



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

Vida Gergely

**BELTÉRI LOKALIZÁCIÓS  
ALKALMAZÁSOK  
KOMMUNIKÁCIÓS ÉS  
ADATFELDOLGOZÁSI  
ARCHITEKTÚRÁJA**

KONZULENS

**Dr. Varga Pál**

BUDAPEST, 2018

# Tartalomjegyzék

<b>Kivonat.....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Bevezetés .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Műszaki háttér .....</b>	<b>8</b>
2.1 A tárgyak internete.....	8
2.2 A beltéri helymeghatározás.....	10
2.3 A beltéri lokalizációs rendszerek piaca.....	11
<b>3 Beltéri lokalizációs alkalmazások kommunikációs igényei.....</b>	<b>13</b>
3.1 Pontosság .....	13
3.2 Komplexitás és a rendszer architektúrája .....	14
3.2.1 Architektúra .....	14
3.2.2 Komplexitás .....	15
3.3 Robusztusság .....	15
3.4 Skálázhatóság.....	16
3.5 Adatbiztonság .....	16
<b>4 Adatátviteli és feldolgozási architektúrák .....</b>	<b>18</b>
4.1 Kliens alapú architektúra .....	18
4.1.1 Senion .....	18
4.1.2 Locatify [19] [20].....	19
4.2 Szerver alapú architektúra.....	20
4.2.1 AITIA.....	20
4.2.2 OMT Lab, Ubisense [21] .....	20
4.2.3 Infsoft [2] .....	21
<b>5 Munka környezete .....</b>	<b>22</b>
<b>6 Mérések.....</b>	<b>25</b>
6.1 Előkészületek, elrendezés .....	25
6.2 Pontosság megállapítása .....	25
6.3 Útvonal bejárása .....	26
6.4 Robusztusság .....	26
<b>7 Eredmények.....</b>	<b>27</b>
7.1 Pontosság .....	27

7.2 Útvonal bejárása .....	29
7.3 Robusztusság .....	30
<b>8 Irodalomjegyzék.....</b>	<b>32</b>

## Kivonat

Az élet minden területén állandó kérdés, hogy hogyan lehetne költséghatékonyabban, kevesebb erőforrás felhasználásával több értéket teremteni, legyen szó akár ipari alkalmazásról vagy közszolgáltatásról. A valósidejű beltéri lokalizációs rendszerek kiépítése sok más IoT, azaz Internet of Things alkalmazás mellett mindkét említett területen változást hozhat. Ipari környezetben például versenyelőnyt szerez az a vállalat, amely valósidejűben működő megfigyelő rendszere segítségével automatikusan rögzíteni tudja, hogy az adott pillanatban hol tárolja eszközeit, így könnyebbé téve elérésüket. A közszolgáltatásokat tekintve egy kórházban lerövidülhet a betegút és így javulhat az ellátás színvonala, ha a beteget intelligens rendszer követi és navigálja. Összességében kijelenthető, hogy a beltéri lokalizációs rendszerek beépítése alapvetően befolyásolhatja a hatékonyságot alkalmazási területtől függetlenül.

Dolgozatomban UWB (Ultra Wide Band) és BLE (Bluetooth Low Energy) alapú valósidejű beltéri lokalizációs rendszereket osztályozok vizsgálva architektúrájukat, teljesítményüket és egyéb jellemzőiket. A vizsgált paraméterekhez, mint például a pozíció meghatározás pontossága, vagy a rendszer skálázhatósága, robosztussága, részletező leírást nyújtok a szakirodalomra támaszkodva. Kutatásomhoz nemzetközi és hazai vállalatok termékeiről átfogó összehasonlítást végzek felhasználva a korábban összeállított szempontrendszert. A rendszerek ilyen osztályozása a konkrét feladatok megoldásakor fontos támpontokat nyújthat technológiák és kommunikációs módszerek kiválasztásában, az architektúra kialakításában.

Az osztályozás elméleti elvégzése mellett egy megvalósított rendszeren is bemutatom a rendszertervezési és verifikációs feladat folyamatát és eredményét. Összefoglalom a megvalósított rendszer műszaki jellemzőit, és bemutatom a kialakított rendszer konkrét alkalmazását egy esettanulmány formájában. Végezetül megállapítom az ismertetett rendszer jellemzőit méréseimmel, amelyek eljárásait és eredményeit is bemutatom.

## **Abstract**

It is a permanent issue in all walks of life (eg. in industrial area or public services) to create more value by using less resources. Deploying IoT solutions such as real-time indoor localization systems can cause changes in both of these areas. For example, in an industrial environment a company can gain advantage by setting up a real-time monitoring system to register the position of its assets and to make it easier to access them. In terms of public services, a hospital management can shorten the patient path and thus improve the quality of healthcare services if they have an integrated system to track and navigate the patients. Overall, the indoor localization systems can fundamentally improve efficiency regardless of application area.

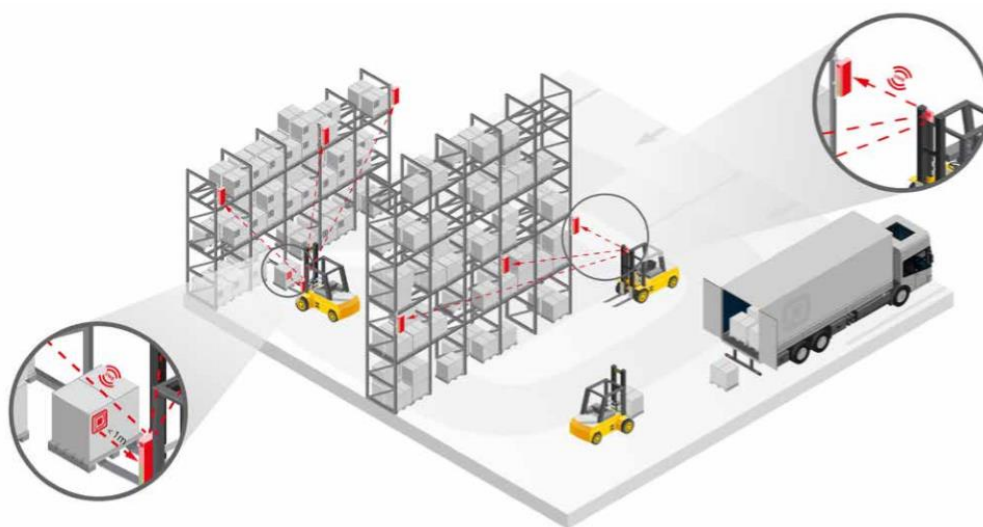
In my paper, I classify UWB (Ultra Wideband) and BLE (Bluetooth Low Energy) based real-time indoor localization systems by examining their architecture, performance, and other features. I provide a detailed description of the main parameters, such as the accuracy of the position determination or the scalability and robustness of the systems. As part of my research, I compile a comprehensive comparison of products from international and domestic companies using the previously listed criteria.

In the second part of my paper, I focus on an implemented system. I summarize its technical characteristics and present a concrete application of the system in a case study. Finally, I determine the characteristics of the described system with my measurements, I summarize the procedures of the measurements and analyze the results.

# 1 Bevezetés

*„A negyedik ipari forradalomnak megfelelő környezet kialakítása felé tett első lépések egyike egy olyan infrastruktúra telepítése, amely lehetővé teszi az adatok gyűjtését, tárolását és analizálását.” [1]*

Mi forog kockán a negyedik ipari forradalom versenyében? – teszi fel a kérdést a Forbes fent idézett cikkének szerzője, Willem Sundblad, aki az Internet of Things (röviden IoT) ipari alkalmazásaira specializálódott cégével maga is tevékeny résztvevője korunk technikai megújulásának. Sundblad elemzésében rámutat, hogy az ipari szereplők, habár különbözőképpen, de mindannyian készülnek a piaci viszonyok gyökeres változására, amelyet az információs technológia újabb és újabb vívmányai indukálnak. A vállalatoknak versenyképességük megtartása érdekében integrálniuk kell infrastruktúrájukba az új technológiákat, amelyek között szerepel az IoT rendszerek telepítése is (az 1. ábrán az infsoft vállalat egy ipari IoT alkalmazása látható). Az IoT (Internet of Things), azaz a tárgyak internetének szerepe az idézetben is említett adatgyűjtő, -tároló és -feldolgozó funkciók ellátása, amelyek lehetővé teszik a folyamatok részletes, valós idejű monitorozását és szükség esetén a beavatkozást. Ezeknek a feladatoknak az ellátásával a piaci szereplők többlet információhoz jutnak saját gyártási folyamataikról, amelyek feldolgozásával optimalizálhatják, egyben költséghatékonyabbá tehetik működésüket.



1. ábra: az infsoft beltéri lokalizációs rendszere ipari környezetben [2]

Dolgozatom célja, hogy átfogó képet adjon az IoT egyik területéről, a beltéri lokalizációs rendszerek alkalmazási lehetőségeiről. Kutatásom eredményeként egy olyan működő példák vizsgálatán alapuló szempontrendszert állítottam össze, amely segítheti egy új architektúra tervezése esetén a felhasználási terület speciális igényeit kielégítő és az adott körülmények között optimális konfiguráció kiválasztását.

A beltéri helymeghatározás biztosította információkat már napjainkban is sokféleképp hasznosítják, ezért elsőként kitekintést adok a lokalizációs rendszerek piacára, ismertetek több szereplőt és termékeiken keresztül bemutatom a technológia megvalósított formáit. A második fejezetben a műszaki kihívásokat részletezem, összefoglalót adva a kialakított rendszerek jellegzetességeiről, a fejlesztésük korlátairól, teljesítményük fokmérőiről. A harmadik részben a dolgozat elején felsorolt vállalatok termékeit hasonlítom össze a felállított szempontrendszer szerint, konklúzióként bemutatom az egyes architektúrák legjobb alkalmazási területeit. A negyedik részben egy konkrét rendszer műszaki jellemzőit ismertetem, betekintést adva egy lokalizációs architektúra eszközeinek technikai részleteibe. A hatodik és hetedik fejezet az ismertett rendszerre vonatkozó méréseket és eredményeit ismertetem, végezetül pedig levonom a konklúziót.

## 2 Műszaki háttér

### 2.1 A tárgyak internete

Az Internet of Things (rövidebben IoT) kifejezést Kevin Ashton majdnem két évtizede használta először, a technológiai elképzelés kialakulására és küldetésére a következőképpen emlékszik vissza az RFID Journal-ben:

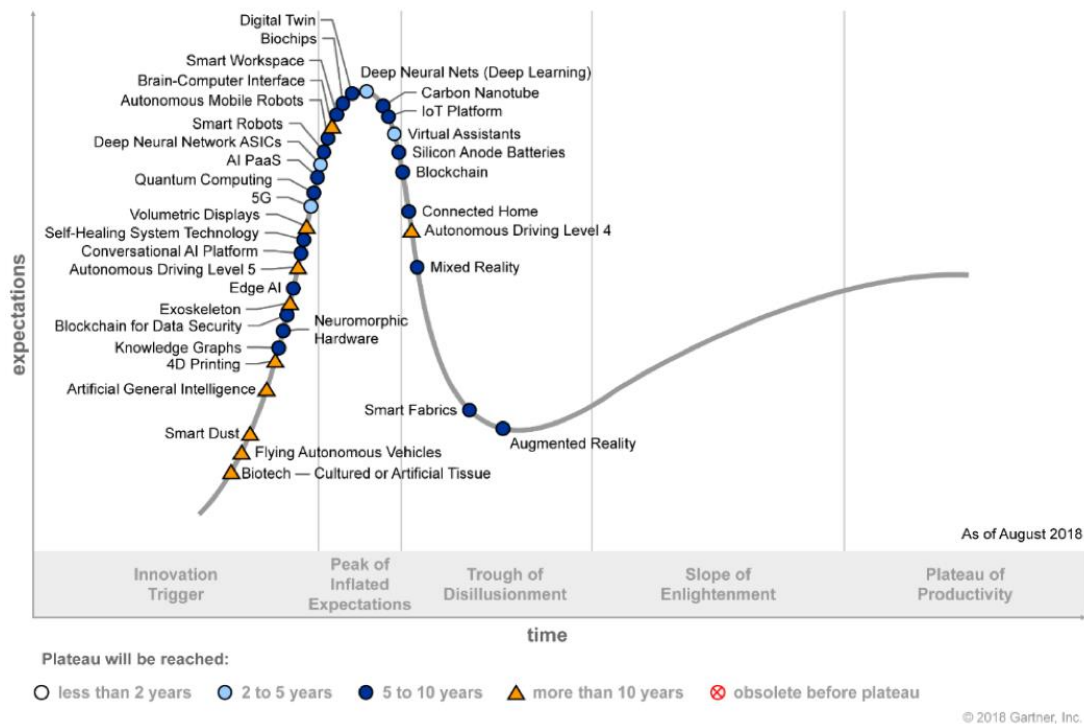
*„[Az Internet of Things, röviden IoT] nemcsak egy vonalkód egy szteroid készítményen vagy megoldás az útdíj fizető rendszerek felgyorsítására, nem szabad hagyni, hogy a víziónk erre a szintre süllyedjen. Az IoT megvalósításában - az Internet létrejöttéhez hasonlóan - megvan a potenciál, hogy megváltoztassa a világot.” [3]*

Ashton kijelentése láthatóan nem túlzó, ha figyelembe vesszük, hogy az elmúlt évtizedekben jó csengésű hívószóvá vált az IoT, amelyről minden mérvadó tudományos és ipari szereplőnek megvan a saját, az idézetben felsorolt alkalmazásokon túlmutató víziója.

Az IoT, magyarul a dolgok (vagy tárgyak) internetének alapötlete az, hogy kiterjeszti a világhálóról alkotott elképzelést, amely eredetileg döntően emberek által kontrollált eszközök összekötését tűzte ki célul. Az új, elmúlt évtizedekben kialakuló és dinamikusan fejlődő koncepció szerint olyan autonóm eszközök („dolgok”) szerveződnek hálózatba, amelyek lényegi beavatkozás nélkül tudnak tetszőleges folyamatról adatokat gyűjteni, azokat feldolgozni, és az eredmények alapján a működést akár befolyásolni is képesek. [3] Ezt a megoldást nagyon sok technológiai vívmány együttes alkalmazása teszi lehetővé, mint például az egyszerű, kisméretű, olcsó mikroprocesszorok, áramkörök tömeggyártása, a mérsékelt energiafogyasztást lehetővé tevő technológiák, a kis adatforgalmat generáló kommunikációs módok, az aggregált adatokat tároló felhők, „távoli” adatbázisok és az adatfeldolgozást segítő Big Data módszerek. A sok említett technikai eredmény szinergiájaként lehetővé váló dolgok internetétől a mindennapi élet legkülönbözőbb területein remélhetünk előrelépést: az IoT szerteágazó alkalmazásai segítségével fejleszthetők és automatizálhatók a logisztika, az egészségügy, a mezőgazdaság, a gyárak, a városok, az otthonok vagy az energetika sok feladata, a különböző rendszerek által gyűjtött adatok alapján pedig optimalizálhatók a különféle tevékenységek.



A Gartner elemző cég évről évre kiadja jelentését, amelyben helyet kap az úgynevezett „Hype Cycle for Emerging Technologies”. Az ábra célja, hogy bemutassa az aktuális technológiai trendeket és ágazonként ismertesse a kilátásokat. Az elemzés öt nagy szakaszt határoz meg, amelyek az adott területek aktuális stádiumát hivatottak jellemezni az idő és a megfogalmazott elvárások tekintetében, ezzel támpontot adva a piaci szereplőknek döntéseikhez. Az új technológiák a Hype Cycle szerint az innováció kezdőpillanatától (az ötlet kipattanásától, a koncepció megszületésétől) a jövedelmező megvalósításig vezető úton kezdetben irreális mértékig fokozódó elvárásokkal dacolnak, majd a tetőpont elérése után, a túlzó feltételezésektől megtisztulva találják meg helyüket a piacon. A 2018 nyarán közzétett, a dolgozat megjelenésekor legfrissebb elemzés szerint az IoT platformot övező várakozások már elérték tetőpontjukat, és 5-10 év múlva várható a területen, hogy a termelékenység és a beteljesíthető elvárások szakaszába érkezzenek az ide tartozó termékek. (2. ábra).



2. ábra: Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018. Az új technológiák a kezdetekben robbanásszerűen népszerűekké válnak, a valós szerepüknek megfelelő helyüket a túlzó elvárásoktól való megtisztulás után foglalják el. [4]

## 2.2 A beltéri helymeghatározás

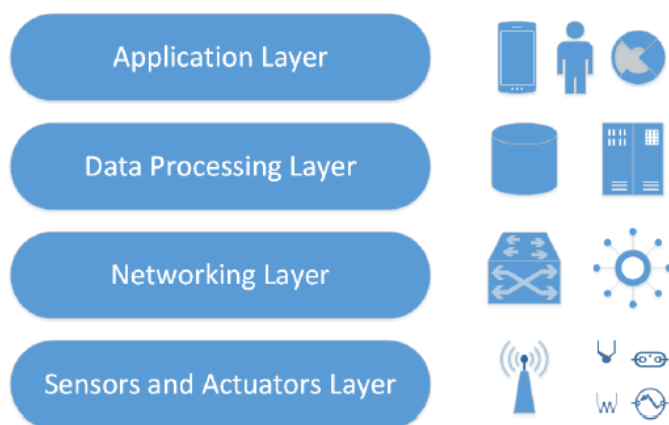
Az előző fejezetben felsorolt alkalmazási területeken megfigyelhető, az IoT rendszereket nagyon sok területen hasznosítani lehet. Ennek oka az, hogy az általuk megfigyelt objektumokról részletes adatok gyűjthetők analitikai célokra. Az adatgyűjtés egyik legkézenfekvőbb típusa a pozíció meghatározása, amely két alapvető részre osztható:

- Az egyik a globális szintű helymeghatározást megvalósító, nagyobb távolságokat kisebb felbontásban lefedni képes és jellemzően árnyékolásmentes területeken alkalmazható, műholdak adatain alapuló GPS rendszerek.
- A másik a sűrűn beépített területeken, épületekben alkalmazható lokális szintű, alkalmazáshoz optimalizált beltéri lokalizációs rendszerek (IPS), amelyek pontosabb adatokat tudnak szolgáltatni a felhasználóknak.

Dolgozatomban a beltéri lokalizációs rendszerekkel foglalkozom, amelyeket minden más IoT rendszerhez hasonlóan réteges felépítésű modellel lehet jellemezni (például az Ipar 4.0 modelljeit is jellemzően ilyen formában közlik). Az architektúra szintjeit tekintve több megközelítés is létezik, a következőkben ismertetett modell 4 rétegű változat [5], de létezik 3 szintű értelmezés is. [6] A rétegek számától függetlenül összefogó elve ezeknek a struktúráknak, hogy a megvalósított funkciók és az ehhez szükséges eszközök szerint megkülönböztetett rétegeket külön-külön lehessen vizsgálni. A 3. ábrán látható szintek a következők a legfelsőtől kezdve:

- Application Layer: a legfelső réteg, egyszerre lát el megjelenítési és menedzsment funkciókat, segítségével a rendszer monitorozható és konfigurálható.
- Data Processing Layer: funkciója az alsóbb szintek által begyűjtött és aggregált adatok feldolgozása.
- Networking layer: a végberendezések és az adatfeldolgozó egységek közötti kommunikációért felelős réteg, mely eljuttatja és aggregálja a begyűjtött adatokat, illetve továbbítja a beavatkozó jeleket. Ennek a szintnek a berendezései valósítják meg az ISO-OSI modell 2-6 rétegeit.

- Sensors and Actuators Layer: a legalsó szint, a szenzoroké és beavatkozóké, amelyek közvetlenül kapcsolódnak a megfigyelt (és vezérelt) folyamathoz (adatot gyűjtenek, illetve szabályozzák a működést).



3. ábra: az IoT architektúra rétegei [5]

A beltéri lokalizációs rendszerek is jellemezhetők a rétegmodell szerint. A helymeghatározáshoz szükséges adatok a szenzorok rétegében a pozicionálódó egység és a viszonyítási pontok közötti kommunikációból származnak, legyen szó akár UWB, akár BLE alapú rendszerről. Az adatok szállítását a Networking rétegben vezetékkel vagy vezeték nélkül csatlakoztatott hálózati eszközök, routerek végzik. Az adatok feldolgozását a pozicionáló rendszer központi egysége látja el, amely legtöbbször egy szerver, de egyes esetekben okostelefon is lehet. Végezetül az Application réteg is többféleképp megvalósítható: a megjelenítés és a rendszer menedzselése történhet például webes felületen vagy okostelefonos applikációban is.

## 2.3 A beltéri lokalizációs rendszerek piaca

A beltéri lokalizációs rendszerek jelentőségét mutatja, hogy a Gartner külön ábrával elemezte a beltéri lokalizációs rendszerek piacát (3. ábra), a nemzetközi elemzés lényege, hogy értékelje a szereplők pozícióját. A négy részre osztott diagram alapján kijelenthető, hogy globálisan még nem szilárdultak meg a piaci viszonyok, egyik vállalat sem volt képes általánosan elismert előnyre szert tenni vetélytársaival szemben („leaders” negyed), a piacra betörőkön túl („niche players”) vagy az infrastruktúrában („challengers”), vagy a vízió alkotásban („visionaries”) járnak elől.

Dolgozatomban nemzetközi és hazai cégek alkalmazásait hasonlítom össze. A nemzetközi vállalatok közül megvizsgálom a Ubisense, a Localify és infsoft cégek UWB alapú megoldásait, valamint a Senion vállalat BLE-t alkalmazó rendszerét. A hazai cégek közül az OMT Lab és az AITIA termékét elemzem.



4. ábra: Gartner Magic Quadrant - a beltéri lokalizációs rendszerek piaca [7]

A lokalizációs technológiák sok válfaja létezik, egy 2017-es kutatás 28 típust és altípust foglal össze az RFID-től a kamera alapú szolgáltatásokig [8]. Dolgozatomban az Ultra Wideband és a Bluetooth Low Energy alapú rendszerekkel foglalkozom.

## **3 Beltéri lokalizációs alkalmazások kommunikációs igényei**

A beltéri lokalizációs rendszerek általános jellemzése több tudományos cikk, értekezés részét képezte az elmúlt évtizedben [9] [10] [11] [12] [13]. Az idézett művek által felsorolt szempontok többféle megközelítést tükröznek:

- a rendszereket lehet jellemezni teljesítőképesséjükre fókuszálva (pl. pontosság, skálázhatóság, komplexitás, robusztusság, rendelkezésre állás),
- számba lehet venni műszaki paramétereiket (pl. a rendszerben futó algoritmusok, az eszközök közötti kommunikációs technológiák, az eszközök megvalósítása, tokozása),
- megállapításokat lehet tenni a rendszer alkalmazójának szemszögéből is (pl. milyen infrastruktúrát igényel a rendszer telepítése, mekkora költséggel jár a beszerzése, hogyan védi a rendszer a kezelt adatokat).

A hivatkozott források sokféle lehetősége közül kutatásomhoz az alapján állítottam össze szempontrendszeremet, hogy melyek azok a tényezők, amelyek segítségével átfogó képet lehet alkotni a rendszerek kommunikációs és adatfeldolgozási architektúrájáról. A vizsgálandó szempontok, a pontosság, a skálázhatóság, a robusztusság, a komplexitás és a rendszerek architektúrája, illetve az adatok feldolgozása során alkalmazott biztonsági eljárások lettek.

### **3.1 Pontosság**

A beltéri pozicionálási rendszerek minőségének legfontosabb jellemzője a pontosság, amely a rendszer által megállapított és a valódi pozíció közötti euklideszi távolságot jelenti. A pontosságot értelmezni lehet a rendszer mérési hibájaként, „offset”-ként, amelyet a rendszer sajátosságai, például a választott távolságmérési technológia okoz (pl. UWB vagy BLE alapú távolságmérésről van szó). A meghatározott pozíció pontosságát a rendszer finomhangolásával mérsékelni lehet, de fontos figyelembe venni, hogy ez más tényezők kárára történhet csak meg, a nagyobb pontosság erősebb számítási kapacitású eszközt és nagyobb energiafogyasztást igénylő működést követel meg, amely

sokszor felesleges erőforrás pazarlással jár. Az alkalmazási területnek megfelelően megállapítható egy optimális mértékű hiba, amely az adott területen kielégítőnek bizonyul. Egy raktárban, beltéri navigáció esetén szükséges a követett szállítóeszköz kis bizonytalanságú bemérésére, koordinálása [14], más esetekben viszont, például egy bányában a munkások különböző zónákban való tartózkodásának nyilvántartásához elegendő nagyobb szektorok megkülönböztetése [15].

Fontos figyelembe venni, hogy egy rendszer pontosságát nemcsak belső, hanem a rendszer telepítésének környezetéből származó hatások (pl. interferencia, EMC) is befolyásolhatják, ronthatják (lásd 6.2).

## **3.2 Komplexitás és a rendszer architektúrája**

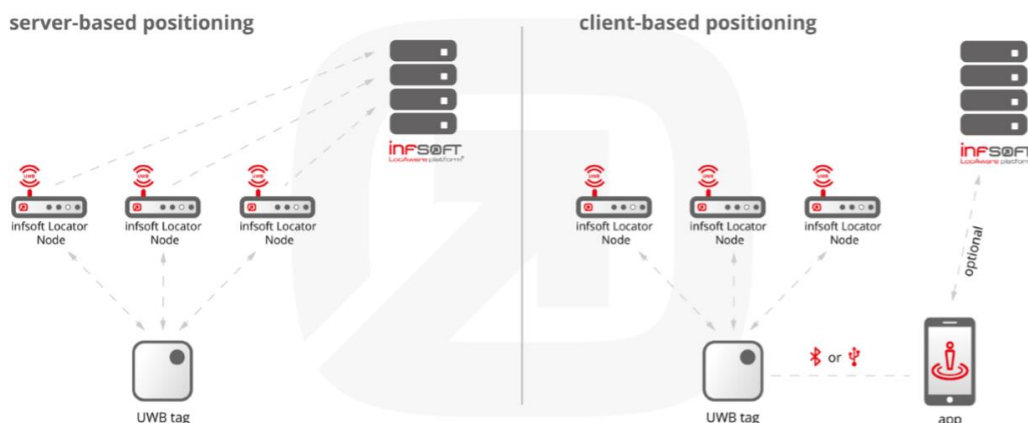
A beltéri helymeghatározó rendszerek hatékony működésének feltétele egy jól megtervezett struktúra, amelyben a különböző funkcionális egységek feladatukkal arányos mennyiségű erőforrásokkal rendelkeznek. A komplexitás és architektúra kérdésköre ezeket a területeket fedi le.

### **3.2.1 Architektúra**

Az architektúra a rendszer alkotó elemeinek és azok összeköttetésekének összessége. A beltéri pozicionáló rendszerek architektúrájukat tekintve két nagy csoportba oszthatók (5. ábra, [2]):

- A kliensalapú pozicionálás lényege az, hogy a rendszer által megállapított pozícióadatok vissza vannak csatolva a követett eszközhöz, és valamilyen szolgáltatás segítségével a kliens információhoz jut. Ennek egyik egyszerű példája egy irodaház okosítása, ahol az alkalmazottaknak munkájukat segítő egy intelligens rendszer áll rendelkezésükre. A helymeghatározó rendszerbe integrált okos-telefonalapú navigációs applikációjuk segítségével az iroda dolgozói időt takarítanak meg maguknak és a vállalatnak munkatársaik, munkaállomásaik keresése közben (Ericsson székház rendszere, [16] [17])
- A szerver alapú pozicionálás - párjával ellentétben - nem tartalmaz információ-visszacsatolást: a rögzített pozíció egyirányú forgalomban érkezik a rendszer központjába, a szerverhez, amely feldolgozza és megjelenítési lehetőséget biztosít a rendszer működtetőjének. Ez az

architektúrátípus a folyamatok, eszközök, kliensek külső megfigyelését teszi lehetővé. Egyik alkalmazása lehet például egy termelési lánc követése (Ubisensea repülőgyártásban, [18]).



5. ábra: az insoft koncepciója a kliens- és a szerveralapú rendszerekről [2]

### 3.2.2 Komplexitás

A komplexitás a rendszert alkotó hardverek és szoftverek, illetve a működés összetettségét jellemzi. Az architektúra egyes elemei szempontjából fontos, hogy az általuk végzett feladatok komplexitásával arányos kapacitás álljon rendelkezésükre.

A komplexitás a rendszer tervezésében korlátozó tényezőként lép fel: egy nagyon összetett műveletet, mint például a pozíció meghatározása, nem lehet a szűkös erőforrásokkal (kis számítási kapacitással, akkumulátoros táplálással) ellátott mobilis tag-el végeztetni. Az említett feladat ellátásában egy szerver alapú architektúra szervere a leghatékonyabb, ugyanis ebben az esetben kellő elegendő erőforrás áll rendelkezésre. Megfigyelhető, hogy a pozícionálás kliens alapon is megvalósítható, ebben az esetben azonban már számolni kell a mobilis kliens eszközének akkumulátor-idejével.

### 3.3 Robusztusság

A robusztusság a rendszer működésének stabilitását jellemző paraméter, különböző akadályozó tényezők jelentkezése melletti állóképességet írja le. A helymeghatározás folyamata során előfordulhat, hogy a követett objektum érzékelői elveszítik egyes viszonyítási pontok jeleit, vagy azok meghibásodása miatt helytelen adatok kerülnek a rendszerbe. Az adatfeldolgozó rendszerek algoritmusainak meg kell birkóznuk az inkonzisztens vagy hiányos adatsorokkal is, és korrigálva illetve becsléssel kiegészítve fenn kell tartaniuk a rendes üzemet.

A robusztusság szempontjából fontos tényező a készülékek fizikai védelme. Az eszközök tokozásának egyes alkalmazási területeken extrém állapotok között is ellen kell állniuk (pl. robbanásveszélyes környezetben, ATEX irányelv szerint<sup>1</sup>), de általános használat esetén is elvárható a termékektől, hogy bizonyos mértékig por- és vízállóak legyenek (IP védettség<sup>2</sup>).

### 3.4 Skálázhatóság

A beltéri pozicionáló rendszer jól skálázható, ha a teljesítőképességét képes megtartani annak ellenére, hogy a terhelése növekedik. A terhelés növekedése kétféle irányban is elképzelhető:

- Kiterjedés: a lefedett terület növelésével megnövekednek a távolságok az adóvevő egységek között, ami a teljesítményt is visszaveti.
- Kiszolgált eszközök mennyisége: a kommunikációba kapcsolódó egységek számának növekedésével telítődnek a csatornák, elfogynak az erőforrások.

Érdekes összefüggés a skálázhatóság és az architektúra típusok között, hogy a kliens alapú pozicionálás esetén a rendszer a kiszolgált eszközök számában jobban skálázható, mivel minden egyes belépő egység saját erőforrásokat biztosít működéséhez, míg a szerveralapú megoldás központi, limitált kapacitásokkal gazdálkodik.

### 3.5 Adatbiztonság

Az IoT platform felhasználóinál prioritást élvez az (érzékeny) adatok és a funkciók védelme. Az IoT rendszerek adatbiztonsága minden más információkat kezelő struktúrához hasonlóan három alapelv (CIA, 2. ábra) szerint jellemezhető, amelyek a következők:

- Bizalmasság elve (Confidentiality): a kezelt adatok csak az arra felhatalmazottak részére legyenek hozzáférhetőek.

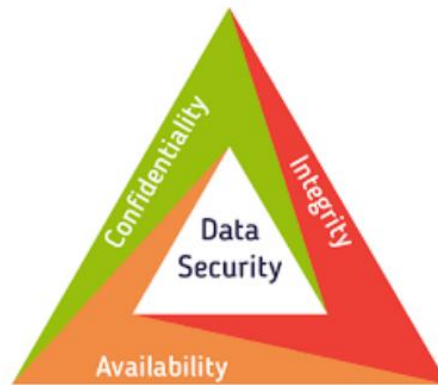
---

<sup>1</sup> ATEX: robbanásveszélyes környezetbe szánt berendezésekről szóló Európai Uniósi irányelv

<sup>2</sup> IP védettség: villamos gyártmányok burkolatai által nyújtott védettségi fokozatok por és víz ellen



- Sértetlenség elve (Integrity): kezelő garantálja, hogy az adatok nem sérülnek, módosulnak a továbbítás során.
- Rendelkezésre állás elve (Availability): annak biztosítása, hogy a felhatalmazottak az előírtaknak megfelelően mindig hozzáférhessenek a kezelt adatokhoz.



**6. ábra: az információbiztonság három alapelve**

A felsorolt alapelveknek a beltéri pozicionálási rendszerek esetében is érvényesülniük kell. A rendszerek felhasználói szempontjából két aspektusból merül fel az adatok védelmének kérdése:

- a rendszer működtetője számára az infrastruktúra, a hálózat védelme az elsődleges szempont, hiszen illetéktelen behatolók lehallgathatják a kommunikációt és az üzenetek megmásításával megzavarhatják a rendszer működést, anyagi kárt okozhatnak.
- ha a rendszerben személyek követése is megvalósul, ez esetben az anonimitás megőrzése, a rendszerbe és fenntartójába vetett bizalom kiépítése jelent kihívást. Gyakori, hogy ebből kifolyólag csak munkavédelmi okokból működtetett rendszerek valósulnak meg, ahol az életveszély elkerülése teszi feltétlen indokolttá a kliensek pozíciójának rögzítését.

## 4 Adatátviteli és feldolgozási architektúrák

A beltéri pozicionálási rendszerek architektúráiban rejlő lehetőségek vizsgálata érdekében felkerestem a piac szereplőit, hogy az általuk biztosított adatok, tapasztalatok alapján átfogó képet alkothassak. A beérkezett válaszok alapján keletkezett az alábbi összefoglaló (1. táblázat), és a hozzá tartozó elemzéssorozat.

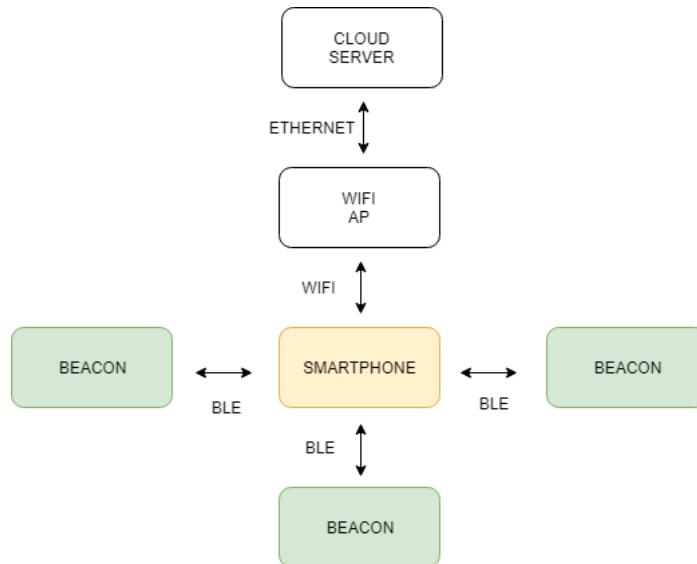
1. táblázat: beltéri pozicionáló rendszerek adatai

Vállalat	OMT Lab	AITIA	infsoft	Senion	Locatify	Ubisense
Termék	Sunstone RTLS	N/A	Locator Tags	StepInside	N/A	Dimension4
Technológia	UWB	UWB	UWB	BLE	UWB	UWB
Alkalmazások	ipari, gyári környezetben termelési lánc követése	ipari, gyári környezetben követés	ipari, gyári, környezet, logisztika követés, navigálás	információs rendszer hotel, bevásárlóközpont vendégeinek, iroda dolgozóinak	múzeumok, kiállítások számára interaktív túrák	ipari, gyári környezetben követés, kiállításon információs rendszer
Pontosság (cm)	10 - 30	30	<30	100 - 300	20 - 30	15
Lefedhető terület (m <sup>2</sup> )	250 / anchor	N/A	N/A	250 / beacon	125 / anchor	N/A
Tag-ek legtartósabb tokozása	ATEX	N/A	ATEX	IP67	N/A	IP65
Architektúra	szerveralapú	szerveralapú	szerveralapú	kliensalapú	szerveralapú	szerveralapú

### 4.1 Kliens alapú architektúra

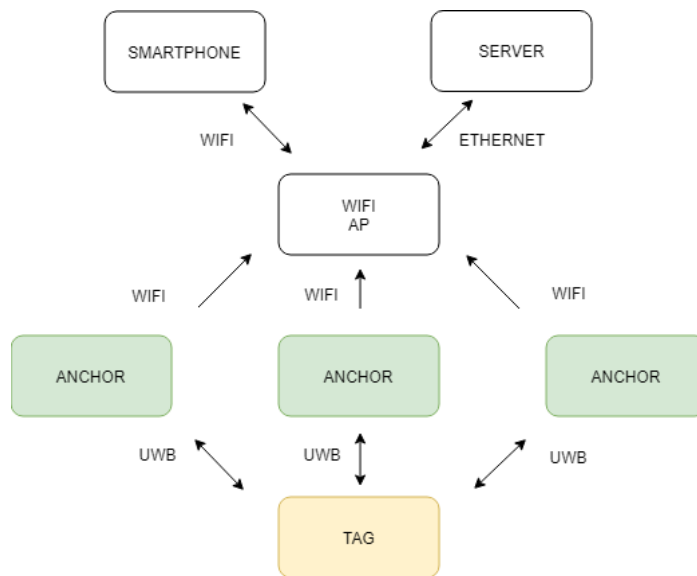
#### 4.1.1 Senion

A Senion StepInside nevű termékének sajátossága, hogy egy okostelefonos applikáció képi a magát, amelyet az Appstore-ból lehet letölteni. Pozicionálás során a telefon a fix helyzetű BLE beacon-okat méri be, és a szerverről frissített térkép felhasználásával megjeleníti a pozíciót.[17]



7. ábra: a Senion StepInside termékének architektúrája

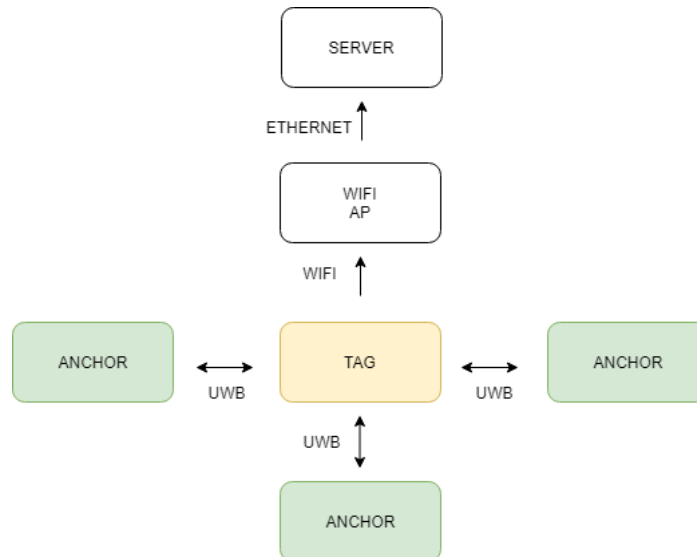
#### 4.1.2 Locatify [19] [20]



8. ábra: a Locatify beltéri pozicionáló rendszere

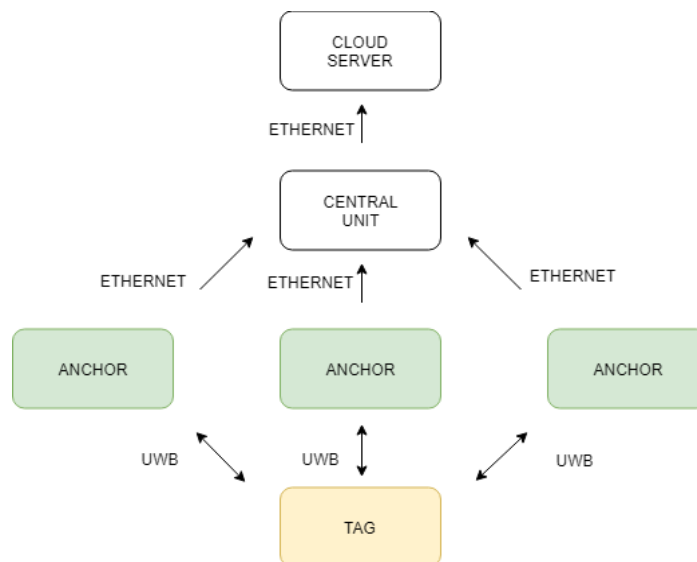
## 4.2 Szerver alapú architektúra

### 4.2.1 AITIA



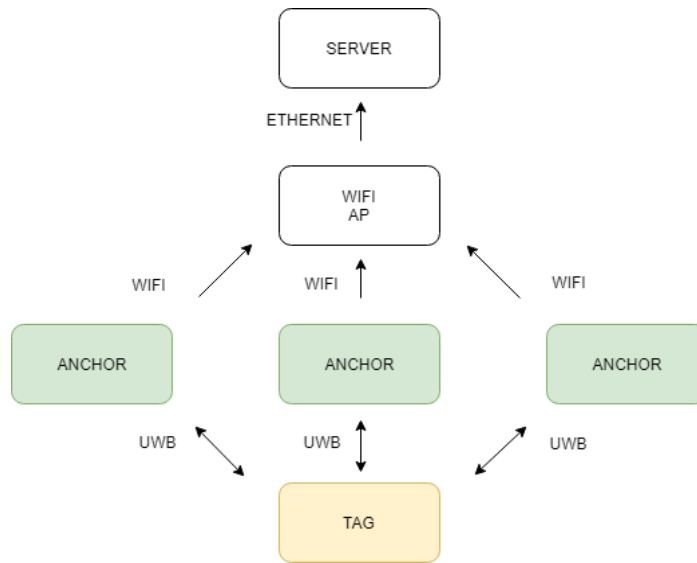
9. ábra: az AITIA beltéri pozícionáló rendszere

### 4.2.2 OMT Lab, Ubisense [21]



10. ábra: az OMT Lab és a Ubisense architektúrája

### 4.2.3 Infsoft [2]

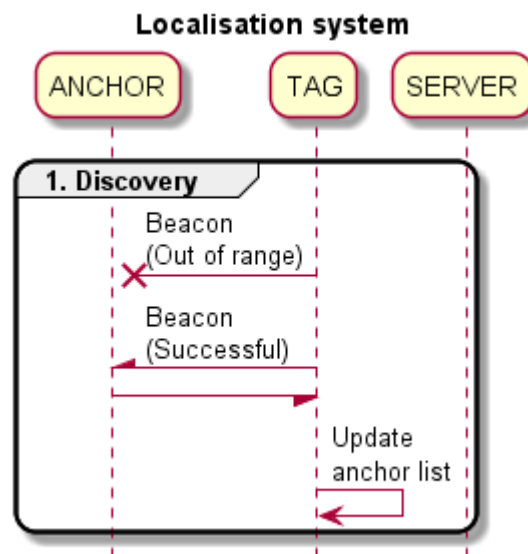


11. ábra: az infsoft beltéri pozícionálási rendszere

## 5 Munka környezete

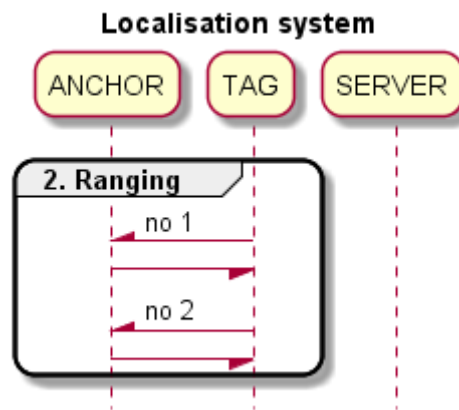
Dolgozatom második felében az AITIA beltéri lokalizációs rendszerének működését mutatom be. A megvalósított architektúrában a kommunikáció három ciklikusan ismétlődő, fő szakaszra bontható, ezek a felderítés, a helymeghatározás illetve az adattovábbítás és –feldolgozás. Az alkalmazástól, az energiaellátástól és az igényelt pontosságtól függően az említett stádiumokon túl a tag-eken beilleszthető egy alvó állapot is, amely által akkumulátoros működés esetén növelhető az eszköz két töltés közötti működési ideje, illetve a kommunikációs architektúra megóvható a túl gyakori adatküldés okozta terheléstől. Ha az alvó üzemmód indulását és az eszköz ébredését egy kis fogyasztású gyorsulásmérő indítja, tovább fokozható a hatékonyság, hiszen a kommunikáció csak akkor indul meg, ha a követett objektum mozgásban van.

A rendszer működésének első szakasza, a felderítés az [x].ábrán látható. A felderítés során a tag felkutatja, hogy aktuálisan melyik anchor-ok érhetőek el a környezetében. Az ehhez szükséges UWB üzenet egy üres, címzés mentes keret (beacon), amelyre az elért anchor-ok ugyancsak adatátvitelmentes üzenetkeretet küldenek, amelyben közlik a címüket. A tag a felderített viszonyítási pontok paramétereit összehasonlítja a tárolt adatokkal és szükség esetén frissíti a nyilvántartását, elengedve az inaktív anchor-ok címeit.



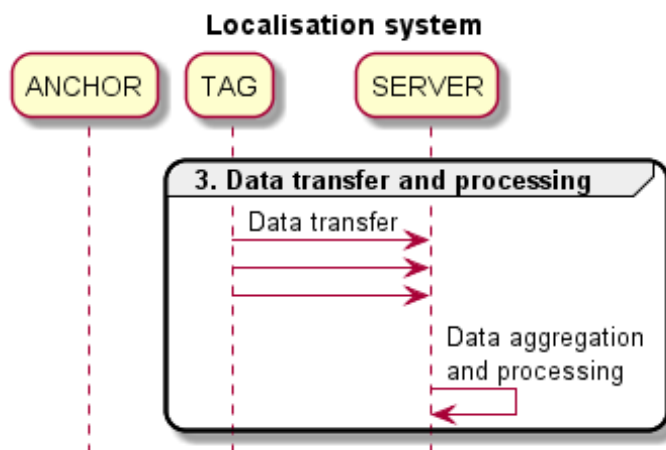
12. ábra: sikeres és sikertelen felderítés

A felderítés után a helymeghatározás következik, azaz az aktuális pozíció kiszámításához szükséges távolságadatokat megállapítása. Ebben a szakaszban a tag az aktív viszonyítási pontok listáján végigiterálva pozíció üzeneteket küld konkrét anchor-nak címezve. Ez az üzenetváltás minden anchor esetében kétszer zajlik le annak érdekében, hogy a esetleges késleltetések okozta hibát ki lehessen szűrni ([x]. ábra ). A beérkezett adatokat a tag eltárolja a memóriájában.



13. ábra: helymeghatározás során a tag minden anchorral kétszer vált üzenetet

A harmadik szakasz a tag és a szerver közötti kommunikációt, illetve a szerver által végzett műveleteket foglalja magába. A tag az időszakosan eltárolt adatokat HTTP felett JSON formátumban, a szerveroldal által előírt keretben továbbítja. A beérkező adatokat a szerver rögzíti adatbázisában és naplózza a változásokat, a rendszer aktuális állapotát. Ezen funkciók mellett a frissített adatbázis értékei alapján kiszámításra kerül a tag aktuális pozíciója, amely a felhasználói felületen is megjelenik.



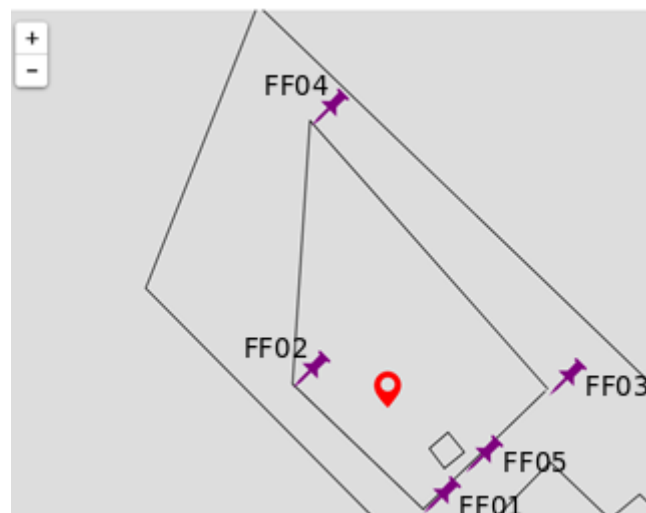
**14. ábra: adatok aggregálása és feldolgozása**



## 6 Mérések

### 6.1 Előkészületek, elrendezés

A rendszer jellemzése érdekében három mérést végeztem el, amellyel a helymeghatározás működését vizsgáltam különböző szempontból: meghatároztam a távolságmérés pontosságát, értékeltem egy kijelölt útvonal bejárásnak megjelenítését, illetve teszteltem a rendszer robusztusságát. A méréseket a 16. ábrán látható környezetben, egy nagyobb parkolóban végeztem el. A mérésben 1 darab taget és 5 darab anchort használtam, amiket a szerver rendre piros és lila jelölővel jelenít meg. A pozicionáló rendszer egy Raspberry Pi számítógépen futott, amelyet a méréshez szükséges helyi hálózatot biztosító routerhez csatlakoztattam.



15. ábra: a tag aktuális pozíciója (pirossal) a mérési elrendezésben

### 6.2 Pontosság megállapítása

A pontosság vizsgálatához két érték, a valós távolság és a rendszer által mért értékek viszonyának meghatározása volt szükséges (lásd 3.1).:

- a referenciaként használt valós távolságot lézeres távolságmérő segítségével állapítottam meg,
- a rendszer által a mért adatok gyűjtéséhez a taget állványra erősítettem, majd a szerver mechanizmusai segítségével hosszabb időn át rögzítettem az UWB alapú adatokat.

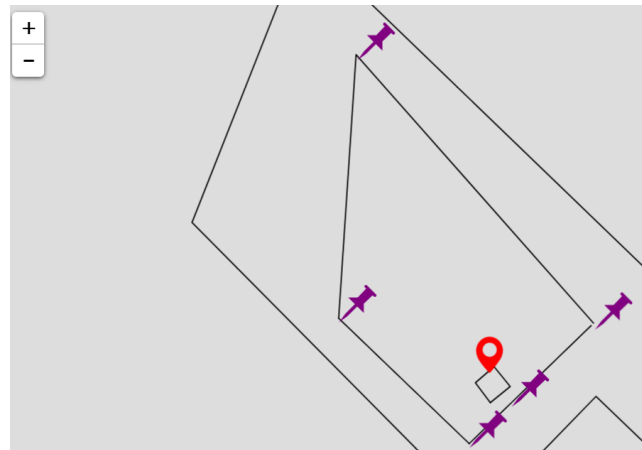
## 6.3 Útvonal bejárása

A rendszer működése szempontjából nemcsak a pontok helyes meghatározása lényeges, hanem a pozíciók láncolata, azaz egy bizonyos útvonal alakhú rögzítése is. A méréshez a pozícionáló rendszer által lefedett területen felvettem egy 2 méter oldalhosszúságú négyzetet (lásd 16. ábrán az FF05 tag közelében), majd a tag segítségével rögzítettem a határvonala mentén, két átellenes csúcsa közötti útvonal helyadatait.

## 6.4 Robusztusság

A rendszer robusztusságát a tag rögzített állapotában (17. ábra), az anchorok időszakos kikapcsolásával teszteltem. A mérés során kétféle koncepció szerint változtattam a működő viszonyítási pontok elrendezését:

- Az első részben a mérés helyéhez közeli FF01, FF05 anchorokat ejtettem ki, zárásként pedig mindkettőt lekapcsoltam.
- A második részben az FF02, majd az FF04 anchor leállításával azt teszteltem, hogy mennyire érzékeny a rendszer a változásokra.

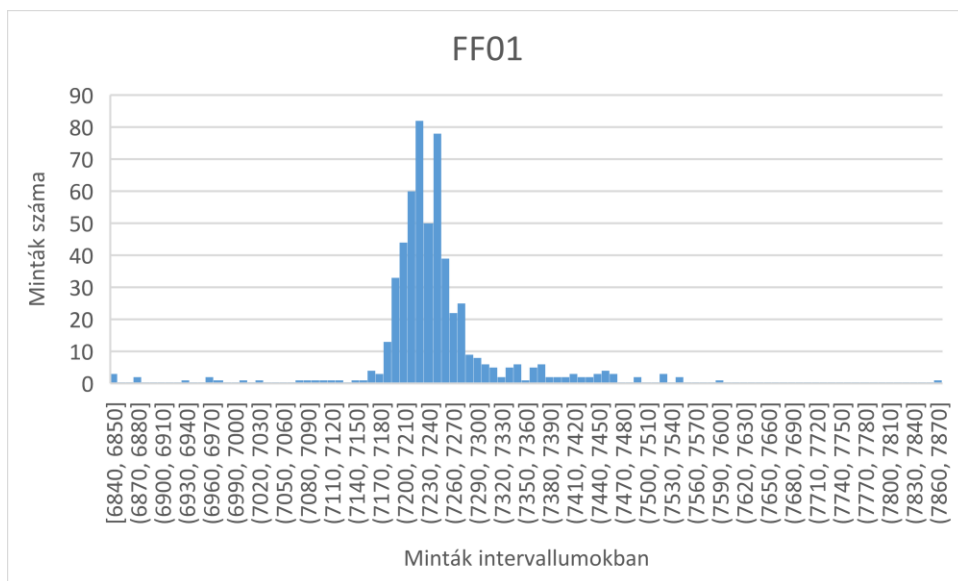


16. ábra: robusztusság megállapítása során a tag rögzített pozíciója

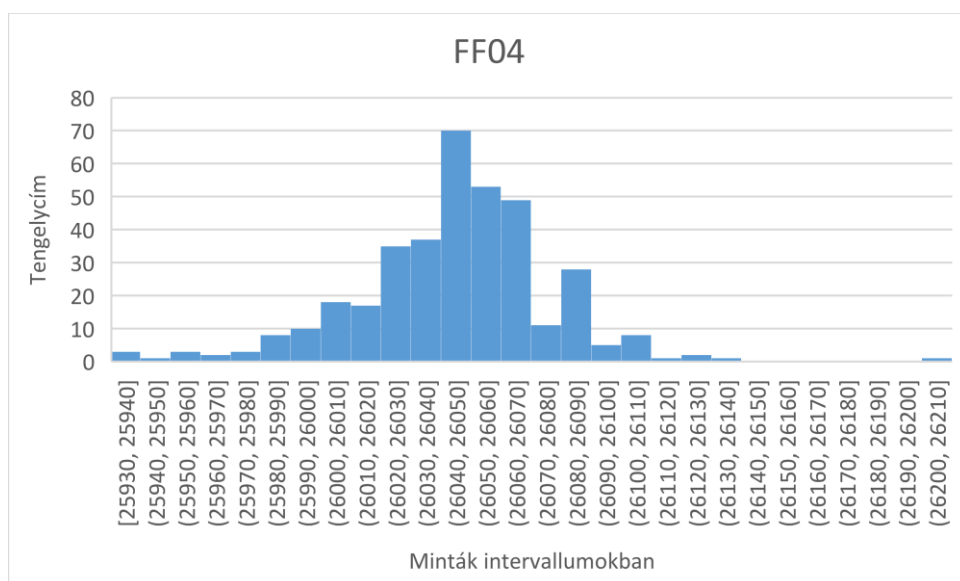
# 7 Eredmények

## 7.1 Pontosság

A pontosság mérése során gyűjtött adatokat hisztogrammal ábrázoltam, amelynek minden oszlopa 10 milliméteres intervallumokba eső minták számát összegzi. Jól látható, hogy a mért adatok normál eloszlás sűrűségfüggvényéhez hasonló alakot öltenek, a legtöbb minta a valós érték környezetében található, mint például az FF01 (17. ábra) vagy az FF04 (18. ábra) esetében látható.

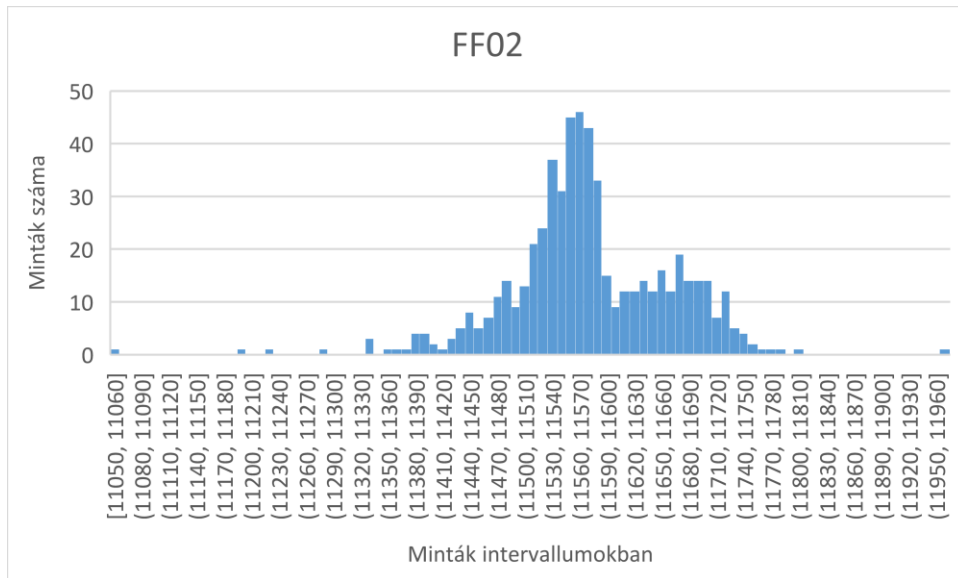


17. ábra: FF01 anchortól mért távolság eloszlása

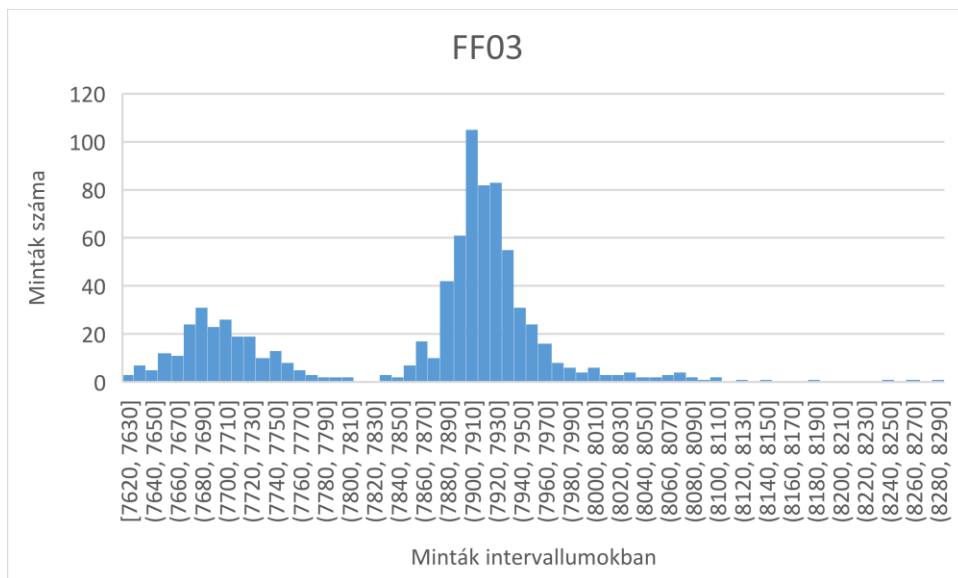


18. ábra: FF04 anchortól mért távolság eloszlása

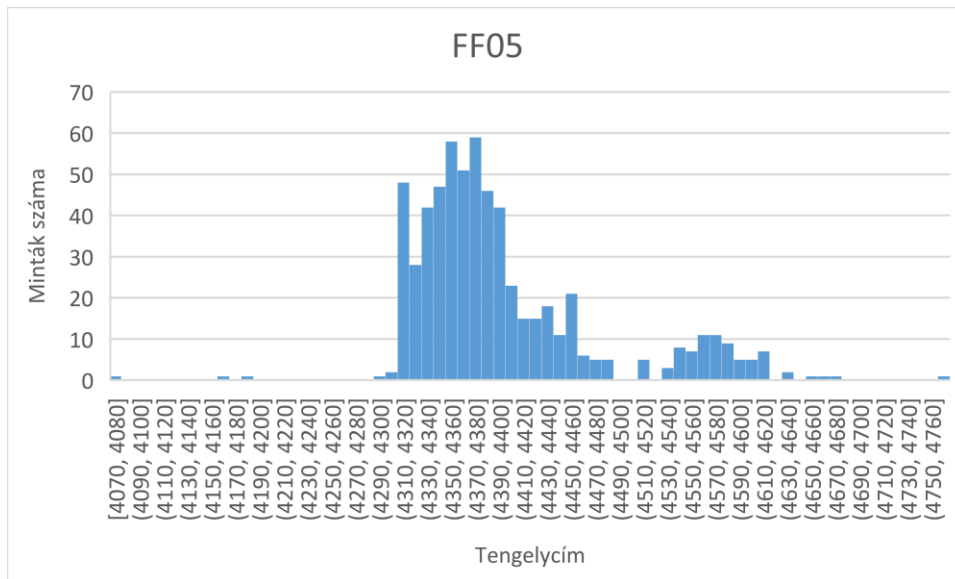
Az FF02 (19. ábra), FF03 (20. ábra), és FF05 (21. ábra) anchoroktól mért távolságok ábrái rámutatnak a mérésben rejlő pontatlanságra: a lézeres mérővel nagyon nehéz pontosan az adóvevők távolságát mérni. A mérőeszköz pozícionálásából származó eltéréstől eltekintve az adatok az első két hisztogramhoz hasonló tulajdonságokat mutatnak.



**19. ábra: FF02 anchorától mért távolság eloszlása**



**20. ábra: FF03 anchorától mért távolság eloszlása**



21. ábra: FF05 anchortól mért távolság eloszlása

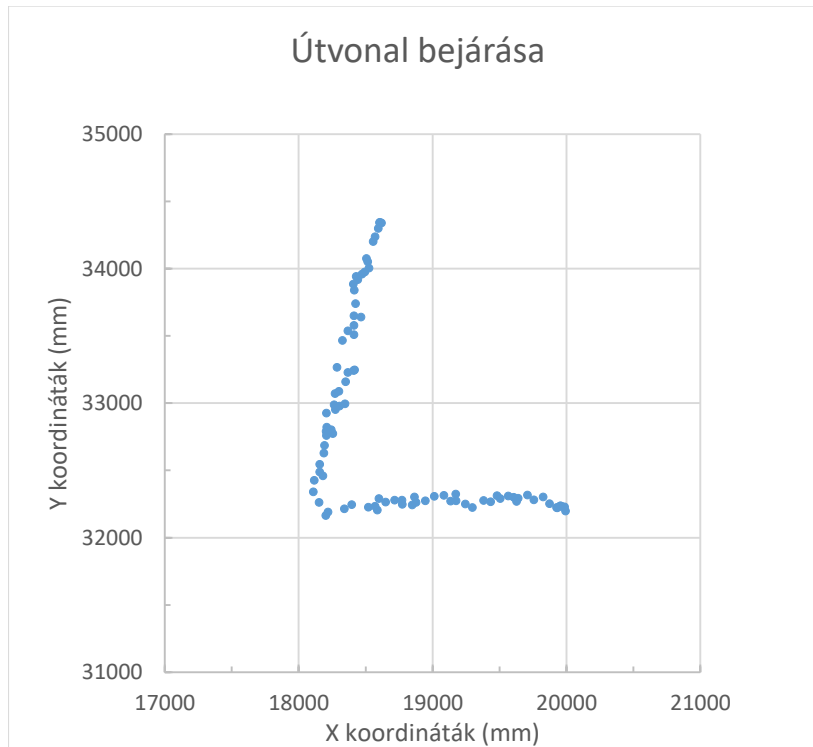
A mérések eredményét a 2. táblázat szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a legnagyobb eltérés a legtávolabbi anchor adataiban látható.

2. táblázat: pontosság mérésének összefoglaló táblája

Anchor	Valós távolság (mm)	Mért távolság átlagos eltérése a valóstól (mm)	Mért adatok szórása (mm)
FF01	7240	45	8,4
FF02	11430	156	8,9
FF03	8030	165	11,0
FF04	26410	360	3,3
FF05	4440	76	8,1

## 7.2 Útvonal bejárása

Az útvonal bejárása során rögzített pontok halmaza figyelhető meg a 22. ábrán, amely a pozicionáló rendszer által felvett koordináta-rendszer egy részletét mutatja. Látható, hogy a megjelenített távolságok közelítőleg megfelelnek a kijelölt négyzet 2 méteres oldalhosszúságának, azonban a két szakasz által bezárt szög nem derékszögű, enyhén torzult.



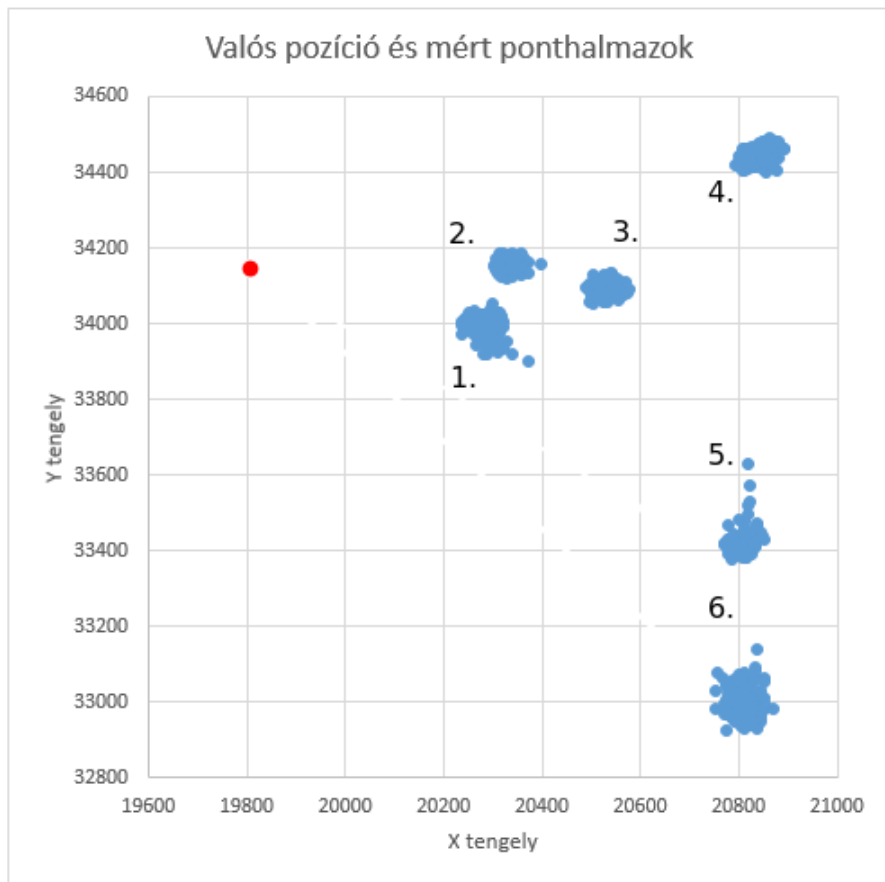
22. ábra: a bejárt útvonal rögzített pontjai a koordináta rendszer felnagyított részletén

### 7.3 Robusztusság

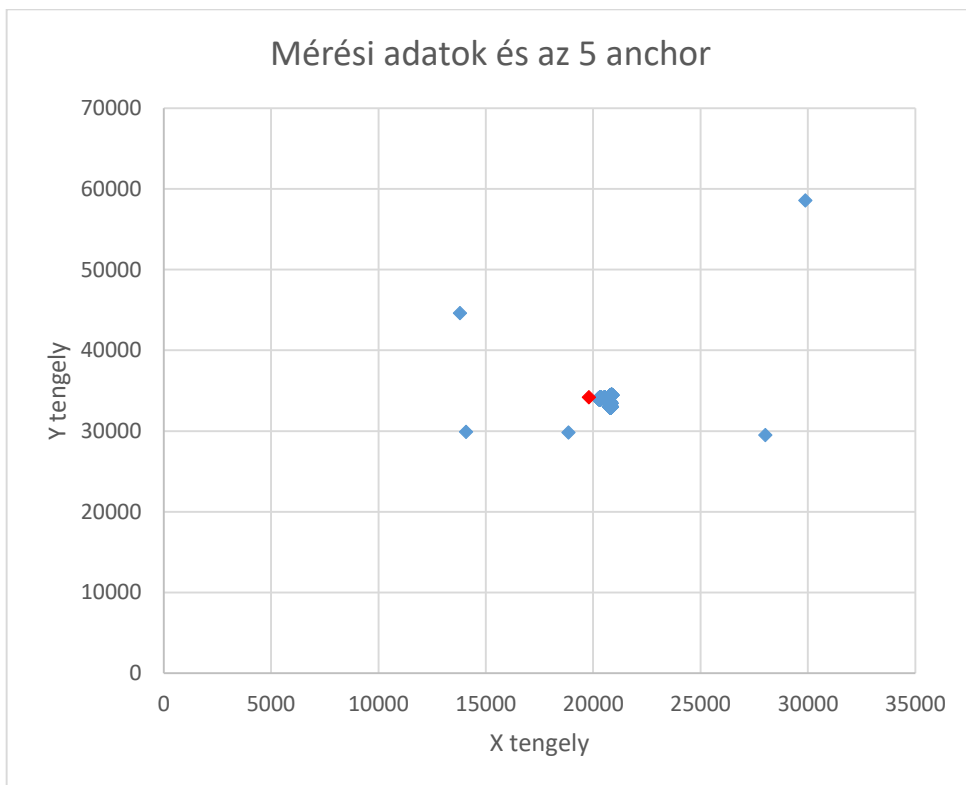
A robusztusság vizsgálata során a leállított anchorok az észlelt pozíció eltolódását okozták a valós pozícióhoz képest. A 23. ábra számai rendre a különböző beállítások mellett mért adathalmazokat jelölik:

1. Az összes anchor üzemel
2. Az FF05 nem üzemel
3. Az FF01 nem üzemel
4. Az FF01 és az FF05 nem üzemel
5. Az FF02 nem üzemel
6. Az FF02 és a FF04 nem üzemel

A felállított scenáriók közül a két legkisebb hibát okozó változtatás a közelségük miatt egymást helyettesítő FF01 és FF05 anchorok leállítása volt. A rendszer az előzőknél sokkal érzékenyebben reagált a távolabbi anchorok kiejtésére, együttes üzemszünetükkor – amikor az aktív anchorok egy egyenes mentén helyezkednek el – a valós pozíciótól való eltérés méteres nagyságrendű.



**23. ábra: az anchorok leállításával kapott pontthalmazok**



**24. ábra: az anchorok leállítása miatt keletkezett eltérések a teljes koordinátarendszerben**

## 8 Irodalomjegyzék

- [1] W. Sundblad, „What's At Stake In The Race To Industry 4.0?,” Forbes, 30th july 2018. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/willemsundbladeurope/2018/07/30/whats-at-stake-in-the-race-to-industry-4-0/#3669acbd7d11>.
- [2] „White paper, Indoor Positioning and services,” infsoft GmbH, Germany, 2018.
- [3] K. Ashton, „That ‘Internet of Things’ Thing. RFID Journal,” 2009. [Online]. Available: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>.
- [4] K. Panetta, „gartner.com,” Gartner Inc, August 2018. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>.
- [5] P. Varga, S. Plosz, G. Soos és C. Hegedus, „Security Threats and Issues in Automation IoT,” Dept. of Telecommunications and Media Informatics, Budapest University of Technology and Economics, 2017.
- [6] A. Fadi, R. Mahmoud, T. Yousuf és . I. Zualkernan, „Internet of Things (IoT) Security: Current Status, Challenges and Countermeasures,” International Journal for Information Security Research (IJISR), Department of Computer Science and Engineering, American University of Sharjah, UAE, 2015.
- [7] „Gartner Magic Quadrant,” Gartner, January 2018. [Online]. Available: <https://cdn.mist.com/wp-content/uploads/mist-magic-quadrant-indoor-location-2018-981x1024.png>.
- [8] F. B. Ramon, P. G.-V. Juan, E. G.-T. Carlos, M.-R. David, V.-R. Cesar és F. J. James, „Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey,” *Sensors*, 29th march 2017.



- [9] L. Hui, D. Houshang, B. Pat és L. Jing, „Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, november 2007.
- [10] F. Zafari, A. Gkelias és K. Leung, „A Survey of Indoor Localization Systems and,” 2017. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1709.01015>.
- [11] A. Abdulrahman, A.-S. AbdulMalik, A. Mansour, A. Ahmad, A.-H. Suheer, A. A.-A. Mai és S. A.-K. Hend, „Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances,” in *MDPI, Sensors*, 2016.
- [12] M. Rainer, Indoor Positioning Technologies, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering: ETH Zurich, 2012.
- [13] Y. Ali, N. Youssef, A. Mariette, A.-D. Ahmed, L. Ran, Y. Chau, R. Ronald és A. Elias, „Recent Advances in Indoor Localization: A Survey on Theoretical Approaches and Applications,” *IEEE Communicatin Surveys and Tutorias*, pp. 1327 - 1345, 31th may 2017.
- [14] J. Lachmann, „Indoor Navigation and Tracking of Tugger Trains,” infsoft Inc., 20th march 2018. [Online]. Available: <https://www.infsoft.com/examples-of-use/articleid/246/indoor-navigation-and-tracking-of-tugger-trains>.
- [15] J. Lachmann, „Positioning and Evacuation in the Mining Industry,” infsoft Inc., 7th september 2018. [Online]. Available: <https://www.infsoft.com/examples-of-use/articleid/320/positioning-and-evacuation-in-the-mining-industry>.
- [16] A. Ryan, „Ericsson optimizing workplace with Senion's StepInside Indoor positioning System,” Senion, 1st august 2017. [Online]. Available: <https://senion.com/press/ericsson-optimizing-workplace-senions-stepinside-indoor-positioning-system/>.
- [17] *Senion StepInside Datasheet*, Senion Inc., 2016.

- [18] Ubisense, „SmartSpace Process Monitor,” 2018. [Online]. Available: <https://www.ubisense.net/sites/default/files/2018-06/Ubisense-Process-Monitor-Product-Sheet-Aerospace-En-0118.pdf>.
- [19] A. F. Jill és M. Torin, „Evaluation of real-time location systems in their hospital,” *International Journal of Medical Informatics*, p. 705–712, 3 July 2012.
- [20] *Locatify UWB Anchor Datasheet*, Locatify, 2018.
- [21] *Locatify UWB Tag Datasheet*, Locatify, 2018.
- [22] *Ubisense Dimension4 Datasheet*, Ubisense GmbH, 2017.
- [23] „DW1000 datasheet,” Decawave Ltd., 2015. [Online]. Available: <https://www.decawave.com/sites/default/files/resources/dw1000-datasheet-v2.09.pdf>.