



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ**

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

**ELEKTRONICKÁ HRACÍ KOSTKA VYUŽÍVAJÍCÍ TECH-  
NOLOGII NFC**

ELECTRONIC GAME DICE WITH NFC TECHNOLOGY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**LUKÁŠ LETÁK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. RICHARD RŮŽIČKA, Ph.D., MBA**

BRNO 2024

## Zadání bakalářské práce



156146

Ústav: Ústav počítačových systémů (UPSY)  
Student: **Leták Lukáš**  
Program: Informační technologie  
Název: **Elektronická hrací kostka využívající technologii NFC**  
Kategorie: Vestavěné systémy  
Akademický rok: 2023/24

### Zadání:

1. Seznamte se s principy komunikace s využitím technologie NFC, dostupnými jednočipovými řešeními pro NFC komunikaci a problematikou návrhu antén pro NFC čtečku tak, aby bylo možné škálovat velikost čtecí plochy dle požadavků cílové aplikace.
2. Navrhněte systém tvořený čtečkou a aplikací, který bude umožňovat automatickou detekci stavu kostek vržených na hrací plochu. U kostek se předpokládá pasivní napájení a využití tzv. NFC tagů.
3. Navržený systém implementujte formou prototypu. Aplikace může být realizována formou webové stránky.
4. Ověřte funkčnost implementace.
5. Diskutujte dosažené parametry (zaměřte se mj. na spotřebu, rychlost detekce stavu a cenu na jednotku plochy), a možnosti dalšího rozšíření.

### Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Splnění bodu 1 a 2 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Růžička Richard, doc. Ing., Ph.D., MBA**  
Vedoucí ústavu: Sekanina Lukáš, prof. Ing., Ph.D.  
Datum zadání: 1.11.2023  
Termín pro odevzdání: 31.7.2024  
Datum schválení: 2.5.2024

## Abstrakt

Cílem této práce je přivést deskové hraní do 21. století. Pro řešení bylo využito technologie NFC v herní ploše i kostce. Na hrací kostce byly použity pasivní NFC tagy. Pro zvýšení rozsahu herní plochy byl využit analogový multiplexor přepínající mezi jednotlivými anténami o stejné velikosti. S kostkou o hraně 2,5cm bylo při vzdálenosti 4mm od anténového pole o 6ti anténách, dosaženo oblasti čtení o rozloze 8cm x 12cm. Z poznatků vycházejících z této práce je možné vytvořit kompletní herní sestavu, jako například chytrou šachovnici.

## Abstract

The goal of this work is to bring table top gaming into 21st century. The NFC technology was used in the making of play dice and board. On the dice, passive NFC tags were used. For increasing the range of the game board an analog multiplexor switching between independent antennas with same size was used. Dice with 2,5cm edge at 4mm above the antenna array of 6 antennas, was able to be detected on a surface 8cm x 12cm large. Using the findings in this paper it would be possible to make a complete game setup, like smart chess.

## Klíčová slova

NFC, hrací kostka, hrací plocha, multiplexor, anténové pole, ESP, multiplexování antén, 13.56 MHz, PN5180, ADG1607, TRF7960A, ST25R95, RF37S114, NTAG213 NFC anténa

## Keywords

NFC, dice, game board, multiplexor, antenna array, ESP, multiplexed antennas, 13.56 MHz, PN5180, ADG1607, TRF7960A, ST25R95, RF37S114, NTAG213 NFC antenna

## Citace

LETÁK, Lukáš. *Elektronická hrací kostka využívající technologii NFC*. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. Richard Růžička, Ph.D., MBA

# Elektronická hrací kostka využívající technologii NFC

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Zdeňka Vašíčka, Ph.D a pana doc. Ing. Richarda Růžičky, Ph.D., MBA. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Lukáš Leták  
30. července 2024

## Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat mému vedoucímu doc. Ing. Zdeňkovi Vašíčkovi, Ph.D. za úvod do problematiky této práce, rady a nápady jak dále postupovat. A také panu doc. Ing. Richardu Růžičkovi, Ph.D., MBA za podporu při dokončování.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Prototyp hrací plochy</b>	<b>5</b>
2.1	Komunikace na krátkou vzdálenost NFC . . . . .	5
2.2	Hardwarové řešení . . . . .	5
2.3	Prototyp kostky . . . . .	8
2.4	Testovací Webové stránky . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Zhodnocení současného stavu</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Popis vlastní práce</b>	<b>11</b>
4.1	Vyhledávání dostupných řešení . . . . .	11
4.2	Návrh antén . . . . .	11
4.3	Prvotní testy . . . . .	12
4.4	Finální průlom . . . . .	14
4.5	Návrh dalšího postupu . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>16</b>
	<b>Literatura</b>	<b>17</b>

# Seznam obrázků

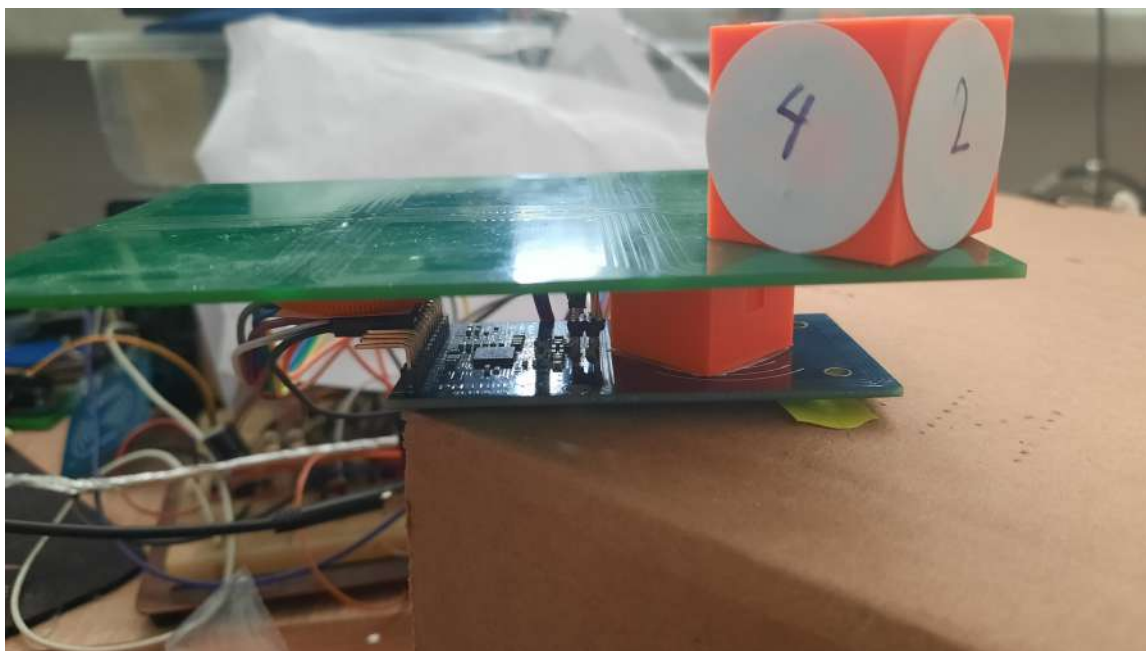
1.1	<b>Finální prototyp</b> . . . . .	3
2.1	<b>Prototyp s ST25R95</b> . . . . .	6
2.2	Detail anténové desky. . . . .	7
2.3	Porovnání odladěné <b>vlevo</b> a neodladěné <b>vpravo</b> antény. . . . .	7
2.4	<b>Vlevo</b> funkční kostka s NTAG213 nálepkami, <b>Vpravo</b> kostka s TRF7960A tagy. . . . .	8
2.5	Snímek obrazovky webových stránek. . . . .	9
3.1	Prototyp uložený v krabici. . . . .	10
4.1	Schéma zapojení PCB desky. . . . .	12
4.2	Rozpoložení součástek a tras na desce. . . . .	13
4.3	Kalkulátor impedančního obvodu od firmy ST. . . . .	15

# Kapitola 1

## Úvod

Cílem této bakalářské práce je vytvořit elektronickou hrací kostku a desku a propojit je s počítačem, tak aby se hodnota hozená na kostce na něm zobrazila. Tato sada by se mohla používat třeba na různých turnajích nebo na hraní po internetu s fyzickou reprezentací náhodného generátoru. Přeci jen je příjemnější vrhnout kostkou, než jen kliknout na tlačítko na monitoru. Tato herní plocha by se mohla využít nejen pro hraní her ale třeba i jako skenovací brána balíků nebo k organizaci věcí na pracovišti.

V Práci je dále popsána hardwarové řešení, sestávající z anténového pole, NFC čipu PN5180 a ESP8266 (kapitola 2.2) a vlastního zapojení. Poté ještě vyhotovení základního web severu který je dostupný na wifi z ESP desky (kapitola 2.4) prototyp lze vidět na následujícím obrázku 1.1.



Obrázek 1.1: **Finální prototyp**

Stávající řešení které by se zabývalo podobnou tématikou je většinou ve formě chytrých šachů nebo jsem našel zajímavé řešení které využívá multiplexování antén ke čtení čipů na zkumavkách [2] v laboratoři pro organizaci vzorků, kde tímto způsobem k nim mohou přířa-

dit text s detailnějším popisem co obsahuje, který je díky NFC čipu připevněnému ke spodní části svázaný k dané zkumavce a nemůže přijít k záměně jako v klasických organizátorech.



## Kapitola 2

# Prototyp hrací plochy

V této kapitole je popsán aktuální funkční prototyp řešení, jak po hardwarové tak i po softwarové stránce.

### 2.1 Komunikace na krátkou vzdálenost NFC

Near field communication neboli NFC je technologie bezdrátové komunikace mezi zařízeními na velmi krátkou vzdálenost typicky kolem 4 cm. NFC je součástí technologie RFID (radio-frequency identification), která umožňuje komunikaci až na vzdálenost 10 m. Jedním z hlavních důvodů tvorby NFC standardu je větší bezpečnost komunikace, právě díky tomu že je její dosah omezen na kontaktní vzdálenost. Díky tomu je velmi složité takovou komunikaci odposlouchávat. Tato zvýšená bezpečnost měla za následek širokou adopci v bankovním sektoru, jako možnost bezkontaktních plateb.

Komunikační rozhraní obsahuje 2 režimy operace:

- Pasivní - NFC tagy (značky), které využívají bezdrátového přenosu energie pro napájení, při přiblížení k anténě a následné komunikace se čtečkou.
- Aktivní - NFC reader (čtečka), která za použití antény vytváří elektromagnetické pole o frekvenci 13,56 MHz a podle standardu přijímá nebo vysílá data na tag.

NFC technologie podporuje 3 druhy komunikace [4]:

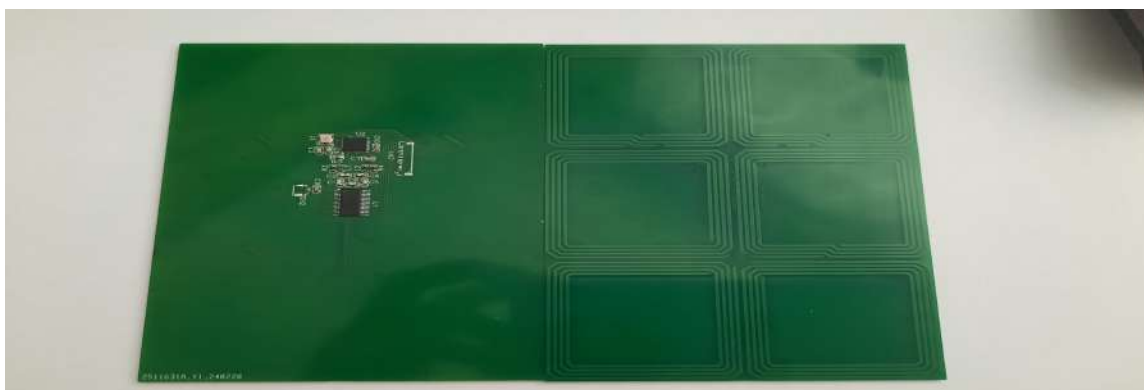
- Čtení/zápis - Zařízení je schopno v tomto režimu číst nebo zapsat data. Například mobilní telefon může načíst URL webové stránky z NFC tagu, nebo je do něj může zapsat.
- Peer-to-peer - Dvě aktivní zařízení si mohou mezi sebou po navázání spojení volně vyměňovat data, při aplikaci poslouchání před čtením.
- Emulace karet - Aktivní zařízení jako je například mobil se chová jako Pasivní zařízení. Například při platbě kartou za použití mobilu.

### 2.2 Hardwarové řešení

Současné řešení se stává z ESP8266 na kterém je vytvořený webový server, dále PN5180 NFC čipu, který je připojený pomocí SPI sběrnice k ESP a vyhotoveného anténového pole se 6ti anténami. Každá z nich o rozměru 4cm x 4cm a multiplexorem, který tyto antény přepíná postupně na připojení k PN5180.

ESP8266 Bylo pro tuto aplikaci zvoleno, díky své integrované WiFi a také ceně. ESP32 není o tolik dražší a nejspíše bych jej použil, kdyby bylo zapotřebí přepínat mezi více NFC čipy, protože disponuje více GPIO piny. K řešení bych mohl použít i Arduino, ale jeho vývojová deska je zbytečně velká a navíc by bylo zapotřebí dokoupit WiFi modul. Jako poslední alternativu může být použito Raspberry Pi Pico ale taky by bylo zapotřebí k němu dokoupit WiFi modul.

PN5180 není jediný NFC čip, jednou z alternativ je TRF7960A který je velmi podobný co se týče podpory standardů, jenže jsem hledal nějaký čip, který by mohl být napájený i z baterie, tudíž jsem hledal nízkou spotřebu a to bohužel tyto čipy nemají. [6] [11] Poslední alternativou je ST25R95 tento čip byl levnější ale také disponoval funkcí „Tag detect“ díky které bylo možné snížit jeho spotřebu. O tom proč nebyl nakonec použit, se zmíním v kapitole 4, ale takto by vypadala finální integrace bez konektorů (obrázek 2.1). [9]



Obrázek 2.1: Prototyp s ST25R95

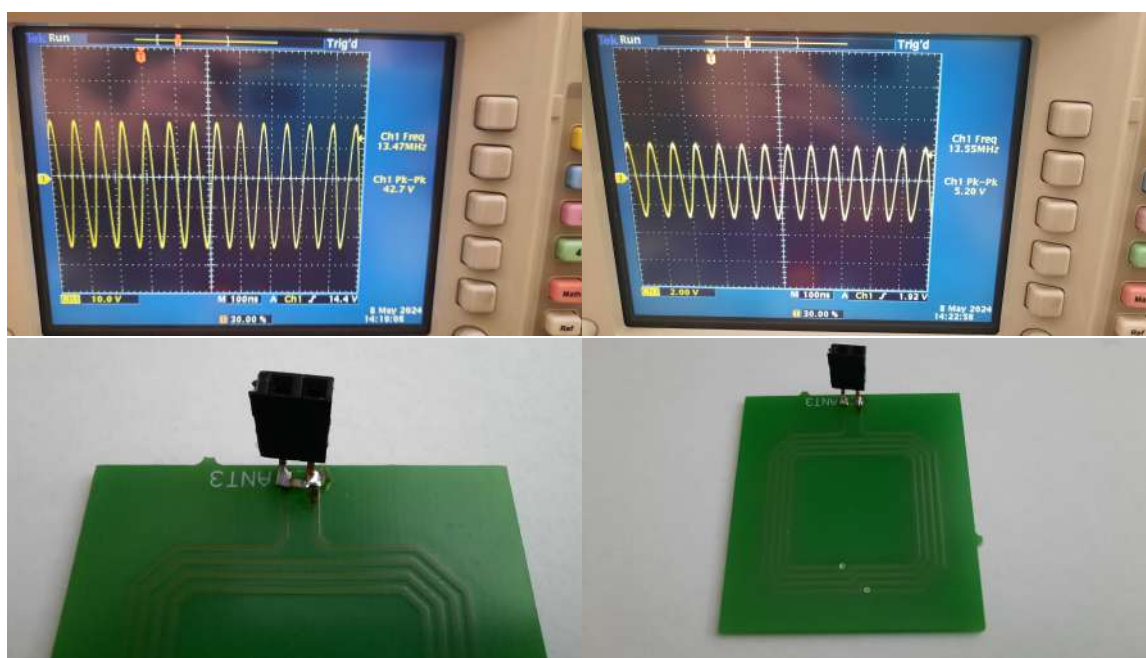
Multiplexování antén bylo klíčovým řešením jak zajistit dostatečně velkou snímanou plochu za použití pouze jednoho NFC čipu a taky kvůli cílové ceně. Kdyby byla použita pouze jedna anténa na celou plochu nebyla by zajištěna dostatečná síla signálu. Díky tomu že NFC technologie pracuje na frekvencích ve vysokofrekvenčním pásmu (3 MHz - 30 Mhz), nejsou antény které můžeme vidět na obrázku 2.2 skutečné antény protože ty by musely být v případě dipólu dlouhé 11 m. Jsou to pouze indukční cívky pracující na frekvenci 13.56 MHz, které bezdrátově přenášejí energii na NFC tag [5]. Tyto tagy následně modulují signál většinou přidáním odporu ke své anténě.

Cena jednoho NFC čipu se může pohybovat kolem 200Kč, což je i cena jednoho osmi-kanálového analogového multiplexoru. Pro zapojení jsem si vybral ADG1607BRUZ. Tento multiplexor dokáže operovat i na frekvencích 13.56 Mhz s minimální ztrátou signálu kolem -1.5 dB až -2 dB se šířkou pásma typicky 34 MHz při napájení 5 V a také je symetrický, neboli přepíná dva kanály současně [1]. Připojení této desky k PN5180 ale není jen tak, jelikož se ještě musí odladit impedanční přechod mezi čipem a anténou. Kdyby se tak nečinilo tak by na přechodu impedance mezi anténou a čipem vznikala odražená vlna a obvod by tím pádem rezonoval na frekvenci, jež není žádoucí. Pokud by nebyla odchylka impedancí až tak velká, obvod by mohl rezonovat na správné frekvenci, ale nedokázal by přenést dostatečné množství energie (obrázek 2.3). K tomu slouží pasivní komponenty jako jsou kondenzátory a induktory. Pro vyhledání nejbližších hodnot pasivních komponent byl použit kalkulátor od firmy ST.[8] [7]

Jediný rozdíl mezi těmito testy je 82 pF kondenzátor přidáný do obvodu paralelně k anténě.



Obrázek 2.2: Detail anténové desky.



Obrázek 2.3: Porovnání odladěné **vlevo** a neodladěné **vpravo** antény.

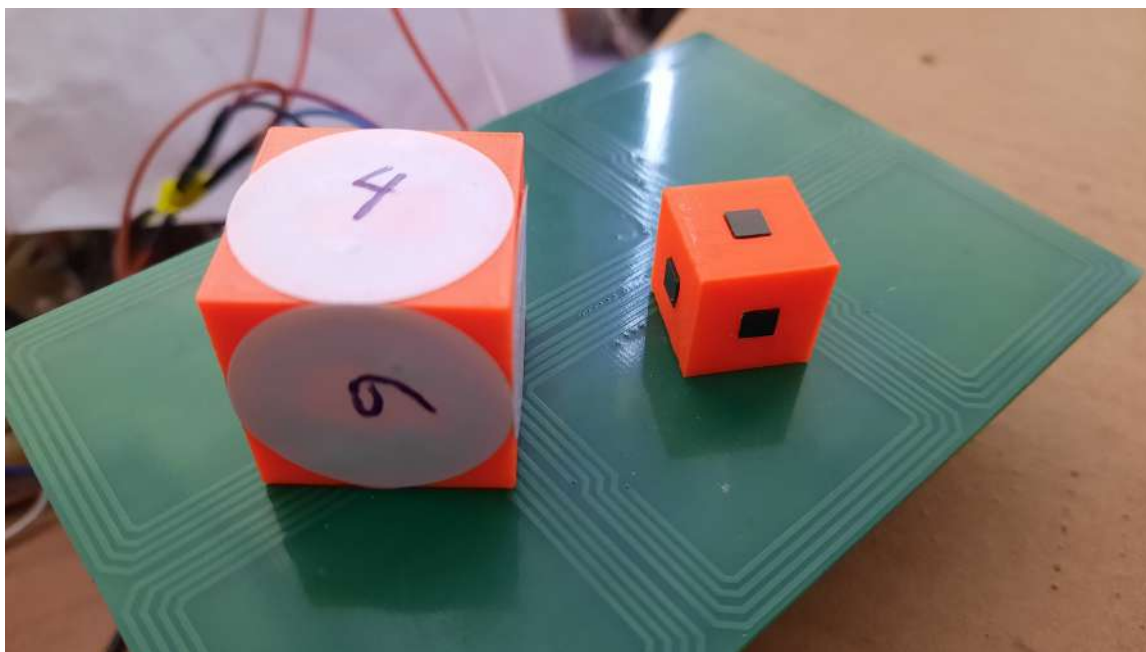
Jak již bylo zmíněno, komunikace mezi ESP a PN5180 probíhá na SPI sběrnici. Tento protokol byl zvolen jako nejjednodušší na implementaci díky vynikající podpoře v použitých knihovnách. Knihovna k PN5180 nabízí jak jednoduché tak i velmi pokročilé nastavení tohoto čipu pomocí přímého nastavení hodnot v registrech.

Vývojová deska s PN5180 kterou jsem si pořídil již obsahovala svůj impedanční obvod který byl nastavený tak aby pracoval s vestavěnou anténou nacházející se na vývojové

desce, ale kvůli tomu že multiplexor přidává do obvodu parazitní kapacitu, bylo potřeba ji upravit. Naštěstí jsem měl všechny potřebné komponenty, a bylo zapotřebí je jen připájet na odpovídající místa na desce konkrétní hodnoty které zaručili nejlepší přenos byly 200 pF na kondenzátorech C1 a C5 a 15 pF na kondenzátorech C2 a C4 podle schématu zapojení na obrázku 4.1.

## 2.3 Prototyp kostky

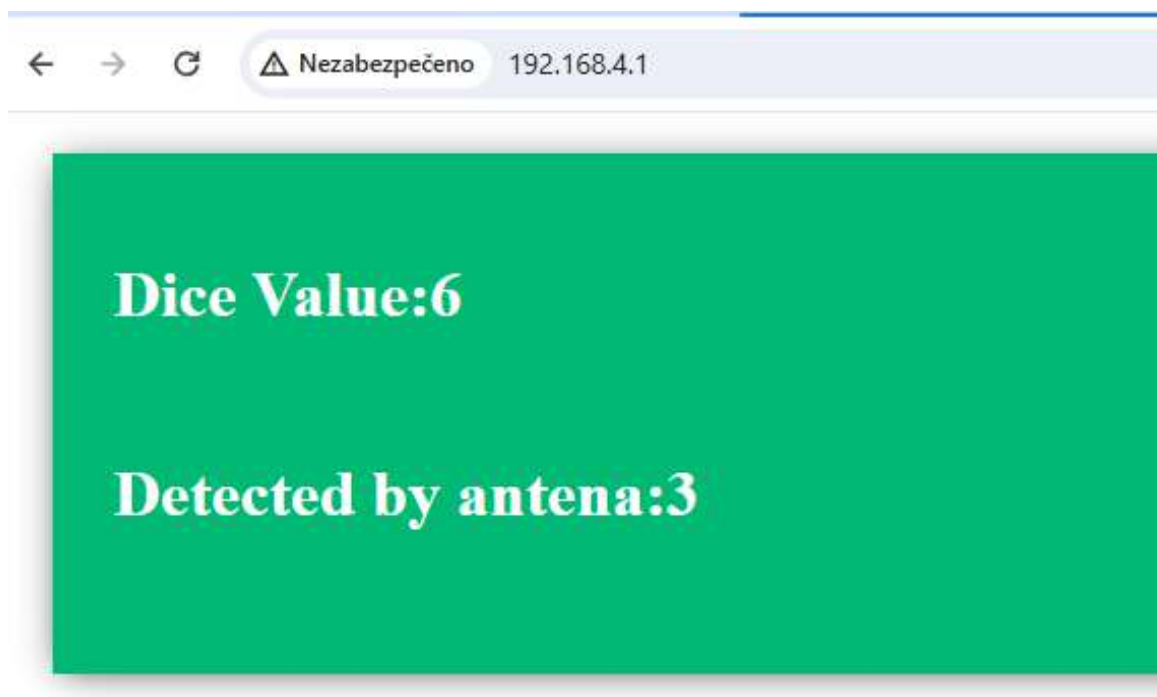
Nejdůležitějším parametrem hrací kostky je její velikost, proto bylo zapotřebí nalézt co nejmenší NFC tagy, které by se vložily do stran kostky. Pro tento účel se nejvíce hodily RF37S114 tyto tagy od společnosti Texas Instruments disponují nepřekonatelnou velikostí 4mm x 4 mm. Navrženo bylo několik velikostí kostek o hraně 1,5 cm až po 3 cm po 5 mm kroku. Při testování s vývojovou deskou PN5180 bylo zjištěno že i ta nejmenší kostka pokud je osazena těmito tagy ze všech stran tak nedochází k detekci více čipů zároveň. Bohužel při testování s multiplexorem byly zjištěny problémy více v kapitole 4.4. Proto musely být použity alternativní tagy o průměru 2,5 cm a tedy i větší kostky obrázek 2.4.



Obrázek 2.4: **Vlevo** funkční kostka s NTAG213 nálepkami, **Vpravo** kostka s TRF7960A tagy.

## 2.4 Testovací Webové stránky

Webový server je spuštěný hned po zapnutí samotného ESP a běží na IP adrese 192.168.4.1 na které se zobrazují hodnoty z načtené kostky konkrétně číslo které je přiřazené danému NFC tagu a anténu na které bylo toto číslo načteno (Obrázek 2.5). Aby se hodnota automaticky aktualizovala bez interakce uživatele, bylo využito poll-ování, takže se hodnota aktualizuje každých 500 ms. Toto je zabezpečeno pomocí AJAX, kde funkce `getData` periodicky získává data z endpointu `/dice` v CSV formátu.

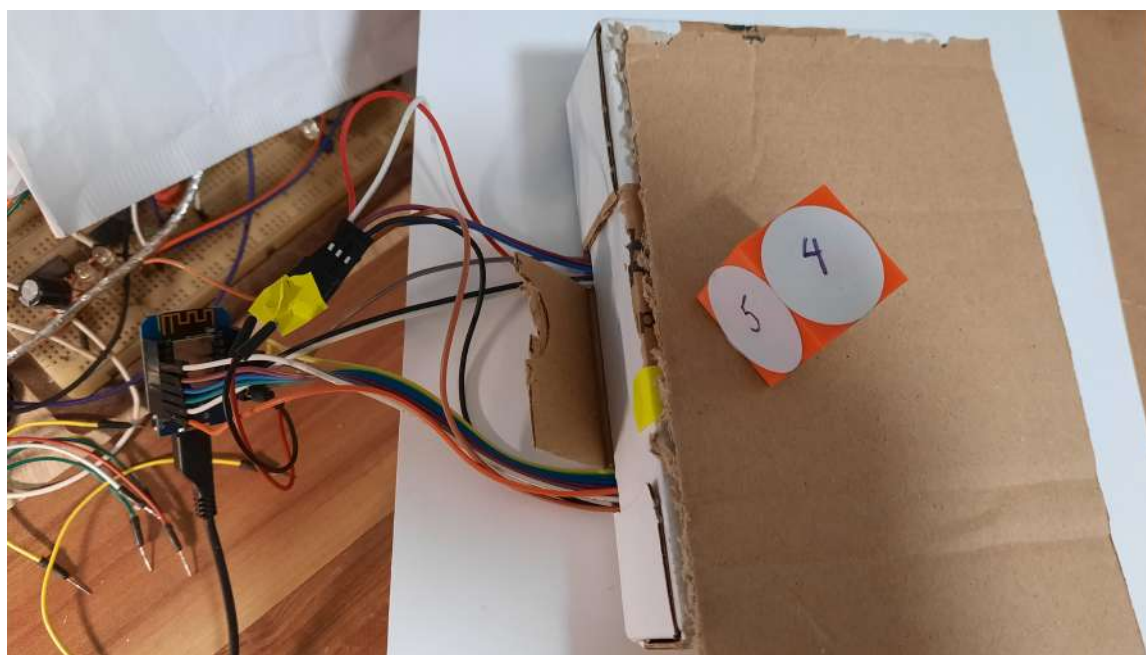


Obrázek 2.5: Snímek obrazovky webových stránek.

## Kapitola 3

# Zhodnocení současného stavu

V současném stavu je projekt ve fázi funkčního prototypu, ze kterého jde rozhodně pokračovat dál a stavět na něm. Sestava musí být stále připojená pomocí USB k napájecímu zdroji o napětí 5 V protože celkový odběr činí až 220 mA a při použití baterie by nevydržela moc dlouho. Tuto stránku jsem chtěl optimalizovat za použití jiného NFC čipu viz kapitola 4.4. Prototyp jsem nakonec kvůli ochraně křehkého konektoru mezi vývojovou deskou s PN5180 a Anténovou deskou zavřel do krabičky od součástek které mi přišly (Obrázek 3.1).



Obrázek 3.1: Prototyp uložený v krabičce.

Co se týče webových stránek, stávající řešení považuji spíše za testovací výstup než za skutečné řešení, dokáží zobrazit pouze data které jsou předdefinovaná v programu pro ESP, tedy manuální přidělení hodnoty kostky k UID NFC tagu a anténu která jej načítla. Myslím že by bylo mnohem rozumnější místo používání ESP jako server, jej použít jako klient, který by se připojil na server, na který by posílal nové data a ten je poté zpracovával. Nebo jako kombinaci kde by šlo ESP nastavit pomocí mobilu a po připojení k WiFi by se přeplo do režimu klienta.

## Kapitola 4

# Popis vlastní práce

### 4.1 Vyhledávání dostupných řešení

Při vyhledávání různých řešení mě pan docent Vašíček odkázal na desku Pepper C1 MUX od firmy Eccel [3]. Tato deska prakticky splňovala veškeré požadavky práce až na propojení s ESP, ale taky šlo o cenu a nemožnost rozšířit řešení o více než 8 antén. Cena jedné desky bez antén se pohybuje kolem 1 200 Kč a to bez antén kde každá další anténa vyjde přibližně na 220 Kč, takže celková cena zapojení se 6ti anténami se blíží 2 500 Kč. Nehledě na to že by antény nemusely mít dostatečné pokrytí kdyby se daly vedle sebe, protože mají nějaké místo po obvodu na připevnění k povrchu. Kdybychom vzali v potaz cenu komponent při nákupu od dodavatele jako je Mouser dostali bychom se na přibližně 800 - 900 Kč (Započtené komponenty PN5180, ADG1607, ESP) k tomu potřebná PCB deska by mohla stát kolem 150 Kč (bez dopravy), tudíž si myslím, že by se celé řešení mohlo vejít do 2 000 Kč a při použití ESP32 by mohlo komunikovat s více deskami a pokrýt ještě větší plochu.

Při hledání alternativ k čipu PN5180 jsem narazil na ST25R95, který jsem si zvolil jako primární řešení nejen kvůli jeho nízké ceně 90 Kč ale také kvůli tomu že disponoval funkcí „tag detect“ která drasticky snižuje spotřebu čipu protože nenechává konstantně zapnutou anténu, ale vysílá pouze konfigurovatelné pulsy.

Co se týče NFC tagů které budou upevněny na kostce byli prvotně zvoleny RF37S114. Díky jejich nepřekonatelné velikosti pouhých 4mm x 4mm a integrovanou anténou se jsem byl přesvědčen že jsou pro tuto aplikaci ideální, protože jsem mohl použít i velmi malou koustku o hraně 1,5cm. Což se zdálo jako ideální velikost [10].

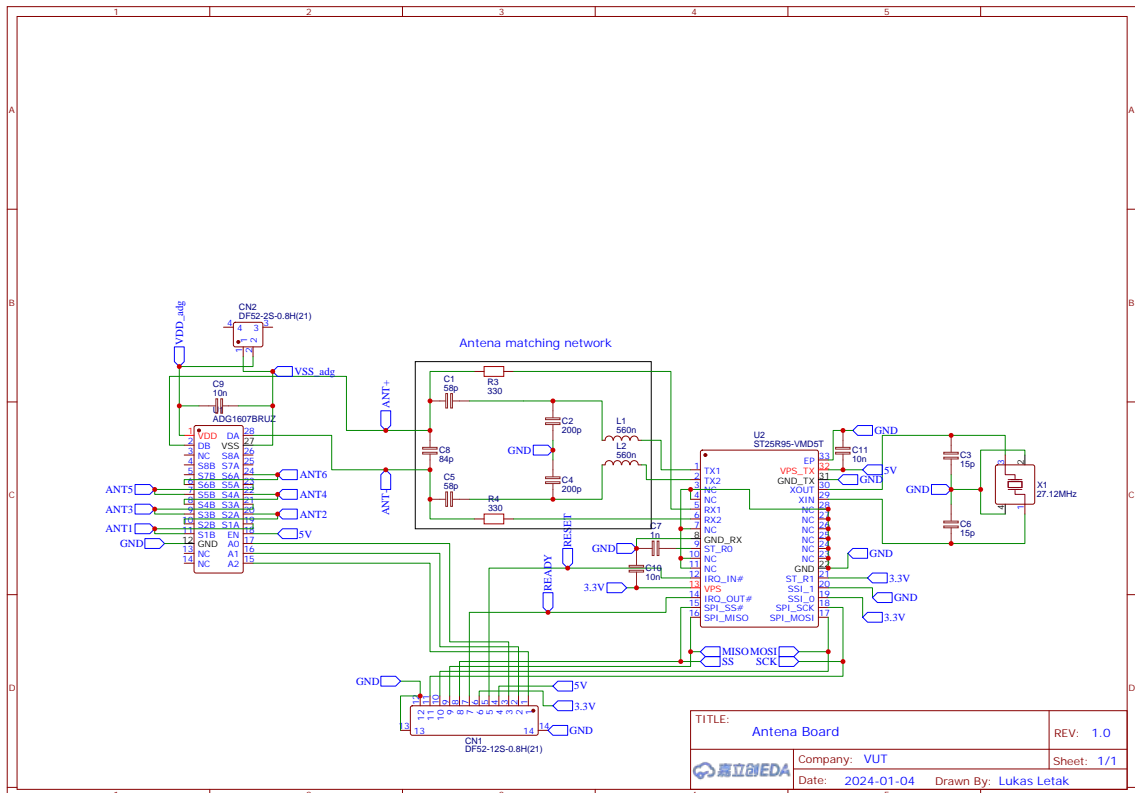
### 4.2 Návrh antén

Návrh antén probíhal ve dvou fázích. Jako první pokusit se navrhnout anténu která by se svými parametry co nejvíce blížila té co je na vývojové desce k PN5180 a popřípadě vyzkoušet další různé tvary a velikosti. A jako druhé, vytvořit desku se 6ti anténami multiplexorem a zvoleným NFC čipem.

První část proběhla velmi dobře, Navrhl jsem 4 různé antény abych zjistil jak se budou chovat při připojení k testovací desce s PN5180 a chovaly se přesně podle předpokladů, kopie originální antény dosáhla stejného rozkmitu jako integrovaná a bez problémů dokázala přečíst NFC tag na kostce po celé své ploše i do vzdálenosti 5mm. Ostatní antény nedosahovaly stejných parametrů dokud nebyly korektně impedančně sjednoceny. Jakmile jsem tak učinil přidáním pár kondenzátorů byly stejně funkční jako ta první.

Nakonec jsem si pro druhou fázi stejně zvolil kopii originální antény, protože měla největší pokrytí, ostatní antény si nedokázaly dobře poradit s prostorem mimo vnitřní smyčku a ztrácely tak dosah. Kvůli zachování vlastností antén a jejich minimálního rozdílu jsem se snažil aby jejich propojení s multiplexorem mělo přibližně stejnou vzdálenost ke všem anténám. Bohužel i když se to nezdá tak k finální výrobě bylo zapotřebí čtyř vrstev PCB.

Pro návrh těchto desek jsem využil nástroj EasyEDA, protože je velmi jednoduché vytvořené PCB desky poslat k výrobě. stačí pouze navolit dané parametry jako tloušťka mědi, styl pokovení a barva. Celkem jsem objednal 5 kusů za cenu kolem 700 Kč s dopravou také za 700 Kč. Po vytvoření schématu (Obrázek 4.1) jsem se pustil do návrhu rozložení komponent. Díky tomu že z multiplexoru je zapotřebí vyvést 6 párů propojů není možné se vejít pouze do dvou vrstev PCB (Obrázek 4.2).



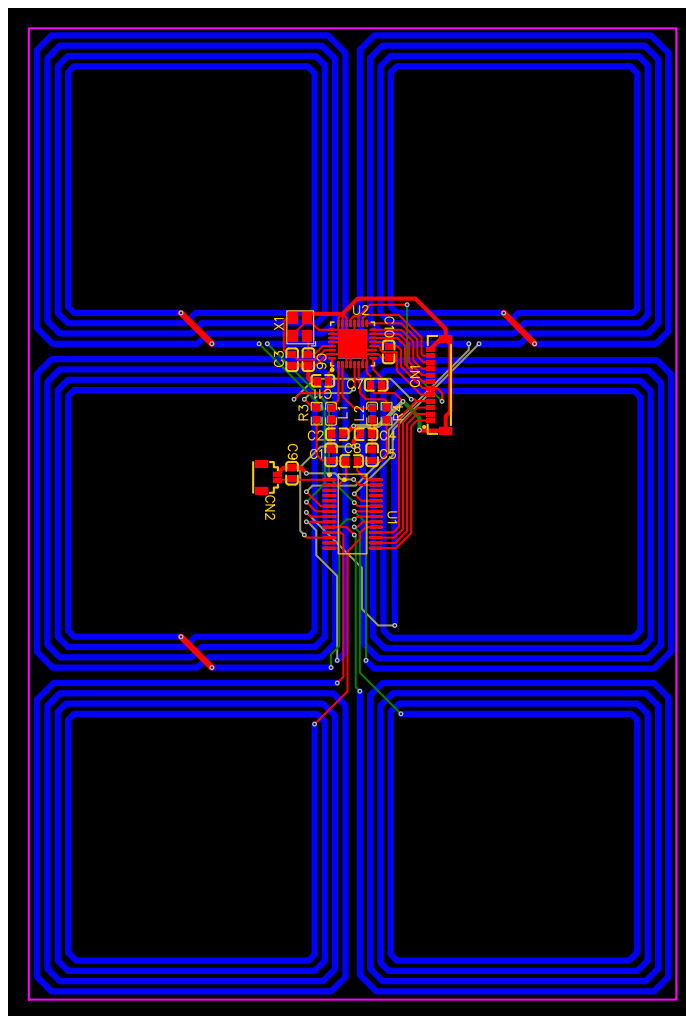
Obrázek 4.1: Schéma zapojení PCB desky.

Po vytvoření návrhu sjednocovače impedancí čipu ST25R95 a multiplexoru antén, pomocí návrháře přímo k tomu určeném (Obrázek 4.3), jsem objednal všechny potřebné díly a součástky. cena těchto pasivních komponent byla kolem 1 000 Kč na 5 desek.

### 4.3 Prvotní testy

Po připájení všech komponent jsem se pustil do testování, tady nastaly první problémy. Jelikož jsem si již objednal všechny komponenty, byl jsem uzamknutý do tohoto řešení, ale nezjistil jsem si dostupnost knihoven pro ST25R95. Po nějaké době hledání jsem je ale objevil, jenže nebyly plně kompatibilní s mým řešením využívající ESP8266, naštěstí to byla jen kolize názvů u `#define`, kterou jsem jednoduše vyřešil. Po úspěšné kompilaci a





Obrázek 4.2: Rozpoložení součástek a tras na desce.

propojení s čipem mi čip odpověděl zpět že je aktivní, jenže po připojení k osciloskopu jsem neviděl žádný signál který by z něj vycházel. Nejdříve jsem znovu překontroloval veškeré zapojení, jestli se mi omylem něco nezkratuje, ale vše bylo v pořádku. Zkusil jsem i druhý čip, bohužel se stejným výsledkem, tak jsem začal procházet knihovnou, ale vše vypadalo v pořádku. Po více než týdnu bádání jsem se tedy rozhodl nepoužít tento čip, ale raději něco co fungovalo a to PN5180 na další prototypovou desku jsem tedy připevnil konektor a multiplexor. Díky tomu jsem již dostal alespoň nějaký signál na anténě, jenže byl moc slabý, protože impedanční sjednocení bylo navrženo pro druhý čip. Pomocí funkčního generátoru a osciloskopu jsem si sestrojil testovací obvod na měření rezonanční frekvence a přesně jak jsem předpokládal, byla vyšší než 20 MHz namísto 13,56 MHz. Po přidání pár kondenzátorů se mi povedlo dosáhnout resonance kolem 13,6 MHz což je dostatečně blízko a po připojení PN5180 byla dosažena výchylka až 6,5V na anténě při napájení multiplexoru 5V a 9V při napájení 12V jenže ani to nestačilo. NFC tag RF37S114 se mi dařilo přečíst pouze v rozích antény.

## 4.4 Finální průlom

Při testování mě napadlo použít i NFC kartu, kterou jsem obdržel při objednání vývojové desky s PN5180. Při přiblížení této karty k anténě se mi ji povedlo přečíst již ve 3 cm vzdálenosti od antény, a hned mi došlo v čem byl problém. Díky tomu že NFC tag v kartě má anténu podobné velikosti jako je anténa na PCB je přenos energie mezi nimi mnohem efektivnější. Kdežto NFC tagu RF37S114 je anténa pouze o velikosti čipu samotného tedy 4mm s několika závity je přenos energie při komunikaci zpět na PCB velmi znevýhodněn, i díky nízkému napětí na anténě. Rozkmit napětí na referenční desce s PN5180 je více než 40V.

Proto jsem se rozhodl vyzkoušet ještě NFC nálepky o průměru 2,5 cm a při přepsání programu aby podporoval druhý ISO standard se mi podařilo navázat s nimi spojení. bohužel to znamenalo použít větší kostku, ale také bylo zapotřebí trochu zvýšit vzdálenost mezi anténou a kostkou, kvůli tomu že když kostka stála přesně na hraně mezi dvěma anténami snímaly se oba tagy zároveň. Tím pádem nabylo možno určit který je ležící.

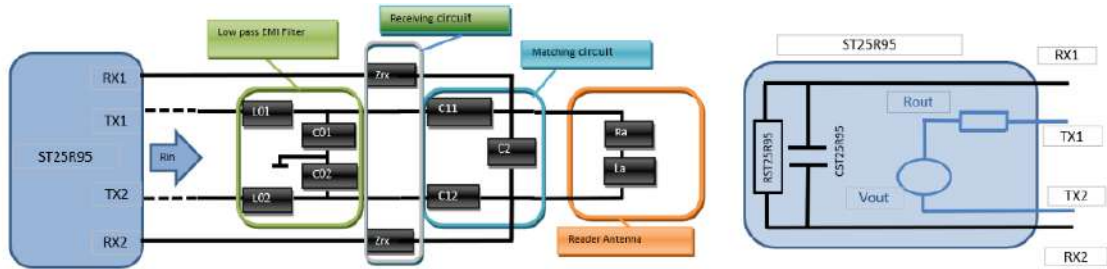
## 4.5 Návrh dalšího postupu

Dalším postupem práce by bylo vytvořit návrh nových desek které by podporovaly NFC čip PN5180 který se prokázal jako jednoduchý pro připojení a integraci do tohoto projektu. Samozřejmě s tím by se muselo předělat i zapojení impedančního obvodu, protože by se musely brát v potaz i součástky které se nachází na vývojové desce. Pokud by to bylo možné tak zredukovat počet těchto komponent, to byla další výhoda předešlého čipu.

Jako další použít více těchto desek aby se dosáhlo větší snímací plochy. Vyzkoušet i použití větších antén na desce. Velikost 4 cm x 4 cm byla zvolena protože i s ní původní NFC tagy RF37S114 dosáhly maximální čtecí vzdálenosti na integrované anténě pouze kolem 4 mm od povrchu. Nálepky NTAG213 s větší anténou z obchodu laskakit, ale tento problém nemají, lze je totiž přečíst na vzdálenost větší než 4 mm i na multiplexované anténě, proto bych doporučil vyzkoušet i větší antény.

Jako hlavní zařízení bych použil ESP32 protože disponuje více GPIO piny pro další multiplexory které by byly zapotřebí u zapojení s více deskami, kde by se multiplexovaly signály CS a IRQ případně BUSY signál z PN5180 a korektně by se čekalo na příchod přerušování od PN5180 u kterých by se nastavilo aby jej posílaly při detekci.

Webové stránky by mohly být obohaceny o konfigurační rozhraní ve kterém by se mohlo nastavit hodnoty kostek, případně konfigurace WiFi připojení ESP aby mohlo hozená data posílat na server kde by teprve běžely finální webové stránky které by mohly zobrazovat další statistiky případně dvě hrací plochy zároveň pro ukázkou hraní na dálku.



1) **System Parameters**

Antenna circuit			
f (Hz)	$\omega$ (rad/s)	Rin (Ω)	Vp5TX (V)
1,36E+07	8,55E+07	50,00	5,00

Reader Antenna Parameters (user defined)		
Re (Ω)	La (H)	Zo (Ω)
1,00	1,20E-06	1+102,541584213171i

Low Pass Filter Parameters (user defined)		
L01=L02 (H)	C01=C02 (F)	fres EMI
5,60E-07	2,00E-10	1,50E+07

Receiving Path Circuit Parameters (user defined)		
Rrx (Ω)	Crx (F)	Zrx (Ω)
3,30E+02	1,00E+11	660-2.34051386899846E-20i

Reset Values

ST25R95	
ST25R95 Receiving Circuit Parameters	
CST25R95	RST25R95
2,20E-11	1,00E+10
Rout	
16,00	

Reader antenna dimension: L (mm) = 4,50E-02, W (mm) = 3,80E-02

Antenna Turn Number: 4

2) **Theoretical Tuning Capacitance Calculation**

C11=C12 (F)	C2 (F)	Zin
5,851E-11	8,404E-11	Magnitude: 50,00, Phase: 0,00

*Ideal values calculation, do not modify.*

3) **Actual Antenna Circuit Input Impedance Calculation (based on user defined Tuning capacitance Value)**

User L01=L02 (H)	User C0 (F)	User C11=C12 (F)	User C2 (F)
5,60E-07	2,00E-10	5,851E-11	8,404E-11

Reset Values

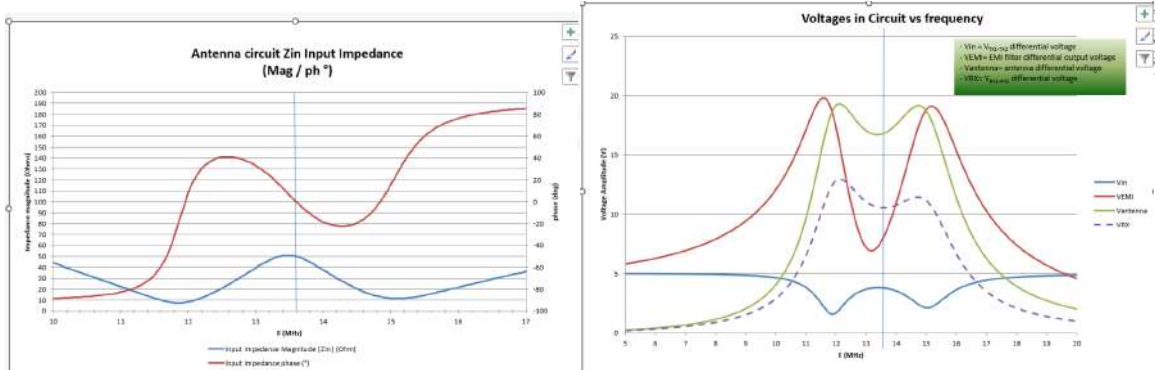
fres EMI

1,50E+07

actual Zin	
Magnitude	Phase
50,00	0,00

*Values used for graphs generation.*

**Press Reset Values button to restore EMI filter to initial values and Tuning circuit C11/C12/C2 to calculated values.**



Obrázek 4.3: Kalkulátor impedančního obvodu od firmy ST.

# Kapitola 5

## Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit prototyp hrací kostky a desky, které mezi sebou komunikují pomocí NFC a následná hodnota která padla by mohla být zjistitelná pomocí webových stránek. Tento cíl byl splněn a hodnoty na kostce si lze přečíst při připojení na WiFi vytvořenou ESP.

Bylo dosaženo plochy o rozměrech 8 cm x 12 cm na které lze kostku detekovat. Také bylo přihlíženo na modulární přístup kde prototyp je jeden modul kterých by se mohlo připojit více, pokud by to situace vyžadovala, přidáním multiplexorů na řízení několika čipů PN5180 a úpravou zdrojového kódu ESP.

Hrací plocha má bohužel vysoký odběr kolem 220 mA a nebylo by tedy vhodné ji napájet z baterie. Toto by ale mohlo být jedním z rozšíření.

Finální cena za prototypovou desku s kostkou (bez dopravy) se pohybuje kolem 900 Kč, kdyby se podařilo NFC čipy ST25R95 lépe integrovat mohla by být cena i odběr o něco nižší.

# Literatura

- [1] AD. *ADG1606/ADG1607* online. Analog devices, říjen 2009. Dostupné z: [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG1606\\_1607.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG1606_1607.pdf). [cit. 2024-5-6].
- [2] ECELL. *RFID READER WITH MULTIPLEXED ANTENNAS* online. Ecell technology limited, únor 2018. Dostupné z: <https://eccel.co.uk/our-case-studies/rfid-reader-with-multiplexed-antennas/>. [cit. 2024-5-6].
- [3] ECELL. *Pepper C1 MUX User Manual* online. Ecell technology limited, únor 2024. Dostupné z: [https://eccel.co.uk/wp-content/downloads/Pepper\\_C1/C1\\_MUX\\_User\\_manual.pdf](https://eccel.co.uk/wp-content/downloads/Pepper_C1/C1_MUX_User_manual.pdf). [cit. 2024-5-6].
- [4] HOSSEIN MOTLAGH, N. *Near Field Communication (NFC) - A technical Overview*. Disertační práce.
- [5] LATHIYA, P. a WANG, J. Near-Field Communications (NFC) for Wireless Power Transfer (WPT): An Overview. In: ZELLAGUI, M., ed. *Wireless Power Transfer*. Rijeka: IntechOpen, 2021, kap. 6. ISBN 978-1-83968-802-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.96345>.
- [6] NXP. *PN5180A0xx/C3, C4 High-performance multiprotocol full NFC frontend, supporting all NFC Forum modes* online. NXP Semiconductors, březen 2023. Dostupné z: [https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PN5180A0XX\\_C3\\_C4.pdf](https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PN5180A0XX_C3_C4.pdf). [cit. 2024-5-6].
- [7] ST. *ST25R95 transceiver antenna tuning circuit with EMI filter* online. ST Microelectronics, listopad 2018. Dostupné z: [https://www.st.com/resource/en/application\\_note/an5248-st25r95-transceiver-antenna-tuning-circuit-with-emi-filter-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/application_note/an5248-st25r95-transceiver-antenna-tuning-circuit-with-emi-filter-stmicroelectronics.pdf). [cit. 2024-5-6].
- [8] ST. *How to design an antenna for dynamic NFC tags* online. ST Microelectronics, březen 2019. Dostupné z: [https://www.st.com/resource/en/application\\_note/an2972-how-to-design-an-antenna-for-dynamic-nfc-tags-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/application_note/an2972-how-to-design-an-antenna-for-dynamic-nfc-tags-stmicroelectronics.pdf). [cit. 2024-5-6].
- [9] ST. *ST25R95* online. ST Microelectronics, duben 2019. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/st25r95.pdf>. [cit. 2024-5-6].

- [10] TI. *RF37S114 Tag-it™ HF-I Type 5 NFC, ISO/IEC 15693 Transponder, 4 mm × 4 mm* online. Texas Instruments, listopad 2015. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/rf37s114.pdf>. [cit. 2024-5-6].
- [11] TI. *TRF7960A Multiprotocol Fully Integrated 13.56-MHz RFID Reader/Writer IC* online. Texas Instruments, březen 2020. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/trf7960a.pdf>. [cit. 2024-5-6].