

NÉGY KUTATÁSI PROGRAM, NÉGY ÁBRA, NÉGY TÉMAKÖR – MIKROMETEOROLÓGIAI TÉMAAJÁNLÓ

Weidinger Tamás 

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: weidi@caesar.elte.hu

Bevezetés

A mikrometeorológia azon kevés tudományterületek egyike, ahol együtt van jelen a terepi mérés (annak előkészítésével, megszervezésével és lebonyolításával) az adatbázis-építés és az adatfeldolgozás, s mindemellett nem szabad megfeledkezni a tudományos célról, amiért a munkát végezzük. Egy-egy hazai, vagy külföldi mérési expedíció igazi kaland és persze sok munka. A mérési programok és a határidők diktálják a feladatokat, szabják meg a munkát. Ennél szigorúbb főnök kevés van. Egy-egy számítógépes programot többször le lehet futtatni, ha hibás a kód, ki lehet javítani. Ugyanez a terepi méréseknél, pl. egy néhány hetes balatoni expedíciónál már nehezebb. Vagy működik az adott rendszer, vagy elveszett a befektetett munka. A mikrometeorológia sajátja a hazai és a nemzetközi együttműködés, a csapatmunka. Egy-egy mérési programban nem az a kérdés, hogy ki mit és miért nem tudott megcsinálni, ki és miben hibázott, hanem az, hogyan tudjuk megoldani a feladatokat.

A TDK témaajánlóban négy most futó mikrometeorológiai mérési programról számolunk be. Különböző felszínek felett vizsgáljuk a felszínközeli légréteg profiljait, a sugárzási és energiamérleg komponenseket. Ez az alap, amit kiegészítenek célzott megfigyelések. Mindenütt szerepelnek tanszéki műszerek, adatgyűjtők, együttműködve, beintegrálódva a többi résztvevő műszerparkjába.

Méréseket végzünk szőlőállományban (Zágráb, Horvátország; Villány, Gere szőlészet; Beregsom és Bene Kárpátalján), szántóföldi növényállományban (Jakabszállás, spárga föld) (Weidinger et al., 2018). Idén augusztus végén indul a balatoni mérési expedíció a Keszthelyi-öbölben. A tél sem marad mérési program nélkül. Itt a cél a ködös helyzetek mikrometeorológiai jellemzése. Siójuton (október közepe – december eleje) és Budapesten (OMSZ, Pestszentlőrinc, 2019. január-február) lesznek az integrált levegőkémiai és mikrometeorológiai mérések. E mellett módszerfejlesztést, kötött ballonos méréseket tervezünk. Nézzük a négy programot!

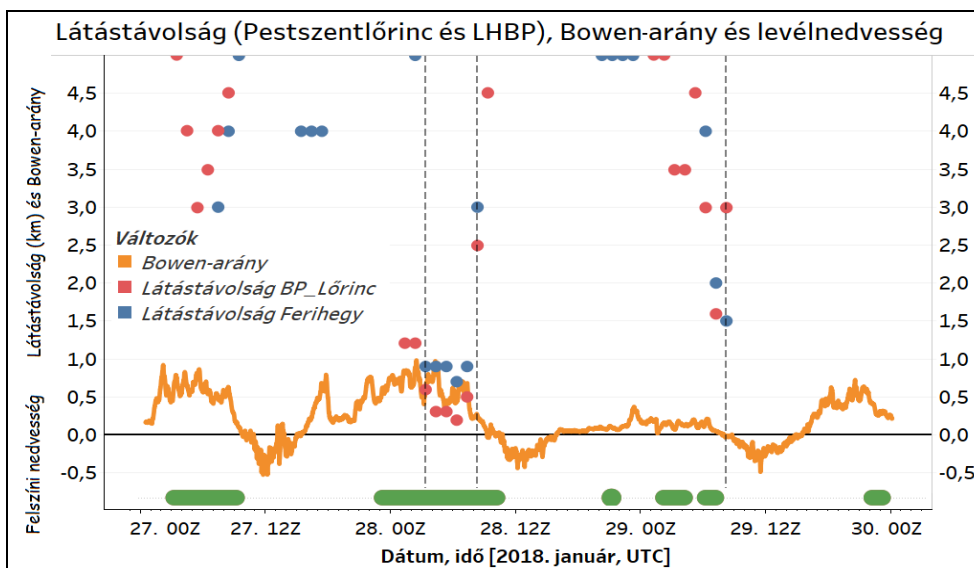
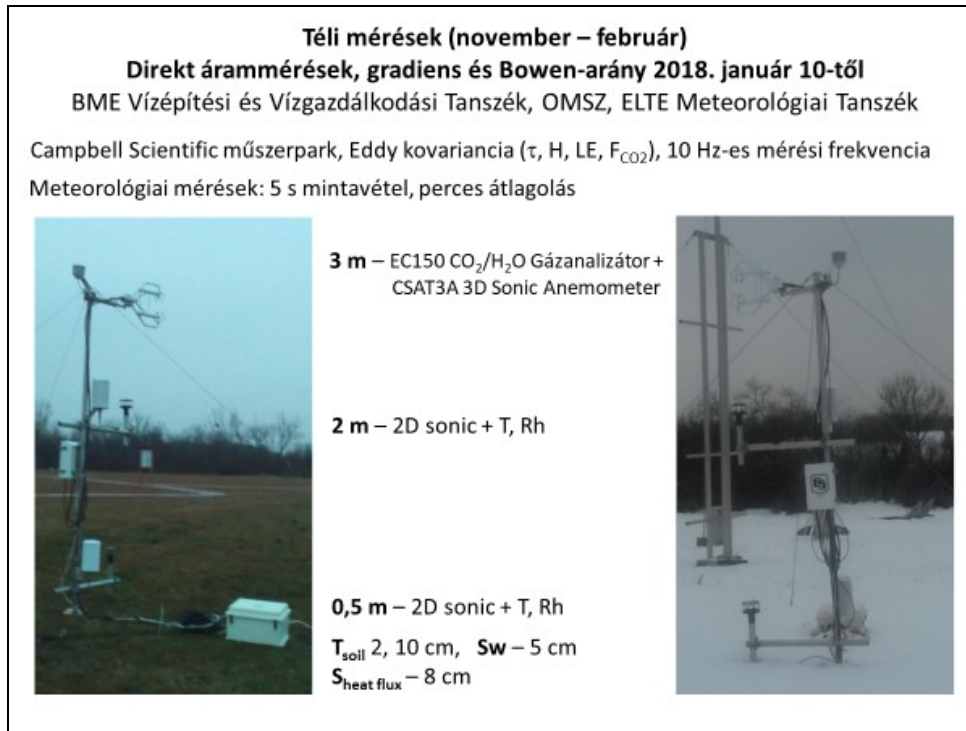
Légszennyezettség előrejelző rendszer kifejlesztése légköri víz-aeroszol kölcsönhatások figyelembevételével (GINOP-2.3.2.15-2016-00055)

A négyéves kutatási program 2016-ban indult a Pannon Egyetem (PE) vezetésével, a Pécsi Tudományegyetem (PTE, pii.pte.hu/content/ginop-232-15-2016-00055) és az Országos Meteorológiai Szolgálat részvételével.

A ködös helyzetek szinoptikus meteorológiai vizsgálata nagy hagyományokkal rendelkezik hazánkban is (Cséplő et al., 2019). Vannak cikkek a ködös helyzetek statisztikai-dinamikai előrejelzéséről is (Tuba & Bottyán, 2018). A köd kialakulásának és fejlődésének mikrofizikai és levegőkémiai szemléletű mérése és modellezése, különösen kontinentális területeken kevésbé kutatott (Haeffelin et al., 2010). Ez érthető a folyamat bonyolultsága miatt. Együtt kell kezelni a turbulens kicserélődést, a fázisátalakulási folyamatokat, a cseppképződést, a sugárzásátvitelt (rövid és hosszúhullámú), a szennyezőanyag terjedési és kémiai átalakulási folyamatokat, s mindezt stabilis rétegződés és gyenge szél mellett.

Mindehhez szükség van mérési programokra, felhőfizikai modellezésre, s a megszerzett tudás meteorológiai és terjedési modellszámításokba történő beépítésére. Vállaltuk, hogy javítjuk a köd- és légszennyezettség előrejelzést.

E munkába kapott meghívást az ELTE Meteorológiai Tanszék. Feladatunk a köd-helyzetek mikrometeorológiai hátterének mérése. Ez tartalmazza a felszíni energiamérleg komponensek meghatározását örvénykovarianciás mérésekkel a BME Vízgazdálkodási és Vízépítési Tanszékével együttműködve (1. ábra), a talajközeli réteg szél, hőmérséklet, nedvesség és turbulens kinetikus energia profiljainak meghatározását. Ezért műszerezzük fel ismét az OMSZ pestszentlőrinci 30 m-es mérőtornyát.



1. ábra: Mikrometeorológiai mérőoszlop Pestszentlőrincen (fent) (Sw – talajnedvesség, T_{soil} – talajhőmérséklet $S_{heat\ flux}$ – önkalibráló talajhőáram-mérő). Kisugárzási ködhelyzet (lent): Bowen-arány, felszíni nedvesség (zöld sáv) és a látótávolság (2018. január. 27–30).

A határréteg fejlődését rádiószondás felszállások, illetve ceilometer (CHM 15k „NIMBUS”) adatok alapján elemezzük. Rendelkezésünkre bocsátották a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren folyó felszíni és SODAR méréseket is. *(Köszönet érte!)* Az első mérési programban nem volt szerencsénk. 2018. január-februárban mindössze 6 ködhelyzet volt, összességében kevesebb, mint egy napig (1. ábra).

A következő integrált mikrometeorológiai és levegőkémiai (nyomgázok, aeroszol-részecskék, ködrészecskék méretszerinti eloszlása, ködvíz analízise, stb.) mérési expedíció a Sió völgyében lesz (2018. október 15 – december 10.) A mérőhely a Sió partján Siófoktól kb. 10 km-re fekvő Siójut mellett lesz a vízügy telepén. A domborzat, a medence jelleg kedvez a köd kialakulásának, a közeli falvak pedig az „emissziós folyamatokról gondoskodnak” a téli fűtési szezonban. Ezt követően Pestszentlőrincen (OMSZ, 12843) folytatódik a téli mérési program január elejétől. Itt már szeretnénk kötött ballonos profil-méréseket (hőmérséklet, nedvesség) is végezni. A kutatási program 2020-ig tart, így a 2019/20-as télen is mérni fogunk. Természetesen az adatfeldolgozás és a modellfejlesztés is zajlik.

Ajánlott feladatok: közreműködés a mérési program előkészítésében és elvégzésében; a felszíni energiamérleg meghatározása, illetve a távérzékelési eszközök (ferihegyi SODAR, siójuti és pestszentlőrinci a ceilometer) adatok feldolgozása, esettanulmányok (ködhelyzetek elemzése).

VOLARE (GINOP-2.3.2-15-2016-00007)

A címben szereplő mozaikszó „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen” kutatási program rövidítése (*fejlesztési programok.uni-nke.hu/ginop-232-15/a-projekt-adatai*).

Határréteg mérések
Szeged, 2013, 2015
Kötött ballon fejlesztés, 2018-19

Ballonos mérések, Szeged
Gemma Simó Diego,
Prof. Joan Cuxart Rodamilans
Univ. Palma de Mallorca

BHE Bonn UAV

Kvadrokopteres mérések, Szeged
Burkhart Wrenger
University of Applied Science,
Ostwestfalen-Lippe, Germany

2. ábra: Pilótanélküli repülőeszközök alkalmazása határréteg mérési programokban. A korábbi kutatási programok (PABLS 2013, 2015) tapasztalatai alapján (Weidinger et al., 2017) folyik a kötött ballonos mérések kialakítása.

A program három fő részből áll. Az ELTE Meteorológiai Tanszék az UAS_ENVIRON alprogramhoz csatlakozott (2. ábra). A célok között szerepel az UAV (Unmanned Aerial Vehicle – pilótánélküli légi jármű) alkalmazását segítő repüléstámogató rendszer fejlesztése, illetve az időjárás-felderítésre és határreteg mérésekre alkalmas UAV kialakítása. Ez magában foglalja az optimális géptípus kiválasztását, a műszerezettség kialakítását és a határreteg repülések programjának megtervezését, a mért meteorológiai állapothatározók feldolgozását. Egy felszíni meteorológiai állomás is része a rendszernek. Feladatunk a korábbi mérési tapasztalatok alapján a mérőrendszer fejlesztésében való részvétel, illetve a határreteg adatok feldolgozása. A 2020 őszeig tartó program keretében tervezzük a kötött ballonos mérések kialakítását a mobil GRAW rádiószondázó egység (mint alaplátvány, *graw.de*) alkalmazásával. A GRAW szonda felszerelhető kvadrokopterre és pilótánélküli repülőgépre is (2. ábra).

Ajánlott feladatok: részvétel a GRAW rádiószonda rendszerrel történő kötött ballonos és UAV-s mérések tervezésében és kivitelezésében. A felszíni meteorológiai állomás és a határreteg adatok feldolgozása, esettanulmányok készítése, mérés és WRF-modell (Vránics et al., 2017) összehasonlítások.

Első horvát-magyar mikrometeorológiai kutatási együttműködés (TÉT_16-1-2016-0034)

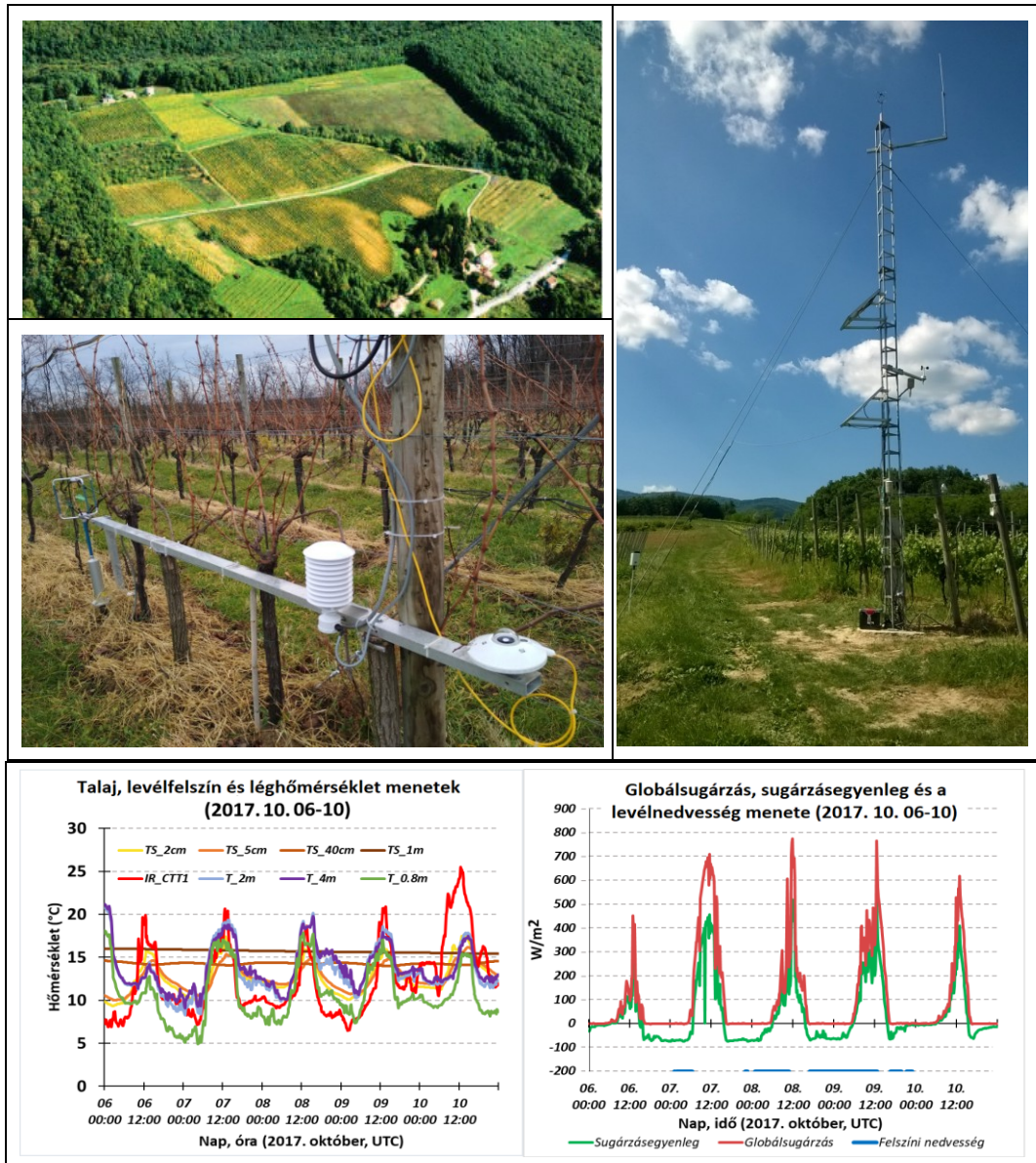
A 2017–19 között folyó program célja a felszínközeli réteg turbulens kicserélődési folyamatainak mérése, az előrejelzési modellekben alkalmazott parametrizációs eljárások validálása. A munkában részt vesz a Zágrábi Egyetem Geofizikai Tanszéke, az OMSZ és a BME Vízgazdálkodási és Vízépítési Tanszéke. A hangsúly a terepi méréseken van.

Két vegetációs perióduson keresztül mérjük egy Zágráb melletti szőlőültetvényben a felszín és a talaj energiaháztartását, a kordon művelésű szőlősorok mikroklimáját (az állomány feletti és az állománybeli sugárzás, szél, hőmérséklet és nedvességi viszonyokat, 3. ábra). Célunk a turbulens áramok meghatározása gradiens-módszerrel, illetve az állományklíma kimutatása a hőmérséklet, relatív nedvesség és a szélesség magasságszerinti változásában, továbbá az érdességi magasság és a kiszorítási rétegvastagság becslése a szélirány (a sorok elhelyezkedésének, tájolásának) függvényében.

A program keretében 2018 szeptemberében Balatonon a Keszthelyi-öbölben (3 mérőhely, az öböl két oldalán és a tó közepén) végzünk méréseket. Itt a cél a tó energiaháztartásának elemzése az iszapba jutó hőáram mérésétől a vízhőmérséklet profilon át a sugárzási mérleg komponensek és a turbulens áramok (impulzus, szenzibilis és latens hőáram) méréséig örvény- (eddy) kovarianciás és gradiens- módszerrel. A Debreceni Egyetemmel együttműködve SODAR méréseket is tervezünk, így képet kaphatunk a turbulens struktúrákról, az alsó néhány 100 m-es réteg szél- és turbulencia profiljairól. A modellezési feladat a Keszthelyi-öböl 3D tómodelljének verifikálása (Torma & Krámer, 2016). Az adatbázis alkalmas lesz a numerikus előrejelzési modellekben használt egyszerűbb, 1D tómodell (Flake) optimalizálására is. Ez már a 2019-es év feladata. (A Flake modell hazai alkalmazását lásd Vörös et al., 2010 és Kugler et al., 2014 cikkében.)

Az utolsó mérési programra az Isztriai félszigeten kerül sor 2018 késő őszen. Itt a cél a különböző szonikus anemométerek (GILL, METEK, YOUNG) összehasonlító vizsgálata, illetve a bórá mérés (Večenaj et al., 2012), a stabil légréteg turbulencia karakterisztikáinak (áramok, turbulens kinetikus energia, spektrum) számszerűsítése.

Ajánlott feladatok: mikrometeorológiai mérések módszertanának megismerése, a zágrábi és a balatoni mérések adatfeldolgozásában való részvétel, a turbulens diffúziós együttható számítása, a turbulencia statisztikai szerkezetének elemzése.

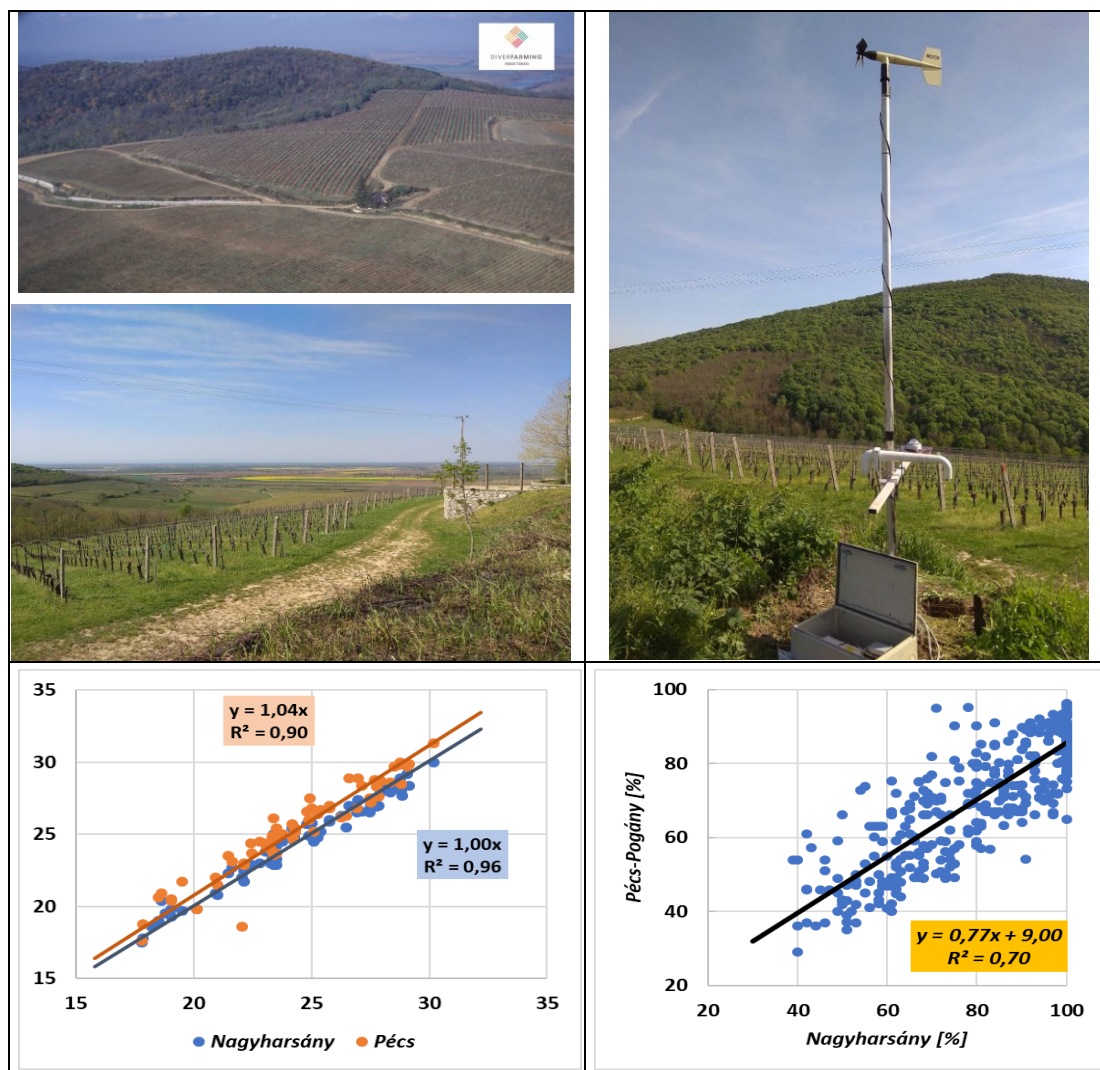


3. ábra: Mikrometeorológiai mérések a zágrábi szőlőhegyen (termesztési kísérlet). Jól látszik a kordon művelésben a tőkénél levő szonikus anemométer, UV sugárzásmérő és a Vaisala hőmérséklet-nedvesség mérő.

A felszínközeli réteg profiljait és a sugárzási mérleg komponenseket a 10 m-es oszlopon mérjük. Az alsó ábrán a hőmérsékleti menetek (talaj, levélfelszín és léghőmérséklet, balra), illetve a globálsugárzás, a sugárzásegyenleg, és a levélnedvesség (nedves-e a felszín) napi meneteit tüntettük fel (jobbra). (2018. október 6–10.)

Diverfarming (EU2020 728003)

A program a mezőgazdasági termelés optimalizációját célozza Európa különböző klímaregiónokban. Mindez magába foglalja (i) a növénytermesztés diverzifikációját (sokrétűbbé tételét), (ii) az alacsony kibocsátású farmgazdaságok kialakítását (gondoljunk itt az üvegházhatású gázokra, CO₂, N₂O, CH₄). A művelési stratégiák mellett a program érinti a mezőgazdasági tevékenység humán vonatkozásait, (iii) az ökológiai szolgáltatásoktól (iv) a bevételek optimalizálásán át egészen (v) az értékesítési lánc szervezéséig.



4. ábra: A Diverfarming program kísérleti területe a Gere-birtokon a Szársomlyó hegy mögött, a Nagyarsány irányában megnyíló, védett völgyben, a Konkoly dűlön. Jobbra az ideiglenes mikrometeorológiai állomás.

Balra lent az általunk mért napi maximum hőmérsékletek összehasonlítása a borvidéki meteorológiai állomás (Nagyarsány) és a Pécs-Pogány (12942) állomás adataival.

Jobbra lent a Nagyarsány és Pécs-Pogány órás relatív nedvesség adatainak összehasonlítása (a Nagyarsányi állomás magasabb relatív nedvességet mér, gyakran ad 100%-os értéket – ellenőrizni kell!).

A program keretében 21 európai mintaterületen (Finnországtól Spanyolországig) végeznek terepi kísérleti méréseket. A fő cél az optimális (kis környezeti terheléssel járó) művelési módok kialakítása (diverfarming.eu/index.php/en/). A kutatás hazai koordinátora a Pécsi Tudományegyetem. A program 2017-ben indult és 2022-ben zárul. Magyarországon két helyen folynak termőhelyi kísérletek: Jakabszálláson, spárga földön, és Villányban az Aka KFT szőlészetében (Gere-birtok, Konkoly dűlő). A cikkben a villányi kutatási programmal ismerkedünk. A fő feladatok: (i) a különböző művelési stratégiák (pl. csupasz talaj a sorok között, természetes (bio-) gazdálkodás, „gyógynövény szőnyeg”) hatása a termésre, szőlő/gyógynövény kölcsönhatások, (ii) nitrogén-mérleg, a talaj üvegház-gáz emissziója, (iii) az eróziós hatások számszerűsítése.

Az eltérő művelésű parcellákon a kísérleteket 3 ismétléssel végzik. Egy-egy kísérleti parcella három szőlősor, azaz két sorköz (120 m²). Minden tőkét és minden parcellát külön-külön elemeznek (pl. termésátlagok). Minden évben a biológiai aktivitás csúcsán (júliusban) felvételezik a talajparamétereket (0–10 cm és 10–30 cm) E két rétegben folyamatos talajnedvesség és talajhőmérséklet mérések folynak.

A gazdálkodók számára is gyakorlati jelentőségű talajeróziós méréseket in situ fotogrammetriás módszerrel (két kamera készít negyedóránként felvételeket a mérőhelyen), illetve egy talaj-monitoring rendszerrel (a víz által szállított hordalék csapdázása minden sorközben) végzik. A tervek között szerepel UAV-s mérés és erózió-térképezés is. A terepi mérések vezetője Dezső József, a PTE Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék adjunktusa, aki szívesen ad TDK témát.

Fontos kérdés, hogyan gazdálkodnak a talajok az üvegházhatású gázokkal (CO₂, CH₄, N₂O). Évente 16 alkalommal végeznek méréseket statikus kamrákkal a vegetációs periódusban, mérőhelyenként 9–9 ismétléssel. A tervek között szerepel a CO₂ emisszió mérés dinamikus kamrákkal. Ezt az ELTE Meteorológiai Tanszék vállalta. A rendszer kiépítése folyamatban van. Szintén a mi feladatunk a mikrometeorológiai mérés és a meteorológiai adatbázis építése. Folyamatban van egy bővített programú meteorológiai állomás beszerzése a Campbell Scientific cégtől.

Ajánlott feladatok: A két hazai Diverfarming mérőhely meteorológiai adatbázisának kialakítása, a beszerzésre kerülő automata állomások beüzemelése (adatgyűjtő-programozás, internet-es kommunikáció 3G hálózaton). A felszín és a talaj energiamérlegének becslése és modellezése. Dinamikus talajkamrás mérések expedíciós jelleggel 2019-ben, CO₂ talajfluxus számítás.

Összefoglalás

A cikkben négy kutatási programba kaptunk betekintést. Közös bennük a felszínközeli légréteg, illetve a határreteg mérése. A mikrometeorológia mint segédtudomány jelent meg a köd mikrofizikájával és a ködben lejátszódó kémiai folyamatok tanulmányozásával foglalkozó GINOP kutatásban. Az UAV eszközök repülésmeteorológiai alkalmazásaival (időjárás-felderítés) és repülésbiztonságával (pl. célzott meteorológiai előrejelzések) foglalkozó VOLARE programban szintén megkerülhetetlen a határreteg ismerete. Itt történik a repülés két „legveszélyesebb” szakasza, a fel- és a leszállás. A mikrometeorológia szerepét a mezőgazdaságban (agrometeorológia) sem kell külön hangsúlyozni. Erre mutattunk példát a zágrábi szőlőhegyen és a Villányi-borvidéken folyó méréseinkkel.

A mikrometeorológia szerves része a meteorológia tudományának. Elég csak a szenzibilis és a latens hőszállítás globális energiamérlegben betöltött szerepére gondolni: a Naptól jövő energia közel 30%-át juttatják közvetett módon a troposzférába. A felszíni és határreteg mérések nélkülözhetetlenek a numerikus modellek verifikációjában, a parametrizációs eljárások fejlesztésében is. A négy bemutatott kutatási programban közös:

- a korszerű mikrometeorológiai mérőpark alkalmazása,
- az energetikai szemléletmódon alapuló mérési stratégia,
- a helyi hatások (talaj, felszín felszínközeli és határreteg profilok) számszerűsítése.

A TDK témaajánlóban igyekeztünk felvázolni a mikrometeorológia sokszínűségét, s érdekes TDK, szakdolgozati és diplomamunka témákat javasolni. A többi már a hallgatókon múlik.

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton mond köszönetet a GINOP-2.3.2.15-2016-00055, GINOP-2.3.2-15-2016-00007, TÉT_16-1-2016-0034 és a Diverfarming EU2020 728003 pályázat kiíróinak a kutatások támogatásáért. Köszönet illeti a mérési programokban résztvevő kollégákat önzetlen munkájukért. Az ábrák elkészítésében Tordai Ágoston segített.

Hivatkozások

- Cséplő, A., Sarkadi, N., Lemler, T., Horváth, Á., 2019: Fog climatology in Hungary. *Időjárás*, 123 (in press).
- Haeffelin, M., Bergot, T., Elias, T., Tardif, R., Carrer, D., Chazette, P., Colomb, M., Drobinski, P., Dupont, E., Dupont, J.-C., Gomes, L., Musson-Genon, L., Pietras, C., Plana-Fattori, A., Protat, A., Rangognio, J., Raut, J.-C., Rémy, S., Richard, D., Sciare, J., Zhang, X., 2010: Parisfog: Shedding new Light on Fog Physical Processes. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 91: 767–783. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2671.1>
- Kugler, Sz., Weidinger, T., Ács, F., Vörös, M., 2014: A Balaton Energiaháztartásának modellezése standard meteorológiai mérések alapján. *Ecology of Lake Balaton/ A Balaton ökológiája – MTA BLKI Elektronikus folyóirata*, 2(1): 13–42. epa.oszk.hu/02200/02254.
- Torma, P., Krámer, T., 2016: Wind Shear Stress Interpolation over Lake Surface from Routine Weather Data Considering the IBL Development. *Periodica Polytechnica-Civil Engineering*, 61(1): 14–26. <https://doi.org/10.3311/PPci.9542>
- Tuba, Z., Bottyán, Z., 2018: Fuzzy logic-based analogue forecasting and hybrid modelling of horizontal visibility. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1–13: 265–277. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0513-1>
- Večenaj, Z., Belušić, D., Grubišić, V., Grisogono, B., 2012: Along-Coast Features of Bora Related Turbulence. *Boundary-Layer Meteorology*, 143: 527–545. <https://doi.org/10.1007/s10546-012-9697-6>
- Vörös, M., Istvánovics, V., Weidinger, T., 2010: Applicability of the FLake model to Lake Balaton. *Boreal Environment Research*, 15: 245–254.
- Vránics, D.F., Lovas, R., Kardos, P., Bottyán, Zs., Palik, M., 2017: WRF benchmark measurements and cost comparison. Virtualized environment versus physical hardware. *Repüléstudományi Közlemények*, 29(2): 257–272. epa.oszk.hu/02600/02694
- Weidinger, T., Papp, G., Vecenaj, Z., Dezső, J., Horváth, L., Grisogono, B., Pticar, D., Tordai, Á., 2018: Mikrometeorológiai mérések szőlőállományokban Beregszásztól Zágrábig. 10. Szőlő és Klíma Konferencia Kőszeg, 2018. április 13–14. Program és az előadások összefoglalói, 19p.
- Weidinger, T., Salavec, P., Bíróné Kircsi, A., Bordás, Á., Bottyán, Zs., Bozóki, Z., Cuxart, R.J., Gyöngyösi, A.Z., Horváth, Gy., Istenes, Z., Józsa, J., Nagy, Z., Simó, D.G., Szabó, Z.A., Torma, P., Tordai, Á.V., Wrenger, B., 2017: PABLS'13 és '15: határréteg-mérési program Szegeden. „Bányászat és környezet – harmóniában”, Tanulmánykötet (Szerk.: Cserny T., Alpek B. L.), Pécs 2017, Magyar Honi Földtani Társulat, 95–100.

Internet-es hivatkozások

- A GRAW rádiószonda adatai – graw.de/
- Diverfarming (EU2020 728003) program – diverfarming.eu/index.php/en/

- GINOP-2.3.2.15-2016-00055 program kezdőlapja – pii.pte.hu/content/ginop-232-15-2016-00055
 - VOLARE program – fejlesztisprogramok.uni-nke.hu/ginop-232-15/a-projekt-adatai
-

ORCID

Weidinger T.  <https://orcid.org/0000-0001-7500-6579>