

Általános adatok

IDK projekt téma címe	Innovatív LoRaWAN-alapú monitoring rendszer ipari célú továbbfejlesztése
Témát kiíró Tanszék:	Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
A kihívás rövid tartalmi összefoglalása	A kutatás célja egy meglévő, LoRaWAN-alapú, vezeték nélküli szenzorhálózat ipari célú továbbfejlesztése és termékesítése, amely jelenleg történeti épületek beltéri komfort- és levegőminőségi viszonyainak hosszú távú nyomon követését végzi. A fejlesztés során kiemelt fókusz kerül a szenzorarchitektúra optimalizálására, új érzékelők integrálására, energiahatékonyság növelésére, edge computing bevezetésére, valamint skálázható, gyártható és piacképes termékportfólió kialakítására. A projekt célja, hogy a rendszer ipari környezetben is alkalmazható, alacsony beavatkozású megoldássá váljon smart retrofit vagy facility management célokra.

Referenciák (opcionális)

A projekt korábbi szakaszában egy innovatív, LoRaWAN-alapú, vezeték nélküli monitoring rendszer került fejlesztésre, amelyet történeti és oktatási épületek – elsőként a BME F épület – beltéri komfortviszonyainak hosszú távú nyomon követésére alkalmaztunk sikeresen. A rendszer akkumulátoros működésű szenzorcsomópontokból, egy központi gateway-ből és egy adatfeldolgozó-szerverből áll. A szenzorok hőmérsékletet, relatív páratartalmat, CO₂-koncentrációt, légnyomást és emberi jelenlétet mérnek 7,5 percenkénti gyakorisággal, az adatokat a Raspberry Pi-alapú gateway MQTT-n keresztül továbbítja egy idősortároló adatbázisba (InfluxDB), amelyet Grafana vizualizációs felületen keresztül lehet elemezni.

A rendszer működése során megbízható adatokat gyűjt több mint 40 különböző helyiségből, köztük irodákból, laborokból és tantermekből. A hitelesített eszközökkel végzett kalibrációk alapján a szenzorok pontossága megfelelő, így az adatok alkalmasak energiahatékonysági és komfortértékelési elemzésekre. A „deep sleep” üzemmód implementálásával az akkumulátoros szenzorok üzemideje több mint egy évre növelhető, ami minimalizálja a karbantartási igényt. A mérési adatok alapján már a tesztidőszakban is azonosíthatóvá váltak a fűtési rendszer hibái, a nem megfelelő szellőzés hatásai, valamint a nyári túlmelegedésre való hajlam egyes helyiségekben.

A projekt eredményei tehát nemcsak kutatási szempontból értékesek, hanem jelentős ipari hasznosítási potenciált is mutatnak: a rendszer kis energiaigényű, modulárisan bővíthető, és alkalmazható műemléki környezetben is, ahol a beavatkozás minimalizálása elsődleges szempont. A fejlesztés így egy lehetséges alapot kínál termékesítésre, például smart retrofit rendszerek, épületüzemeltetés vagy facility management célú piaci megoldások formájában.

(Ipari és egyetemi) konzulens(ek)

Név	e-mail	Beosztás, intézmény / cég, szervezeti egység
Dr. Nagy Balázs	nagy.balazs@emk.bme.hu	egyetemi docens, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
Szatmári Levente	szatmari.levente@edu.bme.hu	doktorandusz, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
Németh Kristóf Márton	info@rpibolt.hu	rPI Bolt

A kihívás tartalmi összefoglalása

A kutatás fő kihívása egy olyan LoRaWAN-alapú, vezeték nélküli monitoring rendszer továbbfejlesztése és ipari szintűre emelése, amely egyszerre képes megfelelni a műemléki környezet fizikai korlátainak, az épületüzemeltetési elvárásoknak és a technológiai megbízhatóság műszaki követelményeinek. A történeti épületekben gyakran nem áll rendelkezésre stabil Wi-Fi-hálózat vagy megfelelő elektromos infrastruktúra, így a rendszernek teljesen önállóan, hosszú üzemidejű akkumulátoros táplálással, és minimális karbantartási igénnyel kell működnie. Ezen kívül figyelembe kell venni az épületszerkezetek vastagságát, a rádiós jelátvitel korlátait, valamint azt, hogy a beavatkozások nem ronthatják az épületek eredeti állapotát, ezért láthatatlan vagy diszkréten integrálható megoldásokra van szükség. Műszaki szempontból kihívást jelent a rendszer megbízható működése különböző típusú szenzorokkal (pl. hőmérséklet, páratartalom, CO₂, nyitásérzékelő, fény, légsebesség), valamint ezek integrált PCB-re építése kompakt, időjárásálló, ipari gyártható tokozással. Ugyancsak komplex feladat az edge computing funkciók beépítése, vagyis a helyszíni adatfeldolgozás és eseményalapú kommunikáció megvalósítása, amely jelentősen csökkentheti az adatforgalmat és gyorsíthatja a rendszer válaszreakcióját. Emellett kiemelten fontos a hálózati és adatbiztonsági protokollok fejlesztése, beleértve a titkosított adatátvitelt, redundanciát és távoli frissítési (OTA) képességet, amely elengedhetetlen ipari vagy intézményi alkalmazási környezetben.

Kihívást jelent továbbá a mért adatok értelmezése és felhasználása. A rendszer nemcsak adatokat szolgáltat, hanem azok alapján támogatnia kell a döntéshozatalt például komfortértékelés, túlmelegedés megelőzése vagy energiahatékonysági beavatkozások tervezése terén. Ennek érdekében mesterséges intelligencia-alapú elemzések (pl. jelenlétmodellezés, anomáliadetektálás) bevezetése is cél. Végül pedig a technológia ipari hasznosítása csak akkor lehet sikeres, ha ezzel párhuzamosan piacépes üzleti koncepció, termékportfólió és bevezetési stratégia is készül, amely figyelembe veszi a célcsoportok (pl. egyetemek, múzeumok, önkormányzatok, épületüzemeltető cégek) igényeit, a műemlékvédelmi szabályozásokat és a költséghatékonyságot.

Összességében a kihívás egy komplex, többdimenziós feladat, amely egyszerre érinti az elektronikai fejlesztést, a hálózattervezést, az épületfizikai alkalmazhatóságot és a piaci bevezethetőséget. A sikeres kutatás kulcsa a műszaki innováció, az örökségvédelmi érzékenység és az ipari gondolkodásmód integrálása egy egységes rendszerbe.

Az elérendő eredmény rövid leírása

Az elérendő célok és eredmények az alábbiak:

- Optimalizált, ipari szintre fejlesztett monitoring rendszer létrehozása, amely LoRaWAN-alapú, vezeték nélküli működésű, alacsony energiafogyasztású szenzor egységekből és skálázható hálózati infrastruktúrából áll.
- Kompakt, gyártható szenzor egységek kifejlesztése integrált nyomtatott áramkörökkel (PCB), időjárásálló tokozással, különböző érzékelőmodulokkal (pl. hőmérséklet, páratartalom, CO₂, VOC, fény, nyitás, mozgás, sugárzás, légsebesség stb.).
- Energiahatékonysági fejlesztések megvalósítása, például szenzorok és mikrokontrollerek mélyalvó üzemmódjának optimalizálásával, hogy az akkumulátoros működés akár egy évet is meghaladjon karbantartás nélkül.
- Edge computing funkciók beépítése, azaz helyi adatfeldolgozás és eseményalapú kommunikáció lehetőségének megvalósítása a hálózati terhelés és válaszidő csökkentése érdekében.
- Biztonságos és ipari környezetre szabott hálózati protokollok fejlesztése, például titkosított adatátvitel, redundancia, távoli frissítési lehetőség (OTA).
- Reszponzív, többszintű felhasználói felület létrehozása (pl. hőtésképes megjelenítés, jogosultsági szintek, testreszabható dashboardok), amely lehetővé teszi a különböző típusú felhasználók – karbantartók, döntéshozók, kutatók – számára az adatok könnyű értelmezését.
- AI-alapú elemzések előkészítése, például jelenlétmodellezés, használati mintázatok feltárása vagy komfort-anomáliák detektálása mesterséges intelligenciával.
- Termékesítési és üzleti koncepció kidolgozása, amely magában foglalja a célpiac meghatározását (pl. műemléki épületek, egyetemek, közintézmények, FM-cégek), gyártási lehetőségeket, költségmodellt és piaci bevezetési stratégiát.
- Pilotprojekt tapasztalatai alapján skálázhatósági és megbízhatósági határértékek meghatározása (pl. 200 csomópontos rendszerterhelési szint), a további adaptációk előkészítéseként.
- További kutatási irányok megalapozása, mint például ablaklégzárás vizsgálata IAQ-adatok alapján, vagy intelligens szellőztetési vezérlés a CO₂- és jelenlétadatok alapján.

A várható hasznosítás jellege

A kutatás eredményeként létrejött LoRaWAN-alapú vezeték nélküli monitoring rendszer várható hasznosítása több területen is jelentős, különösen olyan épületek esetében, ahol a hagyományos vezetékezés vagy internetalapú megoldások nem megvalósíthatók – például történeti, műemléki vagy infrastruktúrahiányos környezetben. A rendszer hosszú távú, akkumulátoros működésű, alacsony energiaigényű szenzorokból áll, amelyek hőmérsékletet, páratartalmat, CO₂-koncentrációt, légnyomást és jelenlétet mérnek. Az így gyűjtött részletes, időalapú adatok lehetővé teszik a fűtési és szellőzési rendszerek teljesítményének elemzését, valamint a komfortérzetet befolyásoló tényezők feltérképezését. A mért adatok nemcsak a mindennapi épületüzemeltetést segítik, hanem kiváló alapot biztosítanak energetikai auditokhoz, kalibrált dinamikus szimulációkhoz és felújítási döntések megalapozásához is. Mindez különösen értékes történeti épületek esetében, ahol a beavatkozás lehetősége korlátozott, viszont a komfort és energiahatékonyság javítása továbbra is cél. A rendszer segítségével azonosíthatók túlmelegedésre hajlamos zónák, huzathatások, alulhasznált helyiségek vagy nem megfelelő szabályozásból eredő energiafeleslegek is.

A rendszer termékesítése révén egy skálázható, könnyen telepíthető és alacsony karbantartási igényű megoldás válik elérhetővé például önkormányzatok, egyetemek, műemlékvédelmi intézmények vagy facility management cégek számára. A jövőbeli fejlesztések – mint például edge computing, prediktív karbantartás vagy AI-alapú anomáliaérzékelés – tovább bővítik a rendszer hasznosítási lehetőségeit. Így a kutatás nemcsak tudományos szempontból eredményes, hanem egy piacképes, technológiailag innovatív megoldást is kínál az intelligens épületmonitoring és energetikai hatékonyság területén.

Szükséges előismeretek, háttérkompetenciák (opcionális)

- Alapszintű ismeretek épületenergetikában, épületüzemeltetésben és/vagy elektronikai rendszerekben.
- Előny a programozási ismeretek (pl. Python), mikrovezérlők (pl. ESP32, Raspberry Pi), illetve hálózati protokollok (LoRaWAN, MQTT) ismerete.