

**Český
hydrometeorologický
ústav**



První zkušenosti s měřením vertikálních profilů pomocí dronu

Ing. Adriana Šindelářová

RNDr. Josef Keder, CSc.

Ing. Petra Bauerová, Ph.D.

Observatoř Tušimice



ARAMIS

(Integrovaný systém výzkumu,
hodnocení a kontroly kvality ovzduší)

Výzkum nových metod získávání meteorolog. vstupních dat

- rozšíření měření meteoveičin a koncentrací **do 3D**
- vytvořit postupy pro **získávání informací o vertikálních profilech** a jejich časoprostorových změnách
- realizovat provozní testy **nové techniky** v terénních měřicích kampaních
- na základě získaných zkušeností navrhnout standardní metodické postupy, pokrývající oblast od formulace úlohy až po archivaci datových souborů a jejich interpretaci

Dron Robodrone Sparrow 8X

- bezpilotní, dálkově ovládaná oktokoptéra
- měření **vertikálních profilů znečištění a meteorologie** v mezní vrstvě atmosféry
- užitečné zatížení až 6 kg



Vybavení pro měření

- rychlost a směr proudění větru vypočítané ze zapojení jednotlivých motorů u vrtulí
- čidlo teploty a vlhkosti vzduchu (Rotronic HygroLog)
- termokamera (FLIR Tau 2, FLIR Systems, USA)
- čítač částic PMx (Fidas Frog, Palas, DE)
- analyzátory plynů (senzory)



Dron Robodrone Sparrow 8X

- bezpilotní, dálkově ovládaná oktokoptéra
- měření **vertikálních profilů znečištění a meteorologie** v mezní vrstvě atmosféry
- užitečné zatížení až 6 kg

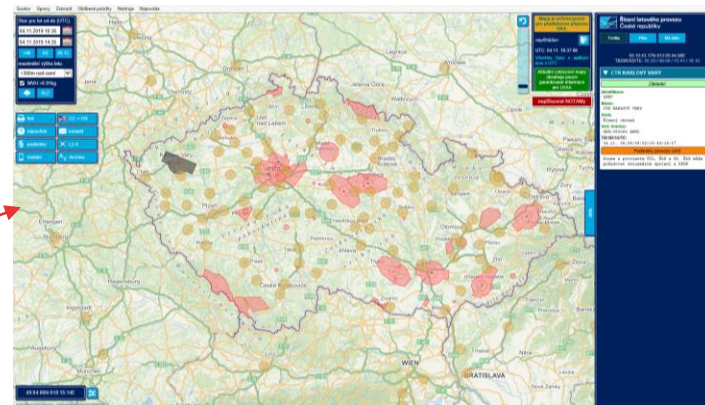


2 posádky po 2 lidech
(OBS Tušimice, ÚKO Plzeň)



Podmínky letu

- let v kategorii OPEN
- znalost rozdělení vzdušného prostoru



do 5 m/s

rychlost větru
bez omezení

do 10 m/s

rychlost větru se
zvýšenou opatrností

800 m

minimální
dohlednost

bez výskytu

podmínek pro
tvorbu námrazy

120 m

maximální výška

až 4 km

maximální dosah

okolo 20 min

maximální doba letu

30 m

minimální vzdálenost
od lidí

150 m

minimální vzdálenost
od zástavby

Měřicí kampaň



- srpen 2020
- v blízkosti plošného zdroje znečištění (povrchového dolu) v Podkrušnohoří

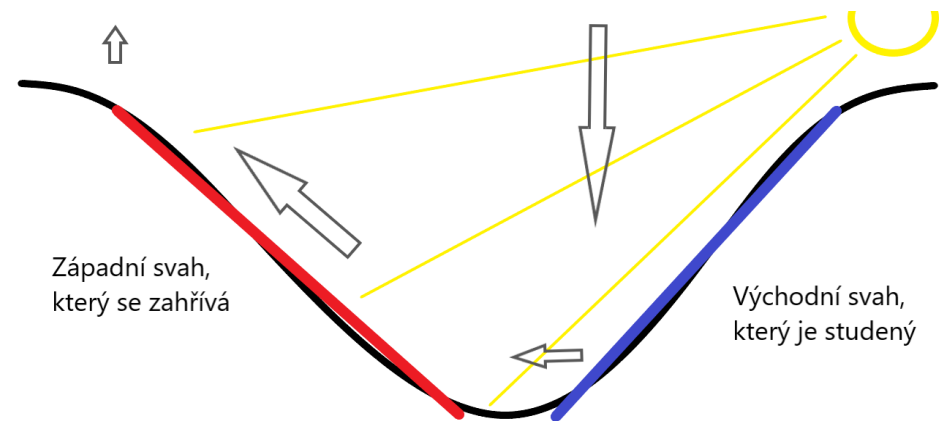
Účel měřicí kampaně?

- v okolí lomu v letním období měřeny vysoké koncentrace PM, zejména v ranních hodinách
- cíl zkušebního měření = zachytit vývoj teplotního zvrstvení atmosféry v brzkých ranních hodinách nad složitým terénem a změny koncentrací PM₁₀ ve výškovém profilu

Příčina změn koncentrací PM_{10}

- systém údolních a horských větrů, resp. proudění
- v noci se vyšší místa lomu ochlazují rychleji a studený vzduch stéká do údolí (tedy dovnitř lomu), po východu slunce se celý systém obrací a kolem svahů vystupují proudy zahřátého vzduchu ven z lomu

Horský vítr

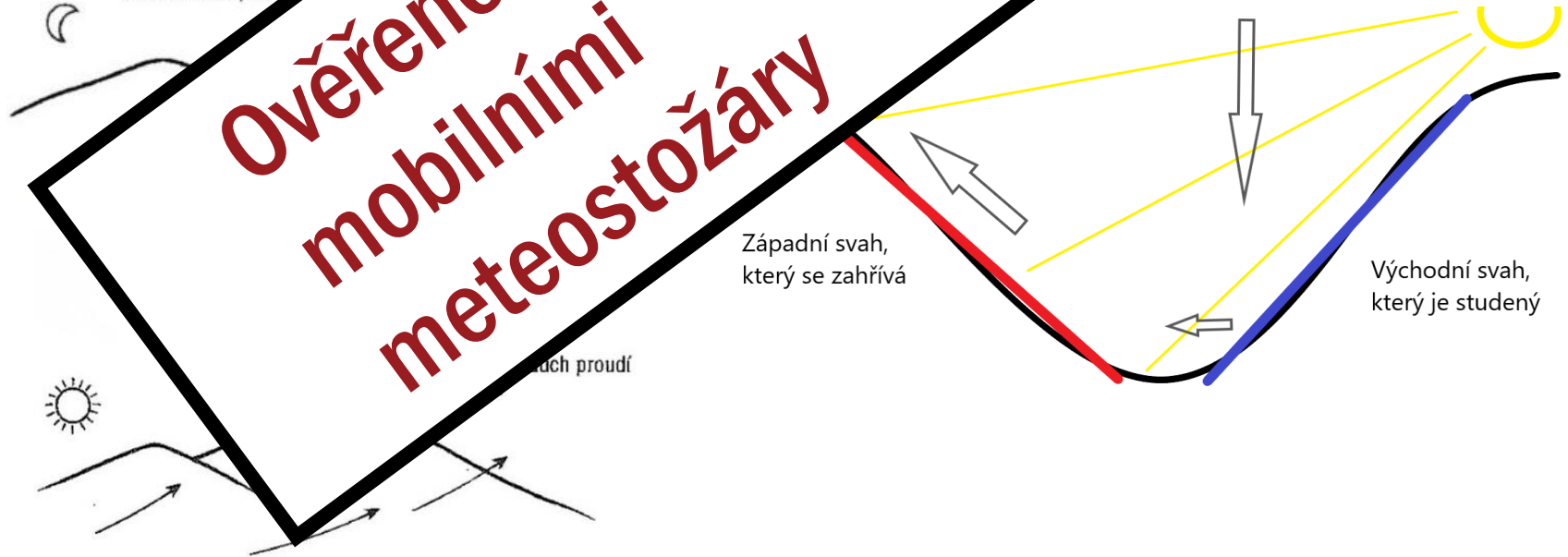


Příčina změn koncentrací PM₁₀

- systém údolních a horských větrů, resp
- v noci se vyšší místa lomu ochlazují a vzduch stéká do údolí (tedy dovnitř lomu), po ranním ohřevu v údolí se vzduch vrací na svahy, čímž dochází k částečnému obrácení proudění a kromě odvětrání vzduchu z údolí

Horský vítr

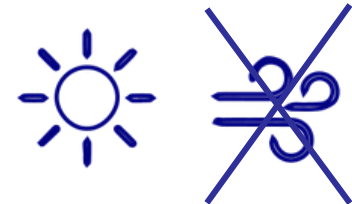
v noci a ráno proudí





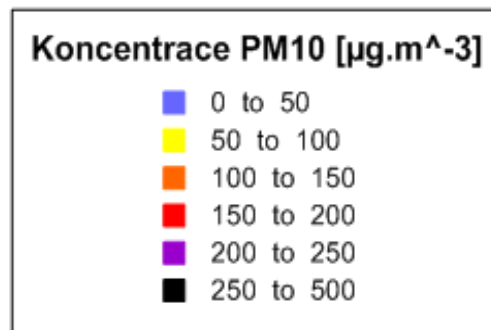
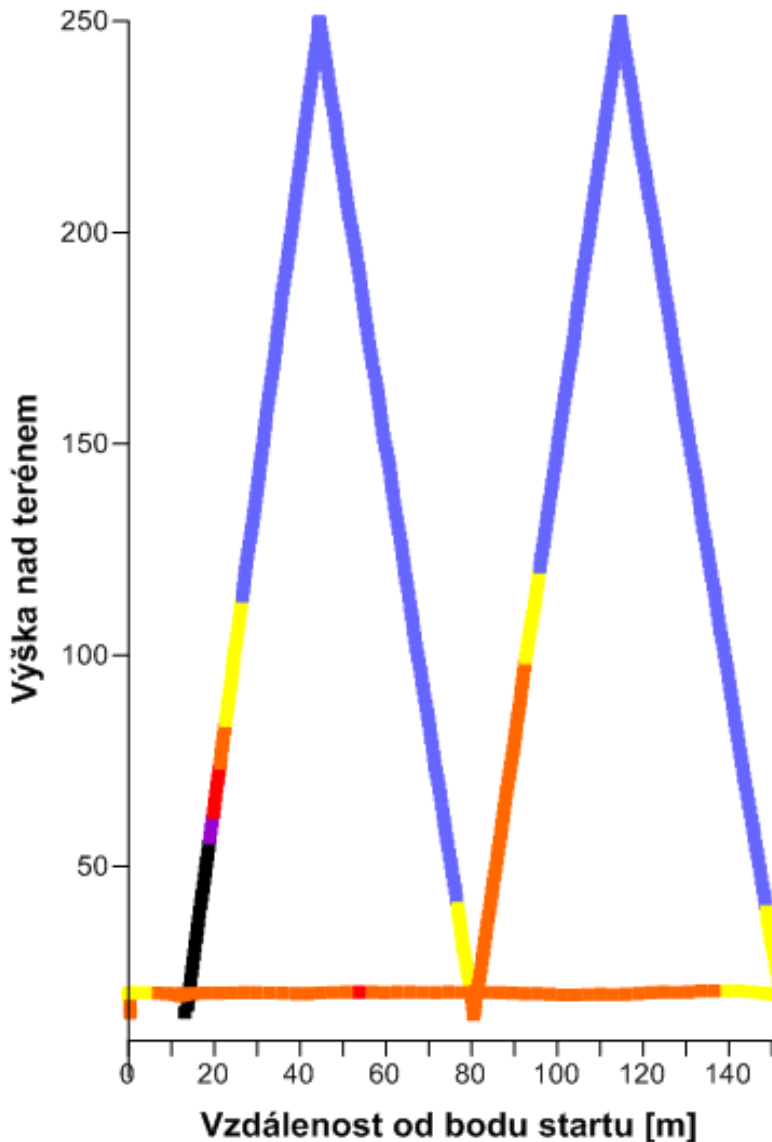
Měření dronem

- opakované navazující lety počínaje krátce po východu Slunce (cca 5:50 SELČ)
- měření koncentrace PM
- výškové profily teploty a relativní vlhkosti
- ověření přenosu PM přes západní hranu lomu
- měření proběhlo za ideálního, tj. jasného dne bez proudění s vysokými rychlostmi větru



Letový scénář

- možnost automatizace letu podle zadané dráhy, ukládání polohy a provozních dat
- dopředná rychlost a rychlost stoupání optimalizována na 2 m.s^{-1}



Zpracování dat



- navázání souborů podle času (nutná synchronizace časových základen přístrojů)
- přiřazení prostorových souřadnic
- vyhlazení, odstranění poruch a šumu
- konstrukce vertikálních profilů
- plošná interpolace metodou IDW v geostatistickém programu (**GS SURFER**)

```
datetime;latitude;longitude;X UTM;Y UTM
2020-08-12 04:47:57.600000;50.5446198;13.7097414;408581.21;5599981.71
2020-08-12 04:47:57.811383;50.5446198;13.7097416;408581.22;5599981.71
2020-08-12 04:47:58.008446;50.5446199;13.7097417;408581.23;5599981.72
2020-08-12 04:47:58.199305;50.54462;13.7097418;408581.24;5599981.73
2020-08-12 04:47:58.398183;50.54462;13.709742;408581.25;5599981.73
2020-08-12 04:47:58.613389;50.5446201;13.7097421;408581.26;5599981.75
2020-08-12 04:47:58.807591;50.5446201;13.7097421;408581.26;5599981.75
2020-08-12 04:47:58.999590;50.5446201;13.7097423;408581.27;5599981.75
2020-08-12 04:47:59.213541;50.54462;13.7097424;408581.28;5599981.73
2020-08-12 04:47:59.402439;50.5446201;13.7097425;408581.29;5599981.74
2020-08-12 04:47:59.598062;50.5446202;13.7097426;408581.29;5599981.76
2020-08-12 04:47:59.811219;50.5446197;13.7097432;408581.34;5599981.70
2020-08-12 04:48:00.020169;50.5446193;13.7097437;408581.37;5599981.65
2020-08-12 04:48:00.207405;50.5446193;13.7097438;408581.38;5599981.65
2020-08-12 04:48:00.392554;50.5446193;13.7097444;408581.39;5599981.65
2020-08-12 04:48:00.610029;50.5446194;13.7097442;408581.41;5599981.67
2020-08-12 04:48:00.802426;50.5446194;13.7097444;408581.42;5599981.66
2020-08-12 04:48:01.011441;50.5446194;13.7097445;408581.43;5599981.66
2020-08-12 04:48:01.209616;50.5446194;13.7097446;408581.43;5599981.66
2020-08-12 04:48:01.401232;50.5446194;13.7097447;408581.44;5599981.66
2020-08-12 04:48:01.601769;50.5446193;13.7097448;408581.45;5599981.65
2020-08-12 04:48:01.792652;50.5446193;13.7097449;408581.46;5599981.65
2020-08-12 04:48:01.999706;50.5446194;13.7097449;408581.46;5599981.66
```

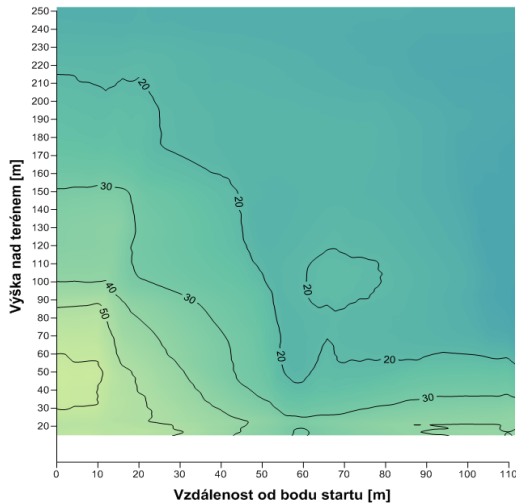
```
File: 200812let2zub
Comment:
Start at: 12/08/2020 - 08:17:26
Duration: 00:11:56
Moving Average: 60 s
Mean PM tot.: 210.76
Operator: USER
Limits:
no limits set
Comments:
no comments available
Notifications:
no notifications recorded

timestamp PM 1 PM 2.5 PM 4 PM 10 PM tot. dCn Latitude Longitude timestamp temperature [°C] rel. humidity [%]
0.00 21.23 99.79 138.52 814.18 1818.17 584.12 -1.000000 -1.000000 0.00 24.73 62.38 991.21
1.00 22.03 91.67 145.09 600.88 1188.79 593.29 -1.000000 -1.000000 5.00 25.05 61.27 991.21
2.00 22.30 88.96 147.27 523.78 979.00 596.34 -1.000000 -1.000000 10.00 25.40 60.55 991.09
3.00 22.46 94.33 157.21 609.29 1126.92 596.19 -1.000000 -1.000000 15.00 25.42 60.46 990.84
4.00 22.55 97.55 163.18 656.99 1215.68 596.09 -1.000000 -1.000000 20.00 25.36 60.46 990.96
5.00 22.15 94.82 162.35 623.07 1131.34 592.76 -1.000000 -1.000000 25.00 25.37 59.73 990.96
6.00 21.87 92.87 161.77 598.83 1071.11 590.39 -1.000000 -1.000000 30.00 25.85 58.82 990.96
7.00 21.45 90.37 156.74 576.00 1018.28 586.54 -1.000000 -1.000000 35.00 25.83 58.91 991.09
8.00 21.12 88.43 152.84 558.24 977.19 583.56 -1.000000 -1.000000 40.00 25.92 58.61 990.96
9.00 21.06 87.04 146.80 565.56 1009.95 582.52 -1.000000 -1.000000 45.00 25.94 58.47 990.84
10.00 21.02 85.91 141.86 571.54 1036.76 581.67 -1.000000 -1.000000 50.00 25.78 59.02 990.84
11.00 21.09 84.97 141.14 560.16 1009.38 581.78 -1.000000 -1.000000 55.00 25.46 60.32 990.96
12.00 21.15 84.17 140.53 550.52 986.21 581.87 -1.000000 -1.000000 60.00 25.24 61.07 990.96
13.00 21.07 82.28 138.33 528.08 947.24 581.35 -1.000000 -1.000000 65.00 25.21 60.69 991.21
14.00 21.01 80.63 136.43 508.63 913.47 580.91 -1.000000 -1.000000 70.00 25.39 60.07 991.33
15.00 20.86 80.59 134.87 516.54 927.65 578.66 -1.000000 -1.000000 75.00 25.43 59.72 990.96
```

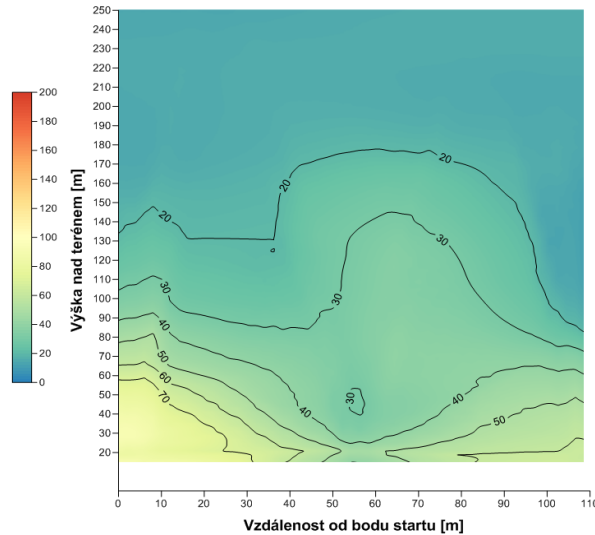
```
datetime;altitude;pressure
2020-08-12 04:47:57.679285;1.813843;98960.38
2020-08-12 04:47:57.781452;1.773654;98960.82
2020-08-12 04:47:57.892773;1.728107;98961.36
2020-08-12 04:47:58.000537;1.75222;98961.07
2020-08-12 04:47:58.106529;1.78705;98960.68
2020-08-12 04:47:58.214799;1.746862;98961.15
2020-08-12 04:47:58.321260;1.870107;98959.72
2020-08-12 04:47:58.435978;1.645051;98962.33
2020-08-12 04:47:58.545727;1.68256;98961.89
2020-08-12 04:47:58.651627;1.730786;98961.33
2020-08-12 04:47:58.756558;1.674522;98961.98
2020-08-12 04:47:58.865188;1.567353;98963.23
2020-08-12 04:47:58.968754;1.714711;98961.52
2020-08-12 04:47:59.079641;1.851352;98959.92
2020-08-12 04:47:59.184747;1.85939;98959.84
2020-08-12 04:47:59.293325;1.862069;98959.83
2020-08-12 04:47:59.396241;1.620938;98962.6
2020-08-12 04:47:59.505726;1.722749;98961.42
2020-08-12 04:47:59.615040;1.671843;98962.02
2020-08-12 04:47:59.720701;1.642372;98962.34
2020-08-12 04:47:59.825205;1.931729;98959
2020-08-12 04:47:59.929979;1.545919;98963.47
2020-08-12 04:48:00.035202;1.867427;98959.73
```

Výsledky měření – časové změny

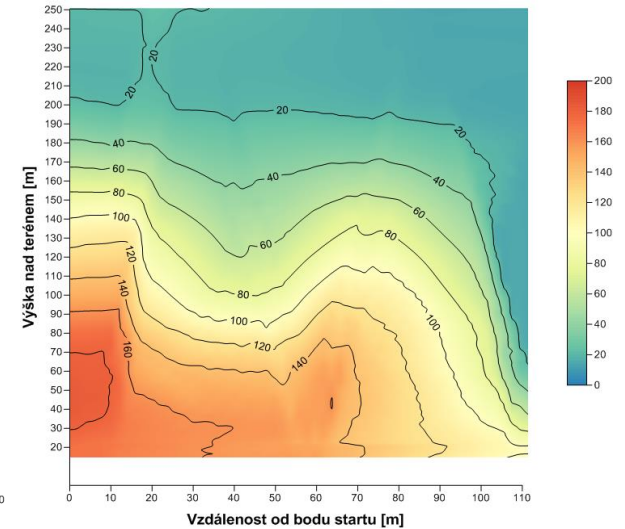
200813 4:24:10 - 4:33:17 UTC



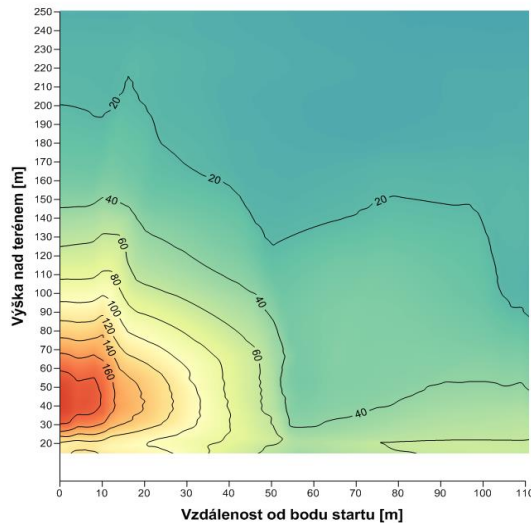
200813 4:46:53 - 4:55:49 UTC



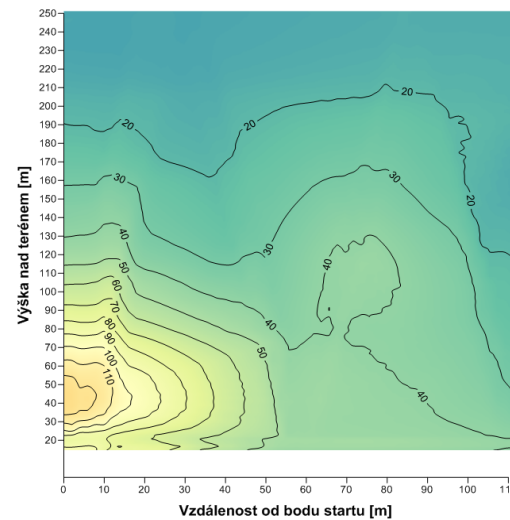
200813 5:15:48 - 5:24:49 UTC



200813 5:54:24 - 6:03:26 UTC



200813 6:41:08 - 6:50:12 UTC



Co dál?



- otestovat jiný letový scénář
- prověřit možnost kompenzace setrvačnosti čidel – zkresluje vertikální profil
- prověřit možnost měření vertikálního profilu větru
- shrnout získané zkušenosti, první verze standardních postupů

Děkuji za pozornost


Speciální poděkování technikům a pilotům dronu: J. Gajdoš (ČHMÚ), H. Hadinger (ČHMÚ), Z. Proškovec (ČHMÚ), J. Vopelka (Robodrone Industries, s.r.o.)

Ing. Adriana Šindelářová

✉ *adriana.sindelarova@chmi.cz*

RNDr. Josef Keder, CSc.

✉ *josef.keder@chmi.cz*


**Český
hydrometeorologický
ústav**