

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Bakalářská práce

Využití RFID technologie pro trasování objektů

Matěj Pilnáček

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matěj Pilnáček

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Využití RFID technologie pro trasování objektů

Název anglicky

Usage of the RFID technology for object tracking

Cíle práce

V rešerši bakalářské práce je cílem popsat technologii RFID a zhodnotit vhodnost jejího využití pro trasování objektů. V praktické části bakalářské práce je cílem navrhnout systém monitorující pohyb objektů v prostoru.

Metodika

Analýza funkce a technického řešení technologie RFID a její implementace.

Zhodnocení vhodnosti využití technologie pro trasování objektů a její výhody, nevýhody a omezení pro danou aplikaci.

Vlastní návrh systému pro trasování pohybu objektů, včetně zhodnocení využitelnosti jiných variant.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran (bez příloh)

Klíčová slova

RFID technologie, trasování objektů, FRID tag, RFID reader, dálkové monitorování

Doporučené zdroje informací

Automa : odborný časopis pro automatizační techniku. Praha: ISSN 1210-9592.

J. Brusey & D. C. McFarlane (2009) Effective RFID-based object tracking for manufacturing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 638-647, DOI: 10.1080/09511920701805519

LAHEURTE, Jean-Marc, Christian RIPOLL, Dominique PARET, Christophe LOUSSERT. UHF RFID technologies for identification and traceability [cit. 2018-02-13]. 2014. ISBN 978-1-84821-592-4.

Motroni, Andrea & Rosati, Francesca & Nepa, Paolo & Buffi, Alice & Pirozzi, Marco & Donato, Luciano & Tomassini, Laura & Ferraro, Alessandra. (2021). An RFID Tracking System for Agricultural Safety. 28-31. 10.1109/RFID-TA53372.2021.9617356.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Konzultant

Ing. Barbora Černilová

Elektronicky schváleno dne 4. 8. 2022

doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 16. 12. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití RFID technologie pro trasování objektů" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Barboře Černilové a doc. Ing. Miloslavu Lindovi, Ph.D. za asistenci při měření, poskytnutý model žlabu a rady. Také bych rád poděkoval své rodině za všechno.

Využití RFID technologie pro trasování objektů

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá využitím RFID technologie pro trasování a sledování objektů. Cílem je prozkoumat možnosti a aplikace této technologie pro efektivní trasování objektů, což má zásadní význam pro logistické a průmyslové operace. Práce poskytuje teoretický přehled o RFID, včetně oblastí využití, principu, funkcí, typů tagů a čteček, a dále porovnává s jinými technologiemi trasování objektů, jako jsou NFC, Bluetooth, Wi-Fi, GPS, čárové kódy a QR kódy. V praktické části je zaměřena na experimentální měření s UHF RFID tagy, aby byla posouzena jejich účinnost a spolehlivost v kontextu trasování objektů. Experimenty jsou prováděny v konkrétně upraveném prostředí, což umožňuje detailní analýzu chování RFID tagů.

Klíčová slova: RFID technologie, trasování objektů, RFID tag, RFID reader, dálkové monitorování

Usage of the RFID technology for object tracking

Abstract

This bachelor's thesis deals with the use of RFID technology for tracking and monitoring objects. The aim is to explore the possibilities and applications of this technology for efficient object tracking, which is crucial for logistics and industrial operations. The work provides a theoretical overview of RFID, including areas of application, principle, functions, types of tags and readers, and also compares it with other object tracking technologies, such as NFC, Bluetooth, Wi-Fi, GPS, barcodes, and QR codes. The practical part focuses on experimental measurements with UHF RFID tags to assess their efficiency and reliability in the context of object tracking. The experiments are conducted in a specifically modified environment, allowing for a detailed analysis of the behavior of RFID tags.

Keywords: RFID technology, object tracking, RFID tag, RFID reader, remote monitoring

Obsah

1 Úvod.....	6
2 Cíl práce.....	6
3 Metodika	7
4 Princip RFID	8
4.1 RFID čtečka	8
4.2 RFID tag.....	9
4.2.1 Rozdělení podle napájení.....	10
4.2.2 Identifikace	11
4.3 RSSI	11
5 Rozdělení RFID podle frekvence	12
5.1 Nízkofrekvenční (LF).....	12
5.2 Vysokofrekvenční (HF)	13
5.3 Ultra vysokofrekvenční (UHF)	13
5.4 Mikrovlnné (MW).....	14
6 Porovnání jiných možností trasování objektů.....	14
6.1 NFC	14
6.2 Bluetooth	15
6.3 Wi-Fi	16
6.4 GPS	16
6.5 Čárové kódy a QR kódy.....	17
7 Prvky použité v navrhnutém systému.....	18
7.1 RFID tagy.....	18
7.1.1 H86-S91-T200	18
7.1.2 TG-RFID-IT-H3E.....	19
7.1.3 Zelený kroužek	19
7.1.4 Modrý kroužek.....	20
7.2 Čtecí modul	20
7.2.1 Software.....	21
7.3 Antény	21
8 Prostředí navrhnutého systému.....	22
8.1 Rozmístění antén.....	23

9 Měření RSSI v prostorové mřížce na povrchu	24
9.1 H86-S91-T200.....	25
9.2 TG-RFID-IT-H3E	27
9.2.1 První měření.....	27
9.2.2 Druhé měření.....	29
9.3 Zelený kroužek	31
9.4 Modrý kroužek	33
10 Měření RSSI v závislosti na hloubce	35
10.1 H86-S91-T200.....	36
10.2 TG-RFID-IT-H3E	37
10.3 Zelený kroužek	38
10.4 Modrý kroužek	39
11 Zhodnocení.....	42
12 Závěr.....	44
13 Seznam použitých zdrojů.....	45
14 Seznam obrázků	49
15 Seznam tabulek.....	50
16 Přílohy	51

Seznam použitých zkratek

RFID	Radio Frequency Identification
RF	Radio Frequency
NFC	Near Field Communication
BLE	Bluetooth Low Energy
WIFI	Wireless Fidelity
GPS	Global Positioning System
QR	Quick-response
IoT	Internet of Things
LF	Low Frequency
HF	High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
MW	Microwave
USB	Universal Serial Bus
GPIO	General Purpose Input/Output
EPC	Electronic Product Code
TID	Tag Identification
RSSI	Received Signal Strength Indicator
IP	Ingress Protection
PC	Personal Computer
RHCP	Right Hand Circular Polarization
SMA	SubMiniature version A

1 Úvod

V dnešní době se technologie RFID (Radio Frequency Identification) stala klíčovým prvkem v procesech sledování a trasování objektů v různých odvětvích. Schopnost této technologie efektivně identifikovat objekty bez nutnosti vizuálního kontaktu mění způsob, jakým je řízeno zásobování, logistické procesy, výrobní postupy a bezpečnostní opatření. V oblasti logistiky a zásobování přináší RFID významné výhody tím, že automatizuje identifikaci a sledování produktů, čímž umožňuje optimálnější správu skladování, snižuje chyby během inventarizace a poskytuje aktuální informace o umístění objektů. Tato funkčnost přispívá ke zrychlení logistických operací, zvýšení přesnosti a celkové efektivitě. Přestože RFID nabízí mnoho výhod, čelí též výzvám a omezením, včetně otázek soukromí, bezpečnosti a technických limitací [1]

Rozsah využití RFID se rozšířil i mimo oblast logistiky a zásobování. Ve výrobních sektorech umožňuje nepřetržité sledování komponentů, polotovarů a hotových produktů během celého výrobního cyklu. Díky tomu je možné automatizovat a optimalizovat výrobní procesy a zlepšit kontrolu kvality. V dopravě zlepšuje plánování a sledování dopravních operací díky přesnému monitorování vozidel, zásilek a nákladu v reálném čase. Bezpečnostní a přístupové systémy využívají RFID k zajištění citlivých oblastí a ke kontrole přístupu, zatímco pro osobní identifikaci a monitorování se staly běžnou praxí RFID náramky a karty, používané například na veřejných akcích nebo pro řízení přístupu v budovách. [1], [2]

2 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je provést analýzu technologie RFID, popsat její fungování a technické specifikace, porovnat RFID s alternativními technologiemi sledování, jako jsou čárové kódy, NFC a GPS, a identifikovat její výhody a omezení. Práce se dále zaměřuje na zhodnocení praktického využití RFID při návrhu systému, který demonstruje schopnost technologie monitorovat pohyb tagů v prostoru, včetně popisu architektury a komponent tohoto systému.

3 Metodika

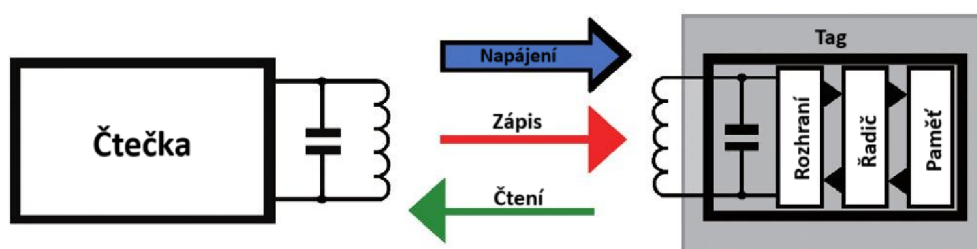
Teoretická část poskytuje základní přehled o RFID. Zkoumány jsou základní principy fungování, typy systémů, frekvenční spektra a hlavní komponenty: tagy a čtečky. Dále práce prozkoumává a porovnává jiné technologie používané pro trasování.

Praktická část práce se soustředí na návrh systému pro trasování pohybu tagů. Realizace dvou experimentálních měření má za cíl ověřit aplikovatelnost RFID v konkrétních podmínkách. První měření je analýza efektivity detekce tagů v mřížce na rovné hladině písku a testuje schopnost systému detekovat tagy v pevně definovaných bodech. Druhé měření zkoumá, jak hloubka zahrabání tagů do písku ovlivňuje jejich detekci a komunikaci s čtečkou. Cílem je zjistit, jak přesně lze RFID tagy sledovat ve specifických podmínkách a identifikovat faktory, které ovlivňují účinnost sledování.

Celkově metodika kombinuje teoretický přístup s praktickými experimenty, aby poskytla ucelený pohled na možnosti a výzvy spojené s použitím RFID pro trasování objektů.

4 Princip RFID

Princip technologie RFID spočívá v bezdrátové komunikaci mezi dvěma zařízeními: RFID čtečkou a RFID tagem. Čtečka funguje tak, že vysílá signál, na který RFID tag reaguje odesláním svých dat zpět do čtečky. Tyto informace mohou být poté zpracovány nebo uloženy pro další využití. Tag je malé zařízení, které obsahuje anténu pro příjem a vysílání rádiových vln a mikročip pro ukládání dat. Základní schéma lze vidět na obrázku 1. [1]



Obrázek 1: Základní schéma komunikace RFID. [3]

4.1 RFID čtečka

RFID čtečky jsou zařízení, které komunikují s RFID tagy, umožňující čtení a zápis dat. Fungují na základě bezdrátového přenosu dat pomocí rádiových vln mezi čtečkou a tagem. Vysláním rádiových vln se tag aktivuje a vyšle uložené informace. Tyto informace jsou pak čtečkou přijaty a jsou dále zpracovávány nebo ukládány pro budoucí použití. [1]

Výhodou RFID čteček je, že nevyžadují přímou viditelnost při čtení. To umožňuje umístění tagů ve skrytých nebo na těžko dostupných místech. Kromě toho mohou čtečky v jeden čas detekovat více tagů najednou, což výrazně zvyšuje efektivitu sběru dat. Tato vlastnost je obzvláště užitečná v aplikacích, kde je potřeba rychle zpracovat velké množství objektů, jako například v logistice a skladování nebo v zemědělství ke sledování zvířat, kde jsou často integrovány do komplexních systémů, které mohou zahrnovat softwarové aplikace pro správu dat sbíraných z RFID tagů, což umožňuje jejich následnou analýzu a uživatelům získávat hlubší přehled o pohybu a stavu sledovaných objektů. [4], [5]

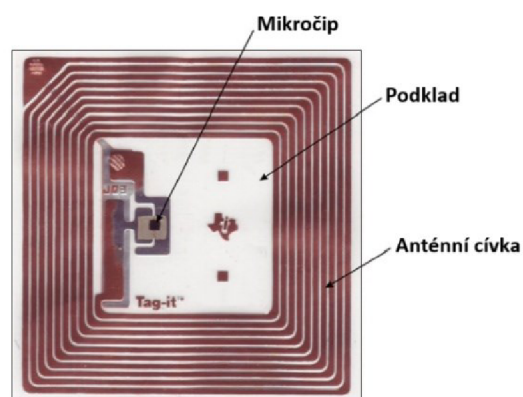
Vnitřní struktura RFID čtečky zahrnuje několik důležitých komponent, které umožňují komunikaci a zpracování získaných informací.

Anténa umožňuje čtečce vytvořit elektromagnetické pole potřebné k aktivaci tagů a současně od nich přijmout zpětně vyslaný signál. Mohou být různých tvarů a velikostí v závislosti na specifickém použití a požadovaném dosahu čtení. Radiofrekvenční (RF) modul je zodpovědný za generování a příjem rádiových vln. Pracuje na specifických frekvencích, které jsou určeny pro RFID aplikace, jako jsou nízké (LF), vysoké (HF) nebo ultra vysoké frekvence (UHF). Kontrolér (mikroprocesor) řídí operace RFID čtečky, včetně zpracování signálu, dekodování dat přijatých z tagů a komunikace s externími systémy nebo databázemi. Také umožňuje provádět pokročilé funkce, jako je filtrace a ukládání dat, a může být programován pro specifické aplikace. Dále jsou vybaveny jedním nebo více komunikačním rozhraním, které umožňují přenos dat do dalších systémů nebo zařízení. Běžná rozhraní zahrnují USB, RS-232, GPIO, Wi-Fi, Bluetooth nebo Ethernet, což umožňuje flexibilní integraci čtečky do různých infrastruktur. Nakonec je pro jejich provoz vyžadován zdroj energie, kterým může být buď akumulátor, nebo externí napájení přes napájecí adaptér nebo prostřednictvím rozhraní, jako je USB. [4], [6]

4.2 RFID tag

RFID tagy, nebo také štítky, jsou klíčovým prvkem v RFID systémech. Hrají roli v identifikaci, sledování a správě objektů, ke kterým jsou připevněny a mají široké využití v průmyslu, maloobchodu, logistice, zdravotnictví a dalších odvětvích. Jsou to jednoduché elektronické zařízení, které umožňují bezkontaktní přenos dat RFID čtečkám. [5]

Ve své podstatě je tag složen ze tří hlavních částí (viz obrázek 2): antény, mikročipu a materiálu okolo. Anténa tagu slouží k přijímání a vysílání rádiových vln, zatímco mikročip ukládá identifikační informace a další data týkající se objektu. Tyto informace mohou zahrnovat sériová čísla, historii produktu, lokalizační data a další. Když je v dosahu RFID čtečky, anténa štítku přijímá energii z elektromagnetického pole vytvořeného čtečkou, což aktivuje mikročip a umožní mu odeslat uložená data zpět k čtečce. [5]



Obrázek 2: Pasivní RFID tag. [31]

4.2.1 Rozdělení podle napájení

RFID tagy se dělí do tří základních kategorií na základě způsobu napájení: pasivní, aktivní a semi-pasivní.

Pasivní tagy jsou nejrozšířenější typ. Neobsahují vlastní napájecí zdroj a získávají všechnu potřebnou energii z rádiových vln generovaných čtečkou. Díky tomu jsou cenově dostupnější a mají delší životnost, ovšem podporují pouze omezený dosah. Jsou menší, levnější a vhodné pro aplikace, kde je dostačující tagy načítat na malé vzdálenosti. Často se využívají v logistice pro sledování zásob, správu skladu, bezpečnostních systémech a v průmyslových procesech. [7], [8]

Na rozdíl od pasivních tagů, aktivní tagy jsou vybaveny akumulátorem, což jim umožňuje aktivně vysílat signál. Tato vlastnost zajišťuje lepší výkonnost, včetně většího dosahu, silnějšího signálu, vyšší spolehlivosti, větší kapacity pro přenos dat a rozšířeného úložného prostoru pro data. Na druhou stranu, jejich závislost na interním napájení znamená, že mají omezenější délku fungování, a proto vyžadují pravidelnou údržbu. Dále jsou aktivní tagy obvykle dražší než pasivní nebo semi-pasivní. Kvůli baterii jsou větší tudíž jsou méně praktické pro aplikace, kde je prostor omezen. Jsou ideální pro čtení objektů v pohybu. Využívají se ke sledování vozidel, v dlouhodobých logistických procesech, v průmyslových zařízeních a ve větších rozložených systémech. [7], [8]

Semi-pasivní tagy využívají baterii pro napájení pouze mikročipu, zatímco komunikace s čtečkou je zajištěna, stejně jako u pasivních, pomocí rádiových vln čtečky. Interní napájení mikročipu umožňuje rychlejší zpracování dat a odpovědi, to je výhodné v aplikacích vyžadujících rychlé skenování. Také podporují ukládání většího množství dat než pasivní. Dále mohou tyto tagy udržovat vysokou úroveň citlivosti přijímače, což umožňuje lepší reakci na signály z čtečky a zvyšuje dosah čtení. To je obzvláště užitečné v náročných prostředích, jako jsou místa s přítomností kovů nebo tekutin, kde pasivní tagy mohou ztrácet výkon. Přestože je čip napájen baterií, jejich spotřeba energie je nízká, když nejsou v aktivní komunikaci, a to jim umožňuje dlouhou životnost. [7], [8]

4.2.2 Identifikace

Identifikace RFID tagu začíná aktivací čtečkou, díky čemuž následně začne fungovat obsažený čip. Ten pak odpoví čtečce s uloženými informacemi, které umožňují systému identifikovat, sledovat a spravovat objekt či produkt, ke kterým je tag připojen. Data se mohou lišit v závislosti na typu a účelu tagu, ale obvykle zahrnují:

TID (Tag ID): Obsahuje nepřepisovatelné výrobní údaje o tagu, včetně unikátního sériového čísla čipu, které slouží k jednoznačné identifikaci konkrétního tagu. [9], [10]

EPC (Electronic Product Code): Paměť, určená pro uložení unikátního kódu produktu, který umožňuje identifikaci daného předmětu. [9], [10]

Uživatelská data: Zahrnuje různá data, jako jsou informace o produktu (typ, výrobní číslo, datum výroby), logistické informace (pořadové číslo, umístění) nebo informace relevantní pro sledování (historie cestování, údržba). A také metainformace o čipu jako jsou stav čipu, úroveň baterie (pokud je aktivní) nebo informace o životnosti čipu. [9], [10]

Reserved memory: Neboli vyhrazená paměť je část pro uložení přístupového hesla, které slouží k pro zápis či mazání dat uložených na tagu a takzvaného kill hesla (kill password), které, pokud je zadáno, deaktivuje tag natrvalo, čímž zabraňuje jeho dalšímu čtení a celkovému použití. [9], [10]

4.3 RSSI

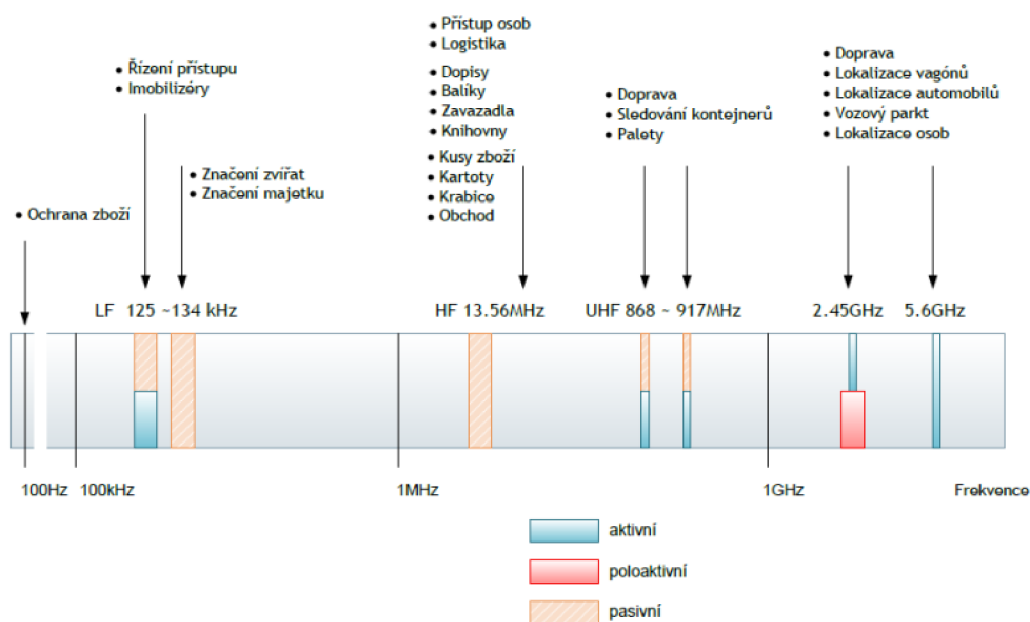
Indikátor síly přijatého signálu, RSSI, je metrika vyjadřovaná v decibelech na miliwatt (dBm). Poskytuje informace o intenzitě signálu, jež zachytává čtečka z tagu, když je aktivován. Tato hodnota je zásadní pro posouzení kvality a spolehlivosti vzájemné komunikace mezi tagem a čtečkou. [11]

Intenzita signálu RSSI se může využít k určení vzdálenosti mezi tagem a čtečkou, což je důležité pro správné rozmístění čteček a antén v systémech pro sledování objektů. Avšak, hodnoty RSSI neposkytují přesné měření vzdálenosti od antény v pasivních RFID systémech kvůli mnoha environmentálním faktorům, které mohou narušit přesnost měření a ovlivnit dosah čtení. Pro přesnější výpočty by se mělo k RSSI přistupovat kombinovaně s dalšími daty získanými z tagů, jako jsou počet načtení a časy reakcí tagů. [11]

Využitím RSSI filtrů lze optimalizovat podmínky pro čtení tagů tím, že se nastaví přijímání signálů jen z tagů se specifickou silou signálu. Filtry tedy umožňují, aby se zaznamenávaly pouze tagy, které jsou v požadovaném rozsahu vzdálenosti, což je důležité pro použití vyžadující detekci tagů jen v určité oblasti. Nastavením filtru lze vyloučit tagy s nadměrně silnými či slabými signály, umožňující čtečce identifikovat pouze ty tagy, které se nacházejí v předdefinovaném intervalu, jako je například vzdálenost 30 až 60 cm. [12]

5 Rozdělení RFID podle frekvence

RFID technologie se dělí do několika kategorií podle pracovních frekvencí, které ovlivňují dosah, rychlost a propustnost přes překážky. Frekvenční spektrum RFID je na obrázku 3.



Obrázek 3: Frekvence používané různými aplikacemi RFID. [13]

5.1 Nízkofrekvenční (LF)

Nízkofrekvenční (LF) RFID funguje na frekvencích mezi 125 kHz a 134,2 kHz, přičemž nabízí dosah čtení od několika centimetrů do přibližně jednoho metru. Tagy, které tuto frekvenci využívají, poskytují omezený úložný prostor, což odpovídá potřebám základní identifikace a sledování objektů. Mají nižší rychlost přenosu dat ve srovnání s tagy pracujícími na vyšších frekvencích a jejich schopnosti současně číst více tagů jsou omezené. Jsou využívány v různých aplikacích a prostředích, především tam, kde je požadována

schopnost průniku signálu skrze náročné materiály, jako jsou kapaliny, dřevo nebo živočichy. Jsou ideální pro systémy kontroly přístupu, identifikaci zvířat, sledování majetku, imobilizéry vozidel a aplikace ve zdravotnictví, díky své schopnosti efektivně fungovat i v náročných podmínkách. [14], [15]

5.2 Vysokofrekvenční (HF)

Vysokofrekvenční (HF) RFID, pracuje na frekvenci 13,56 MHz, stejně jako NFC technologie, a nabízí dosah čtení, který se typicky pohybuje až do 1 metru. Mají větší kapacitu úložiště než LF tagy a umožňují rychlejší přenos dat. HF je vhodné pro širokou škálu aplikací, například správa knih v knihovnách, na letištích pro efektivnější logistiku zavazadel, nebo v maloobchodech a správě zásob pro zlepšení inventarizace. Rovněž umožňují blízkou komunikaci, využívanou pro chytré karty, jako jsou platební systémy a systémy kontroly přístupu. Díky své schopnosti pracovat v těsné blízkosti s kovovým materiálem a tekutinami jsou HF systémy méně náchylné k rušení než systémy UHF, což je činí vhodnými pro použití v různorodých prostředích. Oproti UHF mají menší dosah čtení a potenciální omezení v rychlosti čtení při zpracování velkého množství tagů současně. [14], [15]

5.3 Ultra vysokofrekvenční (UHF)

Tyto RFID systémy pracují ve frekvenčním rozsahu od 860 MHz do 960 MHz. To značně rozšiřuje jejich dosah a umožňuje rychlejší přenos dat ve srovnání s HF a LF. Díky tomu jsou schopny efektivně číst tagy na vzdálenosti až několika metrů. To je činí ideální volbou pro široké spektrum aplikací, včetně sledování dodavatelských řetězců, efektivní správy skladů, automatizace výrobních linek a logistiky, monitorování zásob v maloobchodě, sledování vozidel a pro pokročilé řízení přístupu a bezpečnostní systémy. [14], [15]

Jedním z klíčových prvků, který umožňuje UHF systémům zvládat vysoký počet tagů v daném prostoru, je využití antikolizních algoritmů. Tyto algoritmy umožňují čtečkám oddělit signály od jednotlivých tagů a správně je identifikovat, i když jsou signály z tagů vysílány současně. Díky tomu je možné v reálném čase zpracovávat informace z velkého množství tagů, což je zásadní pro logistiku a automatizované sledování zásilky. [14], [15]

Navzdory svým výhodám, UHF čelí omezením v prostředích s vysokým obsahem kovů nebo tekutin, kde rušení může negativně ovlivnit dosah a spolehlivost čtení. Náklady na UHF systémy mohou být vyšší oproti jiným RFID technologiím, což vyžaduje pečlivé zvážení při plánování implementace. [14], [15]

5.4 Mikrovlnné (MW)

Využívají pro komunikaci mezi čtečkami a tagy frekvence v mikrovlnném pásmu. Pro RFID to jsou konkrétní frekvence 2,45 GHz a 5,8 GHz. Tyto frekvenční pásma umožňují dosáhnout razantně většího dosahu čtení ve srovnání s technologiemi pracujícími na nižších frekvencích. Pasivní mikrovlnné tagy bývají obvykle menší než pasivní tagy UHF. Jejich dosah čtení je přibližně 4,5 metru. Semi-pasivní mikrovlnné tagy mají dosah čtení okolo 30 metrů, zatímco aktivní mikrovlnné tagy dosahují až mírně přes 100 metrů. [15]

Díky schopnosti číst tagy na větší vzdálenost a při vysokých rychlostech jsou ideální pro sledování objektů v rozsáhlých skladových areálech, monitorování zásilek během dopravy nebo pro automatickou identifikaci vozidel při průjezdu mýtnou branou. Navzdory mnoha výhodám jsou mikrovlnné systémy obvykle dražší než systémy pracující na nižších frekvencích, především kvůli složitější technologii a vyšším požadavkům na výkon. [15]

6 Porovnání jiných možností trasování objektů

RFID technologie se stala jednou z předních metod pro účely trasování objektů. Přesto existují situace a aplikace, kde může být RFID omezená svými fyzikálními charakteristikami, cenou nebo potřebou specifické infrastruktury. Tato kapitola se zaměřuje na alternativní technologie, které nabízejí různorodé možnosti pro trasování objektů.

6.1 NFC

NFC (Near Field Communication) technologie, vyvinutá v roce 2002 jako podmnožina RFID, je známá především pro své uplatnění v bezkontaktních platebních systémech. Umožňuje rychlou výměnu dat mezi zařízeními na velmi krátké vzdálenosti, typicky několik centimetrů. Vyniká schopností dvoucestné komunikace, což ji činí ideální pro interakci mezi chytrými telefony a jinými zařízeními pro rychlé sdílení informací. NFC tagy, stejně jako

pasivní RFID tagy, nevyžadují vlastní zdroj energie. Díky vysoké úrovni zabezpečení, která je klíčovým aspektem této technologie, se stává ideálním řešením pro aplikace vyžadující ochranu citlivých informací, jako jsou již zmíněné platby nebo ověřování identity a přístupové systémy. Ačkoliv se NFC může zdát jako vhodný kandidát pro aplikace v logistice, jeho použití zde bývá omezenější kvůli krátkému dosahu komunikace. Přesto nachází uplatnění v logistických procesech, které vyžadují přesnou identifikaci a ověřování na bodě kontaktu, například při kontrole pravosti produktů. [16]

Oproti NFC, RFID technologie nabízí širší spektrum aplikací díky své schopnosti detekovat tagy na větší vzdálenosti a bez přímé viditelnosti. To umožňuje efektivně monitorovat a spravovat velké objemy objektů v různých prostředích, včetně skladů, distribučních center a výrobních linek, což ji činí ideální volbou pro sledování pohybu zboží nebo správu majetku. NFC je vhodnější v situacích, kde převažuje potřeba jednoduchosti, rychlosti a bezpečnosti komunikace na krátkou vzdálenost. [17]

6.2 Bluetooth

Bluetooth a BLE (Bluetooth Low Energy) jsou technologie bezdrátové komunikace, které umožňují výměnu dat mezi zařízeními na vzdálenost desítek metrů, v závislosti na typu. V posledních letech získalo BLE popularitu v aplikacích pro trasování objektů díky jeho nízké spotřebě energie a schopnosti poskytovat přesné lokalizační služby. Na rozdíl od RFID systémů, které často vyžadují rozsáhlou infrastrukturu včetně několika čteček pro efektivní pokrytí větších oblastí, Bluetooth může efektivně fungovat na vzdálenosti několika metrů a umožňuje vytváření flexibilních sítí. Podpora pro mesh sítě, kde zařízení komunikují nejen se středovým uzlem, ale i mezi sebou, rozšiřuje možnosti propojení a zvyšuje spolehlivost a dosah sítí. Jednou z klíčových předností je široká dostupnost a integrace v mobilních zařízeních, což uživatelům umožňuje využívat tuto technologii bez nutnosti investovat do jiných zařízení. Tato všestrannost a snadná integrace s mobilními zařízeními činí Bluetooth a BLE ideálními pro široké spektrum aplikací, od osobního trasování, přes chytré domácnosti, až po komplexní IoT projekty, kde lze využít stávající infrastrukturu a zařízení. [18]

Ve srovnání s RFID, které se osvědčilo v aplikacích vyžadujících rychlou a hromadnou identifikaci objektů, jako jsou logistika, správa zásob a sledování výrobních procesů, Bluetooth a BLE nabízí lepší možnosti pro aplikace s interakcí uživatele a využití v širším spektru prostředí. Schopnost RFID číst více tagů současně a z větší vzdálenosti bez přímého zásahu člověka zůstává klíčovou výhodou pro automatizované sledovací systémy. Naopak, Bluetooth a BLE poskytují flexibilitu, interaktivitu a možnosti rozšiřování sítě, které jsou přínosem pro trasování a lokalizaci objektů v odlišných aplikacích. [18]

6.3 Wi-Fi

Wi-Fi technologie přináší jedinečnou kombinaci širokého dosahu, vysoké rychlosti přenosu dat a schopnosti podporovat rozsáhlé množství zařízení v rámci jediné sítě. Tato vlastnost ji činí vysoce vhodnou pro aplikace zaměřené na sledování pohybu zařízení v rozlehlých areálech, jako jsou univerzitní kampusy, kancelářské komplexy nebo domácnosti. Díky schopnosti určovat polohu zařízení s využitím intenzity signálu RSSI z různých přístupových bodů, umožňuje trasování objektů s poměrně vysokou úrovní přesnosti. Wi-Fi tagy, podobně jako RFID tagy, lze připevnit k objektům a využít pro jejich sledování v rámci Wi-Fi sítě, nabízejí přitom větší dosah a flexibilitu ve srovnání s tradičními RFID řešeními. [19], [20]

Avšak, když se zaměříme na trasování objektů, Wi-Fi se setkává s několika omezeními, především s energetickou náročností a vyššími náklady na zařízení. Ačkoli technologie jako Wi-Fi Direct a různé úsporné režimy nabízejí řešení pro snížení spotřeby energie, zařízení v aktivním režimu stále vyžadují významně větší množství energie ve srovnání s pasivními RFID tagy. Toto je zvláště problematické pro aplikace vyžadující dlouhodobé sledování s minimální údržbou. Dalším důležitým aspektem je velikost. Wi-Fi moduly jsou typicky větší než RFID tagy, což omezuje jejich použití v určitých aplikacích sledování, kde je malá velikost klíčová. Ve srovnání, RFID poskytuje ekonomicky efektivní řešení pro hromadné sledování objektů na kratší vzdálenosti s minimální spotřebou energie. [19], [20]

6.4 GPS

GPS (Global Positioning System) je satelitní navigační systém, který poskytuje geolokační a časové informace po celém světě. Hlavní výhodou je schopnost poskytovat relativně přesné polohové informace na globální úrovni, což je ideální pro trasování vozidel, lodí, letadel

a jakýchkoli jiných objektů v pohybu. GPS systémy jsou široce využívány v logistice a dopravě pro efektivní správu a optimalizaci tras, stejně jako bezpečnostní prvek pro sledování a ochranu. Další vlastností GPS je její nezávislost na jakékoli lokální infrastruktuře, kromě přijímače signálu. [21]

Oproti Bluetooth, NFC a RFID, které vyžadují relativní blízkost nebo specifickou infrastrukturu pro komunikaci a trasování objektů, GPS poskytuje unikátní výhody v dosahu a univerzálnosti. Nicméně, GPS má také svá omezení, jako je vyšší spotřeba energie, protože modul neustále komunikuje se satelity pro určení své polohy. To znamená, že pro dlouhodobé sledování potřebují buď časté dobíjení, nebo větší baterie. Náklady na GPS sledování mohou být vyšší, nejen kvůli pořizovací ceně zařízení, ale také kvůli možnému předplatnému za služby sledování. Navíc, přesnost GPS může být ovlivněna různými faktory, včetně terénem, atmosférickými podmínky, překážkami, jako jsou vysoké budovy nebo stromy, a rušením signálu, proto se nehodí k trasování objektů v budovách kvůli nepřesnostem. [21]

6.5 Čárové kódy a QR kódy

Čárové kódy a QR kódy jsou dvě formy optického značení, které se používají k ukládání informací, jež lze snadno načíst pomocí optických čteček nebo chytrých telefonů. Tyto technologie umožňují rychlou a efektivní identifikaci a trasování produktů, aktiv a informací v řadě aplikací od maloobchodu až po výrobu a logistiku.

Čárové kódy, které jsou obvykle založeny na sérii paralelních čar různých šířek, reprezentují data porovnáním světla odraženého od bílých a černých pruhů. Čárové kódy jsou však omezeny množstvím informací, které mohou uchovat, a obvykle nesou jen základní údaje o produktu nebo SKU (Stock Keeping Unit). QR kódy, na druhé straně, představují pokročilejší formu optického značení, která umožňuje zakódovat mnohem větší množství počet informací. Tyto dvourozměrné kódy mohou obsahovat stovky až tisíce znaků a podporovat různé typy dat, včetně textu, URL adres, kontaktních informací, a dokonce i malé obrázky. [22]

Porovnáme-li čárové a QR kódy s technologiemi jako GPS, Bluetooth, NFC a RFID, nejpodstatnější rozdíl je, že vyžadují přímou viditelnost se čtečkou, aby se mohly naskenovat

a nemohou poskytovat žádné bezdrátové trasování nebo monitorování v reálném čase. Jejich hlavní výhodou je však nízká nákladovost a univerzální použitelnost, což je činí ideálními pro různé aplikace identifikace a autentizace, kde je důležitá jednoduchost a nízké náklady. [17], [22]

7 Prvky použité v navrhnutém systému

Tato kapitola obsahuje všechny zařízení a příslušenství použité v systému monitorující pohyb, zahrnující RFID tagy, čtecí modul se softwarem a antény. Detaily jednotlivých komponent jsou popsány v jednotlivých kapitolách.

7.1 RFID tagy

Při měření byly použity 4 typy UHF RFID tagů: H86-S91-T200, TG-RFID-IT-H3E, zelený kroužek a modrý kroužek. Každý z nich byl zvolen na základě jeho vlastností, které jsou uvedeny v odpovídajících kapitolách.

7.1.1 H86-S91-T200

H86-S91-T200 je UHF RFID tag vyráběný společností HL RFIDTAG, který je zvláště navržen pro extrémní tepelnou odolnost. Tag je vybaven čipem Impinj Monza, který je optimalizován pro frekvence 860–960 MHz. Jeho rozměry jsou 40 mm x 8 mm a je zapouzdřen ve skleněném obalu (obrázek 4). Vydrží teploty až 200 °C po dobu 60 minut a 235 °C po dobu 35 minut. Díky průmyslovému krytí IP67 je navíc zajištěna voděodolnost, což rozšiřuje jeho aplikace v náročných prostředích. Bílá barva a nekovový povrch tagu umožňují jeho diskretní integraci do různých aplikací bez negativního ovlivnění čtecího výkonu. Tyto vlastnosti činí tento RFID tag ideálním v náročných průmyslových aplikacích, kde jsou teplotní výkyvy běžné nebo pro monitorování vysokoteplotních procesů. [23]



Obrázek 4: H86-S91-T200. [23]

7.1.2 TG-RFID-IT-H3E

RFID tag TG-RFID-IT-H3E s průměrem 34 mm je navržen pro nasazení v náročných průmyslových prostředích, zejména pro použití na kovovém povrchu. Tento pasivní RFID tag, využívající čip Alien Higgs-3, je optimalizován pro frekvence 865–868 MHz v Evropě a 902–928 MHz v Severní Americe. S EPC pamětí 96 bitů, rozšiřitelnou až na 480 bitů, a uživatelskou pamětí 512 bitů, poskytuje flexibilní možnosti pro ukládání dat. Odolnost a design jsou doplněny možností připevnění šroubem skrze díru uprostřed tagu, viz obrázek 5. Specifická konstrukce tagu zaručuje optimalizovaný čtecí výkon ve vztahu k orientaci k anténě čtečky, což je klíčové pro aplikace, kde je přesnost a spolehlivost čtení prioritou. Tento tag je proto ideální volbou pro sledování majetku, logistiku, řízení skladu a další aplikace, kde jsou požadovány vysoká odolnost a spolehlivé čtení v náročných podmínkách. [24]



Obrázek 5: Rozměry TG-RFID-IT-H3E. [24]

7.1.3 Zelený kroužek

Tento RFID štítek (obrázek 6) je speciálně navržen pro monitorování drůbeže a ptáků, což umožňuje sledování každého jedince od chovu přes šlechtění až po produkci. Povrchový materiál štítku je vyroben z plastové skořepiny potravinářské kvality, což zajišťuje bezpečnost a odolnost v kontaktním prostředí. Průměr jeho jádra je 14 mm. Štítek pracuje na frekvenci 860 MHz až 960 MHz, používá čip Impinj Monza 4QT, který nabízí rozsáhlé paměťové možnosti. Podporuje čtení nebo zápis s dosahem více než 1 metr při použití s pevnou čtečkou a garantuje až 100 000 programovacích cyklů. Díky svým atributům, jako je ochrana proti UV záření, vodotěsnost, antikorozi vlastnosti, odolnost proti klování a schopnost vydržet teploty od -25 °C do 75 °C s krytím IP65, je tento štítek ideální pro velkochovy. [25]



Obrázek 6: Zelený kroužek.

7.1.4 Modrý kroužek

Modrý kroužkový tag (obrázek 7), který byl použit při měření, slouží, stejně jako zelený kroužek, ke sledování různé drůbeže a ptactva. Pracuje v globálním frekvenčním pásmu 860–960 MHz podle standardů UHF Gen 2 třídy 1. Štítek se vyznačuje možností čtení a zápisu s dosahem čtení až 2 metry, což však závisí na použité čtečce. Kapacita uchování údajů je až 10 let a antikolizní funkce pro vícenásobnou identifikaci zajišťuje dlouhodobé a spolehlivé sledování. Materiál pouzdra z polypropylenu a krytí IP68 zaručují, že štítek je odolný proti vodě a prachu. S pracovními teplotami od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ je štítek vhodný pro použití v širokém rozsahu podmínek. Průměr štítku je 30 mm s hmotností pouze 4 g, což z něj dělá lehký a nenápadný doplněk, který lze snadno přizpůsobit a nasadit na různé velikosti drůbeže. [26]



Obrázek 7: Modrý kroužek. [27]

7.2 Čtecí modul

Během měření byl použit čtecí modul UR4 UHF od firmy Chainway, který podporuje připojení až 4 antén různých typů s odlišným výstupním výkonem, například 6 dBi, 9 dBi a 12 dBi. Osazený je čipem Impinj R2000, který mu poskytuje vysoký výkon a spolehlivost pro široké spektrum aplikací. Je napájen stejnosměrným napětím 12 V. Připojovací porty, které slouží k připojení k PC jsou vidět na obrázku 8. Lze využít sériový port s komunikační rychlostí 115200 b/s nebo port RJ45. Dále obsahuje rozhraní GPIO, které podporuje různé vstupy a výstupy, včetně ovládání relé a optických spojek. [28]



Obrázek 8: Čtecí modul Chainway UR4 UHF RFID. [28]

7.2.1 Software

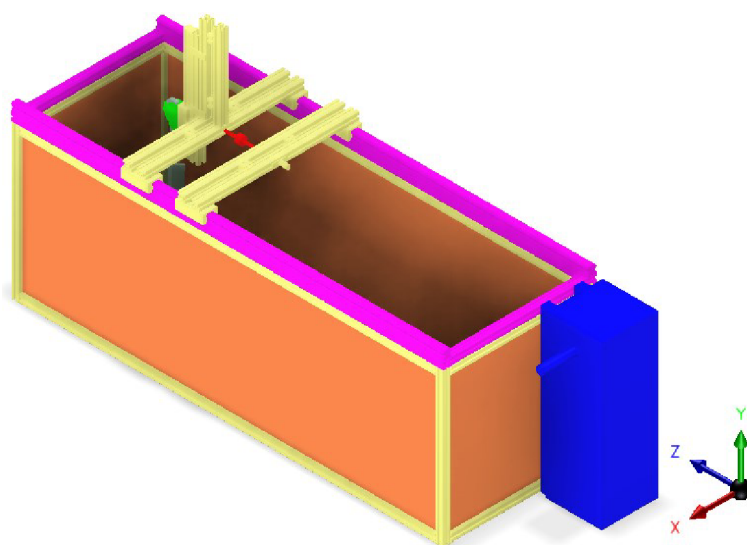
Software UHFAPP v1.2.6, který je dodáván s UR4 UHF modulem, je aplikace navržená pro snadnou konfiguraci a ovládání tohoto zařízení. Tento software umožňuje uživatelům měnit řadu klíčových parametrů a ovládat činnosti modulu, včetně čtení a zápisu RFID tagů. Umožňuje filtrování tagů, což slouží k zadání EPC nebo TID konkrétního tagu, díky čemuž software načítá pouze data z tohoto specifického tagu. Naměřená data (RSSI, počet načtení a jaká anténa tag načetla) se dají exportovat do souboru formátu .csv a mohou být dále zpracována.

7.3 Antény

K čtecímu modulu byly připojeny 3 stejné antény Ant-RC05 s polarizací RHCP (pravotočivá cirkulární polarizace) a ziskem 5 dBi, určené pro UHF frekvenční pásma 902-928 MHz nebo 865-868 MHz. Tyto antény jsou navrženy s ohledem na široké využití v logistice, správě skladů, přístupových systémech, správě výrobních linek, správě materiálu, zdravotnictví, vojenství, financích a chovu zvířat. Antény mají maximální vstupní výkon 20 W, typ konektoru SMA female, rozměry 145x145x20 mm a váhu 0,73 kg s montážním držákem. Kryt je vyroben z materiálu ABS v bílé barvě a poskytuje ochranu IP67 proti prachu a vodě. K propojení se čtecím modulem byl použit 5 metrů dlouhý kabel s konektory SMA M na SMA M. [29]

8 Prostředí navrhnutého systému

Všechna měření proběhla v půdním žlabu (obrázek 9) o rozměrech 1550 mm na délku, 550 mm na šířku a 550 mm na výšku. Konstrukce rámu žlabu je realizována pomocí hliníkových konstrukčních profilů, což zajišťuje pevnost a odolnost konstrukce. Stěny z plexiskla umožňující snadné vizuální sledování během provádění experimentů. Žlab je také vybaven radlicí poháněnou motorem, kterou je možno vyměnit za kovovou nebo plastovou.



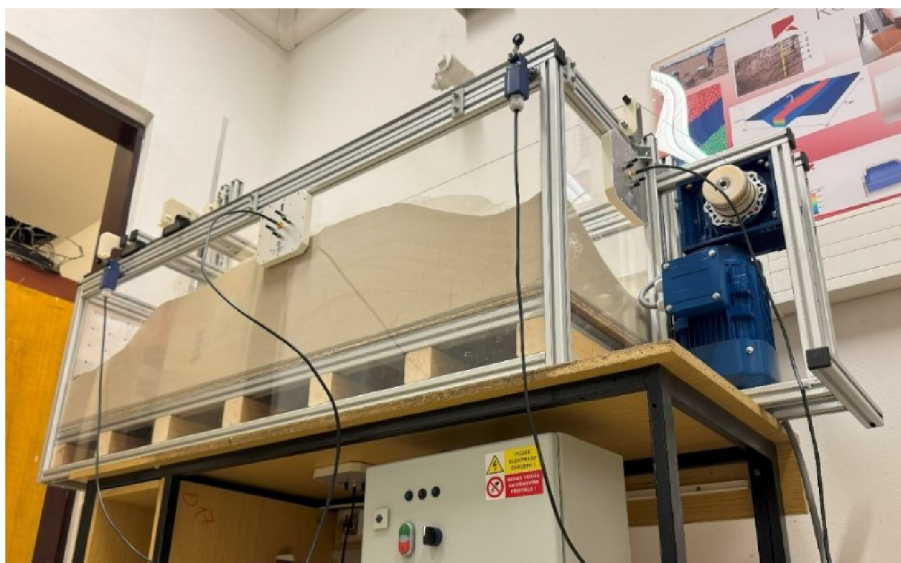
Obrázek 9: Model žlabu.

Během měření byl využit suchý jemný písek, který nebyl pro projekt speciálně vybrán, ale již byl přítomen ve žlabu. Tento materiál posloužil jako základ pro měření, přičemž nebyly požadovány žádné specifické úpravy nebo výběr na základě jeho vlastností.

Při měření síly signálů je důležité brát v úvahu různé aspekty fyzického prostředí, které mohou ovlivnit sílu přijímaného signálu mezi čtečkou a tagem. Ve žlabu může být signál odrážen od různých povrchů a může dojít k vytvoření více cest, kterými může signál dorazit k přijímači. Tento jev, známý jako multipath fading, může způsobit konstruktivní i destruktivní interference, což vede k nepředvídatelným změnám v síle signálu [30]. Další faktor představují různá elektronická zařízení v blízkosti, emitující signály na podobných frekvencích, která mohou způsobovat rušení. Toto rušení může zkreslovat nebo oslabit přijímaný signál, což komplikuje jeho správné vyhodnocení.

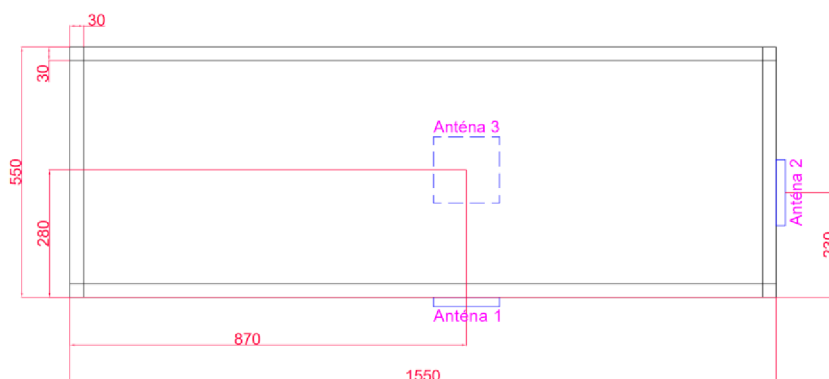
8.1 Rozmístění antén

Během každého měření byly využity 3 antény stejného typu, které byly vždy stejně umístěny, aby byla zajištěna konzistence výsledků. Použití antén stejného typu eliminuje potenciální rozdíly v charakteristikách příjmu a vysílání, které by mohly ovlivnit výsledky měření. Antény byly umístěny strategicky tak, aby pokryly všechny osy žlabu.

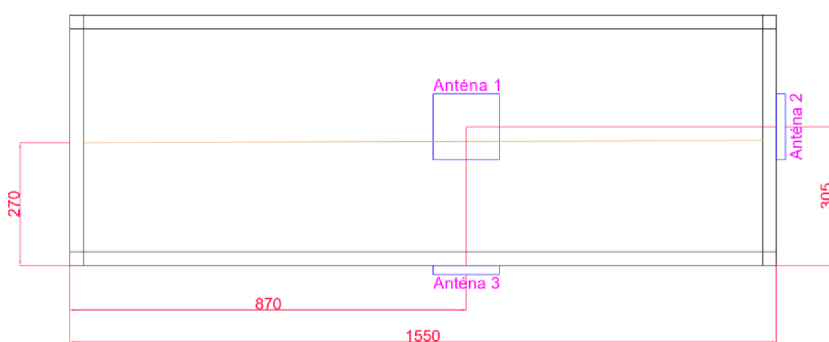


Obrázek 10: Půdní žlab.

Rozmístění antén lze vidět na obrázku 10, 11 a 12. Anténa 1 byla umístěna na delší stěně žlabu tak, aby pokrývala osu X. Byla umístěna 870 mm od koncových bodů delší strany, což bylo stanoveno jako optimální bod pro měření, umožňující anténě zachytit tagy. Anténa 2, monitorující osu Z, byla umístěna na kratší stěně žlabu, ve stejné výšce jako anténa 1. Kvůli konstrukci žlabu (poloha motoru) nebylo možné anténu umístit přímo uprostřed stěny. Anténa 3 byla umístěna na spodní stěně žlabu ve stejné vzdálenosti 870 milimetrů jako anténa 1. Toto umístění umožňuje pokrytí osy Y. Kóta 270 na obrázku 11 značí hladinu písku ve žlabu, při které probíhalo měření v prostorové mřížce na povrchu.



Obrázek 11: Náskres žlabu s anténami (pohled shora).

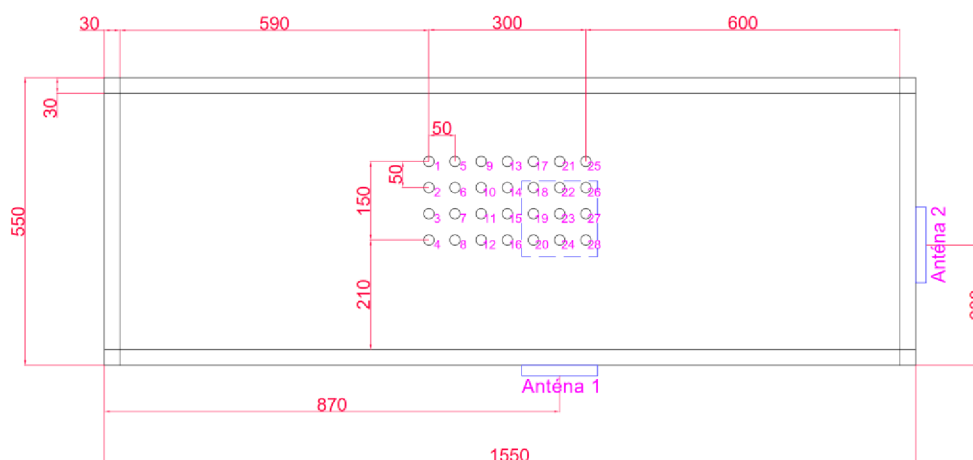


Obrázek 12: Náskres žlabu s anténami (pohled ze strany).

9 Měření RSSI v prostorové mřížce na povrchu

V tomto experimentu byl nejprve urovnán písek ve žlabu, aby jeho hladina byla ve výšce 270 mm od dna. Na této srovnávané hladině byly umístěny body uspořádané do mřížky s horizontálním i vertikálním rozestupem 50 mm mezi jednotlivými body. Experiment začal umístěním RFID tagu na bod 1 a pokračoval až do bodu 28. Každý bod byl měřen anténami po dobu 30 sekund. Anténa 1 měřila sílu signálu na ose X, anténa 2 na ose Z a osa Y byla měřena anténou 3.

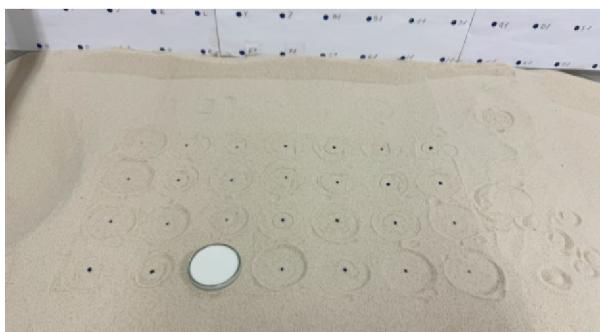
Během této doby byly zaznamenávány hodnoty RSSI a count, což je počet načtení tagu anténou. Pro každý tag byly zprůměrovány hodnoty RSSI od každé antény zvlášť pro každý bod, na kterém byl tag umístěn. To znamená, že pro každý z měřených bodů byla zaznamenána průměrná hodnota RSSI pro každou z antén, která se dále použila během vyhodnocování. Pokud některá z antén načetla hodnotu count rovnu nule, znamená to, že tag nebyl vůbec detekován. Vyhodnocení účinnosti každého tagu je popsáno v kapitolách věnovaných jednotlivým tagům.



Obrázek 13: Nákres žlabu s body (pohled seshora).

9.1 H86-S91-T200

Tag H86-S91-T200 byl umístěn na všechny body měřicí mřížky stejným způsobem, a to skleněnou stranou dolů, jak je vidět na obrázku 14. Během měření bylo klíčové zachovat konzistentní orientaci vůči všem anténám, aby byly naměřené síly signálu jednotné.



Obrázek 14: Měření na povrchu – H86-S91-T200.

Jak lze vidět z tabulky 1, anténa 1 dosáhla nejvyššího počtu úspěšných detekcí tagu, s neúspěchem v 7 bodech z celkových 28. Antény 2 a 3 zaznamenaly neúspěšné detekce v 11 bodech, což znamená úspěšnou detekci v 17 bodech. Maximální hodnota RSSI pro anténu 1 byla -59.85 dBm v bodě 24. Pro anténu 2 byla nejvyšší hodnota -59.12 dBm, zaznamenaná v bodě 21. Anténa 3 vykazala nejsilnější signál s hodnotou -57.92 dBm v bodě 25, což ji řadí na první místo z hlediska síly signálu.

Tabulka 1: Intenzity signálů tagu H86-S91-T200.

Mapa intenzity signálu – anténa 1 [dBm]						
Bod 1 0	Bod 5 0	Bod 9 -72,7	Bod 13 -67,37	Bod 17 -71,83	Bod 21 -65,39	Bod 25 -61,96
Bod 2 0	Bod 6 0	Bod 10 0	Bod 14 0	Bod 18 -64,27	Bod 22 -60,74	Bod 26 -61,36
Bod 3 -72,25	Bod 7 0	Bod 11 -69,64	Bod 15 -65,93	Bod 19 -65,46	Bod 23 -65,51	Bod 27 -70,58
Bod 4 -64,76	Bod 8 -65,42	Bod 12 -66,11	Bod 16 -64,39	Bod 20 -60,9	Bod 24 -59,85	Bod 28 -62,35
Mapa intenzity signálu – anténa 2 [dBm]						
Bod 1 0	Bod 5 -64,34	Bod 9 -65,34	Bod 13 0	Bod 17 -66,91	Bod 21 -59,12	Bod 25 -60,75
Bod 2 -66,15	Bod 6 -72,61	Bod 10 -69,12	Bod 14 -66,74	Bod 18 0	Bod 22 -64,76	Bod 26 -61,7
Bod 3 0	Bod 7 0	Bod 11 -74,21	Bod 15 -66,7	Bod 19 0	Bod 23 -67,35	Bod 27 -64,45
Bod 4 0	Bod 8 0	Bod 12 0	Bod 16 0	Bod 20 -72,95	Bod 24 0	Bod 28 -65,38
Mapa intenzity signálu – anténa 3 [dBm]						
Bod 1 -71,26	Bod 5 -74,39	Bod 9 0	Bod 13 -74,88	Bod 17 -65,24	Bod 21 -58,7	Bod 25 -57,92
Bod 2 -69,37	Bod 6 0	Bod 10 0	Bod 14 0	Bod 18 -67,7	Bod 22 -59,56	Bod 26 -58,59
Bod 3 0	Bod 7 0	Bod 11 0	Bod 15 -72,6	Bod 19 -68,26	Bod 23 -60,17	Bod 27 -59,39
Bod 4 0	Bod 8 0	Bod 12 0	Bod 16 0	Bod 20 -75,6	Bod 24 -72,77	Bod 28 -60,83

Z údajů Pearsonovy a Spearmanovy korelace mezi anténami 1, 2 a 3 vyplývá, že vztahy mezi těmito anténami nejsou statisticky významné, což dokládají vysoké p-hodnoty přesahující standardní práh 0,05.

Pearsonova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace -0,1388 a p-hodnota 0,481 naznačují slabou negativní lineární závislost, která není statisticky významná.
- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace 0,1278 a p-hodnota 0,517 ukazují na slabou pozitivní lineární závislost, avšak bez statistické významnosti.
- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace 0,1667 a p-hodnota 0,397 signalizují slabou pozitivní lineární závislost, která rovněž není statisticky významná.

Spearmanova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace -0,0888 a p-hodnota 0,653 ukazují na velmi slabou negativní monotónní závislost, která není statisticky významná.

- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace -0,1201 a p-hodnota 0,543 naznačují slabou negativní monotónní závislost, opět bez statistické významnosti.
- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace 0,0198 a p-hodnota 0,92 odhalují zanedbatelnou pozitivní monotónní závislost, která není statisticky významná.

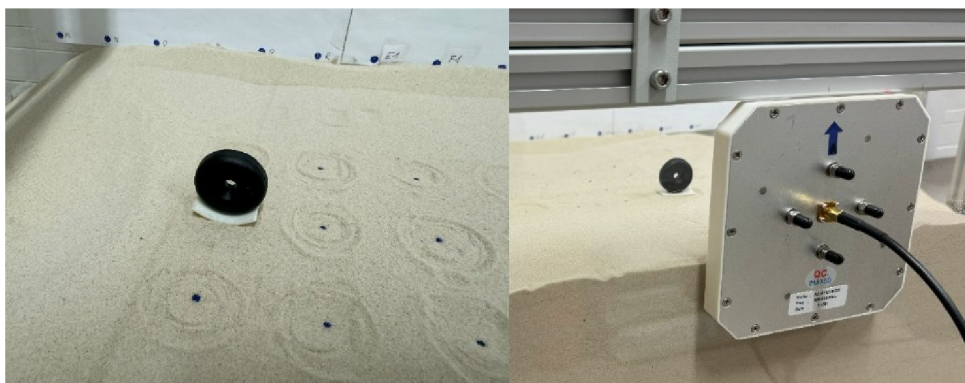
Tyto výsledky ukazují, že mezi uvedenými páry antén neexistuje žádná silná nebo konzistentní vzájemná závislost, ať už v lineárním nebo v monotónním směru, které by byly předvídatelné na základě analýzy těchto dat.

9.2 TG-RFID-IT-H3E

Tag TG-RFID-IT-H3E byl měřen dvakrát dvěma způsoby s cílem zjistit, jak úhel natočení vzhledem k anténě 1 a anténě 2 ovlivňuje sílu signálu a počet načtení. Na rozdíl od tagu H86-S91-T200, který byl položen na povrchu písku dolní podstavou, byl tag TG-RFID-IT-H3E otočen o 90°. Toto opatření bylo zavedeno za účelem zlepšení viditelnosti tagu pro antény 1 a 2, což má potenciál zvýšit přesnost a spolehlivost měření.

9.2.1 První měření

První měření probíhalo s natočeným tagem na anténu 1 (viz obrázky 15 a 16). Při tomto měření by měla mít anténa 1 teoreticky lepší signál i počet načtení tagu. Zároveň by se měly minimalizovat mrtvé zóny, kdy tag není načten vůbec.



Obrázek 15 a 16: Měření na povrchu (první) – TG-RFID-IT-H3E.

Anténa 1 dosáhla nejvyššího počtu úspěšných detekcí tagu, s neúspěchem ve 4 bodech z celkových 28. Antény 2 a 3 zaznamenaly neúspěšné detekce v 9 bodech, což znamená úspěšnou detekci v 19 bodech. Maximální hodnota RSSI pro anténu 1 byla -64 dBm

v bodě 25. Pro anténu 2 byla nejvyšší hodnota -65,1 dBm, zaznamenaná v bodě 8. Anténa 3 vykazala nejsilnější signál s hodnotou -66,05 dBm v bodě 28, což ji řadí na první místo z hlediska síly signálu. Jak lze vidět z tabulky 2, signály ze všech antén projevují významnou variabilitu.

Tabulka 2: Intenzity signálů pro tag TG-RFID-IT-H3E (první měření).

Mapa intenzity signálu – anténa 1 [dBm]						
Bod 1 -70,4	Bod 5 -72,36	Bod 9 -74,93	Bod 13 -74,89	Bod 17 -72,33	Bod 21 -68,03	Bod 25 -64
Bod 2 -68,04	Bod 6 -69,46	Bod 10 -71,32	Bod 14 -71,52	Bod 18 -68,88	Bod 22 -66,63	Bod 26 -64,46
Bod 3 -66,98	Bod 7 0	Bod 11 -70,81	Bod 15 -74,72	Bod 19 -75,32	Bod 23 -73,06	Bod 27 -70,29
Bod 4 0	Bod 8 0	Bod 12 0	Bod 16 -74,07	Bod 20 -68,91	Bod 24 -67,6	Bod 28 -68,31
Mapa intenzity signálu – anténa 2 [dBm]						
Bod 1 0	Bod 5 0	Bod 9 0	Bod 13 -69	Bod 17 0	Bod 21 -70,37	Bod 25 -65,22
Bod 2 0	Bod 6 -73,87	Bod 10 -68,78	Bod 14 -68,22	Bod 18 -74,29	Bod 22 0	Bod 26 -69,66
Bod 3 0	Bod 7 -69,61	Bod 11 -69,63	Bod 15 -72,11	Bod 19 -74,14	Bod 23 0	Bod 27 -74
Bod 4 -70,04	Bod 8 -65,1	Bod 12 -65,52	Bod 16 -71,81	Bod 20 0	Bod 24 -71,69	Bod 28 -70,99
Mapa intenzity signálu – anténa 3 [dBm]						
Bod 1 -71,99	Bod 5 0	Bod 9 0	Bod 13 -67,36	Bod 17 -67,56	Bod 21 -70,32	Bod 25 -69,84
Bod 2 -74,83	Bod 6 -71,17	Bod 10 -70,18	Bod 14 -70,98	Bod 18 -71,5	Bod 22 -70,68	Bod 26 -68,5
Bod 3 0	Bod 7 0	Bod 11 0	Bod 15 -75,26	Bod 19 -73,37	Bod 23 -69,38	Bod 27 -68,02
Bod 4 0	Bod 8 0	Bod 12 0	Bod 16 0	Bod 20 -71,25	Bod 24 -67,62	Bod 28 -66,05

Analýza Pearsonovy a Spearmanovy korelace mezi anténami 1, 2 a 3 ukazuje vzorce vzájemných vztahů signálů těchto antén, s jedním výrazně statisticky významným vztahem.

Pearsonova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace -0,2465 a p-hodnota 0,206 signalizují slabou negativní lineární závislost, která však není statisticky významná.
- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace 0,5657 a p-hodnota 0,0017 ukazují na středně silnou pozitivní lineární závislost, což je statisticky významné a naznačuje robustní vztah mezi signály těchto dvou antén.

- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace 0,0314 a p-hodnota 0,874 odhalují velmi slabou pozitivní lineární závislost, která je statisticky nevýznamná.

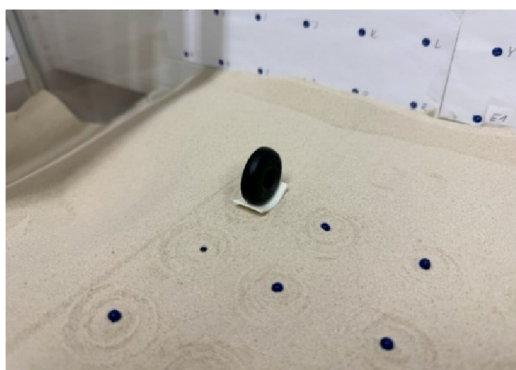
Spearmanova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace 0,0577 a p-hodnota 0,771 naznačují velmi slabou pozitivní monotónní závislost, bez statistické významnosti.
- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace 0,2263 a p-hodnota 0,247 ukazují na slabou pozitivní monotónní závislost, která však nedosahuje statistické významnosti podle této metody.
- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace 0,1534 a p-hodnota 0,436 odhalují slabou pozitivní monotónní závislost, jež rovněž není statisticky významná.

Z těchto výsledků vyplývá, že statisticky významná korelace je mezi anténami 1 a 3 podle Pearsonovy metody, což naznačuje, že signály mezi těmito dvěma anténami jsou relativně silněji korelované v lineárním smyslu. Tato korelace může naznačovat, že změny v síle signálu antény 1 mají tendenci odpovídat změnám v síle signálu antény 3. Naopak, vztahy mezi ostatními páry antén (1 a 2, 2 a 3) jsou buď slabé nebo statisticky nevýznamné jak v lineární, tak v monotónní analýze, což znamená, že mezi těmito anténami neexistuje silná vzájemná závislost. Tato situace může být užitečná pro plánování rozmístění antén nebo pro analýzu rušení a koordinaci signálů v sítích.

9.2.2 Druhé měření

Druhé měření probíhalo s natočeným tagem na anténu 2 (viz obrázek 17). Na rozdíl od prvního měření by v tomhle případě měla vyniknout v RSSI a počtu načtení anténa 2.



Obrázek 17: Měření na povrchu (druhé) – TG-RFID-IT-H3E.

Tabulka 3 odhaluje, že antény 1 a 2 zaznamenaly stejný počet úspěšných detekcí tagu, obě s neúspěchem v 6 bodech z celkových 28, což znamená úspěšnou detekci v 22 bodech. Anténa 3 měla neúspěšné detekce v 13 bodech, čímž se stala nejméně úspěšnou anténou. Co se týče síly signálu, nejvyšší hodnota RSSI byla -60,83 dBm pro anténu 1 v bodě 27, -66,91 dBm pro anténu 2 v bodě 20 a -70,68 dBm pro anténu 3 v bodě 17.

Tabulka 3: Intenzity signálů pro tag TG-RFID-IT-H3E (druhé měření).

Mapa intenzity signálu – anténa 1 [dBm]						
Bod 1 -75,56	Bod 5 0	Bod 9 -75,06	Bod 13 -74,36	Bod 17 -74,36	Bod 21 -70,1	Bod 25 -68,51
Bod 2 -71,69	Bod 6 -74,29	Bod 10 -75,58	Bod 14 0	Bod 18 0	Bod 22 -71,91	Bod 26 -67,86
Bod 3 -70,53	Bod 7 -71,43	Bod 11 -70,98	Bod 15 -75,21	Bod 19 -68,6	Bod 23 -63,94	Bod 27 -60,83
Bod 4 -74,19	Bod 8 -77,18	Bod 12 0	Bod 16 0	Bod 20 0	Bod 24 -72,83	Bod 28 -64,52
Mapa intenzity signálu – anténa 2 [dBm]						
Bod 1 -68,2	Bod 5 -69,34	Bod 9 -73	Bod 13 -72,94	Bod 17 -70,16	Bod 21 0	Bod 25 -74,93
Bod 2 -69,54	Bod 6 -72,62	Bod 10 0	Bod 14 -73,97	Bod 18 -67,82	Bod 22 -72,94	Bod 26 -73,71
Bod 3 -72,25	Bod 7 0	Bod 11 0	Bod 15 -72,72	Bod 19 -68,59	Bod 23 -70,9	Bod 27 -71,27
Bod 4 -73,92	Bod 8 0	Bod 12 -72,13	Bod 16 -70,26	Bod 20 -66,91	Bod 24 0	Bod 28 -68,82
Mapa intenzity signálu – anténa 3 [dBm]						
Bod 1 -74,23	Bod 5 0	Bod 9 -75,14	Bod 13 -71,42	Bod 17 -70,68	Bod 21 -71,56	Bod 25 -74,24
Bod 2 0	Bod 6 0	Bod 10 0	Bod 14 -73,86	Bod 18 -71,7	Bod 22 -72,58	Bod 26 -74,82
Bod 3 0	Bod 7 0	Bod 11 0	Bod 15 0	Bod 19 0	Bod 23 -75,48	Bod 27 -77,45
Bod 4 -76,08	Bod 8 0	Bod 12 0	Bod 16 0	Bod 20 0	Bod 24 -71,3	Bod 28 -75,05

Analýza Pearsonovy a Spearmanovy korelace mezi anténami 1, 2 a 3 odhaluje, že vztahy mezi těmito anténami jsou buď slabé nebo statisticky nevýznamné, s výjimkou jednoho případu.

Pearsonova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace -0,2783 a p-hodnota 0,151 ukazují na slabou negativní lineární závislost, která však není statisticky významná.
- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace 0,1796 a p-hodnota 0,36 naznačují slabou pozitivní lineární závislost, opět bez statistické významnosti.

- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace 0,2387 a p-hodnota 0,221 indikují slabou pozitivní lineární závislost, která není statisticky významná.

Spearmanova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace -0,0832 a p-hodnota 0,66 naznačují velmi slabou negativní monotónní závislost, která je statisticky nevýznamná.
- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace -0,0748 a p-hodnota 0,703 také ukazují na velmi slabou negativní monotónní závislost, bez statistické významnosti.
- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace 0,4475 a p-hodnota 0,017 odhalují středně silnou pozitivní monotónní závislost, která je jediná statisticky významná v této sestavě.

Z těchto výsledků vyplývá, že jedině vztah mezi anténami 2 a 3 vykazuje statisticky významnou korelaci v kontextu Spearmanovy analýzy, což naznačuje středně silnou pozitivní monotónní závislost mezi signály těchto dvou antén. Tato zjištění naznačují, že většina vztahů mezi anténami je buď slabá nebo statisticky nevýznamná, což poukazuje na to, že signály z těchto antén nejsou silně vzájemně propojeny. Statisticky významná korelace mezi anténami 2 a 3 však může naznačovat specifickou interakci nebo vzájemnou závislost, která by mohla být předmětem dalšího zkoumání pro lepší porozumění dynamice signálů v tomto konkrétním párování.

9.3 Zelený kroužek

Tento RFID tag ve tvaru dutého válce byl na každý měřený bod umístěn podstavcem dolů (obrázek 18). Podobně jako u předchozích měření bylo zásadní, aby tag zůstal během měření natočený stále stejným směrem, aby se zajistila konzistentní orientace vůči všem anténám.



Obrázek 18: Měření na povrchu – Zelený kroužek.

Jak lze vidět v tabulce 4 anténa 2 dosáhla úspěšné detekce tagu ve všech 28 bodech, zatímco antény 1 a 3 zaznamenaly neúspěšné detekce v 6 bodech, což znamená úspěšnou detekci v 22 bodech pro obě tyto antény. Maximální hodnota RSSI pro anténu 1 byla -58,67 dBm v bodě 22, pro anténu 2 byla nejvyšší hodnota -58,55 dBm v bodě 9 a anténa 3 vykázala nejsilnější signál -57,95 dBm v bodě 26. Na základě těchto dat je anténa 2 nejkonstantnější v detekci, zatímco anténa 3 vykazuje nejsilnější signál.

Tabulka 4: Intenzity signálů pro tag zelený kroužek.

Mapa intenzity signálu – anténa 1 [dBm]						
Bod 1 -72,59	Bod 5 -74,68	Bod 9 -78,56	Bod 13 -71,03	Bod 17 -68,37	Bod 21 -65,41	Bod 25 -62,32
Bod 2 -75,36	Bod 6 0	Bod 10 0	Bod 14 -67,32	Bod 18 -61,77	Bod 22 -58,67	Bod 26 -60,59
Bod 3 0	Bod 7 0	Bod 11 0	Bod 15 -65,59	Bod 19 -64,16	Bod 23 -62,17	Bod 27 -66,13
Bod 4 -68,17	Bod 8 0	Bod 12 -67,13	Bod 16 -69,62	Bod 20 -72,77	Bod 24 -66,97	Bod 28 -63,95
Mapa intenzity signálu – anténa 2 [dBm]						
Bod 1 -76	Bod 5 -64,17	Bod 9 -58,55	Bod 13 -62,58	Bod 17 -74,59	Bod 21 -66,18	Bod 25 -61,48
Bod 2 -70,08	Bod 6 -61,46	Bod 10 -59,18	Bod 14 -60,68	Bod 18 -72,88	Bod 22 -65,72	Bod 26 -60,56
Bod 3 -65,1	Bod 7 -63,59	Bod 11 -64,44	Bod 15 -63,63	Bod 19 -72,41	Bod 23 -66,26	Bod 27 -61,46
Bod 4 -64,74	Bod 8 -63,08	Bod 12 -68,37	Bod 16 -67,5	Bod 20 -71,68	Bod 24 -67,3	Bod 28 -61,48
Mapa intenzity signálu – anténa 3 [dBm]						
Bod 1 -68,89	Bod 5 -67,52	Bod 9 -67,72	Bod 13 -71,87	Bod 17 -66,03	Bod 21 -60,3	Bod 25 -58,54
Bod 2 -71,86	Bod 6 -72,26	Bod 10 0	Bod 14 -75,49	Bod 18 -64,74	Bod 22 -59,04	Bod 26 -57,95
Bod 3 0	Bod 7 0	Bod 11 0	Bod 15 -70,19	Bod 19 -64,03	Bod 23 -60,11	Bod 27 -59,1
Bod 4 0	Bod 8 0	Bod 12 -76,45	Bod 16 -70,94	Bod 20 -65,71	Bod 24 -63,26	Bod 28 -60,99

Analýza Pearsonovy a Spearmanovy korelace pro naměřené hodnoty mezi anténami 1, 2 a 3 odhaluje významné rozdíly ve vzájemných vztazích signálů těchto antén. Nejvýraznější a statisticky významný vztah byl zjištěn mezi anténami 1 a 3, což ukazuje na pevnou a stabilní korelaci mezi signály těchto dvou antén.

Pearsonova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace 0,3171 a p-hodnota 0,1 naznačují slabší pozitivní lineární vztah, který však není statisticky významný.

- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace 0,7596 a p-hodnota 0,00000276 výrazně ukazují na silný pozitivní lineární vztah s vysokou statistickou významností.
- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace 0,2616 a p-hodnota 0,179 signalizují slabší pozitivní lineární vztah bez statistické významnosti.

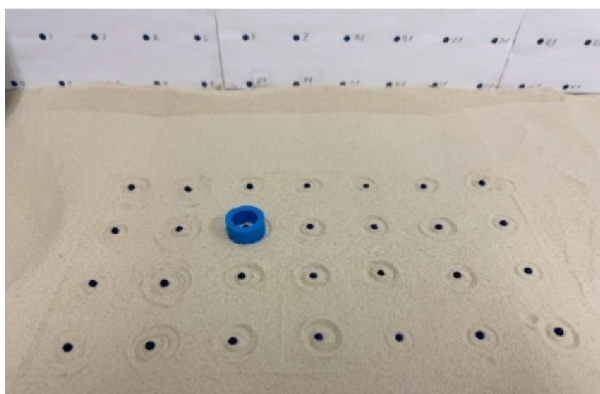
Spearmanova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace 0,2804 a p-hodnota 0,149 naznačují slabší pozitivní monotónní vztah, který rovněž nedosahuje statistické významnosti.
- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace 0,6357 a p-hodnota 0,000278 výrazně ukazují na silný pozitivní monotónní vztah s vysokou statistickou významností.
- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace 0,2068 a p-hodnota 0,294 ukazují na slabý pozitivní monotónní vztah, který je rovněž statisticky nevýznamný.

Z těchto výsledků vyplývá, že vztah mezi anténami 1 a 3 je jediný, který vykazuje jak významnou lineární, tak monotónní korelaci, což naznačuje, že jakékoli změny v signálu antény 1 mají tendenci odpovídat změnám v signálu antény 3. Naopak, vztahy mezi anténami 1 a 2 a mezi anténami 2 a 3 nejsou dostatečně silné, aby bylo možné hovořit o statisticky významné korelaci, což znamená, že signály těchto anténových párů nejsou vzájemně pevně svázané v lineárním nebo monotónním směru.

9.4 Modrý kroužek

Modrý kroužek stejně jako zelený byl rovněž umístěn na povrch písku podstavcem dolů (obrázek 19). I při tomto měření byla klíčová konzistentní orientace vůči všem anténám.



Obrázek 19: Měření na povrchu – Modrý kroužek.

Anténa 1 nezaznamenala tag ve 3 bodech z celkových 28, což znamená úspěšnou detekci v 25 bodech. Anténa 2 a anténa 3 zaznamenaly neúspěšné detekce v 6 bodech, což znamená úspěšnou detekci v 22 bodech pro obě tyto antény. Nejvyšší hodnota RSSI pro anténu 1 byla -63,96 dBm v bodě 22. Pro anténu 2 byla nejvyšší hodnota -64,1 dBm v bodě 5. Anténa 3 měla nejsilnější signál -62,28 dBm v bodě 26. Z tabulky 5 vyplývá, že anténa 1 dosáhla nejvyššího počtu detekcí, zatímco anténa 3 vykázala nejsilnější signál.

Tabulka 5: Intenzity signálů pro tag modrý kroužek.

Mapa intenzity signálu – anténa 1 [dBm]						
Bod 1 -79,49	Bod 5 -79,75	Bod 9 -75,78	Bod 13 -73,9	Bod 17 -72,98	Bod 21 -66,29	Bod 25 -64,51
Bod 2 -78,84	Bod 6 -77,18	Bod 10 -74,79	Bod 14 -70,49	Bod 18 -65,4	Bod 22 -63,96	Bod 26 -64,66
Bod 3 -71,5	Bod 7 0	Bod 11 -70,13	Bod 15 -72,94	Bod 19 -70,55	Bod 23 -70,24	Bod 27 -66,81
Bod 4 0	Bod 8 0	Bod 12 -74,62	Bod 16 -78,56	Bod 20 -71,69	Bod 24 -67,67	Bod 28 -64,37
Mapa intenzity signálu – anténa 2 [dBm]						
Bod 1 -69,66	Bod 5 -64,1	Bod 9 -65,09	Bod 13 -73,59	Bod 17 -73,49	Bod 21 -65,55	Bod 25 -65,34
Bod 2 -71,03	Bod 6 -65,63	Bod 10 -65,97	Bod 14 -73,27	Bod 18 0	Bod 22 -68,11	Bod 26 -67,48
Bod 3 -71,24	Bod 7 -70,84	Bod 11 -73	Bod 15 0	Bod 19 0	Bod 23 -71,63	Bod 27 -72,53
Bod 4 -67,03	Bod 8 -69,98	Bod 12 0	Bod 16 0	Bod 20 0	Bod 24 -73,81	Bod 28 -75,6
Mapa intenzity signálu – anténa 3 [dBm]						
Bod 1 -68,27	Bod 5 -67,65	Bod 9 -70,19	Bod 13 -71	Bod 17 -67,09	Bod 21 -63,12	Bod 25 -62,47
Bod 2 -72,76	Bod 6 -74,39	Bod 10 -77,18	Bod 14 -73,68	Bod 18 -65,89	Bod 22 -62,29	Bod 26 -62,28
Bod 3 0	Bod 7 0	Bod 11 0	Bod 15 -73,81	Bod 19 -67,26	Bod 23 -64,75	Bod 27 -64,5
Bod 4 0	Bod 8 0	Bod 12 0	Bod 16 -74,55	Bod 20 -70,9	Bod 24 -67,01	Bod 28 -65,52

Analýza Pearsonovy a Spearmanovy korelace mezi anténami 1, 2 a 3 odhaluje, že nejvýznamnější vztah je mezi anténami 1 a 3, což ukazuje na silnou a konzistentní závislost mezi signály těchto dvou antén. Ostatní kombinace antén nevykazují statisticky významné vztahy.

Pearsonova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace = -0,1936, p-hodnota = 0,323, což neukazuje na statistickou významnost.

- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace = 0,6561, p-hodnota = 0,00015, což potvrzuje významný pozitivní vztah.
- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace = -0,1006, p-hodnota = 0,61, což rovněž nenaznačuje statistickou významnost.

Spearmanova korelace:

- Mezi anténami 1 a 2: Míra korelace = -0,2388, p-hodnota = 0,221, opět bez statistické významnosti.
- Mezi anténami 1 a 3: Míra korelace = 0,6991, p-hodnota = 0,0000349, což jasně ukazuje na silnou a statisticky významnou korelaci.
- Mezi anténami 2 a 3: Míra korelace = -0,1842, p-hodnota = 0,348, bez náznaku statistické významnosti.

Vztah mezi anténami 1 a 3, který vykazuje silnou a statisticky významnou korelaci, naznačuje, že změny v signálu jedné antény jsou spojeny se změnami v signálu druhé antény. Tato silná korelace znamená, že když signál z antény 1 roste nebo klesá, signál z antény 3 se bude pravděpodobně chovat podobně. Na druhé straně, absence statisticky významné korelace mezi anténami 1 a 2 a mezi anténami 2 a 3 naznačuje, že mezi těmito páry antén neexistuje silná nebo konzistentní vzájemná závislost. Tento nedostatek významné korelace může znamenat, že signály z těchto antén jsou ovlivněny různými faktory, nebo že jakékoliv souvislosti mezi těmito signály jsou slabé nebo náhodné.

10 Měření RSSI v závislosti na hloubce

Tento experiment byl navržen s cílem prozkoumat, jaký vliv má hloubka zahrabání tagů do písku s nízkou vlhkostí na efektivitu detekce a komunikace čtečky s tagy, a to zejména v kontextu změn síly signálu.

Měření probíhalo v sériích, přičemž každá série začala umístěním RFID tagu na povrchu písku a následně postupným zahrabáváním do hloubek 20 mm, 40 mm, 80 mm, 120 mm a 150 mm. Každá hloubka byla měřena 30 sekund a naměřené hodnoty byly poté zprůměrovány. Tento postup umožnil systematicky zaznamenat, jak se síla signálu mění s rostoucí hloubkou zahrabání. Použitím písku ve žlabu s velmi malou vlhkostí se eliminují

možné vlivy vody na šíření signálu, které by sílu signálu utlumovaly. Tímto způsobem bylo možné změřit pouze vliv hloubky.

10.1 H86-S91-T200

Na povrch byl tag H86-S91-T200 umístěn skleněnou plochou na písek (obrázek 20) a při postupném zahlubování byla tato orientace zachovávána.



Obrázek 20: H86-S91-T200 na povrchu.

Síla signálu pro tag H86-S91-T200 spolu s počtem načtení jsou podrobně prezentovány v tabulce 6. Ukazují na relativně konzistentní výkon až do hloubky 80 mm pro všechny antény. Síla signálu a počet načtení v těchto hloubkách se mírně liší, ale nevykazují velké změny, což naznačuje, že systém má stabilní schopnost detekce tagu v menších hloubkách. Ve 120 mm hloubce však došlo k výrazným změnám. Anténa 1 zaznamenala značné zlepšení síly signálu, což je doprovázeno poklesem v počtu načtení na pouhé 2. Tento rozpor může naznačovat specifickou situaci nebo možnou anomálii v měření nebo prostředí. Anténa 2 a anténa 3 obě vykazují pokles síly signálu ve srovnání s předchozími hloubkami, s anténou 2, která dosáhla výraznějšího poklesu.

Tabulka 6: Zahrabávání – H86-S91-T200.

Úroveň zahrabání	Anténa	Průměrné RSSI [dBm]	Počet načtení tagu za 30 sekund
na povrchu	1	-67,38	252
na povrchu	2	-66,56	246
na povrchu	3	-63,23	243
-20 mm	1	-65,81	253
-20 mm	2	-64,77	256
-20 mm	3	-64,25	253

-40 mm	1	-64,13	264
-40 mm	2	-66,35	264
-40 mm	3	-66,67	267
-80 mm	1	-64,63	263
-80 mm	2	-67,87	263
-80 mm	3	-64,10	268
-120 mm	1	-55,00	2
-120 mm	2	-70,22	236
-120 mm	3	-67,39	275
-150 mm	1	-55,08	252
-150 mm	2	-72,57	229
-150 mm	3	-69,19	223

10.2 TG-RFID-IT-H3E

Tento tag byl pro účely tohoto experimentu umístěn na povrch spodní plochou, na rozdíl od měření v prostorové mřížce, kdy byl tag natočen o 90°, jak je zřejmé z obrázku 21.



Obrázek 21: TG-RFID-IT-H3E na povrchu.

Z provedeného vyhodnocení dat je patrné, že chování síly signálu v závislosti na hloubce zahrabání TG-RFID-IT-H3E tagu projevuje značnou variabilitu (tabulka 7), která je specifická pro každou z antén. Na povrchu byly signály slabší pro všechny antény, ale významné zlepšení bylo zaznamenáno již v hloubce 20 mm. Toto zlepšení však nebylo udržitelné s dalšími hloubkami, kde anténa 1 projevila variabilitu, postupně zhoršující se do hloubky 80 mm, poté následovalo zlepšení ve 120 mm a další zlepšení ve 150 mm. Zatímco anténa 2 se zhoršovala s každou hloubkou až do 120 mm, kde zaznamenala nejslabší signál, ve 150 mm hloubce bylo zjištěno zlepšení. Anténa 3 ukázala zlepšení ve 120 mm hloubce ve srovnání s 80 mm, avšak ve 150 mm hloubce se její síla signálu opět zhoršila, což naznačuje variabilitu v reakci této antény na změny hloubky tagu. Pokles v počtu načtení

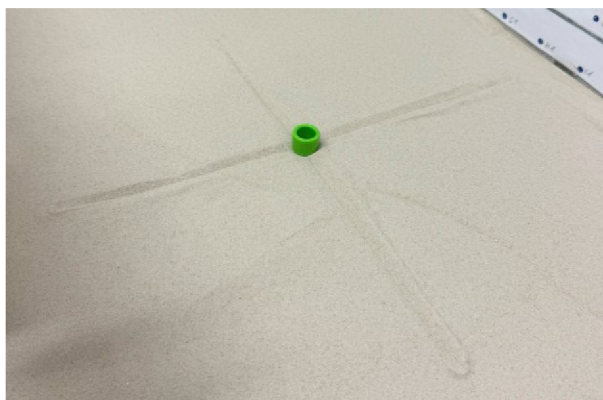
tagů ve 120 mm hloubce u antény 2 a 3 zdůrazňuje specifické výzvy při detekci tagů v této hloubce. Zlepšení počtu načtení ve 150 mm hloubce pak ukazuje na obnovu detekční schopnosti systému i v těchto hloubkách.

Tabulka 7: Zahrabávání – TG-RFID-IT-H3E.

Úroveň zahrabání	Anténa	Průměr RSSI [dBm]	Počet načtení tagu za 30 sekund
na povrchu	1	-76,11	255
na povrchu	2	-69,49	262
na povrchu	3	-71,69	257
-20 mm	1	-59,02	246
-20 mm	2	-62,51	249
-20 mm	3	-59,64	253
-40 mm	1	-66,68	250
-40 mm	2	-64,75	253
-40 mm	3	-59,44	250
-80 mm	1	-68,93	254
-80 mm	2	-69,52	254
-80 mm	3	-68,78	254
-120 mm	1	-57,52	221
-120 mm	2	-75,40	107
-120 mm	3	-64,92	119
-150 mm	1	-56,92	228
-150 mm	2	-66,46	228
-150 mm	3	-68,76	227

10.3 Zelený kroužek

Zelený kroužek byl na povrch umístěn podle stejného principu, jaký byl použit při měření v prostorové mřížce, což dokládá obrázek 22. Při zahlubování byla tato orientace zachována.



Obrázek 22: Zelený kroužek na povrchu.

Z analýzy naměřených dat, jak je ilustrováno v tabulce 8 vyplývá, že dynamika změny kvality signálu s hloubkou zahrabání tagů se liší v závislosti na konkrétní anténě. U antény

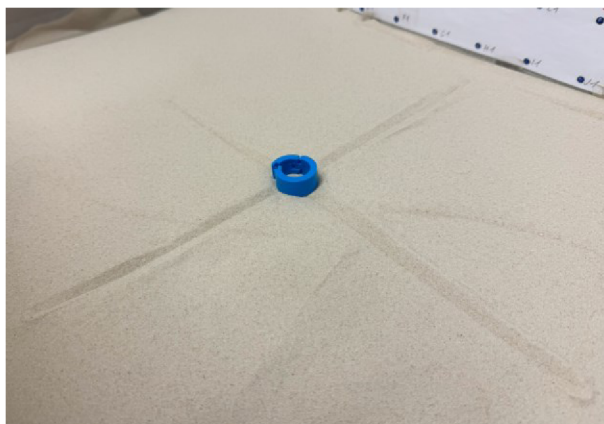
1 bylo zaznamenáno postupné zlepšení signálu s každou hloubkou, s výjimkou hloubky 150 mm, kde došlo ke zhoršení signálu. Na druhé straně, antény 2 a 3 vykazují většinou zhoršující se signál s rostoucí hloubkou zahrabání, avšak s výjimkou na hloubce 120 mm, kde je zaznamenáno zlepšení signálu ve srovnání s hloubkou 80 mm. Tento nesourodý trend mezi anténami poukazuje na složitost vlivů prostředí a interakce signálu s různými materiály, které mohou signál ovlivňovat rozdílnými způsoby. Je také možné, že orientace tagu vzhledem k anténám mohla ovlivnit změny v kvalitě signálu, což by mohlo vysvětlovat nekonzistentní výsledky mezi různými anténami a hloubkami. Počty načtení tagů za 30 sekund zůstávají pro všechny antény vysoké ve všech hloubkách, což svědčí o zachované schopnosti efektivně detekovat RFID tagy, i když se mění síla signálu.

Tabulka 8: Zahrabávání – zelený kroužek.

Úroveň zahrabání	Anténa	Průměr RSSI [dBm]	Počet načtení tagu za 30 sekund
na povrchu	1	-67,96	267
na povrchu	2	-58,70	270
na povrchu	3	-57,53	269
-20 mm	1	-63,75	249
-20 mm	2	-64,69	249
-20 mm	3	-63,57	246
-40 mm	1	-58,57	249
-40 mm	2	-68,80	243
-40 mm	3	-62,57	246
-80 mm	1	-56,59	263
-80 mm	2	-72,89	169
-80 mm	3	-71,81	170
-120 mm	1	-51,02	256
-120 mm	2	-69,91	255
-120 mm	3	-68,57	256
-150 mm	1	-64,20	265
-150 mm	2	-72,12	254
-150 mm	3	-74,25	256

10.4 Modrý kroužek

Podobným způsobem jako zelený, byl i modrý kroužek umístěn na povrchu, což je zaznamenáno na obrázku 23 a podobně jako u všech byla při zahlubování tato orientace zachována.



Obrázek 23: Modrý kroužek na povrchu.

Z naměřených dat lze konstatovat, že průměrné hodnoty RSSI na povrchu jsou horší ve srovnání s hodnotami zaznamenanými v hloubce, kde bylo pozorováno zlepšení signálu. Tento trend byl zaznamenán napříč všemi anténami s nejvýraznějším zlepšením u antény 1, jak lze poznat z tabulky 9. U antén 2 a 3 jsou zaznamenány variabilní výsledky, s některými hloubkami ukazujícími zlepšení signálu a jinými zhoršení, což ukazuje na rozdílnou interakci signálu s prostředím. Možné ovlivnění materiály nebo orientací tagů může mít vliv na výsledky v různých hloubkách.

Tabulka 9: Zahrabávání – modrý kroužek.

Úroveň zahrabání	Anténa	Průměr RSSI [dBm]	Počet načtení tagu za 30 sekund
na povrchu	1	-73,45	262
na povrchu	2	-63,82	260
na povrchu	3	-62,62	259
-20 mm	1	-55,68	274
-20 mm	2	-50,72	271
-20 mm	3	-43,26	268
-40 mm	1	-43,16	280
-40 mm	2	-48,64	277
-40 mm	3	-47,27	272
-80 mm	1	-41,03	275
-80 mm	2	-62,21	277
-80 mm	3	-52,14	277
-120 mm	1	-40,00	272
-120 mm	2	-62,92	278
-120 mm	3	-57,99	278
-150 mm	1	-35,27	276
-150 mm	2	-43,43	276
-150 mm	3	-42,74	272

Všechny antény vykazují vysoké počty načtení tagů za 30 sekund ve všech hloubkách, což potvrzuje, že systém je schopen efektivně detekovat tagy bez ohledu na hloubku zahrabání v písku. Zlepšení průměrných hodnot RSSI spolu s udržením vysokého počtu načtení naznačuje, že detekční schopnost systému není omezena vzdáleností mezi anténou a tagem až do hloubky 150 mm.

11 Zhodnocení

Výsledky experimentálních měření demonstrují značnou složitost spojenou s trasováním a určením přesné pozice tagu v prostoru. Naměřené hodnoty RSSI vykazují významnou fluktuaci, způsobenou řadou faktorů. Tyto variace v signálu komplikují proces určování polohy.

- **Specifičnost tagů:** Jednotlivé RFID tagy se vyznačují unikátními charakteristikami, které ovlivňují jejich reakci na RFID dotazy. Tato variabilita mezi tagy představuje významnou výzvu pro standardizaci měřících metod. Efektivní aplikace těchto technologií vyžaduje buďto použití pouze tagů stejného typu od stejného výrobce nebo přizpůsobení kalibračních procedur tak, aby odrážely specifické odezvy jednotlivých tagů.
- **Vliv orientace a polohy tagu:** Vzhledem k tomu, že RFID technologie často vyžaduje, aby tag byl orientován k anténě správným způsobem pro optimální přenos signálu, může se i malá změna v poloze tagu projevit jako pokles nebo nárůst naměřené intenzity signálu. Orientace RFID tagu má výrazný vliv na sílu signálu, kterou zaznamenávaly antény. Pokud došlo během měření k natočení tagu, způsobilo to značné rozdíly ve změřených hodnotách RSSI i když byla měřena stejná poloha. Tento faktor vyžaduje důkladné zohlednění při navrhování a kalibraci systémů pro určování polohy, zahrnující potenciální potřebu omezení na určité aplikace nebo specifikace pro umístění tagů, aby bylo dosaženo optimálních výsledků. Pokud tedy byl tag natočen různě při měření, může to vysvětlovat některé nesrovnalosti ve výsledcích, jako jsou nečekaně silné nebo slabé signály v některých bodech, nebo dokonce mrtvé zóny, kde tag nebyl zaznamenán vůbec, ačkoliv se v těchto oblastech nacházely.
- **Problémy s malými vzdálenostmi a fluktuací signálu:** Blízké rozestupy mezi měřícími body a variability signálu, ovlivněné faktory jako jsou rušení, multipath efekty a vzájemné ovlivňování signálů, komplikují dosažení vysoké přesnosti určení polohy. Tyto výzvy naznačují potřebu implementace sofistikovanějších metod zpracování signálu a možného vývoje alternativních přístupů k lokalizaci.

- **Dopady environmentálních faktorů:** Environmentální faktory, včetně elektromagnetického rušení a efektů způsobených odrazy signálů, významně ovlivňují kvalitu a přesnost RSSI měření. Identifikace a minimalizace těchto faktorů je klíčová pro zlepšení přesnosti určování polohy.

12 Závěr

Bylo zjištěno, že RFID poskytuje významné výhody pro sledování na širší úrovni, například při monitorování pohybu objektů mezi místnostmi, stanovišti nebo v logistice, kde je zapotřebí efektivní a spolehlivé trasování zásilek na delší vzdálenosti. Takové aplikace využívají robustnost a flexibilitu RFID k efektivnímu trasování bez potřeby vizuálního kontaktu mezi tagem a čtečkou, což je výhodou oproti technologiím jako jsou čárové kódy. RFID systémy jsou ideální pro sledování větších prostorových pohybů a nabízejí rychlé a automatické zaznamenávání přítomnosti objektů, což přináší značné zjednodušení a zefektivnění logistických a skladových operací.

Na druhou stranu hlavní zjištění práce ukázaly, že přesné určování polohy pomocí RSSI je komplexní výzva, která vyžaduje pečlivou kalibraci a zohlednění množství proměnných, jak bylo uvedeno v závěru. Experimenty "Měření RSSI v prostorové mřížce na povrchu" a "Měření RSSI v závislosti na hloubce" ukázaly, že určování polohy objektů s vysokou přesností na malém prostorovém měřítku představuje značnou výzvu. Variabilita signálů ovlivněná mnoha faktory včetně specifčnosti tagů, jejich orientace, a environmentálních podmínek, komplikuje dosažení přesných a spolehlivých výsledků. Tyto zjištěné komplikace naznačují, že přestože RFID technologie nabízí obrovský potenciál pro sledování pohybu a identifikaci objektů na větší vzdálenosti, její aplikace pro detailní lokalizační účely v malých měřících vyžaduje další výzkum a vývoj pokročilých metod zpracování signálu.

13 Seznam použitých zdrojů

- [1] „A Guide to RFID Technology in Supply Chain and Logistics | CYBRA". Viděno: 29. únor 2024. [Online]. Dostupné z: <https://cybra.com/a-guide-to-rfid-technology-in-supply-chain-and-logistics/>
- [2] N. Kasiri a N. Kasiri, „RFID Applications in Retail", *Electromagnetic Wave Propagation for Industry and Biomedical Applications*, led. 2021, doi: 10.5772/INTECHOPEN.95787.
- [3] „RFID transpondéry – pohled pod kůži". Viděno: 28. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/clanky/id:10415/rfid-transpondery-pohled-pod-kuzi>
- [4] M. A. El Khaddar *et al.*, „RFID Middleware Design and Architecture", *Designing and Deploying RFID Applications*, čer. 2011, doi: 10.5772/16917.
- [5] „(PDF) THE RFID TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS: A REVIEW". Viděno: 13. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/232575248_THE_RFID_TECHNOLOGY_AND_ITS_APPLICATIONS_A_REVIEW
- [6] „How Does RFID Reader Work | Robots.net". Viděno: 29. únor 2024. [Online]. Dostupné z: <https://robots.net/tech/how-does-rfid-reader-work/>
- [7] „3. Types of RFID - PolyGAIT - Cal Poly, San Luis Obispo". Viděno: 10. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://polygait.calpoly.edu/what-rfid/types-of-rfid>
- [8] „RFID Tag Types: Definition, Comparison, & Applications - RFID Card". Viděno: 10. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.rfidcard.com/rfid-tag-types-definition-comparison-applications/>
- [9] „Types of Memory in RFID Tags - atlasRFIDstore". Viděno: 21. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/types-of-memory-in-gen-2-uhf-rfid-tags/>

- [10] „RFID Tag Memory Types: RFID Data Encoding and Storage". Viděno: 21. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.encstore.com/blog/5514-rfid-tag-memory-types-rfid-data-encoding-and-storage>
- [11] „RSSI's Role in RFID - atlasRFIDstore". Viděno: 10. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/rssi-role-rfid/>
- [12] „Applying RSSI filters for optimal RFID performance: Read the expert guide". Viděno: 10. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.nordicid.com/resources/blog/applying-rssi-filters-for-optimal-rfid-performance/>
- [13] „RFID - technologie pro internet věcí". Viděno: 17. prosinec 2023. [Online]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=rfid-technologie-pro-internet-veci&cislocclanku=2009020001>
- [14] „RFID Frequency Ranges –How to Choose the Right Frequency & Tag - Assetpulse Blog". Viděno: 29. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.assetpulse.com/blog/rfid-frequency-ranges/>
- [15] „Understanding choosing RFID tag based on the tag frequency". Viděno: 29. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://rfid4u.com/rfid-frequency/>
- [16] V. Coskun, B. Ozdenizci, a K. Ok, „The Survey on Near Field Communication", *Sensors (Basel)*, roč. 15, č. 6, s. 13348, čer. 2015, doi: 10.3390/S150613348.
- [17] „Barcode vs QR Code vs RFID vs NFC vs BLE vs GPS: Which One Is Better?" Viděno: 3. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.assetinfinity.com/blog/asset-tracking-technologies>
- [18] „RFID vs. BLE: Unraveling the Battle of Two Cutting-Edge Technologies | CYBRA". Viděno: 29. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://cybra.com/rfid-vs-ble/>

- [19] „Wi-Fi Tracking | Location Tracking Using WiFi by Navigine". Viděno: 29. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://navigine.com/blog/wi-fi-asset-and-object-indoor-tracking/>
- [20] „WiFi Location Tracking: Is It The Right Technology For Your Application? | Blog | Link Labs". Viděno: 29. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.link-labs.com/blog/wifi-location-tracking>
- [21] „What Is GPS & How do Global Positioning Systems Work? | Geotab". Viděno: 29. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.geotab.com/blog/what-is-gps/>
- [22] „View of COMPARATIVE STUDY OF BARCODE, QR-CODE AND RFID SYSTEM IN LIBRARY ENVIRONMENT". Viděno: 29. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://science.eurekajournals.com/index.php/IJARLIS/article/view/12/120>
- [23] „UHF RFID tag do 200°C - ShopID". Viděno: 28. únor 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.shopid.cz/uhf-rfid-tag-do-200-c-p4338/>
- [24] „34mm Industry Tag (Metal)", Viděno: 3. březen 2024. [Online]. Dostupné z: [https://eshop.sectron.cz/UserFiles/File/TG-RFID-IT-H3E_Industry%20tag%2034mm%20\(Higgs-3\)_datasheet1.pdf](https://eshop.sectron.cz/UserFiles/File/TG-RFID-IT-H3E_Industry%20tag%2034mm%20(Higgs-3)_datasheet1.pdf)
- [25] „Nožní kroužek UHF pro sledování hospodářských zvířat RFID Tag". Viděno: 29. únor 2024. [Online]. Dostupné z: <https://gaorfid.com/cs/product/uhf-foot-ring-rfid-tag/>
- [26] „UHF 860-960 MHz RFID kroužkový štítek pro drůbež". Viděno: 28. únor 2024. [Online]. Dostupné z: <https://gaorfid.com/cs/product/uhf-860-960-mhz-rfid-poultry-foot-ring-tag/>
- [27] „UHF 860-960 MHz RFID Poultry Foot Ring Tag". Viděno: 28. únor 2024. [Online]. Dostupné z: <https://gaorfid.com/product/uhf-860-960-mhz-rfid-poultry-foot-ring-tag/>

- [28] „Čtecí modul Chainway UR4 UHF RFID 4 kanálový - ShopID". Viděno: 21. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.shopid.cz/cteci-modul-chainway-ur4-uhf-rfid-4-kanalovy-p4461/>
- [29] „5dBi RFID UHF anténa - ShopID". Viděno: 3. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.shopid.cz/5dbi-rfid-uhf-antena-p4463/?cid=278>
- [30] „Multipath Fading — PySDR: A Guide to SDR and DSP using Python". Viděno: 31. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://pysdr.org/content/multipath_fading.html
- [31] „RFID Chips - Vintage Computer Chip Collectibles, Memorabilia & Jewelry". Viděno: 9. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.chipsetc.com/rfid-chips.html>

14 Seznam obrázků

Obrázek 1: Základní schéma komunikace RFID. [3]	8
Obrázek 2: Pasivní RFID tag. [31]	9
Obrázek 3: Frekvence používané různými aplikacemi RFID. [13]	12
Obrázek 4: H86-S91-T200. [23]	18
Obrázek 5: Rozměry TG-RFID-IT-H3E. [24]	19
Obrázek 6: Zelený kroužek.	19
Obrázek 7: Modrý kroužek. [27]	20
Obrázek 8: Čtecí modul Chainway UR4 UHF RFID. [28]	21
Obrázek 9: Model žlabu.	22
Obrázek 10: Půdní žlab.	23
Obrázek 11: Nákras žlabu s anténami (pohled seshora).	24
Obrázek 12: Nákras žlabu s anténami (pohled ze strany).	24
Obrázek 13: Nákras žlabu s body (pohled seshora).	25
Obrázek 14: Měření na povrchu – H86-S91-T200.	25
Obrázek 15 a 16: Měření na povrchu (první) – TG-RFID-IT-H3E.	27
Obrázek 17: Měření na povrchu (druhé) – TG-RFID-IT-H3E.	29
Obrázek 18: Měření na povrchu – Zelený kroužek.	31
Obrázek 19: Měření na povrchu – Modrý kroužek.	33
Obrázek 20: H86-S91-T200 na povrchu.	36
Obrázek 21: TG-RFID-IT-H3E na povrchu.	37
Obrázek 22: Zelený kroužek na povrchu.	38
Obrázek 23: Modrý kroužek na povrchu.	40

15 Seznam tabulek

Tabulka 1: Intenzity signálů tagu H86-S91-T200.....	26
Tabulka 2: Intenzity signálů pro tag TG-RFID-IT-H3E (první měření).....	28
Tabulka 3: Intenzity signálů pro tag TG-RFID-IT-H3E (druhé měření).	30
Tabulka 4: Intenzity signálů pro tag zelený kroužek.	32
Tabulka 5: Intenzity signálů pro tag modrý kroužek.	34
Tabulka 6: Zahrabávání H86-S91-T200.	36
Tabulka 7: Zahrabávání TG-RFID-IT-H3E.	38
Tabulka 8: Zahrabávání zelený kroužek.	39
Tabulka 9: Zahrabávání modrý kroužek.	40

16 Přílohy

Příloha 1: Data z měření na povrchu – H86-S91-T200.

Bod	Prům. RSSI ant 1 [dBm]	Počet načtení tagu ant 1	Prům. RSSI ant 2 [dBm]	Počet načtení tagu ant 2	Prům. RSSI ant 3 [dBm]	Počet načtení tagu ant 3
1	0,00	0	0,00	0	-71,26	336
2	0,00	0	-66,15	336	-69,37	349
3	-72,25	320	0,00	0	0,00	0
4	-64,76	331	0,00	0	0,00	0
5	0,00	0	-64,34	294	-74,39	246
6	0,00	0	-72,61	202	0,00	0
7	0,00	0	0,00	0	0,00	0
8	-65,42	345	0,00	0	0,00	0
9	-72,70	10	-65,34	395	0,00	0
10	0,00	0	-69,12	344	0,00	0
11	-69,64	243	-74,21	38	0,00	0
12	-66,11	331	0,00	0	0,00	0
13	-67,37	381	0,00	0	-74,88	163
14	0,00	0	-66,74	388	0,00	0
15	-65,93	350	-66,70	375	-72,60	354
16	-64,39	323	0,00	0	0,00	0
17	-71,83	344	-66,91	364	-65,24	354
18	-64,27	380	0,00	0	-67,70	362
19	-65,46	408	0,00	0	-68,26	356
20	-60,90	314	-72,95	164	-75,60	207
21	-65,39	342	-59,12	356	-58,70	345
22	-60,74	357	-64,76	371	-59,56	357
23	-65,51	382	-67,35	393	-60,17	384
24	-59,85	393	0,00	0	-72,77	266
25	-61,96	333	-60,75	345	-57,92	343
26	-61,36	360	-61,70	363	-58,59	362
27	-70,58	383	-64,45	398	-59,39	393
28	-62,35	366	-65,38	364	-60,83	374

Příloha 2: Data z měření na povrchu – Kroužek 34 mm (natočen směrem anténa 1).

Bod	Prům. RSSI ant 1 [dBm]	Počet načtení tagu ant 1	Prům. RSSI ant 2 [dBm]	Počet načtení tagu ant 2	Prům. RSSI ant 3 [dBm]	Počet načtení tagu ant 3
1	-70,40	375	0,00	0	-71,99	218
2	-68,04	361	0,00	0	-74,83	297
3	-66,98	287	0,00	0	0,00	0
4	0,00	0	-70,04	452	0,00	0
5	-72,36	325	0,00	0	0,00	0
6	-69,46	310	-73,87	124	-71,17	184
7	0,00	0	-69,61	406	0,00	0
8	0,00	0	-65,10	448	0,00	0
9	-74,93	341	0,00	0	0,00	0
10	-71,32	315	-68,78	362	-70,18	334
11	-70,81	16	-69,63	400	0,00	0
12	0,00	0	-65,52	430	0,00	0
13	-74,89	339	-69,00	366	-67,36	352
14	-71,52	299	-68,22	352	-70,98	324
15	-74,72	261	-72,11	358	-75,26	278
16	-74,07	15	-71,81	419	0,00	0
17	-72,33	396	0,00	0	-67,56	365
18	-68,88	345	-74,29	7	-71,50	231
19	-75,32	362	-74,14	7	-73,37	323
20	-68,91	399	0,00	0	-71,25	337
21	-68,03	328	-70,37	367	-70,32	340
22	-66,63	371	0,00	0	-70,68	300
23	-73,06	393	0,00	0	-69,38	376
24	-67,60	388	-71,69	398	-67,62	390
25	-64,00	324	-65,22	357	-69,84	325
26	-64,46	346	-69,66	357	-68,50	342
27	-70,29	371	-74,00	7	-68,02	348
28	-68,31	385	-70,99	386	-66,05	389

Příloha 3: Data z měření na povrchu – Kroužek 34 mm (natočen směrem anténa 2).

Bod	Prům. RSSI ant 1 [dBm]	Počet načtení tagu ant 1	Prům. RSSI ant 2 [dBm]	Počet načtení tagu ant 2	Prům. RSSI ant 3 [dBm]	Počet načtení tagu ant 3
1	-75,56	289	-68,20	344	-74,23	314
2	-71,69	13	-69,54	353	0,00	0
3	-70,53	40	-72,25	295	0,00	0
4	-74,19	216	-73,92	50	-76,08	38
5	0,00	0	-69,34	389	0,00	0
6	-74,29	35	-72,62	300	0,00	0
7	-71,43	279	0,00	0	0,00	0
8	-77,18	185	0,00	0	0,00	0
9	-75,06	296	-73,00	39	-75,14	150
10	-75,58	265	0,00	0	0,00	0
11	-70,98	304	0,00	0	0,00	0
12	0,00	0	-72,13	258	0,00	0
13	-74,36	280	-72,94	243	-71,42	255
14	0,00	0	-73,97	71	-73,86	186
15	-75,21	52	-72,72	327	0,00	0
16	0,00	0	-70,26	395	0,00	0
17	-74,36	303	-70,16	337	-70,68	311
18	0,00	0	-67,82	111	-71,70	322
19	-68,60	10	-68,59	396	0,00	0
20	0,00	0	-66,91	394	0,00	0
21	-70,10	353	0,00	0	-71,56	261
22	-71,91	288	-72,94	229	-72,58	249
23	-63,94	169	-70,90	317	-75,48	149
24	-72,83	338	0,00	0	-71,30	208
25	-68,51	317	-74,93	15	-74,24	113
26	-67,86	278	-73,71	129	-74,82	152
27	-60,83	29	-71,27	358	-77,45	11
28	-64,52	287	-68,82	355	-75,05	293

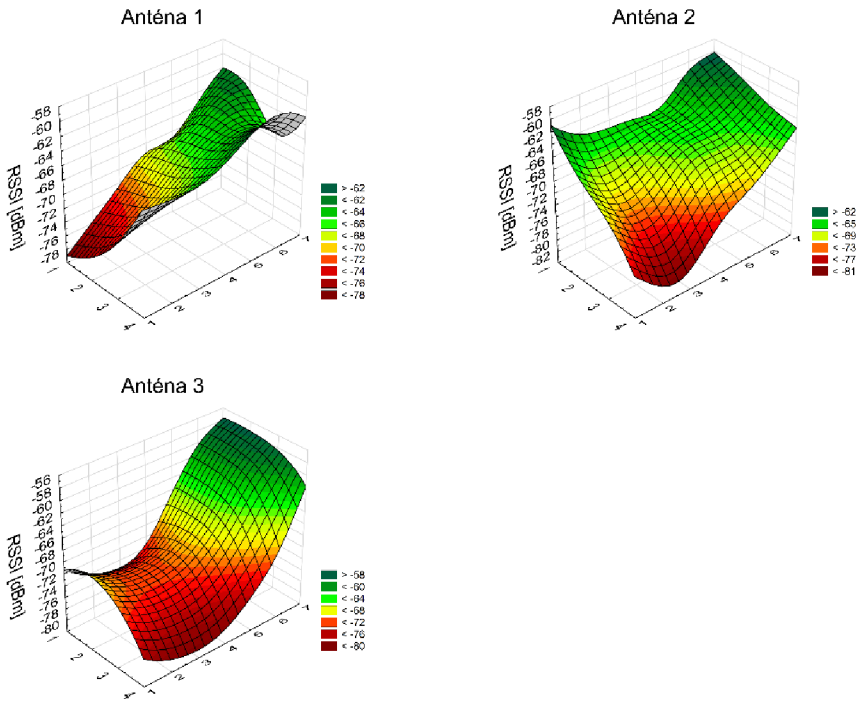
Příloha 4: Data z měření na povrchu – zelený kroužek.

Bod	Prům. RSSI ant 1 [dBm]	Počet načtení tagu ant 1	Prům. RSSI ant 2 [dBm]	Počet načtení tagu ant 2	Prům. RSSI ant 3 [dBm]	Počet načtení tagu ant 3
1	-72,59	319	-76,00	21	-68,89	66
2	-75,36	306	-70,08	343	-71,86	313
3	0	0	-65,10	381	0	0
4	-68,17	6	-64,74	369	0	0
5	-74,68	307	-64,17	329	-67,52	322
6	0	0	-61,46	136	-72,26	299
7	0	0	-63,59	361	0	0
8	0	0	-63,08	389	0	0
9	-78,56	216	-58,55	296	-67,72	313
10	0	0	-59,18	382	0	0
11	0	0	-64,44	393	0	0
12	-67,13	78	-68,37	314	-76,45	69
13	-71,03	309	-62,58	346	-71,87	321
14	-67,32	165	-60,68	338	-75,49	160
15	-65,59	329	-63,63	350	-70,19	337
16	-69,62	317	-67,50	346	-70,94	327
17	-68,37	305	-74,59	34	-66,03	276
18	-61,77	333	-72,88	300	-64,74	313
19	-64,16	329	-72,41	324	-64,03	320
20	-72,77	323	-71,68	340	-65,71	337
21	-65,41	335	-66,18	355	-60,30	348
22	-58,67	332	-65,72	355	-59,04	343
23	-62,17	324	-66,26	345	-60,11	336
24	-66,97	333	-67,30	342	-63,26	339
25	-62,32	310	-61,48	351	-58,54	335
26	-60,59	327	-60,56	350	-57,95	325
27	-66,13	338	-61,46	351	-59,10	341
28	-63,95	323	-61,48	336	-60,99	329

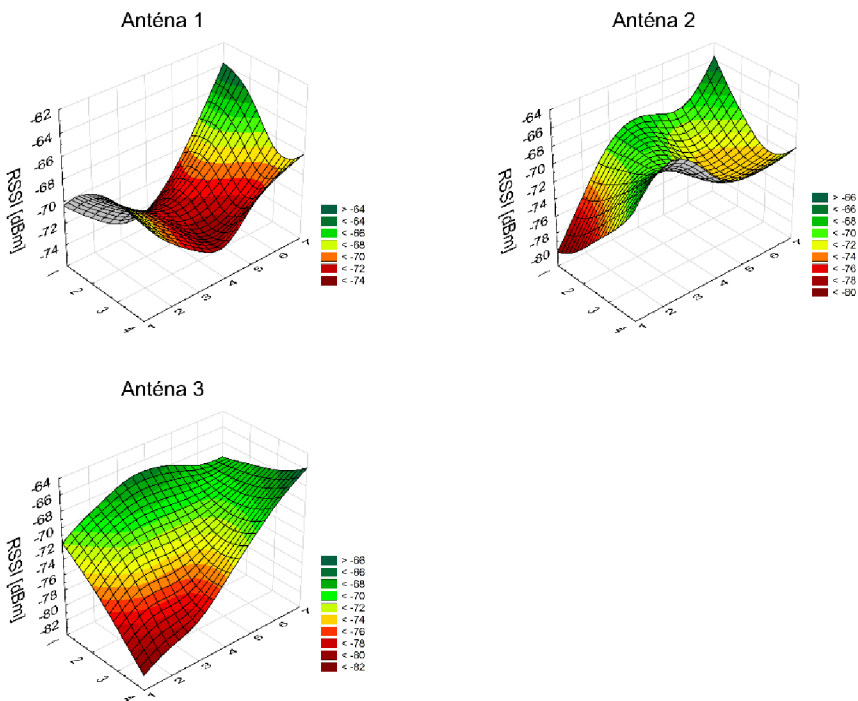
Příloha 5: Data z měření na povrchu – modrý kroužek.

Bod	Prům. RSSI ant 1 [dBm]	Počet načtení tagu ant 1	Prům. RSSI ant 2 [dBm]	Počet načtení tagu ant 2	Prům. RSSI ant 3 [dBm]	Počet načtení tagu ant 3
1	-79,49	80	-69,66	262	-68,27	288
2	-78,84	100	-71,03	145	-72,76	319
3	-71,50	2	-71,24	345	0,00	0
4	0	0	-67,03	344	0,00	0
5	-79,75	4	-64,10	111	-67,65	314
6	-77,18	285	-65,63	332	-74,39	313
7	0	0	-70,84	380	0,00	0
8	0	0	-69,98	386	0,00	0
9	-75,78	321	-65,09	330	-70,19	325
10	-74,79	43	-65,97	327	-77,18	38
11	-70,13	16	-73,00	341	0,00	0
12	-74,62	298	0,00	0	0,00	0
13	-73,90	284	-73,59	188	-71,00	234
14	-70,49	283	-73,27	223	-73,68	240
15	-72,94	309	0,00	0	-73,81	133
16	-78,56	181	0,00	0	-74,55	130
17	-72,98	296	-73,49	230	-67,09	288
18	-65,40	326	0,00	0	-65,89	205
19	-70,55	302	0,00	0	-67,26	225
20	-71,69	283	0,00	0	-70,90	251
21	-66,29	355	-65,55	366	-63,12	356
22	-63,96	351	-68,11	351	-62,29	350
23	-70,24	329	-71,63	321	-64,75	329
24	-67,67	337	-73,81	202	-67,01	226
25	-64,51	354	-65,34	356	-62,47	354
26	-64,66	333	-67,48	335	-62,28	346
27	-66,81	333	-72,53	329	-64,50	333
28	-64,37	322	-75,60	78	-65,52	120

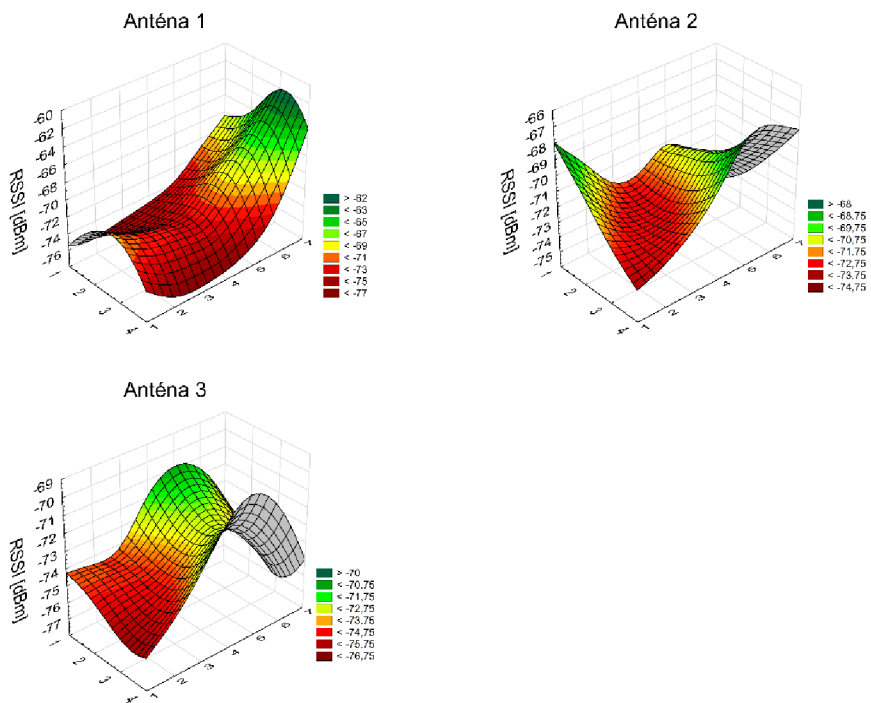
Příloha 6: H86-S91-T200 – povrchové grafy bez nulových hodnot.



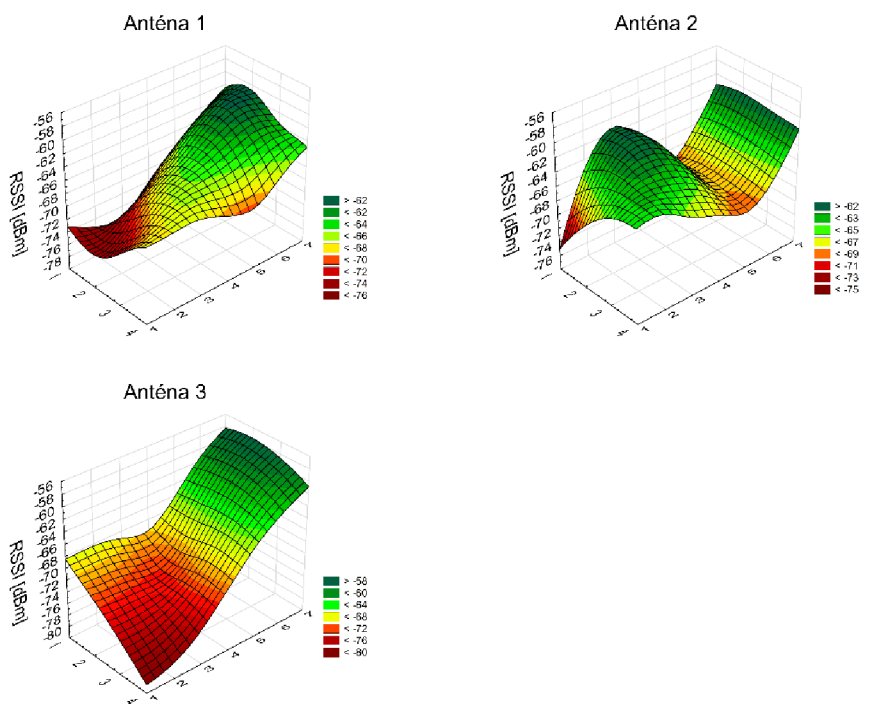
Příloha 7: TG-RFID-IT-H3E (první měření) - povrchové grafy bez nulových hodnot.



Příloha 8: TG-RFID-IT-H3E (druhé měření) - povrchové grafy bez nulových hodnot.

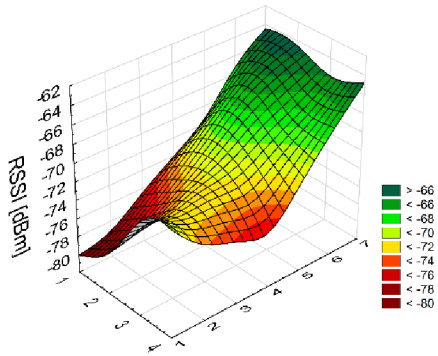


Příloha 9: Zelený kroužek – povrchové grafy bez nulových hodnot.

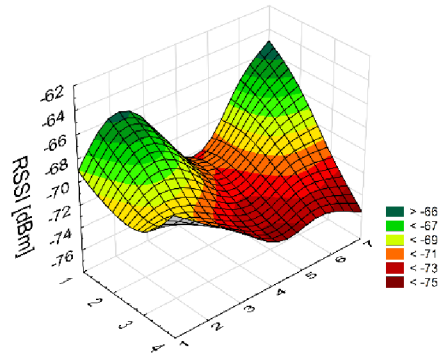


Příloha 10: Příloha 9: Modrý kroužek – povrchové grafy bez nulových hodnot.

Anténa 1



Anténa 2



Anténa 3

