

LoRaWAN hálózat stabilitás vizsgálata különböző környezeti viszonyok mellett LoRaWAN networks stability test under different environmental conditions

Kozma Dávid Márk¹, Kohanecz Ádám², Borsos Döníz³

¹Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem [1084 Budapest, Tavaszmező utca 17., Budapest, Magyarország], kozmadavidmark@gmail.com

²Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem [1084 Budapest, Tavaszmező utca 17., Budapest, Magyarország], kadam1265@gmail.com

³Biztonságtudományi Doktori Iskola, Óbudai Egyetem [1034 Budapest, Bécsi út 96/b, Budapest Magyarország], Műszertechnikai és Automatizálási Intézet, Óbudai Egyetem [1084 Budapest, Tavaszmező utca 17., Budapest, Magyarország], borsos.doniz@uni-bouda.hu

Absztrakt: A LoRaWAN az első magánszemélyek által is használható, nagy hatótávolságú, nagymegbízhatóságú vezeték nélküli kommunikáció. [1] A kutatásunk fő célja a LoRaWAN kommunikáció maximális hatótávolságának meghatározása különböző jelterjedési viszonyok mellett. A tanulmányunkban ismertetünk korábbi eredményeket is, amiket kiindulási alapnak tekintettünk a méréseink során. Kitérünk az általunk készített tesztekre és azok gyakorlati hasznosítására is. A méréseket különböző helyeken és környezeti viszonyok mellett végeztünk. A dolgozat ismerteti vízben, beépített területen és erdős helyszíneken végzett mérések körülményeit, azok eredményeit és kiértékelésüket.

Kulcsszavak: LoRaWAN; IoT; stabilitásvizsgálat; átjáró, kommunikáció

Abstract: The LoRaWAN is the first long-range, high trustable wireless communication for the commercial users. [1]. The purpose of our research is to determine the maximum range of LoRaWAN communication under different signal propagation conditions. In our study, we present previous result which we considered as a starting point in our measurements. We also submit the test results and their practical application. The measurements were prepared in different places under different environmental conditions. The paper describes the conditions of measurements in water, built-up areas and forest sites, their results, and their evaluation.

Keywords: LoRaWAN; IoT; stability test; gateway; communication

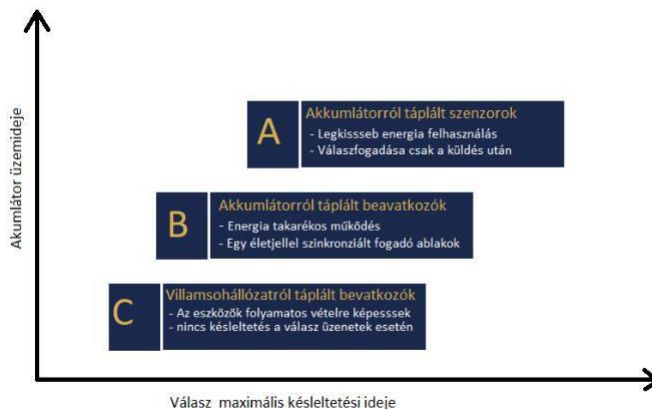
1. Bevezetés

Napjainkban egyre több területen használunk IoT (Internet of Things) technológiát. A chipgyártók arra fókuszálnak, hogy minél alacsonyabb energiafelhasználás mellett, minél nagyobb ható távolságokat legyenek képesek elérni a különböző IoT-s modulokkal. Ezeket számos különböző ipari, gazdasági területen tudjuk hasznosítani, mint például a mezőgazdaságban, logisztikában, távorrvoslásban és az áruszállításban, de természetesen ezek folyamatosan bővülnek.[2]

A leggyakrabban alkalmazott technológiai csoport, az LPWAN. Napjainkra egyre több ilyen új kommunikációs protokoll jelenik meg, ide tartozik, az általunk vizsgálni kívánt LoRaWAN technológia is.

LoRAWAN technológia a LoRa Alliance társaság gondozása alatt áll. Ez a szervezet felügyeli és fejleszti a LoRaWAN-nal kapcsolatos szabványokat, amik a hálózati és adatkapcsolati rétegre vonatkoznak. A LoRa modulációs technológia a Semtech cég fejlesztésén alapul.

A LoRaWAN technológia csillag a csillagban architektúrát valósít meg, ami azt jelenti, hogy egy átjáróhoz több eszköz tud csatlakozni és egy eszköz több átjáróhoz is tud csatlakozni. A specifikáció három eszköz osztályt különböztet meg A, B, és C osztályt. A különböző osztályok különböző válasszidőkkel dolgoznak. Mi A osztályú eszközökkel végeztünk mérést, ami azt jelenti, hogy a küldés után nyílik két fogadó ablak, és csak is ebben az időben tud fogadni az eszközünk adatot a server felől.



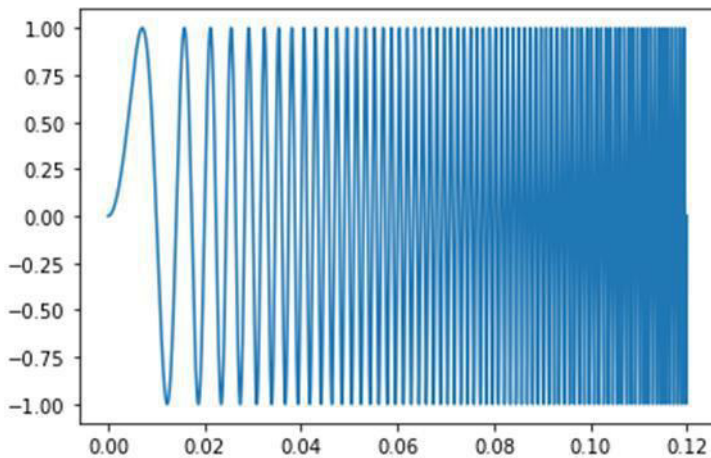
Ábra 1
Végberendezés osztályok

A LoRAWAN-t Magyarországon a 868 MHz-es ISM sávban lehet használni, 125 KHz és 250KHz sávszélességgel és 0,1-1 %-os kitöltési időkkal.

2. LoRa, mint modulációs technológia

A LoRa egy különleges modulációs eljárás, amit a Semtech cég fejlesztett ki. A technológia a szórt spektrumú modulációra épül, amit az irodalom úgy is ismer, mint LFM (Lineáris frekvenciamoduláció).

Az LFM eredtileg radarok hatótávolságának növelésére lett kifejlesztve. Az alapgondolat az, hogy nem az impulzus hosszát vagy nagyságát növelik meg, hanem a sáv szélességét változtatják meg, azaz valamilyen szubmodulációs technológiát alkalmaznak, ami során kompresszálják a kiküldendő impulzust és ezzel javítják a jel-zaj viszony arányát. Ezen kompressziós eljárások közé tartozik az LFM moduláció is. A moduláció alapelve az, hogy a megadott sáv szélességen belül lineárisan változik a frekvencia, ha eléri a sáv szélesség határát, akkor visszaugrik a kezdő frekvenciára (lásd: 2-es ábra). Előnye, hogy megfelelő vételi szűrő esetén szinte érzéketlen a Doppler-eltolásra, ami az áru szállításban és mozgó eszközök esetén hasznos tulajdonság. [3]

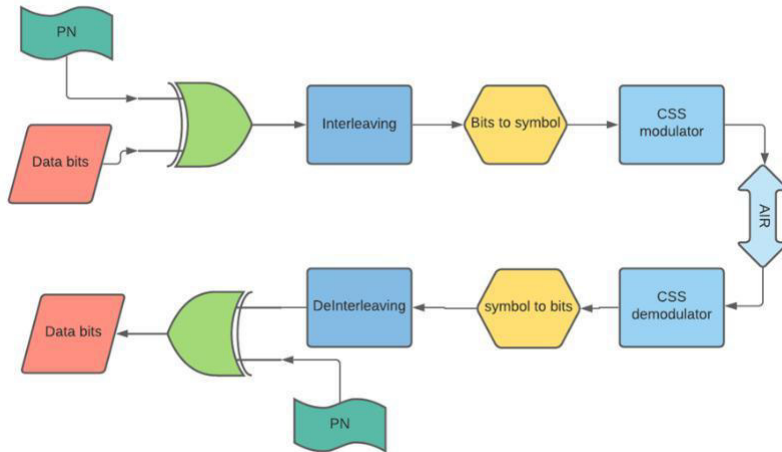


Ábra 2
LFM (Chirp)

A LoRa moduláció esetén három paramétert fontos beállítani. A sáv szélességet (B), a Spreading Factor-t (SF) ami meghatározza, hogy egy szimbólum hány bitnek felel meg, és a kódolási rátát (CR), ami a hasznos bitek és az ellenőrző bitek arányát mutatja meg. [3]

A LoRa moduláció és de moduláció a 3 ábrán látható. Első lépésként az adatot (Data bits) egy pszeudo számmal (PN) kizáró- vagy kapcsolatba hozzuk, majd ezen adaton egy hiba kódolást alkalmazunk (Interleaving / Deinterleaving). Az így előkészített adatsort szimbólumokká alakítjuk, majd szórt spektrumú modulátorral továbbítjuk a vevő felé. A LoRa moduláció által küldött szimbólumok dekódolására

használható egy FFT algoritmus, amivel könnyen korrelációba hozhatóak a vett szimbólumok a bitekkel. [3][4][5][6]



Ábra 3

LoRa moduláció – de moduláció

A Lora kommunikáció úgy biztosítja a megfelelő szimbólum azonosítást, hogy minden egyes kommunikáció elején küld szinkronizáló karaktereket és ezután következik az adat. [4][5][6]

3. Mérések és eredmények

3.1 Mérések elméleti háttere

Az elektromágneses hullámok különböző módokon terjedhetnek a levegőben. Lehetséges közvetlen rálátással (Line of Sight) vagy nem közvetlen rálátással (Non-LOS). A második esetben a jelek refrakciót, diffrakciót és reflexiót szenvednek és így jutnak el a vevőhöz. Viszont, ha az elektromágneses hullám valamilyen törést szenved, akkor veszít energiájából, és nem jut el olyan messzire. [7]

Egy távközlő rendszer tervezésekor fontos paraméter az energiamérleg (link budget) meghatározása. Mert megadja, hogy az adott vevő érzékenysége és jel-út csillapítás mellett mekkorának kell lennie a minimum az adó teljesítményének, hogy a kommunikáció még megfelelően működjön. [7] [8]

$$\text{Link Budget (dBm)} = \text{TX power (dBm)} - \text{Rx sensitivity (dBm)} \quad (1)$$

Fontos kiszámítani, hogy mekkora a jel út csillapítása (Free Space Path Loss), hiszen ez alapján kell megnövelni, vagy a vevő érzékenységet, vagy az adó teljesítményét, annak érdekében, hogy jobb legyen a vételünk. A legegyszerűbben a következő képlettel tudjuk meghatározni: [8]:

$$FSPL \text{ (dBm)} = 20\log(d) + 20\log(f) - 147,55 \quad (2)$$

d: A távolság az adó és a vevő között.

f: az a frekvencia, amin kommunikálunk

A vétel szempontjából még fontos meghatározni a vevő érzékenységet, ami a LoRa kommunikáció beállításainak függvényében változhat, és a következő képlettel lehet meghatározni [8]:

$$Rx \text{ sensitivity (dBm)} = -174 + 10\log(BW) + SNR \text{ limit(dB)} + Noise \text{ Figure(dB)} \quad (3)$$

174: Hőmérsékleti zaj 1 Hz-es sávszélesség esetén szobahőmérsékleten

BW: a csatorna sávszélessége

SNR limit: SF-től függő zajérzékenysége a vevőnek

Noise figure: A fizikai eszköz okozta csillapítási tényező

A mérések értelmezéséhez még két fogalmat szükséges tisztázni:

Az RSSI (Received Signal Strength Indication) értéket, ami megmutatja, hogy mekkora a vett jel jelerőssége. [9]

Az SNR érték, ami a jel-zaj arányát mutatja meg. [10]

A jelenleg elért maximális hatótávolság LoRa eszközzel 832km, ami közel van ahhoz a távolsághoz, amire elméletileg a kommunikáció maximálisan képes (~850 km). A rekordot 2020.04.16.-án állította be Thomas Telkamp. A kísérlet során egy héliummal töltött léggallonra szerelte fel az eszközt, ami egészen 38 km-es magasságig emelkedett fel, ahol elérte ezt az igen nagy távolságot. [11]



Ábra 4

Legnagyobb távolság LoRaWAN-nal

3.2 Átjárók összehasonlítása

Az első elvégzett mérésünk, különböző átjárók összehasonlításából állt, főleg beépített területen, a mérés célja az volt, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható eszközök közül hármat összehasonlítsunk ezek érzékenysége és jel/zaj viszonya alapján. Az átjárókat beépített területen egy 4 emeletes ház 2. emeletén helyeztük el, a két beltéri átjárót az egyik utcára néző ablakban, a kültérre pedig a ház túloldalán lévő erkélyre helyeztük ki, ami a belső udvarra néz, egy 10dBi nyereségű collinear antennával. A méréshez egy Micromite GPS nyomkövetőt használtunk, amellyel járkáltunk körbe a lakótelepen és a közeli erdőben.

A méréshez használt átjárók és paramétereik:

Tracknet TBGW100

- Beltéri gateway
- Antenna: belső PCB antenna
- Maximum vételi érzékenység: -140 dB, SF12



Tracknet

Kerlink Wirnet™ iFemtoCell

- Beltéri gateway
- Antenna: LoRa® swivel antenna, 3 dBi
- Maximum vételi érzékenység: -140 dB, SF12



Ábra 6
Kerlink

Mikrotik wAP + R11e-LR8 LoRa Gateway modul

- Kültéri gateway
- Antenna: Collinear antenna, 10 dBi
- Maximum vételi érzékenység: -137 dB, SF12



Mikrotik

Kétféle ábrázolási módot használtunk a mérési eredmények szemléltetéséhez, az egyik egy hő térkép, aminek színe a vett jelerősségtől és a vett jelek sűrűségétől függött, a másik ábrázolás, amit használtunk, az egy grafikon, ahol a vett csomagok jelerősségét és jel/zaj arányát jelenítettük meg a távolság függvényében átjárónként más színnel.

Hőterképek a vett jelerősségekről egy beltéri (Mikrotik) és a kültéri (Tracknet) gateway-ről, a következő ábrákon kerülnek illusztrálásra.



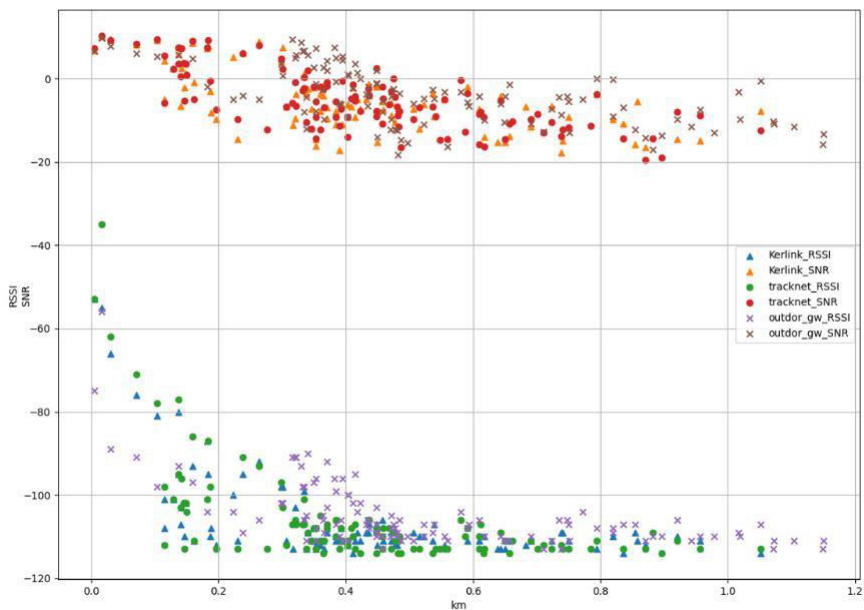
Ábra 8
Mikrotik Gateway RSSI hőterkép



Ábra 9
Tracknet Gateway RSSI hőterkép

Jól látható a két ábrából, hogy a kültéri gateway lefedettsége az erdő irányába nagyobb, mert az ahhoz van közelebb a beltéri gateway lefedettsége meg az ellenkező irányba. A hőterképek jól szemléltetik, hogy a LoRa technológia előnyeit, mert lakott területen is közel 1km sugarú lefedettséget lehet elérni úgy, hogy a gateway-ek közvetlen közelében a telepítési magasságunknál magasabb épületek találhatóak, ezért a megvalósult összeköttetések túlnyomó része vagy a vasbetonon keresztüli jelterjedéssel vagy reflexióval jöhetett létre.

Ábrázolás távolság függvényében:



Ábra 10
Vett csomagok átjárónkénti ábrázolása a távolság függvényében

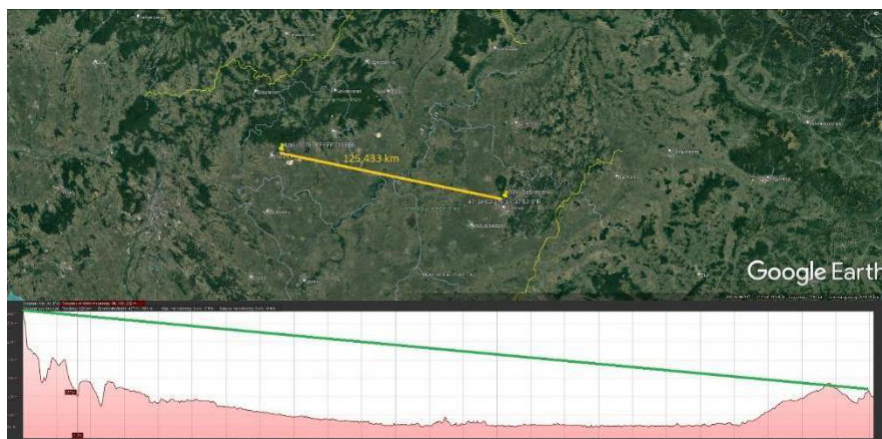
A fenti ábrán jól látható, hogy a kültéri gateway (Mikrotik) átlagosan nagyobb jelerősséggel és jobb jel-zaj viszonytal tudta venni a csomagokat annak ellenére, hogy az egy belső udvarra nézett, ez a nagy nyereségű kültéri collinear antennának köszönhető.

A mérés konklúziója az, hogy beépített területen is megfelelően használható lefedettséget lehet elérni a LoRa technológia segítségével, ellentétben szinte bármely más ismert vezeték nélküli (nem cellás) technológiával.

3.3 LoRaWAN kiépített hálózaton való vizsgálata

A saját teszhálózatunkon kívül, a méréseinkhez használtunk az Antenna Hungária magyarországi LoRaWAN hálózatát is. Ennek a mérésnek az volt a célja, hogy vizsgálhassuk a jelek terjedését nyílt terepen és keressük a legnagyobb elérhető távolságot normál üzem mellett.

A mérésekhez két GPS nyomkövetőt használtunk, amiket autóval vittünk magunkkal az országban. A mérések során rögzítettük adatbázisban az összes vett csomagot és a vételhez tartozó összes átjáró metaadatait. A mérések végeztével egy álltalunk írt programmal kerestük meg és számoltuk ki a legnagyobb áthidalt távolságot és a hozzá tartozó vételi adatokat.



Ábra 11

A legnagyobb áthidalt távolság térképen megjelenítve, valamint a két pont közötti domborzat

A fenti ábrán a legnagyobb áthidalt távolság látható a méréseink során, ami 125km volt. Az összeköttetést SF10BW125-ös beállítással sikerült -115dB jelerősség és -17dB jel/zaj viszony mellett elérni, ami azt jelenti, hogy ennél még nagyobb távolságú összeköttetéseket is meg lehetne valósítani a datarate további változtatásával a LoRa szabvány alapján.

Ez a mérés jól bizonyítja, hogy a LoRa technológia közel egyenes rálátás esetén még kis adóteljesítmény mellett, is több 10km áthidalására képes, így használható nagyobb területeken, például nagygazdaságokban a termőföldek monitorozására is a technológia minimális létesítési és üzemeltetési költségei mellett.

3.4 LoRa kommunikáció zavarhatósága

A LoRa kommunikáció robusztus kialakítású, és még zaj tartomány alatt is képes venni a küldött csomagokat, de természetesen ennek is van határa. Jelen mérési pontban azt szeretnénk volna vizsgálni, hogy a kommunikáció mennyire zavarható egyszerű eszközökkel, amik könnyen beszerezhetők.

A méréshez két ping-pong (két végberendezés közötti oda-vissza kommunikáció LoRa-val) módba állított STM32 alapú LoRa fejlesztőkészletet használtunk. A zavaró jelet egy szoftverrádió szolgáltat, bocsájtotta ki. A két végkészlet kimeneti teljesítményét minimálisra csökkentettük és egy csillapító tagot (10dBm) is helyeztünk az antenna portájára, ezzel tudtuk azt szimulálni, mintha nagyobb távolság lenne a két eszköz között. Miután elő készítettük a mérést elhelyeztük az egyik eszközt megközelítőleg 1,5m-es távolságra a zavarforrástól. A másikat pedig elkezdtük távolítani a vevő eszköztől egészen 10-12 m-ig, ahonnan már nem tudott megfelelően csomagot fogadni.

A mérés során azt tapasztaltuk, hogy SF7, 125BW és a fenti beállítások mellett az eszköz 41 csomagból már csak 20-at tudott fogadni, amiből arra tudunk következtetni, hogy a zavarás megfelelő volt.

A mérésből megállapítható, hogy sikerült elérni, hogy a kommunikáció ne működjön 100%-os adatátviteli aránnyal, de a LoRa kialakításából adódóan, még így is a csomagok nagy része továbbításra került. A mérésünk részben sikeresnek tekinthető, de a továbbiakban más típusú zavar jelet is célszerű kipróbálni a kommunikáció zavarhatóságát.

4. Konklúzió

A tervezett méréseinket sikeresen el tudtuk végezni, és az elvárható eredményeket kaptuk. Elmondható, hogy a LoRaWAN, alkalmas nagy kommunikációs távolságok áthidalására és elfogadhatóan működik zajos környezetben és ellenáll a zavaró hatásnak.

A későbbiekben tervezünk további méréseket is, ami által jobban vizsgálhatjuk a LoRaWAN sajátosságait. Reméljük jelen cikk hasznos információkkal szolgál azoknak, akik LoRaWAN-nal dolgoznak vagy most ismerkednek a kommunikációval.

Források

- [1]. LoRaWAN What is it?
<https://loro-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/what-is-lorawan.pdf>
(2021.10.01)
- [2]. John Walko: IIoT, IoT Adoption Seen on Fast Trajectory Path, EE[Times Europe, 2021 November, 10. oldal
- [3]. Semtech, „AN1200.22 LoRa Modulation Basics,” 02 05 2015. [Online]. Available:
<https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R0000001OJu/xvKUc5w9yjG1q5Pb2IIkpolW54YYqGb.frOZ7HQBcRc>. [Hozzáférés dátuma: 10 11 2021]
- [4]. *The AMAZING trick that LoRa uses to Modulate Information (with Matlab code)*. [Performance]. Visual Electric, 2021.
- [5]. Joachim Tapparel, Orion Afisiadis, Paul Mayoraz, Alexios Balatsoukas-Stimming és Andreas Burg, „An Open-Source Lora Physical Layer prototype on GNU Radio,” in *IEEE 21st SPAWC*, 2020.
- [6]. Alexander Marquet, Nicolas Montavont és Georgius Z. Papadopoulos, „Towards an SDR implementation of Lora: Reverse-engineering, demodulation strategies and assesment over Rayleigh channel,” in *Computer Communications*, Elsevier, ScienceDirect, 2020, pp. 596-605.
- [7]. L. Balázs, Elektromágneses hullámterjedés szimuláció plugin készítése QGIS szoftverhez, Győr: Széchenyi István Egyetem, 2020.
- [8]. Johan Stokking, *Everything you need to know about LoRaWAN in 60 minutes*. [Performance]. The Things Industries.
- [9]. „Received signal strength indication,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Received_signal_strength_indication. [Hozzáférés dátuma: 09 11 2021].
- [10]. „Jel-zaj viszony,” [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Jel-zaj_viszony. [Hozzáférés dátuma: 09 11 2021].
- [11]. T. Network, „LoRa World Record Broken: 832km/517mi using 25mW,” 21 04 2020. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/article/lorawan-world-record-broken-twice-in-single-experiment-1>. [Hozzáférés dátuma: 09 11 2021].