

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Postav si svého druhého robota

Tomáš Vavrinec

Brno 2021

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

POSTAV SI SVÉHO DRUHÉHO ROBOTA

BUILD YOUR SECOND ROBOT

AUTOR Tomáš Vavrinec

ŠKOLA Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace

KRAJ Jihomoravský

ŠKOLITEL Mgr. Miroslav Burda

OBOR 10. Elektrotechnika, elektronika
a telekomunikace

Brno 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Postav si svého druhého robota* jsem vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Miroslava Burdy a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném změně.

V Brně dne: _____

Tomáš Vavrinec

Poděkování

Děkuji svému školiteli Mgr. Miroslavu Burdovi za obětavou pomoc, podnětné připomínky a hlavně nekonečnou trpělivost, kterou mi během práce poskytoval.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.



Anotace

Robotika se stává čím dál tím významnějším oborem, což s sebou nese i potřebu vzdělávání v tomto oboru. Při výuce robotiky jsou proto potřeba různé pomůcky, na kterých se mohou žáci učit potřebné dovednosti. Jednou z takovýchto pomůcek by mohl být například SchoolBoard (viz práce [Postav s svého prvního robota.](#)), ale pokročilejším studentům již tento hardware nemusí stačit. Proto jsem začal pracovat na novém systému, který má více možností.

Klíčová slova

trezor, ESP32, ESP32 Wrover, inteligentní LED, WS2812, BMX055, LDC1614, LDC1314, open-source hardware

Annotation

Robotics is becoming an increasingly important field, which brings with it the need for education in this field. When teaching robotics, therefore, various aids are needed on which students can learn the necessary skills. Once with such aids could be, for example, SchoolBoard (see the work Build Your First Robot), but for more advanced students this hardware may no longer need suffice. That's why I started working on a new system that has more options.

Keywords

safe, ESP32, ESP32 Wrover, smart LED, WS2812, BMX055, LDC1614, LDC1314, open-source hardware

Obsah

Úvod	9
1 Vývoj	10
1.1 První trezor	10
1.2 První mechanická varianta	12
1.3 Druhá elektronická varianta	13
1.4 Druhá mechanická varianta	15
1.5 Třetí elektronická varianta	17
1.6 Dnešní mechanická varianta	19
1.7 Dnešní elektronická varianta	20
2 Mechanická varianta	22
2.1 Úvodní shrnutí	22
2.2 Popis jednotlivých součástek a důvody konkrétního tvaru . . .	23
3 Elektronická varianta	24
3.1 Úvodní shrnutí	24
3.2 Mechanika tlakové desky	25
3.3 Zpětná západka	28
3.4 Úkosy	31
3.5 Elektronika tlakové desky	33
3.6 LED kruh	36
3.7 Napájení	37
3.8 Nabíjení	42

3.9	ESP32 a jeho programátor	43
3.10	Senzorika	45
3.11	Ovládání západky a IR komunikace	50
	Ovládání západky a IR komunikace	50
3.12	Krabice	53
	Závěr	55
	Přílohy	56
	Literatura	56
	Seznam obrázků	58
	Seznam tabulek	59

Úvod

Na konci července roku 2019 jsem dostal za úkol navrhnut výrobek pro děti na příměstský tábor pobočky D.D.M.Helceletova Brno, Robotárny. Požadavkem byla jednoduchá a levná konstrukce, kterou děti zvládnou sestavit za pár dní a ve zbytku času tábora si stihnu vyzkoušet základy programování s využitím tohoto výrobku. Z tohoto důvodu jsem začal vyvíjet elektronicky řízený trezor. Původní vize trezoru se ale rychle změnila na poměrně univerzální zařízení, kterému zůstala schopnost sloužit jako trezor. Také se přidala čistě mechanická varianta pro mladší účastníky táborů.

Trezor byl pro mě poněkud změnou oproti mé dřívějším práci, která se do té doby vždy točila kolem různých létajících nebo častěji jezdících robotů s velkým důrazem na orientaci v prostoru. Trezor je oproti těmto vozítkům daleko statictější a protože se sám nepohybuje má jeho vnímání prostoru jiné požadavky. Vozítka také vždy počítaly s jistou univerzalitou senzoriky i mechaniky zatímco trezor by měl být upravitelný jen po stránce softwaru. Další odlišností je menší konkurence která je u různých robotických stavebnic poměrně veliká jak si můžete přečíst v má dřívější práci [Postav s svého prvního robota](#).

Kapitola 1

Vývoj

Na konci července roku 2019 jsem dostal za úkol navrhnout výrobek pro děti na příměstský tábor pobočky D.D.M.Helceletova Brno, Robotárny. Požadavkem byla jednoduchá a levná konstrukce, kterou děti zvládnou sestavit za pár dní a ve zbytku času tábora se jim ukážou základy programování s využitím tohoto výrobku. Proto, a také pro poněkud nižší věk účastníků, jsme se s vedoucím Robotárny, Jiřím Váchou, rozhodli jít cestou „trezoru“. To byl rozdíl oproti našim běžným výrobkům, které většinou měly možnost pohybu, ale byly pro děti náročnější na výrobu a pochopitelně i cena u nich šla nahoru.

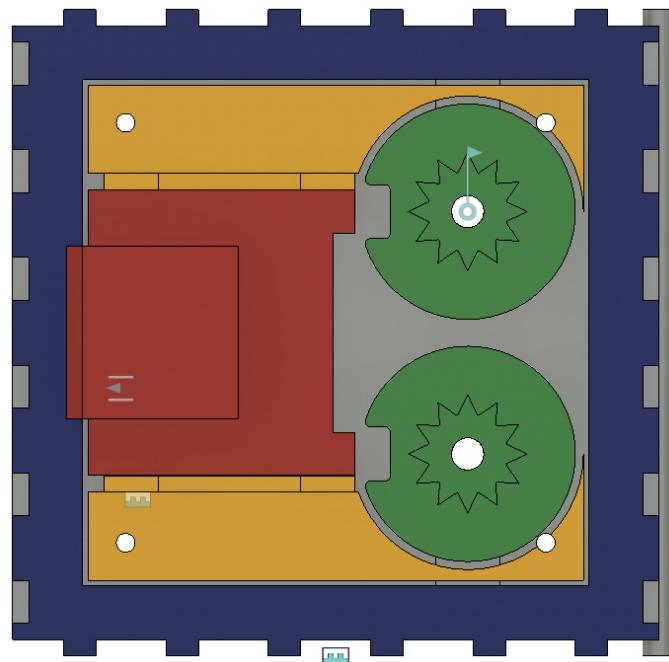
1.1 První trezor

Dal jsem se tedy do kreslení trezoru. Pochopitelně ne nějaké nedobytné pevnosti, ale malé krabičky, na které se dají ukazovat principy elektronických zámků. Jelikož se mi na podobné výrobky osvědčila jako materiál překližka, navrhoval jsem vše s úmyslem výroby z překližky za využití laseru. Konstrukce byla z velké části přizpůsobená dostupné elektronice, kterou jsem měl k dispozici a která musela být stejně použita poněkud odlišně, než jak byla zamýšlena. Neměl jsem totiž čas, a vlastně ani rozpočet, navrhovat a především vyrábět konkrétní elektroniku pro výrobek, který se měl

předložit dětem ani ne za týden. Použil jsem tedy starší univerzální desku ALKS ([Arduino Learnikg Kit Starter](#)), kterých jsem měl dostatečnou zásobu. Ovládací prvky, dvě tlačítka, dva potenciometry a tři barevné ledky, tedy celý ALKS jsem umístil na horní stranu trezoru. ALKS má v původní variantě tři tlačítka. Já jsem však jedno musel pomocí magnetu a jazýčkového magnetického konektoru použít jako kontrolu, zda jsou dveře otevřeny či zavřeny. Jako zámek jsem pak použil obyčejné servo SG90, které velice jednoduše zajelo svou páčkou do drážky ve dveřích, a tím jim zabránilo se otevřít. Celý systém pak napájela malá powerbanka, která se dala vyjmout a nabít a používala se i ve dvou dalších verzích. Tato konstrukce měla kvůli uspěchanému návrhu spoustu problémů. Většinou však šlo o problémy, které by nebylo těžké odstranit a nebylo tedy třeba předělávat celý koncept návrhu. V těsném závěsu za touto elektronickou variantou jsem ale dostal požadavek i na čistě mechanickou verzi trezoru. To byl následně jeden z důvodů velkých změn, a to i změny samotného konceptu zařízení.

1.2 První mechanická varianta

První čistě mechanická varianta vznikla začátkem srpna 2019, brzy po výše popsané elektronické variantě. Měla stále poměrně klasický vzhled trezoru – zamykatelná skříňka, která obsahovala dvě kódovací kola, která ovládala možnost pohybu jednoduché západky. Na rozdíl od její elektronické předchůdkyně bylo vše zajímavé uvnitř dveří. Také byla určena jako základ pro případný upgrade na elektronickou variantu. Na podobné vylepšení mělo stačit odstranění kódovacích kol a přidělání elektronické části. Toto sice fungovalo obstojně, zároveň i jako motivace, ale kvůli pozdější změně konceptu mechanismu tento nápad padl. Tato varianta se však ukázala jako nevhodná (kvůli přílišným nárokům na přesnost) pro stavbu s malými dětmi, pro které byla určena jakožto předstupeň k variantě elektronické (která vyžaduje i znalosti nebo alespoň ochotu k učení se programování).

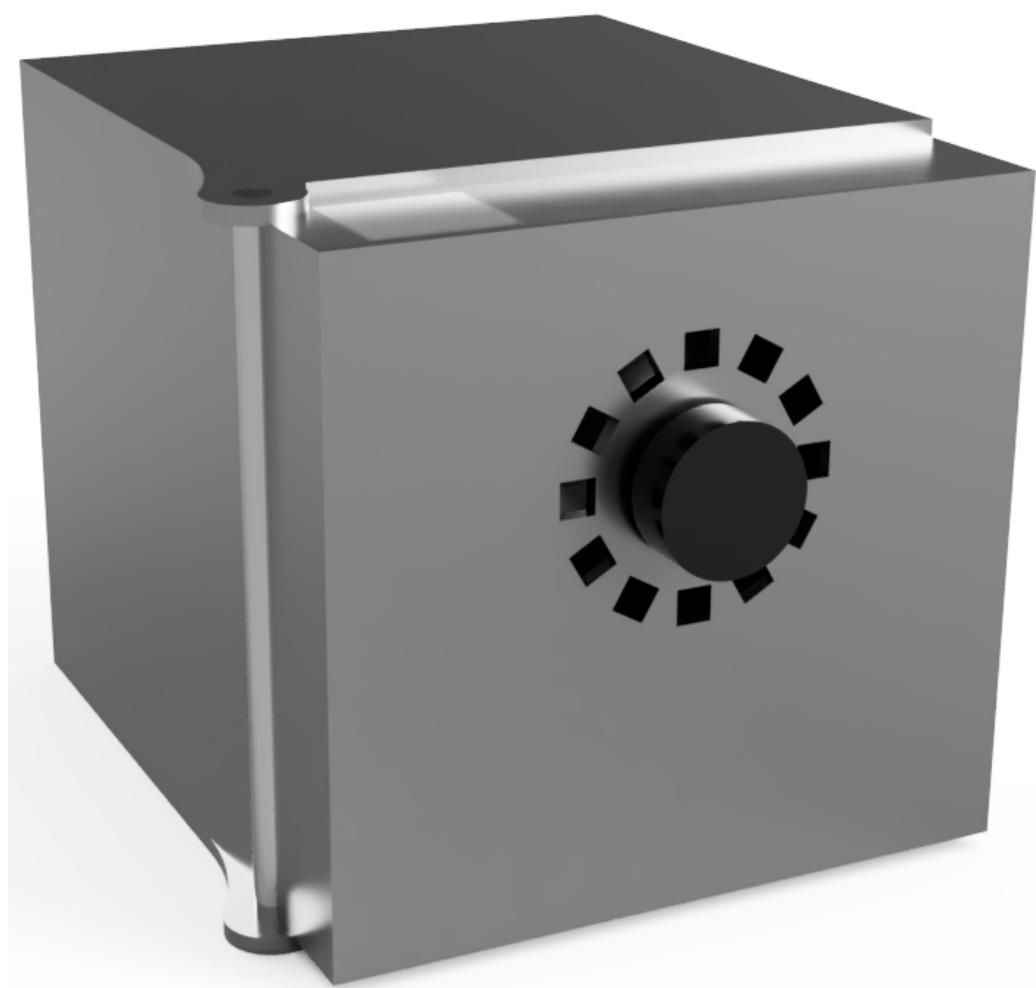


Obrázek 1.1: Zelená barva značí kódová kola, červená západku, modrá pevnou část trezoru a žluté díly tvoří distanci

1.3 Druhá elektronická varianta

Druhá verze elektronické varianty testovala použitelnost signalizačního kruhu, o dvanácti ledkách, kolem uprostřed dveří umístěného enkodéru. Jako základ trezoru jsem použil první mechanickou variantu, ze které jsem odstranil zamykací kola a doplnil o servo, řídící elektroniku a již zmínění kruh ledek a enkodér. Vzhledem k tomu, že se jednalo jen o hrubý prototyp, tak neměl specializovanou desku a elektroniku - tedy tvořila jen změť kabelů a kousek univerzální desky, takže nemám elektronickou variantu tohoto zapojení.

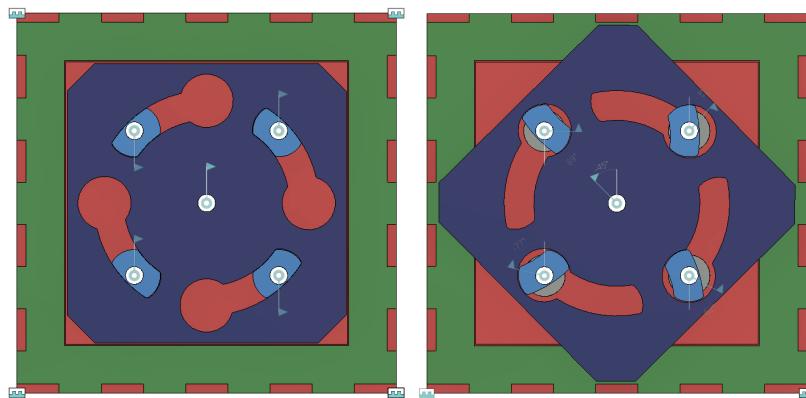
Trezor měl pro komunikaci s uživatelem tedy kruh o dvanácti ledkách a jeden vstupní prvek, enkodér s tlačítkem. Ovládání tedy bylo od tohoto odvozené a trezor se zmačknutím zapnul a tlačítko pak dál sloužilo jako potvrzování výběru. Člověk tak mohl pomocí enkodéru otáčet jedinou rozsvícenou ledku a stiskem potvrdit, vstupní kód tedy mohl vypadat například jako čas, a uživatel ho zadal na kruhu odvozeném od ručičkových hodin, proto právě dvanáct ledek. Konkrétní ovládání je pochopitelně závislé na nahraném programu a mohlo by se tedy jednoduše změnit do libovolné podoby - to co popisuji je jen konkrétní možnost, kterou jsem použil.



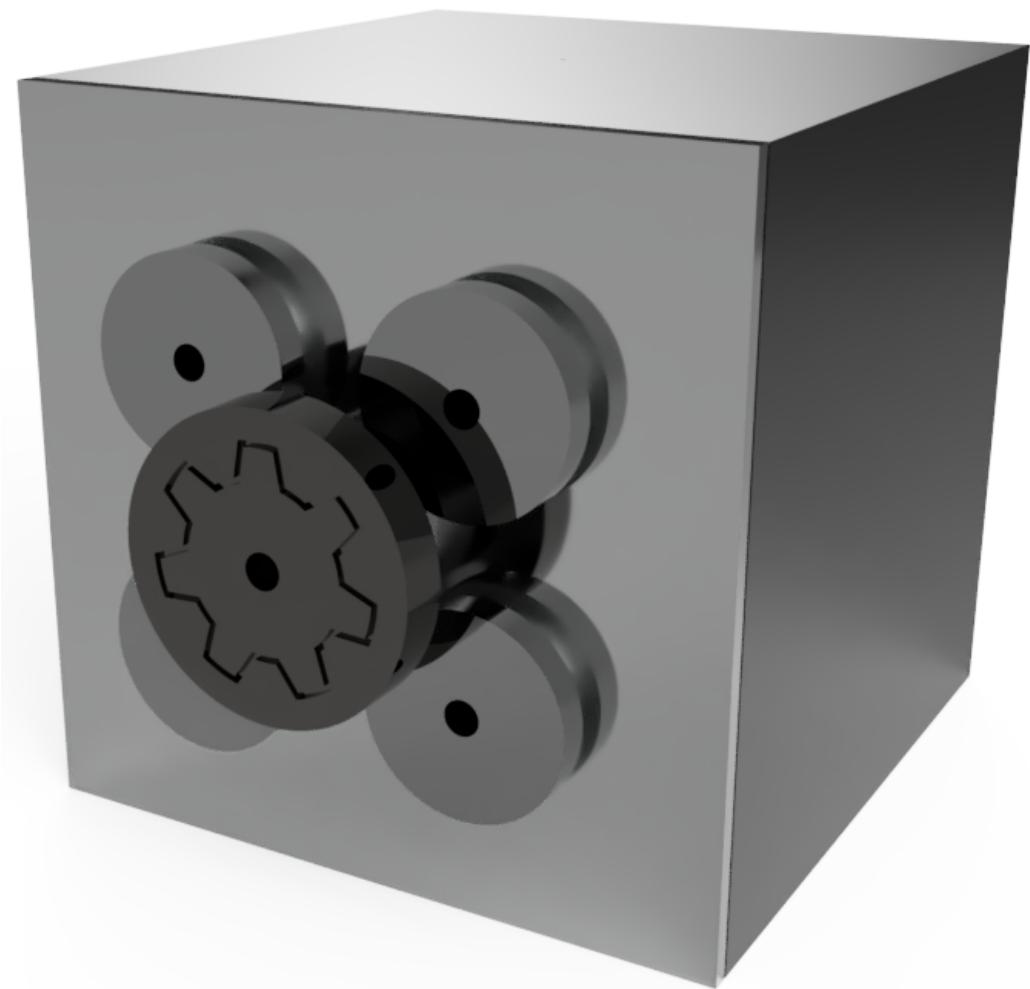
Obrázek 1.2: render varianty E2

1.4 Druhá mechanická varianta

Druhá mechanická varianta má oproti první verzi daleko větší počet možných kombinací. Ovládá se pěti koly, z nichž čtyři zajišťují heslo a páté otáčí s rotační západkou, které drží dveře na svém místě. Tato varianta taky přichází z možností dveře úplně oddělit od skříně trezoru. To by při využití jako trezor, který má za úkol jen ochraňovat svůj obsah, sice nepřinášelo žádný velký užitek, ale při mé využití, spíše jako herní prvek než trezor, to může být užitečné.



Obrázek 1.3: zamykací mechanizmus varianty M2

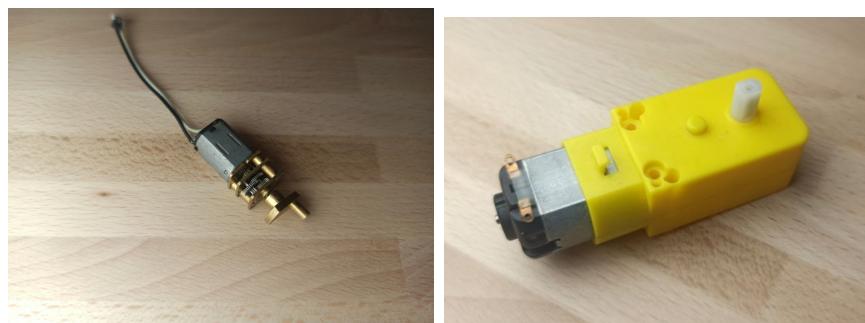


Obrázek 1.4: render varianty M2

1.5 Třetí elektronická varianta

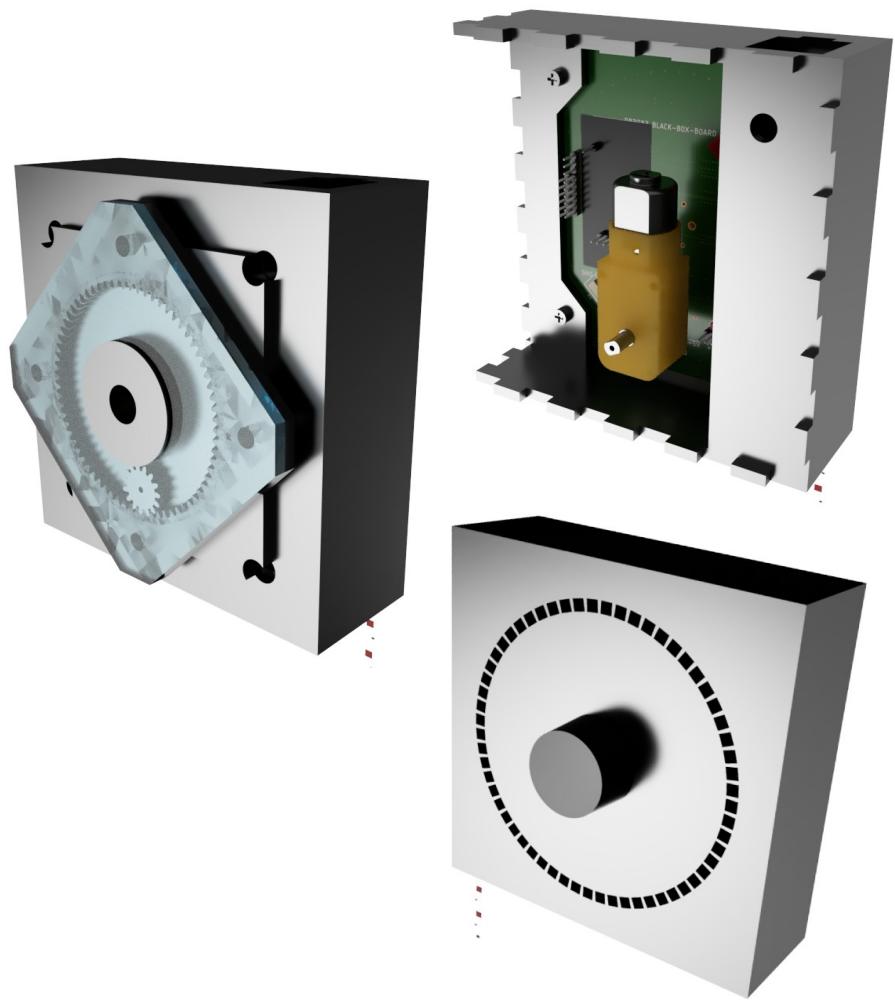
Třetí verze elektronické varianty do značné míry vycházela z předchozí, druhé verze, a dále na ní stavěla. Asi nejzjevnější změna bylo navýšení počtu ledek z dvanácti, jakožto hodiny, na šedesát jakožto minuty, což pochopitelně znamenalo i zvětšení kruhu. Na desku se ale přidaly i nové funkcionality, a to gyroskop, pro možnost znalosti náklonu zařízení, akcelerometr, pro znalost směru a velikosti zrychlování, magnetický kompas, pro určení světových stran, RTC (Real Time Clock, hodiny reálného času), pro znalost přesného času a také GPS pro možnost určení své polohy. Také jsem použil, po vzoru mechanické varianty, rotační západku, což znamenalo, že na stejný trezor se daly použít jak mechanické tak elektronické dveře.

Tato verze měla dvě podverze, které se lišily motorem.



Obrázek 1.5: fotky obrázků

Přes velké množství funkcí jsem, kvůli několika věcem ale opět koncept přepracoval. Hlavním důvodem změn bylo náročné uložení rotační západky, které vyžadovalo ozubený věnec a několik dalších tisknutých dílů.



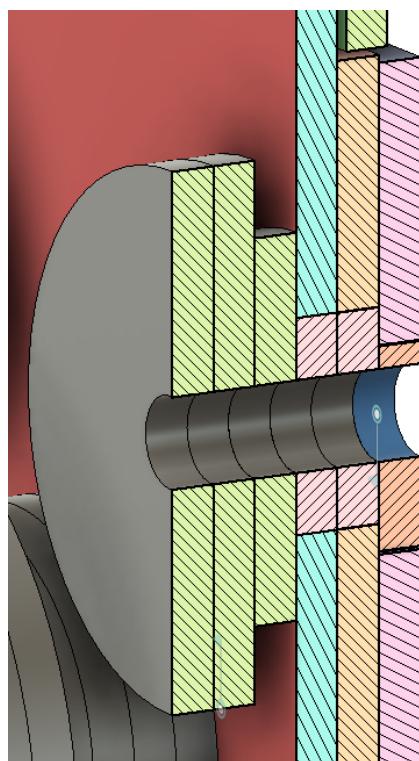
Obrázek 1.6: render varianty E3

1.6 Dnešní mechanická varianta

Dnešní mechanická varianta je téměř stejná jako druhá verze rozdíl je jen v uložení kol, které kolem hřídelů získalo distanční kroužky, které zjednodušují lepení.



Obrázek 1.7: render varianty M3



Obrázek 1.8: Řez kódovacím kolem

1.7 Dnešní elektronická varianta

Čtvrtá elektronická varianta byla co se elektroniky týče přímým pokračováním předchozí verze. Hlavní dvě věci, co se změnili, bylo ovládání a princip zamykání.

Princip mechanizmu Zamykání je založeno na mechanizmu bajonetu a zamčení je zajištěno západkou, která zabraňuje zpětnému otočení. Západka je ovládána motorem, který otáčí magnetem a tak přitahuje nebo odpuzuje magnet na západce. Důvodem pro magnetické ovládání byla možnost západku ovládat i přes pevnou stěnu a také pružné spojení které takto vznikne, takže se trezor například dá zavřít i když je už zamčen (když například dveře nejsou dovrženy).



Obrázek 1.9: rendery trezoru E4

Shrnutí změn z minulé verze Trezor získal možnost komunikace pomocí IR, pro možnost identifikace různých dveří, dále získal magnetický enkodér, pro možnost snazšího ovládání motoru zámku. Další inovací byl programovací systém s USB-C, na místo USB-micro jako dřív. Tento programátor si má možnost úplně odpojit napájení, a to v rámci šetření energie, když ho trezor nevyužívá, a zároveň možnost zákazu přeprogramování. Podstatnou změnou také bylo rozdělení elektroniky do dvou různých desek, protože na

jedné by nebyl dostatek místa. Jedna deska tak obsahuje ledkový kruh a čip LDC1614 nebo LDC1314 se čtyřmi cívkami, které měří vzdálenost tlakové desky. Na druhé desce pak bylo vše ostatní, tedy procesor, akcelerometr, gyroskop, magnetický kompas, RTC (Real Time Clock, hodiny reálného času), barometr, IR vysílač a přijímač, magnetický enkodér, programátor, řešení napájení, řízení motoru a nabíječka.

Ovládání Předchozí varianty měli jako hlavní ovládací prvek enkodér s tlačítkem, ten jsem v nynější variantě odstranil, aby přední stěna neměla podobný velký výstupek. Proto jsem tento prvek nahradil indukční tlakovou deskou, která vyplnila vnitřek kruhu ledek. Zbytek ovládání víceméně přetrval, jen kvůli nedostatku času a pandemií způsobenému nedostatku součástek, trezor přišel o GPS. Na druhou stranu získal barometr s rozlišením schopným detektovat změnu výšky o půl metru.

Napájení Předchozí verzím sloužila jako napájení powerbanka. Ta však kladla poměrné velké omezení, dokázala poskytnout proud pouze jedné ampéry, a proto jsem jí nahradil vlastním zdrojem, dvěma baterkami 18650. To však samozřejmě znamenalo nutnost vlastního řešení stabilizace napětí, díky čemuž trezor dostal stepup, který spíná napětí z 3.5V až 4.2V na 5V, a původně stepdown, později lineární stabilizátor, který poskytoval 3,35V. Trezor také dostal vlastní nabíječku, aby stačilo připojit kabel, stejně jako třeba u mobilu.

Kapitola 2

Mechanická varianta

2.1 Úvodní shrnutí

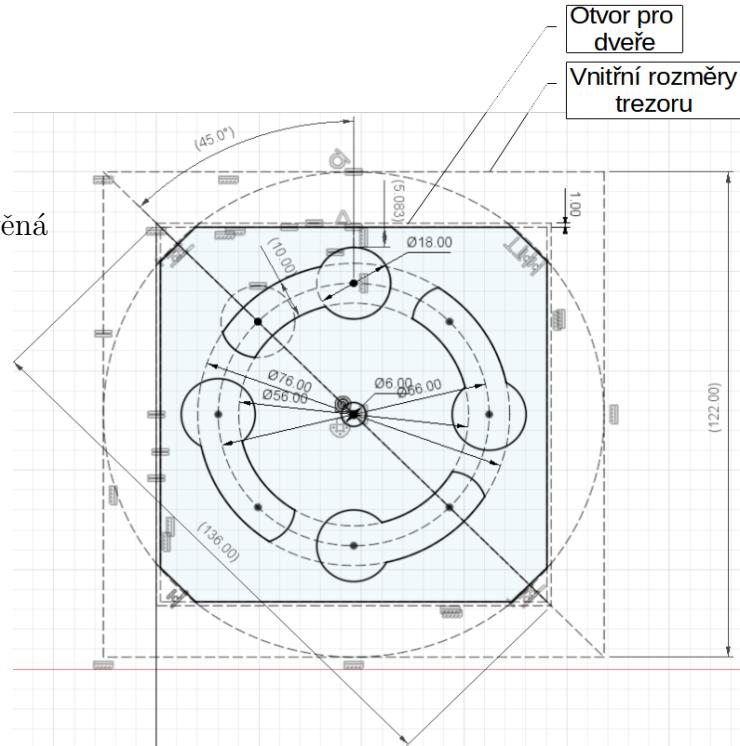
Dnešní mechanická varianta se zamyká pomocí rotační západky a čtyř kódovacích kol, které blokují západku v zamčeném stavu.

Princip mechanizmu viz obrázky 1.3

Vedle elektronické varianty jsem navrhl variantu mechanickou abych měl jednoduší, a i levnější, trezor pro mladší účastníky táborů a jiných akcí.

2.2 Popis jednotlivých součástek a důvody konkrétního tvaru

Geometrie západky Tresor má tvar krychle a délku hrany má 128mm, násobek šestnácti jsem zvolil kvůli jednoduché návaznosti na dřívka, dřevěná dřívka s obdélníkovým průřezem 3x16mm nebo 2x16mm. Protože je tresor vyroben z překližky o síle 4mm jsou jeho vnitřní rozměry o 4mm na každé straně menší (takže 122mm).



Obrázek 2.1: náčrt

Kapitola 3

Elektronická varianta

3.1 Úvodní shrnutí

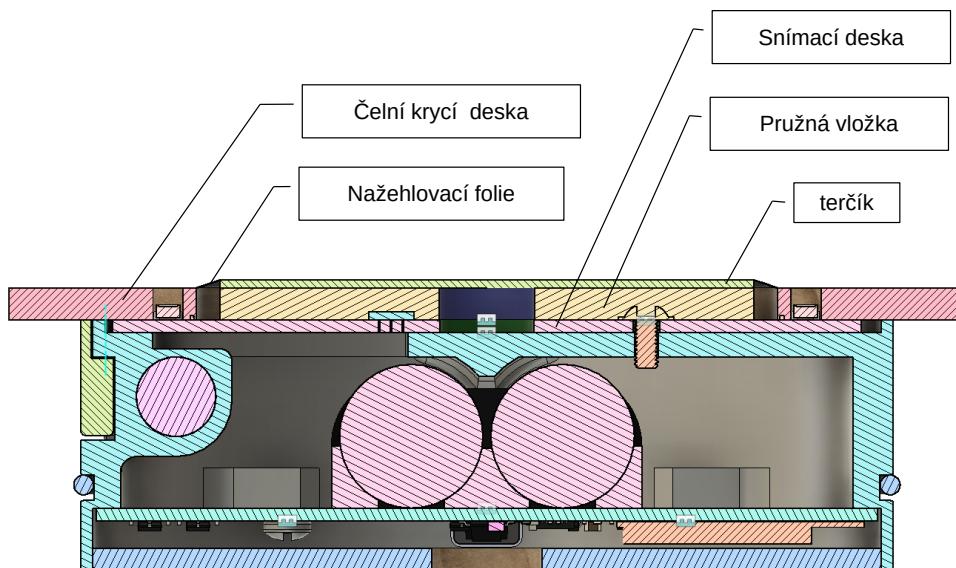
Dnešní vzhled elektronické varianty, se zamyká pomocí mechanizmu bajonetu a magneticky řízené zpětné západky. Elektronika je pak vybavena čipem ESP32, který obsahuje dva procesory Xtensa LX6, WiFi a bluetooth. Dále je trezor vybaven čipem BMX055 nebo dvojicí čipů MPU6050 a QMC5883 které poskytují gyroskop, akcelerometr a magnetický kompas. Dále je sde SPL06, barometr s přesností měření 0,06hPa což umožňuje rozeznat změnu nadmořské výšku o polovinu metru. Další systém trezoru je IR přijímačem a vysílačem, který je zde pro možnost jednoznačné identifikace dveří ale pochopitelně muže sloužit i pro jiný učel. Deska je také vybavena hodinami reálného času, vlastní programátor pro usnadnění programování a vedle ESP32 asi nejvýznamnějším čipem, LDC1614, případně LDC1314, který umožňuje funkci tlakové plochy.

ESP32	dva procesory Xtensa LX6, WiFi a bluetooth	
BMX055	gyroskop, akcelerometr, magnetický kompas	možno nahradit dvojicí čipů MPU6050 a QMC5883
SPL06	barometr	rozlišení až 0,06hPa což umožňuje rozeznat změnu nadmořské výšky o 0,5m
IRM-H936 a IR led	IR komunikace	
LDC1614	snímání tlakové desky	počítá se s možnou záměnou za LDC1314
CP2102	programátor	s hardwarově zajištěným odpojováním napájení pokud není využíván

Tabulka 3.1: shrnutí elektronického vybavení

3.2 Mechanika tlakové desky

Indukčně snímaná tlaková deska, funguje díky čtyřem cívkám, na desce plošných spojů, které mění svojí indukčnost podle vzdálenosti snímané desky, terčíku. Z tohoto důvodu se terčík při používání naklání, čímž zároveň mění svojí vzdálenost od jednotlivých cívek. Z toho také plyne nutnost uložit terčík částečně volně. Terčík je proto od snímací desky oddělen pružnou vložkou, která je zároveň předepnuta pomocí nažehlovací folie která kryje přední stranu dveří, a spojuje terčík s čelní krycí deskou. Díky nažehlovací folii je také přední část dveří voděodolné.

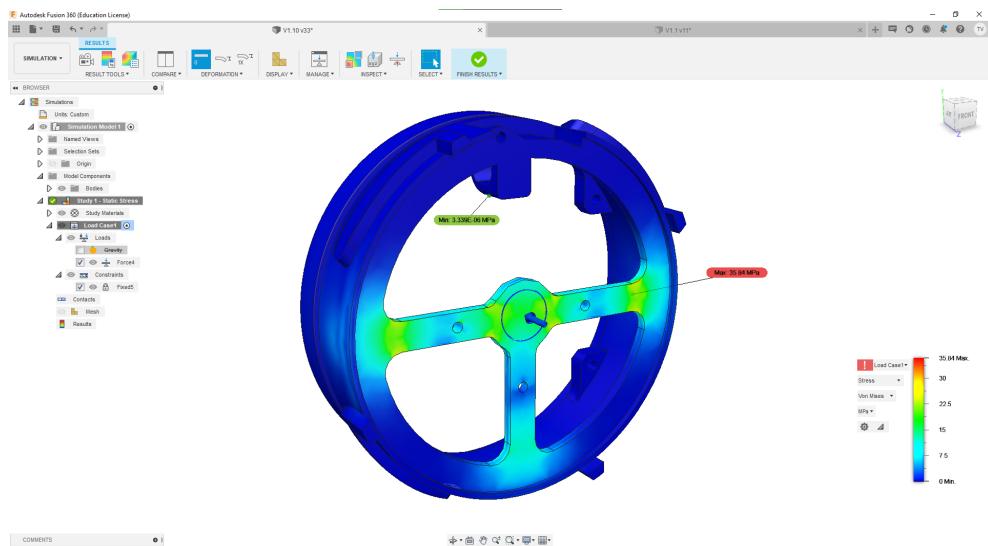


Obrázek 3.1: řez varianty E4

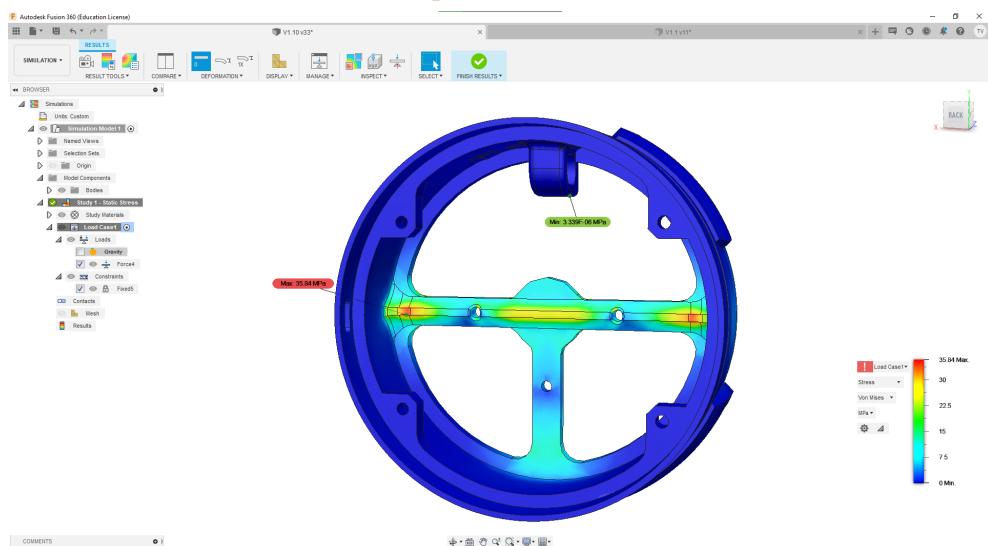
Tlaková deska zárově počítá s možností působení síly o velikosti až 500N, což samozřejmě zároveň znamená že tělo dveří tomuto zatížení musí odolat. Vzhledem k tomu že nemám možnost vyrobit tělo z kovu, a jsem odkázán na 3D tisk a laserovou řezačku, a zároveň chci mít dveře co možná nejmenší,

musel jsem napočítat kritické části napřesno. Z tohoto důvodu jsem v programu Fusion 360, ve kterém jsem trezor vyvíjel, dělal simulace, kterou zde přikládám.

Jako materiál těla jsem v první fázi zvolil standardní fotopolimer pro tiskárny typu SLA, s pevností v tahu 46 až 67 MPa. V budoucnu bych ale chtěl tělo odlévat z nějakého houževnatého polyuretanu, aby se zlevnila výroba a zároveň stoupala odolnost.

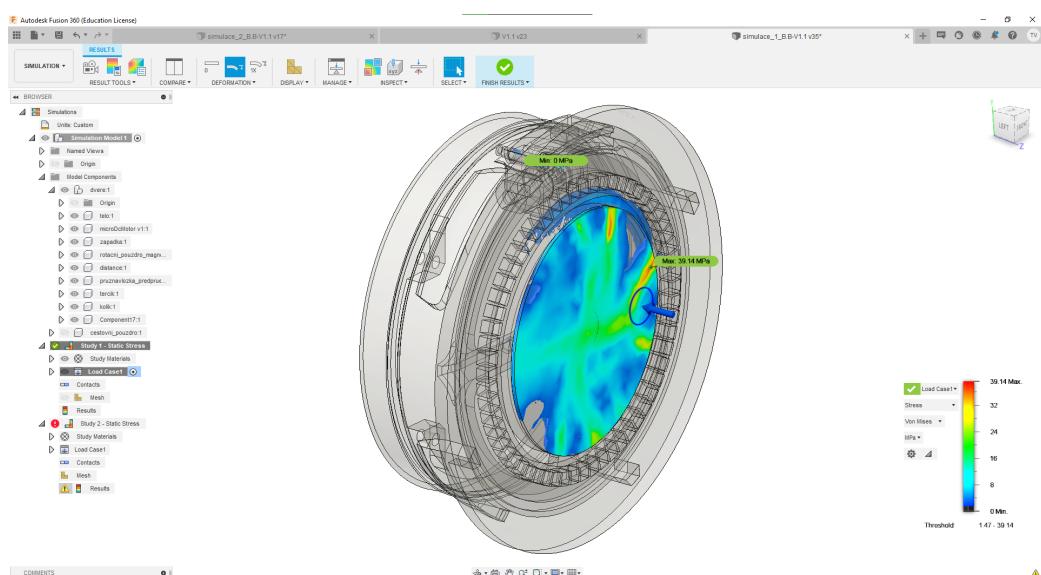


Obrázek 3.2: pevnostní simulace těla



Obrázek 3.3: pevnostní simulace těla pohled zezadu

Tato simulace testuje působení síly přímo na tělo, což není působení které by v provozu nastávalo. Takovéto namáhání je ale o dost náročnější než to které by reálně nastalo.



Obrázek 3.4: simulace sestavy

jak je vidět tak i silu 100N dokaže sendvič z terčíku, pružné podložky a snímací desky, rozložit na dostatečnou plochu aby napětí v těle nestouplo nad cca 3MPa. Na obrázku je zobrazené jen napětí nad 1.5MPa

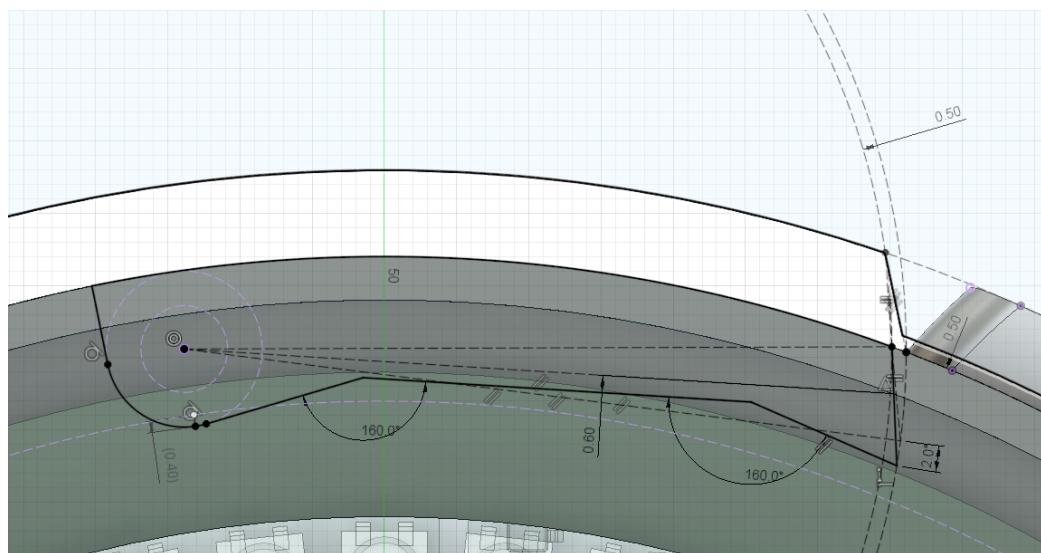


Obrázek 3.5: render západky

Zpětnou západkou pohybuje motor pomocí magnetu. Pro zajištění voděodolnosti je motor od západky oddělen stěnou, což je také jeden z důvodů použití magnetického spojení.

3.3 Zpětná západka

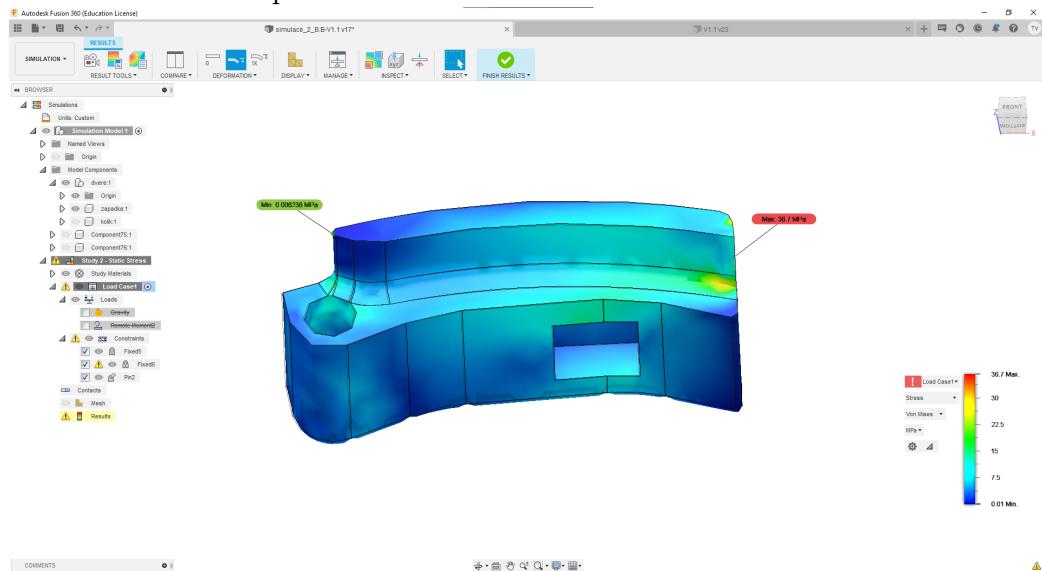
Sklon čela Aby při zamčení západka doléhala na otvor trezoru, a zároveň neměla příliš velkou vůli, je potřebné správně navrhnut tvar západky. Jednou z možností je navrhnut čelní plochu jako část válcové plochy. Tato plochu také musí být zároveň v otvoru pro dveře. Sice teoreticky není problém jí na FDM tiskárně vytisknout, pro západku, a na laseru vypálit v otvoru, ale výsledná plocha je hlavně u tisku nevhledná a je třeba jí obrousit do požadovaného vzhledu. Obrousit válcovou plochu je však náročnější než plochu rovnou, zvlášť v otvoru trezoru, a je tedy pro mě výhodnější navrhnut tuto plochu jako rovinu a jen jí správně sklonit. Špatně navržený sklon by se projevil buď přílišnou vůlí což by znamenalo, že by se dveře v trezoru viklaly a nebo by západka nebyla samosvorná což by se projevilo možností trezor otevřít větší silou i bez jeho odemčení.



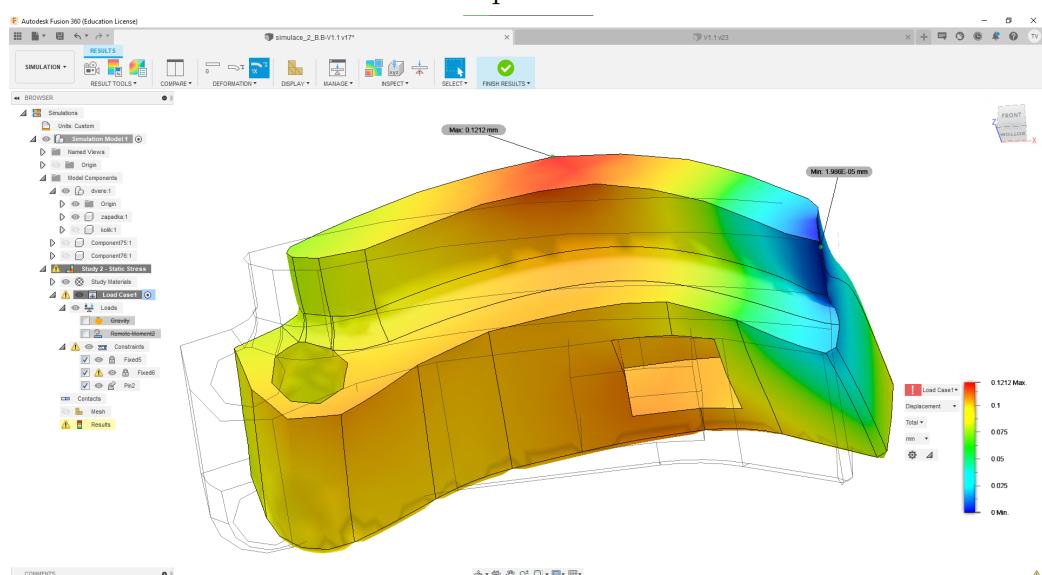
Obrázek 3.6

západka v průběhu vývoje Západka se ve vývoji pochopitelně objevila společně s bajonetem ale v první verzi byla jen částí těla dveří a teprve v dalších verzích se stala samostatnou součástkou. První tělo využívající bajonet jsem tiskl na FDM tiskárně z plastu PLA a západka byla jen jeho pružnou částí. Toto řešení sice z počátku fungovalo a mělo výhodu jednoduší výroby, ale PLA po několika měsících začalo ztráct pružnost a západka se už nepohybovala v celém rozsahu. Toto jsem z počátku chtěl řešit samostatnou západkou ve spojení s tažnou pružinou. Pružina však nebyla třeba a naprostě stačí magnet na motoru a v západce. Západka proto zůstala v této podobě a jen se přidala mechanická přepážka kvůli voděodolnosti.

simulace odolnosti proti násilnému vniknutí Vzhledem k tomu že západka je součást která při zamčení brání otevření je třeba aby odolala při pokusech dveře otevřít bez odemčení.



Obrázek 3.7: simulace napětí v západce při kroutícím momentu 5000 N*mm což na rameni 48mm znamená sílu působící na kolík 104N



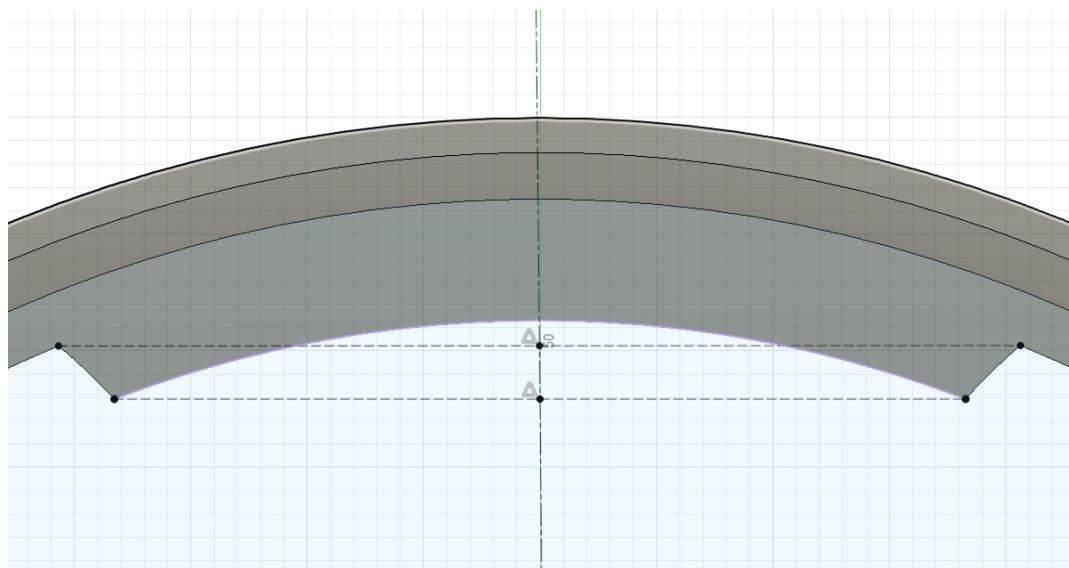
Obrázek 3.8: zobrazení deformace, pro lepší zobrazení je deformace zdesezinásobená

3.4 Úkosy



Obrázek 3.9: ukládací úkosy

Aby bylo jednoduší při zavírání dveře správně natočit, mají zarážky na vnitřní straně velké úkosy, které tak zvětšují na vnitřní straně vůli a při zasouvání navedou dveře do správné pozice.

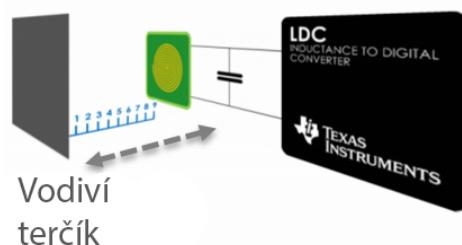


Obrázek 3.10: symetrie zarážky

Zarážky na obvodu otvoru mají obě kontaktní plochy stejné. Sice by mohlo být výhodné přizpůsobit tvar strany, kolem které, se pohybuje západka, pohybu západky. Západka by tak mohla mýt vedení v průběhu celého pohybu. Pro symetrii jsem se však rozhodl kvůli možnosti díl s otvorem otočit. To je výhodné při stavbě s dětmi, kvůli zmenšení počtu chyb kterých se děti můžou při stavbě dopustit, a stráta vedení není tak zásadní.

3.5 Elektronika tlakové desky

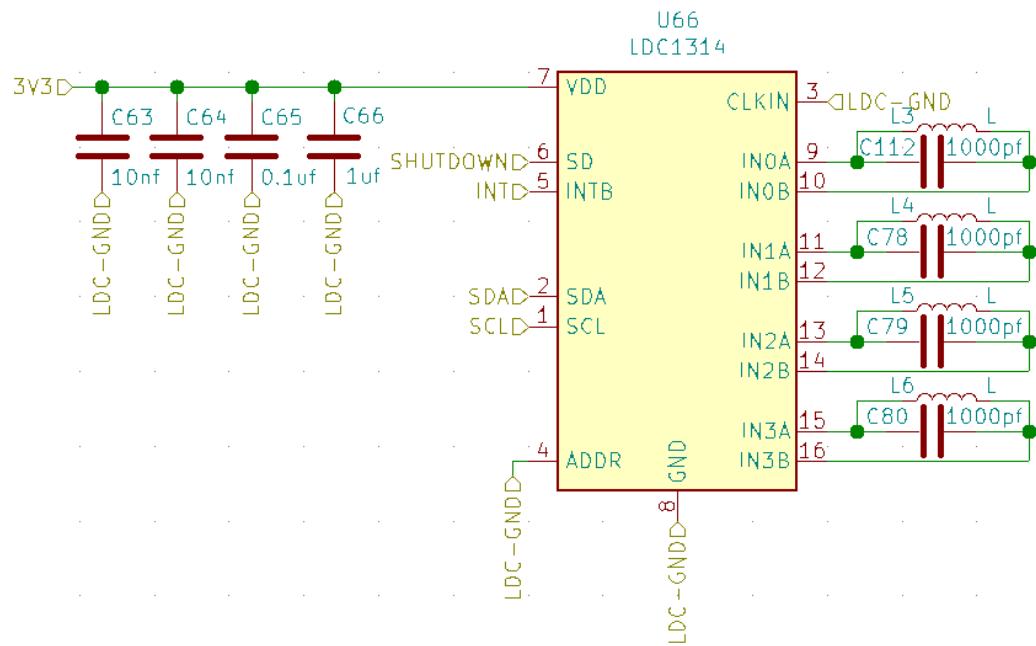
Tlaková plocha se díky pružné podložce a nažehlovací folii muže ve všech směrech naklánět a díky tomu se při používání mění vzdálenost od čtyř snímacích cívek. Tlaková plocha je primárně terčík, který slouží jako jádro cívky, která zvětšuje svou indukčnost když se terčík přibližuje a naopak.



Obrázek 3.11: schematické zobrazení cívky a terčíku

Pro snímání indukčnosti používám čip [LDC1614](#) nebo [LDC1314](#) které se liší prakticky jen rozlišením. LDC1314 disponuje dvanáctibitovým AD převodníkem a LDC1614 dvacetiosmibitovým AD převodníkem, a je tak schopen detektovat pohyb terčíku s rozlišením až na 10 nm.

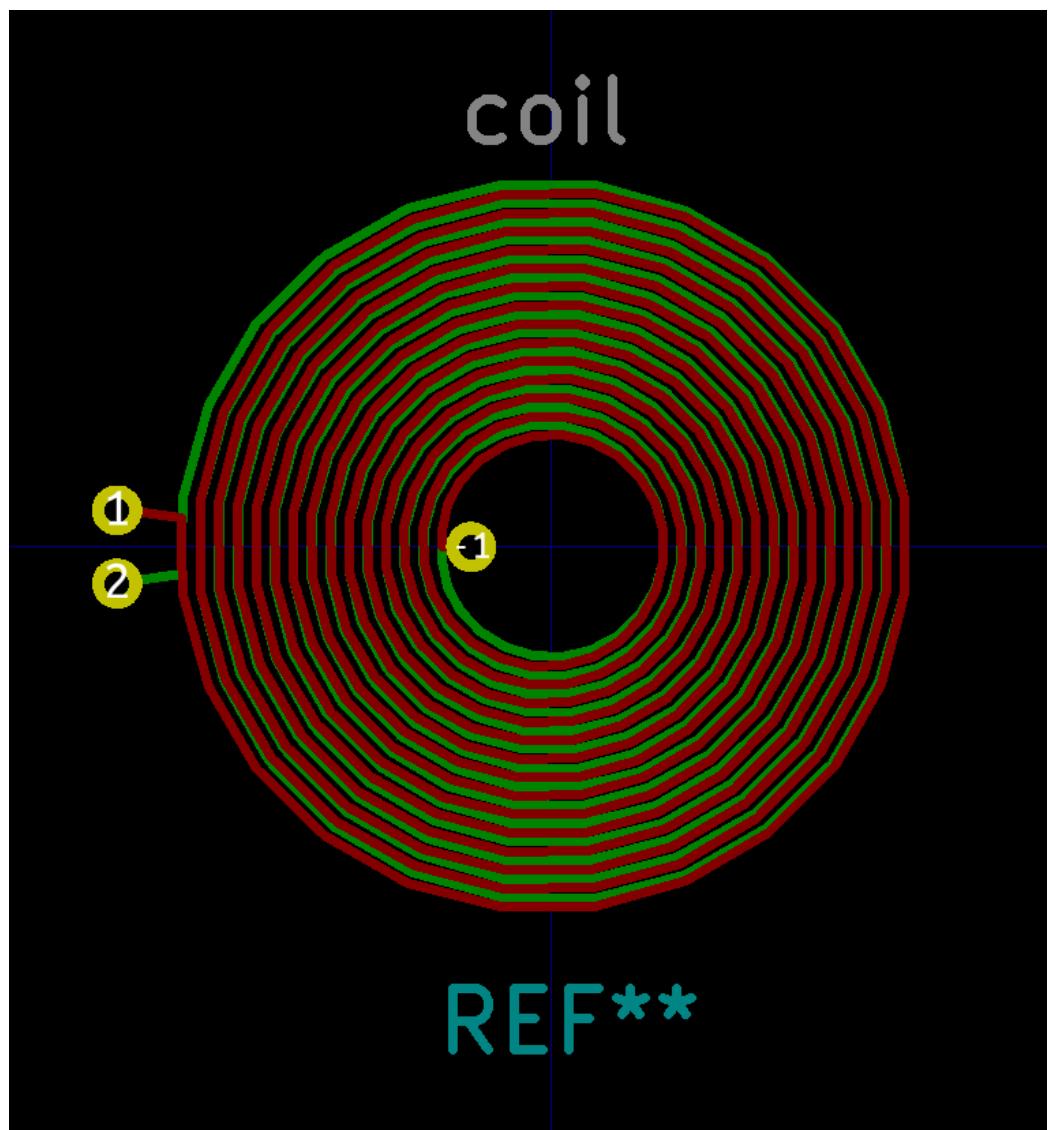
Čip LDC komunikuje po sběrnici I2C která umožňuje komunikaci jednoho mastera, čip který řídí komunikaci, s až 128 slavi, čipy které přijímají příkazy od mastra a maximálně mu odpovídají. LDC také umožňuje volbu ze dvou I2C adres, aby se dali použít dva tyto čipy na jednom I2C, nebo aby se dala změnit případná kolize s jiným čipem který by měl stejnou adresu.



Obrázek 3.12: zapojení čipu LDC1314 na desce trezoru

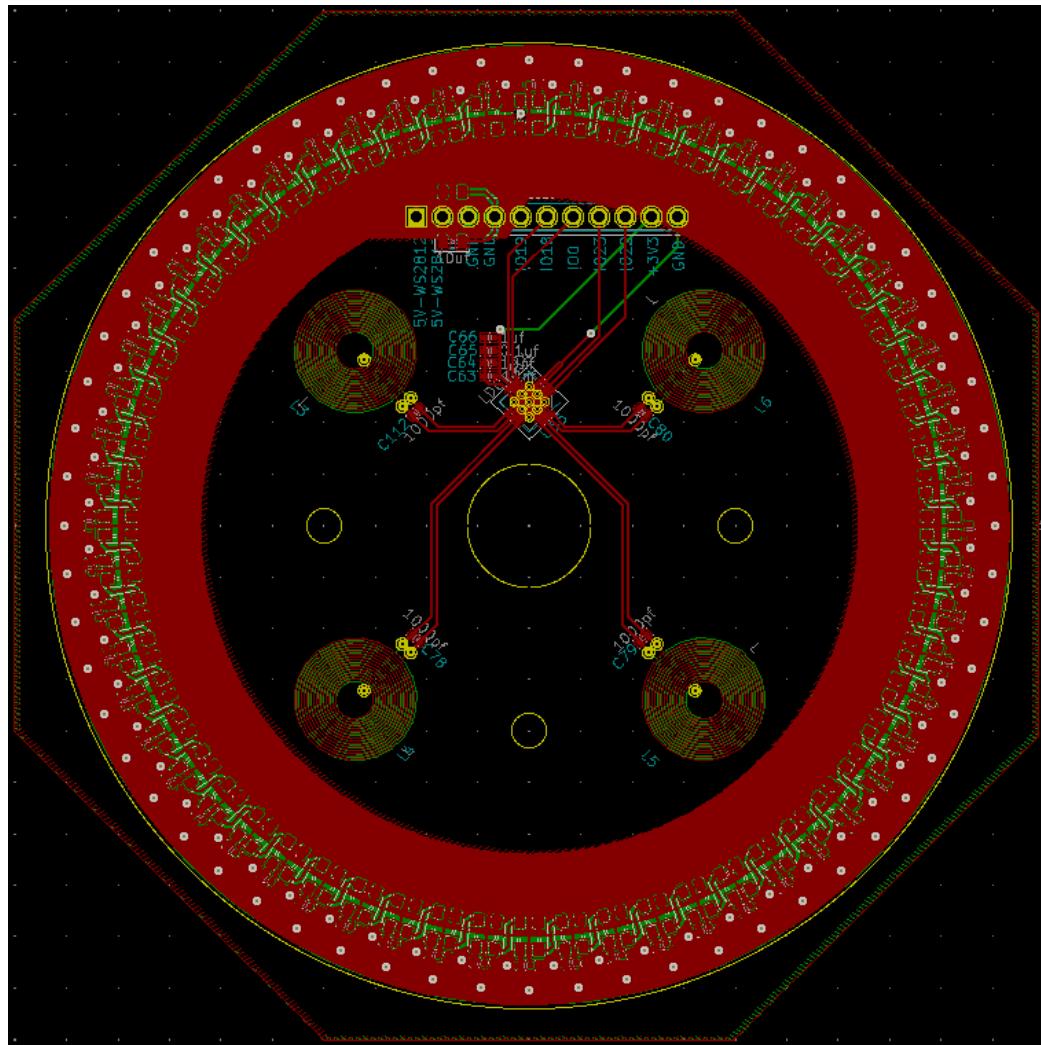
Cívky použité na trezoru jsou vyrobeny jako reliéf v vrstvě mědi přímo na DPS. Jejich vzhled jsem navrhoval v simulátoru od Texas Instruments, vytvořeného konkrétně pro LDC čipy, a s pomocí popisů dřívějších aplikací které firma Texas Instruments zveřejňuje.

Výsledná cívka je vytvořena na dvouvrstvé desce a na každě vrstvě má patnáct závitů s drahou o síle 0.152mm se stejně velkou mezerou.



Obrázek 3.13: vzhled reliéfu cívky

Celí trezor obsahuje dvě samostatné elektronické desky přičemž na jedné je osazen jen, kruh z ledek WS2812, a právě snímání tlakové desky které zabírá většinu teto desky.



Obrázek 3.14: vzhled desky s kruhem WS2812 a snímáním tlakové desky

3.6 LED kruh

Trezoru vévodí světelný kruh slouží jako displej na kterém trezor může zobrazovat vše co potřebuje. Krhu obsahuje šedesát jednotlivých ledek [WS2812](#), konkrétně WS2812 miny. Variantu miny jsem zvolil aby kruh mohl mít menší průměr, který takto vychází na 80mm. WS2812 mají totiž rozměr pouzdra 3.5x3.5mm zatím co ostatní varianty mají rozměry 5x5mm což by znamenalo průměr alespoň 120mm.

WS2812 není jen ledka ale má v sobě logiku díky které se dají řetězit za sebe, takže na řízení celého kruhu stačí jen jeden pin na ESP32.

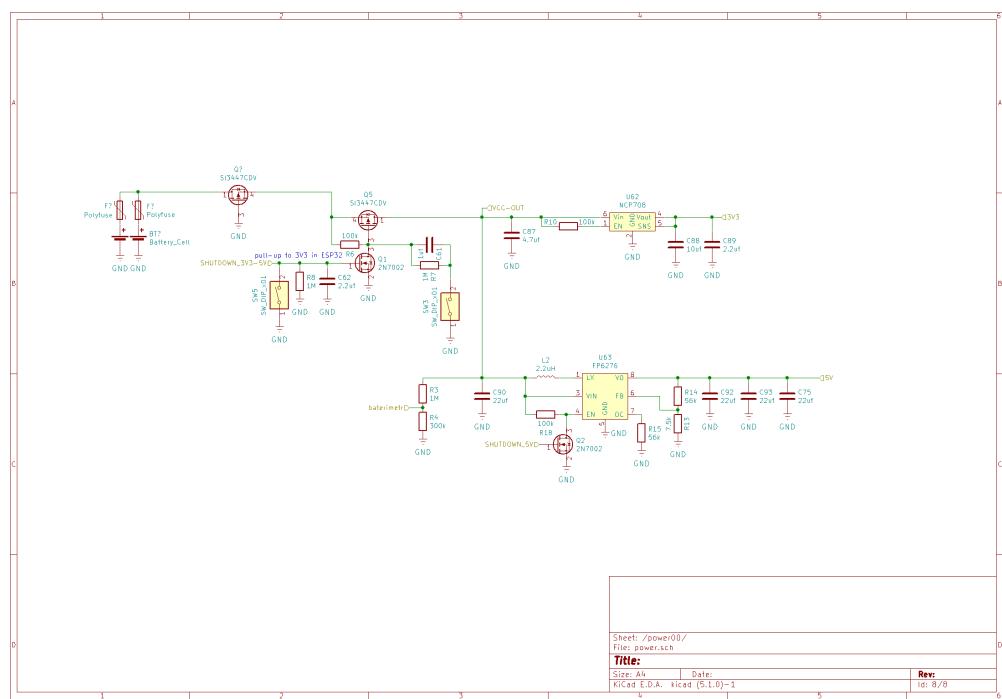
Ukázka PCB viz. obrázek [3.14].



Obrázek 3.15: zapojení ledek WS2812 na desce trezoru

3.7 Napájení

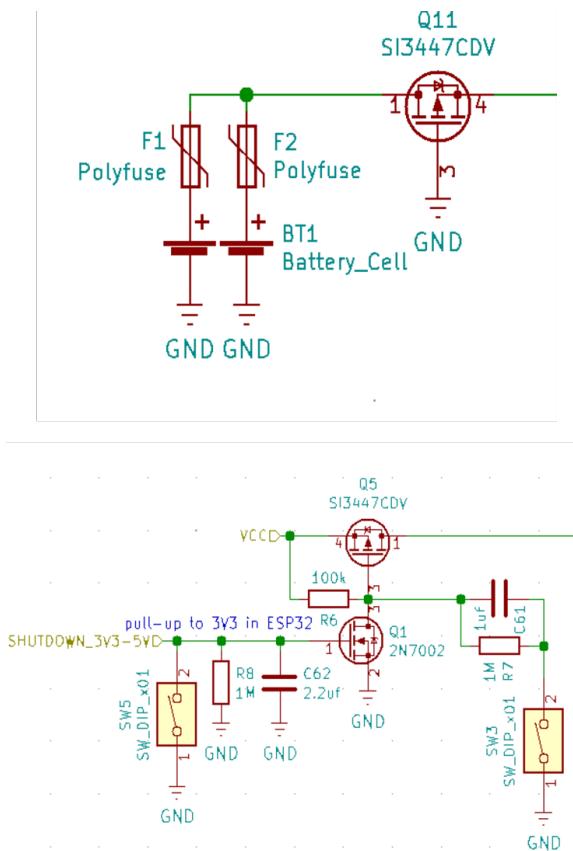
Jako napájení celého trezoru slouží dvě li-on baterie 18650. Napětí článků však nevyhovuje potřebám trezoru a tak je na trezoru lineární stabilizátor NCP708, který zajišťuje napětí 3,3V pro většinu systému. Kromě NPC708 je zde také step-up FP6276 který zajišťuje napájení 5V sloužící primárně ledkám WS2812 a v druhá řídě motoru zámku.



Obrázek 3.16: zapojení zdroje

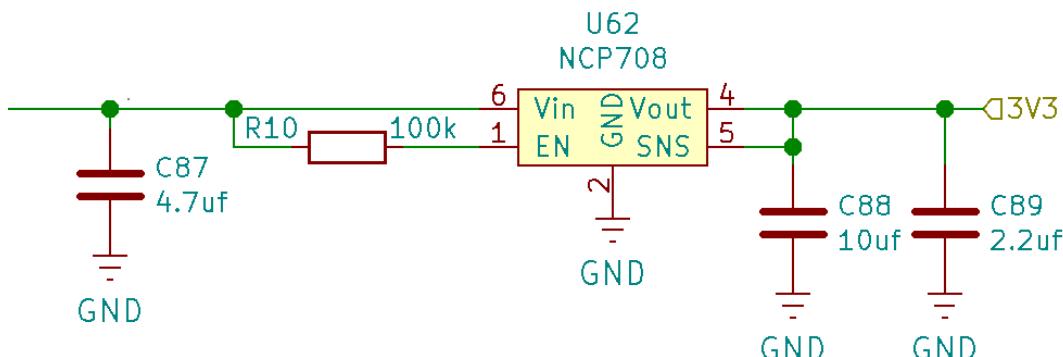
Zapínání Aby se trezor mohl vypnout a tak šetřit energii je vybaven obvodem který to zařizuje.

Při připojení článků se napětí dostane nejprve na polyfuse, které slouží jako ochrana proti nadproudům, například v případě kdy uživatel připojí dva různě nabyté články nebo jeden z nich přepóluje. Pokud se napětí dostane skrz polyfuse, dostane se na tranzistor Q11, skrz který projde jen pokud jsou články správně otočeny. Když se napětí dostane přes ochranu proti přepólování dostane se na S tranzistoru Q5, skrz R6 na D Q1 a pak skrz R7 na obě strany C61. Pokud v takovéto situaci dojde ke stisku SW3, projde zem skrz C61 na G Q5. V tu chvíli se Q5 otevře na dostatečně dlouhou dobu, aby naběhla třívoltová větev a skrz pull-up (na obrázku je jen poznámka ne reálná součástka) se zvedla napětí na G Q1 na téměř 3,3V. Q1 se tak otevře a už trvale připojí GND na G Q5, trezor se tak zapnul. Pokud v takové chvíli procesor stáhne dráhu SHUTDOWN 3V3-5V na GND, nebo dojde ke stisku SW5, opět se uzavře Q1 a skrz R6 projde na G Q5 napětí které Q5 uzavře a tak elektroniku opět vypne.



Obrázek 3.17: Ochrana proti přepólování a zapínání

Stabilizátor Stabilizátor NCP708 má pin EN který slouží k jeho vypínání, pokud je na nem logická 0 je stabilizátor vypnut a pokud 1 je zapnut. Vzhledem k tomu že v mého zapojení toto vypínaní nepotřebuji je pin EN připojen přes R10 přímo na napájecí napětí a tak je stabilizátor trvale zapnut. Druhý pin kterým se NCP708 liší od jiných stabilizátorů je pin SNS, který je vrchní stranou děliče, který určuje výstupní napětí. Vzhledem k tomu že je dělič nastaven právě tak jak potřebuji nemusím ho nijak upravovat a tak je SNS napojen přímo na výstup stabilizátoru. Konkrétně NCP708 jsem vybral kvůli malému pádu napětí, který vyžaduje pro svůj provoz, typicky 0,25V při proudu 1A. Vzhledem k tomu že na vstupu mám maximálně 4,2V tak maximální napěťový pád který mám k dispozici je 0,9V, protože na výstupu požaduji napětí 3,3V. Navíc musím počítat i s vybitou baterii, u které počítám s napětím 3,5V. Rád bych počítal s napětím ještě nižším ale v nabídce JLCPCB jsem nenašel stabilizátor s nižším pádem napětí a zároveň dostatečným proudem.



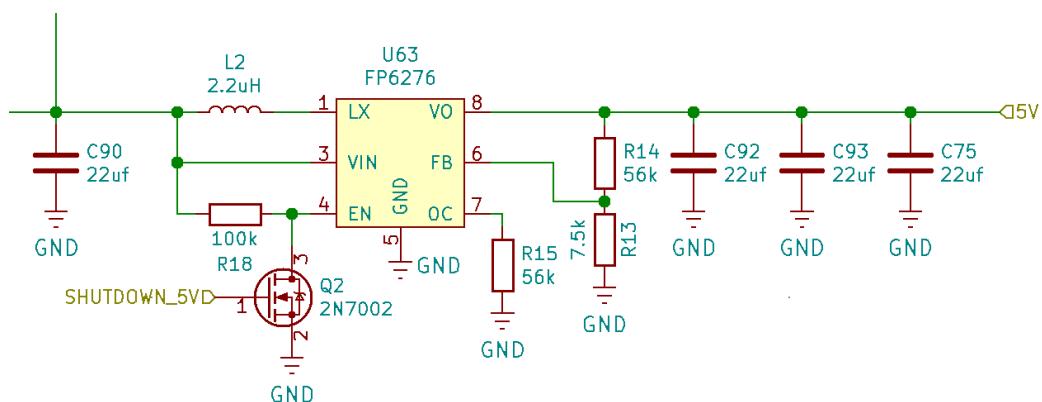
Obrázek 3.18: Zapojení stabilizátoru

Step-up

Step-up vysvětlení funkce Zapojení step-upu je o něco složitější než stabilizátor, který stačí připojit a funguje. Spínané zdroje využívají ke své funkci cívku, na které vzniká změna napětí v případě step-up je to jeho rust. Proud cívku se nedá okamžitě zastavit a právě to se využívá. Když

se step-up spustí, připne výstup cívky k zemi. Ve chvíli kdy je proud cívkou dostatečný přepne se výstup cívky na výstup step-upu. Protože proud cívkou se nedá zastavit a cívka už proud teče, zvedne se napětí za cívkou, které začne plnit kondenzátor na výstupu. Když napětí stoupne nad horní hranici požadovaného napětí, výstup cívky se opět přepne na zem. Ve chvíli kdy napětí na kondenzátorech opět klesne, tím že dodává proud, připojí se cívka. Protože se na dobu pádu napětí na výstupním kondenzátoru, připojila cívka na zem, obnovil se v ní proud a cyklus se tak může opakovat.

Step-up zapojení na desce trezoru Pro ovládání spínání step-upu jsem zvolil [FP6276](#). Tento obvod jsem zvolil protože mi vyhovoval, jak po stráně napětí tak po staně efektivity a ceny a zároveň byl v nabídce firmy JLCPCB, u které jsem desky vyráběl a osazoval. Obvod jsem z většiny zapojil dle doporučení výrobce, mojí prací bylo vlastně jen správně určit hodnotu jednotlivých součástek. Na ovládání pinu EN, který FP6276 vypíná, jsem připojil pull-up k napájení a pro možnost step-up vypnout tranzistor Q2. Pokud procesor stáhne dráhu SHUTDOWN 5V k zemi a tak přivede na G Q2 zem, Q2 se zavře a tím se na pin EN přivede skrz R18 napájecí napětí, které step-up spustí. Pokud se na G Q2 přivede naopak logická jedna, Q2 se otevře a na EN se dostane zem, která naopak provoz step-upu zastaví.



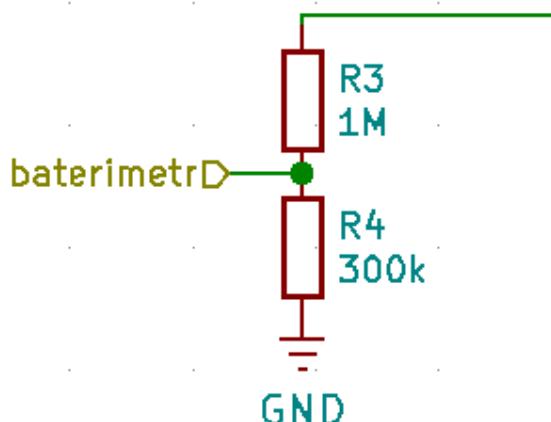
Obrázek 3.19: zapojení step-upu

měření napětí baterek

Aby trezor mohl zjistit že má vybité baterie musí mít možnost jim měřit napětí. ESP32 obsahuje AD převodník takže není problém měřit napětí baterii i poměrně přesně, kde však problem nastává je maximální napětí které je schopen měřit a to 1.1V.

ESP32 sice má možnost připojit k AD převodníku dělič, aby se na pin dalo přivést napětí až 3.3V ale to pořád není dostatečné

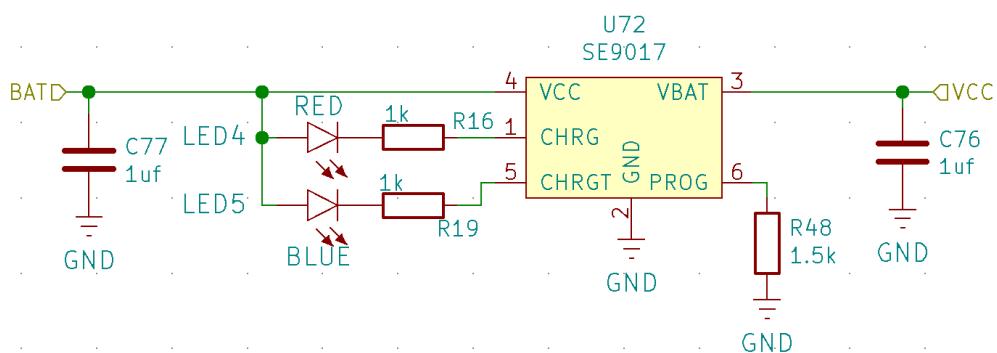
a také se tím snižuje přesnost měření. Proto je na desce jednoduchý dělič napětí složený ze dvou odporů, jednoho s hodnotou 1Mohm a druhého 300kohmu takže při plně nabytých baterii bude na výstupu děliče 0.97V.



Obrázek 3.20

3.8 Nabíjení

Aby se dveře trezoru nemuseli pokaždě rozebírat kvůli nabíjení, je deska vybavena lineární nabíječkou **SE9017**. Tuto nabíjecí obvod jsem zvolil z nabídky JLCPCB kvůli volitelnému nabíjecímu proudu, který jsem pomocí R48 stanovil na 700 mA, a také, kvůli malému pouzdru a nízké ceně. Pro signalizaci zda je baterie dobita nebo zda se ještě dobijí jsou zde dvě LED diodi LED4 a LED5. Když se baterie dobíjí tak svítí LED4, která svítí červená, a když je baterie dobita svítí LED5, která svítí modře.



Obrázek 3.21: zapojení nabíječky

3.9 ESP32 a jeho programátor

Mozkem celého trezoru je čip [ESP32-wrover](#).

Obsahuje dva dvaatřicetibitové procesory Xtensa LX6 taktovaných až na 240Mhz. ESP32 má také na modulu wrover k dispozici 520 KiB SRAM a 4,8 nebo 16Mb flesh paměti. ESP32 má také k dispozici řadu periferii z nichž asi nejvýznamnější je WiFi a Bluetooth. Právě integrace WiFi a Bluethoothu je také jeden z primárních důvodů volby tohoto čipu. Dalším podstatným důvodem volby čipu ESP32 je jeho vysoký výpočetní výkon, alespoň na poměry

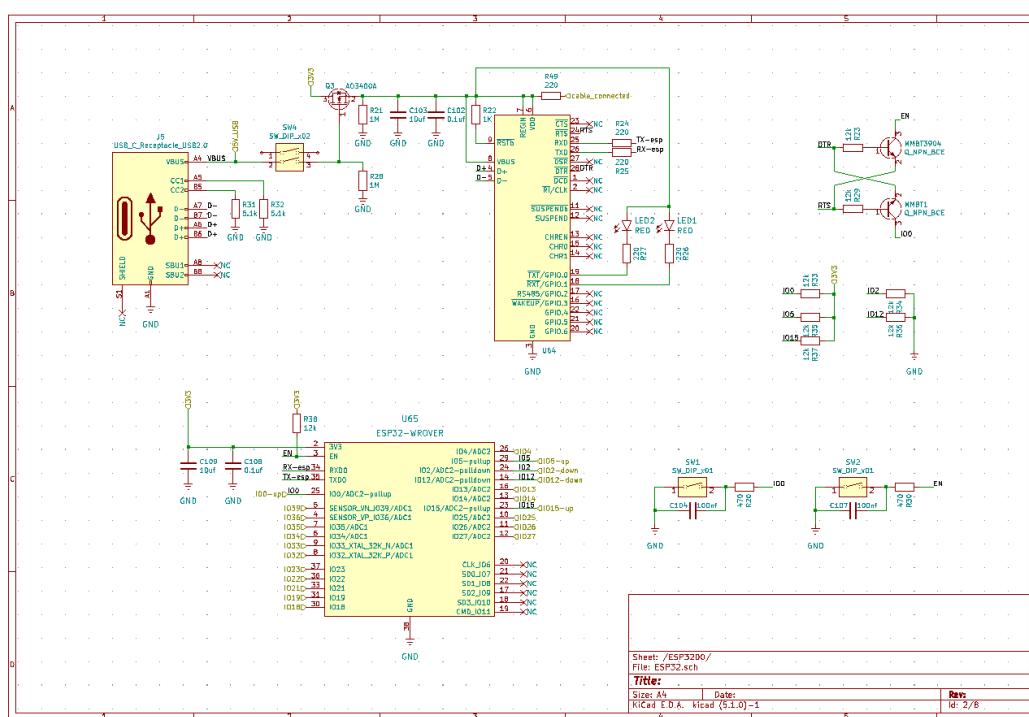
Obrázek 3.22: Ochrana proti přepólovaní a zapínání

microkontrolérů a v neposlední řadě také fakt že s tímto čipem už nějakou dobu pracuji a tak ho již znám. Konkrétně wrover jsem pak zvolil kvůli dodatečné paměti PSRAM (Pseudo Static RAM), [ESP-PSRAM32](#).

ESP32 také vyžaduje mýt při startu definované úrovňě na některých pinech, proto jsou zde čtyři pull-upy a dva pull-downy které definují výchozí stav pinů 0,2,12,15 a EN.

IO0	ovládá boot procesoru	LOW při resetu ESP vstupuje do bootloaderu
IO2	potvrzení pro spuštění bootu	LOW potvrzuje
IO12	určuje napětí komunikace s flash	LOW znamená napětí 3,3V a HIGH 1,8V
IO15	ovládá zprávy bootloaderu do UART	LOW zprávy vypíná a HIGH zapíná
EN	reset pin	LOW ESP je drženo v resetu

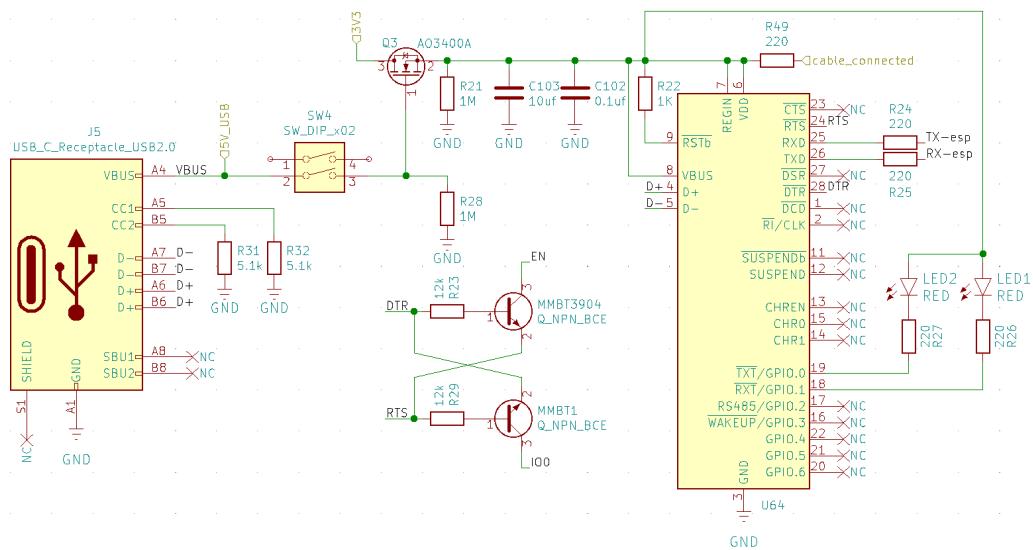
Tabulka 3.2: popis funkce pinu



Obrázek 3.23: zapojení ESP32

Programátor

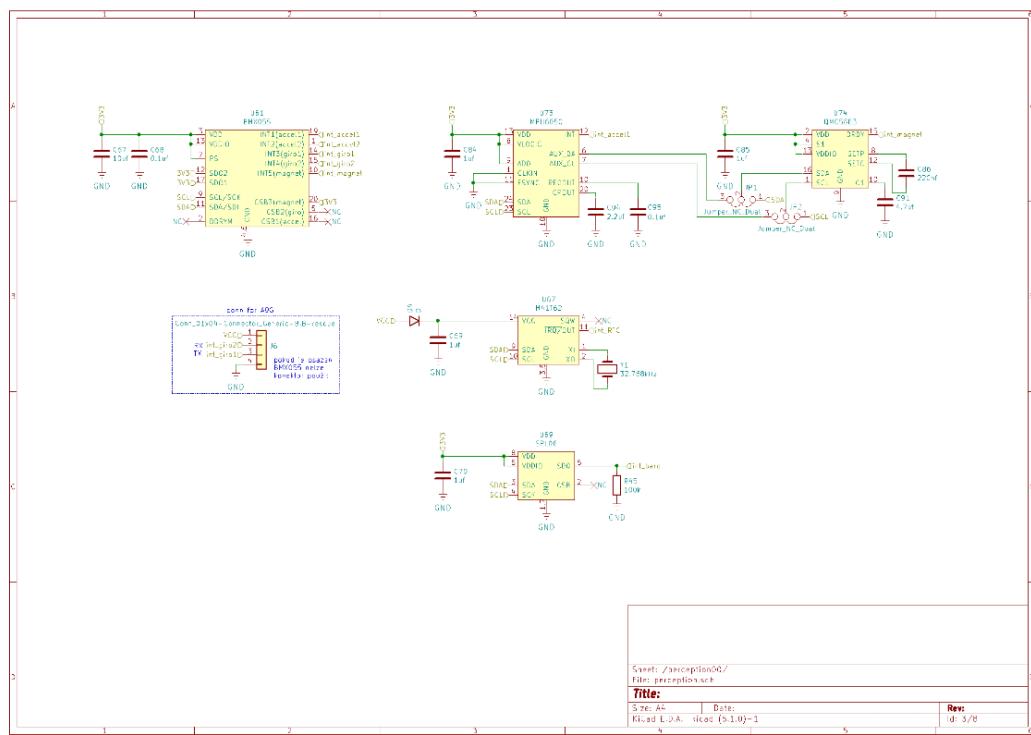
Aby mohl uživatel trezor jednoduše naprogramovat je na desce převodník USP-UART, [CP2102](#). Protože však CP2102 není potřeba celou dobu provozu a protože trezor nemá k dispozici neomezený zdroj elektřiny, je převodník zapnut jen ve chvíli kdy je připojeno USB-C, které slouží jak pro nabíjení tak pro programování. Vypínání převodníku je zajištěno tranzistorem Q3, který je zároveň společně s DIP switchem SW4 využit pro možnost zákazu programování.



Obrázek 3.24: zapojení ESP32

3.10 Senzorika

Mezi podstatné funkce trezoru patří jeho vnímání veličin jako čas, jeho náklon nebo okolní tlak. Deska proto obsahuje tři nebo čtyři, v závislosti na dostupnosti součástek, čipy které trezoru poskytují gyroskop, akcelerometr, magnetický kompas, barometr, RTC (Real Time Clock, hodiny reálného času) a také konektor pro připojení modulu GPS a QPRS. Díky těmto funkcím může trezor poskytnout možnost ovládání pomocí různých gest. Trezor třeba může sloužit, s využitím magnetického kompasu a lek kruhu, jako kompas, nebo se dá využít akcelerometr aby se dal trezor odesknout jen v konkrétním náklonu. Všechny čipy zobrazené na obrázku [3.25] komunikují s ESP hlavně pomocí sběrnice I2C. Pro možnost zrychlení reakcí má však každý z čipů také pin určený pro spuštění přerušení na procesoru.

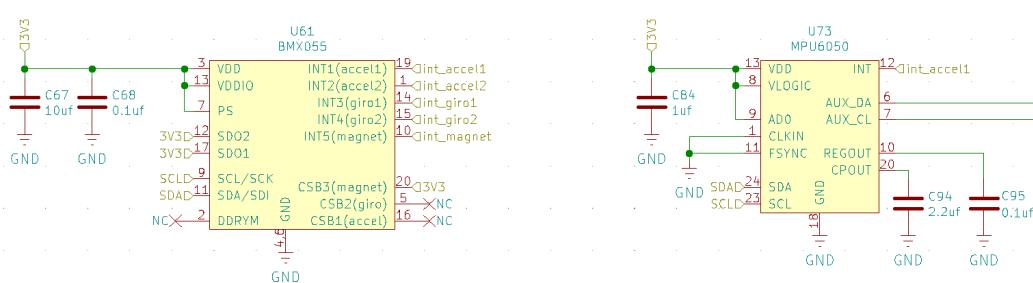


Obrázek 3.25: zapojení čipu pro vnímání

To je užitečné z toho důvodu že komunikaci na I2C řídí ESP. Pokud se tedy ESP nerozhodne zeptat se jiného čipu na jím naměřené data, čip mu to nemá jak zdělit. Zároveň se však procesor nemůže bez ustání ptát na měření ostatních čipu protože by pak nestíhal dělat nic jiného. Proto jsou čipy vybaveny pinem který změní svou logickou hodnotu ve chvíli kdy naměřené hodnoty splní nějaké podmínky. Například muže být trezor naprogramován aby se otevřel v konkrétní čas. Tento čas se potom dá nastavit v RTC jako hodnota při jejímž dosažení RTC přepne pin přerušení, a esp pak jen přečte logickou hodnotu pinu a nemusí komunikovat po I2C.

Akcelerometr gyroskop a magnetický kompas Tyto funkce trezor má pro možnost vnímání své pozice v prostoru. Díky akcelerometru má trezor k dispozici informaci o směru a velikosti svého zrychlení v prostoru. Gyroskop poskytuje informaci o relativním natočení trezoru, což se muže využít jako další podmínka pro otevření trezoru nebo pro různá ovládací gesta. Magnetický kompas pak pochopitelně dodává informaci o natočení vůči zemskému magnetickému poli.

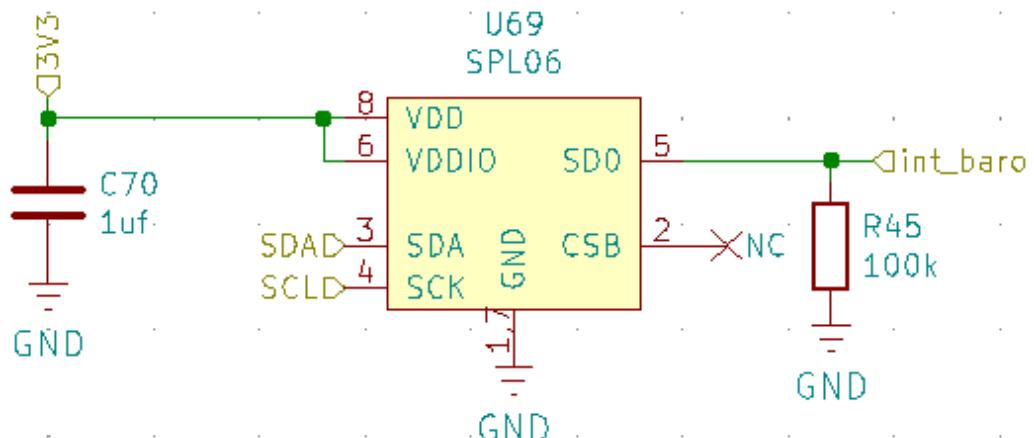
Na prvním prototypu verze E4 poskytoval akcelerometr, gyroskop i magnetický kompas čip [BMX055](#), protože však tento čip nebyl jednoduše dostupný přidal jsem na další verzi i čipy [MPU6050](#), který obsahuje akcelerometr a gyroskop, a [QMC5883](#) který dodává magnetický kompas. Na desce je tak místo pro všechny tři čipy a pokud není k dispozici BMX055, tak se jednoduše osadí MPU6050 a QMC5883.



Obrázek 3.26: zapojení čipů BMX055, MPU6050 a QMC5883

Barometr Barometr poskytuje informaci o okolním atmosferickém tlaku. Tato informace může sloužit pro rozeznávání nadmořské výšky, a to s relativní přesností až na 0.5m. Také může trezor sloužit i jako jednoduchá meteorologická stanice.

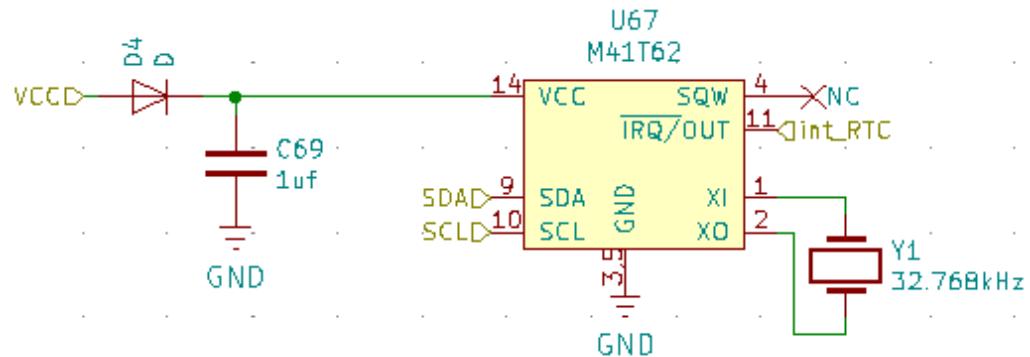
Od doby kdy jsem z nabídky JLCPCB vybíral čip SPL06, JLCPCB doplnilo do své nabídky několik dalších barometru a dneska bych tedy asi zvolil jiný. Každopádně tehdy jsem volil mezi dvěma čipy které byli v nabídce JLCPCB dostupné a SPL06 měl vyšší rozlišení.



Obrázek 3.27: zapojení čipu SPL06

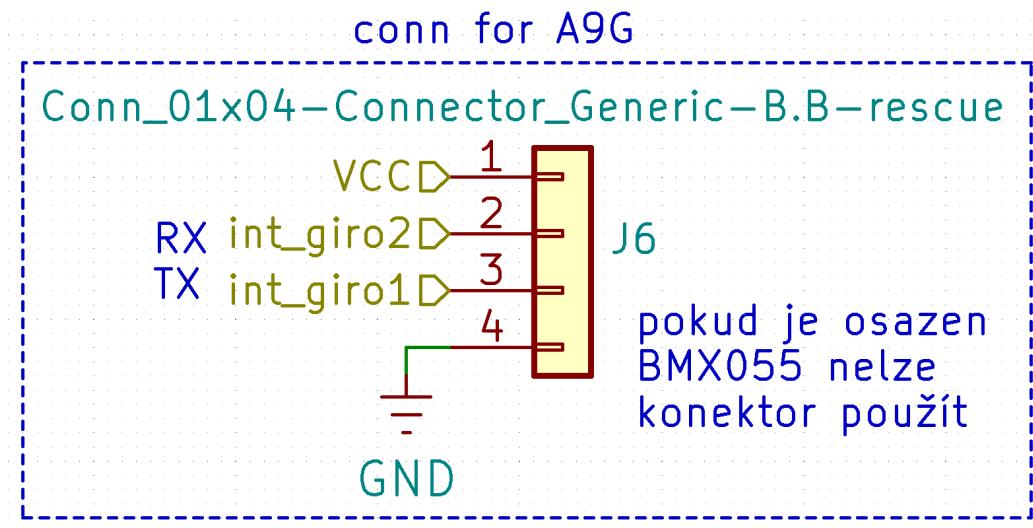
RTC Aby si trezor mohl zachovávat povědomí o aktuálním čase i ve chvíli kdy je vypnut, má k dispozici čip [M41T62](#).

M41T62 je napájen přímo z baterie a je na ni napojen ještě před zapínacím obvodem, hned za ochranou proti přepólování.



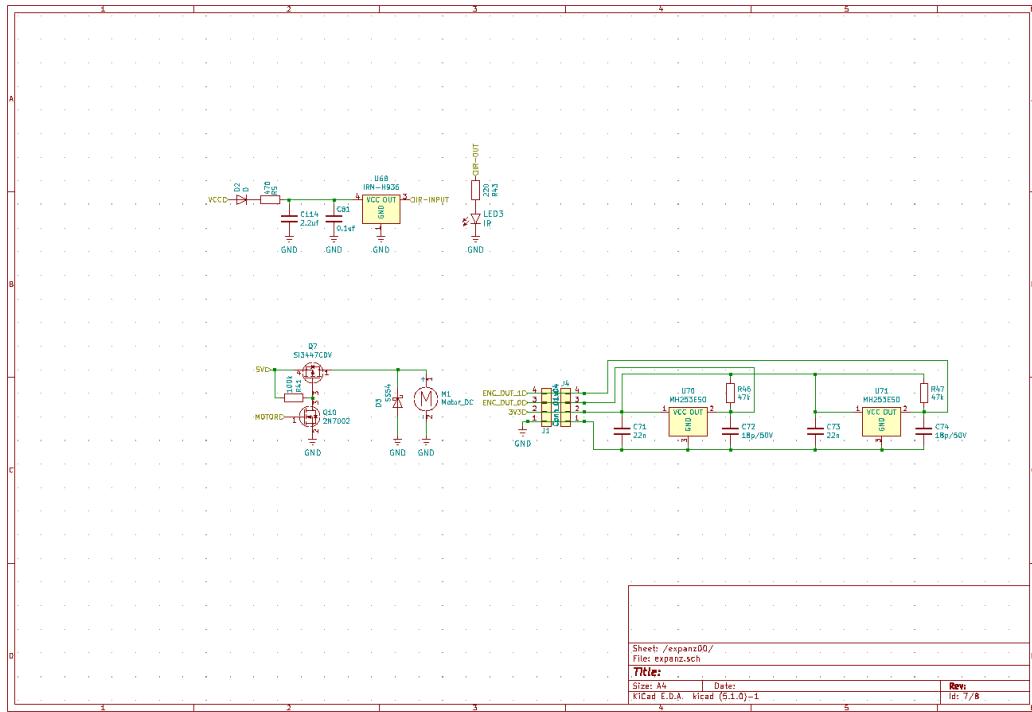
Obrázek 3.28: zapojení čipu M41T62

Konektor pro A9G Ve chvíli kdy jsem na trezor doplňoval čipy MPU6050 a QMC5883, jsem zároveň doplnil i tento konektor. Ve verzi která je osazena MPU6050 a QMC5883, a nemá tedy osazen čip BMX055 je totiž více volných pinů protože BMX055 využívá pět interrupt pinů takže zbudou tři volné piny. Protože čip A9G komunikuje po sběrnici UART, na rozdíl od ostatních čipů na desce. Pro UART však potřebuji dva piny a ty kolidují s interrupt piny čipu BMX055 a proto se konektor dá použít jen pokud není osazen BMX055.



Obrázek 3.29: zapojení konektor pro A9G

3.11 Ovládání západky a IR komunikace

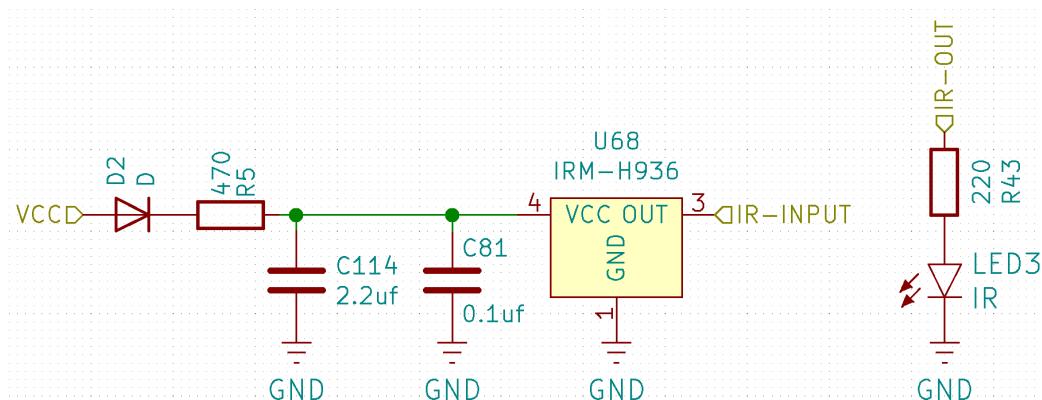


Obrázek 3.30: zapojení řízení motoru, enkoderu a IR komunikace

IR komunikace IR slouží primárně pro identifikaci dveří, při vkládání většího množství dveří do stejného trezoru. Trezor totiž počítá s možností vkládání více dveří do jednoho trezoru, což je jedna ze schopností, která slouží více trezoru jako hračce a ne trezoru jako bezpečnostní schránce. Tento trezor s více otvory by zároveň mohl sloužit jako jakýsi displej a na to potřebuje vědět které dveře jsou kde na což slouží právě IR komunikace.

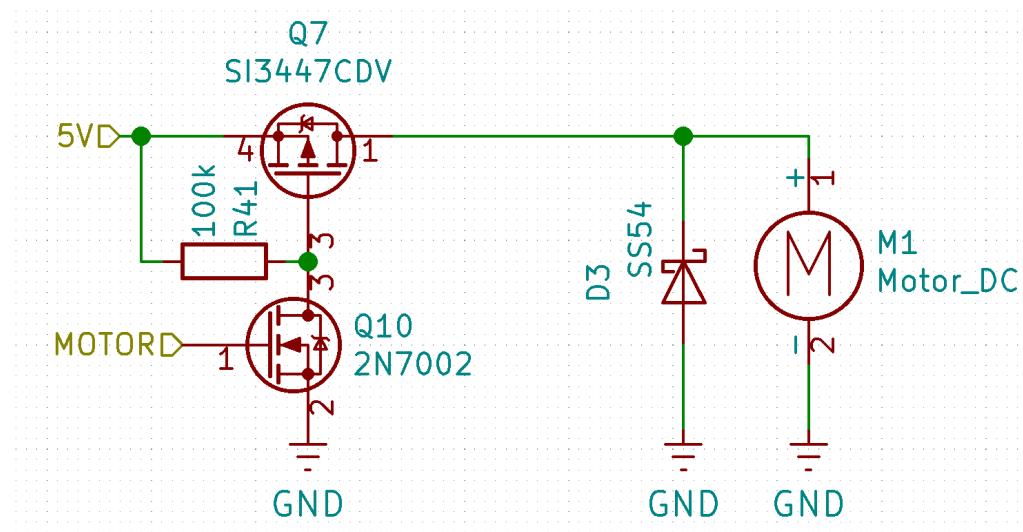
Jako IR přijímač jsem z nabídky JLCPCB zvolil [IRM-H936](#). V nabídce JLCPCB jsou v této době jen tři IR-přijímače, jeden z nich je THT a je namířen rovnoběžně s deskou a z tohoto důvodu nevyhovuje. Druhé dva jsou právě IRM-H936 a [IRM-H638](#), z nichž IRM-H936 má skoro poloviční výšku a širší uhel záběru a to byl důvod jeho volby.

Druhou částí IR komunikace je vysílač který je zajištěn jednoduše IR ledkou.



Obrázek 3.31: zapojení IR vysílače a přijímače

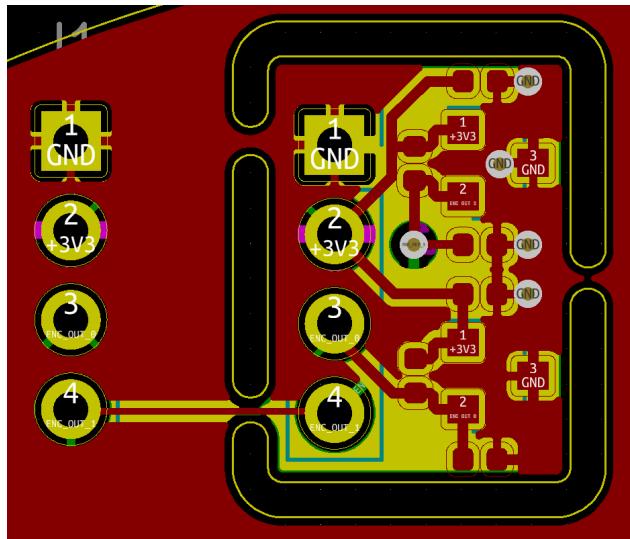
Ovládání motoru Protože motor je napájen z 5V větvě a protože ho připínám k napájení a ne k zemi nemůžu ho ovládat přímo z procesoru, proto je Q7 napojen na Q10 který je teprve řízen ESP. Kvůli napěťový špičkám které při běhu vznikají na komutátoru motoru je zde i zpětná schottkyho dioda, D3.



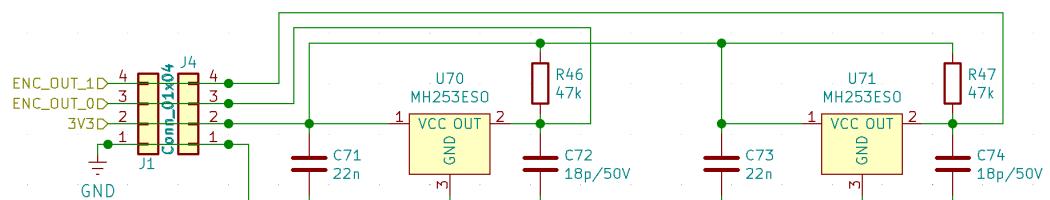
Obrázek 3.32: zapojení řízení motoru

Enkoder Aby bylo možno motor polohovat do správné polohy je nutné mít zpětnou vazbu o jeho poloze. Vzhledem k tomu že motor otáčí magnetem, samo se nabízí využít magnetický enkodér. Proto jsou na desce dvě digitální halloví sondy **MH253ESO**, které se překlopí podle toho v jakém pólu se nachází.

Protože na desce s led kruhem by sondy musely být na opačné straně než ledky, takže by se musely pájet ručně protože JLPCB osazuje jen z jedné straně. Hlavní deska je ale zase, kvůli velikosti bateriek, moc daleko od magnetu. Abych tedy nemusel dělat třetí desku jen kvůli enkodéru, zvolil jsem možnost vylomitelného enkodéru. Na hlavní desce jsem tedy nakreslil enkodér s konektorem a objel jsem ho frézou aby se dal při montáži trezoru z desky vylomit a posunout do ideální polohy.



Obrázek 3.33: vzhled na desce

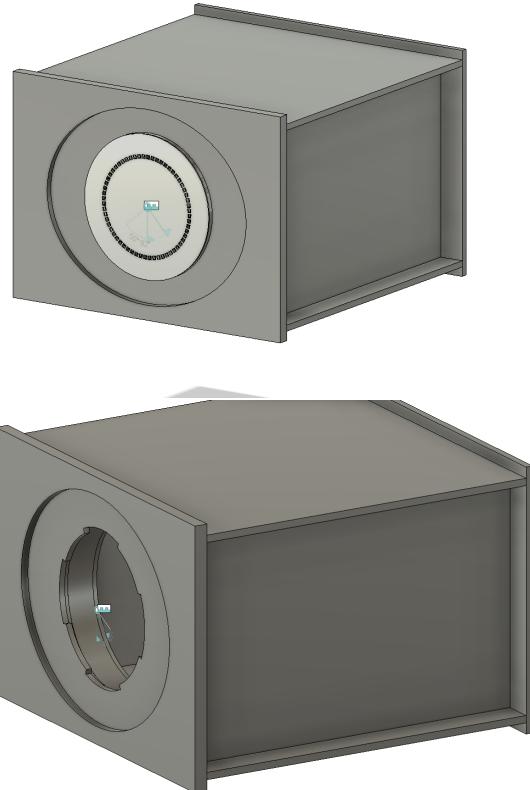


Obrázek 3.34: zapojení enkoderu

3.12 Krabice

Vzhledem k tomu že dveře trezoru (o kterých je tato práce) jsou schopny se zamčít do čehokoli se správným tvarem otvoru, je možné velice jednoduše navrhnout libovolnou krabici které by mé dveře sloužili jako zamykatelné víko.

Aby trezor mohl sloužit (alespoň teoreticky) jako opravdoví trezor, a ne jen jako hračka, navrhl jsem i bezpečnostní stránku do zdi. Vzhledem k velikosti dverí by totiž ani nedobytná schránka nebyla bezpečná jelikož by se dala jednoduše přenést celá. Proto jsem zvolil schránku umístěnou ve zdi.



Obrázek 3.35: Bedna

Tato krabice by měla mít odolnou přední stěnu, ty ostatní by pak měli zajišťovat jen pevné uchycení ve stěne.

Závěr

V závěru by mělo být:

- Rekapitulace cíle práce
- Dosáhnul jsem jej? Ano, nebo ne?
- Zhodnocení průběhu práce
- Co mi práce dala?

Literatura

1. AOSONG ELECTRONICS CO.,LTD. *AM2321 product manual* [online] [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: http://akizukidensi.com/download/ds/aosong/AM2321_e.pdf.
2. HOLEKA, Lukáš. *Zavlažovací systém skleníku*. 20. únor 2020. Dostupné také z: http://stretech.fs.cvut.cz/2018/sbornik_2018/pdf/69.pdf. Střední průmyslová škola elektrotechnická a Vyšší odborná škola Pardubice.
3. AOSONG ELECTRONICS CO.,LTD. *DHT22 datasheet* [online] [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.
4. MAXIM INTEGRATED. *DS18B20 datasheet* [online] [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

Seznam obrázků

1.1	Zelená barva značí kódová kola, červená západku, modrá pevnou část trezoru a žluté díly tvoří distanci	12
1.2	render varianty E2	14
1.3	zamykací mechanizmus varianty M2	15
1.4	render varianty M2	16
1.5	fotky obrázků	17
1.6	render varianty E3	18
1.7	render varianty M3	19
1.8	Řez kódovacím kolem	19
1.9	rendery trezoru E4	20
2.1	náčrt	23
3.1	řez varianty E4	25
3.2	pevnostní simulace těla	26
3.3	pevnostní simulace těla pohled ze zadu	26
3.4	simulace sestavy	27
3.5	render západky	28
3.6	29
3.7	simulace napětí v západce při kroutícím momentu 5000 N*mm což na rameni 48mm znamená sílu působící na kolík 104N . .	30
3.8	zobrazení deformace, pro lepší zobrazení je deformace zdeskatinásobená	30
3.9	ukládací úkosy	31

3.10	symetrie zarážky	32
3.11	schematické zobrazení cívky a terčíku	33
3.12	zapojení čipu LDC1314 na desce trezoru	33
3.13	vzhled reliéfu cívky	34
3.14	vzhled desky s kruhem WS2812 a snímáním tlakové desky	35
3.15	zapojení ledek WS2812 na desce trezoru	36
3.16	zapojení zdroje	37
3.17	Ochrana proti přepólovaní a zapínání	38
3.18	Zapojení stabilizátoru	39
3.19	zapojení step-upu	40
3.20		41
3.21	zapojení nabíječky	42
3.22	Ochrana proti přepólovaní a zapínání	43
3.23	zapojení ESP32	43
3.24	zapojení ESP32	44
3.25	zapojení čipu pro vnímání	45
3.26	zapojení čipů BMX055, MPU6050 a QMC5883	46
3.27	zapojení čipu SPL06	47
3.28	zapojení čipu M41T62	48
3.29	zapojení konektor pro A9G	49
3.30	zapojení řízení motoru, enkoderu a IR komunikace	50
3.31	zapojení IR vysílače a přijímače	51
3.32	zapojení řízení motoru	52
3.33	vzhled na desce	53
3.34	zapojení enkoderu	53
3.35	Bedna	54

Seznam tabulek

3.1	shrnutí elektronického vybavení	24
3.2	popis funkce pinu	43