (snímok obrazovky z Meta Quest 3) (4.5.2024) . . . . .	14

## Úvod

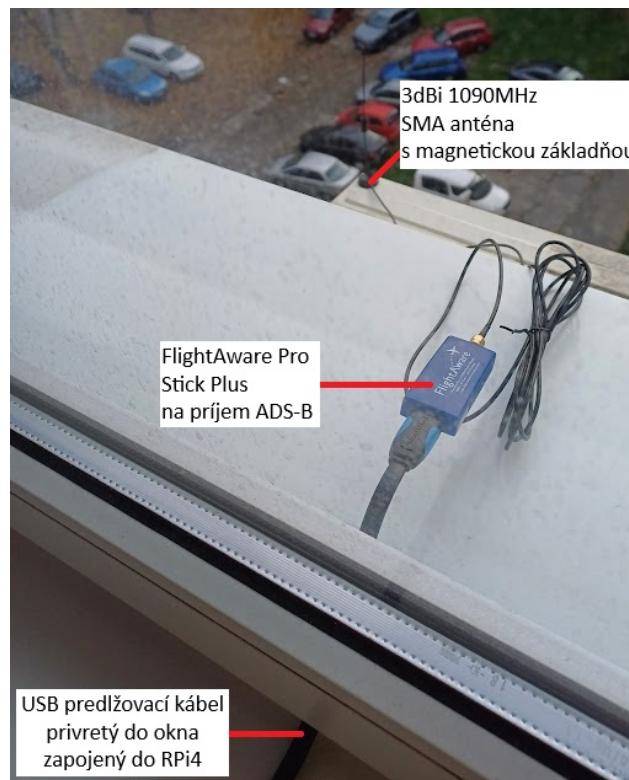
Tento dokument je prílohou k bakalárskej práci Zvyšovanie bezpečnosti integrácie dronov do leteckého priestoru. Je súborom fotografií, ktoré dokumentujú nielen vývoj, ale aj aktuálny stav implementácie našej aplikácie.

## 1 Získavanie dát z letovej prevádzky

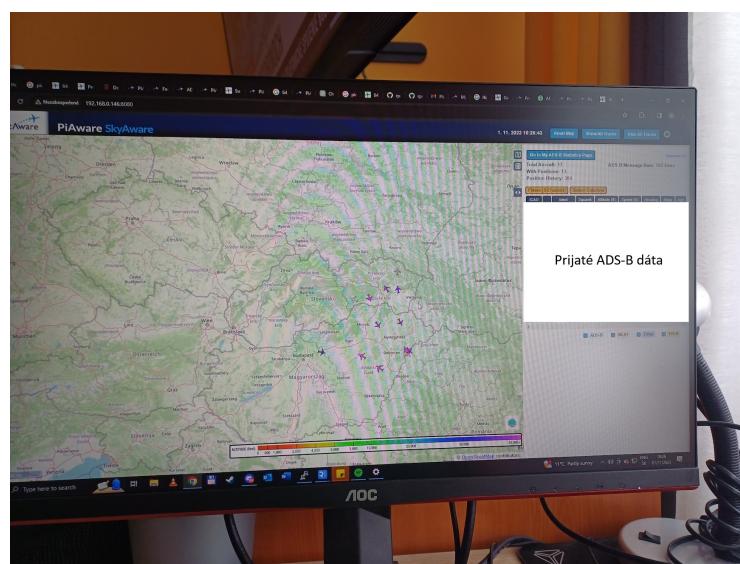
### 1.1 Prvý prototyp



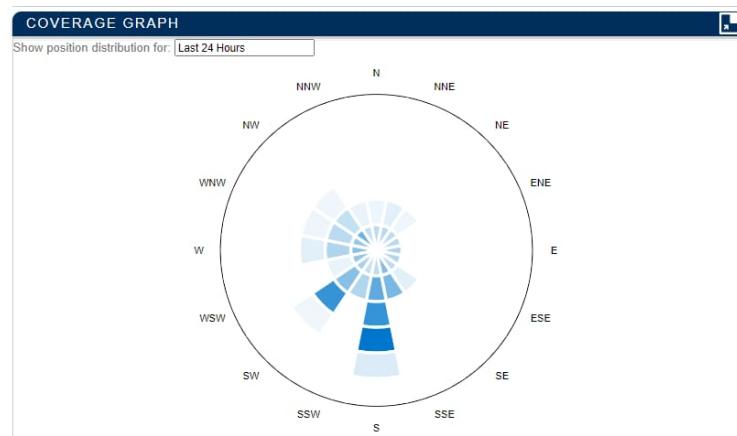
Obr. 1 – 1: Prvé úspešné spustenie Raspberry Pi 4B, 4GB, s operačným systémom Raspbian (31.10.2023)



Obr. 1 – 2: Prvý testovací hardvér na prijímanie ADS-B (31.10.2023)



Obr. 1 – 3: Prvé prijaté a vizualizované dátá cez webovú aplikáciu SkyAware (identifikačné dátá sú vycenzurované) (1.11.2023)



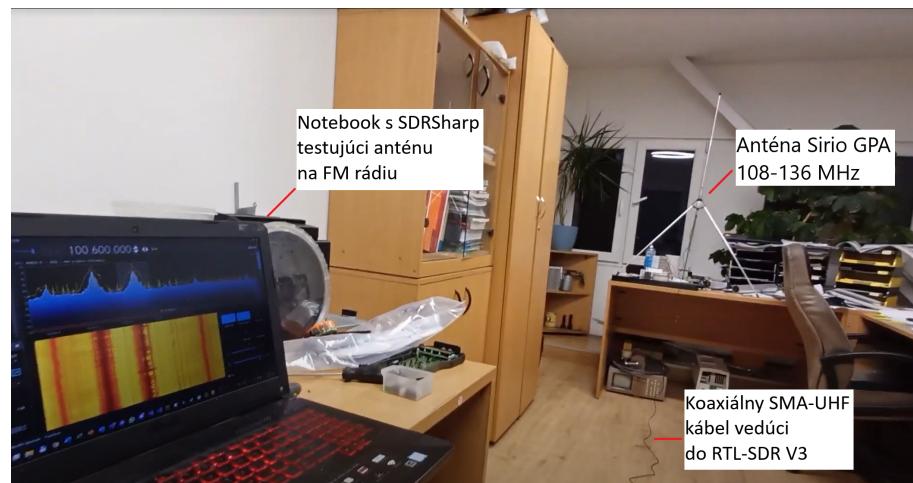
**Obr. 1 – 4:** Graf smeru prijímania ADS-B dát (je na ňom vidno, na ktorú svetovú stranu je okno orientované) (2.11.2023)

## 1.2 Stavba statického prijímača

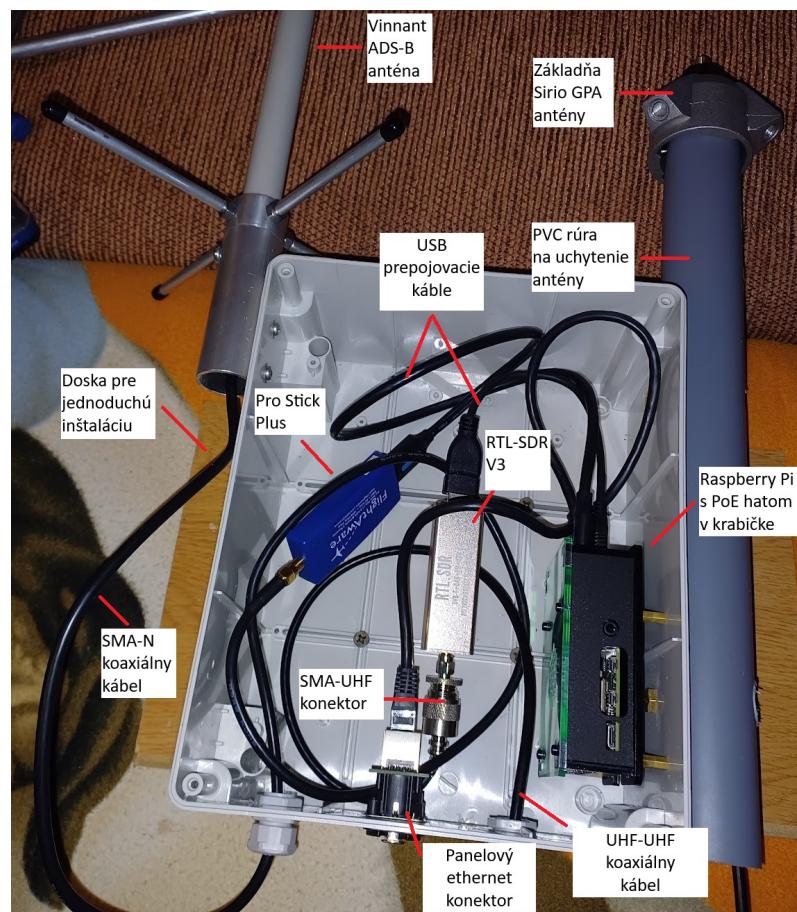
### 1.2.1 Prvá iterácia



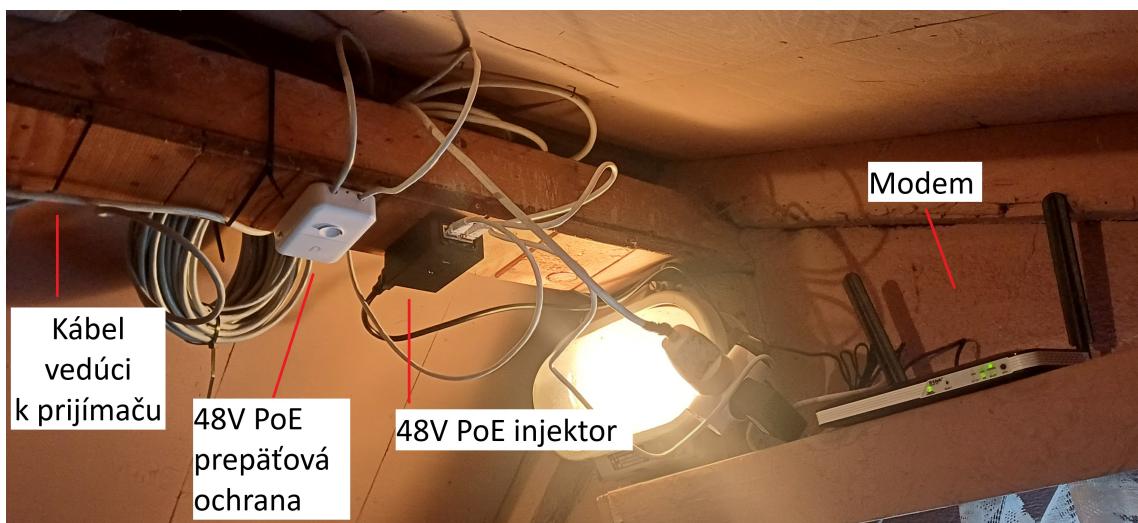
**Obr. 1 – 5:** Testovanie antény Vinnant COL1090/5-SU ADS-B (5.12.2023)



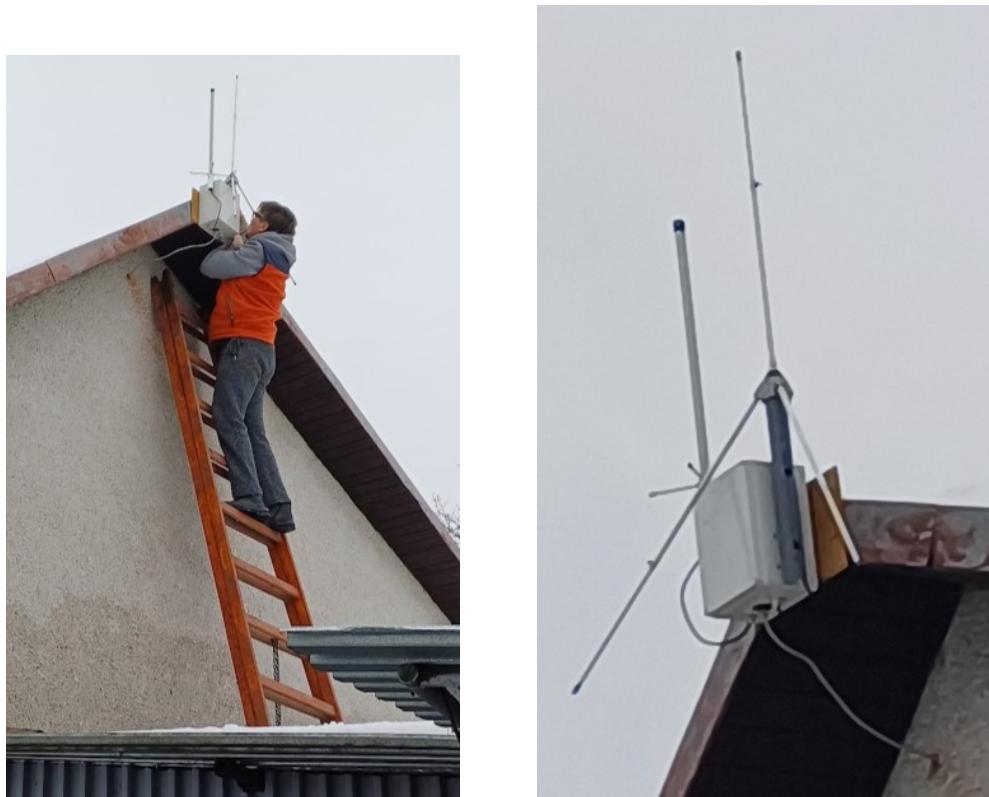
Obr. 1 – 6: Testovanie antény Sirio GPA 108-136 MHz (5.12.2023)



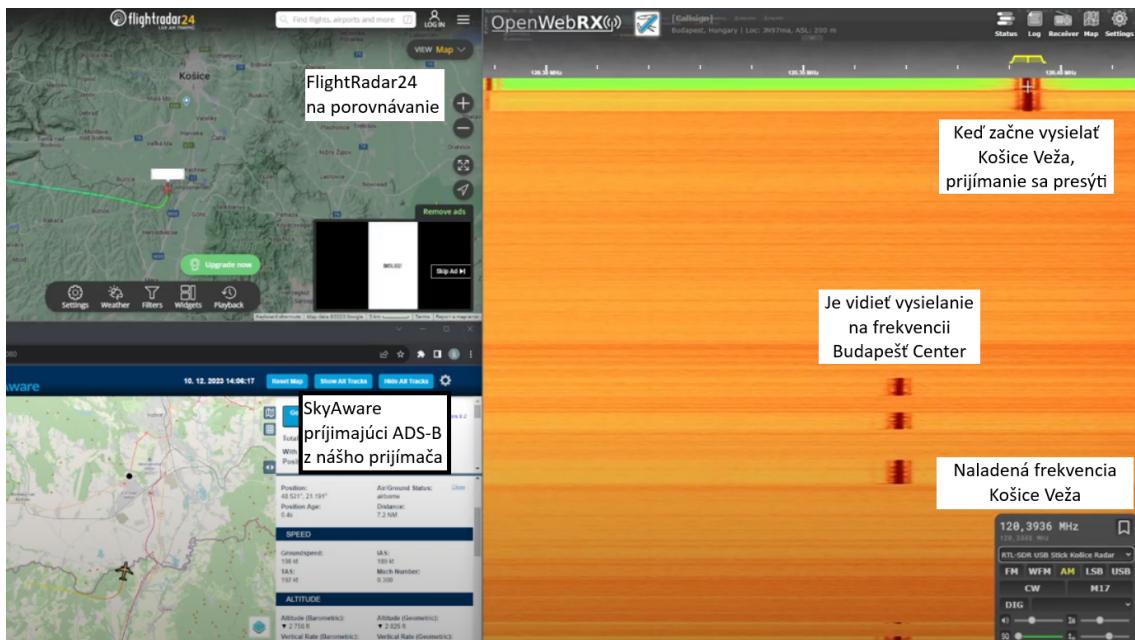
Obr. 1 – 7: Vnútorné zapojenie statického prijímača (9.12.2023)



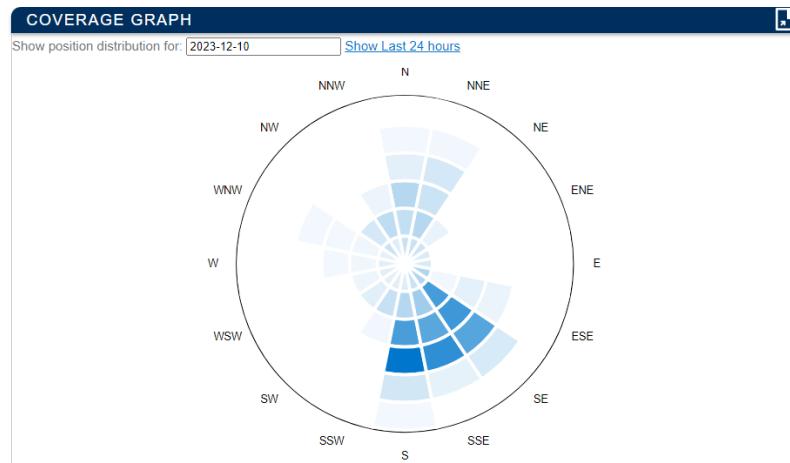
Obr. 1 – 8: Zapojenie statického prijímača v podkroví (9.12.2023)



Obr. 1 – 9: Inštalácia statického prijímača (9.12.2023)

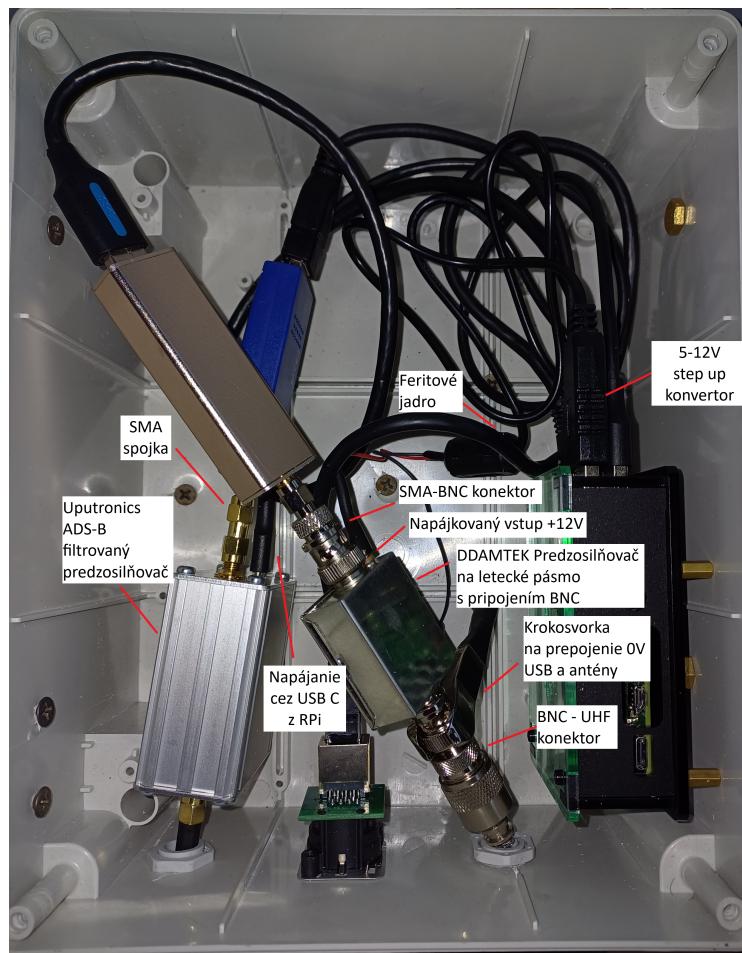


Obr. 1 – 10: Sledovanie pristávajúceho lietadla, prvý test prijímania letiskovej frekvencie cez OpenWebRX waterfall (sledovanie ADS-B porovnávané s FlightRadar24.com) (10.12.2023)

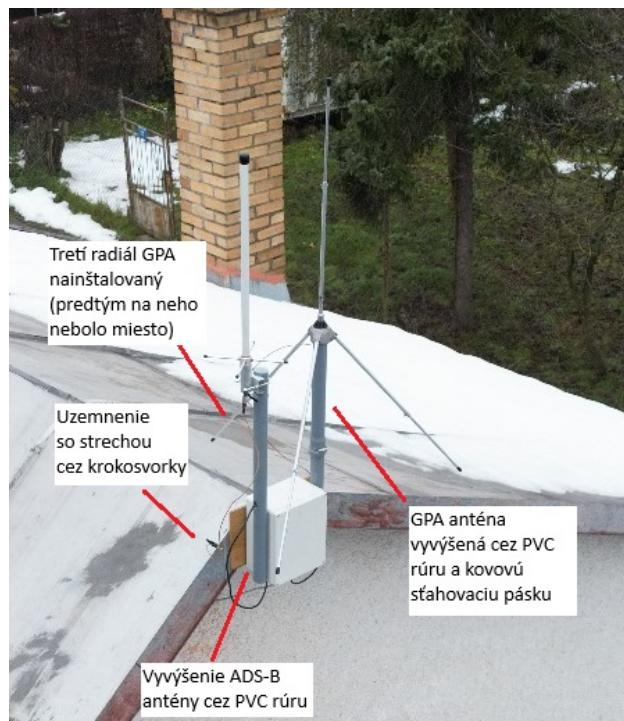


Obr. 1 – 11: Graf smeru prijímania ADS-B dát (zo západnej strany tienené kopcami, graf bol vygenerovaný počas konfliktu na Ukrajine, počas ktorého nad ním lietadlá s ADS-B nelietali) (10.12.2023)

### 1.2.2 Druhá iterácia



Obr. 1 – 12: Druhá iterácia statického prijímača - inštalácia predspracovania - zaznačené zmeny oproti prvej iterácii (19.12.2023)

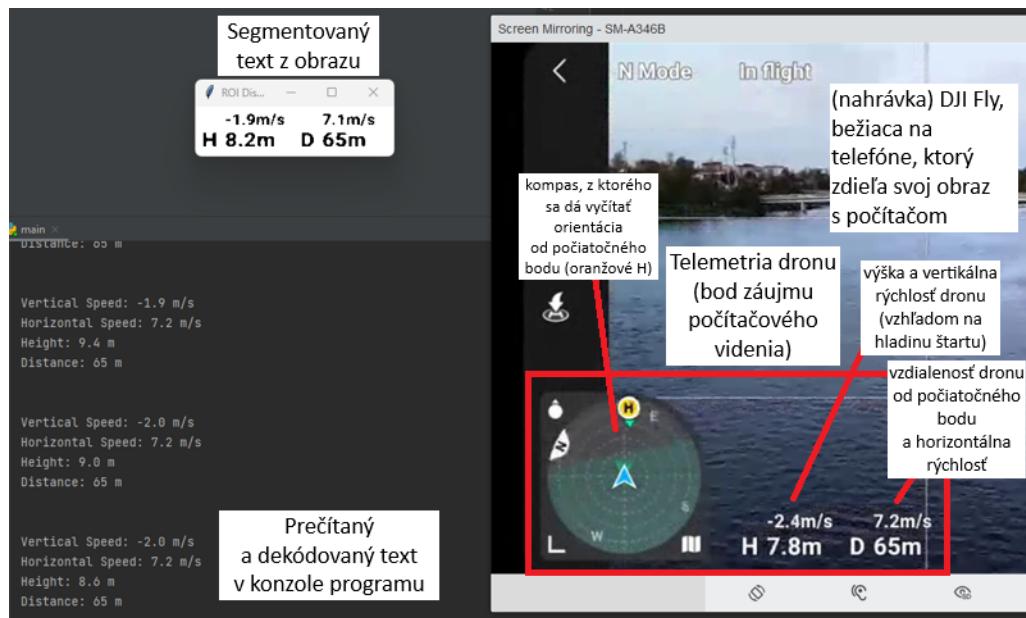


Obr. 1 – 13: Vylepšenie statického prijímača (19.12.2023)

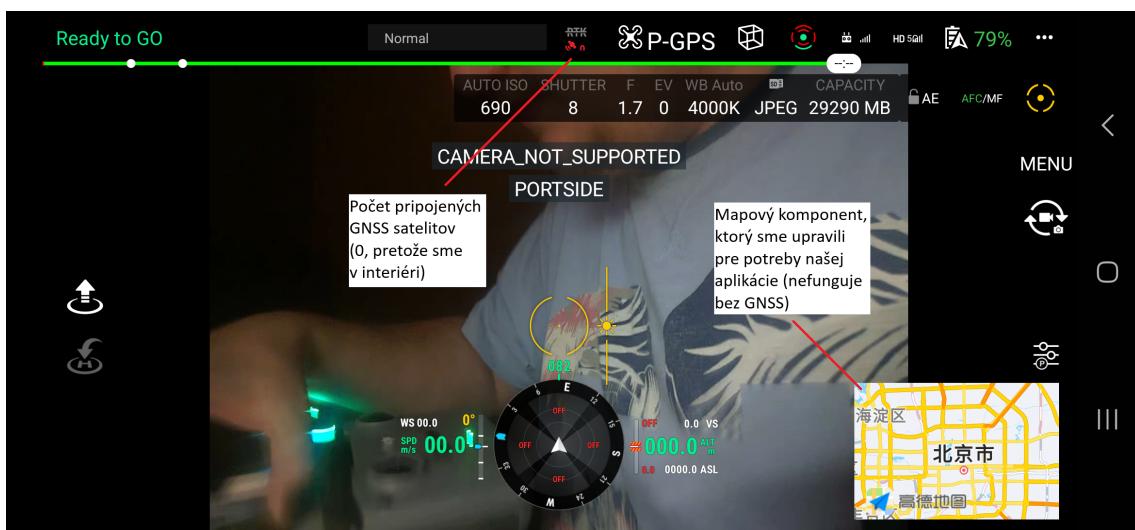


Obr. 1 – 14: Záber prijímača z 4.5.2024

## 2 Získavanie dát o polohe dronu

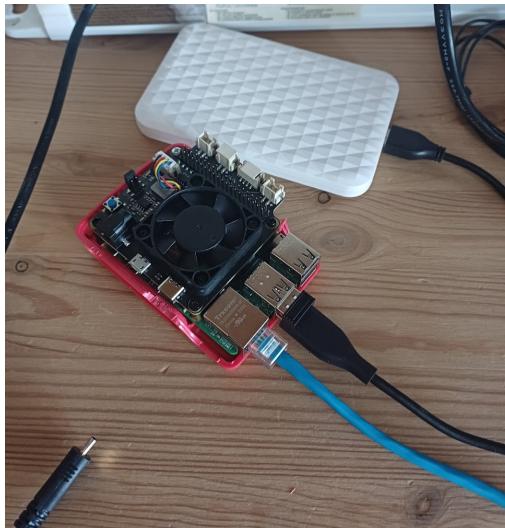


Obr. 2 – 1: Prototyp “screen scrapingu” pomocou zdielania obrazu telefónu s počítačom a použitím knižnice OpenCV pre Python (23.1.2024)



Obr. 2 – 2: Prvé úspešné spustenie DJI SDK (25.3.2024)

### 3 Stavba hlavného servera

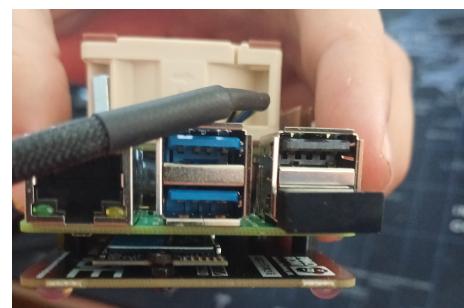


(a) Prvá verzia, vybavená napájacím hantom s ventilátorom a externým diskom



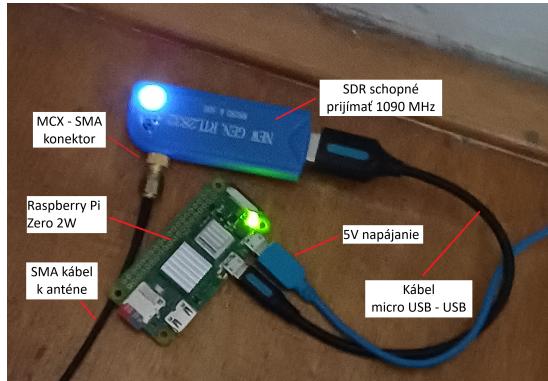
(b) Druhá verzia, vybavená Noctua NF-A4x20 5V pre tichšie a efektívnejšie chladenie

**Obr. 3 – 1:** Prvá a druhá verzia hlavného servera (založeného na Raspberry Pi 5 8GB) (19.4.2024)



**Obr. 3 – 2:** Vylepšené úložisko druhej verzie s použitím NVMe SSD (Nonvolatile Memory express Solid-State Drive) a NVMe base (19.4.2024)

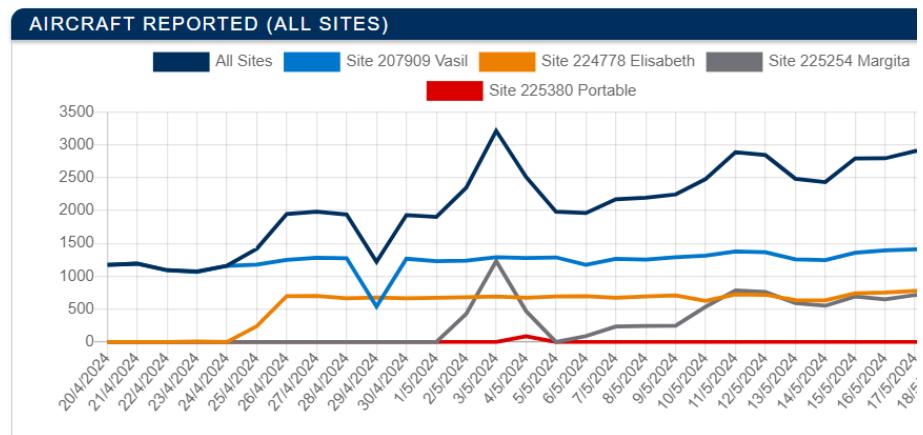
## 4 Ďalšie statické prijímače pripojené do siete



**Obr. 4 – 1:** Prvý prijímač podobný prototypu, nainštalovaný nastálo a pripojený do siete prijímačov cez hlavný server (25.4.2024)



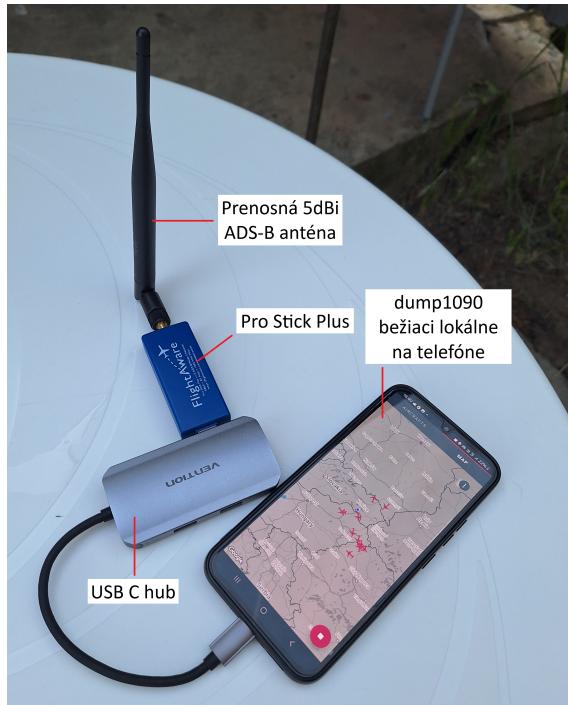
**Obr. 4 – 2:** Druhý prijímač pripojený na siet, na rovnakom princípe ako prvý, uložený na rovnakom mieste ako prototyp (10.5.2024)



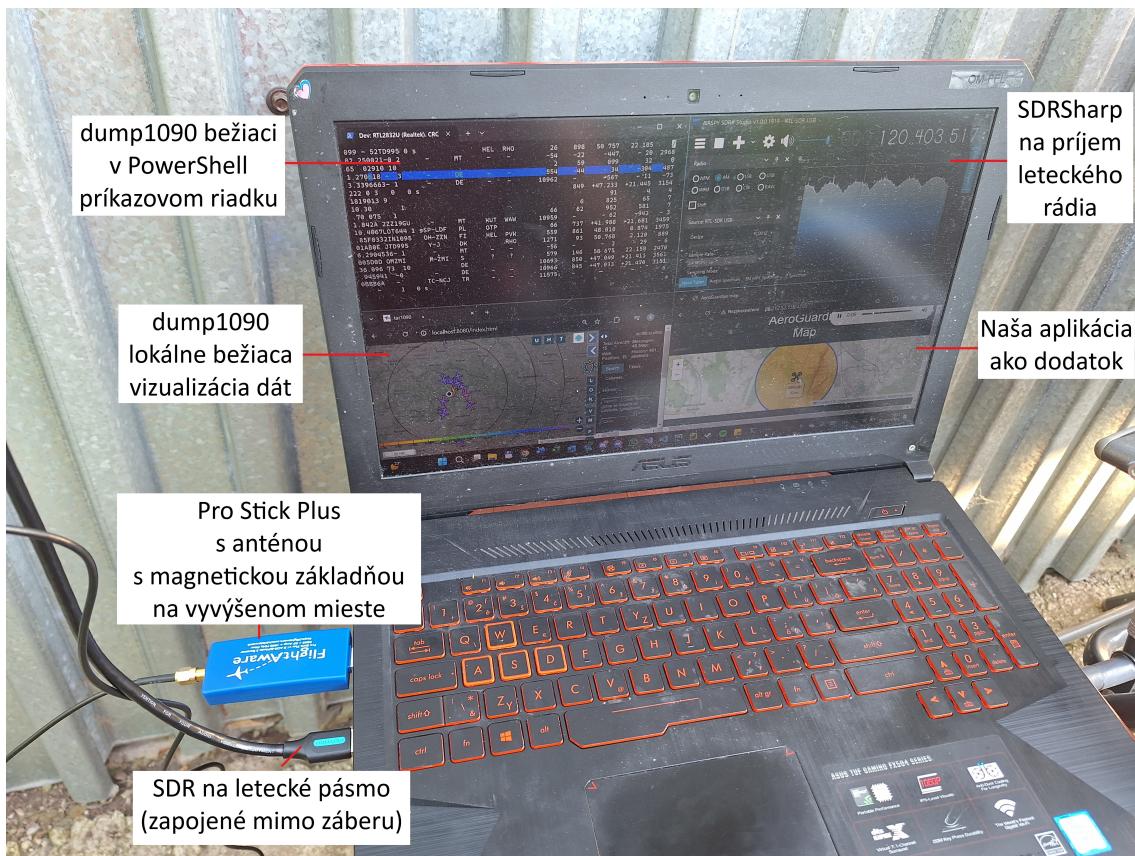
**Obr. 4 – 3:** Vplyv ďalších prijímačov na počet zachytených lietadiel sietou prijímačov

## 5 Využitie aplikácie v praxi

### 5.1 Prijímanie signálov ADS-B v teréne



**Obr. 5 – 1:** Prijímanie ADS-B pomocou mobilného telefónu (4.5.2024)

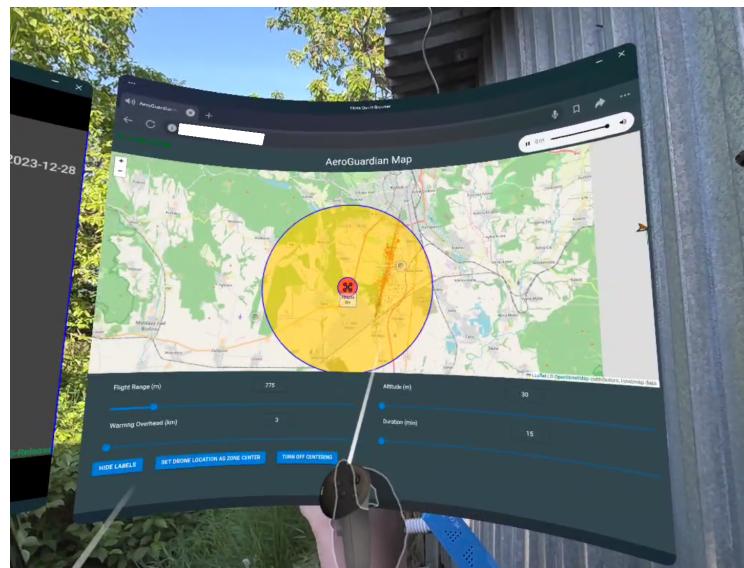


**Obr. 5 – 2:** Prijímanie ADS-B pomocou notebooku s operačným systémom Windows (4.5.2024)

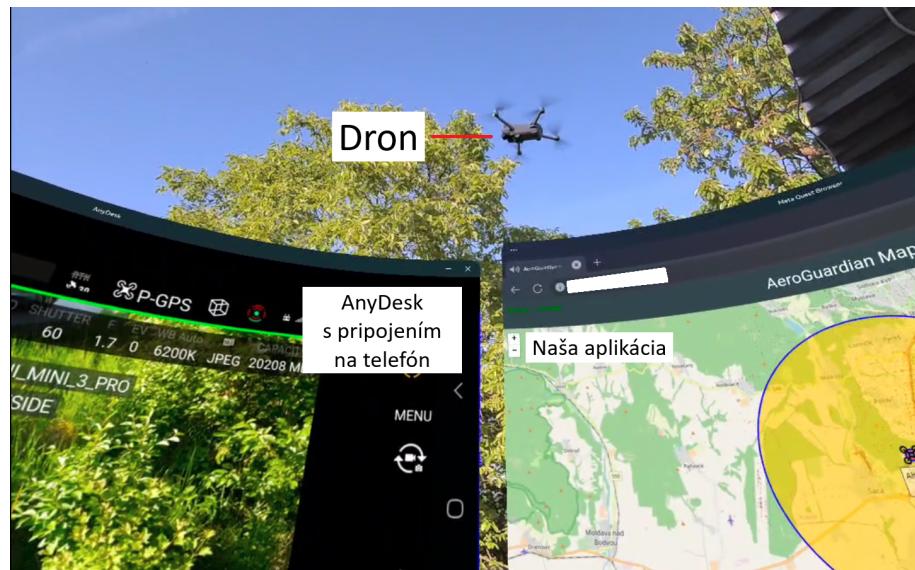


**Obr. 5 – 3:** Prijímanie ADS-B pomocou prenosného Raspberry Pi s využitím našej aplikácie (4.5.2024)

## 5.2 Využitie našej aplikácie so zmiešanou realitou



Obr. 5 – 4: Nastavovanie našej aplikácie v prostredí zmiešanej reality (snímok obrazovky z Meta Quest 3) (4.5.2024)



Obr. 5 – 5: Použitie našej aplikácie pri lietaní s dronom v zmiešanej realite (snímok obrazovky z Meta Quest 3) (4.5.2024)