

Mikrometeorológiai mérőrendszerek tervezése, kivitelezése és az adatfeldolgozási módszerek fejlesztése

*Agrometeorológiai mérőállomások és adatfeldolgozási
módszerek a DIVERFARMING program példáján*

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK,
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



Készítette:
Tordai Ágoston Vilmos

Témavezető:
Dr. Weidinger Tamás
ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2020

NYILATKOZAT

Név: Tordai Ágoston Vilmos

ELTE Természettudományi Kar, szak: Földtudományi BSc

NEPTUN azonosító: HOURXXK

Szakedolgozat címe:

Mikrometeorológiai mér rendszerek tervezése, kivitelzése és az adatfeldolgozási módszerek fejlesztése

A **szakedolgozat** szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló szellemi alkotásom, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Budapest, 2020.05.16



a hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS.....	4
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
2.1. AZ AGRO(MIKRO)METEOROLÓGIA HAZAI FEJLŐDÉSÉNEK RÖVID TÖRTÉNETE	6
2.2. (MIKRO-)METEOROLÓGIAI MÉRÉSEK SZEREPE AZ AGROMETEOROLÓGIÁBAN.....	7
2.3. AGROMETEOROLÓGIAI ÁLLOMÁSOK MÉRÉSI PROGRAMJA ÉS MŰSZEREZETTSÉGE.....	14
2.4. KÖLTSÉGHATÉKONY (LOW-COST) IIoT MEGOLDÁSOK.....	23
2.5. HÁLÓZATI KOMMUNIKÁCIÓS ÉS ADATTOVÁBBÍTÓ ESZKÖZÖK	26
2.5.1. Réz- és optikai hálózatok	27
2.5.2. Rádióhullámú (vezeték nélküli) hálózatok.....	29
2.5.3. Cellás mobiltelefon-hálózatok (GSM, GPRS, 2G, 3G, 4G).....	32
3. ESETTANULMÁNY: JAKABSZÁLLÁSI ÉS VILLÁNYI AGROMETEOROLÓGIAI ÁLLOMÁS	35
3.1. KÍSÉRLETI MÉRŐÁLLOMÁSOK – TERVEZÉS ÉS KIVITELEZÉS	38
3.2. ÚJ BESZERZÉSŰ CAMPBELL SCIENTIFIC ÁLLOMÁSOK (TERVEZÉS, PROGRAMOZÁS, TELEKOMMUNIKÁCIÓ, TAPASZTALATOK).....	42
3.3. ADATBÁZIS-ÉPÍTÉS, EREDMÉNYEK	48
3.4. TOVÁBBI TERVEK, FEJLESZTÉSEK.....	55
4. ÖSSZEFOGLALÓ GONDOLATOK.....	56
5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	57
6. IRODALOMJEGYZÉK	58

1. Bevezetés

A témaválasztás indítéka: érdeklődésem a műszeres meteorológiai mérések, mérőrendszerek iránt, ami a mérések tervezésétől a kivitelezésen át az adatbázis építésig és feldolgozásig terjed, hiszen teljes folyamatot ismerni kell. Így válhat feladatorientálttá a munka, s az egymásra épülő munkaszakaszok egyben minőségbiztosítást is jelentenek. Tanulmányaim során lehetőséget kaptam több mikrometeorológiai (*PABLS-2015, Magas-Andok energiaháztartási mérések, Gellért-tározó hidrogeológiai mérések, Magyar-horvát mikrometeorológiai mérési program: Zágráb, Keszthelyi öböl*) és agrometeorológiai (*EU 2020 DIVERFARMING projekt*) kutatásokban való részvételre. Fontos volt számomra, hogy a számítástechnikai ismereteimet is kamatoztathattam a tervezési, programozási, adatgyűjtési- és adatfeldolgozási feladatokban. A munka eredményei megjelentek TDK, illetve OTDK dolgozatokban, előadásokban és cikkekben (Tordai, 2015, 2017; Bordás et al., 2017; Weidinger et al., 2018; Breuer et al., 2020).

Jelenlegi feladatom a DIVERFARMING projekthez kapcsolódó mérőállomások informatikai megoldásainak fejlesztése, valamint az automatizált terepi kamrás H₂O és CO₂ mérések kialakítása. Tervezzük egy saját fejlesztésű, költséghatékony, többcélú, moduláris mérőeszköz tesztelését és alkalmazhatósági vizsgálatát is mezőgazdasági környezetben, valamint határterületben történő profilmérések alkalmával.

A mikrometeorológiai mérések módszertani háttérének (műszerezettség, informatika és távközlés, adatbázis-építés és -elemzés) bemutatása után a jelenleg folyó DIVERFARMING (Lóczy és Dezső, 2018; [1 – diverfarming.eu]) mérési program példáján keresztül szemléltetem a mérőállomások kiépítésében és az adatfeldolgozásban végzett eddigi munkámat.

2. Szakirodalmi áttekintés

A mikrometeorológiai állomások telepítését, műszerezettségét a feladat jellege határozza meg: legyen az energiaháztartás-mérés, víz-, szén-, vagy nitrogén-mérleg meghatározása, illetve különböző nyomanyagok (pl. O₃, NH₃, PM_{2,5}) felszín-bioszféra-légkör kicserélődési folyamatainak számszerűsítése (Foken, 2008; Fowler et al., 2009; Barcza et al., 2018).

A mikrometeorológiai mérések egyik legfontosabb alkalmazási területe a mezőgazdaság. Az agrometeorológiai állomások mérési programjára, telepítésére és kivitelezésére vonatkozóan számos szakirodalmi forrás áll rendelkezésre. Szinte alapműnek számít az „Agrometeorológiai változók és mérések” (Agricultural Meteorological Variables and Their Observations) című WMO kiadvány (WMO – World Meteorological Organization, Meteorológiai Világszervezet), mely több neves szerző munkája. Fejezetei részletesen tárgyalják az agráriumba telepített mikrometeorológiai állomások céljait, feladatait, technológiai és módszertani alapvonásait (Hayhoe et al., 2012; Vasiraju et al., 2012). Hasonló megközelítésben olvashatunk a témakörrel Anda et al. (2010) „Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek” című tankönyvében. A műszeres mérések elméletéről és gyakorlati alkalmazásairól Mészáros (2013) „Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek”, valamint Balasubramanian (2016) „A meteorológiai változók mérése” (Measurement of Meteorological Variables) jegyzetéből tájékozódhatunk.

A szakirodalmi áttekintő fejezet célja, hogy i.) bemutassa a meteorológiai mérések és adatfeldolgozási módszerek szerepét és jelentőségét az agrometeorológiai alkalmazásokban, ii.) összefoglalja a modern, professzionális meteorológiai mérőrendszerekkel és -eszközökkel szemben támasztott követelményeket, iii.) áttekintse a hazai gyakorlatban alkalmazott műszereket és azok forgalmazóit, iv.) ismertesse az egyre szélesebb körben használt költséghatékony internet-alapú (IIoT – Industrial Internet of Things) szenzorok alkalmazhatóságát és korlátait, v.) leírja a gyakorlatban használt – a meteorológiai adatok továbbításában alkalmazott – technikai megoldásokat, protokollokat.

2.1. Az agro(mikro)meteorológia hazai fejlődésének rövid története

A hazai meteorológiai mérések kezdete a 19. század közepére tehető. Történeti feljegyzések 1853-ban már 10, 1863-ban pedig már 40 meteorológiai állomásról tesznek említést. Konkoly Thege Miklós, az Országos Meteorológiai Intézet vezetője (1890-) igyekezett szoros kapcsolatot kialakítani a különböző mezőgazdasági szereplőkkel, valamint új vízrajzi csapadékmérő hálózatot hozott létre – ezzel is teret nyitva az agrometeorológia fejlődése előtt. Ógyalla szolgált az Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet Obszervatóriumának helyszínéül, ahol magas szintű meteorológiai mérések és kutatások is megkezdődtek (Weidinger, 2012). Az intézet által a 20. század első évtizedeiben közreadott Kis kiadványok többek között már agrometeorológiai tartalmú értekezéseket is közöltek. Ekkor az agrometeorológiai kutatás főleg a klimatikus és növényfenológiai adatok agrológiai célú felhasználását jelentette. A mikrometeorológiai kutatások hazai elméleti és gyakorlati fejlődésében Bacsó Nándor, Marczell György, valamint Zólyomi Bálint oroslánrészt vállaltak az 20. század második-harmadik évtizedeiben (Weidinger, 1988). A magyar kísérleti mikrometeorológia helyszínéül főleg agrometeorológiai obszervatóriumok szolgáltak, így e két tudományág hazai fejlődése közösen történt. 1944-ben Fáthy Ferenc vezetésével létrejött az agrometeorológiai osztály. Magyarországon ekkor már 206 klimatológiai és 1152 csapadékmérő állomás volt üzemben. Az 1950-es években megalakulnak az OMI agrometeorológiai, hidrometeorológiai és biometeorológiai alosztályai. Az agrometeorológiai kutatások fejlesztésében ki kell emelni Kulin István és Szakály József nevét. 1951-től minden évben megjelent a Beszámoló a tudományos kutatásokról címet viselő sorozat, mely a kor kutatási eredményeinek publikációjára fókuszált. 1955-ben alakult az OMI martonvásári, 1959-ben a kecskeméti agrometeorológiai obszervatóriuma. 1963-ban Szarvason, Antal Emánuel létesített agrometeorológiai kutatóállomást. Itt vízigény, evapotranszpiráció, öntözéshez kapcsolódó kutatások zajlottak, valamint az ezekhez kapcsolódó korszerű műszeres mérések is kezdődtek. A következő évtizedben több hasonló kutatóállomás létesült (Kapuvár, Kisvárd, Nyíregyháza, Keszthely, Eger, Kecskemét). Ekkor alapult a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai Obszervatóriuma is [2 – met.hu], melynek vezetője Szász Gábor volt (Szegedi, 2008). 1972-ben kezdődtek a mérések a Pannon Egyetem Keszthelyi Agrometeorológiai Obszervatóriumában, melyet Prof. Anda Angéla vezetett. 1968-ban az OMI neve Országos Meteorológiai Szolgálat, elnöke Dési Frigyes lett. Az ő nevéhez kötődik a Bács-Kiskun

Megyei Rakétás Jégeső-elhárító Rendszer is. Az ELTE Meteorológiai Tanszékéhez tartozó Erdőhátpusztai Mikroklímakutató Állomás az 1970-es évek közepéig üzemelt (vezetői: Száva Kováts József, Dobosi Zoltán, Erdős László). 1977-ben létrejött az agrometeorológiai információs hálózat, mely Antal Emánuel vezetésével 1989-ig működött (Légkör, 2012). A fő cél a konzervgyárak számára történő agrometeorológiai információszolgáltatás volt. Az 1960-as évektől kezdődik az automata meteorológiai mérések korszaka. Ebben az időszakban az úttörést a Galló Vilmos, Kozák Béla és Mezősi Miklós neveihez köthető agrometeorológiai mérésadatgyűjtők jelentették. A földfelszíni mérőállomások automatizálása a 20. század utolsó évtizedében fejeződött be. Ekkor anyagi problémák miatt a legtöbb OMSZ kutatóállomás megszűnt; a keszthelyi és a szarvasi obszervatóriumok működtek csak tovább (Kollega et al., 1996). Az OMSZ az ELTE-vel együttműködésben 2006 és 2010 között célzott mérőhálózatot hozott létre a globális klímaváltozás magyarországi hatásainak nyomon követésére (Nagy et al., 2008). E rendszer mérései a hazai agrometeorológiai információs szolgáltatások körét is bővíti, hiszen a globális klímaváltozás mezőgazdasági termelésre gyakorolt hatása és az arra adható válaszok a programhoz kapcsolódó lényeges részét képezik. A mai agrometeorológiai kutatások egyetemi tanszékekhez (Mosonmagyaróvártól Debrecenig) és a kutatóintézeti hálózathoz kapcsolódnak (Varga, 2012; Barcza et al., 2018; [3 – agronaplo.hu], [4 – agroforum.hu]). Emellett a magánszektor agrometeorológiai információs hálózata is jelentős bővülést mutat (lásd Szőke, 2014; Szőke és Vér, 2015).

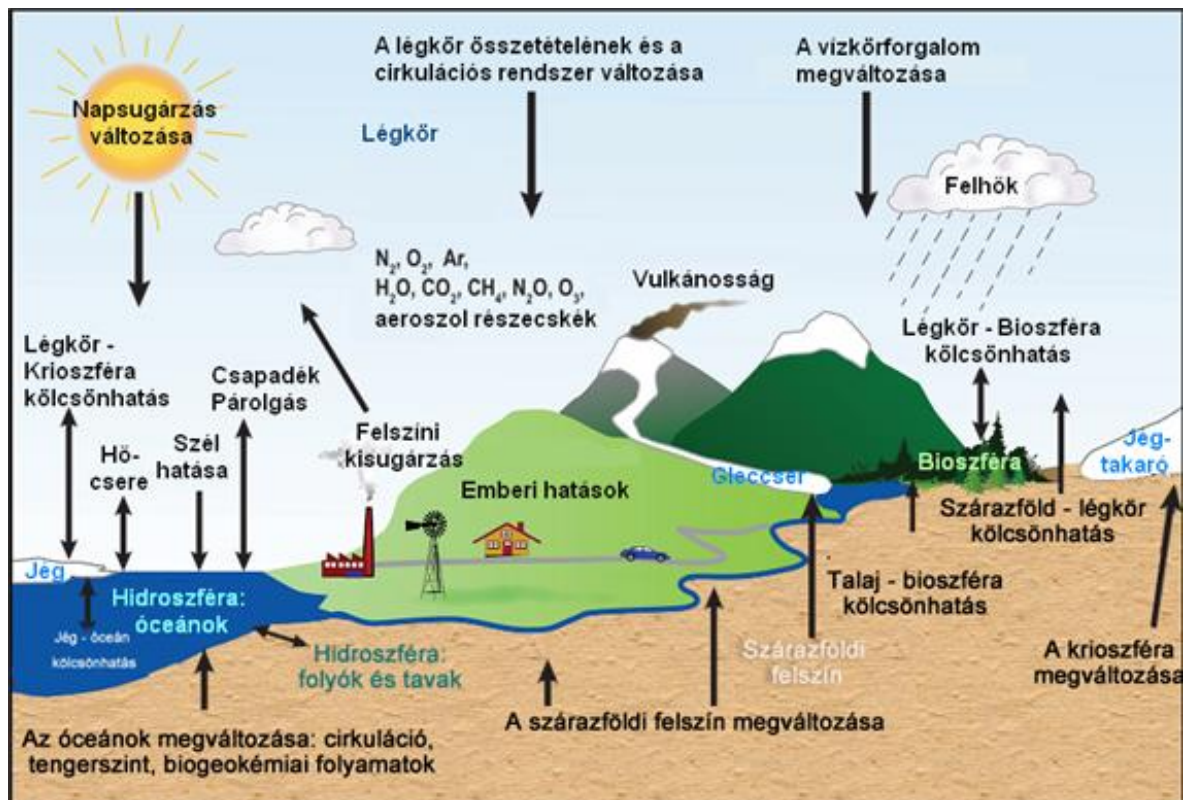
2.2. (Mikro-)meteorológiai mérések szerepe az agrometeorológiában

Az agrometeorológia tudománya a mezőgazdasági termelést befolyásoló meteorológiai, hidrológiai, talajtani és biológiai tényezőkkel foglalkozik, továbbá vizsgálja a mezőgazdaság és a természetes környezet kölcsönhatásait (Gommes et al., 2010). Célja, hogy i.) fizikai magyarázatot adjon a megfigyelt jelenségekre és kölcsönhatásokra, ii.) elősegítse az információk áramlását a mezőgazdasági szektorban, ezáltal növelve a gazdálkodók felkészültségét, iii.) kutatásokat folytasson a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatokra vonatkozóan, és iv.) operatív agrometeorológiai információkkal lássa el a szektort.

Kevés olyan humán tevékenység van, amely oly mértékben befolyásolja az időjárást, mint a mezőgazdasági tevékenység. Egyúttal azonban a mezőgazdasági termelés nagymértékben

függ az időjárási és éghajlati viszonyoktól – még az utóbbi évtizedek hatalmas technikai fejlődése ellenére is. A globális klímaváltozáshoz kapcsolódó szélsőséges események gyakoribbá válása, a regionális éghajlati változások egyre inkább növelik az agrometeorológiai szolgáltatások fontosságát [5 – viticulture.unl.edu], különös tekintettel a fejlődő országokra, ahol ez a domináns ágazat (Salinger et al., 2000). Egy célzott indiai kutatás megmutatta, hogy az agrometeorológiai információ-szolgáltatásokat igénybe vevő farmgazdaságok teljes terméshozamának elérése elérte a 10–15%-ot, a művelési költségeik pedig 2–5%-kal csökkentek a „hagyományos” gazdaságokkal összehasonlítva (Dhakar et al., 2016).

A stratégiai agrometeorológiai döntések és a hosszú távú mezőgazdasági tervezhetőség előfeltétele a környezeti erőforrások és kölcsönhatások ismerete i.) a talajban, mindenekelőtt a gyökérszintben, ii.) a talaj-növény-légkör kölcsönhatás-rendszerben, iii.) a határretegben és iv.) a szabad légkörben (Vasiraju et al., 2012). E régiókat és az éghajlati rendszer elemeinek kölcsönhatását az 1. ábra szemlélteti. A modern mezőgazdaságban az ökológiai és közgazdasági tényezők egyaránt lényeges szerepet kapnak, így a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok tervezésénél mindkét tényezőt figyelembe kell venni. Az erőforrások hiánya, az ökoszisztémák pusztulása és más környezeti problémák egyre komolyabb terhet rónak az ágazatban dolgozóakra és a döntéshozatali szervekre egyaránt. Ilyen problémák például a széleskörűen és ellenőrzés nélkül alkalmazott műtrágyahasználat, a különböző mesterséges növényvédő szerek elterjedése, illetve a nem fenntartható mezőgazdasági termelési gyakorlatok kérdésköre, beleértve ezek környezeti terhelésének és üvegházgáz-kibocsátásának figyelmen kívül hagyását, melyeknek mind rövid-, mint hosszú távú következményei jelentősek (Anda et al., 2010).



1. ábra - Az éghajlati rendszer elemei (IPCC 2007, forrás: Gelencsér et al., 2012)

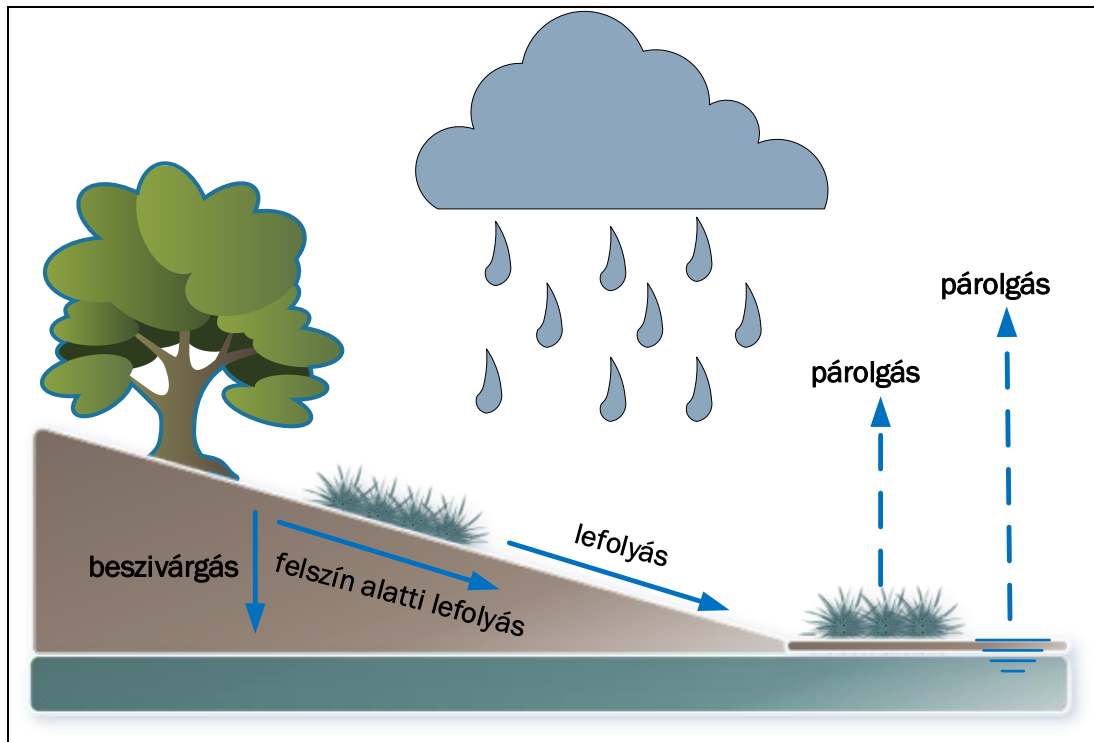
A meteorológiai információk részletes megfigyelése, mérése és közzététele, továbbá a távérzékelési eszközök (pl.: radar, lidar, műholdas adatok), valamint ezen adatokból származtatott indexek és az operatíván biztosított információ is nagy jelentőséggel bírnak az agrometeorológiai döntéshozatal során; mind a rövidtávú döntések (taktikai), mind a hosszútávú tervezés (stratégiai döntéshozatal) szempontjából (Anda et al., 2010). A jól-szervezett, nagyrészt automatizált meteorológiai adatgyűjtés, valamint a koordinált adattovábbítás, és az ezen alapuló támogató szolgáltatások az ágazat számára létfontosságúak.

A modern agronómiai tudás, és a fenntartható gyakorlatok alkalmazhatósága közvetlen kapcsolatban áll a meteorológiai információ elérhetőségével és pontosságával. A közeljövőben növekedni fog az igény a megbízható agrometeorológiai információk és szolgáltatások iránt a gazdálkodó közösségekben i.) mezőgazdasági rendszerekkel, ii.) technológiai és iii.) vízháztartási kérdésekkel, iv.) időjárás-függő kártevő- és betegségkezeléssel, továbbá v.) innovatív helyi megoldásokkal kapcsolatban. E szolgáltatások célja a nemzeti szintű irányelvek és döntéshozatal támogatása, elősegítve a.)

fenntartható fejlődést, b.) a fenntartható élelmiszertermelést, c.) a szén megkötését a mezőgazdasági ökoszisztémában, d.) az üvegházgáz-kibocsajtást befolyásoló jó földgazdálkodási gyakorlatok kialakítását (Digitális Jólét Program, 2019). E döntésekhez hely-specifikus, felhasználóbarát formátumban közölt információra van szükség.

Az egyébként is vízhiányos területeken a globális klímaváltozás a folyók vízhozamában további csökkenést okozhat. A talajvízkészlet újratöltődése követi a csapadék változását (2. ábra). Ez a tendencia valószínűleg befolyásolja majd az öntözési szokásokat is, ami az evapotranszpirációban okoz visszacsatolást. A magasabb hőmérsékletek nagyobb párolgási szükséglethez vezetnek, amely növekvő öntözési igényt von maga után. Így némely termelőterület terméshozama jelentős csökkenést mutathat, mely az élelmiszer-ellátó és élelmiszerbiztonsági rendszerekre közvetlen hatással lehet. Erre már most fel kell készülni. Ezt segíti a hazai „Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer” (Fiala et al., 2018).

A társadalmi klímatudatosság növekedésével a meteorológiai információ gazdasági értéke is növekszik (lásd Maini és Rathore, 2011, valamint Mushtaq et al., 2012). Ennek alapja i.) a minőségbiztosítás, ii.) a gyors adatfeldolgozás és iii.) az analitikus eljárások fejlesztése. A modern infokommunikációs és informatikai rendszerek segítségével lehetségessé válik a mezőgazdasági szervezetek részére történő valós-idejű adatszolgáltatás, mely megfelelően szervezve elősegíti a társadalmi-gazdasági tevékenységeket. A WMO elemzése szerint (Jarraud, 2008) az agrometeorológiai fejlesztésekben kiemelt szerepet kap i.) a mikroklimatikus menedzsment, valamint ii.) az operatív termény-monitoring és kapcsolódó meteorológiai információs rendszerek kialakítása.



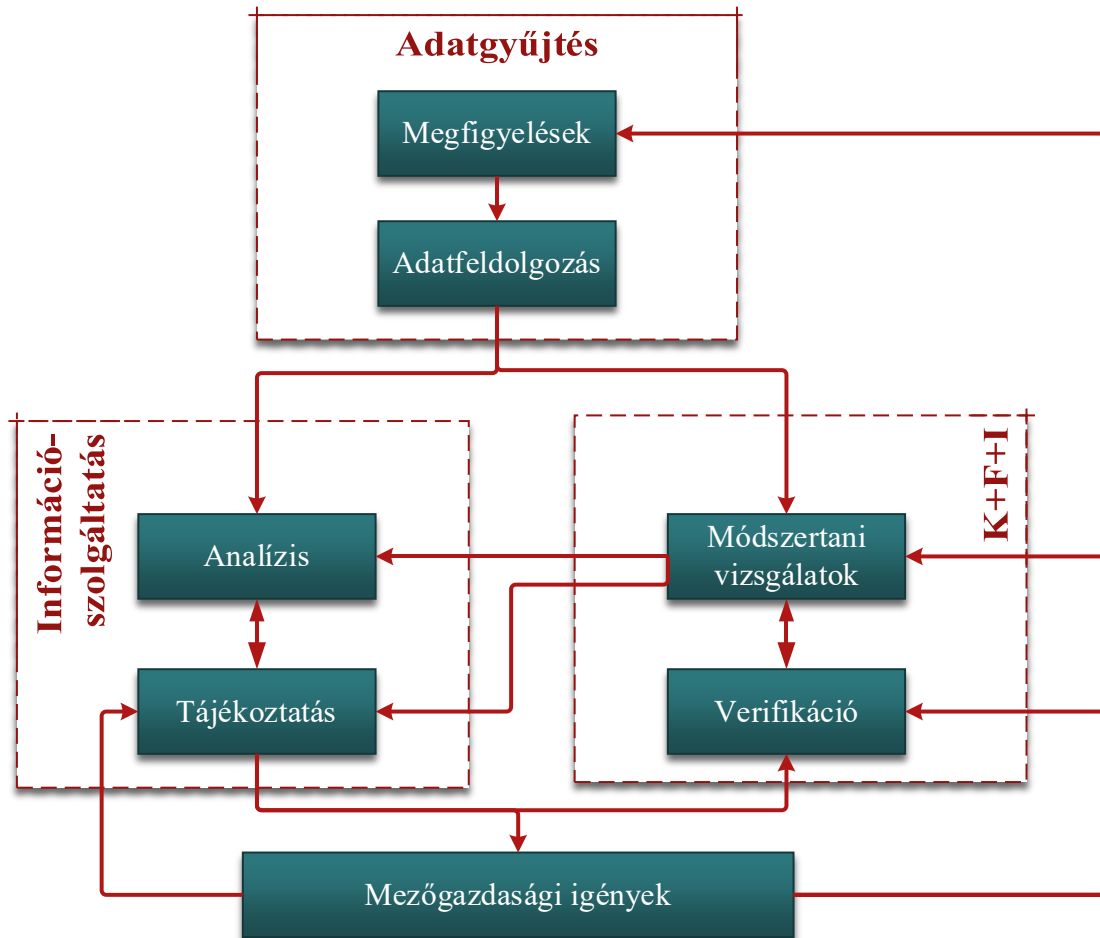
2. ábra - A hidrológiai ciklus elemei (Anda et al., 2010 alapján)

A következőkben áttekintjük az agrometeorológiai információkat szolgáltató rendszer működését, az információ áramlásának folyamatát. A különböző mezőgazdasági igények kiszolgálása érdekében három fő tevékenységi csoportot írhatunk le: adatgyűjtés, kutatás-fejlesztés-innováció (K + F + I) és információ-szolgáltatás. Mint a 3. ábrán is látható, e tevékenységek nem önállóak, hanem egymással szoros kapcsolatban állnak.

Az agrometeorológiai információ alapja a rendszeres meteorológiai és agronómiai **adatgyűjtés**, azaz a meteorológiai mérések és a mezőgazdasági megfigyelések párhuzamos, összehangolt adatbázisba rendezése. A hagyományos meteorológiai mérések itt specifikus, agrometeorológiai célokat kiszolgáló mérőeszközökkel és mérési programmal egészülnek ki, mint például a talajhőmérséklet- és talajnedvesség-mérések, a sugárzási egyenleg komponenseinek, illetve a fotoszintetikusán aktív sugárzás (PAR – Photosynthetically Active Radiation, 0,4 – 0,7 μm hullámhossz tartomány) meghatározása, levélfelület index (LAI – Leaf Area Index), levélnedvesség, talajhőáram stb. mérések.

Az **adattfeldolgozás** folyamata, bár állomásról állomásra eltérő lehet, a következő főbb lépésekből áll:

1. adatellenőrzés,
2. adatkorrekció (a nem korrigálható adatok mellőzésével),
3. statisztikai számítások (beleértve a felhasználó által elvárt indexeket is),
4. az adatsorok publikálása (K+ F + I tevékenység igényei szerint).



3. ábra - Az agrometeorológiai információszolgáltató rendszer felépítése és működése
(Anda et al., 2010 alapján)

Itt lényeges megjegyeznünk, hogy a különböző kutatási tevékenységek, illetve a végfelhasználók számára biztosított operatív információszolgáltatás formátuma között jelentős különbségek adódhatnak az eltérő meteorológiai előismeretek (az adatok részletessége) és a felhasználási célok közötti különbségek miatt. A gyűjtött és korrigált

adatsorokkal szemben olyan elvárás kell támasztanunk, hogy mindkét tevékenységi kört képes legyen kiszolgálni. Az adatok feldolgozása történhet általános célú, vagy speciális, cél-orientált szoftverek segítségével, melyek ismert számítási és modellezési eljárásokat is képesek az adatsorokon alkalmazni – ezáltal a feldolgozási folyamatot lerövidíteni (Gaspar et al., 2015).

Az agrometeorológiai **kutatások** fő célja, hogy a meteorológiai állapothatározók és a mezőgazdasági terelés közötti kapcsolatot számszerűsítse, a kölcsönhatásokat leírja. Anda et al (2010) alapján ezek a kutatások három területre oszthatók.

- *Az agrometeorológiai kísérletek* (expedíciós mérések) célja alapvető összefüggések feltárása célzott mérési programok segítségével. E kísérletek történhetnek szántóföldön vagy zárt terekben. A feladat a különböző meteorológiai paraméterek állományra gyakorolt hatásának számszerűsítése.
- *Az agroklimatológiai elemzés (analízis)* hosszabb időn át gyűjtött adatok statisztikai feldolgozásán alapul. Célja, hogy feltárja a terület mikroklímatis viszonyait, az éghajlat termelésre gyakorolt hatásait. Lényeges szempont lehet a szezonális növénybetegségek előfordulási körülményeinek elemzése is (Martino et al., 2019). Gyakran több, különböző adatforrás kerül felhasználásra egy analízis során. Itt kiemelt fontosságú a minőségbiztosítás.
- *A módszertani vizsgálatok* olyan célzott kutatási tevékenységet takarnak, amelyek feladata specifikus számítási és modellezési eljárások kidolgozása, a meteorológiai paraméterek és a termelés közötti kölcsönhatások jobb megismerése. Ilyen cél lehet pl. egy terület talajnedvesség-vizsgálata és parametrizációja, evapotranszpiráció-számítások és modellek, valamint termésátlagok becslésére használt formulák fejlesztése.

Valamennyi terület esetén elengedhetetlen az eredmények verifikációja, valamint az adatminőség és a beválási valószínűség számszerűsítése.

Az **információszoigálatás** az agrometeorológia végső céljaként tekinthető, mely során a mezőgazdasági termelés szempontjából gyakorlati haszonnal bíró információk jutnak el a döntéshozatalra jogosultakhoz. Lényeges kritérium a szolgáltatott adattal szemben, hogy i.) tudományosan igazolt, ii.) az aktuális kérdésekre választ adó, iii.) könnyen értelmezhető formátumú és iv.) a döntéshozatalban közvetlenül felhasználható legyen.

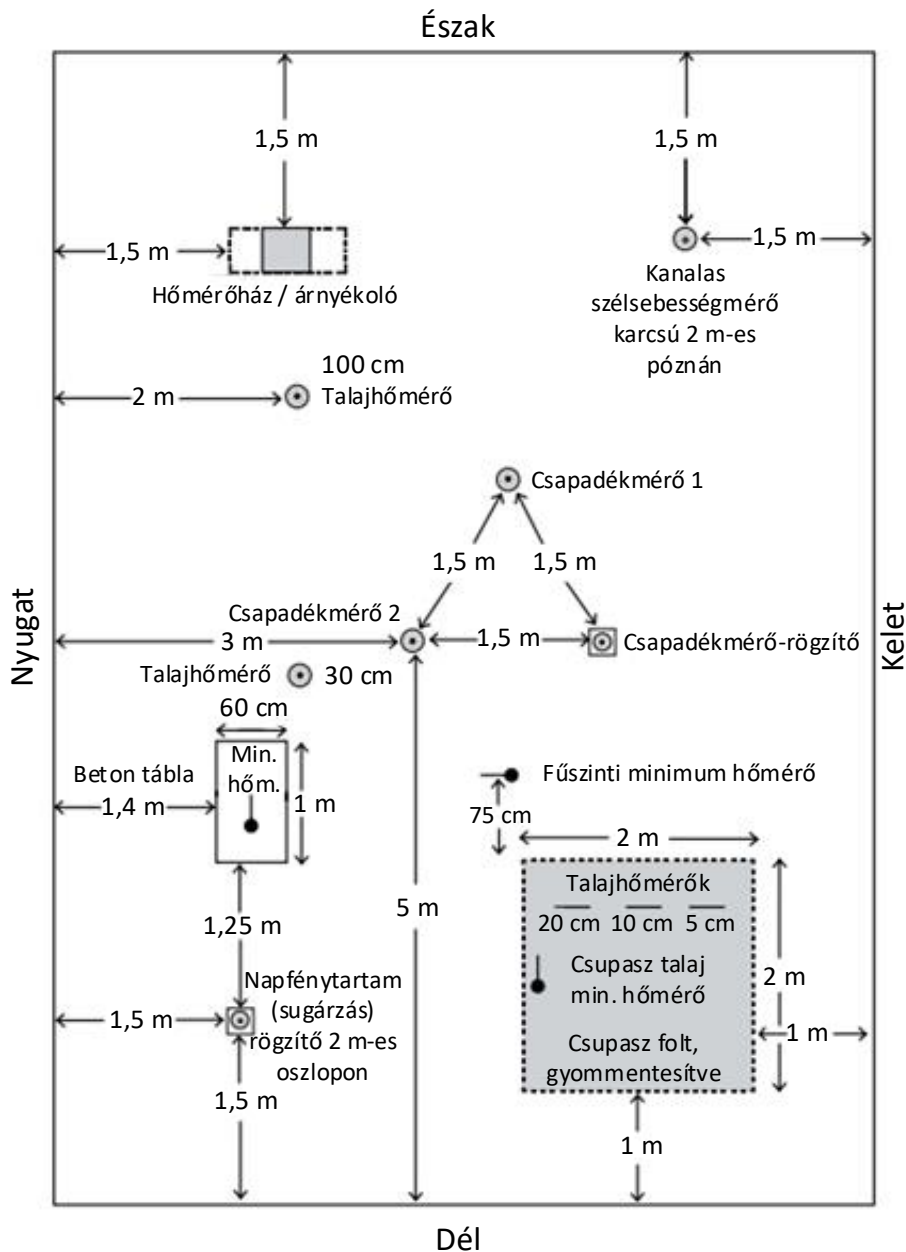
2.3. Agrometeorológiai állomások mérési programja és műszerezettsége

Amint az előző fejezetben kifejtettük, a meteorológiai műszertechnikának és mérésstudománynak (metrológia) kiemelt szerepe van a mikro- és agrometeorológiai kutatások kivitelezésében. Az elmúlt évtizedek technikai fejlődése következtében az automata agrometeorológiai állomások képesek a gyűjtött adatok azonnali (on-site) feldolgozására is (Hubbard és Sivakumar, 2001). A következőkben a WMO 134-es agrometeorológiai bulletinjére támaszkodva [6 – wmo.int] mutatom be egy általános célú agrometeorológiai állomás műszerezettségét, a legfontosabb mért és számított paramétereket. Ismertetem a professzionális meteorológiai műszerekkel szemben támasztott elvárásokat, majd bemutatom a hazai gyakorlatban elérhető legfontosabb műszergyártók- és forgalmazókat.

Az agrometeorológiai mérőállomások műszereinek egy lehetséges elrendezését a 4. ábra szemlélteti. A WMO javaslata alapján (Jarraud, 2008) az állomások mérési programja a következő fizikai állapotváltozókat tartalmazza: globálsugárzás, napfénytartam (napsütéses órák száma) illetve felhőborítottság, levegő- és talajhőmérséklet, légnyomás, szélsébség- és irány, a levegő páratartalma, talajnedvesség, csapadékmennyiség. A vízmérleg (vagy vízegyenleg), evapotranszpiráció és további fluxusok (tulajdonság-áramok) mérése, vagy a sztenderd mérésekből történő számítása is bevett gyakorlat (Allen et al., 1998, 2005). Tekintsük át az egyes mennyiségek fizikai jelentését és mérési módját!

A globálsugárzás (G_{\downarrow} vagy G_r) a Napból érkező rövidhullámú direkt és diffúz sugárzás összege. A globálsugárzás mérése piranométerrel, a direkt sugárzás közvetlen mérése pirheliométerrel történik. A piranométerek hőelemekből álló csomópontok segítségével érzékelnek. E szenzorok fekete festése a különböző spektrális hullámhosszokon való egységes termikus reakciót szolgálja. (Megjegyezzük, hogy az érzékelő felület sakktabla szerű (fekete-fehér) elrendezése (pl. a Janisevszkij-féle, vagy a Schenk pyranométer) a műszer nulla pontjának stabil beállítását biztosítja. Ezt az elrendezést a mai műszergyártók sajnos már nem alkalmazzák.) A piranométerek speciális szűrővel ellátva PAR (fotoszintetikusán aktív sugárzás) méréseire is használhatók (Stigter és Musabilha, 1982). Ma már e célból szűrővel egybeépített szenzorokat használnak pl. a Kipp & Zonen cég termékei, amelyekkel a dolgozat szerzője is mért. Léteznek fotoelektromos (napelem) eleven működő olcsó (low-cost) szenzorok is, melyek használata csak konstansnak tekintett spektrális

eloszlás esetén javasolt. A rövidhullámú sugárzási spektrum része a látható fény, mely a növényi fotoszintézis (PAR) szempontjából nélkülözhetetlen.



4. ábra - Egy agrometeorológiai megfigyelőállomás lehetséges elrendezése az északi félgömbön, a műszercsoportok közötti minimumtávolságok feltüntetésével (Jarraud, 2008 alapján)

A hosszuhullámú bejövő, vagy az égbolt visszasugárzásának ($K\downarrow$) és felszín hosszuhullámú kisugárzásának ($K\uparrow$) mérésére pirgeométereket használnak.

A különböző felületek, mint például a talajfelszín, vagy a növényállomány levélzete által kibocsájtott infravörös sugárzás kontaktus nélküli (távérzékelésen alapuló) mérése

infravörös hőmérőkkel lehetséges. Működésük a Stefan–Boltzmann-törvényen (1) alapul, mely a fekete test teljes hullámhossz tartományon kisugárzott energiáját adja meg a test hőmérsékletének függvényében. A pontos méréshez szükség van a vizsgált felület emisszivitási együtthatójának (ε) ismeretére is (Jarraud, 2008).

$$B(T) = \sigma * T^4, \quad (1)$$

$$\sigma = 5,67 * 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}. \quad (2)$$

A teljes sugárzásegyenleg a rövid- és hosszuhullámú sugárzási egyenleg összegét jelenti, melyet a sugárzásegyenlegmérő-műszerek segítségével vizsgálhatunk. Vannak integrált műszerek, de mérhetjük a sugárzást komponenseként is (3). Az integrált eszközök fekete bevonattal rendelkező sugárzásáram-mérő felületekből állnak (korábban lupolen burkolattal, ma speciális impregnált anyaggal védve), amelyekbe hőelemek vannak beágyazva, így a műszer alján és tetején lévő, ismert termikus tulajdonságú lapok közötti hőmérséklet különbséget mérik, ahonnan a kalibrációs konstansok ismeretében számítható a sugárzásegyenleg értéke. A műszertesten belüli konvekció és az egyenlőtlen felmelegedés okozta hibák kiküszöbölésére ventillációt, védőelemeket, illetve beépített hőmérséklet-kompenzáló elektronikát alkalmaznak a legjobb gyártók.

$$Rn = (G \downarrow - G \uparrow) + (K \downarrow - K \uparrow). \quad (3)$$

A sugárzásmérések kivitelezésénél fontos metaadat a műszerek hullámhossz-átengedési spektrális ablaka, a horizonton megfigyelhető bármely kitakarás, objektum, illetve a mérőeszközök és burájuk tisztasága, tisztítások időpontja.

A léghőmérséklet mérését reprezentatív helyszínen, a talajszint felett több különböző magasságban kell megvalósítani. A mérések kivitelezésénél ügyelni kell a szenzor sztenderd árnyékolására, illetve a szabad légáramlás biztosítására (Strangeways, 2003). A hagyományos üvegcsöves hőmérőket a modern automata állomásokban a bimetall, valamint a félvezető-hőmérők (termisztor) és ellenállás-hőmérők (Pt-100, Pt-1000) váltották fel. A

levegő hőmérséklete befolyásolja a növényzet fejlődését (pl. levélzetét), növekedését, az egyes fenofázisokat (pl. virágzás). A WMO a hőmérséklet-mérést agrometeorológiai főállomások esetén a vegetációtól számított 10 m-es magasságig, a kiegészítő állomások esetén néhány méterig javasolja (Gommes et al., 2010). A vertikális hőmérsékleteloszlás megbízhatóan legalább 3 különböző szinten végzett mérési eredményből határozható meg (a leggyakrabban alkalmazott szintek a felszín közelében: 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200 cm). A folyamatos mérést lehetőség szerint állandó, sztenderd körülmények között kell megvalósítani, például egyenletes fűborítás vagy csupasz talajfelszín fölött. A léghőmérséklet-mérés fontos metaadatai a szenzor(ok) magassága, valamint az alkalmazott árnyékolók típusa, anyaga, mérete.

A talajhőmérséklet közvetlenül befolyásolja a növények növekedését (vetett magok, gyökérzet és mikroorganizmusok a talajban). Alacsony talajhőmérséklet esetén a nitrifikáció gátolt, továbbá csökken a gyökérzet vízfelvétele, (Hatfield és Prueger, 2015) a túlzottan magas értékek szintén károsítják a növényt. A talajhőmérséklet-mérés sztenderd szintjei: a talajfelszíntől mérve a 2, 5, 10, 20, 50 és 100, 150 és a 200 cm-es mélység. A hőmérők telepítésénél ügyelni kell a talajjal való megfelelő kontaktusra, a sekélyebben fekvő hőmérők mélységét időszakosan ellenőrizni szükséges. A talajhőmérséklet-mérés két fajta felszínborítottság alatt történhet: csupasz talajfelszín és (rövid) fű. Általánosságban elmondható, hogy érdemes a talajhőmérséklet méréshez olyan helyszínt választani, amely felszínborítottsága és talajtípusa nagy területre reprezentatívnak tekinthető. A növényzet talajhőmérsékletre gyakorolt hatása célzott, növényzet alatti és sztenderd borítottság alatti mérések összehasonlításával mutatható ki (Mungai et al., 2000). A talajhőmérséklet mérések lényeges metaadatai az egyes szenzorok mélysége, elhelyezkedésük, a felszínborítottság, illetve a talajfelszín (aktuális) állapota.

A légnyomás mérése agrometeorológiai szempontból a nyomási mező analízisének lényeges; az állomások mérési programjának lehetséges része. Az elektromos barométerek esetén a kalibráció eltolódása az elsődleges mérés technikai hibaforrás, így rendszeres műszerkalibráció szükséges.

A szélesség- és irány sztenderd műszeres mérése az agrometeorológiai kutatás alapvető eleme. A vizsgálat céljától függően (mezőgazdasági mezo- vagy mikrometeorológiai)

különböző mérési eljárások használatosak. A leggyakoribb mérőeszközök a forgókanalas, a propelleres, a szónikus, pitot-csöves, és a hődrótos szélmérők.

A forgókanalas szélmérők a szélességmérés hagyományos eszközei. Az alkalmazott kanalak kónusz formájúak. Leggyakrabban 45°-os, vagy annál kisebb vízszintes állásszögűek (állásszög alatt aerodinamikailag a szárnyszelvény húrja és a megfűvási irány közötti szöget értjük). Ez azt jelenti, hogy a forgókanálra ható erőt (és így a mért értéket) a kanál centrumából indított függőleges síkkal lefelé és felfelé maximum 22,5°-ot bezáró szélkomponensek adják (Szlivka és Molnár, 2012). Az ideális indulási küszöb 0,1 és 0,4 m s⁻¹ közötti. A forgás elektromos (impulzus) vagy fény (fotótranszisztor) jelet generál, melyet az adatgyűjtő rögzít, így a lökésesség is közvetlenül mérhető. A propelleres szélmérők főként kutatási célból használatosak, pontosságuk a forgókanalásokhoz képest nagyobb (Wieringa és Lomas, 2001).

A szónikus szélmérők hanghullám kibocsátása és egy rögzített távolságról történő érzékelése között eltelt időt mérik. Léteznek 2 dimenziós (horizontális szélkomponensek) és 3 dimenziós (u, v, w) változataik is. Mivel válaszidejük rövid, ezért turbulencia és fluxus mérésekhez is használhatók (Kaimal, 1980). Mozgó alkatrészt nem tartalmaznak, így tartósak és a pontosságuk is kevésbé csökken az idő múlásával, mint a forgókanalas, illetve propelleres szélmérőké.

Kisebb terek szélkarakterisztikáinak meghatározásához termo-anemométerek – mint például a hődrótos szélmérő – alkalmazhatók. Működési elvük azon alapul, hogy egy elektromosan hevített drót hővesztesége a körülötte áramló levegő sebességének függvénye. Jól használhatók kis sebességek esetén, azonban törékenyek, valamint szennyezett környezetben nem használhatók operatíván. Turbulens mozgások vizsgálatánál a szélkomponensek szeparációjára alkalmazhatók.

A szélmérések legfontosabb metaadatai a műszerek válaszideje, a szenzorok magassága és kitétsége, a környező domborzat, illetve akadályok megfelelő leírása, az anemométer által küldött jel típusa, annak továbbítási módja, a használt mintavételi és átlagolási idő, valamint az alkalmazott mértékegységek.

A levegő nedvességtartalma szoros kapcsolatban áll a csapadékkal, a széllel és a hőmérséklettel. A meteorológiai szakirodalom több különböző nedvességi karakterisztikát használ, mint például a gőznyomás, a relatív páratartalom (relatív nedvesség), vagy a harmatpont (Mészáros, 2013). A levegő nedvességtartalma közvetlenül befolyásolja a növények növekedését (Heuvelink és Dorais, 2005). Az extrém magas páratartalom azért ártalmas, mert elősegíti a szaprofita és parazita gombafajok, valamint a baktériumok és különböző kártevők növekedését, melyek a növényeket károsítják. Ugyanakkor a szélsőségesen alacsony páratartalom a terméshozamot csökkenti. Hasonlóképp a léghőmérséklethez, a nedvességi karakterisztikák mérése is reprezentatív helyszíneken és különböző felszín (adott esetben állomány) feletti magasságokban szükséges. Az automata meteorológiai állomások esetében a rezisztív (pl. lítium-klorid), illetve kapacitív légnedvesség szenzorok a legelterjedtebbek (Hassanzadeh et al., 2008). Összetettebb, precízebb mérési lehetőséget biztosít az infravörös gázelemző (pl. KH-20 kripton higrométer) használata, mely a vízgőz különböző hullámhosszokon vett sugárzáselnyelő tulajdonsága alapján méri a levegő abszolút nedvességtartalmát. A légnedvesség-mérés fontos metaadatai a rendszeres karbantartások időpontja (tisztítások, cserék), a szenzorok ventilációra vonatkozó adatai, a ténylegesen mért és használt (számolt) nedvességi karakterisztikák, valamint ezek számítási módja.

A talaj nedvességtartalma alatt azt a vízmennyiséget értjük, ami a talajt 100 °C és 110 °C közé hevítve abból elpárologna (ez a termogravimetriai mérési módszer alapelve). A nedvességtartalom térbeli és időbeli változása az agrometeorológiai vízmérleg felállítása szempontjából a legfontosabb tényező (Smith és Mullins, 2000; Ács, 2005). Automata agrometeorológiai állomások esetében általában a VWC (volumetric water content, térfogati víztartalom) in-situ mérése történik a talaj dielektromos permittivitásának mérésén keresztül. A leggyakoribbak a kapacitív (FDR – Frequency-Domain Reflectometry) illetve elektromágneses (TDR – Time-Domain Reflectometry) elven működő szenzorok (Walker et al., 2004). A térfogati víztartalom definíció szerint a vizsgált térfogategységben lévő víz térfogatának és a talajminta térfogatának aránya (4). Mértékegysége m^3/m^3 .

$$VWC = \frac{V_{\text{víz}}}{V_{\text{talaj}}} \quad (4)$$

A talaj nedvességtartalmának in-situ mérésekor fontos metaadatnak számít a használt szenzor mérési elve, a mérés(ek) mélysége(i), valamint a vizsgált talaj típusa.

A levélnedvesség mérése esetén azt az időszakot vizsgáljuk, amikor egy elméleti levélfelületen vízpára-lecsapódás (harmat, dér, illetve hulló csapadék) van. A használt szenzorok („hamis levél”) általában a felületükön mért elektromos vezetőképesség változásából származtatják a levélnedvesség-adatokat. Ugyanakkor fontos kihangsúlyozni, hogy e szenzorok mérése csak közelítő eredményt ad, ugyanis a szenzortest és a „valódi” levelek hőkapacitása eltérő. E szenzorok megfelelően elhelyezve alkalmasak lehetnek csapadék-egzisztencia jelzésére is. Metaadatként lényeges az elhelyezésük magassága és vízszinteshez képest vett dőlésszögük. A levélnedvesség direkt mérésének hiányában a relatív páratartalommal becsülhető (Sentelhas et al., 2008).

Az agrometeorológiai csapadékmérések általában klimatológiai, illetve biztosítási célokat szolgálnak. Fontos megjegyezni, hogy a méréseken túl a megfigyeléseknek is kiemelt szerepe van, hiszen bizonyos hidrometeorokat (jégeső, jégdara) nem minden esetben lehetséges automatizált technikák segítségével precízen mérni. Az automata állomások általában billenőedényes csapadékmérővel vannak felszerelve. A szél hatását egyensúlyozandó lényeges a csapadékmérő formai kialakítása és magassága és szélárnyékolóval való ellátása a helytől függően. Több csapadékmérő rendelkezik beépített fűtéssel, így a hó vízegyenértéke is mérhető velük. Az agrometeorológiai gyakorlat a csapadékösszegezen túl a csapadékos időszak hosszát és a csapadékintenzitást is használja. A csapadékmérés fontos metaadatai a csapadékmérő peremének átmérője, annak talajfelszín feletti magassága, a levegő áramlását módosító kiegészítő jelenléte, túlcsondulási tároló jelenléte, illetve, hogy képes-e mérni szilárd halmazállapotú csapadékot.

Bár az evapotranszpiráció becslésére mért állapothatározók alapján több módszer is rendelkezésre áll (Tímár, 2014), de a direkt mérési módok preferáltak. A „mérésen túl” lényeges kérdés különböző állományokban a konkrét fizikai háttér (pl. növénymagasság, LAI, talajadatok) feltárása is (Rácz, 2014). A potenciális evapotranszpiráció pontos mérése liziméter (evapotranszspirométer) segítségével történhet. Egyre több automatizáltan működő liziméteres méréssel is találkozhatunk a szakirodalomban (Lazarovitch et al., 2006; Shukla et al., 2006; Anda et al., 2010; Barcza et al., 2018).

A professzionális meteorológiai műszerekkel szemben támasztott követelmény, hogy i.) a meghatározott minimum pontossági értéket teljesítsenek (1. táblázat), ii.) ellenőrizhető, megbízható működésűek legyenek, és iii.) legyen megoldható a kalibrációjuk.

1. táblázat - Egyes meteorológiai változók WMO által javasolt minimum mérési pontossága (Jarraud, 2008 alapján)

<i>Változó</i>	<i>Elvárt minimum pontosság (napi értékek)</i>
Hőmérséklet (beleértve a maximum / minimum, száraz és nedves, illetve talajhőmérsékletet is)	< $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Csapadékmennyiség	± 1 mm
Napsugárzás	10% (± 1 óra)
Párolgás	± 1 mm
Relatív nedvesség (páratartalom)	$\pm 5\%$
Napsütéses időszak (fotoperiódus)	10% (± 1 óra)
Szélesség	$\pm 0,5$ m/s
Légnomás	$\pm 0,1$ hPa

Végezetül – a teljesség igénye nélkül – bemutatom a hazai agrometeorológiai gyakorlatban jelenleg elérhető néhány neves műszergyártó- és forgalmazó céget, illetve az általuk forgalmazott eszközök típusait (2. táblázat).

2. táblázat - Hazai gyakorlatban elérhető professzionális meteorológiai mérőeszközök gyártói és forgalmazói

Műszergyártó/forgalmazó neve	Telephely	Gyártott / forgalmazott műszerek, szolgáltatások
Agrogazda.hu mérőműszerek Kft.	Székesfehérvár	Saját fejlesztésű meteorológiai adatgyűjtő és csapadékmérő áll.
Innomet	Szolnok	Saját fejlesztésű agrometeorológiai, repülésmeteorológiai, és többcélú automata állomás
Boreas Fejlesztő és Szolgáltató Kft.	Érd	Saját fejlesztésű meteorológiai adatgyűjtők, T/Rh szenzorok, szélirány- és sebességmérők, csapadékmennyiség, csapadékállapot, napsugárzás (G↓, Rn, UV, lux), talajnedvesség szenzorok, elektronikus párolgásmérők, gázérzékelők
C+D automatika	Budapest	Lufft (Lidar és kombi szenzorok), Kipp & Zonen (sugárzás- mérők és adatgyűjtők), Kriwan (szélmérők) eszközök forgalmazása, telepítése
Eurochrom Kft.	Szombathely	Komplett professzionális meteorológiai állomás, szoftver, szélesebbésmérők, kalibráció
Interduna-Impex Kft.	Kecskemét	DAVIS Instruments, Lufft GmbH, valamint TFA-Dostmann eszközök forgalmazása (hőmérők higrométerek, barométerek, agrometeorológiai állomások)
ABACUS PLUS Automatizálási Kft.	Gödöllő	Adatgyűjtők, hőmérséklet, páratartalom, légnyomás, CO ₂
Davis Instruments	nemzetközi	
Kipp & Zonen	nemzetközi	
Huskeflux	nemzetközi	
Campbell Scientific	nemzetközi	
LI-COR	nemzetközi	
Gill Instruments Limited	nemzetközi	
Lufft GmbH	nemzetközi	
Vaisala	nemzetközi	hazai fogalmazó a Mettech Bt.

2.4. Költséghatékony (low-cost) IIoT megoldások

A professzionális agrometeorológiai állomások kivitelezése költséges folyamat. Az egyre inkább elterjedő kisméretű, olcsó szenzorok és fejlesztőrendszerek térnyerésével jogosan merül fel a kérdés, hogy ezeket az eszközöket milyen módon tudjuk alkalmazni agrometeorológiai kutatások során. E fejezetben gyakorlati példákon keresztül áttekintjük a szakirodalomban fellelhető IIoT alkalmazásokat, vizsgáljuk kapcsolatukat a professzionális meteorológiai műszerezettséggel, elemezzük alkalmazhatóságuk korlátait.

Az IIoT (Industrial Internet of Things), azaz „ipari dolgok internete” fogalma olyan elektronikai eszközöket takar, amelyek önállóan vizsgálnak valamely lényeges információt és ezt az információt internet-en (vagy tetszőleges Ethernet hálózaton) keresztül képesek más eszközökkel megosztani. Ide értjük azokat a különböző szenzorokat és szenzorrendszereket is, amelyeknek megoldott a hálózati összekapcsolása. A különböző IIoT eszközök telepítést követően emberi beavatkozás nélkül képesek működni. Céljuk az időigényes tevékenységek automatizálása.

A különböző költséghatékony (low-cost) IIoT szenzorok alkalmazása az agrometeorológiában is növekszik (Desai et al., 2007). Mivel a professzionális mérőállomásoknál nagyságrendekkel kisebb költségráfordítással üzembe helyezhetők, így alkalmasak lehetnek egy-egy paraméter nagy sűrűségű, nagy területet lefedő mérésére (lásd pl. Fisher és Gould (2012)) cikkét a nyílt forráskódú Arduino platformra épülő öntözéstámogató rendszerről). Természetesen ennek általában ára van; a kisebb mérési pontosság, ami különböző utófeldolgozási eljárásokkal csökkenthető. Ezek az újgenerációs szenzorok alkalmasak lehetnek olyan helyszíneken történő használatra, ahol a professzionális állomás telepítése túlzottan költséges lenne (Adoghe et al., 2017), vagy egyéb okból nem telepíthető. További alkalmazhatóságuk az egyedi tervezhetőségből és testreszabhatóságból fakad (Ojha et al., 2015). Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a legtöbb ilyen szenzor kalibrálhatósága megkérdőjelezhető (amennyiben egyáltalán lehetséges), így a minőségbiztosítás itt nagy körültekintést igénylő feladat (lásd Campbell et al., 2013; Lung et al., 2018). Szintén lényeges kérdés az eszközök közép-és hosszú távú stabilitása. Sokakban felmerül a kérdés, hogy a technológia alkalmas lehet-e akár a professzionális meteorológiai állomások helyettesítésére, illetve különböző kutatási feladatok megvalósítására. Az ilyen automata állomásoknak több, nem-funkcionális kritériumnak kell

felelnie, mint a megbízhatóság, üzembiztos működés, adatok (szenzorok) garantált pontossága (minőségbiztosítás), energiafogyasztás kérdése, adatelérés lehetőségei (Nsabagwa et al., 2018).

Azonban egyre több sikeres alkalmazással találkozhatunk az agrometeorológiai területen. A cél olyan speciális kutatási és módszertani feladatok megvalósítása, amelyek hagyományos automata agrometeorológiai állomások segítségével hatékonyan nem kivitelezhetők. Ilyen operatív szenzorhálózatról olvashatunk például Beckwith et al. (2004) cikkében: egy 65 node-ból (csomópont) álló hőmérséklet-mérőhálózat került telepítésre mindössze ~8000 m²-es szőlőültetvényben. A kutatás célja a szőlőültetvény hőmérsékleti inhomogenitásainak feltérképezése, beleértve az ültetvények közötti sorközök hatását is. Mivel a különböző szőlőfajták hőigénye eltérő (különösen a növekedési periódusban), az ehhez hasonló kutatások az ültetési és termelési hatékonyság növelésére szolgáló módszereket eredményezhetnek. A kutatás során a Berkeley Mote elnevezésű kisméretű fejlesztőeszközt használtak. Ez egy mikrovezérlőre épülő, 3 VDC tápfeszültségről üzemelő, alacsony energiafogyasztású eszköz, ami 916 MHz-es frekvenciájú rádióhullámú jeladóval van felszerelve. A hőmérséklet érzékelésére termisztorokat (YSI 44006) használtak. Bár a hőmérsékleti és hőterhelési mérések sikeresek voltak, a rádióhullámú hálózat hatékonysága csak 77%-os volt, így előfordult adatvesztés, sőt a hálózat újraindítása is több esetben szükségessé vált. A kutatás kimutatta, hogy hasonló szenzorhálózatok fejlesztése alkalmas lehet például fagykár elhárításának támogatására, a költségek minimalizálása mellett.

A szőlőültetvényekben történő szenzorhálózatok kiépítésével és azok alkalmazhatóságával foglalkozik Burrell et al. (2004) munkája, ahol kiemelt figyelmet kap a végfelhasználók számára biztosított adat formátuma, annak egyszerű értelmezhetősége és innovatív megjelenítése. A fejlesztés lényeges szempontja az ágazat szakembereivel, szakértőivel történő folyamatos egyeztetés a mérési program tervezése és kivitelezése során. Szintén fontos a létrejövő adatok interpretációjának kérdése. A kutatási program során a mérési feladatokon túl az automatizálási feladatok kivitelezhetőségét is bizonyították, így megvalósult például egy automata permetező- és öntöző rendszer, valamint a szőlő érettségét figyelő és arról értesítést küldő mérőegység. Szintén elkészült a szenzorhálózat adatainak

megjelenítésére szolgáló interaktív rendszer, melyet több ültetvényben is sikerrel alkalmaztak.

A szőlőültetvények növényvédelmi problémáira nyújt egy lehetséges megoldást a magyar fejlesztésű SMARTVINEYARD™ (SzőlőŐr) rendszer (Árendás, 2011). Mivel a hagyományos agrometeorológiai állomások főképp nagyobb területeket képesek reprezentálni, a mikroklimatikus viszonyok – melyek a szőlődűlők esetén szignifikáns eltéréseket mutathatnak – rejtve maradnak. Az alkalmazott vezeték nélküli (2,4 GHz) szenzorok hálózata hektáronként végez hőmérséklet, páratartalom, napsütéses időszak, csapadékmennyiség és levélnedvesség méréseket. A rendszer az adatokat korszerű, térképes felületen képes megjeleníteni, így egy komplex, hatékonyan használható agrometeorológiai döntéstámogató rendszert alkot [7 – agraragazat.hu].

Több kutatás is a talajnedvesség-mérést és ehhez kapcsolódóan az automatikus öntözőhálózat tervezését tűzte ki célul (Dhakal et al., 2010; Chebbi et al., 2011; Sui és Baggard, 2015). Különböző eszközökkel, sikeresen készülnek olyan döntéstámogató rendszerek, amelyek működése automatizált, így hatékonyabbá válik az adott állomány öntözése, s ezen keresztül a terményminőség biztosítása.

Egyre több tudományos értekezés taglalja a nyílt-forráskódú hardverekre alapozott meteorológiai mérőrendszerek kiépítését és létjogosultságát. Az Arduino-platform széleskörű elterjedése, és alacsony ára miatt egyre gyakrabban alkalmazott eszköz az agrometeorológiában is. Matese et al. (2009 és 2015) publikációjában egy ilyen mérőállomás tervezéséről és elkészítéséről számol be, melyet sikerrel alkalmazott szőlőültetvényben több meteorológiai állapothatározó egyidejű monitorozására (hőmérséklet, relatív páratartalom, napsugárzás, szélesebesség, csapadékmennyiség, levélnedvesség, légnyomás, talajnedvesség). Munkájában hangsúlyozza a kiépített rendszer flexibilitását és nagymértékű testreszabhatóságát, valamint alacsony befektetési költségét. E tulajdonságok megoldást jelenthetnek olyan gazdálkodó szervezetek számára, amelyek a befektetési költségek minimalizálása mellett egyedi kialakítású, célzott, és elfogadható pontosságú mérőműszerek telepítését tűzték ki célul.

Az adatminőség és a szenzorok pontosságának a kérdése végig kíséri a témában született munkákat. Bár a minőségbiztosítás a professzionális állomásokhoz képest lényegesen

nagyobb erőfeszítést kíván, elmondható, hogy egyre több egyedi szenzorrendszer képes nem csupán az elvárt minimumot, hanem a professzionális eszközökhöz hasonló pontosságot biztosítani (Tenzin et al., 2017). A kérdés a műszerek stabilitása; vagyis az, hogy i.) milyen mértékben változik a pontosság az idő múlásával, ii.) lehetséges-e ennek korrekciója (kalibrációja), illetve iii.) milyen gyakorisággal szükséges a mérőeszközök cseréje. Ebből adódóan vizsgálni kell a fenntarthatóság és a műszerrendszer környezeti hatásának (pl. veszélyes hulladék keletkezése) kérdéseit is. Látható, hogy a költséghatékony, IIoT mérőeszközök szerepe és az általuk létrejött innovatív agrometeorológiai megoldások hatékonyan alkalmazhatók kutatási és operatív feladatokra – egyértelmű a létjogosultságuk. E fejlesztések célja, ahogy már említettem, nem a hagyományos professzionális agrometeorológiai állomások leváltása, hanem azok mérési programjának kiegészítése új mérési metódusokkal, innovatív döntéstámogató és automatikai rendszerekkel, valamint nagyobb térbeli felbontású mérések kivitelezésével. Figyelemmel kell kísérni azonban a hosszabb távú alkalmazhatóság és az egyenszilárdságú adatminőség kérdéskörét (Lewis et al., 2018), ami további kutatások alapjául szolgál (lásd Karkouch et al., 2016 és Strigaro et al., 2019).

2.5. Hálózati kommunikációs és adattovábbító eszközök

A modern adatgyűjtő eszközökkel szemben támasztott elvárás, hogy működésük folyamatos legyen, továbbá, hogy az eszköz, valamint a gyűjtött adatok távolról is felügyelhetőek legyenek. E feltételek teljesülésének kedvez mind az adatgyűjtők, mind a különböző telekommunikációs eszközök nagyarányú fejlődése az elmúlt 5–10 évben. Gondoljunk csak a közeljövő 5G-s hálózati eszközeire.

E fejezetben – a teljesség igénye nélkül – áttekintjük a meteorológiai gyakorlatban használt legfontosabb kommunikációs médiumokat és eszközöket, valamint alkalmazhatóságukat.

Jelen áttekintésben a hálózati kialakítások csoportosításának alapját az ISO/OSI modell szerinti fizikai rétegben alkalmazott technológia adja. (ISO – International Standards Organization, Nemzetközi Szabványügyi Szervezet, és a másik rövidítés: OSI – Open Systems Interconnection, Nyílt rendszerek összekapcsolása). E réteg biztosítja a bit-szintű adattovábbítást a hálózati közegen keresztül. Ide tartozik az analóg-digitális átalakítás

(moduláció / demoduláció) folyamata is. A fizikai rétegben a keretek kódolását követően ezek elektromos optikai vagy rádióhullámú jellé konvertálása, majd küldése történik az átviteli közegen keresztül. A célállomás fizikai rétege a jelek fogadása után azok bitekké alakítását és továbbítását végzi a következő (adatkapcsolati) rétegbe (Sequeira és Tiso, 2013).

2.5.1. Réz- és optikai hálózatok

A rézkábeles kivitelezés alacsony beszerzési és kivitelezési költségű más technológiákkal szemben. Elektromos ellenállása kicsi ($<260 \text{ Ohm/km}$, 20 °C-on), benne az adatok elektromos impulzusok formájában kerülnek továbbításra. A jeltovábbítás minősége érzékeny a távolságra (ezáltal a kábelhossz korlátozott), nagyobb távolságon csillapítás figyelhető meg. A rézvezetékek érzékenyek továbbá az környezeti elektromágneses (EMI – Electromagnetic Interference) és rádiófrekvenciás (RFI – Radio-Frequency Interference) jelekre, melyek interferenciát generálva a továbbított jelsorozatokat elronthatják. E jelenség ellensúlyozására fémből készült kábelárnyékolás, illetve megfelelő földelés használatos. Szintén lényeges az ellentétes áramköri érpárok sodrása, ami az áthallási jelenségeket igyekszik minimalizálni. A réz alapú átviteli közegek típus szerint három fő csoportra bonthatók: UTP (Unshielded Twisted Pair, árnyékolatlan csavart érpár), STP (Shielded Twisted Pair, árnyékolt csavart érpár) és koaxiális kábelekre. Az UTP kábelek szabvány szerinti RJ-45-ös csatlakozóban (ISO 8877 szabvány) végződnek, elsősorban állomások és hálózati eszközök összekötésére szolgálnak. A STP kábelek árnyékolásukból adódóan jobb zaj elleni védelmet biztosítanak, de beszerzésük és telepítésük költségesebb. Léteznek csak az egész vezetékköteget fóliával árnyékolt, valamint érpáronkénti árnyékolást is alkalmazó változatai. A koaxiális kábel két vezetőt alkalmaz, amelyek egy tengelyen osztoznak, a mai Ethernet hálózatokban már kevésbé használatosak. Az UTP és STP kábelekre a TIA/EIA-568A és 568B szabványok vonatkoznak, melyek megadják az alkalmazható kábeltípusokat, hosszokat, csatlakozókat, kábelvégződéseket, valamint a kábelek tesztelésére használatos metodikákat. Valamennyi rézkábel elektromos jellemzőinek meghatározását az IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) szervezete határozza meg, valamint csavarási tulajdonságaik és maximális adatátviteli sebességük szerint kategóriákba sorolja azokat (CAT5, CAT5e, CAT6, CAT7 stb.).

A rézkábelezés meteorológiai alkalmazása is gyakori, hiszen a vezeték nélküli adatátvitelt nem támogató adatgyűjtő eszközök hálózati eszközökkel történő összekötése e közeg segítségével valósítható meg legegyszerűbben. Alkalmazhatóságának előfeltétele, hogy a használt adatgyűjtő rendelkezzen megfelelő hálózati interfésszel. Az 5. ábrán az ELTE Meteorológiai Tanszéken is használt, Campbell Scientific CR1000 típusú adatgyűjtő látható, melyhez a hálózati kapcsolat megvalósíthatósága érdekében egy NL116 modul (Ethernet interfész) került telepítésre. Ez az interfész 10BaseT és 100Base-TX szabványú (10/100 Mb/s sebességű), fél-duplex és full-duplex kommunikációt támogat.

Lényeges megemlíteni, hogy a strukturált rézkábelezés kiemelt szerepet kap a nagy adatforgalmú meteorológiai állomások, valamint a nagy rendelkezésre állású (operatív) állomások körében is.



5. ábra - Campbell Scientific CR1000 típusú adatgyűjtő NL116 hálózati interfésszel (a szerző felvétele)

Az optikai kábelek a jelek továbbítására fényimpulzusokat használnak. Leginkább gerinchálózati és nagy távolságú kivitelezésekben alkalmazzák őket (beleértve a tenger alatti hálózatokat is). E kábelek vékony, rugalmas szilícium-dioxid (üveg) optikai szálakat tartalmaznak, melyek hullámvezetőként funkcionálnak. A fénysugár forrása lehet lézer, vagy LED (Light-Emitting Diode, fényt kibocsátó dióda). A rézvezetékhez képest előnye, hogy a csillapítás kisebb, valamint sem EMI, sem RFI okozta zavarok nem befolyásolják az adattovábbítást. További előnye, hogy a rézkábeleknel nagyságrendekkel nagyobb maximális kábelhossz is alkalmazható. Hátránya, hogy beszerzése, kivitelezése költségesebb, használata speciális szakértelmet és eszközöket kíván.

Bár egy-egy meteorológiai állomás, illetve szenzorrendszer esetén is lehetséges az alkalmazása, azonban költségessége miatt ritkább. Jelenleg főleg adatközpontokban, operatív szolgálatokban, valamint tudományos kutatóegységekben alkalmazzák.

2.5.2. Rádióhullámú (vezeték nélküli) hálózatok

Ahol kábeles (réz vagy optikai) csatlakozási lehetőség nem áll rendelkezésre (például terepi meteorológiai mérések esetén), a különböző vezeték nélküli kapcsolatok alkalmazása jelentheti a megoldást. E kapcsolattípusok nagymértékű mobilitást biztosítanak, így felhasználási lehetőségük is sokféle. Minden vezeték nélküli rádióhullámú adatkapcsolat esetén figyelembe kell venni a lefedettséget (azaz a bázisállomás és a kliens közötti távolságot és rálátást), a lehetséges interferencia-forrásokat, valamint a hálózati biztonság kérdését (Zou et al., 2016). Fontos az üzemeltetési költség is (pl. a mobil eszközök, szolgáltatások eltérő előfizetési díjai). A rádióhullámú hálózatok csoportosításának alapja a hálózat hatótávolsága, illetve annak területi kiterjedése. Eszerint megkülönböztethető:

1. WPAN (Wireless Personal Area Network – Vezeték nélküli személyi hálózat) és WSN (Wireless Sensor and Actuator Network – Vezeték nélküli szenzor és működtető rendszer hálózat),
2. WLAN (Wireless Local Area Network – Vezeték nélküli helyi hálózat),
3. WWAN (Wireless Wide Area Network – Vezeték nélküli nagy kiterjedésű hálózat).

A következőkben röviden áttekintjük az (agro)meteorológiai gyakorlatban leginkább elterjedt rádióhullámú távközlési technológiákat, valamint szakirodalmi példákat mutatunk az alkalmazásukra.

2.5.2.1. IEEE802.11 Wi-Fi

A vezeték nélküli LAN (Local Area Network) hálózatok (Wi-Fi) sztenderdjait az IEEE 802.11 fogalmazza meg (A Wi-Fi a Wireless Fidelity kifejezés rövidítése, szó szerinti fordításban: vezeték nélküli hűség). A Wi-Fi több szabványa használatos: 802.11a/b/g/n/ac/ad, melyek többek között a különbség főként az elérhető maximális adatátviteli sebességben, valamint az alkalmazott rádióhullámú frekvenciában van. A

különböző szabványok közötti különbséget Sequeira és Tiso (2013) alapján az alábbi (táblázat) táblázat foglalja össze:

3. táblázat - A különböző 802.11 szabványok tulajdonságai

Szabvány	Maximális adatátíteli sebesség (Mb/s)	Alkalmazott frekvencia (GHz)
802.11a	54	5
802.11b	11	2,4
802.11g	54	2,4
802.11n	600	2,4 és 5
802.11ac	1300	5
802.11ad	7000	2,4, 5 és 60

A WLAN használatához az állomás részéről szükség van vezeték nélküli hálózati kártyára (NIC – Network Interface Controller), valamint vezeték nélküli hozzáférési pontra (AP – Access Point), mely a meglévő vezetékes hálózathoz csatlakozik.

A Wi-Fi a modern automata meteorológiai állomások esetében is egyre gyakrabban alkalmazott technológia (lásd például a Campbell Scientific cég CR6 típusú adatgyűjtőjét, mely a 2,4 GHz-es Wi-Fi és más rádióhullámú technológiák alkalmazására is képes). Mivel egy hozzáférési ponthoz több állomás is képes egy időben kapcsolódni, így az technológiai lehetőséget nyújt egy-egy terület szenzorrendszerének, illetve állomáshálózatának a kiépítésére (lásd Georgiev et al. (2005) agrometeorológiai adatgyűjtő hálózatát). Meteorológiai alkalmazásoknál külön figyelmet kell szentelni az 5 GHz-es frekvenciasávú WLAN hálózatok, és a radarhálózatok közötti interferencia minimalizálására, melyre hatékony megoldás a csatornaválasztásban (frekvencia-tartomány) rejlik (Horváth és Varga, 2009). Érdekességként megemlítjük, hogy az informatikai szakirodalom is foglalkozik a különböző meteorológiai állapotjelzők kültéri WLAN hálózatokra gyakorolt hatásaival (Bri et al., 2012).

2.5.2.2. ZigBee (IEEE 802.15.4)

Az IEEE 802.15.4 technikai sztenderd az úgynevezett LR-WPAN (Low-Rate Wireless Personal Area Network, alacsony-rátájú vezeték nélküli személyi hálózat) működését definiálja. E szabvány szerinti hálózatok célja nem az internetelés (WAN kapcsolat) megvalósítása, hanem több eszköz vezeték nélküli összekapcsolása. A sztenderdet alapul véve, annak egyik megvalósítása a Zigbee, melyet a Zigbee Alliance fejleszt [8 – zigbeealliance.org]. koncepciója 1998-ban született meg, maga a sztenderdizáció 2003-ban és 2006-ban történt.

A Zigbee hálózat rövid hatótávolságú (jellemzően 10–20 méter, újabb eszközöknél 300 m maximum, tiszta rálátás esetén), alacsony sávszélességű (maximum 250 Kbit/s) rádióhullámú kommunikációt szolgál az alacsony energiafelhasználás és költségek mellett. Támogatja az ön-fejlesztő és ön-javító MESH (háló) topológiát. A különböző node-ok, illetve végpontok dinamikusan, közvetlenül egymáshoz kapcsolódnak, egymással kommunikálnak. Elméleti síkon akár 65000 egyedi eszközből álló hálózatok létrehozására is használható. A 2,4 GHz-es frekvenciasávot használja, 16 db, 2 MHz széles csatornára osztva. Támogatja a korszerű AES-128 titkosítást (AES – Advanced Encryption Standard, Fejlesztett titkosítási szabvány). Az adattovábbítás kódoltan történik.

Bár a fejezet többi részével ellentétben nem közvetlenül internetelésre használt kommunikációs formáról van szó, azonban említését az egyre szélesebb körű agrometeorológiai alkalmazhatósága indokolja. De França et al. (2009) munkája olyan mikroállomások hálózatát mutatja be, amelyek a trópusi és szubtrópusi növények betegségeinek kedvező agrometeorológiai paramétereket vizsgálja. A vezeték nélküli kommunikáció kialakítását XBee-PRO® típusú ZigBee modullal végezték, melynek energiafogyasztása maximálisan 709,5 mW, nyugalmi állapotban (stand-by) pedig 33 μ W. A modult 100 méteres maximális hatótávolságban tudták alkalmazni, így megállapítható, hogy a célnak megfelelő, vezeték nélküli megoldást jelentett. Chen (2013) diplomamunkájában ZigBee-re épülő vezeték nélküli szenzorhálózat tervezését és működését mutatja be, mely az adatgyűjtésen túl a valós-idejű feldolgozás és a megjelenítés kérdéseire is választ ad.

2.5.2.3. LoRa

A ZigBee-től eltérően a LoRa (long range) olyan LPWAN hálózati kommunikációs technológia, melynek célja az alacsony energiafogyasztású, nagy távolságú WAN kapcsolatok létrehozása. A technológia fejlesztője a Semtech Corporation [9 – semtech.com]. A 433, 868 (EU) 915 (Ausztrália és USA), illetve a 923 (Ázsia) MHz-es (ISM, Industrial, Scientific and Medical) frekvenciasávokat használva akár 10 km-es hatótávolságú kommunikáció is lehetővé válik. A nyílt LoRaWAN protokoll (melyet a LoRa Alliance® nonprofit szervezet tart karban [10 – lora-alliance.org]) segítségével szenzorok és okos-eszközök költséghatékony, alacsony energiafelhasználású, internet csatlakozása valószínűsíthető meg. A hálózati sávszélesség 293 b/s és 50 Kb/s közötti.

LoRa alkalmazásával kiépített meteorológiai információs rendszer tervezését és kiépítését mutatja be (Reda et al., 2018) cikke. Célja az olyan farmgazdaságok agrometeorológiai információval történő ellátása, ahol elektromos áram és/vagy vezeték nélküli hálózati kapcsolat hiánya miatt nem lehetséges hagyományos állomás kialakítása. Az ilyen és ehhez hasonló vezeték nélküli szenzorhálózatok kommunikációs elvárásait a LoRa teljesíti, hiszen kis adatmennyiségek viszonylag nagy távolságra történő eljuttatását végzi – a költség- és energiahatékonyság figyelembevételével.

2.5.3. Cellás mobiltelefon-hálózatok (GSM, GPRS, 2G, 3G, 4G)

A cellaalapú hálózatok infrastrukturális szerepe napjainkban egyre nagyobb. E növekedést a nagymennyiségű adatforgalmat generáló szolgáltatások (főleg az audiovizuális eszközök) mellett a valós idejű, globális kommunikáció iránti igény robbanásszerű növekedése indokolja. A cellás hálózatok lényege, hogy a felhasználói eszközök, illetve kliensek kapcsolata vezeték nélküli, a hálózat további pontjai vezetékesek. A vezeték nélküli kapcsolódást bázisállomások és jeltovábbítók biztosítják, melyek a lefedett területet cellákra osztják. A bázisállomások úgy kerülnek elhelyezésre, hogy egy állomás lefedettségi területének határát elhagyva a felhasználói eszköz automatikusan másik bázisállomáshoz csatlakozzon, így biztosítva a folyamatos kapcsolatot. Manapság a cellás hálózatok hang- és adatforgalmi funkciókat is ellátnak.

A kezdeti analóg telefonhálózatot 1991-től a már digitális GSM (Global System for Mobile Communications, eredetileg Groupe Spécial Mobile) hálózat váltotta fel, mely először használt SIM kártyát (Subscriber Identity Module) az előfizetők azonosítására. Ezt az integrált áramkörrel rendelkező, a felhasználót nemzetközi szinten is azonosító kártyát a mai technológia is alkalmazza.

A mobilhálózatok fejlődése ún. generációkra osztható az alkalmazott technológiai újítások szerint. A celluláris hálózat internetelérése a 2. generációtól (2G) valósul meg, a GPRS (General Packet Radio Service) technológia (2000) bevezetésével. Ezt követte az új, EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) szabvány, mely a 3. generáció elődjének tekinthető. A 3. generációban alkalmazott UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) és HSPA+ (Evolved High Speed Packet Access) technológiai szabványok biztosította sávszélesség-növekedés lehetővé tette a mobilinternetes szolgáltatások elterjedését. A jelenleg használt 4G (LTE – Long-Term Evolution) és a folyamatosan bevezetésre kerülő 5G (5G NR) hálózati technológiák adatforgalmi sávszélessége már nagyfelbontású kép-és videótartalom (stream) valós-idejű le-és feltöltését is lehetővé teszik. A megnövekedett mobilhálózati forgalom kezelésének kérdése (tehermentesítés) jelenlegi kutatások tárgyköre (lásd Han et al., 2010 és Zhou et al., 2018).

A mobilhálózatok meteorológiai – így agrometeorológiai alkalmazását a nagymértékű flexibilitása indokolja (Hubbard és Sivakumar, 2001). Fontos ugyanakkor megemlíteni, hogy a mobilhálózat technológiai megvalósításaiból adódóan (pont-multipont hálózat) a kapcsolat (és így a sávszélesség) nem garantálható 100%-ban, azaz a mobilinternet-elérés nem minden esetben biztosítható. Az egyre növekvő lefedettséggel és hálózatbővítéssel e hátrány egyre kevesebbszer jelentkezik. Egyes állomások állapotának megfigyelésére, a mért- és számított adatok közel valós-idejű továbbítására a mobilhálózati kapcsolat jó megoldást jelenthet. Használatához megfelelő modem és internetszolgáltatótól (ISP – Internet Service Provider) vásárolt SIM kártya szükséges. A 6. ábrán az ELTE Meteorológiai Tanszéken használt Teltonika Networks RUT230 3G modem és útválasztó, valamint a DIVERFARMING projektben alkalmazott Sierra Airlink® RV50 modem / útválasztó látható.

A mobilhálózat nyújtotta lehetőség akár a mobiltelefonokhoz kapcsolható „intelligens” szenzorokkal is kihasználható, melyek segítségével nagymennyiségű meteorológiai információ gyűjthető kutatási célból (lásd Kanhere, (2011) cikkét az „okostelefonok” által gyűjthető adatokról).

A GSM hálózat alkalmazásával lehetséges olyan hordozható meteorológiai állomások kiépítése is, amelyek több különböző kutatási feladat ellátására alkalmasak, különböző helyszíneken, így például agrometeorológiai kutatások eszközeit képezhetik (Eyjólfsson, 2014). Ilyen eszközöket használtunk pl. a 2018-as balatoni mikrometeorológiai mérési expedíció, vagy a síójuti ködmérési programban (lásd részletesebben Weidinger et al., 2019a és 2019b).



6. ábra - Teltonika RUT230 (balra) és Sierra Airlink® RV50 (jobbra) mobilhálózati útválasztók (a szerző felvételei)

3. Esettanulmány: Jakabszállási és Villányi agrometeorológiai állomás

A szakirodalmi áttekintést követően két kiemelt mérési helyszínen keresztül mutatjuk be az agrometeorológiai mérőállomások kialakítását, folyamatos fejlesztését és alkalmazhatóságát. Az eredmények mellett kitérünk a nehézségekre, a megoldásra váró feladatokra is.

A DIVERFARMING projekt (EU 2020 No. 728003) a mezőgazdasági folyamatok optimalizációját, alacsony környezeti terheléssel járó, fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok kutatását, illetve a gyakorlatba történő átültetését tűzte ki célul [1 – diverfarming.eu]. A program keretében Európa 21 mintaterületén kerültek kialakításra kísérleti partcellák, mérő-platformok. A kutatási program időtartama 5 év (2017 – 2022). A program magyarországi koordinátora a Pécsi Tudományegyetem (PTE). Hazánkban három helyszínen folynak termőhelyi kísérletek: a PTE szőlészeti és Borászati Kutatóintézetében (7. ábra), Villányban az Aka Kft. szőlészetében (Gere-borászat, 8. ábra) és Jakabszálláson a Nedel-Market Kft spárgaföldjén (9. ábra).



7. ábra - PTE Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet mintaterülete (baloldal) és benne a Lufft WS600 mérőeszközzel felszerelt szőlészeti meteorológiai mérőállomás

A PTE Szőlészeti és Borászati Kutatóintézetében a korábban oda telepített Lufft WS600 univerzális műszer szolgáltat meteorológiai adatokat perces bontásban. Méri a hőmérséklet,

relatív nedvesség, nyomás, szélirány, szélsébség és a csapadék mennyiségét és típusát. A másik két mérőhelyen csak korlátozott módon álltak rendelkezésre meteorológiai adatok. Az Internet-ről letölthető a közeli szinoptikus állomások órás adatai.



8. ábra - A Villányi állomás helyszíne (szőlőültetvény)



9. ábra - A Jakabszállási mérőállomás helyszíne (spárgaföld).

Villányhoz a Pécs-Pogány szinoptikus állomás (12942, $\varphi = 46^{\circ} 00'$, $\lambda = 18^{\circ} 14'$, $h = 203$ m) van a legközelebb (légvonalban 19 km), de megvannak a Boreas Kft villányi mérőhelyének az adatai is (hőmérséklet, relatív nedvesség, csapadék és napfénytartam). Jakabszálláshoz pedig a kecskeméti szinoptikus meteorológiai állomás (12970, $\varphi = 46^{\circ} 54'$, $\lambda = 19^{\circ} 45' 14''$, $h = 116$ m) van közel, légvonalban 18,1 km-re. Rendelkezésre álltak még a Jakabszálláson végzett hagyományos kézi mérések is (hőmérséklet, nedvesség, csapadék naponta egyszer), s elméletileg megvannak a frissen telepített fóliaházakhoz tartozó (a szellőztetést és az öntözést biztosító) külső szenzorok (szélsebesség, napsugárzás) adatai is.

Az ELTE Meteorológiai Tanszék a villányi és a jakabszállási meteorológiai mérések bővítésében, illetve a DIVERFARMING program elvárásai szerinti napi adatbázisok (hőmérséklet, relatív nedvesség, csapadék, szélsebesség és globálsugárzás) előállításában működött közre.

A szakdolgozatomban a két helyszínen (Villány, Jakabszállás) kialakított új meteorológiai mérőhelyekkel foglalkozom. A fejlesztés két részre bontható. Az első szakaszban az ELTE Meteorológiai Tanszék eszközeiből összeállított, kísérleti agrometeorológiai állomás került elhelyezésre mindkét területen. A második szakaszban beszerzésre került egy-egy új, Campbell Scientific cég [11 – campbellsci.com] által gyártott és forgalmazott eszközökből álló, komplex meteorológiai állomás, aminek a beüzemelése utolsó fázisában van (a kísérleti mérések folynak). Megtörtént az új Campbell állomások helyének kijelölése, biztosított az áramellátás. Megoldandó feladat a villámvédelem és a Campbell Scientific cég által forgalmazott – USA sztenderdjeinek megfelelő – ipari minőségű SIERRA telekommunikációs modem / útválasztó beintegrálása a hazai 4G hálózatba. Nem egyszerű a feladat, bár annak tűnt (pl. a megfelelő SIM kártyák beszerzése), de ez már túlmutat a szakdolgozat témáján ...

A fejezet célja, hogy bemutassa a szerző tevékenységét a DIVERFARMING a projektben, mind az adatfeldolgozásban, mind az új állomásokhoz kapcsolódóan.

3.1. Kísérleti mérőállomások – tervezés és kivitelezés

Az ELTE Meteorológiai Tanszék Campbell Scientific gyártmányú adatgyűjtőire (CR10, CR21x, CR23) építve két kísérleti állomás került megtervezésre és telepítésre a program első szakaszában. A kísérleti állomások célja; i.) a választott helyszínek tesztelése az új állomások létesítése szempontjából, ii.) a kísérleti ültetvényre jellemző standard meteorológiai és talajparaméterek, állapotjelzők meghatározása egy hosszabb időszakban, iii.) háttér-információ nyújtása a területen végzett növény- és talajtani vizsgálatokhoz, iv.) a helyi mérések és a közeli szinoptikus állomás adatainak összehasonlítása, v.) a közeli szinoptikus állomás napi átlagos adataiból származó információ alkalmazhatóságának a vizsgálata. Az új kísérleti állomások műszerezettségére e célok figyelembevételével került kialakításra.

Jakabszállás esetén az új ideiglenes állomás adatgyűjtője Campbell CR21X, Villány esetében Campbell CR10 típusú, majd Campbell CR23X típusú volt. Mindkét adatgyűjtő programozását a szerző végezte az általuk támogatott Edlog nyelven. A legtöbb szenzor esetében 2 s-os mintavételt és órás átlagolást, míg a talajnedvesség-szenzorok esetében 5 perces mintavételt és órás átlagolást alkalmaztunk az adatok gyűjtésekor (4. táblázat).

4. táblázat: A Jakabszállási kísérleti állomás műszerezettsége

Műszer gyártója	Típusa (sorozatszám)	Műszer elhelyezése	Mért állapothatározó(k)
Schenk	Pyranometer (912)	60 cm, állvány	$G \downarrow$ (globálsugárzás) (min, max, std) (Wm^{-2})
Vaisala	HMP45C	1 m, árnyékoló	T, ($^{\circ}C$), RH (%)
Young	Wind Monitor Model 05103	2 m	Szélesség (m/s), szélirány (fok) (S, U, DU, SDU)
Kipp & Zonen	Q7.1-L: REBS Sugárzásegyenleg-mérő	60 cm, állvány	Rn (sugárzásegyenleg) (Wm^{-2})
Campbell Scientific	107	5 cm mélyen	T_{soil} ($^{\circ}C$)
Campbell Scientific	107	10 cm mélyen	T_{soil} ($^{\circ}C$)
Campbell Scientific	CS616 Water Content Reflectometer	10 cm mélyen	VWC * (m^3/m^3)
Campbell Scientific	237L Levélnedvesség szenzor	Talajfelszín felett 5 cm-re	Levélnedvesség (ellenállás, kOhm)

* VWC – Volumetric Water Content (térfogati víztartalom)

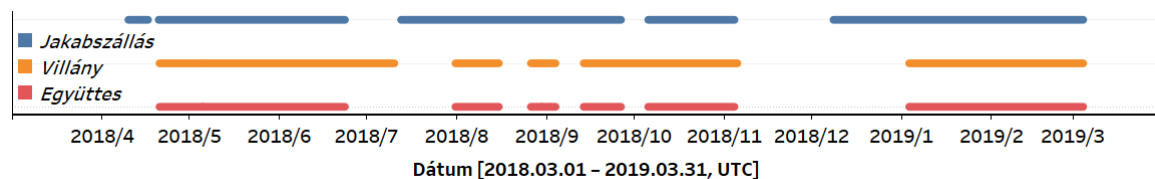
A két állomás tápellátása a helyszíni adottságokból adódóan különböző. Mindkét típus folyamatos áramellátást igényel, mivel sem a CR21X, sem a CR10 nem rendelkezik modern EEPROM típusú tárolóegységgel, így a tárolt program és a gyűjtött adatok áramszünet esetén elvesznek. Ebben az esetben csak a program újbóli feltöltése után folytatható a mérés. Ez alól a villányi mérések utolsó szakaszában alkalmazott CR23X adatgyűjtő volt a kivétel. A jakabszállási állomás esetén az állomás áramforrásaként egy 12 V, 45 Ah akkumulátor szolgált, melyet hálózati áramforrásról egy ráségítő töltő táplált. A villányi állomás esetében stabilizált hálózati tápegységet használtunk, melyet egy szünetmentes 230 V-os tápegységgel egészítettünk ki. A két állomás műszerezettségét a 4. és 5. táblázatok mutatják.

5. táblázat: A Villányi kísérleti állomás műszerezettsége

Műszer gyártója	Típusa (sorozatszám)	Műszer elhelyezése	Mért állapothatározó(k)
	Thermocouple Type-E	műszerdobozban	T _{ref} (°C)
Schenk	Pyranometer (1040)	1 m (D-i oldal)	G ↓ (globálsugárzás) (min, max, std) (Wm ⁻²)
Campbell Scientific	ASPTC-L Aspirált Hőelem	1 m (É-i oldal)	T (°C),
Young	Wind Monitor Model 05103	2,5 m	Szélesség (m/s), szélirány (fok) (S, U, DU, SDU)

A kísérleti mérőállomás Jakabszálláson 2018. március 28-án, Villányban 2018. április 20-án került telepítésre (11. és 12. ábra). Az állomások 2019. március 4-ig üzemeltek. A villányi állomás adatgyűjtőjének cseréje 2018. december 30-án történt, ismételt üzembe helyezésére 2019. január 3-án került sor. A 2018. évi mérések tekinthetők a kísérlet fő részének, míg a 2019-es év eleji működés mérésellenőrzési és kalibrációs célokat szolgált. Elmondható, hogy mindkét állomás esetén a fő nehézséget és hibaforrást a hálózati áramellátás biztosítása jelentette. Több időszakban áramkimaradás volt, melyet rendelkezésre álló távfelügyeleti eszköz hiányában csak a következő letöltési periódusban észleltünk, és ezt követően tudtuk javítani. A mérési adatok rendelkezésre állását a 10. ábrán szemléltetjük. 2019-ben a rendelkezésre állás egységes: január 3-tól március 4-ig. Az adatok rendelkezésre állása a teljes mérési periódusban Jakabszállás esetén 80%, Villány esetében 68%, az együttes rendelkezésre állás 58%-os. A Jakabszállási tartalékkumulátor így több alkalommal

teljesen lemerült, és egy alkalommal cserére szorult. Az állomás rendszeres (2–3) heti ellenőrzését, illetve az adatmentést előzetes megbeszélések alapján a dolgozat szerzője, témavezetője, valamint a projektben szintén résztvevő Zöldfű – Levegőkörnyezet-szakértő Bt. képviselőjében *Dr. Horváth László* végezte, akinek ezúton is köszönjük a segítségét. A gyűjtött adatok rendezése és ellenőrzése folyamatos volt, ez is a lehetséges meghibásodások és mérési hibák kiszűrését szolgálta. Jakabszállás esetén több esetben kellett a sugárásegyenleg-mérő lupolen buráját cserélnünk – feltehetően madár okozta károk miatt. A karbantartásokat a szerző és témavezetője végezték. E tapasztalatok kijelölik a tanszéki mérések fejlesztési irányait is. Szükséges a további ellenőrizhetőség és adatminőség szempontjából távfelügyelet kialakítása az új beszerzésű állomásokhoz hasonló módon. Megoldandó kérdés a soros (RS232) kapcsolatos adatgyűjtők IP-illesztése és távelérése. Jelenleg a Teltonika Networks cég [12 – teltonika-networks.com] által gyártott RUT230, RUT240 és RUT955 3G/4G útválasztók tesztelését végezzük, melyek az említett problémára megoldásul szolgálhatnak. A hálózati áramforrással nem rendelkező helyeken történő mérések előkészítéséhez szükségesnek látszik egy napelemes rendszer (napelem, töltésszabályzó, akkumulátor, felfüggesztés) beszerzése és kialakítása. E rendszer a mérések flexibilitását és megbízhatóságán nagyban növelné. Szintén lényeges kérdés a nyári szezonban végzett mérések villámkár-minimalizálása, melyhez a túlfeszültség-védelmi elektronika rendelkezésre áll, tesztje, illetve sokszorosítása a közeljövő feladata.



10. ábra - A mérési eredmények rendelkezésre állásának időintervallumai a Jakabszállási (kék) és a Villányi állomás (narancs) esetében, valamint az együttes rendelkezésre állás (piros)



11. ábra - Jakabszállási (balra) és Villányi (jobbra) kísérleti állomások telepítése.



12. ábra - Üzembe helyezett kísérleti állomások, Jakabszállási (balra) és Villányi (jobbra)

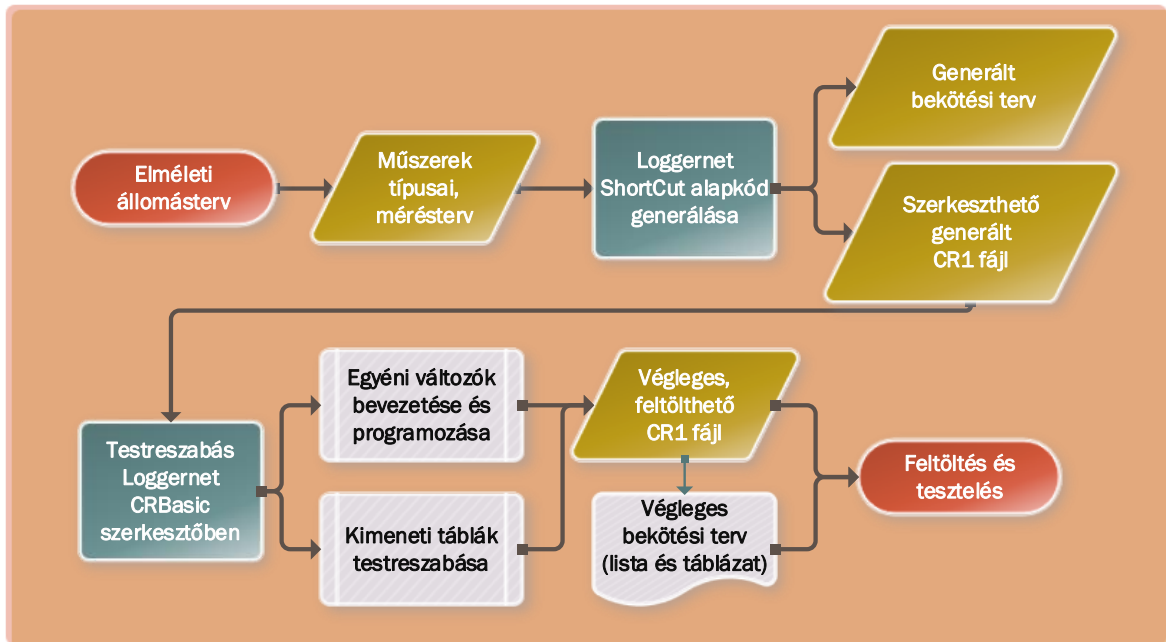
3.2. Új beszerzésű Campbell Scientific állomások (tervezés, programozás, telekommunikáció, tapasztalatok)

A DIVERFARMING projekt lehetőséget biztosított arra, hogy a két mérési helyszínen (Villány és Jakabszállás), a projektben résztvevő vállalkozások új beszerzésű, célfeladatokat ellátó meteorológiai állomásokat telepítsenek. Az állomások a gazdálkodó szervezetek tulajdonát képezik, míg a keletkező adatok a projektben résztvevő valamennyi tag számára elérhetőek, beleértve a K+F+I tevékenységet végzőket is. Az állomások tehát kettős célt szolgálnak: i.) valós-idejű és statisztikai adatszolgáltatást végeznek a gazdálkodó szervezet felé, és ii) kutatási célú, hosszabb adatsorok elérését teszik lehetővé az oktatási-kutatási feladatokat ellátó résztvevők számára. E célokat az állomások tervezésénél mindenképpen figyelembe kellett venni, így olyan eszközök kerültek beszerzésre, melyek; a.) ipari minőségűek, garantálható működésre képesek stabil áramellátás és megbízható villámvédelem mellett, b.) bizonyított tartósságúak, így fenntarthatóak, c.) a szolgáltatott adat minősége biztosítható (hitelesíthető műszerek, kompatibilisek az OMSZ mérőrendszerével, igény esetén képesek adatszolgáltatásra), illetve d.) egyénileg programozható rendszert tudnak alkotni, mely lehetővé teszi a fentnevezett célok megvalósítását. E kritériumok alapján, mindkét helyszínen beszerzésre került egy-egy azonos felszereltségű agrometeorológiai állomás, amelyek műszerezettségét a 6. táblázat mutatja.

A projektfeladatok sokrétűségéből adódóan a programozásnál mind a két biztosított eszközt (CR1000x adatgyűjtő) használtuk; egy alapkódot generáltunk a ShortCut-tal, melynek szerkezetét és tartalmát CRBasic szerkesztővel több lépcsőben módosítottunk. Mivel a műszerek elektronikai bekötéseit (kapcsolási rajz) az adatgyűjtő programozása határozza meg, így a programozás folyamán és azt követően elkészítettük valamennyi műszer bekötési rajzát, illetve egy terepi munkát elősegítő táblázatot. A programozási feladatok kivitelezésének folyamatát a 13. ábra mutatja be.

A két állomás energiaellátását ipari AC-DC (230 VAC bemenet, 12 VDC, 5 A kimenet) tápegységek biztosítják. Mivel a CR1000X az adatokat és a programokat képes flash memórián tárolni (belső 128 MB + microSD kártya), illetve az alapfunkciók, a program, illetve a pontos idő tárolásához (4 MB SRAM) belső tartalék, lítium (2,4 Ah, 3,6 VDC, Tadiran TL 5903/S) energiaforrással vannak felszerelve, ezért egy esetleges áramszünet

esetén a meglévő adatok és a vezérlőprogram nem vesznek el, nincs szükség az újra programozásukra. A hálózati túlfeszültség, illetve feszültségingadozások ellen mind a tápegység, mind az adatgyűjtő védelemmel vannak felszerelve. A villámvédelmi rendszer tervezése és kiépítése e dolgozat írásának idején történik.



13. ábra - Az adatgyűjtő vezérlőprogramjának tervezési és programozási folyamata

A programozásnál 5 másodperces mintavételi időt, a kiíratáshoz pedig perces, tízperces, órás és napi adattáblákat alkalmaztunk. A programba az mezőgazdasági szakemberek (tulajdonosok) számára használható számításokat is beépítettünk, mint például a referencia párolgás számítása. Ez egy opció (egy egyszerű utasítás) a CR1000x adatgyűjtőben. Ez is mutatja, mennyire fontos a meteorológiai információ a mezőgazdaságnak: a Campbell Scientific cég egyik szakterülete az agrometeorológiai állomások, mérőrendszerek tervezése és forgalmazása. A beépített referencia párolgás számítása (ET_{ref}) az ASCE sztenderd formulája segítségével történt (Allen et al., 2005). A referencia párolgás ismeretében az év adott időszakára vonatkozó növény konstans (K_{cr} , a mi esetünkben a borszőlőre, vagy a spárgára vonatkozó) megadásával számolható a napi maximális (jó vízellátottság melletti) növényi evapotranszpiráció (ET_c). Lásd részletesebben (Tam et al., 2005; Lakatos et al., 2020; Szalai, 2020; Weidinger et al., 2020) munkáiban. Igény szerint könnyen programozhatók más agrometeorológiai indexek (pl. hőösszegek, aszály indexek) is a mérési

adatok, illetve az adattáblák (perces, tízperces, órás, napi) alapján. Ezek is lekérdezhetők és eltárolhatók.

6. táblázat: Az új beszerzésű Campbell állomások műszerezettsége

Műszer gyártója	Típusa (sorozatszám)	Mért állapothatározó(k)
	Thermocouple Type-E	T _{ref} (referencia hőm.) (°C)
Huskeflux	LP02 piranométer	G ↓ (globálsugárzás) (Wm ⁻²)
Kipp & Zonen	Q7.1-L: REBS Sugárzásegyenlegmérő	R _n (sugárzásegyenleg) (Wm ⁻²)
Campbell Scientific	CS650 Talajnedvesség és hőmérséklet szenzor (1)	VWC *, (m ³ /m ³) vezetőképesség, permittivitás, T _{talaj} (°C)
Campbell Scientific	CS650 Talajnedvesség és hőmérséklet szenzor (2)	VWC *, (m ³ /m ³) vezetőképesség, permittivitás, T _{talaj} (°C)
Campbell Scientific	237L levélnedvesség szenzor	Levélnedvesség (ellenállás, kOhm)
Campbell Scientific	SBS500h Billenőedényes csapadékmérő (fűtéssel)	Csapadékmennyiség (mm)
Gill	Windsonic 4 – 2D szónikus szélmérő	Szélsébség, szélirány és szórásai (fok, m/s)
Vaisala	WAA15 forgókanalas szélmérő	Szélsébség (m/s)
Vaisala	HMP110 levegőhőmérséklet- és nedvesség szenzor	T, (°C), RH (%)
Vaisala	HMP110 levegőhőmérséklet- és nedvesség szenzor	T, (°C), RH (%)

* VWC – Volumetric Water Content (térfogati víztartalom)

Nézzük a referencia párolgás (ET_{ref}) és a jó vízellátottság melletti növényi párolgás (ET_c) meghatározását:

$$ET_{ref} = \left(\frac{\Delta \cdot (R_n - G) + K_{time} \cdot \rho_a \cdot c_p \frac{e_s - e_a}{r_s}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right) \cdot \frac{1}{\lambda}, \quad 4)$$

$$ET_c = K_{cr} \cdot E_{ref}, \quad 5)$$

ahol:

ET_{ref} - a referencia evapotranszpiráció (mm nap⁻¹ vagy mm óra⁻¹),

R_n - a sugárzásegyenleg (MJ m⁻² nap⁻¹ vagy MJ m⁻² óra⁻¹),

G - a talajba jutó hőáram, ami a 2 szinten végzett talajhőmérséklet és talajnedvesség mérésekből számolható (MJ m⁻² nap⁻¹ vagy MJ m⁻² óra⁻¹),

$(e_s - e_a)$ - a levegő gőznyomás-deficitje (kPa),

e_s - a levegő telítési gőznyomása a 2 m-es referencia szinten, ami a hőmérséklet ismeretében a Clausius–Clapeyron-egyenlet alapján számítható (kPa),

e_a - a levegő gőznyomása a 2 m-es referencia szinten, ami a hőmérséklet és a relatív nedvesség ismeretében a Clausius–Clapeyron-egyenlet alapján számítható (kPa),

ρ_a - a levegő állandó (a tengerszint feletti magasságtól függő) nyomáson vett sűrűsége (kg m⁻³),

c_p - a nedves levegő állandó nyomáson vett fajhője (1,013 · 10⁻³ MJ·kg⁻¹·°C⁻¹),

Δ - a telítési gőznyomás és hőmérséklet függvénykapcsolat meredeksége, ami Clausius–Clapeyron-egyenlet alapján számítható (kPa·°C⁻¹),

γ - psychrometrikus konstans (kPa·°C⁻¹),
(lásd részletesebben: [13 – nimbus.elte.hu])

r_s - felületi ellenállás (s m⁻¹),

r_a - aerodinamikai ellenállás (s m⁻¹),

λ - a víz párolgási hője. A megadott érték: (2,45 MJ kg⁻¹),

K_{time} - a mértékegység-átváltás állandója (86400 s/nap esetén az R_n MJ nap⁻¹, 3600 s/óra esetén pedig az R_n MJ óra⁻¹ mértékegységű)

ET_c - a növényzet jó vízellátottság melletti evapotranszpirációja (mm nap⁻¹ vagy mm óra⁻¹),

K_{cr} - az adott növényzetre (spárga, vagy borszőlő) és az év adott szakaszára jellemző növény konstans (-)

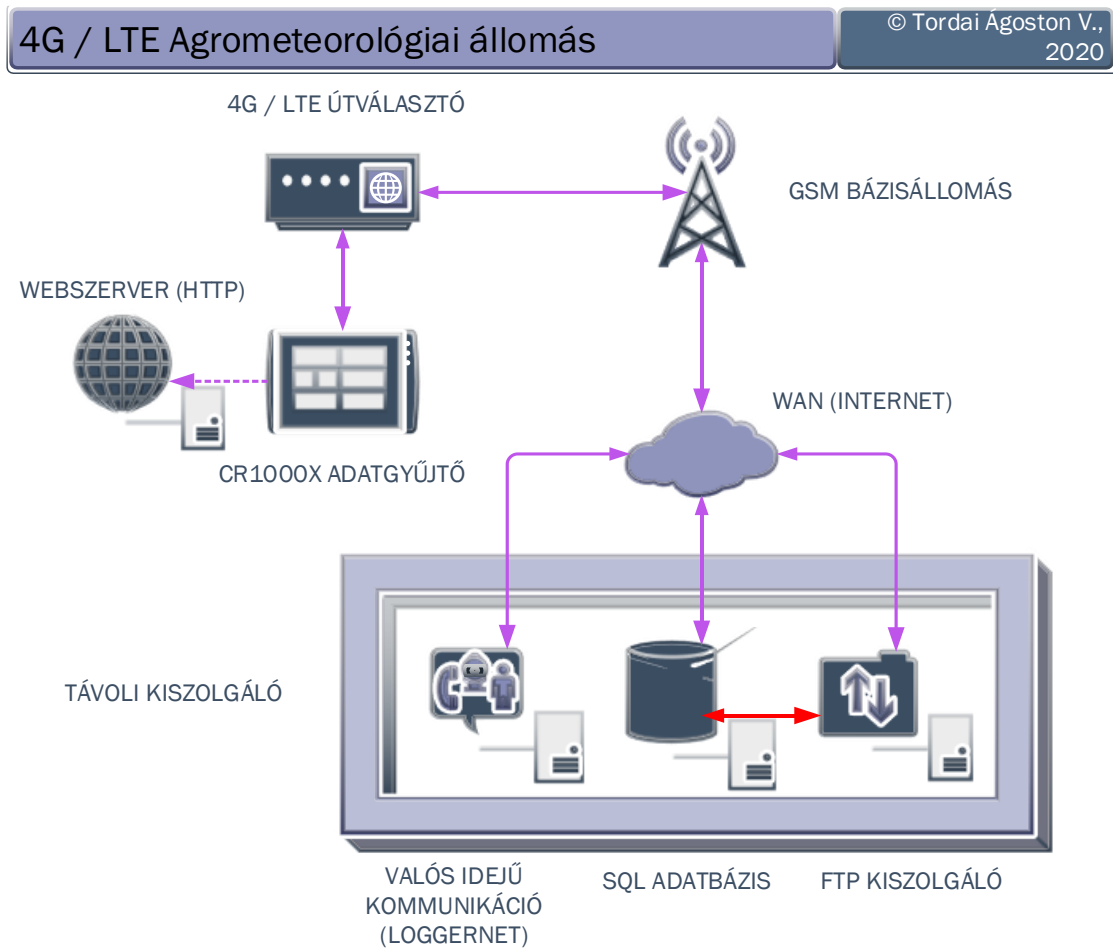
Az állomások folyamatos üzeműek, így kiemelten fontos a folyamatos (táv)felügyelet és az adatelérés kérdése. Ehhez a feladathoz Sierra RV50 ipari 4G/LTE útválasztót használtunk. A GSM hálózat használatát a két helyszín elszigetelt elhelyezkedése, illetve más távközlési módok megvalósításának költségessége indokolta. Az útválasztó konfigurálása a következő szempontok figyelembevételével történt:

- A CR1000X típusú adatgyűjtő beépített webszerverrel rendelkezik, amely az aktuális adattáblákat közel valós-időben képes táblázatos formában megjeleníteni.

- Az útválasztó számára publikus IP-cím szükséges. Megjegyezzük, hogy különböző tunnelling megoldások is megfontolásra kerültek, azonban az adatforgalom (és a költségek) limitálása okán, valamint az egyszerű felhasználói adatszolgáltatás céljából egyelőre ragaszkodtunk a publikus IP címhez.
- Az állomás távoli eléréshez használható a gyári LoggerNet szoftver (annak meghatározott portjai), valamint a beépített webszerver adatai megtekinthetők (megfelelő biztonsági szabályoknak megfelelően, port továbbítás beállításával). Az útválasztó távoli elérése https és ssh protokollok segítségével lehetséges.
- Mivel a szolgáltató által kapott publikus IP-cím dinamikusan kerül kiosztásra, így DDNS beállítására is szükség volt. A DDNS szolgáltató (provider) a Sierra AirLink szolgáltatása. A szolgáltatás segítségével eairlink.com végződésű domain neveket rendeltünk mindkét állomáshoz, mely a távoli csatlakozást egyszerűsíti. Mivel az IP-cím szinkronizációt közvetlenül az útválasztó végzi, így a felhasznált adatmennyiség minimális.
- Jelenleg az útválasztó IPv4 címmel rendelkezik, azonban készen áll IPv6-os működésre is.
- Az útválasztó beállításánál figyelembe vettük a későbbi, esetleges bővítési és fejlesztési lehetőségeket is, melyekről bővebben a 3.4. alfejezetben teszünk említést.

A 14. ábrán a kész állomáshoz kapcsolódó hálózati kialakítás logikai terve látható. A CR1000X típusú adatgyűjtő támogatja a TCP/IP protokollkészletet, így saját alhálózati IP címet kap az útválasztótól. A beépített webszerver segítségével a tárolt változók és egyéb, az állomás állapotát jellemző adatok jeleníthetők meg egy egyszerű, generált weboldalon, táblázatos formában. E webszerverhez és az adatgyűjtő kommunikációs-programozó felületéhez történő hozzáférés külső hálózathoz az útválasztón keresztül lehetséges. Az útválasztó folyamatosan kapcsolódik a legközelebbi szolgáltatói bázisállomáshoz. A stabil vételi jelerősséget egy nagy nyereségű, omnidirekcionális 4G antenna segíti. A távoli kliens, illetve feldolgozó szerver az útválasztóhoz rendelt domain név (DDNS – Dynamic Domain Name System) segítségével, a megfelelő beállítások és azonosító kulcsok ismeretében tud

csatlakozni. E módon a kiszolgáló az adatgyűjtővel folyamatos kapcsolatot is kiépíthet, így az adatok kiolvasása és feldolgozása közel valós időben történhet.



14. ábra - Magas rendelkezésre állású 4G / LTE agrometeorológiai állomás hálózatlogikai terve

3.3. Adatbázis-építés, eredmények

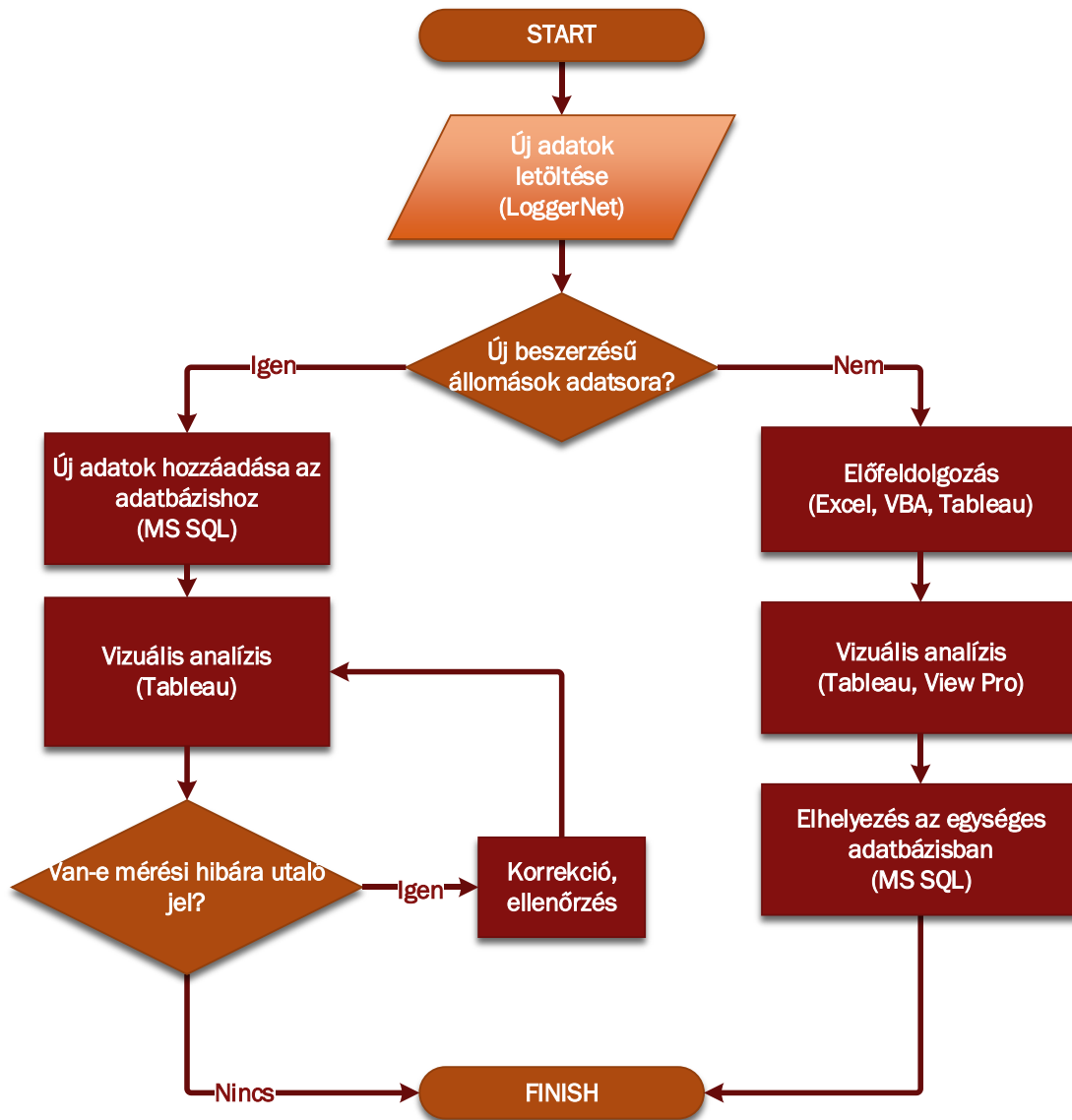
E fejezet célja, hogy az előzőekben bemutatott mérési programhoz kapcsolódó adatfeldolgozási, illetve adatbázis-építési módszereket, azok eredményeit ismertesse. Mivel a projekt egyszerre több adatforrást is használ, lényeges az egységes szerkezetű, időszinkronizált adatbázis használata.

A felhasznált adatforrások:

1. Kísérleti mérőállomásokból letöltött adatok (Jakabszállás és Villány),
2. Jakabszálláson végzett rendszeres kézi csapadékmérések adatai,
3. A Villányban lévő szőlészeti állomás adatai,
4. Az Országos Meteorológiai Szolgálat által üzemeltetett állomások adatait tartalmazó SYNOP táviratok (Kecskemét, Pécs-Pogány),
5. A Pécsi Tudományegyetem (PTE) Természettudományi Kara által üzemeltetett Vaisala automata meteorológiai állomás adatai (PTE TTK),
6. A PTE Szőlészeti és Borászati Kutatóintézetében folyó meteorológiai mérések,
7. Az új beszerzésű, Campbell Scientific állomások kezdeti adatai (Jakabszállás és Villány)

A kísérleti adatsorok feldolgozásánál a 15. ábrán látható módszertani eljárást követtük. A „nyers” adatsor letöltve .dat kiterjesztésű, csv szerkezetű fájl képez. A régebbi típusú adatgyűjtők címsorral nem látják el a fájlt, az egyes változók nevei és sorrendjük egy másik adatfájlból származtathatók (final storage labels, FSL). A nyers adatsor egymás után több adattábla adatait is tartalmazza, az első érték minden sorban az adott tábla azonosítója. A nyers adatfájlok automatizált előfeldolgozáson esnek át, melyhez Excel VBA makrókat, majd később Tableau Prep szoftvert használtunk. Az előfeldolgozás céljai az i.) egymáshoz tartozó (egy időpont) mérési adatok rendezése, ii.) hibás sorok keresése és eltávolítása (null és NaN értékek), valamint iii.) a dátum-idő címkék (TIMESTAMP) kialakítása. Az előfeldolgozási folyamat után minden esetben vizuális analitikai módszereket használtunk (Tableau, Microsoft Power BI), azaz valamennyi változót ábrázoltunk, ellenőriztük, hogy van-e mérési hibára utaló jel. E folyamat részeként a változók néhány függvényét is számoltuk (átlagok, mediánok, szórások). Az így keletkezett adatsort külön mentettük, majd annak másolatán elvégeztük az ismert korrekciókat, melyeket műszer-kalibrációs mérések során állapítottunk meg. Így a Schenk piranométerek, a T107 (termisztor) talajhőmérők és a

HMP45C hőmérséklet-nedvesség szenzor korrekciója történt meg. A korrigált adatsorból napi adatokat (átlag, minimum, maximum, szórás) is előállítottunk.



15. ábra - Az állomásokból származó adatsorok feldolgozásának módszertana

Külön feldolgozásra kerültek a kísérleti mérőállomásokhoz legközelebb elhelyezkedő OMSZ által üzemeltett állomások adatai is. A mindenki számára hozzáférhető nyilvános SYNOP táviratok feldolgozásával fontos háttér-információhoz juthattunk, illetve összehasonlító vizsgálatainkkal ismereteket szerezhettünk a mérési helyszíneink egyedi

mikroklimatikus adottságairól. A táviratok feldolgozásához Microsoft Excel programon belül megírt VBA szkriptet alkalmaztunk (Tordai, 2015). Az elkészült órás adatsort hozzáfűztük a korrigált kísérleti adatsorhoz, valamint napi adatsort is kialakítottunk.

A Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karának kezelésében álló, automata Vaisala meteorológiai állomás adatait a PTE rendelkezésünkre bocsájtotta. Az órás felbontású hőmérséklet, relatív páratartalom, légnyomás, csapadék, szélesség, szélirány, valamint globálsugárzás adatokat a kísérleti állomások adataihoz illesztettük. A villányi mérőhelytől légvonalban 30 km-re található PTE állomás adatai szintén hasznos háttérinformációt jelentenek a mérőhely mikroklimatikus adottságainak felmérésében (összehasonlító elemzések).

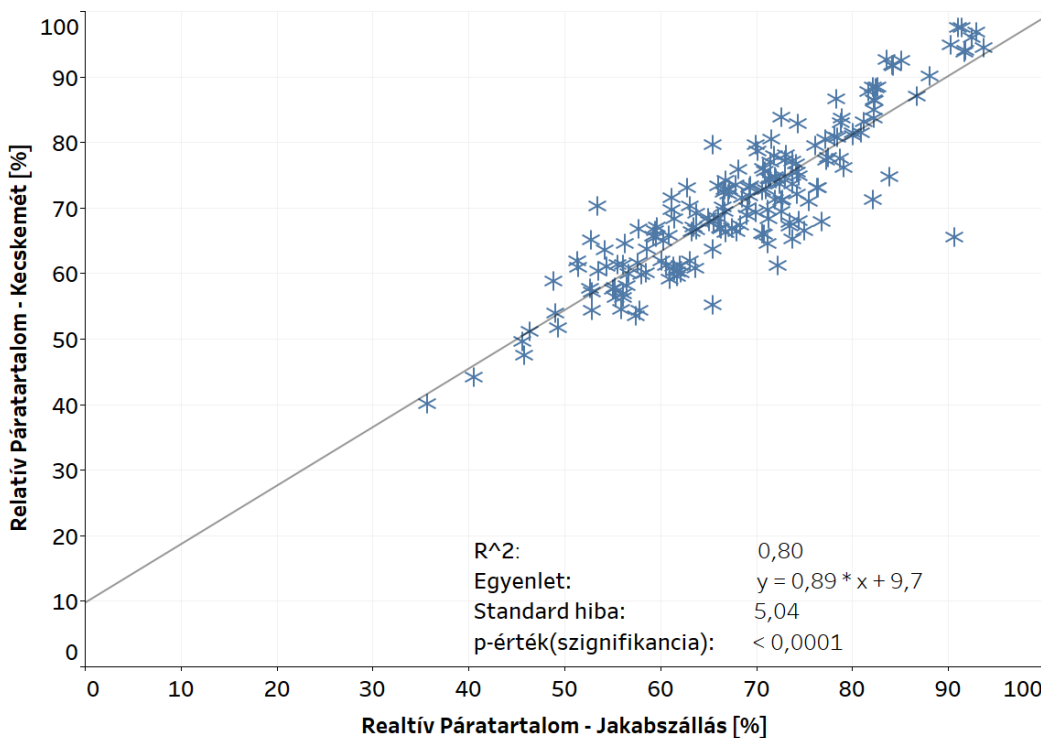
Az elkészült adatsorokat eleinte Microsoft Excel (xlsx) formátumban tároltuk, illetve belőlük Tableau Data Extract-ot (kivonat) készítettünk a gyorsabb elemezhetőség érdekében.

A későbbi felhasználást, illetve az új állomások adatfeldolgozását előkészítendő az elkészült adatsorokat MSSQL (Microsoft SQL Server 2019) adatbázisba exportáltuk. Így a hagyományos értelemben vett táblák, relációs adatbázist kaptunk.

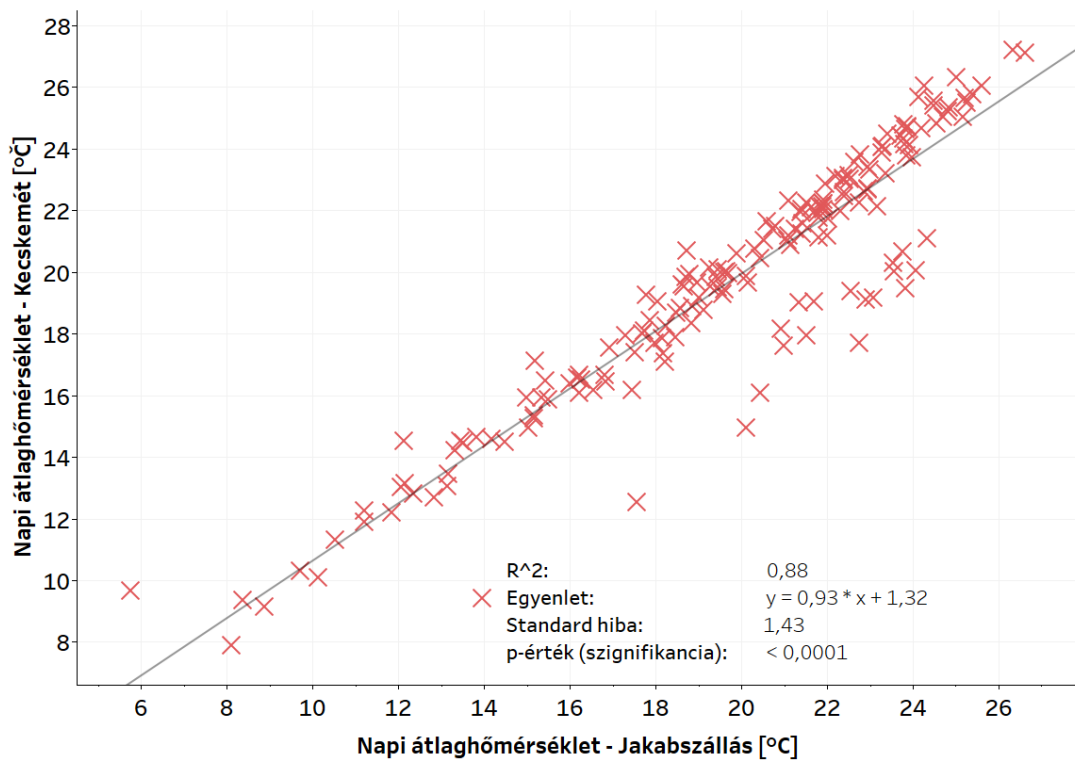
Az új beszerzésű állomások programozásánál arra törekedtünk, hogy a gyűjtött adatok közvetlen felhasználásra alkalmasak legyenek, azokon további korrekciót ne kelljen végrehajtani. Így valamennyi ismert korrekciót (műszer-konstansok) az adatgyűjtő programjában rögzítettük. Mivel a CR1000X típusú adatgyűjtőből történő kimentéskor az adatok formátuma nagymértékben testre szabható, így a kapott adatsor nem igényel előfeldolgozást. A LoggerNet szoftver segítségével az új adatok automatikusan hozzáfűzhetők a régebbiekhöz (vagy megadott mennyiségi vagy időbeli korlátok szerint új fájlba is menthetők), így a letöltési és adatgyűjtési folyamat nagyrészt automatizálható. A letöltött adatok ellenőrzéséhez célszerű vizuális analitikai szoftvereket használni (Tableau, Microsoft Power BI, illetve a LoggerNet programcsomag részét képező ViewPro), melyek segítségével nagymennyiségű adat tekinthető át egyszerre. Ez az elemzés a lehetséges mérési hibák, meghibásodások kiszűrését szolgálja. Az adatok ezután mind az eredeti csv szerkezetű, „nyers” fájlokban, mind MSSQL adatbázisban importálva eltárolásra kerülnek. Az adatbázis-elérés kialakítása, illetve az adatgyűjtési folyamat automatizálása e dolgozat

írásának pillanatában is folyamatban van, a tervezett állapotról a 3.4. alfejezetben teszünk említést. Végezetül a meglévő, korigált és verifikált adatsorok felhasználásával szeretnénk bemutatni néhány alkalmazási lehetőséget, illusztrálva az elkészült adatbázis használhatóságát.

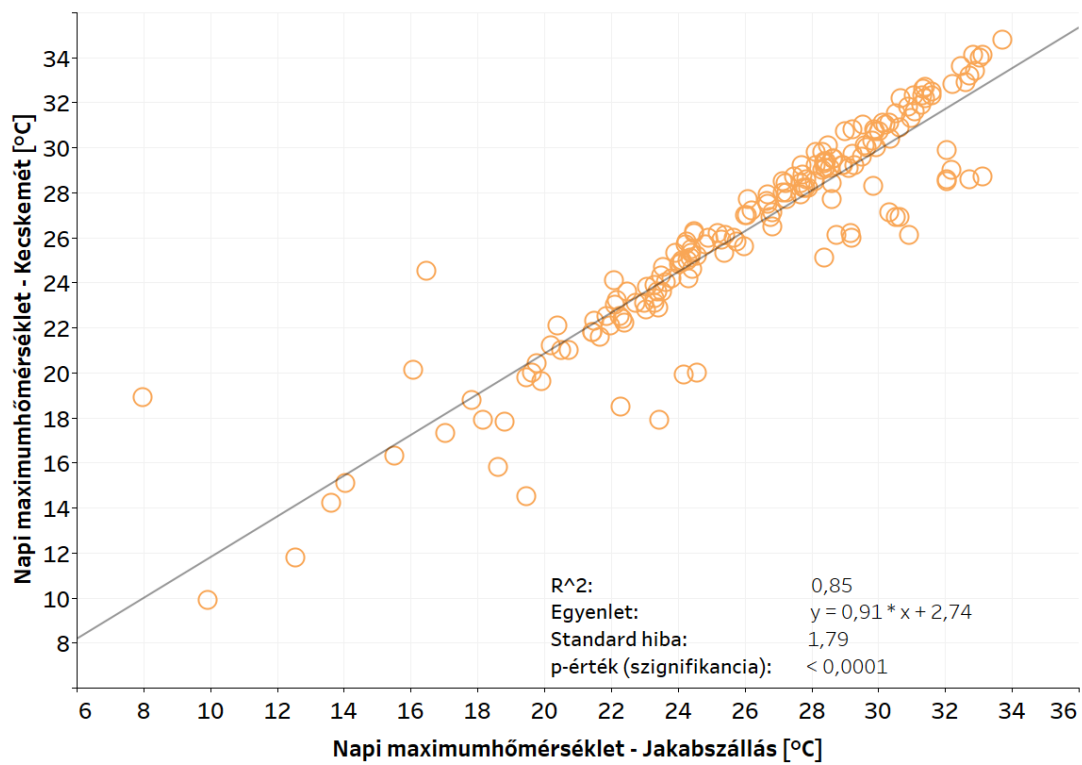
Az egyik célunk a két kísérleti terület mikroklimatikus adatainak felmérése volt, így kíváncsiak voltunk, hogy azonos térségben, más állomásokhoz képest egyes állapothatározók milyen eltéréseket mutatnak. A vizsgálathoz szórásdiagramokat (scatter plot) használtunk. A 16-18. ábrák a jakabszállási kísérleti állomás (ELTE műszereivel) és a kecskeméti SYNOP táviratokból nyert adatok összefüggéseit mutatják be a kísérleti mérések időszakában (2018.03.28. – 2018.12.31.). Csak olyan napok kerültek be az összehasonlításba, amelyek esetén egyik adatforrásban sem volt adathiány. Látható, hogy mindhárom vizsgált változó (napi átlagos relatív páratartalom, napi átlag- és maximumhőmérsékletek) esetén erős lineáris korreláció ($R^2=0,8$, $0,88$ és $0,85$) van a két állomás adatsora között. Szintén leolvasható, hogy a relatív nedvesség néhány napon lényeges (akár 20%-os) eltérést is mutathat. Ennek egyik oka a termőterületen végzett öntözés, illetve a lokális csapadéktevékenység lehet.



16. ábra – Napi átlagos relatív páratartalom (RH) korrelációja a két megfigyelt adatforrásban (Esetszám: $N = 175$, a napok száma)

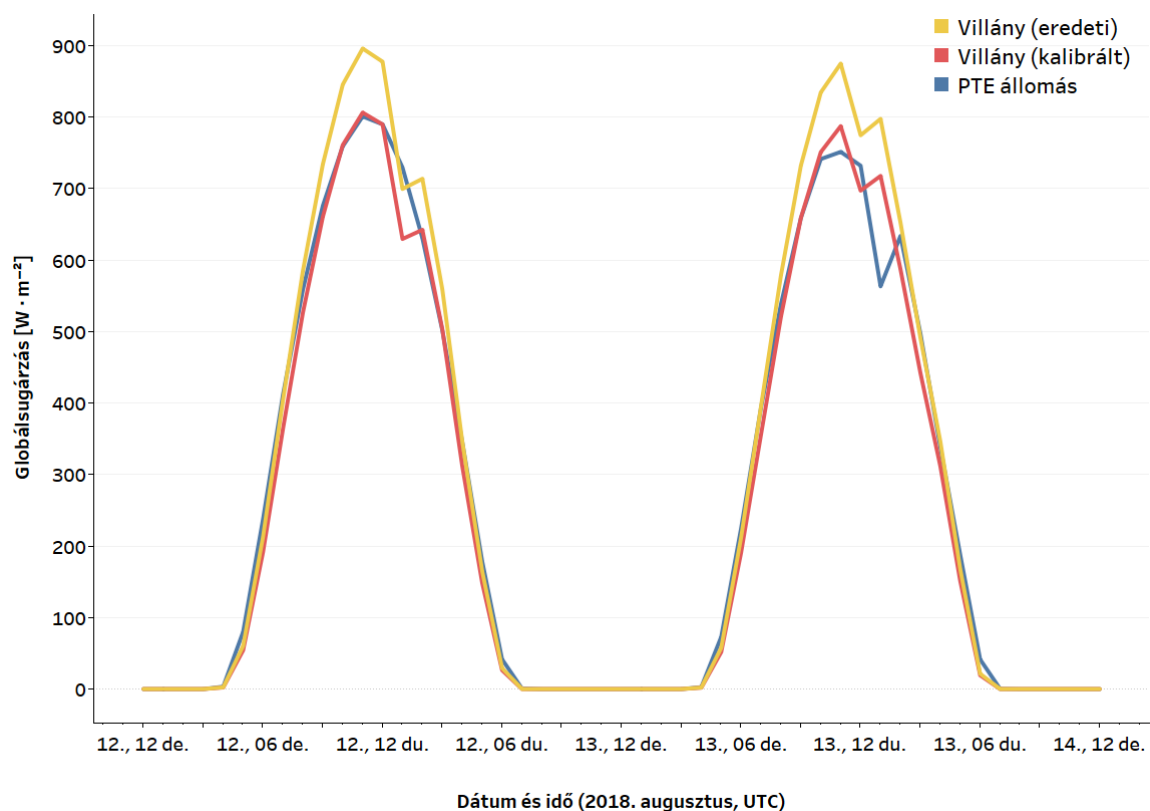


17. ábra - Napi átlaghőmérséklet korrelációja a két megfigyelt adatforrásban (N=175)



18. ábra - Napi maximumhőmérséklet korrelációja a két megfigyelt adatforrásban (N=175)

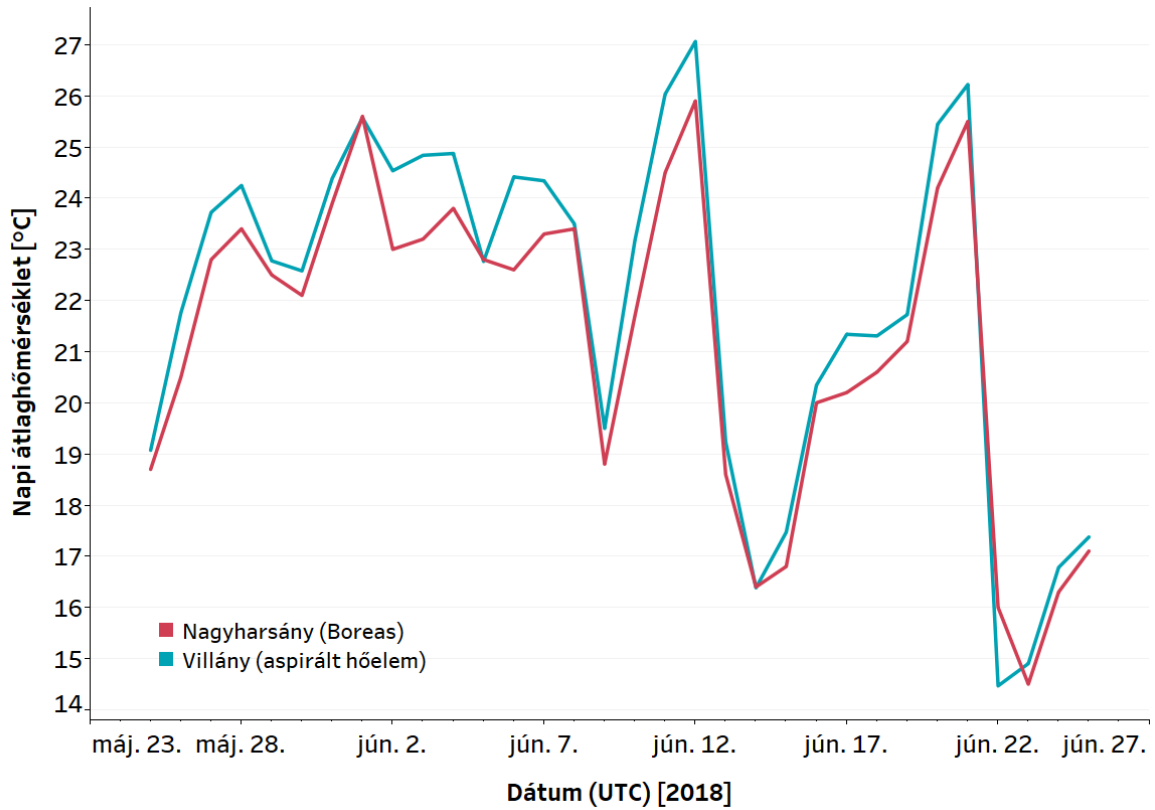
A 19. ábrán a villányi mérésekből hozunk egy példát. A Villányba telepített Schenk piranométer (ELTE) és a PTE TTK területén (Pécs, egyetemi campus) mért globálsugárzás (G_r) értékek napi meneteit ábrázoljuk egymást követő derült napon (2018. 08. 12 – 13.). Bemutatjuk a Schenk piranométeren alkalmazott kalibráció előtti és utáni értéket is. Megjegyezzük, hogy a műszerkalibrációs konstans meghatározása korábbi, az OMSZ Pestszentlőrinci Marczell György Főobszervatóriumában alkalmazott operatív műszerekkel történő összehasonlító mérések eredménye. Látható, hogy míg a régebbi konstanssal akár 100 Wm^{-2} eltérés is lehetett a maximális értékek közt, a korrigált adatsorban a maximális eltérés $\sim 30 \text{ Wm}^{-2}$, amely reálisnak tekinthető. A két mérési helyszínen a globálsugárzás menete nagyon hasonló, 13-án délután fátyolfelhőzet átvonulását figyelhetjük meg mindkét helyszínen.



19. ábra - Globálsugárzás napi menete a Villányba telepített kísérleti állomás és a PTE mérőrendszerének adataiból (2018. augusztus 12–13.)

A 20. ábrán a villányi kísérleti állomás és Boreas cég által üzemeltetett nagyharsányi szőlészeti állomás napi átlaghőmérsékletének menete látható 2018. május 25. és június 25.

között. A két helyszín átlaghőmérsékleti menete jól követi egymást, a vizsgált időszakban a maximális eltérés $\sim 1,8$ °C. Szintén megfigyelhető két markáns hidegfront átvonulása június 13-án és június 22-én, melyek esetén a hőmérsékleti mező változását (több, mint 10 °C-os átlaghőmérséklet csökkenés) a két állomás hasonlóan észlelte.



20. ábra - Napi átlaghőmérsékleti menetek a villányi kísérleti és a nagyharsányi Boreas állomás adatai alapján (2018.05.25-06.25.)

3.4. További tervek, fejlesztések

Mint azt a 3.2. fejezetben is említettük, az új beszerzésű automata mérőállomások műszerei, adatgyűjtő egységei és a telekommunikációs eszközök próbaüzeme megtörtént. Jelenleg az állomások fizikai kialakításának véglegesítése zajlik. A program megtervezésénél ügyeltünk a bővíthetőségre, illetve a későbbi, összetettebb fejlesztések megvalósíthatóságára, így a kivitelezés lépcsőzetesen történhet meg. E fejezetben röviden összefoglaljuk a közeljövőben tervezett fejlesztési céljainkat – kitekintést nyújtva a projekt tervezett folytatásáról. Ahogy a 14. ábrán is látható, az állomások hálózati terve tartalmaz egy távoli, központi kiszolgálót is, amely az adatgyűjtést, mentést és információ-szolgáltatást folyamatos üzemben végzi, továbbá az állomások „életjeleit” is monitorozza. Próbaüzemben az egyes szerverszolgáltatások önálló tesztje egy személyi számítógép segítségével megtörtént. Célunk egy, a projekt résztvevői által elérhető és ezáltal közösen használható kiszolgáló beállítása, mely az állomásokkal való kapcsolattartáson túl egyéb, a projekthez kapcsolódó funkciókat (adatbázis, lekérdezések, adatmegjelenítés, értesítések) is ellát.

Mivel a 4G hálózat az állomás terepi volta ellenére is (legalábbis is elméleti szinten) folyamatos elérhetőséget biztosít, továbbá az adatgyűjtő különböző vezérlési feladatok ellátására is alkalmas, így lehetőség nyílik közel valós-idejű riasztások, illetve akár valós-idejű beavatkozások programozására is. Ilyen alkalmazás lehet például: öntözésvezérlő rendszer integrációja, a jakabszállási fóliaházak szellőkés-elleni védelme, fagyveszély-figyelmeztetés (email, sms) trendek alapján stb. Igény esetén tervezzük ilyesfajta fejlesztések megvalósíthatóságának vizsgálatát a konkrét helyszíneken, illetve lehetőség szerinti próbaüzemét.

A projekthez kapcsolódó fejlesztés részeként megtervezésre került egy automata-kamrás CO₂ és H₂O fluxus mérő rendszer, mely egyszerre több kamra vezérlését végzi. A mérőrendszer és a vezérlőrendszer kivitelezése elkezdődött, a kamrák és a hozzájuk tartozó elektronika rendelkezésre áll, a kezdeti próbák megtörténtek. Tervezzük több heti adatgyűjtés céljából történő alkalmazásukat mind a jakabszállási kísérleti spárgaültetvény, mind a villányi szőlőültetvény esetében.

4. Összefoglaló gondolatok

Dolgozatomban az agro(mikro)meteorológiai mérések szerepével, eszközeivel, céljaival foglalkoztam. Ismertettem az agrometeorológiai információs rendszer felépítését, valamint a mikrometeorológiai mérés technika szerepét az agrometeorológia tárgykörében. Bemutattam a legfontosabb mért paramétereket, az alkalmazott műszereket. Foglalkoztam a költséghatékony IIoT szenzorrendszerek agrometeorológiai alkalmazásaival. Látható, hogy e szenzorrendszerek agrometeorológiai szerepe jelentős; céljuk nem a professzionális mérőállomások leváltása, hanem azok mérési programjának kiegészítése, a lefedett terület növelése. Bemutattam a mérőállomások hálózati csatlakozásának leggyakoribb módjait, alkalmazásorientált módon illusztrálva azok előnyeit is hátrányait. Kitértem az általunk alkalmazott 3G/4G megoldásokra, ezáltal lehetséges megoldást mutatva a távfelügyelet iránti igényre

A szakirodalmi ismeretek gyakorlati alkalmazásának illusztrálására a DIVERFARMING projekt keretében létrejött kísérleti mérőállomások tervezését, kivitelezését és programozását mutattam be. A projekt keretében két mérőhelyen, Jakabszállásban egy spárgaföldön, illetve Villányban egy szőlőültetvényben létesítettünk kísérleti, majd állandó agrometeorológiai mérőállomást. A kísérleti mérések adatait feldolgoztuk, rendelkezésre állnak, továbbá az új állomások beüzemelése és a telekommunikáció kiépítése e dolgozat írásának idején zajlik. Kitértem az állomások tervezett jövőbeli állapotára, illetve a projekthez kapcsolódó egyéb fejlesztésekre is, mint például a valós idejű adatszolgáltatás, a szerverkapcsolat, valamint a különböző vezérlőrendszerek integrációja. Végezetül néhány konkrét eredmény bemutatásával igyekeztem az elkészült adatbázisok használhatóságát bemutatni. Méréseink eredményeit összehasonlítottam a környező egyéb állomások adataival (Jakabszállás esetén az OMSZ Kecskeméti állomásával, Villány esetén a PTE állomásával, illetve a Boreas Fejlesztő és Szolgáltató Kft. nagyharsányi állomásával).

E dolgozat az agrometeorológiai adatgyűjtés fontosságát, annak informatikai és infokommunikációs hátterét, valamint az ezek kombinációjaként előálló, korszerű döntéstámogató rendszerek növekvő szerepét kívánta hangsúlyozni. Az ilyen információs rendszer nem csupán tudományos, hanem közgazdasági szempontból is értékes, továbbá hozzájárul a fenntartható mezőgazdasági termelés és így a fenntartható élelmiszerbiztonság koncepcióinak realizálásához.

5. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Weidinger Tamásnak a szakmai vezetésért, a kutatásokkal kapcsolatos lehetőségek biztosításáért, az alkotó együttműködésért.

Köszönet illeti Dr. Mészáros Róbert az ELTE Meteorológiai Tanszék vezetőjét szakmai támogatásáért, értékes tanácsért, és tanulmányaim és a kutatómunkám értő gonddal való segítségéért.

Köszönetet érdemel Dr. Dezső József, a Pécsi Tudományegyetem Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék adjunktusa a DIVERFARMING projektben történő részvételi lehetőség biztosításáért és munkámba fektetett bizalmáért.

Köszönöm a Nedel-Market Kft. és a villányi Gere Attila Pincészete támogatását a projektmunka megvalósításában.

Szintén köszönöm Dr. Horváth László címzetes egyetemi tanár és a Zöldfü - Levegőkörnyezet-szakértő Bt. segítségét a terepi mérések kivitelezésében és a rendszeres felülvizsgálatok megoldásában.

Végezetül, de nem utolsó sorban hálásan köszönöm Szüleimnek tanulmányaim sokéves támogatását és előrelátó segítségüket.

6. Irodalomjegyzék

- Ács, F., 2005: On transpiration and soil moisture content sensitivity to soil hydrophysical data. *Boundary-Layer Meteorology*, 115: 473-497. doi: 10.1007/s10546-004-5937-8
- Adoghe, A.U., Popoola, S.I., Chukwuedo, O.M., Airoboman, A.E., and Atayero, A.A., 2017: Smart Weather Station for Rural Agriculture using Meteorological Sensors and Solar Energy. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2017, Vol I, WCE 2017, July 5-7, 2017, London, U.K.* ISBN: 978-988-14047-4-9, ISSN: 2078-0966 (Online)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998: Crop evapotranspiration - guide-lines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome. 326 p. www.fao.org/tempref/SD/Reserved/Agromet/PET/FAO_Irrigation_Drainage_Paper_56.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Allen, R.G., Walter, I.A., Elliott, R.L., Howell, T.A., Itenfisu, D., Jensen, M.E., and Snyder, R.L., 2005: The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. 59 p. Publication #199130
- Anda, A., Kocsis, T., Kovács, A., Tőkei L. és Varga, Z., 2010: Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek. Mezőgazda Kiadó. ISBN 978-963-286-598-0 https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Agrometeorologiai_es_klimatologiai_alapismeretek/adatok.html (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Árendás, Cs., 2011: Smartvine Yard™ (SzőlőŐr) – Szenzorhálózat szőlészeti növényvédelemhez. XVI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2011. március 24–25. doi: 10.36243/fmtu-2011.03
- Balasubramanian, A., 2016: Measurement of Meteorological Variables. Technical report. Department of Studies in Earth Science, University of Mysore, 13 p. doi: 10.13140/RG.2.2.21633.66405
- Barcza, Z., Fodor, N., (Szerkesztők) Árendás, T., Árvai, M., Barcza, Z., Bartholy, J., Cseresnyés, I., Fodor, N., Gell, Gy., Gelybó, Gy., Haszpra, L., Hidy, D., Horváth, F., Ittész, D., Koós, S., Laborczi, A., Marton, A.T., Mészáros, J., Nagy, Z., Papp, G., Pásztor, L., Pintér, K., Pokovai, K., Pongrácz, R., Rada, M., Salma, I., Sándor, R., Szatmári, G., Takács, K., és Takács, T., 2018: Az AgroMo megközelítés: integrált biogeokémiai és megfigyelőrendszer kialakítása a hazai agroklimatológiai környezetben – modellfejlesztés és megfigyelőrendszer kapcsolata és együttműködése. White paper. Martonvásár. 150 oldal. http://agromon.agrar.mta.hu/files/GINOP_SZAKMAI_ANYAG_2017_v14_FINAL.pdf. (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Beckwith, R., Teibel, D., and Bowen, P., 2004: Report from the Field: Results from an Agricultural Wireless Sensor Network. *Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'04)* doi: 10.1109/LCN.2004.105
- Bri, D., Ramos, F., Lloret, J., and Garcia, M., 2012: The influence of meteorological variables on the performance of outdoor wireless local area networks. In *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 5418-5422. doi: 10.1109/ICC.2012.6364448
- Bordás, Á., Kiss, T., Weidinger, T., Tordai, Á., Gyöngyösi, A.Z., Unger, J., Gál, T., and Sebők, I., 2017: The urban boundary layer 2016 campaign. In: Horvath, C., Croitoru, A.E., Guettler, I., Man, T.C., and Bartok, B. (eds.) *Climate System of the Pannonian Basin (PannEx) 3rd Workshop*, Cluj-Napoca, Románia, 45 p. <https://sites.google.com/site/projectpannex/workshops> (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Breuer, H., Berényi, A., Mari, L., Nagy, B., Szalai, Z., Tordai, Á., Weidinger, T., 2020: Analog site experiment in the High Andes-Atacama Region: surface energy budget components on Ojos del Salado from field measurements and weather research and forecasting simulations. *Astrobiology*. doi: 10.1089/ast.2019.2024
- Burrell, J., Brooke, T., and Beckwith, R., 2004: Vineyard Computing: Sensor Networks in Agricultural Production. *Sensor and Actuator Networks. IEEE Pervasive Computing*, 3(1), 10-17. doi.org/10.1109/MPRV.2004.1269130

- Campbell, J.L., Rustad, L.E., Porter, J.H., Taylor, J.R., Dereszynski, E.W., Shanley, J.B., Gries, C., Henshaw, D.L., Martin, M.E., and Sheldon, W.M., 2013: Quantity is Nothing without Quality: Automated QA/QC for Streaming Environmental Sensor Data. *BioScience*, 63(7), 574-585. doi.org/10.1525/bio.2013.63.7.10
- Chebbi, W., Benjemaa, M., Kamoun, A., Jabloun, M., and Sahli, A., 2011: Development of a WSN integrated weather station node for an irrigation alert program under Tunisian conditions. 8th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices March 2011, 6p. doi: 10.1109/SSD.2011.5767494
- Chen, W., 2013: Design and development of a wireless sensor network for the monitoring of plants. Dissertation for Master's Degree Master of Engineering. School of Software, Harbin Institute of Technology, China, 94 p. Classified Index: TP311, U.D.C: 681. <https://pdfs.semanticscholar.org/433d/8f6eef057ea09e2bb5ff2c7a24ea42411928.pdf> (Utóljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Desai, U.B., Jain, B.N., and Merchant, S.N., 2007: Wireless Sensor Networks: Technology Roadmap. A Project supported by Department of Information Technology, Ministry of Information and Communication Technology, India, 121 p. doi: 10.1.1.458.8531&rep=rep1&type=pdf
- Dhakal, A., 2010: WEB GIS to support irrigation management. A Prototype for SAGRA Network, Alentejo Portugal. MS Thesis (Dissertation supervised by Prof. Neto, M.), NOVA Information Management School (NOVA IMS), Portugal, 68 p. <https://run.unl.pt/handle/10362/2729?locale=en> (Utóljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Dhakar, R., Chandran, M.A.S., Nagar, S., and Kumar, S., 2016: Significance of Agrometeorological Advisory Services in Changing Climate Scenario. *Indian Farming*, 66. 44-46. OCLC Number of the Journal: 808591591.
- Digitális Jólét Program, 2019: Magyarország Digitális Agrár Stratégiája 2019-2022. www.kormany.hu/download/3/fb/a1000/Magyarorsz%25C3%25A1g%2520Digit%25C3%25A1lis%2520Agr%25C3%25A1r%2520Strat%25C3%25A9gi%25C3%25A1ja.pdf (Utóljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Eyjólfsson, K.I., 2014: Portable Weather Station. Final thesis for B.Sc. degree, University of Iceland, 113 p. https://skemman.is/bitstream/1946/20194/1/Karl_Ingi_BSc_Thesis_PWS.pdf
- Fiala, K., Barta, K., Benyhe, B., Fehérvári, I., Lábdy, J., Sipos, Gy., és Gyórfy, L., 2018: Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer. *Hidrológiai Közöny*, 98(3), 14-24. http://publicatio.bibl.u-szeged.hu/17598/1/Fiala_et_al2018HidrológiaiKozlony.pdf (Utóljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Fisher, D.K., and Gould, P.J., 2012: Open-Source Hardware Is a Low-Cost Alternative for Scientific Instrumentation and Research. *Modern Instrumentation*, 1, 8-20. dx.doi.org/10.4236/mi.2012.12002
- Foken, Th, 2008: *Micrometeorology*. Springer Science & Business Media, 308 p. ISBN: 978-3-540-74665-2, e-ISBN:978-3-540-74666-9.
- Fowler, D., Pilegaard, K., Sutton, M.A., Ambus, P., Raivonen, M., Duyzer, J., Simpson, D., Fagerli, H., Fuzzi, S., Schjoerring, J.K., Granier, C., Neftel, A., Isaksen, I.S.A., Laj, P., Maione, M., Monks, P.S., Burkhardt, J., Daemmgen, U., Neiryck, J., Personne, E., Wichink-Kruit, R., Butterbach-Bahl, K., Flechard, C., Tuovinen, J.P., Coyle, M., Gerosa, G., Loubet, B., Altimir, N., Gruenhage, L., Ammann, C., Cieslik, S., Paoletti, E., Mikkelsen, T.N., Ro-Poulsen, H., Cellier, P., Cape, J.N., Horváth, L., Loreto, F., Niinemets, Ü., Palmer, P.I., Rinne, J., Misztal, P., Nemitz, E., Nilsson, D., Pryor, S., Gallagher, M.W., Vesala, T., Skiba, U., Brüggemann, N., Zechmeister-Boltenstern, S., Williams, J., O'Dowd, C., Facchini, MC., de Leeuw, G., Flossman, A., Chaumerliac, N., Erismann, W., 2009: Atmospheric composition change: Ecosystems-Atmosphere interactions. *Atmospheric Environment*, 43(33), 5193-5267. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.068>
- de França, J.A., Júnior, E.L.B., Koyama, M.H., Pereira, R.V., Canteri, M.G., and de moris França, M.B., 2009: System of microstations of data acquisition for wireless monitoring of the microclimate in crop areas. *Corpus ID: 202624556* <https://www.researchgate.net/publication/237122265> (Utóljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Gaspar, N.A., de Oliveira Aparecido, L.E., de Souza Rolim, G., de Souza, P.S., and Botelho, T.G., 2015: Software for the management of weather stations and for agrometeorological calculations. *Australian Journal of Crop Science*, (6), 545-551. *AJCS* 9(6):545-551(2015), ISSN:1835-2707
- Gelencsér, A., Molnár, Á., és Imre, K., 2012: Az éghajlatváltozás okai és következményei. *Digitális Tankönyvtár*. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_eghajlatvaltozas/adatok.html (Utóljára megnyitva: 2020.05.15.)

- Georgiev, G., Petkov, D., and Nikolov, H., 2005: A field WLAN for agro-meteorological data collection. In 4th Congress of the Balkan Geophysical Society (pp. cp-26). European Association of Geoscientists & Engineers. doi: 10.3997/2214-4609-pdb.26.P9-03
- Gommes, R., Challinor, A., Das, H., Dawod, M.A., Mariani, L., Tychon, B., Krüger, R., Otte, U., Vega, R.E.R., and Trampf, W., 2010: Guide to Agricultural Meteorological Practices. World Meteorological Organization: No. 134. 799p. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/documents/WMO_No134_en.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Lóczy, D., és Dezső, J., 2018: A hagyományos szőlőtermesztés terménydiverzifikációjának tájökölógiai vonatkozásai. Földrajzi Tanulmányok 2018. Szerkesztette: Fazekas, I., Kiss, E., és Lázár, I., Debrecen, 243-246. ISBN: 978-963-508-897-3
- Lung, S.C., Jones, R., Zellweger, C., Karppinen, A., Penza, M., Dye, T., Hüglin, C., Ning, Z., Leigh, R., Hagan, D., Laurent, O., and Carmichael, G., 2018: Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition. Overview of topic and future applications, Geneva, Schweiz: World Meteorological Organization (WMO), WMO-No. 1215 46 p. ISBN 978-92-63-11215-6 https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9881 (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Han, B., Hui, P., and Srinivasan, A. (2010). Mobile data offloading in metropolitan area networks. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 14(4), 28-30. doi.org/10.1145/1942268.1942279
- Hassanzadeh, A., Borghei, A., and Lindquist, R.G., 2008: Relative humidity measurement using capacitive sensors. In IEEE IEEE SoutheastCon., 396-398.
- doi: 10.1109/SECON.2008.4494326
- Hatfield, J.H., and Prueger, J.H., 2015: Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes, 10, 4-10. doi: 10.1016/j.wace.2015.08001
- Hayhoe, H., Hoefsloot, P., Hyera, T., Lu, H., Motha, R., Veerasamy, M., and Wieringa, 2012: Agricultural Meteorological Data, Their Presentation and Statistical Analysis. Chapter 3. Guide to Agricultural Meteorological Practices WMO No. 134. ISBN 978-92-63-10134-1 www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/documents/WMO_No134_en.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Heuvelink, E., and Dorais, M., 2005: Crop growth and yield. In: Heuvelink, E. (ed.) Tomato. Crop Production Science, In Horticulture Series, No. 13. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 352 p.
- Horváth, Z., and Varga, D., 2009: Channel allocation technique for eliminating interference caused by RLANs on meteorological radars in 5 GHz band. Infocommunications Journal, LXIV, 2009/III, 24-34.
- <https://pdfs.semanticscholar.org/fe33/c754ac573802716dc54edf4d28adc4fd4659.pdf> (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Hubbard, K.G., and Sivakumar M.V.K., 2001: Automated weather stations for applications in agriculture and water resource management: Current use and future perspectives, AGM-3, WMO/TD-No. 1074), Lincoln, Nebraska, High Plains Regional Climate Center; Geneva, WMO; 133–136.
- Jarraud, M., 2008: Guide to meteorological instruments and methods of observation (WMO-No. 8). World Meteorological Organisation: Geneva, Switzerland, 681p. ISBN 978-92-63-100085
- Kaimal, J.C., 1980: Sonic anemometers. Air-sea Interaction: Instruments and Methods (Dobson, F., Hasse, L., and Davis, R. eds), Plenum Press, New York, pp. 81-96. ISBN 978-1-4615-9182-5
- Kanhere, S.S., 2011: Participatory Sensing: Crowd sourcing Data from Mobile Smart phones in Urban Spaces. MDM '11: Proceedings of the 2011 IEEE 12th International Conference on Mobile Data Management, 2, 3-6. doi.org/10.1109/MDM.2011.16
- Karkouch, A., Mousannif, H., Al Moatassime, H., and Noel, T., 2016: Data quality in internet of things: A state-of-the-art survey. Journal of Network and Computer Applications, 73, 57-81. doi: 10.1016/j.jnca.2016.08.002.

- Kollega T. I., Bekény I., és Dányi., 1996: Magyarország a XX. században. Babits Kiadó. 3266 oldal, ISBN: 963-9015-53-9
- Lakatos, M., Weidinger, T., Hoffmann, L., Bihari, Z., Horváth, Á., 2020: Computation of daily Penman-Monteith reference evapotranspiration in the Carpathian Region and comparison with Thornthwaite estimates. *Advances in Science and Research*, 16, 251-259. doi.org/10.5194/asr-16-251-2020
- Lazarovitch, N., Ben-Gal, A., and Shani, U., 2006: An automated rotating lysimeter system for greenhouse evapotranspiration studies. *Vadose Zone Journal*, 5(2), 801-804. doi: 10.2136/vzj2005.0137
- Léggör, 2012: Dr. Antal Emánuel 80 Éves. *Léggör* 57(1), 28-34.
- Lewis, A.C., von Schneidmesser, E., and Peltier, R.E. (eds.), 2018: Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications. WMO-No. 1215, 68 p. ISBN 978-92-63-11215-6
- Maini, P., and Rathore, L.S., 2011: Economic impact assessment of the Agrometeorological Advisory Service of India. *Current Science*, 101(10), 1296-1310. <https://www.researchgate.net/publication/286328443> (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Martino, R., Nicolazzo, M., and Langella, G., 2019: A full integrated system for agroclimatic and pest monitoring at farm and landscape scales in Campania Region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1-7275. 012007. 1-7. doi:10.1088/1755-1315/275/1/012007
- Mateo, M.A.F., and Leung, C. K.-S., 2008: CHARIOT: A Comprehensive Data Integration and Quality Assurance Model for Agro-Meteorological Data. *Data Quality and High-Dimensional Data Analysis. Proceedings of the DASFAA 2008 Workshops*, 21-41. https://doi.org/10.1142/9789814273497_0003
- Matese, A., Di Gennaro, A.F., and Zaldei, A., 2015: Agrometeorological monitoring: Low-Cost and Open-Source – is it possible? *Italian Journal of Agrometeorology*, 3, 81-88. http://agrometeorologia.it/documenti/Rivista2015_3/agrometeorological_monitoring_low_cost_and_open_source_is_it_possible.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Matese, A., Di Gennaro, S.F., Zaldei, A., Genesio, L., and Vaccari, F.P., 2009: A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture* 69, 51-58. doi.org/10.1016/j.compag.2009.06.016
- Mészáros R., 2013: Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek. TÁMOP-4.1.2 A1 és a TÁMOP-4.1.2 A2 könyvei. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0073_meteorologiai_muszerek_merorendszerek/adatok.html (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Mungai, D.N., Stigter, C.J., Coulson, C.L., and Ngángá, J.K., 2000: Simply obtained global radiation, soil temperature and soil moisture in an alley cropping system in semi-arid Kenya. *Theoretical and Applied Climatology*, 65, 63-78. doi.org/10.1007/s007040050005
- Mushtaq, S., Chen, C., Hafeez, M., Maroulis, J., and Gabriel, H., 2012: The economic value of improved agrometeorological information to irrigators amid climate variability. *International Journal of Climatology*, 32(4), 567-581. doi: 10.1002/joc.2015
- Nagy, Z., Weidinger, T., Szász, G., Baranka, Gy., Tóth, Z., Nagyné Kovács, E. és Törék, O., 2008: Célzott éghajlati mérőhálózat a globális klímaváltozás magyarországi hatásainak nyomon követésére. IV. Magyar Földrajzi Konferencia (Szerkesztők: Szabó, V., Orosz, Z., Nagy, R., és Fazekas, I.), Debrecen, 157-162. ISBN 978-963-06-6004-4
- Nsabagwa, M., Otim, J., Akol, R., Ninsiima, G., Mwesigye, R., Byamukama, M., and Pehrson, B., 2018: Condition Monitoring for Wireless Sensor Network-Based Automatic Weather Stations. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 4(14), e4, 1-11. doi: 10.4108/eai.20-12-2018.156083
- Ojha, T., Misra, S., and Raghuwanshi, N.S., 2015: Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture* 118 (2015) 66–84. dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011
- Rácz, Cs., 2014: Kukoricaállományok energetikai és párolgási viszonyainak vizsgálata. (Témavezető: Szász G.), Debreceni egyetem, Kerpely Kálmán Doktori Iskola, Tézisfüzet, 24 oldal. Debrecen 2014.

- https://dea.lib.unideb.hu/dea/bitstream/handle/2437/194635/Racz-Cs_tezisek-t.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Reda, H.T., Daely, P.T., Kharel, J., and Shin, S.Y., 2018: On the Application of IoT: Meteorological Information Display System Based on LoRa Wireless Communication. IETE Technical. Review. doi: 10.1080/02564602.2017.1279988.
- Salinger, M.J., Stigter, C.J., and Das, H.P., 2000: Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103(1-2), 167-184. doi: 10.1016/S0168-1923(00)00110-6, ISSN: 01681923
- Sentelhas, P.C., Dalla Marta, A., Orlandini, S., Santos, E.A., Gillespie, T.J., and Gleason, M.L., 2008: Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(3), 392-400. doi: 10.1016/j.agrformet.2007.09.011
- Sequeira, A., and Tiso, J., 2013: Cisco CCNA Routing and Switching 200-120 Foundation Learning Guide Library (1st. ed.). WebEx Communications. 1200p. ISBN: 978-1-58714-378-6
- Shukla, S., Yu, C.Y., Hardin, J.D., and Jaber, F.H., 2006: Wireless Data Acquisition and Control Systems for Agricultural Water Management Projects. *Hort Technology*, 16(4), 595-604. doi.org/10.21273/HORTTECH.16.4.0595
- Smith, K.A., and Mullins, C.E., 2000: *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*. New York, Marcel Dekker, Inc, 651 p. ISBN 0-8247-0414-2 (alk. paper) <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Soil-and-Environmental-Analysis.pdf> (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Strangeways, I., 2003: *Measuring the Natural Environment*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139087254
- Strigaro, D., Cannata, M., and Antonovic, M., 2019: Boosting a Weather Monitoring System in Low Income Economies Using Open and Non-Conventional Systems: Data Quality Analysis. *Sensors (Switzerland)*, 19, 1185. doi: 10.3390/s19051185
- Sui, R., and Baggard, J., 2015: Wireless Sensor Network for Monitoring Soil Moisture and Weather Conditions. *Applied Engineering in Agriculture*. 31(2), 193-200. doi: 10.13031/aea.31.10694
- Stigter, C., and Musabilha, V., 1982: The Conservative Ratio of Photosynthetically Active to Total Radiation in the Tropics. *Journal of Applied Ecology*, 19(3), 853-858. doi:10.2307/240328
- Szalai, V., 2020: Referencia evapotranszpiráció alapú párolgás becslések hazai spárga- és szőlőültetvényeken. Diplomamunka (Témavezető: Weidinger, T), ELTE Meteorológiai Tanszék, 74 oldal.
- Szegedi, S., 2008: History of the meteorological observations in Debrecen. *Acta Geographica Debrecina Landscape and Environment Series*, 2(1), 1-5.
- ISSN 1789-7556 (Online), doi:10.21120/LE
- Szlivka F., Molnár I., 2012: Víz-és szélenergia hasznosítás. TÁMOP-4.1.2 A1 és a TÁMOP-4.1.2 A2 könyvei. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_10_viz_es_szelenergia/ch03.html (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Szőke, L., 2014: Növényvédelmi előrejelzés tapasztalatai ECOWIN projektben (At-Hu L 00083/01.sz. projekt). http://gradus.kefo.hu/archive/2014-1/2014_1_AGR_017_Szoke.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Szőke, L. és Vér, A., 2015: A helyi meteorológiai mérésekre alapozott szőlő növényvédelmi előrejelzés tapasztalatai az Istervin és az Ecowin program keretében 2010-2015. *Gradus*, 2(2), 318-325. ISSN 2064-8014
- Tam, S., Nyvall, T. J., Brown, L., 2005: *B.C. Irrigation Management Guide*. Irrigation Industry Association of British Columbia, Prepared by B.C. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries Resource Management Branch, Edited by Ted W. van der Gulik. Published by Irrigation Industry Association of British Columbia. 52 p.
- Tenzin, S., Siyang, S., Pobkrut, T., and Kerdcharoen, T., 2017: Low Cost Weather Station for Climate-Smart Agriculture 172-177. Conference: 2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST). doi: 10.1109/KST.2017.7886085

- Tímár Á., 2014: Párolgásbecslő módszerek összehasonlító vizsgálata a Fertő tóra. Szakdolgozat (Témavezető: Weidinger T.) ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. http://nimbus.elte.hu/tanszek/docs/BSc/2014/TimarAgnes_2014.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Tordai, Á.V., 2015: Adatfeldolgozási módszerek fejlesztése a 2015-ös PABLS határreteg mérési program során. TDK Dolgozat (Témavezető: Weidinger, T.), ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. http://nimbus.elte.hu/docs/2015_Meteorologus_TDK_program.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Tordai, Á.V., 2017: Mikrometeorológiai mérőrendszer kialakítása és alkalmazása síkvidéki, magashegyi és barlangi körülmények között. XXXIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Fizika, Földtudományok és Matematika Szekció Kiadványkötet, 148. oldal. http://otdt.hu/upload/files/1524303445_fifoma_rezume.pdf (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Varga, Z., 2012: Meteorológiai kutatások és oktatás a Nzugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Karán. Egyetemi Meteorológiai Füzetek No. 24. (Szerkesztők: Pongrácz, R., Mészáros, R., Dobor., L., és Kelemen, F.) 140-145. ISSN 0865-7920, ISBN 978-963-284-186-1
- Vasiraju R.K.M. (lead), Grant, R., Milford, J., Oliphant, A., Orlandini, S., Stigter, K., Wieringa, J., Facilitators: Argete, A., Han, Y., Kazandjiev, V., Lalic, B., Mattii, G., Nathan, K.K., Sabatini, F., and Zanchi, C., 2012: Agricultural Meteorological Variables and Their Observations. Chapter 2. Guide to Agricultural Meteorological Practices WMO No. 134. ISBN 978-92-63-10134-1
- Walker, J.P., Willgoose, G.R., and Kalma, J.D., 2004: In situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. *Journal of Hydrology*, 293(1-4), 85-99. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.008>
- Weidinger, T., 1988: A talajközeli légréteg hazai kutatásának fejlődése. *Légekör* XXXIII (2), 19-22.
- Weidinger, T., 2012: Mikrometeorológiai mérések az ELTE Meteorológiai Tanszékén *Légekör*, 57. évfolyam 4. szám 137-143. ISSN 0 133-3666
- Weidinger, T., Virág, M., Tordai, Á.V., Lukács, D., Leél-Őssy, Sz., és Mindszenty, A., 2018: Barlangklimatológiai mérések a Budai-termáلكarszton. In: Cserny, T., és Alpek, B.L. (szerk.) "Földtudományok és környezet – harmóniában": tanulmánykötet, Pécs, Magyarország, Magyarhoni Földtani Társulat, 129-134. ISBN 9789638221742
- Weidinger, T., Gyöngyösi, A.Z., Gandhi, A., Tordai, Á., Krámer, T., Torma, P., Rehák, A., Kardos, P., Horváth, Á., Pappné Ferenczi, Z., Horváth, Gy., Balogh, T., Geresdi, I., and Imre, K., 2019a: Mikrometeorológiai mérések ködhelyzetek elemzésére. XIV. Magyar Aeroszol Konferencia. 2019. október 2-4. Visegrád. Előadás összefoglalók. <https://www.szfki.hu/mak2019/> (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Weidinger, T., Večenaj, Ž., Krámer, T., Lázár, I., Gyöngyösi, A.Z., Ptičar, D., Torma, P., Rehák, A., Szilágyi, M., Breuer, H., Tordai, Á., Bordás, Á., and Grisogono, B., 2019b: Joint Croatian-Hungarian micrometeorological experiments in Zagreb vineyards (2016-2018) and on Lake Balaton (2018): instrumentations, data-sets, and modelling work. 5th PannEx Workshop: Building PannEx Task Teams to address environmental needs in the Pannonian basin. 3 - 5 June 2019, Novi Sad, Serbia. <https://sites.google.com/site/projectpannex/workshops> (Utoljára megnyitva: 2020.05.15.)
- Weidinger, T., Ács, F. Koncz, P., 2020: Mikroklíma-szabályozás. 91-131. oldal. Klíma és Energia szakértői Munkacsoport beszámolója. Készült az Agrárminisztérium megbízásából a NÖSZTÉP Program keretében (Szerkesztette Koncz, P.), Kézirat, 181 oldal.
- Wieringa, J., and Lomas, J., 2001: Lecture Notes for Training Agricultural Meteorological Personnel (Wieringa, J., and Lomas, J.) (WMO-No. 551), Geneva. ISBN: 978-92-63-12551-4
- Zhou, H., Wang, H., Li, X., and Leung, V.C.M., 2018: A Survey on Mobile Data Offloading Technologies. *IEEE Access*. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2799546.
- Zou, Y., Zhu, J., Wang, X., and Hanzo, L., 2016: A survey on wireless security: Technical challenges, recent advances, and future trends. *Proceedings of the IEEE*, 104(9), 1727-1765. doi: 10.1109/JPROC.2016.2558521

Internet-es hivatkozások

- [1 – diverfarming.eu] <http://www.diverfarming.eu/index.php/hu/> - a DIVERFARMING program magyarországi kezdőlapja
- [2 – met.hu] - www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2011/09_Szasz.pdf - Szász, G., Nagy, Z. és Weidinger, T., Agrometeorológiai mérések Debrecenben, az alapéghajlati mérőhálózat kismacsi mérőállomása
- [3 – agronaplo.hu] - www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2008/02/szantofold/agrometeorologiai-meresek-modszerana-es-felhasznalhatosaga-a-mezogazdasagban - Szőke, L., Agrometeorológiai mérések módszertana és felhasználhatósága a mezőgazdaságban.
- [4 – agroforum.hu] - <https://agroforum.hu/agrarhirek/agrarkozelet/a-kozelmultban-adtak-at-hazank-legkorszerubb-agrometeorologiai-merohelyet/> - Szőőr B., 2019: A közelmúltban adták át hazánk legkorszerűbb agrometeorológiai mérőhelyét.
- [5 – viticulture.unl.edu] - <https://viticulture.unl.edu/publication/Climate-weather%20and-instrumentation.pdf> - Climate, Weather, and Instrumentation in the Vineyard, University of Nebraska–Lincoln Agronomy and Horticulture Viticulture Program
- [6 – wmo.int] http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/documents/WMO_No134_en.pdf - Guide to Agricultural Meteorological Practices, 2010 edition.
- [7 – agraragazat.hu] - <https://agraragazat.hu/hir/a-szoloor-az-ev-agrarinnovacioja/> - A Szőlőőr az év agrárinnovációja, Agrárágazat.
- [8 – zigbeealliance.org] - <https://zigbeealliance.org> - A meteorológiai gyakorlatban is használt Zigbee Alliance weboldala
- [9 – semtech.com] – <https://zigbeealliance.org> - A Semtech Corporation weboldala
- [10 – lora-alliance.org] - <https://lora-alliance.org> - A Lora Alliance® weboldala
- [11 – campbellsci.com] - <https://www.campbellsci.com/> - A Campbell Scientific műszerforgalmazó weboldala
- [12 – teltonika-networks.com] - <https://teltonika-networks.com> – A Teltonika Networks weboldala
- [13 – nimbus.elte.hu] - http://nimbus.elte.hu/~acs/pdf/OKTATAS/fel_leg_kol_2.pdf - Ács F., Felszín-légkör kölcsönhatás, Oktatási segédlet.