

IoT eszközök alkalmazása a döntéshozatal támogatására

Use of IoT tools to support the decision-making process

M. TÓTH¹, J. FELFÖLDI², R. SZILÁGYI³

¹Debreceni Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Alkalmazott Informatika és Logisztika Intézet, mihalytoth92@gmail.com

²Debreceni Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Alkalmazott Informatika és Logisztika Intézet, felfoldi.janos@econ.unideb.hu

³Debreceni Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Alkalmazott Informatika és Logisztika Intézet, szilagyi.robert@econ.unideb.hu

Absztrakt. Napjainkban a szenzorhálózatok és az IoT koncepció alapján fejlesztett rendszerek egyre több területen mutatják meg általuk nyújtott előnyöket, melyek elősegítik a vizsgált folyamatok során jellemző döntések meghozatalát és ebből adódóan az optimális eredmény elérését. Jelen kísérlet során egy élelmiszeripari tevékenység kapcsán alkalmazott szárítókamra kiegészítő szenzorhálózattal történő ellátását mutatjuk be, melynek alapját egy korábbi fejlesztésből származó moduláris rendszer biztosította a szükséges modulok célspecifikus módosítása által. A fő célkitűzések közé tartozik az eszköz fejlesztése, a gyárilag beépített eszköz méréseinek verifikálása, a mérések elérését szolgáló felület biztosítása, majd a következtetések után a rendszer további fejlesztése és a web alkalmazás funkcióinak bővítése. A gyárilag beépített adatgyűjtő és vezérlő rendszer szöveges fájlok formájában tárolja a méréseket, míg az általunk beépített adatgyűjtő és vezérlő rendszer egységes mérési adatbázist használ az adatok tárolására, így azok egységesítésére feladat-specifikus alkalmazás került fejlesztésre. A begyűjtött adatok elemzése a tranzakcióorientált adatbázist átalakító ETL (extract, transform, load) algoritmus futtatása után került elvégzésre. Az eddigi mérések jól mutatják a több ponton végzett mérések előnyét az értékek közötti jelentős eltérés által, így mindenképp érdemesnek látjuk a további fejlesztéseket.

Abstract. Nowadays sensor networks and other systems, based on the IoT concept demonstrate the benefits of their usage, which includes the support of the decision-making process, therefore achieving an optimal result in the context of more and more fields. In this experiment, an additional sensor network has been developed based on a modular system derived from a previous development by means of a target-specific modification of the required modules to measure environmental data in a drying chamber used in food industry. The main objectives include the development of the device, the verification of the measurements of the factory-built device, providing an interface, which is able access the measurement data and after gathering experience from the usage, further developing the system and extending the functionality of the web application. The built-in data acquisition and control system stores the data of the measurements in the form of text files, while our additional data acquisition and control system uses a unified measurement database to store the data. According to the structure, a task-specific application has been developed in order to unify the two sources. Analysis of collected data was performed after

running the ETL (extract, transform, load) algorithm converting the transaction-oriented database. The experiment shows so far the benefits of the multi-point measurements by a significant difference between the measured values, so we certainly consider further developments.

Bevezetés

A technológia fejlődésével egyre szélesebb körben állnak rendelkezésünkre adatok különböző vizsgált folyamatokkal kapcsolatban. Bármilyen folyamatról is beszéljünk, minden esetben döntések sorozatával találkozunk, melyek valamilyen módon befolyásolják az eredményt. A kifejtésre kerülő fejlesztés azon megállapítás kapcsán került megvalósításra, miszerint egy élelmiszeripari tevékenység során kiemelkedően fontos az előállítás, feldolgozás módszere és ebből adódóan annak eredménye (minőségi és mennyiségi tulajdonságok) a megfelelő értékesíthetőség érdekében. Az előbbi esetében a különböző környezeti paraméterek lényegesen befolyásolják az eredményt, így azok kontrollálásával (adatgyűjtés és környezeti paraméterek vezérlése) a technológia megfelelő alkalmazása által egyfajta előnyre tehetünk szert a termelés során.

Manapság nem ritka, hogy a folyamat kontrollálása különböző adatgyűjtési eljárásokkal kerül kiegészítésre a változó tényezőkhöz való alkalmazkodás érdekében, ám a szenzorhálózatok és az IoT (Internet of Things - tárgyak internete) koncepció alapján fejlesztett rendszerek megjelenésével érdemes újraértékelnünk az ezzel kapcsolatos elképzeléseket. Abban az esetben, ha a különböző paraméterek térbeli változásait is figyelembe kívánjuk venni, a megfelelő pontosság elérése érdekében nem feltétlen elegendő, ha egy tényező vizsgálata során csak egy ponton vagy egy tulajdonságra vonatkozóan végzünk méréseket. Az egyre inkább csökkenő költségeket jelentő szenzorok és az egyre fejlettebb adatgyűjtő és vezérlő rendszerek lehetőséget biztosítanak a térbeli adatgyűjtés kis kockázat mellett történő alkalmazására. Ezt a jelenlegi írás is bemutatja egy példán keresztül, mely a teljes folyamatot magában foglalja, beleértve a hardver és a szoftver fejlesztését, azok tesztelését, majd ezt követően a rendszer által mért adatok elemzését.

1. Szakirodalmi áttekintés

A szakirodalmi áttekintés során érdemes kifejteni a szenzorhálózatok illetve az IoT koncepció fogalmát, emellett az azok által nyújtott lehetőségeket a jelen fejlesztéshez technológia vagy alkalmazási terület alapján kapcsolódó elemzések és további fejlesztések bemutatása által. Az említett fogalmak kapcsán érdemes megemlíteni, hogy az IoT koncepció egy számos komponenssel rendelkező rendszert határoz meg, melynek fontos része a szenzorhálózat, mint ennek működését alátámasztó eszköz, így fontos a közöttük lévő összefüggés meghatározása.

Egy szenzorhálózat strukturált vagy nem strukturált módon elhelyezett (akár több ezer darab) csomópontból áll, melyek közösen működve adatokat gyűjtenek egy adott területen követés vagy megfigyelés céljából. Az alacsony áramfelvételű, egy vagy több szenzorral, vezérlővel és aktuátorral ellátott a csomópontok érzékelik, mérik, illetve összegyűjtik a szenzorok által számszerűsíthető környezeti adatokat. majd továbbítják azokat annak érdekében, hogy a felhasználó számára elérhetővé váljanak döntéshozatal támogatása céljából [1]. 1978-ban a DARPA által megrendezett „Distributes

Sensor Nets Workshop” keretein belül megoldást kerestek a hálózattal, jelfeldolgozási technológiákkal és disztribútolt algoritmusokkal kapcsolatos kérdésekre, ezt követően a Rockwell Science Center és a University of California együttműködése által bemutatták a vezeték nélküli integrált szenzorhálózatok (WINS) korai koncepcióját, mely tekinthető a szenzorhálózatok megjelenésének első pontjaként. A projekt legjelentősebb eredménye az 1996-ban bemutatott LWIM (Low Power Wireless Integrated Microsensor) adatgyűjtő rendszer volt, mely a szenzorokat, az interfészt, a digitális jelfeldolgozó processzort, a rádiófrekvenciás vezérlőt és a mikrokontrollert integráltan, egy nyomtatott áramkörön tartalmazta [2]. A további fejlesztések koordinálása érdekében meghatározásra kerültek a kiemelt figyelmet igénylő attribútumok, melyhez hozzátartozik az energiatakarékosság a lefedettség, a kapcsolati lehetőségek diverzitása, a skálázhatóság, a bővíthetőség és a biztonság [3]. A specializált hálózati protokollok és növekvő számítási teljesítmény által létrejött a multi-hop architektúra (a csomópontok egymással való kommunikációja révén), mely a különböző folyamatokhoz való alkalmazkodást elősegítő skálázhatóság mellett a hatótávolság és párhuzamos műveletvégzés kapcsán egyaránt előrelépést nyújtott [4]. Multi-hop architektúra esetében a két rendszer elemei fedhetik egymás mérési tartományát. Mivel aktív eszközökről beszélünk, azok képesek felismerni egymás jelenlétét és egységes protokoll segítségével olyan feladatokat képesek ellátni, mint az útválasztás, a csomópontok lokalizálása vagy az időszinkronizálás [5], így elősegítve önmaguk szervezését. A WSN (vezeték nélküli szenzorhálózatok) egy ígéretes technológia, amely új gazdasági lehetőségeket teremthet többek között a mezőgazdaság és az élelmiszeripar számára [6].

Az IoT koncepció valamivel később, 1999-ben került a köztudatba a Massachusetts Institute of Technology (MIT) által, ahol a megnevezést autonóm módon interakcióba lépő és önszerveződő objektumok és folyamatok hálózat formájában történő alkalmazására használták [7]. A koncepció négy alappillérből tevődik össze. Az első pillér az előbbieken bemutatott WSN (szenzorhálózat), míg a további pilléreket az M2M (gép és gép közötti kommunikáció), az RFID (rádiófrekvencián alapuló egyedi azonosítás és követés) és a SCADA (felügyeleti ellenőrzés és adatgyűjtés) jelenti [8]. Az IoT koncepció alapján fejlesztett rendszerek az egyén, az ipar és az infrastruktúra támogatását egyaránt szolgálhatja. Az ipar támogatásának lehetőségei közé tartozik többek között az intelligens gyárak (automatizálás, gépi látás, robotika, gépi tanulás alkalmazása), intelligens energiahálóok és intelligens környezet kialakítása [9].

Mindkét meghatározás kapcsán láthattuk a rendszer egységes céljait és az ipar általuk történő támogatásának lehetőségét. A negyedik ipari forradalom alapjaként is emlegetett Industry 4.0 a gyártási technológiák automatizálásának és az adatcserének szemlélete, mely a jelenleg aktuális koncepciók széles körére utal, beleértve az úgynevezett intelligens gyárat, mely alapján a gyártást támogató eszközök szenzorokkal és aktuátorokkal kerülnek felszerelésre, ezzel segítve az autonóm rendszer kialakítását [10]. A benne foglalt technológiai koncepciók közé tartozik az IoT és a Big Data, a folyamatok automatizálása, a felhő alapú műveletvégzés, a kiterjesztett valóság, az intelligens robotika, az adatvédelem és az additív gyártás gondolata [11]. Az egységes szemlélet alapján a holisztikusan digitalizált modellek és a „mindenütt jelenlévő számítástechnika” segítségével alátámasztott intelligens gyárak önmagukat autonóm módon vezérlik [12]. Ebből is látszik, hogy adatok elemzése mellett azok M2M (gép és gép közötti kommunikáció) módon történő felhasználása által nyújtott lehetőségek előnye. A vezérlés kapcsán alkalmazott PID (párhuzamos kompenzáción alapuló

szabályozótípus), a modern módszerként említett modell alapú szemléletet, az elmosódott halmazok logikáját (Fuzzy Logic) és a neurális hálózatot alapul vevő módszerek mellett fontosnak tartják a vezeték nélküli szenzorhálózatok (WSN) és internet-alapú (IoT) rendszerek alkalmazását [13].

Az élelmiszeriparban alkalmazott adatgyűjtési és vezérlési eljárások széles skálán mozognak, egészen a követéstől (képzékelés vagy RFID alapon) egyes minőségi paraméterek képalkotás útján történő megállapításáig (gépi látás). Az élelmiszeripar jelentős változáson megy keresztül a fogyasztói igényeknek való megfelelés érdekében, mely az egészségügyi is élelmiszerbiztonsági tényezőkön felül a magas minőséget és diverzitást is magába foglalja [14].

Egyes esetekben képesek vagyunk az adott termék teljes életútját végigkövetni. Egy borászat több szenzorhálózat segítségével követi az alapanyagokra és a késztermékekre ható környezeti hatásokat, mely a szőlőskertben hőmérséklet, relatív páratartalom, fényerősség (PAR), szél erősség és szélirány, míg a pincében a hőmérséklet és páratartalom adatokra terjed ki [15]. Más esetben a tárolás körülményei nyújthatnak számunkra információt. Hűtött termékek szállítása és tárolása esetén a hőmérséklet fontos tényező az eltarthatóságban. Erre példa lehet egy publikáció, mely a hústermékek szállítása során felmerülő környezeti hatások vizsgálatát végző eszköz fejlesztését mutatja be. A járművek belső falán, illetve a szállítási egységeket képző dobozokban 9 darab, míg a mintavétel-szerűen kiválasztott hústermékek felületén, illetve azokon belül 5-6 centiméter mélyen 4 darab szenzor biztosította az adatokat a hőmérsékletváltozás okozta minőségromlásból eredő veszteségek elkerülése érdekében [16]. Az imént említett fejlesztéshez hasonló, ám az említettekén felül páratartalom, CO₂ koncentráció, mozgás és lokáció meghatározására is alkalmas eszköz [17] nagyobb lefedettséget biztosít az eltérő termékekhez való alkalmazkodás érdekében.

A konvencionális szenzorok mellett érdemes megemlíteni olyan lehetőségeket, mint a kémiai szenzorok, vagy épp a képalkotó szenzorok alkalmazása, melyek más-más minőségi paraméterek megállapítására alkalmasak. A képalkotó szenzorok, azaz a gépi látás jellemző lehetőségei közé tartozik az olyan módszerek alkalmazása, mint a forma elemzés, a morfológia elemzés, az objektumok elhelyezkedése, a textúra analízis, a statisztikai mintafelismerés és a jellemzők változatossága [18]. Erre példa lehet egy szárított fügek automatizált osztályozását megcélzó fejlesztés, mely valós időben képes 98%-os pontossággal képes meghatározni a főbb minőségi paramétereket egyszerű RGB kép segítségével [19], neurális hálózat és infravörös képalkotás alkalmazása nélkül.

2. Anyag és módszer

A fejlesztés és tesztelés kapcsán fontos megismernünk azokat a tényezőket, melyek szükségessé tették esetünkben a kiegészítő adatgyűjtés alkalmazását. Emellett érdemes említést tenni az erre a célra specializált, majd alkalmazott eszközök felépítéséről, főbb tulajdonságairól és működésükről, mely lehetővé teszi a lehetőségek és a jelenleg fennálló korlátok pontosabb meghatározását.

2.1. Helyzetfelmérés

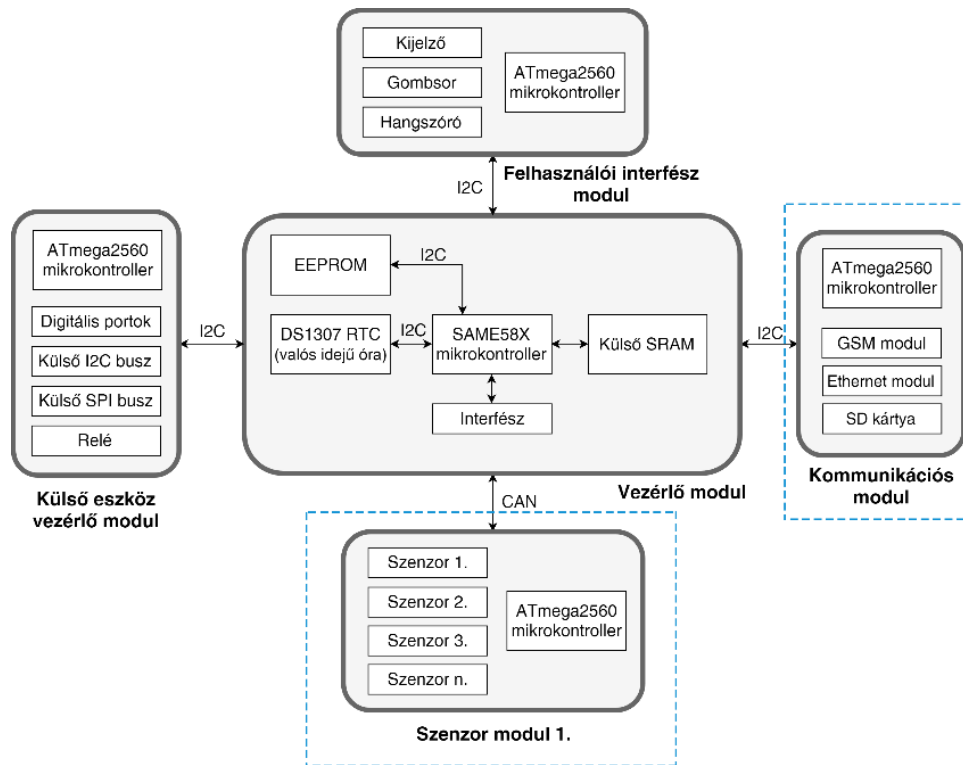
A bemutatásra kerülő fejlesztés során egy szárítókamra környezeti paramétereinek mérésére volt szükség. A szárítókamrát rendszeresen használó személyzet többször tapasztalta a gyárilag beépített

adatgyűjtő és vezérlő rendszer rendellenes működését, mely leginkább a benne kezelt termékekre jellemző inhomogén minőségi paraméterekben mutatkozott meg. A megfelelő értékintervallumba eső nedvességtartalommal rendelkező termékek mellett gyakori volt a nem elfogadható mértékben nedves vagy száraz termék realizálása, mely a minőségi sztenderdek miatt kieséshez vezetett, ezzel csökkentve az elkészült végtermék mennyiséget és növelve a ráfordítást. A gyárilag beépített adatgyűjtő és vezérlő rendszer egy darab hőmérséklet és páratartalom-mérő szenzorral reprezentálja a megközelítőleg 10,3 m³ térfogattal rendelkező szárítókamrát. Külső jelzés hiányában ennek típusa és működését meghatározó attribútumai nem meghatározhatók, ám a PLC-vel (programozható logikai vezérlő) való kapcsolata alapján analóg eszköztől beszélünk, saját vezérlés nélkül, mely a PLC beépített ADC-jére (analóg-digitális konverter) hagyatkozik a hőmérséklet és páratartalom meghatározása érdekében.

A bemutatásra kerülő, a teszt érdekében az adott környezet és feladat figyelembevételével fejlesztésre került szenzorhálózat első célja egy olyan referenciaadatbázis kialakítása, mely segíthet meghatározni a problémákat okozó faktorokat. A hőmérséklet és a páratartalom nagy valószínűséggel változik a mérési helytől függően, melyet gyárilag beépített rendszer által használt szenzor nem képes megfelelően érzékelni a nagy térfogat és az eszköz nem megfelelő elhelyezkedése végett. Ezen felül további problémaként mutatkozhat a hőmérséklet és páratartalom hirtelen, ciklikus változása, melyet a nem lineárisan vezérelhető eszközök (fűtés, párásítás) okozhatnak.

2.2. Az alkalmazott eszköz alapja

A témával kapcsolatos személyes érintettség révén több, döntően termelést támogató adatgyűjtő és vezérlő rendszer került fejlesztésre saját célú felhasználás érdekében, így a megfelelő átláthatóság érdekében érdemes ezeket generációkra bontva jellemezni, ezzel elősegítve az eddigi fejlesztések transzparenciáját. A harmadik és negyedik generáció a mai napig alapot biztosít referenciarendszerként a különböző tesztek lebonyolítása során. A harmadik generáció fejlesztése során kiemelt szerepet kapott a moduláris felépítés, mely elősegíti a megfigyelt környezet sajátosságaihoz, illetve az igényekhez való alkalmazkodást, emellett segítséget jelent a kiépítés és a javítási munkálatok költséghatékony és gyors megvalósításában. Minden modul egy külön hardverrel és szoftverrel rendelkező célspecifikus alrendszer képez, ezzel elősegítve a feladatok megfelelő elosztását a rendszer elemei között [20].



1. ábra: A referenciarendszer felépítése, kiemelve a jelenlegi feladat alapján módosított és alkalmazott modulokat

Forrás: saját szerkesztés

Az 1. ábrán láthatjuk a vastag körvonallal jelölt fő modulokat, a főbb integrált komponenseket és a közöttük jellemző adatátviteli protokollt. A jelenlegi mérési teszt során a szaggatott körvonallal jelölt modulok, azaz a szenzor modul és a kommunikációs modul az adott feladatnak megfelelően módosított változata került alkalmazásra. Ez is jól mutatja a modularitás előnyét, hiszen nem szükséges a teljes rendszer kiépítése egy-egy teszt elvégzése érdekében, amennyiben az nem járul hozzá jelentősen az eredményhez.

A rendszer egységes szoftverkörnyezettel rendelkezik, mely a hardver oldaláról a mikrokontrollereken futó, hierarchikus kialakítású, natív nyelven írt alapprogramot tartalmazza. A kiegészítő és működést támogató alkalmazások közül érdemes megemlíteni a mérési adatbázist, mely a méréseken és felmerülő hibákon felül olyan kiegészítő adatokat tartalmaz, mint az egyes eszközök elhelyezkedése, azok X, Y és Z koordinátái alapján. A referenciarendszerhez fejlesztett, ám a feladatnak megfelelően újból elkészített asztali és web alkalmazás egyaránt elősegíti a paraméteres lekérdezéseken és az adatok vizualizálásán felül a rendszer (vezérlő modulok, szenzor modulok és szenzorok) kezelését. A web alkalmazás fontos eleme a back-end, mely a kommunikációs modul és a mérési adatbázis közötti kapcsolat kialakítását teszi lehetővé a meghatározott formában kódolt üzenetek fogadásával, dekódolásával, konvertálásával, megfelelő táblába történő illesztésével, emellett lehetőséget biztosít más műveletek (mérési azonosító lekérdezése, idő szinkronizálása) elvégzésére.

3. Eredmények és azok értékelése

A fejlesztés és tesztelés során több célkitűzés került meghatározásra. Az első lépés egy szenzorhálózat fejlesztése egy korábbi referenciarendszer logikai felépítésének figyelembevételével, majd a gyárilag **beépített eszköz méréseinek verifikálása**, azaz pontosságának ellenőrzése az új eszköz által végzett mérésekkel való összehasonlítással. Ehhez természetesen szükség van a **mérési adatbázishoz való hozzáférés biztosítására**, melyet a rendszerhez fejlesztett alkalmazások közül a módosított web alkalmazás biztosította. Ezt követően a megfelelő elemzések után lehetőség nyílik a **következtetések** meghatározására, mely segítséget nyújthat a **rendszer további fejlesztése, bővítése**, illetve a **vezérlés** külső, új rendszer számára folyamatos átadása során. A publikálás idején az első négy lépés került megvalósításra, tehát már lehetőség adódott a tesztekben adódó következtetések meghatározására, de idővel, a rendszer eddigi tapasztalatok alapján történő fejlesztésével és a mérési adatbázis folyamatos bővülésével további lehetőségek nyílnak meg a funkciók bővítése előtt. Ennek megfelelően a következőkben a jelenlegi státusz bemutatására kerül sor.

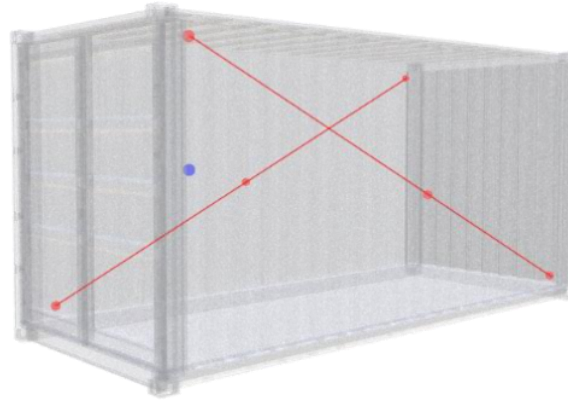
3.1. Az alkalmazott eszköz felépítése

A mérések elvégzése érdekében két rendszerváltozat került elkészítésre, melyek egyaránt a korábban említett harmadik generációs referenciarendszer alapján kerültek a feladatnak megfelelően változtatásra, majd beépítésre. A szűrőben alkalmazott **első rendszerváltozat** (2017) ugyanúgy magában hordozza a modularitás elveit, mint a referenciarendszer, ám a modulok között jellemző egységesített csatlakozók helyett a komponensek „szendvicsszerűen” kapcsolódnak egymáshoz, mivel nem volt szükséges az eszközök eltérő helyen történő elhelyezése. Ez a felépítés a hardver módosításával járt. A szenzorok, melyekből ezen változat esetében maximum 8 darab alkalmazható, ennek ellenére ugyanúgy egységesített csatlakozó (RJ11) segítségével kerülnek összekapcsolásra a vezérlővel. A modulok funkcionalitása az igényeknek megfelelően került redukálásra, mely magában foglalja a GSM vezérlő elhagyását, illetve a hierarchia átrendezését, mely alapján a vezérlő modul szerepét is a kommunikációs modul látja el az AVR architektúrájú Atmel ATmega 2560 mikrokontrollerének segítségével. Ebből látszik a hierarchikusan felépített szoftver előnye, hiszen jelen esetben az ARM architektúrára fejlesztett program AVR architektúrán történő használata érdekében csak az alapprogram átírására volt szükség, mivel ez végzi a mikrokontroller-specifikus (időzítők, hardveresen alátámasztott kommunikációs vezérlők) műveleteket. A mikrokontrolleren futó program algoritmikus értelemben egy inicializációs és egy mérési blokkra bontható. Az előbbi blokk a futása során előkészíti a rendszert a megfelelő működésre a mikrokontroller különböző hardvermoduljainak (időzítők, hardveresen alátámasztott kommunikációs vezérlők) konfigurálásával, ezt követően tesztet végez, mely magában foglalja a szenzorok és a kiegészítő eszközök (Ethernet vezérlő) megfelelő működésének vizsgálatát. Az ezt követő mérési blokk egy folyamatosan ismétlődő programot tartalmaz, mely a szenzorok által mért értékek lekérdezését, majd továbbítását teszi lehetővé. A pontos idő és a szenzorok szekvenciális kiolvasása után a mérési adatok rendezésre kerülnek az API által értelmezhető struktúra figyelembevételével (JSON formátumban), majd TCP kapcsolaton keresztül egyedi port alkalmazásával továbbításra kerülnek a mérés során esetlegesen felmerült hibákkal és kiegészítő adatokkal együtt. Ezt követően a rendszer alacsony energiafelvételű

állapotba kerül, egészen a mintavételezési frekvenciának megfelelő idő elteltével egy időzítő által generált megszakítás bekövetkezéséig, mely következtében újból elindul az említett mérési ciklus. A felhasználók felől mutatkozó igények között a minél egyszerűbb működtetés lehetősége szerepelt, így a rendszerhez nem tartozik saját kijelző (mint az a referenciarendszer esetében jelen van) a státusz megtekintése és beállítások módosítása érdekében. Ezt egy egyértelműen értelmezhető és távolról is megfelelően átlátható LED sor és piezo hangszóró helyettesíti. A LED sor piros, sárga és zöld színekkel képes visszajelezni, melyek közül a piros szín hibára, a sárga szín aktív mérési ciklusra, míg a zöld szín aktív tápellátásra utal. Az eddig említett hardverelemek egy egyszerű készülékben foglalnak helyet. A megfelelő működéshez ezek mellett szükség volt egy 3G modem fogadására képes routerre az API-val és az adatbázissal való kommunikáció kivitelezése érdekében. Mivel a kommunikációhoz egyedi adatszerkezet került kialakításra, nem szükséges a HTTP fejléc továbbítása, mely lényegesen csökkenti az adatforgalmat. Az egy mérési ciklushoz tartozó tranzakciók (az összes mérési adattal) mindössze átlagosan 500 bájt adatforgalmat igényelnek, mely csekély terhelést jelent gazdaságosabb mobilinternet csomagok esetén is. A **második rendszerváltozat** (2018) a közeljövőben kerül alkalmazásra, ám tesztelése már folyamatban van a cikk írása alatt. A 16 darab szenzor támogatása és a teljesen integrált nyomtatott áramkör mellett a legnagyobb újítás az alrendszerként való alkalmazhatóság, mely szintén a referenciarendszer egyik sajátossága. Az alrendszerek lehetővé teszik több szenzormodul szinkronizált működését, mely hasznos lehet más helyszíneken (munkaterület, raktár stb.) történő mérések kivitelezése során.

3.2. A rendszer beépítése

A korábban felvázolt célkitűzések és a bemutatott rendszerváltozatok két fő fázisra bonthatók. Az első fázis az első kettő célkitűzést foglalja magában, tehát a gyárilag beépített rendszer működésének felülvizsgálását, mindennemű beavatkozás nélkül. A bemutatott külső szenzorhálózat hat darab szenzort alkalmaz jelen fázisban, melyek diagonálisan kerültek elhelyezve a kamrában. A szenzorok kapcsán az eddigi tesztek alapján bevált DHT22 típusú eszköz került alkalmazásra, mely $\pm 2\%$ páratartalomra, $\pm 0,5\%^\circ\text{C}$ hőmérsékletre vonatkozó pontosságával, illetve $0,1\%$ páratartalomra, $\pm 0,1^\circ\text{C}$ hőmérsékletre vonatkozó felbontásával több, mint kielégítő eredményt képes nyújtani [21]. A 3. ábrán jelölt piros pontok a külső szenzorhálózattal kapcsolatban álló, utólag beépített szenzorok, míg a kék pont a gyárilag beépített eszközhöz csatlakoztatott szenzor elhelyezkedését jelzi. A szenzorok megfelelő működéséhez az egyvezetékes protokoll révén háromeres vagy opcionálisan négyeres (a nem használt kimenetek bekötése esetén) kábelre van szükség. Ennek megfelelően a lehetséges hőmérsékleti viszonyok figyelembevételével riasztók kiépítése során is alkalmazott kábel került alkalmazásra, melynek egyik fele a nyomtatott áramkör kiépítésének megfelelően RJ11 csatlakozóval került ellátásra, míg a másik felén található szenzor permanensen rögzítésre majd forrasztásra került.



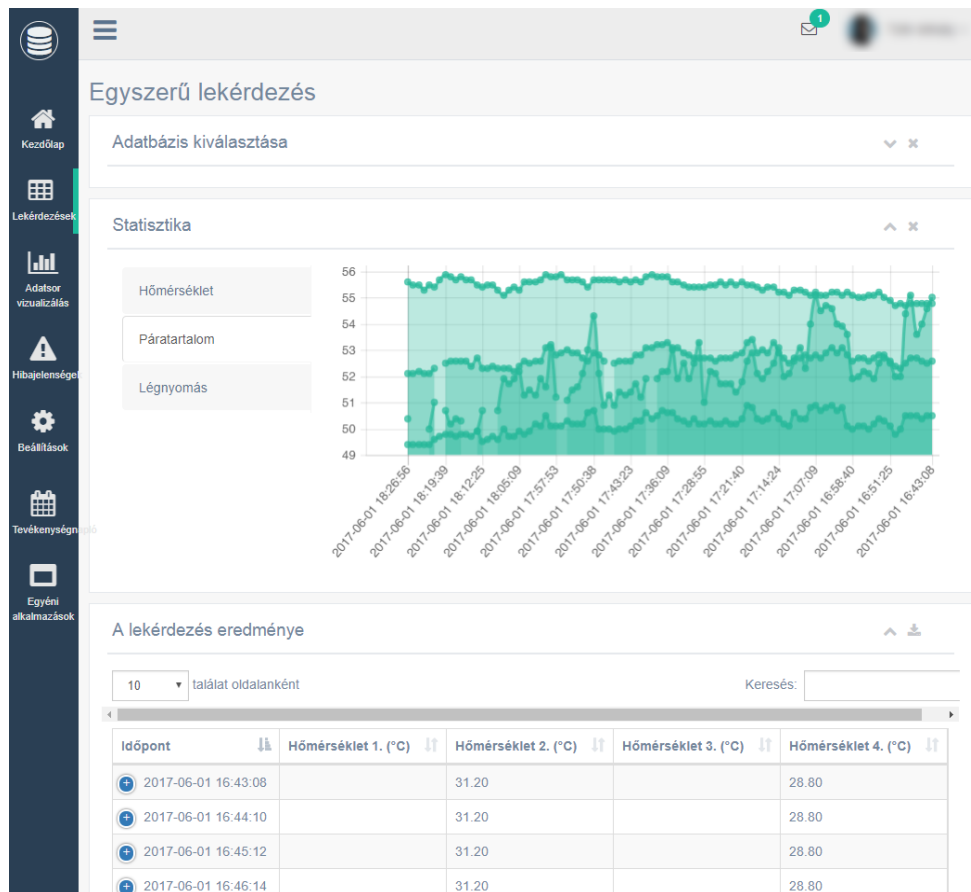
2. ábra: A szenzorok elhelyezkedése

Forrás: saját szerkesztés

A gyakorlati teszt második fázisa a második rendszerváltozat beépítésével és alkalmazással kerül meghatározásra. A folyamat során a tapasztalatok alapján feltehetően felülbírálásra kerül a kamra tesszellációja (a szenzorok változó térbeli elhelyezkedésének meghatározása érdekében), illetve a szenzorok száma, elhelyezkedése a kritikus pontok figyelembevételével. Amennyiben két szomszédos szenzor mérései között jelentős eltérés mutatkozik, a lokális felbontás növelésére kerül sor. Az említetteken felül lehetőség nyílik a külső eszköz vezérlő modul, azaz a referenciarendszer egyik modulja révén a vezérlés folyamatos átadására a külső szenzorhálózat számára, ezzel elősegítve a mérések közvetlen alkalmazását az elemzési és vizualizálási lehetőségek mellett.

3.3. A fejlesztésre került kiegészítő alkalmazások

A külső szenzorhálózat által végzett mérések felügyeletének elősegítésére az igényeknek megfelelően fejlesztett web alkalmazás (4. ábra) áll a rendelkezésre, mely biztosítja az adatok paraméteres lekérdezését. A jogosultságkezelésnek köszönhetően más funkció (mint például a modulok és szenzorok kezelése) nem került alkalmazásra statikus kiépítettségű rendszer révén. Az alkalmazás lehetőséget biztosít az asztali és mobil platformon történő használatra az MIT licenc alatt álló Bootstrap 4 keretrendszer által alátámasztott reszponzív kialakításának köszönhetően. A logikai működést döntően az oldalak generálását végző PHP program határozza meg. A három fő, mérési adatok lekérdezését megvalósító funkció (egyszerű lekérdezés, bővített lekérdezés, lekérdezés varázsló) mellett lehetőség nyílik a rendszer működése során bekövetkezett hibák (szenzorok és vezérlők működési rendellenessége) megtekintésére, adatok vizualizálására, alapbeállítások elvégzésére (adatbázisok elérhetőség, felhasználói preferenciák), illetve a tevékenységnapló megtekintésére. A lekérdezések és diagramok exportálására szintén lehetőség van, az előbbi esetében XML és CSV, míg az utóbbi esetében PNG fájlformátumban a további elemzések elvégzése vagy a mérések dokumentálása érdekében.



3. ábra: A web alkalmazás egyszerű lekérdezési felülete

Forrás: saját szerkesztés

A tesztek során két fő adatforrás került alkalmazásra, melybe beletartozik a gyárilag beépített rendszer által gyűjtött adathalmaz, mely szöveges fájlok formájában kerül tárolásra, illetve a külső szenzorhálózat által gyűjtött adathalmaz, mely az egységesített mérési adatbázisban foglal helyet.

A külső szenzorhálózat mérési adatbázisa tranzakcióorientált struktúrával rendelkezik (egy rekord az egyedi azonosítót képező elsődleges kulcsot, a szenzor azonosítóját, a mérés eredményét, a mérés időpontját és egy szinkronizálást segítő számláló azonosítóját tartalmazza), mely megnehezítheti az elemzést, ám a rendszerhez és kifejezetten a jelen teszt elvégzése érdekében fejlesztett API (alkalmazásprogramozási interfész) konfigurálható ETL (extract, transform, load - kinyerés, átalakítás és betöltés) algoritmusa révén ez könnyen kiküszöbölhető, azaz meghatározott logika által párosíthatók az összefüggőnek gondolt mérések. Az ETL algoritmus a C nyelven írt API része (a PHP nyelven írt változat nem tartalmazza a funkciót), melynek feladata, hogy előre meghatározott paraméterek alapján egy új táblát képezzen a meglévő mérések felhasználásával. Az elemzés és vizualizálás megkönnyítése érdekében több lehetőség is a rendelkezésünkre áll. Alapértelmezés szerint az ETL algoritmus egy meghatározott időtartamra vonatkozó összevont táblát készít, melyben az összes szenzor (vagy kiválasztott szenzorok) egy időpontra vonatkozó mérései egy-egy külön attribútumként vannak jelen, tehát egy entitás az adott időpontra vonatkozóan az összes mérést tartalmazza, ezzel elősegítve azok összehasonlítását különféle lekérdezések alkalmazása nélkül. A

teszteléshez készített web alkalmazás az API-vel és adatbázisokkal együtt saját kiszolgálón kerül futtatásra.

A gyárilag beépített eszköz és a kiegészítő szenzorhálózat által gyűjtött mérési adatok összehasonlítása érdekében az általuk gyűjtött két adathalmaz egyesítésére van szükség. Mivel két teljesen független rendszerről van szó, egységes ütemezés hiányában a mérések egymástól függetlenül kerülnek kivitelezésre, eltérő mintavételezési frekvencia mellett. Annak érdekében, hogy a mérések egységesítésre kerülhessenek, szükség volt egy egyszerűbb alkalmazás fejlesztésére (5. ábra), mely a mérési időpont alapján képes az adatok legközelebbi szomszédjainak meghatározására (hasonlóan a korábban bemutatott ETL algoritmushoz) az időtengelyen. Az algoritmus alapján három egyezési esetről beszélhetünk. Az első eset a teljes egyezés, mely másodperc pontosan egy időpontban kivitelezett méréseket jelent. A második eset a közelítő egyezés, mely meghatározott időtartamú (esetünkben 10 másodperc) eltérést tolerál a mérések párosítása során. Minden további eset kizárásra kerül az összesített adattáblából a megfelelő összehasonlíthatóság érdekében.

The screenshot shows a web application window titled "Mérési adatok letöltése". It has three tabs: "Eredeti eszköz mérései", "Külső eszköz mérései", and "Összesítés". The "Külső eszköz mérései" tab is active. The interface displays the following information:

- Kiválasztott mappa:** J:\Fejlesztés\MFK-2018 előadás\Adathalmaz\Belső mérő adatai\1 kamra
- Mérések száma:** 13210
- Legkorábbi időpont:** 2017.02.22. 6:36:17
- Legkésőbbi időpont:** 2017.08.17. 19:33:58

Below this information is a table with the following columns: Dátum, Időpont, Eltelt idő, Mért hőmérséklet (°C), Beállított hőmérséklet (°C), Mért páratartalom (%), Beállított páratartalom (%), Beállított program, and Teljes időp. The table contains several rows of data for the date 2017.08.17.

At the bottom of the window, there is a "Eredmény" section showing "Eredeti eszköz mérései: Betöltve" and "Külső eszköz mérései: Betöltve". A "Bezárás" button is also present.

5. ábra: Az adatok egyesítését végző alkalmazás

Forrás: saját szerkesztés

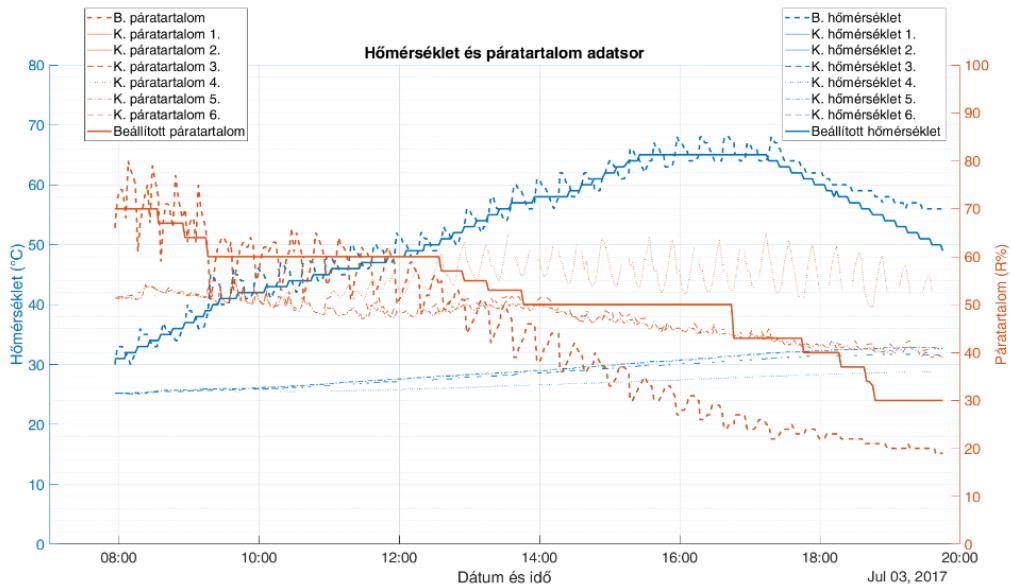
Az alkalmazás értelemszerűen képes az adatok összesítése előtt azok feldolgozására is, melybe beletartozik a gyárilag beépített rendszer által generált szöveges állományok átalakítása, illetve a külső szenzorhálózat mérési adatbázisában lévő, ETL algoritmus által létrehozott tábla lekérdezése. Mivel a szöveges állományokban tárolt adatok meghatározott struktúrával rendelkeznek, a felhasználónak elegendő a méréseket tartalmazó mappát kiválasztania, mely után a program a felmerülő hibák kezelése mellett képes egységes formára (C# nyelvre jellemző Datatable és az ezeket tartalmazó Dataset) alakítani, majd átmenetileg tárolni azokat. A külső szenzorhálózat mérési adatbázisához a MySQL Connector biztosít hozzáférést, így nem volt szükség a funkció saját API-be történő implementálására.

Az adatsorok egyesítése után lehetőség nyílik azok feltöltésére a mérési adatbázis egyik kiegészítő táblájába az egységesség érdekében, emellett lehetőség nyílik azok exportálására CSV vagy XML formátumban a különböző feldolgozó és elemző alkalmazások széleskörű támogatottsága érdekében.

3.4. Az eddig megvalósításra került mérések eredménye

A gyárilag beépített eszköz által mért adatok 2017. február 12. dátumtól kezdve (az adatok tárolásának időpontjától) állnak rendelkezésre, mely 13 210 rekordot jelent (egy rekord tartalmazza az egy szenzor által mért hőmérsékletet és páratartalmat), míg a kiegészítő szenzorhálózat által mért adatok 2017. február 22. dátumtól állnak rendelkezésre, mely 166 485 rekordot jelent (egy rekord minden szenzor hőmérséklet és páratartalom mérést tartalmazza az ETL algoritmus végett, így a beépített eszközhöz való hasonlítás esetén ezen mennyiség hatszorosáról beszélünk), ám érdemes megemlíteni, hogy míg a gyárilag beépített eszköz csak a tényleges munkavégzés során méri is tárolja az adatokat, a kiegészítő szenzorhálózat folyamatosan teszi azt az áramforrás csatlakoztatását követően. Emellett a mintavételi frekvencia a beépített eszköz esetében 2 perc, míg a külső szenzorhálózat esetében dinamikus, a változás mértékétől függően 30 másodperc és 1 perc közé tehető. Az említett két tényező magyarázza a lényeges különbséget a rekordok számában.

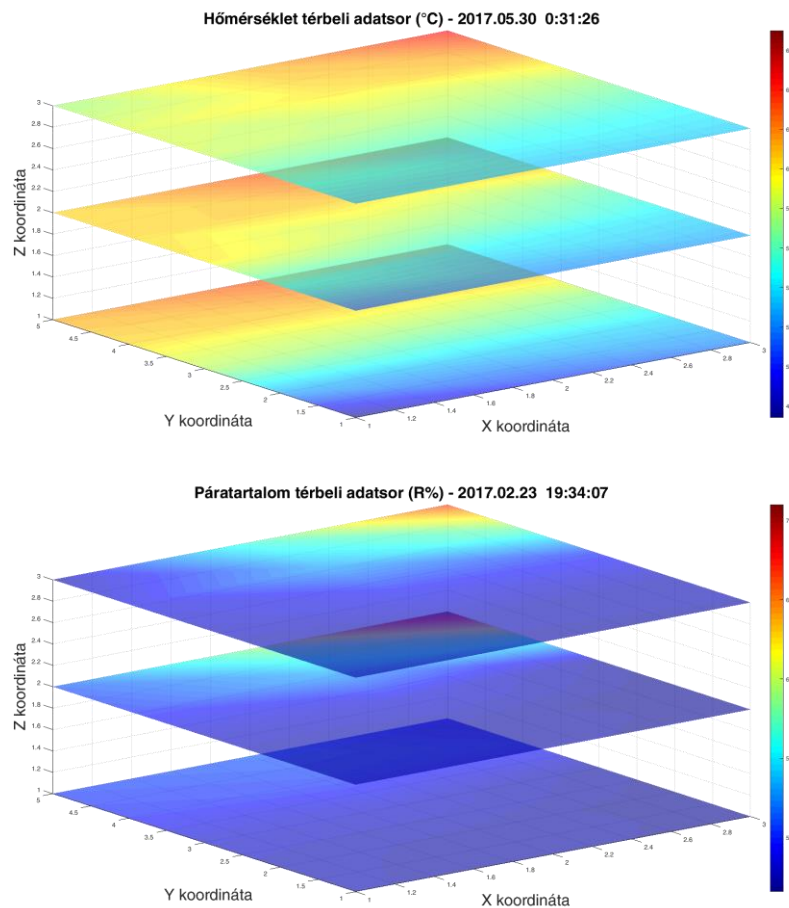
A két rendszer által végzett mérések összehasonlítása érdekében vizualizálásra került egy véletlenszerűen kiválasztott napon végzett méréshez tartozó adathalmaz, melynek eredményét a 6. ábrán láthatjuk. A vastagított vonalak reprezentálják a beépített rendszer által optimálisnak vélt adatokat. A vastagított, szaggatottan jelölt vonalak a gyárilag beépített eszköz méréseit mutatja be. Ezen felül minden vékony vonallal reprezentált adathalmaz a kiegészítő szenzorhálózat méréseit mutatja be. Páratartalom esetében jól látható az optimális értéktől való eltérés pozitív és negatív irányba egyaránt, mely a szárítási program előrehaladtával egyre inkább szembetűnő. Hőmérséklet esetén szintén lényeges eltérést láthatunk, mely tendenciában megegyezik a belső eszköz által mért értékekkel, ám rendszerint alacsonyabb értéket mutat annál. Az eltérés olyannyira nagy, hogy érdemes megfontolni a hiteles mérőműszer alkalmazását pár mintavétel elvégzése érdekében, mely lehetővé teszi a kalibrációs görbe felülbírálását a meglévő adatok esetében a későbbi elemzések pontosítása érdekében. Viszont érdemes megemlíteni, hogy az eddigi tapasztalatok nem mutattak még pontatlan eredményt ezen szenzorok esetében, így az említett mintavétel elvégzéséig valószínűsíthető, hogy a hőmérséklet mérések esetében is pontos eredményeket láthatunk. Az előbb felsoroltak mellett láthatjuk, főleg a páratartalom esetében a nem lineárisan vezérelhető eszközök (fűtés és szellőztetés) által okozott ugrásszerű értékváltozásokat, mely szintén nehezen meghatározható eredményt nyújt.



6. ábra: Hőmérséklet és páratartalom mérések

Forrás: saját szerkesztés

Mivel a rendszerhez fejlesztett egységes mérési adatbázis számos kiegészítő információt tartalmaz, az egyaránt lehetővé teszi az adatok térbeli adatvizualizáláshoz szükséges adatok elérését is. Ennek megfelelően az alábbiakban található 7. ábrán láthatjuk a hőmérséklet és a páratartalom véletlenszerűen kiválasztott időpontban történő eloszlását a szárítókamrán belül. A megfelelő adathalmaz kialakítását az ETL algoritmus egy másik funkciója teszi lehetővé, mely a mérések összegzése helyett a rekordokat ellátja az adott szenzorra jellemző koordinátákkal.



7. ábra: Hőmérséklet és páratartalom mérés térbeli vizualizálása

Forrás: saját szerkesztés

Hőmérséklet esetében láthatjuk a gyárilag beépített rendszer szenzora által mért kiugró értéket, mely a korábbi vonaldiagramon is megfigyelhető volt, illetve láthatjuk azt, hogy a külső szenzorhálózat más pontokon elhelyezett szenzorai ezt az értéket milyen szinten követik. Érdeemes megemlíteni, hogy a forró levegő bevezetése az Y koordináta felső részeiben történik, megközelítőleg az $Y = 5$ és $Y = 3,5$ értékek közötti területen, az X koordináta mentén, mely szintén látható az ábra alapján. A páratartalom esetében nem feltétlen tűnhet szerencsésnek az választott időpont, ám pont emiatt láthatjuk ismét a két rendszer által mért értékek között mutatkozó lényeges eltérést. A fejlesztés és tesztelés második fázisa során a feltételezhetően növekvő számú szenzoroknak köszönhetően részletesebb térbeli vizualizálás válhat lehetővé, mely az interpolálás hiánya által pontosabb következtetéseket enged levonni.

4. Következtetések és javaslatok

Az eredmények jelenleg inkább a műszaki kiépítés kapcsán mutatkoznak meg, mint az a célkitűzések alapján értelemszerű, ám a lehetőségek nyilván bővülni fognak a rendszer fejlesztésével és az adathalmaz bővülésével. Ennek ellenére már most is látni olyan tényezőket, melyekre érdemes fokozott figyelmet fordítani a megfelelő működés érdekében. Amennyiben követjük a fejlesztés és tesztelés célkitűzéseit és fázisait, láthatjuk, hogy a sorrend alapján a következő lépés a második rendszerváltozat beépítése és az adatgyűjtés kiterjesztése a környezetre. Ez magában foglalja a munkatér és a raktár környezeti paramétereinek mérését. A szárítókamrák a munkatérben foglalnak helyet, így az ott gyűjtött adatok szintén magyarázatot adhatnak olyan kérdésekre, mint hogy miben befolyásolják a kültéri környezet paraméterei a szárító belső környezetét egységnyi befolyásolás (szellőztetés, fűtés) mellett, figyelembevéve, hogy a beáramló levegő a munkatérből származik. A raktár környezeti paramétereinek gyűjtése magától értetődő előnnyel jár, mivel az eltárolhatóság lényegesen függ ezen értékektől, kifejezetten akkor, ha alapanyagról van szó.

A web alkalmazás lehetőséget biztosít a közös funkciók mellett a felhasználóhoz rendelt további modulok kezelésére. Ennek megfelelően a tervek között szerepel egy integrált döntéstámogatási alkalmazás fejlesztése a web alkalmazáson belül, mely lehetőséget biztosít a mérések mellett konvencionálisnak mondható, beszerzéssel, termeléssel és értékesítéssel kapcsolatos adatok tárolására, illetve elemzésére. Emellett a meglévő hardver és a folyamatosan fejlesztett szoftver lehetővé tenné igény esetén a nyomonkövetési eljárás (RFID vagy vonalkód alapú) integrálását.

A korábbiakban említésre került a harmadik generációs referenciarendszer további moduljának, a külső eszköz vezérlő modul használata. Ezt megelőzően érdemes mérlegelni a szárító környezeti paramétereinek befolyásolását végző eszközök (fűtés, szellőztetés) vizsgálatát és esetleges átalakítását. A jelenleg alkalmazásban lévő adatgyűjtő és vezérlő rendszer relék segítségével, konstans intenzitás mellett vezérli az egy pontot ható eszközöket. Mivel a külső eszköz vezérlő modul képes a jelenleg alkalmazott döntési fa módszere mellett gépi tanulással is meghatározni az optimálisnak vélt output adatokat (fűtés hőfoka, légtérbe juttatás intenzitása, optimális bejuttatási pont, szellőztetés intenzitása stb.), fontos lenne a variálható intenzitás és a több ponton ható eszközök alkalmazása a szélsőséges hőmérsékletcsúcsok elkerülése a lineáris és determinálható paraméterváltozás érdekében.

Összefoglalás

A szenzorhálózatok és az IoT koncepció alapján épülő rendszerek széleskörű elterjedésével mindenképp érdemes olyan területeket keresni, melyek kapcsán lehetőség nyílik a fejlesztésen és tesztelésen felül az eszközök gyakorlati alkalmazásának vizsgálatára, annak érdekében, hogy a koncepciók és kész eszközök kialakítása mellett valós tapasztalatok gyűjtésére is lehetőség nyíljon, melyeket felhasználásra kerülhetnek a további fejlesztések során.

A felvázolt fejlesztés és tesztelés során egy szárítókamra környezeti paramétereire vonatkozó adatgyűjtés került kivitelezésre, kifejezetten a hőmérséklet és páratartalom mérésekre összpontosítva. A rendszer egy korábbiakban fejlesztett komplex, moduláris kialakítású adatgyűjtő és vezérlő rendszer

egyres komponenseinek a jelen feladathoz való alkalmazkodást támogató módosításával és felhasználásával került megvalósításra. Két rendszerváltozat került eddig fejlesztésre, melyből a tesztelés jelenleg aktuális első fázisában az első rendszerváltozat került alkalmazásra hat darab, diagonálisan elhelyezett szenzor alkalmazása mellett. A mérések a referenciarendszerhez fejlesztett, ám jelentősen módosított mérési adatbázisban kerülnek tárolásra, más kiegészítő adatokkal együtt. Az adatok paraméteres lekérdezését és vizualizálását egy web alkalmazás teszi lehetővé. A két rendszer, így az adatgyűjtő és vezérlő rendszer, illetve az adatbázis (és ezen felül más, jelen esetben nem említett rendszerek) közötti adatkapcsolat megvalósítását egy egyedi API teszi lehetővé, mely az említett funkciók mellett ETL algoritmusának köszönhetően lehetővé teszi az adatok elemzésének megkönnyítését. A gyárilag beépített és a külső eszköz által gyűjtött adatok egyesítését egy erre a célra fejlesztett alkalmazás látja el, mely képes a különböző tárolási mód és a nem szinkronizált mérésekből eredő problémák kiküszöbölésére.

Az eddig elvégzett tesztmérések rávilágítottak, hogy térbeli adatgyűjtés jelentős többletinformációt nyújt a külső szemlélő és a későbbiekben a környezeti paraméterek befolyásolására képes vezérlő részére egyaránt, mivel jól látható eltérést tapasztaltunk az eltérő mintavételi pontokon mért értékekben. Ennek megfelelően érdemesnek látjuk a második rendszerváltozat alkalmazását, mely kialakítása révén lehetővé teszi több szenzor támogatását, a külső eszközök vezérlését és az alrendszerbe való integrálhatósága révén a további helyszíneken történő mérést, ezzel kiterjesztve az adatgyűjtés által nyújtott lehetőségeket.

Hivatkozások

- [1] J. Yick – B. Mukherjee – D. Ghosal (2008) *Wireless sensor network survey*. Computer Networks, 52 pp. 2292-2330. doi: 10.1016/j.comnet.2008.04.002
- [2] W. Dargie – C. Poellabauer (2010) *Fundamentals of Wireless Sensor Networks*. Willey. ISBN 978-0-470-99765-9
- [3] A. Gurovich – O. Saggé (2005) *Fine tuning irrigation scheduling with phytomonitoring technology in Chile* L. EFITA/WCCA, pp. 727-732. ISBN 972-669-646-1
- [4] J. Mittag – F. Thomas – J. Härrri – H. Hartenstein (2009) *A Comparison of Single- and Multi-hop Beaconing in VANETs*. Institute of Telematics, University of Karlsruhe, Germany.
- [5] M. Youssef – A. Youssef – M. Younis (2009) *Overlapping Multi-hop Clustering for Wireless Sensor Networks*. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 20 (12) pp. 1844-1856. doi: 10.1109/TPDS.2009.32
- [6] N. Wang – N. Zhang – M. Wang (2006) *Wireless sensors in agriculture and food industry – recent development and future perspective*. Computers and Electronics in Agriculture, 50 pp. 1 –14. doi: 10.1016/j.compag.2005.09.003
- [7] L. Brand – T. Hülser – V. Grimm – A. Zweck (2009) *Internet der Dinge – Perspektiven für die Logistik*. Zukünftige Technologien Consulting, 80. ISSN: 1436-5928
- [8] H. Zhou (2013) *The Internet of Things in the Cloud. A middleware Perspective*. CRC Press. ISBN 9781439892992
- [9] F. Behmann – K. Wu (2015) *Collaborative Internet of Things (C-IoT) for Future Smart Connected Life and Business*. Wiley. ISBN: 978-1-118-91374-1

- [10] H. Lasi – P. Fettke – H. G. Kemper – T. Feld – M. Hoffmann (2014) *Industry 4.0*. *Wirtschaftsinformatik*, 56 pp. 261-264. doi: 10.1007/s11576-014-0424-4
- [11] A. Luque – M. E. Peralta – A. de las Heras – A. Córdoba (2017) *State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector*. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017*. pp. 1199-1205.
- [12] D. Lucke – C. Constantinescu – E. Westkämper (2008) *Smart factory – A step towards the next generation of manufacturing*. *Manufacturing systems and technologies for the new frontier: the 41st CIRP conference on manufacturing systems*, pp. 115-118.
- [13] Y. Huang (2013) *Automatic process control for the food industry: an introduction*, Woodhead Publishing Limited. pp. 3-20. ISBN: 978-1-84569-801-0
- [14] L. Ruiz-Garcia – L. Lunadei – P. Barreiro – J. I. Robla (2009) *A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends*. *Sensors*, 9 pp. 4728-4750. doi:10.3390/s90604728
- [15] G. Anastasi – O. Farruggia – G. Lo Re – M. Ortolani (2009) *Monitoring High-Quality Wine Production using Wireless Sensor Networks*. *Proceedings of the 42nd Hawaii International Conference on System Sciences*. doi: 10.1109/HICSS.2009.313
- [16] M. Thakur – E. Forås (2015) *EPCIS based online temperature monitoring and traceability in a cold meat chain*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117 pp. 22-30doi: 10.1016/j.compag.2015.07.006
- [17] J. Wang – H. Wang – J. He – L. Li – M. Shen – X. Tan – H. Min – L. Zheng (2015) *Wireless sensor network for real-time perishable food supply chain management*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 110 pp. 196-207. doi: 10.1016/j.compag.2014.11.009
- [18] E. R. Davies – R. Holloway (2013) *Machine vision in the food industry*, *Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. doi: 10.1533/9780857095763.1.75
- [19] M. Baigvand – A. Banakar – S. Minaei – J. Khodaei – N. Behroozi-Khazaei (2015) *Machine vision system for grading of dried figs*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119 pp. 158-165. doi: 10.1016/j.compag.2015.10.019 0168-1699
- [20] M. Tóth – R. Szilágyi (2017) *Development and testing experiences of a management supporting data acquisition system*. *Journal of Agricultural Informatics*, 8 pp. 55-70. doi: 10.17700/jai.2017.8.1.382
- [21] DHT22 adatlap: www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf (letöltve: 2018. április 3.)